

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
ხელნაწერის უფლებით

ნინო ტაბატაძე

საქართველოს ზოგიერთი ისტორიულ-კულტურული ძეგლის  
ტექნიკური მდგომარეობის კვლევა ექსპერიმენტული და რიცხვითი  
მეთოდების შერწყმით

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

სადოქტორო პროგრამა: მშენებლობა 0406

თბილისი

2017 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში,  
სამშენებლო ფაკულტეტზე,  
სამშენებლო მექანიკისა და ტექნიკური ექსპერტიზის დეპარტამენტში,

ხელმძღვანელი: პროფესორი მალხაზ წიქარიშვილი

რეცენზენტები: პროფესორი როინ იმედაძე  
აკად. დოქტორი ჯონი გიგინეიშვილი

დაცვა შედგება 2017 წლის 11 ივლისს 14.00 საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის  
საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე,  
კორპუსი I, აუდიტორია 508  
მისამართი: თბილისი 0175, კოსტავას 68.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,  
ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე.

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი:

პროფესორი დ. ტაბატაძე

## რეზიუმე

ნაშრომში განხილულია ისტორიულ-კულტურული ძეგლების კონსტრუქციების ტექნიკური მდგომარეობის დიაგნოსტიკის ექსპერიმენტული და რიცხვითი მეთოდის ერთობლიობის სრულყოფის კონცეფცია, რაც ხორციელდება ლაბორატორიული, ურღვევი კონტროლის მეთოდების და საანგარიშო მოდელების (ფუნქციონალური ან იმიტაციური) შექმნის ბაზაზე, მოდელური ექსპერიმენტების ჩატარებისას. ასევე მოყვანილია შენობა-ნაგებობების რესურსის, უსაფრთხოების, ხანგამძლეობის და სიმტკიცის შენარჩუნებასთან დაკავშირებული პრობლემების გადაწყვეტის კომპლექსური მიდგომის მეთოდოლოგია. ძეგლის ხისტი სტრუქტურა ნარჩუნდება მდგრადი პირობების გამოვლენისას გარემო ფაქტორებისა ან მათი სტატიკური ცვალებადობის ფარგლებში.

ისტორიულ-კულტურული ძეგლის მდგომარეობაზე დაკვირვება ჩატარდა მისი განლაგების ტერიტორიაზე ეკოსისტემის ცვლილებისა და განვითარების დროითი და სივრცითი პარამეტრების გათვალისწინებით.

ჩვენს მიერ ჩამოყალიბდა ძეგლის საძირკვლის და ზედნაშენის კონსტრუქციების დეფორმირებული მდგომარეობის კვლევის კომპლექსური მიდგომა. იგი აერთიანებს ტრადიციულ და ინტელექტუალურ დიაგნოსტიკის სისტემებს, რომელთა დამუშავების საფუძველს იძლევა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის „საინჟინრო მექანიკისა და ტექნიკური ექსპერტიზის“ დეპარტამენტის სამეცნიერო კვლევითი გამოცდილება, სადაც დამუშავდა ნაშრომი. ისტორიულ-კულტურული ძეგლების საძირკვლისა და ზედნაშენის მდგომარეობის დიაგნოსტიკა განხორციელდა ურღვევი კონტროლის მეთოდებით და გამოყენებული საშენი მასალის ლაბორატორიული გამოცდით.

აღნიშნული კვლევის ჩასატარებლად შერჩეულ იქნა საქართველოს ტერიტორიაზე არსებული რამდენიმე სხვადასხვა ტიპის ისტორიულ-კულტურული ძეგლი, ხოლო საანგარიშო მოდელის შექმნა და შემდეგ მისი გაანგარიშება მოხდა ორი ძალზედ საინტერესო ისტორიულ-კულტურული ძეგლის - შიხიანის „აღდგომის“ ტაძრისა და ქ. თბილისში, რომის ქუჩა N4-ში მდებარე შენობის მაგალითზე. ვინაიდან ძეგლის შემცირებული ზომის მოდელის შექმნა, რომელიც გამოიცდება სატესტო მაგიდაზე, დაკავშირებულია მაღალ მატერიალურ ხარჯებთან, მოითხოვს ხანგრძლივ სამუშაო დროს და წარმოადგენს მრავალჯერ ნაცად მეთოდს, ჩვენს მიერ შედგენილ იქნა ძეგლების საანგარიშო მოდელები, შესაბამის საანგარიშო პროგრამებში - SAP2000 და LIRA SAPR 2013. ძეგლების მდგომარეობაზე დაკვირვება ჩატარდა მისი განლაგების ტერიტორიაზე. დაგეგმილი სავლე სამუშაოების განხორციელების შემდეგ ტაძრის კონსტრუქცია ვიზუალურ-ტექნიკურად დათვალიერებულ იქნა, მოინიშნა დეფექტების ადგილები, ზომები და გეომეტრია, ჩატარდა საინჟინრო-გეოლოგიური კვლევა, დადგინდა საძირკვლის ზომები და ტიპი, აღებულ იქნა კონსტრუქციებში

გამოყენებული მასალების ნიმუშები და გამოცდილ იქნა ლაბორატორიულად. ლაბორატორიული ანალიზი ჩატარდა მასალის ფიზიკური მახასიათებლების (მასალის მოცულობითი წონა, დრეკადობის მოდული (E), პუასონის კოეფიციენტი (U) და თერმული გაფართოება (A)) დასადგენად, რის შედეგადაც საანგარიშო პროგრამის შესაბამის ველში შეიქმნება დაძველებული საშენი მასალების ტიპების ბაზა ლაბორატორიული ანალიზის მონაცემების მიხედვით, ხოლო არსებული ბზარების გათვალისწინება საანგარიშო მოდელში შესაძლებელი გახდა ელემენტების კვეთების მოდიფიკაციის გზით, ბზარების ხასიათის შესაბამისად.

მიღებული შედეგების და ძეგლებზე არსებული დაზიანებების გათვალისწინებით მოხდა საანგარიშო მოდელების სქემების ფორმირება, მოსალოდნელი დატვირთვების მოდება და რიცხვითი მეთოდებით გაანგარიშება. ანგარიშის შედეგების საფუძველზე მოხდა ძეგლების გაძლიერებული მოდელების კვლავ გაანგარიშება. შემდეგ განხორციელდა მათი ტექნიკური მდგომარეობის ანალიზი და შესაძლებელი გახდა რეკომენდაციების გაცემა გასაძლიერებელი კვანძების და ცალკეული კონსტრუქციული ელემენტების გასამაგრებლად.

წარმოდგენილი მეთოდიკა ითვალისწინებს ავტომატიზირებული კომპლექსის შექმნას, რათა პერიოდულად მოხდეს ძეგლის ტექნიკური მდგომარეობის შემოწმება. ნებისმიერი ტიპის დაზიანებული ნაგებობის მონაცემების შეყვანით, საანგარიშო პროგრამაში SAP2000, რომლის გაანგარიშებაც მოხდება ჩვენს მიერ ქვემოთ განხილული მეთოდოლოგიით და მივიღებთ ანგარიშის ოპტიმალურ შედეგებს შენობის გასაძლიერებლად ანუ მინიმალური ჩარევითა და მინიმალური მატერიალური დანახარჯებით ვიღებთ შენობის მაქსიმალურ დაცვას.

მიღებული მონაცემების ანალიზი საფუძველს იძლევა განხორციელდეს ძეგლის ტექნიკური მდგომარეობის შეფასება, რომელიც ითვალისწინებს სხვადასხვა გაძლიერებების კონსტრუქციული გადაწყვეტის თავმოყრას ერთიან ბაზაში. საჭიროების შემთხვევაში უნდა მოხდეს გაძლიერების შესაბამისი სქემის შერჩევა. საბოლოოდ მივიღებთ ისტორიულ-კულტურული ძეგლების ტექნიკური მდგომარეობის შეფასებას, ექსპერიმენტული და რიცხვითი მეთოდების შერწყმით. ყოველივე ეს კი მოგვცემს შესამჩნევ ტექნიკურ და ეკონომიკურ ეფექტს.

## ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალობა. გლობალური, ტექნიკური და ეკოლოგიური პრობლემების პერიოდში განსაკუთრებით აქტუალურია ისტორიულ-კულტურული ძეგლების კონსტრუქციის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის დიაგნოსტიკის მეთოდების დახვეწა და განვითარება.

კულტურული მემკვიდრეობა და მისი მატერიალური შემადგენლები, ისტორიულ-კულტურული ძეგლები - წარმოადგენს დედამიწის ეკოსისტემის განუყოფელ ნაწილს, ინტელექტუალური პოტენციალის ინფორმაციულ რესურსს, რომლის შენარჩუნებაც აუცილებელია მომავალი თაობებისათვის. იგი არის სულიერი საზრდო, კულტურის, ხელოვნების, ცოდნის და გამოცდილების წყარო მომავალი თაობებისათვის. პირველხარისხოვან ამოცანას ძეგლების შენარჩუნებასთან ერთად წარმოადგენს მოცემული მემკვიდრეობის და ინფორმაციის შესწავლა. ძეგლების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის შეფასების თანამედროვე მეთოდიკა საჭიროებს დიაგნოსტიკის ექსპერიმენტული და რიცხვითი მეთოდების ერთობლიობის სრულყოფას, რომელიც ძეგლის მდგომარეობის მართვის საშუალებას მოგვცემს. ასევე საჭიროა ტექნიკური მდგომარეობის შეფასებისათვის ჩატარებული კვლევების შედეგების რეგისტრაციის, შეკრების, სისტემიზაციის და მიღებული ინფორმაციის შენახვის სისტემის შემუშავება მისი ანალიზური დამუშავებისათვის.

ყოველივე ზემოთ თქმულიდან გამომდინარე, დასმული პრობლემა, „ისტორიულ-კულტურული ძეგლების ტექნიკური მდგომარეობის კვლევა ექსპერიმენტული და რიცხვითი მეთოდების შერწყმით“ მეტად აქტუალურია.

დისერტაციის მიზანს წარმოადგენს საქართველოს ისტორიულ-კულტურული ძეგლების კონსტრუქციების ტექნიკური მდგომარეობის დიაგნოსტიკის მეთოდოლოგიის სრულყოფის კონცეფციის დამუშავება, ექსპერიმენტული და რიცხვითი მეთოდების შერწყმით.

წარმოდგენილი მეთოდика ითვალისწინებს ავტომატიზირებული კომპლექსის შექმნას, რათა პერიოდულად მოხდეს ძეგლის ტექნიკური მდგომარეობის შემოწმება და შენობის მაქსიმალური დაცვა, რაც ხორციელდება ლაბორატორიული, ურდვევი კონტროლის მეთოდებით და ასევე გულისხმობს საანგარიშო მოდელების შექმნას, ხოლო შემდეგ მათ გაანგარიშებას და ანგარიშის შედეგების ანალიზს.

