

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ირაკლი ჭანტურია

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

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
სადოქტორო პროგრამა - „მშენებლობა“
0406 შიფრი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო

ივლისი 2018 წ.

საავტორო უფლება © 2018 წელი, ირაკლი ჭანტურია

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
სამშენებლო ფაკულტეტი

ჩვენ ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ირაკლი ჭანტურიას მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „საკულტო ნაგებობის შიდა ელემენტებში გამოყენებული მასალის მექანიკური მახასიათებლების ექსპერიმენტალური კვლევა თანამედროვე მეთოდებით და მათი საიმედოობის უზრუნველყოფა“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი: 21 ივლისი 2018 წ.

ხელმძღვანელი: პროფესორი ლია ბალანჩივაძე

რეცენზენტი: პროფესორი ბექა სურგულაძე

რეცენზენტი: ტ.მ.კ., პროფესორი დავით რამიშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2018 წელი

ავტორი: ირაკლი ჭანტურია

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

სადოქტორო პროგრამა: „მშენებლობა“

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: **2018 წელი**

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა ის მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

საქართველო მდიდარია თავისი კულტურული მემკვიდრეობით. საკმარისია მის რომელიმე კუთხეს გადავავლოთ თვალი და ჩვენს წინაშე აღიმართება გარდასულ საუკუნეთა მხატვრული შედეგები, რომლებიც თავისი გრანდიოზულობით დღესაც ანცვიფრებენ მნახველთ. სავალალოა ზოგიერთი მათგანის მდგომარეობა: მოუვლელობისგან საკმაოდ არის დაზიანებული ან მათი დიდი ნაწილი ნანგრევებადაა ქცეული.

გაერთიანებული საქართველოს სიმბოლო X საუკუნის უნიკალური ხუროთმოძღვრული ძეგლი – ბაგრატის ტაძარი ნანგრევებად იყო ქცეული, რაზეც სწორი აქცენტები გააკეთეს სახელმწიფომ და ეკლესიამ, როცა განიზრახეს მისი თავდაპირველი იერსახის დაბრუნება. ტაძარი XXI საუკუნეშიც იგივე ფუნქციის მატარებელი უნდა გამხდარიყო, როგორც თავდაპირველად მისი აგებისას „გაერთიანებული საქართველოს“ სიმბოლო და არა გარდასულ ცივილიზაციათა ნაშთი [1].

პირველ თავში განხილულია მეათე-მეთერთმეტე საუკუნის საქართველოს განვითარების ოქროს ხანის ზოგიერთი ქართული ხუროთმოძღვრული ძეგლების კონსტრუქციული გადაწყვეტისა და დაპროექტების თავისებურებების შესახებ [3].

შუა საუკუნეების არქიტექტურა ქართული ხუროთმოძღვრების მეორე აყვავების ხანაა. 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 გავლენებს. ამ პერიოდის ტაძრების შედარებით ანალიზს მივყავართ 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, ბაგრატი, გელათი, ალავერდი, სვეტიცხოველი, სამთავრო, სამთავისი და სხვა ტაძრები.**

X საუკუნის პირველი ნიმუშია **კუმურდოს** ტაძარი ჯავახეთში, ახალქალაქის მახლობლად, შემდეგ **ო შ კ ი** სამხრეთ საქართველოში- ტაო (დღეს თურქეთის ტერიტორიაა), **ა ლ ა ვ ე რ დ ი** კახეთში, **სვეტიცხოვლის, სამთავისისა და სამთავროს ტაძრები ქართლში, ბაგრატი, გელათი** და სხვა მრავალი იმერეთში [5].

ზოგიერთ მათგანს გეგმაში წაგრძელებული სწორკუთხა ფორმა აქვთ, დანარჩენი კი გეგმაში ჯვარისებრი მოხაზულობისაა. მთლიანობაში ყველა მათგანი ჯვარგუმბათოვანია.

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 [5,6,7,12].

მეორე თავში განხილულია ბაგრატის ტაძარზე გამოყენებული სამშენებლო ქვების ქიმიური და მინერალოგიური შემადგენლობის შესწავლის მეთოდების შესახებ. ტაძრის არსებული საშენი ქვების გამოკვლევისათვის სინჯების შერჩევა მოხდა ფერის და დაზიანების ხარისხის მიხედვით. სინჯების ქიმიური შემადგენლობა შევისწავლეთ რაოდენობრივი ქიმიური ანალიზის მეთოდით. ცდებით გამოვლინდა რომ ქვის სინჯების ქიმიური შემადგენლობა განსხვავებულია.

დაწვრილებითაა შესწავლილი ქანის პეტროგრაფია, რომელიც მას განიხილავს მიკროსკოპიული და მაკროსკოპიული აღწერით. მაკროსკოპიული შესწავლის შედეგად გამოვლინდება ქანის ძირითადი თავისებურებანი, რომელთაგან უმთავრესია მასალის ფერი და მასალის ბზინვარება.

შესწავლილია არსებული ქვების ქანის მინერალოგიური შემადგენლობა, სტრუქტურა (აღნაგობა), ტექსტურა (წყობა), რომელიც განისაზღვრა მიკროსკოპიული აღწერით.

მაკროსკოპიული აღწერით მოყვითალო-მოვარდისფრო ნიმუშები ხორკლიანი ზედაპირის მქონე წვრილმარცვლოვანი ქანია- კარბონატული. მარილმჟავას დაწვეთებით სინჯების ზედაპირიდან გამოიყო გაზი, რაც ადასტურებს მის კარბონატულ წარმომავლობას.

მაკროსკოპული გამოკვლევით, ეს არის წვრილკრისტალური, მიკრომარცვლოვანი (0.01 მმ ზომის მარცვლებით) კარბონატი, რომელიც ზოგან გადაკრისტალებულია გამჭვირვალე კალციტის მარცვლების სახით.

კვლევის შედეგად გაირკვა, რომ კირქვის ძირითად მასაში შეიმჩნევა კრიპტოკრისტალური კირქვის ცალკეული მუქი ფერის უბნები.

სვეტიდან და სვეტის ბურჯიდან აღებული ნაცრისფერი ქვის სინჯები, კედლის წყობიდან აღებული ნაცრისფერი ქვის სინჯებისაგან განსხვავდება. მაკროსკოპული აღწერით თხელშრეებრივი მკვრივი ქანია.

მიკროსკოპული გამოკვლევებით დადგინდა, რომ სვეტის შესამოსი პერლიტომორფული ორგანოგენული კირქვაა, წვრილკრისტალური კალციტით. ქანის ძირითად მასაში შეიმჩნევა სახეშეცვლილი ფაუნის ნარჩენები და კრიპტოკრისტალური კირქვის ცალკეული მუქი ფერის უბნები.

სადისერტაციო ნაშრომში შესწავლილია დულაბის სინჯები. სხვადასხვა ადგილიდან აღებული დულაბის სინჯების კომპლექსურმა გამოკვლევამ საშუალება მოგვცა სწორად განვსაზღვროთ სამშენებლო ხსნარის მასალები და ტექნოლოგია.

ვიზუალურად, დულაბის ყველა სინჯი ერთგვაროვანია. სინჯებს აქვთ მოთეთრო-რუხი ფერი. დულაბში არის წვრილმარცვლოვანი შავი ფერის ქვიშა და კირქვის ნატეხები.

სამუშაოში შესწავლილია ასევე ბაგრატის ტაძრის კედლებში გეო-რადარული კვლევებით, გამოვლენილი უბანები, რომლებიც გაძლიერდა, გაიბურღა და ხვრელები დაცემენტდა.

მესამე თავში განხილულია საძირკვლისა და გრუნტის გამაგრების სხვადასხვა მეთოდები და მათი განხორციელება თანამედროვე მანქანა –

დანადგარებით. აღნიშნულია, რომ ტექნოლოგიური პროცესის სწორად და ხარისხიანად წარმართვისათვის აუცილებელია გრუნტისა და საძირკვლის გამაგრების ოპტიმალური მეთოდის შერჩევა.

მსოფლიო ცივილიზაციის ისტორიული ძეგლების დაცვის სიმპოზიუმის მასალები (ნეაპოლი 1996) ადასტურებს საინჟინერო ტექნოლოგიის გამოყენების ეფექტურობას, მათ შორის სუსტი გრუნტის პირობებშიც, რომ საბურღ-საინჟინერო ხიმინჯების გამოყენება ერთ-ერთი ეფექტური და ნაგებობის სეისმომდეგობის ამაღლების საუკეთესო მეთოდია.

საძირკვლისა და გრუნტის გამაგრების მეთოდების შერჩევა დამოკიდებული იყო შენობის მდგომარეობის კატეგორიაზე, ასევე კონსერვაციის, რესტავრაციის და რეკონსტრუქციისთვის გათვალისწინებული რისკის კატეგორიებზე. გრუნტის და საძირკვლების გამაგრების საკითხები უნდა გადაწყდეს კომპლექსურად მიწისქვეშა კონსტრუქციების გამაგრების საკითხთან ერთად. სუსტი გრუნტების დიდი ფენების არსებობის გამო არსებული ტაძრის ქვეშ წარმოიქმნა მრავალი გეოტექნიკური პრობლემა. ამ პრობლემების გადასაწყვეტად და კედლების დაწვევის შესაძლო სხვაობის მინიმუმადე დასაყვანად შესრულებულ იქნა მთელი რიგი სამუშაოები: არსებული გრუნტი არმირებული იქნა დასატენი ხიმინჯებით, რაც შეერთებული იქნა როსტვერკით. გამაგრების ამ მეთოდის შერჩევას მნიშვნელოვანია შენობის კონსტრუქციული თავისებურებები და გრუნტის მდგომარეობა, რაც ასევე იქნა გათვალისწინებული.

მეთოხე თავში განხილულია ბაგრატის ტაძრის მზიდი კონსტრუქციების: სხვადასხვა ტიპის საძირკვლების, მონოლითური სვეტებისა და მზიდი კედლების აღდგენა-რეკონსტრუქციის შედარებითი ანალიზი, კერძოდ, კონსტრუქციული გადაწყვეტების თანამედროვე მეთოდები და ხერხები.

ტაძრის მზიდი კონსტრუქციების დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა შეფასდა სამ ეტაპად:

I ეტაპი - ბაგრატის ტაძარი XI საუკუნეში (პირველადი სახით). მთავარი ამოცანა იყო ტაძრის სეისმომდეგობის შეფასება არსებული მდგომარეობით. მზიდ კონსტრუქციათა სიმტკიცე შემოწმდა სასრულ ელემენტებში უდიდესი ექვივალენტური გამჭიმავი (ქვის კონსტრუქციებისთვის მნიშვნელოვანი) ძაბვის სიდიდით: $\sigma_{\text{ამ. მძ.}} = \sigma_{\text{კუმ. მუდ.}} \cdot \sigma_{\text{გაფ. სეისმ.}}$. როგორც გაანგარიშების შედეგმა აჩვენეს, 7 ბალიან სეისმურ ზემოქმედებას ტაძარში სერიოზული ნგრევა არ უნდა გამოეწვია, ვინაიდან მაქსიმალური გამჭიმავი ძაბვა გუმბათის ძირის შემკრავ კონსტრუქციებში 1.5-:-2.0 კგმ/სმ²-ის ფარგლებშია.

II ეტაპი - ბაგრატის ტაძარი XX საუკუნის ბოლოს (არსებული მდგომარეობით).

კედლებში გაჩენილია მრავალი ხილული თუ უხილავი ბზარი. საანგარიშო მოდელში მიღებულია კედლის წყობის დრეკადობის მოდულის გასაშუალებული მნიშვნელობა - 3.5×10^5 ტ/მ²; გაანგარიშების შედეგების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ სეისმურმა ზემოქმედებამ შესაძლებელია სერიოზული დაზიანებები გამოიწვიოს კედლებში: მოსალოდნელია სამხრეთის მკლავის კონსოლური კედლის გადმოქცევა, დასავლეთის მკლავის ფრონტონის ჩამონგრევა, რადგან მაქსიმალური გამჭიმავი ძაბვა 6.0 კგმ/სმ²-ს აღწევს, რაც დასაშვებზე ბევრად მეტია.

III ეტაპი - ბაგრატის ტაძარი XXI საუკუნეში (აღდგენის შემოთავაზებული ვარიანტი). კედლის წყობის გაძლიერების ღონისძიებების გატარების შემდეგ, ტაძრის მზიდი კონსტრუქციების დინამიური მახასიათებლები (თავისუფალი რხევის პერიოდები, ფორმები, გადაადგილებები) ახლოსაა მაქსიმალური გამჭიმავი ძაბვების მნიშვნელობასთან, სეისმიური ზემოქმედებებისას 2.0 კგმ/სმ² - ის ფარგლებშია, რაც სამშენებლო ნორმების მიხედვით დასაშვებია.

A b s t r a c t

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 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).

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.

However, as mentioned above, the increased seismic level creates the basis for recalculation and estimation of all buildings' and structures' strength and bearing levels under new conditions.

All specialities of technological solutions and design of cathedral's bearing elements were taken into account.

შინაარსი

შესავალი.....	20
თავი I შუა საუკუნის ხუროთმოძღვრული ძეგლები და მათი კონსტრუქციული გადაწყვეტის თავისებურებები	23
თავი II 2.1. ბაგრატის ტაძარის კედლებზე გამოყენებული სამშენებლო ქვების ქიმიური და მინერალოგიური შემადგენლობის განსაზღვრა	31
2.2. ქვის სინჯების ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლების განსაზღვრა	38
2.3 დუღაბის გამოკვლევა	49
2.4 ტაძრის კედლების საინექციო სამუშაოების წარმოება	59
2.5. აღდგენილი კედლების საკონტროლო საინექციო სამუშაოების კვლავწარმოება	60
თავი III რკინაბეტონის ელემენტების აღდგენა-გაძლერების მეთოდები	71
3.1. საძირკვლისა და გრუნტის გამაგრების ტექნოლოგია	71
3.2. საძირკვლების გამაგრების ტრადიციული მეთოდები	73
3.3. საძირკვლის და გრუნტის გამაგრების თანამედროვე ტექნოლოგიები	82
3.4. გამაგრების საბურღ-საინექციო ხიმინჯები.....	94
თავი 4 4.1. ტაძრის საძირკვლისა და მზიდვი კონსტრუქციების თავდაპირველი მდგომარეობის მოკლე დახასიათება	101
4.2. თეორიული და კონსტრუქციული გადაწყვეტის შედეგების ანალიზი.....	117
ძირითადი დასკვნები	124
ლიტერატურა	125

ცხრილების ნუსხა

- ცხრილი 1.
- ცხრილი 2.
- ცხრილი 3.
- ცხრილი 4.
- ცხრილი 5.
- ცხრილი 6.
- ცხრილი 7.
- ცხრილი 8.
- ცხრილი 9.
- ცხრილი 10.
- ცხრილი 11.
- ცხრილი 12.
- ცხრილი 13.
- ცხრილი 14.
- ცხრილი 15.
- ცხრილი 16.
- ცხრილი 17.
- ცხრილი 18.

ნახაზების ნუსხა

ნახ.1.....	24
ნახ.2.....	25
ნახ. 3.....	26
ნახ.4	27
ნახ. 5.....	28
ნახ.6	29
ნახ. 7	29
ნახ. 8	30
ნახ. 9.....	52
ნახ. 10.....	55
ნახ. 11.....	65
ნახ. 12.....	68
ნახ. 13.....	70
ნახ. 14	74
ნახ. 15.....	76
ნახ. 16.....	76
ნახ. 17	77
ნახ. 18.....	81
ნახ. 19.....	84
ნახ. 20.....	85
ნახ. 21.....	86
ნახ. 22.....	87
ნახ. 23	91
ნახ. 24.....	92
ნახ. 25.....	94
ნახ. 26.....	96

ԵձԵ. 27	99
ԵձԵ. 28.....	100
ԵձԵ. 29.....	101
ԵձԵ. 30.....	102
ԵձԵ. 31.....	103
ԵձԵ. 32.....	104
ԵձԵ. 33.....	104
ԵձԵ. 34.....	105
ԵձԵ. 35	106
ԵձԵ. 36.....	107
ԵձԵ. 37.....	108
ԵձԵ. 38.....	117
ԵձԵ. 39.....	110
ԵձԵ. 40.....	111
ԵձԵ. 41.....	112
ԵձԵ. 42.....	113
ԵձԵ. 43.....	114
ԵձԵ. 44.....	114
ԵձԵ. 45.....	115
ԵձԵ. 46.....	116
ԵձԵ. 47.....	121

შესავალი

თემის აქტუალურობა: გაერთიანებული საქართველოს სიმბოლო X საუკუნის უნიკალური ხუროთმოძღვრული ძეგლი – ბაგრატის ტაძარი ნანგრევებად იყო ქცეული, რაზეც სახელმწიფომ და ეკლესიამ სწორი დასკვნები გააკეთა, როცა ეცადა დაბრუნებოდა მას პირველანდელი იერსახე. სპეციალისტებისა და საზოგადოების დიდი ნაწილის აზრით კარგი იქნებოდა თუ ბაგრატის ტაძარი დღესაც ქვეყნის იგივე გამაერთიანებელი იქნებოდა [1].

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

XXI საუკუნის დასაწყისში, კერძოდ, 2009 წელს, დაიწყო ბაგრატის ტაძრის აღდგენა-რესტავრაცია. პროექტი, რომელიც შეიმუშავა ივანე გრემელაშვილმა, ითვალისწინებდა ტაძრის სრულ რეაბილიტაციას. თუმცა, აღნიშნულმა პროექტმა გამოიწვია სპეციალისტებს შორის აზრთა სხვადასხვაობა. რესტავრაცია - აღდგენის პროცესს გამოეხმაურა იტალიელი ინჟინერი სილვიო კალვი, რომელმაც ტაძარზე მიმდინარე სამუშაოები დაგმო. აღნიშნა, რომ რესტავრაციის პროცესი დაჩქარებულია, არ არის ჩატარებული საფუძვლიანი კვლევები[19].

2008 წელს ტაძარზე ჩატარდა სარეაბილიტაციო კვლევითი სამუშაოები, რომლის მიხედვითაც უნდა მომხდარიყო ტაძრის რეკონსტრუქცია–გამლიერება. შეიქმნა პროექტი, რომლის მიხედვითაც გადაწყდა, რომ ტაძარი აღდგებოდა ძირითადად რკინაბეტონის მზიდი კონსტრუქციებით, რამაც გამოიწვია სწორედ, იტალიელი არქიტექტორის გულისწყრომა, თუმცა თავდაპირველად დასაბუთებული ანალიზი არ იყო გაკეთებული [9].

დისერტაციის მიზანს შეადგენს: საკულტო ნაგებობის, კერძოდ, ბაგრატის ტაძრის მზიდი კონსტრუქციების (კედლების, სვეტების, საძირკვლის) რეკონსტრუქცია -გამლიერება თანამედროვე ტექნოლოგიური

მეთოდებითა და კონსტრუქციული გადაწყვეტებით, მათი გადარჩენის, საიმედოობისა და ხანგამძლეობის ამაღლების უზრუნველყოფისათვის.

ექსპერიმენტული კვლევის ამოცანა:

- ტაძრის მზიდ კონსტრუქციებში (კედლებში, სვეტებში, საძირკველში) 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 გორადარული 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 სექტემბს ბათუმის რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტში გამართულ საერთაშორისო კონფერენციაზე.

სამუშაოს სტრუქტურა და მოცულობა: სადისერტაციო ნაშრომი შედგება, შესავლის, საერთო დახასიათების, ოთხი თავის, 28 დასახელების ლიტერატურული წყაროსა და დასკვნებისაგან. სამუშაოს ძირითადი ტექსტი 127 კომპიუტერული ნაბეჭდი გვერდია, მათ შორის 47 ნახაზი და 18 ცხრილია.

თავი I. შუა საუკუნის ხუროთმოძღვრული ძეგლები და მათი კონსტრუქციული გადაწყვეტის თავისებურებები

საქართველოს წარსულიდან მრავლად მოიძებნება სახვადასხვა დანიშნულების შენობა-ნაგებობები ზოგიერთი მათგანი გადაურჩა ჟამთა სიავსს, ხოლო უმეტესობას აღდგენა-გადლიერება ესაჭიროება.

შუა საუკუნეების ქართული არქიტექტურა გამოირჩევა თავისი სიდიადით, ფერთა სიმრავლითა და მრავალფეროვანი კონსტრუქციული გადაწყვეტებით. X-XIV საუკუნე ქართული ხუროთმოძღვრების აყვავების ხანად არის წოდებული. ამ პერიოდში შეიქმნა ისეთი ხუროთმოძღვრული ძეგლები როგორცაა: **კუმურდო, ოშკი, ბაგრატი, გელათი, ალავერდი, სვეტიცხოველი, სამთავრო, სამთავისი და სხვა ტაძრები.**

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 მივყავართ საინტერესო დასკვნამდე, რომ ქართული კულტურა და ხელოვნება იმ დროისათვის პასუხობდა ყველა იმ გამოწვევას, რასაც მოითხოვდა კულტურული განვითარება. სპეციალისტებისათვის საინტერესოა მათი არქიტექტურული-კონსტრუქციული გადაწყვეტები, მხატვრული ღირებულებები, მდებარეობა და ბუნებასთან შეთავსება [4].

კუმურდოს ტაძარი - სამხრეთ საქართველოში მდებარეობს. სპეციალისტებისათვის საინტერესოა ჩამოთვლილი ტაძრების კონსტრუქციული გადაწყვეტები, მხატვრული ღირებულებები, მდებარეობა და გარემოსთან მათი შერწყმა. ყველაზე მეტად მათი სიძველე იპყრობს ყურადღებას, მიუხედავად იმისა, რომ, ზოგიერთ მათგანს ძლიერ ატყვია მოუვლელობის კვალი.

მნახველთა მაღალი ინტერესი, სპეციალისტთა მიერ ბოლო დროს გამოჩენილი განსაკუთრებული ყურადღება არქიტექტურული ძეგლებისადმი, გვიტოვებს მათი გადარჩენის იმედს.

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.1. კუმურდოს ტაძარი

კუმურდო - წაგრძელებული სწორკუთხა ფორმისაა, მისი გარე ფასადები შემკულია სარკმელთა მოჩუქურთმებული საპირეებით და ასევე ჩუქურთმიანი ჯვრებით. კედლები მოპირკეთებულია ვარდისფერი საპერანგე ქვებით, რაც მას განსაკუთრებულ სილამაზეს აძლევს.

ურთიერთგადამკვეთი ჩუქურთმებით გამოირჩევა **ოშკი**, რომელიც დღეს საქართველოს ტერიტორიას არ ეკუთვნის. იგი ძველი სამხრეთ საქართველოს, ტაოს მხარეში (თურქეთის ტერიტორიაზე) მდებარეობს მდინარე თორთუმის მახლობლად. ტაძარი შემადღებულ ადგილზეა აგებული,

მისი ამგებლები იყვნენ ტაოს მფლობელი ბაგრატიონები, რასაც გვამცნობს ტაძრის სამხრეთ კედელზე არსებული წარწერა. ტაძარი ჯვარგუმბათოვანია, რომლის მკლავები განვითარებულია აღმოსავლეთით, სამხრეთით და ჩრდილოეთით. ისევე როგორც სხვა ტაძრებშიც აქაც არის ძვალთა სავანე, რომელიც განთავსებულია ტაძრის განსაკუთრებულ ადგილას.



ნახ.2. ოშკის ტაძარი

აქ იცვლება პროპორციები: სიმაღლე, როგორც გუმბათის ყელის, ასევე კედლების, მრავალკუთხა კონსტრუქციული ფორმები ჩანაცვლდა ცილინდრულით, რამაც შიდა სივრცე უფრო გაშალა და განავრცო. მაგრამ ოშკს გამოარჩევს სხვა ტაძრებისაგან ხუთი დეკორაციული თალის სამგზის განმეორებული კომპოზიცია.

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. ცად აზიდული კედლები თავისი საპერანგე ქვებით მნახველთა განცვიფრებას იწვევს დღესაც, თუმცა

უმეტესი მათგანი დანგრეული და გადახრილია. ტაძარი ყურადღებას იპყრობს თავისი არქიტექტურითა და ადგილმდებარეობით. შემაღლებული მთიდან იგი დღესაც ამაყად გამოჰყურებს გაშლილ სივრცეს და თითქოს დახმარებას ითხოვს მნახველისგან. ფრესკებიდან გადმოგვყურებენ ერთიანი საქართველოს მეფე-დედოფალნი და კიდევ ერთხელ გვახსენებენ წარსულს. აუცილებელია აღინიშნოს იმ დროინდელი ხუროთმოძღვრული ძეგლების არქიტექტორ-მშენებლები, რომელთათვის დამახასიათებელია გასაოცარი კონსტრუქციული გადაწყვეტები, სიმსუბუქე და დახვეწილობა.



ნახ.3.ზაგრატის ტაძარი

XI საუკუნის კიდევ ერთი გასაოცარი ტაძარია - **ალავერდი**. იგი ეპისკოპოსთა ნავსაყუდელია, რომელიც ალაზნის ველზე ფართოდ არის გაშლილი და მაშინდელი კახეთის ყოფა-ცხოვრების ამსახველია. ტაძრის თეთრი კედლები განსხვავდება ყველა სხვა ხუროთმოძღვრული ძეგლებისაგან. ცად აზიდულა მისი გუმბათი, რომელიც შიდა სივრცეს კიდევ უფრო გრანდიოზულს ქმნის. ალავერდი ხომ საქართველოში ყველაზე მაღალი ტაძარია, რომლის შიდა ინტერიერს ამშვენებს ფრესკები.

თუ დასავლეთ საქართველოს ხუროთმოძღვრული ძეგლები გამოირჩევა ჩუქურთმათა სიმრავლით, აღმოსავლეთში კი მათი ნაკლებობაა, აქ წინ დგას

კონსტრუქციების პროპორციები და სიმაღლე. ტაძარი მდიდარია ბუნებრივი განათებით, რასაც უზრუნველყოფს გუმბათის 16 სარკმელი. შიგა სივრცეს ასევე კარგად ავსებს უზარმაზარი ოთხი ბურჯი, რომელსაც კრავს გუმბათი და დეკორატიული თაღები.



ნახ.4. ა ლ ა ვ ე რ დ ი ს ტ ა ძ ა რ ი

ხუროთმოძღვრული ძეგლებიდან ერთი - ერთია - **სვეტიცხოველი**. იგი მცხეთაში მტკვრის მარცხენა სანაპიროზე მდებარეობს. საქართველოში არსებულ ტაძრებს შორის ერთ-ერთი უდიდესია, რომელსაც უამრავი ისტორია გადახდა თავს. ნგრევა და ძარცვა, მიწისძვრებისა თუ შემოსეულ მტერთა მიერ. მისი მთელი ისტორია გამოსახულია როგორც შიდა ასევე გარე კედლებზე და ინტერიერზე. ტაძარს განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს დღესაც, როგორც ერთ-ერთ ყველაზე მოქმედს, ქრისტიანულ სიწმინდეთა მესაიდუმლეს. კონსტრუქციული გადაწყვეტით ისიც, როგორც 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. იგი დღეს ამაყად გადაჰყურებს მცხეთას და მნხველთა დიდ ინტერესს იწვევს.



ნახ.5. ს ვ ე ტ ი ც ხ ო ვ ლ ი ს ტაძარი

ისევე როგორც, აყვავების ხანის სხვა ძეგლები, მცხეთის სამთავისის ტაძარიც ჯვარგუმბათოვანია, მხოლოდ ხელოვნების ამ ნიმუშში შიდა სივრცე უფრო კომპაქტურია. მისი საპერანგე ქვები მოყვითალო-ყავისფერი კვადრებია. თუ ზემოთგანხილულ ტაძრებში გუმბათი ეყრდნობოდა ცალკე მდგომ მხოლოდ ბურჯებს, აქ ის ასევე ეყრდნობა საკურთხევლის კედლებს. ტაძარს მიშენებული აქვს სამხრეთით კარიბჭე, რომელიც კამარებით არის გადახურული. ტაძარს შიგნით აქვს ფართო გასავლელეები, სადიკვნოსა და სამკვეთელოში. აღსანიშნავია სამთავისის გარე ინტერიერი მხატვრული გაფორმებით.



ნახ.6. სამთავროს ტაძარი

შუა საუკუნეების კიდევ ერთი თვალსაჩინო ხუროთმოძღვრული ძეგლია - გელათი. იგი მდებარეობს ქუთაისის მახლობლად, როგორც მონასტერი.



ნახ. 7. გელათის ტაძარი

ტაძარი ღვთისმშობლის სახელობისაა და აიგო აღორძინების ხანის მეთერთმეტე საუკუნეში, დავით აღმაშენებლის თაოსნობით. ის იმ დროისათვის იყო განათლებისა და განვითარების ერთ-ერთი ძლიერი

აკადემია, სადაც მოღვაწეობდა გამოჩენილი ფილოსოფოსი იოანე პეტრიწი [3].

გელათი, ისევე როგორც სხვა ტაძრები ჯვარგუმბათოვანი ნაგებობაა. მის გალავანში განთავსებულია სამრეკლო და ორი პატარა ეკლესია: წმინდა გიორგის და წმინდა ნიკოლოზის (ნახ.8). მთავარ ტაძარში გუმბათის ქვეშ მრავლად არის სარკმელები, რაც შიგა სივრცეს ჰაერითა და განათებით უზრუნველყოფს. საკურთხეველში გვაქვს მოზაიკური გამოსახულებები, კედლები ასევე დამშვენებულია ფრესკებით.



ნახ. 8. გელათი წმ. გიორგისა და წმ. ნიკოლოზის ტაძრებით

ამრიგად, საქართველოს აღორძინება-აყვავების ხანაში მრავალი გასაოცარი არქიტექტურულ-ხუროთმოძღვრული ნაგებობა შეიქმნა, რომელთა დიდმა ნაწილმა ჩვენამდე მოაღწია და დღესაც აგვადფრთოვანებს სიდიადით, კონსტრუქციული გადაწყვეტებითა და სხვა.

თავი II

2.1. ბაგრატის ტაძარის კედლებზე გამოყენებული სამშენებლო ქვების ქიმიური და მინერალოგიური შემადგენლობის განსაზღვრა

ბაგრატის ტაძარის კედლების ასაგებად გამოყენებული იყო დანალექი კარბონატული ქანის ქვები. კარბონატული ქანები დანალექი ქანია. შედგება, ძირითადად კალციტისაგან. კალციტი ანუ კრისტალური კირქვული შპატი, უმეტესად არის თეთრი, მოყვითალო, ნაცრისფერი და მოწითალო ფერის. ძლიერ გამჭირვალეა, თითქმის ბროლისფერი სუფთა. კალციტის ორი კრისტალური ფორმა არსებობს: კალციტი და არაგონიტი. კალციტი წარმოქმნის უფრო ჰექსაგონალური ფორმის კრისტალებს, სიმკვრივით 2.71–2.72 გ.სმ³. არაგონიტი წარმოქმნის რომბისებურ კრისტალებს, სიმკვრივით 2.93 გ.სმ³. კალციტი გამოიყოფა ცხელი კარბონატული ხსნარებიდან და ილექება კირქვის შლამის სახით. დალექვის პირობების მიხედვით, კარბონატული ქანიდან წარმოიქმნება ორგანოგენური, ქიმიური, მონატეხი, კრიპტოგენური და ქსენოგენური კირქვები. კირქვები კრისტალების ზომის მიხედვით იყოფა: მსხვილმარცვლოვანი 0.5 მმ; საშუალო მარცვლოვანი 0.25 – 0.5 მმ; წვრილმარცვლოვანი 0.01–0.25 მმ სტრუქტურების მქონე ჯიშებთან.

ქანში შემავალი კალციტის, დოლომიტის და თიხა მასალების პროცენტული რაოდენობის თანაფარდობა საფუძვლად უდევს კარბონატული ჯიშების კლასიფიკაციას.

კარბონატული ქანი სუფთა კირქვაა, როდესაც ქანში კალციტის რაოდენობა 98%-ია. თუ კალციტის რაოდენობა 175%-ზე ნაკლებია, ქანი კირქვული მერგელია, ხოლო როცა ის 140%-ზე მეტია, ქანი მერგელური კირქვაა.

მინარევების გარეშე კირქვა თეთრი, რძის ფერია. მინარევები კირქვას ანიჭებენ ნაცრისფერს, წითელს, ყვითელს და ვარდისფერ ელფერს. კირქვები შეიცავენ ალლოტეგენურ და აუტიგენურ მინარევებს.

ქვიშაქვები, ღორღი და თიხა წარმოადგენენ კირქვების ალლოტეგენურ მინარევებს. კირქვის თვისებები მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული მასში შერეული თიხის რაოდენობაზე. თიხოვანი მასის რაოდენობის გაზრდით კირქვა გადადის კირქვულ მერგელში, კირქვულ თიხაში.

მაგნიუმის შემცველი ცხელი წყლის ხსნარები ურთიერთქმედებენ კირქვებთან.

ურთიერთქმედების შედეგად კირქვაში შემავალი კალციუმი ჩაინაცვლება მაგნიუმით და წარმოიქმნება დოლომიტიზებული ქანი. მაგნიუმმა თუ მთლიანად ჩაანაცვლა კალციუმი, მაშინ კირქვა გარდაიქმნება მაგნეზიტად. კარბონატულ ქანს, რომელიც 9.44%-მდე მაგნიუმს შეიცავს, დოლომიტიზირებული ქანი ეწოდება. ქანს, რომელშიც მაგნიუმ 21.7%-ია, დოლომიტური ქანი ეწოდება.

ტაძრის ეზოში კედლის ნგრევისაგან ჩამოყრილი საშენი ქვების გამოკვლევისათვის სინჯები შეირჩა ქვის ფერისა და დაზიანების ხარისხის მიხედვით. ამიტომ ზოგიერთი ფერის ქვის სინჯის რაოდენობა მეტია, ზოგის ნაკლები.

სინჯების ქიმიური შემადგენლობა განისაზღვრა რაოდენობრივი ქიმიური ანალიზის მეთოდით. შედეგები მოცემულია 1–4 ცხილებში.

ანალიზების მონაცემებით, ქვის სინჯებს ქიმიური შემადგენლობა განსხვავებული აქვთ. დაუზიანებელი ნაცრისფერი ქვის სინჯებში CaO არის 46.81% ÷ 49.05%-მდე. დაზიანებულ სინჯებში CaO არის 37.5 ÷ 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. სინჯები მაგნიუმის ოქსიდს განსხვავებული რაოდენობით

შეიცავენ. მოყვითალო-მოვარდისფრო და წითელი ფერის ქვის სინჯებში MgO-ს რაოდენობა 11%-დან 17%-მდეა. ნაცრისფერ სინჯებში 0.7%-1.2%-ია. MgO-ს შემცველობის მიხედვით მოყვითალო-მოვარდისფრო და მოწითალო ფერის ქვები დოლომიტიზირებული კირქვებია. ამ მოსაზრების განსამტკიცებლად სინჯები გამოკვლეული იქნა პეტროგრაფიული მეთოდით.

ქანის პეტროგრაფია შეისწავლება მიკროსკოპიული და მაკროსკოპიული აღწერით. მაკროსკოპიული შესწავლის შედეგად უნდა გამოვლინდეს ქანის ძირითადი თავისებურებანი, რომელთაგან უმთავრესია მასალის ფერი და მასალის ბზინვარება.

