

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ირაკლი ჭანტურია

“საკულტო ნაგებობის მზიდ ელემენტებში გამოყენებული მასალის
მექანიკური მახასიათებლების ექსპერიმენტალური კვლევა
თანამედროვე
მეთოდებით და მათი საიმედოობის უზრუნველყოფა“

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორ ე ფ ე რ ა ტ ი

სადოქტორო პროგრამა: „მშენებლობა“ 0406

თბილისი-2018 წ.

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში,
სამშენებლო ფაკულტეტზე, ა. სოხადის სახელობის სამოქალაქო
და სამრეწველო მშენებლობის #102 დეპარტამენტში.

ხელმძღვანელი: პროფესორი ლია ბალანჩივაძე

რეცენზენტები: პროფესორი ბექა სურგულაძე
ტ.მ.კ, პროფესორი დავით რამიშვილი

დაცვა შედგება 2018 წლის 21 ივლისს 14.00 საათზე,
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის
სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე.
მისამართი: თბილისი 0175, კოსტავას 68, სტუ, კორპუსი I, აუდიტორია 508.

სადისერტაციო ნაშრომის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებ-გვერდზე.

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი:

პროფესორი დემურ ტაბატაძე

შესავალი

ნაშრომის საერთო დახასიათება

ნაშრომის აქტუალურობა: გასული საუკუნის მიწურულს საქართველოში მასიურად დაიწყო ძველი საკულტო ნაგებობების რეკონსტრუქცია-გადლიერება, რაშიც ჩართული იყო როგორც კულტურის სამინისტრო, ასევე ეკლესიაც. თუმცა საქმე რთულდება მაშინ, როცა ესა თუ ის საკულტო ნაგებობა კულტურული მემკვიდრეობის ძეგლია. აქ თავს იჩენს დამატებითი მოთხოვნები, რომელთა გათვალისწინება არა თუ აუცილებელი, არამედ სავალდებულოცაა, განსხვავებული ფუნქციების მქონე წარმომადგენლობითი ორგანიზაციების გამო. სწორედ, ასეთი შემთხვევა იყო ბაგრატის ტაძარი, სადაც ძირითად ამოცანას წარმოადგენდა ტაძრის ავთენტურობის შენარჩუნება მისი სრული რეაბილიტაციის შემდგომ, მაშინ როცა „გაერთიანებული საქართველოს“ სიმბოლო, X საუკუნის უნიკალური ხუროთმოძღვრული ძეგლი, ნანგრევებად იყო ქცეული, რაზეც სახელმწიფომ და ეკლესიამ სწორი დასკვნები გააკეთა, როცა ეცადა დაბრუნებოდა მას პირველანდელი იერსახე. ბაგრატის საკათედრო ტაძარი, ჩვენდა საბედნიეროდ XXI საუკუნეშიც იგივე ფუნქციის მატარებელი უნდა გამხდეს, როგორც მისი აგების დროს, „გაერთიანებული საქართველოს“ სიმბოლო და არა გარდასულ ცივილიზაციათა ნაშთი [1].

იუნესკომ, ბაგრატის ტაძარი, 1994 წლიდან, მსოფლიოს კულტურული საგანძურის სიაში შეიტანა [12].

2009 წელს საქართველოს მთავრობამ დაიწყო ძეგლის რესტავრაცია, რაც მასზე გუმბათის დადგმით უნდა დასრულებულიყო. პროექტი, რომლის ავტორი ივანე გრემელაშვილი იყო, საზოგადოების არაერთგვაროვანი და მძაფრი რეაქცია გამოიწვია. მისი როგორც რეკონსტრუქციის მეთოდების, ასევე აღსადგენად გამოყენებული მასალის თვალსაზრისითაც. განგაში მას შემდეგ ატყდა, რაც იტალიელმა ინჟინერმა და არქიტექტორმა სილვიო კალვიმ თავის სტატიაში ბაგრატის ტაძრზე მიმდინარე სამუშაოების შესახებ დაწერა. მისი თქმით, ძეგლზე სარეკონსტრუქციო სამუშაოები იუნესკოსთან პროექტის შეუთანხმებლად დაიწყო და უშუალოდ ამ სამუშაოებს წინ არ უძლოდა ფართო მასშტაბიანი კვლევა [19]. სწორედ ამიტომ სარეკონსტრუქციო სამუშაოები მრავალჯერ იქნა შეწყვეტილი.

2008 წელს ტაძარზე ჩატარდა სარეაბილიტაციო კვლევითი სამუშაოები, ტაძრის რეკონსტრუქცია-გადლიერებისათვის შეიქმნა პროექტი, რომლის მიხედვითაც ტაძარი აღდგებოდა ძირითადად რკინაბეტონის მზიდი კონსტრუქციებით [9].

კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ საკედლე ქვები დაზიანებულია სხვადასხვა მიმართულების ბზარებით. ქვის ზედაპირები ზოგ ადგილას ამოზურცულია, განშრევებულია ქვის მასისაგან ან გახეთქილია. კედლის წყობაზე გამოყენებული დულაბი კი სხვადასხვა შეფერილობის იყო, რაც მიანიშნებდა მის არაერთგვაროვნებაზე.

დისერტაციის მიზანს შეადგენს: საკულტო ნაგებობის, კერძოდ, ბაგრატის ტაძრის მზიდი კონსტრუქციების (კედლების, სვეტების, საძირკვლის) რეკონსტრუქცია - გაძლიერება თანამედროვე ტექნოლოგიური მეთოდებითა და კონსტრუქციული გადაწყვეტებით, მათი გადარჩენის, საიმედოობისა და ხანგამძლეობის ამაღლების უზრუნველყოფისათვის.

ექსპერიმენტული კვლევის ამოცანაა:

- ტაძრის მზიდ კონსტრუქციებში (კედლები, სვეტები საძირკველი) გამოყენებული სამშენებლო ქვების ქიმიური და მინერალოგიური შემადგენლობის ანალიზი-კვლევა და გაძლიერება, მათი შემდგომი ნორმალური ექსპლუატაციისათვის;
- შემკვრელად გამოყენებული მასალების შესწავლა, მისი ქიმიური ანალიზი;
- კედლის გამაგრების საკონტროლო საინექციო სამუშაოების ჩატარება, საინექციო ხსნარის შერჩევა;
- საძირკვლის გრუნტის გეოლოგიური შესწავლა-ანალიზი, გამაგრების კონსტრუქციული ღონისძიებების გადაწყვეტა;
- ლენტური საძირკვლების გაძლიერება;
- წერტილოვანი საძირკვლების დასმა რკინაბეტონის დასაბურღ-დასატენ დგარ ხიმინჯებზე და მათი გაერთიანება რანდკოჭებით;
- ახალი ტექნოლოგიური და კონსტრუქციული გადაწყვეტებით მზიდი კონსტრუქციების (საძირკვლების, კედლებისა და რკინაბეტონის სვეტების), საპროექტო ნიშნულამდე მიყვანა და ზიდვის უნარის ამაღლება.

მეცნიერული სიახლე: შესწავლილია არსებული კედლების ქვების ზიდვის უნარი, ქიმიური შემადგენლობა, რეკონსტრუქციისათვის შერჩეული საინექციო მასალის შემადგენლობის დასადგენად გამოყენებული იქნა გეო-რადარული კვლევის (სკანირების) მეთოდი, რომელიც ითვალისწინებს როგორც ზედაპირული, ასევე სიღრმითი დეფექტების მაქსიმალური სიზუსტით აღდგენილი კედლების სიმტკიცის შემოწმებას (ამ მეთოდით კვლევა საქართველოში პირველად განხორციელდა), გამოკვლეული და აღდგენილია ტაძრის ყველა კედლის კონსტრუქციები, დამუშავებულია კედლის აღდგენის კონსტრუქციული გადაწყვეტები, რომლის აღდგენა-რეკონსტრუქციას რამდენიმე მკვლევარ-რესტავრატორი ანხორციელებდა.

სამუშაოს პრაქტიკული გამოყენება: აღდგენილია ტაძარი და ის ასრულებს მთავარ ფუნქციას: ემსახურება ქრისტიანულ ეკლესიას და ქართველ მრევლს, რაც ეკლესიისა და სახელმწიფოს მთავარი მოთხოვნაა.

სამუშაოს აპრობაცია. დისერტაციის შედეგები მოხსენებული იქნა 2011 წლის სტუდენტთა 79–ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე, ასევე 2017 წლის 14 სექტემბერს ბათუმის რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტში გამართულ საერთაშორისო კონფერენციაზე.

სამუშაოს სტრუქტურა და მოცულობა: სადისერტაციო ნაშრომი შედგება, შესავლის, საერთო დახასიათების, ოთხი თავის, 34 დასახელების ლიტერატურული წყაროსა და დასკვნებისაგან. სამუშაოს ძირითადი ტექსტი 122 კომპიუტერული ნაბეჭდი გვერდია, მათ შორის 47 ნახაზი და 18 ცხრილია.

ნაშრომის შინაარსი

შესავალში წარმოდგენილია თემის აქტუალობა, მეცნიერული სიახლე და პრაქტიკული მნიშვნელობა.

პირველ თავში განხილულია შუა საუკუნის ხუროთმოძღვრული ძეგლები და მათი კონსტრუქციული გადაწყვეტის თავისებურებები. მეათე-მეტერთმეტე საუკუნის საქართველოს განვითარების ოქროს ხანის ხუროთმოძღვრული ძეგლების კონსტრუქციული გადაწყვეტისა და დაპროექტების თავისებურებების შესახებ.