მიზნის მისაღწევად დავისახეთ შემდეგი ამოცანები:

1. საქართველოში არსებული ისტორიულ-კულტურული ძეგლების კონსტრუქციული გადაწყვეტების მიმოხილვა და ანალიზი;
2. ისტორიულ-კულტურული ძეგლების კონსტრუქციული თავისებურებების და კონსტრუქციული ელემენტების მუშაობის პრინციპების კვლევა;
3. ძეგლების დეფორმირებული კონსტრუქციების კვლევა და დაზიანებათა გამოძვევი მიზეზების სწორი დიაგნოზის დასმის პოსტულატების დამუშავება;
4. ძეგლის მდგომარეობის დიაგნოსტიკის ექსპერიმენტული და რიცხვითი მეთოდების სრულყოფა და კონკრეტული ძეგლების მაგალითის განხილვა;
5. ძეგლის მდგომარეობის მართვისათვის დიაგნოსტიკის ორგანიზებული სტრუქტურის შექმნა.

**მეცნიერული სიახლე მდგომარეობს შემდეგში:**

- თანამედროვე მდგომარეობის ანალიზი საქართველოში არსებული ისტორიულ-კულტურული ძეგლების კონსტრუქციების ტიპებზე და კონსტრუქციულ გადაწყვეტებზე;
- ისტორიულ-კულტურული ძეგლების, როგორც სისტემის „ძეგლი-გარემო“ გათვალისწინებით, მათი მდგომარეობის მართვის სისტემური ანალიზის მეთოდოლოგიური კონცეფციის დამუშავება;
- ძეგლების კონსტრუქციების რღვევის ყველაზე გავრცელებული მიზეზების სწორი დიაგნოზის დასმის პოსტულატების დამუშავება;

- ძეგლების კონსტრუქციების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის დიაგნოსტიკის სრულყოფილი მეთოდის დამუშავება ექსპერიმენტული და რიცხვითი მეთოდების შერწყმით;
- ძეგლის მდგომარეობის მართვის დიაგნოსტიკის ორგანიზებული სტრუქტურის სქემის დამუშავება.

*მიღებული შედეგების პრაქტიკული ღირებულება.* სადისერტაციო ნაშრომში ჩატარებული კვლევები გვაძლევს იმის საფუძველს, რომ მოცემული მეთოდის პრაქტიკული გამოყენება მნიშვნელოვნად შეამცირებს ისტორიულ-კულტურული ძეგლის მდგომარეობის კვლევისათვის ჩასატარებელ სამუშაოთა რიცხვს, კვლევის ექსპერიმენტებისათვის საჭირო დროსა და მატერიალურ ხარჯებს, რაც როგორც სამშენებლო-საინჟინრო საქმეში და ასევე ეკონომიკური თვალსაზრისითაც წინ გადადგმული ნაბიჯი იქნება. ეს ყოველივე კი გაზრდის ქვეყანაში არსებულ ისტორიულ-კულტურული ღირებულებების მქონე ძეგლების დაცვის შესაძლებლობებს.

***ნაშრომის აპრობაცია:*** ნაშრომის შედეგები მოხსენიებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა 83-ე და 84-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციებზე და სადოქტორო პროგრამით გათვალისწინებულ სამ კოლოქვიუმზე.

***პუბლიკაციები:*** ნაშრომის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია 6 სამეცნიერო სტატიაში 2 თეზისში.

***ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა:*** ნაშრომის სრული მოცულობა 157 გვერდია. იგი შედგება შესავალის, ოთხი თავის, ძირითადი დასკვნებისა და ციტირებული ლიტერატურისაგან 46 დასახელებით.

## ნაშრომის შინაარსი

შესავალში წარმოდგენილია თემის აქტუალობა, მიზანი, მეცნიერული სიახლე და ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება.

**პირველ თავში** განხილულია ისტორიულ-კულტურული ძეგლების კონსტრუქციული გადაწყვეტების ლიტერატურული მიმოხილვა და ანალიზი. მოყვანილია საქართველოში არსებული ისტორიულ-კულტურული ძეგლების ტექნიკური მდგომარეობის პრობლემები და მათი გადაჭრის გზები. ისტორიულ-კულტურული ძეგლები განხილულია, როგორც სისტემური ობიექტი „ძეგლი-გარემო“ და მოიცავს ინფორმაციას იმის შესახებ, რომ ბოლო წლებში ისტორიულ-კულტურული ძეგლების რესტავრაციის პრაქტიკაში შეინიშნება მათი ტექნიკური მდგომარეობის კომპლექსური შეფასების ტენდენცია გარემო-პირობების ცვალებადობასთან ურთიერთდამოკიდებულებაში. ამიტომ სავსებით მართლზომიერი გახდა რესტავრაციის ობიექტი განვიხილოთ, როგორც ელემენტი რთული ბუნებრივ-ტექნიკური სისტემისა „ძეგლი-გარემო“, რომელშიც არქიტექტურული ძეგლი შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც ქვესისტემა, შეიცავს რა ურთიერთდამაკავშირებელ კონსტრუქციულ და არქიტექტურულ ელემენტებს.

გაკეთებულია ძეგლების კონსტრუქციული გადაწყვეტების ანალიზი, რათა მოხდეს ისტორიულ-კულტურული ძეგლის ტექნიკური მდგომარეობის კომპლექსური კვლევა და სწორი მიმართულებით რეკომენდაციების ჩამოყალიბება რესტავრაციის წარმართვისათვის.

ანალიზის საფუძველზე შექმნილია კონსტრუქციული გადაწყვეტების კლასიფიკაცია და დეფორმირების მიზეზების შესწავლისათვის გამოყენებულია სტრუქტურული მეთოდი.

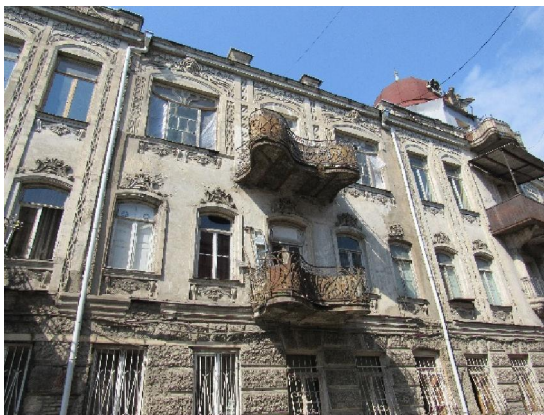
განხილულია ძეგლების კონსტრუქციული ტიპები და განხორციელებულია კონსტრუქციული გადაწყვეტების ანალიზი, საქართველოში არსებული რამდენიმე ისტორიულ-კულტურული ძეგლის მაგალითზე, როგორებიცაა: ალავერდის მონასტერი, წულრულაშენის



ტაძარი, საფარის წმ. საბა განწმენდილის ტაძარი, ნიქოზის ღვთაების ეკლესიის კომპლექსი, სანაგირეს ბაზილიკა (გურჯაანის რ-ნი), კომპლექსი „აღდგომა“ (შიხიანი), აბო-თბილელის ქუჩა #1-ში მდებარე შენობა - არტის ისტორიული ძეგლი (ქ. თბილისი), რომის ქუჩა №4-ში მდებარე ისტორიული შენობა (ქ. თბილისი), ახტალის მონასტერი, ბანას ტაძარი.



სურ. 1. შიხიანის „აღდგომის“ ტაძარი



სურ. 2. ისტორიული შენობა

რომის ქ. N4-ში, ფასადი ქუჩის მხრიდან



სურ. 3. კოშკის აივანი

განხილულია ქართველი და უცხოელი მეცნიერების ნაშრომები, საიდანაც ჩანს, რომ უპირატესობას ანიჭებენ ექსპერიმენტული მოდელის აგებას და ვიზრო მაგიდაზე გამოცდას ან რიცხვითი მეთოდებით,

საანგარიშო მოდელის აგების გზით, კონსტრუქციების გაძლიერების სქემების დამუშავებას.

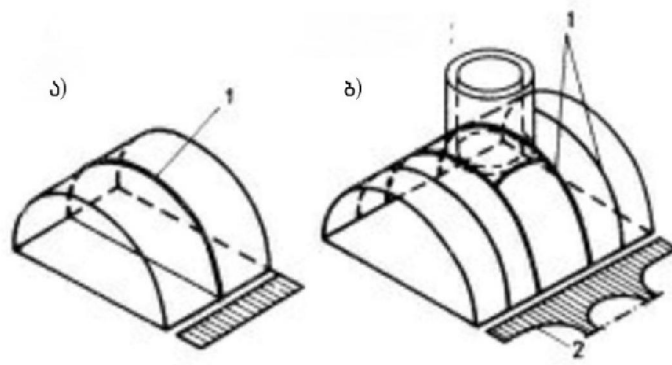
ლიტერატურული მიმოხილვის საფუძველზე დგინდება, რომ ექსპერიმენტის ჩატარება საჭიროებს ხანგრძლივ დროსა და მაღალ მატერიალურ ხარჯებს, ხოლო მხოლოდ რიცხვითი მეთოდებით საანგარიშო მოდელის აგება და ანგარიში არ იძლევა სასურველ შედეგს. აქედან გამომდინარე საჭიროდ მივიჩნიეთ არსებული მეთოდის სრულყოფა ექსპერიმენტული და რიცხვითი მეთოდების შერწყმით.

**მეორე თავში** მოცემულია ისტორიულ-კულტურული ძეგლების კონსტრუქციული თავისებურებების და კონსტრუქციების ელემენტების მუშაობის პრინციპების კვლევა.

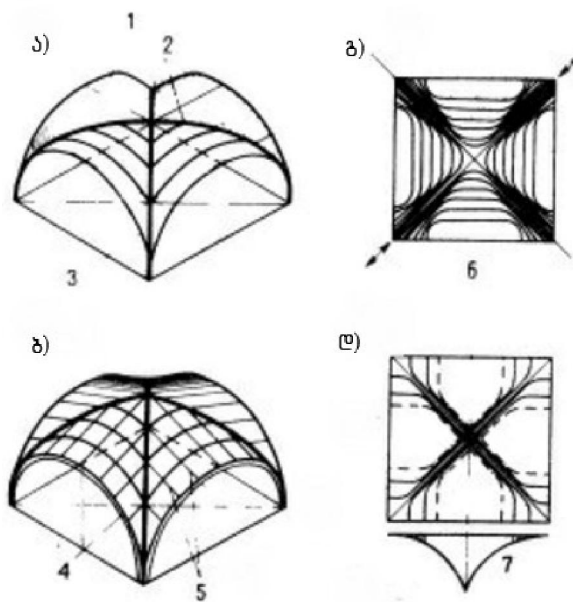
ისტორიულ-კულტურული ძეგლების რესტავრაცია-რეკონსტრუქციისათვის მიზანშეწონილია განვიხილოთ მათი კონსტრუქციების თავისებურებები და ცალკეული ელემენტების მუშაობის პრინციპები, როგორც დამოუკიდებელი კონსტრუქციები, მათი დეფორმაციულობისა და ამტანუნარიანობის განსაზღვრით სხვადასხვა სტადიაში.

ნაშრომში განხილულია საქართველოში არსებული ისტორიულ-კულტურული ძეგლების თაღოვანი კონსტრუქციების ტიპების თავისებურებები, სხვადასხვა ისტორიულ-კულტურული ძეგლის კონსტრუქციების მაგალითზე.