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 კედლის ფასადიდან									
ჩრდილო-დასავლეთის კუთხიდან									
მოყვითალო-მოვარდისფრო	0.88	38.8	6.37	0.33	0.75	38.93	12.4	69.51	26.04
ჩრდ.-დასვ. კუთხიდან მოწითალო	0.16	40.6	5.40	0.28	0.91	34.82	14.37	62.17	30.17
ჩრდილო-აღმოს. კუთხიდან ნაცრისფერი	3.7	34.7	8.61	0.42	1.31	49.05	1.15	87.66	–
სვეტის ბურჯიდან ნაცრისფერი	0.40	37.1	12.9	0.13	1.09	46.81	0.75	83.58	–

ქანის მინერალოგიური შემადგენლობა, სტრუქტურა (აღნაგობა), ტექსტურა (წყობა) განისაზღვრება მიკროსკოპიული აღწერით. სტრუქტურის მიხედვით მასალა შეიძლება იყოს კრისტალური, მკვრივმარცვლოვანი. ტექსტურის მიხედვით შეიძლება იყოს მკვრივი, ფოროვანი, უჯრედოვანი, ქერცლოვანი და ა. შ. მკვრივმარცვლოვანი.

ტექსტურის მიხედვით შეიძლება იყოს მკვრივი, ფოროვანი, უჯრედოვანი, ქერცლოვანი და ა. შ.

მაკროსკოპიული აღწერით მოყვითალო–მოვარდისფრო სინჯები ხორკლიანი ზედაპირის მქონე წვრილმარცვლოვანი ქანია. მარილმჟავას დაწვეთებით სინჯების ზედაპირიდან გამოიყოფა გაზი, ე.ი. საქმე გვაქვს კარბონატულ ქანთან.

მაკროსკოპიული აღწერით, ეს არის კარბონატი, წვრილკრისტალური, მიკრომარცვლოვანი (0.01 მმ ზომის მარცვლებით) რომელიც პერიფერიულ ნაწილში გადაკრისტალებულია გამჭვირვალე კალციტის მარცვლებში. ქანის ცემენტი არ ხასიათდება მკვეთრი გამოყოფით (ნახ.9,10).

მოყვითალო–მოვარდისფრო დაზიანებული ქვის სინჯების ქიმიური შემადგენლობა % ში

ცხრილი #2

სინჯების აღების ადგილი	H ₂ O	ნ.დ.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	CaCO ₃	MgCO ₃
სამხრეთ კედელი									
დასავ. კუთხე H = 1მ									
#1 ფასადიდან	1.2	28.6	33.1	5.3	0.83	16.7	11.0	29.3	23.1
# 2 ფასადიდან	1.15	28.4	32.5	5.0	0.94	17.3	10.9	30.3	22.89
კარიბჭესთან									
# 3 ფასადიდან	1.35	26.2	34.2	5.3	0.73	15.8	12.8	28.1	26.88
# 4 ინტერიერიდან	1.23	29.5	33.5	5.1	0.62	16.1	12.3	28.8	25.75
# 5 სვეტის თავიდან	1.05	29.7	19.2	3.21	0.73	28.3	14.2	50.6	29.8
#6 სვეტისბურჯიდან	1.00	29.0	10.01	3.20	0.70	28.5	14.0	50.9	29.4
ჩრდილოეთის კედელი H = 1მ									
ჩრდილო–დასავლეთ. კუთხე									
#7 ფასადიდან	1.13	7.4	32.3	4.3	0.80	16.0	12.1	28.5	30.2
# 8 ინტერიერიდან	1.10	26.8	31.7	4.8	0.96	17.7	11.7	31.5	24.57
სარკმელის ქვეშ #9 ფასადიდან	1.70	28.4	29.8	2.35	0.78	19.6	13.3	35.0	28.0

დასავლეთის კედელი H = 1მ									
კარბჭესთან									
#10 ფასადიდან	2.9	32.25	11.71	4.05	1.72	27.09	16.58	48.37	34.8
#11 ინტერიერიდან	2.8	32.0	13.20	4.62	1.7	23.38	17.20	41.70	35.60
აღმოსავლეთის კედელი H = 1მ									
#12 ფასადიდან	1.34	31.84	26.8	4.1	0.72	23.8	14.1	42.36	29.61
#13 ინტერიერიდან	2.7	26.3	23.2	5.03	0.65	25.3	12.80	42.5	24.38

ქანი შეიცავს რომბოედრული ფორმის კრისტალებს–შესაძლებელია დოლომიტს. კირქვის მოვარდისფრო–მოყვითალო შეფერილობა, უმთავრესად განპირობებულია რკინის ჰიდროჟანგების წვრილი ნაწინწკლებით, რომელთა განაწილება შედარებით თანაბარია. შესაცემენტებელი მასა კალციტურია და შედგება მარცვლოვანი კალციტის უწვრილესი კრისტალებისაგან. ქანის ძირითად მასაში გაბნეულია ტერიგენული მასალა, წარმოდგენილი დაკუთხული და მომრგვალებული ფორმის კვარცის და მინდვრის შპატის 0.03–0.4 მმ–მდე ზომის მარცვლებით. ტერიგენული მასალის რაოდენობა შლიფის არეში განისაზღვრება 10%–მდე.

**მოწითალო ფერის დაზიანებული ქვის სინჯების ქიმიური
შემადგენლობა %-ში**

ცხრილი #3

სინჯების აღების ადგილი	H ₂ O	ნ.დ.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	CaCO ₃	MgCO ₃
სამხრეთის კედელი H = 1მ									
აღმოსავლეთის კუთხე									
# 14 ფასადიდან	0.79	30.4	22.7	3.02	0.95	23.2	14.3	41.43	80.03
# 15 ინტერიერიდან	0.83	30.9	21.7	3.7	0.84	25.3	15.2	45.18	31.92
# 16 ინტერიერიდან	0.8	31.0	22.5	3.5	0.8	24.8	15.9	44.3	33.34
ჩრდილოეთის კედელი H = 1მ									
ჩრდილო–დასავ. კუთხე									
# 17 ფასადიდან	0.79	33.2	26.0	2.9	0.83	27.0	11.4	48.06	23.94

# 18 ინტერიერი	0.76	33.8	19.9	2.8	0.85	28.2	11.0	50.3	23.1
#16 ინტერიერი	0.8	33.5	20.0	3.2	0.8	27.8	11.3	49.48	23.73
სარკმლის ქვეშ									
# 20 ფასადიდან	1.03	29.3	21.4	3.7	0.73	26.2	12.3	46.8	30.75

ქიმიური ანალიზის მონაცემებით სინჯებში CaCO_3 -ის პროცენტული რაოდენობა 31–35% – ია, MgCO_3 –ის რაოდენობა 24–28% ე.ი. მოყვითალო-მოვარდისფრო სინჯები მიეკუთვნებიან დოლომიტიზირებულ კირქვებს.

ნაცრისფერი დაზიანებული ქვის სინჯების ქიმიური შემადგენლობა %–ში

ცხრილი # 4

სინჯების აღების ადგილი	H_2O	ნ.დ.	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	CaCO_3	MgCO_3
ჩრდილოეთის კედელი H = 1მ									
ჩრდილო-აღმოსავლ. კუთხე									
#21 ფასადიდან	2.63	33.4	19.2	1.7	1.15	41.5	0.8	73.87	–
# 22 ინტერიერიდან	2.82	32.9	13.6	1.5	1.12	42.2	0.8	75.11	–
#23 ინტერიერიდან	2.73	40.0	15.3	1.3	1.2	46.3	0.7	71.73	–
დასავლეთის კედელი									
#24 სვეტის თავიდან	2.82	32.9	15.3	2.6	2.0	40.8	0.8	76.62	–
#25 სვეტის ბურჯიდან	3.14	30.54	16.8	3.4	3.04	37.5	1.4	65.35	–
აღმოსავლეთ. კედელი									
# 26 სვეტის თავიდან	3.23	34.44	13.6	2.3	0.8	41.5	0.9	74.1	–
# 27 სვეტის ბურჯიდან	3.25	35.5	13.2	2.23	0.73	40.5	1.2	72.3	–

მაკროსკოპიულად, მოწითალო ფერის ქვის სინჯი ხორკლიანი ზადაპირის მქონე მკვრივი ქანია.

მიკროსკოპში დაკვირვების შემდეგ გაირკვა, რომ ეს არის გადაკრისტალებული დოლომიტიზირებული წვრილმარცვლოვანი კირქვა, რომლის ძირითად მასაში შეიმჩნევა კალციტის 0.4–0.5მმ-მდე ზომის მარცვლები, მომრგვალებული ფორმის კრიპტოკრისტალური კალციტის უბნები და რომბოედრები (შესაძლებელია დოლომიტის).

ქიმიური ანალიზის მონაცემებით სინჯებში CaCO_3 -ის პროცენტული რაოდენობა 31–35% – ია, MgCO_3 –ის რაოდენობა 24–28% ე.ი. მოყვითალო-მოვარდისფრო სინჯები მიეკუთვნებიან დოლომიტიზირებულ კირქვებს.

მაკროსკოპიულად, მოწითალო ფერის ქვის სინჯი ხორკლიანი ზადაპირის მქონე მკვრივი ქანია.

მიკროსკოპში ეს არის გადაკრისტალეზული დოლომიტიზირებული წვრილმარცვლოვანი კირქვა, რომლის ძირითად მასაში შეიმჩნევა კალციტის 0.4–0.5მმ–მდე ზომის მარცვლები, მომრგვალებული ფორმის კრიპტოკრისტალური კალციტის უბნები და რომბოედრები (შესაძლებელია დოლომიტის).

ტერიგენული მინარევებიდან ქანში გვხვდება მინდვრის შპატის და კვარცის ერთეული მარცვლები. ჭარბობს მინდვრის შპატი, რომლის მარცვლების ზომა აღწევს 0.03÷0.8 მმ–მდე. ქანის წითელი შეფერილობა განპირობებულია რკინის ჰიდროქსიდის წვრილი ჩანაწინწკლებით.

ქიმიური ანალიზის მონაცემებით ქანში CaCO_3 48÷49%–ია, MgCO_3 23÷24% ე.ი. წითელი ფერის ქანი დოლომიტიზირებულია.

ნაცრისფერი ქვის სინჯები მაკროსკოპული აღწერით არის თხელშრეებრივი (ფირფიტისმაგვარი) მსხვრევადი ქანი. ადვილად ფხვიერდება. მიკროსკოპში ის წარმოადგენს პელიტომორფულ კირქვას. მის შემადგენლობაში შემავალი ნატეხების უმრავლესობა შედგება სხვადასხვა შემადგენლობის ნახევრად დამრგვალებული, ძლიერ სახეშეცვლილი ფაუნის ნარჩენებისაგან. კირქვის ძირითად მასაში შეიმჩნევა კრიპტოკრისტალური კირქვის ცალკეული მუქი ფერის უბნები. ორგანიკა ინაცვლება წვრილკრისტალური კალციტით. ქანი შეიცავს რკინის ჰიდროქსიდების წვრილი 0.03÷0.04 მმ–მდე ზომის ჩანაწინწკლებს.

სვეტიდან და სვეტის ბურჯიდან აღებული ნაცრისფერი ქვის სინჯები, კედლის წყობიდან აღებული ნაცრისფერი ქვის სინჯებისაგან განსხვავდება. მაკროსკოპული აღწერით თხელშრეებრივი მკვრივი ქანია.

მიკროსკოპიულად, პელიტომორფული ორგანოგენული კირქვაა, რომლის ორგანიკა ინაცვლება წვრილკრისტალური კალციტით. ქანის ძირითად მასაში შეიმჩნევა სახეშეცვლილი ფაუნის ნარჩენები და კრიპტოკრისტალური კირქვის ცალკეული მუქი ფერის უბნები. ქანი შეიცავს მცირე რაოდენობით (შლიფის არეში 5%-მდე) რკინის ჰიდროქსიდების წვრილ (0.03 ± 0.04 მმ-დე) ჩანაწინწკლებას.

ამრიგად, ქიმიური ანალიზით და პეტროგრაფიული გამოკვლევით დავადგინეთ, რომ მოყვითალო-მოვარდისფრო და მოწითალო ფერის ქვები გადაკრისტალებული დოლომიტიზირებული წვრილმარცვლოვანი კირქვებია.

ნაცრისფერი ქვები მიეკუთვნებიან ორგანოგენულ თხელშრეებრივ მკვრივ და მსხვრევად კირქვებს.

2.2. ქვის სინჯების ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლების განსაზღვრა

დროთა განმავლობაში ქვები განიცდიან ფიზიკურ-ქიმიურ ეროზიას, რის შედეგადაც მათი ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლები თანდათანობით უარესდება თავდაპირველთან შედარებით. ტაძრის ვიზუალური დათვალიერების დროს ნათლად ჩანდა, რომ ქვები განსხვავებული ხარისხით არიან დაზიანებული. აქედან გამომდინარე, განსხვავებული იქნება მათი ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლები.

კირქვები, დროთა განმავლობაში, განიცდიან არასრულ გადაკრისტალებას, გაკაჟებას, გათიხებას, გახსნას, რის შედეგად კირქვაში ჩნდება სიცარიელები-წარმოიქმნება ფორები. ფორები განაპირობებენ კირქვის სიმტკიცეს ანუ სიცოცხლის ხანგრძლივობას.

მასალის მოცულობითი მასა, ძირითადად, დამოკიდებულია მის მინერალურ შემადგენლობაზე და სტრუქტურაზე. მოცულობითი მასა წარმოდგენას იძლევა ისეთ მნიშვნელოვან თვისებებზე, როგორცაა

სიმტკიცე, სიმკვრივე, წყალმედვეობა, ყინვამედვეობა და ა. შ., რაც მეტია მასალის მოცულობითი მასა, მით უფრო მეტია მისი სიმტკიცე, სიმკვრივე. ნაკლებია წყალშთანთქმა, ფორიანობა.

მასალის მოცულობითი მასა ცდებით განვსაზღვრეთ 5 ნიმუშზე. მოცულობითი მასის საბოლოო მნიშვნელობა ავიღეთ 5 განსაზღვრის საშუალო არითმეტიკული.

მასალის ფორების წყლით შევსების ხარისხს განსაზღვრავს წყალშთანთქმადობა.

წყალშთანთქმადობა დამოკიდებულია ფორების სიდიდეზე, ფორმასა და სახეობაზე, მათი განაწილების თანაბარ ზომიერებაზე, ფორების კედლების დასველების უნარზე და სხვა. წყალშთანთქმადობა გამოითვლება მასალის მიერ შეწოვილი წყლის ფარდობით მასალის თავდაპირველ წონასთან.

მასალაში არსებობს წყლისათვის მიუღწეველი დახურული ფორები, ამიტომ წყალშთანთქმადობა ყოველთვის ნაკლებია მასალის ფორიანობაზე.

წყალშთანთქმადობა დავადგინეთ ცდის საშუალებით. ბუნებრივი ქვების წყალშთანთქმადობის განსაზღვრისათვის გამოსაცდელ ნიმუშებად ავიღეთ კუბი, წახნაგების ზომით 50 მმ და ცილინდრები, დიამეტრითა და სიმაღლით 50 მმ.

ერთი და იგივე მასალისათვის ერთდროულად გამოიცადა არა ნაკლებ 3 ნიმუში, რომლის მიხედვით დავადგინეთ ნიმუშის წყალშთანთქმადობა.

ნიმუშების სიმტკიცის შესამოწმებლად დავადგინეთ დაბალი ფორიანობისას მასალის ფორიანობა. მაღალია მისი სიმტკიცე. სიმტკიცე მასალის წინააღმდეგობის უნარია მრღვევი შინაგანი ძაბვებისადმი, რომლებიც მასალაში გარე ძალების მოქმედებით აღიძვრება.

მოქმედი ძალების მიხედვით მასალა კონსტრუქციაში განიცდის კუმშვას, გაჭიმვას, ლუნვას და ა.შ. შესაბამისად, მასალაში აღიძვრება მკუმშავი, გამჭიმავი, მლუნავი და ა. შ. ძაბვები. მასალის მუშაობის ყველაზე

მარტივ დეფორმაციას წარმოადგენს კუმშვა და გაჭიმვა მასალის კვეთის ცენტრში მოქმედი ძალით.

ცენტრალური კუმშვისა და გაჭიმვის დროს მასალაში აღძრული ძაბვა თავისი სიდიდის მიხედვით ტოლია მასალის განივი კვეთის 1 სმ²-ზე მოსული გარე ძალისა და განისაზღვრება ფორმულით: $\nu = \frac{P}{F}$ კგმ. სმ²

სადაც ν - არის ძაბვა, კგმ. სმ²;

P - მასალაზე მოდებული გარე ძალა კგმ;

F - მასალის განივი კვეთი სმ².

იგულისხმება, რომ ძაბვა თანაბრადაა განაწილებული მასალის განივკვეთის მთელ ფართზე.

საშენი მასალების ერთ-ერთი ძირითადი დამახასიათებელი თვისებაა მისი სიმტკიცის ზღვარი, ანუ დროებითი წინაღობა და განისაზღვრება იმ ძაბვით, რომელიც აღიმკრება მასალაში მრღვევი ძალის მოქმედებით, უმთავრესად კუმშვაზე და ზოგჯერ გაჭიმვაზე. წინაღობის ზღვარი კუმშვაზე (ან გაჭიმვაზე) უდრის მასალის საწყისი ფართობის 1 სმ²-ზე მოსულ მრღვევ ძალას და გამოითვლება ფორმულით:

$$R = \frac{P_{\text{მრღ}}}{F}$$

სადაც R არის წინაღობის ზღვარი კუმშვაზე (ან გაჭიმვაზე, კგმ. სმ²)

$P_{\text{მრღ}}$ - მრღვევი, მკუმშავი (ან გამჭიმავი) ძალა კგმ.

F - სინჯის განივი კვეთის პირველადი ფართობი სმ²

საშენ ქვებს კუმშვაზე წინაღობის უფრო მაღალი მაჩვენებელი აქვთ, ვიდრე გაჭიმვაზე. მათი წინაღობა გაჭიმვაზე 5-ჯერ ნაკლებია, ვიდრე წინაღობა კუმშვაზე. ამიტომ ქვების სიმტკიცეს, ძირითადად, ახასიათებენ მათი წინაღობით კუმშვაზე.

კუმშვაზე გამოცდისათვის დავამზადეთ კუბური ან ცილინდრული ფორმის ნიმუშები წახნაგებისა და დიამეტრის ზომით 5 სმ, ცილინდრული ფორმის ნიმუშების სიმაღლე იყო ფუძის დიამეტრის ტოლი.

კუბური ფორმის ნიმუშები დავამზადეთ ქვის სამ ურთიერთმართობულ სიბრტყეში დისკური ან ლენტური ხერხით დახერხვის შედეგად. დახერხვის შემდეგ ნიმუშებს აქვთ უსწორმასწორო და უხეში ზედაპირი და საჭირო იყო მისი მოსწორება სახერხ დაზგაზე დამუშავებით. გახეხვის შედეგად ნიმუშების ყველა ზედაპირი გლუვი, მოპირდაპირე ზედაპირები კი ერთმანეთისადმი პარალელური. კუბის ყველა წიბო გამოყვანილი იყო მართი კუთხით. დამზადებული ნიმუშები დაინომრა და გამოიცადა.

ქვის სიმტკიცეს კუმშვაზე ვადგენდით ჰიდრავლიკური ან მექანიკური წნეხით. ნიმუში წნეხში ისე უნდა დაიდოს, რომ მკუმშავი ძალა ქანის ფენების პერპენდიკულარული იყოს.

დიდი მნიშვნელობა აქვს გამოსაცდელ ნიმუშზე მოქმედი დატვირთვის ზრდის სისწრაფეს. ამიტომ მასალების სიმტკიცეზე გამოცდის დროს ნიმუშების დატვირთვის ძალის სისწრაფე განსაზღვრული იყო სახელმწიფო სტანდარტით. ბუნებრივი ქვების გამოცდის დროს დატვირთვის ზრდის სისწრაფე არ უნდა აღემატებოდეს 12 ± 15 კგმ. 1 სმ² წაშლი. ცდის შედეგებზე დიდ გავლენას ახდენს გამოსაცდელი ნიმუშის ფორმა და ზომა.

სიმტკიცის მაჩვენებელი ცილინდრული ნიმუშისათვის შეადგენს ამავე მასალების კუბური ფორმის ნიმუშების მაჩვენებელს გამრავლებულს 0.9 -ზე. ამიტომ, ყოველთვის როდესაც შესადარებელია ორი სხვადასხვა მასალა, მათი სიმტკიცის დასადგენად უნდა დამზადდეს და გამოიცადოს ერთი და იგივე ფორმის და ზომის ნიმუშები. ეს მოვლენა აიხსნება იმით, რომ კუმშვაზე მასალის გამოცდის დროს ნიმუშის ფუძეებსა და წნეხის ბალიშების ზედაპირების ურთიერთმეხების სიბრტყეებში წარმოიშობა ხახუნის ძალები, რომლებიც ეწინააღმდეგება მასალის განივ გაფართოებას და ხელს უშლის ნაწილაკების ურთიერთდაშორებას, ე.ი დაშლას. ხახუნის ძალების გავლენა მეტია ნიმუშის ზედაპირზე, რომლებითაც ის ეხება წნეხის ბალიშებს და მცირდება შუა (სიმაღლის მიხედვით) კვეთისაკენ.

ამიტომ, რომ გამოცდის დროს კუბური ფორმის ნიმუშების რღვევა იწყება შუა კვეთიდან. რაც უფრო დიდია ნიმუშების ზომები, მით უფრო მეტია მისი სიმაღლე, ნაკლებია ხახუნის ძალის გავლენა შუა კვეთისაკენ და სიმტკიცის მაჩვენებლებიც ნაკლები გამოდის.

გამოცდის შედეგებზე გავლენას ახდენს მასალის ფიზიკური მდგომარეობა. მასალის სიმტკიცე მშრალ მდგომარეობაში ყოველთვის მეტია ტენიანი და წყლით გაჟღენთილი მასალის სიმტკიცეზე. მასალის დარბილების კოეფიციენტი ($K_{\text{ფ}}$) არის წყლით გაჟღენთილი მასალის სიმტკიცის შეფარდება მშრალი მასალის სიმტკიცესთან

$$K_{\text{ფ}} = \frac{\rho_{\text{წყ}}}{\rho_{\text{მშ}}}$$

დარბილების კოეფიციენტი განსაზღვრავს მასალის წყალმდეგობას. დადგენილია რომ მასალები, რომელთა დარბილების კოეფიციენტი ნაკლებია 0.8-ზე არ შეიძლება გამოვიყენოთ წყლიან და ნესტიან გარემოში.

ქვის მასალების წინააღმდეგობის ზღვარი კუმშვაზე უნდა განისაზღვროს ჰაერმშრალი, წყლით გაჟღენთილი და გაყინვაზე გამოცდილი ნიმუშებისათვის.

სარესტავრაციო პრაქტიკაში ქვების სიმტკიცის მახასიათებლების განსაზღვრა სტანდარტული მეთოდით მიზანშეწონილი არ არის. კუბური ფორმის (წახნაგთა ზომით 5X5X5 სმ) სინჯების მომზადება გამოიწვევს ქვის წყობის დარღვევას. გარდა ამისა, დაშლილი ქვის ფენის სისქე (რომლის სიმტკიცეც გვინტერესებს) ხშირად ნაკლებია 5 სმ-ზე. ასეთი ქვიდან მომზადებული კუბის სიმტკიცე ქვის ჰემმარიტ სიმტკიცესთან შედარებით მომატებული იქნება.

ქ. მოსკოვის „საქრესტავრაციის“ ინსტიტუტის ტექნოლოგიურმა განყოფილებამ შეიმუშავა სიმტკიცის განსაზღვრის ე.წ. მსხვრევის მეთოდი. ეს მეთოდი არ საჭიროებს დიდი ზომის და გარკვეული ფორმის ქვის სინჯების მომზადებას და ფართოდ გამოიყენება ქვის, დუღაბის სიმტკიცის განსაზღვრისათვის.

წყლით გაჟღენთილ მდგომარეობაში საშენმა მასალამ უნდა გაუძლოს მრავალჯერადი პერიოდული გაყინვა-გაღობის მოქმედებას ისე, რომ ადგილი არ ჰქონდეს სიმტკიცის მნიშვნელოვან შემცირებას და მასალის დაშლას. სინჯის ერთი გაღობა და ერთი გაყინვა წარმოადგენს გაყინვა-გაღობის ერთ ციკლს. გაყინვა-გაღობის ციკლი სხვადასხვა მასალისათვის სხვადასხვაა და განსაზღვრულია სახელმწიფო სტანდარტით. მასალა ჩაითვლება ყინვა-მედეგად იმ შემთხვევაში, თუ ის დაუშლელად გაუძლებს ამ მასალისათვის სტანდარტით გათვალისწინებულ ციკლთა რაოდენობას. ქვა ყინვა-მედეგობაზე გამოცდისათვის უნდა გაიყინოს და გაღლებს 50-ჯერ. კუმშვაზე წინალობის შემცირება დასაშვებია 15%-25%-მდე. წონით დანაკარგები არ უნდა აღემატებოდეს მოსაპირკეთებელი მასალისათვის 1%-ს, საკედლე მასალისათვის 2%-ს, ფოროვანი მასალისათვის 5%-ს.

ხშირად მასალის ყინვამედეგობას განსაზღვრავენ ე.წ. ყინვამედეგობის კოეფიციენტით (K_y), რაც წარმოადგენს გაყინვაზე გამოცდილი ნიმუშის წინალობის ზღვარს კუმშვაზე შეფარდებულს ამავე მასალის წინალობის ზღვართან კუმშვაზე წყლით გაჟღენთილ მდგომარეობაში გაყინვამდე.

$$K_y = \frac{\rho_{\text{ბაქ}}}{\rho_{\text{წყ}}}$$

მასალა ჩაითვლება იმ შემთხვევაში ყინვამედეგად, თუ ყინვამედეგობის კოეფიციენტი სტანდარტით გათვალისწინებული გაყინვა-გაღობის ციკლთა გავლის შემდეგ არ არის 0.75-ზე ნაკლები. ჩატარდა ქვის ფერების მიხედვით ყინვამედეგობაზე ცდები დაუზიანებელი ნიმუშებისათვის.

ძეგლიდან აღებული ქვის სინჯების ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლები მოცემულია ცხრ. # 5-7-ში. ცხრილიდან ჩანს, რომ სინჯები განსხვავდებიან ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლებით.

სინჯების სიმკვრივე იცვლება 2.20 გ.სმ³-დან 2.73 გ.სმ³-მდე. მოცულობითი მასა 1.80 გ.სმ³-დან 2.34 გ.სმ³-მდე; წყლის შთანთქმის უნარი 1.7- დან 11-მდე; ფორიანობა 8%- დან 25,5%- მდე.

დაუზიანებელი კირქვის სინჯების სიმტკიცე კუმშვაზე ჰაერმშრალ მდგომარეობაში საშუალოდ ტოლია 13.9–28.5 მგპ–ის, ხოლო დაზიანებული სინჯების სიმტკიცე კუმშვაზე არის 12.7 მგპ – 26 მგპ – მდე. წყლით გაჯერებული სინჯების სიმტკიცე კუმშვაზე ტოლია 7.8 – 17.9 მგპ–ის. დარბილების კოეფიციენტი იცვლება 0.60–დან 0.82–მდე.

ბაგრატის ტაძრის დაუზიანებული ქვების ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლები

ცხრილი #5

#	ქვის ფერი	წყლის შთან-თქმის უნარი %	სიმკვრივე გ.სმ ³	მოცულობითი მასა გ.სმ ³	ფორიანობა %	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე მპა			დარბილების კოეფიციენტი	ყინვამდგომარეობის კოეფიციენტი 25°C-ზე
						ჰაერ-მშრალი მდგომარეობაში	წყლით გაჯერებით მდგომარეობაში	გაყინვის შემდეგ		
1.	მოყვითალო-მოვარდისფერი	1.7	2.7	2.34	13.3	28.5	20.52	16.6	0.72	0.81
2.	წითელი	4.1	2.4	2.18	9.2	22.5	16.8	14.28	0.75	0.85
3.	ნაცრისფერი	5.3	2.43	2.10	13.5	13.9	10.0	6.2	0.71	0.72
4.	ნაცრისფერი სვეტის ბურჯიდან	4.9	2.51	2.04	18.7	16.8	13.6	9.5	0.71	0.84
5.	მოყვითალო კრემისფერი	3.4	2.55	2.27	14.7	22.0	15.0	11.7	0.68	0.78

#4,10,12,13,15,16,17,21,22,23 სინჯების ყინვამედევობის კოეფიციენტი მერყეობს 0.70-0.85-მდე, ხოლო სინჯების დარბილების კოეფიციენტი K_{ϕ} კი - 0.65-ია. #1,2,3,5,6,7,8,9,11,14,18,19,20 სინჯების დარბილების და ყინვამედევობის კოეფიციენტები ნორმის ფარგლებშია.

დაზიანებული მოყვითალო-მოვარდისფრო ქვების დოლომიტიზირებული კირქვების ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლები

ცხრილი #6

#	სინჯების აღების ადგილი	წყლის შთანთქმის უნარი %	სიმკვრივე გ.სმ ³	მოცულობითი მასა გ.სმ ³	ფორიანობა	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე, მპა			დარბილების კოეფიციენტი	ყინვამედევობის კოეფიციენტი
						ჰაერ-მშრალი მდგომარეობაში	წყლით გაყინვით მდგომარეობაში	გაყინვის შემდეგ 25 ციკლით		
#	სამხ. კედელი, დასავლეთის კუთხე H= 1მ									
1.	ფასადი	12.2	2.37	1.82	23.6	21.2	16.9	13.5	0.8	0.8
2.	ინტერიერი კარიბჭიდან	10.4	2.27	1.80	18.9	23.4	17.5	14.8	0.75	0.85
3.	ფასადი	9.3	2.20	1.80	18.1	18.2	14.2	1.2	0.78	0.79
4.	ინტერიერი	6.5	2.51	2.07	17.5	26.0	17.9	12.9	0.69	0.72
5.	სვეტის თავიდან	8.6	2.63	2.07	21.3	20.3	15	11.6	0.74	0.77
6.	სვეტის ბურჯიდან	4.2	2.46	1.90	22.7	20.4	15	11.6	0.74	0.77
#	ჩრდილო კედელი, ჩრდილ-დასავლ. კუთხე									
7.	ფასადი	3.8	2.6	2.18	16	17.2	10.8	7.6	0.63	0.70
8.	ინტერიერი სარკმელის ქვეშ	6.2	2.45	1.95	20	17.9	11.2	8.0	0.62	0.71
9.	ფასადი	7.5	2.7	2.17	19.6	21.3	17.5	13.6	0.82	0.78
#	დასავლეთის კედელი კარიბჭესთან H= 1მ									
10.	ფასადი	3.5	2.62	2.19	16.7	19.7	12.0	8.4	0.61	0.70

11.	ინტერიერი	4.7	2.68	2.27	15.3	20.3	15	11.8	0.74	0.79
#	აღმოსავლეთის კედელი H= 1მ									
12.	ფასადი	2.3	2.65	2.14	19.2	15.3	9.48	6.6	0.62	0.70
13.	ინტერიერი	3.6	2.65	2.08	21.2	17.5	11.2	7.84	0.64	0.70

**დაზიანებული წითელი ფერის ქვების დოლომოტიზირებული კირქვების
ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლები**

ცხრილი #7

#	სინჯების აღების ადგილი	წყლის შთანთქმის უნარი %	სიმკვრივე გ.სმ ³	მოცულობითი მასა გ.სმ ³	ფორიანობა %	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე მპა			დარბილების კოეფიციენტი	ყინვამდეგობის კოეფიციენტი
						ჰაერ-მშრალი მდგომარეობაში	წყლით გაჟღენთილ მდგომარეობა ში	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

**დაზიანებული ნაცრისფერი ქვების (კირქვების) ფიზიკო-მექანიკური
მახასიათებლები**

ცხრილი #8

#	სინჯების აღების ადგილი	წყლის შთანთქმის უნარი %	სიმკვრივე გ.სმ3	მოცულობითი მასა გ.სმ3	ფორიანობა %	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე მპა			დარბილების კოეფიციენტი	ყინვამდებობის კოეფიციენტი
						ჰაერ-მშრალი მდგომარეო- ბაში	წყლით გაქვნილილ გაყინვის ციკ 25 ჯამით	მშრალი		
#	ჩრდ. კედელი, აღმოსავლეთის კუთხე H=1მ									
21.	ფასადი	9.48	2.5	2.0	20	12.7	7.8	5.5	0.62	0.70
22.	ინტერიერი	7.4	2.4	1.94	19	14.5	8.7	6.8	0.60	0.78
23.	ინტერიერი	6.7	2.35	1.82	22	14.3	9.0	6.2	0.63	0.89
#	დასავლეთის კედელი									
24.	სვეტის თავიდან	6.0	2.51	1.87	2.55	16.3	10.1	8.16	0.62	0.80
25.	სვეტის ბურჯიდან	5.8	2.52	2.03	19.4	17.7	10.9	8.44	0.62	0.80
#	აღმოსავლეთის კედელი									
26.	სვეტის თავიდან	47.5	2.48	2.05	17.3	18.0	11.52	9.33	0.64	0.80
27.	სვეტის ბურჯიდან	10.4	2.42	1.96	19.0	18.7	11.9	8.72	0.64	0.73

2.3. დუღაბის გამოკვლევა

სადისერტაციო ნაშრომში ჩატარებულია კვლევები დუღაბის ტიპის შერჩევისათვის. ტაძრის მზიდ კედლებში გამოყენებული იყო კირდუღაბის ნარევი.

კირდუღაბების სიმტკიცე, წყალმედეგობა, ატმოსფერო მედეგობა და სხვა ფიზიკო-მექანიკური თვისებები განპირობებულია მასში შემავალი კომპონენტების ხარისხიანობით, მათი რაოდენობრივი შეფარდებით და კირდუღაბის ნარევის გამყარების რეჟიმით.

კირდუღაბის შემადგენელი კომპეტენტურობებია: კირი, ქვიშა, წყალი და სპეციალური დანამატები. სპეციალური დანამატებით იზრდება კირდუღაბების სიმტკიცე, წყალმედეგობა და ადჰეზიის უნარი.

სპეციალურ დანამატებად გამოიყენება აგურფხვნილი, კერამიკის ფხვნილი, პუცოლანა, დიატომიტი, ხაჭო, კვერცხის ცილა, ხარის სისხლი და ა.შ. დიდი მნიშვნელობა აქვს კირდუღაბის კომპონენტების ხარისხიანობას, რამდენადაც ამ ფაქტორზე მკვეთრად არის დამოკიდებული კირდუღაბის შემდგომი თვისებები. კირდუღაბის მომზადების წინ მოწმდება კირის ხარისხი. კირი, რომელიც სათანადოდ არ არის ჩამქრალი, მშენებლობაზე არ გამოიყენება.

კირი ორგვარია: ჰაერული და ჰიდრავლური. ჰაერული კირი მყარდება და ინარჩუნებს სიმტკიცეს მხოლოდ ჰაერზე. ჰიდრავლური კირი მყარდება და ინარჩუნებს სიმტკიცეს როგორც ჰაერზე, ასევე წყალში.

