

ვლადიმერ კიკაძე

**ქართული ბაგალტვლასტიკური
არმატურის ბეტონთან შეჭიდულობის
დაძაბულ-დეფორმირებული
მდგომარეობის კვლევა**



გამომცემლობა „უნივერსალი“
თბილისი 2025

მონოგრაფიაში გამოვლენილია ბაზალტპლასტიკური არმატურის ბეტონთან შეჭიდულობის მექანიზმი და ბაზალტპლასტიკური არმატურით დაარმირებული კონსტრუქციების დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა. ექსპერიმენტალური კვლევებით დადგენილია ბეტონის არმატურასთან შეჭიდულობის სიმტკიცე (ძაბვები), რომელიც რღვევის მომენტში აჭარბებს ბეტონის კოჰეზიურ სიმტკიცეს სასაზღვრო ზონაში;

ბაზალტის არმატურით დაარმირებული რეალური ზომის კოჭების გამოცდის შედეგების მონაცემებზე დაყრდნობი აგებული გრაფიკების ანალიზის შედეგად დადგინდა, რომ დამოკიდებულებას დატვირთვისა და დეფორმაციას (ჩაღუნვას) შორის თითქმის პირდაპირ პროპორციული ხასიათი აქვს ანუ კომპოზიტური არმატურა, ფოლადის არმატურისგან განსხვავებით, კონსტრუქციის რღვევამდე მუშაობს დრეკად სტადიაში, რაც თვალნათლივ დაადასტურა გამოცდილი კონსტრუქციის გაანგარიშებამ პროგრამა Lirasapr-ით.

მონოგრაფია განკუთვნილია ბაზალტპლასტიკური კონსტრუქციებით დაინტერესებული მეცნიერ მუშაკებისა და საინჟინრო დარგის სამივე საფეხურის სტუდენტებისათვის.

რედაქტორი პროფესორი **გელა ყიფიანი**

რეცენზენტები: პროფესორი **თამაზ ხმელიძე**

ასოცირებული პროფესორი **ფატიმა (ლალი) ვერულაშვილი**



**კვლევა PHDF-22-852 განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს
ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით**

ყველა უფლება დაცულია. ამ წიგნის არც ერთი ნაწილის (იქნება ეს ტექსტი, ფოტო, ილუსტრაცია თუ სხვა) გამოყენება არანაირი ფორმით და საშუალებით (იქნება ეს ელექტრონული თუ მექანიკური) არ შეიძლება გამომცემლის წერილობითი ნებართვის გარეშე. საავტორო უფლებების დარღვევა ისჯება კანონით.

© ვ. ჟიჟაძე, 2025

გამომცემლობა „**უნივერსალი**“, 2025

თბილისი, 0186, ა. პოლიბაოვსაიას №4, ☎: 5(99) 17 22 30; 5(99) 33 52 02
E-mail: universal505@ymail.com; gamomcemlobauniversal@gmail.com

ISBN 978-9941-525-10-0

წინასიტყვაობა

განხილულია კონსტრუქციული კომპოზიტური მასალების, მათ შორის ბაზალტპლასტიკური არმატურის შექმნის, წარმოებაში დანერგვისა და განვითარების ტენდენციის საკითხები, მათი მშენებლობაში გამოყენების აქტუალობა, თანამედროვე მდგომარეობა და პერსპექტივები.

ძირითადი აქცენტი გაკეთებულია მშენებლობისთვის საჭირო კონსტრუქციების განხილვაზე, აგრეთვე თეორიული ცოდნის გაღრმავებაზე.

თანამედროვე სამშენებლო ინდუსტრიის განვითარების დონე საშუალებას იძლევა შენობების სარეკონსტრუქციო და სარემონტო სამუშაოების ჩატარებისას ტრადიციული მასალებისგან დამზადებული ზოგი ელემენტი შევცვალოთ უმნიშვნელოდ მოდიფიცირებული კომპოზიტური ელემენტით.

ამჟამად წარმოების ყველა სფეროში სწრაფად ვითარდება სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესი, რაც მოითხოვს ახალი მასალების დიდ რაოდენობას კონკრეტული თვისებებით. იზრდება მოთხოვნა მაღალი სიმტკიცის, სიმაგრის, მხურვალმედვე და კოროზიამდგრად მასალებზე, ასევე ისეთებზე, სადაც ეს თვისებები ერთმანეთთან შეხამებულია. დღევანდელ დღეს ცნობილია ასი ათასობით ბუნებრივი (არაკომპოზიტური) და ხელოვნური მასალა, რომლებიც უკვე ვერ აკმაყოფილებენ გაზრდილ მოთხოვნებს. ახალი მასალების აღმოჩენა იშვიათია, რაც მიუთითებს იმაზე, რომ „ჩვეულებრივი“ მასალების უმრავლესობა უკვე აღმოჩენილია და ახალი სახეობის მოლოდინი პრაქტიკულად მინიმალურია. თუმცა, სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესი მოითხოვს ახალი კონსტრუქციული მასალების შექმნას, ამიტომ საჭიროა არსებული მასალების გამოყენებით შექმნან თანამედროვე ლითონური და პოლიმერული კომპოზიტური მასალები. ამ ფონზე საგრანტო პროექტი „ქართული ბაზალტპლასტიკური არმატურის ბეტონთან შეჭიდულობის დაძაბულ დეფორმირებულ მდგომარეობის გამოკვლევა“ უდაოდ აქტუალური საკითხია.

თანამედროვე მშენებელს ხშირად უწევს შეხება პოლიმერულ მასალებთან არა მხოლოდ ტექნიკაში, არამედ ყოველდღიურ ცხოვრებაშიც, ამიტომ ამ ტიპის მასალების ძირითადი თვისებების ცოდნა და მათი სწორი გამოყენების უნარის განვითარება ძალიან მნიშვნელოვანია. შემოთავაზებული პროექტის მიზანიც სწორედ ამ მიმართულებით საფუძვლიანი ცოდნის მიღებაა პოლიმერული კომპოზიტური მასალების და კონსტრუქციების შესახებ.

კომპოზიტი დროის მიხედვით იცვლის თვისებებს. ჩვეულებრივ ტემპერატურაზე ემორჩილება ცოცვადობისა და რელაქსაციის მოვლენებს, რაც მათი ერთ-ერთი ძირითადი უარყოფითი თვისებაა, რომლის გაუთვალისწინებლობა დაუშვებელია, რათა აცილებული იქნას ექსპლუატაციისას შესაძლო კატასტროფული შედეგები.

დიდი მადლობა მინდა გამოვხატო რედაქტორის, საქართველოს მეცნიერებისა და ტექნიკის დარგის სახელმწიფო პრემიის ლაურეატის, საქართველოს დამსახურებული მშენებლის, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორის პროფესორის **გელა ყიფიანის** მიმართ, ასევე რეცენზენტების: საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო მანქანების დეპარტამენტის უფროსის, **თამაზ ხმელიძის** და ა. სოხაძის სახელობის სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის დეპარტამენტის ასოცირებული პროფესორის **ფატიმა (ლალი) ვერულაშვილის** მიმართ, რომელთა საქმიანმა შენიშვნებმა და მითითებებმა სრულყო მონოგრაფია.

ასევე მინდა მადლობა გადავუხადო ქალბატონ **ნანა დუმბაძეს** და გამომცემლობა „უნივერსალი“-ს თანამშრომლებს დირექტორის ბატონ **გოჩა ხარებავას** ხელმძღვანელობით, რომელთა თავდაუზოგავი შრომის შედეგად სრულყოფილ იქნა მონოგრაფია.

ვლადიმერ კიკაძე
ივნისი, 2025

თავი I. პრობლემის თანამედროვე მდგომარეობა

კომპოზიტების მექანიკა, როგორც დეფორმირებული გარემოს მექანიკის დამოუკიდებელი ნაწილი, კიდევ ვითარდება და ამ პროცესში იმყოფება ზრდის, განვითარებისა და ფორმირების ეტაპზე. სხვადასხვა სიღრმეში დამუშავებული მისი საკითხები ზოგადად ჯერ კიდევ შორსაა სრული დასრულებისგან. ეს განსაკუთრებით კარგად ჩანს მასალებიდან. საქმე იმაშია, რომ ლაბორატორიული იდეიდან პრაქტიკული წარმოებისა და თანამედროვე ბოჭკოვანი კონსტრუქციული მასალების გამოყენების პერიოდში დაახლოებით 15-20 წელი გავიდა. საკმარისია იმის თქმა, რომ კომპოზიტების სამშენებლო კონსტრუქციებში დანერგვას 30 წელი დასჭირდა, ხოლო მომდევნო 40 წელი კი - ამ მასალისგან კონსტრუქციების გაანგარიშებას ჯერ კიდევ ვსწავლობთ. თუმცა, კომპოზიტების საინჟინრო მექანიკის განვითარებაში აშკარა წარმატებები მაინც არსებობს. ამ პრობლემის გადაწყვეტაში მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანეს სხვადასხვა ქვეყნის მეცნიერებმა. პროცესში წამოვიდა იდეა, შეიქმნას ძირითადი პუბლიკაციების თუნდაც მოკლე მიმოხილვა საკითხის შესახებ. (ხმელიძე & სოხაძე, ხისა და პლასტმასის სამშენებლო კონსტრუქციები, 2005) (ხმელიძე თ. , ხის კონსტრუქციები, 2015) (ხმელიძე თ. , ხის და სინთეზური მასალების კონსტრუქციები / მეთოდური მითითებები სახურსო პროექტის შესასრულებლად, 1988).

ბოლო ათწლეულებში კაცობრიობის ისტორიაში პირველად გახდა შესაძლებელი მასალების წინასწარ განსაზღვრული თვისებებით სამრეწველო წარმოების განხორციელება. ეს შესაძლებლობა უკავშირდება კომპოზიციური მასალების – ან, როგორც ისინი ხშირად იწოდებიან მსოფლიო სამეცნიერო ლიტერატურაში, კომპოზიტების – შექმნას, განვითარებას და უწყვეტ გაუმჯობესებას. კომპოზიტების შექმნა, თანამედროვე ტექნოლოგიების მოთხოვნებთან საპასუხოდ, ბუნებრივი რეაქცია იყო. ისინი ეფუძნება მარტივ, მაგრამ უნიკალურ იდეას, რომლის მიხედვითაც ერთიანდებიან "პოლარული" მახასიათებლებით მასალები – დამყარებული მატრიცა და ხისტი და მტკიცე არმატურა. ეს იდეა, თავისთავად, ბუნებიდან არის აღებული, როგორც გამარტივებული ფორმა. მცენარეთა ღეროები და ფოთლები,

ასევე ადამიანის და ცხოველების ძვლები – ეს მაგალითები წარმოადგენენ ბოჭკოებით დადასტურებულ ანიზოტროპულ მასალებს, ანუ კომპოზიტებს.

შესაბამისად, მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ დადასტურების იდეა უფრო ღრმა და მრავალმხრივი პროცესია, ვიდრე მხოლოდ სიმტკიცე და ტექნოლოგიური უპირატესობა. ეს წარმოადგენს მასალის საიმედოობის ამაღლებას. სავარაუდოდ, კომპოზიტები ერთადერთი მასალებია, რომელშიც სიმტკიცის ზრდა ასოცირდება რღვევის სიბლანტის ზრდასთან. კომპოზიტები, როგორც ასეთი, მკაცრად რომ ვთქვათ, არ წარმოადგენენ მასალებს კლასიკური გაგებით – მაგალითად, მეტალურგიაში, სადაც მოცემული თვისებები პრაქტიკულად არ იცვლება გადამუშავების პროცესში. ისინი წარმოადგენენ მასალების ფართო ოჯახს, რომლებიც შეიქმნა ნახევრად ფაბრიკატებისაგან, კონსტრუქციის ერთად ფორმირებისას.

კომპოზიტების მექანიკა წარმოადგენს სამეცნიერო საფუძველს, რომელიც საჭიროა მასალებისა და მათი ნაწარმის კონსტრუქციული თვისებების, გარჩევის, პროგნოზირებისა და კონტროლის გაგებისათვის. ეს ნათლად არის ასახული ვ. ვ. ბოლოტინის მიმოხილვაში, რომელიც მოგვეწოდება კომპოზიტების მექანიკისა და მათგან კონსტრუქციების გაანგარიშების პრობლემებზე. კომპოზიტებისგან შექმნილი კონსტრუქციების დაგეგმარების საკითხები, ოპტიმალური დადასტურების და ტექნოლოგიური პროცესის დაგეგმარება ერთმანეთთან მჭიდროდაა დაკავშირებული და წარმოადგენს ერთიან პრობლემას. ისინი არ შეიძლება განიხილებოდეს იზოლირებულად, როგორც ამას იძლევა კონსტრუქციების მეტალებისგან შექმნა.

ამ სფეროში მიღებული ინფორმაცია უნდა მიეწოდოს კონსტრუქტორებსა და ინჟინერებს არა მხოლოდ მოკლე ვადებში, არამედ ეფექტურად და მიზნობრივად, რათა შექმნან კონსტრუქციები და მათი წარმოების მეთოდები. კომპოზიტური მასალების შემუშავებასთან და დანერგვასთან დაკავშირებული პერსპექტივების რეალიზაცია დამოკიდებულია მათ საფუძველზე შექმნილი კონსტრუქციების გაანგარიშებისა და გამოცდის მეთოდების განვითარებაზე. ამ საკითხების კომპლექსის გადაწყვეტა არის კომპოზიტების საინჟინრო მექანიკის მიზანი. (დუმბაძე, 2015).

თანამედროვე ბოჭკოვანი კომპოზიტები წარმოადგენს არაერთგვაროვან, ანიზოტროპულ მასალებს. მათი დრეკადობა და არადრეკადობა დამოკიდებულია არმატურის (მინის, ბაზალტის, ბორის, ნახშირბადის და ორგანული ბოჭკოების) და

მატრიცის (პოლიმერული, ნახშირბადოვანი, ლითონის, კერამიკული) ტიპზე, ასევე კომპოზიტში მათი ურთიერთქმედების ხარისხზე და დატვირთვის კუთხით დაარმირების მიმართულებაზე. კომპოზიტებს ახასიათებთ ორი დონის არაერთგვაროვნება: **მიკროარაერთგვაროვნება** (რომელიც გულისხმობს ბოჭკოებისა და შემკვრელ მასალათა მონოფენურ სტრუქტურას) და **მაკროარაერთგვაროვნება** (რომელიც ეფუძნება ფენოვან სტრუქტურას, სადაც მონოფენები რეგულარულად ან შემთხვევით განლაგებულია პაკეტის სისქეზე). ამგვარად, კომპოზიტების მექანიკა მოიცავს ორ ძირითად მიმართულებას: **მიკრომექანიკას** და **მაკრომექანიკას**. (ხმელიძე თ. , კომპოზიტური კონსტრუქციები, 2024) (ხმელიძე თ. , ხის კონსტრუქციები, 2015) (ხმელიძე, ყიფიანი, & ვერულაშვილი, სამშენებლო კონსტრუქციები კომპოზიტების გამოყენებით, 2018) (ხმელიძე & ყიფიანი, კომპოზიტური კონსტრუქციები, 2022).

სტრუქტურულად არაერთგვაროვანი გარემო თავის ფიზიკურ-მექანიკურ ქცევაში მნიშვნელოვნად უფრო მრავალფეროვანია ერთგვაროვანი მასალებისგან. კომპოზიტების დეფორმირების და რღვევის პროცესებში შესაძლო სიტუაციების სიურპრიზების მრავალფეროვნება ამ მასალების შესწავლას კიდევ უფრო მიმზიდველს ხდის მყარი სხეულის მექანიკის სხვადასხვა სფეროს სპეციალისტებისთვის. მაგალითად, ბოჭკოვან კომპოზიტებში, დადასტურების ელემენტების დონეზე ყოველთვის არსებობენ მიკროდეფექტები – ბზარები, რომლებიც წარმოიქმნება არა მხოლოდ ტექნოლოგიური პროცესების არასრულყოფილებისგან, არამედ მასალის მოდელების გადაცდომის გამო. ეს ბზარები კომპოზიტებში შთანთქავენ სხეულის საერთო საზღვრის ნაწილს. ბუნებრივია, დატვირთვის ზრდასთან ერთად ბზარები განაგრძობენ განვითარებას. კომპოზიტებში დეფექტების არსებობა და სხვა გაყოფის დამატებითი საზღვრები, რომლებიც ეწინააღმდეგებიან ბზარების გავრცელებას, ქმნიან რღვევის მექანიკის შესანიშნავ ობიექტს. ამ სფეროში ნაშრომების რაოდენობა მუდმივად იზრდება. განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს თამაზ ხმელიძის და გელა ყიფიანის ხელმძღვანელობით კომპოზიტური კონსტრუქციების ტიპური ელემენტების რღვევის აღწერის სტრუქტურული მიდგომა, რაც მნიშვნელოვანი წინგადადგმული ნაბიჯია კომპოზიტების რღვევის პროცესის მოდელირებაში.

ბოჭკოვანი კომპოზიტების მექანიკაში არსებითი მნიშვნელობა აქვს მასალის სტრუქტურის გათვალისწინებას, როგორც არაერთხელ ახსნა ა. დუმბაძემ, რომელმაც აღნიშნა, რომ ეს გარემოება არაა დამახასიათებელი მყარი სხეულის კლასიკური მექანიკისთვის. სწორედ ამ სტრუქტურალურ დონეზე იქმნება მასალების მექანიკური თვისებები. ბოჭკოების დალაგების მართვით შესაძლებელია გარკვეულ საზღვრებში კონტროლირდეს მასალების გამძლეობა და "მოვარგოთ" ისინი მოქმედ ძალებზე. ამ გზით იქმნება შესაძლებლობა შექმნან ოპტიმალური დაგეგმარების პრინციპები, რომლებიც დაკავშირებულია თავად მასალების შექმნასთან. სწორედ კომპოზიტებმა განახორციელეს მყარი სხეულის მექანიკის ამ განშტოების მატერიალიზაცია, რომელი სფეროც ბოლო წლებში ინტენსიურად ვითარდება. საკმარისია აღვნიშნოთ თამაზ ხმელიძის, გელა ყიფიანის და ფატიმა ვერულაშვილის ნაშრომები, რომლებიც ასახავს ამ მიმართულების კვლევის პროგრესს. მათი შრომები და დამუშავებული თეორიული მიდგომები დეტალურად არის წარმოდგენილი ბიბლიოგრაფიულ კრებულში.

კომპოზიტების მიმდინარე და სამომავლო ფიზიკური თვისებები და მათი ფორმირების ტექნოლოგიური პროცესების თეორიული საფუძვლები საბოლოოდ განსაზღვრავს მარმირებადი სტრუქტურული ელემენტების დონეზე. სწორედ ამ დონეზე იკვეთება რღვევის მრავალი თავისებურება (მაგალითად, განშრევება, ბოჭკოების დანაწევრება და სხვა), რომლებიც კომპოზიტების სპეციფიკურ თვისებებთან ერთად გამოიმუშავებს მის ბლანტდრეკადობას, მაგალითად, პოლიმერული მატრიცების შემთხვევაში, და პლასტიკურობას ლითონის მატრიცების შემთხვევაში. სწორედ სტრუქტურულ დონეზე განხორციელებულ ფიზიკურ-მექანიკურ მოვლენებზე დაყრდნობით ხდება კომპოზიტებისგან შექმნილი კონსტრუქციების რესურსისა და საიმედოობის პროგნოზირება.

კომპოზიტური მასალების მეცნიერებაში დაისახა ახალი ტენდენციები დაკავშირებული მრავალფუნქციური დანიშნულების კონსტრუქციების შექმნის სურვილთან. აქედან გამომდინარე, ჩატარებულია კვლევები კომპოზიტების მიკრომექანიკის დარგში, რომლებიც შეისწავლიან შიდა ველებს გარემოში დისკრეტული სტრუქტურით (ნაკლოვანებების გათვალისწინებით), ექსპლუატაციის პროცესში მასალების ეფექტური თვისებების ცვლილება, კავშირი მარმირებელი ელემენ-

ტების დონეზე სტრუქტურისა და ურთიერთობის თბოფიზიკური, ელექტრო-ტექნიკური, მაგნიტური და სხვა თვისებებს შორის. (ხმელიძე, ყიფიანი, & ვერულაშვილი, კონსტრუქციების გაანგარიშება კომპოზიტური პოლიმერული არმატურით // საერთაშორისო სიმპოზიუმი სეისმომდეგობა და საინჟინრო სეისმოლოგია, 2019) (ხმელიძე, გვიშიანი, & სოხაძე, კომპოზიტური პოლიმერული არმატურა (ზოგადი ტექნიკური პირობები სტანდარტის შესაქმნელად, მეთოდური მითითებები), 2024) (ყიფიანი & ზამბახიძე, არასიმეტრიული ფენოვანი კომპოზიტებისაგან შემდგარი ფირფიტების მექანიკა // საერთაშორისო სიმპოზიუმი სეისმომდეგობა და საინჟინრო სეისმოლოგია, 2019).

რკინაბეტონის კონსტრუქციების გამძლეობის უზრუნველსაყოფად აუცილებელია ბეტონისა და არმატურის კოროზიის განვითარების საწინააღმდეგო ზომების მიღება. ბეტონის კოროზია დამოკიდებულია მისი წყალშუღწევადობისა და ყინვა-მედეგობის თვისებებზე, ასევე გარემოს აგრესიულობაზე. გარემოს აგრესიული მოქმედების საწინააღმდეგოდ აუცილებელია სხვადასხვა სუპერპლასტიფიკატორების გამოყენება.

არმატურის კოროზია გამოწვეულია ბზარების გადაჭარბებული გახსნითა და დამცავი ფენის არასაკმარისი სისქით. საინტერესოა, რომ არმატურის კოროზია შეიძლება განვითარდეს ბეტონის კოროზიისგან დამოუკიდებლადაც.

კოროზიის შესამცირებლად, ექსპლუატაციის დროს გარემოს აგრესიულობა შეგვიძლია შევზღუდოთ აგრესიული წყლების მოცილებით, ოთახების ვენტილაციის გაუმჯობესებით, ასევე ბეტონის ზედაპირზე დამცავი საფარის და დამცავი ფენების გაშენებით. აგრესიული გარემოს მრავალჯერადი გავლენის შემთხვევაში, კონსტრუქციები უნდა გაიანგარიშოს ამ ეფექტის გათვალისწინებით. (Balanchivadze, Matitashvili, Kikadze, & Sakhvadze, 2024) (გედევანიშვილი, სამხარაძე, კახიანი, & ყიფიანი, 2020).

მონოფენისა და სისქით ერთგვაროვანი ფენებისაგან $[0^\circ]$, $[0,90^\circ]$, $[\pm 0]$ შედგენილი მასალების აღწერისას, არაერთგვაროვნების განხილვისას ხორციელდებოდა ბოჭკოვანი კომპოზიტების დაყვანა ანიზოტროპულ გარემომდე. ეფექტური დეფორმირებადი მახასიათებლების განსაზღვრა სთავაზობდა დაარმირებული გარემოების თეორიას. ეს მეთოდი ანალოგიურია: როდესაც წიბოვანი ფირფიტების და გარსების

განხილვისას, კონსტრუქციულად ანიზოტროპულ გარემოში, ხდება სტრინგერების და შპანგოუტების საანგარიშო სქემებში გადაყვანა. კომპოზიტების კვლევაში პრინციპიალურს წარმოადგენს სტრუქტურულ დონეზე დაბრუნების შესაძლებლობა და აუცილებლობა, მაგალითად, სიმტკიცის ამოცანებში.

გაანგარიშების მეთოდების შემუშავებას წინ უძღოდა თანამედროვე ტიპის კომპოზიტების კონსტრუქციული თვისებების შესწავლა. მიღებული იქნა საიმედო რიცხვითი მონაცემები, რომლებიც ყველაზე სრულყოფილად წარმოდგენილია თ. ხმელიძის წიგნში. (ხმელიძე თ. , კომპოზიტური კონსტრუქციები, 2024) ამ მონაცემებმა მოგვცა საშუალება შევაფასოთ არა მხოლოდ კომპოზიტების თვისებები, არამედ მათი დეფორმირებადი მახასიათებლები, ძვრისა და განივი წინაღობის კუთხით. აღმოჩნდა, რომ ბოჭკოვანი კომპოზიტების უმრავლესობას ახასიათებს მნიშვნელოვანი ანიზოტროპია, რაც განსაკუთრებით აისახება არმატურის გასწვრივ გაჭიმვისას. ამასთან, ასეთი კომპოზიტები ცუდად ეწინააღმდეგებიან ფენათაშორის ძვრას და განივი წინაღობებს.

არაერთგვაროვანი კომპოზიტის ჩანაცვლება ეფექტური ერთგვაროვანი ანიზოტროპული სხეულით წარმატებით გამოიყენება სიხისტის, მდგრადობის, კოჭების, ფირფიტების და გარსების რხევების ამოცანების გადასაწყვეტად. დამახასიათებელი მომენტია, რომ უარყოფილია კირხჰოფ-ლიავის ტიპის ტრადიციული კინემატიკური ჰიპოთეზები და შემუშავებულია დაზუსტებული ამონახსნები, რომლებიც "გრძნობენ" კომპოზიტების ცუდ წინაღობას ძვრასა და განივ ძალაზე. ძირითადი ყურადღება გამახვილდა ბოჭკოვანი კომპოზიტების ძვრაზე და წინაღობის შესწავლაზე, განსაკუთრებით სიბრტყეებში, სადაც იგი ძირითადად განსაზღვრება მატრიცის მიერ (ეს ე.წ. ფენათაშორისი ძვრაა). ამ სფეროში მნიშვნელოვანი მიღწევები დაფიქსირდა ძვრების აღრიცხვას, მართვას და გამოკვლევას.

ძვრების აღრიცხვამ გამოიწვია ღეროების, ფირფიტების და გარსების გაანგარიშების დაზუსტებული მეთოდების შემუშავება, რაც ითვალისწინებს ბოჭკოვანი კომპოზიტების ამ სპეციფიკურ თავისებურებას. ასევე, აქტიურად მიმდინარეობს ძვრასა და განივ წინაღობის აღმოფხვრის გზების ძიება. პერსპექტივებს შორის ერთ-ერთი მთავარი მიმართულება სივრცული დაარმირების სქემებზე გადასვლა არის. ამ მიმართულებით შეიმუშავეს და პრაქტიკულ რეალობაში გადმოიტანეს ფენოვანი

კონსტრუქციების რიცხვითი ანალიზის მეთოდები, რომლებიც ითვალისწინებს კომპოზიტების სპეციფიკურ თვისებებს.

ბოლო წლებში გელა ყიფიანის მიერ დაიხვეწა ორთოტროპული თხელკედლიანი გარსების დაზუსტებული თეორია, რომელიც გეომეტრიული არაწრფივობას, განივი ძვრების დეფორმაციებს და ფორმის საწყის არასრულყოფილებას ითვალისწინებს. ამასთან, შეიმუშავა არასტაციონარული დეფორმირების და ბოჭკოვანი კომპოზიტებისგან ცილინდრული გარსების ფენობრივი რღვევის გაანგარიშების მეთოდი, რომელიც ვიბრაციულ და იმპულსურ მკუმშვ ძაბვებზე ემყარება. (Khmelidze, Kipiani, & Kristesiashvili, Composite construction structures and their features with taking into account the anisotropy, 2018) (Kikadze, 2022).

კომპოზიტების მექანიკის განვითარების წარმატებები ქმნის შესაძლებლობას, შეიქმნას განზოგადებული ნაშრომები კომპოზიტებისგან შექმნილი კონსტრუქციების გაანგარიშების მეთოდებზე. განსაკუთრებით უნდა გამოვყოთ თამაზ ხმელიძის წიგნი, რომელშიც ორგანულად გაერთიანებულია თანამედროვე ბოჭკოვანი კომპოზიტების კონსტრუქციული თვისებების სპეციფიკების გათვალისწინება და საწყისი განტოლებების საინჟინრო სიზუსტე. ეს ნაშრომი საშუალებას გვაძლევს პრაქტიკაში გამოვიყენოთ კომპოზიტების პოტენციურად მაღალი შესაძლებლობები და რეალიზება მოახდინოს.

ცალკეული მიმართულებები ჩამოყალიბდა სქელკედლიანი კონსტრუქციების გასაანგარიშებლად, რომლებიც მონოლითურობასა და ენერგოტევადობას ეხება. კომპოზიტებისაგან შექმნილი სქელკედლიანი, დახვეული ნაკეთობების მონოლითურობა დიდწილად განისაზღვრება ცუდი წინაღობისგან, რომელიც განივ ძალას ეწინააღმდეგება. ამით გაჩნდა საჭიროება, შეიმუშავებინათ დაზუსტებული მეთოდები რადიალური ძაბვების განსაზღვრისთვის, ასევე ახალი ტექნოლოგიური და კონსტრუქციული მიდგომები, რომლებიც ხელს შეუწყობს განშრევების რისკების აღმოფხვრას.

კომპოზიტები აღმოჩნდა პერსპექტიულ მასალებად ენერგიის ინერციული დამგროვებლებისთვის, მაგალითად, მქნევარები, რომლებიც საშუალებას იძლევა დიდი რაოდენობით ენერგია დაგროვდეს მასის ერთეულზე. ენერგოტევადობის კონცეფცია, რომელიც ითვალისწინებს ენერგიის დაგროვების შესაძლებლობას,

საჭიროებს ახალ დიზაინსა და დაგეგმვას, რადგან იგი არ ჯდება ტრადიციულ მანქანათმშენებლობის მეთოდებში. აღნიშნული გამოწვევები მოითხოვს კომპოზიტებისაგან შექმნილი სხვადასხვა სახის ენერგოტევადი ელემენტების ანალიზს, როგორც ასევე ახალი მიდგომების ძიებას, რომლებიც საშუალებას იძლევა გავლინოთ მბრუნავი დეფორმირებადი სხეულებით კინეტიკური ენერგიის დაგროვების საერთო კანონზომიერებები. (Kipiani, Korkia, Magradze, & Kikadze, 2022).

თანამედროვე კომპოზიტების სპეციფიკური თვისებები – არაერთგვაროვნება, ანიზოტროპია, არადრეკადობა – მოითხოვენ უფრო სპეციალიზებული თეორიების შექმნას, რომლებიც რთულ პირობებში გაითვალისწინებს კომპოზიტის რეალურ სტრუქტურას. ეს აუცილებელია, რადგან ბოჭკოვან-პლასტიკური მასალების behavior-ი, მაგალითად, შიდა სტრუქტურული თვისებებისა და მათი ურთიერთქმედების თვალსაზრისით, მნიშვნელოვნად განსხვავდება ჩვეულებრივი დრეკადი ანიზოტროპულ და რეოლოგიური მოდელებისგან. ამ გამოწვევების წინაშე მდგარი სირთულეები აშკარაა, რაც აჩვენებს, რომ კომპოზიტების მექანიკის კვლევა მხოლოდ კლასიკური თეორიების ჩარჩოებში ვერ შევა. ამიტომ, ამ მიმართულებით საჭირო ხდება ინჟინრული მიდგომა, რომელიც საშუალებას მისცემს სწორად შეისწავლოს კომპოზიტების თვისებები.

მოდელები, რომლებიც ამ საკითხებს გააზრებულად წარმოგვიდგენენ, უნდა გათვალისწინებდნენ თითოეული კომპონენტის თვისებების სიზუსტეს, მათი შეფუთვის მექანიზმებს და ერთმანეთთან ურთიერთქმედების სპეციფიკას. ამ კონტექსტში განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მივაქციოთ თამაზ ხმელიძის და გელა ყიფიანის მიერ შესრულებულ ნაშრომებს, რომლებიც ეხება დადასტურებული პლასტიკების სტრუქტურულ თეორიას, რომელთა შედეგებმა მნიშვნელოვანი გავლენა მოახდინა ამ სფეროს განვითარებაზე. (ყიფიანი, ხმელიძე, & ვერულაშვილი, არასიმეტრიული ფენოვანი კომპოზიტებისაგან შემდგარი ფირფიტების მექანიკა // საერთაშორისო სიმპოზიუმი სეისმომედეგობა და საინჟინრო სეისმოლოგია, 2019) (ყიფიანი, ხმელიძე, & ვერულაშვილი, კომპოზიტებისგან შემდგარი ფირფიტების მექანიკა // საერთაშორისო სიმპოზიუმი სეისმომედეგობა და საინჟინრო სეისმოლოგია, 2019) (Gurgenidze, Kipiani,

Badzgaradze, & Suramelashvili, 2021) (Chanturia, Kikadze, Chanturia, Buksianidze, & Iashvili, 2024).

რკინაბეტონის კონსტრუქციებში არმატურის დაცვა გარე გავლენისგან უზრუნველყოფილია ბეტონის დამცავი ფენით. დამცავი ფენა ასევე უზრუნველყოფს ბეტონთან გამაგრების ერთობლივ მუშაობას, მაღალი ტემპერატურისა და სხვა გავლენისგან დაცვას. დამცავი ფენის სისქის მინიჭებისას იკითხება კონსტრუქციების ტიპი და ზომები, სამუშაო პირობები, არმატურის დიამეტრი და დანიშნულება.