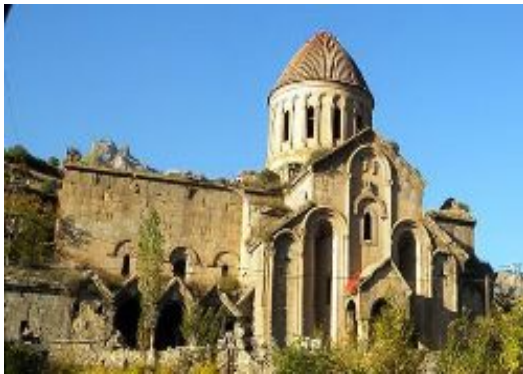
ა)



ბ)



გ)



დ)



ნახ.1. შუა საუკუნეების ზოგიერთი ხუროთმოძღვრული ძეგლები:

ა) სვეტიცხოველი; ბ) ბაგრატის; გ) ოშკის; დ) კუმურდოს.

ქართული ხუროთმოძღვრება დიდ აღმავლობას განიცდიდა X-XIII საუკუნეებში. მათში ვხვდებით ისეთ კონსტრუქციულ გადაწყვეტებს, რაც არ იყო დამახასიათებელი ადგილობრივი ხუროთმოძღვრებისათვის, ადგილი აქვს ზოგ შემთხვევაში სხვა ქვეყნების გავლენას. ამ პერიოდის ტაძრების შედარებით ანალიზს მიყვარს საინტერესო დასკვნამდე, რომ ქართული კულტურა და ხელოვნება იმ

დროისათვის პასუხობდა ყველა იმ გამოწვევას, რასაც მოითხოვდა კულტურული განვითარება. ამ პერიოდში შეიქმნა ისეთი ხუროთმოძღვრული ძეგლები როგორცაა: **კუმურდო, ოშკი, ბაგრატის, გელათი, ალავერდი, სვეტიცხოველი, სამთავრო, სამთავისი და სხვა ტაძრები.**

ხუროთმოძღვრული ძეგლებიდან ერთი - ერთია - **სვეტიცხოველი.** იგი მცხეთაში მტკვრის მარცხენა სანაპიროზე მდებარეობს. საქართველოში არსებულ ტაძრებს შორის ერთ-ერთი უდიდესია, რომელსაც უამრავი ისტორია გადახდა თავს. შუა საუკუნეებისათვის დამახასიათებელი ყველა ნაგებობა, ჯვარ-გუმბათოვანია. თემურ-ლენგის მიერ მე-13 საუკუნეში თითქმის მიწასათან გასწორებული ტაძარი, დაზიანებული და დანგრეული იყო, როგორც კედლები, ასევე გუმბათის ყელიც, აღადგინა საქართველოს უკანასკნელმა მეფემ ალექსანდრე I-მა (ნახ.1ა).

XI საუკუნის ყველაზე გამორჩეული ხუროთმოძღვრული ძეგლია - **ბაგრატის ტაძარი,** რომელიც ქ. ქუთაისში მდებარეობს. ნაგებობა ჯვარგუმბათოვანია. საინტერესოა მისი შიგა ტერიტორიის განაწილება: გალერეა, მეფე-დედოფალისა და სტუმრების შეკრების ადგილი წირვასა და დღესასწაულებზე. გადმოცემით გუმბათი, ოთხ სვეტს- ბურჯებს ეყრდნობოდა, რომელიც დღეს ჩამოქცეულია. ცადაზიანებული კედლები თავისი საპერანგე ქვებით მნახველთა განცვიფრებას იწვევს დღესაც, თუმცა უმეტესი მათგანი დანგრეული და გადახრილია.

ურთიერთგადამკვეთი ჩუქურთმებით გამოირჩევა **ოშკი,** რომელიც დღეს საქართველოს ტერიტორიას არ ეკუთვნის. იგი ძველი სამხრეთ საქართველოს, ტაოს მხარეში (თურქეთის ტერიტორიაზე) მდებარეობს მდინარე თორთუმის მახლობლად (ნახ.1გ). ტაძარი ჯვარგუმბათოვანია, რომლის მკლავები განვითარებულია აღმოსავლეთით, სამხრეთით და ჩრდილოეთით. ისევე როგორც სხვა ტაძრებშიც აქაც არის ძვალთა სავანე, რომელიც განთავსებულია ტაძრის განსაკუთრებულ ადგილას.

კუმურდოს ტაძარი წაგრძელებული სწორკუთხა ფორმისაა, მისი გარე ფასადები შემკულია სარკმელთა მოჩუქურთმებული საპირეებით და ასევე ჩუქურთმიანი ჯვრებით. კედლები მოპირკეთებულია ვარდისფერი საპერანგე ქვებით, რაც მას განსაკუთრებულ სილამაზეს აძლევს (ნახ.1დ).

მეორე თავში განხილულია ბაგრატის ტაძარზე განხორციელებული რესტავრაციის, კედლების აღდგენის სამუშაოების შესრულების თანმიმდევრობა.

კედლების ნგრევისას ეზოში არსებული საკედლე ქვების ქიმიური და მინერალოგიური შემადგენლობის განსაზღვრის მეთოდის შესახებ. ტაძრის საკედლე ქვების გამოკვლევა ხდებოდა ქვის ფერის და დაზიანების ხარისხის მიხედვით (ნახ.2). შემოწმებულია მათი სიმტკიცის, დეფორმაციულობის მახასიათებლები. დამუშავებული იყო ქიმიური ანალიზის მეთოდი: მონაცემებით, გამოირკვა, რომ ქვის სინჯების ქიმიური შემადგენლობა განსხვავებულია. დაუზიანებელი ნაცრისფერი ქვის სინჯებში CaO არის 46.81%–დან 49.05%–მდე. დაზიანებულ სინჯებში CaO არის 37.5–დან 42.2%–მდე. მოყვითალო–მოვარდისფრო და წითელი ფერის ქვის სინჯებში CaO–ს რაოდენობა კიდევ უფრო მეტად არის შემცირებული და შეადგენს 15.8%–დან 28.5%–მდე.

ის ფაქტი, რომ საპერანგე ქვებით დაფარულ კედლებში, როგორც ფასადის მხრიდან, ისე ინტერიერში საცემენტაციო ნარევის ხარჯი გაცილებით მეტია ყორექვის წყობის კედლების ცემენტაციის ხარჯზე, მიუთითებს იმაზე, რომ აქ საცემენტაციო ნარევით ივსებოდა საპერანგე ქვასა და ყორექვის წყობის შორის არსებული სივრცე (ნახ.13).

ტაძრის კედლებში არსებული სიცარიელები რამოდენიმე ფაქტორით უნდა იყოს განპირობებული. 1) მშენებლობის დროს დაშვებული შეცდომები;

2) ატმოსფერული ფაქტორების ზეგავლენით წარმოქმნილი და შემდეგ გაფართოებულ ბზარებში ჩადიოდა რა თოვლისა და წვიმის წყალი დუღაბიდან ირეცხებოდა კალციუმის ჰიდროჟენი (ძირითადი მჭიდა კომპონენტი დუღაბში) და მასთან ერთად იშლებოდა დუღაბიც. აღნიშნული გარემოება განსაკუთრებით შესამჩნევი იყო ტაძრის კედლების ზედა ნაწილში.



ნახ.2. ჩრდილოეთ ფასადის კედლის ტექნიკური კვლევის რუკა დაზიანებებითა და საკვლევი წერტილებით.

დაწვრილებითაა შესწავლილი საკედლე ქვის პეტროგრაფია, რომელიც განიხილული იყო მიკროსკოპული და მაკროსკოპული შესწავლით. მაკროსკოპული შესწავლის შედეგად გამოვლინდება საკედლე ქვების ძირითადი თავისებურებანი, მასალის ფერი და მისი ბზინვარება. შესწავლილი იქნა ტაძრის ოთხივე მხარეს განფენილი საკედლე ქვების ქიმიური შემადგენლობა, მინერალური შემცველობა პროცენტებში (იხ.ცხ.1).

საკედლე ქვების მინერალოგიური შემადგენლობა, სტრუქტურა (აღნაგობა), ტექსტურა (წყობა) განისაზღვრება მიკროსკოპული აღწერით. სტრუქტურის

მიხედვით მასალა იყო კრისტალური, მკვრივ მარცვლოვანი. ტექსტურის მიხედვით მკვრივი, ფოროვანი, უჯრედოვანი, ქერცლოვანი და ა. შ.

მაკროსკოპიული აღწერით მოყვითალო-მოვარდისფერო საკედლე ქვები ხორკლიანი ზედაპირის მქონე წვრილმარცვლოვანია. სინჯებზე მარილმჟავას დაწვეთებით მასში გაზების დადგენა ხდებოდა. ზედაპირიდან გამოიყოფილი გაზი, ამტკიცებს ქვებში კარბონატული თვისებების არსებობას. ბაგრატის ტაძრის დაუზიანებელი ქვის სინჯების ანალიზის შედეგები მოცემულია 1 ცხრილში.

ბაგრატის ტაძრის დაუზიანებელი ქვის სინჯების ქიმიური შემადგენლობა %-ში
ცხრილი #1

	H ₂ O	ნ.დ.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	CaCO ₃	MgCO ₃
ჩრდილოეთის კედელი ფასადიდან									
ჩრდილო-დასავლეთის კუთხიდან									
მოყვითალო-მოვარდისფრო	0.88	38.84	6.37	0.33	0.75	38.93	12.4	69.51	26.04
ჩრდილო-დასავ. კუთხიდან მოწითალო	0.16	40.56	5.40	0.28	0.91	34.82	14.37	62.17	30.17
ჩრდილო-აღმოს. კუთხიდან ნაცრისფერი	3.7	34.70	8.61	0.42	1.31	49.05	1.15	87.66	–
სვეტის ბურჯიდან ნაცრისფერი	0.40	37.10	12.92	0.13	1.09	46.81	0.75	83.58	–

მაკროსკოპიული აღწერით, ტაძარზე გამოყენებულია წვრილკრისტალური, მიკრომარცვლოვანი (0.01 მმ ზომის მარცვლებით) კარბონატი, რომელიც გადაკრისტალებულია გამჭვირვალე კალციტის მარცვლებში. საკედლე ქვები არ ხასიათდება ცემენტის მკვეთრი გამოყოფით.