ჰაერული კირი მიიღება 6%-მდე თიხოვანი მასის შემცველი კირქვების ნელი გამოწვით 1000–1200°C-ზე. ჰიდრავლური კირი მიიღება 6–20% თიხოვანი მასის შემცველი მერგელური კირქვების გამოწვით 900–1100°C-ზე. ჰიდრავლური კირის მიღება შეიძლება აგრეთვე ჰაერული კირისა და პუცოლანური დანამატის ხელოვნურად შერევით.

რომაელები ჩვენი წელთაღრიცხვის დამდეგს სამშენებლო საქმეში უკვე იყენებდნენ ჰიდრავლურ კირს. დაახლოებით 2000 წლის წინათ ჩვენს წელთაღრიცხვამდე მათთვის უკვე ცნობილი იყო ზოგიერთი ნივთიერების უნარი, მიენიჭებინათ ჰაერ კირისათვის ჰიდრავლური თვისებები. პლინუსი და სენკა აღნიშნავენ, რომ ჰიდრავლურობის მისანიჭებლად რომაელები ჩამქრალ ჰაერკარზე მომზადებულ დუღაბს უმატებდნენ წინასწარ გამომწვარ და დაქუცმაცებულ თიხას, აგურის ნაფხვენს ან ვულკანურ ფერფლს, რომელსაც ისინი ქალაქ პუცოლის ახლოს იღებდნენ. შემდგომში ამ ტიპის აქტიურ მინერალურ დანამატს, რომლებსაც უნარი აქვთ ჰიდრავლური თვისებები მიანიჭონ ჰაერკირს, პუცოლანური დანამატები ეწოდათ. პუცოლანური დანამატები ჰაერკირთან სხვადასხვა ოდენობით შერევის შედეგად კირდუღაბებს ანიჭებენ მოყვითალო ან მოვარდისფრო შეფერილობას.

კირდუღაბის მეორე კომპონენტი–შემავსებელი უნდა იყოს აგრეთვე საუკეთესო ხარისხის. მიზანშეწონილია ვულკანური წარმოების ქვიშების გამოყენება, რადგან ისინი ურთიერთქმედებენ კირთან. საყურადღებოა ქვიშის მარცვლების მოყვანილობა. მარცვლები დაკუთხულია თუ მომრგვალებული, კირსა და ქვიშას შორის უნდა შეირჩეს თანაფარდობა გამოყენებული ქვიშის ჯიშის შესაბამისად. კირსა და ქვიშას შორის თანაფარდობას განსაზღვრავს დუღაბის მომავალი დანიშნულება. თანაფარდობა კირსა და ქვისას შორის იცვლება 1:2; 1:4.

ხსნარის გამყარების რეჟიმი დამოკიდებულია დუღაბის ფიზიკო–მექანიკურ თვისებებზე. იმის მიხედვით, თუ რომელი კომპონენტისაგან შედგება ხსნარი, როგორია ამ კომპონენტების თანაფარდობა, ხსნარის გამოყენება უნდა წარიმართოს განსხვავებული რეჟიმით. ზოგჯერ საჭიროა გამყარება მიმდინარეობდეს მშრალ პირობებში, ზოგჯერ ტენიან გარემოში. ზოგ შემთხვევაში კი მშრალ, შემდეგ კი ტენიანი პირობებია უკეთესი.

ძველ დუღაბში გამოყენებული მასალებისა და ტექნოლოგიის დასადგენად უნდა ჩავატაროთ სამშენებლო ხსნარის ფიზიკო–ქიმიური და

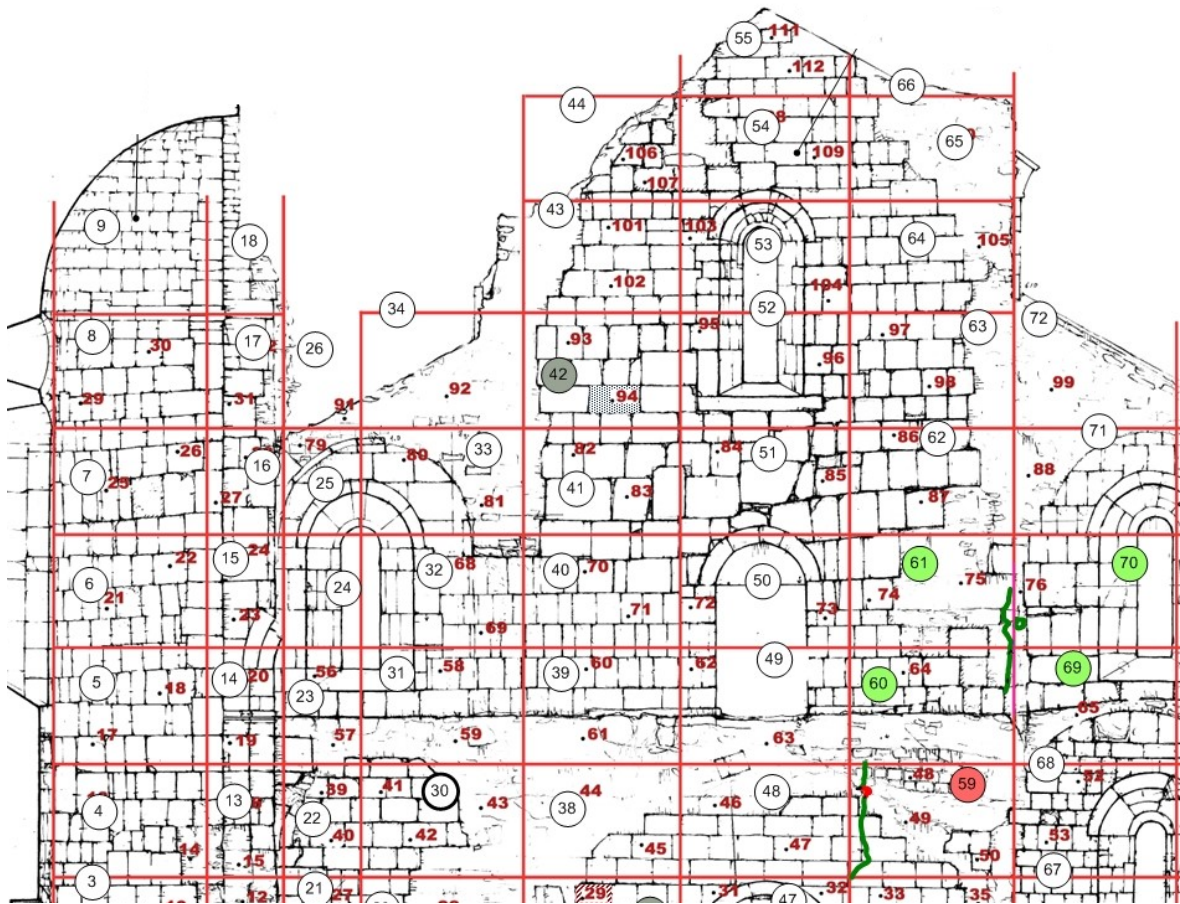
ფიზიკო-მექანიკური გამოკვლევა. კომპლექსური გამოკვლევა საშუალებას მოგვცემს დავადგინოთ ხსნარის ნივთიერი, ფრაქციული შემადგენლობა, გამოვიკვლიოთ ქვის პეტროგრაფია. დავადგინოთ ხსნარის გამყარების რეგულირებისათვის დამატებული სპეციალური დანამატის რაობა. ქვიშის პეტროგენეზისის გათვალისწინებით დავადგინოთ რაოდენობრივი თანაფარდობა კირსა და ქვისას შორის.

„ძველი“ დულაბის შემადგენლობის და ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების განსაზღვრისათვის სინჯები ავიღეთ ტაძრის განსხვავებული ადგილებიდან: სინჯი # 1- 4 – ავიღეთ სამხრეთის კედლის წყობიდან; # 5 – 7 – აღმოსავლეთის კედლის წყობიდან; # 8 –10 – დასავლეთის კედლის წყობიდან; # 11-14 – ჩრდილო კედლის წყობიდან; #15-16-სვეტის თავის და სვეტის ბურჯებს შორის განთავსებული დულაბიდან (ნახ.9).

სხვადასხვა ადგილიდან აღებული დულაბის სინჯების კომპლექსური გამოკვლევა საშუალებას მოგვცემს სწორად განვსაზღვროთ სამშენებლო ხსნარის მასალები და ტექნოლოგია.

ტაძრის დასავლეთის კედლის შიგა მხარე და ჩრდილოეთის მკლავის რუქა საკვლევი უჯრედების, წერტილების და დაზიანებების ჩვენებით.

ვიზუალურად, დულაბის ყველა სინჯი ერთგვაროვანია. სინჯებს აქვთ მოთეთრო-რუხი ფერი. დულაბი არის წვრილმარცვლოვანი შავი ფერის ქვიშა და კირქვის ნატეხები. ჩავატარეთ სინჯების ექსპრეს-ანალიზი. ანალიზის მონაცემებით შემკვრელსა და შემავსებელს შორის ფარდობა საშუალოდ არის 1:1.5. ასეთი თანაფარდობა დაბალია. ექსპრეს ანალიზის დროს დულაბი



ნახ. 9. ტაძრის დაზიანებული კედლების სქემა

მუშავდება 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.

შემკვრელსა და შემავსებლს შორის თანაფარდობის დასაზუსტებლად, დუღაბის კომპონენტების ქიმიური შემადგენლობის დასადგენად ჩავატარეთ სინჯების რაოდენობრივი ქიმიური ანალიზი. შედეგები იხ. ცხრ.#9. სინჯების ქიმიურმა ანალიზმა გვიჩვენა, რომ დუღაბის ყველა სინჯში CaO-ის პროცენტული რაოდენობა გაცილებით დაბალია იმ რაოდენობასთან შედარებით, რომელიც დამახასიათებელია ხარისხიანი

კირდულაბებისათვის. სინჯებში CaO-ს პროცენტული რაოდენობა არის 15–დან 25–მდე. მომატებულია სილიციუმის და სხვა ოქსიდების პროცენტული რაოდენობა. SiO₂ 33 ÷ 47%–მდე, H₂O₃-ს 7.4 ÷ 10%–მდე, Fe₂O₃ 2.4÷3.5%–მდე.

რაოდენობრივი ქიმიური ანალიზის მონაცემებით, დულაბებში გამოყენებული უნდა იყოს მერგალური კირქვები.

ქიმიური ანალიზის მონაცემებით გავიანგარიშეთ თანაფარდობა შემკვრელსა და შემავსებელს შორის. ეს თანაფარდობა სინჯებისათვის 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 ტოლია 1:3, ხოლო სინჯებისათვის #14,15,16 ტოლია 12.5. ასეთი სხვაობა დასაშვებია, თუ ვიგულისხმებთ იმ ფაქტს, რომ პრაქტიკულად შეუძლებელია კირდულაბის შემადგენლობა მთელ კომპლექსზე მკაცრად ერთი და იგივე ყოფილიყო და არ ყოფილიყო შემთხვევითი ტექნოლოგიური გადახრები.

შემავსებლის 2.5–3–ჯერ მეტი რაოდენობით აღება შემკვრელთან შედარებით ოდითგანვე იყო ე.წ. „მსუქანი“ ჰიდრავლური კირის გამოყენების დროს.

დულაბის სინჯების პეტროგრაფიულმა გამოკვლევამ გვიჩვენა, რომ დულაბის სინჯების მინერალოგიური შემადგენლობა, ძირითადად, ერთნაირია. შემკვრელი მასა ყველგან წარმოდგენილია მომრგვალებული ფორმის პელიტომორფული კირქვის, კალციტის და სუსტად გადაკრისტალებული კარბონატული ქანის ნატეხებით, ზომით 0.3–1მმ–მდე. მათი რაოდენობა შლიფის არეში შეადგენს 10%–ს.

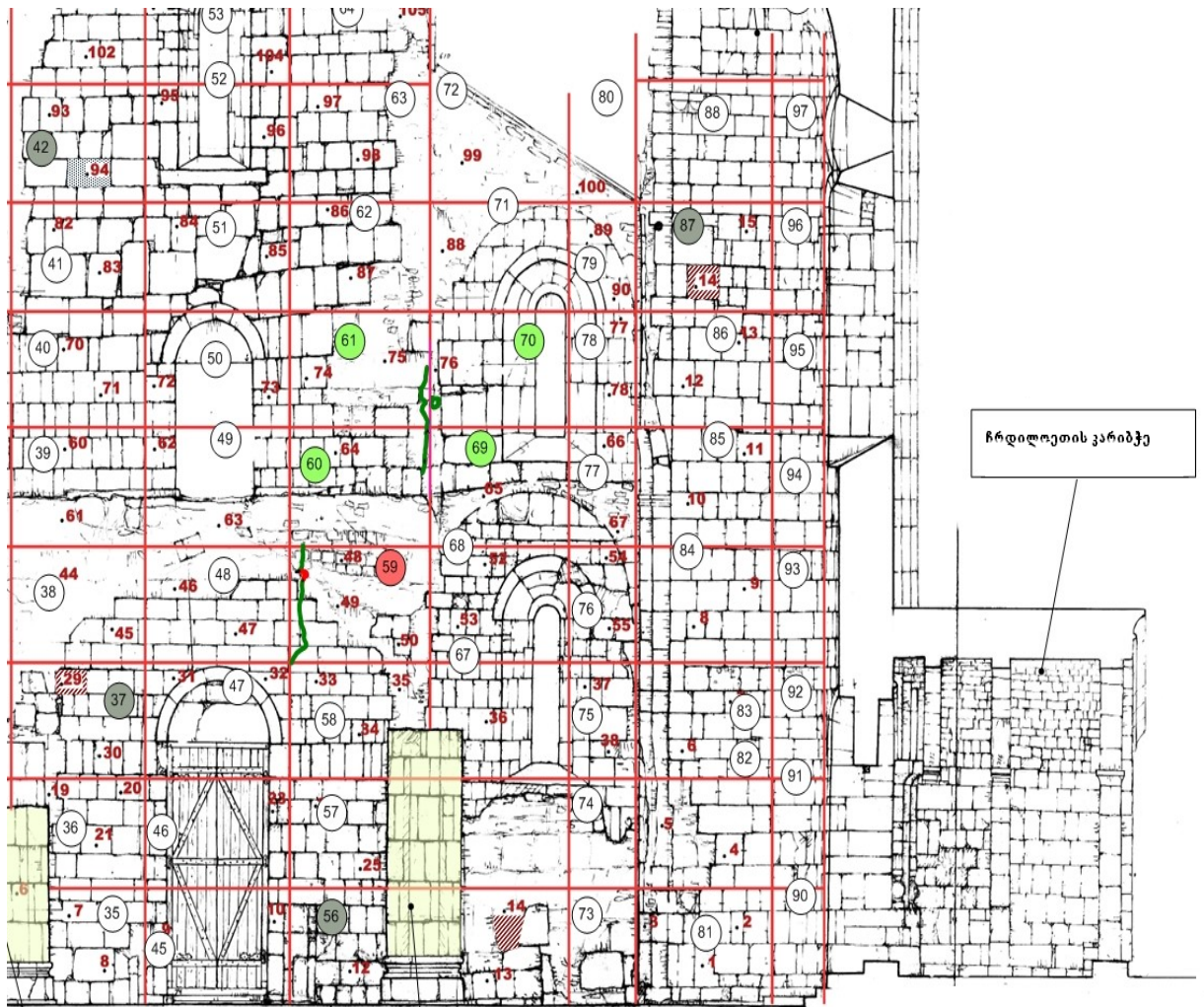
აღმოსავლეთის კედლის შიდა მხარე და ჩრთილოეთისა და სამხრეთის მკლავის რუკა საკვლევი უჯრედებისა და დაზიანების წერტილების ჩვენებით.

სინჯებში #1,4,5,8,13,14 კარბონატული ქანის ნამსხვრევების ზომა 0.3–მმ–მდეა; #2,3,7,6,9,10,11,12 სინჯებში 0.5მმ–მდეა, ხოლო #15,16 სინჯში 0.04–დან 0.05 მმ–მდე.

შემკვრელ მასაში არის აგრეთვე კრიპტოკრისტალური, თითქმის იზოტროპული თიხოვანი მასა. კიროვანი მასა ნაკლებად კარბონატულია და

უფრო მეტად საქმე გვაქვს ჰიდროკრისტალურ გელისებრ წარმონაქმთან, რის გამოც უნდა ვიგულისხმოთ რომ ხმარებული კირი მიეკუთვნება ჰიდრაულურს.

დულაბის შემავსებელია შავი ფერის წვრილმარცვლოვანი (ნაგორები) დაკუთხული და დამრგვალებული ფორმის ქვიშის მარცვლები. მარცვლების ზომაა (0.1–1.5) მმ–ია. შემავსებელის შემადგენლობაში არის აგრეთვე მინდვრის შპატები, მადნეული მინერალის, პიროქსენის მარცვლები და კარბონატული ქანის ნატეხები. კარბონატული ქანის ნატეხები წარმოდგენილია დაკუთხული და მომრგვალებული ფორმის პელიტომორფული, წვრილკრისტალური და ეფუზიური ქანის ნატეხებით. ამ მონაცემების თანახმად შეიძლება დავასკვნათ, რომ დულაბებში შემავსებლად გამოყენებული იყო მდინარის ქვიშის წვრილი ერთგვაროვანი ფრაქცია და კირქვული ქანის ნამსხვრევები. კირქვის ნამტვრევები, მოთავსებული კიროვან ხსნარში, საკმაოდ რეაქციული ურთიერთქმედებისაა და ხელს უწყობს შეჭიდულობის გაზრდას.



ნახ.10. საკვლევი წერტილების რუკა

დულაბის სინჯების ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლები მოცემულია ცხ. #10. დულაბის სინჯების ფიზიკო-მექანიკური თვისებები აკმაყოფილებს იმ აუცილებელ მოთხოვნებს, რომელიც წაყენება კედლის წყობის დულაბებს, სტანდარტით 5802-78.

დულაბის ქიმიური შემადგენლობა %

ცხრილი # 9

#	სინჯების აღების აღვილი	H ₂ O	ბ. დ	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	5% HCl- ში უხსნადი ნაშთი	კარბონიზი რებული CaO	CaCO ₃	კარბონიზა ციის ხარისხი%
#	სამხრეთის კედელიდან												
	#1	7.94	14.42	40.8	8.2	3.0	15.2	3.4	0.85	53.84	14.1	25.10	92
	#2	7.80	14.50	41.4	8.6	3.5	14.8	2.1	0.75	54.03	13.9	24.8	94
	#3	7.78	14.44	41.1	8.8	2.7	15.0	2.8	0.8	58.25	14.5	25.9	97
	№4	8.02	15.0	42.3	8.7	3.2	14.73	2.73	0.68	54.02	14.0	25.0	95
#	აღმოსავლეთის კედელიდან												
	#5	2.82	13.82	46.3	9.3	3.32	15.4	1.7	0.21	62.62	14.4	25.6	93
	#6	3.0	13.95	44.2	9.45	3.39	14.97	1.7	0.02	62.74	14.0	24.9	94
	#7	2.91	14.05	47.7	9.40	3.25	14.52	1.81	0.19	63.01	14.8	24.7	90
#	დასავლეთის კედელიდან												
	#8	6.44	14.30	3.91	8.3	2.92	16.9	4.2	0.89	53.44	16.0	28.48	98
	#9	4.70	15.73	45.8	9.32	3.21	15.84	3.4	0.8	56.83	15.3	27.93	96
	#10	5.21	14.88	39.6	8.1	2.52	16.4	2.9	0.78	54.02	15.8	28.12	96
#	ჩრდილოეთის კედელიდან												
	#11	1.44	19.28	37.8	7.4	2.52	23.5	2.5	0	52.74	21.8	38.8	93
	#12	3.12	20.92	32.9	6.8	2.50	24.8	2.4	0.32	47.44	23.2	41.3	93
	#13	2.7	19.0	40.1	8.2	2.45	20.5	2.4	0.53	45.8	19.3	34.4	94
	#14	1.75	19.45	38.5	8.5	2.53	22.7	2.0	0.42	46.3	21.4	38.2	94
#	ბურჯებს შორის												
		2.42	12.46	47.3	9.6	2.40	15.3	4.2	0.27	64.18	13.7	24.4	90
#	აღდგენილი ბურჯები												
		2.40	12.44	44.4	10.3	3.40	17.4	4.8	0.75	59.92	16.7	28.3	95

დულაბის სინჯების ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლები

ცხრილი#10

ს ი ნ ჯ ი #	ტენ იან ობა	წყლის შთან თქმის უნარი	შემკვ რელ	სიმკ ვრი ვე გ.სმ ³	მოცუ ლობი თი მასა გ.სმ ³	ფორი ანობა %	სიმტ კიცე კუმშ ვაზე კგ.სმ ²	გაყინვ ა- გაღლ ობის ციკლ ი
			შემავ სებლ					
1.	7.9	17.8	1: 3.4	2.08	1.90	9.0	80	გაყინვა-გაღლობის 5 ციკლის 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	

მეგლის კედლის წყობაზე გამოყენებული დულაბის სინჯების ქიმიურმა და პეტროგრაფიულმა ანალიზმა გვიჩვენა, რომ დულაბის შემკვრელი მასაა კირის ხსნარი. შემკვრელ მასაში არის პელიტომორფული კირქვა და კრიპტოკრისტალური თიხოვანი მასა, რის გამოც უნდა ვიგულისხმოთ, რომ დულაბის შემკვრელად გამოყენებული იყო ჰიდრავლური კირი, რომელიც დროთა განმავლობაში განიცდის ცვლილებებს და მიდრეკილია გარდაიქმნას კირქვეულ თიხად. დულაბში შემავსებლად გამოყენებულია წვრილმარცვლოვანი (0.1–1.5) მმ ზომის მდინარის ქვიშა და კირქვეული ქანის ნამსხვრევები. ფარდობა შემკვრელსა და შემავსებელს შორის არის 1:2.5 და 1:3.

ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლებით დულაბის სინჯები აკმაყოფილებენ მოთხოვნებს, რომლებიც წაყენებათ კედლის წყობის დულაბებს სტანდარტით 5302–278.

ქვის სინჯების ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლები

ცხრილი #11

#	პარამეტრების დასახელება	მოყვითალო- მოვარდისფრო	მოწითალო	ნაცრისფერი
1.	წყლის შთანთქმის უნარი %	2.3–12.2	3.7–11	4.5–10.4
2.	სიმკვრივე გ.სმ ³	2.2–2.68	2.4–2.6	2.4–2.5
3.	მოცულობითი მასა გ.სმ ³	1.8–2.27	2.07–2.3	1.82–2.05
4.	ფორიანობა %	15–23.6	9.5–16	19–25.5
5.	სიმტკის ზღვარი კუმშვაზე მგპ	15.3–26	14.0–18.5	12.7–18.7
	ა) ჰაერმშრალ მდგომარეობაში	9.48–17.8	9.2–14.6	7.8–11.9
	ბ) წყლით გაჯერებულ მდგომარეობაში	6.9–14.9	7.6–10.8	5.5–9.3
	გ) გაყინვა-გაღობის 25 ციკლის შემდეგ			
6.	დარბილების კოეფიციენტი	0.61–0.92	0.60–0.70	0.60–0.78
7.	ყინვამედეგობის კოეფიციენტი	0.70–0.85	0.73–0.83	0.69–0.80
#	პარამეტრების დასახელება	მოყვითალო- მოვარდისფრო	მოწითალო	ნაცრისფერი
1.	წყლის შთანთქმის უნარი %	2.3–12.2	3.7–11	4.5–10.4
2.	სიმკვრივე გ.სმ ³	2.2–2.68	2.4–2.6	2.4–2.5
3.	მოცულობითი მასა გ.სმ ³	1.8–2.27	2.07–2.3	1.82–2.05
4.	ფორიანობა %	15–23.6	9.5–16	19–25.5
5.	სიმტკის ზღვარი კუმშვაზე მგპ	15.3–26	14.0–18.5	12.7–18.7
	ა) ჰაერმშრალ მდგომარეობაში	9.48–17.8	9.2–14.6	7.8–11.9
	ბ) წყლით გაჯერებულ მდგომარეობაში	6.9–14.9	7.6–10.8	5.5–9.3
	გ) გაყინვა-გაღობის 25 ციკლის შემდეგ			
6.	დარბილების კოეფიციენტი	0.61–0.92	0.60–0.70	0.60–0.78
7.	ყინვამედეგობის კოეფიციენტი	0.70–0.85	0.73–0.83	0.69–0.80

დულაბის სინჯების ყინვამედეგობა დაბალია. დულაბის ყველა სინჯი (#1-ის გამოკლებით) ციკლის გავლის შემდეგ დაიშალა. სინჯმა #1 გაუძლო გაყინვა-გაღობას 12 ციკლს, სახელმწიფო სტანდარტით 7025–8 კედლის წყობის დულაბის ყინვამედეგობის მარკა 25–35–ია.

ყველა ლაბორატორიული გამოცდა ჩატარდა სტანდარტების შესაბამისად.

2.4 ტაძრის კედლების საინექციო სამუშაოების წარმოება

ტაძრის კედლების საინექციო სამუშაოების შესრულების შემდეგ განხორციელდა საკონტროლო ხვრელების ცემენტაცია. გეორადარული კვლევებით გამოვლენილი იქნა ის უბნები, სადაც ცემენტის რძემ ვერ ან არასრულყოფილად შეაღწია კედლების სიცარიელებში.

საინექციო ხვრელების მოსაწყობად ძირითადად შერჩეული იქნა საპერანგე ქვების წყობის კუთხეები, რათა გაბურღვისას ქვის ზედაპირები არ დაზიანებულიყო. კირქვების წყობაში საცემენტაციო ხვრელები გაიბურღა შედარებით მეტი სიხშირით – ხვრელების დაცილებამ ერთმანეთისაგან შეადგინა 20–30 სმ.

საცემენტაციო ხვრელების გაბურღვა ხდებოდა ორ ეტაპად თარაზული სიბრტყისადმი დაახლოებით 30° დახრის კუთხით, პირველ ეტაპზე იბურღებოდა 16 მმ დიამეტრის 480 მმ სიგრძის ბურღებით, ხოლო შემდეგ ხდებოდა მათი ჩაღრმავება იმავე დიამეტრის 780 მმ სიგრძის ბურღით. ხვრელების ამოწმენდა ნაბურღი ნაფხვენისა და მტვრისაგან ხდებოდა შეკუმშული ჰაერი ჭავლით, რომელიც მეტად ეფექტური აღმოჩნდა წვრილ დიამეტრიანი ხვრელებისათვის.

ყორექვის წყობის (ფეხურები, ანტრესორის ჩამაგრების ადგილები) ზედაპირი, ცემენტის რძის დაკარგვის თავიდან აცილების მიზნით საინექციო ხვრელების გაბურღვამდე წინასწარ იფარებოდა (ილესებოდა) ქვიშა–ცემენტის ბათქაშით, რომლის ფართობი შეადგინა 133,73 მ².

საინექციო ნარევი მზადდებოდა 400 მარკის პორტლანდცემენტისა და სასმელი წყლის ურთიერთშერევით 0,65 წყალ/ცემენტის ფარდობით. საინექციო ნარევი, დენადობის გასაზრდელად, ემატებოდა სუპერპლასტიფიკატორი ცემენტის მასის 0.5%-ის ოდენობით. ნარევის მომზადება და საინექციო ხვრელებამდე მისი მიწოდება ხდებოდა შვეიცარიული დანადგარით, “HANY H-8706 MEILEN SWITZERLAND TYP2650BN-47 №A04.4231AZ“.

ხვრელებში საინექციო ნარევის ჩასხმა ხდებოდა ონკანიანი კონუსისებური ბუნიკ–სასხურებლით, რომელიც შლანგებით მიერთებული იყო დანადგართან.

საინექციო ნარევი მიეწოდებოდა 0,1–0,3 მპა წნევით ხვრელების სიმაღლეში განლაგების გათვალისწინებით.

ტაძრის კედლების საინექციო სამუშაოების შედეგები ცალკეული კონსტრუქციების მიხედვით წარმოდგენილია სქემებისა და ცხრილის სახით, სადაც მოცემულია ხვრელების ნუმერაცია და თვითეულ ხვრელში დახარჯული ცემენტის რძის მოცულობები ლიტრებში. გამოყვანილია თვითეულ კონსტრუქციაზე დახარჯული საცემენტაციო ნარევის როგორც ჯამური, ისე ერთ ხვრელზე დახარჯული გასაშუალებელი (ხვედრითი) მოცულობები ($V_{\text{ხვ}}$) ლიტრებში.

2.5. აღდგენილი კედლების საკონტროლო საინექციო სამუშაოების კვლავწარმოება

ტაძრის კედლებში გეო-რადარული კვლევებით გამოვლენილი გადასამოწმებელი უბნების ცემენტაციისათვის გამოყენებული იქნა იგივე დანადგარი და იგივე ტექნოლოგია, რაც ძირითადი ხვრელების ცემენტაციისას იყო გამოყენებული ($\text{წყ/ც} \approx 0,65$; სუპერპლასტიფიკატორი – 0,5% ცემენტის მასის).

პირველი უბანი მოიცავს სამხრეთი მკლავის ინტერიერის აღმოსავლეთი მხარის ზედა ნაწილს.

გეო-რადარული კვლევებით აქ შეინიშნება „არეკვლები პერანგისა და (ქვითვირის წყობის) გამყოფი ზედაპირიდან,“ ხოლო „პროფილების ცენტრალურ ნაწილში შენიშნულია პასიური ზონა არეკვლების გარეშე, რაც სავარაუდოდ სიცარიელეს ან გამოფიტულ დასუსტებულ არიელზე მიუთითებდა ...“

ამ უბანზე მოეწყო 62 საინექციო ხვრელი, რომელთა ცემენტაციაზე დაიხარჯა 308,44 ლიტრი ცემენტის რძე. აქედან 221,6 ლ. (71,85%) მოხმარდა ექვსი (968% ხვრელის შევსებას 28,71ლ. (9.31%) ჩაისხა ოთხ (6,45%) ხვრელში, ხოლო დანარჩენი 58.13 ლიტრით(18,84%) შეივსო დანარჩენი 52 (33,87%) ხვრელი.

მეორე უბანი მოიცავს ტაძრის სამხრეთი კედლის ინტერიერის „ზ-ო“ ღერძებს შორის.

გეო-რადარული კვლევებით ამ უბანზე შეინიშნება „მკვეთრი არეკვლები, როგორც პერანგსა და წყობას შორის, ასევე უფრო ღრმა კერებიდან წყობის შიგნით.

ეს არეკვლები მკვეთრად განსხვავდება 1-3 პროფილების ერთგვაროვანი სურათისგან“ .

ამ უბანზე გაიბურღა 34 საინექციო ხვრელი, რომელთა ცემენტაციაზე დაიხარჯა 41,50ლ. ცემენტის რძე. აქ შედარებით მაღალი ხარჯი (6,86ლ.-16,53%) აღინიშნა მხოლოდ ერთ ხვრელში, ორ ხვრელში $-2,33 + 2,47 = 4,8$ ლ-11,57%, ხოლო დანარჩენი 29,84ლ. -71,9% მოხმარდა 31 ხვრელის შევსებას.

მესამე უბანი მოიცავს ტაძრის ჩრდილოეთის ფასადის „თ-ი“ ღერძებს შორის მონაკვეთს. გეო-რადარული გამოკვლევით „5-7“ პროფილებზე სურათი მკვეთრად იცვლება და შემოდის მკვეთრი არეკვლები სავარაუდოდ 15-30 სმ.სიღრმიდან“. აღნიშნული უნდა მიუთითებდეს ცუდ კონტაქტზე პერანგსა და წყობას შორის.

კედლების ინტერიერში ცემენტაციის ჯამური შედეგები

ცხრილი #12

#	დაცემენტებული უბნები (კონსტრუქციები)	ნახაზი	ცხრილი	დაცემენტებული ხვრელების რაოდენობა	დახარჯული საინექციონარევილი	ერთ ხვრელზე დახარჯული საინექციონარევილი
1.	საკურთხეველი	3	1	453	4106,69	9,07
2.	სადიაკვნე ა)ხედი ჩრდილოეთით ბ)ხედი აღმოსავლეთით გ)ხედი სამხრეთით	1	1	142	174,77	1,23
		1	1	61	88,59	1,45
		1	1	196	881,72	4,50
3.	სამხრეთის კედელი „ზ-ი“ ღერძებს შორის	1	1	164	848,74	5,18
4.	სამხრეთის მკლავი	3	1	256	207,06	0,81
5.	სამხრეთის კედელი „ბ-ე“ ღერძებს შორის	2	1	149	161,87	1,09
6.	ჩრდილოეთის კედელი „ბ-ე“ ღერძებს შორის	1	1	196	369,34	1,88
7	ჩრდილოეთი	3	1	431	2255,47	5,23

.	ს მკლავი					
8	ჩრდილოეთი ს კედელი „ზ- ი“ ღერძებს შორის	1	1	304	813,96	2,68
9	სამკვეთლო ა)ხედი ჩრდილოეთი თ ბ)ხედი აღმოსავლეთ ით გ)ხედი სამხრეთით					
		1	1	49	41,25	0,84
		1	1	60	57,59	0,96
		1	1	164	1957,85	11,94
		20	13	2625	11964,90	46.86

**ბაგრატის ტაძრის კედლებში ანტრესოლის პერიმეტრისა და ყორექვის წყობის
ცემენტაციის შედეგების ჯამი**

ცხრილი #13

#	დაცემენტებული უბნები (კონსტრუქციები)	ნახ .	ცხ რ.	დაცემენტე ბული ხვრელების რაოდენობა	დახარ ჯული საინექციო ნარევი ლ	ერთ ხვრელზე დახარჯული საინექციო ნარევი ლ
1.	ქვედა ფეხურა სადიაკვნოსთან (ბათქაში- 8,40მ ²)	1	1	56	19,67	0,35
2.	ზედა ფეხურა სადიაკვნოს-თან (II სართული) (ბათქაში- 4,50 მ ²)	1	1	27	10,52	0,39
3.	ფეხურები სამხრ. მკლავზე „ზ“ღერძზე (ბათქაში – 10,35მ ²) „ე“ღერძზე (ბათქაში – 10,35მ ²)	1	2			
				65	453,27	6,97
				64	75,97	1,19
4.	ანტრესორის საყრდენი სამხრეთ კედელზე „ბ-ე“ მონაკვეთი; (ბათქაში – 30,00 მ ²)	1	1	112	39,13	0,35
5.	ფეხურა სამხრეთ კედელზე –ანტრესორის თავზე; (ბათქაში – 7,0 მ ²)	1	1	44	27,20	0,62

6.	ანტრესორის საყრდენი დასავლეთის კედლის სამხრეთის თაღზე ;(ბათქაში – 32,0 მ ²)	1	1	123	80,55	0,66
7.	ანტრესორის საყრდენი დასავლეთი კედლის შუა თაღზე ; (ბათქაში – 12,75 მ ²)	1	1	57	36,58	0,64
8.	ფეხურა დასავლეთის კედელზე–ანტრესორის თავზე;ა) სამხრე. (ბათქაში – 8,70მ ²); ბ)ჩრდილ. (ბათქაში – 8,08მ ²)	1	2			
				66	151,49	2,30
				76	85,29	1,12
9.	ანტრესორის საყრდენი დასავლეთის კედლის ჩრდილოეთის თაღზე (ბათქაში – 30,0მ ²)	1	1	79	42,01	0,53
10.	ანტრესორის საყრდენი ჩრდილოეთის კედლის „ბ-ე“ მონაკვეთზე;(ბათქაში – 28,75 მ ²)					
		1	1	111	97,83	0,88
11.	ფეხურა ჩრდილოეთის კედელზე მკლავის დასავლეთით (ბათქაში – 3,75 მ ²)	1	1	29	54,04	1,86
12.	ფეხურა ჩრდილოეთის მკლავზე; ა) „ე“ ღერძზე (ბათქაში – 10,35 + 2,0 მ ²) ბ) „ზ“ ღერძზე (ბათქაში – 10,35მ ²)	1	2			
				64	73,87	1,15
				54	123,64	2,46
13.	ფეხურა ჩრდილოეთის კედელზე სამკვეთელოს-თან (II სართ.) (ბათქაში– 8,4 მ ²)	1	1	89	36,68	0,41
14.	ფეხურა ჩრდილოეთის კედელზე სამკვეთელოს-თან (II სართ.) (ბათქაში– 8,0 მ ²)	1	1	51	159,79	3,13
		14	17	1167	1567,53	25,01

**ბაგრატის ტაძრის კედლების ცემენტაციის შედეგების
ჯამი**

ცხრილი# 14

#	დაცემენტებული უბნები (კონსტრუქციები)	ნახზ. რად.	ცხრ. რაოდ.	დაცემენტე ბული ხვრელების რაოდენობა	დახარ ჯული საინექცი ო ნარევი ლ	ერთ ხველზე დახარჯუ ლი საინექციო ნარევი ლ
1.	სამხრეთის კარიბჭის ინტერიერი					
	ა) ხედი აღმოსავლეთით	1	1	82	94,11	1,15
	ბ) ხედი დასავლეთით	1	1	78	199,08	2,55
2.	სამხრეთის კარიბჭის ფასადი					
	ა) ხედი დასავლეთით	1	1	96	199,90	2,08
	ბ) ხედი აღმოსავლეთით	1	1	75	1047,68	13,97
3.	დასავლეთ კარიბჭის ფასადი					
	ა) ხედი ჩრდილოეთით (მონაცემები თაღში ჩაღვრილი 1840,60 ლ. ცემენტის რძის გარეშე)	1	1	31 (30)	2094,76 (254,16)	67,5 (8,47)
	ბ) ხედი აღმოსავლეთით	1	1	50	112,44	2,25
4.	კოშკის კედლების ინტერიერი					
	ა) ხედი სამხრეთით	2	1	190	306,78	1,61
	ბ) ხედი დასავლეთით	1	1	58	295,55	5,10
	გ) ხედი ჩრდილოეთით	1	1	126	354,83	2,82
5.	კოშკის კედლების ფასადი					
	ა) ხედი ჩრდილოეთით	1	1	117	453,30	3,87
	ბ) ხედი აღმოსავლეთით	1	1	188	282,59	1,50
	გ) ხედი სამხრეთით	1	1	71	140,50	1,98
		13	12	1162 1161	5581,52 3740,92	4,80 3,28

გეო-რადარული გამოკვლევით „5–7“ პროფილებზე, სურათი მკვეთრად იცვლება და შემოდის მკვეთრი არეკვლები სავარაუდოდ 15–30 სმ სიღრმიდან“. აღნიშნული უნდა მიუთითებდეს ცუდ კონტაქტზე პერანგსა და წყობას შორის.

