

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

იამზე თანიაშვილი

მშენებლობის ხარისხისა და უსაფრთხოების უზრუნველყოფის სისტემური  
კვლევა

სადოქტორო პროგრამა „მშენებლობა“

შიფრი 0732

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარმოდგენილი დისერტაციის

აკტორეფერატი

თბილისი

2022 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში

სამშენებლო ფაკულტეტზე

მშენებლობის ეკონომიკის და მენეჯმენტის N107 დეპარტამენტში

ხელმძღვანელი: პროფესორი ელინა ქრისტესიაშვილი

რეცენზენტები:

დაცვა შედგება 2022 წლის -----, ----- საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის

სადოქტორო ნაშრომის დაცვის კოლეგიის სხდომაზე, I კორპუსი, აუდიტორია 508

მისამართი: 0160, თბილისი, კოსტავას 77

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატის ფაკულტეტის ვებ-გვერდზე

კონსტრუქციის საიმედოობის შეფასება საიმედოობის პარამეტრის უდევექტობით

ფაკულტეტის სწავლული მდივანი

დემურ ტაბატაძე

## ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

კვლევის აქტუალობა საქართველოში სამშენებლო სექტორი ერთ-ერთ მნიშვნელოვანეს როლს ასრულებს ქვეყნის ეკონომიკაში. აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ ამ დარგში დასაქმებულია მრავალი სხვადასხვა სფეროს მომუშავე კომპანია და ფიზიკური პირი. მაგალითად, ასეთია ბეტონის, არმატურისა და სხვა სამშენებლო მასალის მწარმოებელი კომპანიები. ამ სფეროში ვაწყდებით მრავალი სახის პრობლემებს, რომლებიც წლების მანძილზე არ არის მოგვარებული. მართალია, ბოლო წლებში მდგომარეობა გაუმჯობესდა, მაგრამ არა იმ ტემპით, რა ტემპითაც მატულობს მშენებარე ობიექტების რაოდენობა. მოუგვარებელი და გამოუსწორებელი პრობლემა ნამდვილად არ არსებობს, მაგრამ ამ პრობლემების გადაჭრა მოხდება მხოლოდ გრძელვადიან პერიოდში. ყველა სამშენებლო-სამონტაჟო კომპანია ცდილობს მინიმალური დანახარჯით მიიღოს მაქსიმალური მოგება. შესაბამისად, ისინი ითვალისწინებს მხოლოდ იმ რეგულაციებს, რომლის დარღვევისთვის დაჯარიმდებიან, რის გამოც მცირდება სამშენებლო პროდუქციის ხარისხი.

ბოლო წლებში საქართველოში გაიზარდა სამშენებლო ობიექტებზე უბედური შემთხვევების რიცხვი. აქედან გამომდინარე, მსგავსი სიახლეები თითქმის ყოველდღიურობად იქცა და საზოგადოებრივი თუ პოლიტიკური რეაგირების მიღმა რჩება.

შრომის უსაფრთხოების მიმართულებით არსებული მძიმე მდგომარეობის საპასუხოდ, საქართველოს პარლამენტმა მიიღო „შრომის უსაფრთხოების შესახებ“ ორგანული კანონი. აღნიშნული კანონი დასაქმებულთა შრომითი უფლებების უზრუნველყოფის მნიშვნელოვანად წინგადადგმული ნაბიჯია.

დღეს საქართველოში მრავალსართულიანი შენობები ძირითადად შენდება მონოლითური კონსტრუქციებით და ბეტონით. ამასთანავე, სამოქალაქო შენობების მონოლითური კონსტრუქციების მნიშვნელოვანი რაოდენობა შენდება დეფექტებით, რომელთა 60-70%-ის მიზეზიც

სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოების ხარისხის დაბალი დონეა. უმრავლეს შემთხვევაში, ეს განპირობებულია ტექნოლოგიურ პროცესებში არსებული ნაკლით, ბეტონის სამუშაოთა და მონოლითური კონსტრუქციების ხარისხის შეფასების ეფექტიანი მეთოდების არარსებობით.

სამშენებლო სამუშაოთა ხარისხის შეფასების და კონტროლისთვის სხვადასხვა მეთოდები გამოიყენება, მათ შორის სტატისტიკური. სტატისტიკური მეთოდების ეფექტიანობა დასტურდება ხარისხის მართვის საერთაშორისო გამოცდილებით (საერთაშორისო სტანდარტების ISO9000-9001 სერია). დღეისათვის აღნიშნული მეთოდები გამოიყენება ძირითადად კონსტრუქციის ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების დასადგენად, ხოლო კონსტრუქციის სხვა პარამეტრების განსაზღვრა ხდება ნორმების მოთხოვნებთან შესაბამისობის შემოწმებით. გეომეტრიული პარამეტრების სტატისტიკური შეფასება შეიძლება შესრულდეს მათი მნიშვნელობების განაწილების სავარაუდო მოდელების მახასიათებლების ცოდნის დროს, რაც ნაკლებად შესწავლილი საკითხებია.

მონოლითური კონსტრუქციების ხარისხი განსაზღვრავს შენობების კონსტრუქციულ საიმედოობას და უზრუნველყოფს მათ უსაფრთხო ექსპლუატაციას, რაც ასახულია კანონში “ტექნიკური რეგულირების შესახებ”.

ამიტომ, მონოლითური კონსტრუქციების ხარისხის შეფასებისას გათვალისწინებული უნდა იყოს საიმედოობის მაჩვენებელი.

საბაზრო ეკონომიკის პირობებში აშენებული კონსტრუქციების ხარისხი აუცილებელია შეფასდეს ასევე ეკონომიკური მაჩვენებლებითაც.

აღნიშნულის საფუძველზე თემა უდავოდ აქტუალურია.

კვლევის მიზანია მონოლითური მრავალსართულიანი სამოქალაქო შენობების მდგრადობისა და ხარისხის შეფასების ინტეგრალური მეთოდის შემუშავება, რომელიც უზრუნველყოფს სამუშაოთა წარმოების ეფექტიანობას და ხარისხის ამაღლებას. არსებული მეთოდების სრულყოფა,

საანგარიშო მახასიათებლების დაზუსტება და ინოვაციური საანგარიშო მოდელების გამოყვანა.

**კვლევის ამოცანებია** კვლევების ჩატარება და რიგი თეორიული და პრაქტიკული ამოცანების გადაწყვეტა, კერძოდ:

- ბეტონის სამუშაოების დეფექტების ანალიზის დადგენა;

- ბეტონის სამუშაოებისა და შენობების ხარისხის პარამეტრების ნომენკლატურის დადგენა;

- მონოლითური კონსტრუქციების დასაშვები გადახრის ზომების დადგენა და მათი გავლენა კონსტრუქციის საიმედოობაზე;

- მონოლითური მრავალსართულიანი სამოქალაქო შენობების ხარისხის შეფასების ინტეგრალური მეთოდის შემუშავება: ბეტონის სამუშაოთა ხარისხის შეფასება და შენობის ხარისხის ეკონომიკური მაჩვენებლებით შეფასება საიმედოობის გათვალისწინებით.

**ნაშრომის მეცნიერული სიახლეა:**

- განისაზღვრა მონოლითური სამოქალაქო შენობების ბეტონის სიმტკიცე და კონსტრუქციების მახასიათებლები;

- ცალმხრივად შემოსაზღვრული კონსტრუქციების პარამეტრების სტატისტიკური შეფასებისათვის შემუშავდა ფორმულები;

- განისაზღვრა მონოლითური კონსტრუქციების პარამეტრების გადახრის გავლენა მათი საიმედოობის მაჩვენებლებზე;

- შემუშავდა კონსტრუქციის ხარისხის შეფასების მაჩვენებელი მისი უსაფრთხო ექსპლუატაციის ვადის გათვალისწინებით.

**კვლევის საგანი და ობიექტია** მონოლითური მრავალსართულიანი სამოქალაქო შენობების ხარისხის კომპლექსური შეფასება და მათი პარამეტრების კვლევა.

**კვლევის პრაქტიკული მნიშვნელობა:** სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოების ხარისხის მართვის სრულყოფილებისთვის, სტრატეგიისა და პოლიტიკის შემუშავებისათვის აუცილებელია თეორიულ და პრაქტიკულ ნაწილში მნიშვნელოვანი საკითხების გადაწყვეტა.

ამჟამად სამუშაოთა ხარისხის კონტროლის ამოცანას წარმოადგენს უკვე არსებული პრობლემების აცილება და არა დაფიქსირება. იმისათვის, რომ უკეთესად წარმოვიდგინოთ ხარისხის პრობლემები ნორმატიული დოკუმენტაციის მოთხოვნების გათვალისწინებით, აუცილებელია განვიხილოთ ხარისხის შეფასების ძირითადი პრობლემები მზა სამშენებლო პროდუქციის შექმნის ყველა ეტაპზე.

მრავალსართულიანი შენობების ხარისხის შეფასებისა და უსაფრთხოების უზრუნველყოფისათვის „სამოქალაქო შენობების მონოლითური კონსტრუქციების აგების ხარისხის შეფასების ტექნოლოგიური რეგლამენტი“ მოიცავს: მაკონტროლებელი პარამეტრების, სტატისტიკური, საიმედოობისა და ეკონომიკური მაჩვენებლებისა და ხარისხის ინტეგრალური მეთოდით შეფასების ნომეკლატურას. რეგლამენტი შეიძლება გამოყენებული იქნას სამშენებლო ორგანიზაციების მიერ საქართველოში მოქმედი რეგულაციების, ხარისხის შეფასების სტანდარტებისა და ISO 9000-9001 სერიის, QA/QC – Quality Assurance/Quality Control - ხარისხის უზრუნველყოფა / ხარისხის კონტროლის; EN – European Norms - ევროპული ნორმები/სტანდარტების; ASTM – American Society for Testing and Materials - ამერიკის მასალების და ტესტირების საზოგადოების მიხედვით და შესაბამისად შენობის უსაფრთხო ექსპლუატაციის ტექნიკური რეგულირების მიზნით, პროგრამული უზრუნველყოფის ელემენტებით, მონოლითური კონსტრუქციების ხარისხის მონიტორინგის ავტომატიზირებული სისტემებში რეალიზაციისთვის.