შესაძლებელია მზიდი ელემენტების ხანმედგობის აღდგენა ლითონის არმატურის გამოყენებით ცნობილი მეთოდებით.

ალტერნატიული გზების ძიება მზიდ რკ.ბეტონის კონსტრუქციებში ლითონის არმატურის შეცვლა კომპოზიტურით, რომელიც არ განიცდის კოროზიას და ამავდროულად აქვს მაღალი წინაღობა, არის გადაუდებელი კვლევის ამოცანა.

ცნობილია, რომ კომპოზიტური მასალა იწვევს კოროზიის შემცირებას და გარემოზე ზემოქმედების შემცირებას. ამავდროულად, ის უნდა იყოს წარმოებადი, ეკოლოგიურად სუფთა და არ გამოყოფდეს მავნე ნივთიერებებს, რომელიც აბინძურებს გარემოს.

ამჟამად მიმდინარეობს ინტენსიური კვლევები სამშენებლო კონსტრუქციებში ლითონის არმატურის ჩანაცვლების მიზნით სხვა მასალის მოსაძებნად.

მიმდინარეობს მუშაობა ლითონის არმატურის ჩანაცვლებაზე თანამედროვე კომპოზიტურ მასალებით. როგორც კომპოზიტი 21-ე საუკუნის საშენი მასალა.

ამ მიმართულებით მნიშვნელოვანი გარღვევა ბოლო წლებში იყო "ბაზალტის ტექნოლოგიის" აღმოჩენა, რამაც შესაძლებელი გახადა სამშენებლო მასალების ბაზის "განახლება" სამშენებლო კონსტრუქციების ახალი ტიპის არმატურებით.

განსაკუთრებით საინტერესოა ბაზალტის ბოჭკოსა და სინთეზურ ფისზე დაფუძნებული მაღალი სიმტკიცის არალითონური არმატურა.

თავი II.

ქართული ბაზალტპლასტიკური არმატურის ბეტონთან შეჭიდულობა

ბაზალტპლასტიკური არმატურა (ბაზალტკომპოზიტი) საქართველოში საკმაოდ აქტუალური თემაა, განსაკუთრებით სამშენებლო ინდუსტრიაში. მისი გამყენება ბეტონის კონსტრუქციებში ცხადყოფს რამდენიმე მნიშვნელოვან უპირატესობას:

- **შეჭიდულობა ბეტონთან:** ბაზალტპლასტიკური არმატურის ბეტონთან შეჭიდულობა ბევრი ფაქტორისგან არის დამოკიდებული, მათ შორის: 1) გარე ზედაპირის დამუშავება: არმატურის ზედაპირის განსაკუთრებული დამუშავება (მაგ. მექანიკური ან ქიმიური) ხელს უწყობს უკეთეს შეჭიდულობას. 2) ბეტონის შემადგენლობა: ბეტონის ტიპი და მარცვლეულის სტრუქტურა ასევე გავლენას ახდენს შეჭიდულობაზე.
- **მექანიკური თვისებები:** ბაზალტპლასტიკური არმატურა გამოირჩევა მაღალი სიმტკიცით და მექანიკური თვისებებით, რაც მას იდეალურ არჩევანს ხდის მაღალი დატვირთვის პირობებში. ბაზალტპლასტიკური არმატურა მდგრადია ბევრი აგრესიული ქიმიური გარემოს მიმართ.

მიუხედავად იმისა, რომ ბაზალტპლასტიკური არმატურის გამოყენება საქართველოში ჯერ კიდევ სიახლეა, მრავალი კვლევა და ექსპერიმენტი უკვე მიმდინარეობს მისი ტექნოლოგიური შესაძლებლობების შესწავლაზე და დასტურებზე.

თუმცა, დღემდე, არსებითად არ არსებობს სამშენებლო ინდუსტრიაში მისი გამოყენების ტექნოლოგიები და კონკრეტული მონაცემები ბაზალტპლასტიკური არმატურით ბეტონის კონსტრუქციების დაარმირების შესახებ. არ არსებობს სრული ინფორმაცია ბეტონთან მისი შეჭიდულობის და მისი დამოკიდებულების შესახებ: ბაზალტპლასტიკური არმატურის გარე ზედაპირის სხვადასხვა გზით მუშავდება ბეტონთან მისი შეჭიდულობის გაზრდის მიზნით.

ბაზალტპლასტიკური არმატურის ელასტიურობის შედარებით მაღალი მოდული წინასწარ განსაზღვრავს მისი გამოყენების შესაძლებლობას როგორც წინასწარ დამაბული კონსტრუქციებისთვის, ასევე სხვადასხვა სახის სარემონტო სამუშაოებისთვის, რკინაბეტონის კონსტრუქციების გასამაგრებლად, რომლებმაც მთლიანად ან ნაწილობრივ დაკარგეს მზიდუნარიანობა ექსპლუატაციის დროს.

ბაზალტპლასტიკური არმატურის მნიშვნელოვანი უპირატესობაა მისი კოროზიის წინააღმდეგობა, თითქმის ყველა ტიპის აგრესიულ ზემოქმედებასთან მიმართებაში. ბაზალტის ბოჭკოებისგან გამაგრების შექმნა ახალი მიმართულებაა მზიდი კონსტრუქციების ტექნოლოგიისა და დაპროექტირების სფეროში.

მოგეხსენებათ, ლითონის არმატურას არ აქვს სრული შეჭიდულობა ბეტონთან მთელ კონტაქტურ ზედაპირზე. გარდა ამისა, ბეტონის ნარევისა და წყლის ტუტე გარემოს მოქმედების გამო, შერჩევითი კოროზიის პროცესები იწყება იმ მომენტიდან, როდესაც ბეტონი დაუკავშირდება ლითონის ღეროს. ეს არის ერთ-ერთი მთავარი ფაქტორი, რომელიც უარყოფითად მოქმედებს რკინაბეტონის კონსტრუქციების სიმტკიცეზე.

ბოლო წლებში, კომპოზიტური არმატურის ღეროების შესწავლასთან, შექმნათან და სამრეწველო დანერგვასთან ერთად, მსგავსი სამუშაოები ჩატარდა ბაზალტპლასტიკური არმატურის შესაქმნელად, რომელიც თავისი თვისებებით არა მხოლოდ არ ჩამოუვარდება მინაბოჭკოვან არმატურას, არამედ აჭარბებს კიდევ მათ. , და არის ყველაზე იაფი ყველა ტიპის ჩამოთვლილ ბოჭკოებს შორის ღირებულების თვალსაზრისით. ბაზალტპლასტიკური არმატურის შექმნისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციებში მისი გამოყენების სამუშაოები პერსპექტიულია. უწყვეტი ბაზალტის ბოჭკოს მოსაპოვებლად ნედლეულის მარაგი პრაქტიკულად შეუზღუდავია, ხოლო თავად ნედლეული შედარებით იაფია.

ბაზალტის არმატურის უპირატესობები:

- არ ექვემდებარება კოროზიას, ცოტა რამ ცვლის მის მექანიკურ თვისებებს მჟავების, მარილების და ტუტეების გავლენის ქვეშ;
- არის დიელექტრიკული, რადიოგამჭვირვალე, მაგნიტო-შინაგანი (ელექტრომაგნიტური ველების გავლენის ქვეშ სიძლიერის თვისებების ცვლილება გამორიცხულია);

- აქვს ელასტიურობის მაღალი მოდული ფარდობითი დრეკადობის მცირე კოეფიციენტით, მაღალი გამძლეობით დატვირთვების მიმართ;
- აქვს შესანიშნავი რეოლოგიური მახასიათებლები;
- არ კარგავს თვისებებს ულტრა დაბალი ტემპერატურის გავლენის ქვეშ;
- ბაზალტპლასტიკური არმატურის თერმული გაფართოების კოეფიციენტი (CTE) შეესაბამება ბეტონის CTE-ს, რომელიც გამორიცხავს ბზარებს ბეტონის დამცავ ფენაში ტემპერატურის ციკლების გავლენის ქვეშ;
- აქვს მაღალი სიმტკიცე გაჭიმვაზე.

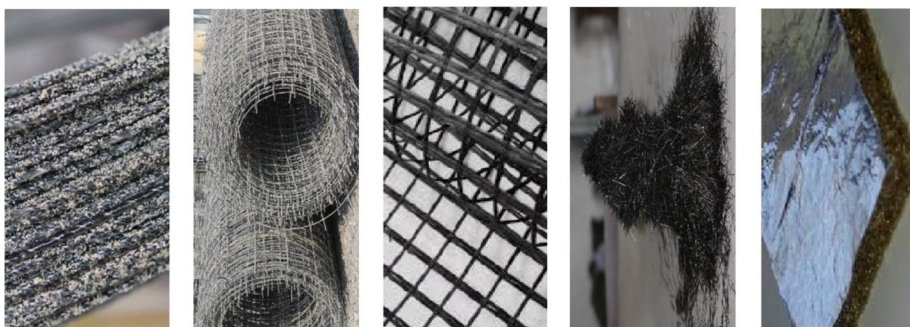
კომპოზიტური პოლიმერული არმატურა (კპა) წარმოადგენს კომპოზიტურ მასალას, რომელიც შედგება შემკვრელისა (სინთეზური პოლიმერი) და მარმირებლისგან (მაფისებრი ბოჭკოები). ფოლადის არმატურის კომპოზიტურით შეცვლის იდეა გასული საუკუნის 50-იან წლებში გაჩნდა, რასაც განაპირობებდა შემდეგი მიზეზები:

- მასობრივად დაიწყო გლობალური მშენებლობა ნაგებობებისა, რომლებსაც მუშაობა უხდებოდათ აგრესიულ გარემოში;
- დაიწყო რთული მაღალტექნოლოგიური სამშენებლო პროექტების დამუშავება, რომლებიც მოითხოვდნენ ნაგებობის მაღალ სიმტკიცესა და ერთდროულად სიმსუბუქეს;
- მსოფლიო ბაზარზე ფოლადზე მოთხოვნილებისა და ფასის მკვეთრმა გაზრდამ (არსებული რკინის მადნების გაღარიბების გამო) და ფოლადისა და სხვა ლითონების (მალეგირებული ელემენტების) დეფიციტმა, გამოიწვია სხვა არალითონური ალტერნატიული მასალების შექმნის აუცილებლობა.

კომპოზიტური არმატურის საფუძველია პოლიეთერის ან ეპოქსიდის ფისის მატრიცა დადარმირებული მინის, ბაზალტის, ნახშირბადის ან არამიდის ბოჭკოებით. კომპოზიტური მასალა მიკრომასშტაბით არაერთგვაროვანია, ხოლო მაკრომასშტაბით – ერთგვაროვანი. მასალის თვისებას განსაზღვრავს შემადგენელი კომპონენტები. ბოჭკოები და მატრიცა. ტიპური მრავალშრიანი კპა შედგება რამდენიმე მილიონი წვრილი მაფისებრი ბოჭკოსგან. პოლიმერული მატრიცა (ფისი) იცავს ბოჭკოებს მექანიკური დაზიანებისაგან, უზრუნველყოფს თანაბრობას და

დატვირთვებს ანაწილებს კომპოზიტის ცალკეულ ბოჭკოებს შორის. კომპოზიტებში გამოყენებული ბოჭკოები იტანენ ფოლადზე მეტ დაძაბულობას და პრაქტიკულად რღვევამდე მუშაობენ, როგორც იდეალურად დრეკადი მასალა (ემორჩილება ჰუკის კანონს). (Amuthakkannan, Manikandan, & Uthayakumar, 2014) (Antonov, და სხვ., 2016) (Ary Subagia, Kim, Tijing, Kim, & Shon, 2014) (Cech, Palesch, & Lukes, 2013) (Chen, Zhang, Huo, & Wu, 2020) (Chen & Huang, 2021) (Dhand, Mittal, Rhee, Park, & Hui, 2015) (Pareek, Tiwari, Verma, & Saha, 2017)

თანამედროვე სამშენებლო სივრცეში კომპოზიტური არმატურის ყველაზე მეტად გავრცელებული სახეობებია მინაკომპოზიტური (მინაპლასტიკი), ბაზალტკომპოზიტური (ბაზალტპლასტიკური), ნახშირბადკომპოზიტური (ნახშირბადპლასტიკი), არამოდკომპოზიტური (არამიდპლასტიკი) და კომბინირებული არმატურები. ბაზალტკომპოზიტური არმატურის (სურ. 1-2) წარმოება 10 წელზე მეტია წარმატებით მიმდინარეობს საქართველოში (ქ. რუსთავი, კომპანია „ბაზალტ ფაიბერსი“) და დამზადებული პროდუქცია ძირითადად მიეწოდება დასავლეთ ევროპის ქვეყნებს. გამოშვებული პროდუქციის ნომენკლატურაა: არმატურა დიამეტრით 4-28 მმ, არმატურის ბადე, დაჭრილი ბოჭკო, გეოგრიდი, ლენტი, ქეჩა.



სურ. 1. ბაზალტით დამზადებული პროდუქცია

არმატურის მიღების ტექნოლოგიური პროცესი ავტომატიზებულია, მიმდინარეობს მინიმალური რაოდენობის ადამიანების მონაწილეობით და მოიცავს შემდეგ ეტაპებს:

1. ნედლეულის მომზადება. ამ ეტაპზე ხდება ბაზალტის ქვების გადნობა და შემდეგ მისი გამოწელვა ძაფებად დიამეტრით 10-20 მიკრონი. მიღებულ ძაფებს ამუშავებენ ზეთში (პოლიეთერული, ეპოქსიდური,

ფენოლოფორმალდეჰიდური, თერმოპლასტიკური და სხვ.) და შეახვევენ შედარებით მსხვილ წნულად, რომელსაც როვინგი ეწოდება;

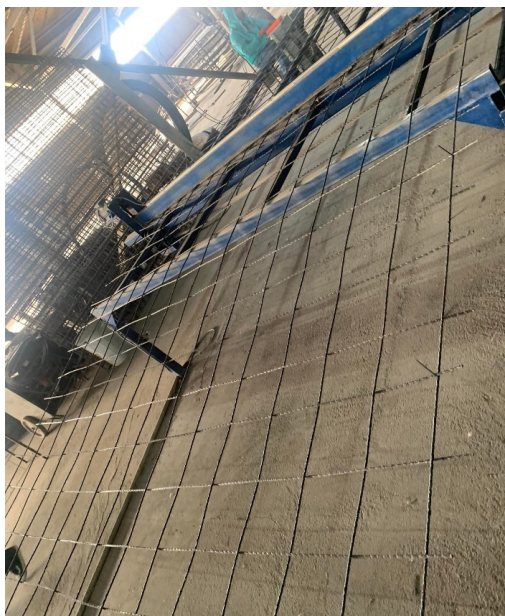
2. სპეციალური მექანიზმის მეშვეობით, რომელსაც შეუძლია ერთდროულად როვინგის 60-მდე ძაფის მიწოდება, ბაზალტოჭკოები მიეწოდება დაჭიმვის მექანიზმს;
3. დაჭიმვის შემდეგ, გარკვეული წესრიგით განლაგებული ძაფები ექვემდებარება თერმულ დამუშავებას ცხელი ჰაერით, ტენის, ზეთისა და სხვადასხვა ჭუჭყის მოსაცილებლად;
4. გასუფთავებული როვინგი ჩაიძირება ცხელი ზეთის აბაზანაში საფუძვლიანი გაჟღენთვისათვის, საიდანაც ძაფი მიემართება ფილერებში ღეროს საჭირო დიამეტრის მისაღებად; დაპროფილებული ღეროს მისაღებად, მასზე სპირალურად ახვევენ საჭირო დიამეტრის როვინგის წნულს;
5. ფორმირებული ღერო თავსდება ღუმელში და მიმდინარეობს შემკვრელი ნივთიერების პოლიმერიზაცია;
6. მზა არმატურა ცივდება ჩვეულებრივი გამდინარე წყლით;
7. დიამეტრის მიხედვით მზა პროდუქციას ახვევენ დოლზე მორგებად ან ჭრიან საჭირო სიგრძეზე



სურ. 2. ბაზალტის გადამუშავების პროცესი



სურ. 3. ბაზალტის არმატურის დამზადების პროცესი



სურ. 4. ბაზალტის არმატურის დამზადების პროცესი



სურ. 5. ბაზალტის არმატურის დამზადების პროცესი



სურ. 6. ბაზალტის არმატურის დამზადების პროცესი



სურ. 9. ბაზალტის არმატურის
დამზადების პროცესი



სურ. 7. ბაზალტის არმატურის
დამზადების პროცესი



სურ. 8. ბაზალტის არმატურის
დამზადების პროცესი



სურ. 11. ბაზალტის არმატურის
დამზადების პროცესი



სურ. 10. ბაზალტის არმატურის
დამზადების პროცესი



სურ. 12. ბაზალტის არმატურის დამზადების პროცესი



სურ. 13. ბაზალტის არმატურის დამზადების პროცესი



სურ. 14. ქართული ბაზალტპლასტიკური არმატურა

ამჟამად შეინიშნება სამშენებლო კონსტრუქციების მომხმარებელი ფორმების ამაღლებული ინტერესი არა მარტო მიწის არამედ ბაზალტის ბოჭკოების საფუძველზე დამზადებული კომპოზიტური მასალების მიმართ, რაზეც მეტყველებს ბოლო 20 წლის განმავლობაში პლასტიკური არმატურის წარმოებაზე მიღებული სტანდარტები და რეკომენდაციები: CAN/CSA-S6-06 (1996); CAN/CSA-S806-02 (კანადა); 440.1R-06; 440.2R-08; 440.3R-04 (აშშ); Recommendations for design and construction of concrete structures using continuous fiber reinforcing materials, Research committee on continuous fiber reinforcing materials, Tokyo, 1997 (იაპონია); CNR-DT 2003/2006 (იტალია); FIP task group 9.3 (ევროპა); JG/T 406-2013; JT/T 776.4-2010 (ჩინეთი);

ბაზალტის ქანები, რომელთაც გააჩნიათ ქიმიური და ფიზიკური ბუნებრივად მაღალი მედეგობა, წარმოადგენს ნედლეულს, რომელთა პირველადი დნობა, ჰომოგენიზაცია, შემადგენლობა, გამდიდრება განხორციელებულია ბუნებრივი ვულკანური პროცესებით. ბაზალტების კაჟმის შერჩევის და პირველადი დნობის ძირითადი ენერგოდანახარჯები შესრულებულია ბუნების მიერ.

მიუხედავად დედამიწის ქერქში ბაზალტოიდების ფართოდ გავრცელებისა (დედამიწის ქერქში ბაზალტის მასური წილი აღემატება 30 %-ს), ყველა საბადო არ გამოიყენება უწყვეტი ბოჭკოს ფორმირებისათვის. დიდი მნიშვნელობა აქვს დედამიწის ქერქში ბაზალტური ქანების განლაგების სიღრმეს, საბადოს გეოლოგიურ მახასიათებლებს, ბაზალტების დნობის და ნადნობთა პარამეტრებს, პირველადი ბოჭკოს გამოწელების უნარს, ბოჭკოს ხარისხს და სხვა.

საბადოს ადგილმდებარეობის მიხედვით საგრძნობლად იცვლება ბაზალტების ქიმიური შემადგენლობა და ფიზიკო-მექანიკური თვისებები. სიმტკიცის, ქიმიური და თერმული მდგრადობის, თბო და ელექტროსაიზოლაციო თვისებების მოთხოვნადი მახასიათებლების მქონე ბოჭკოების წარმოებისათვის საჭიროა შესაბამისი ქიმიური შემადგენლობის და ფორმირებადობის უნარის მქონე ბაზალტის ქანების გამოყენება.

ადგილმდებარეობის მიხედვითვე იცვლება აგრეთვე ქანების ტექსტურა. ძირითადად გვხვდება მკვრივი, მასიური, წვრილფოროვანი და მსხვილფოროვანი ბაზალტები. შედგენილობისა და ტექსტურის მიხედვით ძირითადად გვხვდება

რუხი, მუქი რუხი, მოლურჯო და შავი ფერის ბაზალტები, რიგ შემთხვევაში სხვადასხვა ფერის ჩანარებით. სხვადასხვა საბადოს ბაზალტების ფიზიკო-მექანიკური თვისებებიც მკვეთრად განსხვავებულია და დამოკიდებულია როგორც მათ ქიმიურ და სტრუქტურულ შემადგენლობაზე, ასევე ქანების ფორიანობაზე. (შილაკაძე, 2023).

წარმოშობის მიხედვით ბაზალტის ქანების ტექნიკური მახასიათებლები იცვლებიან შემდეგ ფარგლებში:

- სიმკვრივე 2520 - 2970 კგ/მ³;
- ფოროვანობის კოეფიციენტი 0,6 - 19%;
- წყალშთანთქმა 0,15 - 10,2%;
- სიმტკიცე კუმშვაზე 60 - 400 მპა;
- დნობის ტემპერატურა 1100 - 1450 0 C;
- ხვედრითი სითბოტევადობა 0,5 - 2,1 ჯოული/კგ*K;
- იუნგის მოდული 6,2 - 11,3*10⁴ მპა;
- წანაცვლების მოდული 2,7 - 3,46*10² მპა;
- თბოგადაცემის კოეფიციენტი

ბაზალტისადმი ინტერესს განაპირობებს სამი ძირითადი მიზეზი. პირველი – სიმტკიცის, სიხისტის, მედეგობით ტემპერატურის ცვლილებებისა და აგრესიული გარემოს მიმართ, ბაზალტპლასტიკის მახასიათებლები აჭარბებს მინაპლასტიკისას; მეორე – ფასი; მესამე – სამრეწველო დანიშნულების ბაზალტის საბადოების მძლავრი ბაზის არსებობა საქართველოში.

ბაზალტი ფართოდ გავრცელებული კაინოტიპური (სადი), ბოჭკოვანი სტრუქტურის, შავი (მონაცისფრო, მომწვანო) ფერის ფუძეველკანური ქანია. იგი მაღალ ტემპერატურაზე (1150-1350°C) ადვილად დნება და მისგან მიიღება ბაზალტის ბოჭკო – ბაზალტის ნაკეთობათა ძირითადი საფუძველი. ბაზალტის ქვის ქიმიური შედგენილობა (კომპანია „ბაზალტ-ფაიბერსის“ მონაცემების მიხედვით სასტ 211398245-001-2016) მოცემულია ცხრილ 1-ში.

ცხრილი 1 ქართული ბაზალტკომპოზიტური არმატურის ქიმიური შედგენილობა

№	ბაზალტში შემავალი ქანგეულები	შემცველობა, %
1	SiO ₂	48-52
2	TiO ₂	0.2-2
3	Al ₂ O ₃	14-18
4	Fe ₂ O ₃	7-11
5	MnO	3.5-8.5
6	MgO	8-11
7	CaO	2.5-6
8	Na ₂ O	2.5-6
9	K ₂ O	>0.2
10	SO ₃	48-52

ჩატარებული თეორიული და პრაქტიკული კვლევები გვაჩვენებს, რომ კომპოზიტური არმატურები გარკვეულ სეგმენტს დაიკავებენ დაარმირებული სამშენებლო კონსტრუქციების სივრცეში. მით უმეტეს, რომ აშშ-ში National Cooperative Highway Research Program-ის (NCHRP) დაფინანსებით, ფორმა Transportation research Board-ის დასკვნის საფუძველზე, შესაძლებელია რკინაბეტონის კოჭების დამზადება ბაზალტკომპოზიტური არმატურით იმ პირობით, რომ გაიზარდოს არმატურასა და ბეტონს შორის შეჭიდულობა, რაც გაზრდის კოჭის მზიდუნარიანობას. (შილაკაძე, 2023) (აბესაძე, ბოჭკოვანი კომპოზიტური მასალების თვისებების, 2019) (ლოსაბერიძე, ჯანგიძე, & კიკაძე, 2021) (აბესაძე & კელიხაშვილი, კომპოზიტური მასალის რეოლოგიური ფუნქციების, 2023) (აბესაძე, ბოჭკოვანი კომპოზიტური მასალების თვისებების, 2019) (Abesadze & Kipiani, Engineering education in Georgia and its main tasks in field of mechanics, 2019) (Abesadze, Kipiani, & Tabatadze, ANALYSIS OF THE ASSEMBLED DOME STRUCTURES WITH CONNECTED IN THE SECTIONS ELEMENTS., 2019) (Greco, Maffezzoli, Buccoliero, Caretto, & Cornacchia, 2013) (Jia, და სხვ., 2020) (Gutnikov, Manylov, Lipatov, Lazoryak, & Pokholok, 2013) (Shuni & Xiaodong, 2013)

(Wei, Cao, & Song, Tensile behavior contrast of basalt and glass fibers after chemical treatment, 2010) (Zhang, 2012) (Wu, Chi, Wu, & Lee, 2014) (Wu, Wang, Wu, Dong, & Zhang, 2014) (Wei, Cao, & Song, Tensile behavior contrast of basalt and glass fibers after chemical treatment, 2010) (Wei, Cao, & Song, Degradation of basalt fibre and glass fibre/epoxy resin composites in seawater, 2011) (Wang, Ding, & Randl, 2021) (Sinica, Sezeman, Mikulskis, Kligys, & Cesnauskas, 2014) (Abesadze, Kipiani, & Tabatadze, ANALYSIS OF THE ASSEMBLED DOME STRUCTURES WITH CONNECTED IN THE SECTIONS ELEMENTS., 2019) (Adesina, 2021).

როგორც შესავალ ნაწილში იყო აღნიშნული, საქართველოში მუშაობს ბაზალტკომპოზიტური ნაკეთობების დამამზადებელი მძლავრი საწარმო, რომელიც სხვა პროდუქციასთან ერთად აწარმოებს ბაზალტკომპოზიტურ არმატურას, რომლის ფართოდ გამოყენებას საქართველოში ხელს უშლის სრულყოფილი შესაბამისი ქართული სტანდარტის არარსებობა. ამ ხარვეზის გამოსასწორებლად საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტისა და რესპუბლიკის ჩესტოხოვოს ტექნოლოგიური უნივერსიტეტის პროფესორთა ჯგუფი, საქართველოს ქ. რუსთავის კომპანია „ბაზალტ-ფაიბერსის“ თანამშრომლებთან, ასევე საქართველოს ეკონომიკისა და მდგრადი განვითარების სამინისტროს ეკონომიკური პოლიტიკის დეპარტამენტთან და საქართველოს სტანდარტებისა და მეტროლოგიის ეროვნული სააგენტოსთან ერთად მუშაობს ქართული ბაზალტის კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის სტანდარტის შექმნაზე. სტანდარტი მუშავდება ძირითადი ნორმატიული დებულებების გათვალისწინებით, რომელიც მოცემულია საერთაშორისო სტანდარტის გამოცდის მეთოდურ ნაწილში. (Sarasini, და სხვ., 2014) (Shuni & Xiaodong, 2013) (García, Escamilla, & García, 2013).

სტანდარტი ნაკეთობაზე (product standard) წარმოადგენს დოკუმენტების ერთობლიობას, რომელიც ითვალისწინებს კონკრეტული ნაკეთობის ან ნაკეთობათა ჯგუფის უსაფრთხოების უზრუნველყოფისა და საექსპლუატაციო მახასიათებლების, პროცესის (პროცესების) ან მომსახურეობების (მომსახურების) ყველა აუცილებელ ასპექტებს და რომელიც მოიცავს ორი ან მეტი ტექნიკური კომიტეტის ან ქვეკომიტეტის მოქმედების სფეროს, დაყრდნობილს, რამდენადაც ეს შესაძლებელია, ფუძემდებლურ და ნაკეთობათა ჯგუფის სტანდარტებზე.

შესამუშავებელი სტანდარტი აყალიბებს საერთო ტექნიკურ პირობებს და ვრცელდება პერიოდული პროფილის კომპოზიტურ პოლიმერულ არმატურაზე (კპა), რომელიც გამოიყენება სამშენებლო კონსტრუქციებისა და ელემენტების დასადაარმირებლად, რომელთაც ექსპლუატაცია უზღუდავად სხვადასხვა ხარისხის აგრესიულ გარემოში და აკმაყოფილებენ ცეცხლმდეგობისა და სახანძრო უსაფრთხოების მოთხოვნებს. სტანდარტი არ ვრცელდება კომპოზიტურ პოლიმერულ გლუვზედაპირიან და მოქნილ ღეროებზე.

სტანდარტის მოთხოვნების შესაბამისად დამუშავდა კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის გამოცდის შემდეგი მეთოდები:

- METHOD FOR DETERMINING NOMINAL DIAMETER
- AXIAL TENSILE TEST METHOD
- COMPRESSION TEST METHOD
- CROSS-SECTION TEST METHOD
- Determination of the strength of adhesion to concrete
- METHOD FOR ACCELERATED DETERMINATION OF ALKALI RESISTANCE
- METHOD FOR DETERMINING THE MAXIMUM OPERATING TEMPERATURE
- Passport form

კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის (კპა) ნომინალური დიამეტრის განსაზღვრის მეთოდი დაფუძნებულია საკონტროლო ნაკეთობიდან ამოჭრილი მოცემული სიგრძის ნიმუშის მოცულობის განსაზღვრასთან ჰიდროსტატიკური აწონვის გზით. ნიმუშების შერჩევის შემდეგ (ნიმუშების შერჩევა გამოცდების ყველა მეთოდისათვის ხდება შემთხვევითი შერჩევის მეთოდით საკონტროლო პარტიიდან და აუცილებლად თან ახლავს ნიმუშების შერჩევის აქტი), საცდელი ნიმუშები სტანდარტის შესაბამისად, ექვემდებარებიან დაყოვნებას სტანდარტულ ატმოსფერულ პირობებში. არატროპიკული ქვეყნებისთვის იგი შეადგენს:

- სტანდარტული ატმოსფეროს აღნიშვნა – 23/50;
- ჰაერის ტემპერატურა – 23°C. დასაშვები გადახრა I კლასის ატმოსფეროსთვის – ± 1 ; II კლასის ატმოსფეროსთვის – ± 2 ;

- ფარდობითი ტენიანობა – 50%. დასაშვები გადახრა I კლასის ატმოსფეროსთვის – ± 5 ; II კლასის ატმოსფეროსთვის – ± 10 .

4-32 მმ დიამეტრის კომპოზიტური არმატურისათვის ნიმუშების კონდიციონირების პერიოდი მიიღება:

- 23/50 ატმოსფეროსათვის >88 სთ;
- ტემპერატურისათვის $18-28^{\circ}\text{C} >4$ სთ.

პლასტმასის ნიმუშებისთვის, რომლებიც წონასწორულ ტენიანობასა და ტემპერატურას აღწევენ ძალიან სწრაფად ან ძალიან ნელა, კონდიციონირების პერიოდი შესაძლებელია განისაზღვროს ISO 291:2008 (ან GOST 12423-2013) სტანდარტის „ა“ დანართის მიხედვით. ნიმუშების გამოცდები ტარდება სტანდარტის შესაბამის (GOST 15150, 3.3.15) ნორმალურ კლიმატურ პირობებში:

- ტემპერატურა – პლუს $25 \pm 10^{\circ}\text{C}$;
- ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა – 45-80%;
- ატმოსფერული წნევა – 84,0-106,7 კპა (630-800 მმ ვწყ. სვ.).

როდესაც შეუძლებელია გამოცდებისთვის უზრუნველყოთ ნორმალური კლიმატური პირობები, დასაშვებია გამოცდების ჩატარება ზომიერი და ცივი რაიონების

გაერთიანებულ პირობებში, რომელიც ითვალისწინებს გამოცდების ჩატარებას დახურულ სათავსში გათბობითა და ხელოვნური ვენტილაციით (ტემპერატურა $1-35^{\circ}\text{C}$, ზღვრული ტემპერატურა 40°C , ფარდობითი ტენიანობა 60% 20°C ტემპერატურაზე). ამ შემთხვევაში შედეგები უნდა გადაანგარიშდეს ნორმალურ კლიმატურ პირობებზე. გადაანგარიშების მეთოდუკას ადგენს სტანდარტი, ტექნიკური პირობები ან სხვა ნორმატიული დოკუმენტი ნაკეთობაზე ან გამოცდის პროგრამაზე. გამოცდების ჩატარებისას 30°C ტემპერატურის ზევით, ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა არ უნდა იყოს მეტი 70%.

გამოცდის შედეგები მუშავდება მათემატიკური სტატისტიკური მეთოდებით და დგება გამოცდის ოქმი გამოცდების ჩამტარებელი სპეციალისტების ხელმოწერებითა და მონაცემების ჩვენებით. (Lee, Nam, & Kim, 2017) (Li, Yang, & Jiao, 2020) (Pisciotta, Perevozchikov, Osovetsky, Menshikova, & Kazymov, 2018) (Raj, Kumar, Kumar, & Iyer, 2017).