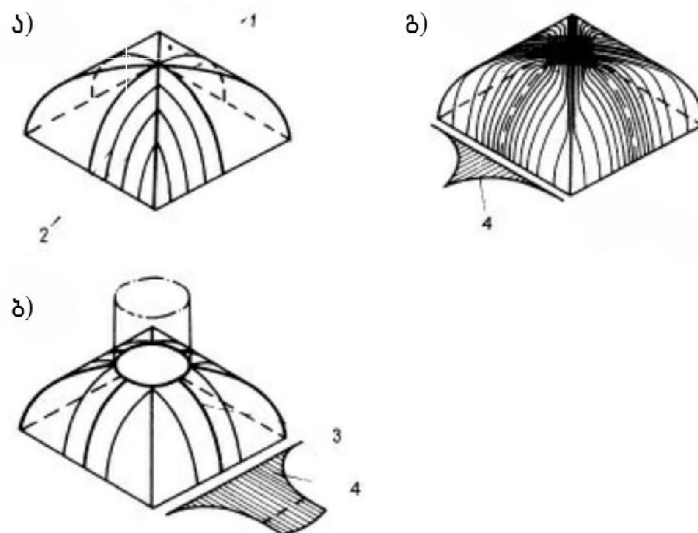
განხილულია ცალკეული ელემენტების (ბლოკების) მუშაობა, როგორც დამოუკიდებელი კონსტრუქციების სისტემები. ნაშრომში წარმოდგენილია კონსტრუქციების სხვადასხვა ტიპები: ცილინდრული კამარა (ნახ. 4), ჯვარედინი კამარა (ნახ. 5), დახურული კამარა (ნახ. 6) და დახურული თაღები (ნახ. 7).



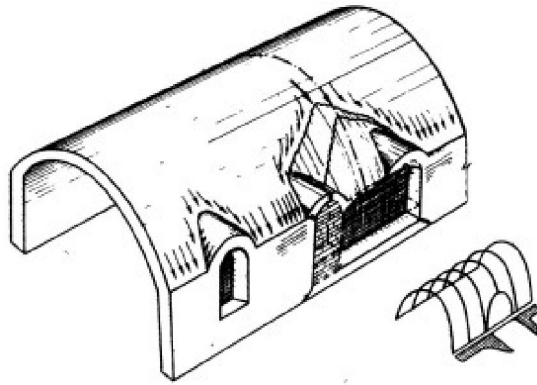
ნახ. 4. ცილინდრული კამარა



ნახ. 5. ჯვარედინი კამარა



ნახ. 6. დახურული კამარა



ნახ. 7. დახურული თაღები

განხილულმა მაგალითებმა აჩვენა, რომ ხისტი ელემენტი საშუალებას აძლევს მნიშვნელოვნად დაზიანებულ თაღოვან სისტემებს გარკვეული დროის განმავლობაში შეინარჩუნონ საწყისი ფორმა თავისი „განმბრჯენი შემაკავებლის“ არარსებობის შემთხვევაშიც.

თაღისა თუ კამარის ფორმა, რომლის დროსაც ნებისმიერი კვეთი დატვირთვის ქვეშ მუშაობს ყველაზე რაციონალური რეჟიმის შესაბამისად, ანუ სიმეტრიულად არის შეკუმშული, წარმოადგენს ყველაზე რაციონალურ ფორმას.

პრაქტიკაში, აშენებული თაღების უმეტესობა ტექნოლოგიური და ექსპლუატაციური მიზეზების გამო, ასევე წმინდა ესთეტიკური მოსაზრებებიდან გამომდინარე, არ არის აბსოლუტურად რაციონალური. მათი კვეთები არის არასიმეტრიულად შეკუმშული ან განიცდიან სხვადასხვა ტიპის დაძაბულობას.

კვეთის შეკუმშული ზონის სიმაღლე წარმოადგენს ძირითად მაჩვენებელს, როგორც მდგრადობის კუთხით, ასევე თაღის კონსტრუქციის ქმედუნარიანობის კუთხით. ეს ეხება აგურითა და ქვით აწყობილ თაღებს. ნებისმიერი არაცენტრალიზებული შეკუმშული კვეთისთვის შეკუმშული ზონის სიმაღლე დაახლოებით უდრის გაორმაგებულ მანძილს ნორმალური ძალის გამოყენების წერტილიდან კვეთის უახლოეს ნაპირამდე ანუ  $h_c = (\frac{h}{2} - e)2$ , სადაც  $h_c$  - შეკუმშული ზონის სიმაღლე;  $h$  - კვეთის მთლიანი სიმაღლე;  $e = \frac{M}{N}$  - ნორმალური ძალის გამოყენების ექსცენტრისიტეტი კვეთის ცენტრთან მიმართებაში.

კვეთის შეკუმშული ზონის სიმაღლის შემცირებით დაძაბულობა მატულობს, ხოლო იმავე დროს თაღის კონტურის მდგრადობა იკლებს. ეს დამოკიდებულება გამოიხატება ფორმულით  $\sigma = \frac{N}{F_c \varphi}$ , ამ ფორმულაში  $F_c$  - არის კვეთის შეკუმშული მონაკვეთის ფართობი;  $\varphi$  - არის კოეფიციენტი, რომელიც მოიცავს კვეთის გარეცენტრულ შეკუმშვას.

შეკუმშული ზონის მინიმალური სიმაღლე, რომლის დროსაც კონსტრუქცია კვლავ ინარჩუნებს წონასწორობას (მდგრადობას) დამოკიდებულია სხვადასხვა ფაქტორზე, კონკრეტულად: დატვირთვის ზომასა და შეკუმშვის ნორმალურ ძალაზე  $N$ , კამარის მალზე, სამშენებლო მასალის ხარისხზე და სხვა. კვეთის შეკუმშული ზონის გამოთვლილი თეორიული სიმაღლის გაკონტროლება ზოგჯერ შესაძლებელია ღია გადაბმის ადგილების სიღრმის გაზომვით (ზონდირებით).

კონსტრუქციის ყოველი ტიპისათვის დამახასიათებელია კონკრეტული ტიპის დეფორმაცია, რაც სამუშაო სქემის მახასიათებლებში არის ჩადებული. სამუშაო სქემისა და სამშენებლო მასალის მდგომარეობის ცვლილებასთან ერთად დეფორმაციის გამოხატულება და დეფორმირებადობა იცვლება.

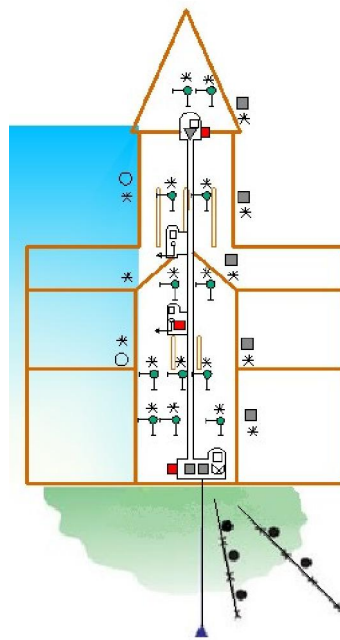
ნაშრომში განხილულია ძირითადი ტიპის თაღებისა და ძირითადი ტიპის დეფორმაციების მიმართ ბზარების სახასიათო ადგილმდებარეობა ცილინდრულ, ჯვარედინა და დახურულ თაღებში.

**მესამე თავი ეძღვნება ისტორიულ-კულტურული ძეგლების კონსტრუქციების დეფორმაციების მიზეზების კვლევას და სწორი დიაგნოზის დასმის პოსტულატების დამუშავებას.** ასევე წარმოდგენილია ურღვევი კონტროლის ხელსაწყოები და მოწყობილობები ისტორიულ-კულტურული ძეგლების დიაგნოსტიკისათვის.

სენსორების სისტემა საშუალებას იძლევა გავაკონტროლოთ ძაბვის ზრდა და შენობა-ნაგებობების კონსტრუქციებში დეფორმაციების წარმოშობა ან მის ძირითად ელემენტებში გადახრა ვერტიკალიდან, ჰორიზონტალური გადაადგილება განსაზღვრულ ჰორიზონტზე,

შევაფასოთ ობიექტის გრუნტზე დაწნევის სიდიდე, ზედა დონეებზე ქარის დატვირთვის სიდიდე, განვახორციელოთ კონტროლი შენობის ფუძის გეოლოგიურ და ჰიდროგეოლოგიურ მდგომარეობაზე.

დასაშვები საექსპლუატაციო დატვირთვების გადაჭარბება ან უარყოფითი ზემოქმედება, რომელიც იწვევს კონსტრუქციის მდგრადობის დაკარგვას, წარმოშობს ავარიული შეტყობინების სიგნალს. დიაგნოსტიკის სქემაზე შესაძლოა გამოყოფილ იქნას ავარიული ზონა და დაკონკრეტდეს ზემოქმედების ტიპი.



ნახ. 8. ძეგლის ტანზე მრიცხველების განლაგების სქემა, თალური დამბა

ნაშორმში განხილულია ძეგლების დეფორმაციის მიზეზების ტექნიკური დიაგნოსტიკის არსი და ამოცანები:

- საშენი მასალის მექანიკური და ფიზიკური მახასიათებლების განსაზღვრა;
- კონსტრუქციის დეფორმაციის ხარისხისა და ხასიათის განსაზღვრა;
- ინფორმირება გარემოში მიმდინარე პროცესებზე;
- მასალის გამოფიტვით გამოწვეული დაზიანებების ხასიათისა და ხარისხის დადგენა;

- მასალის უხილავი დაზიანებების ადრეული გამოვლენა;
- საშენი მასალის ხარისხის შეფასება;
- კონსტრუქციის დაზიანებისა და რისკის პროგნოზირება;
- ძეგლის დაცვისათვის საჭირო ღონისძიებებით ინფორმირება;
- რეკომენდაციები ძეგლის დაცვის შესაბამის ღონისძიებებზე.