ნაშრომის შედეგების აპრობაცია: კვლევის შედეგად მიღებული შედეგები მოხსენებულია სასწავლო პროცესში 3 კოლოკვიუმზე, მიღებული შედეგები გამოქვეყნდა 5 სამეცნიერო ჟურნალში, მათ შორის 3 კონფერენციაზე. 2 სამეცნიერო სტატია თანაავტორების გარეშე გამოქვეყნებული.

სადისერტაციო ნაშრომის სტრუქტურა: სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, 3 თავის, ძირითადი დასკვნებისა და გამოყენებული ლიტერატურისაგან, იგი მოიცავს 137 ნაბეჭდ გვერდს. მათ შორის 13 ნახაზს, 27 ცხრილს და 7 სურათს.

სადისერტაციო ნაშრომის პირველ თავში წარმოდგენილია იმ ლიტერატურის მიმოხილვა და განხილულია ის ლიტერატურული წყაროები, რომელთაც მნიშვნელოვანი როლი ითამაშეს სადისერტაციო თემის აქტუალობის წარმოჩენასა და კვლევის ძირითადი მიმართულებების განსაზღვრაში. განხილულია მშენებლობისა და სამშენებლო პროდუქციის ხარისხის შეფასების მეთოდების კვლევა და ანალიზი. აგრეთვე მოცემულია იმ დეფექტების დახასიათება, რომლებიც გავლენას ახდენს და იწვევს მონოლითური შენობების ბეტონის სამუშაოების ტექნოლოგიის დარღვევას და უარყოფითად მოქმედებს მონოლითური კონსტრუქციების ხარისხზე.

პირველ თავში აგრეთვე განხილულია ბეტონის სამუშაოების და სამოქალაქო შენობების მზიდი კონსტრუქციების და ხარისხის პარამეტრების კვლევა.

დღეს საქართველოს ტერიტორიაზე მიმდინარე მშენებლობებში მონოლითური ბეტონის წილი მნიშვნელოვანია. ამასთანავე, აღსანიშნავია, რომ ამჟამად არ არსებობს დასრულებული შენობისა და ბეტონის სამუშაოების ხარისხის შეფასების ეფექტიანი მეთოდები, რომლებიც განვითარების დონით შესაბამისობაში იქნებოდა თანამედროვე ნორმატიულ მარეგულირებელ სამშენებლო ბაზასთან.

ტექნოლოგიური პროცესების და დამზადებული პროდუქციის ხარისხის შეფასების მეთოდების ანალიზისთვის გამოკვლეული იქნა ქართველ და უცხოელი სხვადასხვა ქვეყნის მეცნიერთა: ნ. ნინუას, თ. ჟორდანიას, დ. გურგენიძის, ლ. კლიმიაშვილის, ა. ჩიქოვანის, ა. ბოლოტოვას, პ. ოლეინიკის, ლ. დრობიშის, ა. ბაიბურინის, ლ. ბასოვსკის, ვ. შუგაევის, რუფფერტის, ა. მელჩაკოვის, კ. გაბრინის, ს. ბარკალოვის, ა. გინზბურგის , ა. თამარზიანის და სხვ. ნაშრომები. ლიტერატურული

წყაროების ანალიზიდან განისაზღვრა საიმედოობისა და უსაფრთხოების წარმოდგენები. ნაშრომებიდან ჩანს, რომ ხარისხის შეფასების მაჩვენებლების და მათი რაოდენობრივი მნიშვნელობების განსაზღვრისთვის გამოიყენება სხვადასხვა მეთოდები, მათ შორის:

- ინსტრუმენტული (გამზომი), რომელიც მოითხოვს სხვადასხვა სახის გამზომი და მაკონტროლირებელი ხელსაწყოების და მოწყობილობების გამოყენებას;

- საანგარიშო-ანალიტიკური, რომელიც დაფუძნებულია ეკონომიკურ-მათემატიკური მოდელების რეალიზაციაზე;

- სტატისტიკური, რომელიც გვაძლევს საშუალებას გამოვიყენოთ დაგროვილი ინფორმაცია განზოგადოებული მონაცემების მისაღებად ცალკეულ მაჩვენებლებსა და რიცხობრივ მნიშვნელობებზე;

- ექსპერიმენტული, რომელსაც ვიყენებთ საცდელი ექსპლუატაციის პროცესში ხარისხის მაჩვენებლის სიდიდის განსაზღვრად;

- საექსპერტო შეფასების მეთოდი, რომელიც საშუალებას გვაძლევს დავადგინოთ ხარისხის მაჩვენებლების სიდიდე სპეციალისტების ან სამშენებლო პროდუქციის მომხმარებელთა აზრის გამოკითხვის შედეგად;

- ორგანოლექტიკური მეთოდები, რომლებიც ადამიანის ორგანოების აღქმას იყენებენ (სმენა, უნარი გავარჩიოთ სუნის და ა.შ.);

- კომბინირებული, რომელიც ხარისხის მაჩვენებლის რაოდენობრივი შეფასებისთვის იყენებს არა ერთს, არამედ რამდენიმეს განხილული მეთოდებიდან, ხოლო შედეგების განსაზღვრის მეთოდით იყოფიან დიფერენციალურ, კონმპლექსურ და შერეულ მეთოდებად.

დიფერენციალური მეთოდის დროს ადარებენ ხარისხის მაჩვენებლებს ნორმების ან ანალოგების ცალკეულ მაჩვენებლებთან.

კომპლექსური მეთოდი გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როცა ხარისხი მხოლოდ ერთი განზოგადოებული მაჩვენებლით ხასიათდება.

ობიექტის ხარისხის შეფასების ინტეგრალური მეთოდი თავის თავში მოიცავს მოთხოვნების პარამეტრების შესაბამისობის შეფასებას, როგორც



ობიექტისადმი წაყენებული ტექნიკური, ისე ეკონომიკური მახასიათებლებისადმი.

შერეული მეთოდის დროს ხარისხის ცალკეულ მაჩვენებლებს აერთიანებენ ჯგუფებში და თითოეული ჯგუფისთვის განსაზღვრავენ შესაბამის კომპლექსურ მაჩვენებელს.

**სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოთა ხარისხისა და შენობა-ნაგებობების შეფასება ხდება: ნორმებისა და პროექტისადმი პარამეტრების შესაბამისობის კოეფიციენტის მიხედვით; ექსპერტების შეფასებით; დაშვებული დეფექტების გამოსწორებაზე დანახარჯების და საექსპლუატაციო დანახარჯების მიხედვით; სანდოობის მაჩვენებლებით; სტატისტიკური მაჩვენებლებითა და სხვა კრიტერიუმებით.**

სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოების ხარისხის კონტროლის მეთოდების შეფასება განხორციელდა მეცნიერთა მიერ შემოთავაზებული მაჩვენებლების მიხედვით.

სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოების ხარისხის შეფასების მეთოდების ანალიზისას შეიძლება გამოვყოთ სტატისტიკური შეფასების მეთოდი, რომელიც აკმაყოფილებს საერთაშორისო სტანდარტების და ISO 9000-9001 სერიის მოთხოვნებს. სტატისტიკური შეფასებისას გამოიყენება შერჩევითი კონტროლი, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს ხარისხის უზრუნველყოფის ხარჯებს. აღნიშნული მეთოდი იძლევა ტექნოლოგიური პროცესების რეგულირებისთვის აუცილებელ ინფორმაციას: პროცესის სიზუსტის, კონტროლის სიზუსტის, შემთხვევითი და სისტემატური ცდომილებების მიმართ სტაბილურობის სიზუსტის მაჩვენებლებს. ამგვარად, ეს მეთოდი საშუალებას იძლევა საკმარისად ზუსტად და ობიექტურად შევაფასოთ სამშენებლო სამუშაოთა ხარისხის დონე.

შენობების ხარისხი უნდა უზრუნველყოფდეს მათ უსაფრთხო ექსპლუატაციას. შესაბამისად, მზიდი კონსტრუქციები უნდა შეესაბამებოდეს საიმედოობის გარკვეულ დონეს. სამშენებლო კონსტრუქციების საიმედოობის გამოთვლის მეთოდები განხილულია ნ.

ნინუას, დ. გურგენიძის, რ. იმედაძის, გ. მეტრეველის, ა. სოხაძის, ნ. ლლონტის, ლ. ყავლაძის, გ. ქურდაძის ა. ბარატას, გ. აუგუსტის, ვ. რაიზერის, ვ. ბოლოტინის, ო. ლუჟინის, ა. კუპისის, გ. შპეტეს და სხვ. მეცნიერთა ნაშრომებში. შენობის კონსტრუქციის სანდოობის ძირითადი მაჩვენებელი არის მისი მუშაობის მტყუნების ალბათობა და კონსტრუქციის უსაფრთხო ექსპლუატაციის პერიოდი. აგებული კონსტრუქციის საიმედოობის თვალსაზრისით შეფასების არსებული მეთოდები საკმაოდ რთულია პრაქტიკულ გამოყენებაში.