კვლევის შედეგად გაირკვა, რომ კირქვის ქვების ძირითად მასაში შეიმჩნევა კრიპტოკრისტალური კირქვის ცალკეული მუქი ფერის უბნები, წვრილკრისტალური კალციტი, რომელიც შეიცავს რკინის ჰიდროქსიდების წვრილი 0.03–0.04 მმ-მდე ზომის ჩანაწინწკლებს.

სვეტისა და კედლის წყობიდან აღებული ნაცრისფერი ქვის სინჯები განსხვავებულია. მაკროსკოპიული აღწერით ის თხელშრეებრივი მკვრივ ქანებს შეესაბამება. ყველაზე უფრო დაზიანებული კედლის ქვის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები მოცემულია მე-2 ცხრილში.

შესწავლილი იქნა „ძველი“ დუღაბის შემადგენლობა და ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები. სინჯები აღებული იქნა ტაძრის კონსტრუქციების სხვადასხვა ადგილებიდან, სვეტის თავსა და ბურჯებს შორის განთავსებული დუღაბი (ნახ.2). კვლევების შედეგები მოცემულია ცხრილ 2-ში.

დაზიანებული წითელი ფერის ქვების დოლომოტიზირებული კირქვების ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლები

ცხრილი #2

#	სინჯების აღების ადგილი	წყლის შთანთქმის უნარი %	სიმკვრივე გ.სმ ³	მოცულობითი მასა გ.სმ ³	ფორიანობა %	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე მპა			დარბილების კოეფიციენტი	ყინვამდე ეგობის კოეფიციენტი
						ჰაერ-მშრალი მდგომარეობაში	წყლით გაჟღენთილ მდგომარეობაში	გაყინვის შემდეგ 25 ციკლით		
#	სამხრეთის კედელი, დასავლეთის კუთხე H= 1მ									
14.	ფასადი	7.0	2.4	2.12	11.6	18.5	13.5	10.8	0.73	0.80
15.	ინტერიერი	6.25	2.6	2.18	16.1	14.4	9.2	7.6	0.64	0.83
16.	ინტერიერი	3.7	2.5	2.30	8.0	15.9	9.85	18.7	0.62	0.83
#	ჩრდილო კედელი, ჩრდილო-დასავლეთის კუთხე									
17.	ფასადი	11	2.4	2.07	14	17.9	11.6	8.4	0.65	0.73
18.	ინტერიერი	2.9	2.5	2.18	12.8	15.2	10.6	8.2	0.69	0.77
19.	ინტერიერი	5.3	2.53	2.20	13.0	16.5	11.3	9.2	0.68	0.82
#	სარკმლის ქვეშ									
20.	ფასადი	5.5	2.53	2.29	9.5	18.3	11.6	9.38	0.63	0.80

სადისერტაციო ნაშრომში არსებული საკედლე კვების შესწავლა ხდებოდა სხვადასხვა კვლევის მეთოდების გამოყენებით. კერძოდ, წითელი ფერის ქვების ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების დადგენის შედეგები მოცემულია ცხრილ 2-ში პროცენტებში. გამოკვლეულია სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე, დადგენილია სიმკვრივე, ფორიანობა და სხვა. მიღებული იქნა საკედლე ქვებისაგან აგებული კედლის გაძლიერება, გამორკლული დუღაბის სიმტკიცის ამაღლებით, სიცარიელების შევსება, ინექცირება.

სარესტავრაციო უბანზე მოეწყო 62 საინექციო ხვრელიდა განხორციელდა ცემენტაცია.

გეო-რადარული დაკვირვებით „თაღის ზედა ნაწილში კონტაქტი ქვებს შორის მეტად დასუსტებული და წყობაც არაერთგვაროვანია, რაც გამოხატულია მრავლობით არეკვლებში. კონკრეტულ ყურადღებას იპყრობს თაღის ზედა ნაწილის მარჯვენა ნაპირში მკვეთრად გამოხატული, 2 მ-ე სიგრძის ამრეკლი ზედაპირი დაახლოებით 0,5მ სიღრმეზე, რომელიც მხოლოდ სულ ზემოთა პროფილებზე დაიკვირვება და სავარაუდოდ გრძელდება თაღის სულ ზედა ნაწილშიც, სადაც ვერ მოხერხდა გეო-რადარით კვლევა“ ნახ.3.

გეო-რადარით გამოკვლეული ეს ზოლი მდებარეობს დაცემენტებული ხვრელების ზემოთ, მკლავის თაღოვან ნაწილში და კონსტრუქციული გადაწყვეტით სარესტავრაციო სამუშაოების წარმოებისას პროექტის მიხედვით უნდა მოხდეს ამ ზედა ნაწილის დემონტაჟი და ხელახალი დაბეტონება. აქვე უნდა ავლნიშნოთ, რომ ტაძრის კონსტრუქციათა არცერთ თაღში (მკლავები, საკურთხეველი, სადიაკვნო, სამკვეთლო) საცემენტაციო სამუშაოები არ შესრულებულა, რადგან ეს უბნები ცემენტაციას არ ექვემდებარებოდა.

მეგლის კედლის წყობაზე გამოყენებული დუღაბის სინჯების ქიმიურმა და პეტროგრაფიულმა ანალიზმა (იხ.ცხრ.3) გვიჩვენა, რომ დუღაბის შემკვრელი მასაა კირის ხსნარი. შემკვრელ მასაში არის პელიტომორფული კირქვა და კრიპტოკრისტალური თიხოვანი მასა, რის გამოც უნდა ვიგულისხმოთ, რომ დუღაბის შემკვრელად გამოყენებული იყო ჰიდრავლური კირი, რომელიც დროთა განმავლობაში განიცდის ცვლილებებს და მიდრეკილია გარდაიქმნას კირქვულ თიხად.

დუღაბში შემავსებლად გამოყენებულია წვრილმარცვლოვანი (0.1–1.5) მმ ზომის მდინარის ქვიშა და კირქვული ქანის ნამსხვრეები. ფარდობა შემკვრელსა და შემავსებელს შორის არის 1:2.5 და 1:3. დუღაბის სინჯების ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლების მნიშვნელობები შემდეგია:

წყლის შთანთქმის უნარი % – 11–25; სიმკვრივე გ.სმ³ – 2.5–2.7;

მოცულობითი მასა გ.სმ³ – 1.5–2.0; ფორიანობა % – 9–37;

სიმტკიცე კუმშვაზე კგმ. სმ² – 20–30.



ნახ.3.დასაცემენტებლად გამოზადებული კედლის ფრაგმენტი.

დულაბში შემავსებლად გამოყენებულია წვრილმარცვლოვანი (0.1–1.5) მმ ზომის მდინარის ქვიშა და კირქვული ქანის ნამსხვრევები. ფარდობა შემკვრელსა და შემავსებელს შორის არის 1:2.5 და 1:3. დადგინდა დულაბის სინჯების ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლების მნიშვნელობები, რომლებიც აკმაყოფილებენ მათზე წაყენებულ მოთხოვნებს, თანამედროვე სტანდარტით.

ტაძრის კედლებში არსებული სიცარიელები რამოდენიმე ფაქტორით უნდა იყოს განპირობებული: 1) მშენებლობის დროს დაშვებული შეცდომები; 2) ატმოსფერული ფაქტორების ზეგავლენით წარმოქმნილი და შემდეგ გაფართოებულ ბზარებში ჩამავალი თოვლისა და წვიმის წყალი, დულაბიდან ირეცხებოდა კალციუმის ჰიდროჟანგი (ძირითადი მჭიდა კომპონენტი დულაბში) და მასთან ერთად იშლებოდა დულაბიც.

დუღაბის სინჯების ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლები

ცხრილი #3

სინჯო #	ტენიანობა	წყლის შთანთქმის უნარი	შემკვრელი	სიმკვრივე გ.სმ ³	მოცულობითი მასა გ.სმ ³	ფორიანობა%	სიმტკიცე კუმშვაზე კგ.სმ ²	გაყინვა -
			შემავსებელი.					გალღობის ციკლი
1.	7.9	17.8	1: 3.4	2.08	1.90	9.0	80	გაყინვა - გალღობის ციკლის 5 გავლის შემდეგ სინჯების წონის დანაკარგი 5% მეტია
2.	7.8	20.0	1: 3.6	2.22	1.82	18	60	
3.	7.7	22.4	1: 3.6	2.44	1.70	30	33	
4.	6.0	19.0	1: 3.6	2.63	1.77	32	35	
5.	2.8	13.6	1: 3.0	2.50	2.00	20	22	
6.	8.0	24.5	1: 3.0	2.68	1.86	30	20	
7.	2.9	19.0	1: 4.1	2.54	1.73	31	22	
8.	6.4	16.0	1: 2.6	2.40	1.50	37	33	
9.	4.7	15.5	1: 3.6	2.35	1.60	31	20	
10.	5.2	19.3	1: 3.0	2.53	1.70	32	30	
11.	4.7	14.0	1: 2.0	2.50	1.66	33	40	
12.	3.1	18.0	1: 1.7	2.22	1.79	22	30	
13.	2.7	16.0	1: 2.4	2.50	1.70	32	60	
14.	1.75	11.0	1: 2.1	2.40	1.80	28	40	
15.	2.4	13	1: 3.8	2.45	1.84	25	40	
16.	2.40	13	1: 3.3	2.35	1.76	23	60	

აღნიშნული გარემოება განსაკუთრებით შესამჩნევი იყო ტაძრის კედლების ზედა ნაწილში. ამაზე მიუთითებს ის ფაქტიც, რომ ცალკეულ უბნებში ცემენტის რძით ივსებოდა არამარტო საინექციო და მისი მოსაზღვრე ხვრელები, არამედ იგი საპერანგე ქვების ნაკერებს ასველებდა დიდ მანძილზე კედლის ორივე მხარეს. ამასთან, ცუდად ამოგოზილი ნაკერებიდან და დეფექტური ადგილებიდან (ღია

ნაკერები, დაზიანებული ქვები, კედლიდან გამოვარდნილი ქვების ცარიელი ბადეები) იღვრებოდა ცემენტის რძე. ასეთ დროს ჩერდება ცემენტაციის პროცესი და დაუყოვნებლივ მიმდინარეობს ამ ადგილების თიხის ცომით ამოგოზვა.