ქართველი და უცხოელი მკვლევარების მრავალწლიანი გამოცდილების საფუძველზე ჩამოყალიბებულია შემდეგი პოსტულატები:

**პოსტულატი 1.** ქვის კედლებში გაჩენილი ბზარების ტიპები (დახრა და ზომები) განსაზღვრავს ფუძეების არათანაბარი დეფორმაციის ხასიათს;

**პოსტულატი 2.** კედლების და შუაკედლისების ტორსზე ბზარების გაჩენის მიზეზია მათი გამობერვა;

**პოსტულატი 3.** ქვის წყობაში კოჭების, საყრდენებისა და ფილების წიბოების ქვეშ ბზარების გაჩენის მიზეზია ქვის წყობაში გადაჭარბებული თელვა და კედლის გადაძაბვა;

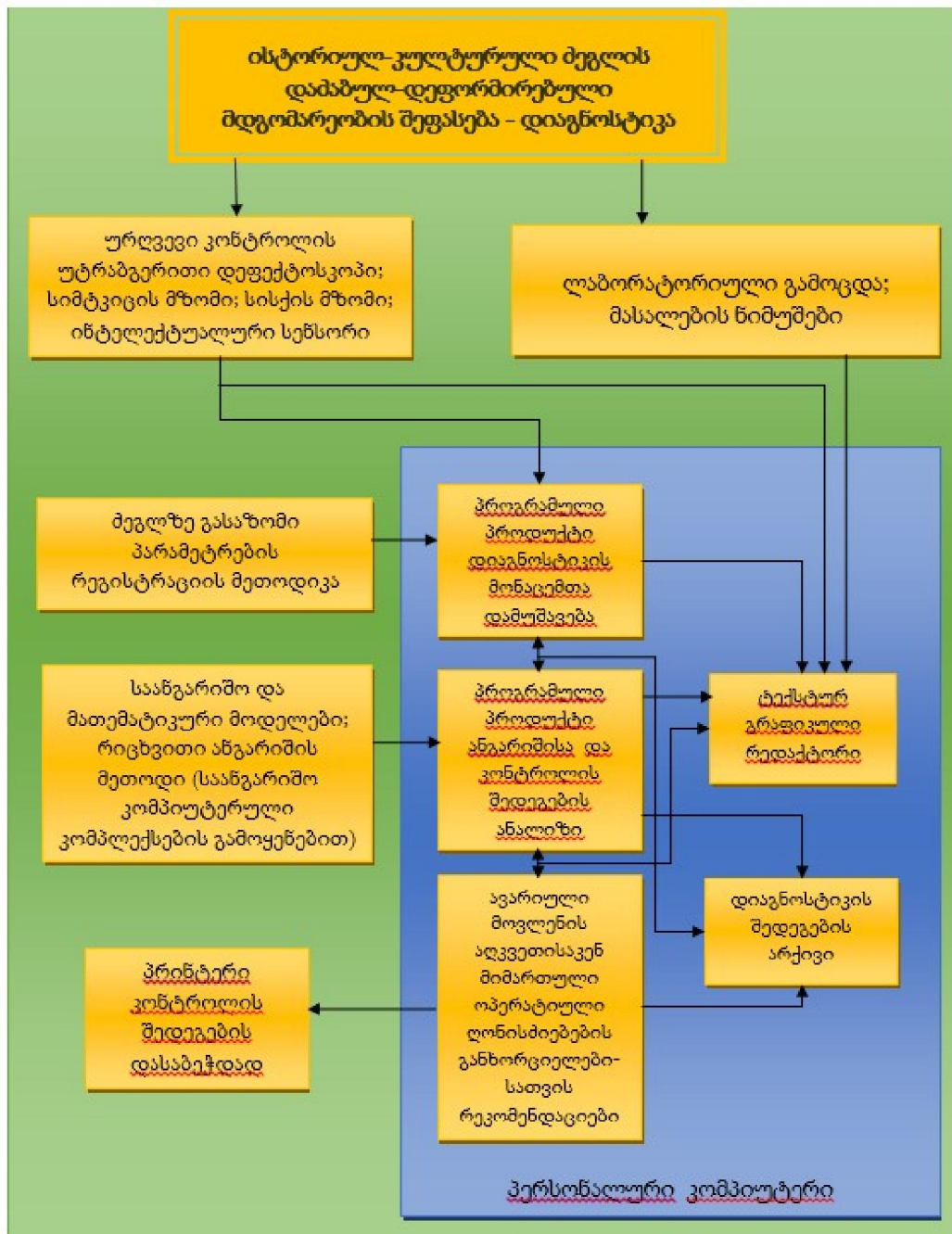
**პოსტულატი 4.** შუაკედლისა და გარე წყობის ფანჯრის ქვედა ნაწილებს შორის შეუღლების ადგილებში ბზარების წარმოქმნის მიზეზია ქვის კედლის წყობის გამრუდება და არათანაბარი დაძაბულობა;

**პოსტულატი 5.** განივი და გრძივი კედლების შეუღლების ადგილებში ბზარების წარმოქმნის მიზეზია ქვის წყობის ჰორიზონტალური გამრუდება ან მზიდი კედლის თვითმზიდ კედელზე ჩამოკიდება ანუ სამირკვლების არასწორად მოწყობა;

**პოსტულატი 6.** ქვის შენობებში, განივ და გრძივ კედლებში დიდი დეფორმაციების გაჩენის მიზეზია სივრცული სიხისტის დაკარგვა, რაც ნიშნავს, რომ პროექტირების ან სამუშაოების შესრულებისას არ იქნა უზრუნველყოფილი სივრცული სიხისტე;

**პოსტულატი 7.** ფანჯრისქვეშა წყობის შუაში ვერტიკალური ბზარების წარმოქმნის მიზეზია დასაშვებზე ფართო საფანჯრე ღიობების და დასაშვებზე ვიწრო მზიდი შუაკედლისების მოწყობა;

მეოთხე თავში დამუშავებულია ისტორიულ-კულტურული ძეგლების კონსტრუქციების დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის დიაგნოსტიკის ექსპერიმენტული და რიცხვითი მეთოდების ერთობლიობის სრულყოფა. წარმოდგენილია ისტორიულ-კულტურული ძეგლის დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის აპარატულ-კომპიუტერული დიაგნოსტიკის ბლოკ-სქემა (ნახ. 10).



ნახ. 10. ისტორიულ-კულტურული ძეგლის დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის აპარატულ-კომპიუტერული დიაგნოსტიკის ბლოკ-სქემა

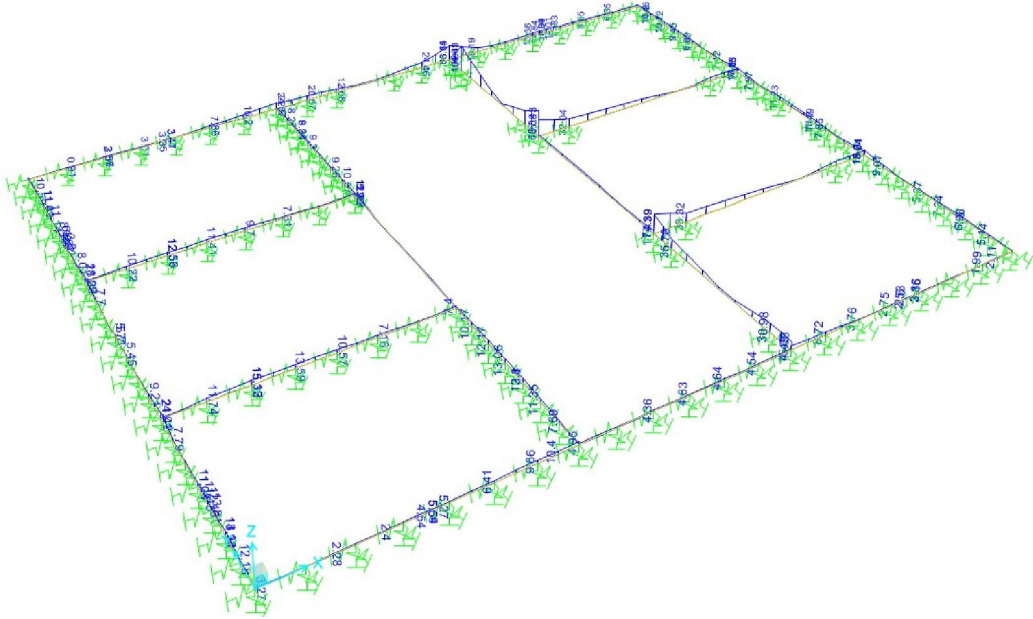


განხილულია ინტელექტუალური სენსორების გამოყენების პერსპექტივები დიაგნოსტიკის ჩატარების პროცესში და მიღებული შედეგების ავტომატურ-პროგრამული დამუშავების გზები.

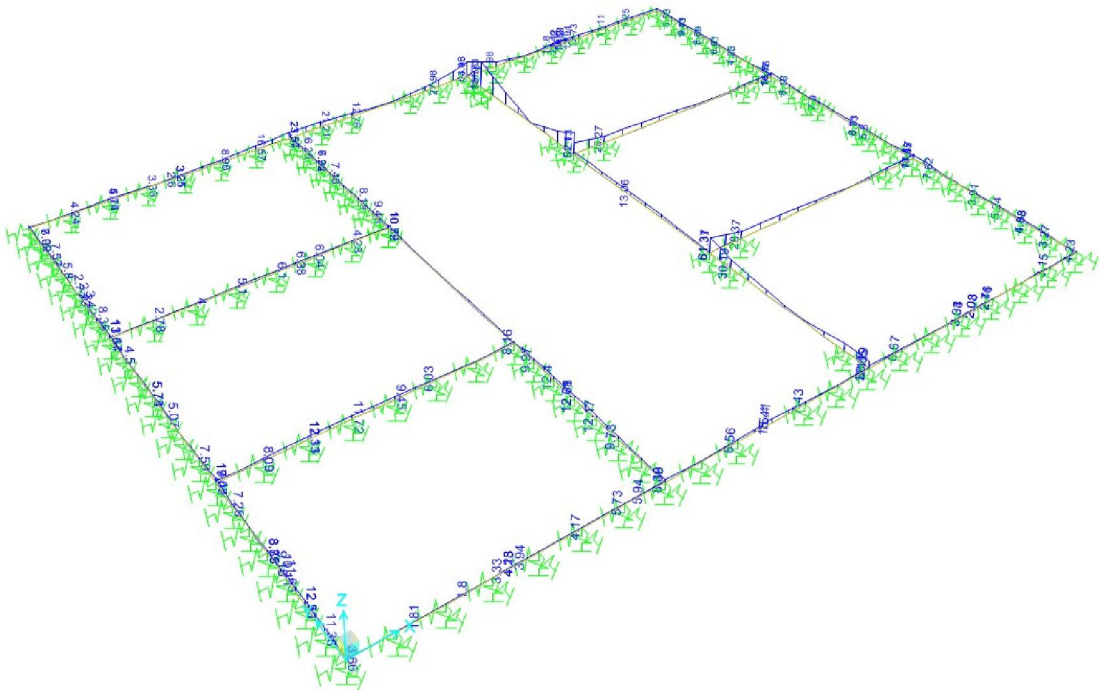
ისტორიულ-კულტურული ძეგლების კონსტრუქციების დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის დიაგნოსტიკა ექსპერიმენტული და რიცხვითი მეთოდების შერწყმით არის მეთოდოლოგია, რომელიც მოიცავს აპარატულ-კომპიუტერული დიაგნოსტიკის კომპლექსს და აერთიანებს კონტროლის ურღვევ, თანამედროვე მეთოდებს, გამოყენებული მასალის ლაბორატორიულ გამოცდას და მიღებული შედეგების რეალიზებას რიცხვითი მეთოდებით (მაგ. სასრულ ელემენტთა მეთოდი), საანგარიშო მოდელში რეალურად მიღებული მონაცემების შეტანის პრინციპით.

დამუშავებული მეთოდოლოგიით განხორციელდა შიხიანის "აღდგომის" ტაძრისა და ქ. თბილისში, რომის ქ. N4-ში მდებარე ისტორიულ-კულტურული შენობის შესწავლა. მოყვანილია მზიდი კონსტრუქციების ტექნიკური მდგომარეობის ვიზუალური და ინსტრუმენტალური გამოკვლევის მონაცემები. საკვლევი ობიექტების საანგარიშო მოდელების შედგენისა და გაანგარიშების შემდეგ ჩატარებულია ანგარიშის შედეგების ანალიზი, რის შემდეგაც მოხდა გაძლიერებული მოდელის გაანგარიშება და შედარებითი ანალიზის გაკეთება. ნაშრომში ილუსტრირებული სახით წარმოდგენილია, როგორც ანგარიშის შედეგები, ასევე დაზიანებული კონსტრუქციის გაძლიერების სქემები, რომლებიც მოყვანილია ქვემოთ.