**რკინაბეტონის კონსტრუქციების ექსპლუატაციის ხანგრძლივობის შესახებ ლიტერატურული მონაცემების ანალიზმა აჩვენა, რომ კონსტრუქციის ექსპლუატაციის ვადა კაპიტალურ შეკეთებამდე საშუალოდ 50 წელია, ხოლო ცვეთის ინტენსივობა 0,0053 % ტოლია.**

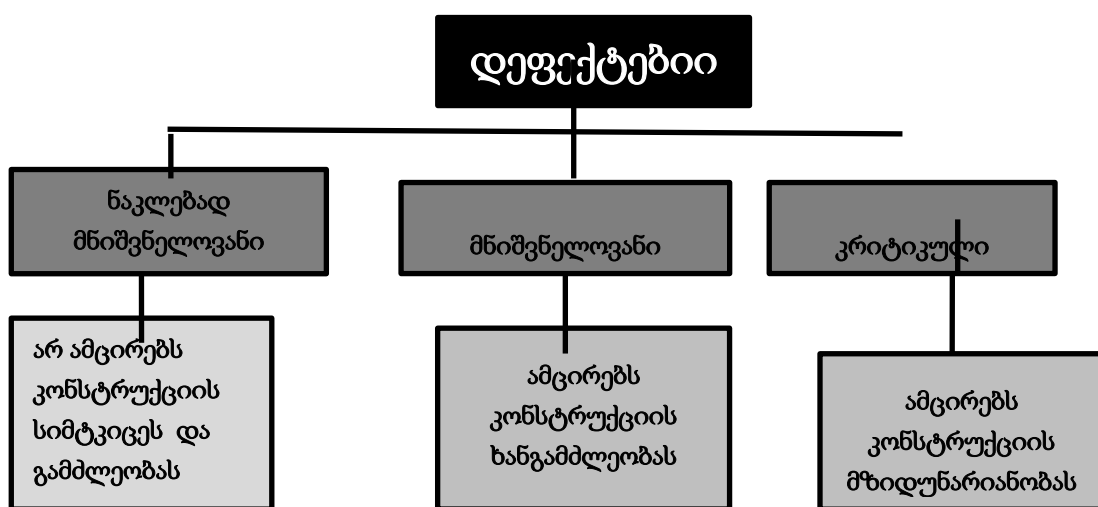
მონოლითური კონსტრუქციების აგების ხარისხის პარამეტრების ნომენკლატურის დასასაბუთებლად გამოკვლეული და გაანალიზებული იქნა, შემდეგ მეცნიერთა ნაშრომები: ნ. ნინუას, ა. სოხაძის, ნ. ლლონტის, ლ. ყავლაძის, გ. ქურდაძის, დ. გურგენიძის, რ. იმედაძის, გ. მეტრეველის, ა. თამარზიანის, ლ. ბაბაიბურიანის, გ. აბდულაევის, ე. გუსევის. პ. ოლეინიკის, ს. გოლოვნიკის, ა. თამარზიანის, ბ. ზადაგუევისა, პ. ოლეინიკის, ა. როიტმანის, გ. რუფერტის, ი. ხაიუტინის, ე. გუსევის, ე. კოროლის, ბ. გლადისის და სხვ., რომლებშიც განხილულია ბეტონის სამუშაოების და სამშენებლო კონსტრუქციების დეფექტები. დისერტაციაში მოცემულია იმ დეფექტების დახასიათება, რომლებიც გავლენას ახდენს და იწვევს მონოლითური შენობების ბეტონის სამუშაოების ტექნოლოგიის დარღვევას და უარყოფითად მოქმედებს მონოლითური კონსტრუქციების ხარისხზე.

სტანდარტების შესაბამისად დეფექტი არის პროდუქციის დადგენილ მოთხოვნებთან შეუსაბამობა. კრიტიკულია ის დეფექტი, რომლის არსებობისას შენობა-ნაგებობა, მისი ნაწილი ან კონსტრუქციული ელემენტი ფუნქციურად გამოუსადეგარია, სამუშაოთა შემდგომი წარმოება სიმტკიცის

და მდგრადობის პირობებით უსაფრთხო არ არის, ან შეუძლია გამოიწვიოს მითითებული მახასიათებლების დაქვეითება ექსპლუატაციის პროცესში.

მნიშვნელოვანი დეფექტი არის სამშენებლო პროდუქციის საექსპლუატაციო მახასიათებლების და მისი ხანგამძლეობის არსებითად გამაუარესებელი დეფექტი. დეფექტები შეიძლება იყოს: მნიშვნელოვანი, რომელიც ამცირებს კონსტრუქციის გამძლეობას; ნაკლებად მნიშვნელოვანი, რომელიც არ ამცირებს კონსტრუქციის სიმტკიცეს და მის გამძლეობას; კრიტიკული დეფექტი, რომელიც ამცირებს კონსტრუქციის მზიდუნარიანობას და უმნიშვნელო დეფექტი. უმნიშვნელო ჰქვია დეფექტს, რომელიც არსებითად არ მოქმედებს სამშენებლო პროდუქციის გამოყენებას ან მის ხანგამძლეობაზე.

ნახ. 1-ზე წარმოდგენილია სქემა, რომელიც ასახავს მონოლითურ მშენებლობაში დეფექტების ძირითადი სახეების კლასიფიკაციას მნიშვნელოვნების მიხედვით.



*ნახ. 1. მონოლითურ მშენებლობაში დეფექტების ძირითადი სახეების კლასიფიკაცია მნიშვნელოვნების მიხედვით*

აგრეთვე კვლევები ჩატარებულია აშენებულ ობიექტებზე (შენობები 4 სართულიდან 16 სართულამდე): მონოლითური შენობები კარკასული მზიდი სისტემით (1, 2 და 4); მონოლითური შენობები კედლის მზიდი სისტემით (5 და 6); ანაკრებ-მონოლითური შენობები კარკასული მზიდი სქემით (7 და 9); შენობა ლითონის კარკასში მონოლითური გადახურვებით

(3); ანაკრები შენობა მონოლითური საძირკვლით (8). პირველ რიგში განსაზღვრული იყო მონოლითური კონსტრუქციების აგების პარამეტრების მნიშვნელობათა განაწილების სავარაუდო მოდელების მახასიათებლები (სვეტები, კედლები, დიაფრაგმები და გადახურვები).

ჩატარებული ანალიზის თანახმად, შეიძლება დავასკვნათ, რომ ბეტონის კუმშვაზე სიმტკიცის პარამეტრების, (პარამეტრის ქვემოდან შემოსაზღვრულის შემთხვევა) და კონსტრუქციული საიმედოობის გეომეტრიული პარამეტრების (ორი მხრიდან შემოსაზღვრულის შემთხვევა) მაჩვენებლებს ნორმალური განაწილება აქვთ, ხოლო ერთი მხრიდან შემოსაზღვრული (ზემოდან შემოსაზღვრულის შემთხვევა) გეომეტრიული პარამეტრების მონაცემებს - ლოგარითმულ-ნორმალური.

პარამეტრების შეფასების სტატისტიკური მეთოდი ითვალისწინებს კონტროლირებადი პარამეტრების მნიშვნელობათა განაწილების სტატისტიკური ანალიზის მიღებულ შედეგებს. ცხრილში 1 მოყვანილია ბეტონის სამუშაოების ხარისხის ძირითადი კონტროლირებადი პარამეტრების სააღბათო განაწილების ფაქტობრივი და ნორმატიული მახასიათებლები, ასევე ნაჩვენებია იმ პარამეტრების მნიშვნელობათა წილი, რომლებიც  $p$  დაშვების ველში ხვდებიან.

### ცხრილი 1

*ხარისხის ძირითადი კონტროლირებადი პარამეტრების სააღბათო განაწილების სტატისტიკური მახასიათებლები*

| კონტროლირებადი პარამეტრი                      | გამანაწილებელი პარამეტრი                 |   | P    |
|---|--|---|------|
|   | ფაქტიური<br>(MX. S)/<br>( $\mu \sigma$ ) | ნორმატიული<br>(MX. S)/ ( $\mu \sigma$ ) |      |
| ნორმალური განაწილების პარამეტრები             |  |   |      |
| შეკუმშვაზე B15 კლასის ბეტონის სიმტკიცე , მპა  | (22,0; 2,24)                             | (19,7; 2,66)                            | 1,00 |
| შეკუმშვაზე B25 კლასის ბეტონის სიმტკიცე, მპა   | (33,9; 2,08)                             | (32,7; 4,41)                            | 1,00 |
| შეკუმშვაზე B30 კლასის ბეტონის მდგრადობა , მპა | (39,9; 4,01)                             | (39,3; 5,31)                            | 0,99 |

|  |               |               |      |
|--|---------------|---------------|------|
| განივი კვეთის სვეტების გადახრა, მმ                                 | (3,85; 6,14)  | (1,5; 2,25)   | 0,51 |
| კედლების სისქის გადახრა, მმ  | (9,24; 6,39)  | (1,5; 2,25)   | 0,28 |
| გადახურვის სისქის გადახრა, მმ                                      | (5,60; 6,09)  | (1,5; 2,25)   | 0,45 |
| არმატურის ღერძებს შორის დაშორების გადახრა, მმ                      | (-1,66; 16,6) | (0,0; 5,0)    | 0,45 |
| ბეტონის დამცავი ფენის სისქის გადახრა, მმ                           | (-0,19; 8,88) | (2,5; 3,75)   | 0,57 |
| სვეტების ღერძების გადაწევა გამყოფი ღერძებიდან, მმ                  | (-0,16; 4,84) | (0,0; 5,0)    | 0,96 |
| კედლის ღერძების გადაწევა გამყოფი ღერძებიდან, მმ                    | (0,26; 5,32)  | (0,0; 5,0)    | 0,94 |
| გადახურვის მაღლივი ნიშნულებიდან გადახრა; მმ                        | (4,88; 8,18)  | (0,0; 5,0)    | 0,70 |
| <b>ლოგარითმულ-ნორმალური განაწილების მნიშვნელობების პარამეტრები</b> |               |               |      |
| განსხვავება ორ გამავალ ზდაპირს შორის, მმ                           | (1,40; 0,805) | (0,55; 0,334) | 0,36 |
| კედლებისა და სვეტების გადახრა ვერტიკალიდან, მმ                     | (1,89; 0,749) | (1,35; 0,823) | 0,86 |
| ჰორიზონტალური სიბრტყეების გადახრები, მმ                            | (1,39; 1,085) | (1,50; 0,911) | 0,93 |
| ბეტონის კედლების და სვეტების ადგილობრივი უსწორობა, მმ              | (0,80; 1,235) | (0,81; 0,489) | 0,75 |