ღერძულ გაჭიმვასა და კუმშვაზე გამოცდების ჩატარებისას ნიმუშების რაოდენობა უნდა შეესაბამებოდეს ცხრილი 2-ის მონაცემებს. ღეროს ბოლო (ბოლოები) თავსდება ფოლადის ქუროვებში, რომლის სიგრძე უნდა შეირჩეს პირობიდან, რომ ნიმუშის რღვევა (გაგლეჯა) მოხდეს ღეროს სამუშაო სიგრძის უბანზე ღეროს ცოცვადობის გარეშე ქუროში. ქუროს სიგრძე დამოკიდებულია გამოსაცდელი ღეროს დიამეტრზე და იცვლება ზღვრებში 300-500 მმ.

ცხრილი 2 ღერძული გაჭიმვისა და კუმშვაზე გამოცდის ნიმუშების შერჩვის ცხრილი

საკონტროლო მაჩვენებლები	გამოცდის სახეები			პარტიიდან ამორჩევის მოცულობა
	მიღება- ჩაბარება	პერიოდული	ტიპური	
გარეგნული სახე	+	–	+	არანაკლები 10%
გეომეტრიული ზომები: – გარე დიამეტრი d_g – ნომინალური დიამეტრი d – სიგრძე l	 + + +	 – – –	 + + +	არანაკლები 3 ც, მიღება-ჩაბარების გამოცდებისას; არანაკლები 6 ც პერიოდული და ტიპური გამოცდებისას
სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვაზე σ_g	+	–	+	
დრეკადობის მოდული გაჭიმვისას E_f	+	–	+	
სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე σ_s	–	+	+	
სიმტკიცის ზღვარი განივ ჭრაზე $\tau_{\text{კრ}}$	–	+	+	
სიმტკიცის ზღვარი ბეტონთან შეჭიდულობის τ_f	–	+	+	
სიმტკიცის ზღვრის კლება გაჭიმვაზე ტუტე გარემოში დაყოვნების შემდეგ $\Delta\sigma_g$	–	+	+	

სიმტკიცის ზღვარი ბეტონთან შეჭიდულობის ტუტე გარემოში დაყოვნების შემდეგ τ_f	–	+	+	
ზღვრული საექსპლუატაციო ტემპერატურა T_p	–	+	+	

ჭრაზე გამოცდის მეთოდი დაფუძნებულია ნიმუშის დატვირთვაზე გადამჭრელი ძალით, რომელიც პირდაპირაა მოდებული ღეროზე და ახდენს მის ორმაგ ჭრას. ჭრა ხდება ღეროს უწყვეტი ბოჭკოების მიმართულების მართობულად სტანდარტის მოთხოვნების შესაბამისად დამზადებულ სპეციალურ საჭრელ დანადგარზე ორი საჭრელი დანით.

ბეტონთან შეჭიდულობის სიმტკიცის ზღვრის განსაზღვრის მეთოდი ადგენს მოთხოვნებს კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის გამოცდისათვის კპა-ის ბეტონთან შეჭიდულობის სიმტკიცის განსასაზღვრავად ბეტონის კუბიდან ღეროს ღერძული ამოგლეჯისას ან კოჭის გამოცდისას ღუნვაზე. კუბის ზომები დამოკიდებულია გამოსაცდელი არმატურის ღერის დიამეტრზე, ხოლო გამოსაცდელი ნიმუშის საერთო სიგრძე განისაზღვრება ღეროს ბეტონში ჩაანკერების პირობიდან და ქუროს კონსტრუქციით. ანალოგიური დანიშნულებით არმატურის ღეროს გამოცდები შესაძლებელია ჩატარდეს ღუნვად ბეტონის კოჭზეც.

ტუტეებთან მედეგობის განსაზღვრის დაჩქარებული მეთოდით განისაზღვრება კომპოზიტური არმატურის მედეგობა ტუტეების მიმართ. ტუტე გარემოს ზემოქმედების შემდეგ ხდება ღეროს გამოცდა გაჭიმვაზე ბეტონთან შეჭიდულობის სიმტკიცის ზღვრის განსაზღვრით. ექსპერიმენტის მიმდინარეობისას საკონტროლო პარამეტრებია - pH-ის დონე, ტუტიანი ხსნარის ტემპერატურა და დაყოვნების დრო.

ექსპლუატაციის ზღვრული ტემპერატურის განსაზღვრის მეთოდი თერმომექანიკური გამოცდების შედეგების მიხედვით ადგენს ტემპერატურის განსაზღვრის წესს კპა-ს დარბილების დასაწყისის.

პასპორტის ფორმა ივსება გამოსაცდელი კომპოზიტური არმატურის ყველა პარტიაზე და მასში შეიტანება გამოცდილი ნიმუშების ხარისხის ნორმირებული მახასიათებლები. (კიკამე, ყიფიანი, & ხმელიძე, ქართული ბაზალტის წარმოება და

ბაზალტპლასტიკური არმატურის ბეტონთან შეჭიდულობის კვლევა, 2023) (Khmelidze, Kikadze, & Rajczyk, A study of basalt-composite reinforcement of Georgian production and standard preparation, 2023) (Greco, Maffezzoli, Buccoliero, Caretto, & Cornacchia, 2013) (Shuni & Xiaodong, 2013)

ამჟამად გამოცემულია კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის ლაბორატორიული გამოცდების ჩასატარებელი რვავე მეთოდის შესაბამისი სტანდარტები ქართულ ენაზე. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მშენებლობის სასწავლო, სამეცნიერო, საექსპერტო საგამოცდო ლაბორატორიაში გამოყოფილია ფართობი ექსპერიმენტების ჩასატარებლად, სრულ მზადყოფნაშია ორი ჰიდრაულიკური წნეხი (ტარირებულია), დამზადებულია კომპოზიტური არმატურის განივ ჭრაზე გამოსაცდელი დანადგარი შემოტანილია კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის (სხვადასხვა დიამეტრის) სანიმუშო პარტიები. დაწყებულია ქართული ბაზალტკომპოზიტური არმატურის სახელმწიფო სტანდარტის მოსამზადებლად საჭირო ლაბორატორიული გამოცდები.

2023 წლის ივნისის თვეში სტუ-ს მშენებლობის სასწავლო, სამეცნიერო, საექსპერტო საგამოცდო ლაბორატორიაში ჩატარდა სხვადასხვა დიამეტრის ბაზალტპლასტიკური სტანდარტული ნიმუშების ლაბორატორიული გამოცდები სტანდარტის მოთხოვნების სრული დაცვით.

1.1 ნომინალური დიამეტრის განსაზღვრის მეთოდი

1.1.1 საერთო პირობები

კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის (კპა) ნომინალური დიამეტრის განსაზღვრის მეთოდი დაფუძნებულია საკონტროლო ნაკეთობიდან ამოჭრილი მოცემული სიგრძის ნიმუშის მოცულობის განსაზღვრასთან ჰიდროსტატიკური აწონვის გზით.

1.1.2 ნიმუშები

ნიმუშების შერჩევა ხდება შემთხვევითი შერჩევის მეთოდით კვა საკონტროლო პარტიიდან და აუცილებლად თან უნდა ახლდეს ნიმუშების შერჩევის აქტი, რომელშიც მითითებულია:

- დამამზადებელი საწარმოს დასახელება;
- პირობითი აღნიშვნა;
- ბოჭკოსა და შემკვრელი ნივთიერების ტიპი;
- დამზადების თარიღი;
- პარტიის ნომერი;
- ნიმუშების რაოდენობა და ზომები;
- მაჩვენებლები, რომლის საკონტროლოდ შეირჩა ნიმუშები;
- ნიმუშების შერჩევაზე პასუხისმგებელი პირის ხელმოწერა.

დაუშვებელია კვა გამოცდებისთვის შერჩეული ნიმუშების დეფორმაცია, გაცხელება, ულტრაიისფერი სხივების ან გარემოს სხვა სახის ზემოქმედება, რომლებსაც შეუძლიათ შეცვალონ მასალის თვისებები.

გამოცდებისათვის შერჩეული ნიმუშების რაოდენობა უნდა შეესაბამებოდეს ცხრ. 2-ის მონაცემებს.

გამოსაცდელი ნიმუშის სიგრძე l , მმ, განისაზღვრება ფორმულით:

$$l \geq l_{3\sigma}, \quad (1)$$

სადაც $l_{3\sigma}$ არის პერიოდული პროფილის არმატურის ნაშვერების ბიჯი, მმ.

საცდელი ნიმუშები, ISO 291:2008 (ან ГОСТ 12423-2013) სტანდარტის შესაბამისად, ექვემდებარებიან დაყოვნებას სტანდარტულ ატმოსფერულ პირობებში. არატროპიკული ქვეყნებისთვის იგი შეადგენს:

- სტანდარტული ატმოსფეროს აღნიშვნა – 23/50;
- ჰაერის ტემპერატურა – 23°C. დასაშვები გადახრა I კლასის ატმოსფეროსთვის – ± 1 ; II კლასის ატმოსფეროსთვის – ± 2 ;
- ფარდობითი ტენიანობა – 50%. დასაშვები გადახრა I კლასის ატმოსფეროსთვის – ± 5 ; II კლასის ატმოსფეროსთვის – ± 10 .

შენიშვნა: გარემოს ტემპერატურა და ფარდობითი ტენიანობა შეიძლება არ გაკონტროლდეს, თუ ისინი მნიშვნელოვან გავლენას არ ახდენენ გამოსაცდელი მასალის თვისებებზე.

ნიმუშების კონდიციონირების პერიოდი ზუსტდება კომპოზიტური პოლიმერის ნორმატიული ან ტექნიკური დოკუმენტის მიხედვით. თუ ასეთი არ არსებობს, მაშინ მიიღება შემდეგი პირობები:

- 23/50 ატმოსფეროსათვის >88 სთ;
- ტემპერატურისათვის 18-28°C >4 სთ.

აღნიშნული პირობები მისაღებია 4-32 მმ დიამეტრის კომპოზიტური არმა-ტურისათვის.

შენიშვნა: პლასტმასის ნიმუშებისთვის, რომლებიც წონასწორულ ტენიანობასა და ტემპერატურას აღწევენ ძალიან სწრაფად ან ძალიან ნელა, კონდიციონირების პერიოდი შესაძლებელია განისაზღვროს ISO 291:2008 (ან ГОСТ 12423-2013) სტანდარტის „ა“ დანართის მიხედვით.

1.1.3 აპარატურა და მასალები

გამოცდების ჩასატარებლად გამოიყენება შემდეგი აპარატურა და მასალები:

- ანალიზური სასწორი სიზუსტით არა ნაკლები მე-2 კლასისა;
- ტევადობა და აღჭურვილობა (სატაცი) ჰიდროსტატიკური აწონვისათვის;
- სტანდარტული შტანგენცირკული ISO 3599-76 დანაყოფის ფასით $\leq 0,1$ მმ.

1.1.4 გამოცდის ჩატარება

ნიმუშების გამოცდები უნდა ჩატარდეს სტანდარტის შესაბამის (ГОСТ 15150, 3.3.15) ნორმალურ კლიმატურ პირობებში:

- ტემპერატურა – პლუს $25 \pm 10^{\circ}\text{C}$;
- ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა – 45-80%;
- ატმოსფერული წნევა – 84,0-106,7 კპა (630-800 მმ ვწყ. სვ.),

თუ სტანდარტში ნაკეთობების სხვადასხვა ცალკეულ ჯგუფებზე არ არის მიღებული სხვა ზღვრები რომელიც გამომდინარეობს ნაკეთობის სპეციფიკიდან.

როდესაც შეუძლებელია გამოცდებისთვის უზრუნველყოთ ნორმალური კლიმატური პირობები, დასაშვებია გამოცდების ჩატარება ზომიერი და ცივი რაიონების

გაერთიანებულ პირობებში, რომელიც ითვალისწინებს გამოცდების ჩატარებას დახურულ სათავსში გათბობითა და ხელოვნური ვენტილაციით (ტემპერატურა 1-35°C, ზღვრული ტემპერატურა 40°C, ფარდობითი ტენიანობა 60% 20°C ტემპერატურაზე). ამ შემთხვევაში შედეგები უნდა გადაანგარიშდეს ნორმალურ კლიმატურ პირობებზე. გადაანგარიშების მეთოდის ადგენს სტანდარტი, ტექნიკური პირობები ან სხვა ნორმატიული დოკუმენტი ნაკეთობაზე ან გამოცდის პროგრამაზე. **შენიშვნა:** გამოცდების ჩატარებისას 30°C ტემპერატურის ზევით, ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა არ უნდა იყოს მეტი 70%.

თითოეული ნიმუშის სიგრძის გაზომვა ხდება სამჯერ ერთი გაზომვის შემდეგ ნიმუშის 120° კუთხით მობრუნებით. სიგრძის გაზომვის ცდომილება მიიღება <0,1 მმ. სამივე გაზომვის საშუალო არითმეტიკული მრგვალდება 0,1 მმ სიზუსტით.

ტევადობაში ჰიდროსტატიკური აწონვისათვის ასხამენ დისტილირებულ წყალს დაყოვნებულს ოთახის ტემპერატურაზე 2 სთ.

სატაცი ნიმუშის გარეშე იდება წყლიან ტევადობაში, განულდება და დარეგისტრირდება სასწორის მაჩვენებელი.

სატაცზე მაგრდება ნიმუში და ხდება m_1 წონის მაჩვენებლის ფიქსაცია, შემდეგ ნიმუში სატაცთანადა ჩაიდება წყალში და ხდება m_2 წონის მაჩვენებლის ფიქსაცია.

1.1.5 გამოცდის შედეგების დამუშავება

პერიოდული პროფილის არმატურის ღეროს ნომინალური d დიამეტრი, მმ, განისაზღვრება ფორმულით:

$$d = \sqrt{\frac{4(m_1 - m_2)}{\pi \cdot \rho \cdot \ell}}, \quad (2)$$

სადაც m_1 არის ნიმუშის მასა ჰაერზე, მგ;

m_2 – ნიმუშის მასა წყალში, მგ;

ρ – წყლის სიმკვრივე, მგ/მმ³ (მიიღება $\rho = 1$);

ℓ – ნიმუშის სიგრძე, მმ.

ნიმუშების გამოცდის შედეგები საშუალოდ გაანგარიშებებისათვის, განისაზღვრება ფარდობითი ცდომილებით არაუმეტეს 0,01 (1%).

გამოცდის შედეგები მუშავდება მატემატიკური სტატისტიკური მეთოდებით.

1.1.6 გამოცდის ოქმი

გამოცდის ოქმში შედის:

- ცნობები ნიმუშების შესახებ, მოყვანილი ნიმუშების შერჩევის აქტში;
- ორგანიზაციის დასახელება, რომელიც ატარებს გამოცდებს;
- გამოცდის ჩატარების თარიღი;
- ცნობები პირობების შესახებ, რომლის დროსაც ტარდება გამოცდები;
- გასაზომი მახასიათებლების მნიშვნელობა თითოეული ნიმუშისთვის;
- თითოეული ნიმუშის განსაზღვრილი მახასიათებლების მნიშვნელობები, მიღებული შედეგების დამუშავებით;
- საშუალო მნიშვნელობები, განსაზღვრული მახასიათებლების სტანდარტული გადახრები და სტატისტიკური დამუშავების შედეგები;
- გამოცდების ჩამტარებელი სპეციალისტების მონაცემები და ხელმოწერები.

შედეგები იხილეთ მე-3 თავში

1.2 განივ ჭრაზე გამოცდის მეთოდი

1.2.1 საერთო პირობები

წინამდებარე მეთოდი ადგენს მოთხოვნებს კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის (კპა) გამოცდისათვის ძაბვის ზღვრის განსაზღვრისათვის ჭრაზე ღეროს უწყვეტი ბოჭკოების მიმართულების მართობულად.

მეთოდი დაფუძნებულია ნიმუშის დატვირთვაზე გადამჭრელი ძალით, რომელიც პირდაპირაა მოდებული ღეროზე და ახდენს მის ორმაგ ჭრას.

1.2.2 ნიმუშები

ნიმუშების შერჩევა ხდება შემთხვევითი შერჩევის მეთოდით კვა საკონტროლო პარტიიდან და აუცილებლადთან უნდა ახლდეს ნიმუშების შერჩევის აქტი, რომელშიც მითითებულია:

- დამამზადებელი საწარმოს დასახელება;
- პირობითი აღნიშვნა;
- ბოჭკოსა და შემკვრელი ნივთიერების ტიპი;
- დამზადების თარიღი;
- პარტიის ნომერი;
- ნიმუშების რაოდენობა და ზომები;
- მაჩვენებლები, რომლის საკონტროლოდ შეირჩა ნიმუშები;
- ნიმუშების შერჩევაზე პასუხისმგებელი პირის ხელმოწერა.

დაუშვებელია კვა გამოცდებისთვის შერჩეული ნიმუშების დეფორმაცია, გაცხელება, ულტრაიისფერი სხივების ან გარემოს სხვა სახის ზემოქმედება, რომლებსაც შეუძლიათ შეცვალონ მასალის თვისებები.

გამოცდებისათვის შერჩეული ნიმუშების რაოდენობა უნდა შეესაბამებოდეს ცხრ. 2-ის მონაცემებს.

გამოსაცდელი ნიმუში წარმოადგენს ღეროს, რომლის სიგრძე განისაზღვრება გამოსაცდელი წნეხის კონსტრუქციით, მაგრამ არანაკლები 250 მმ-ისა ღეროს დიამეტრისგან დამოუკიდებლად.

საცდელი ნიმუშები, ISO 291:2008 (ან ГОСТ 12423-2013) სტანდარტის შესაბამისად, ექვემდებარებიან დაყოვნებას სტანდარტულ ატმოსფერულ პირობებში. არატროპიკული ქვეყნებისთვის იგი შეადგენს:

- სტანდარტული ატმოსფეროს აღნიშვნა – 23/50;
- ჰაერის ტემპერატურა – 23°C. დასაშვები გადახრა I კლასის ატმოსფეროსთვის – ± 1 ; II კლასის ატმოსფეროსთვის – ± 2 ;
- ფარდობითი ტენიანობა – 50%. დასაშვები გადახრა I კლასის ატმოსფეროსთვის – ± 5 ; II კლასის ატმოსფეროსთვის – ± 10 .

შენიშვნა: გარემოს ტემპერატურა და ფარდობითი ტენიანობა შეიძლება არ გაკონტროლდეს, თუ ისინი მნიშვნელოვან გავლენას არ ახდენენ გამოსაცდელი მასალის თვისებებზე.

ნიმუშების კონდიციონირების პერიოდი ზუსტდება კომპოზიტური პოლიმერის ნორმატიული ან ტექნიკური დოკუმენტის მიხედვით. თუ ასეთი არ არსებობს, მაშინ მიიღება შემდეგი პირობები:

- 23/50 ატმოსფეროსათვის >88 სთ;
- ტემპერატურისათვის 18-28°C >4 სთ.

აღნიშნული პირობები მისაღებია 4-32 მმ დიამეტრის კომპოზიტური არმატურისათვის.

შენიშვნა: პლასტმასის ნიმუშებისთვის, რომლებიც წონასწორულ ტენიანობასა და ტემპერატურას აღწევენ ძალიან სწრაფად ან ძალიან ნელა, კონდიციონირების პერიოდი შესაძლებელია განისაზღვროს ISO 291:2008 (ან ГОСТ 12423-2013) სტანდარტის „ა“ დანართის მიხედვით.

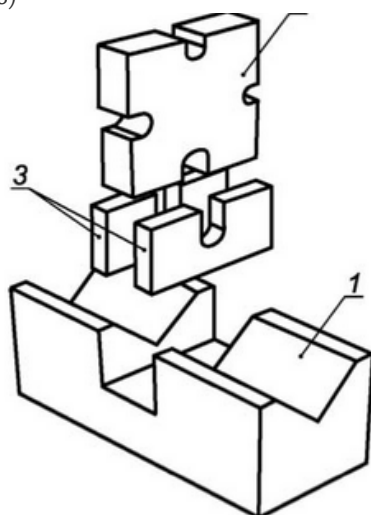
1.2.3 აპარატურა და მასალები

გამოსაცდელი მანქანა (ГОСТ 28840-90), უნდა უზრუნველყოფდეს:

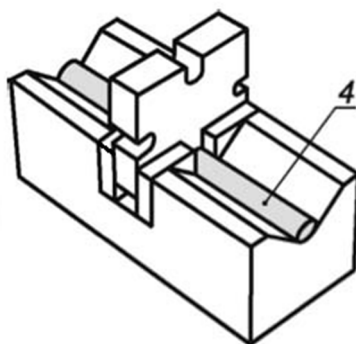
- დატვირთვას, რომელიც უფრო მეტია ნიმუშის სიმტკიცის საკონტროლო მაჩვენებელზე;
- დატვირთვის სიდიდისა და ტრავერსებს შორის მანძილის გაზომვას სიზუსტით არაუმეტეს 0,5%;
- აქტიური ტრავერსის გადაადგილების სიჩქარეს დიაპაზონში 5-დან 100 მმ/წთ.

მოწყობილობა გამოცდებისათვის შედგება ნიმუშის დამჭერისგან V-ებრი ჩაღრმავებით (სურ. 7), მართკუთხა ამონაჭერით ზედა და ქვედა დანების განსათავსებლად. დანებს აქვთ U-ებრი ამონაჭრები ან გამჭოლი ნახვრეტები (სურ. 8) ნიმუშის მოსათავსებლად დაკალიბრებული დიამეტრის შესაბამისად.

ა)



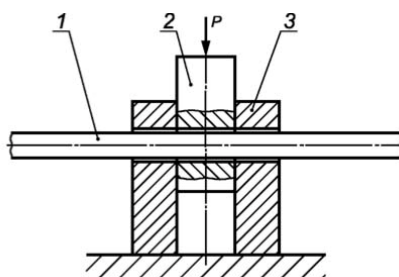
ბ)



სურ. 15. ნიმუშების ჭრაზე გამოსაცდელი მოწყობილობა

ა - ელემენტებად დაშლილი; ბ - აწყობილი (სამუშაო მდგომარეობაში).

1-დამჭერი; 2-ზედა დანა; 3-ქვედა დანები; 4-გამოსაცდელი ნიმუში



სურ. 16. მოწყობილობის სქემა გამჭოლი ნახევრებით:

1-გამოსაცდელი ნიმუში; 2-ზედა დანა; 3-ქვედა დანა

დრეჩოების ჯამი ერთ ზედა და ორ ქვედა დანას შორის არ უნდა იყოს ნაკლები 0,25 მმ.

1.2.4 გამოცდის ჩატარება

ნიმუშების გამოცდები უნდა ჩატარდეს სტანდარტის შესაბამის (ГОСТ 15150, 3.3.15) ნორმალურ კლიმატურ პირობებში:

- ტემპერატურა – პლუს $25 \pm 10^{\circ}\text{C}$;
- ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა – 45-80%;
- ატმოსფერული წნევა – 84,0-106,7 კპა (630-800 მმ ვწყ. სვ.),

თუ სტანდარტში ნაკეთობების სხვადასხვა ცალკეულ ჯგუფებზე არ არის მიღებული სხვა ზღვრები რომელიც გამომდინარეობს ნაკეთობის სპეციფიკიდან.

როდესაც შეუძლებელია გამოცდებისთვის უზრუნველყოთ ნორმალური კლიმატური პირობები, დასაშვებია გამოცდების ჩატარება ზომიერი და ცივი რაიონების გაერთიანებულ პირობებში, რომელიც ითვალისწინებს გამოცდების ჩატარებას დახურულ სათავსში გათბობითა და ხელოვნური ვენტილაციით (ტემპერატურა $1-35^{\circ}\text{C}$, ზრვრული ტემპერატურა 40°C , ფარდობითი ტენიანობა 60% 20°C ტემპერატურაზე). ამ შემთხვევაში შედეგები უნდა გადაანგარიშდეს ნორმალურ კლიმატურ პირობებზე. გადაანგარიშების მეთოდიკას ადგენს სტანდარტი, ტექნიკური პირობები ან სხვა ნორმატიული დოკუმენტი ნაკეთობაზე ან გამოცდის პროგრამაზე.

შენიშვნა: გამოცდების ჩატარებისას 30°C ტემპერატურის ზევით, ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა არ უნდა იყოს მეტი 70%.

ნიმუში თავსდება გამოსაცდელი სამარჯვის ცენტრში და თავსდება გამოსაცდელ მანქანაზე.

ზედა დანის ზედაპირი უნდა ეხებოდეს გამოსაცდელი მანქანის სატვირთავ მოწყობილობას ისე, რომ მათ შორის არ დარჩეს ღრეჩო.

გამოცდის რეჟიმში ჩაირთვება გამზომი კომპლექსი და გამოსაცდელი მანქანის ამძრავი. მხები ძაბვების ზრდის სიჩქარე უნდა შეადგენდეს 5-10 მმ/წთ. დატვირთვა უნდა მოედოს თანდათანობით დარტყმის დარეშე.

ნიმუში უნდა ჩაიჭრას დანის ნაწიბურებით ერთდროულად ორ სიბრტყეში.

დანების წახნაგების ერთმანეთთან ხახუნის შესამცირებლად მათი ზედაპირები დასაშვებია გაიხეხოს, გაპრიალდეს ან დაიფაროს თხელი საპოხი ფენით.

დატვირთვა უნდა გაგრძელდეს ნიმუშის რღვევამდე.

მრღვევი დატვირთვა განისაზღვრება სიზუსტით 0,001.

გამოცდის პროცესში ელექტრონული გადამწოდის მეშვეობით ღეროს ვერტიკალური გადაადგილება იზომება სიზუსტით 0,01 მმ.

1.2.5 შედეგების დამუშავება

ზღვრული ძაბვა განიც კრაზე τ_{sh} , მპა, განისაზღვრება ფორმულით:

$$\tau_{sh} = \frac{P}{2A}, \quad (3)$$

სადაც τ არის მრღვევი დატვირთვა, ნ;

A – ნიმუშის განივი კვეთის ფართობი, $A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$, მმ².

გამოცდის შედეგები მუშავდება მათემატიკური სტატისტიკური მეთოდებით.

1.2.6 გამოცდის ოქმი

გამოცდის ოქმში შედის:

- ცნობები ნიმუშების შესახებ, მოყვანილი ნიმუშების შერჩევის აქტში;
- ორგანიზაციის დასახელება, რომელიც ატარებს გამოცდებს;
- გამოცდის ჩატარების თარიღი;
- ცნობები პირობების შესახებ, რომლის დროსაც ტარდება გამოცდები;
- თითოეული ნიმუშის გეომეტრიული მახასიათებლები;
- გამოცდის შედეგები;
- გასაზომი მახასიათებლების მნიშვნელობები თითოეული ნიმუშისთვის;

- თითოეული ნიმუშის განსასაზღვრი მახასიათებლების მნიშვნელობები, მიღებული შედეგების დამუშავებით;
- განსაზღვრული მახასიათებლების საშუალო მნიშვნელობები და მიღებული მონაცემების სტატისტიკური დამუშავების შედეგები;
- გამოცდების ჩამტარებელი სპეციალისტების მონაცემები და ხელმოწერები.

შედეგები იხილეთ 3 თავში

1.3 ბაზალტკომპოზიტური არმატურის შეჭიდულობა ბეტონთან

1.3.1 ზოგადი მიმოხილვა

უკანასკნელ წლებში სამშენებლო ბაზარზე ფოლადის ტრადიციული არმატურის პარალელურად ყურადღებას იქცევს პოლიმერკომპოზიტური, კერძოდ, ბაზალტკომპოზიტური არმატურის გამოჩენა, რომელიც დამზადებულია ბაზალტის ბოჭკოებისგან ეპოქსიდურ (იშვიათად ვინილ-ეთერულ) შემკვრელზე (მატრიცაზე). ბკა მიღების ორი ძირითადი მეთოდი არსებობს: პულტუზია და ნიდლტრუზია. პულტრუზის მეთოდი ითვალისწინებს როვინგის (ბლანტი მასალის) გამოწელებას წრიული განივკვეთის ფილერიდან, გაჟღენთვას თხევადი შემკვრელით და ერთდროულად ფორმირებული ღეროს ზედაპირზე სპირალურად ჩალიჩის დახვევას ან კვარცის ქვიშის მოყრას; ნიდლტრუზია კი უფილერო მეთოდია, რომლის დროს მრგვალი ღეროს ფორმირება ხდება კონად შეკრული როვინგის გაჟღენთილი წნულის სახითა და ერთდროულად ზედაპირზე ორი ნართის სპირალური შეგრეხვით ღეროს უწყვეტი გამოქაჩვის პირობებში მოცემული სიჩქარით.

სტრუქტურითა და თვისებებით ბკა მიეკუთვნება ბოჭკოვან მაღალორიენტირებულ პოლიმერულ კომპოზიტურ მასალებს, რომელთა მაღალ სიმტკიცეს გაჭიმვაზე უზრუნველყოფს არაორგანული (სილიკატური, ნახშირბადული) პარალელურად ორიენტირებული ბოჭკოები, როლებიც მტკიცე მონოლითად არიან შეკრული პოლიმერული მატრიცით. მატრიცია მაღალი ადჰეზიური თვისებები და

„დამყოლობა“ იწვევს მათ ერთობლივ მუშაობას დატვირთვების მოქმედებისას, ღებულობა ძვრის ძალებს და ამავე დროს აძლევს ნაკეთობას მხოლოდ პოლიმერებისათვის დამახასიათებელ კონსტრუქციულ ნაკლს - დაბალ დრეკადობის მოდულს, დენადობას დატვირთვისას (შემკვრელის ელასტიკური დეფორმაცია), დაბალ ხანგრძლივ სიმტკიცეს და მაღალ მგრძნობელობას ტემპერატურის მიმართ ბეტონთან და ფოლადის არმატურის მიმართ, შესაბამისად დაბალ თბომედეგობას.

გაჭიმვაზე მაღალი სიმტკიცისა (დაახლოებით 3-ჯერ აჭარბებს ფოლადის სიმტკიცეს) და ქიმიური მედეგობის გამო ზკა აქტიურად ინერგება სამშენებლო სფეროში, თუმცა ჩვენს ქვეყანაში ნორმატიული ბაზის არარსებობა და მზიდ რკინაბეტონის კონსტრუქციებში რეალური გამოყენების გამოცდილების უქონლობა მნიშვნელოვნად აფერხებს მის გამოყენებას. ჩვენს მიერ მოძიებული სტანდარტებიდან გამოსარჩევია ორი მოქმედი რუსული სტანდარტი ГОСТ 31384-2008 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии» პუნქტი 6.10 და 8.13 [1] და СНиП 52-01-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции» [2], რომლებიც უშვებენ კომპოზიტური არმატურის გამოყენებას რკინაბეტონის კონსტრუქციებში. დამატებით უნდა აღინიშნოს, რომ დღემდე არ არსებობს ზკა-ით დაარმირებული რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშებისა და დაპროექტების მეთოდოლოგიები, სადაც მხედველობაში იქნება მიღებული კომპოზიტური არმატურის დაბალი დრეკადობის მოდული, თბომედეგობა და ხანგრძლივი სიმტკიცე, რასაც განაპირობებს პოლიმერული შემკვრელის სპეციფიკური თვისებები. საჭიროა როგორც თვით კომპოზიტური არმატურის, ისე ამ არმატურით დაარმირებული რკინაბეტონის ფართო ექსპერიმენტული კვლევები ნორმალურ საექსპლუატაციო პირობებში, ასევე მაღალ და ციკლურ ტემპერატურულ ზემოქმედებაზე. საჭიროა შეიქმნას კონსტრუქციების გაანგარიშებისა და დაპროექტების ექსპერიმენტული მონაცემების ბანკი და პირველ ეტაპზე მოხდეს კომპოზიტური არმატურის ბეტონთან შეჭიდულობის შეფასება, როგორც პირველი პირობა მათი ერთობლივი მუშაობისა.

ბეტონის ზკა-ით დაარმირებისას გათვალისწინებული უნდა იქნას არმატურის მკვეთრად გამოხატული ანიზოტროპიულობა, რის გამოც მას ახასიათებს

სხვადასხვა სიმტკიცე გაჭიმვაზე, კუმშვასა და ძვრაზე. ექსპერიმენტული კვლევები შეჭიდულობაზე და მისი გავლენა კონსტრუქციის მზიდუნარიანობაზე, სიხისტესა და ბზარმდეგობაზე საჭიროა არა მარტო კონსტრუქტორებისა და დამპროექტებლებისათვის, არამედ მწარმოებლებისთვისაც ტექნოლოგიისა და პროფილის ზედაპირის ოპტიმიზაციისათვის (ნაჭდევები ფოლადის არმატურის ზედაპირის ანალოგიურად, ბოჭკოს ნართის ხრახნული დახვევა, ჩალიჩის დახვევა, ქვიშის მოყრა და სხვ.)