ქანის ძირითად მასაში შეიმჩნევა სახემეცვლილი ფაუნის ნარჩენები და კრიპტოკრისტალური კირქვის ცალკეული მუქი ფერის უბნები. სხვადასხვა ადგილიდან აღებული დუღაბის სინჯების კომპლექსური გამოკვლევით დადგინდა სამშენებლო ხსნარის მასალები და ტექნოლოგია.

სხვადასხვა ადგილიდან აღებული დუღაბის სინჯების კომპლექსური გამოკვლევა საშუალება მოგვცა სწორად განგვესაზღვრა სამშენებლო ხსნარის მასალები და ტექნოლოგია.

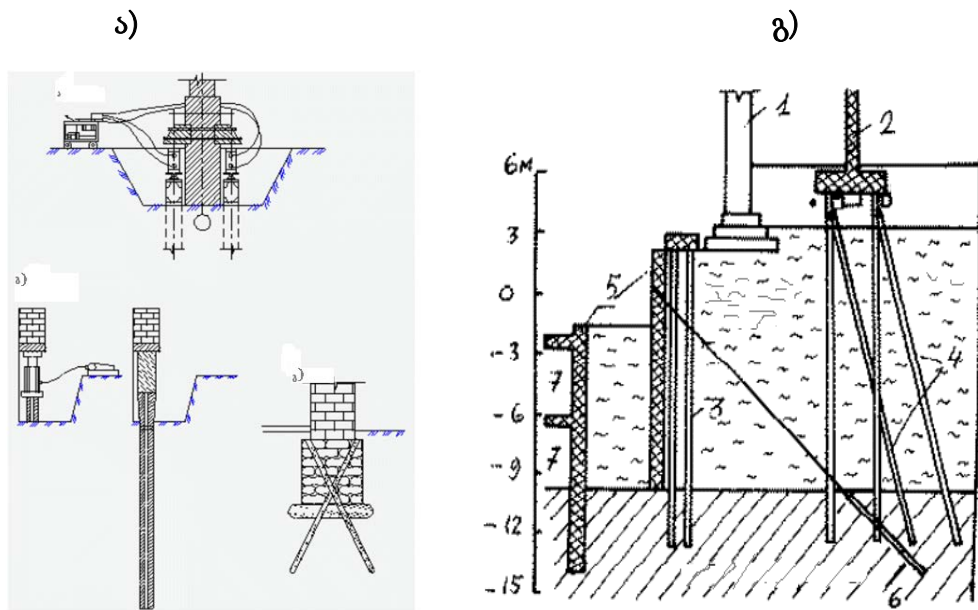
ვიზუალურად, დუღაბის ყველა სინჯი ერთგვაროვანია. სინჯებს აქვთ მოთეთრო–რუხი ფერი. დუღაბი არის წვრილმარცვლოვანი შავი ფერის ქვიშა და კირქვის ნატეხებით. ჩავატარეთ სინჯების ექსპრეს–ანალიზი. ანალიზის მონაცემებით შემკვრელსა და შემავსებელს შორის ფარდობა საშუალოდ არის 1:1.5. ასეთი თანაფარდობა დაბალია. ექსპრეს ანალიზის დროს დუღაბი დამუშავდა მარილმჟავას 5%–იანი ხსნარით. მჟავაში იხსნება შემკვრელი (კირი), ხოლო შემავსებელი ქვიშა კერამიკული ლეწი უხნადი რჩება. ჩვენს შემთხვევაში მჟავაში გაიხსნა დუღაბის შემავსებლის ნაწილიც (უნდა ვიფიქროთ, რომ ეს არის კირქვის, ქვიშა), რის გამოც ფარდობა შემკვრელსა და შემავსებელს შორის აღმოჩნდა დაბალი 1:1–ის ტოლი.

მესამე თავში განხილულია საძირკვლისა და გრუნტის გამაგრების ტექნოლოგია, გამაგრების მეთოდები და თანამედროვე ხელსაწყო – აპარატები ტექნოლოგიური პროცესის სწორად და ხარისხიანად წარმართვისათვის. მოცემულია ძველი და ახალი მეთოდებისა და ტექნიკურ–ეკონომიური მაჩვენებლების შედარებითი ანალიზი.

საუბარია იმაზე, რომ საძირკვლისა და გრუნტის გამაგრების ტექნოლოგიის შერჩევა დამოკიდებულია შენობის არსებული მდგომარეობის კატეგორიაზე, ასევე კონსერვაციის, რესტავრაციის და რეკონსტრუქციისთვის გათვალისწინებული რისკის კატეგორიებზე. რეკონსტრუქცია შეიძლება დაკავშირებული იყოს არსებულ საძირკველზე დატვირთვის ზრდასთან მასზე დაშენების, ხის სახურავის რკინაბეტონით შეცვლის ან ტექნოლოგიის შეცვლის გამო. შენობის გამაგრების

ტექნოლოგიის შერჩევასა მნიშვნელოვანია ფაქტორები, რომლებიც დაკავშირებულია შენობის კონსტრუქციულ თავისებურებებთან, გრუნტის მდგომარეობასთან და იმ ორგანიზაციის აღჭურვილობასთან, რომელიც ახორციელებს აღდგენა-რეკონსტრუქციის სამუშაოებს.

ბოლო 20 წლის აღდგენა-გამლიერების პრაქტიკაში სულ უფრო ფართოდ გამოიყენება საბურღ-საინექციო ხიმინჯები, როგორც ვერტიკალური, ისე დახრილი. დატკეპნის სპეციალური სამუშაოების შემდეგ ასეთ ხიმინჯებს არათანაბარი ზედაპირი აქვთ და ამიტომაც მათ უწოდებენ “ფესვისმაგვარს”.



ნახ. 4. საძირკვლების საყრდენი გრუნტის გამაგრება ხიმინჯების გამოყენებით:

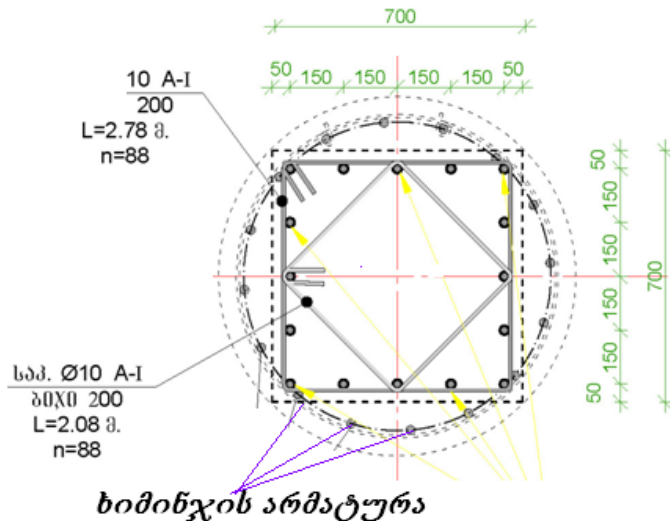
- ა- მრავალსექციური ჩასაჭედი ხიმინჯები ორმხრივი კოჭა-საყრდენით;
- ბ- ხიმინჯების ჩაჭედება კედლის ქვეშ; გ- საბურღ-საინექციო ხიმინჯები კონტაქტური ფენით.

“ფესვისმაგვარი” ხიმინჯების ძირითადი უპირატესობები:

- სრულიად გამოირიცხება მიწის ხელის სამუშაოები. ჭაბურღილების ბურღვა წარმოებს უშუალოდ საყრდენი გრუნტის გავლით, იმ კომუნიკაციების ხელშეუხებლად, რომლებიც გადის შენობების სარდაფებში.
- მცირეგაბარიტიანი მოწყობილობების გამოყენებით შეიძლება სამუშაოების წარმოება სარდაფებიდან 2,0-2,5მ. სიღრმეზე. საჭიროების შემთხვევაში შეიძლება სამუშაოს წარმოება 1 სართულიდანაც.

განგარიშების თანამედროვე მეთოდები პირველად იძლევა საძირკვლისა და გრუნტის გასამაგრებელი ტექნოლოგიის კონკურენტუნარიანი მოდელირების საშუალებას გეოტექნიკური ინფორმაციის საფუძველზე. ტრადიციულ ტექნოლოგიებზე უარის თქმა სათანადო განგარიშების გარეშე არ შეიძლება. ის ხშირად დადებით ეფექტს იძლევა მხოლოდ ახალ, თანამედროვე ტექნოლოგიებთან ერთად კომპლექსში [2].