*შენიშვნა: 1.  $MX$  – პარამეტრის საშუალო მნიშვნელობა;  $S$  – პარამეტრის სტანდარტული გადახრა;  $\mu$  – პარამეტრის გალოგარითმებული მნიშვნელობის საშუალო;  $\sigma$  – პარამეტრის გალოგარითმებული მნიშვნელობის სტანდარტული გადახრა;  $p$  – პარამეტრის მნიშვნელობის წილი დაშვების ზონაში (უდღეფექტობის დონე).*

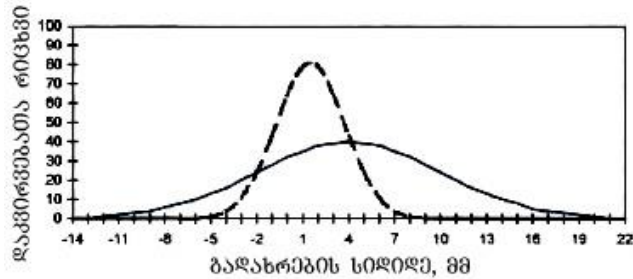
*2. განაწილების ნორმატიული პარამეტრები განსაზღვრულია გადახრაზე დაშვებების სიდიდიდან.*

*3. ბეტონის კლასი B15, B25 და B30 ახასიათებს სამოქალაქო შენობების მონოლითური კონსტრუქციების აშენებისას გამოყენებული ბეტონის სიმტკიცის მნიშვნელობათა ინტერვალს.*

მიღებული შედეგებიდან გამომდინარე, აუცილებელია აღვნიშნოთ  $p$  პარამეტრის დაბალი მნიშვნელობა კონსტრუქციის განივი ზომების გადახრასა და არმატურის დალაგების პარამეტრებზე.

კვლევებით დადგენილია, რომ ნამდვილი გადახრები, როგორც წესი, ნორმატიულს აჭარბებს (-3 ... + 6 მმ)-ით 2-10-ჯერ. ამერიკულ ნორმებში ეს დაშვებები ორჯერ მეტია (-6 ... + 12 მმ). ამერიკელი სპეციალისტების მონაცემების ამ დაშვებებშიც კი ვერ თავსდება რეალური გადახრები. სააღბათოა, რომ განივი კვეთის გადახრაზე არსებული დაშვება ზედმეტად

ხისტია, მეტროლოგიურად დაუსაბუთებელი და გადახედვას მოითხოვს. ამიტომ, მეცნიერები გვთავაზობენ გავაფართოოდ დაშვება მონოლითური კონსტრუქციების განივი კვეთის გადახრაზე (-8 ... + 16 მმ-მდე).



ფაქტობრივ მნიშვნელობათა განაწილების სიმკვრივის გრაფიკი

-- მნიშვნელობათა განაწილების სიმკვრივის გრაფიკი ნორმატიულ დაშვებებში;

*ნახ.2. კონსტრუქციის განივი კვეთის გადახრების ნორმატიული და ფაქტიური მნიშვნელობების განაწილების სიმკვრივის გრაფიკი*

აქედან გამომდინარე, მონოლითური კონსტრუქციების განივი კვეთის ზომებიდან გადახრაზე შემოთავაზებულია ახალი დაშვებები ცხრილი 2., რომლებიც იძლევა კონსტრუქციის განივი კვეთის გადახრაზე მოთხოვნის შესრულების საშუალებას, ბეტონის სამუშაოთა ტექნოლოგიის არსებული დონის შესაბამისად.

## ცხრილი 2

*მონოლითური კონსტრუქციების განივი კვეთების ზომების გადახრაზე შემოთავაზებული დაშვებები და მათი გავლენა კონსტრუქციის საიმედოობაზე*

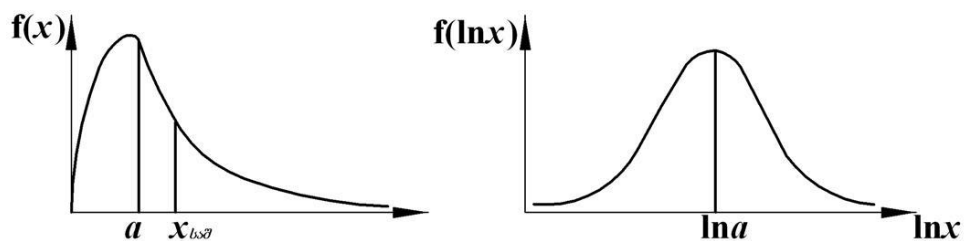
| კონსტრუქციის განივი კვეთის სიდიდე, მმ | დაშვების სიდიდე, მმ | გამტყუნების ალბათობის ზრდა n-ჯერ |
|---------------------------------------|---------------------|----------------------------------|
| 250- მდე                              | -4; +12             | 0,82... 1,20                     |
| 250-დან 500-მდე                       | -5; +15             | 0,98... 1,24                     |
| 500 -დან ზემოთ                        | -6; +18             | 0,94...0,98                      |

მე-2 ცხრილში ნაჩვენებია საიმედოობის მაჩვენებლის ცვლილება (მტყუნებათა ალბათობის ზრდა) უმნიშვნელოა (მეცნიერთა მონაცემებით დასაშვებია 2-10-ჯერ). ამგვარად, შემოთავაზებული დაშვებები განივი კვეთის ზომებზე შეიძლება რეკომენდირებული იყოს მონოლითური სამოქალაქო შენობებისათვის. კონსტრუქციის აგების სიზუსტის

განგარიშებამ გვიჩვენა, რომ ტექნოლოგიური დაშვება იზრდება 5-8%-ით, რისი გათვალისწინებაც აუცილებელია ფუნქციური დაშვებების განგარიშების დროს, მონოლითურ და ანაკრებ-მონოლითურ შენობებში ანაკრები კონსტრუქციების მონტაჟისთვის.

**მეორე თავი მოიცავს** მონოლითური კონსტრუქციების აგების ხარისხის სტატისტიკური შეფასების მეთოდის და ხარისხის შეფასების მეთოდის შემუშავებას საიმედოობის მაჩვენებლების მიხედვით.

ზემოდან შემოსაზღვრული მონოლითური კონსტრუქციების პარამეტრების ხარისხის კონტროლის მონაცემების სტატისტიკურმა ანალიზმა ისეთის, როგორც არის კონსტრუქციის ვერტიკალიდან გადახრა, ჰორიზონტალური სიბრტყეების გადახრა, ორი მოსაზღვრე ზედაპირის ნიშნულების სხვაობა და ზედაპირების ადგილობრივი უსწორობა, გვიჩვენა, რომ მათი მნიშვნელობები განაწილებულია ლოგარითმულ-ნორმალური კანონით. ნაშრომში ნაჩვენებია პარამეტრებისათვის განიხილება პროცესის სიზუსტის მაჩვენებლისა და უდებექტობის დონის განსაზღვრის ამოცანა. თუ  $x$  სიდიდეს ლოგნორმალური განაწილება აქვს, მაშინ  $\ln x$  სიდიდეს ნორმალური განაწილება აქვს. ნახაზი 3-ზე გამოსახულია განაწილების ლოგნორმალური და ნორმალური კანონის სიმკვრივეები.



**ნახ. 3. განაწილების ლოგნორმალური და ნორმალური კანონის სიმკვრივეები**

ა) მითითებული პარამეტრების სიდიდეთა განაწილების სიმკვრივის გრაფიკი (ლოგნორმალური განაწილება); ბ) მითითებული პარამეტრების სიდიდეთა განაწილების სიმკვრივის გრაფიკი ლოგარითმის მიხედვით (ნორმალური განაწილება);  $X_{საშ}$  – ლოგნორმალური განაწილების საშუალო მნიშვნელობა,  $a$  –მედიაა ლოგნორმალური განაწილებისას,  $\ln a$  – ნორმალური განაწილების საშუალო მნიშვნელობა.

შემოთავაზებულ მეთოდში გამოყენებულია შემდეგი სტატისტიკური მაჩვენებლები: უდეფექტობის დონე; ტექნოლოგიური პროცესის სიზუსტე; საკონტროლო გაზომვების სიზუსტე; ტექნოლოგიური პროცესის პარამეტრების მნიშვნელობათა სტაბილურობა.

მე-3 ცხრილში შემოთავაზებულია ფორმულები ერთი მხრიდან შემოსაზღვრული პარამეტრების სტატისტიკური მაჩვენებლების განსაზღვრისათვის.