1.3.2 ექსპერიმენტული სამუშაოები

ექსპერიმენტული სამუშაოების ჩასატარებლად გამოყენებული იყო შემდეგი სტანდარტები:

1. ISO 10406-1:2008. Fibre-reinforced polymer (FRP) reinforcement of concrete — Test methods — Part 1: FRP bars and grids.
2. St ISO 834-14-2019 (სახნძრო უსაფრთხოება).
3. ГОСТ 30403-2012: "Конструкции строительные. Метод испытания на пожарную опасность".
4. ACI440.3R-04. Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymers (FRPs) for Reinforcing or Strengthening Concrete Structures.
5. CAN/CSA-S806-02 (კანადა).
6. ACI 440.1R-06
7. ACI 440.2R-08
8. ACI440.3R-04.
9. Recommendations for design and construction of concrete structures using continuous fiber reinforcing materials, Research Committee on Continuous Fiber Reinforcing Materials, Tokyo, 1997 (იაპონია).
10. CNR-DT 203/2006 (იტალიის რესპუბლიკა).
11. FIP Task Group 9.3 (ევროპა).
12. JT/T 776.4-2010 (ჩინეთის რესპუბლიკა).
13. JG/T 406-2013 (ჩინეთის რესპუბლიკა).

14. ДСТУ-Н Б В.2.6-XXXX:2011 (დამოუკიდებელ სახელმწიფოთა თანამეგობრობა, დსთ).

სტანდარტის მიხედვით გამოსაცდელი ღეროს სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვაზე (σ_g , მპა) უნდა შეადგენდეს არანაკლებ 800 მპა-ს, ხოლო დრეკადობის მოდული გაჭიმვისას არანაკლებ 50 გპა-ს. ბეტონთან შეჭიდულობის სიმტკიცის ზღვარი (τ_f , მპა) არანაკლები 12 მპა-ს. გამოსაცდელი არმატურების აღნიშნული მონაცემები მწარმოებლის (რუსთავის ქარხანა „ბაზალტ ფაიბერსი“) მიერ მოწოდებული მონაცემების მიხედვით აკმაყოფილებდა ამ მოთხოვნებს. ექსპერიმენტის ჩატარების გარემო შეესაბამებოდა მე-2 კატეგორიის კლიმატურ პირობებს (ნორმალური).

ნიმუშების შერჩევა მოხდა შემთხვევითი შერჩევის მეთოდით საკონტროლო პარტიდან (ერთ სერიაში მინიმუმ 3 ნიმუში).

არმატურის (ბკა) ნომინალური დიამეტრის განსაზღვრა მოხდა საკონტროლო ნაკეთობიდან ამოჭრილი მოცემული სიგრძის ნიმუშის მოცულობის განსაზღვრით ჰიდროსტატიკური აწონვის გზით.

პერიოდული პროფილის არმატურის ღეროს ნომინალური d დიამეტრი, მმ, განისაზღვრა ფორმულით:

$$d = \sqrt{\frac{4(m_1 - m_2)}{\pi \cdot \rho \cdot \ell}}, \quad (4)$$

სადაც m_1 არის ნიმუშის მასა ჰაერზე, მგ;

m_2 – ნიმუშის მასა წყალში, მგ;

ρ – წყლის სიმკვრივე, მგ/მმ³ (მიიღება $\rho = 1$);

ℓ – ნიმუშის სიგრძე, მმ.

ნიმუშების გამოცდის შედეგები საშუალოდ გაანგარიშებებისათვის, განისაზღვრა ფარდობითი ცდომილებით არაუმეტეს 0,01 (1%).

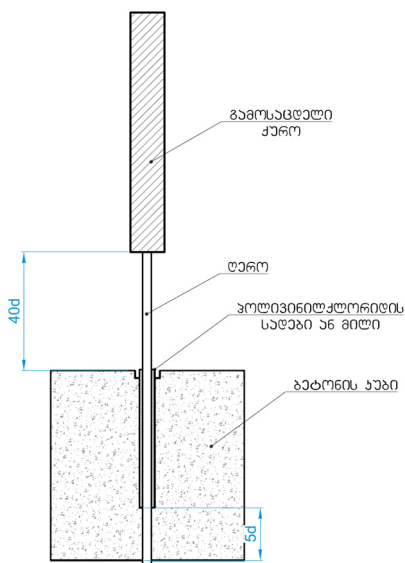
საცდელი ნიმუშები, ISO 291:2008 (ან GOCT 12423-2013) სტანდარტის შესაბამისად, დაექვემდებარა დაყვნებას სტანდარტულ ატმოსფერულ პირობებში. არატროპიკული ქვეყნებისთვის იგი შეადგენდა – 23/50.

გამოსაცდელი ნიმუშები კუბიდან ღერძულ ამოგლეჯაზე შედგება ბეტონის კუბებისგან, რომელთა ცენტრში ვერტიკალურად თავსდება კპა-ის ღერო გამოსაცდელი ქუროვით ვერტიკალურად ან ბეტონის ჩაწყობის მიმართულების პარალელურად (იხ. სურ. 17). ბეტონის კუბის ზომები გამოსაცდელი არმატურის დიამეტრის შესაბამისად მოცემულია ცხრილ 3-ში.

გამოსაცდელი ნიმუშის საერთო სიგრძე განისაზღვრება:

- ბეტონში ჩაანკერების პირობიდან;
- გამოსაცდელ მანქანაში ნიმუშის დაყვნების პირობიდან;
- გამოსაცდელი ქუროს კონსტრუქციით.

გამოსაცდელი ნიმუშების დასამზადებლად გამოყენებული იყო ასაწყობ-დასაშლელი ლითონის წყალუქონადი ფორმები



სურ. 17. ბეტონის კუბში კპა-ის განთავსების სქემა

ცხრილი 3 გამოსაცდელი ნიმუშის ზომები, მმ

კპა-ის ნომინალური დიამეტრი	ბეტონის კუბის წიბოს ზომა	კპა-ის ბეტონთან შეჭიდულობის სიგრძე
≤10	100	5d
12-18	150	
>>20 >>30	200	

ბეტონში ჩამაგრებული ღერო შეჭიდულობის ზონის გარეთ დაცული იყო პოლივინილქლორიდის სადებით.

ნიმუშის ზედაპირი ვერტიკალურად ჩამაგრებული ღეროთი დახურული იყო ფოლადის კვადრატული ფილით გვერდის სიგრძით 250 მმ და სისქით 20 მმ, რომელიც გამოცდისას გამოიყენებოდა როგორც მზიდი ზედაპირი და გამორიცხავდა ძალურ ზემოქმედებას ბეტონის კუბზე. ფილას ცენტრში ჰქონდა ღეროს დიამეტრის შესაბამისი ნახვრეტი.

1.3.3 აპარატურა და მასალები

გამოსაცდელი მანქანა (ГОСТ 28840-90), უნდა უზრუნველყოფდეს:

- დატვირთვას, რომელიც უფრო მეტია ნიმუშის სიმტკიცის საკონტროლო მაჩვენებელზე;
- დატვირთვის სიდიდისა და ტრავერსებს შორის მანძილის გაზომვას სიზუსტით არაუმეტეს 0,5%;
- აქტიური ტრავერსის გადაადგილების სიჩქარეს დიაპაზონში 5-დან 100 მმ/წთ.

1.3.4 გამოცდის ჩატარება

ჩატარდა სხვადასხვა კლასის ბაზალტკომპოზიტური არმატურის (ბკა) ბეტონთან შეჭიდულობის ექსპერიმენტული კვლევა. ნიმუშად აღებული იყო ხრახნული

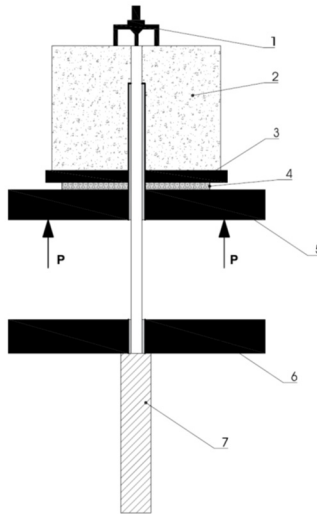
ზედაპირის მქონე ბკა. დადგინდა ბეტონის ადგეზიის უპირატესი როლი ბკა-ს ეპოქსიდით დაფარულ ხრახნულ ზედაპირთან.

ნიმუშების გამოცდები ჩატარდა სტანდარტის შესაბამის (ГОСТ 15150, პ.3.15) ნორმალურ კლიმატურ პირობებში:

- ტემპერატურა – პლუს $22 \pm 10^{\circ}\text{C}$;
- ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა – 45-80%;
- ატმოსფერული წნევა – 84,0-106,7 კპა (630-800 მმ ვწყ. სვ.).

ნიმუში გამოცდისათვის ბეტონის კუბიდან ღერძულ ამოგლეჯაზე ყენდებოდა ისე, რომ ბეტონის საყრდენი ფილა, საიდანაც გამოშვერილია ღეროს თავისუფალი ბოლო, რბილი სადების მეშვეობით ეხებოდა გამოსაცდელი მანქანის მოძრავ ტრავერსს (სურ. 18).

- მზიდი ბლოკი იმყოფებოდა საყრდენზე, რომელიც გადასცემს რეაქციას გამოსაცდელი მანქანის ძალის გასაზომ მოწყობილობას.
- ღეროს ნაშვერი გადიოდა მზიდი ბლოკის კვანძსა და საყრდენ ფირფიტაში, ხოლო გამოსაცდელი ქურო დაყენებული იყო უძრავი ტრავერსის გავლით გამოსაცდელი მანქანის მომჭერებში.
- ღეროს თავისუფალ ბოლოზე დაყენებული იყო გაცურების მზომი.
- მანძილ უძრავი ტრავერსის ან გამოსაცდელი მანქანის მომჭერების ზედა ზედაპირსა და იმ ზედაპირს შორის, სადაც დაყენებულია გაცურების მზომი ხელსაწყო, იზომებოდა სიზუსტით $\pm 0,01$ მმ-მდე.
- თუ ღერო დაირღვეოდა ან გაცურდებდა გამოსაცდელ ქუროში უფრო ადრე, ვიდრე მოხდა მისი გაცურება ბეტონში, ან ბეტონის დაზიანების გამო შემცირდა მოდებული დატვირთვა, მაშინ გაზომვის მონაცემები მიუღებელი იყო და ხდებოდა გამოცდის განმეორება დამატებით ნიმუშზე იმავე პარტიიდან. (ექსპერიმენტების მიმდინარეობისას ასეთ შემთხვევას ადგილი არ ჰქონია).



სურ. 18. ნიმუშის გამოცდის სქემა ღერძულ ამოგლეჯაზე ბეტონის კუბიდან.

1-გაცურების მზომი ღეროს თავისუფალ ბოლოზე; 2-ნიმუში; 3-საყრდენი ფილა;
4-რბილი სადები; 5-გამოსაცდელი მანქანის მოძრავი ტრავერსი; 6-გამოსაცდელი მანქანის უძრავი
ტრავერსი; 7-გამოსაცდელი ქურო

1.3.5 გამოცდის ოქმი

გამოცდის ოქმში შედის:

- ცნობები ნიმუშების შესახებ, მოყვანილი ნიმუშების შერჩევის აქტში;
- ორგანიზაციის დასახელება, რომელიც ატარებს გამოცდებს;
- გამოცდის ჩატარების თარიღი;
- ცნობები პირობების შესახებ, რომლის დროსაც ტარდება გამოცდები;
- თითოეული ნიმუშის გეომეტრიული მახასიათებლები;
- ცნობები ბეტონზე: ბეტონის ნარევის შემადგენლობა და ძვრადობა, ბეტონის ნიმუშების სიმტკიცე კუმშვაზე ასაკით 28 დღეღამე;
- ცნობები ღეროებზე, რომლებიც შესულია გამოსაცდელი ნიმუშების შერჩევის აქტში: სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვაზე და დრეკადობის მოდული, საგამოცდო ნიმუშების ზომები, ბეტონში განთავსებული ღეროს სიგრძე;
- გასაზომი მახასიათებლების მნიშვნელობები თითოეული ნიმუშისთვის;

- თითოეული ნიმუშის განსასაზღვრი მახასიათებლების მნიშვნელობები, მიღებული შედეგების დამუშავებით;
- განსაზღვრული მახასიათებლების საშუალო მნიშვნელობები და მიღებული მონაცემების სტატისტიკური დამუშავების შედეგები;
- რღვევის სახეები, „შეჭიდულობის ძაბვა - ასრიალება“-ს დიაგრამა თითოეული ნიმუშისათვის;
- გამოცდების ჩამტარებელი სპეციალისტების მონაცემები და ხელმოწერები.

1.4 კომპოზიტური არმატურით დაარმირებული კონსტრუქციების გაანგარიშება

1.5 გაანგარიშების ზოგადი პრინციპი

არსებული სამშენებლო ნორმები და რეკომენდაციები კონსტრუქციების გასაანგარიშებლად კომპოზიტური პოლიმერული არმატურით, უმეტეს შემთხვევებში, წარმოადგენს ფოლადის არმატურით დაარმირებული რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების ნორმების მოდიფიცირებას. ცვლილებები დაკავშირებულია არმატურის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების ნორმირებასთან და ემპირიულ მონაცემებთან, რომლებიც მიღებულია ექსპერიმენტული კვლევების შედეგად.

ყველა სამშენებლო ნორმისათვის საერთოა კონსტრუქციების გაანგარიშება ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით. არსებობს I ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობა (ULS – Ultimate Limit State) და II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობა (SLS – Second Limit State). პირველით ხდება გაანგარიშება სიმტკიცესა და მდგრადობაზე საანგარიშო დატვირთვების მოქმედებისას და მეორეთი – გაანგარიშება დეფორმაციებზე (ნორმალური ექსპლუატაციის ვარგისობაზე) ნორმატიული დატვირთვების მოქმედებისას. არსებობს გაანგარიშებისადმი ორი მიდგომა:

ევროპული – ზღვრული მდგომარეობის პირობა ჩაიწერება ფორმულით:

$$R \geq S, \quad (5)$$

სადაც R არის ღეროს განივკვეთის საანგარიშო წინაღობა, როგორც მასალის საანგარიშო მახასიათებლების ფუნქცია (ნორმატიული მნიშვნელობა გაყოფილი მასალის უსაფრთხოების კოეფიციენტზე); S – ძაბვა განივკვეთში, აღძრული გარე საანგარიშო დატვირთვებისა და ზემოქმედებისაგან.

5 ფორმულა მიგვანიშნებს იმას, რომ ელემენტის განივკვეთში წარმოშობილი ძაბვის სიდიდე არ უნდა აღემატებოდეს ამ ელემენტის მასალის საანგარიშო წინაღობას. წინააღმდეგ შემთხვევაში მოხდება მასალის (ელემენტის) რღვევა.

ჩრდილოამერიკული – ზღვრული მდგომარეობის პირობა ჩაიწერება ფორმულით:

$$\varphi \cdot R_n \geq S, \quad (6)$$

სადაც R_n არის განივკვეთის ნომინალური წინაღობა, რომელიც მასალის ნორმატიული მახასიათებლის ფუნქციაა (მოცემული უზრუნველყოფით); φ – უსაფრთხოების განზოგადებული კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია რღვევის სახეზე (ამერიკის ბეტონის ინსტიტუტის მონაცემებით $\varphi = 0,5-0,7$); S – ძაბვა განივკვეთში, აღძრული გარე საანგარიშო დატვირთვებისა და ზემოქმედებისაგან.

ამგვარად, კომპოზიტური არმატურიანი სამშენებლო კონსტრუქციების გაანგარიშებებს შორის განსხვავება მდგომარეობს უსაფრთხოების უზრუნველყოფის პრინციპებში. ევროპულ ნორმებსა და რეკომენდაციებში გაანგარიშების უსაფრთხოება (უტყუარობა) უზრუნველყოფილია მასალებისა და დატვირთვების კერძო კოეფიციენტების მეშვეობით, ხოლო ამერიკულ და კანადურ სამშენებლო ნორმებში – უსაფრთხოების (მარაგის) განზოგადებული კოეფიციენტებით მზიდუნარიანობის მიხედვით და დატვირთვის უსაფრთხოების კოეფიციენტებით. იაპონური სამშენებლო ნორმებით მიღებულია უსაფრთხოების ორი პრინციპი – მასალის უსაფრთხოება კერძო კოეფიციენტებით და მზიდუნარიანობა მარაგის დამატებითი კოეფიციენტებით.

უსაფრთხოებაზე გაანგარიშების რუსული ნორმები ისეთივეა, როგორც ევროპული, იმ განსხვავებით, რომ მასში დამატებულია სიმტკიცეზე გაანგარიშება ხანგრძლივი და მრავალციკლური დატვირთვების ზემოქმედების პირობებში, ანუ I

ზღვრული მდგომარეობის დროს გაანგარიშებისას სიმტკიცეზე განიხილება ორი საანგარიშო სქემა: გაანგარიშება ხანგრძლივ და მუდმივ ძალებზე და გაანგარიშება ხანმოკლე და ხანგრძლივი ჯამური ძალების მოქმედებაზე. ორივე შემთხვევაში დატვირთვები მიიღება დატვირთვის უსაფრთხოების კოეფიციენტების გათვალისწინებით.

დასავლეთის და ამერიკულ ნორმებში სიმტკიცეზე შემოწმება წარმოებს დატვირთვების ხანგრძლივი და მრავალციკლური ზემოქმედების გათვალისწინებით დასაშვები ძაბვების მეთოდით II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობით გაანგარიშების ჩარჩოში. იგი ითვალისწინებს ძალების განსაზღვრას ხანგრძლივი ნორმატიული დატვირთვებისაგან და მასალაში შესაბამისი ძაბვების გამოთვლას. დასაშვები ძაბვები განისაზღვრება მასალის უსაფრთხოების კოეფიციენტების გათვალისწინებით II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით გაანგარიშებისას ($\gamma = 1$) და შესაბამისი მუშაობის პირობების კოეფიციენტის მხედველობაში მიღებით.

აკპ-სათვის უსაფრთხოების კოეფიციენტი მასალის მიხედვით დადგენილია მხოლოდ ევროპულ ნორმებში. იტალიურ ნორმებში დადგენილია $\gamma = 1,5$ – I ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისათვის და $\gamma = 1$ II ჯგუფისათვის. შვეიცარიული ნორმებით პირველი ზღვრული მდგომარეობისათვის უსაფრთხოების კოეფიციენტის მნიშვნელობა უნდა აღემატებოდეს 1,25-ს.

კომპოზიტური არმატურის სიმტკიცესა და დეფორმაციაზე გარემო პირობების გათვალისწინება ხდება მუშაობის პირობების კოეფიციენტით. ამერიკულ ნორმებში ACI 440 მოცემულია გარე პირობების ორი ტიპი: ექსპლუატაციის პირობები მშრალ და ტენიან გარემოში. ანალოგიურია იტალიურ ნორმებშიც. იაპონური და ევროპული რეკომენდაციების უმეტეს ნაწილში განიხილება მუშაობის პირობების განზოგადოებული კოეფიციენტები. კანადური ნორმები ითვალისწინებს მასალის კლასს ხარისხის მიხედვით. ზოგიერთი ნორმა ითვალისწინებს მუშაობის პირობების კოეფიციენტს, დაკავშირებულს ელემენტის დატვირთვის ხასიათზე. ცხრილი 6-ში მოცემულია კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის მუშაობის პირობების კოეფიციენტის მნიშვნელობები გარემოს პირობებისა და დატვირთვის სახეების მიხედვით.

ცხრილი 4 კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი

გასათვალისწინებელი ფაქტორი	მუშაობის პირობების კოეფიციენტი
გარემო პირობები (I და II ზღვრული მდგომარეობა)	მშრალი მპ-0,8 ოპ-0,9 ნპ-1,0 ბპ-0,75 ტენიანი მპ-0,7 ოპ-0,8 ნპ-0,9 ბპ-0,65
დატვირთვის ხანგრძლივობა და მრავალციკლურობა (ნორმატიული დატვირთვები)	მპ-0,2 ოპ-0,3 ნპ-0,55 ბპ-0,18

პირობითი აღნიშვნები: მპ - მინაპლასტიკი; ოპ - ორგანოპლასტიკი;

ნპ - ნახშირბადაპლასტიკი. ბპ - ბაზალტკომპოზიტი

რუსულ რეკომენდაციებში მინაპლასტიკის არმატურისათვის მიღებულია მუშაობის პირობების კოეფიციენტები, რომლებიც ითვალისწინებს აკპ-ის არასრულ სიმტკიცეს ძაბვის ხანგრძლივად მოქმედებისას და ძაბების არათანაბარ განაწილებას განივკვეთში:

$mad = 0,6$ – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს დატვირთვის ხანგრძლივ მოქმედებას დატვირთვების ნებისმიერი შეთანწყობისთვის;

$mat = 0,9$ – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს მაღალი ტემპერატურის ზემოქმედებას (ხანმოკლე გაცხელება 100°C -მდე; ტემპერატურის ხანგრძლივი ზემოქმედება 80°C -მდე; გაორთქვლა 60°C ტემპერატურამდე);

$mak = 0,7-0,8$ – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს კონსტრუქციაზე ექსპლუატაციის პერიოდში აგრესიული გარემოს ზემოქმედებას.

უსაფრთხოების კოეფიციენტის მნიშვნელობა რეკომენდაციებში (НИИЖБ) დადგენილია და მიიღება 1,3-ის ტოლი.

უკრაინულ ნორმებში DCTY ბაზალტპლასტიკური და მინაპლასტიკური არმატურებისთვის უსაფრთხოების კოეფიციენტის კონკრეტული მნიშვნელობები მოცემული არ არის. თუმცა პროექტში დაფიქსირებულია კომპოზიტური არმატურის სიმტკიცეების ფარდობა გაჭიმვაზე და კუმშვაზე, კერძოდ კომპოზიტის საანგარიშო სიმტკიცე გაჭიმვაზე 5-ჯერ მეტია, ვიდრე საანგარიშო სიმტკიცე კუმშვაზე.

1.5.1 გაანგარიშება I ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით

კომპოზიტურარმატურიანი კონსტრუქციების გაანგარიშებაში ჩადებულია ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშების ძირითადი ჰიპოთეზები:

- ბრტელი კვეთების ჰიპოთეზა;
- კომპოზიტისა და ბეტონის ერთობლივი მუშაობა;
- ბეტონის მუშაობა გაჭიმვაზე მხედველობაში არ მიიღება;
- კომპოზიტური არმატურის მუშაობა კუმშვაზე მხედველობაში არ მიიღება;
- კომპოზიტი რღვევამდე მუშაობს დრეკად სტადიაში;

ბეტონის დეფორმაციის კანონზომიერებები შენარჩუნებულია (ისევე, როგორც რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშებებში).

კონსტრუქციების გაანგარიშება სიმტკიცეზე დაუძაბავი არმატურით I ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მეთოდის მიხედვით, წარმოებს მღუნავი მომენტების, გრძივი ძალების, განივი ძალების, მგრეხი მომენტებისა და ადგილობრივი (შეყურსული, წერტილოვანი) დატვირთვების მოქმედების გათვალისწინებით (იხ. ევროკოდების საფუძველზე მომზადებული რუსული ნორმები: СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. НИИЖБ им. А. А. Гвоздева. თავი 8.1). უნდა გავითვალისწინოთ ის, რომ საანგარიშო ფორმულებში ფოლადის არმატურის მახასიათებლების და პარამეტრების ნაცვლად, ჩასმული

იყოს კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის შესაბამისი მახასიათებლები და პარამეტრები, ხოლო განივკვეთის შეკუმშული ზონის ფართობის სიდიდეს დებულობენ $A_f' = 0$ და მხედველობაში მიიღება ქვემოთ მოყვანილი მითითებები (მითითება 1 და 2).

ღუნვადი, არაცენტრალურად შეკუმშული, ცენტრალურად და არაცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების გასაანგარიშებლად სიმტკიცეზე ნორმალური კვეთების მიხედვით, მხედველობაში მიიღება შემდეგი:

მითითება 1: განაპირა შეკუმშული ზონის ფარდობითი სიმაღლის მნიშვნელობა ξ_R , რომლისთვისაც კონსტრუქციის ზღვრული მდგომარეობა დგება მაშინ, როცა გაჭიმულ არმატურაში ძაბვა გაუტოლდება R_f საანგარიშო წინაღობას განისაზღვრება ფორმულით:

$$\xi_R = \frac{x}{h_0} = \frac{\omega}{1 + \frac{\varepsilon_{f,ult}}{\varepsilon_{b2}}} \quad (6)$$

სადაც ω არის ბეტონის შეკუმშული ზონის მახასიათებელი, რომელიც მიიღება მძიმე ბეტონებისათვის კლასით B60-მდე 0,8-ის ტოლი, ხოლო B70 - B100 და წვრილმარცვლოვანი, მსუბუქი და უჯრედოვანი ბეტონებისათვის – 0,7;

$\varepsilon_{f,ult}$ – ფორმულით გამოთვლილი კომპოზიტური არმატურის წაგრძელების ფარდობითი დეფორმაციის ზღვრული მნიშვნელობა;

ε_{b2} – შეკუმშული ბეტონის ფარდობითი დეფორმაციები, რომელიც მიიღება სამშენებლო ნორმების მიხედვით და ტოლია:

1) დატვირთვების ხანმოკლე მოქმედებისას – კუმშვაზე სიმტკიცის მიხედვით ბეტონის კლასისას B60 და უფრო ნაკლები $\varepsilon_{b2} = 0,0035$, იმავე ბეტონის კლასისას B70-B100 – წრფივი კანონით (ინტერპოლაციით) 0,0033-დან (B70) 0,0028-მდე (B100);

2) დატვირთვების ხანგრძლივი მოქმედებისას – ნორმების მიხედვით, კერძოდ: კუმშვისას, მძიმე, წვრილმარცვლოვანი და დამაბული ბეტონებისათვის ჰაერის ფარდობითი ტენიანობით $W > 75\%$ – $\varepsilon_{b2} = 0,0042$, $W = 40-75\%$ – $\varepsilon_{b2} = 0,00428$, $W < 40\%$ – $\varepsilon_{b2} = 0,0056$, იმავეგაჭიმვისას 0,00027, 0,00031 და 0,00036.

მითითება 2: როცა $x > \xi_{Rh0}$, მაშინ შეკუმშული ზონის განივკვეთის სიმაღლე μ_{ult} ზღვრული მღუნავი მომენტის განსაზღვრისას, მართკუთხა განივკვეთის ღუნვადი ელემენტისათვის განისაზღვრება ფორმულით:

$$x = \sqrt{(0,5\mu_f \cdot \alpha_{f2} \cdot h_0)^2 + \mu_f \cdot \alpha_{f2} \cdot \omega \cdot h_0^2} - 0,5\mu_f \cdot \alpha_{f2} \cdot h_0, \quad (7)$$

$$\text{სადაც } \mu = \frac{A_f}{bh_0}; \quad \alpha_{f2} = \frac{E_f}{E_{b2}}; \quad E_{b2} = \frac{R_b}{\varepsilon_{b2}}.$$

A_f – დეფორმაციული მოდელის საფუძველზე, გაჭიმულ ზონაში განლაგებული, კომპოზიტური არმატურის განივკვეთი.

შენიშვნა: ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება სიმტკიცეზე ტესტები (ორ-ტესტები) განივკვეთით, რომლის თარო მოთავსებულია შეკუმშულ ზონაში, როცა $x > \xi_R \cdot h_0$, ხორციელდება დეფორმაციული მოდელის საფუძველზე ქვევით მოყვანილი მე-3 მითითების გათვალისწინებით.

მითითება 3: კონსტრუქციის ნორმალური კვეთების გაანგარიშებისას სიმტკიცეზე დეფორმაციული მოდელის მეშვეობით, მხედველობაში მიიღება შემდეგი:

ა) საანგარიშო დამოკიდებულებებში გაითვალისწინება $A'_f = 0$ და $\nu_f = 1$;

ბ) სიმტკიცეზე გაანგარიშება წარმოებს პირობებით:

$$\varepsilon_{b,max} \leq \varepsilon_{b,ult} \quad \text{და} \quad \varepsilon_{f,max} \leq \varepsilon_{f,ult}, \quad (8)$$

სადაც $\varepsilon_{b,max}$ არის ბეტონის ელემენტის ნორმალურ კვეთში ყველაზე შეკუმშული ბოჭკოს ფარდობითი დეფორმაცია, გამოწვეული გარე დატვირთვების ზემოქმედებით;

$\varepsilon_{b,ult}$ – კუმშვისას ბეტონის ფარდობითი დეფორმაციის ზღვრული მნიშვნელობა, მიიღება ნორმების მიხედვით ;

$\varepsilon_{f,max}$ – ყველაზე მეტად გაჭიმული კომპოზიტური არმატურის ღეროს ფარდობითი დეფორმაცია კონსტრუქციის ნორმალურ კვეთში გარე დატვირთვების ზემოქმედებისას; $\varepsilon_{f,ult}$ – კომპოზიტური არმატურის წაგრძელების ფარდობითი დეფორმაციის ზღვრული მნიშვნელობა გამოთვლილი ფორმულით.

აშშ-ის და კანადის სამშენებლო ნორმებით განიხილება გაანგარიშების ორი ძირითადი შემთხვევა: რღვევა ბეტონის შეკუმშული ზონის და რღვევა გაჭიმული კომპოზიტური არმატურის. საზღვარი ამ ორი შემთხვევისა დგინდება დაარმირების კოეფიციენტის სიდიდის მიხედვით:

$$\rho_{fb} = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot (f_c / f_{fu}) \cdot [E_f \cdot \epsilon_{cu} / (E_f \cdot \epsilon_{cu} + f_{fu})], \quad (9)$$

სადაც $0,85\beta_1$ არის აშშ-ის ნორმების ემპირიული კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ბეტონის შეკუმშული ზონის ეპიურის გადასვლას პირობით მართ-კუთხედოვან ეპიურაზე;

f_c – ბეტონის საანგარიშო სიმტკიცე კუმშვაზე;

f_{fu} – კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის საანგარიშო სიმტკიცე გაჭიმვაზე;

ϵ_{cu} – ბეტონის ზღვრული ფარდობითი დეფორმაცია კუმშვისას.

მსგავსი ანალოგიური გამოსახულება მიღებულია სტატიაში ევროკოდ 2-ის საანგარიშო დამოკიდებულებების ანალიზის საფუძველზე:

$$\rho_{fb} = 0,81 \cdot (f_{ck} + 8) \cdot \epsilon_{cu} / f_{fk} (f_{fk} / E_{fk} + \epsilon_{cu}). \quad (10)$$

თუ გაჭიმული არმატურის დაარმირების კოეფიციენტი $\rho_f > \rho_{fb}$, მაშინ განიკვეთი ითვლება ზედმეტად დაარმირებულად და რღვევა მოსალოდნელია ბეტონის შეკუმშულ ზონაში. თუ $\rho_f < \rho_{fb}$, მაშინ მოხდება გაჭიმული არმატურის რღვევა ($\rho_f = A_f / b h$).

მოსალოდნელი რღვევის მექანიზმზე დამოკიდებულებით შემოთავაზებულია მზიდუნარიანობის განსაზღვრის შესაბამისი ფორმულები, რომლებიც დაფუძნებულია ბრტყელი კვეთების ჰიპოთეზაზე და ბეტონის შეკუმშული ზონის ემპირიულ დამოკიდებულებებზე, მიღებული რკინაბეტონის კონსტრუქციების გამოცდების შედეგებზე. ბეტონის შეკუმშული წახნაგის (კიდის) ფარდობითი დეფორმა

ასეთი მიდგომა ანალოგიურია რუსულ ნორმებში მოცემული გაანგარიშებისა ზღვრული ძალებების მიხედვით, რომლებიც დამოკიდებულია ბეტონის შეკუმშული ზონის ფარდობით სიმაღლეზე ξ_r (იხ. ფორმ. 6).

შევიცარიული ნორმების თანახმად რკინაბეტონის ელემენტებში ფოლადის არმატურის დაარმირების კოეფიციენტის ზღვრული მნიშვნელობა მიიღება 2,5-3%; ხოლო კომპოზიტური პოლიმერული არმატურისათვის – $\rho_{fb} = 0,5\%$.

იტალიურ ნორმებში CNR ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება სიმტკიცეზე ხორციელდება რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების მოქმედი ნორმებით რაიმე სპეციალური დაზუსტებების გარეშე, თუმცა შემოტანილია უსაფრთხოების დამატებითი პირობა – კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის ზღვრული დეფორმაციის შეზღუდვა:

$$\epsilon_f d = 0,9\eta \cdot \epsilon_{fk} / \gamma_R, \quad (11)$$

სადაც ϵ_{fk} არის ზღვრული დეფორმაციის ნორმატიული მნიშვნელობა (0,95 უზრუნველყოფით);

η – მუშაობის პირობების კოეფიციენტი;

γ_R – უსაფრთხოების კოეფიციენტი მასალის მიხედვით;

0,9 – უსაფრთხოების დამატებითი კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს განსხვავებას ღუნვადი ელემენტის მუშაობის პირობებსა და არმატურის სტანდარტულ გამოცდას შორის.