ამ უბანზე გაიბურღა 22 ხვრელი, რომელთა შევსებაზე დაიხარჯა 23,84 ლ. ცემენტის რმე, რომლის ხარჯმა ერთეულ ხვრელზე შეადგინა 1.05ლ/ხვრ. მკვეთრად გაზრდილი ხარჯი ამ უბანზე არცერთ ხვრელში არ შეინიშნა.

მეოთხე უბანი მოიცავს ჩრდილოეთის მკლავის ინტერიერის თაღის აღმოსავლეთის ნაწილს.



ნახ.11. დაზიანებული აღმოსავლეთ კედელი

გეო-რადარული დაკვირვებით „თაღის ზედა ნაწილში კონტაქტი ქვებს შორის მეტად დასუსტებულია და წყობაც არაერთგვაროვანია, რაც გამოხატულია მრავლობით არეკვლებში. კონკრეტულ ყურადღებას იპყრობს თაღის ზედა ნაწილის მარჯვენა ნაპირში მკვეთრად გამოხატული, 2 მ-ის სიგრძის ამრეკლი ზედაპირი დაახლოებით 0,5მ სიღრმეზე, რომელიც მხოლოდ სულ ზემოთა

პროფილებზე დაიკვირვება და სავარაუდოდ გრძელდება თადის სულ ზედა ნაწილშიც, სადაც ვერ მოხერხდა გეო-რადართ კვლევა“.

ტაძრის კარიბჭეებისა და კოშკის კედლების ცემენტაციის

შედეგების ჯამი

ცხრილი #15

#	დაცემენტებული უბნები (კონსტრუქციები)	ნახაზ. რაოდ.	ცხრ. რაოდ.	დაცემენტებული ხვერღების რაოდენობა	დახარჯული საინჟინერო ნარევი	ერთ ხვერღზე დახარჯული საცემენტაციონარევის რაოდენობა ლ
1.	აღმოსავლეთის კედელი	1	1	10433	9239,08	8,83
2.	სამხრეთის კედელი „ზ-ი“ მონაკვეთი	1	1	336	830,64	2,47
3.	სამხრეთის მკლავი					
	ა) ხედი დასავლეთით	1	1	262	1935,03	7,39
	ბ) ხედი ჩრდილოეთით	1	1	411	3140,55	7,64
	გ) ხედი აღმოსავლეთით	1	1	195	885,02	4,54
4.	სამხრეთის კედელი „ბ- ე“ მონაკვეთზე;(ბათქაში – 30,00 მ ²)	1	1	341	297,34	0,87
5.	დასავლეთის კედელი	1	1	567	627,65	1,11
		12	12	4334	19841,71	4,58

გეო-რადარული გამოკვლევით მე-3, 4 და 5 პროფილების მეორე ნახევარში, შეინიშნება „ენერგიის მკვეთრი არეკვლები დაახლოებით 0,8–1,0მ-ის სიმაღლიდან, რაც შეიძლება უკავშირდებოდეს კედლის შიგნით არსებულ კონსტრუქციულ თავისებურებებს ან დიდი ზომის მთლიანი ლოდის ჩანართს წყობაში. პრობლემები პერანგის ქვასა და ქვითკირის წყობას შორის უმნიშვნელოა“.

კედლების ცემენტაციის შედეგები

ცხრილი #16

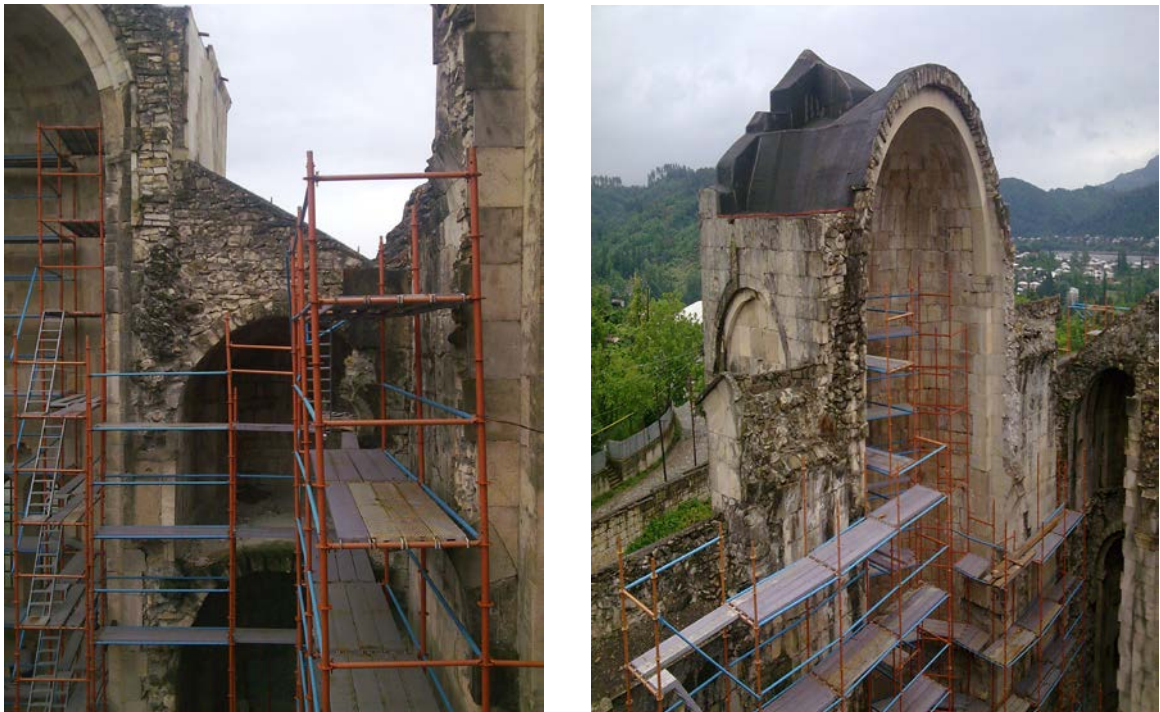
#	ტაძრის დაცემენტებული უბნები	ნახაზ. რაოდ.	ცხრ. რაოდ.	დაცემენ ტე ბული ხვრელებ ის რაოდენო ბა	დახარ ჯული საინექ ციო ნარევი ლ	ერთ ხვრელზე ე დახარჯ ული საინექცი ო ნარევი ლ/ხვ.
1.	ტაძრის კედლები ინტერიერში	20	13	2625	11964,9 0	4,56
2.	ტაძრის კედლებში ინტერიერის პერიმეტრი და ყორექვის წყობა	14	16	1167	1567,53	1,34
3.	ტაძრის კედლები ფასადის მხრიდან	12	12	4334	19841,7 1	4,58
4.	სამხრეთის კარიბჭე					
	ა) ინტერიერში	2	2	160	293,19	1,83
	ბ) ფასადის მხრიდან	2	2	171	1247,58	7,30
5.	დასავლეთის კარიბჭე ფასადიდან (მონაცემები თაღში ჩაღვრილი 1840,60 ლ. ცემენტის რძის გარეშე)	2	2	81 (80)	2207,20 (366,60)	27,25 (4,58)
6.	კოშკი					
	ა) ინტერიერში	4	3	374	957,16	2,56
	ბ) ფასადიდან	3	3	376	876,39	2,33
		59	58	9288	38955,6 6	4,19

საკუროთხევლის ამ უბანზე გაიბურდა 39 საცემენტაციო ხვრელი, რომელთა ცემენტაციაზე დაიხარჯა 29,95 ლ. ცემენტის რძე, რომლის ხარჯმა ერთეულ ხვრელზე შეადგინა 0,78ლ/ხვრ. გაზრდილი ხარჯით არც ერთი ხვრელი არ გამოირჩეოდა, გარდა #1,2 და 3 ხვრელებისა, რომლებსაც აღმოაჩნდათ ერთმანეთთან დამაკავშირებელი სიცარიელები.

მეექვსე უბანს ეკუთვნოდა აღმოსავლეთის კედლის ფასადის ნაწილი – საკურთხევლის საპირისპირო მხარეს.

გეო-რადარული გამოკვლევებით ამ უბნის მცირე ფართზე შეინიშნება ამრეკლი ზედაპირი 1 მ-ის სიღრმეზე. მე-5 პროფილზე ცალსახად შეინიშნებოდა პერანგისა და წყობის გამყოფი ზედაპირი, რაც არ იყო სხვა პროფილებზე.

ამ უბანზე მოეწყო 42 საკონტროლო საინექციო ხვრელი, რომელთა ცემენტაციაზე დაიხარჯა 44,16 ლ. ცემენტის რძე, რომლის ხარჯმა ერთეულ ხვრელზე შეადგინა 1,05ლ/ხვრ. განსაკუთრებული მაღალი ხარჯით არცერთი ხვრელი არ გამირჩევა.



ნახ.12 დაზიანებული შიგა და გარე კედლები

ბაგრატის ტაძრის კედლებში გეო-რადარული კვლევებით გამოვლენილი ხუთ უბანში გაიბურლა და დაცემენტდა 199 ხვრელი. დაიხარჯა 450ლ. საინექციო ნარევი, რომლის მოსამზადებლად დაიხარჯა 250 კგ. ცემენტი და 2,25 ლ. სუპერპლასტიფიკატორი მარკით C-3.

ამ მონაცემების საფუძველზე შედგენილი იქნა ტაძრის ინტერიერის, ყორექვის წყობის, ფასადის კარიბჭეებისა და კოშკის კედლების ცემენტაციის

შედეგების ჯამური ცხრილები. ყოველი უბნისათვის ცალკე-ცალკე, რომლებშიც წარმოდგენილია კონსტრუქციათა ცემენტაციის ზემოაღნიშნული მონაცემები.

ბაგრატის ტაძრის კედლების ცემენტაციის შედეგების ჯამური ანგარიში წარმოდგენილია ცხრილში №58, საიდანაც ირკვევა, რომ საცემენტაციოდ გაიბურღა 9288 ხვრელი, რომელშიც ჩაისხა 38 955,66 ლიტრი საინექციო ნარევი. ამ მოცულობის საცემენტაციო ნარევისათვის დაიხარჯა 39 ტონა ცემენტი, 2535 ლ. წყალი და 195 ლიტრი სუპერპლასტიფიკატორი.

აღსანიშნავია, რომ ყველა კედლისათვის დამახასიათებელი იყო ის, რომ სიმაღლის მატებასთან ერთად მატულობდა საინექციო ნარევის ხარჯიც, რაც განსაკუთრებით შესამჩნევი იყო ორივე მხრიდან საპერანგე ქვებით შემოსილ კედლებში.

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 ჰიდროჟანგი (ძირითადი მჭიდა კომპონენტი დუღაბში) და მასთან ერთად იშლებოდა დუღაბიც. აღნიშნული გარემოება განსაკუთრებით შესამჩნევი იყო ტაძრის კედლების ზედა ნაწილში.



ნახ.13. ტაძრის სარესტავრაციო უბნები

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 ცემენტაციი პროცესი და დაუყოვნებლივ მიმდინარეობს ამ ადგილების თიხის ცომით ამოგოზვა.

თავი III რკინაბეტონის ელემენტების აღდგენა-გამაგრების მეთოდები

3.1. საძირკვლისა და გრუნტის გამაგრების ტექნოლოგია

შენობა-ნაგებობათა ხანგრძლივი ექსპლუატაციის პროცესში ხდება კონსტრუქციების დეფორმაცია. სუსტ გრუნტზე შენობის მშენებლობისას დეფორმაციის ძირითად მიზეზს წარმოადგენს არარეგულარული დაწვევები, რაც იწვევს თვით საძირკვლის, კედლების, სვეტების, სახურავის ნგრევას.

საძირკვლისა და გრუნტის გამაგრების ტექნოლოგიის შერჩევა დამოკიდებულია შენობის მდგომარეობის კატეგორიაზე, ასევე კონსერვაციის, რესტავრაციის და რეკონსტრუქციისთვის გათვალისწინებული რისკის კატეგორიებზე. რეკონსტრუქცია შეიძლება დაკავშირებული იყოს არსებულ საძირკველზე დატვირთვის ზრდასთან მასზე დაშენების, ხის სახურავის რკინა-ბეტონით შეცვლის ან ტექნოლოგიის შეცვლის გამო. შენობის გამაგრების ტექნოლოგიის შერჩევას მნიშვნელოვანია ფაქტორები, რომლებიც დაკავშირებულია შენობის კონსტრუქციულ თავისებურებებთან, გრუნტის მდგომარეობასთან და იმ ორგანიზაციის აღჭურვილობასთან, რომელიც ახორციელებს ამ სამუშაოებს. ამჟამად არსებული თანამედროვე აღჭურვილობით შესაძლებელია, შენობების საფუძვლის და გრუნტის გასამაგრებელი სამუშაოების შესრულება ტექნოლოგიურად სწრაფად, საიმედოდ, ხელის სამუშაოების მინიმალურად გამოყენებით.

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

რეკონსტრუქციის რთულ შემთხვევებში, როგორც წესი, გამოიყენება რამდენიმე ტექნოლოგიური მეთოდი. მაგ. გრუნტის ნაწილობრივი ტრადიციული გადალაგება შეიძლება შესრულდეს საინექციო ტექნოლოგიებთან ერთად კომპლექსურად.

ყველა შემთხვევაში წარმოდგენილმა ტექნოლოგიამ უნდა უზრუნველყოს შენობის საიმედო, ხანგრძლივი ექსპლუატაცია, რაც შეესაბამება პროექტირებისას მოცემულ გეოტექნიკურ პროგნოზს. უნდა იქნას გათვალისწინებული ასევე ეკონომიური, ეკოლოგიისა და სამუშაოთა წარმოების უსაფრთხოების ნორმები. ეკოლოგიური ასპექტი უმეტესწილად ეხება გრუნტის თვისებების გაუმჯობესების ხელოვნურ მრავალრიცხოვან ქიმიურ საშუალებებს. ბუნებრივ ჰიდროგეოლოგიურ გარემოში შეჭრის შედეგების გათვალისწინება არაპროგნოზირებადია. მაგალითად მოსკოვის მცირე თეატრის საძირკვლის გამაგრებამ, რომელიც განხორციელდა წამყვანი ევროპული ფირმის «BAUER»-ის მიერ მაღალი წნევის ინექციის გამოყენებით, გადაწყვიტა შენობის საძირკვლის ლოკალური სტაბილიზაციის პრობლემა. თუმცა გამაგრებული გრუნტის მოცულობითმა მასივებმა შეასრულეს პლატინების/ჯებირების როლი, რომლებიც არღვევენ ბუნებრივ ჰიდროგეოლოგიურ რეჟიმს. ასეთი ზემოქმედების პროგნოზირება ძალიან ძნელია. ამან შესაძლოა ხელი შეუწყოს კარსტული მოვლენების განვითარებას, გაიტანოს წვრილად დისპერსიული ნაწილაკები მიმდებარე შენობების საძირკვლებიდან.

განვიხილოთ და გავაანალიზოთ საძირკვლებისა და გრუნტების ტრადიციული და ახალი ტექნოლოგიები, ასეთი გამაგრებების აუცილებლობის განმაპირობებელი მიზეზების წინასწარი შეფასებით.

ბ.ი. დალმატოვის [20] ერთიანი კლასიფიკაციის თანახმად ეს უპირველესად არის: საძირკველზე დატვირთვის გაზრდა, გრუნტის წყობის რღვევა ან მისი ჰიდრომაიზოლირებელი საშუალებების დაქვეითება; გრუნტის მდგრადობის პირობების ან მათი გაუარესება; დეფორმაციულობის ზრდა; კონსტრუქციების გადაადგილების დაუშვებელი უწყვეტი განვითარება.

10 ათასზე მეტი საცხოვრებელი შენობის დათვალიერების შედეგად მიღებული მონაცემების ანალიზით, სხვა ინსტიტუტების, ლაბორატორიების

კვლევების შედეგებით შესაძლებელია შენობათა დეფორმაციის მიზეზების დაკონკრეტება მნიშვნელობის დონეების მიხედვით: მათი განლაგება; სუსტი, ტორფირებული ან ნაყარი გრუნტების არათანაბარი სიმკვრივე ტერიტორიის ჰიდროლოგიური რეჟიმის ცვლილების შედეგად ან ამ გრუნტების არათანაბარი დატვირთვა; გრუნტების სტრუქტურის დარღვევა სარდაფებიდან წყლის ამოტუმბვისას, მათი კოლექტორებში გადინებისას, მათი წვრილდისპერსიულ ნაწილაკებად გატანა (მექანიკური სუფფოზია); ასევე ტრანსპორტის, სამრეწველო სეისმიკის დინამიკური ზემოქმედება; ქალაქების რთულ საინჟინრო-გეოლოგიურ პირობებში უნიკალური ძეგლების დიდი რაოდენობით არსებობის გამო, მათი საძირკვლების და გრუნტების გასამაგრებლად აუცილებელია ტექნოლოგიური მეთოდების შესაბამისი არსენალი.

ლიტერატურაში, როგორც წესი, განიხილება გამაგრების ტრადიციული მეთოდები. თუმცა უკანასკნელი 20 წელია რაც ვითარდება ახალი ტექნოლოგიები, განსაკუთრებით გფრ, ინგლისში, საფრანგეთში, იტალიაში, შვეციაში, ფინეთში. ამასთან წამყვანი ფირმები სპეციალიზირდებიან არამარტო საძირკვლების და გრუნტების გამაგრებაში, არამედ ქმნიან ახალ ტექნოლოგიებს, ყოველი დადამუშავებულ ადჟურვილობებს.

3.2. საძირკვლების გამაგრების ტრადიციული მეთოდები

ძველი შენობების საძირკვლების აგებისას დაშვებული შეცდომები: გრუნტის თავისებურებების შეფასებისას დაშვებულ შეცდომებს მიყვავართ როგორც თვით საძირკვლების, ასევე გრუნტების გამაგრებისკენ. გრუნტის გამაგრებისთვის და ჰიდროიზოლაციის აღსადგენად პირველი რეკომენდაციები ჰორიზონტალური ანტიკაპილარული ჰიდროიზოლაციის ჩათვლით, განხილულია რიშეფორის (1889) საგაკვეთილო დებულებებში. ამასთან გამაგრების ტექნოლოგია იყო გადასაწყვეტად ტრადიციული და მარტივი, როგორც თვით საძირკველი. XX ს. შუა წლებამდე იცვლებოდა მხოლოდ

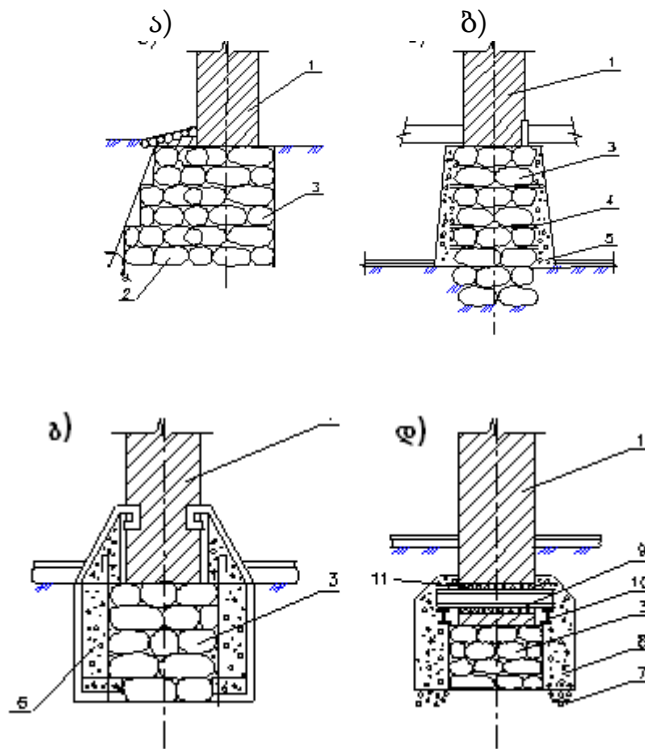
ცალკეული მეთოდები, გამოიყენებოდა ახალი სამშენებლო მასალები (ლითონი, ბეტონი, რკინაბეტონი).

სადირკვლებისა და გრუნტების გამაგრების ყველა ტრადიციული ტექნოლოგია ეფუძნებოდა ძირითადად არსებული სადირკვლების ფართობის ზრდას, და შესაბამისად, საფუძვლის გრუნტზე დატვირთვის ინტენსივობის შემცირებას.

პარალელურად მუშავდებოდა ტექნოლოგიური მეთოდები, რომლებიც დაკავშირებული იყო გრუნტების თვისებების ხელოვნურად გაუმჯობესებასთან სხვადასხვა ქიმიური რეაგენტების შეყვანის საშუალებით.

გამაგრების დამახასიათებელი ზომები, რომლებიც იყო შემოთავაზებული 50-იან წლებში (ნახ.14), შესულია ლენჟილნიის პროექტის უკანასკნელ ნორმატიულ მასალებში სადირკვლის ძირის ფართობის ზრდა მიიღწეოდა უპირატესად რკინაბეტონის მანჟეტების ან ბანკეტების შექმნის ხარჯზე (ერთი ან ორმხრივი). ძველად სადირკვლის გასაფართოებლად იყენებდნენ მისადებებს, რომლებსაც გადააბამდნენ უკვე არსებულ წყობასთან (იხ.ნახ.14.ა). ამ მისადებების ბჯენა ხორციელდებოდა სხვადასხვა დონეზე. ძველი სადირკვლის გათხრები გვიჩვენებს, რომ ეს მისადებები რჩებოდა ნაყარ გრუნტში და ფაქტიურად არანაირ გავლენას არ ახდენდა შენობის შემდგომი ექსპლუატაციის პირობებზე. ის გამოიყენებოდა დიდი დეფორმაციების დროს გრუნტების შესაბამისი გამკვრივების შემდეგ გაფართოებული ნაწილის საფუძველში.

განვიხილოთ გრუნტის გამაგრების ტრადიციული ვარიანტები, რომელიც დაკავშირებულია სადირკვლის ძირის ფართობის ზრდასთან, გეოტექნიკისა და ტექნოლოგიურობის პოზიციიდან სუსტი წყლით გაჯერებული ნიადაგების მიმართ.სადირკვლის ძირის გაფართოება წინასწარი პრესის/წნეხის გარეშე მცირედ ეფექტურია. როგორც ზემოთ აღინიშნა, ის მუშაობას იწყებს მხოლოდ დატვირთვის ზრდის შემთხვევაში, როდესაც წარმოიქმნება დამატებითი დატვირთვები. ეს თვალსაჩინოდ ჩანს ნახ.15–ზე, სამწუხაროდ, დამატებითი დატვირთვა შესაძლოა გახდეს ზღვრული, ძველი შენობისთვის, რომელსაც გამაგრება ესაჭიროება.

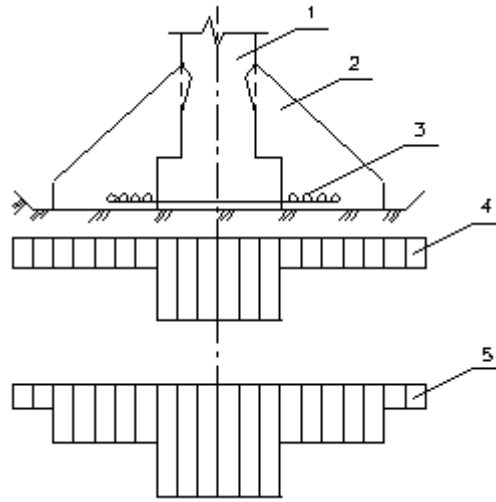


ნახ. 14. საძირკვლების გამაგრების ტრადიციული ტექნოლოგიები:

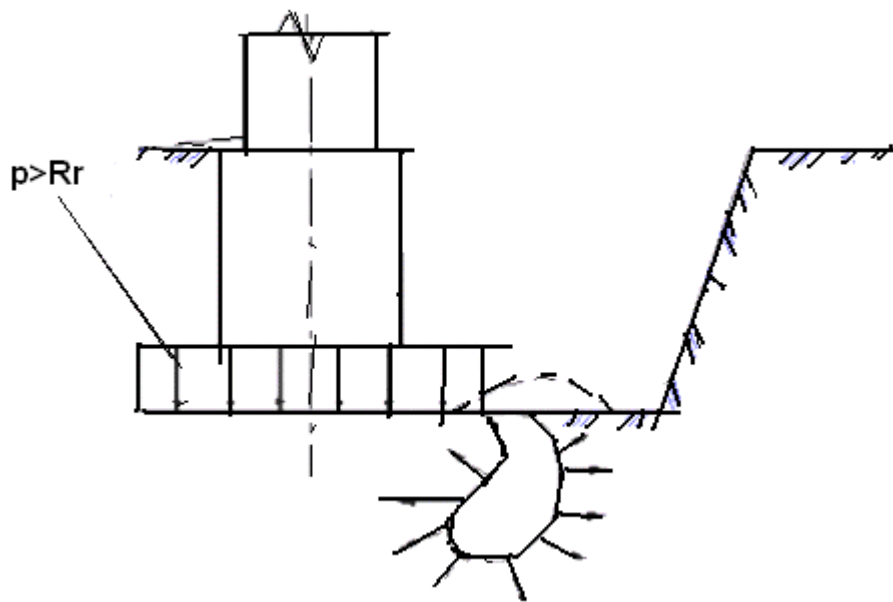
ა-გადაბმული წყობა; ბ. ბეტონის მანჟეტები; გ-დ- რკინაბეტონის მანჟეტები; 1- კედელი; 2- ახალი წყობა ძველთან გადაბმულად; 3- ძველი წყობა; 4-რკინის შტირები; 5- ბეტონის მანჟეტები; 6- რკინა- ბეტონის მანჟეტები; 7-ღორღით მომზადება; 8-ბეტონის ბანკეტები; 9-სამუშაო კოჭები; 10- გამანაწილებელი კოჭები;11- გამოკვეთა ჩასასხმელი ბეტონით.

საძირკვლის ძირის გაფართოება, როგორც წესი, წარმოებს იმ შემთხვევაში, როდესაც გრუნტები არის გადატვირთული, საძირკვლის ქვემოთ არის პლასტიკური დეფორმაციის განვითარებული ზონები. ასეთი გრუნტების გახსნისას ფსკერის დონემდე შეიძლება მათი ამორღვევა ტრანშეაში და შურფებში (ნახ. 16).

საძირკვლის და გრუნტების გამაგრების ძირითადი მეთოდები მდგომარეობს შემდეგში: გაძლიერებული გრუნტი იყოფა ცალკეულ სიგრძის 1.5÷2.0მ უბნებად. ამ უბნებზე ხელით გამოყოფენ არეებს სიგანით 1.2÷2.0მ ფსკერამდე. ამის შემდეგ გრუნტში აყენებენ ყალიბებს და აბეტონებენ გასაფართოებელ ნაწილს.

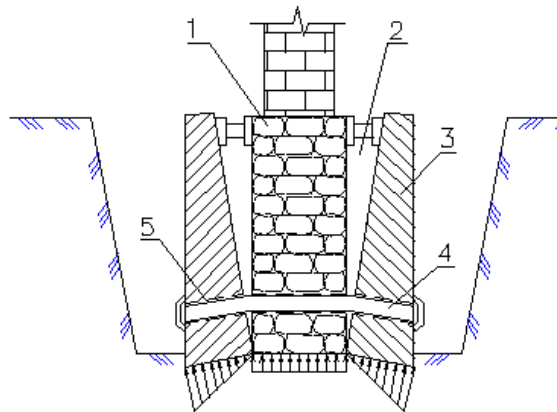


ნახ.15. საძირკვლის ძირის გაფართოების სქემა
 (საძირკვლის ძირზე დატვირთვების განაწილების ეპიურა
 ბ.ი. დალმატოვის მიხედვით): 1-არსებული საძირკვლი;
 2-გაფართოების კონსტრუქცია; 3-არმატურა; 4- დატვირთვების
 ეპიურა გაფართოებამდე; 5- ეპიურა საძირკვლის ძირის გაფართოებისა და
 დატვირთვის შემდეგ.



ნახ.16. გრუნტის ამოღება საძირკვლის ტრანშეის
 ძირამდე გათხრისას

გამოყოფილი არეების დამუშავების შემდეგ აბეტონებენ საძირკვლის ბანკეტებთან მიმდებარე კიდეებს არსებული საძირკვლის წყობასთან. შემდეგ გახსნილ ღიობებში აყენებენ ფოლადის კოჭებს, რომლებიც წარმოადგენს საყრდენს ჰიდრავლიკური დომკრატებისთვის. ეს დომკრატები მოჭიმავენ გრუნტებს საჭირო გაფართოებების დონემდე. დაწნევის შემდეგ ხსნიან დომკრატებს და აბეტონებენ ბანკეტებს (ნახ. 16).



ნახ. 17. ფუნდამენტების გამაგრება დამატებითი კოჭებით (ნ.ი. სტრობახინის მიხედვით):

- 1-არსებული ფუნდამენტი; 2-ნასვრეტი, რომელიც იხსნება კოჭების მობრუნებისას; 3-რკინაბეტონის კოჭი; 4-ანკერის სამაგრი; 5-ხვრელები ანკერებისთვის.

ინჟინერ ნ.ი. სტრობახინის მიერ შემოთავაზებულია საძირკვლის გასაფართოებლად გრუნტის დაწნევის ორიგინალური მეთოდი. ის მდგომარეობს ძველი საძირკვლის ორივე მხრიდან დამატებითი რკინაბეტონის გასაფართოებელი კოჭების დაყენებაში. ამ კოჭების ქვედა ნაწილს მოჭიმავენ არმატურის ანკერებით (ნახ.17); ზედა ნაწილს გაწევენ სოლებით ან დომკრატებით. რაც იძლევა საშუალებას შემოუჭიროს გაუმკვრივებელი გრუნტი და ჩართოს ის გაფართოების მუშაობაში. თვით იდეის უპირატესობის შეფასებით, ავლნიშნავთ, რომ შემოთავაზებული მეთოდის რეალიზაცია დაკავშირებულია გარკვეულ სიძნელებებთან, განსაკუთრებით რბილ ნიადაგებში. ასეთი ნიადაგების გახსნა ფსკერამდე საშიშია, ზემოთ

მითითებული მიზეზის გამო (ნახ.15). გამკვრივების ზონა შეიძლება იყოს უმნიშვნელო გრუნტის გასტრუქტურების ზონებთან შედარებით.

ამგვარად, გამაგრების ტრადიციული მეთოდის დროსაც კი ტექნოლოგიის და გეოტექნიკის პრობლემები მჭიდროდ არის ერთმანეთთან დაკავშირებული.

გამაგრების ყველა განხილული ტექნოლოგიური მეთოდი არის რთული და ძვირადღირებული, ხოლო რაც მთავარია, სრულდება უმეტესწილად ხელით. გარდა ამისა, ადგილებში, სადაც მიწისქვეშა წყლების დონე არის საკმაოდ მაღალი, სამუშაოთა ღირებულება მკვეთრად იზრდება ტრანშეებიდან წყლის ამოტუმბვის საჭიროებასთან დაკავშირებით. ამოტუმბვა უნდა მოხდეს ისეთი პირობებით, რომ გამოირიცხოს რეკონსტრუირებული შენობის საძირკვლის გრუნტების ბუნებრივი წყობის რღვევა. წინააღმდეგ შემთხვევაში ჩატარებული სამუშაოები მხოლოდ გაართულებს შენობის მთლიან მდგომარეობას.

ძალიან საშიშია ძველი საძირკვლისათვის ლითონის სამაგრების ჩაჭედვა თვით გრუნტის სხეულში. გამაგრების პროცესში სამაგრების ჩაჭედვისას შესაძლებელია დარღვეულ იქნას დიდ უბანზე საძირკველი, რომელმაც შესაძლებელია გამოიწვიოს მიმდებარე შენობის დაშლას (დაგეგმილის ნაცვლად).

მთელი რიგი მიზეზებისა გამო, დაუშვებელია სუსტი გრუნტის პირობებში ლიტერატურაში რეკომენდებული ახალი საძირკვლების ამოყვანა მისი სიღრმის გადიდებით. ასეთი მეთოდები არატექნოლოგიურია და მათი რეალიზება შესაძლებელია მხოლოდ მიწისქვეშა წყლების დაბალი დონის შემთხვევაში, სადაც როგორც წესი, გრუნტების გამაგრება არ არის საწირო.