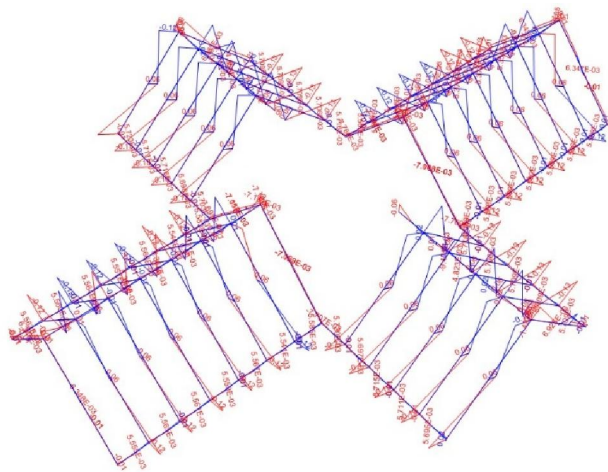
შიხიანის ტაძრის საანგარიშო მოდელი და მისი გაანგარიშება  
საანგარიშო პროგრამა SAP2000-სა და LIRA SAPR 2013-ში,  
შედარებითი ანალიზი



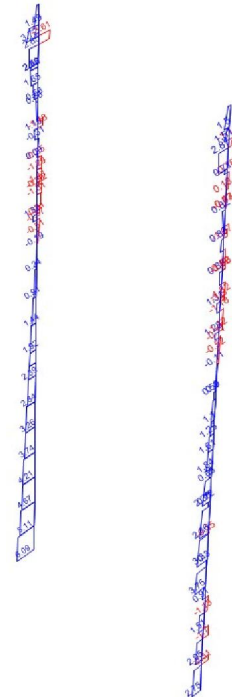
ნახ. 11 ა. ძაბვების განაწილების ეპიურა საძირკველზე  
თიხოვანი გრუნტის შემთხვევაში გასაძლიერებელ მოდელზე



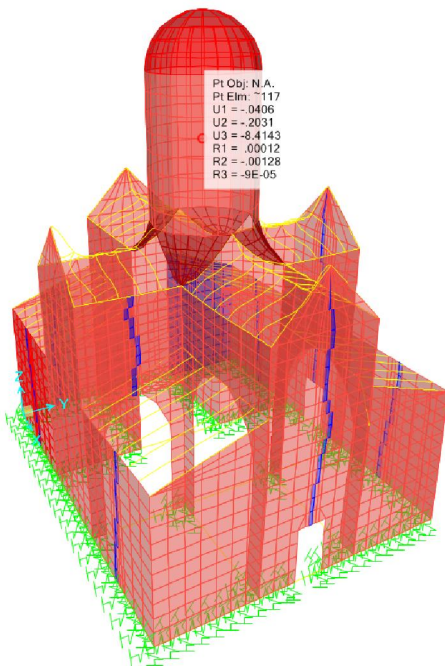
ნახ. 11 ბ. ძაბვების განაწილების ეპიურა საძირკველზე  
თიხოვანი გრუნტის შემთხვევაში გაძლიერებულ მოდელზე



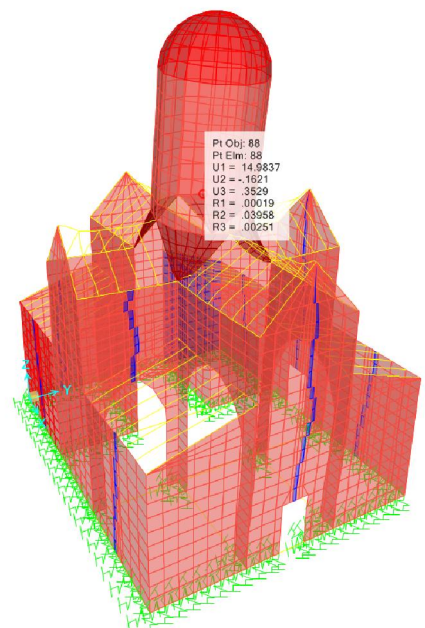
ნახ. 12. ძაბვების გადანაწილების ეპიურა ხის ნივნივებზე



ნახ. 13. ძაბვების გადანაწილება სვეტებში



ნახ. 14 ა. გადაადგილებები ქარის დატვირთვის დროს, SAP2000

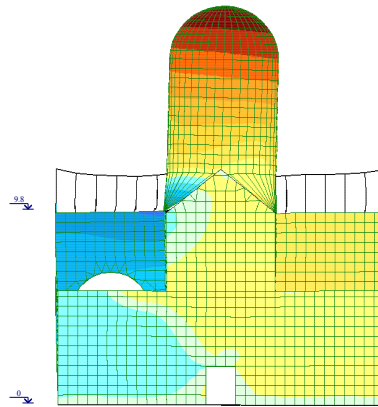


ნახ. 14 ბ. გადაადგილებები მიწისძვრის დროს, SAP2000

8  
Итого перемещений по X(G)  
Единица измерения - мм

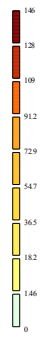


Z  
X

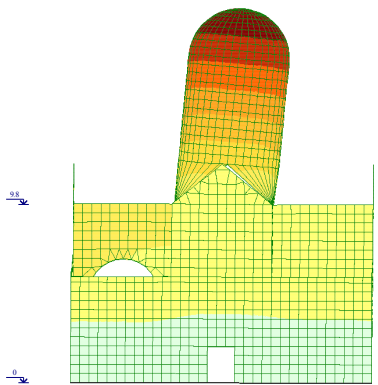


ნახ. 15 ა. გადაადგილებები ქარის დატვირთვის დროს, LIRA SAPR 2013

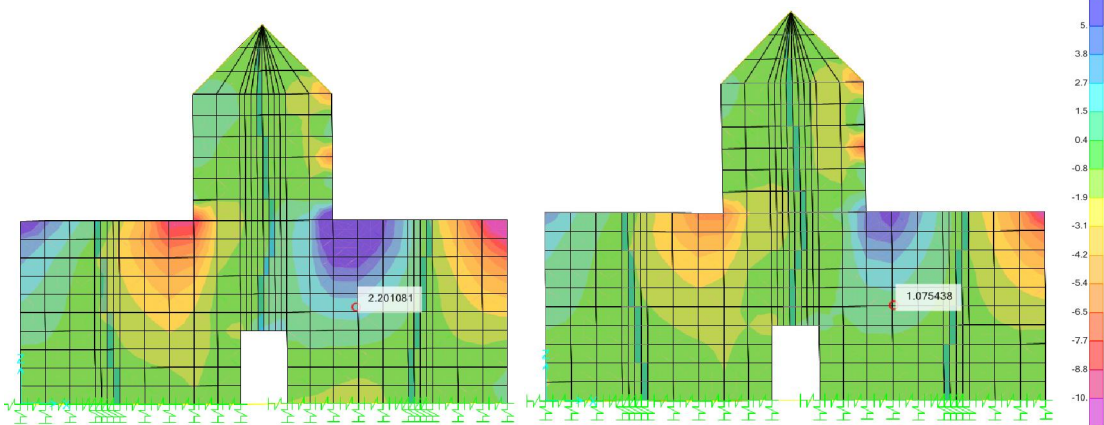
0x  
Системный 38  
Итого перемещений по X(G)  
Единица измерения - мм



Z  
X

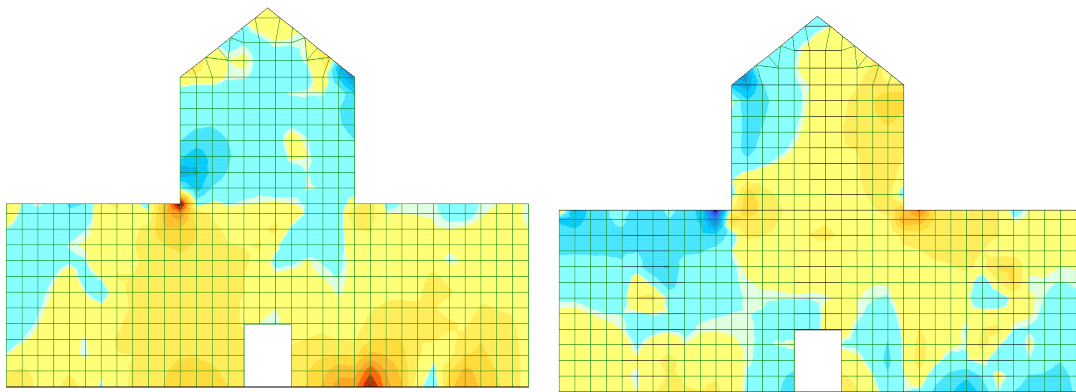
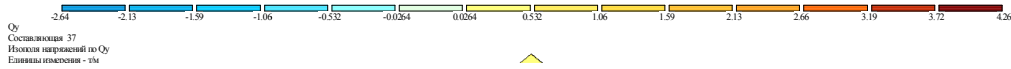


ნახ. 15 ბ. გადაადგილებები მიწისძვრის დროს, LIRA SAPR 2013



ნახ. 16 ა. ძაბვების განაწილება დასავლეთ ფასადზე მოდელის გაძლიერებამდე, SAP2000

ნახ. 16 ბ. ძაბვების განაწილება დასავლეთ ფასადზე გაძლიერებულ მოდელში, SAP2000

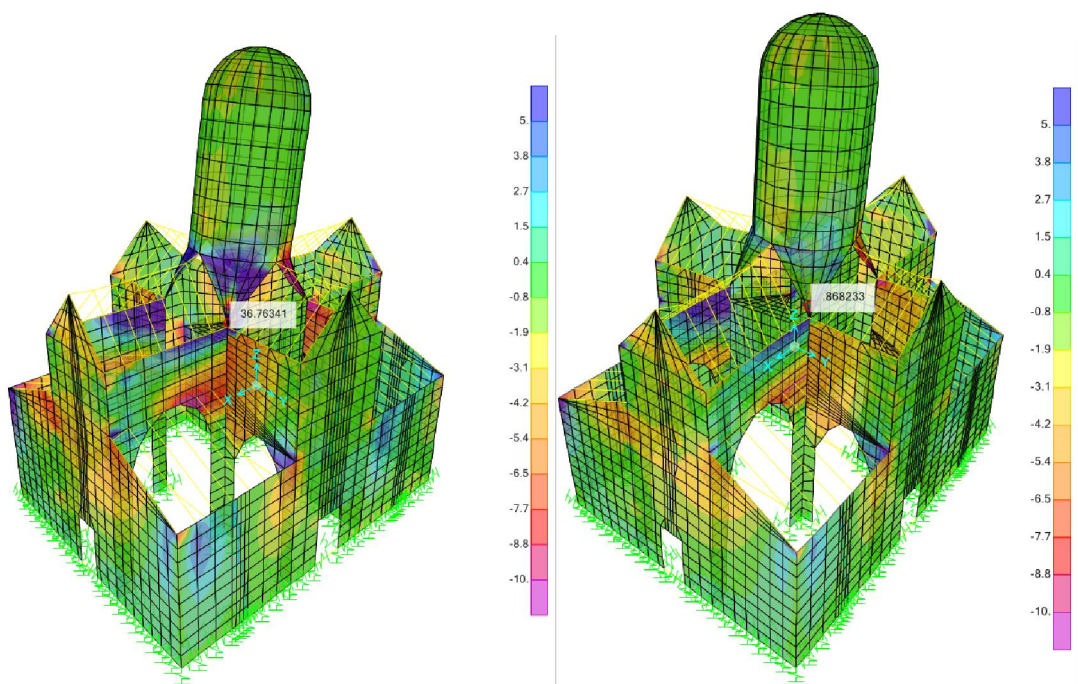


ნახ. 17 ა. ძაბვების განაწილება დასავლეთ ფასადზე მოდელის გაძლიერებამდე, LIRA SAPR 2013

ნახ. 17 ბ. ძაბვების განაწილება დასავლეთ ფასადზე გაძლიერებულ მოდელში, LIRA SAPR 2013

ძაბვების დასაშვები ზღვარი აღნიშნული ტიპის შენობებისათვის წარმოადგენს 1,1-ს, რაც აღებულია ქვისა და არმოქვის კონსტრუქციების ნორმებიდან (СНиП II-22-81).