ევროპული ნორმებისგან განსხვავებით ამერიკული ნორმები ACI ითვალისწინებს უსაფრთხოების (მარაგის) კოეფიციენტს მზიდუნარიანობის მიხედვით. გაანგარიშების იმ შემთხვევისათვის, როცა $\rho_f > 1,4 \rho_{fb}$ (რღვევა ბეტონის შეკუმშული ზონის) მიიღება $\varphi = 0,65$ (ნორმების 2003 წლის რედაქციით იყო 0,7) ისევე, როგორც რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების ACI 318 ნორმებშია მოცემული. როცა $\rho_f < \rho_{fb}$ (რღვევა გაჭიმული არმატურის) მიიღება $\varphi = 0,55$ (ნორმების 2003 წლის რედაქციით იყო 0,5). ფოლადის არმატურისათვის ყველა შემთხვევაში $\varphi = 0,9$. ია-

პონური JSCE ნორმებით გაანგარიშებებში გაითვალისწინება უსაფრთხოების განზოგადებული კოეფიციენტი 0,77.

ისევე, როგორც რუსულ ნორმებში (СП 52-101-2003,), ევროპულ და ამერიკულ ნორმებშიც არსებობს შეზღუდვები, დაკავშირებული ღუნვადი ელემენტების ზღვრული მზიდუნარიანობისა და ბზარწარმოქმნის მომენტის ფარდობასთან. მაგ., იტალიურ ნორმებში CNR, სადაც განხილულია ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება სიმტკიცეზე, შემოტანილია პირობა $M_{ult} \geq 1,5M_{crc}$. ამერიკულ ნორმებში ACI პირობა $\phi M_{ult,n} \geq M_{crc}$ დაყვანილია გრძივი არმატურის მინიმალურ შეზღუდვაზე და გრძივი გაჭიმული არმატურის მინიმალური რაოდენობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$A_{f,min} = 0,41 f_c^{1/2} \cdot b \cdot d / f_{fu} \geq 2,26 b \cdot d / f_u, \quad (12)$$

სადაც f_c არის ბეტონის საანგარიშო სიმტკიცე კუმშვაზე;

f_{fu} – კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის საანგარიშო სიმტკიცე გაჭიმვაზე; $b \cdot d$ – ელემენტის განივკვეთის სიგანე;

d – ელემენტის განივკვეთის სამუშაო სიმაღლე.

გაანგარიშების ეს პირობები მიღებულია ამერიკულ ნორმებში ACI 318 მოყვანილი ფოლადის არმატურის ანალოგური პირობების პარამეტრების გამრავლებით 1,8-ზე ($\phi_s / \phi_{frp} = 0,9 / 0,5 = 1,8$).

შვეიცარიული ნორმების მიხედვით (ევროკოდ 2-ის საფუძველზე) გრძივი არმატურის მინიმალური რაოდენობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$A_{f,min} = 0,26 f_{ctm} \cdot b \cdot d / f_{fk} \geq 0,0013 \cdot b \cdot d, \quad (13)$$

სადაც f_{ctm} არის ბეტონის საშუალო სიმტკიცე გაჭიმვაზე;

f_{fk} – კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის ნორმატიული სიმტკიცე გაჭიმვაზე;

b და d – განივკვეთის სიგანე და სამუშაო სიმაღლე.

ამ ნორმებით არ მოითხოვება გაანგარიშება ბზარმდეგობაზე, რადგან ითვლება, რომ თუ კომპოზიტური არმატურის განივკვეთი შერჩეულია (10) ფორმულით, მაშინ ღუნვადი ელემენტის ბზარმდეგობაც უზრუნველყოფილია.

მხედველობაში მიიღება რა კომპოზიტური არმატურიანი ბეტონის კონსტრუქციის მყიფე რღვევა, ამერიკული ნორმებით მომენტების გადანაწილება სტატიკურად ურკვევ სისტემებში (მრავალმალიანი კოჭები, რიგელები, მრავალსართულიანი სვეტები, ჩარჩოები ხისტი კვანძებით და სხვ.) მხედველობაში არ მიიღება.

უკრაინული ნორმების პროექტით კომპოზიტური არმატურიანი ბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშება ხდება რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების მოქმედი ნორმების მიხედვით იმ პირობით, რომ ფოლადის არმატურის მახასიათებლების ნაცვლად საანგარიშო ფორმულებში შეტანილი იქნეს კომპოზიტური არმატურის მახასიათებლები.

ამერიკული, იტალიური და შვეიცარიული ნორმების მიხედვით შეკუმშულ ელემენტებში გრძივ არმატურად კომპოზიტების გამოყენებისათვის საჭიროა არმატურის მასალის სპეციალური კვლევების ჩატარება, ხოლო უკრაინული ნორმების პროექტით, როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, მინაპლასტიკური და ბაზალტპლასტიკური არმატურის სიმტკიცე კუმშვაზე მიიღება გაჭიმვაზე სიმტკიცის 20%.

განივ ძალებზე გაანგარიშების პრინციპი ნორმებში შენარჩუნებულია ფოლადის არმატურიანი კონსტრუქციების გაანგარიშების ანალოგიურად, თუმცა გათვალისწინებულია კომპოზიტური არმატურის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები და ბეტონთან მისი ერთობლივი მუშაობის თავისებურებები, როგორიცაა: მასალის ანიზოტროპიულობა, დიდი ჩალუნვები და ბზარების გახსნის სიგანე, განივკვეთში შეკუმშული ზონის მცირე სიმაღლე, მყიფე რღვევა, ძალების გადანაწილებლობა, გრძივი კომპოზიტური არმატურის წირწკიმალოვანი ეფექტის არარსებობა და სხვ.). სხვადასხვა ნაციონალური ნორმები კომპოზიტური არმატურიანი კონსტრუქციების განივ ძალებზე გაანგარიშებისას ძირითადად განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან ემპირიული და თეორიული მოდელების სქემებით, შინაარსი კი პრაქტიკულად ერთნაირია.

განივ ძალებზე გაანგარიშებისას მნიშვნელოვანია განივი არმატურის აღუ-
წული ღეროების ფაქტორი. როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, აღწული კომპო-
ზიტური არმატურის სიმტკიცე 50-60%-ით შემცირებულია გრძივი არმატურის სიმ-
ტკიცესთან მიმართებით. იაპონური და ამერიკული ნორმების მიხედვით
აღწული კომპოზიტური არმატურის საანგარიშო სიმტკიცე განისაზღვრება ფორ-
მულით:

$$f_{fb} = (0,05r_b/db) \cdot f_{fu} \leq f_{fu}, \quad (14)$$

სადაც r_b არის აღწვის რადიუსი (ელემენტის შიგა წახნაგის); db – ღეროს დია-
მეტრი; f_{fu} – კომპოზიტური არმატურის საანგარიშო სიმტკიცე.

იტალიურ CNR ნორმებში გათვალისწინებულია საკიდების აღწვის დია-
მეტრი არანაკლებ 6d, ხოლო საკიდის სიმტკიცე მიიღება 0,5R_f (თუ არ არის სხვა
ექსპერიმენტული მონაცემები). ნაკლები რადიუსის შემთხვევაში კომპოზიტის სიმ-
ტკიცის მახასიათებლები და მუშაობის პირობების კოეფიციენტის სიდიდე მომხმ-
არებელს უნდა მიაწოდოს არმატურის მწარმოებელმა.

ნაციონალური ნორმები გვთავაზობს განივ ძალებზე გაანგარიშების საწყის
ეტაპზე განივი კომპოზიტური არმატურის ფარდობითი დეფორმაციები მივიღოთ
ზღვრებში 0,2-0,45%. საანგარიშო ფორმულების გამოყენებისას გაითვალისწინება
განივი არმატურის დაყვანილი ფართობი, რომელიც ეფუძნება ფარდობითი დე-
ფორმაციებისა და ძალების ტოლობის ჰიპოთეზას ფოლადისა და არალითონურ
არმატურებში:

$$A_\varepsilon = A_f \cdot E_f / E_s, \quad (15)$$

სადაც A_ε არის ფოლადის არმატურის განივკვეთის დაყვანილი ფართობი;

A_f – კომპოზიტური არმატურის განივკვეთის ფართობი;

E_f და E_s – კომპოზიტური და ფოლადის არმატურის დრეკადობის მოდულები.

იაპონური JSCE ნორმებით ელემენტის განივი ძალის გამოთვლისას ბეტონის
მიხედვით მზიდუნარიანობის მდგენელი განისაზღვრება რკინაბეტონის

ელემენტის ანალოგიურად, მაგრამ განივი არმატურის დაყვანილი ფართობის გათვალისწინებით. ემპირიულ ფორმულას აქვს სახე:

$$V_{cf} = 0,2(1/d)^{1/4} \cdot (100A_f \cdot E_f / b_w d \cdot E_s)^{1/3} \cdot (f_c)^{1/3} \cdot b_w d, \quad (16)$$

სადაც A_f არის კომპოზიტური არმატურის განივკვეთის ფართობი;

b_w – ელემენტის განივკვეთის სიგანე;

d – ელემენტის განივკვეთის სამუშაო სიმაღლე;

E_f და E_s – კომპოზიტური და ფოლადის არმატურის დრეკადობის მოდულები;

f_c – ბეტონის საანგარიშო სიმტკიცე კუმშვაზე.

იმავე კომპოზიტური არმატურის მიხედვით:

$$V_{sf} = (A_{fw} \cdot E_{fw} \cdot e_{fwd} / s) \cdot z, \quad (17)$$

$$e_{fwd} = [(h/0,3) - 0,1 (f_c \cdot \rho_f \cdot E_f / \rho_{fw} \cdot E_{fw})]^{1/2} \cdot 10^{-4}, \quad (18)$$

სადაც e_{fwd} არის განივი კომპოზიტური არმატურის საანგარიშო ზღვრული ფარდობითი დეფორმაცია;

ρ_f და ρ_{fw} – გრძივი და განივი კომპოზიტური არმატურის დაარმირების პროცენტები;

E_f და E_{fw} – გრძივი და განივი კომპოზიტური არმატურის დრეკადობის მოდულები;

h – ელემენტის განივკვეთის სიმაღლე;

z – ძალის მხარი;

s – განივი არმატურის (საკიდების) ბიჯი.

ანალოგიური ფორმულები (მცირედი განსხვავებებით) მოყვანილია ბრიტანულ BSI 8110 , ამერიკულ კანადურ , იაპონურ , იტალიურ , შვეიცარიულ ნორმებში, აგრეთვე ევროკოდებში.

ყველა ნაციონალურ ნორმებში განხილულია შვეულად განლაგებული განივი არმატურა, გამონაკლისის შეადგენს ამერიკული ნორმები. აქ დახრილი განივი არმატურებიცაა განხილული და მზიდუნარიანობის მდგენელი განივი არმატურის გაანგარიშებებში მრავლდება სიდიდეზე ($\cos\alpha + \sin\alpha$), სადაც α არის განივი არმატურის დახრის კუთხე გრძივი არმატურის მიმართ.

აღსანიშნავია, რომ უკრაინული ნორმების პროექტში განივ არმატურად განიხილება მხოლოდ ფოლადის არმატურა. კომპოზიტური განივი არმატურის გამოყენების საანგარიშო პირობები ჯერჯერობით დამუშავებული არ არის.

1.5.2 გაანგარიშება II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით

II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით კონსტრუქციების გაანგარიშება ითვალისწინებს გაანგარიშებას ნორმატიული დატვირთვების მოქმედებისას, დეფორმაციებზე, ბზარების წარმოქმნასა და გახსნაზე, რაც ხდება სამშენებლო ნორმების შესაბამისად იმ განსხვავებით, რომ საანგარიშო ფორმულებში ფოლადის არმატურის მახასიათებლების და პარამეტრების ნაცვლად, ჩასმული იყოს კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის შესაბამისი მახასიათებლები და პარამეტრები. განივკვეთის შეკუმშული ზონის ფართობის სიდიდეს ღებულობენ $A_f' = 0$ და მხედველობაში მიიღება ქვემოთ მოყვანილი მითითებები (მითითება 4 და 5).

მითითება 4. ბზარების გახსნაზე გაანგარიშებისას მნიშვნელობა $\alpha_{crc,ult}$ მიიღება არაუმეტეს:

0,7 მმ – ბზარების ხანგრძლივი გახსნისას შენობის ნორმალური ექსპლუატაციის პირობებში (დახურული შენობების შიგნით);

0,5 მმ – ბზარების ხანგრძლივი ან ხანმოკლე გახსნისას, კონსტრუქციების ექსპლუატაციისას ამაღლებული ტენიანობისა (ღია ჰაერზე, გრუნტში) და აგრესიული გარემოს პირობებში.

მითითება 5. ნორმალური ზხარის გახსნის სიდიდის გაანგარიშებისას φ_2 კოეფიციენტის მნიშვნელობა, რომელიც ითვალისწინებს გრძივი კომპოზიტური არმატურის პროფილს, მიიღება:

0,7 – პერიოდული პროფილის არმატურისთვის;

1,2 – გლუვი არმატურისთვის.

II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით გაანგარიშებაში დამატებით ჩადებულია ელემენტის სიმტკიცეზე გაანგარიება ხანგრძლივი და მრავალციკლური ნორმატიული დატვირთვების მოქმედებისას დასაშვები ძაბვების მეთოდით. ასეთი შემოწმება გათვალისწინებულია რკინაბეტონის კონსტრუქციებისთვისაც ამერიკული ნორმებითა და ევროკოდებით. მოთხოვნები ეფუძნება იმას, რომ დაუშვებელია განიკვეთის მუშაობა ხანგრძლივი ნორმატიული დატვირთვებისას არადრეკად (ნახევრადპლასტიკურ, პლასტიკურ) სტადიაში. მასში შემოღებულია ბეტონში ძაბვების შეზღუდვა $0,6f_{ck}$ -მდე (f_{ck} – ბეტონის ნორმატიული ცილინდრული სიმტკიცე), ხოლო ფოლადის არმატურისათვის ძაბვა არ უნდა აღემატებოდეს $0,8f_{yk}$ -ს (f_{yk} – ფოლადის დენადობის ზღვრის ნორმატიული მნიშვნელობა).

იტალიური CNR ნორმების თანახმად ძაბვა კომპოზიტურ არმატურაში არ უნდა აღემატებოდეს სიმტკიცის საანგარიშო მნიშვნელობას, რომლის განსაზღვრისათვის გამოყენებულია უსაფრთხოების კოეფიციენტი მასალის მიხედვით $\gamma = 1$ და მუშაობის პირობების კოეფიციენტი $\eta = 0,2-0,55$, მასალის სახეობაზე დამოკიდებულობით.

დეფორმაციებზე გაანგარიშება სრულდება პირობისათვის $f \leq f_{ult}$, სადაც f არის ელემენტის საანგარიშო ჩაღუნვა ნორმატიული დატვირთვების მოქმედებისას; f_{ult} – ჩაღუნვის ზღვრული სიდიდე. f_{ult} -ის მნიშვნელობა ნორმირდება კონსტრუქციის მალის მიხედვით. რუსულ СП 20 ნორმებში ზღვრული ჩაღუნვის სიდიდე მოცემულია მალის $1/150-1/250$ -ის ზღვრებში $3-24$ მ მალეობისათვის ესთეტიკურ-ფსიქოლოგიური მოთხოვნების შესაბამისად და მალის $1/150$ (ან 40 მმ) – კონსტრუქციული მოთხოვნებით. სხვა ქვეყნების ნორმატიული დოკუმენტებით

კომპოზიტიური არმატურით დაარმირებული კონსტრუქციების დეფორმაციებს ისეთივე შეზღუდვები აქვთ, როგორც რკინაბეტონის კონსტრუქციებს. მოვიყვანოთ რამდენიმე მაგალითი: ევროკოდებითა და უკრაინული ნორმების პროექტით ზღვრული ჩაღუნვა ესთეტიკური მოსაზრებით შეადგენს $L/250$, ხოლო მოსაზღვრე არამზიდი ელემენტების (ტიხარი, ფასადი და სხვ.) – $L/500$; ამერიკული ნორმებით თუ არსებობს მოსაზღვრე ელემენტები, რომლებიც შეიძლება დაზიანდეს მზიდი კონსტრუქციების დეფორმაციით (ჩაღუნვით) – $L/480$, თუ არ დაზიანდება – $L/240$. გადახურვის კონსტრუქციები, რომლებიც კავშირში არ არის მიმდებარე არამზიდ კონსტრუქციებთან – $L/360$, სახურავებისათვის – $L/180$.

ჯამური ჩაღუნვა ევროკოდების მიხედვით განისაზღვრება ფორმულით:

$$\delta = \delta_2 \cdot \xi + \delta_1 \cdot (1 - \xi), \quad (19)$$

სადაც δ_1 არის ჩაღუნვა, გამოთვლილი ბზარების გათვალისწინების გარეშე;

δ_2 – ჩაღუნვა, გამოთვლილი განივკვეთის ინერციის მომენტის შემცირების გათვალისწინებით ბზარების მხედველობაში მიღებით; ბეტონის შეკუმშული ზონის სასაზღვრო სიმაღლის გამთვალისწინებელი კოეფიციენტი განისაზღვრება ფორმულით:

$$\xi = 1 - \beta(M_{cr}/M_{max})^m, \quad (20)$$

სადაც M_{cr} და M_{max} არის ბზარწარმოქმნელი და მაქსიმალური საანგარიშო მომენტები;

$\beta = 1$; $m = 2$ – რკინაბეტონის კონსტრუქციების ემპირიული კოეფიციენტები, რომელთა გამოყენება კომპოზიტურ არმატურიან ბეტონის კონსტრუქციებში დასაშვებია კომპოზიტისა და ბეტონის ერთობლივი მუშაობის პირობებში, რაც დადგენილია ექსპერიმენტით. თვით ჩაღუნვები კი განისაზღვრება სამშენებლო მექანიკის კანონებით.

იტალიური ნორმებით ჩაღუნვის განსაზღვრა ხდება მომენტი-სიმრუდის დიაგრამის მეშვეობით.

ამერიკული ნორმები განიხილავს ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვების ზემოქმედების შესაბამის ჩალუნვებს. ჩალუნვა ხანმოკლე დატვირთვებისაგან განსაზღვრება სამშენებლო მექანიკის კანონებით, ხოლო ჩალუნვა ხანგრძლივად მოქმედი დატვირთვების დროს – ხანმოკლე დატვირთვების შესაბამისი ჩალუნვის გამრავლებით სიდიდეზე: $\lambda = 0,6\xi$, სადაც ξ არის კოეფიციენტი, დამოკიდებული დატვირთვების მოქმედების ხანგრძლივობაზე (მაგ., როცა დატვირთვების ხანგრძლივობა მეტია 5 წელზე, მაშინ $\xi = 2$).

იაპონური და კანადური ნორმებით კომპოზიტური კონსტრუქციების ჩალუნვების გაანგარიშება ხდება რკინაბეტონის კონსტრუქციების ანალოგიურად.

გაანგარიშება ბზარების გახსნაზე ხორციელდება ბზარების გაჩენის შესაძლებლობის პირობის შემოწმების შემდეგ – ბზარწარმომქმნელი M_{cr} მომენტის განსაზღვრით, რომელიც ხდება მასალის არადრეკადი დეფორმაციების გათვალისწინების გარეშე. თვით გაანგარიშება ბზარების გახსნაზე მიმდინარეობს პირობიდან $acrc \leq acrc_{ult}$, სადაც $acrc$ არის ბზარების გახსნის საანგარიშო სიგანე ნორმატიული დატვირთვისათვის; $acrc_{ult}$ – ბზარების გახსნის ზღვრული სიგანე, რომელიც სხვადასხვა ნორმებით ფოლადის არმატურით დაარმირებული ბეტონებისათვის საშუალოდ ტოლია 0,3-0,4 მმ-ის, ხოლო არალითონური არმატურით დაარმირებული ბეტონებისათვის – 0,5-0,8 მმ-ის.

ევროკოდებით (იხ. ევროკოდი 2 ან შვეიცარიული ნორმები) ბზარების გახსნის სიდიდე განისაზღვრება ფორმულით:

$$w_{cr} = \beta \cdot s_{rm} \cdot \epsilon_{sm}, \quad (21)$$

სადაც $\beta = 1,3$; ϵ_{sm} – არმატურის ფარდობითი დეფორმაცია

$$\epsilon_{sm} = \sigma_s [1 - \beta_1 \cdot \beta_2 (\sigma_{sr}/\sigma_s)^2] / E_s, \quad (22)$$

სადაც σ_s არის ძაბვა არმატურაში;

β_1 – ემპირიული კოეფიციენტი: $\beta_1 = 1$ არმატურისათვის შეჭიდულობის მაღალი მაჩვენებლით (პერიოდული პროფილის არმატურა), $\beta_1 = 0,5$ გლუვზედაპირიანი არმატურისათვის;

β_2 – ემპირიული კოეფიციენტი: $\beta_2 = 1$ ხანმოკლედ მოქმედი დატვირთვებისათვის, $\beta_2 = 0,5$ ხანგრძლივად მოქმედი დატვირთვებისათვის;

srm – ბზარების ბიჯის საშუალო მნიშვნელობა:

$$srm = 50 + 0,25 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot d / \rho_1, \quad (23)$$

სადაც k_1 არის ემპირიული კოეფიციენტი: $k_1 = 0,8$ დაპროფილეებული არმატურისათვის შეჭიდულობის მაღალი მაჩვენებლით; $k_1 = 1,6$ გლუვი არმატურისათვის;

K_2 – ემპირიული კოეფიციენტი: $k_2 = 0,5$ ღუნვადი ელემენტებისათვის, $k_2 = 1$ ერთღერძა გაჭიმვისათვის;

d – არმატურის დიამეტრი;

ρ_1 – დაარმირების პროცენტი;

E_s – არმატურის დრეკადობის მოდული.

ბზარების გახსნაზე გაანგარიშების ანალოგიური მეთოდებია წარმოდგენილი სხვა ნაციონალურ ნორმებში მცირედი შესწორებებით. მაგ., ამერიკულ ნორმებში გასაანგარიშებელ ფორმულაში შემოტანილია ბეტონის არმატურასთან შეჭიდულობის ხარისხის გამთვალისწინებელი კოეფიციენტი k_b , რომლის მნიშვნელობა მეტია 1-ზე. თუ შეჭიდულობის პარამეტრები ექსპერიმენტით არ არის დადგენილი, მაშინ ნორმები გვთავაზობს ამ კოეფიციენტის მნიშვნელობა ავიღოთ 1,4.

კანადური ნორმები ისეთივეა, როგორც ამერიკული.

იაპონური ნორმებიც იმეორებს ამერიკულს იმ განსხვავებით, რომ კოეფიციენტი k_b -ს სიდიდე აღებულია 1-ის ტოლი, ანუ ფოლადის არმატურის ანალოგიური.

რუსული ნორმებით; მინაპლასტიკური არმატურისათვის დაუშვებელია ბზარების გაჩენა. ამიტომ ბზარწარმომქმნელი მომენტი განისაზღვრება რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების ანალოგიურად დრეკად სტადიაში.

1.5.3 კომპოზიტური არმატურის ჩაანკერებისა და ბეტონთან შეჭიდულობის გაანგარიშება

კანადური ნორმებით კომპოზიტური არმატურის ჩაანკერების აუცილებელი სიგრძე განისაზღვრება ფოლადის არმატურის ჩაანკერების სიგრძის ანალოგიურად იმ განსხვავებით, რომ ფორმულაში შემოტანილია დამატებითი ემპირიული კოეფიციენტები:

$$l_d = 0,45 \cdot [k_1 \cdot k_4 / (d_{cs} + k_{tr} \cdot E_f / E_s)] (f_{fu} / f_{cr}) \cdot A, \quad (24)$$

სადაც l_d არის ჩაანკერების სიგრძე;

k_1 – არმატურის განლაგების კოეფიციენტი;

k_4 – კომპოზიტური არმატურის ბეტონთან შეჭიდულობის დამატებითი მაჩვენებელი, რომელიც ტოლია კომპოზიტური არმატურის შეჭიდულობის სიმტკიცის ფარდობისა ფოლადის არმატურის ბეტონთან შეჭიდულობის სიმტკიცესთან (ამ სიდიდეების ფარდობაა არაუმეტეს 1-ისა);

d_{cs} – მინიმალური მანძილი ღეროს სიმეტრიის ღერმიდან ბეტონის კიდემდე (წახნაგამდე) ან ღეროების ბიჯი;

k_{tr} – განივის დაარმირების ინდექსი;

E_f და E_s – კომპოზიტური და ფოლადის არმატურის დრეკადობის მოდულები;

f_{fu} – კომპოზიტური არმატურის საანგარიშო სიმტკიცე;

f_{cr} – ბეტონის საანგარიშო სიმტკიცე კუმშვაზე;

A – არმატურის განივკვეთის ფართობი.

იაპონური ნორმების მიხედვით ჩაანკერების ბაზური სიგრძე:

$$\ell d = \alpha_1 \cdot (f_{fd}/f_{bod}) \cdot d > 20d, \quad (25)$$

სადაც კოეფიციენტი α_1 იცვლება ზღვრებში 0,6-1 (იხ. [17]); f_{bod} – შეჭიდულობის საანგარიშო სიმტკიცე:

$$f_{bod} = \alpha_2 \cdot (0,28 f_{ck}^{2/3} / \gamma_c) < 3,2 \text{ მპა}, \quad (26)$$

სადაც $\gamma_c = 1,3$, როცა $f_{ck} < 50$ მპა და $\gamma_c = 1,5$, როცა $f_{ck} \geq 50$ მპა; α_2 – კოეფიციენტი, რომელიც გამოხატავს კომპოზიტური არმატურის ბეტონთან შეჭიდულობის სიმტკიცის ფარდობას ფოლადის დაპროფილებული (ნაჭდევებიანი) არმატურის ბეტონთან შეჭიდულობის სიმტკიცესთან (არაუმეტეს 1-ისა). რეკომენდებულია ეს კოეფიციენტი განისაზღვროს ექსპერიმენტულად.

ზემოთ აღნიშნულის გათვალისწინებით ჩატარებული ექსპერიმენტული სამუშაოების შედეგების გამოყენებით გამოყვანილი იქნა ემპირიული ფორმულა გაჭიმული არმატურის ბეტონში ჩაანკვრების სიგრძის გამოსათვლელად:

$$\ell_a = k \cdot \sigma_f \cdot d_a \quad (27)$$

სადაც σ_f – შეჭიდულობის ძაბვა, კგ/სმ²; d_a – კომპოზიტური არმატურის დიამეტრი, სმ; ℓ_a – არმატურის ჩაანკვრების სიგრძე (ექსპერიმენტებში აღებული გვერნდა 10 სმ); k – ემპირიული კოეფიციენტი, რომლის სიდიდე გამოყენებული ბეტონის კლასისა და არმატურის დიამეტრის მიხედვით:

$$\text{ბეტონის კლასი B12.5} \quad k = \ell_a / \sigma_f \cdot d_a = 10/66,6 \cdot 0,8 = 0,19;$$

$$\text{ბეტონის კლასი B22.5} \quad k = \ell_a / \sigma_f \cdot d_a = 10/89,2 \cdot 0,8 = 0,14;$$

$$\text{ბეტონის კლასი B35} \quad k = \ell_a / \sigma_f \cdot d_a = 10/109,93 \cdot 0,8 = 0,114;$$

$$\text{ბეტონის კლასი B40} \quad k = \ell_a / \sigma_f \cdot d_a = 10/119 \cdot 0,8 = 0,11;$$

რეკომენდებულია მიღებული ემპირიული ფორმულა (27) გამოყენებული იქნას ბაზალტკომპოზიტური არმატურის ბეტონში ჩაანკვრების სიგრძის გამოსათვლელად ქვემოთ მოცემული კონსტრუქციული მოსაზრებების გათვალისწინებით:

1. კონსტრუქციული მოსაზრებით ჩაანკერების მინიმალური სიგრძეა 200 მმ;
2. გლუვი არმატურის ჩაანკერება დაუშვებელია;
3. შეკუმშულ ზონაში დაპროფილებული კომპოზიტური არმატურის ჩაანკერების მინიმალური სიგრძეა 21d.
4. კომპოზიტური არმატურის ბეტონში ჩაანკერების სიგრძე უნდა გაიზარდოს 30%-ით, თუ არმატურა განთავსებულია კონსტრუქციის განივკვეთის ზედა ნაწილში სიმაღლით 30 სმ ან 450-იანი კუთხით, ხოლო შეკუმშულ ზონაში განთავსებული არმატურის ჩაანკერების სიგრძე შესაძლებელია შემცირდეს 20%-ით.

1.5.4 კონსტრუქციული მოთხოვნები

ნაციონალური ნორმების გაცნობის საფუძველზე, შესაძლებელია შემდეგი დასკვნის გაკეთება:

განივი კომპოზიტური არმატურა:

- ღეროს განივკვეთში მინიმალური არმატურის რაოდენობა (დაარმირების პროცენტი) უნდა ავიდეთ ნორმების მიხედვით
- განივი არმატურის (საკიდების) ბიჯი აიღება არაუმეტეს 0,5h და არაუმეტეს 600 მმ;
- დახრილი ღეროებისა და საკიდების თავისუფალი ბოლოების სიგრძე უნდა იყოს არანაკლები 12d;
- კოჭებში 1 გრძ. მ-ზე უნდა განლაგდეს მინიმუმ 3 საკიდი;
- საკიდების ბიჯი აიღება მაქსიმუმ 0,8h;
- კონსტრუქციების შეერთების უბნებში ან კვანძებში, სადაც ხდება ძაბვების კონცენტრაცია, განივი არმატურის მაქსიმალური ბიჯი აიღება: 0,25h, 12df, 150 მმ (df – გრძივი არმატურის დიამეტრი);

გრძივი კომპოზიტური არმატურა:

- ბიჯი არაუმეტეს 3t (t – ფილის სისქე) და არაუმეტეს 300 მმ;
- დაარმირების მინიმალური პროცენტი: ნახშირბადპლასტიკური არმატურისთვის – 0,3%; მინაპლასტიკური არმატურისთვის – 1,5%; ორგანოპლასტიკური არმატურისთვის – 0,8%; ბაზალტკომპოზიტური არმატურისათვის – 1,35%.
- დამცავი შრე ღუნვადი ელემენტებისთვის 25 მმ; ფილებისათვის დაარმირებული ორი მიმართულებით 25 მმ; ფილებისათვის დაარმირებული ერთი მიმართულებით 30 მმ; შეკუმშული ელემენტებისათვის 35 მმ; ბეტონის კონსტრუქციებისათვის სიმტკიცით ნაკლები 25 მპა, დამცავი შრის მინიმალური სისქე უნდა გაიზარდოს 20%-ით.

2 ჩატარებული კვლევის შედეგები და მათი განსჯა

2.1 ბაზალტის არმატურის გამოცდა განივ ჭრაზე

სტუ-ს სამშენებლო ფაკულტეტის მშენებლობის სასწავლო, სამეცნიერო, საექსპერტო საგამოცდო ლაბორატორიაში, ნიმუშების გამოცდის შედეგად დადგინდა, ქართული ბაზალტის არმატურის ნომინალური დიამეტრი (ცხრილი 5), საიდანაც შეირჩა ნიმუშები მისი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების დასადგენად (ГОСТ 31938-2012 კომპოზიტური არმატურა ბეტონის დაარმატურებისათვის), არმატურის საჭირო დიამეტრები და ნიმუშის სიგრძეები და შემდგომ სპეციალურად დამზადებული მოწყობილობით მოხდა ამ არმატურების გამოცდა განივ ჭრაზე, რომლის საანგარიშო სქემა ნაჩვენებია (სურ. 19 - სურ. 24), ხოლო გამოცდის შედეგები მოცემულია ცხრილ 6 -ში, ასევე თანდართულია ლაბორატორიაში გამოცდილი ნიმუშების სურათები.