მსოფლიო პრაქტიკაში არსებობს სხვადასხვა ქიმიური რეაგენტების მდიდარი არსენალი, რომელთაც შეუძლია დაამაგროს საძირკვლის გრუნტი საკმაოდ ხანგრძლივი პერიოდით. ქიმიური საშუალებების ღირსებებს განეკუთვნება: ყველა ოპერაციის მექანიზაციის მაღალი დონე; გრუნტების განმტკიცების შესაძლებლობა პროექტით გათვალისწინებულ ბუნებრივ პარამეტრებამდე; შედარებით მცირე შრომა, ტრანშეების ამოთხრის ხელის არაკვალიფიცირებულ სამუშაოთა მკვეთრად შემცირება, ასევე ნედლეულის შედარებით დაბალი ღირებულება (წარმოების ნარჩენების გამოყენების შესაძლებლობა).

გრუნტების ქიმიური გამაგრება მეტად რთულ საინჟინრო-გეოლოგიურ პირობებში საშუალებას იძლევა წარმატებით გადაწყდეს რეკონსტრუქციის უამრავი ამოცანა.

უკანასკნელ წლებში გამოჩნდა ნაშრომები გრუნტის გასამაგრებელი არატოქსიკური ან ნაკლებტოქსიკური შემადგენლობების შექმნის შესაძლებლობის შესახებ კარბამიდის ფისების გამოყენებით.

აღინიშნება, რომ შემოთავაზებული რთული ტექნოლოგიური მეთოდების დაცვისას შესაძლოა შემცირდეს ამ ფისების კანცეროგენულობა. გარემოს დაცვის მიმართ ყურადღების გაძლიერებასთან დაკავშირებით საჭიროა უფრო მკაცრად მივუდგეთ ყველა რეკომენდებულ “უნივერსალურ” ქიმიურ რეაგენტებს. ამგვარად, ცნობილია, რომ ფართოდ რეკომენდებულ მაღალი კონცენტრაციის მჟავებს და ტუტეებს გააჩნიათ მავნე ზემოქმედება გარემოს დაუმაგრებელ გრუნტსა და მიწისქვეშა წყლებზე. ВНИИОСП-ში ვ.ე. სოკოლოვიჩის სპეციალური კვლევებით გამოვლენილ იქნა მთელი რიგი იმ რეაგენტების ტოქსიკურობა და ეკოლოგიური შეუთავსებლობა, რომელთა რეკლამირებაც ხდება რეკონსტრუქციის პირობებში გრუნტების გასამაგრებლად, კერძოდ, აკრილის, ფენოლ-ფორმალდეჰიდური, ფურანული, ქრომლიგნური და კარბამიდული ფისების სახით.

წყლით გაჯერებული რბილი გრუნტების გამაგრების გატუტოვანებით რეკომენდაციებში გათვალისწინებულია ლამიანი-თიხა-ნიადაგების წნევის ქვეშ მაღალ კონცენტრირებული კაუსტიკური სოდის ხსნარით გაჭირხვნა. მაღალკონცენტრირებული კაუსტიკური სოდის ზემოქმედებით მოხდება თიხიანი მინერალების ნაწილობრივი ზედაპირული გახსნა ტუტოვანი ალუმოსილიკატური გელების წარმოქმნით, რომელთაც შეუძლია სუსტი გრუნტების საიმედოდ დამაგრება. გაანგარიშება მიუთითებს 1მ^3 დასამაგრებელ თიხიან გრუნტზე საშიში რეაგენტის ჭარბ რაოდენობაზე (100-დან 160კგ-მდე). გრუნტის წყლების მაღალი დონის გათვალისწინებით გარდა ყველაფერი ამისა, შესაძლოა მოხდეს წყლების გატუტოვანა. თვით ავტორი ფ.ე. ვოლკოვი აღნიშნავს, რომ “თიხიანი გრუნტების გატუტოვანას თან ახლავს მათი აქტიური

ქიმიური ამობერვა, რაც გამოიწვევს ასეთ გრუნტებზე აგებული შენობის ძლიერ დეფორმაციას.”

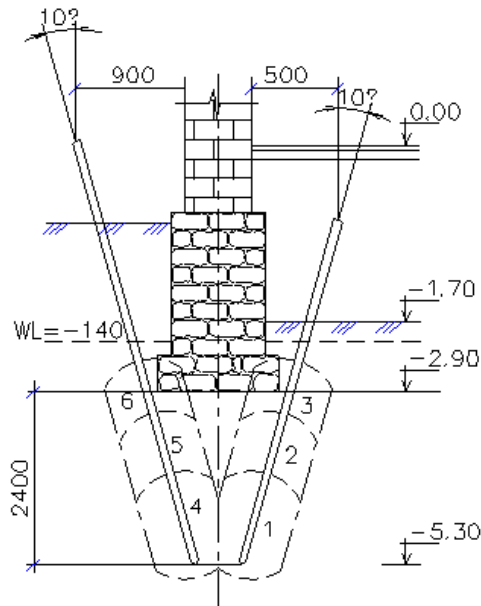
მრავალი სპეციალისტის დასაბუთებული უარი ქიმიური რეაგენტების უმეტესი ნაწილის გამოყენებაზე, გარდა ტრადიციულად გამოყენებადი სილიკატებისა (ერთ-ან ორმაგხსნარიანი სილიკატიზაცია).

НИИОСП-ის მიერ ომამდელ წლებში შემოთავაზებული ერთმაგხსნარიანი სილიკატიზაცია იმაში მდგომარეობს, რომ გრუნტში ჩაიშვება ჟელესწარმომქმნელის (თხევადი მინა) და გასამყარებელის ბაზაზე წინასწარ დამზადებული კომპოზიცია. არც ისე მაღალი სიბლანტის მქონე ნაერთს შეუძლია შეაღწიოს სუსტად მაფილტრირებელ სილის გრუნტშიც (ფილტრაციის კოეფიციენტით 1-5მ/დღე-ღამეში).

ვ.ე სოკოლოვიჩის მიერ დამუშავებულ შედარებით ახალი ტექნოლოგიას ეწოდა გაზის სილიკატიზაცია. ამ მეთოდის არსი იმაში მდგომარეობს, რომ გასამაგრებელ გრუნტში თავდაპირველად (0.2მპა წნევის ქვეშ) შეჰყავთ ნახშირორჟანგი მინერალური ნაწილაკების ზედაპირის აქტივაციის მიზნით, ხოლო შემდეგ-თხევადი $1,19 \div 1,30 \text{ გ/სმ}^3$ სიმკვრივის (გრუნტის წყალგამტარიანობის მიხედვით) მინის ხსნარი. სამწუხაროდ, გაზის სილიკატიზაცია მცირედ აფართოებს მეთოდის გამოყენების საზღვრებს, მისი გამოყენება შეზღუდულია ქვიშიანი სხვადასხვაობით ფილტრაციის კოეფიციენტით 0.5მ/დღე-ღამეში.

ბ.ა. რჟანიცინის მიერ წარმოდგენილი იქნა ელექტრო სილიკატიზაცია (ნახ.19), რომლის დროსაც ერთმაგხსნარიანი ჟელესწარმომქმნელი ნაერთის სუსტად ფილტრირებად გრუნტებში ინექტორზე სილიკატის ნატრიუმის ბაზაზე ერთდროულად მიეწოდება ძაბვა მუდმივი ელექტრული დენის წყაროდან. ელექტროენერგიის დანახარჯი შეადგენს 1 მ^3 გასამაგრებელ გრუნტისთვის ჩვეულებრივ 30კვტ-მდე. ხსნარების დანახარჯი იმდენივეა, რაც ჩვეულებრივი სილიკატიზაციის დროს. ა.ნ. ჟინკინის და ვ.ფ. კალგანოვის მონაცემებით [31] შეყვანილი ჟელეს წარმომქმნელი ნაერთის რაოდენობა 28 სთ-ის განმავლობაში

შეადგენს ($k_f=0,01$ მ/დღ.დ), რაც ელექტროსილიკატიზაციის მეთოდით 2.5-ჯერ მეტია, ვიდრე ერთჯერადი ჩვეულებრივი სილიკატიზაციის დროს.



ნახ. 18. სუსტი გრუნტების ელექტროქიმიური გამაგრება საძირკველში

გარემოზე მავნე ზემოქმედებიდან გამომდინარე ვ.ე. სოკოლოვიჩის თანახმად, სრულიად უსაფრთხო არის გრუნტების გამაგრება პორტლანდცემენტის გამოყენებით. როგორც ცნობილია, გამყარებული პორტლანდცემენტი ძირითადად შედგება კალციუმის ჰიდროსილიკატისგან, რომელიც პრაქტიკულად წყალში არ იხსნება. ამის გამო პერსპექტიულია საინექციო და ბურღ-შემრევი მეთოდები. მათი გამოყენების ტექნოლოგია დაფუძნებულია სუსტი გრუნტების შერევაზე წყალცემენტოვან სუსპენზიებთან. ავტორმა კომპლექსურად გამოიკვლია ეს მიმართულება ჭავჭავაძის ტექნოლოგიასთან ერთად. გრუნტების მექანიკისა და საძირკვლების მშენებლობასთან დაკავშირებულ XII საერთაშორისო კონგრესის მასალებში (რიოდე-ჟანეირო, 1989წ.) როგორც პერსპექტიული წარმოდგენილ იქნა “აკტიზოლის” ტიპის ნაერთები, რომელთა შემადგენლობაშიც შედის: ცემენტი, ბენტონიტი, სილიკატური და მინერალური დანამატები. ასეთი ნაერთების გამოყენება მეტად ეფექტურია ალლუვიალური გრუნტებისა და საიმედო ფილტრაციის საწინააღმდეგო მოწყობილობათა გასამაგრებლად. ნაერთის ძირითად უპირატესობად ითვლება გარე სამყაროს დაბინძურების არარსებობა, ცემენტის

სხვადასხვა ტიპების გამოყენების შესაძლებლობა, მოკლე დროის განმავლობაში მაღალი დინამიურობა.

3.3. საძირკვლის და გრუნტის გამაგრების თანამედროვე ტექნოლოგიები

უკანასკნელი 40 წლის განმავლობაში მსოფლიო და სამამულო პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება ახალი ტექნოლოგიები, რომლებიც დაფუძნებულია საძირკვლის და გრუნტების გამაგრების ტრადიციულ მეთოდებზე. ასევე მუშავდება პრინციპულად ახალი ტექნოლოგიებიც, რომელთაც საფუძვლად უდევს სამუშაოების მექანიზაციის მაღალი დონე, ამასთან მინიმუმადეა დაყვანილი ხელის სამუშაოები. ყოველი კონკრეტული შემთხვევისთვის შეიძლება იყოს შერჩეული ტექნოლოგიური მეთოდი გარკვეული ფაქტორების მიხედვით, მათ შორის ეს დამოკიდებულია სარეკონსტრუქციო სამუშაოთა მიზნებზე (ავარიულ-დეფორმირებული შენობის შველა, საძირკველზე დატვირთვის ზრდა, ძველის გვერდით ახალი შენობის აღმართვა, ღრმა საინჟინრო ქსელების გაყვანა და მეტროს მშენებლობა ქალაქის გაშენების პირობებში). აქ მნიშვნელოვანი ფაქტორებია: შენობის კონსტრუქციული თავისებურებანი, საძირკველთან გრუნტის მდგომარეობა, ფართობის ჰიდროგეოლოგიური მახასიათებლები.

ზემოთ გაანალიზებული ტრადიციული ტექნოლოგიები, რომლებიც დაკავშირებულია საზირკვლის ძირის გაფართოებასთან, თანამედროვე ეტაპზე შესაძლოა ტრანსფორმირებულ იქნას შემდეგნაირად: სარდაფის დონეზე აყენებენ რკინაბეტონის ფილას 2 (ნახ.19), რომელიც დამაგრებულია გრუნტის სხეულზე. იმისათვის, რომ ფილა იყოს საიმედო მის ქვემოთ შესაძლებელია ცემენტის ხსნარის ჩასხმა გრუნტის ზედა ნაწილის დაწნეხვის მიზნით. სუსტი გრუნტები ვერ უძლებენ არსებული საძირკვლის დატვირთვას. ფილებით გამაგრებამ ხელი შეუშალა არათანაბარი ნალექების ჩადინებას და შენარჩუნდება შენობა.

თუ ასეთი ფილის გაწევის შესაძლებლობა არ არის საკმარისი, მაშინ მასში შეიძლება ნასვრეტების დატოვება, რათა მასში ჩაიტენოს ერთმანეთთან დაკავშირებული მრავალსექციური ხიმინჯები. დაკვირვებებმა უჩვენა, რომ

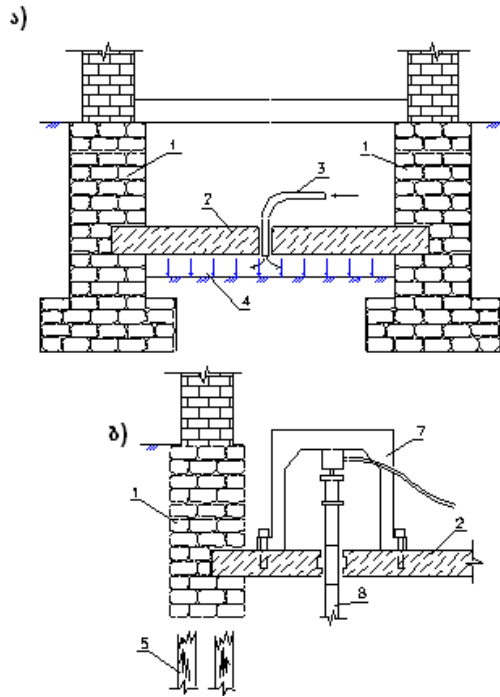
მიუხედავად დატვირთვის ზრდისა და ვიბრაციული რეჟიმის ცვლილებისა ახალ მანქანაზე მუშაობისას, დამატებითი დაწვევები არ წარმოქმნილა.

რიგ შემთხვევებში საძირკვლის საყრდენი ფართობი შეიძლება გაიზარდოს ასაწყობი ფილების ხარჯზე, რომლებიც მოწყობილია შენობის სარდაფებში. ამასთან დატვირთვა ფილებზე გადაეცემა ჩარჩო კონსტრუქციით, რომელიც ეყრდნობა მონოლითურ ფილას (ნახ.19 ა).

შენობის რეკონსტრუქციის ტექნოლოგიის ნაკლი არის სამუშაოთა მრავალფეროვნება სარდაფების შემჭიდროებულ პირობებში. ამასთან, როგორც წესი, წყობა გრუნტზე მუდმივი ტენიანობის გამო შეიძლება იყოს დესტრუქტურიზებული, რაც დაკავშირებულია კულტურული ფენის აწევასთან. ასეთი ღონისძიებები უნდა ჩატარდეს კედლის წყობის საყრდენი ნაწილის გამაგრებასთან ერთად კომპლექსში. ტექნოლოგიის უპირატესობას წარმოადგენს საძირკვლებში გრუნტის გახსნის აუცილებლობის არარსებობა.

რიგი ავტორების მიერ შემოთავაზებული გასატანი კონსოლები და რკინაბეტონის ფილები საინტერესოა ამოცანის დასახვის მიზნით, მაგრამ ასევე გააჩნია ნაკლიც:

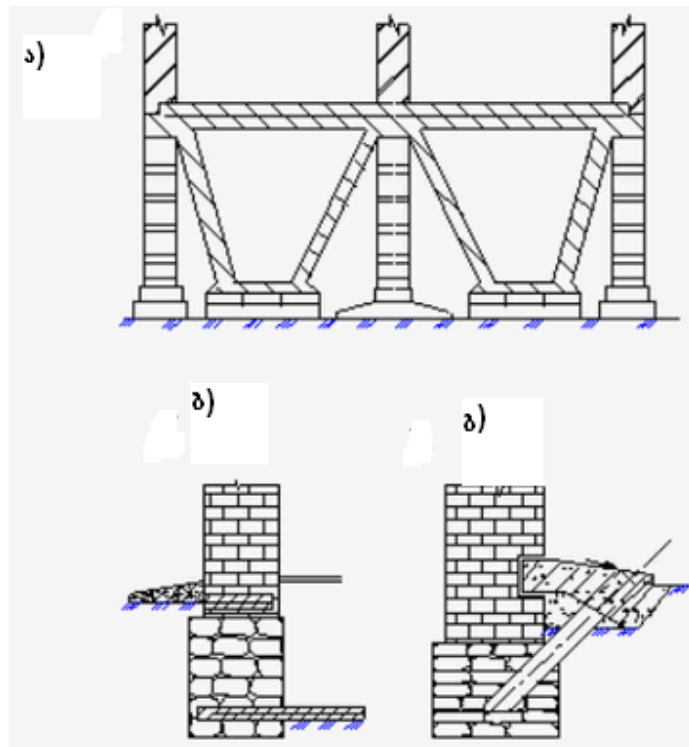
წიბოებიანი ფილები ანკერებით ექვემდებარება ამობერვას/მსხვრევას ნორმალური ძალის ყინვის შედეგად, რამაც მკაცრი კლიმატის პირობებში შეიძლება გამოიწვიოს მეტად მნიშვნელოვანი ზიანი.



ნახ. 19. საყრდენი ფართობის გადიდება მონოლითური რკინაბეტონის ფილებით: ა – გრუნტის დაწნეხვით; ბ – მრავალსექციური ჩამტენი ხიმინჯები; 1 – არსებული ფუნდამენტი; 2 – რკინაბეტონის ფილა; 3 – ცემენტის ხსნარის გამშლელი საინექციო მილი; 4 – ცემენტის ხსნარი ფილასა და გრუნტს შორის; 5 – დამპალი ხის ხიმინჯები; 6 – დომკრატი; 7 – საყრდენი ძელი; 8 – ჩამტენი ხიმინჯები.

კონსოლების აწევისას ირღვევა წყობა, ხოლო მსუბუქმა შენობებმა შესაძლოა მიიღონ არათანაბარი დაწნევა ზამთარში და ჩავარდნა ზაფხულში; ნესტის მიგრაციის შედეგად გაყინვის პროცესში გრუნტი მნიშვნელოვნად იმატებს მოცულობაში (“იბერება”), ხოლო მისი გაღობის შემდეგ ირღვევა მისი სტრუქტურა და მკვეთრად ქვეითდება ძირითადად მყარი და დეფორმირებული მახასიათებლები.

80-ნი წლების ბოლოს შესრულებული გამაგრებები კონსოლური ფილების გამოყენებით აღმოჩნდა მცირედ ეფექტური, გრუნტის გაყინვისაგან არასაიმედო დაცულობით და ისინი დაინგრა პირველივე მკაცრ ზამთარში.



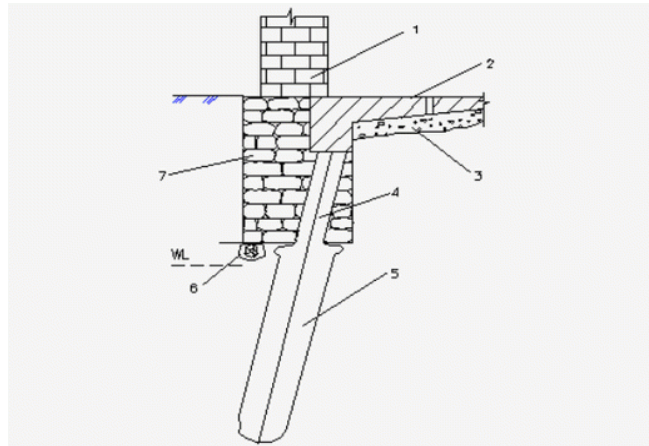
ნახ. 20. ფუნდამენტების გამაგრების გაუმჯობესებული მეთოდები ტრადიციული მეთოდების საფუძველზე:

- ა- ასაწყობი ან მონოლითური ჩარჩოების მოწყობილობა სარდაფში;
- ბ- გასატანი კონსოლები და ფილები.

სადისერტაციო ნაშრომში განხილული გაძლიერების მეთოდებიდან შერჩეული იქნა გაძლიერების შემდეგი მეთოდი: დამუშავებულია და რეალიზებულია გამაგრების კონსტრუქცია საბურღი ხიმინჯებით-დეზებით და რკინაბეტონის ფილების მოწყობილობებით (ნახ.20). მოცემულ შემთხვევაში რკინაბეტონის ფილა შეიძლება ერთვეება საძირკველთან ერთობლივ მუშაობაში. გაყინვა არ ახდენს ზეგავლენას შენობის შიგნით გასამაგრებელ კონსტრუქციაზე. მსგავსი კომპლექსური ტექნოლოგია გამოყენებულ იქნა მრავალ ობიექტებზე, იქ სადაც გრუნტის გაყინვის საშიშროება არ არსებობდა.

ძველი შენობებისა და სუსტი გრუნტებისთვის არასასურველი დინამიური ზემოქმედების გამოსარიცხად პრაქტიკულია ხიმინჯების გამოყენება. არსებული

ფართის სიმჭიდროვის გათვალისწინებით ხშირად გამოიყენება მრავალსექციური ხიმინჯები.



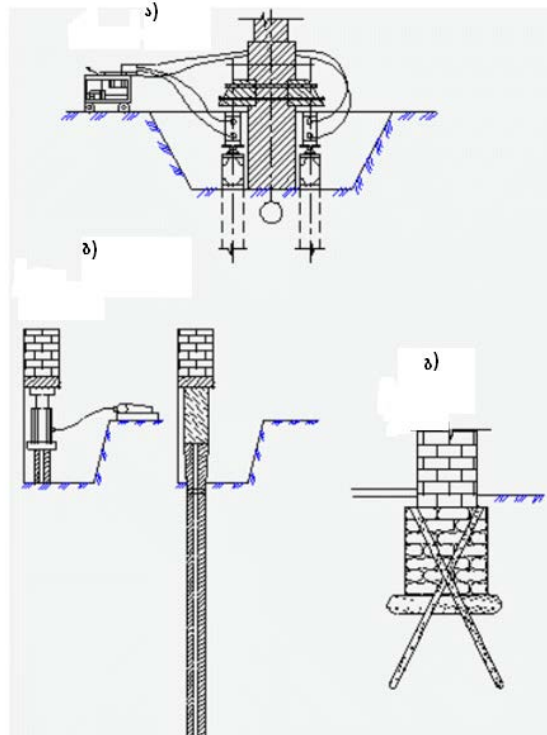
ნახ.21. მოკლე ხიმინჯ-დეზებიანი და რკინაბეტონის ფილების მოწყობილობა :

1-კედელი; 2- რკინაბეტონის ფილა; 3- ინიეცირებული ცემენტის ხსნარი; 4-ხიმინჯი კონდუქტორში; 5- ხიმინჯის გაფართოებული ნაწილი; 6- ხის მორი; ქვა-ყორის საძირკველი.

მრავალსექციური ხიმინჯების ჩაჭედების (ჩატენვის) ტექნოლოგიური თავისებურებები გასატანი (კიდურა) საყრდენების სახით მოცემულია 21 ნახაზზე. ჩასაჭედი ხიმინჯების გამოყენებისას საჭიროა საიმედო საყრდენები. ხიმინჯების გამძლეობის შესაძლებლობის რეგულირება შეიძლება მისი მრავალსექციური ელემენტების ჩაჭედების პროცესში. ეს უკანასკნელი შეიძლება დამზადდეს რკინაბეტონისგან სპეციალურად ერთმანეთთან შემაკავშირებელი ნაწილებით, რომლებიც იძლევა საშუალებას სწრაფად შესრულდეს მიერთება. შეიძლება ლითონის მილების გამოყენებაც. თუმცა, ამასთან უნდა გავითვალისწინოთ მათი კოროზიამდეგობის შესაძლებლობა. ეს პრობლემა გადაწყვეტილ იქნა ორი გზით: არმატურის კარკასის დაყენებით და მილის მთელი მოცულობის არმირებით (არმატურით გაძლიერება) და მზა მილ-ბეტონის ელემენტების გამოყენებით.

ზოგადად, მონაცემები კოროზიის შესახებ არის ურთიერთსაპირისპირო. იაპონელი მკვლევარების მონაცემებით, რომლებიც ფართოდ იყენებენ ლითონს

რეკონსტრუქციისთვის, ლითონის კოროზია არ არის დამოკიდებული ფოლადის შემადგენლობაზე, გრუნტის პირობებზე, შედუღების არსებობაზე. თვით ყველაზე თანამედროვე ანტიკოროზიული დაცვისას კოროზია შეადგენს 0.01მმ წელიწადში. ამ სპეციალური პრობლემის დეტალებში რომ არ შევიდეთ, ავლნიშნოთ მხოლოდ ის, რომ ქალაქის გაშენების პირობებში, მერყევი ძაბვის, გრუნტის წყლებში მარილების სიუხვის გამო იქმნება ყველაზე სასურველი წინაპირობა კოროზიისთვის.



ნახ. 22. ფუნდამენტების გამაგრება ხიმინჯების გამოყენებით:

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

ფინეთში, შვეციაში, უნგრეთში ფართოდ გავრცელებულია “მეგა-ს” ტიპის მრავალსექციური ხიმინჯები. ისინი ხშირად გამოიყენებოდა საძირკვლების გასამაგრებლად ჰელსინკში, სტოკჰოლმში, ბუდაპეშტში, ტურკუში. რიგ შემთხვევებში ხიმინჯები შეჰყავდათ უშუალოდ საზირკვლის ქვეშ. ასეთი ხიმინჯები

შეიძლება იყოს მრგვალი ან კვადრატული, ელემენტის მასა -100კგ-მდე. ხიმინჯები მზადდებოდა 100სმ სიგრძის რკინაბეტონის მილისებრი ელემენტებისგან, რაც იძლეოდა მათი ადვილად გადაადგილების საშუალებას. ხიმინჯების ჩაჭედების სამუშაოების თანმიმდევრობა ასეთია (იხ. ნახ.23.ბ). ქვედა პირველი ელემენტი წამახვილებული ბოლოთი (სუსტ გრუნტებში წამახვილების გარეშე) ეფლობა გრუნტში დომკრატით. მიყრდნობის სახით მუშაობს გამანაწილებელი რკინაბეტონის კოჭი. ასაწყობი შემაკავშირებელი ელემენტების გაძლიერება ხდება მანამ, სანამ წამახვილებული თავი არ მიაღწევს მყარ გრუნტამდე, რაც უზრუნველყოფს მთლიანად სისტემის გამაგრების შესაძლებლობას. ბოლოს აყენებენ სათაო ელემენტს, რომლის კვეთის ფართობი ბევრად მეტია ხიმინჯის კვეთზე. პროექტის თანახმად 1.5-1.8-ჯერ მეტი დატვირთვით ხიმინჯის ჩაფლობის შემდეგ მას ჭედავენ სპეციალური დგარებით. დგარები ყენდება გამანაწილებელ კოჭასა და ხიმინჯის თავს შორის, ხოლო მიღებულ ღიობებს შეავსებენ ბეტონით.

ფინეთსა და შვეციაში იყენებდნენ ჩასაჭედ ხიმინჯებს მრგვალი რკინაბეტონის ელემენტებისგან. შეერთებას ახორციელებდნენ სპეციალური ნაწილის მეშვეობით; ხიმინჯის შიდა სიბრტყეს ჩაფლობის შემდგომ აბეტონებდნენ. ჩასაჭედი ხიმინჯებით გრუნტებისა და საძირკვლების გამაგრების ტექნოლოგიური მეთოდების ნაკლია მიწის სამუშაოთა დიდი მოცულობა. ამასთან, გადატვირთული საძირკვლის თავისუფალი არეების გახსნა მის ძირამდე საშიშია, ხოლო სუსტი გრუნტის პირობებში მიწისქვეშა წყლების მაღალი დონის შემთხვევაში – ნაკლებად რეალურია. გარდა ამისა, ხიმინჯების ჩაჭედებამ შესაძლოა გამოიწვიოს სუსტი თიხოვანი გრუნტის სტრუქტურის რღვევა.

ბოლო 20 წლის გამაგრების 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”.

“ფესვისმაგვარი” ხიმინჯების ძირითადი უპირატესობები:

- სრულიად გამოირიცხება მიწის ხელის სამუშაოები. ჭაბურღილების ბურღვა წარმოებს უშუალოდ საძირკვლის გავლით, იმ კომუნიკაციების ხელშეუხებლად, რომლებიც გადის შენობების სარდაფებში.
- მცირეგაბარიტიანი მოწყობილობების გამოყენებით შეიძლება სამუშაოების წარმოება სარდაფებიდან 2,0-2,5მ. სიმაღლეზე. საჭიროების შემთხვევაში შეიძლება სამუშაოს წარმოება 1 სართულიდანაც.
- სრულიად უცვლელია კონსტრუქციის გარეგნობა, რაც მეტად მნიშვნელოვანია არქიტექტურულ ძეგლებზე მუშაობის დროს. ასევე შეიძლება სამუშაოების წარმოება მოქმედ საწარმოებში სამრეწველო პროცესის შეუჩერებლად.
- ყველა ტექნოლოგიურ პროცესზე ხელის შრომის დანახარჯები არის მინიმალური; მეთოდი არის ეკონომიური, მასალების დაბალი დანახარჯებით.
- თვალსაჩინოა ამ მეთოდის ეკოლოგიური სიწმინდე გამაგრების ქიმიურ მეთოდებთან შედარებით, რაც მნიშვნელოვანია მკაცრი ეკოლოგიური კონტროლის პირობებში.
ავღნიშნოთ აღნიშნული ხიმინჯების ცალკეული ნაკლი:
- სუსტ გრუნტებში ვიწრო ხიმინჯების ფუნქციონირების არასაკმარისად შესწავლა. დაბალი ზიდვისუნარი მათი მცირე დიამეტრის გამო და შესაბამისად, გვერდითი ზედაპირის და წვეტიანი ბოლოს მცირე ფართობის გამო.
- ხიმინჯის თავის საიმედო მიმაგრების სირთულე ძალიან ძველი საძირკვლის შემთხვევაში, რომელიც შემდგომში მუშაობს როგორც როსტვერკი. შესაბამისი გაანგარიშების არარსებობა. გაურკვეველობა სუსტ გრუნტებში საბურღ-საინექციო ხიმინჯების მოწყობისას საჭირო დიამეტრის ფორმირებაში.
- სუსტი გრუნტის გასამაგრებლად ვიწრო გრძელი ხიმინჯების, როგორც ელემენტის მუშაობის შესახებ შესწავლილი მასალების არ ქონა. ხიმინჯის ლულის მოწყობის შეუძლებლობა მძიმე ბეტონისგან (მცირე დიამეტრის ბურღილის შევსება შეიძლება მხოლოდ ცემენტის ხსნარით) დამზადებული ხსნარებისათვის.
მიუხედავად ზემოთ აღნიშნული ნაკლისა იტალიაში, გერმანიაში, საფრანგეთში, შვეიცარია და რუსეთში ასეთი ხიმინჯების დახმარებით წარმატებით ამაგრებენ

შენობებს, ავარიულ-დეფორმირებული ძეგლების ჩათვლით, და ასევე აღიმართება ახალი სამირკვლებიც კი სუსტ გრუნტებზე ძველი შენობის ახალთან გადაბმის ურთულეს პირობებში.

რომში გამაგრებულ იქნა წმ. ანდრიას, ვენეციაში – დახრილი კოშკი “ბურანო” ამავე სახელწოდების კუნძულზე. ამ მიმართულებით წარმატებით მუშაობენ სპეციალიზირებული ფირმები «Fondedile», «Bauer», «Keller», «Miver», «Fundex» და სხვა.

მოსკოვში გამაგრებულია უნიკალური ძეგლების შენობები – ტრეტიაკოვსკის გალერეა, მხატვის თეატრი, ანდრეი რუბლევის მუზეუმი და სხვ.

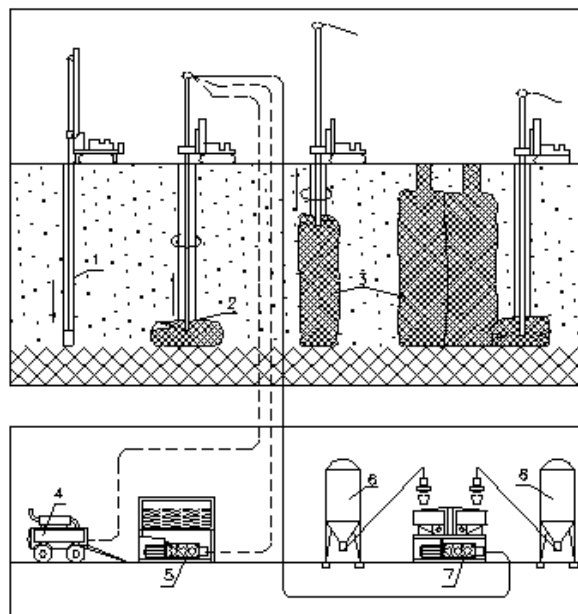
ბევრ შემთხვევაში, როგორც ნეაპოლის (1996) და ჰამბურგის (1997) საერთაშორისო გეოტექნიკურ კონგრესებზე აღინიშნა, არ არსებობს საბურღ-საინექციო ხიმინჯების გამოყენების რეალური ალტერნატივა ისტორიული შენობების დასაცავად.

უკანასკნელი საერთაშორისო კონფერენციის, სიმპოზიუმების, ასევე სამამულო პუბლიკაციების და ნაშრომების მასალების ანალიზის შედეგად შეიძლება აღინიშნოს, რომ ჯეტ გროუტინგის (jet grouting) მეთოდი არის პერსპექტიული მიმართულების - როგორც გრუნტში ცემენტის ხსნარის მაღალი ჭავლის ინექცია. ეს მეთოდი ასევე ცნობილია “ნაკადური ტექნოლოგიის” სახელწოდებით, დამუშავებულია 70-იან წლებში იაპონიაში და ფართოდ არის გავრცელებული ფრგ-ში, იტალიასა და საფრანგეთში.

ამ მეთოდით სამუშაოთა ტექნოლოგიური თანმიმდევრობა მდგომარეობს შემდეგში (ნახ.24): აწარმოებენ ჭების ბურღვას 1; ჭაში აფლობენ ინექტორს -2 სპეციალურად კალიბრირებული ნასვრეტით-სოპლოთი; ამღევენ მაღალ წნევას (100მპა-მდე) საინექციო ხსნარს; ახორციელებენ ინექტორის აწევას და მის ერთდროულად ბრუნვას; აყალიბებენ საჭირო დიამეტრის ხიმინჯს ან ხიმინჯების კედელს.

გრუნტის მასივის გამაგრების და ფუნდამენტის გამყარების მნიშვნელოვან ფაქტორს ნაკადური ტექნოლოგიის გამოყენებით წარმოადგენს დიდი წნევის შენარჩუნების შესაძლებლობა (80-100მპა). ეს უყენებს გარკვეულ მოთხოვნებს გამოსაყენებელ მოწყობილობას.