ცხრილი 3

**საკონტროლო პარამეტრების სტატისტიკური შეფასების ფორმულები**

| სტატისტიკური მაჩვენებლები    | ბეტონის სიმტკიცე კუმშვაზე                                      | ერთი მხრიდან შემოსაზღვრული გეომეტრიული პარამეტრები           |
|------------------------------|--|--|
| უდეფექტობის კოეფიციენტი p    | $p = \Phi \left( \frac{R_{საშ} - B_{ნორმ}}{S} \right)$         | $p = \Phi \left( \frac{\ln b - \mu}{\sigma} \right)$         |
| ტექპროცესის სიზუსტე $K_{ტს}$ | $K_{ტს} = \left( \frac{R_{საშ} - B_{ნორმ}}{t \cdot S} \right)$ | $K_{ტს} = \left( \frac{\ln b - \mu}{t \cdot \sigma} \right)$ |
| კონტროლის სიზუსტე $K_{კს}$   | $K_{კს} = \frac{\delta X_{met}}{R_{საშ} - B_{ნორმ}}$           | $K_{კს} = \frac{\delta X_{met}}{b - \bar{X}}$                |

*შენიშვნა: b – გადახრაზე დაშვება; B<sub>ნორმ</sub> – ბეტონის სიმტკიცის ნორმირებული მნიშვნელობა, მკა-(შეესაბამება ბეტონის კლასის მნიშვნელობას); R<sub>საშ</sub> და  $\bar{X}$  –საშუალო ამონაკრებები; S – ამონაკრებების სტანდარტული გადახრა;  $\mu$  –პარამეტრის საშუალო გალოგართმებული მნიშვნელობა;  $\sigma$  – პარამეტრის გალოგართმებული მნიშვნელობის სტანდარტული გადახრა;  $\Phi$  – ნორმალური განაწილების სტანდარტული კანონის ფუნქცია; t – სტიუდენტის განაწილების კვანტილი;  $\delta X_{met}$  ზღვრული ცდომილება საკონტროლო გაზომვებისას,*

ერთი მხრიდან შესაზღვრული პარამეტრების  $\mu$  და  $\sigma$  გამოითვლება შემდეგი ფორმულებით:

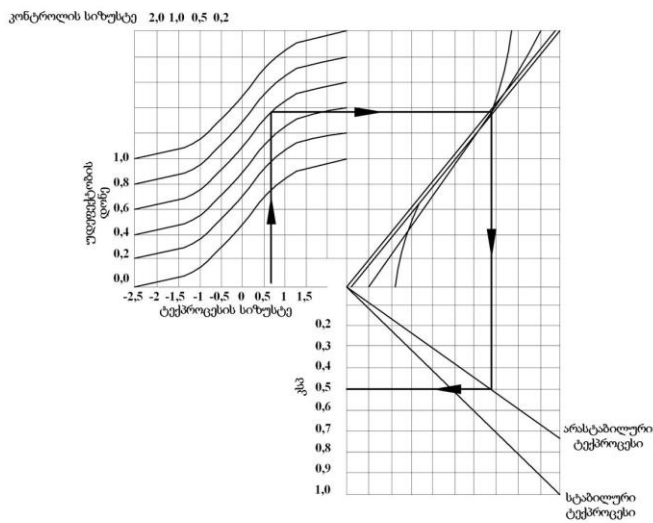
$$\mu = \ln(\bar{X}_{საშ}) - \frac{1}{2} \sigma^2, \tag{1}$$

$$\sigma^2 = \ln \left( \frac{S^2}{\bar{X}_{საშ}^2} + 1 \right), \tag{2}$$

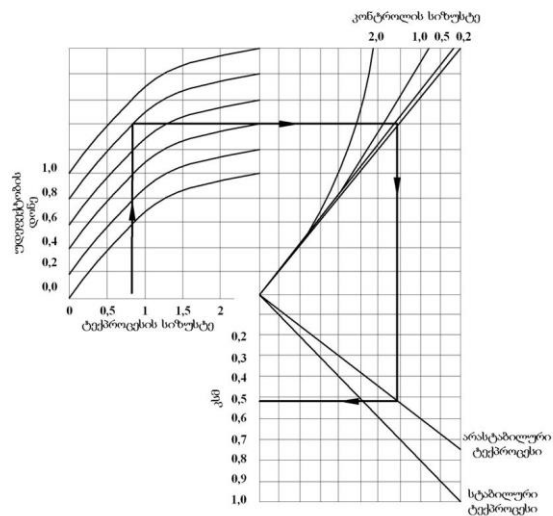
სტატისტიკური მიმღები კონტროლის დროს ხარისხის ობიექტური შეფასება შეიძლება მოხდეს, როგორც ცალკეული სტატისტიკური მაჩვენებლების მნიშვნელობათა ანალიზის შედეგად, ასევე შემდეგი



მაჩვენებლების ერთობლიობითაც: უდევქტობის დონის  $p$ , ტექპროცესის სიზუსტის  $K_{ტს}$ , კონტროლის სიზუსტის  $K_{კს}$  და ტექპროცესის სტაბილურობის შემთხვევითი და სისტემატური ცდომილებების მიხედვით. ამისათვის შემოთავაზებულია ხარისხის კომპლექსური სტატისტიკური მაჩვენებელი— $Q_{კსმ}$ . მისი განსაზღვრისთვის ჩატარდა სტატისტიკური მაჩვენებლების მათემატიკური ანალიზი. ანალიზის მიღებული შედეგებიდან გამომდინარე  $Q_{კსმ}$ -ის განსაზღვრისთვის ავტორების მიერ შემუშავებულია ნომოგრამები: ნახ. 4 და ნახ. 5.



**ნახ. 4. კომპლექსური სტატისტიკური პარამეტრის განსაზღვრის ნომოგრამა ერთი მხრიდან შემოსაზღვრული პარამეტრისთვის**



**ნახ. 5. კომპლექსური სტატისტიკური პარამეტრის განსაზღვრის ნომოგრამა ორმხრივ შემოსაზღვრული პარამეტრისთვის**

ცხრილი 4-ში წარმოდგენილია მონოლითური კონსტრუქციების მშენებლობის ხარისხის შეფასების ზოგიერთი შედეგი სტატისტიკური მაჩვენებლებით.

ცხრილი 4

**ხარისხის შეფასების შედეგები სტატისტიკური მაჩვენებლებით**

| კონტროლირებადი პარამეტრი                            | $K_{\text{შ}}$ | P    | $K_{\text{ტს}}$ | $K_{\text{კს}}$ | C    | $Q_{\text{კსმ}}$ |
|---|----------------|------|-----------------|-----------------|------|------------------|
| პროექტით მოცემული ბეტონის სიმტკიცე შეკუმშვაზე       | 0,99           | 0,98 | 1,94            | 0,13            | 0,75 | 0,92             |
| ბეტონის სიმტკიცე შეკუმშვაზე ყალიბის მოხსნისას       | 0,95           | 0,94 | 1,18            | 0,29            | 0,75 | 0,90             |
| არმატურის რიგებსა და ღეროებს შორის გადახრა          | 0,71           | 0,68 | 0,47            | 0,10            | 0,59 | 0,51             |
| ბეტონის საფარის სისქის გადახრა                      | 0,67           | 0,66 | 0,55            | 0,13            | 0,56 | 0,54             |
| კონსტრუქციის გადახრა ღერძებიდან და სიმაღლეებიდან    | 0,84           | 0,75 | 0,76            | 0,37            | 0,46 | 0,58             |
| განივი კონსტრუქციის გადახრა                         | 0,48           | 0,39 | 0,36            | 0,22            | 0,17 | 0,31             |
| კონსტრუქციის გადახრა ვერტიკალიდან და ჰორიზონტალიდან | 0,91           | 0,90 | 0,88            | 0,26            | 0,42 | 0,75             |
| ბეტონის ზედაპირის ადგილობრივი უსწორმასწორობა        | 0,87           | 0,83 | 0,63            | 0,55            | 0,67 | 0,76             |

*შენიშვნა:  $K_{\text{შ}}$  – შესაბამისობის კოეფიციენტი;  $p$  – უდევექტობის დონე;  $K_{\text{ტს}}$  – ტექნოლოგიური პროცესის სიზუსტის მაჩვენებელი;  $K_{\text{კს}}$  – კონტროლის სიზუსტის მაჩვენებელი; C – სტაბილური ტექნოლოგიური პროცესების წილი;  $Q_{\text{კსმ}}$  – ხარისხის კომპლექსური სტატისტიკური მაჩვენებელი.*

ცხრილი 4.-ის მონაცემების ანალიზიდან ჩანს, რომ ბეტონის სიმტკიცის პარამეტრებს ხარისხის საკმაოდ მაღალი მაჩვენებლები აქვთ. რასაც პრაქტიკაში იყენებენ სამშენებლო ოგანიზაციები და ბეტონის ნარევის დამამზადებელი და უთითებენ ბეტონის უფრო მაღალ კლასს

ფაქტობრივთან შედარებით. არმატურის სამუშაოთა ხარისხის პარამეტრები ხასიათდება ხარისხის მნიშვნელობათა დაბალი მაჩვენებლებით.

კონსტრუქციებს გეომეტრიული პარამეტრების ხარისხის მაჩვენებლების მიხედვით აქვთ დაბალი მნიშვნელობები, რაც გამოწვეულია კონსტრუქციების განივი კვეთის გადახრის ზომებში დაუსაბუთებლად მკაცრი დაშვებით.

ცხრილი 4.-ის მონაცემებიდან ჩანს, რომ რაც უფრო დაბალია პარამეტრის უდევექტობის დონე, მით დაბალია ამ პარამეტრების სტაბილურობა.

შენობების ხარისხის შეფასების მეთოდის შემუშავება საიმედოობის მაჩვენებლების მიხედვით საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ მონოლითური კონსტრუქციების აგებისას გადახრების გავლენა მათი საიმედოობის დონეზე.

აგებული კონსტრუქციების ხარისხის შეფასებისთვის საიმედოობის მიღწევადი დონის მიხედვით შემოთავაზებულია საიმედოობის ინდექსის ცვლილების კოეფიციენტი,  $K_Z$ :

$$K_Z = Z_{ფ} / Z_{პრ}, \quad (3)$$

სადაც,  $Z_{ფ}$  – კონსტრუქციის საიმედოობის ინდექსის ფაქტობრივი მნიშვნელობაა;

$Z_{პრ}$  – კონსტრუქციის საიმედოობის ინდექსის საპროექტო მნიშვნელობა.