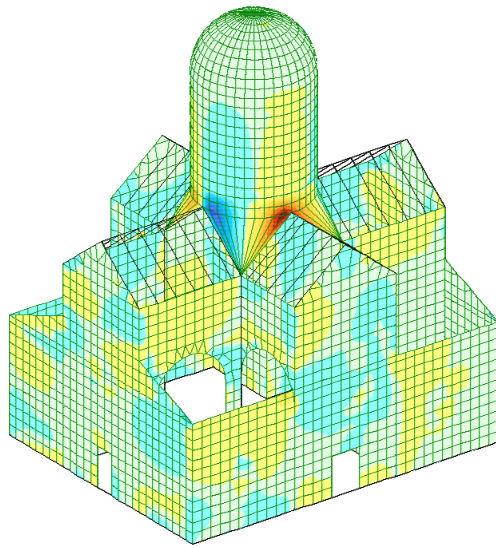
ანგარიშმა გვიჩვენა, რომ ძაბვები გაძლიერებულ მოდელში აკმაყოფილებს შესაბამის ნორმებს.



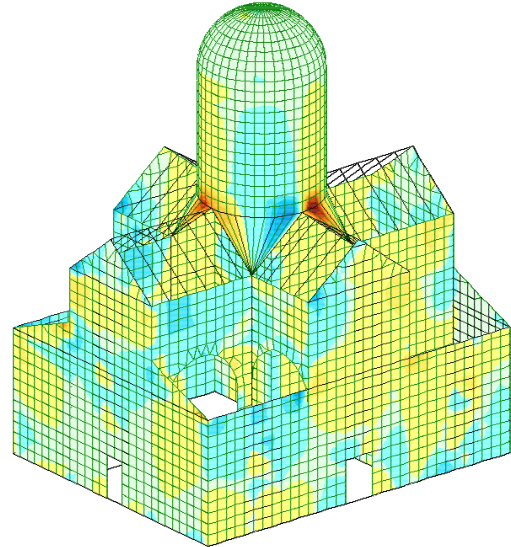
ნახ. 18 ა. ძაბვების განაწილება გასაძლიერებელი ტაძრის სრულ კონსტრუქციაზე (მუქი ფერით)

ნახ. 18 ბ. ძაბვების განაწილება გაძლიერებული ტაძრის სრულ კონსტრუქციაზე, SAP2000

ნაჩვენებია კრიტიკული ადგილები),  
SAP2000

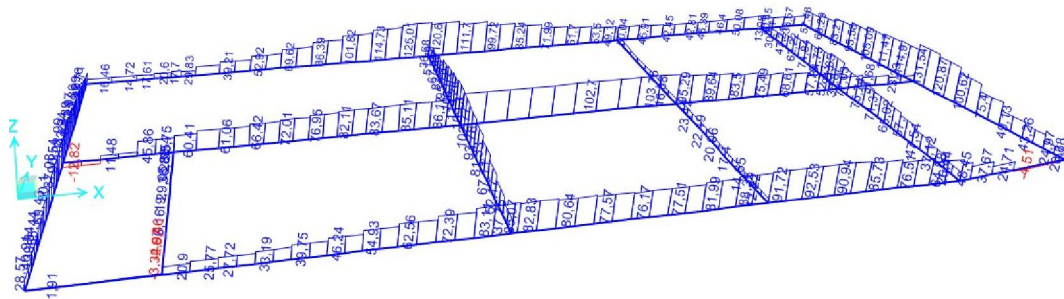


ნახ. 19 ა. ძაბვების განაწილება  
გასაძლიერებელი ტაძრის სრულ  
კონსტრუქციაზე (მუქი ფერით  
ნაჩვენებია კრიტიკული ადგილები),  
LIRA SAPR 2013

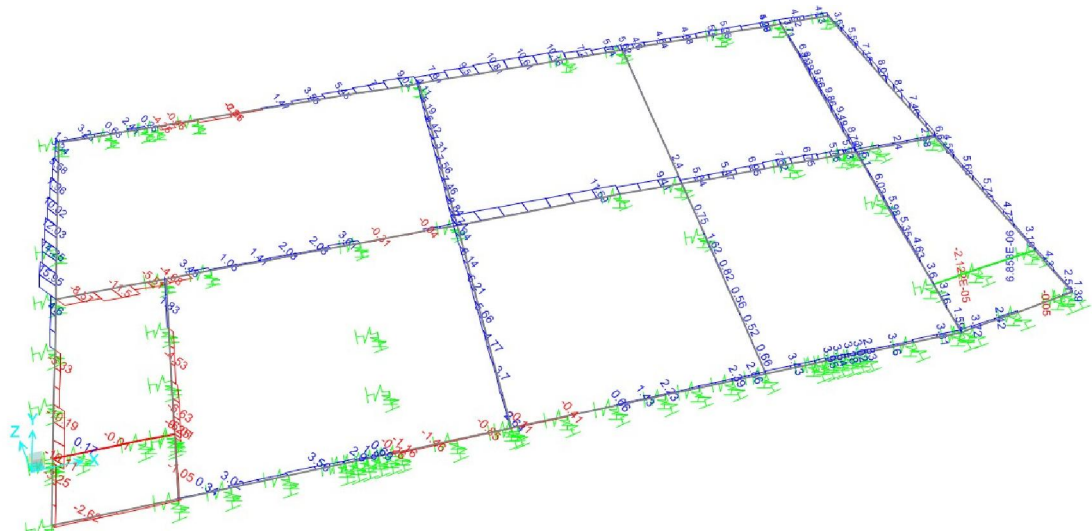


ნახ. 19 ბ. ძაბვების განაწილება  
გაძლიერებული ტაძრის სრულ  
კონსტრუქციაზე, LIRA SAPR 2013

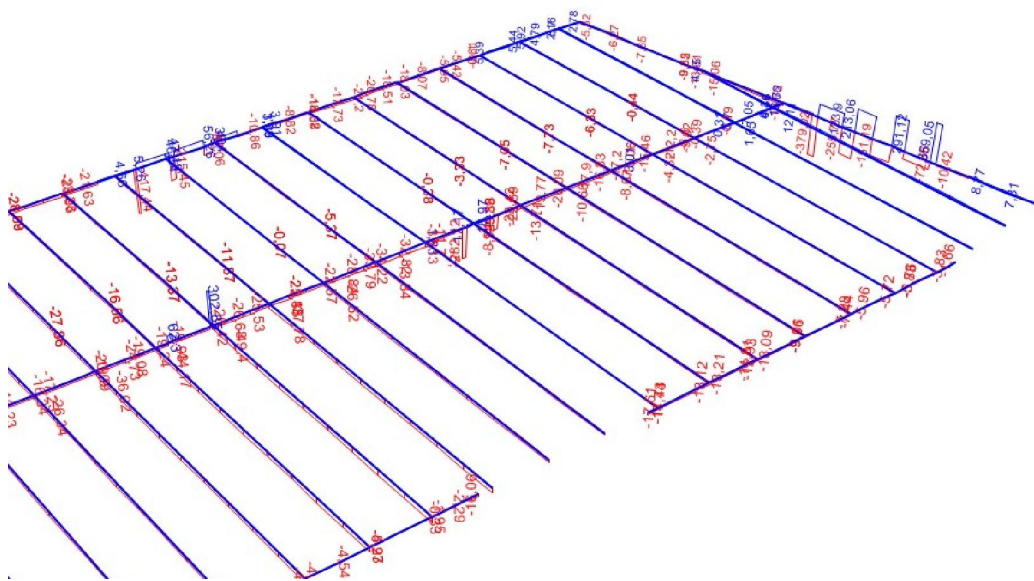
ქ. თბილისში, რომის ქუჩა N4-ში არსებული ისტორიული შენობის  
საანგარიშო მოდელი და გაანგარიშება SAP2000ში



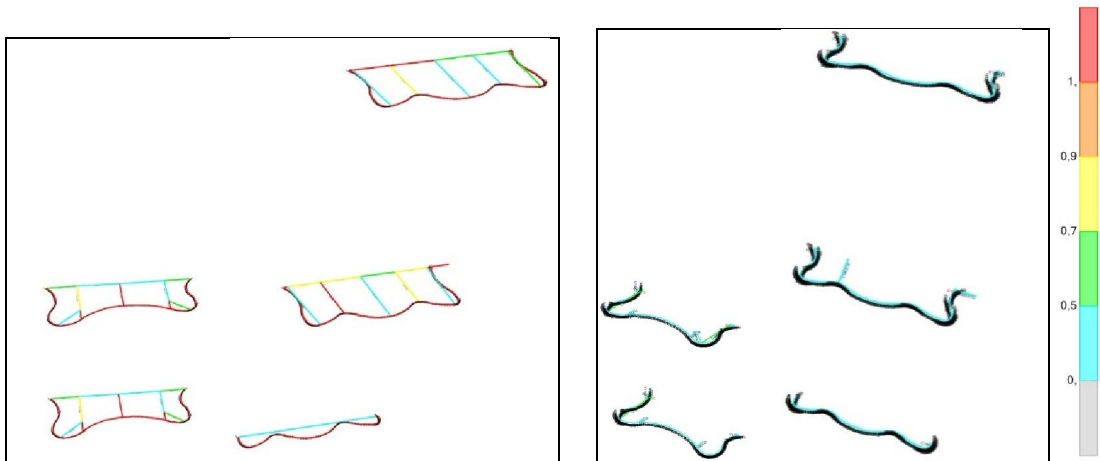
ნახ. 20 ა. ძაბვების განაწილების ეკიურა საძირკველზე, მოდელის გაძიერებამდე