ცხრილი 5 ბაზალტის არმატურის ნომინალური დიამეტრი

№	სიგრძე, ლ მმ	ნიმუშის მასა ჰაერზე, m_1 მგ	ნიმუშის მასა წყალში, m_2 მგ	წყლის სიმკვრივე, ρ მგ/მმ ³	არმატურის ღეროს ნომინალური დიამეტრი, d მმ	არმატურის ღეროს ნომინალური დიამეტრის საშუალო მნიშვნელობა, $d_{\text{საშ}}$ მმ
1	104.70	12500	7900	1	7.481	7.481
2	102.20	12700	8100	1	7.572	
3	101.75	12300	7900	1	7.422	
4	104.70	12700	8200	1	7.399	
5	101.75	12600	8200	1	7.422	
6	103.90	12600	7900	1	7.591	
№	სიგრძე, ლ მმ	ნიმუშის მასა ჰაერზე, m_1 მგ	ნიმუშის მასა წყალში, m_2 მგ	წყლის სიმკვრივე, ρ მგ/მმ ³	არმატურის ღეროს ნომინალური დიამეტრი, d მმ	არმატურის ღეროს ნომინალური დიამეტრის საშუალო მნიშვნელობა, $d_{\text{საშ}}$ მმ
1	104.70	14500	6900	1	9.616	9.481
2	102.00	13900	6600	1	9.548	
3	101.90	13900	7100	1	9.220	
4	101.90	13900	6800	1	9.421	
5	104.70	14200	6700	1	9.553	

6	103.80	14200	6800	1	9.530	
№	სიგრძე, ℓ მმ	ნიმუშის მასა ჰაერზე, m_1 მგ	ნიმუშის მასა წყალში, m_2 მგ	წყლის სიმკვრივე, ρ მგ/მმ ³	არმატურის ღეროს ნომინალური დიამეტრი, d მმ	არმატურის ღეროს ნომინალური დიამეტრის საშუალო მნიშვნელობა, $d_{\text{საშ}}$ მმ
1	100.00	20300	10100	1	11.399	11,496
2	103.55	21300	10400	1	11.580	
3	102.30	21000	10400	1	11.489	
4	102.55	21100	10500	1	11.475	
5	99.50	20300	9900	1	11.539	
6	100.30	20500	10100	1	11.493	
№	სიგრძე, ℓ მმ	ნიმუშის მასა ჰაერზე, m_1 მგ	ნიმუშის მასა წყალში, m_2 მგ	წყლის სიმკვრივე, ρ მგ/მმ ³	არმატურის ღეროს ნომინალური დიამეტრი, d მმ	არმატურის ღეროს ნომინალური დიამეტრის საშუალო მნიშვნელობა, $d_{\text{საშ}}$ მმ
1	98.35	28400	13700	1	13.799	13.920
2	98.25	29200	14200	1	13.946	
3	101.10	30200	14700	1	13.975	
4	99.00	28600	13900	1	13.753	
5	98.00	29400	14100	1	14.103	
6	100.90	30100	14700	1	13.944	
№	სიგრძე, ℓ მმ	ნიმუშის მასა ჰაერზე, m_1 მგ	ნიმუშის მასა წყალში, m_2 მგ	წყლის სიმკვრივე, ρ მგ/მმ ³	არმატურის ღეროს ნომინალური დიამეტრი, d მმ	არმატურის ღეროს ნომინალური დიამეტრის საშუალო მნიშვნელობა, $d_{\text{საშ}}$ მმ
1	100.05	35000	16500	1	15.348	15.398
2	100.20	34900	16400	1	15.336	
3	100.75	35300	16500	1	15.418	
4	100.90	35200	16500	1	15.365	
5	100.05	35100	16100	1	15.554	
6	100.90	35300	16600	1	15.365	

ცხრილი 6 ბაზალტის არმატურის გამოცდა განივ ჭრაზე

№	სიგრძე, ℓ მმ	არმატურის ღეროს ნომინალური დიამეტრი, d მმ	ნიმუშის განივი კვეთის ფართობი, A მმ ²	მრღვევი დატვირთვა, P ნ	ზღვრული ძაბვა განივ ჭრაზე, τ_{sh} ნ/მმ ²	განივ ჭრაზე ზღვრული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა, $\tau_{sh}^{აშ}$, მპა
1	250	9.481	70.563	23100	163.68	169,82
2	250	9.481	70.563	26210	185.72	
3	250	9.481	70.563	24740	175.30	
4	250	9.481	70.563	22890	162.20	
5	250	9.481	70.563	22890	162.20	
№	სიგრძე, ℓ მმ	არმატურის ღეროს ნომინალური დიამეტრი, d მმ	ნიმუშის განივი კვეთის ფართობი, A მმ ²	მრღვევი დატვირთვა, P ნ	ზღვრული ძაბვა განივ ჭრაზე, τ_{sh} ნ/მმ ²	განივ ჭრაზე ზღვრული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა, $\tau_{sh}^{აშ}$, მპა
1	250	11.496	103.744	34970	168.54	163,59
2	250	11.496	103.744	36760	177.17	
3	250	11.496	103.744	31120	149.98	
4	250	11.496	103.744	35920	173.12	
5	250	11.496	103.744	30940	149.12	
№	სიგრძე, ℓ მმ	არმატურის ღეროს ნომინალური დიამეტრი, d მმ	ნიმუშის განივი კვეთის ფართობი, A მმ ²	მრღვევი დატვირთვა, P ნ	ზღვრული ძაბვა განივ ჭრაზე, τ_{sh} ნ/მმ ²	განივ ჭრაზე ზღვრული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა, $\tau_{sh}^{აშ}$, მპა
1	250	13.92	152.107	47380	155.75	142,46
2	250	13.92	152.107	43460	142.86	
3	250	13.92	152.107	38490	126.52	
4	250	13.92	152.107	40130	131.91	
5	250	13.92	152.107	47230	155.25	
№	სიგრძე, ℓ მმ	არმატურის ღეროს ნომინალური დიამეტრი, d მმ	ნიმუშის განივი კვეთის ფართობი, A მმ ²	მრღვევი დატვირთვა, P ნ	ზღვრული ძაბვა განივ ჭრაზე, τ_{sh} ნ/მმ ²	განივ ჭრაზე ზღვრული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა, $\tau_{sh}^{აშ}$, მპა
1	250	15.398	186.122	66380	178.32	175,99
2	250	15.398	186.122	68730	184.64	
3	250	15.398	186.122	64930	174.43	
4	250	15.398	186.122	63140	169.62	
5	250	15.398	186.122	64370	172.92	



სურ. 19. პოლიმერული არმატურის ჭრაზე გამოსაცდელი წნეხი



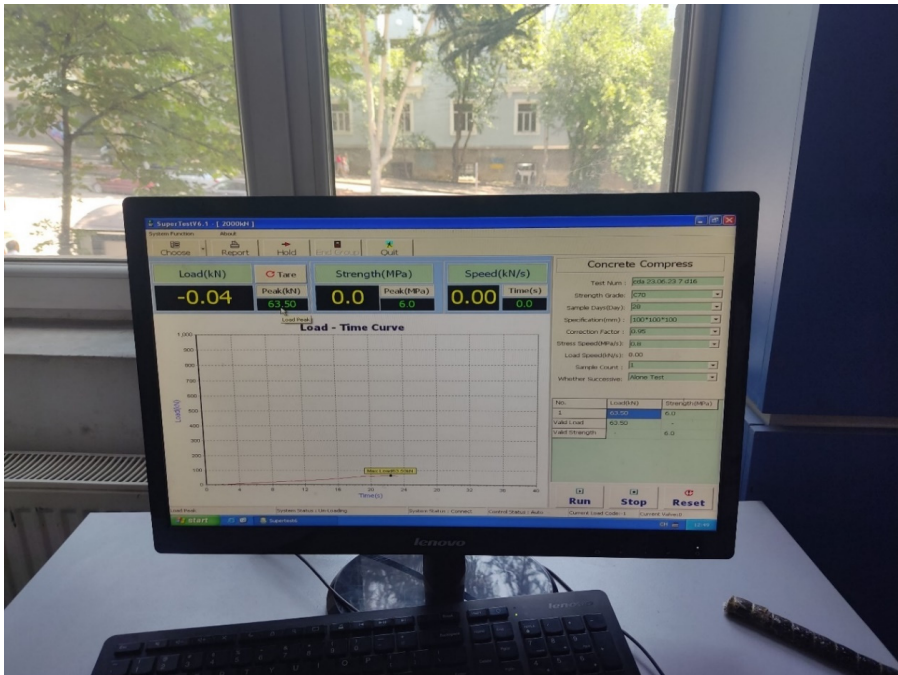
სურ. 20. პოლიმერული არმატურის ჭრაზე გამოსაცდელი წნეხი



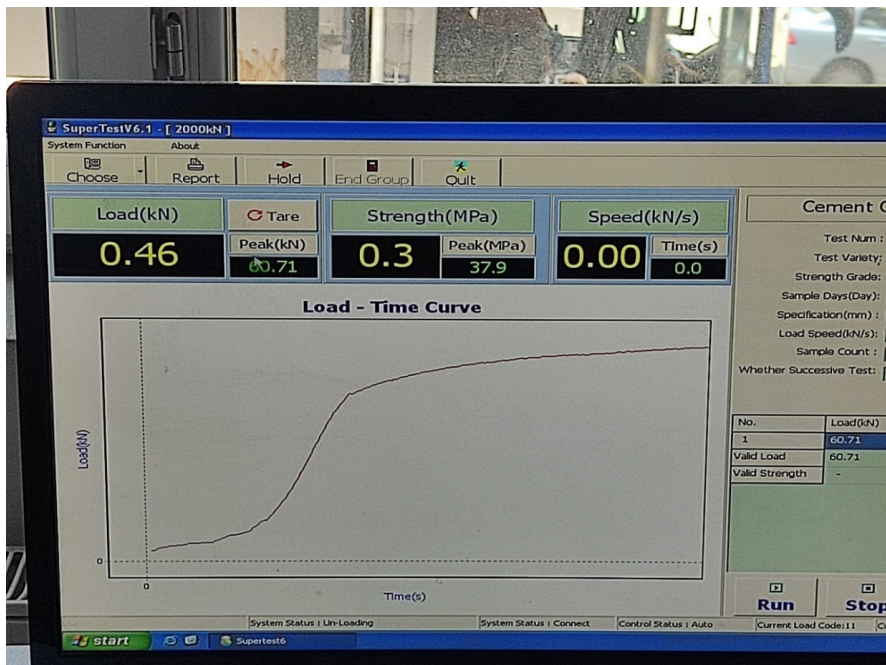
სურ. 21. ჭრაზე გამოცდილი ბაზალტკომპოზიტური არმატურები



სურ. 22. პოლიმერული არმატურის ჭრაზე გამოსაცდელი დანადგარი



სურ. 24. გამოცდის შედეგად დაფიქსირებული შედეგები



სურ. 23. გამოცდის შედეგად დაფიქსირებული შედეგები

2.2 ბეტონში ჩაანკერებული ბაზალტის არმატურის გამოცდა ამოძრობაზე (ამოგლეჯაზე)

2.2.1 დამზადებული ნიმუშები

სტუ-ს ლაბორატორიაში ექსპერიმენტისათვის დამზადებული იყო 16 ცალი ნიმუში (სურ. 25)- ბეტონის კუბი გვერდის ზომით 100 მ და ჩაანკერებული ბაზალტკომპოზიტური არმატურით დიამეტრით 8 მმ. ბეტონის კლასი B12.5, B22.5, B35 და B40. გამოიცადა 12 ნიმუში - სამ-სამი თითოეულ სერიაში (მეოთხე ნიმუში იყო სატადარიგო).



სურ. 25. დამზადებული ნიმუშები

2.2.2 გამოცდის შედეგების დამუშავება

განისაზღვრება შეჭიდულობის საშუალო ძაბვა, რომელიც იწვევს ღეროს თავისუფალი ბოლოს გაცურებას 0,05; 0,10 და 0,25 მმ-ით და შეჭიდულობის მაქსიმალური ძაბვა.

ბეტონთან შეჭიდულობის τ_r ძაბვა, მპა, კუბიდან ღერძულ ამოგლეჯაზე გამოცდისას განისაზღვრება ფორმულით:

$$\tau_r = \frac{P}{c \cdot L_{fb}} \quad (28)$$

სადაც P არის ღეროზე მოდებული დატვირთვა, ნ;

c – ღეროს შემოწერილობის ნომინალური სიგრძე, $c = \pi d$, მმ;

L_{fb} – ღეროს ბეტონში ჩაანკერების სიგრძე, მმ.

ღეროს დრეკადი S წაგრძელება, მმ, განისაზღვრება ფორმულით:

$$S = \frac{P \cdot L}{E_f \cdot A}, \quad (29)$$

სადაც P არის დატვირთვა, ნ;

L – სიგრძე, გამოსაცდელი მანქანის უძრავი ტრავერსის ამ მომჭერების ზედა ზედაპირიდან ღეროს თავისუფალ ბოლოზე განტავსებულ ასრიალების გამზომი ხელსაწყო დაყენების ადგილამდე, მმ;

E_f – კომპოზიტური ღეროს დრეკადობის მოდული. მპა;

A – ღეროს განივკვეთის ფართობი, $A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$, მმ².

გამოცდის შედეგები მოცემულია ცხრილის სახით (ცხრ. 7).

გამოცდილი ნიმუშებისათვის აიგო დიაგრამები „შეჭიდულობის ძაბვა – ბეტონის სიმტკიცე“.

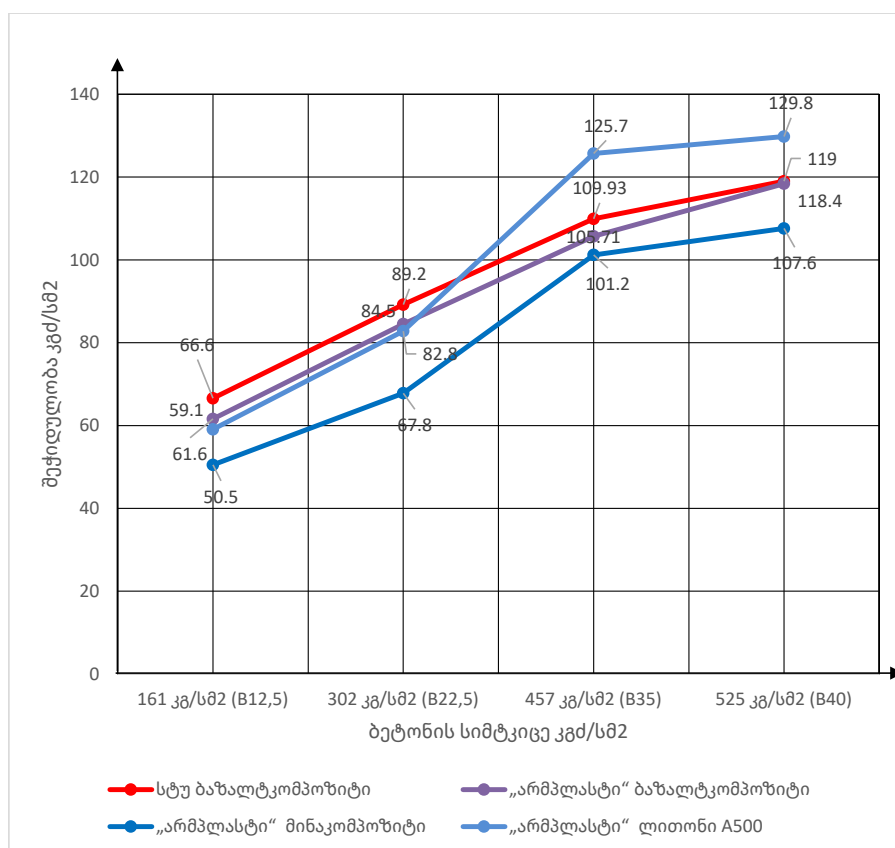
ცხრილი 7 ბაზალტკომპოზიტური არმატურის ღეროების სხვადასხვა კლასის ბეტონთან შეჭიდულობის სიდიდეები (კგ/სმ²)

ბეტონის კლასი	არმატურა Ø8	არმატურის ფაქტური დიამეტრი, დ.მმ		არმატურის ღეროს შემოწერილობა, $c = \pi d$		არმატურის ღეროს ბეტონში ჩაანკერების სიგრძე, l , სმ	მრღვევი დატვირთვა, P, კგმ		შეჭიდულობის მაჩვენებელი, R_p , კგ/სმ²	შენიშვნა
		ერთ სერიაში	საშუალო	ერთ სერიაში	საშუალო		ერთ სერიაში	საშუალო		
B12,5	1	7,23		2,27		10,0	1600		66,60	
	2	7,14	7,48	2,24	2,34	10,0	1520	1558		
	3	8,06		2,51		10,0	1555			
B22,5	1	7,44		2,34		10,0	1975		89,20	
	2	6,88	7,19	2,16	2,26	10,0	2015	2016		
	3	7,24		2,27		10,0	2060			
B35	1	7,11		2,23		10,0	2580		109,93	
	2	7,27	7,33	2,28	2,30	10,0	2510	2528		
	3	7,62		2,39		10,0	2495			
B40	1	7,80		2,45		10,0	2810		119,00	
	2	7,61	7,48	2,39	2,35	10,0	2880	2797		
	3	7,02		2,20		10,0	2700			

თუ შევადარებთ მიღებულ შედეგებს საზღვარგარეთულ მონაცემებს, დავინახავთ, რომ ქართული ბაზალტის ბოჭკოებისგან დამზადებული ბაზალტ-პლასტიკური არმატურა თავისი მექანიკური მახასიათებლებით კონკურენტუნარიანი. მაგალითად, რუსეთის ფედერაციის ქ. ყაზანის არქიტექტურულ-სამშენებლო უნივერსიტეტის მონაცემებით კომპანია „APMILIACT“-ში ჩატარებული ანალოგიური ექსპერიმენტების შედეგებთან შედარებამ აჩვენა (ცხრ. 8; სურ. 26), სტუში ჩატარებული ექსპერიმენტებით ქართული ბაზალტკომპოზიტური არმატურის უპირატესობა.

ცხრილი 8 ბაზალტკომპოზიტური არმატურის ბეტონთან შეჭიდულობის შედარებითი მონაცემები

ბეტონის კლასი	ბაზალტპლასტიკური არმატურა	არმატურის ბეტონთან შეჭიდულობის მაზვა, კგ/სმ ²		შენიშვნა
		სტუ	„არმპლასტი“	
B12,5	Ø8	66,60	61,6	+8%
B22,5	Ø8	89,20	84,5	+5,5%
B35	Ø8	109,93	105,71	+4,0%
B40	Ø8	119,00	118,4	+0,2%
საშუალოდ				4,43%



სურ. 26. ბაზალტკომპოზიტური არმატურის ბეტონთან შეჭიდულობის შედარებითი მონაცემების გრაფიკი

ჩატარებული ექსპერიმენტული სამუშაოებიდან, რომელიც ეხებოდა კომპოზიტური არმატურის ღეროს ამოგლეჯას ბეტონიდან დადგენილი იქნა რღვევის შემდეგი თვისობრივი მახასიათებლები:

- ნებისმიერი კლასის ბეტონის მასივიდან ბაზალტკომპოზიტური არმატურის ღეროს ამოგლეჯა ხდება არმატურასა და ბეტონს შორის სასაზღვრო ზონაში, ანუ რღვევას აქვს კოჰეზიური ხასიათი (კოჰეზია - შეჭიდულობა, გადამაურთიერთმიზიდულობა მოლეკულებს, ატომებსა და იონებს შორის) და ამიტომ შეზღუდულია ბეტონის ძვრაზე სიმტკიცით, რომელიც პროპორციულად იზრდება კლასის მატებასთან ერთად. გამოცდილ ნიმუშებში სიღრმითი დაზიანებები (ხილული ბზარები) არ დაფიქსირებულა. დადგინდა, რომ რღვევის მომენტში ბეტონის არმატურასთან შეჭიდულობის სიმტკიცე მეტია ბეტონის კოჰეზიურ სიმტკიცესთან მიმართებით სასაზღვრო ზონაში;
- დაპროფილებული (ხრახნული) ბაზალტკომპოზიტური არმატურის ღეროს ამოგლეჯისას ხდება სპირალური ხვეულების დეფორმაცია და განშრევა ძვრის ძალების მოქმედების შედეგად. რაც მეტია ბეტონის კლასი მით მეტია ხვეული ნაშვერების განშრევისა და მოგლეჯვის დეფორმაცია. და რღვევა მიმდინარეობს მდოვრე რეჟიმში, როცა დატვირთვა აღწევს მაქსიმალურის 40-50%-ს;
- ღეროს ამოგლეჯა დაბალი კლასის ბეტონებში (B12.5) მიმდინარეობს თანაბრად ხვეულების ნაშვერების დეფორმაციის გარეშე;
- ბაზალტკომპოზიტური არმატურის სიმტკიცის მახასიათებლების სრული რეალიზაციისათვის მიზანშეწონილია ასეთი არმატურა უპირატესად გამოყენებული იყოს მაღალი კლასის (B40 და მეტი) ბეტონებში, რადგან თვალნათლივ ჩანს. რომ ამ პირობებში კომპოზიტური არმატურის ამოგლეჯისას ბეტონის რღვევა ანალოგიურია პერიოდული პროფილის ფოლადის არმატურის ამოგლეჯისას ბეტონის რღვევის, რაც საშუალებას იძლევა გაანაგრიშებებში გამოვიყენოთ არმატურის ღეროს ჩაანკერების მეთოდიკა.

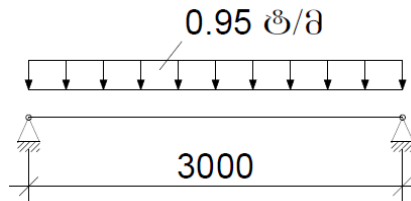
2.3 ბაზალტკომპოზიტური არმატურით დაარმირებული გადახურვის რკინაბეტონის ფილის გაანგარიშება დეფორმაციაზე

2.3.1 გადახურვის ბეტონის ფილის გაანგარიშება დეფორმაციებზე (ჩაღუნვაზე) ბაზალტკომპოზიტური (ბაზალტპლასტიკური) არმატურით

1. საწყისი მონაცემები:

- შენობის ზომები გეგმაში – 9,0x6,0 მ;
- განივი კედლების ბიჯი – 3,0 მ;
- ფილის სისქე – 18,0 სმ;
- ფილის განივკვეთის სამუშაო სიმაღლე კომპოზიტური არმატურის გამოყენების შემთხვევაში – $h_0 = 16,0$ სმ;
- კონსტრუქციის მასალა – მძიმე ბეტონი კლასით B20.

ფილის საანგარიშო სქემა მოცემულია სურ. 27 -ზე.



სურ. 27. ფილის საანგარიშო სქემა

დეფორმაციაზე გაანგარიშება მოვახდინოთ დაარმირების სხვადასხვა ვარიანტისათვის.

ა) ბაზალტკომპოზიტური არმატურა $\Phi 14$, ბიჯი 200 მმ (1 მ სიგანის ზოლში – 5 ცალი). განივკვეთის ფართობი $A_s = 1,539 \times 5 = 7,69$ სმ² (ნინუა, 1988) დანართი XXXII). დაარმირების კოეფიციენტი გამოითვლება ფორმულით:

$$\mu_n = A_s \cdot E_a / b \cdot h_0 \cdot E_b.$$

დატვირთვების ხანმოკლე და ხანგრძლივად მოქმედების გამთვალისწინებელი კოეფიციენტები $K_{1bანმ.}$, $K_{1bანგ.}$ და $K_{2bანგ.}$ დამოკიდებულია საიმედოობის γ კოეფიციენტზე .

ფილის ღერძის სიმრუდის რადიუსი მუდმივი, დროებითი და ხანმოკლედ მოქმედი დატვირთვებისას განისაზღვრება ფორმულით:

$$1/\rho = [1/(Ea \cdot As \cdot h_0^2)] \cdot [(M_{b56\partial}/K_{1b56\partial}) + (M_{b5\partial\partial} - K_{2b5\partial\partial} \cdot b \cdot h^2 \cdot R_{b\partial\partial} / K_{1b5\partial\partial})].$$

ფილის მაქსიმალური ჩაღუნვა მალის შუაში:

$$f_{\partial} = (1/\rho) \cdot S \cdot l^2 \text{ სმ.}$$

ფილის ზღვრული ჩაღუნვა სამშენებლო ნორმების თანახმად:

$$f_{\text{ზღვ.}} = 1/200 = 300/200 = 1,5 \text{ სმ.}$$

თუ მივიღებთ, რომ $f_{\partial} < f_{\text{ზღვ.}} = 1,5 \text{ სმ}$, მაშინ ჩაღუნვის პირობა დაკმაყოფილებულია.

ბ) ბაზალტკომპოზიტური არმატურა $\Phi 10$, ბიჯი 100 მმ (1 მ სიგანის ზოლში – 11 ცალი). განივკვეთის ფართობი $As = 0,785 \times 11 = 7,86 \text{ სმ}^2$

გრძივი არმატურის დაარმირების კოეფიციენტი განისაზღვრება ფორმულით:

$$\mu_n = As \cdot Ea / b \cdot h_0 \cdot Eb,$$

ფილის ღერძის სიმრუდის რადიუსი მუდმივი, დროებითი და ხანმოკლედ მოქმედი დატვირთვებისას განისაზღვრება ფორმულით:

$$1/\rho = 1/(Ea \cdot As \cdot h_0^2) [(M_{b56\partial}/K_{1b56\partial}) + (M_{b5\partial\partial} - K_{2b5\partial\partial} \cdot b \cdot h^2 \cdot R_{b\partial\partial} / K_{1b5\partial\partial})].$$

დატვირთვების ხანმოკლედ და ხანგრძლივად მოქმედების გამთვალისწინებელი კოეფიციენტები $K_{1b56\partial}$, $K_{1b5\partial\partial}$ და $K_{2b5\partial\partial}$ დამოკიდებულია საიმედოობის γ კოეფიციენტზე .

ფილის მაქსიმალური ჩაღუნვა მალის შუაში:

$$f_{\partial} = (1/\rho) \cdot S \cdot l^2 \text{ სმ.}$$

ფილის ზღვრული ჩაღუნვა სამშენებლო ნორმების თანახმად:

$$f_{\text{ზღვ.}} = 1/200 = 300/200 = 1,5 \text{ სმ.}$$

თუ მივიღებთ, რომ $f_{\partial} < f_{\text{ზღვ.}} = 1,5 \text{ სმ}$, მაშინ ჩაღუნვის პირობა დაკმაყოფილებულია.

გ) ბაზალტკომპოზიტური არმატურა $\Phi 8$, ბიჯი 100 მმ (1 მ სიგანის ზოლში – 11 ცალი). განივკვეთის ფართობი $As = 0,503 \times 11 = 5,05 \text{ სმ}^2$ ([11], დანართი XXXII).

დაარმირების კოეფიციენტი განისაზღვრება ფორმულით:

$$\mu_n = As \cdot Ea / b \cdot h_0 \cdot Eb.$$

ფილის ღერძის სიმრუდის რადიუსი მუდმივი, დროებითი და ხანმოკლედ მოქმედი დატვირთვებისას განისაზღვრება ფორმულით:

$$1/\rho = [1/(E_a \cdot A_s \cdot h_0^2)] \cdot [(M_{b_{\text{ნმ}}}/K_{1b_{\text{ნმ}}}) + (M_{b_{\text{ნგ}}} - K_{2b_{\text{ნგ}}} \cdot b \cdot h^2 \cdot R_{btm} / K_{1b_{\text{ნგ}}})]$$

დატვირთვების ხანმოკლედ და ხანგრძლივად მოქმედების გამთვალისწინებელი კოეფიციენტები $K_{1b_{\text{ნმ}}}$, $K_{1b_{\text{ნგ}}}$ და $K_{2b_{\text{ნგ}}}$ დამოკიდებულია საიმედოობის γ კოეფიციენტზე

ფილის მაქსიმალური ჩალუნვა მალის შუაში:

$$f_{\text{ფ}} = (1/\rho) \cdot S \cdot l^2 \text{ სმ.}$$

ფილის ზღვრული ჩალუნვა სამშენებლო ნორმების თანახმად:

$$f_{\text{ზღვ.}} = 1/200 = 300/200 = 1,5 \text{ სმ.}$$

თუ მივიღებთ, რომ $f_{\text{ფ}} < f_{\text{ზღვ.}} = 1,5$ სმ, მაშინ ჩალუნვის პირობა დაკმაყოფილებულია.

თუ $f_{\text{ფ}} = > f_{\text{ზღვ.}} = 1,5$ სმ, რაც იმას ნიშნავს, რომ ფილის ჩალუნვის პირობა არ არის დაკმაყოფილებული.

აღნიშნული მეთოდით გადახურვის ბეტონის ფილის გაანგარიშების რიცხვითი მაგალითი დეფორმაციებზე (ჩალუნვაზე) ფოლადისა და ბაზალტკომპოზიტური (ბაზალტპლასტიკური) არმატურით მოცემულია დისერტაციის დანართი (იხ. დანართი № 1)

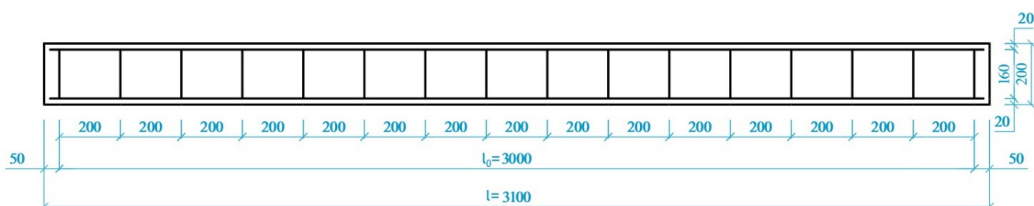
ჩატარებულმა გაანგარიშებებმა გვაჩვენა, რომ სართულშუა გადახურვის რკინაბეტონის ფილის (მალით 3 მ-მდე, სისქით 18 სმ-მდე) დაარმირებისათვის ფოლადის სამუშაო (მუშა) არმატურის მინიმალური დიამეტრი აიღება $\Phi 7A500c$ არმატურის ბიჯით 200 მმ, ხოლო მინაკომპოზიტური არმატურის გამოყენებისას: $\Phi 14$ ბიჯით 200 მმ და $\Phi 10$ ბიჯით 100 მმ. ბაზალტკომპოზიტური არმატურის გამოყენება დიამეტრით $< \Phi 8$ მმ-ზე მიზანშეწონილი არ არის, რადგან ასეთი დაარმირებისას არ კმაყოფილდება ჩალუნვის პირობა.

ცხრილი 9 ბეტონის ფილის დაარმირების ვარიანტების შედარება

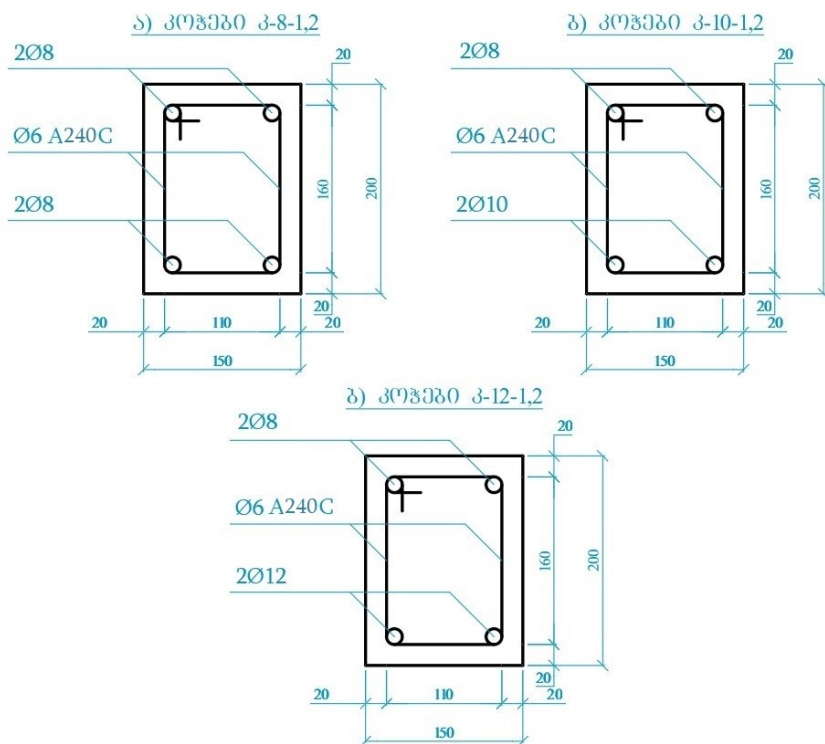
არმატურის კლასი	არმატურის დიამეტრი, მმ	არმატურის ბიჯი, მმ	As	ჩალუნვა, სმ	ზღვრული ჩალუნვა, სმ
A500c	7	200	1,92	1	1,5
ბაზალტკომპო- ზიტური არმატურა	14	200	7,69	1,02	
	10	100	7,86	1	
	8	100	5,05	1,56	

2.4 ბაზალტბეტონის კოჭების თანაბარგანაწილებულ დატვირთვაზე გამოცდის შედეგები

ბაზალტბეტონის კოჭების გამოცდა თანაბარგანაწილებულ დატვირთვაზე ჩატარდა ქ. რუსთავეში შ.პ.ს. „ბაზალტ ფაიბერსის“ საწარმოო ბაზაზე. გამოცდის მიზანი იყო ბაზალტბეტონის ღუნვადი ელემენტების დეფორმაციულ-მექანიკური მახასიათებლების დადგენა თანაბარგანაწილებული სტატიკური დატვირთვის მოქმედებაზე. გამოცდები ჩატარდა ბაზალტბეტონის კოჭებზე, რომელთა ზომები ახლოსაა ნატურალური კონსტრუქციების ზომებთან. კოჭების სიგრძეა 310 სმ, მუშა სიგრძე (მალი) - 300 სმ. კოჭების განივკვეთის ზომებია 150X200 სმ. გამოიცადა სამი სერიის 6 კოჭი - ორ-ორი თითო სერიიდან. პირველი სერიის კოჭების მუშა არმატურა არის 4Ø8, მეორე სერიისა - 2Ø10 + 2Ø8 (2Ø10 განთავსებულია გაჭიმულ ზონაში, ხოლო 2Ø8 - ზედა შეკუმშულ ზონაში); მესამე სერიის კოჭების გაჭიმულ ზონაში განთავსებულია 2Ø12, ხოლო ზედა ზონაში - 2Ø8. საკიდებად გამოყენებულია ფოლადის არმატურა Ø6 A240C ბიჯით 200 მმ. გამოსაცდელი კოჭების საერთო ზომები და დაარმირება მოცემულია სურ. 28-ზე.