კონსტრუქციის საიმედოობის ინდექსი „ორი მომენტის“ მეთოდით ტოლია:

$$Z = \frac{\bar{R} - F}{S_R}, \quad (4)$$

სადაც,  $\bar{R}$  – კონსტრუქციის სიმტკიცის საშუალო მნიშვნელობაა, რომლის განსაზღვრისთვისაც მასალების წინააღობის საშუალო მნიშვნელობებით სარგებლობენ;

$F$  – კონსტრუქციაზე დატვირთვაა, რომლის სახითაც შეიძლება განვიხილოთ კონსტრუქციის მზიდი უნარი მასალების წინააღმდეგობის გაანგარიშების დროს;

$S_R$  – კონსტრუქციის სიმტკიცის სტანდარტული გადახრაა; კონსტრუქციის სიმტკიცის სტანდარტული გადახრა დამოკიდებულია პარამეტრების სტანდარტულ გადახრაზე:

$$S_R = \sqrt{\sum_{i=1}^n (k_i \cdot S_i)^2}, \quad (5)$$

სადაც  $S_i$  –  $i$  – ური პარამეტრის სტანდარტული გადახრაა;

$n$  – პარამეტრების რაოდენობაა;  $k_i$  –  $i$ -ური პარამეტრის

გავლენის კოეფიციენტია მონოლითური კონსტრუქციის სიმტკიცეზე:

$$k_i = \frac{\Delta R}{\Delta x_i} = \frac{\bar{R} - R_i}{\bar{x}_i - (\bar{x}_i - S_i)} = \frac{\bar{R} - R_i}{S_i}, \quad (6)$$

სადაც,  $R_i$  – მონოლითური კონსტრუქციის სიმტკიცეა და განისაზღვრება  $i$ -სთან მისი სტანდარტული გადახრით შემცირებული ( $\bar{x}_i - S_i$ );  $\bar{x}_i$  არის  $i$  - ური პარამეტრის საშუალო მნიშვნელობა.

მე-(5) და მე-(6) გამოსახულებიდან გამომდინარე კონსტრუქციის სიმტკიცის სტანდარტული გადახრა განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$S_R = \sqrt{\sum_{i=0}^n (\bar{R} - R_i)^2}, \quad (7)$$

კონსტრუქციის საიმედოობის ინდექსის ფაქტობრივი მნიშვნელობა განისაზღვრება აგებული კონსტრუქციის ხარისხის კონტროლით მიღებული საშუალო და სტანდარტული გადახრების მნიშვნელობებით. კონსტრუქციის საიმედოობის ინდექსის საპროექტო მნიშვნელობა კი კონსტრუქციის პარამეტრების გადახრების საშუალო და სტანდარტული ნორმებში ჩადებული მნიშვნელობების მიხედვით.

შემოთავაზებული მეთოდის სიზუსტის შესამოწმებლად ჩატარებული იყო რიცხვითი ექსპერიმენტები სტატისტიკური გამოცდების სახით („მონტე-კარლოს“ მეთოდი), რომელიც დაფუძნებულია შემთხვევითი, ნორმალურად განაწილებული რიცხვების გენერაციაზე, რომლებიც განსაზღვრავენ პარამეტრების მნიშვნელობებს მათი სტანდარტული

გადახრების შესაბამისად. შემდეგ გამოითვლება კონსტრუქციის სიმტკიცის შემთხვევითი მნიშვნელობები. მათ საფუძველზე მოიძებნება სიმტკიცის საშუალო მნიშვნელობა და მისი სტანდარტული გადახრა. საიმედოობის ინდექსი და საიმედოობის ინდექსის კოეფიციენტის ცვლილება განისაზღვრება ფორმულებით: (4) და (5). რიცხვითი ექსპერიმენტების შესასრულებლად ავტორთა მიერ შემუშავებული იყო პროგრამა ავტომატიზირებულ სისტემებში გასაანგარიშებლად.

მონოლითური კონსტრუქციების აგების ხარისხის სტატისტიკური მონაცემებით ჩატარდა საიმედოობის ინდექსის ცვლილებების შეფასება (ზემოთ მოყვანილი მეთოდით და სტატისტიკური ცდების მეთოდით). გაანგარიშების შედეგები მოყვანილია ცხრილი 5-ში.

### ცხრილი 5

*მონოლითური კონსტრუქციების შეფასება საიმედოობის მაჩვენებლებით*

| კონსტრუქცია | B   | A     | b(h) | A <sub>s</sub> | a  | e <sub>0</sub> | K <sub>Z1</sub> | K <sub>Z2</sub> | T <sub>გ</sub> |
|-------------|-----|-------|------|----------------|----|----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| სვეტი       | B25 | A-III | 500  | 1608           | 40 | 40             | 1,004           | 1,007           | 51             |
| გადახურვა   | B25 | A-III | 220  | 1047           | 25 | –              | 1,037           | 1,039           | 56             |
| სვეტი       | B30 | A-III | 440  | 1962           | 70 | 40             | 1,230           | 1,243           | 88             |
| დიაფრაგმა   | B25 | A-III | 250  | 1538           | 50 | 60             | 1,149           | 1,138           | 75             |
| გადახურვა   | B25 | A-III | 220  | 901            | 25 | –              | 0,971           | 0,970           | 45             |
| გადახურვა   | B25 | A-III | 220  | 769            | 25 | –              | 0,962           | 0,963           | 44             |
| სვეტი       | B25 | A-III | 500  | 904            | 40 | 40             | 1,283           | 1,25            | 97             |
| გადახურვა   | B25 | A-III | 220  | 1047           | 25 | –              | 0,992           | 0,992           | 49             |
| კედელი      | B15 | –     | 160  | –              | –  | 5              | 1,240           | 1,193           | 90             |
| გადახურვა   | B15 | Bp-I  | 160  | 283            | 15 | –              | 0,986           | 0,972           | 48             |
| კედელი      | B15 | –     | 160  | –              | –  | 5              | 0,975           | 1,069           | 46             |
| გადახურვა   | B15 | A-III | 160  | 502            | 15 | –              | 1,006           | 1,006           | 51             |
| სვეტი       | B15 | A-III | 700  | 3924           | 70 | 50             | 1,114           | 1,171           | 69             |
| გადახურვა   | B25 | A-III | 220  | 769            | 25 | –              | 1,032           | 1,037           | 55             |

*შენიშვნები: № – შენობის ნომერი (მითითებულია გვერდზე 8); B და A – ბეტონის და არმატურის კლასი; h – გადახურვის ან კედლის სისქე, მმ; b – სვეტის*

განივი ზომა, მმ;  $A_s$  - არმირების სიდიდე, მმ<sup>2</sup> (მმ<sup>2</sup>/მ);  $a$  - ბეტონის დამცავი ფენის სისქე, მმ;  $e_0$  - გრძივი ღერძის ექსცენტრისიტეტი, მმ;  $K_{z1}$  და  $K_{z2}$  - საიმედოობის ინდექსის ცვლილების კოეფიციენტი შემუშავებული ავტორების მეთოდით და სტატისტიკური გამოცდის მეთოდით;  $T_{ფ}$  - უსაფრთხო ექსპლუატაციის ფაქტობრივი ვადა, წლები.

მითითებული მეთოდით გამოთვლილი საიმედოობის ინდექსის ცვლილების შედეგები გვიჩვენებენ კორელაციის მაღალ ხარისხს ( $r = 0,997$ ), ამიტომ შემოთავაზებული მეთოდი შეიძლება გამოყენებული იყოს სამოქალაქო შენობების მონოლითური კონსტრუქციების საიმედოობის შესაფასებლად.

გამომდინარე იქიდან, რომ კონსტრუქციების საიმედოობის დონე განსაზღვრავს მის ხანგამძლეობას, კონსტრუქციის უსაფრთხო ექსპლუატაციის ვადა წარმოადგენს პერიოდს, კონსტრუქციის აგების მომენტსა და მისი მტყუნების ალბათობის ზღვრულად დასაშვებ დონეს შორის.

სადისერტაციო ნაშრომში განსაზღვრულია, რომ კონსტრუქციის მტყუნების ალბათობის ცვლილება დროში ექვემდებარება ნორმალური განაწილების კანონს და დამოკიდებულია კონსტრუქციის საიმედოობის ინდექსზე. აქედან გამომდინარე, მიღებულია გამოსახულება კონსტრუქციის უსაფრთხო ექსპლუატაციის ფაქტობრივი ვადის განსაზღვრავად. კონსტრუქციის ექსპლუატაციის ფაქტობრივი ხანგრძლივობა  $T_{ფ}$  ტოლი იქნება:

$$T_{ფ} = T_{სვ} \frac{K_z - K_z^{ზლ}}{1 - K_z^{ზლ}} \quad (6)$$

სადაც  $T_{სვ}$  - კონსტრუქციის უსაფრთხო ექსპლუატაციის საპროექტო ვადა;

$K_z^{ზლ}$  - კონსტრუქციის საიმედოობის საპროექტო ინდექსის ზღვრულად დასაშვები შემცირების კოეფიციენტია;

$K_r$  - კონსტრუქციის საიმედოობის ინდექსის ცვლილების კოეფიციენტია.

უსაფრთხო ექსპლუატაციის ფაქტობრივი ვადის შესაფასებლად მიღებულია შემდეგი შეზღუდვები: კონსტრუქციის უსაფრთხო

ექსპლუატაციის საპროექტო ვადა 50 წლის ტოლია; მონოლითური კონსტრუქციის აგების დროს დაშვებული დეფექტები არ მოქმედებენ კონსტრუქციის ცვეთის ინტენსივობაზე. ცვეთის ინტენსივობიდან და რკინაბეტონის კონსტრუქციის უსაფრთხო ექსპლუატაციის საპროექტო ვადიდან გამომდინარე, კონსტრუქციის საიმედოობის საპროექტო ინდექსის ზღვრულად დასაშვები შემცირება 0,7-ის ტოლია. მე-5 ცხრილიში მოტანილია კონსტრუქციის უსაფრთხო ექსპლუატაციის ფაქტობრივი ვადის შეფასების შედეგები.