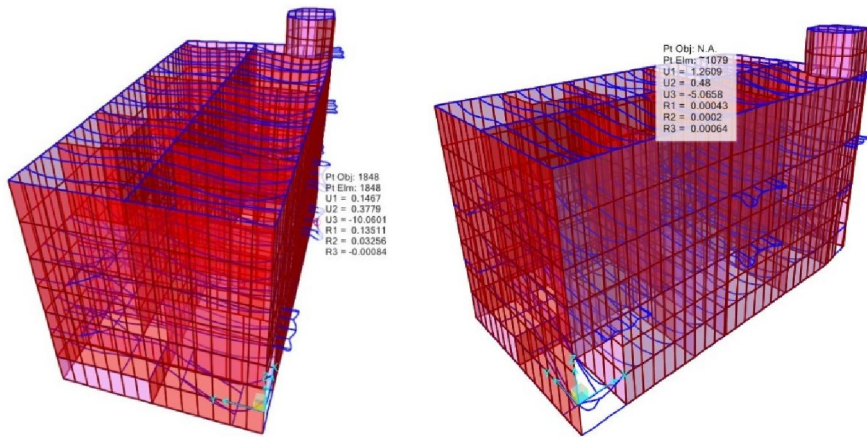
ნახ. 20 ბ. გადლიერებული მოდელის საძირკველზე ძაბვების განაწილების ეპიურა



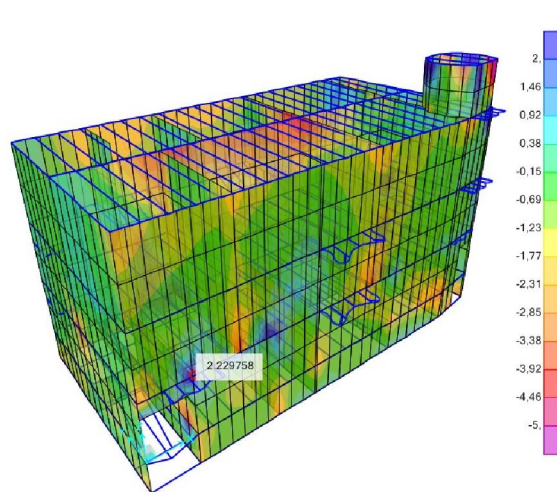
ნახ. 21. ძაბვების განაწილების ეპიურა კოჭებზე



ნახ. 22. აივნის დაზიანებული ლითონის კონსტრუქციების გაანგარიშების შედეგები გადლიერებამდე და გადლიერების შემდეგ



ნახ. 23. ელემენტების კვანძების გადაადგილებები



ნახ. 24. ძაბვების განაწილება გასაძლიერებელ მოდელში

ასევე მოყვანილია შენობების აზომვითი ნახაზები და დაზიანებული კონსტრუქციების გაძლიერების კვანძები, მიღებული ანგარიშის შედეგების გათვალისწინებით.

### ანგარიშის შედეგების

#### ანალიზი

მოდელები გაანგარიშებულია სასრულ ელემენტთა მეთოდით პროგრამა “SAP2000”-ში, საქართველოში მოქმედი ნორმების შესაბამისად. საანგარიშო სქემები აგებულია არქიტექტურული და კონსტრუქციული პროექტების შესაბამისად. შენობებზე მოდებულია მუდმივი, დროებითი და ქარის დატვირთვები და გაანგარიშებულია ქარის პულსაციური ზემოქმედების



მიხედვით. ასევე გათვალისწინებულია სეისმიკის გავლენა კონსტრუქციაზე შესაბამისი ნორმების გათვალისწინებით.

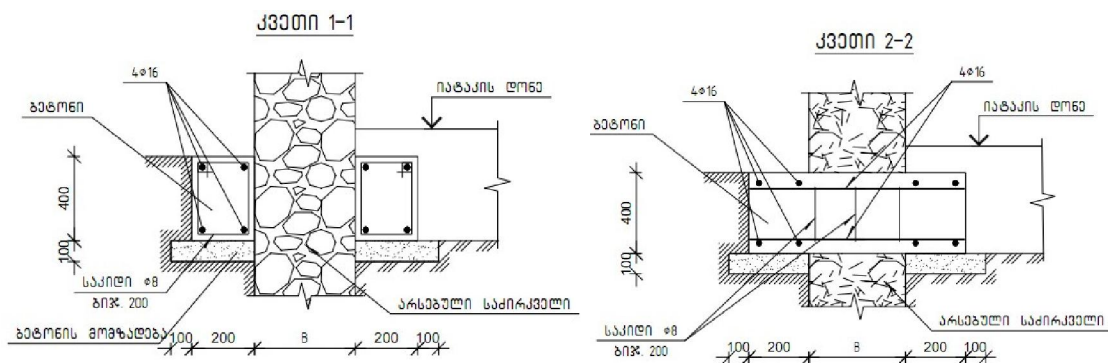
საქართველოს ტერიტორიის სეისმური დარაიონების და საინჟინრო-გეოლოგიური კვლევების შესაბამისი დასკვნებისა და რეკომენდაციების მიხედვით დადგენილია, რომ შიხიანის „აღდგომის“ ტაძრის სამშენებლო მოედანი განლაგებულია 9-ბალიან სეისმური საშიშროების ზონაში MSK 64 სკალის მიხედვით (აჩქარება გრუნტის ზედაპირზე  $A = 0.17$ ), ხოლო რომის ქუჩა N4-ში მდებარე შენობა კი მდებარეობს 8-ბალიან ზონაში;

შენობების გაანგარიშება მოხდა დატვირთვებისა და ძალების შეხამებით.

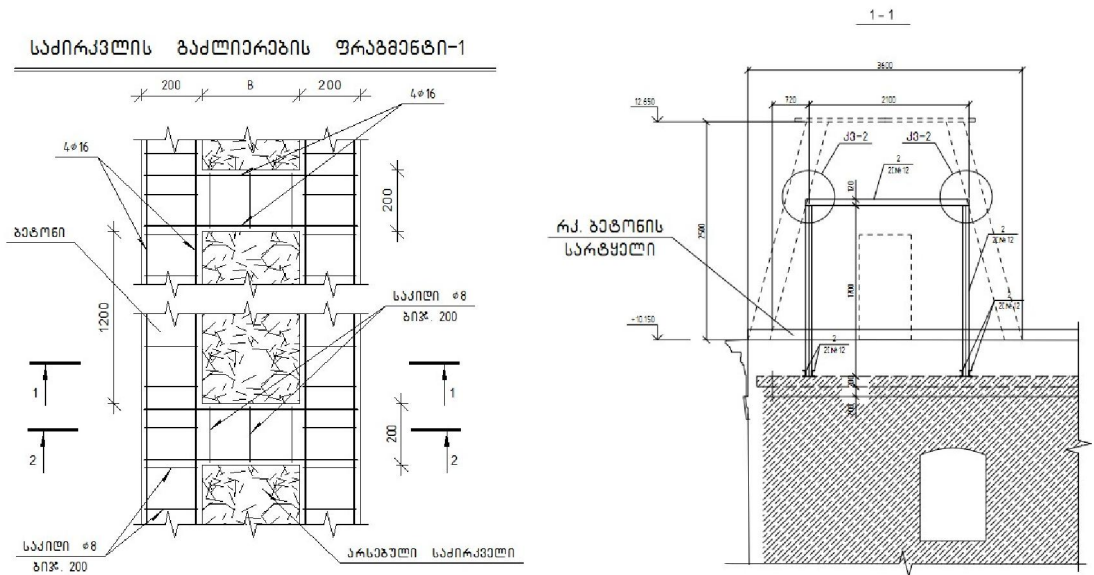
ქარის დატვირთვით მიღებული მაქსიმალური გადაადგილება შიხიანის „აღდგომის“ ტაძრისათვის არის 20 მმ, რაც დასაშვებია, შესაბამისი ნორმების გათვალისწინებით ხოლო სეისმიკის ზემოქმედების შედეგად ვიღებთ მაქსიმალურ გადაადგილებას, მნიშვნელობით – 146 მმ, რაც საკმაოდ დიდ გადაადგილებას გვაძლევს. რომის ქუჩა N4-ში მდებარე შენობაზე ქარის დატვირთვით მიღებული მაქსიმალური გადაადგილებაა 7 მმ, რაც დასაშვებია, ხოლო სეისმიკის ზემოქმედების შედეგად ვიღებთ მაქსიმალურ გადაადგილებას, მნიშვნელობით – 10 მმ, რაც ასევე დასაშვებია.

ანგარიშის შედეგების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ სტატიკურ დატვირთვაზე ჰორიზონტალური დეფორმაციები შენობის ზოგიერთ ელემენტებში არ არის დასაშვები.

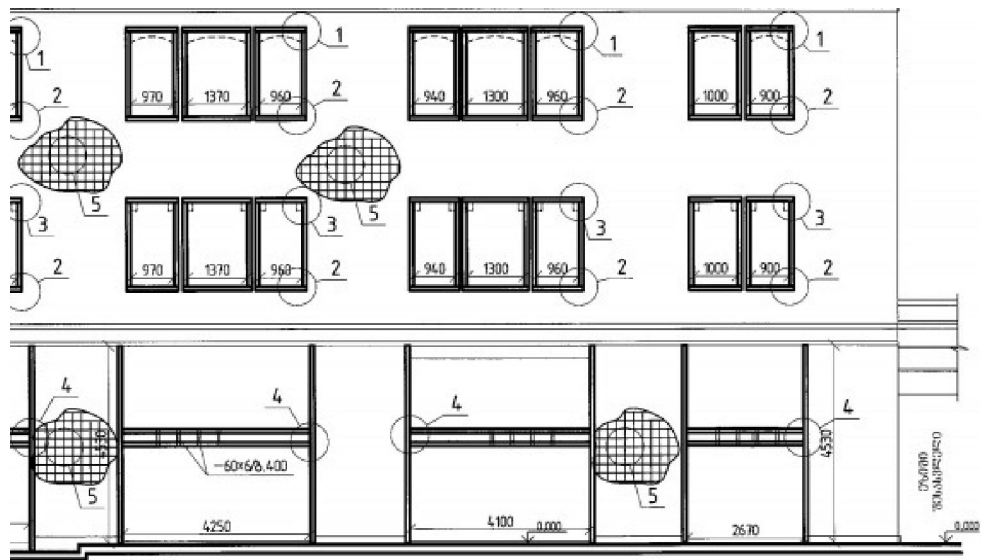
ანგარიშის შედეგებით მიღებული ანალიზი მოითხოვს შენობის კონსტრუქციულ გაძლიერებას.