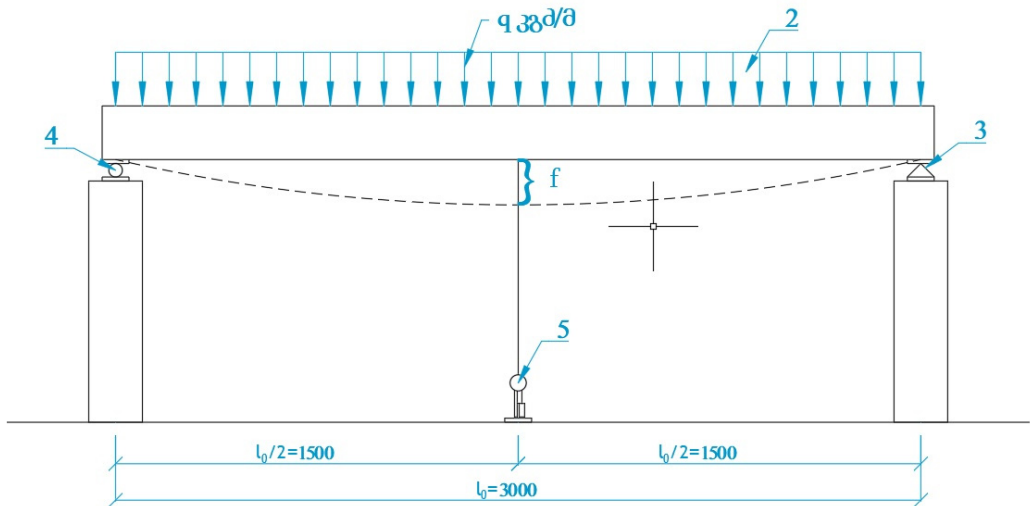


სურ. 28. კოჭების საერთო ზომები და დაარმირების სქემა



სურ. 29. კოჭების განივი კვეთები

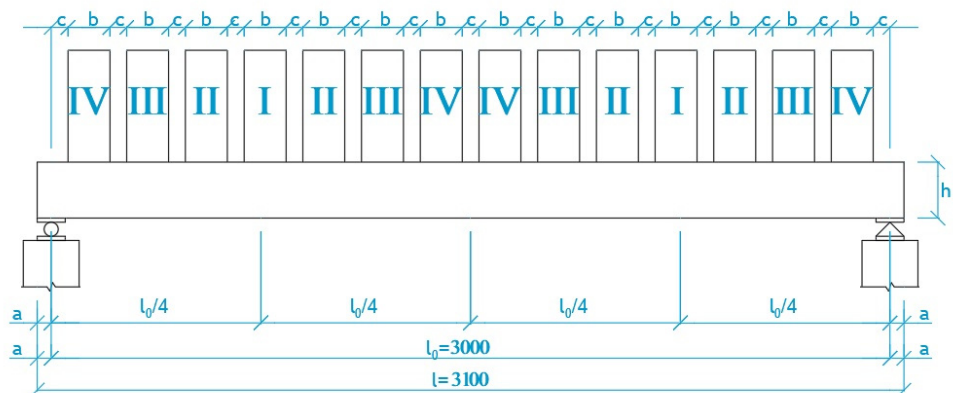
კოჭები გამოვცადეთ თანაბარგანაწილებული ტვირთის სტატიკურ მოქმედებაზე, როგორც ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე ღუნვადი ელემენტები. ერთი სერიის ორივე კოჭი გამოიცადა შეწყვილებულად საერთო საყრდენებზე განთავსებული. კოჭების საყრდენები ორივე იყო სახსროვანი: ერთი უძრავი, მეორე მოძრავი. კოჭების მუშა მალი ყველასთვის იყო ერთნაირი და შეადგენდა $l_0=300$ სმ. გამოსაცდელი ტვირთები კოჭებს გადაეცემოდა ეტაპობრივად - საფეხურებით. კოჭების ჩალუნვები დატვირთვისაგან მალის შუაში f იზომებოდა მაქსიმუმის სისტემის ჩალუნვამზომით, რომლის სკალის დანაყოფის ფასია 0.1 მმ. კოჭების გამოცდის სქემა მოცემულია სურ. 30-ზე.



სურ. 30. კოჭების გამოცდის სქემა.

- 1) გამოსაცდელი კოჭები; 2) თანაბარგანაწილებული დატვირთვა; 3) უძრავი სახსოვანი საყრდენი;
4) მოძრავი სახსოვანი საყრდენი; 5) მაქსიმუმის სისტემის ჩაღუნვაში f -კოჭების ჩაღუნვა მალის შუაში.

გამოსაცდელი კოჭების ტვირთებად გამოყენებული იყო ბეტონის ბორ-დიურის ქვები, რომელთა ზომებია 15X27X100 სმ. მათი საშუალო წონაა 85 კგ. ტვირთების განლაგების თანმიმდევრობა გამოსაცდელ კოჭებზე ისე იყო შერჩეული, რომ დატვირთვის ყოველ ეტაპზე მღუნავი მომენტი მალის შუაში იდენტური იყო იმ მომენტისა, რასაც გამოიწვევდა ექვივალენტური თანაბარგანაწილებული დატვირთვა, რომლის საერთო წონა ტოლია კონსტრუქციაზე მოდებული რეალური ტვირთების ჯამისა. გამოსაცდელი კოჭებზე ტვირთების განლაგება თანმიმდევრობა მოცემულია სურ. 24-ზე. ექვივალენტური თანაბარგანაწილებული q დატვირთვებისაგან გამოწვეული f ჩაღუნვების მნიშვნელობები კოჭების მალის შუაში მოცემულია ცხრილის სახით, ხოლო კოჭების მალის შუაში f ჩაღუნვების q დატვირთვებისაგან დამოკიდებულების გრაფიკი სურ.32-ზე.



- 1) კოჭების სიგრძე $l_0 = 3000$ მმ
- 2) კოჭების სამუშაო მალი $l = 3100$ მმ
- 3) კოჭების კვეთის სიმაღლე $h = 200$ მმ
- 4) კოჭების ჩამოყრდნობის სიგრძე $a = 50$ მმ
- 5) ტვირთების სიგანე $b = 150$ მმ
- 6) ტვირთების მანძილები $c = 60$ მმ

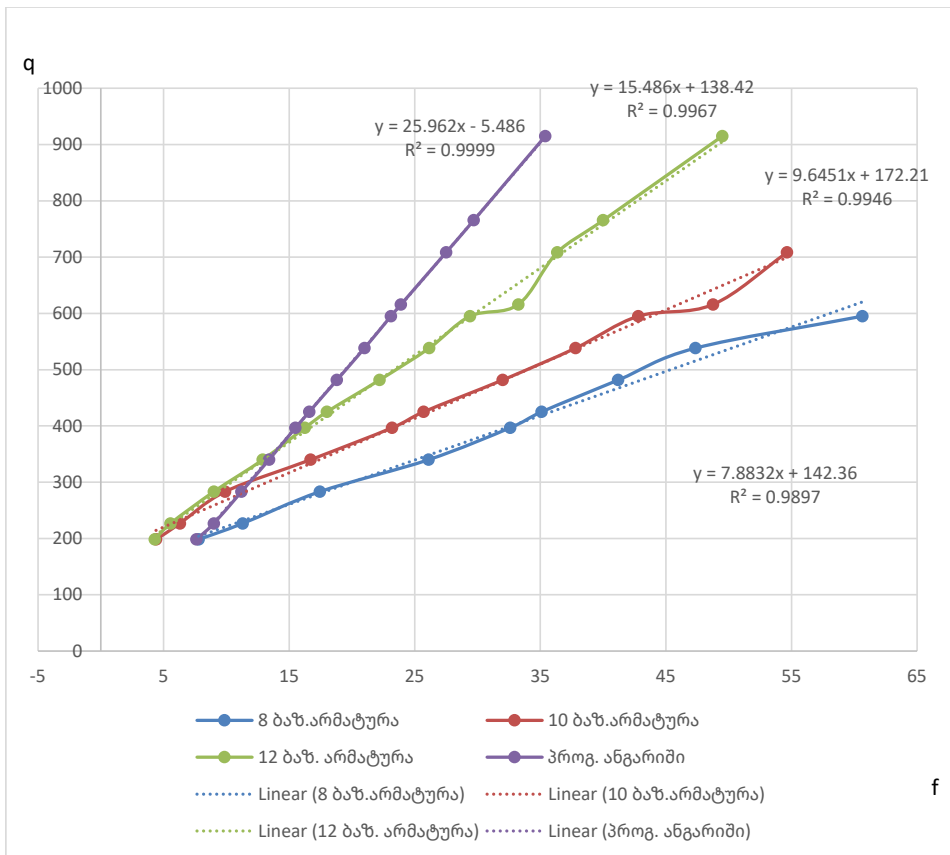
სურ. 31. გამოსაცდელ კოჭებზე ტვირთების განლაგების
თანამიმდევრობა.

ექვივალენტური თანაბარგანაწილებული q დატვირთვებისაგან გამოწვეული

f ჩალუნვების მნიშვნელობები კოჭების მალის შუაში

ცხრილი 10

№ რიგზე	დატვირთვა q, კგ/მ	მლუნავი მომენტი მალის შუაში M, კგ.მ	ჩალუნვები კოჭების მალის შუაში f მმ						ჩალუნვების საშუალო მნიშვნელობა			პროგრამით განგარიშებული ჩალუნვები
			კ-8- 1	კ-8- 2	კ-10- 1	კ-10- 2	კ-12- 1	კ-12- 2				
1												
2												
3												
4	198,3	223,1	7,9	7,7	4,5	4,3	4	4,6	7,8	4,4	4,3	7,61
5	226,7	255	11,4	11,2	6,4	6,2	5,4	5,7	11,3	6,3	5,55	9
6	283,3	318,7	17,9	17	10,1	9,7	8,9	9,1	17,45	9,9	9	11,2
7	340	382,5	26,6	25,6	17	16,4	12,6	13,2	26,1	16,7	12,9	13,4
8	396,7	446,3	33	32,2	23,8	22,6	15,8	16,7	32,6	23,2	16,25	15,5
9	425	478,1	35,7	34,5	26,3	25,1	17,4	18,6	35,1	25,7	18	16,6
10	481,7	541,9	41,8	40,6	32,9	31,1	20,8	23,6	41,2	32	22,2	18,8
11	538,3	605,6	48	46,7	38,5	37,1	25,1	27,2	47,35	37,8	26,15	21
12	595	669,4	56,3	65	43,7	41,9	28,2	30,6	60,65	42,8	29,4	23,1
13	615,7	733,2			50,3	47,2	31,9	34,6		48,75	33,25	23,9
14	708,3	796,8			55,8	53,5	34,9	37,8		54,65	36,35	27,5
15	765,5	860,6					38,5	41,5			40	29,7
16	915	1029,4					47,5	51,5			49,5	35,4



სურ. 32. კოჭების მალის შუაში ჩალუნვების (f) დატვირთვებისაგან (q) დამოკიდებულების გრაფიკი.

პირველი სერიის კოჭების გამოცდის პროცესი ასახულია ამ ანგარიშზე დართულ სურათებზე ამ სერიის კოჭების მუშა არმატურის ნომინალური დიამეტრია 8 მმ. დამამზადებლის გადმოცემით არმატურის ფაქტიური დიამეტრი შეადგენს 7.2 მმ-ს, ამდენად მათი განივკვეთის ფაქტიური ფართობი 0.407 სმ².

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ერთი სერიის ორივე კოჭი გამოიცადა ერთდროულად. დატვირთვები მათ გადაეცემოდა ეტაპობრივად საფეხურებით. ამ დროს კოჭები ექვივალენტური თანაბარგანაწილებული დატვირთვა q შეადგენდა 198.3 კგ/მ-ს. კოჭების მალის შუაში ჩალუნვა f ტოლი იყო 7.7 და 7.9 მმ-ის. დატვირთვის ამ ეტაპზე გაიხსნა ვერტიკალური ბზარები. ამ დროს კოჭების მალი

შუაში თანაბარ-განაწილებული დატვირთვისაგან მოქმედებდა $M=223.1$ კგ.მ მღუნავი მომენტი, თუ ჩავთვლით, რომ ამ დროს კოჭის განივკვეთის შეკუმშული ზონის სიმაღლე X ახლოს იყო კვეთის მუშა სიმაღლის ($h_0=18$ სმ-ს) ნახევართან, მუშა არმატურაში ნორმალური ძაბვის სავარაუდო მნიშვნელობაა $\sigma = M/Fa (h_0 - x/2) = 22310/0.814 * 13.5 = 2030$ კგ/სმ². ამ დატვირთვაზე ბზარების გახსნის სიგანე შეადგენდა 0.05 მმ-ს. ამ დროს თანაბარგანაწილებული დატვირთვის ინტენსივობა ტოლი იყო 396.7 კგ/მ-ის, ხოლო მალის შუაში მოქმედებდა $M=446.3$ კგ.მ მღუნავი მომენტი. მუშა არმატურაში სავარაუდო ნორმალური ზაბვა $\sigma = 44630/0.814 * 15.5 = 3537$ კგ/სმ²-ს. ამ ეტაპზე ბზარების განვითარების სიმაღლის მიხედვით კვეთის ბეტონის შეკუმშული ზონის სიმაღლე $X=5$ სმ. კოჭების მალის შუაში ჩალუნვები ტოლია 23.2 და 33.0 მმ-ის რაც კოჭის მალის ($l_0=3000$ მმ) $1/92$ ნაწილს შეადგენს. კოჭების დატვირთვის მე-12 ეტაპზე კოჭების ჩალუნვამ მალის შუაში შეადგინა 55.0 და 56.3 მმ. ბზარების გახსნის სიგანე იყო 1.9 მმ, ბზარებს შორის მანძილი შეადგენდა 150-200 მმ-ს. ექვივალენტური თანაბარგანაწილებული დატვირთვა $q=595.0$ კგ/მ-ს, ხოლო მღუნავი მომენტი მალის შუაში ამ დატვირთვისაგან $M=669.4$ კგ.მ-ს. ნორმალური ძაბვის სავარაუდო მნიშვნელობა მუშა (გაჭიმულ) არმატურაში $\sigma = 66940/0.814 * 16 = 5140$ კგ/სმ²-ს. ამ დროს შეფარდებამ f/l_0 საშუალო შეადგინა $1/54$ ნაწილი. საკონტროლო ნიმუშების გამოცდის მიხედვით ბეტონის სიმტკიცე $R_b=330$ კგ/სმ-ს. კ-8-1 და კ-8-2 კოჭების მალის შუაში ჩალუნვების q ექვივალენტური თანაბარგანაწილებული დატვირთვებისაგან დამოკიდებულების გრაფიკები მოცემულია ნახ. 17-ზე.

მეორე სერიის ნიმუშების (კ-10-1 და კ-10-2) გამოცდის პროცესი ასახულია აქ თანდართულ სურათებზე . ამ სერიაში გამოყენებული მუშა არმატურის ($\varnothing 10$) ფაქტიური დიამეტრია 9.2 მმ, შესაბამისად, მისი განივკვეთის ფაქტიური ფართი $Fa=0.664$ სმ². სურათებზე ასახულია კოჭების გამოცდის მე-4 ეტაპი, როდესაც ექვივალენტური თანაბარგანაწილებული დატვირთვის ინტენსივობა q შეადგენდა 396.7 კგ/მ-ს, მალის შუაში მოქმედებდა მღუნავი მომენტი $M=446.3$ კგ.მ-ს. ამ დატვირთვებისაგან მალის შუაში ჩალუნვები f ტოლი იყო 22.6 და 23.8 მმ-ის. მუშა არმატურაში მოსალოდნელი ნორმალური ძაბვა $\sigma = 44630/1.328 * 13.5 = 2489$ კგ/სმ². ამ ეტაპზე კოჭების გვერდითა ზედაპირებზე გაჩნდა ხილული

ბზარები , რომელთა გახსნის სიგანე ტოლი იყო 0.03 მმ-ის. სურათებზე ასახულია კოჭების გამოცდის მე-12 ეტაპი, როცა ეკვივალენტური თანაბარგანაწილებული დატვირთვის ინტენსივობა იყო $q=595.0$ კგ/მ-ს, ხოლო ამ დატვირთვისაგან მალის შუაში მდუნავი მომენტის სიდიდე $M=669.4$ კგ.მ-ს. კოჭების ჩაღუნვები მალის შუაში $f_1=43.7$ მმ-ს, $f_2=41.9$ მმ-ს. სავარაუდოდ ნორმალური ძაბვა მუშა არმატურაში $\sigma = 66940/1.328 * 16 = 3150$ კგ/სმ². ამ დროს ბზარების გახსნის საშუალო სიგანე a შეადგენდა 1.1 მმ-ს, ხოლო ბზარებს შორის მანძილი იყო 100-150 მმ . კოჭების გამოცდა შევაჩერეთ დატვირთვის მე-14 ეტაპზე , როდესაც ეკვივალენტური თანაბარგანაწილებული დატვირთვა $q=708.3$ კგ/მ-ს, ხოლო მალის შუაში მდუნავი მომენტი M შეადგენდა 796.8 კგ.მ-ს. ამ დროს ბზარები კიდევ უფრო მეტად გაიხსნა $a=1.3$ მმ , ხოლო მალის შუაში ჩაღუნვებმა მიაღწია 53.5 და 55.9 მმ-ს, შესაბამისად (იხ. ცხრილი და ნახ.32) დატვირთვის ბოლო ეტაპზე გაჭიმულ მუშა არმატურის კვეთში სავარაუდოდ ნორმალური ძაბვა $\sigma = 79680/1.328 * 16 = 3750$ კგ/სმ². კოჭების მალის შუაში ჩაღუნვების საშუალო მნიშვნელობამ შეადგინა მალის 1/55 ნაწილი. ბეტონის სიმტკიცეა 345 კგ/სმ².

მესამე სერიის კოჭები (კ-12-1 და კ-12-2) გამოვცადეთ დატვირთვების იმავე ეტაპებით, როგორც პირველი და მეორე სერიის ნიმუშები. მათი გამოცდის პროცესი ასახულია დანართში განთავსებულ სურათებზე . ამ კოჭებში პირველი ბზარების გახსნა დაფიქსირდა დატვირთვის მე-6 ეტაპზე, როცა ეკვივალენტური თანაბარგანაწილებული დატვირთვის ინტენსივობა იყო $q=283.3$ კგ/მ-ს, ხოლო მალის შუაში მოქმედებდა $M=318.7$ კგ.მ მდუნავი მომენტი. ბზარების გახსნის სიგანე იყო 0.05, ხოლო მათ შორის მანძილები 100-120 მმ.

გამოსაცდელი კოჭები დატვირთის მე-12 ეტაპზე, როცა ეკვივალენტური თანაბარ განაწილებული q დატვირთვის ინტენსივობაა 595.0 კგ/მ, ხოლო მალის შუაში მდუნავი მომენტია $M=669.4$ კგ.მ-ს. ამ დროს კოჭების მალის შუაში ჩაღუნვებია: $f_1=28.2$ მმ-ს და $f_2=30.6$ მმ-ს, ხოლო ბზარის გახსნის სიგანე $a=0.35$ მმ-ს. სავარაუდო ნორმალური ძაბვა მუშა გაჭიმული არმატურის კვეთში ასეთი დატვირთვისაგან იქნება $\sigma = M/Fa (h_0 - x/2) = 66940/2.076 * 16 = 2015$ კგ/სმ².

კოჭების გამოცდა შევწყვიტეთ დატვირთვების მე-16 ეტაპზე , როცა ეკვივალენტური თანაბარგანაწილებული q დატვირთვის მნიშვნელობამ მიაღწია 915 კგ/მ-ს, ხოლო მალის შუაში M მღუნავი მომენტის მნიშვნელობა იყო 1029.4 კგ/მ. ამ დროს კოჭების ჩაღუნვები მალის შუაში შესაბამისად იყო 47.5 და 51.5 მმ. ამ ჩაღუნვების საშუალო მნიშვნელობის შეფარდებამ კოჭების მალასთან შეადგინა მიახლოებით 1/61 ნაწილი. მუშა არმატურის კვეთში განვითარებული სავარაუდო ნორმალური ძაბვა $\sigma = 102940/2.076 * 16 = 3099$ კგ/სმ². ბეტონის სიმტკიცეა $R_b=345$ კგ/სმ-ს.

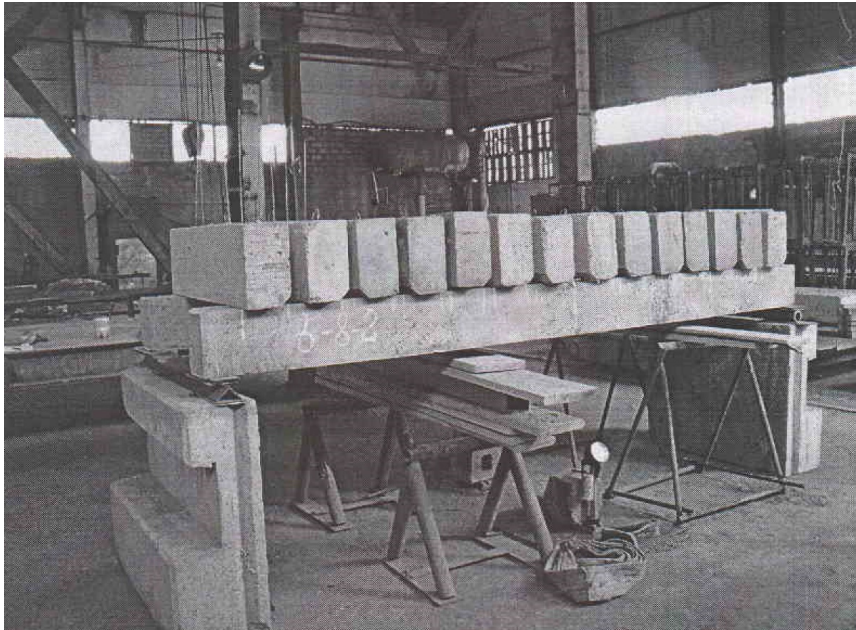
დასკვნა: გამოცდებმა გვიჩვენა, რომ ნიმუშების დიდი დეფორმაციების (ჩაღუნვების) დროსაც კი ბაზალტის კოჭისაგან დამზადებული არმატურის სიმტკიცის ($R_a \approx 10000$ კგ/სმ²) დიდი რესურსის ძალიან მცირე ნაწილია გამოყენებული: I სერიის კოჭების მალის 1/54-ით ჩაღუნვის დროს მუშა არმატურაში ნორმალური ძაბვა იყო 5140 კგ/სმ². II სერიის კოჭების მალის 1/55 ნაწილით ჩაღუნვისას მუშა არმატურაში ნორმალური ძაბვა $\sigma_a = 3750$ კგ/სმ², ხოლო III სერიის მალის 1/61-ით ჩაღუნვის პირობებში მუშა არმატურაში $\sigma_a = 3099$ კგ/სმ².

ეს კონტრასტი უფრო გაიზრდება თუ გამოვთვლით მუშა არმატურებში ფაქტიურ ნომინალურ ძაბვებს ღუნვადი კონსტრუქციებისათვის ნორმებით დასაშვები ჩღუნვების გამომწვევი დატვირთვების მოქმედებისგან. ამდენად, სასურველია მოინახოს გზები ბაზალტის ბოჭკოსაგან დამზადებული არმატურის უფრო ეფექტური გამოყენებისათვის ბაზალტბეტონის კონსტრუქციებში, მაგალითად, წინასწარი დაძაბვა, გაფართოებადი, თვითდამძაბავი ბეტონის გამოყენება და სხვ.

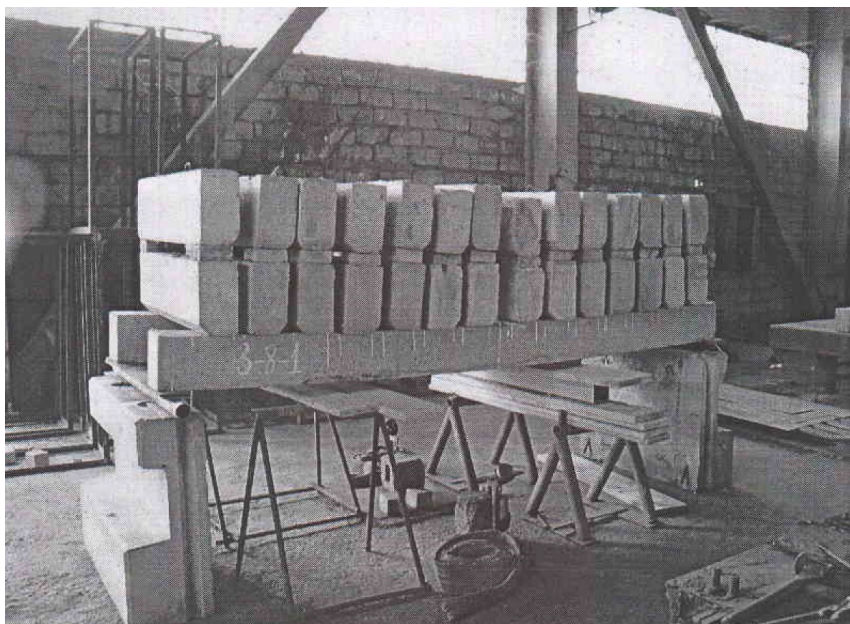
რეალური ბაზალტბეტონის კოჭების გამოცდამ ღუნვაზე აჩვენა, რომ დამოკიდებულებას დატვირთვასა და დეფორმაციას (ჩაღუნვას) შორის თითქმის პირდაპირ პროპორციული ხასიათი აქვს ანუ კომპოზიტური არმატურა ფოლადის არმატურისგან განსხვავებით კონსტრუქციის რღვევამდე მუშაობს დრეკად სტადიაში, რაც თვალნათლივ დაადასტურა გამოცდილი კონსტრუქციის გაანგარიშებამ პროგრამა Lirasapr-ით (გრაფიკი სწორხაზოვანია). ექსპერიმენტებმა აჩვენა აგრეთვე ის, რომ მუშა არმატურის სიმტკიცის მცირე ნაწილია გამოყენებული (დაახლოებით 35-50%).

ჩავატარეთ კომპიუტერული Liraspr-პროგრამით კოჭის გაანგარიშება პრაქტიკულ ექსპერიმენტთან შედარებისთვის. გაანგარიშების შედეგები დატანილია გრაფიკზე (სურ. 32).

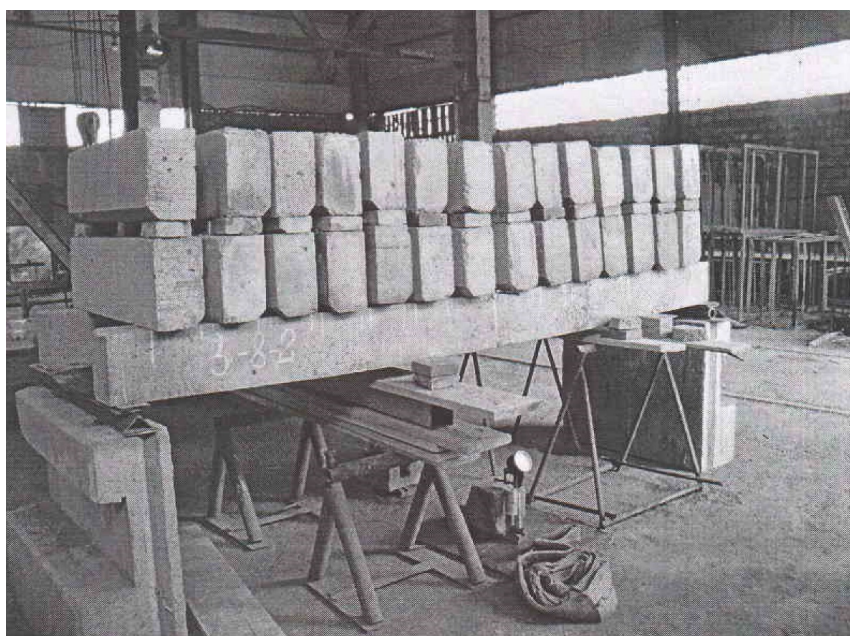
ლირის ანგარიშის შედეგები იხ. დანართი №3-ში.



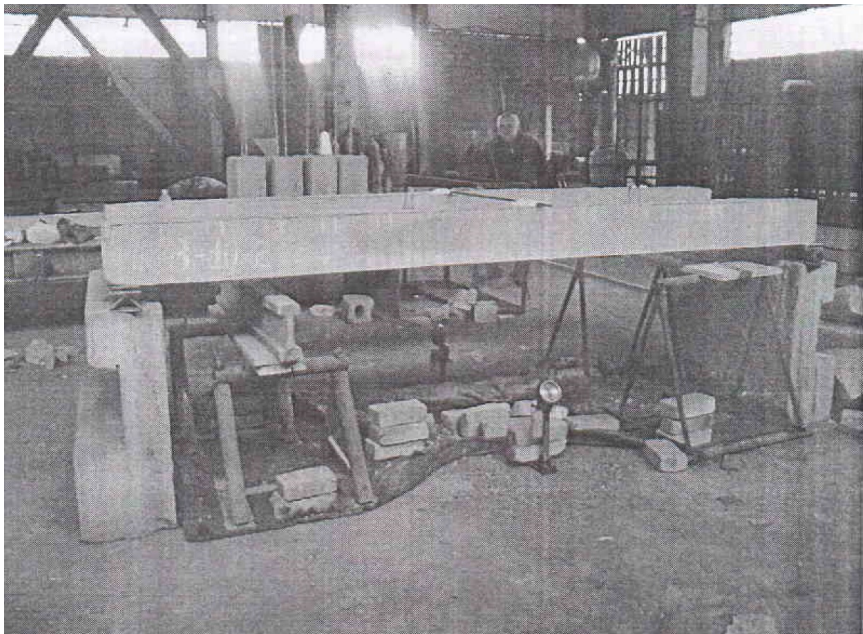
სურ. 33.



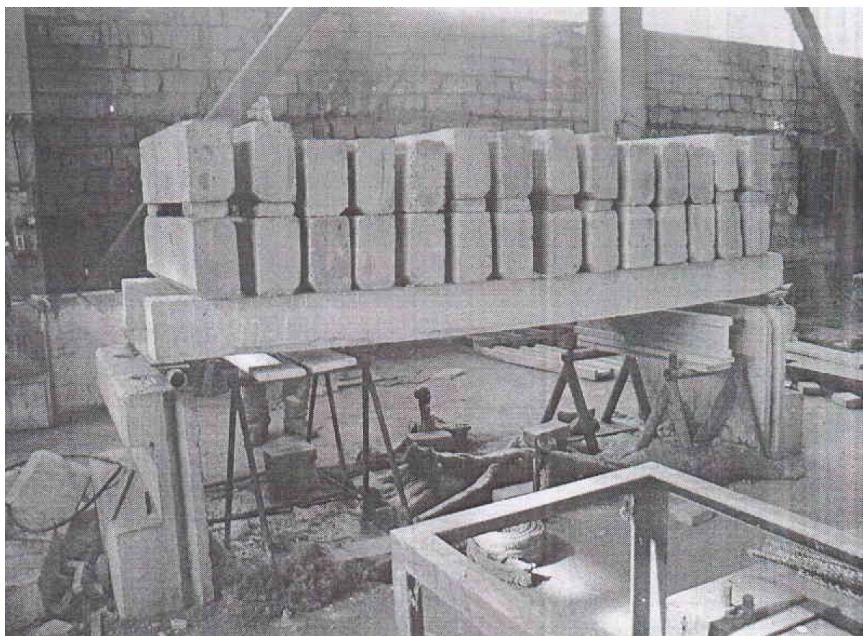
სურ. 34.



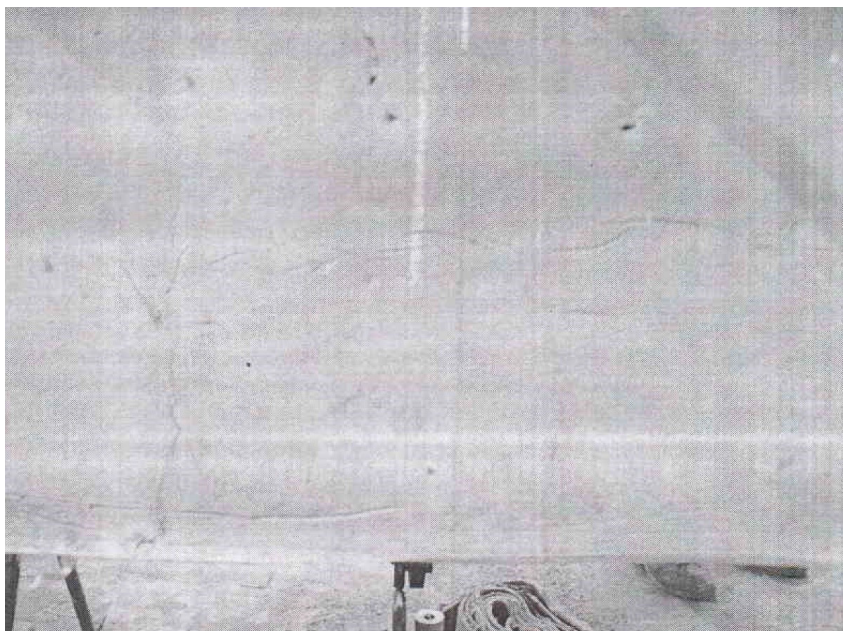
სურ. 35.