ნაბურღ-ინექციურული ხიმინჯების გამოყენება პროგრესული მეთოდია, რადგან ფუძე-საძირკვლების ასეთი მეთოდით გამაგრება ამაღლებს ფუძე-გრუნტების სეისმურ თვისებებს, და ამ მეთოდით გაძლიერებული შენობა-ნაგებობისათვის სეისმური დატვირთვა უკვე კატასტროფულ საფრთხეს არ წარმოადგენს (ნახ.5).



ნახ.5. მონოლითური რკინაბეტონის სვეტებისა და ხიმინჯების არმირების სქემა.

საბურღ-საინექციო ხიმინჯების დამზადების ტექნოლოგია, რომელიც უზრუნველყოფს სუსტი გრუნტების პირობებში განგარიშებით მიღებულ საჭირო სიმტკიცის პარამეტრებს, საკმაოდ რთულია და მოითხოვს სპეციალური აღჭურვილობის კომპლექსის გამოყენებას. ასეთი კომპლექსის შესამუშავებლად საჭიროა საბურღ-საინექციო ტექნოლოგიების ძირითადი უპირატესობის და ნაკლის გაანალიზება, საძირკველი საყრდენის გაძლიერების სხვა ტექნოლოგიებთან შედარებით.

მეოთხე თავში განხილულია დასრულებული კვლევების შედეგად კომპიუტერული გაანგარიშებებით დაზუსტებული ტაძრის მზიდი ელემენტების სიმტკიცე, მდგრადობა და სეისმომდეგობა. გაანგარიშებები ჩატარდა საინჟინრო კომპლექს „ЛИРА“- Windows-ის მე-8ბ-ე ვერსიის საშუალებით, სამ ეტაპად: მიუხედავად იმისა, რომ გაანგარიშების შედეგებს დღეს შეიძლება პრაქტიკული მნიშვნელობა აღარ ჰქონდეს, ჩავთავალებთ, რომ საინტერესო იქნება კონსტრუქციათა დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის გაანალიზება, ტაძრის სეიმომდეგობის შეფასება. პირველ ეტაპზე სწორედ გასაშუალებული დრეკადობის მოდული მიხედვით 7 ბალიან სეისმურ დატვირთვებზე გაანგარიშებამ, აჩვენა რომ არსებული სახით ტაძრის კონსტრუქციების დატოვება დაუშვებელია და აუცილებელია ტაძრის მზიდი კონსტრუქციებისა და კვანძების აღდგენითი ღონისძიებების გატარება, რაც განხორციელდა კიდევ კვლევის მეორე ეტაპზე.

ტაძრის კედლებზე გადაცემული დატვირთვების შედეგები 7 ბალიან სეისმურ დატვირთვაზე მოცემულია ცხრილ 4-ში.

როგორც ცხრილიდან ირკვევა მაქსიმალური გაჭიმვა დაფიქსირდა „2-3“ ღერძზე, რომელიც ბევრად მაღალია დუღაბის გამჭიმ ძაბვებზე, ამიტომ იყო აუცილებელი მზიდი კედლების გაძლიერების სამუშაოების განხორციელება.

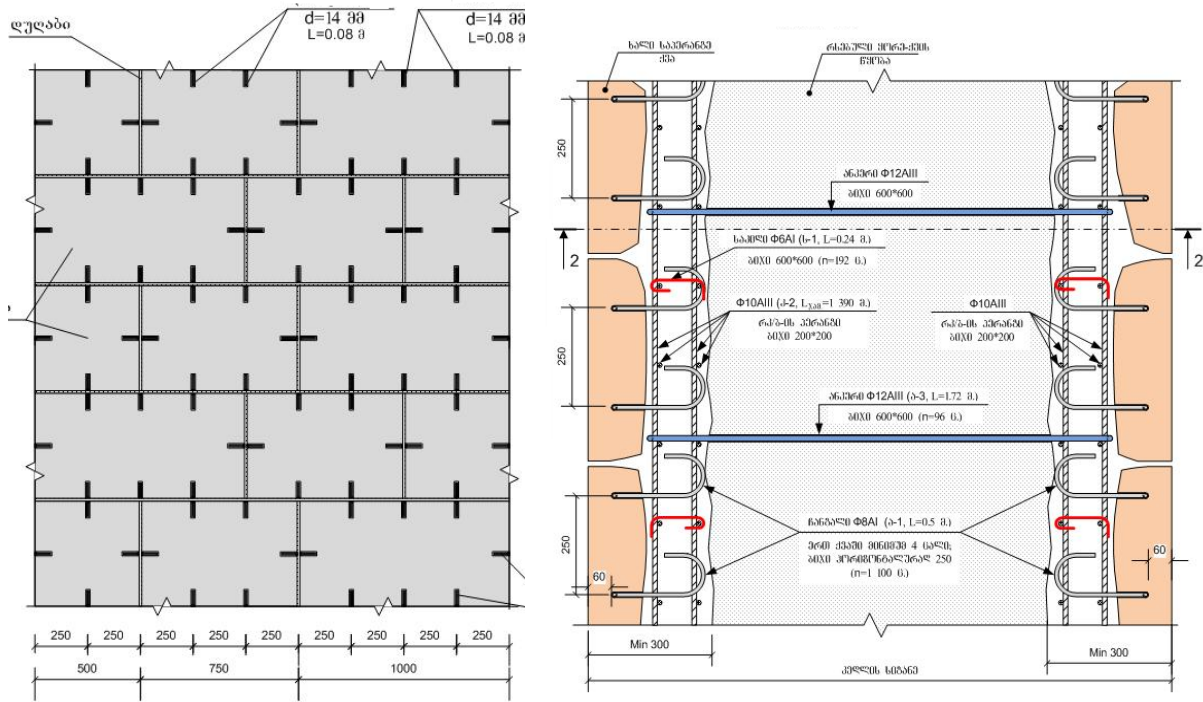
განხილულია ტაძრის ყველა მზიდი კონსტრუქციული ელემენტის დაპროექტებისა და ტექნოლოგიური გადაწყვეტის თავისებურებები. კერძოდ, არსებული მზიდი კედლების გაძლიერებისა და საპერანგე ქვების ჩამაგრების ტექნოლოგიური და ამავე დროს კონსტრუქციული გადაწყვეტის სქემები (იხ. ნახ.5).

პროექტით განსაზღვრულ ადგილზე კედლის აღსადგენ მხარეს ყორე-ქვის კედლის ზედაპირი დამუშავდა (გაიწმინდა, გაირეცხა მინიმუმ 300მმ), დაიბურღა, მოეწყო ანკერები და ორივე მხარეს არმატურის კარკასები ($d=10\text{მმ}$, A-III; $d=6\text{მმ}$, A-I), ჩამაგრდა ჩანგლები $d=8\text{მმ}$ A-I. ახალი საპერანგე ქვების მონტაჟი დუღაბის (კირის, პოლიმერების და სხვა მინერალებზე მომზადებული ხსნარით, რომლის მარკა შეადგენდა მ-150) ხსნარით განხორციელდა შემდეგნაირად: თავდაპირველად ახალი საპერანგე ქვები დაიბურღა ($d=14\text{მმ}$) მინიმუმ ორ ადგილზე ან ყოველ $0,25\text{მ}^2$ ფართობზე, ნაბურღი გულდასმით გაიწმინდა მექანიკური წესით, შემდეგ წყლით, ჭავლით და დოზირებული წნევის ქვეშ ლიობები შეივსო პოლიმერ-ცემენტის

ხსნართ მ-150. ქვების მონტაჟიდან 28 დღის შემდეგ ახალი საპერანგე ქვების (ყორე-ქვის წყობაში) ჩამაგრებისათვის მოეწყო ანკერები უჟანგი ფოლადისაგან (d=14მმ 700მმ სიგრძის) (ნახ.5) ნაბურღის ზედა თავი საპერანგე ქვის ზედაპირთან ამოიგოზა 3-4 სმ ხსნართ.

ცხრილი 4

კედელი ღერძზე	სეისმურობა 7 ბ ა ლ ი							
	მუდმივი დატვირთვა				სეისმიკა			
	Nx კგ/სმ ²	Ny კგ/სმ ²	Mx ტ·მ	My ტ·მ	Nx კგ/სმ ²	Ny კგ/სმ ²	Mx ტ·მ	My ტ·მ
„2-3“	-11,4	-5,0	7,0 -8,4	21,0 -14,0	-1,9 1,4	-2,1 1,65	-16,5 21,5	-11,5 7,5
„4“	-1,9	-5,5	11,0 -2,0	5,0 -4,0	-3,5 1,7	-2,6 1,1	-7,0 13,0	-6,0 7,0
„5“	-1,7	-5,4	2,0 -9,6	4,3 -3,8	-1,7 2,1	-1,6 2,5	-16 -17,5	-9,5 10,0
„6“-„7“	-1,7	-6,3	6,2 -6,9	26 -3	-1,7 2,4	-1,9 2,5	-16 17	-9,5 10,0
„ა“	-1,6	-6,3	2,0 -2,0	1,0 -6,9	-0,25 0,2	-0,6 0,75	-0,9 0,75	-1,1 1,0
„ბ“	-2,0	-6,0	5,5 -2,2	2,7 -6,5	-0,9 0,9	-1,3 1,1	-11,5 10,0	-16 4,5
„გ“	-1,4	-4,3	7,3 -3,7	9,9 -1,8	-0,75 0,6	-1,25 1,1	-5,0 5,5	-2,5 3,0



ნახ.5. კედლის ქვით მოპირკეთების გეგმა და ახალი საპერანგე ქვების ჩამაგრების სქემა

სეისმური დარაიონების მიხედვით სამშენებლო ტერიტორია არის 8 ბალიან ზონაში.