მაგალითის სახით შეიძლება მოვიყვანოთ დუნაის სანაპიროზე ხიდის კედლის გამაგრების (ნახ.23) და ვენაში სამხედრო არქიტექტურაზე (როსსაუერის ყაზარმების) საძირკვლისა და მისი გაძლიერების წარმატებით განხორციელებული პროექტები. ეს უკანასკნელი აშენებულია 1870 წ. ხის ხიმინჯებზე (სურ.23). გამაგრების აუცილებლობას განსაზღვრავდა 2 ფაქტორი: დატვირთვების მკვეთრი ზრდა სახურავის შეცვლასთან დაკავშირებით და ხიმინჯების თავების ლპობა მიწისქვეშა წყლების ჰორიზონტის დადაბლების გამო. შემუშავებულ იქნა გრუნტის და საძირკვლის გამაგრების საკონკურსო ვარიანტები. შერჩეულ იქნა ნაკადური ტექნოლოგია. ფაქტიურად მიღებული ტექნოლოგია აკმაყოფილებდა ყველა გეოტექნიკურ და კონსტრუქციულ მოთხოვნებს:

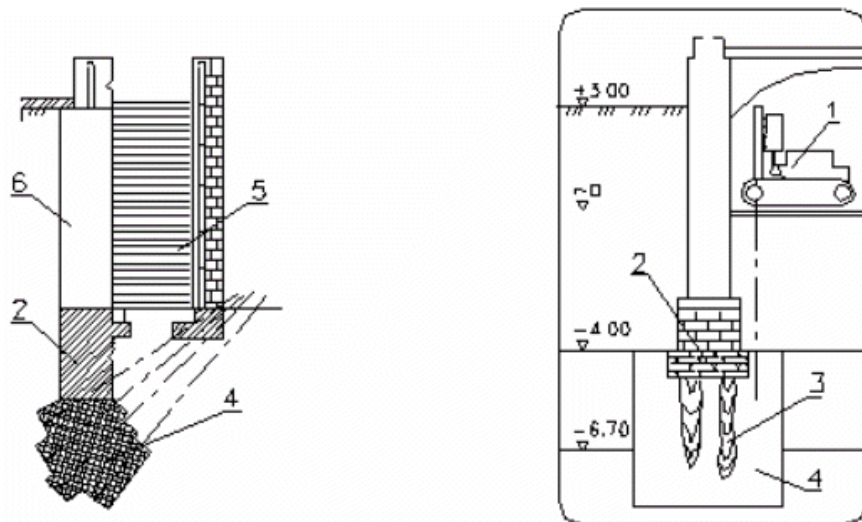


ნახ. 23. ხიმინჯებისგან კედლის მოწყობის სქემა ნაკადის ნაკადის ტექნოლოგიის გამოყენებით (ჯეტ გროუტინგ):

- 1 – ჭაბურღილი მკვირივ გრუნტამდე; 2–ინექტორი;
- 3–ფორმირებული ხიმინჯი; 4–კომპრესორი; 5–ტუმბო წყლის მისაწოდებლად; 6–ცემენტის და ქვიშის საცავი; 7–ხსნარის სატუმბი;

ხის ხიმინჯების დამპალი თავების გამორიცხვა სამუშაოებიდან; 136x275მ ზომების 5 სართულიანი მასიური შენობიდან წნევის გადაცემა უბრალო ქვიშალორდიან გრუნტებზე; კომუნიკაციების დარღვევების გამორიცხვა, რომლებიც მიჰყვება შენობას გარეთა მხრიდან; ყველა დაწნევის სრული სტაბილიზაცია დატვირთვის გაზრდისას; ხსნარების ინექციისთვის იყენებდნენ საბურღი მოწყობილობას SC-1 (Keller); (გვრ) ფირმის მუხლუხა სავალით. მოწყობილობის გაბარიტები აძლევს მას გადაადგილების საშუალებას 0,8მ სიფართის ღიობებში და მუშაობს სარდაფის 2,8მ სიმაღლის პირობებში.

სუსტი გრუნტების პირობებში ნაკადური ტექნოლოგიის ძირითადი უპირატესობა: სამუშაოთა წარმოების შესაძლებლობა ნებისმიერ არასასურველ შემჭიდროებულ პირობებში; ყველა ტექნოლოგიური ოპერაციის ეკოლოგიური სისუფთავე.



ნახ.24. შენობა ნაგებობების საძირკვლის გამაგრება

ნაკადური ტექნოლოგიის გამოყენებით: ა- დუნაის ხიდის სანაპირო საყრდენი კედელი; ბ- ვენაში სამხედრო არქიტექტურის ძეგლი (როსაუერის ბარაკები):

- 1- საბურღი დაზგა SC-1 ; 2 – არსებული საძირკველი; 3 – ხის ხიმინჯები; 4 – გრუნტის გამაგრებული მასივები; 5 – დაღმართის საფეხურები; 6 – არხის საყრდენი კედელი.

თუმცა ნაკადურ ტექნოლოგიასაც გააჩნია რიგი ნაკლოვანება, ძირითადად:

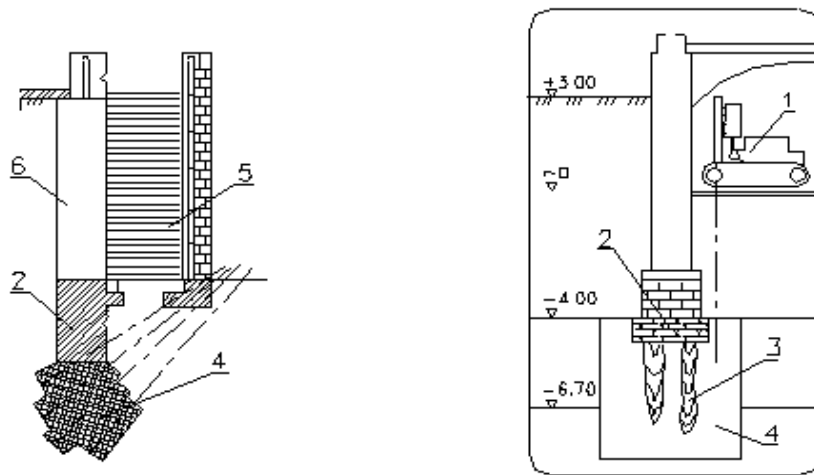
- ლოკალური დეფორმაციის საშიშროება გრუნტის მასივის დროებითი მორეცხვის პროცესში საძირკვლის ქვემოთ სიმყარის აღებამდე; მაღალი ღირებულება და მოცულობა გრუნტის გამაგრების დიდი მოცულობის გამო;

- უსაფრთხოების ზრდა მაღალ წნევასთან მუშაობისას.

ნებისმიერ შემთხვევაში ნაკადური ტექნოლოგიები პერსპექტიულია და წარმატებით გამოიყენება. ეფექტურია მაღალი ჭავლის ინექციის ტექნოლოგიების გამოყენება სხვა თანამედროვე ტექნოლოგიებთან ერთად კომპლექსურად, ანალიზი გვიჩვენებს, რომ საძირკვლის და გრუნტის გამაგრების თანამედროვე ტექნოლოგიების დასაბუთებული არჩევანისა და რეალიზაციისას შესაძლებელია ნებისმიერი სირთულის სარეკონსტრუქციო პრობლემების გადაწყვეტა.

რთული რეკონსტრუქციის მაგალითის სახით შეიძლება მოვიყვანოთ ქ. ბოსტონის (აშშ) 40-სართულიანი ადმინისტრაციული ახალი შენობის მშენებლობა. ფაქტიურად ის შენდებოდა როგორც არსებული 10-11 სართულიანი შენობა. ამასთან ძველი შენობების ბოლო სართულები უერთდებოდა ახლად აშენებულ სპეციალურ გალერეებს. სუსტი გრუნტების დიდი ფენების არსებობის გამო არსებული შენობების ქვეშ წარმოიქმნა მრავალი გეოტექნიკური პრობლემა. ამ პრობლემების გადასაწყვეტად და შენობის დაწვევის შესაძლო სხვაობის მინიმუმადე დასაყვანად შესრულებულ იქნა შემდეგი სამუშაოები (ნახ.26): შენობებს შორის გრუნტი არმირებულ იქნა დასატენი ხიმინჯების ცხაურით, რაც შეერთებულ იქნა როსტვერკით.

გადახრის გასამაგრებლად გამოყენებულ იქნა რკინაბეტონის საყრდენი კედლის 2 რიგი და ხიმინჯიანი საძირკვლის საყრდენი 14 მეტრიანი მილისებრი ხიმინჯებით, რომლებიც თავისი მახვილი წვეტით მკვრივ მოყინულ თიხნარში შედიოდა; თვით შენობის საძირკვლის საყრდენი შესრულებული იყო 1,5მ სისქის რკინაბეტონის ფილით, რომლის კონტურებზეც მოწყობილი იყო 400 რკინაბეტონის ხიმინჯი. აქ, წარმატებით იქნა გამოყენებული რამდენიმე ტექნოლოგიური მეთოდი, საყრდენი კედლების საინექციო ანკერებით საძირკვლის გამაგრებისა და ანკერირების ჩათვლით.



ნახ.25. სუსტ გრუნტებზე შენობის რთული რეკონსტრუქციის მაგალითი:

- 1-სუსტ გრუნტზე არსებული შენობა; 2- ფოლადის ცხაური; 3-ბეტონის-მილის ხიმინჯები; 4- დასატენი ხიმინჯები; 5- საყრდენი კედლები; 6-გრუნტის საინექციო ანკერები.

ამგვარად, ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში წარმოიქმნება მრავალგეგმიური საინჟინრო გეოტექნიკური ამოცანები, რომელთა გადაწყვეტაც ითხოვს გრუნტების, ხანგრძლივი ექსპლუატაციის პროცესში, მიწისქვეშა ნაგებობათა ან ახალი საძირკვლის საყრდენების სამუშაოთა წარმოების პროცესში მათი თვისებების ცვლილებების შესახებ ამომწურავ ინფორმაციას. საყრდენებისა და საძირკვლების გამაგრების საკითხები უნდა გადაწყდეს კომპლექსურად მიწისქვეშა კონსტრუქციების გამაგრების საკითხთან ერთად. აქ, ფესვიანი ხიმინჯებით საძირკვლის გამაგრებასთან ერთად შესრულებულია ძირითადი მიწისზედა კონსტრუქციების გამაგრებაც, კედლების აგურით წყობის ჩათვლით. აუცილებელია იმის გათვალისწინება, რომ აგურის კედლების ანკერირება რკინის ღერძებით დროთა განმავლობაში შეიძლება გახდეს არაეფექტური და საშიში რკინის კოროზიის გამო, რის შედეგადაც ხდება კოროზირებული ლითონის მოცულობაში ზრდა და შედეგად გასამაგრებელი კონსტრუქციის მთლიანობის დარღვევა.

თუმცა დეფორმაციის ძირითად წყაროდ არსებითად რჩება გრუნტების თვისებების არასწორი გათვალისწინება ან მათი შედეგების შესაძლო

გაუთვალისწინებლობა, რაც დაკავშირებულია სარეკონსტრუქციო სამუშაოების პროცესში მათ დესტრუქტურიზაციასთან.

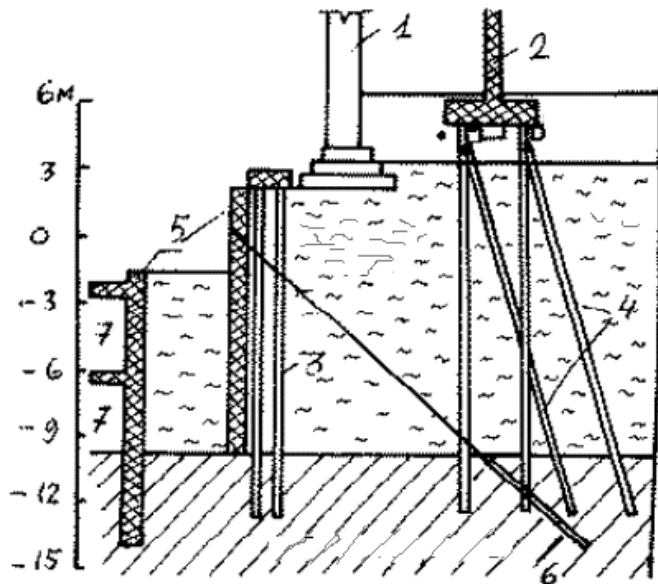
3.4. გამაგრების საბურღ-საინექციო ხიმინჯები

მსოფლიო ცივილიზაციის ისტორიული ძეგლების დაცვის სიმპოზიუმის მასალები (ნეაპოლი 1996) ადასტურებს საინექციო ტექნოლოგიის გამოყენების ეფექტურობას, მათ შორის სუსტი გრუნტის პირობებშიც. ამჟამად, გამაგრების საბურღ-საინექციო ხიმინჯებით გამაგრებულია ათასზე მეტი არქიტექტურის ძეგლი. რიგ შემთხვევებში ჩატარებულია დასაცავი შენობის აგურის წყობაში ინეცირება და არმირება (ნახ.27). შედეგად გადაწყვეტილ იქნა რამდენიმე მნიშვნელოვანი სარეკონსტრუქციო ამოცანა:

აღდგენილ იქნა ძველი აგურის წყობა და გაუმჯობესდა შენობის სტატიკური მუშაობის პირობები სიხისტის/სიმტკიცის ზრდის ხარჯზე; გაუმჯობესდა საძირკვლის გრუნტზე დატვირთვის გადაცემის პირობები;

აღდგენილია ანტიკაპილარული იზოლაცია ფუნდამენტის ზემოდან კედლის საყრდენი ნაწილის გამაგრებასთან ერთად. თუმცა, სუსტი გრუნტის მნიშვნელოვანი სისქის შემთხვევაში (როცა სიმძლავრე აღწევს 25-30მ) ვიწრო გრძელი საბურღ-საინექციო ხიმინჯების ეფექტურობა და ეკონომიურობა შეიძლება გახდეს სადისკუსიო. რიცხვითი მოდელირება წარმოადგენს ერთადერთ ინსტრუმენტს, რომელიც იძლევა საშუალებას მიეცეს ობიექტური შეფასება წარმოდგენილი რეკონსტრუქციული გამაგრების ზომების მიზნობრიობას ხიმინჯების გამოყენებით. როგორც მოცემული კვლევები და საძირკვლების რეკონსტრუქციების გამოცდილება გვიჩვენებს, საბურღ-საინექციო ხიმინჯების გამოყენებისას აუცილებელია შემდეგი გარემოებების გათვალისწინება:

1. ხიმინჯის დახრილობის კუთხე უმნიშვნელო გავლენას ახდენს გამაგრებული შენობის დაწვევის სიდიდეზე, ამიტომ მისი გადიდების აუცილებლობა არ არის, რაც ამარტივებს მათი მოწყობის სამუშაოების წარმოებას.



ნახ. 26. კონსტრუქციების კომპლექსური გამაგრება
საძირკვლის ჩათვლით (არქიტექტურის
ძეგლები რომში)

2. ხიმინჯები უნდა იყოს გრუნტზე საიმედოდ დამაგრებული, რისთვისაც ძველი, ცალკეული ქვებისგან შემდგარი საძირკველი უნდა იქნას წინასწარ გამაგრებული ცემენტის ხსნარის ინექციით. იგი პრაქტიკულად გადაიქცევა როსტვერკად და სიმაგრით უნდა შეესაბამებოდეს თავის დანიშნულებას. თუ საძირკვლის სიმტკიცე არასაკმარისია, ან ხიმინჯის ჩაჭედება გრუნტში განხორციელდა მის დიამეტრზე 5-ჯერ ნაკლებით, საჭიროა დამატებითი კონსტრუქციის შექმნა “საყრდენი-გრუნტის” შესაკავშირებლად, ე. წ. საკონტაქტო ფენის შექმნა. ამისათვის არსებობს საკმაოდ მარტივი ტექნოლოგიური მეთოდები.

3. გაანგარიშებით დადგენილია, რომ გადახრის ზრდა მნიშვნელოვნად აძლიერებს ხიმინჯების შიდა დაწოლას. ეს გარემოება, გრუნტის ძირითადი სიმტკიცისა და დეფორმირების თვისებების გამო შეიძლება გათვალისწინებულ იქნას გაანგარიშებით, და მოცულობითი გამაგრების სპეციალური მეთოდების შესაბამისად. გაანგარიშებისას საბურღ-საინექციო ხიმინჯი განიხილება როგორც რკინაბეტონის კონსტრუქცია, ამიტომ მისი დამზადებისას, გარდა ცემენტისა, საჭიროა ინერტული მასალა. ტექნოლოგიური თავისებურებების გათვალისწინებით, ინერტული მასალის სახით შეიძლება გამოყენებულ იქნას ქვიშა. წარმოდგენილია, რომ ცემენტის ხიმინჯების გამოყენება შეიძლება

გადახრის მცირე კუთხეებზე დროებითი გამაგრების და დროებითი ანკერული გამაგრების შემთხვევაში (მაგ. შენობა მიწისქვეშა სამუშაოების მშენებლობის ზონაში).

4. არმატურის კარკასების გამოყენებისას უნდა იყოს დაპროექტებული და შესრულებული თანაბრად მყარი პირაპირები. შესაძლებელია კონსტრუქციაში მყარი მილების, ლითონის პროფილების, სპეციალური მინის ჩართვა ხიმინჯების სახით.

უკანასკნელი ვარიანტი გამოიყენება იტალიაში და მოითხოვს აპრობაციას სუსტ გრუნტებში ხიმინჯების მუშაობის პირობებში. ნებისმიერ შემთხვევაში, საბურღ-საინექციო ხიმინჯისთვის, რომელიც გამოიყენება სუსტ გრუნტებში, არმატურით გაძლიერება უნდა მოხდეს სხვადასხვა კვეთებში ფაქტიურად მოქმედი მომენტების მიხედვით. ტიპური კონსტრუქციული გადაწყვეტილებები, არმატურით გაძლიერების ტექნოლოგიური მეთოდები და საბურღ-საინექციო ხიმინჯების ჩაბეტონება შემუშავებულია შედარებით მყარი გრუნტებისთვის, სუსტი გრუნტების პირობებში ის არაეფექტური აღმოჩნდა, ხოლო სხვა ცალკეულ შემთხვევებში კი საშიშიც კი.

5. საბურღ-საინექციო ხიმინჯების დამზადების ტექნოლოგია, რომელიც უზრუნველყოფს სუსტი გრუნტების პირობებში გაანგარიშებით მიღებულ საჭირო სიმტკიცის პარამეტრებს, საკმაოდ რთულია და მოითხოვს სპეციალური აღჭურვილობის კომპლექსის გამოყენებას. ასეთი კომპლექსის შესამუშავებლად საჭიროა საბურღ-საინექციო ტექნოლოგიების ძირითადი უპირატესობის და ნაკლის გაანალიზება, ფუნდამენტის გაძლიერების სხვა ტექნოლოგიებთან შედარებით. შევჩერდეთ მხოლოდ ძირითად სარეკონსტრუქციო შემთხვევებზე, როდესაც საბურღ-საინექციო ხიმინჯები და საინექციო ტექნოლოგიები წარმატებით გამოიყენებოდა სამამულო და საზღვარგარეთის პრაქტიკაში:

საძირკვლების და გრუნტების გაძლიერება შენობის დაწვეის სტაბილიზაციის აუცილებლობის შემთხვევაში:

სხვადასხვა კონსტრუქციული ელემენტების გაძლიერება გრუნტის, დატვირთული კედლების აგურის წყობის, სახურავების ჩათვლით; შენობის კონსტრუქციული სქემის შეცვლა გრუნტზე დატვირთვის გადანაწილებით ან

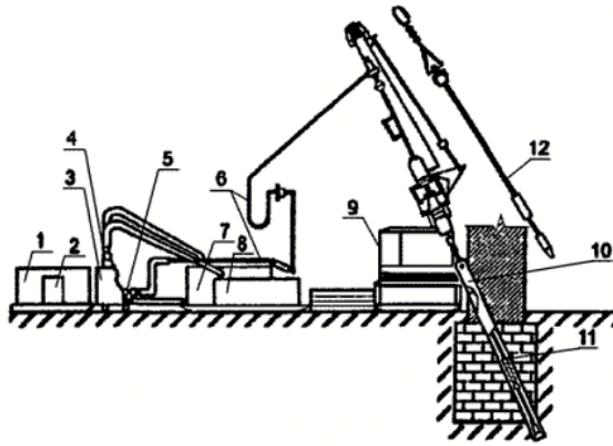
ფუნდამენტების გადატვირთვა; ცალკე მდგომი და ზოლისებრი ხიმინჯიანი ფუნდამენტების მოწყობა არსებულ შენობასთან მიერთების ზონაში, იმ შემთხვევაში, როდესაც, მაგ. საშიშია მზა ხიმინჯების ჩაფლობის დინამიკა;

შენობებს შორის გამყოფი უწყვეტი კედლების მოწყობა; არაღრმა მიწისქვეშა ნაგებობათა კედლების მოწყობა, სარდაფების გაღრმავება; საყრდენი კედლების, მათ შორის “კედელი გრუნტში” მეთოდით შესრულებულის გამაგრება (ანკერირება); გრუნტის არმატურით გაძლიერება მისი თვისებების გასაუმჯობესებლად და დატვირთვის ზიდვის ასამაღლებლად; არსებული შენობების პრევენციული გაძლიერება;

სუსტი გრუნტების პირობებში შენობის გასამაგრებლად ამ მეთოდების ასეთმა ფართო გამოყენებამ და წარმატებით რეალიზაციამ მოითხოვა არსებული ტექნოლოგიის გაუმჯობესება ხიმინჯების ზიდვის უნარის გასაძლიერებლად.

საბურღ-საინექციო ხიმინჯების მოწყობის ტექნოლოგიური ციკლი მოიცავს: საძირკვლის წყობის ბურღვას, მილი-კონდუქტორის დაყენებას და მის ტამპონირებას; ჭაბურღილის ბურღვას საპროექტო ნიშნულამდე თიხოვანი ხსნარის დაცვის ქვეშ; ჭაბურღილის ბურღვას; ჭაბურღილის შევსება გამყარებადი ხსნარით; არმატურის კარკასის დაყენება; შევსებული ჭაბურღილის დაწნევა წნევით 0,2 — 0,4 მპა.

თუ გრუნტის სიმტკიცე არასაკმარისია, ტარდება ცემენტის ხსნარის ინექცია მის წყობაში. საბურღ-საინექციო კომპლექსი მცირე გაბარიტული საბურღი დაზგით (ნახ.28). ბურღვა საძირკვლის ფარგლებში წარმოებს კონდუქტორის მიერ, რომელიც წარმოადგენს მიმართულების მქონე მილს, კონდუქტორი უზრუნველყოფს დაწნევის საიმედოობას, ჭაბურღილიდან ცემენტის ხსნარის ამოფრქვევის თავიდან აცილებით.



ნახ. 27. საბურღ-საინექციო კომპლექსი ხიმინჯების

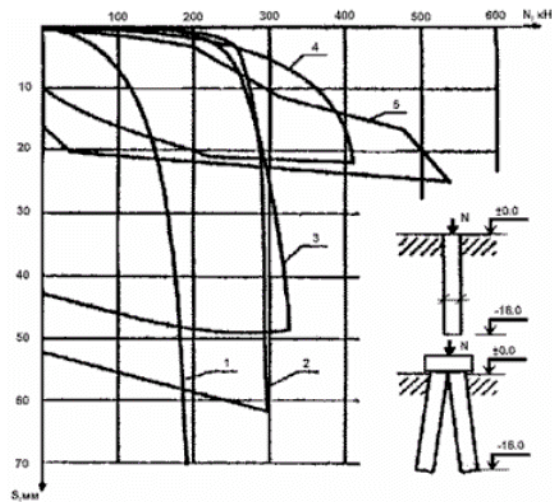
დამზადების პროცესში:

1. ავზი ცემენტის ხსნარისთვის; 2- თიხისმრევი; 3- საზომი ბაკი; 4- ხსნარის ტუმბო; 5- მრეცხავი ტუმბო; 6- საჭირხნი მილგაყვანილობა; 7- ავზი თიხოვანი ხსნარისთვის; 8- ნარჩენების გამომყოფი; 9-საბურღი დაზგა; 10- კონდუქტორი; 11- საბურღი ინსტრუმენტი; 12- საბურღი მილი.

არმატურის კარკასი ან ცალკეული ღეროები ეშვება ჭაბურღილში სექციებად, რომელთა თანაბრად მყარი პირაპირი სრულდება შედუღების დახმარებით, რაც არსებითად ართულებს სამუშაოს. საბურღ-საინექციო ხიმინჯების ჩამოყალიბების მნიშვნელოვანი ეტაპი, რომლებიც წარმოებს სუსტ გრუნტებში თიხოვანი ხსნარის დაცვით არის დაპრესვა (დაწნევა).

დაპრესვა (დაწნევის) წნევასა და დროზე არის დამოკიდებული შემდგომში ხახუნის წინაღობა ხიმინჯის გვერდით ზედაპირზე, და შესაბამისად, მისი დატვირთვის უნარიანობაც. ამ დროს ხდება გრუნტის ნაწილობრივი ცემენტირება გრუნტის-ხიმინჯთან კონტაქტისას. სუსტ გრუნტებში 0,2 — 0,4 მპა წნევის ქვეშ დაპრესვისას ხიმინჯის ირგვლივ არსებული გრუნტი მკვრივდება, ხიმინჯის კვეთი იზრდება, არსებული სივრცე ივსება ხსნარით.

ასეთი სიგრძის ხიმინჯები ეყრდნობა მყარი კონსისტენციის მკვრივ თიხის გრუნტებს. ხიმინჯების დატვირთვის შესაძლებლობა დაპრესის გარეშე არის უმნიშვნელო (მრუდი 1 ნახ.28). ჭარბი წნევით დაპრესვა ზრდის ხიმინჯების ზიდვის უნარს სუსტ გრუნტებში (მრუდი 2 -4 ნახ. 28).



ნახ. 28. საბურღ-საინექციო ხიმინჯების გამოცდის გრაფიკი გამოსაცდელ მოედანზე: 1- დაპრესვის გარეშე, 2,3- დაპრესვით 0,2 და 0,4 МПа; შესაბამისად ; 4- მაღალი ძაბვის განმუხტვით დაპრესვით; 5- ორი დახრილი ხიმინჯი.

ძველი შენობის გამაგრების სამუშაოების წარმოებისას ტორფიან გრუნტებში უნდა ჩაიხსნას საბურღ-საინექციო ხიმინჯები. ამრიგად, დაპრესვის რეჟიმის დახმარებით და ცემენტის ან ქვიშა-ცემენტის ხსნარის შერჩევით შეიძლება ხიმინჯების ზიდვის უნარის გაზრდა სუსტ, ტორფიან გრუნტებშიც.

ნახ.29-ზე მოცემულია სუსტი გრუნტის მჭრელი საბურღ-საინექციო ხიმინჯების ნატურაში გამოცდის მონაცემები დიამეტრით 132მმ, სიგრძით 16მ.

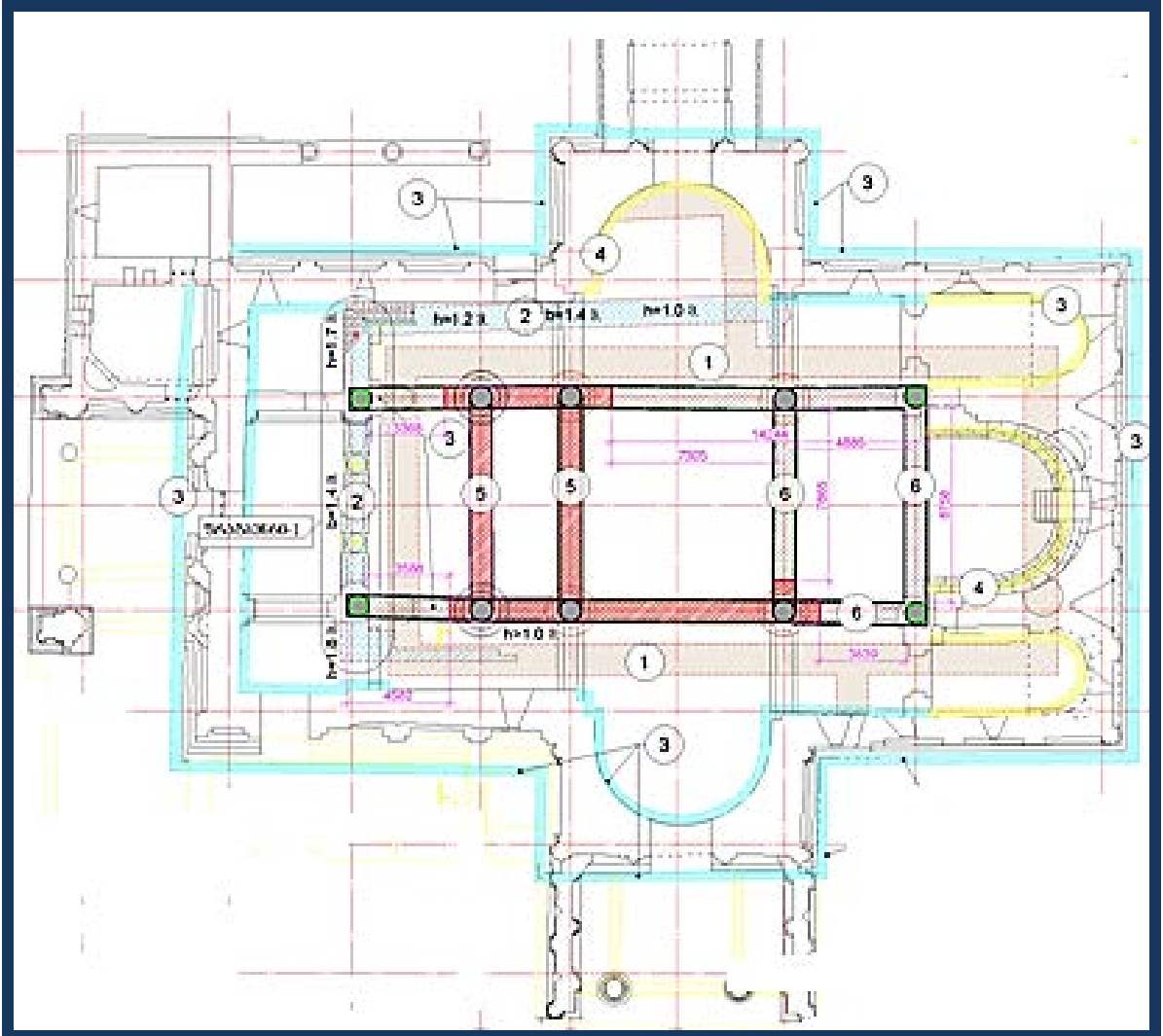
საბურღ-საინექციო ხიმინჯებით საძირკვლისა და გრუნტის გასამაგრებელი სამუშაოების შესრულებისას გამოიყენებოდა ცალკეული ტექნოლოგიური მეთოდები, რაც იწვევს ერთობლივი სამუშაოების გაუმჯობესებას სისტემით: “საძირკვლი-გამაგრების ხიმინჯი-საძირკვლის გრუნტი”. ჭაბურღილის საკონტროლო ბურღვამ მცირე დიამეტრებით გრუნტის სხეულში, საშუალება მისცა შექმნილი საკონტაქტო ფენის

გამაგრების სხვადასხვა ვარიანტების რიცხობრივი მოდელირება იძლევა საშუალებას შევჩერდეთ მოკლე ხიმინჯებზე, რომლებიც დაყენებულია მარაოს სახით. მათი წყალობით გაუმჯობესებული იქნება არსებული დატვირთვის გადანაწილების პირობები.

თავი 4

4.1. ტაძრის საძირკვლისა და მზიდი კონსტრუქციების თავდაპირველი მდგომარეობის მოკლე დახასიათება

საძირკვლის ფუძეს წარმოადგენს თანაბარი სიმტკიცის რბილპლასტიკური თიხნარი: საანგარიშო წინაღობა $R=1.5\div 1.8$ კგ/სმ²; საგების კოეფიციენტი $C_1=2.0$ კგ/სმ³; დეფორმაციის მოდული $E=12$ მპა;



ნახ. 29. საძირკვლის გაძლიერების სქემატური გეგმა:

ცისფერი კონტური გაძლიერებული ლენტური საძირკველია;

ყვითელი - საძირკვლის გასაძლიერებელი უბანია;

წითელი არსებული საძირკველია.

საძირკვლის კონსტრუქციები: ტაძრის საძირკვლის კონსტრუქციას წარმოადგენდა მზიდი კედლების ქვეშ ლენტური და შიდა კონსტრუქციებისათვის წერტილოვანი საძირკვლები.

ტაძრის მზიდი კედლების ქვეშ არსებული ლენტური საძირკველი, კირქვის წყობის იყო. არქეოლოგიური კვლევის შედეგების მიხედვით იყო დაზიანებული, ერთ მონაკვეთზე ქვები იყო გატეხილი. აქვე იქნა აღმოჩენილი V-VI საუკუნის ნაგებობის ნაშთები, რომელიც ზოგ შემთხვევაში გამოყენებული იყო განსახილველი ნაგებობის საძირკვლადაც.

არსებული ყორე-ქვის ლენტური საძირკველი საჭიროებდა გაძლიერებას, რომლის შესრულების შემდეგ გაიზარდა საძირკვლის სიგანე, რის შედეგადაც ამალდა სიმტკიცე და სიხისტე.



სურ.30. არსებული სვეტის ფრაგმენტი

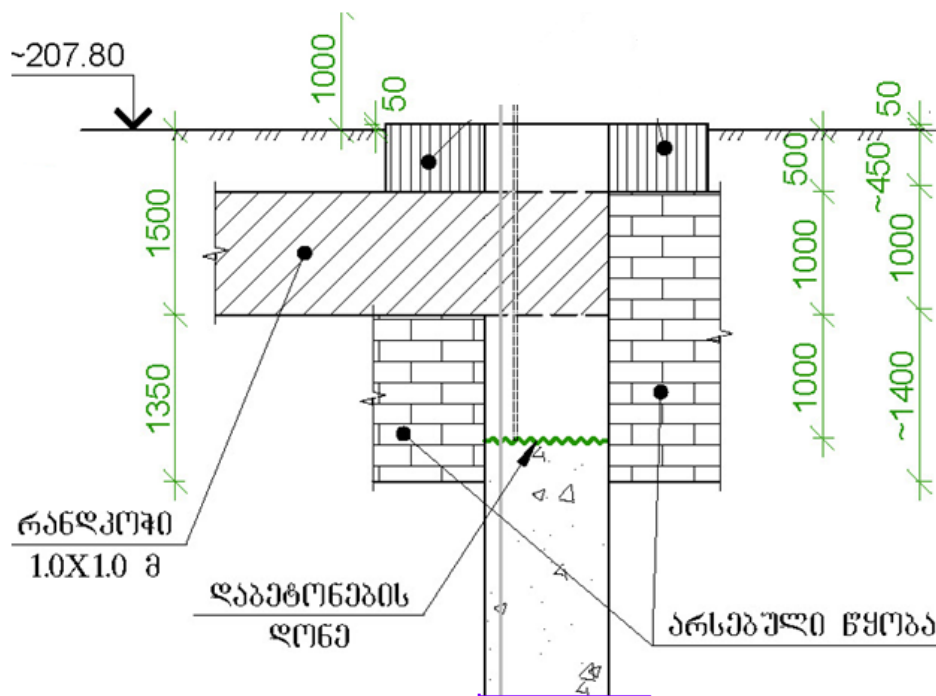
გახსნილი იქნა “დ” – “5” ღერძების გადაკვეთაზე მრგვალი სვეტის საძირკველი, რომლის მიხედვითაც სვეტის საძირკვლები წერტილოვანია, კირის დუღაბზე დაწყობილი კირქვით, ჩაღრმავებულია 100სმ-მდე. აღნიშნული სვეტის ფრაგმენტი გადახრილი იყო ვერტიკალიდან, რაც სავარაუდოდ გამოწვეული უნდა ყოფილიყო ნგრევისას საძირკვლის დეფორმაციით. განხორციელდა

არსებული სვეტების აღდგენა-გამდიერების სამუშაოები. სვეტების ქვეშ (10ც სვეტი) მოეწყო მონოლითური რკინაბეტონის დასაბურღ-დასატენი დგარი ხიმინჯები, ხიმინჯის წვერის ჩაღრმავება მოხდა ძირითად ქანში მინიმუმ 1 მ სიღრმეზე. ხიმინჯის თავების ერთმანეთთან დაკავშირება განხორციელდა რკინაბეტონის რანდკოჭებით.