ნახ. 25. ფრაგმენტი-1-ის კვეთი 1-1; კვეთი 2-2

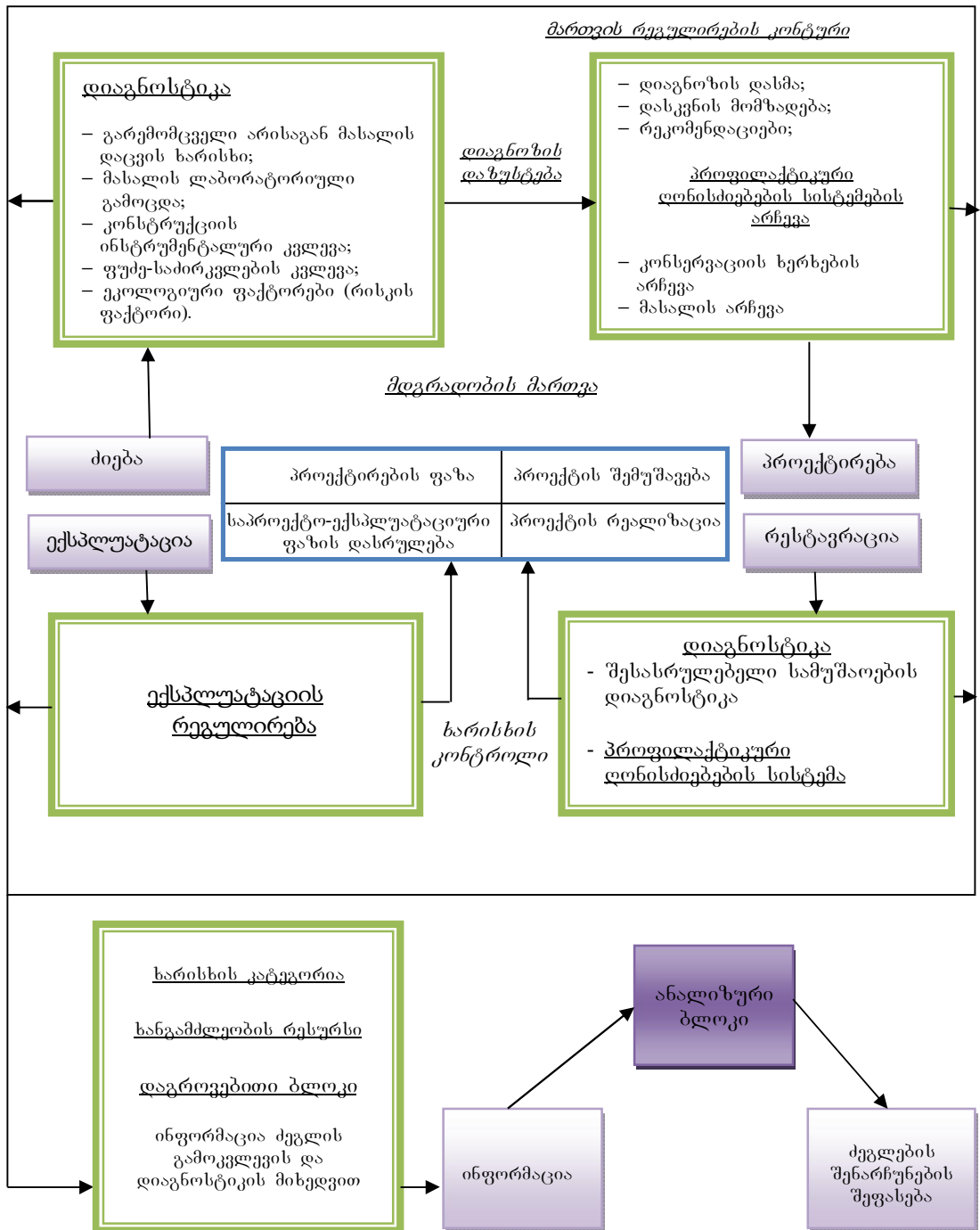


ნახ. 26. სამირკვის გაძლიერების ფრაგმენტი-1 ნახ. 27. კომპის გაძლიერების სქემა



ნახ. 28. ფასადის კედლების გაძლიერების სქემა

დამუშავებულია საპროექტო ანალიზის სქემა ძეგლის სიცოცხლის ციკლის მიხედვით და ამ ანალიზში განსაზღვრულია სისტემური დიაგნოსტიკის ადგილი.



ნახ. 4.62. ისტორიულ-კულტურული ძეგლის მდგომარეობის მართვის ბლოკ-სქემა

## ძირითადი დასკვნები

1. გაანალიზებულია არსებული ისტორიულ-კულტურული ძეგლების კონსტრუქციების გადაწყვეტები, გაკეთებულია მათი კლასიფიკაცია (ცილინდრული კამარის, ჯვარედინი კამარის, დახურული კამარის და დახურული თაღების მაგალითზე), არქიტექტურული ძეგლი წარმოდგენილია, როგორც ელემენტი რთული ბუნებრივ-ტექნიკური სისტემისა „ძეგლი-გარემო“, რომელიც შეიცავს ურთიერთ-დამაკავშირებელ კონსტრუქციულ და არქიტექტურულ ელემენტებს;
2. ლიტერატურის მიმოხილვის საფუძველზე დადგინდა, რომ ძეგლის მოდელზე ექსპერიმენტის ჩატარება საჭიროებს ხანგრძლივ დროსა და დიდ მატერიალურ ხარჯებს, ხოლო მხოლოდ რიცხვითი მეთოდებით საანგარიშო მოდელის აგება და ანგარიში არ იძლევა სასურველ შედეგს. არსებული მეთოდიკა საჭიროებს სრულყოფას ექსპერიმენტული და რიცხვითი მეთოდების შერწყმით;
3. ისტორიულ-კულტურული ძეგლების კონსტრუქციების დეფორმაციების მიზეზების კვლევით დამუშავებულია სწორი დიაგნოზის დასმის პოსტულატები;
4. დამუშავებულია ისტორიულ-კულტურული ძეგლის დამახულ-დეფორმირებული მდგომარეობის აპარატულ-კომპიუტერული დიაგნოსტიკის ბლოკ-სქემა, რომელშიც გათვალისწინებულია ძეგლის მდგომარეობის კვლევის მეთოდოლოგია, ექსპერიმენტული და რიცხვითი მეთოდების შერწყმით;
5. წარმოდგენილი მეთოდოლოგია ექსპერიმენტული და რიცხვითი მეთოდებით მოიცავს რიცხვითი საანგარიშო მოდელის აგებას, გამოყენებული ძველი მასალების ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების ლაბორატორიულ შედეგებს და კონსტრუქციის ურღვევი მეთოდით ჩატარებული დიაგნოსტიკის შედეგების გათვალისწინებას საანგარიშო მოდელში;

6. დამუშავებული მეთოდოლოგიით შესწავლილ იქნა ორი ისტორიულ-კულტურული ძეგლის - შიხიანის „აღდგომის“ ტაძრისა და რომის ქუჩა N4-ში მდებარე შენობის ტექნიკური მდგომარეობა და ძეგლების მდგომარეობის მართვისათვის შექმნილია გაძლიერების სქემები;
7. წარმოდგენილი კვლევა და მასში განხილული მეთოდოლოგიის ჩამოყალიბება წინ გადადგმული ნაბიჯი იქნება სამშენებლო საქმეში და დიდ პრაქტიკულ დახმარებას გაუწევს ინჟინრებს, ექსპერტებს და პრაქტიკოსებს დასმული პრობლემის გადაწყვეტაში.

**დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია შემდეგ შრომებში:**

1. M. Tsikarishvili, N. Tabatadze, M. Vardiashvili, A. Katamidze - Ecological and technical monitoring of Georgian historical-cultural monuments, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი "მშენებლობა" N3(34), 2014, გვ. 18-24;
2. მ. წიქარიშვილი, ნ. ტაბატაძე, მ. ვარდიაშვილი, ი. ღარიბაშვილი - საქართველოს ტერიტორიაზე არსებული ისტორიულ-კულტურული ძეგლების კონსტრუქციული გადაწყვეტების ანალიზი, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი "მშენებლობა" N3(38), 2015, გვ. 44-53;
3. მ. წიქარიშვილი, უ. ძოდუაშვილი, ნ. ტაბატაძე, მ. ვარდიაშვილი - შენობა-ნაგებობების მონიტორინგის სისტემების ანალიზი, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი "მშენებლობა" N3(38), 2015, გვ. 117-128;
4. ნ. ტაბატაძე - ისტორიულ-კულტურული ძეგლების კონსტრუქციების დეფორმაციულობის კვლევა, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი "მშენებლობა" N4(43), 2016, გვ. 81-84;
5. მ. წიქარიშვილი, ნ. ტაბატაძე - ისტორიულ-კულტურული ძეგლების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის მართვა და დიაგნოსტიკის ორგანიზებული სტრუქტურის შექმნა, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი "მშენებლობა" N1(44), 2017;
6. ნ. ტაბატაძე - ისტორიულ-კულტურული ძეგლების კონსტრუქციების ტექნიკური მდგომარეობის დიაგნოსტიკის ექსპერიმენტული და რიცხვითი მეთოდების ერთობლიობის სრულყოფა, სტუ-ის სამეცნიერო შრომების კრებული, N3(505)-2017.
7. ნ. ტაბატაძე. ისტორიულ-კულტურული ძეგლების კონსტრუქციული გადაწყვეტების ანალიზი, სტუ-ის სტუდენტთა 83-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის თეზისების კრებული, გვ.7.
8. ისტორიულ-კულტურული ძეგლების კონსტრუქციული თავისებურებების და კონსტრუქციების ელემენტების მუშაობის პრინციპების კვლევა, სტუ-ის სტუდენტთა 84-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის თეზისების კრებული, გვ. 17.

## Abstract

The paper conveys the concept of diagnostics of constructions – historical-cultural monuments with the method of integration of the experimental and numerical method of technical condition of constructions, which is carried out on the basis of laboratory, indefinite control methods and creation of calculations (functional or imitational), by implementing full-scale or model experiments.

The structural system of a monument is sure to preserve its rigidity and integrity when the conditions of its habitual environment are to be assessed as steady or exhibiting static fluctuations.

In-situ observations upon the engineering state of historical and cultural monuments will be backed up with careful consideration for the time and spatial parameters of the random changes and the entire evolution that have taken place in their ecosystems;

There is also given a methodology of complex approach for solving problems related to the maintenance of buildings, structures, durability and sustainability. We established a complex approach for investigation of monument foundation and deformed superstructure construction. It combines traditional and intellectual diagnostic systems, which provide the basis for the development of the scientific research experience of the Department of “Engineering Mechanics and Technical Expertise” of the Georgian Technical University, where the work was processed. The diagnostics of the historical -cultural monuments has been carried out with invading control methods and laboratory examination of the used materials.

Several different types of historic-cultural monuments on the territory of Georgia were selected for the survey, and the calculation model was created and the calculation was followed by two very interesting examples: historic-cultural monuments –Church of Resurrection - Shikhiani and Tbilisi building, situated on Rome Street N4. As creation of dimension model, which will be tested on the testing table and is connected with financial problems, it requires long-term period and presents the method tested many times, we have created calculating models of monuments in relevant calculation programs: SAP2000 and LIRA SAPR 2013. Survey on the condition of monuments was observed on the territory of their settlement. After the planned fieldwork, the construction of the church was visual-technically inspected, defects, sizes and geometry, engineering-geological survey was carried out, foundations size and types of foundations, samples of materials used in the constructions were taken and was tested at the laboratory. Laboratory analysis has been carried out to determine physical characteristics of the material (volume weight of the material, elasticity module (E), Poisson's ratio (U) and thermal expansion (A)), after that in the relevant column of calculation program there will be the data of old construction material types based on the data of laboratory analysis, and considering existing cracks in calculation model become possible with use of modification, according to crack type.

Based on the received results and on the damages of the monument was implemented formation of calculation models schemes. The structural design systems of the monuments will be drawn and computed/simulated; that will help us to select the optimal techniques of controlling the stability and structural steadiness of the monuments under survey.

This doctoral thesis discusses elaboration of a method for diagnostics-prediction of the stress-strain condition of architectural and cultural items, to serve as a basis for development of a method of control upon structural stability and reliability of the above monuments.

Such an integrated approach will allow to reveal any destructive processes taking place in the stuff of these structures and buildings and thus to predict their stress-and-strain condition. The integral approach presented herein is offering an opportunity of building up a perfect method of management of architectural and historical monuments, yielding a good return and promising amazing engineering results.