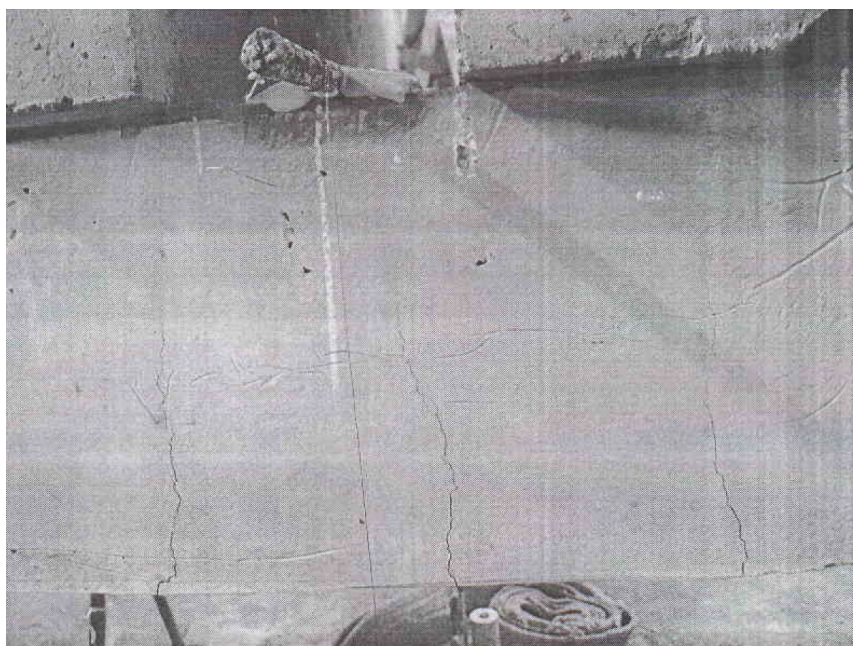
სურ. 36.



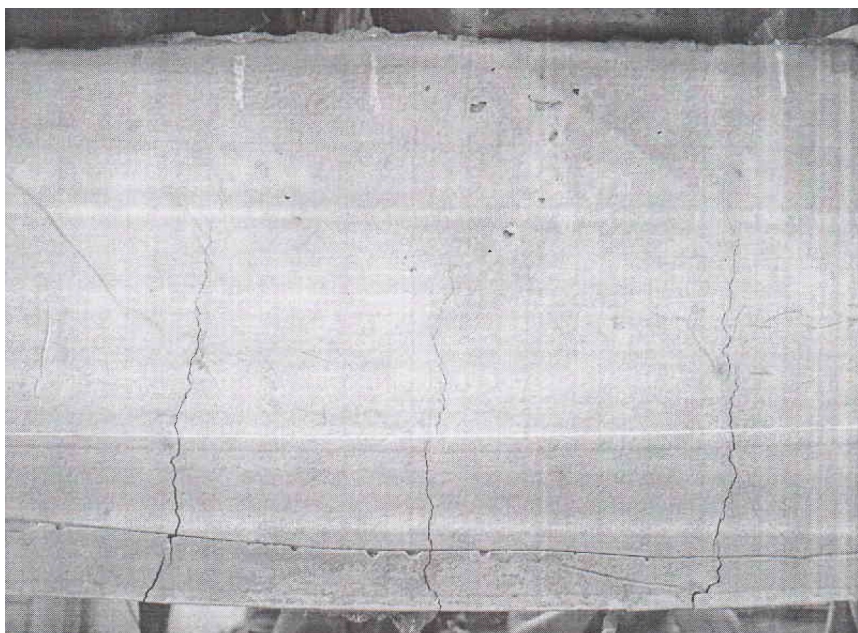
სურ. 37.



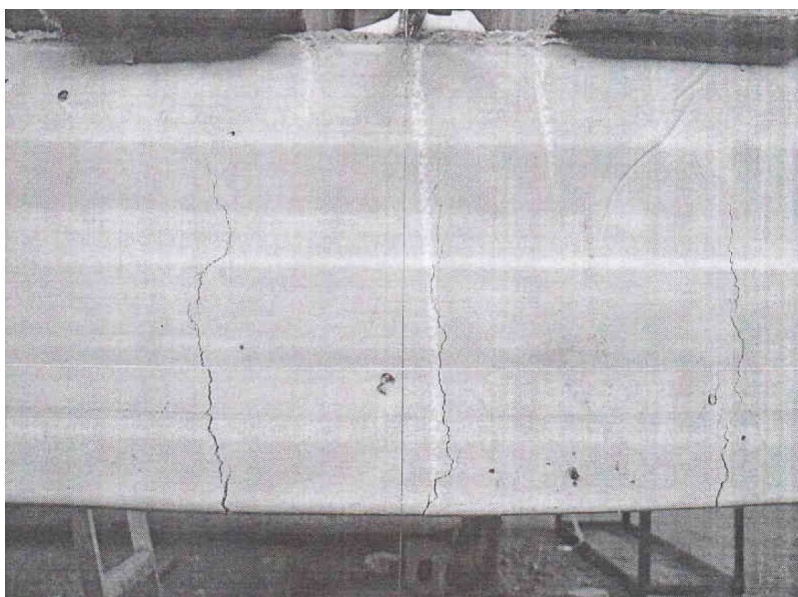
სურ. 38.



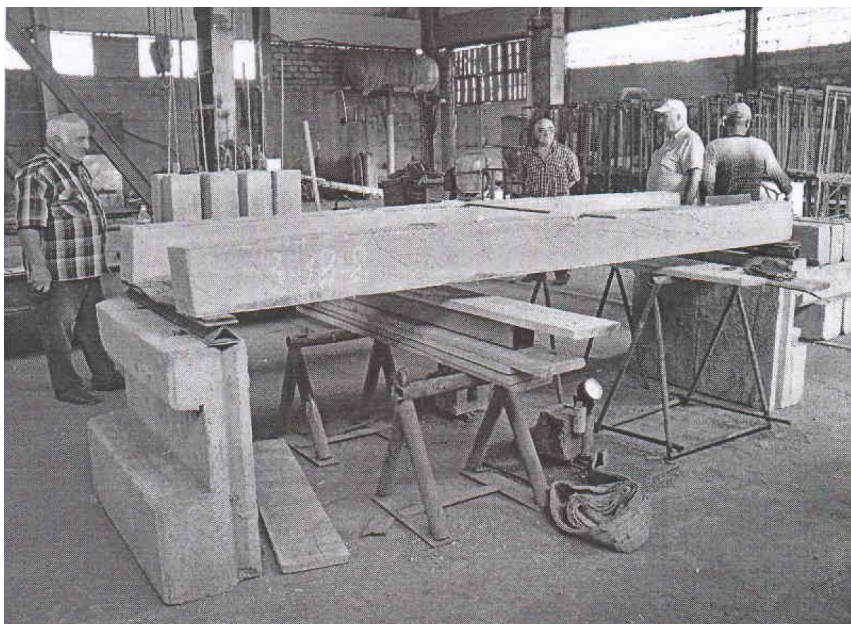
სურ. 39.



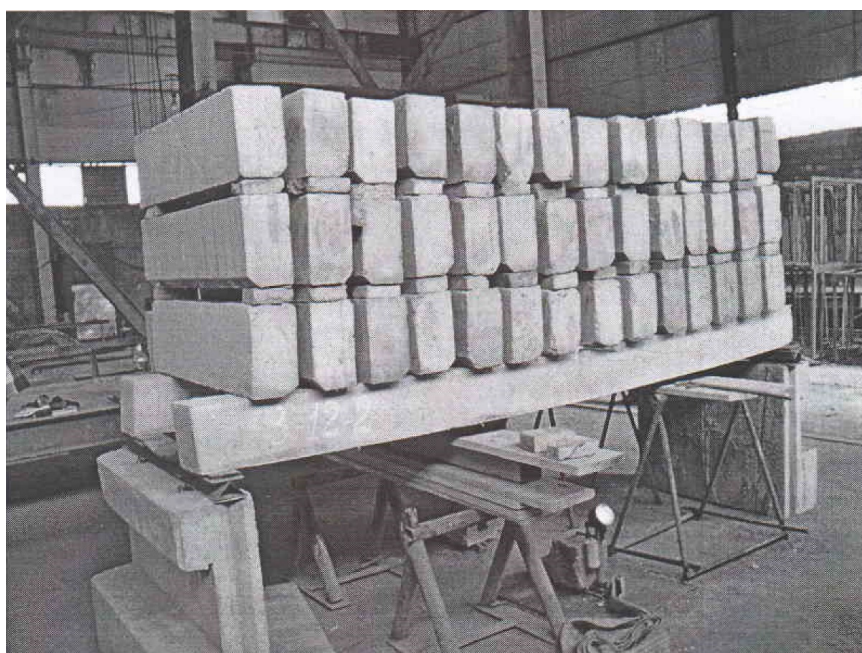
სურ. 40.



სურ. 41.



სურ. 42.



სურ. 43.

ქ. რუსთაველი „ბაზალტ ფაიბერსის“ საწარმოო ბაზაზე ჩვენი მონაწილეობით გამოიცადა ბაზალტის არმატურით დაარმირებული კონსტრუქციული ელემენტები. ასეთი იყო ბაზალტის არმატურის ანკერების ბეტონიდან ამოგლეჯაზე გამოცდა. ნიმუში წარმოადგენდა ბეტონის პრიზმას ზომებით 20X20X50 სმ, იყო ნიმუშის 4 სახეობა. ბაზალტის არმატურის ჩაანკერების სიგრძეები იყო 10 სმ, 20 სმ, 30 სმ და 40 სმ, თითოეულისთვის ორი ნიმუში სამი ტიპის დიამეტრის არმატურისთვის Ø8, Ø10, Ø12, რომლის მიზანიც იყო ბაზალტის არმატურის ბეტონთან შეჭიდულობის ხარისხის და ჩაანკერების სიგრძის დადგენა. მასალები იხილეთ დისერტაციის დანართში №2.

ძირითადი დასკვნები

1. ექსპერიმენტალური კვლევებით დადგინდა, რომ რღვევის მომენტში ბეტონის არმატურასთან შეჭიდულობის სიმტკიცე მეტია ბეტონის კოჰეზიურ სიმტკიცესთან მიმართებით სასაზღვრო ზონაში;
2. პერიოდული პროფილის ბაზალტკომპოზიტური არმატურის ღეროს ბეტონიდან ამოგლეჯისას ხდება სპირალური ხვეულების დეფორმაცია და განშრევა მკრის ძალების მოქმედების შედეგად. რაც მეტია ბეტონის კლასი მით მეტია ხვეული ნაშევრების განშრევებისა და მოგლეჯის დეფორმაცია. რღვევა მიმდინარეობს მდოვრე რეჟიმში, როცა დატვირთვა აღწევს მაქსიმალურის 40-50%-ს. ღეროს ამოგლეჯა დაბალი კლასის ბეტონებში (B12.5) მიმდინარეობს თანაბრად ხვეულების ნაშევრების დეფორმაციის გარეშე. ბაზალტკომპო-ზიტური არმატურის სიმტკიცის მახასიათებლების სრული რელიზაციისათვის მიზანშეწონილია ასეთი არმატურა უპირატესად გამოყენებული იყოს მაღალი კლასის (B40 და მეტი) ბეტონებში;
3. განისაზღვრა კონსტრუქციული მოსაზრებით ჩაანკერების მინიმალური სიგრძე, რომელმაც შეადგინა 200 მმ. ბეტონის შეკუმშულ ზონაში დაპრო-ფილებული კომპოზიტური არმატურის ჩაანკერების მინიმალური სიგრძეა უნდა იყოს არანაკლები 21d. ჩაანკერების სიგრძე გაჭიმულ ზონაში შეიძლება გაიზარდოს 30%-ით, შეკუმშულში კი შემცირდეს 20%-ით;
4. გაანგარიშებით განისაზღვრა, რომ სართულშუა გადახურვის რკინაბეტონის ფილის დაარმირებისათვის ბაზალტკომპოზიტური არმატურის დიამეტრი აიღება $\Phi 14$ მმ, ბიჯით 200 მმ ან $\Phi 10$ მმ, ბიჯით 100 მმ. ბაზალტკომპოზიტური არმატურის გამოყენება დიამეტრით $< \Phi 10$ მმ-ზე მიზანშეწონილი არ არის, რადგან ასეთი დაარმირებისას არ კმაყოფილდება ჩალუნვის პირობა.

5. რეალური ბაზალტბეტონის კოჭების გამოცდამ ღუნვაზე აჩვენა, რომ დამოკიდებულებას დატვირთვისა და დეფორმაციას (ჩაღუნვას) შორის თითქმის პირდაპირ პროპორციული ხასიათი აქვს ანუ კომპოზიტური არმატურა ფოლადის არმატურისგან განსხვავებით კონსტრუქციის რღვევამდე მუშაობს დრეკად სტადიაში, რაც თვალნათლივ დაადასტურა გამოცდილი კონსტრუქციის გაანგარიშებამ პროგრამა Lirasapr-ით (გრაფიკი სწორხაზოვანია). ექსპერიმენტებმა აჩვენა აგრეთვე ის, რომ მუშა არმატურის სიმტკიცის მცირე ნაწილია გამოყენებული (დაახლოებით 35-50%).

ციტირებული ლიტერატურის ნუსხა

- Abesadze, B., & Kipiani, G. (2019). Engineering education in Georgia and its main tasks in field of mechanics. *Abstracts of the XIII-th International Conference "MODERN INFORMATION AND COMUNICATION TECHNOLOGIES ON A TRANSPORT, IN INDUSTRY AND EDUCATION"*, (p. 157). Dnepro, Ukraina.
- Abesadze, B., Kipiani, G., & Tabatadze, D. (2019). ANALYSIS OF THE ASSEMBLED DOME STRUCTURES WITH CONNECTED IN THE SECTIONS ELEMENTS. *Problems of Mechanics, NO 4(77)*, (pp. 43-48). Tbilisi.
- ACI Committee 440. (2012). ACI 440.3R-12. *Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymers (FRPs) for Reinforcing or Strengthening Concrete Structures*. U.S.A.
- Adesina, A. (2021). *Performance of cementitious composites reinforced with chopped basalt fibres-An overview*. constr. build. mater, 266, 120970.
- Amuthakkannan, P., Manikandan, V., & Uthayakumar, M. (2014). *Mechanical Properties of Basalt and Glass Fiber Reinforced Polymer Hybrid Composites*. Journal of Advanced Microscopy Research Vol. 9, 1–6. .
- Antonov, M., Kers, J., Liibert, L., Shuliak, V., Smirnov, A., & Bartolomé, J. (2016). *Effect of basalt reinforcement type and content on the abrasive wear behaviour of polymer composites*. Key Eng. Mater. 2016, 674, 181–188.
- Ary Subagia, I., Kim, Y., Tijing, L., Kim, C., & Shon, H. (2014). *Effect of stacking sequence on the flexural properties of hybrid composites reinforced with carbon and basalt fibers*. Compos Part B – Eng 58:251–8.
- Balanchivadze, L., Matitashvili, B., Kikadze, V., & Sakhvadze, R. (2024). DYNAMIC COMFORT CONSIDERATIONS IN THE DESIGN OF HIGH-RISE. *AGG+ Journal for Architecture, Civil Engineering, Geodesy and Related Scientific Fields*.
- Cech, V., Palesch, E., & Lukes, J. (2013). *The glass fiber–polymer matrix interface/interphase characterized by nanoscale imaging techniques*.
- Chanturia, M., Kikadze, V., Chanturia, T., Buksianidze, A., & Iashvili, K. (2024). Calculation of vantur bridge stiffness coil considering vanture conformity. *The 4th International conference "Problems of engineering sciences"* (p. 117). Batumi: Publishing house "Universal".
- Chen, X., Zhang, Y., Huo, H., & Wu, Z. (2020). *Study of high tensile strength of natural continuous basalt fibers*. J. Nat. Fibers , 17, 214–222.
- Chen, Z., & Huang, Y. (2021). *Preparation and performance of fumed silica-stabilized epoxy resin pickering emulsion for basalt fiber-sizing agents*. Adv. Compos. Hybrid Mater. 4, 1205–1214. .

- Dhand, V., Mittal, G., Rhee, K., Park, S., & Hui, D. (2015). *A Short Review on Basalt fiber reinforced polymer composites*. *Compos. B Eng.* 73, 166–180.
- García, P., Escamilla, A., & García, M. (2013). *Bending reinforcement of timber beams with composite carbon fiber and basalt fiber materials*. *Compos Part B – Eng* 55:528–36.
- GOST 12423-2013. (2013). *PLASTICS. Conditions for conditioning and testing samples. (Russia)*. Russia.
- GOST 30403-2012. (2012). *Building structures. Fire hazard test method*. Russia.
- Greco, A., Maffezzoli, A., Buccoliero, G., Caretto, F., & Cornacchia, G. (2013). *Thermal and chemical treatments of recycled carbon fibres for improved adhesion to polymeric matrix*. *J Compos Mater* 47(3):369–77.
- Gurgenidze, D., Kipiani, G., Badzgaradze, G., & Suramelashvili, E. (2021). Analysis of thin-walled spatial systems of complex structure with discontinuous parameters by method of large blocks. *Contemporary Problems of Architecture and Construction, Editors: Evgeny Rybnov, Pavel Akimov, Merab Khalvashi, Eghiazar Vardanyan* (pp. 172-178). London, UK: Taylor & Francis Group.
- Gutnikov, S., Manylov, M., Lipatov, Y., Lazoryak, B., & Pokholok, K. (2013). *Effect of the reduction treatment on the basalt continuous fibre crystallization properties*. *J Non-Cryst Solids*, 368:45-50.
- ISO 10406-1:2015. (2015). *Fibre-reinforced polymer (FRP) reinforcement of concrete — Test methods*. Switzerland.
- ISO 291:2008. (2008). *Plastics. Standard atmospheres for conditioning and testing specimens*. Switzerland.
- ISO 834-14:2019. (2019). *Fire-resistance tests — Elements of building construction, Part 14: Requirements for the testing and assessment of applied fire protection to solid steel bar*. Switzerland.
- Jia, H., Qiao, Y., Zhang, Y., Meng, Q., Liu, C., & Jian, X. (2020). *Interface modification strategy of basalt fiber reinforced resin matrix composites*. *Prog. Chem.* 32, 1307–1315. .
- Khmelidze, T., Kikadze, V., & Rajczyk, M. (2023). A study of basalt-composite reinforcement of Georgian production and standard preparation. *XIX international scientific-technical conference, Materials and energy saving technologies constructions of optimized energy potential* (pp. 48-52). Czestochowa-Katowice, Poland: Zeszyty Naukowe Politechniki Czestochowskiej nr 29 , ISSN 0526-5916.
- Khmelidze, T., Kipiani, G., & Kristesiashvili, E. (2018). Composite construction structures and their features with taking into account the anisotropy. *International Scientific Conference "Related Problems of Continuum Mechanics"*, (pp. 278-287). Kutaisi.
- Kikadze, V. (2022). Damage to structures made of composite during operation. *Problems of Engineering sciences (Yerevan university of international relations named after A. Shirakatsi Yerevan - Republic of Armenia) Book Of Abstract* (p. 33). Yerevan: Edited by Gela Kipiani.

- Kipiani, G., Korkia, K., Magradze, T., & Kikadze, V. (2022). Investigating the stress-deformed states of Georgian basalt-plastic reinforcement. *4 International Baku scientific research congress, Abstract Book*. (p. 151). Baku: IKSAD Publishing House. Editors: Prof. Tarlan Abdullayev, Prof. Fakhreddin Mammadov, Assoc. Prof. Dr. Rahib Imamgulyev, ISBN: 978-625-7898-70-6.
- Lee, J., Nam, I., & Kim, H. (2017). *Thermal stability and physical properties of epoxy composite reinforced with silane treated basalt fiber*. *Fibers Polym.* 18, 140–147.
- Li, Q., Yang, J., & Jiao, H. (2020). *Study on surface modification of basalt fiber by low temperature plasma*. *Cotton Text. Technol.* 48, 17–20.
- Pareek, K., Tiwari, P., Verma, S., & Saha, P. (2017). *A Review Basalt Fiber Reinforced Polymer and Composites*. International Civil Engineering Symposium (ICES).
- Pisciotta, A., Perevozchikov, B., Osovetzky, B., Menshikova, E., & Kazymov, K. (2018). *Quality Assessment of Melanocratic Basalt for Mineral Fiber Product*. Southern Urals, Russia. *Nat. Resour. Res.* 7, 52–56.
- Raj, S., Kumar, V., Kumar, B., & Iyer, N. (2017). *Basalt: Structural insight as a construction material*. *Sādhanā*, 42, 75–84.
- Sarasini, F., Tirillò, J., Ferrante, L., Valente, M., Valente, T., & Lampani, L. (2014). *Dropweight impact behaviour of woven hybrid basalt–carbon/epoxy composites*. *Compos Part B – Eng.* 59:204–20.
- Shuni, Y., & Xiaodong, Z. (2013). *Chemical and Thermal Resistance of Basalt Fiber in Inclement Environments*. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.* Vol 28 No. 3.
- Sinica, M., Sezeman, G., Mikulskis, D., Kligys, M., & Cesnauskas, V. (2014). *Impact of complex additive consisting of continuous basalt fibres and SiO₂ microdust on strength and heat resistance properties of autoclaved aerated concrete*. *Constr Build Mater* 50:718–26.
- Wang, Q., Ding, Y., & Randl, N. (2021). *Investigation on the alkali resistance of basalt fiber and its textile in different alkaline environments*. *Constr. Build. Mater.* 2021, 272, 121670.
- Wei, B., Cao, H., & Song, S. (2010). *Tensile behavior contrast of basalt and glass fibers after chemical treatment*. *Mater Des* 31(9):4244–50.
- Wei, B., Cao, H., & Song, S. (2011). *Degradation of basalt fibre and glass fibre/epoxy resin composites in seawater*. *Corrosion Sci* ; 53: 426–431.
- Wu, G., Wang, X., Wu, Z., Dong, Z., & Zhang, G. (2014). *Durability of basalt fibers and composites in corrosive environments*. *Journal of Composite Materials* 0(0), 1-15.
- Wu, Q., Chi, K., Wu, Y., & Lee, S. (2014). *Mechanical, thermal expansion, and flammability properties of co-extruded wood polymer composites with basalt fiber reinforced shells*. *Mater Des* 60:334–42.
- Zhang, Y. Y. (2012). *Mechanical and thermal properties of basalt fibre reinforced poly(butylene succinate) composites*. *Mater Chem Phys*, 133:845-9.

- აბაშიძე, გ., ხმელიძე, თ., & მახვილაძე, რ. (2011). *რეკომენდაციები შენობებისა და ნაგებობების სახანძრო უსაფრთხოების შესახებ*. თბილისი: -52 გვ. ISBN 978-9941-14-887-3.
- აბესაძე, ბ. (2019). ბოჭკოვანი კომპოზიტური მასალების თვისებების. *საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი, მოამბე, XXXVI (№ 36),*, გვ. 76-82, ISSN2233-3606.
- აბესაძე, ბ., & კელიხაშვილი, ვ. (2023). კომპოზიტური მასალის რეოლოგიური ფუნქციების. *SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL, "BUILDING" №3(67),*, ISSN 1512-3936.
- გედევანიშვილი, გ., სამხარაძე, ლ., კახიანი, ლ., & ყიფიანი, გ. (2020). მაღალსართულიანი სახლის გამაგრება გაძლიერების ღონისძიებები. *მშენებლობა #2(55)*, 110-113 გვ.
- გვიშიანი, ზ., & ხმელიძე, თ. (2023). *სამშენებლო ტერმინების მოკლე განმარტებითი ლექსიკონი*. თბილისი: საგამომცემლო სახლი "ტექნიკური უნივერსიტეტი" , -221 გვ. ISBN 978-9941-28-949-1.
- ღუმბაძე, ა. (2015). *კომპოზიციური ტანის მექანიკა*. თბილისი: საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი.
- კიკაძე, ვ. (2022). ქართული ბაზალტპლასტიკური არმატურის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა. *მოამბე XLIII MOAMBE #43*, 63 გვ.
- კიკაძე, ვ., ყიფიანი, გ., & ხმელიძე, თ. (2023). ქართული ბაზალტის წარმოება და ბაზალტპლასტიკური არმატურის ბეტონთან შეჭიდულობის კვლევა. *საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა საერთაშორისო კონფერენცია ინოვაციური ტექნოლოგიები ინჟინერიაში, მოხსენების კრებული* (p. 118). თბილისი: საგამომცემლო სახლი "ტექნიკური უნივერსიტეტი".
- ლოსაბერიძე, მ., ჯანგიძე, ზ., & კიკაძე, ვ. (2021). ქანის მიმართული რღვევა აფეთქების ენერგიის გამოყენებით. *სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი "მშენებლობა" #4(60)*, 60.
- ნინუა, ნ. (1988). *რკინაბეტონის კონსტრუქციები*. თბილისი: გამომცემლობა განათლება.
- სსტ ენ 1994-2:2005/2023. (2023). *ევროკოდი 4: ლითონისა და ბეტონის კომპოზიტური კონსტრუქციების დაპროექტება*.
- ყიფიანი, გ., & ზამბახიძე, ლ. (2019). *არასიმეტრიული ფენოვანი კომპოზიტებისაგან შემდგარი ფირფიტების მექანიკა // საერთაშორისო სიმპოზიუმი სეისმომედეგობა და საინჟინრო სეისმოლოგია*. თბილისი: მოხსენებათა თეზისები, "საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი" , -31 გვ.
- ყიფიანი, გ., ხმელიძე, თ., & ვერულაშვილი, ფ. (2019). *არასიმეტრიული ფენოვანი კომპოზიტებისაგან შემდგარი ფირფიტების მექანიკა // საერთაშორისო სიმპოზიუმი სეისმომედეგობა და საინჟინრო სეისმოლოგია*. თბილისი: მოხსენებათა კრებული , "სტუ" 126-136 გვ.
- ყიფიანი, გ., ხმელიძე, თ., & ვერულაშვილი, ფ. (2019). *კომპოზიტებისგან შემდგარი ფირფიტების მექანიკა // საერთაშორისო სიმპოზიუმი სეისმომედეგობა და საინჟინრო სეისმოლოგია*. თბილისი: მოხსენებათა თეზისები, "საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი" , -48 გვ.

- მილაკაძე, თ. (2023). *საქართველოს პირობებში ადგილობრივი ქვის მასალების კვლევა მათი საგზაო მშენებლობაში გამოყენების მიზნით*. თბილისი: სადისერტაციო ნაშრომი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი.
- ხმელიძე, თ. (1988). *ხის და სინთეზური მასალების კონსტრუქციები / მეთოდური მითითებები სახურავ პროექტის შესასრულებლად*. თბილისი: სპი, -73 გვ.
- ხმელიძე, თ. (2015). *ხის კონსტრუქციები*. თბილისი: საგამომცემლო სახლი "ტექნიკური უნივერსიტეტი" , -531 გვ. ISBN 978-9941-0-566-8.
- ხმელიძე, თ. (2024). *კომპოზიტური კონსტრუქციები*. თბილისი: გამომცემლობა "უნივერსალი" , (მეორე შევსებული და გადამუშავებული გამოცემა) , -449 გვ.
- ხმელიძე, თ., & სოხაძე, ა. (2005). *ხისა და პლასტმასის სამშენებლო კონსტრუქციები*. თბილისი: სახელმძღვანელო სტუდენტი-მაგისტრანტებისათვის, -380 გვ. ISBN 99940-48-21-X.
- ხმელიძე, თ., & ყიფიანი, გ. (2022). *კომპოზიტური კონსტრუქციები*. თბილისი: სტუ, ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 458 გვ. ISBN 978-9941-491-82-2.
- ხმელიძე, თ., გვიშიანი, ზ., & სახვაძე, რ. (2024). *კომპოზიტური პოლიმერული არმატურა (ზოგადი ტექნიკური პირობები სტანდარტის შესაქმნელად, მეთოდური მითითებები)*. თბილისი: გამომცემლობა "უნივერსალი" , -64 გვ.
- ხმელიძე, თ., გურგენიძე, დ., კლიმიაშვილი, ლ., & ხმელიძე, კ. (2021). *სამშენებლო ენციკლოპედიური ლექსიკონი/პროფესორ დავით გურგენიძისა და პროფესორ თამაზ ხმელიძის საერთო რედაქციით* (Gurgenidze DaviT & Khmelidze Tamaz ed.). თბილისი: საგამომცემლო სახლი "ტექნიკური უნივერსიტეტი" , I-V ტომი, ISBN 978-9941-28-496-0.
- ხმელიძე, თ., ყიფიანი, გ., & ვერულაშვილი, ფ. (2018). *სამშენებლო კონსტრუქციები კომპოზიტების გამოყენებით*. თბილისი: -348 გვ.
- ხმელიძე, თ., ყიფიანი, გ., & ვერულაშვილი, ფ. (2019). *კონსტრუქციების გაანგარიშება კომპოზიტური პოლიმერული არმატურით // საერთაშორისო სიმპოზიუმი სეისმომდგრძეობა და საინჟინრო სეისმოლოგია*. თბილისი: მოხსენებათა თეზისები, "საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი" , -103 გვ.

შინაარსი

თავი I. პრობლემის თანამედროვე მდგომარეობა.....	5
თავი II.	14
1.1 ნომინალური დიამეტრის განსაზღვრის მეთოდი	30
1.1.1 საერთო პირობები	30
1.1.2 ნიმუშები	31
1.1.3 აპარატურა და მასალები	32
1.1.4 გამოცდის ჩატარება.....	32
1.1.5 გამოცდის შედეგების დამუშავება.....	33
1.1.6 გამოცდის ოქმი	34
1.2 განივ ჭრაზე გამოცდის მეთოდი	34
1.2.1 საერთო პირობები	34
1.2.2 ნიმუშები	35
1.2.3 აპარატურა და მასალები	36
1.2.4 გამოცდის ჩატარება.....	38
1.2.5 შედეგების დამუშავება	39
1.2.6 გამოცდის ოქმი	39
1.3 ბაზალტკომპოზიტური არმატურის შეჭიდულობა ბეტონთან	40
1.3.1 ზოგადი მიმოხილვა.....	40
1.3.2 ექსპერიმენტული სამუშაოები	42
1.3.3 აპარატურა და მასალები	45
1.3.4 გამოცდის ჩატარება.....	45
1.3.5 გამოცდის ოქმი	47
1.4 კომპოზიტური არმატურით დაარმირებული კონსტრუქციების გაანგარიშება	48
1.5 გაანგარიშების ზოგადი პრინციპი	48
1.5.1 გაანგარიშება I ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით	52
1.5.2 გაანგარიშება II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით.....	61
1.5.3 კომპოზიტური არმატურის ჩაანკერებისა და ბეტონთან შეჭიდულობის გაანგარიშება	66
1.5.4 კონსტრუქციული მოთხოვნები	68
2 ჩატარებული კვლევის შედეგები და მათი განსჯა	70
2.1 ბაზალტის არმატურის გამოცდა განივ ჭრაზე	70

2.2 ბეტონში ჩაანკერებული ბაზალტის არმატურის გამოცდა ამოძრობაზე (ამოგლეჯაზე).....	76
2.2.1 დამზადებული ნიმუშები	76
2.2.2 გამოცდის შედეგების დამუშავება.....	76
2.3 ბაზალტკომპოზიტიური არმატურით დაარმირებული გადახურვის რკინაბეტონის ფილის გაანგარიშება დეფორმაციაზე	81
2.3.1 გადახურვის ბეტონის ფილის გაანგარიშება დეფორმაციებზე (ჩაღუნვაზე) ბაზალტკომპოზიტიური (ბაზალტპლასტიკური) არმატურით	81
2.4 ბაზალტბეტონის კოჭების თანაბარგანაწილებულ დატვირთვაზე გამოცდის შედეგები	84
ძირითადი დასკვნები	99
ციტირებული ლიტერატურის ნუსხა.....	101
შინაარსი	106

ვლადიმერ კიკაძე

**ქართული ბაგალტვლასტიკური
არმატურის ბეტონთან შეჭიდულობის
დაძაბულ-დეფორმირებული
მდგომარეობის კვლევა**

ტექნიკური რედაქტორი:

ნანა დუმბაძე

დიზაინერი:

ირაკლი უშვერიძე

გადაეცა წარმოებას 15.03.2025 წ. ხელმოწერილია
დასაბეჭდად 26.06.2025 წ. ტირაჟი 100 ეგზემპლარი



გამომცემლობა „უნივერსალი“

თბილისი, 0186, ა. პოლიბაოვსაიას №4. ☎: 5(99) 17 22 30; 5(99) 33 52 02
E-mail: universal505@gmail.com; gamomcemlobauniversal@gmail.com