მესამე თავში განხილულია მონოლითური სამოქალაქო შენობების აშენების ხარისხის ინტეგრალური შეფასების მეთოდის შემუშავება, მათ შორის ბეტონის სამუშაოების ხარისხის სტატისტიკურ შეფასების და შენობის ხარისხის შეფასების თვალსაზრისით საიმედოობის მიღწეულ დონეზე დაფუძნებული ეკონომიკური მაჩვენებლებით.

მონოლითური კონსტრუქციის აგების ხარისხის შეფასების ეკონომიკური მაჩვენებელი არის შენობის  $I_{\text{შ}}$ -შემოსავლის ინდექსი, რომელიც განისაზღვრება  $T_{\text{გ}}$  – კონსტრუქციის უსაფრთხო მუშაობის ფაქტობრივი პერიოდის საფუძველზე:

$$I_{\text{შ}} = \frac{1 - (1 + E)^{-T_{\text{გ}}}}{1 - (1 + E)^{-T_{\text{ს}}}} \quad (7)$$

სადაც, E-არის დისკონტის ნორმა;

$T_{\text{ს}}$  – კონსტრუქციის უსაფრთხო ექსპლუატაციის საპროექტო ვადა;

$T_{\text{გ}}$  – კონსტრუქციის ექსპლუატაციის ფაქტობრივი ვადა.

მონოლითური კონსტრუქციის აგების ხარისხის შეფასების მეთოდი აგებული კონსტრუქციისთვის შემოსავლების ინდექსის  $I_{\text{შ}}$  მიხედვით, შეიძლება გამოყენებული იქნას ხარისხის მართვის საბაზრო მექანიზმებისათვის.

$Q_{\text{ოშ}}$  ხარისხის ინტეგრალური შეფასების განსაზღვრა შემოთავაზებულია შემდეგი ფორმულით:

$$Q_{\text{ოშ}} = \mu_1 \cdot K_{\text{კსშ}} + \mu_2 \cdot I_{\text{შ}} \quad (8)$$

სადაც,  $K_{კსმ}$  - კომპლექსური სტატისტიკური მაჩვენებელია;

$I_{შ}$  - აშენებული კონსტრუქციის ხარისხის შეფასების ეკონომიკური მაჩვენებელი;

ხოლო  $\mu_1$  და  $\mu_2$  შესაბამისი მაჩვენებლების წონადობის კოეფიციენტები, რომელთა დადგენაც ხდება ხარისხის შეფასების კონკრეტულ მიზანზე დამოკიდებულებით. აგებული მონოლითური კონსტრუქციების ხარისხის შეფასების ინდექსის-  $Q_{ში}$  შედეგები წარმოდგენილია მე-6 ცხრილში

## ცხრილი 6

### მონოლითური კონსტრუქციების ხარისხის შეფასების ინდექსის შედეგები

| შენობის № | $Q_{კსმ}$ | $T_{შ}$ | $I_{შ}$ | $Q_{ში}$ |
|-----------|-----------|---------|---------|----------|
| 1         | 0,73      | 51      | 1,00    | 0,87     |
| 2         | 0,58      | 45      | 0,97    | 0,78     |
| 3         | 0,70      | 44      | 0,97    | 0,84     |
| 4         | 0,65      | 49      | 1,00    | 0,82     |
| 5         | 0,71      | 48      | 0,99    | 0,85     |
| 6         | 0,57      | 46      | 0,98    | 0,78     |
| 7         | 0,50      | 69      | 1,06    | 0,78     |
| 8         | 0,64      | 50      | 1,00    | 0,82     |
| 9         | 0,72      | 55      | 1,02    | 0,87     |

შენიშვნა:  $Q_{კსმ}$  - ხარისხის კომპლექსური სტატისტიკური მაჩვენებელი;  $T_{შ}$ - ფაქტიური ვადა;  $I_{შ}$  -შემოსავლის ინდექსი;  $Q_{ში}$  - ხარისხის ინტეგრალური შეფასების მაჩვენებელი

(წონადობის კოეფიციენტების მნიშვნელობა პირობითად მიღებულია 0,5-ის ტოლად).

ბეტონის სამუშაოების ხარისხის ინტეგრალური შეფასება საკვლევ შენობებზე შეადგენს 0,75...0,87 ბეტონის სამუშაოების მიმდინარეობის დროს არსებულ დონეზე. მეთოდის აპრობაციის პირველ ეტაპზე შემოთავაზებულია შეფასების შემდეგი კლასიფიკაცია: 0,65-ზე ნაკლები დაბალია; 0,65-0,75 საშუალოზე დაბალია; 0,75-0,85 საშუალოა; 0,85-0,95 საშუალოზე მაღალია და 0,95-ზე მეტი მაღალი. მითითებული ინტერვალები შეიძლება კორექტირებული იქნას კონტროლისა და შეფასების მიზნებიდან გამომდინარე.



ტექნიკური რეგულირების კანონის შესაბამისად, აუცილებელია მშენებლობის დასრულებული ობიექტის მისი უსაფრთხო ექსპლუატაციის მოთხოვნებისადმი შესაბამისობის შეფასების რეგლამენტის შემუშავება. შემოთავაზებული მეთოდი შეიძლება გამოყენებული იქნას ტექნიკური რეგულირების მიზნებისათვის.

აგებული მონოლითური კონსტრუქციების ხარისხის ინტეგრალური შეფასების მეთოდი ეფუძნება ხარისხის სტატისტიკურ კონტროლს. აქედან გამომდინარე, ხარისხის სტატისტიკური შეფასების მეთოდის ეკონომიკური ეფექტურობის შესაფასებლად, რომელიც დაფუძნებულია რაოდენობითი ნიშნით შერჩევით კონტროლზე, ჩატარებულია დანახარჯების გაანგარიშება კონტროლის სხვადასხვა სახეობაზე. გაანგარიშება ჩატარებულია სხვადასხვა წლებში მოქმედი ფასებით. ორ ობიექტზე სხვადასხვა კონსტრუქციული სისტემებით (შენობა №1 – 9 სართულიანი საცხოვრებელი სახლი კარკასული მზიდი სისტემით; შენობა №2 – 5-სართულიანი საცხოვრებელი სახლი კედლის მზიდი სისტემით).

შერჩევის მოცულობის ფორმირების წესი მოცემულია ცხრილი 7.-ში საქართველოში მიღებული სტანდარტების შესაბამისად, ხარისხობრივი ნიშნით შერჩევითი კონტროლისთვის და რაოდენობითი ნიშნით შერჩევითი კონტროლისთვის. ცხრილში 7. ასევე ნაჩვენებია ეკონომია, რაოდენობითი ნიშნით შერჩევითი კონტროლის გამოყენების დროს ხარისხობრივი ნიშნით შერჩევით კონტროლთან შედარებით.

ცხრილი 7

**ეკონომია რაოდენობით ნიშნით შერჩევითი კონტროლის გამოყენებისას ხარისხობრივი ნიშნით შერჩევით კონტროლთან შედარებით.**

| მოცულობა<br>N | შერჩევის მოცულობა n<br>კონტროლისას |                       | ეკონომია |    |
|---------------|------------------------------------|-----------------------|----------|----|
|               | ხარისხობრივი<br>ნიშნით             | რაოდენობითი<br>ნიშნით | n        | %  |
| 25-მდე        | 5                                  | 4                     | 1        | 20 |

|       |    |   |   |    |
|-------|----|---|---|----|
| 25-40 | 7  | 5 | 2 | 28 |
| 41-65 | 10 | 7 | 3 | 30 |

ცხრილი 7.-ში და ცხრილი 8-ში მოცემულია ხარისხის კონტროლზე გაანგარიშებული დანახარჯები საანალიზო შენობების ხარისხის კონტროლის სხვადასხვა გეგმისათვის. ხარისხის კონტროლის ჩატარებისას შეფასებები სამუშაოებზე აღებულია ფასების კრებულების მიხედვით.

ცხრილში 8.-ში წარმოდგენილია ეკონომიის შედეგები ხარისხობრივი ნიშნით შერჩევითი კონტროლიდან რაოდენობითი ნიშნით შერჩევით კონტროლზე გადასვლისას.

### ცხრილი 8

*ეკონომიის შედეგები ხარისხობრივი ნიშნით შერჩევითი კონტროლიდან რაოდენობითი ნიშნით შერჩევით კონტროლზე გადასვლისას*

| კონტროლის სახე   | შენობის №      |                |
|--|----------------|----------------|
|  | 1              | 2              |
| მთლიანი კონტროლი, ლარი   | 4972-32        | 2834-16        |
| შერჩევითი კონტროლი ხარისხის ნიშნით, ლარი   | 1687-80        | 968-94         |
| შერჩევითი კონტროლი რაოდენობრივი ნიშნით, ლარი   | 1294-80        | 758-52         |
| შერჩევითი კონტროლიდან ხარისხის ნიშნით შერჩევით კონტროლზე რაოდენობითი ნიშნით გადასვლისას ეკონომია, ლარი/% | 393-00<br>15,3 | 210-42<br>12,7 |

აღწერილი მეთოდის ეკონომიკური ეფექტურობის შესაფასებლად ჩატარებულია დანახარჯების შედარება ტრადიციული მეთოდით მიღებულ შეფასების კოეფიციენტთან. შემოთავაზებული მეთოდის დანერგვის შედეგად ხარისხის კონტროლზე დანახარჯების ეკონომია 10-15% შეადგენს.