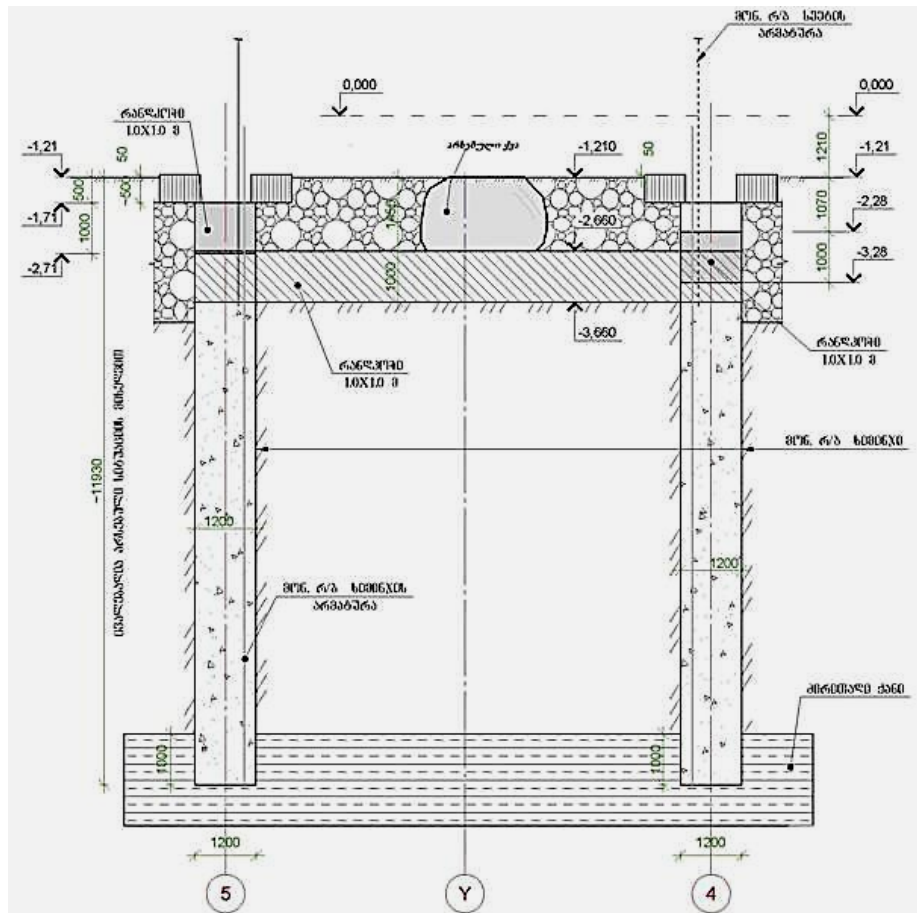
ხიმინჯების მონტაჟისათვის ჭების მოწყობისას გამოყენებული იქნა ლითონის სამაგრი მილები (ГОСТ 10704-63-ის მიხედვით, მილის გარე დიამეტრი 1220 მმ, სისქე 8 მმ, 1 გრძ.მ-ის წონა 239.1კგ.) მათი სიგრძე შეირჩა ისე, რომ შემდგომ მოსახერხებელი ყოფილიყო მონტაჟი. ხიმინჯების ერთმანეთთან გადაბმის კვანძები დამუშავდა სამუშაოთა წარმოების პროექტის მიხედვით. ხიმინჯის ფუძედ მიღებული იქნა ინჟინერ-გეოლოგის მიერ განსაზღვრული დონე, რაც შეესაბამებოდა სამშენებლო ნორმებსა და წესებს.

- ხიმინჯის შიდა დიამეტრი 120 სმ-ს, ბეტონი B 25 კლასის;
- რანდკოჭის განივკვეთი $b \times h = 100 \times 100$ (სმ) ბეტონი B 25 კლასის.

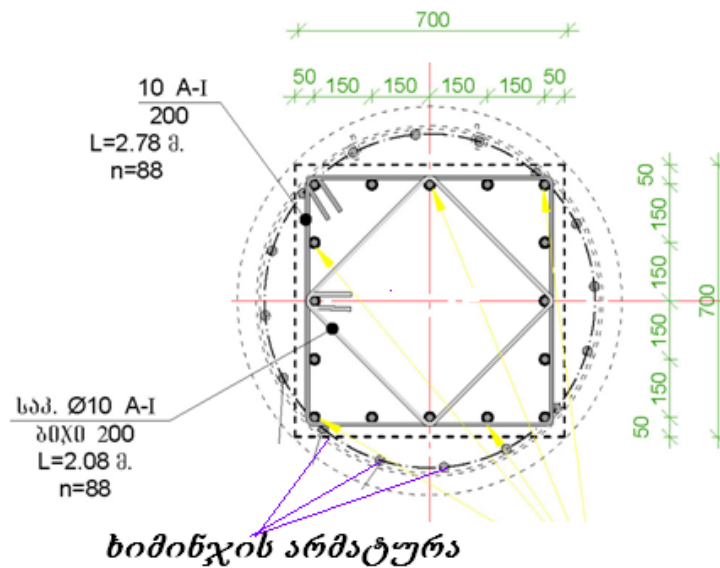
მონოლითური ხიმინჯისა და რანდკოჭების კონსტრუქციული და დაარმატურების სქემები ნაჩვენებია ნახ.32.; 33; 34.



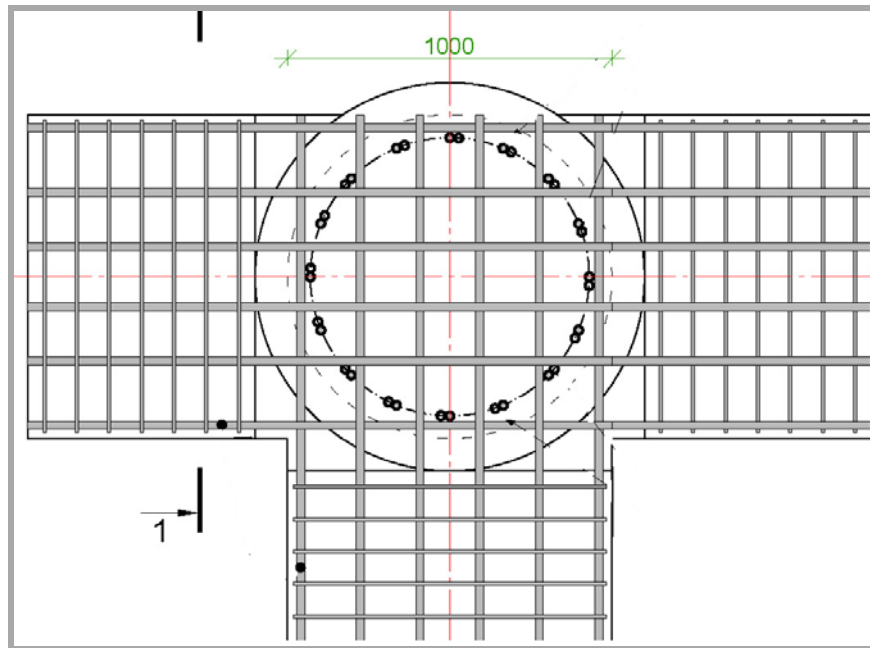
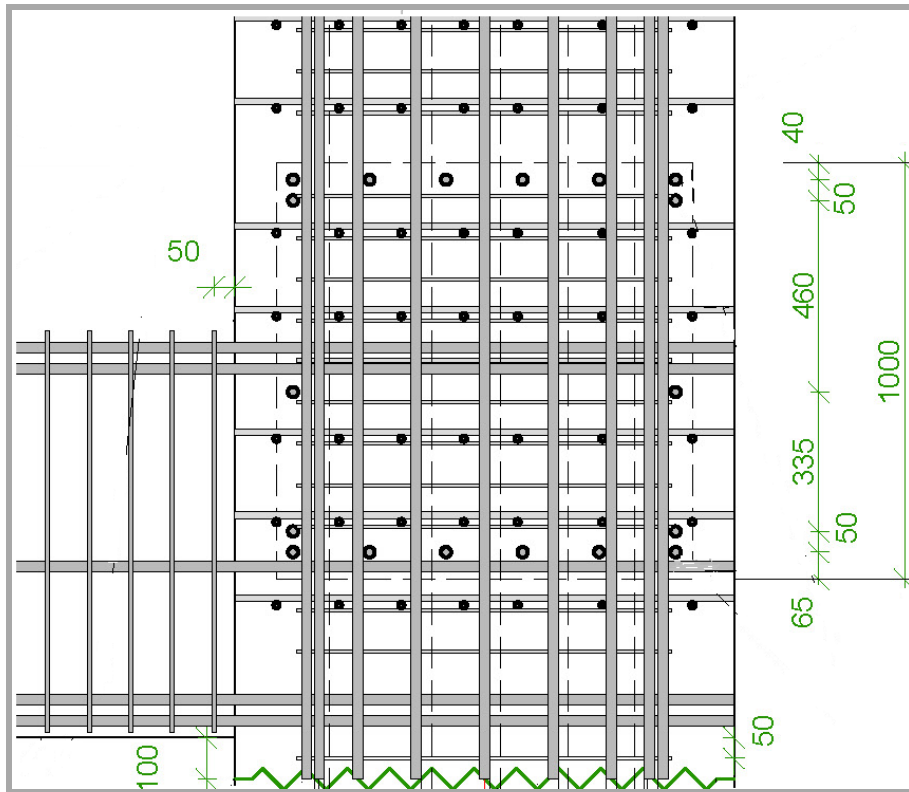
ნახ.31. მონოლითური ხიმინჯისა და რანდკოჭის მოწყობის სქემა



ნახ.32. რკინაბეტონის ხიმინჯისა და რანდოქის კონსტრუქციული სქემა



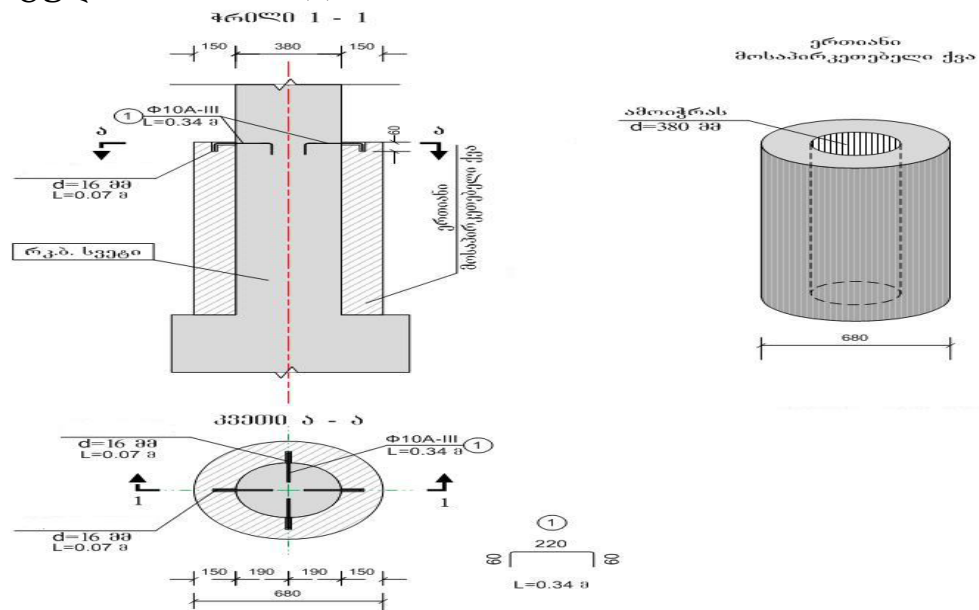
ნახ.33. მონოლითური რკინაბეტონის სვეტისა და ხიმინჯის არმირების სქემა



ნახ. 34. რანდვოჭში არმატურების განლაგების სქემა

მონოლითური რკინაბეტონის ცალკე მდგომი სვეტები - განივკვეთი სხვადასხვა ფორმისაა:

- წრიული D-10 მ-ს, D-0,40 მ-ს და D-0,38 მ-ს;
- კვადრატული $b \times h = 0.7 \times 0.7$ (მ).



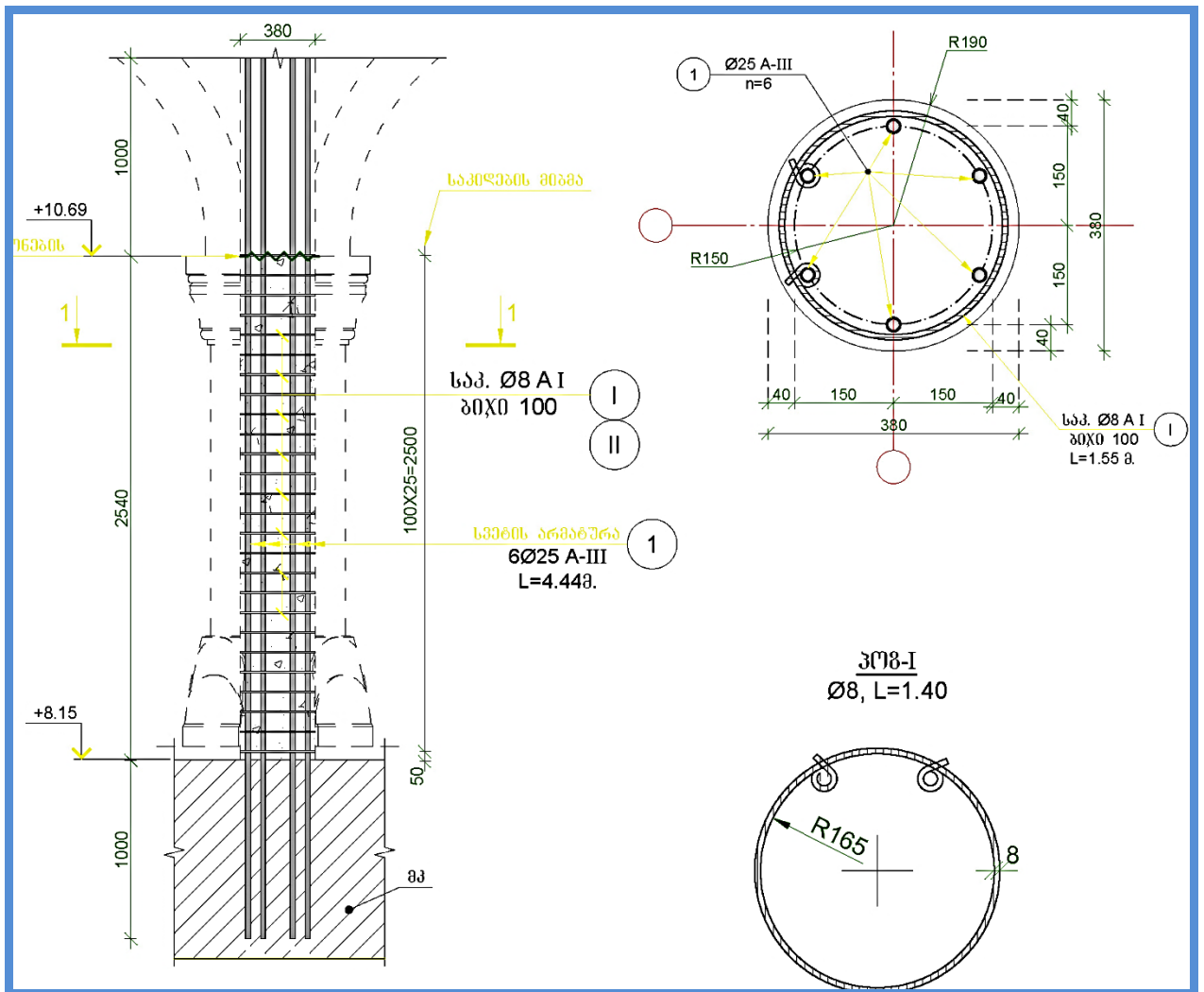
ნახ.35. მონოლითური რკინაბეტონის წრიული სვეტები

მონოლითური სვეტების დაარმატურება განხორციელდა საანგარიშო პროექტის შესაბამისად. სვეტების დაარმატურება მოხდა 6 ცალი $d=25$ მმ A-III კლასის არმატურით, განივ არმატურად გამოყენებული იქნა $d=8$ მმ A-I კლასის ღეროები ბიჯით 100მმ. სვეტის დაარმატურების სქემა ნაჩვენებია ნახ.36. და ნახ.37-ზე.

მათი მონტაჟი განხორციელდა საპერანგე ქვების მონტაჟის პარალელურად. B25 კლასის ბეტონის ჩაწყობა შესრულდა მშენებლობის ორგანიზაციისა და სამუშაოთა წარმოების პროექტის შესაბამისად, მაგრამ ბეტონის ერთდროული ჩაწყობის სიმაღლეს არ გადაუჭარბებია 1.5 მ-ის (სნწ).

მონოლითური სვეტების დაარმატურება განხორციელდა საანგარიშო პროექტის მიხედვით.

არსებულ კედლებში ჩაშენებული განივკვეთის სხვადასხვა ფორმის და ზომის მონოლითური რკინაბეტონის სვეტები წარმოადგენს დამაკავშირებელ კვანძს ტაძრის არსებულ კედლებსა და კარკასს შორის. ჩაშენებულ სვეტსა და არსებულ კედლებს შორის კავშირი განხორციელდეს არმატურის ანკერების საშუალებით, შეივსო B25 კლასის ბეტონით.

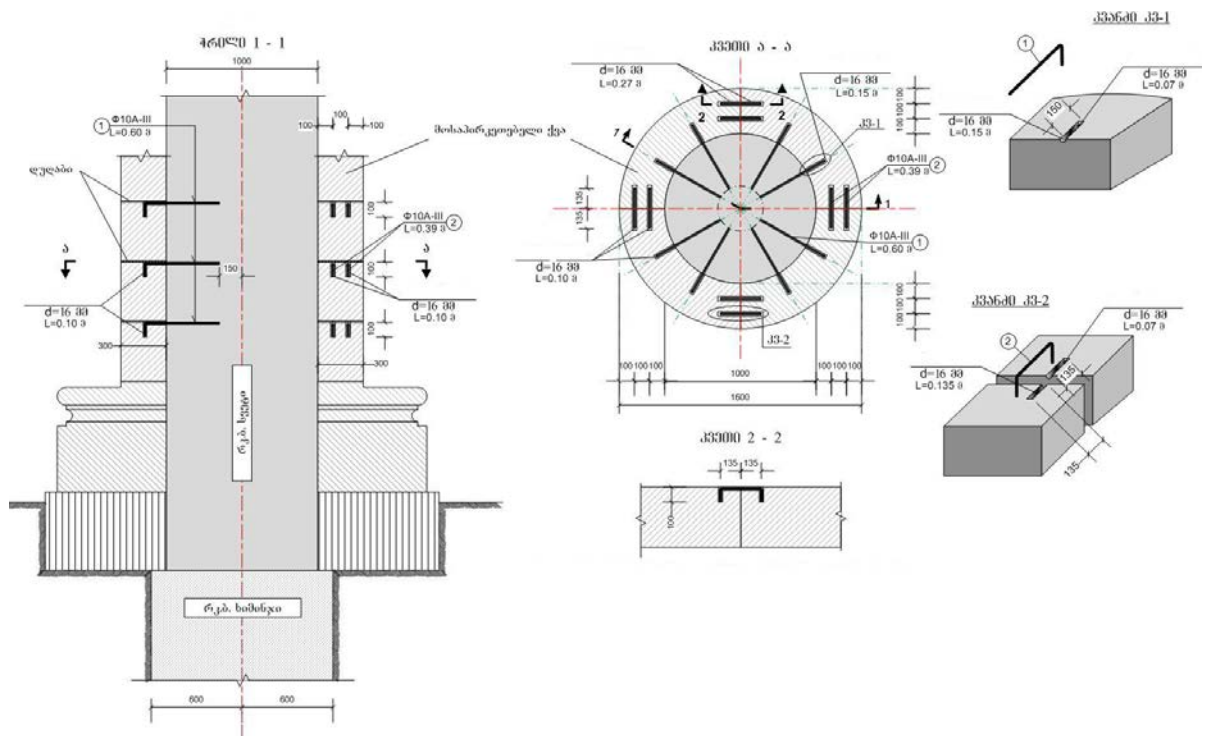


ნახ.36. მონოლითურის სვეტის დაარმატურების სქემა

XX საუკუნეში აღდგენილი სვეტების საპირე კირქვის კვადრები ბუტობეტონის შევსებითაა შესრულებული და დაფუძნებულია XI საუკუნის საძირკვლების და სვეტების ნარჩენებზე.

კონსტრუქციული თვალსაზრისით მნიშვნელოვანია მხოლოდ “8” – “თ” ღერძების გადაკვეთაზე აღმართული სვეტი აღმოსავლეთით და ჩრდილოეთით განვითარებული თაღებით, თუმცა მათი ფუნქცია ჩვენი აზრით დროებითაა; დანარჩენი სვეტები დეკორატიულია თავისი დანიშნულებით.

ჩრდილო-დასავლეთის ფასადზე მიდგმული ნაგებობა ტაძრის ძირითადი ნაწილის დამთავრების შემდეგ არის აგებული (იგივე ითქმის კარიბჭეებზე), რის გამოც მათი კედლები გადაუბმელია.



ნახ.37.მონოლითური სვეტში საპერანგე ქვის ჩაანკერების სქემა

კედლები:

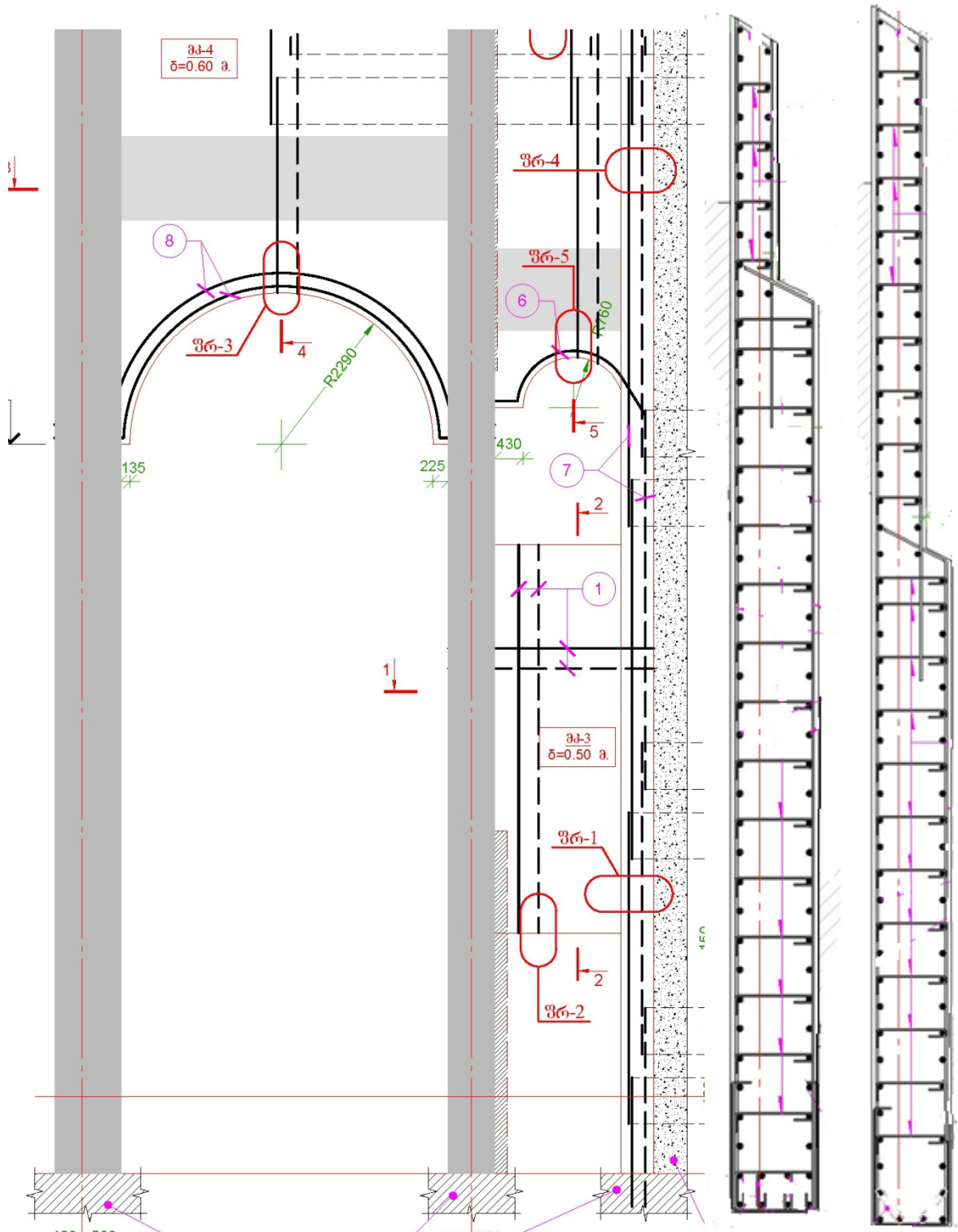
არსებული მზიდი კედლების გაძლიერებისა და საპერანგე ქვების მოწყობის ტექნოლოგიური და ამავე დროს კონსტრუქციული გადაწყვეტის სქემები მოცემულია ნახაზებზე (ნახ.39; 40;41;42).

გამოყენებული მასალა – XI საუკუნის კედლების –საპირე კირქვის კვადრები კირის დულაბზე.

XX საუკუნეში აღდგენილი– საპირე კირქვის კვადრები ბუტაბეტონის შევსებით.

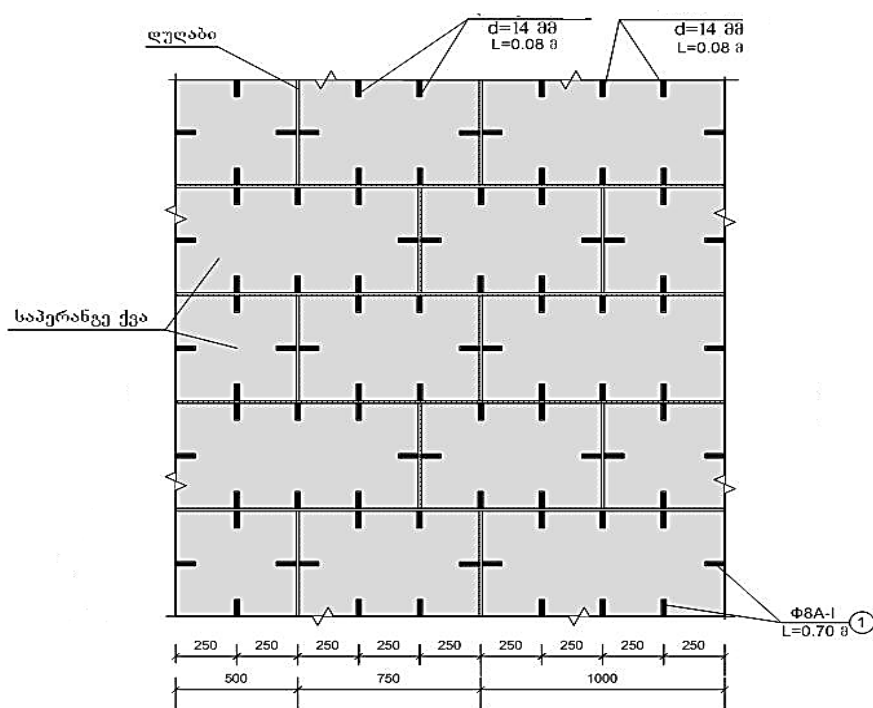
კედლები გამოირჩევა საპირე ქვის უხეში წყობით, რის გამოც ვიზუალურად ჩანს მხოლოდ დიდი ზომის (რამოდენიმე სმ–ის სიგანის) ბზარები, რაც უნდა გამოეწვია ძლიერ აფეთქებას, დიდი წონის კონსტრუქციების ნგრევას და გადარჩენილ კონსტრუქციებზე მიჯახებას, შემდეგში მათზე ამოსულ მცენარეულ საფარს და საუკუნეების განმავლობაში დაუცველ კონსტრუქციებზე ბუნებრივი მოვლენების ზემოქმედებას. ასევე კედლებში არსებული ვიზუალურად უხილავი ბზარებისა და სიცარიელების გაჩენა.

ტაძრის კედლების გაძლიერება მონოლითური რკინაბეტონის კედლებით



ნახ. 39. გაძლიერებული მონოლითური რკინაბეტონის კედლის დაარმატურების სქემები.

ბუტობეტონით აღდგენილი კედლების და მათი კუთხეების, ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები (ჩატარებული კვლევის მიხედვით) მაღალია ძველი კედლის მაჩვენებლებთან შედარებით. ეჭვს იწვევს ძველი და ახალი წყობის საკონტაქტო ზმის ხარისხიანობა. ამავე დროს, მხოლოდ სამხრეთ-დასავლეთის კუთხის აღდგენისას არის გამოყენებული რკინაბეტონისა და ბეტონის სარტყელი, სასურველი იქნებოდა სხვა კუთხეების აღდგენის დროსაც გამოეყენებინათ იგივე მეთოდი.



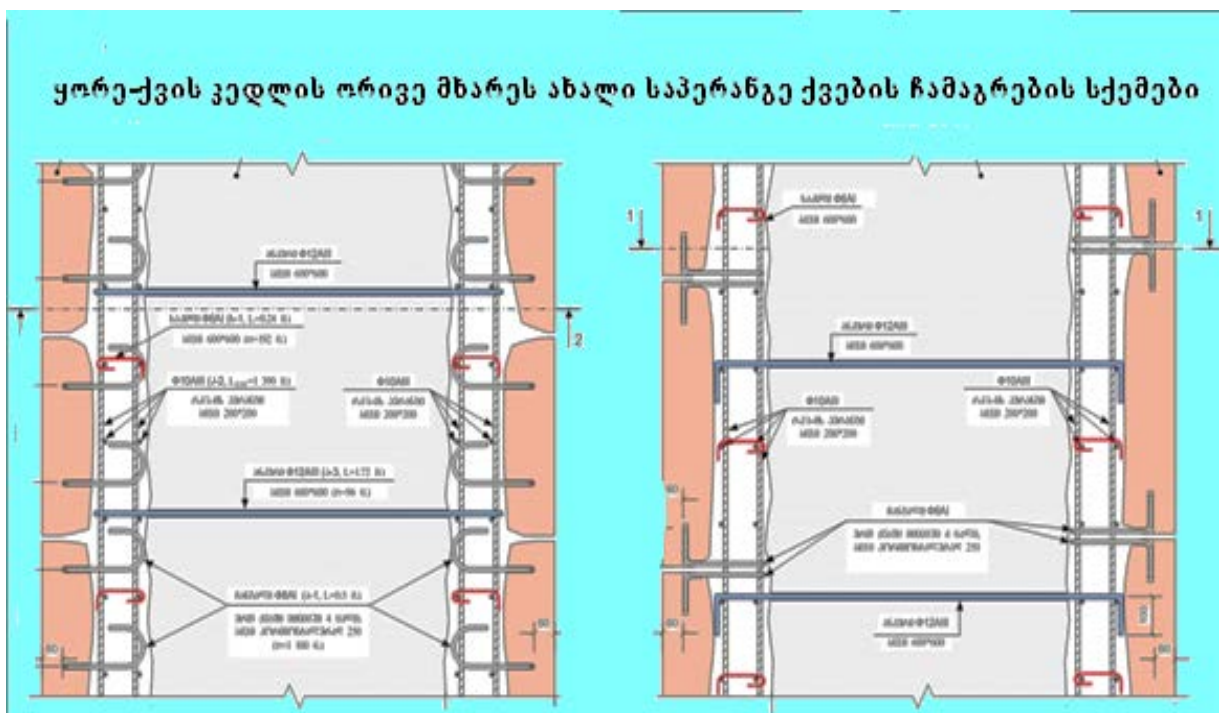
ნახ.41. კედლის ქვით მოპირკეთების გეგმა

დასავლეთის კედლის ცენტრალურ ნაწილში შეინიშნება გადაუბმელი წყობა; ძლიერ დაზიანებულია ჩრდილო-აღმოსავლეთის მკლავის და კედლის კუთხე; სამხრეთ-დასავლეთის კედლის ზედა ნაწილი გადახრილია სამხრეთისკენ 18 სმ-ით.

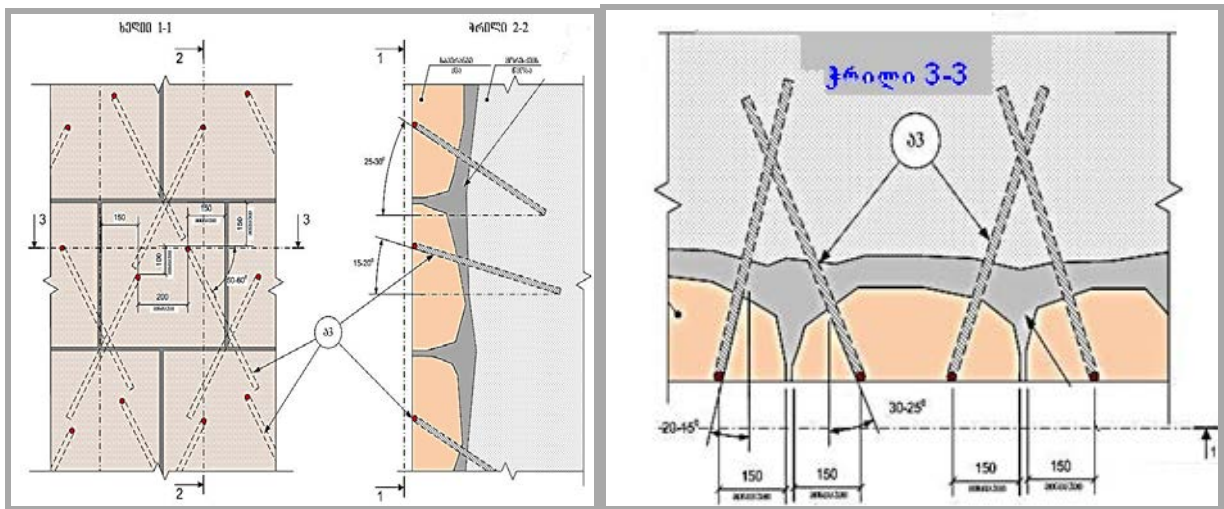
ჩატარებული კვლევების შედეგად საჭირო იყო ტაძრის ყველა მზიდი კონსტრუქციული ელემენტის დაპროექტებისა და ტექნოლოგიური გადაწყვეტის თავისებურებების გათვალისწინება. კერძოდ, არსებული მზიდი კედლების გაძლიერებისა და საპერანგე ქვების მოწყობის ტექნოლოგიური და ამავე დროს

კონსტრუქციული გადაწყვეტა შესრულდა შემდეგი თანმიმდევრობით: სქემები (იხ. ნახ.42, ნახ.43., ნახ.44).