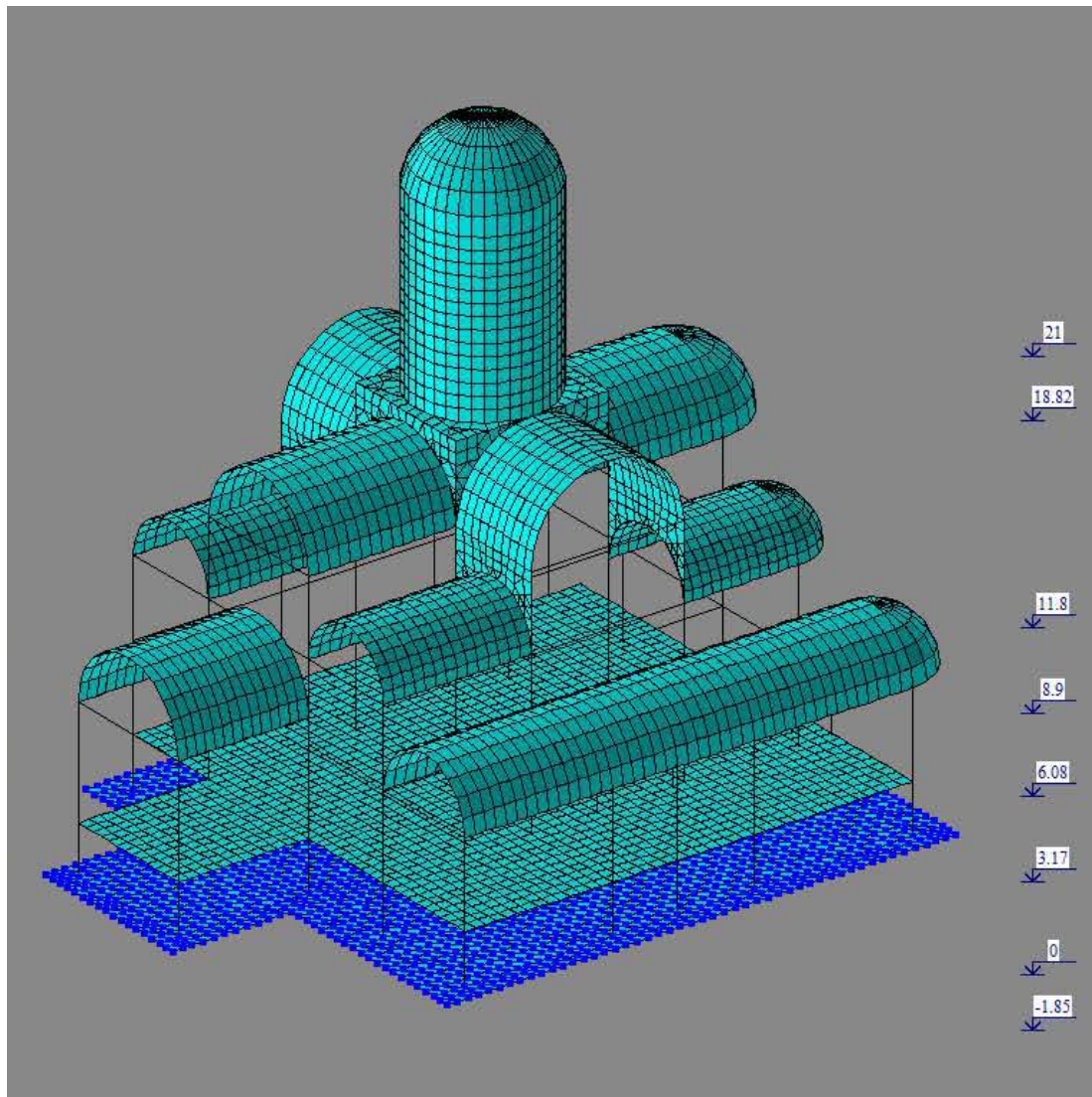
ბაგრატის ტაძრის მზიდი კონსტრუქციების გაანგარიშების მეორე ეტაპი ჩატარდა გამოთვლითი კომპლექსის „ლირა–9.4“ –ის საშუალებით, საანგარიშო მოდელი სივრცითაა, პირობითად, ორ ნაწილად წარმოვიდგენილი. არსებული ქვის კედლები თავისი ლენტური საძირკვლებით და ახალი, რკინაბეტონის ჩონჩხედით. მათ შორის კავშირი ხისტია (ნახ.6).

არსებული ქვის კედლების წყობის დრეკადობის მოდულის მნიშვნელობად მიღებულია $E=5.2 \times 10^5$ ტ/მ², პუასონის კოეფიციენტი $\nu = 0.25$; გრუნტის საგების კოეფიციენტი კუმშვაზე $C_1 = 2000$ ტ/მ³; კედლების სისქე იცვლება 100÷200 სმ–ის ფარგლებში.

რკინაბეტონის ჩონჩხედში: დეროვანი ელემენტები (ხიმინჯები, სვეტები, სარტყელი) მოდელირებულია #10 სასრული ელემენტით; კედლები, გარსები, გუმბათი და სახურავის კონსტრუქციები – ოთხ და სამ კვანძიანი გარსის

ელემენტებით (სე # 41, 42, 44); გრუნტის რეაქცია ხიმინჯებში – #56 ერთ კვანძიანი ელემენტით.

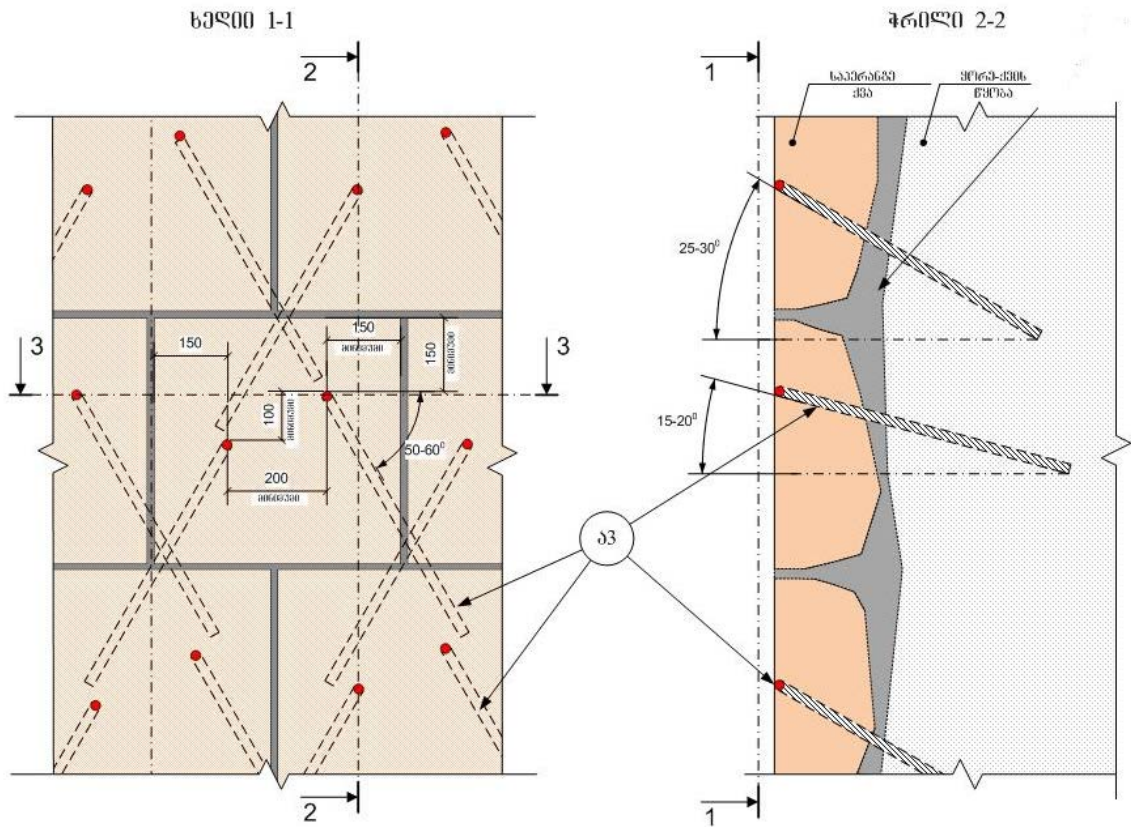
როგორც გაანგარიშების შედეგებმა აჩვენა, მაქსიმალური გამჭიმავი ძაბვა ქვის წყობაში $1.5 \div 1.8$ კგ/სმ²-ს ფარგლებშია, რაც არ აღემატება წყობის სიმტკიცეს გაჭიმვაზე. გაძლიერებული მონოლითური რკინაბეტონის კედლის არმირების ფრაგმენტები წარმოდგენილია ნახ.7 - ზე.



ნახ.6. ტაძრის საანგარიშო მოდელი

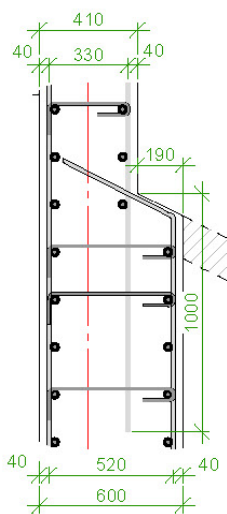
როგორც გაანგარიშების შედეგებმა აჩვენა, მაქსიმალური გამჭიმავი ძაბვა ქვის წყობაში $1.5 \div 1.8$ კგ/სმ²-ს ფარგლებშია, რაც არ აღემატება წყობის სიმტკიცეს

გაჭიმვაზე. გაძლიერებული მონოლითური რკინაბეტონის კედლის არმირების ფრაგმენტები წარმოდგენილია ნახ.8-ზე.