ხარისხის ინტეგრალური შეფასების მეთოდის დანერგვით ეკონომიკური ეფექტიანობა ხარისხის კონტროლზე დანახარჯების შემცირებით არ შემოიფარგლება. ამ მეთოდის დანერგვით შენობის

კონსტრუქციის საიმედოობა და საექსპლუატაციო მახასიათებლები იზრდება, რასაც წუნის აცილებასა და სარემონტო სამუშაოებზე დანახარჯების შემცირებამდე მივყავართ. გარდა ამისა, იზრდება ხარისხის რეგულირების საბაზრო მექანიზმების ეფექტურობა ხარისხის კონტროლისა და ხარისხის შეფასების ახალი, ინოვაციური ტექნოლოგიების დანერგვის ხარჯზე, რომელიც ადაპტირებულია ხარისხის შეფასების სისტემის ჩარჩოში და დოკუმენტირების ავტომატიზირებულ საშუალებებთან.

## ძირითადი დასკვნები

ჩატარებული კვლევების შედეგები საშუალებას იძლევა გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნები:

1. ბეტონის სამუშაოებისა და მონოლითური კონსტრუქციების დეფექტების ანალიზის საფუძველზე, ჩამოყალიბდა სამოქალაქო შენობების მონოლითური კონსტრუქციების საკონტროლო პარამეტრების ნომენკლატურა.

2. ჩატარდა მონოლითური კონსტრუქციების ბეტონის სიმტკიცისა და გეომეტრიული პარამეტრების სააღბათო განაწილების ანალიზი. დადგინდა, რომ ორი მხრიდან შემოსაზღვრული ბეტონის კუმშვაზე სიმტკიცისა და გეომეტრიული პარამეტრების მნიშვნელობები ნორმალურადაა განაწილებული, ხოლო ერთი მხრიდან შემოსაზღვრულ გეომეტრიულ პარამეტრებს აქვს ლოგარითმულად ნორმალური განაწილება.

3. კონსტრუქციის კვეთის განივი ზომის გადახრის მნიშვნელობათა ანალიზიდან გამომდინარე, შემოთავაზებულია ამ პარამეტრით ახალი დაშვებები. შემოთავაზებული დაშვებების შეფასებამ, კონსტრუქციების საიმედოობის მაჩვენებლების მიხედვით მისი საჭიროება აჩვენა.

4. შემუშავდა მონოლითური კონსტრუქციების ხარისხის სტატისტიკური შეფასების მეთოდი. შეფასების შედეგად განისაზღვრა, რომ

უდეფექტობის დონე სხვადასხვა პარამეტრების მიხედვით 0,39...0,98 შეადგენს. გამოვლენილია უდეფექტობის დაბალი დონე კონსტრუქციის განივი ზომების გადახრის მიხედვით – 0,39. კომპლექსური სტატისტიკური მაჩვენებელი, რომელიც ითვალისწინებს უდეფექტობის დონეს, ტექნოლოგიური პროცესის სიზუსტეს, კონტროლის სიზუსტესა და ტექნოლოგიური პროცესის სტაბილურობას სხვადასხვა პარამეტრებისთვის 0,31მმ...0,92მმ - ია.

5. განისაზღვრა მონოლითური კონსტრუქციების პარამეტრების გადახრის გავლენა მათი საიმედოობის მაჩვენებელზე. შემუშავდა მონოლითური კონსტრუქციების ხარისხის შეფასების მეთოდი საიმედოობის მაჩვენებლების მიხედვით: საიმედოობის ინდექსის ცვლილების და კონსტრუქციის უსაფრთხო ექსპლუატაციის ვადის, საიმედოობის ინდექსის ცვლილების კოეფიციენტმა სხვადასხვა კონსტრუქციებისთვის 0,97მმ...1,24მმ შეადგინა (თუ კოეფიციენტი ერთზე მეტია, მაშინ კონსტრუქციის ფაქტობრივი საიმედოობა საპროექტოზე მეტია).

6. შემოთავაზებულია კონსტრუქციის ხარისხის შეფასების მაჩვენებელი, რომელიც მის აშენებაზე დაბანდებული საშუალებების ეფექტიანობას განსაზღვრავს მისი უსაფრთხო ექსპლუატაციის ვადის გათვალისწინებით.

7. შემუშავდა სამოქალაქო შენობების მონოლითური კონსტრუქციების აგების ინტეგრალური შეფასების მეთოდი, რომელიც მოიცავს: ბეტონის სამუშაოების ხარისხის სტატისტიკურ შეფასებასა და მონოლითური კონსტრუქციების ხარისხის შეფასებას ეკონომიკური მაჩვენებლის მიხედვით მისი უსაფრთხო ექსპლუატაციის ფაქტობრივი ვადის საფუძველზე. სამოქალაქო შენობების მონოლითური კონსტრუქციების აგების ხარისხის დონეა 0,77...0,87. ბეტონის სამუშაოების წარმოების არსებული ტექნოლოგიური დონის დროს, შეფასების ინტერვალი 0,75...0,85 მიჩნეულია მონოლითური კონსტრუქციების აგების

ხარისხის საშუალო დონედ.

8. შემუშავდა „სამოქალაქო შენობების მონოლითური კონსტრუქციების აგების ხარისხის შეფასების ტექნოლოგიური რეგლამენტი“, რომელიც მოცავს: საკონტროლებელი პარამეტრების ნომენკლატურას, ხარისხის შეფასების მეთოდს სტატისტიკურ, საიმედოობის და ეკონომიკურ მაჩვენებლებზე და ხარისხის ინტეგრალური შეფასების მეთოდს. შემოთავაზებული რეგლამენტის რეალიზაციისთვის ხარისხის ავტომატიზებული მონიტორინგის სისტემაში შემუშავებულია პროგრამული უზრუნველყოფის ელემენტები.

9.

### **დისერტაციის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია შემდეგ ნაშრომებში:**

1. ე. ქრისტესიაშვილი, ლ. ქრისტესიაშვილი, მ. ძოწენიძე, ი. თანიაშვილი. „მრავალკრიტერიალური შეფასების გადაწყვეტების თეორიული ასპექტები“, საქართველოს მექანიკოსთა კავშირის XI ყოველწლიური საერთაშორისო კონფერენცია მოხსენებათა თეზისები, ქ. ათუმი, 2020, 27-29 აგვისტო.

2. ი. თანიაშვილი: „მშენებლობის ხარისხის მაჩვენებლები და მათი გავლენა შენობების ექსპლუატაციის საიმედოობაზე“, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“, სტუ, №4(60), 2021 ;

3. ი. თანიაშვილი: “შენადული შეერთებების დეფექტები და მათი შესწავლა მაკროსკოპული ანალიზის (მაკროანალიზის) მეთოდებით“, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“, სტუ, №1(61), 2022 ;

4. ე. ქრისტესიაშვილი, ი. თანიაშვილი „შენობა- ნაგებობებისა და მათი სამშენებლო კონსტრუქციების დეფექტები, ცვეთა, ხანგამძლეობა“, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“, სტუ, №1(61), 2022;

5. ი. თანიაშვილი. „Defects of monolithic buildings and quality assessment according to economic indicators“, განათლებისა და მეცნიერების პროგრესის ყოველწლიური საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია

„საინჟინრო მეცნიერებათა პრობლემები“, მოხსენსბათა თეზისები, ქ. ერევანი, „ერევნის არქიტექტურის და მშენებლობის სახელმწიფო უნივერსიტეტი“, 2022, 12-15 მაისი.

## Abstract

Construction is a complex, multifaceted process that takes into account and interconnects many, often different, and sometimes conflicting requirements that affect the quality of construction products. Quality in construction refers to all aspects and processes of creating the final product - finished buildings and structures. Construction includes a number of stages, the quality of the finished structure depends on the quality of its execution.

The article considers the solution of theoretical and practically important issues of improving the quality and safety of construction and installation works. Now and in the future, the task of quality control is to prevent existing problems, not to eliminate them. In order to better imagine the quality problems, taking into account the requirements of regulatory documentation, it is necessary to consider the main problems of quality assessment at all stages of the creation of finished construction products.

The quality of construction products, its impact and quality indicators, reflecting the main features of the characteristics, are not systematized throughout the world and specifically in Georgia. Existing methods, tools and equipment require further development.

A comprehensive assessment of quality and its impact can only be carried out on the basis of a systematic approach to the formation of quality indicators, since the optimal quality is not a private sum of individual indicators, but largely depends on their relationship. . There are many methods that need to be improved and modified for current construction, construction sites and related sites in Georgia, which should be taken into account in the future and represent improvements to existing methods, refinement of reporting characteristics and development of innovative reporting models.

I would also like to touch briefly on investment processes, because for Georgia, investment processes are one of the main mechanisms for structural transformation and economic revival. Construction and installation works and operational risks can become one of the main risk factors when investing in construction projects. It is especially important to improve the management of investment projects in the context of construction and installation and operational risks[10]. The above circumstances place special demands on expert groups to address many complex issues. In particular, analysis and risk assessment of specific construction; Assessment of the degree of change in the design risk when performing construction and installation works; Assessment of operational risks of the construction object; Forecasting the size of economic damage in case of construction accidents.

It is well known that the implementation of any investment project is always associated with time and cost errors, therefore, an important task of project management is to control and reduce investment risks, which, under adverse circumstances, can lead to loss of profit and income. or all assets of investors. The effectiveness of management decisions, in particular, the distribution of production

and operational risks among various project participants, directly depends on the completeness of their analysis and accounting.

In a market economy, it is also necessary to evaluate the quality of buildings by economic indicators. A systematic study of quality assurance and safety of multi-storey buildings during the construction process includes: control parameters, statistical data, reliability data, economic data, a range of quality assessment methods. The regulation can be used by construction organizations within the framework of the regulations in force in Scartvelo in accordance with the Hariashi assessment standards of the ISO 9000-9001 series, QA/QC – Quality Assurance/Quality Control; EN – European Norms; ASTM – American Society for Testing and Materials and for the purpose of the technical regulation for the safe operation of the building for the implementation in automated monitoring systems of the quality of erected monolithic structures with program elements.