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

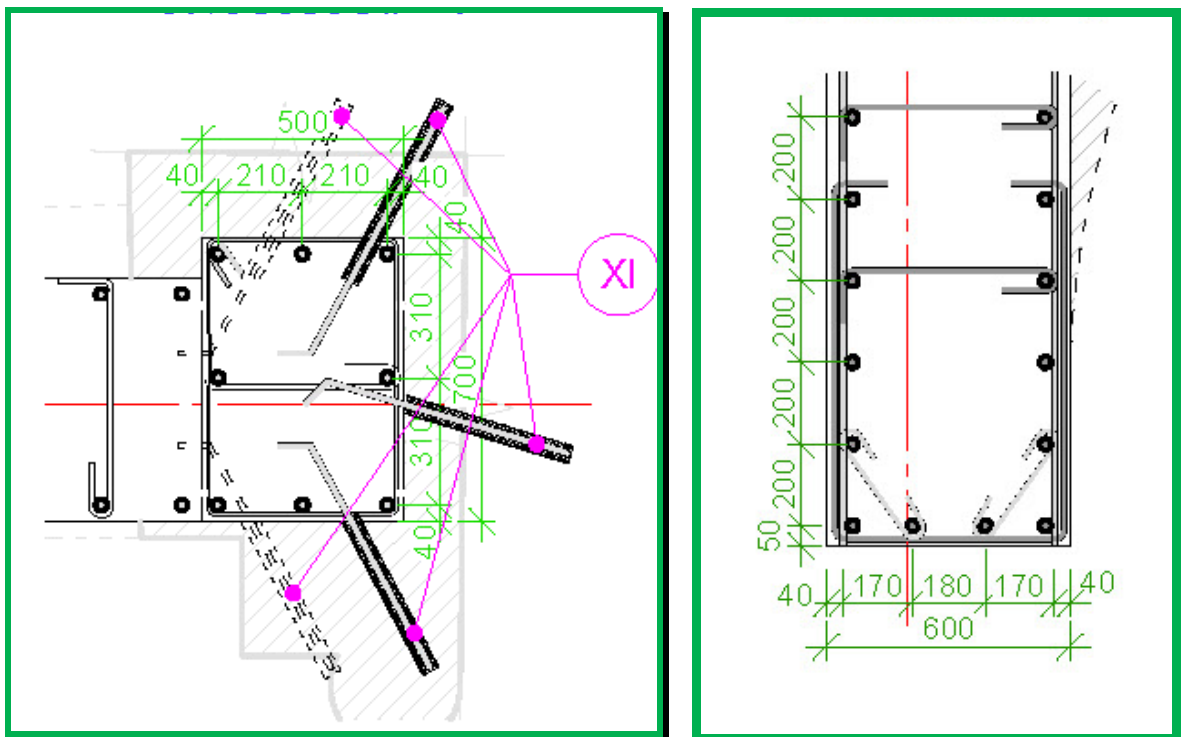


ნახ.42. ყორე-ქვის წყობის კედლის ორივე მხარე ახალი საპერანგე ქვების ჩამაგრების სქემალითონის უჟანგი ანკერებით.

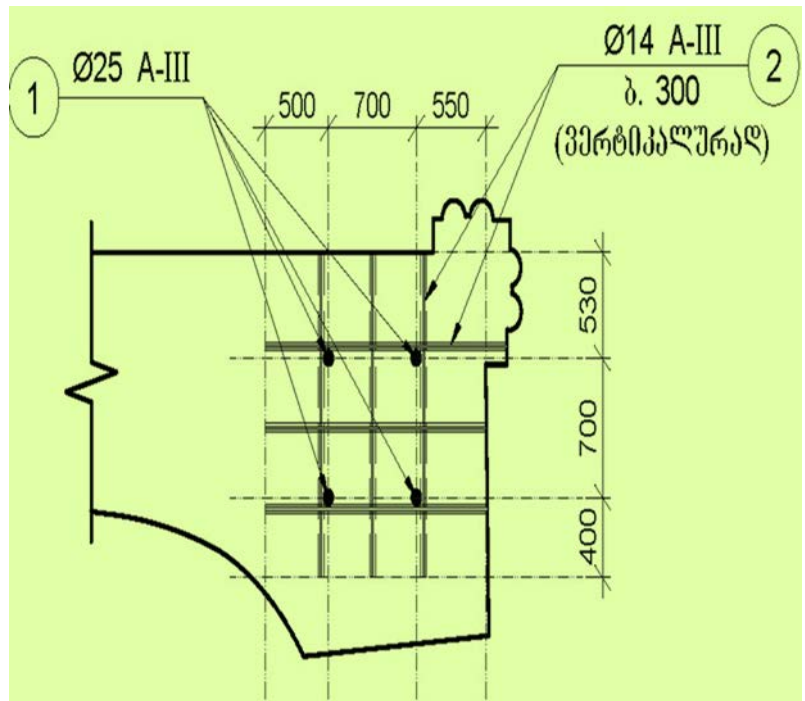
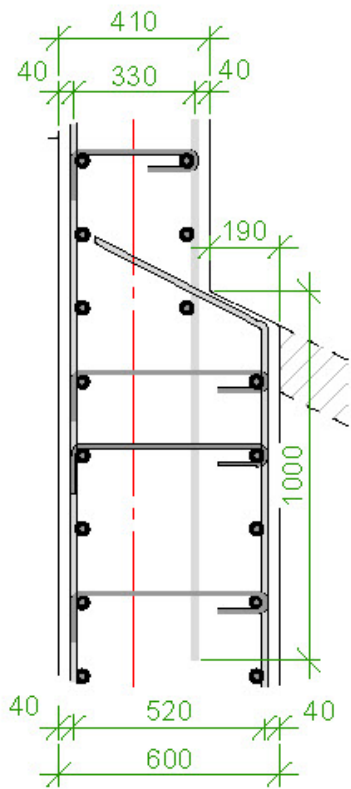


ნახ.43. ყორე-ქვის წყობის კედლის ორივე მხარე ახალი საპერანგე ქვების ჩამაგრების სქემალითონის უჟანგი ანკერებით.

ქვების მონტაჟიდან 28 დღის შემდეგ ახალი საპერანგე ქვების ყორე-ქვის წყობაში ჩამაგრებისათვის მოეწყო ანკერები უჟანგი ფოლადისაგან ($d=14\text{მმ}$ 700მმ სიგრძის) (ნახ.44) ნაბურღის ზედა თავი საპერანგე ქვის ზედაპირთან ამოიგოზა 3–4 სმ ასევე პოლიმერ-ცემენტის ხსნარით.



ნახ.44.კედლის ფრაგმენტები



ნახ.45. მონოლითური რკინაბეტონის კედლის დაარმატურების ფრაგმენტები

ქვების ჩამაგრება

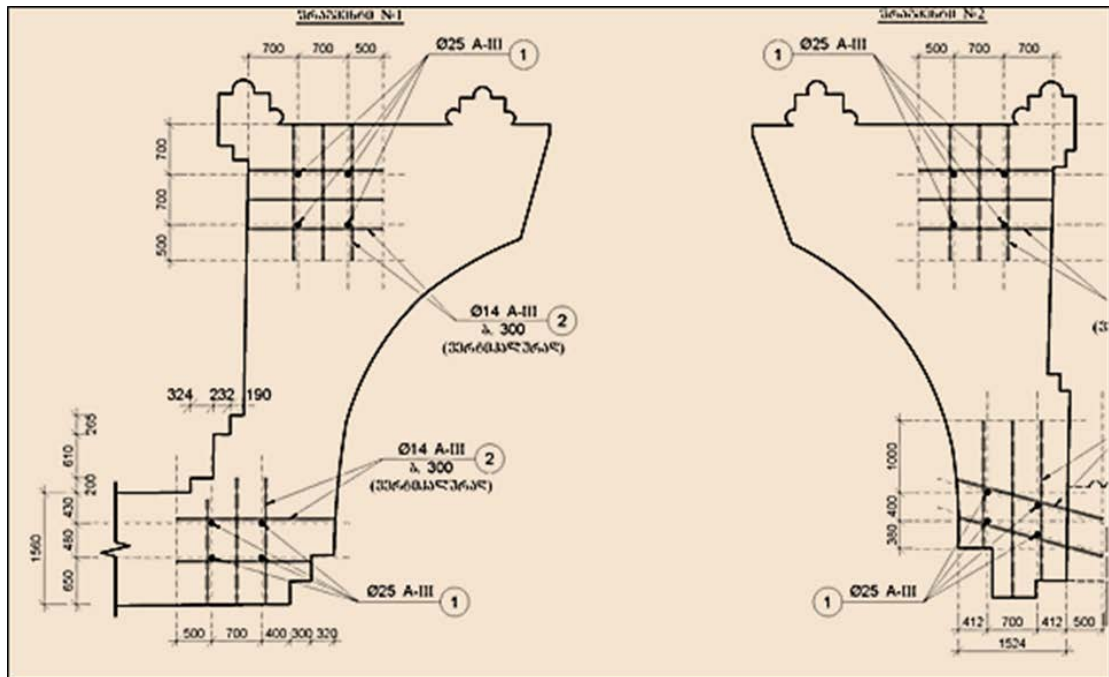
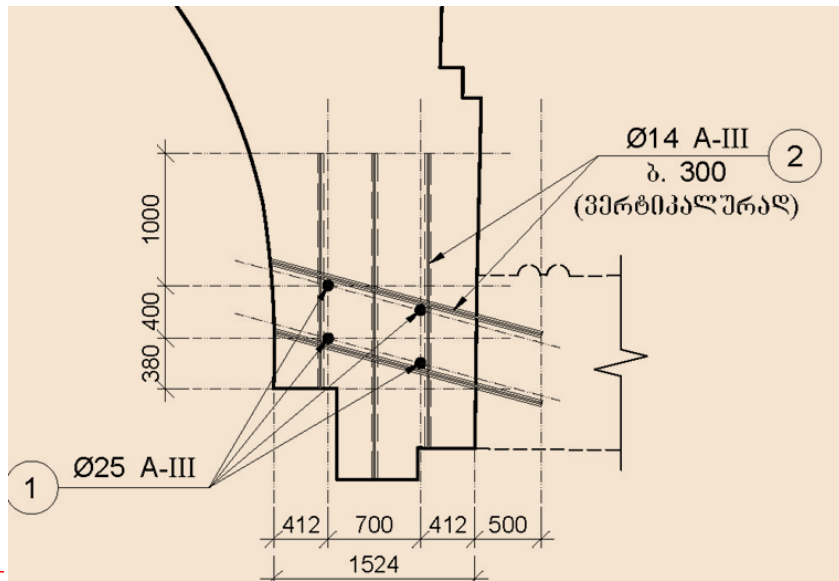
ახალი საპერანგე და ლავგარდანის ქვების ჩამაგრება განხორციელდა ლითონის ანკერების მეშვეობით, პროექტში წარმოდგენილი დეტალების შესაბამისად.

კამარების, თალების და გუმბათის ქვედა ზედაპირი მოეწყო ხარაჩოების მეშვეობით, რომელზეც დალაგდა ტრადიციული მეთოდით საპერანგე ქვები შესაბამისი ანკერებით. შემდეგ მოეწყო არმატურის კარკასები და კონსტრუქცია დაბეტონდა.

XX საუკუნეში აღდგენილი სვეტების საპირე კირქვის კვადრები ბუტობეტონის შევსებითაა შესრულებული და დაფუძნებულია XI საუკუნის საძირკვლების და სვეტების ნარჩენებზე.

კონსტრუქციული თვალსაზრისით მნიშვნელოვანია მხოლოდ “8” – “თ” ღერძების გადაკვეთაზე აღმართული სვეტი, აღმოსავლეთით და ჩრდილოეთით

განვითარებული თაღებით, თუმცა მათი ფუნქცია ჩვენი აზრით დროებითია; დანარჩენი სვეტები დეკორატიულია თავისი დანიშნულებით.



ნახ.46. კედლის კუთხეების გაძლიერების სქემები.

ჩრდილო-დასავლეთის ფასადზე მიდგმული ნაგებობა ტაძრის ძირითადი ნაწილის დამთავრების შემდეგ არის აგებული (იგივე ითქმის კარიბჭეებზე), რის გამოც მათი კედლები გადაუბმელია. აღდგენითი სამუშაოების დროს ასევე განხორციელდა არსებული კედლების ძველი და ახალი წყობის დაკავშირების ღონისძიებები, კერძოდ კუთხეების გამაგრების სამუშაოები, რომელთა გადაწყვეტის სქემა ნაჩვენებია ნახაზზე ნახ.47.

4.2. თეორიული და კონსტრუქციული გადაწყვეტის შედეგების ანალიზი

საქართველოს ტერიტორიის სეისმური დარაიონების დღეს მოქმედი კორექტირებული სქემის მიხედვით ტაძარი იმყოფება 8 ბალიან სეისმიურ ზონაში. იმის გათვალისწინებით, რომ ჩვენთვის ცნობილი სტატისტიკური მონაცემებით, ბოლო 150 წლის განმავლობაში ქ. ქუთაისში და მის შემოგარენში არ მომხდარა 6 ბალზე მეტი სიძლიერის მიწისძვრა, პირველ ეტაპზე საკმარისად ჩაითვალა ტაძრის გაანგარიშება 7 ბალიან სეისმიურ ზემოქმედებაზე. თუმცა ისიც აღსანიშნავია, რომ ხანდაზმული ნაგებობის სეისმომედეგობის ამაღლება, მით უფრო ისტორიული ძეგლის, არქიტექტურული იერსახის შენარჩუნების მკაცრი მოთხოვნის პირობებში, საკმაოდ რთული და პრობლემატური საკითხია.

ბაგრატის ტაძრის მზიდი კონსტრუქციების გაანგარიშება ჩატარდა გამოთვლითი კომპლექს „ЛИРА“- Windows-ის მე-8ბ-ე ვერსიის საშუალებით, სამ ეტაპად:

I ეტაპი - ბაგრატის ტაძარი XI საუკუნეში (პირველადი სახით).

მიუხედავად იმისა, რომ გაანგარიშების შედეგებს დღეს შეიძლება პრაქტიკული მნიშვნელობა აღარ ჰქონდეს, ვფიქრობთ, საინტერესოა კონსტრუქციათა დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის გაანალიზება, ტაძრის სეისმომედეგობის შეფასება. საანგარიშო სქემის შედგენისას მთავარ სირთულეს წარმოადგენდა კედლის წყობის დრეკადობის მოდულის მნიშვნელობის განსაზღვრა. დავეყრდენით რა ზემოთ აღნიშნული კვლევის შედეგებს, კედლის წყობის დრეკადობის მოდულის მნიშვნელობად მივიღეთ უდიდესი - 5.2×10^5 ტ/მ² (დაუზიანებელი წყობის); გრუნტის საგების კოეფიციენტი კუმშვაზე - $C_1 = 2000$ ტ/მ³; კედლის წყობის პუასონის კოეფიციენტი - $\mu = 0.3$.

კონსტრუქციათა სიმტკიცე შემოწმდა სასრულ ელემენტებში უდიდესი ექვივალენტური გამჭიმავი (ქვის კონსტრუქციებისთვის მნიშვნელოვანი) ძაბვის სიდიდით: $\sigma_{\text{გამ. ექვ.}} = \sigma_{\text{კუმშ. ბუდ.}} - \sigma_{\text{გამჭ. სეისმ.}}$. როგორც გაანგარიშების შედეგმა აჩვენა, 7 ბალიან სეისმიურ ზემოქმედებას სერიოზული ნგრევა ტაძარში არ უნდა გამოეწვია, ვინაიდან მაქსიმალური გამჭიმავი ძაბვა გუმბათის ძირის შემკრავ კონსტრუქციებში $1.5 \div 2.0$ კგმ/სმ²-ის ფარგლებშია.

II ეტაპი - ბაგრატის ტაძარი XX საუკუნის ბოლოს (დღევანდელი მდგომარეობით).

კედლებში გაჩენილი მრავალი ხილული თუ უხილავი ბზარი, ატმოსფერული ნალექების უარყოფითი ზეგავლენა გვადლევს საფუძველს ვიფიქროთ, რომ შემცირებულია კედლის წყობის დრეკადობის მოდული. კვლევის შედეგების გათვალისწინებით საანგარიშო მოდელში მიღებულია კედლის წყობის დრეკადობის მოდულის გასაშუალებელი მნიშვნელობა - 3.5×10^5 ტ/მ²; გრუნტის საგების კოეფიციენტი კუმშვაზე - $C_1=2000$ ტ/მ³; კედლის წყობის პუასონის კოეფიციენტი - $\mu = 0.3$.

ცხრილი 19

კედლი ღერძზე	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 -	-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 -	-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

განგარიშების შედეგების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ 7 ბალიანმა სეისმურმა ზემოქმედებამ შესაძლებელია სერიოზული დაზიანებები გამოიწვიოს ტაძრის კედლებში: მოსალოდნელია სამხრეთის მკლავის კონსოლური კედლის

გადმოქცევა, დასავლეთის მკლავის ფრონტონის ჩამონგრევა და სხვა. მაქსიმალური გამჭიმავი ძაბვა 6.0 კგმ/სმ²-ს აღწევს.

აქედან გამომდინარე მიგვაჩნია, რომ არსებული სახით ტაძრის კონსტრუქციების დატოვება დაუშვებელია და აუცილებელია აღდგენითი ღონისძიებების გატარება.

III ეტაპი - ბაგრატის ტაძარი XXI საუკუნეში (აღდგენის შემოთავაზებული ვარიანტი).

ანგარიში შესრულდა ჩატარებული სამუშაოებისა და კონსტრუქციული გადაწყვეტების განხორციელების დასრულების შემდეგ. საანგარიშო მოდელში აღებულია შემდეგი მექანიკური მახასიათებლები: კედლის წყობის დრეკადობის მოდულის საორიენტაციო მნიშვნელობა - 4.5×10^5 ტ/მ³ (კედლის წყობის გაძლიერების ღონისძიებების გატარების შემდეგ); გრუნტის საგების კოეფიციენტი კუმშვაზე - $C_1 = 2000$ ტ/მ³; კედლის წყობის პუასონის კოეფიციენტი - $\mu = 0.3$.

განგარიშების შედეგებიდან მნიშვნელოვანია ის ფაქტი, რომ ტაძრის დინამიური მახასიათებლები (თავისუფალი რხევის პერიოდები, ფორმები, გადაადგილებები) ახლოსაა I ეტაპის შედეგებთან. მაქსიმალური გამჭიმავი ძაბვები, ამჟამად საშიშ ადგილებში, 7 ბალიანი სეისმიური ზემოქმედებებისას 2.0 კგმ/სმ² - ის ფარგლებშია. სეისმიური დარაიონების მიხედვით სამშენებლო ტერიტორია იმყოფება 8 ბალიან ზონაში.

პირობით ნიშნულად 0.00 მიღებულია აბსოლიტური ნიშნული 208,64მ.

საინჟინრო-გეოლოგიური გამოკვლევების მიხედვით, რომელიც ჩატარებულია 2005 წელს სს „საქქალაქმშენპროექტის“ სპეციალისტთა მიერ, სამშენებლო ტერიტორია იმყოფება დამაკმაყოფილებელ საინჟინრო-გეოლოგიურ პირობებში – უარყოფითი ფიზიკურ-გეოლოგიური პროცესები არ შეინიშნება. საპირკვლის ფუძე წარმოდგენილია თიხნარების სახით. მისი მახასიათებლებია:

სიმკვრივე	$\rho = 1.95$ გ/სმ ³ ;
შინაგანი ხახუნის კუთხე	$\varphi = 32^\circ$;
ხვედრითი შეჭიდულობა	$c = 0.24$ კგმ/სმ ² ;
დეფორმაციის მოდული	$E = 140$ კგმ/სმ ² ;
საანგარიშო წინაღობა	$R_0 = 2.0$ კგმ/სმ ² ;

საგების კოეფიციენტი კუმშვაზე $C_1 = 2.0$ კგმ/სმ².

2008 წელს ჩატარდა დამატებითი საინჟინრო-გეოლოგიური კვლევითი სამუშაოები, ძირითადი ქანის განლაგების დასაზუსტებლად რომლის დროსაც გაიზურდა ორი ჭაბურღილი. კვლევის შედეგებმა აჩვენეს, რომ ძირითადი ქანები განლაგებულია მიწის ზედაპირიდან 9.0 ± 10.5 მ-ის სიღრმეზე და წარმოდგენილია კირქვების სახით, რომლის სიმტკიცის ზღვარი ერთდერმა კუმშვაზე წყალგაჯერებულ მდგომარეობაში $R_c = 19$ მპა (190 კგმ/მ²) 8მ-ის სიღრმეზე გამოვლინდა გრუნტის წყლის სუსტი მოდენი. სავარაუდო მოდენი 1მ²-ზე მიღებულ იქნას 0.01 ლ/წმ-ში.

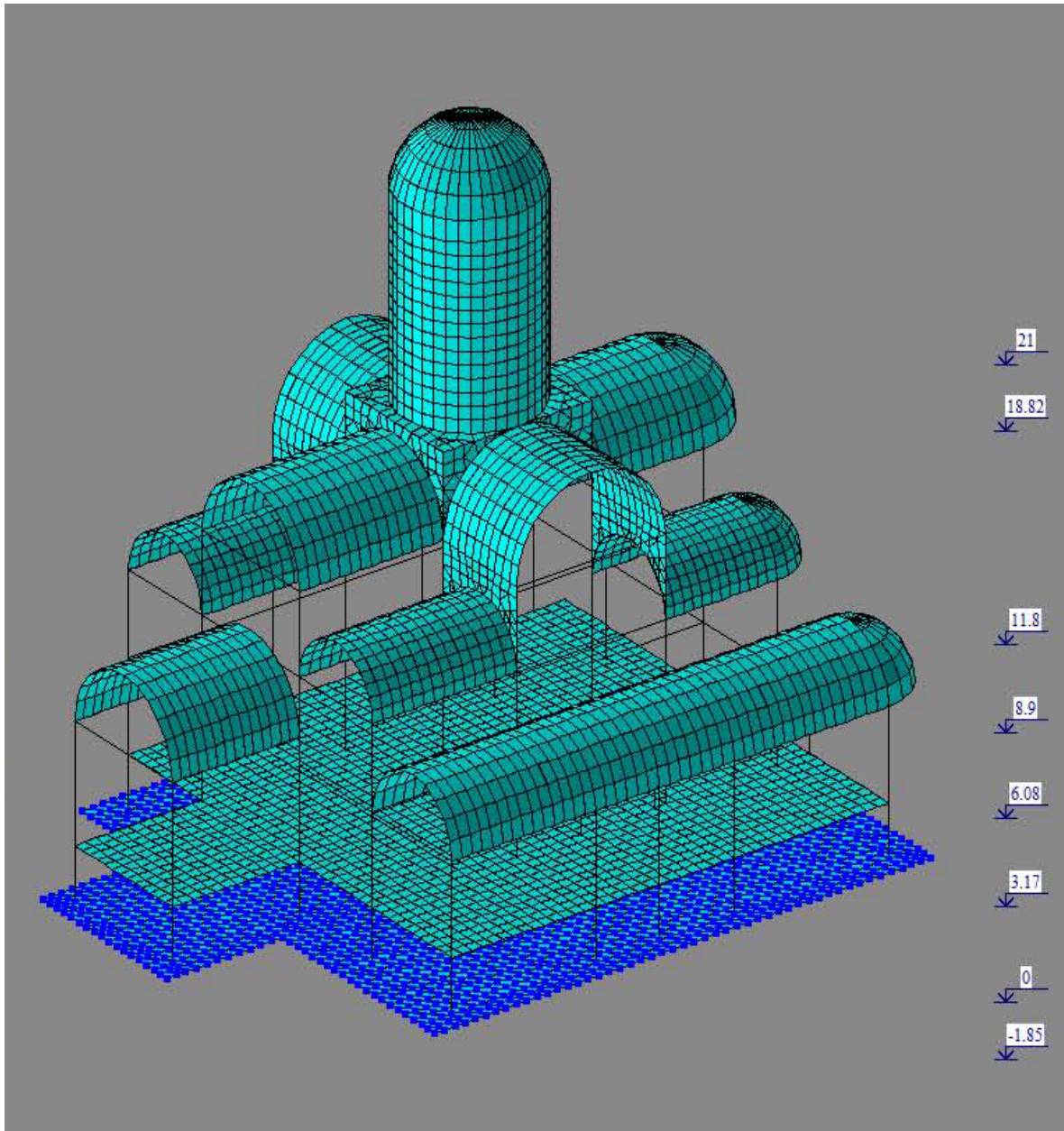
4.3. მზიდი კონსტრუქციების გაანგარიშება სეისმურ დატვირთვებზე

ბაგრატის ტაძრის მზიდი კონსტრუქციების გაანგარიშება ჩატარდა კომპიუტერულ საანგარიშო პროგრამაში "Лира-Сапр» 2013", სასრულ ელემენტთა მეთოდის საფუძველზე. საანგარიშო მოდელი სივრცითია (ნახ.48).

საანგარიშო მოდელი, პირობითად, ორ ნაწილად უნდა წარმოვიდგინოთ: არსებული ქვის კედლები თავისი ლენტური საძირკვლებით და ახალი, რკინაბეტონის ჩონჩხედი, მათ შორის კავშირი ხისტია.

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 $C_1 = 2000$ ტმ/მ³; კედლების სისქე იცვლება 100 – 200 სმ-ის ფარგლებში.

რკინაბეტონის ჩონჩხედში: ღეროვანი 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 – მოდელირებულია ერთ კვანძიანი ელემენტით.



ნახ.47. ტაძრის საანგარიშო მოდელი

განგარიშებაში განხილულია შემდეგი სახის დატვირთვები; სტატიკური მუდმივი; სტატიკური დროებითი ხანგრძლივი (ანტრესოლზე 300 კგძ/მ²) და ხანმოკლე (სახურავზე თოვლის ნორმატიული დატვირთვა 180 კგძ/მ²); ქარის ნორმატიული დატვირთვა (140 კგძ/მ²); სეისმიური ზემოქმედება (გრძივი, განივი და ვერტიკალური მიმართულებით); საანგარიშო სეისმიურობა არის 8 ბალი.

არსებული ქვის კედლების სიმტკიცე შემოწმდა სასრულ ელემენტებში უდიდესი ექვივალენტური გამჭიმავი ძაბვის სიდიდით:

შგამკ.მშპ. სკუმშ. მუდმ.—შგაჭ. სეის.

როგორც გაანგარიშების შედეგებმა აჩვენა, მაქსიმალური გამჭიმავი ძაბვა ქვის წყობაში 1.5 –:–1.8 კგ/სმ²–ს ფარგლებშია, რაც არ აღემატება წყობის სიმტკიცეს გაჭიმვაზე.

ცხრილი #18

კედელი ღერძზე	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	- 6,0

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

მაქსიმალური გრძივი ძალა ხიმინჯში $N=1150$ ტ.

ნაგებობების რხევის საკუთარი პერიოდი გრძივი მიმართულებით (X ღერძის გასწვრივ) T- წმ. განივი მიმართულებით (Y ღერძის გასწვრივ) T- 0.67 წმ.

სეისმიური ზემოქმედებისას მაქსიმალური გადაადგილება X ღერძის გასწვრივ $f_x=18$ მმ–ა. Y ღერძის გასწვრივ – $f_y=23$ მმ–ა.

ბაგრატის ტაძრის მზიდ კონსტრუქციებს წარმოადგენს კონტურით გაძლიერებული არსებული მზიდი ქვის კედლები (პირვანდელი XI საუკუნის და

აღდგენილი XX საუკუნის) და მონოლითური რკინაბეტონის შიდა კარკასის (თაღნარის) კომპლექსური კონსტრუქცია.

პროექტის მიხედვით ტაძრის ძირითადი მზიდი კონსტრუქციის ფუნქცია დაკისრებული აქვს სვეტებს, რომლებიც მომზადდა ტაძრის დანარჩენი მზიდი კონსტრუქციებიდან (ანტრესოლების, თაღების, კამარების, გუმბათის ყელის, გუმბათის და სახურავის კონსტრუქციებიდან) სტატიკური და დინამიკური (მათ შორის სეისმიური) დატვირთვების მისაღებად. ასეთ შემთხვევაში დამატებით მინიმალურად დაიტვირთება არსებული კედლები და როგორც კომპიუტერულმა ანგარიშებმა გვიჩვენა, თვითონ კედლების ჰორიზონტალური დეფორმაციები (გადაადგილებები) 8 ბალიანი სეისმიური ზემოქმედებისას აკმაყოფილებს სათანადო მოთხოვნებს.

შუა საუკუნის არქიტექტურა ქართული ხუროთმოძღვრების აყვავების ხანას მოეკუთვნება; ბაგრატის ტაძარიც ამ პერიოდშია აგებული. იგი მარტო სპეციალისტებისათვის კი არ არის საინტერესო, არამედ მნიშვნელოვანია მხატვრული ღირებულებით, მდებარეობით, სიძველით, ბუნებასთან ჰარმონიული შერწყმით. ყველა ქართველს უნდა ადელვებდეს თავისი ქვეყნის და ერის წარსული, გული უნდა შესტკიოდეს მასზე, უფრო ხილდებოდეს და იბრძოდეს მის გადასარჩენად.

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

დასკვნები

1. კედლის წყობაზე გამოყენებული ქვები თხელშრეებრივი მსხვრევადი ქანისაა. ქიმიური შემადგენლობით ქვები განსხვავდებიან. დაზიანებულში დაუზიანებელ ქვებთან შედარებით მნიშვნელოვნადაა შემცირებული CaO -ს პროცენტული რაოდენობა, გაზრდილია SiO_2 -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 $d=12\text{მმ}$, 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 $d=10\text{მმ}$ A-III კლასის; დიამეტრით $d=6\text{მმ}$ A-I), პოლიმერცემენტის ხსნარზე ($m=150$), ხოლო საპერანგე ქვების მომზადების შემდეგ ეპოქსიდის მეშვეობით ჩამაგრდა მათში ჩანგლები ($d=8\text{მმ}$ დიამეტრით A-I კლასის არმატურის), არსებული სიცარიელე შეივსო ბეტონის ნარევით ($R_b=8,5\text{მგპა}$).
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 ამაღლდა ნაგებობის სეისმომედეგობა.

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.

ლიტერატურა

1. ბაგრატის ტაძარი //საქართველოს კულტურული მემკვიდრეობის სახელმწიფო პროგრამა 2004-2005 წწ.. - ტბ., 2006. - გვ.81-83. ხუროთმოძღვრული და საინჟინრო-გეოლოგიური კვლევის შედეგები.
2. ბაგრატის ტაძარი //ქართული საბჭოთა ენციკლოპედია ტ.II. - თბ., 1977, - გვ.132.
3. ბაგრატის ტაძარი //ძველი ქართული ხუროთმოძღვრება (დამხმარე სახელმძღვანელო). - თბ., 1981. - გვ.43-45.
4. ბაგრატის ტაძარი //საქართველო: ენციკლოპედია. - თბ., 1997. - გვ.321. X-XI საუკუნეების ძეგლის - ბაგრატის ღვთისმშობლის სახ. ტაძარი.
5. ბერიძე ვ. ბაგრატის ტაძარი // დროშა. - 1987. - N4. - გვ.12. მოკლე ცნობები ტაძრის ისტორიისა და მხატვრული ღირებულების შესახებ.
6. ბერიძე ვ. ხელოვნება (X-XII სს.) //საქართველოს ისტორიის ნარკვევები. - თბ.,

1979. - გვ.479-480. მოკლე ცნობები ბაგრატის ტაძრის ხუროთმოძღვრებისა და დეკორატიული გაფორმების შესახებ.
7. ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციები (პნ 03.01-09) 171 გვ.
 8. ზოცვაძე ხ. და სხვ. ბაგრატის ტაძარი //ზოცვაძე ხ. და სხვა.-ქუთაისი. - 1960.
გზამკვლევაში აღწერილია ბაგრატ III-ის დროს აგებული ტაძრის შესახებ.
 9. ბოჭორიძე გ. იმერეთის ისტორიული ძეგლები. - თბ., 1995. გვ.125-126.
 10. ბაგრატის ტაძრის მოკლე აღწერილობა.
 11. ჩაკვეტაძე ვ. ქუთაისის ისტორია – თბილისი,1960.გვ94–98.ძეგლის მხატვრულ–ხუროთმოძღვრული დახასიათება.
 12. ციციშვილი ირაკლი.ქართული ხელოვნების ისტორია. – თბ.,1995.–გვ.96–87.
 13. ბაგრატის ტაძრის მოკლე ხუროთმოძღვრულ–მხატვრული დახასიათება.ბაგრატის ტაძარი//საქართველოს კულტურული მემკვიდრეობის სახელმწიფო პროგრამა.– თბ.,2004–2005.
 14. ვ. ბერიძე, XVI-XVIII საუკუნეების ქართული ხუროთმოძღვრება, ტ. I, თბ.,1983, გვ. 292;
 15. კ. ზაქარაია, ქართულ ციხე-სიმაგრეთა ისტორია უძველესი დროიდან XVIII საუკუნის ბოლომდე, თბ., 2002, გვ. 486-490;
 16. საქართველოს ისტორიისა და კულტურის ძეგლთა აღწერილობა, ტ. 2, 2008, გვ. 333-335;
 17. ხუროთმოძღვრების კონსერვაცია(პრინციპები, მოსაზრებები) , თბ., 2007, გვ. 18-50;
 18. მ. ბედიამილი, სვეტიცხოველი, თბ. 2003, გვ. 33-56.
 19. ვ.ჯაფარიძე, დ.ჯაფარიძე, ტ.გარსევანიშვილი, დეფორმირებული შენობა-ნაგებობის ფუძე-სამირკვლის და ზედნაშენის გამაგრება-გამლიერება სხვადასხვა გრუნტოვან გარემოში, თბილისი, ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2012წ. 258 გვ.
 20. www.ambioni.ge
 21. www.dzeglbi.ge
 22. www.orthodoxy

23. ივ. ჯავახიშვილი. ქართველი ერის ისტორია. თბ. 1982.
<https://upload.wikimedia.org/>
24. ირ. ციციშვილი, ქართული ხელოვნების ისტორია, თბ., 1995.
<http://saunje.ge/index.php?id=697&lang=ru>
25. დასურათებული სამშენებლო განმარტებითი ლექსიკონი/შემდგენელი პროფ. თ. ხმელიძე. სტუ, ელვერსია. -2018. <http://gtu.ge/Arch-Dictionary/>
26. ,ლ. კახიანი, ლ. ავალიშვილი; ლ. ბალანჩივაძე რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტება ევრონორმების მიხედვით. თბილისი: სტუ, 2016 წ. 255გვ.
27. სამშენებლო ნორმები და წესები „სეისმომედეგი მშენებლობა“ (პნ 01.01-09);
28. ლ.კახიანი, ლ. ბალანჩივაძე, მ. ჭანტურია, მ. მუხიგულიშვილი. სამშენებლო კონსტრუქციების სეისმომედეგობა. თბილისი, 2018. -102 გვ.