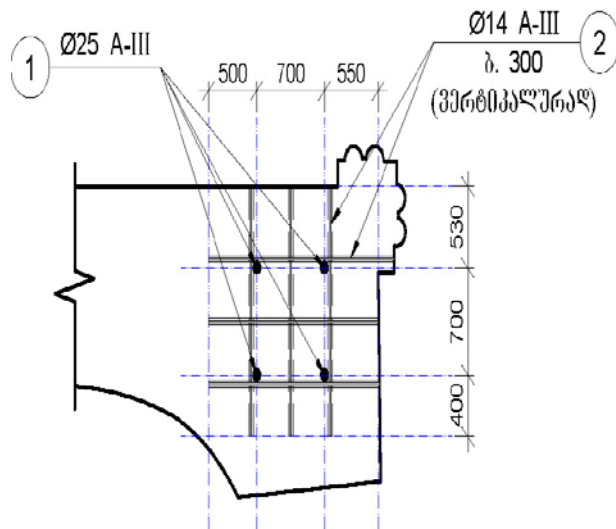


ნახ.7. ახალი საპერანგე ქვების ჩამაგრება ლითონის უჟანგი ანკერებით.

ურაგმენტი -7



ურაგმენტი N:7



ნახ.8. მონოლითური რკინაბეტონის კედლის არმირების ფრაგმენტები

მაქსიმალური ძაბვა ფუძეში ლენტური საძირკვლების გაძლიერების შემდეგ შეადგენს $\sigma=1.8$ კგ/სმ².

მაქსიმალური გრძივი ძალა ხიმინჯში $N=1150$ ტ.

ბაგრატის ტაძრის მზიდ კონსტრუქციებს წარმოადგენს კონტურის გაძლიერებული არსებული მზიდი ქვის კედლები (პირვანდელი XI საუკუნის და აღდგენილი XX საუკუნის) და მონოლითური რკინაბეტონის შიდა კარკასის (თაღნარის) კომპლექსური კონსტრუქცია ნახ.8.

ცხრილი 5.

კედელი ლერძზე	სეისმურობა 8 ბ ა ლ ი							
	მუდმივი დატვირთვა				სეისმიკა			
	Nx კგ/სმ ²	Ny კგ/სმ ²	Mx ტ·მ	My ტ·მ	Nx კგ/სმ ²	Ny კგ/სმ ²	Mx ტ·მ	My ტ·მ
„2-3“	-11,4	-5,0	7,0 -8,4	21,0 -14,0	-3,8 2,8	-4,2 3,3	-33 43	-21,0 15
„4“	-1,9	-5,5	11,0 -2,0	5,0 -4,0	-7,0 3,4	-5,2 2,1	-14,0 26,0	-12,0 14,0
„5“	-1,7	-5,4	2,0 -9,6	4,3 -3,8	-3,4 4,3	-3,7 5	-32 35	-19 20,0
„6“-„7“	-1,7	-6,3	6,2 -6,9	26 -3	-3,4 4,8	-3,8 5,0	-32 34	-19 20,0
„ა“	-1,6	-6,3	2,0 -2,0	1,0 -6,9	-0,5 0,4	-1,2 1,5	-1,8 1,5	-2,2 2,0
„ბ“	-2,0	-6,0	5,5 -2,2	2,7 -6,5	-1,9 1,8	-2,6 2,2	-23 20,0	-32 9,0
„გ“	-1,4	-4,3	7,3 -3,7	9,9 -1,8	-1,5 1,2	-2,5 2,2	-10,0 11,0	-5 6,0

რადგან ტაძრის ტერიტორია 8 ბალიან ზონას მიეკუთვნება, რის გამოც აუცილებელი იყო ტაძრის მზიდი კონსტრუქციების გაძლიერება, სეისმომდეგობის ამაღლება, რაც განხორციელდა კონსტრუქციული ღონისძიებებით, კერძოდ, კედლებსა და გადახურვის ელემენტებში განთავსდა დამატებითი ანკერები და

არმატურის კარკასები. გუმბათის გარსულ კონსტრუქციაში ჩამონოლითებულია რადიანულად განლაგებული 8 კედელი და ცენტრალური სვეტი.

ბაგრატის ტაძრის აღდგენისათვის დასახული სამეცნიერო გამოკვლევების შედეგების ანალიზის მიხედვით შეგვიძლია გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნები:

დასკვნები

1. კედლის წყობაზე გამოყენებული ქვები თხელშრებრივი მსხვრევადი ქანისაა. ქიმიური შემადგენლობით ქვები განსხვავდებიან. დაზიანებულში დაუზიანებელ ქვებთან შედარებით მნიშვნელოვნადაა შემცირებული CaO-ს პროცენტული რაოდენობა, გაზრდილია SiO₂-ის პროცენტული რაოდენობა. სინჯებში CaO-პროცენტული რაოდენობის შემცირება მიგვანიშნებს, რომ რიგი ფიზიკური, ბიოლოგიური და ქიმიური პროცესების ზემოქმედებით კირქვული ქანი მიდრეკილია, გარდაიქმნას კირქვულ ქვიშად.
2. სპეციალური GPR (GPR გეორადარი) აპარატით, მოხდა კედლებში ფორიანობის განსაზღვრა (სკანირება), არსებული სიცარიელები – ფორები შეივსო ცემენტის ხსნარით (შემადგენლობა: წყალ-ცემენტის ფარდობა 0.65%, ხოლო პლასტიფიკატორი ცემენტის მასის 5 %) დაიხვრიტა კედლები d=12მმ, რომელთა შევსება მოხდა მხოლოდ წყალცემენტის რძით. ინექციების სამუშაოების დასრულების შემდეგ კიდევ ერთხელ გადამოწმდა კედლებში სიცარიელების არსებობა.
3. კედლის თითოეული მხარე დამუშავდა, ყორე-ქვის ზედაპირი გაირეცხა და გაიწმინდა. მოეწყო ლითონის ანკერები და არმატურის ბადე (დიამეტრით 10მმ, A-III კლასის; დიამეტრით 6მმ, A-III), პოლიმერცემენტის ხსნარზე (მ-150), ხოლო საპერანგე ქვების მომზადების შემდეგ ეპოქსიდის მეშვეობით ჩამაგრდა მათში ჩანგლები (Ø-8მმ დიამეტრით A240 კლასის არმატურის), არსებული სიცარიელე შეივსო ბეტონის ნარევით (R_b=8,5მგპა).
4. ტაძრის მზიდი კედლების ქვეშ გაძლიერდა კირის დურაბზე არსებული ყორე-ქვის ლენტური საძირკველი რკინაბეტონის პერანგის საშუალებით.
5. გამოსწორდა საძირკვლის წყობის დურაბის ხარვეზები, გაიზარდა მისი სიგანე, შესაბამისად სიმტკიცე და სიხისტე.

6. წერტილოვანი საძირკვლების გაძლიერებისას გამოყენებული იქნა ნაბურღ-ინექცირებული ხიმინჯები, რომელმაც გაზარდა საძირკვლის სიხისტე და ამალდა ნაგებობის სეისმომდეგობა.
7. ცნობილია, რომ ბაგრატის ტაძარი დაფუძნებულია ადრინდელი, სხვადასხვა პერიოდის ნაგებობათა ფრაგმენტებზე, მათი დაზიანების თავიდან ასაცილებლად სვეტების ქვეშ მოეწყობა ახალი საძირკვლები, რომლებიც წარმოადგენს მონოლითური რკინაბეტონის დასაბურღ-დასატენ ხიმინჯებს.
8. საძირკვლის ძირის ჩაღრმავება განხორციელდა ძირითად ქანებში, ხოლო თავები შეიკვრა რკინაბეტონის რანდკოჭებით. საძირკვლების ასეთი გადაწყვეტა არამარტო საიმედოა, არამედ ფაქტიურად არ აზიანებს არქეოლოგიურ ნაშთებს.
9. შიდა თაღნარისა (კარკასის) და არსებული კედლების კავშირი არის ხისტი: არსებულ კედლებში რკინაბეტონის თაღნარის კონტურის გასწვრივ (ღარებში) მოეწყობა რკინაბეტონის ჩამალული ჩანართები, რომლებიც თავის მხრივ ანკერების საშუალებით ჩამაგრებული იქნა არსებულ კედლებში, ხოლო კარკასს დაუკავშირდება ტრადიციულად.

სამეცნიერო შრომების სია

1. ა. სოხაძე, ი. ჭანტურია. ზოგიერთი საკითხი ბაგრატის ტაძრის მშენებლობის შესახებ. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი "მშენებლობა", თბილისი, # 3 (18) 2010 (გვ. 104–107);
2. ი. ჭანტურია. შენობა-ნაგებობების აღდგენა-რეკონსტრუქციის ზოგიერთი თავისებურებანი სტუდენტთა 79-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, 2011 (გვ. 14–18).
3. ლ. ბალანჩივაძე, ი. ჭანტურია. ნაგებობის რეკონსტრუქციის ზოგიერთი თავისებურებები. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი "მშენებლობა", თბილისი, # 4 (43) 2016 (გვ. 44-46);
4. ი. ჭანტურია. ხუროთმოძღვრული ძეგლების გაძლიერების ძირითადი თავისებურებანი. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი "მშენებლობა", თბილისი, # 3 (18) 2017 (გვ. 104–107);

5. I.Chanturia, L.Balanchivadze SEVERAL FEATURES OF BUILDING RECONSTRUCTION PROCEEDINGS OF 9th INTERNATIONAL CONFERENCE CONTEMPORARY PROBLEMS OF ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION 13-18 September, 2017, Batumi, Georgia

Abstract

Relevance of the topic: The symbol of united Georgia, the unique architectural monument of the X century - Bagrati Cathedral was ruined, in relation to which the state and church made the right decision to try and restore its original appearance. The Bagrati Cathedral, fortunately, will have the same function in the XXI century, as at the time when it was built – to perform as a symbol of "United Georgia" and not as a remnant of an obsolete civilization [1].

Since 1994, Bagrati Cathedral was included in UNESCO's World Heritage Site list [12].

In 2009, the Government of Georgia launched the restoration of the monument, which should have been completed by construction of a dome. The project, whose author was Ivane Gremelashvili, has caused a very different and sharp reactions in public. The alarm was raised after the Italian engineer and architect Silvio Calvi wrote in his article about works performed in Bagrati Cathedral. According to him, monument reconstruction works began without consulting the project with UNESCO, and these works were not preceded by a large scale study [19].

In 2008 the rehabilitation works were carried out at the Cathedral, as a result the Cathedral should have been reconstructed and strengthened. According to the project created it was decided that the Cathedral would be renewed with reinforced concrete constructions mainly, which led to disturbance of the Italian architect, although initially no justified analysis was made. [9].

The aim of the dissertation: to develop and implement new constructive measures to save the architectural heritage monument – Bagrati Cathedral and ensure its reliable and long existence in order for it to regain its purpose and fulfil its mission.

The task of experimental research is:

- Research of chemical and mineral composition of the stones used for the construction of Bagrati Cathedral;
- Study of the fastening solution and its chemical analysis
- Conducting work on control injections for wall strengthening, selection of injection solution
- Study of foundation soil, its chemical analysis and reinforcement measures;

• A new technological and structural solutions with which the marking of the bearing columns will be brought to the initial design index, and bearing capacity will also be increased;

Scientific Novelty: Composition of injection materials selected for reconstruction, checking the strength of restored walls, determining bearing ability and seismicity.

The first chapter deals with particular aspects of construction and design of Georgia's some architectural monuments of tenth and twelfth century [3].

The medieval architecture is the second golden age of Georgian architecture. It covers the period from the second half of the X century to the XIII - XIV centuries, the majority of which belongs to the period of Georgia's existence as united kingdom [5].

Georgian architectural monuments are not only interesting solely for specialists. Their artistic qualities, their location and organic integration with nature, antiquity, that "scent of antiquity" attracts every person who loves beauty and is concerned about country's and nation's past and worries about their future.

The first example of this epoch is the **Kumurdo Cathedral** in Javakheti, near Akhalkalaki, **Oshki Monumental Episcopacy Cathedral** (South Georgia, Tao). The temples of **Alaverdi, Svetitskhoveli, Samtavisi and Samtavro**, which have an elongated rectangular design, that is characteristic of all later church architecture.

The cross-shaped outline gets even closer to the norms of new time; These temples are much more prevalent than their predecessors, and proportions wise are typical of a new period of time [9].

Bagrati Cathedral is among them, a triconch type cross-building structure, the dome of which was based on four massive columns, protruding sleeves of the cross are of rectangular form from the outside, and on the inside (eastern, southern and northern sides) they were made of semicircular apses. The building is incredible with how sophisticated the proportions are, with freedom and artistism of profiles, decorations, arch constructions, the lightness of the structures [12].

The second chapter discusses the method of determining chemical and mineral composition of the construction stones used for construction of Bagrati Cathedral.

Over time stones experience physico-chemical erosion, which results in their physical-mechanical properties gradually deteriorating compared to the original. During the visual inspection of the temple, it was clear that stones had different degrees of damage. Therefore, their physiological mechanical characteristics are different.

As time passes, the limestones, experience incomplete recrystallization, hardening, argillification, opening, and as a result emptiness is created in the limestone – pores are formed. Pores determine the strength and the length of life of the limestone,.

Samples of temple construction stones were selected according to the quality and damage of a stone. Thus, the number of some of the colored stone samples is more than of others. The chemical composition of samples was determined by the quantitative chemical analysis method. According to the analysis, chemical composition of stone samples is different. CaO is from 46.81% to 49.05% for undamaged gray stone samples. CaO is from 37.5% to 42.2% for damaged samples. In the yellowish-brown and red colored samples, the amount of CaO is even lower and equals to 15.8% to 28.5%.

The petrography of the layer, which examines it in microscopic and macroscopic way, was studied in details. As a result of macroscopic study, the main features of the layer are identified out of which the most important was the color and the radiance of the material.

The mineral composition of the layer, the structure, the texture (structure) is determined by the microscopic description. According to structure, the material can be crystalline, thick granular. According to texture it can be dense, porous, cellular, flaky and etc..

Macroscopic description of yellowish-pink sample is fine-grained layer with rough surface. By dripping hydrochloric acid, gas is released from the surface of the sample, thus, we are dealing with a carbon layer.

The macroscopic description says that it is a fine crystalline, micro-grain (0.01 mm size grain) carbonate, which is recrystallized into transparent calcium grains in peripheral parts. Layer concrete is not characterized by particular separation.

As a result of the study, it was found that the main mass of the limestone has some dark colored areas of cryptocrystalline limestone. Organic part is replaced with fine crystalline calcium. The layer consists of small sized 0.03-0.04 mm particles of iron hydroxide.

The gray stone samples taken from the column and from the column hole are different from the gray stone samples taken from the wall. The macroscopic description shows that it is solid homogeneous layer.

The main mass of the layer has been found to have changed remains of fauna and particular dark areas of cryptocrystalline limestone. Complex analysis of solution samples taken from different places have determined ingredients of construction solution and its technology.

Visually, all of solution samples are identical. The samples have whitish-gray color. Solution has black colour sand and limestone particles in it.

A geo-radar research of all four walls of the Bagrati Cathedral has been carried out as well. According to the results five areas found to be weak were drilled and embedded in concrete. (199 holes, 450 litres were used). 250 kg of cement and 2,25 l of supplement chemical superplasticizing agent (S-3 brand) was used for injection mixture preparation.

The third chapter discusses foundation and soil reinforcement technology, strengthening methods and modern machines for proper and quality technological process. Comparative analysis of old and new methods and technical-economical parameters are given.

It is noteworthy that selection of foundation and ground reinforcement technologies depends on the category of building, as well as the risk categories of conservation, restoration and reconstruction. Reconstruction may be associated with the increase in load on the existing foundation, because of replacing a wooden roof with reinforced concrete one or because of technology change. Factors related to constructive specialities of the building, soil condition and the equipment of the organization carrying out these works are important when selecting the technology of reinforcement

In ancient times, they used applicable that would be connected with already existing. The boring of this applicable was performed at different levels. The excavations of old foundations show that these applicable remained in the ground and had virtually no impact on further exploitation of the building. It was used during heavy deformations after soil hardening in the foundation of expanded part. Extension of foundation, as a rule, is usually carried out when the soil is overloaded, i.e. layers of plastic deformation have developed below it.

In global practice, there is a wide choice of different chemical reagents that can strengthen foundation soil for a long period of time. Advantages of chemical means include: high level of mechanization of all operations; possibility of soil strengthening according to natural parameters provided by the project; Relatively small work required, drastic reduction of Unskilled manual trench digging, as well as relatively low cost of raw materials (the possibility of using production waste).

For the first time modern methods of calculation give us a competitive model of soil and foundation reinforcement technology based on geotechnical information. Traditional technologies can not be denied without proper calculation. It often has a positive effect when combined new, modern technologies.

The fourth chapter deals with computerized calculations performed after the completion of technological processes and constructive solutions on the strength, sustainability and seismicity of cathedral's bearing elements.

The calculations were carried out with the use of engineering software "ЛИРА" - on Windows 8b, in three phases: Although the results of the I calculation do not have practical significance today, it is interesting to analyze the tense-deformation condition of the structures, and estimation of seismic resistance of the Cathedral. At the first stage, the calculation of the 7-point seismicity according to the current elasticity module has demonstrated that the construction of the Cathedral structures can

not be left in current state and it is necessary to carry restoration works. The main difficulty in computing calculation scheme was to define wall's elasticity module, which was taken during the I stage from an undamaged wall and was 5.2×10^5 t/ m²; According to the results of calculation a 7-magnitude seismic activity should not cause a serious impact on the cathedral, as maximum intensity of tension of dome's holding constructions was within 1.5 -:- 2.0 kgf/ cm². But it was not possible to leave it like that, because there was no firm connection between all the structures.

Analysis of the calculation results shows that the 7-seismic activity may cause serious damage to the walls of the cathedral: collapse of the southern cantilevered wall sleeve, collapse of the western frontal sleeve and other. The maximum intensity of tension reaches 6.0 kgf / cm².

Calculations performed in the III stage used approximate value of wall elasticity module - 4.5×10^5 t / m³ (after implementation of the wall reinforcement) for operational model; soil compression coefficient - $C_1 = 2000$ t/m³; Poisson's ratio of wall blockwork - $\mu = 0.3$ (see 043).

From the results of the calculation, it is important to note that the dynamic characteristics of the cathedral (period of free oscillations, forms, movements) are close to those results of I phase. Maximum intensity of tension, currently in dangerous areas, are within 7 point seismicity of 2.0 kgf / cm².

At this stage we can conclude that in the case of the proposed options for restoration, the cathedral will be ensured against 7 point seismic activities.