

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

გრანტი №071-13

შენობა-ნაგებობების მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის  
კომპლექსური მეთოდოლოგიის დამუშავება

შემაჯამებელი ანგარიში

ხელმძღვანელი: პროფესორი

/ა. წაქაძე/

შემსრულებლები: პროფესორი

/თ. ბაციკაძე/

პროფესორი

/მ. წიქარიშვილი/

აკ. დოქტორი

/მ. ვარდიაშვილი/

თბილისი

2014 წელი

## სარჩევი

	<b>ეტაპი I</b> - - - - -	<b>3</b>
I.1.	შესავალი - - - - -	3
I.2.	შენობა-ნაგებობების დეგრადაციის და რემონტის დაგეგმვის პროგნოზირების არსებული მეთოდოლოგია - - - - -	7
I.3.	დეფორმაციების და ბზარების მონიტორინგის არსებული მოწყობილობები და სისტემები - - - - -	12
I.4.	შენობების და სამშენებლო კონსტრუქციების მონიტორინგის სახეები - - - -	17
I.5.	მოწყობილობები მონიტორინგისათვის - - - - -	20
I.6.	შენობა-ნაგებობების მონიტორინგის სისტემები - - - - -	25
I.7.	მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის კომპლექსური სისტემები - - - - -	34
I.8.	შენობების და ნაგებობების სივრცითი დეფორმაციის მონიტორინგი - - - - -	49
	<b>ეტაპი II</b> - - - - -	<b>77</b>
II.1.	შესავალი - - - - -	77
II.2.	შენობა-ნაგებობების ზღვრული მდგომარეობის შესწავლა დაზიანებების გათვალისწინებით - - - - -	78
II.3.	დაზიანებული შენობა-ნაგებობების უსაფრთხოება, ხანგამძლეობა და მარაგი (რესურსი) - - - - -	88
	<b>ეტაპი III</b> - - - - -	<b>93</b>
III.1.	შესავალი - - - - -	93
III.2.	კონსტრუქციის რღვევის აქტიურ ზონებში ვიზიალური და ინსტრუმენტალური ძიების მეთოდოლოგია - - - - -	94
III.3.	აკუსტიკური ემისიის და ულტრაბგერითი კონტროლის მეთოდებით აღმოჩენილი დაზიანებების ევოლუციის დადგენისათვის ფრაქტალური თეორიის გამოყენება - - - - -	111
III.4.	ბზარის გავრცელების კოორდინატების სიგრძის და მიმართულების განსაზღვრის მეთოდი და მოწყობილობა - - - - -	113
	<b>ეტაპი IV</b> - - - - -	<b>116</b>
IV.1.	ქ. თბილისში ყიფშიძის ქ. №20ა-ში მდებარე საცხოვრებელი შეიღსართულიანი შენობა - - - - -	116
IV.2.	სხვა ტიპის ობიექტებისათვის სივრცითი მოდელის გამოყენების შესაძლებლობა - - - - -	138
IV.3.	ქ. ტყიბულში ამბროლაურის გზის მიმდებარე სანიტალურ ზონაში საფილტრი სადგურის შენობა (გადახურვის, „ИКЖ“-ის ტიპის ფილის ავარიულ ჩამოშლასთან დაკავშირებით სახურავის ავარიული მდგომარეობის შესწავლა-გაანალიზება) - - - - -	151
	<b>გამოყენებული ლიტერატურა</b> - - - - -	<b>170</b>

# I. შენობა-ნაგებობების ტექნიკური მდგომარეობის მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის არსებული მეთოდების, მოწყობილობებისა და სისტემების მიმოხილვა და ანალიზი

## I.1. შესავალი

დასმული პრობლემის გამოყოფა და გადაწყვეტა განპირობებულია, პირველ რიგში, იმით, რომ კონსტრუქციების მზიდი ძლიერდატვირთული ელემენტების მსხვილმასშტაბიანი მექანიკური დაზიანებები და რღვევები, როგორც წესი იწვევენ მაქსიმალურ ზარალს. ამა თუ იმ ავარიული სიტუაციის რეალიზაციიდან მიღებული ჯამური ზარალი მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული კონსტრუქციების, მოწყობილობების, დაცვის სისტემების და სხვათა ელემენტების რღვევის ან მექანიკური დაზიანების ხარისხზე. მაგალითად, აშშ-ს სტანდარტების ნაციონალური ბიუროს მონაცემების მიხედვით აშშ-ს ეკონომიკაში ჯამური ხარჯები, დაკავშირებული კონსტრუქციების გაუთვალისწინებელი რღვევებისგან მიყენებული ზარალის ანაზღაურებასთან, აგრეთვე რღვევების აღკვეთისკენ მიმართულ ღონისძიებებთან, შეადგენს ათეულ და ზოგჯერ ასეულ მლნ დოლარს წელიწადში.

ავარიებისა და კატასტროფების შედეგად კონსტრუქციების მზიდი ელემენტების, სახელდობრ მსხვილმასშტაბიანმა რღვევამ შეიძლება მიგვიყვანოს შესაძლო მაქსიმალურ ზარალთან. ეს რღვევები უშუალოდ კავშირშია, როგორც ადამიანური ფაქტორის უზარმაზარი როლის გამოვლინებასთან, ისე შიგა (მატერიალური) და გარე (მექანიკური ზემოქმედებები) ფაქტორების მნიშვნელოვან როლზე. ამას გარდა, ავარიების და კატასტროფების გაჩენას და მიმდინარეობას, როგორც წესი, თან ახლავს არსებული ტექნოლოგიური დეფექტების გავრცელება და დაზიანების მომატებული კონცენტრაციის ზონებში ბზარების წარმოქმნა. ამიტომ შენობა-ნაგებობების უსაფრთხოების უზრუნველყოფის პრობლემების გადაწყვეტა მდგომარეობს მექანიკური ბზარების კრიტერიუმების მიხედვით ძლიერ დაზიანებულ მდგომარეობაში კონსტრუქციის მზიდი ელემენტების უსაფრთხოების და სიცოცხლისუნარიანობის უზრუნველყოფის ამოცანების გადაწყვეტაში. შენობა-ნაგებობების ავარიული მდგომარეობის წარმოქმნისას მატერიალური და მექანიკური ზემოქმედების მნიშვნელოვანი გამოვლინებების მიზეზები მდგომარეობს შემდეგში:

- ანგარიშის და კონტროლის თანამედროვე მეთოდების, თანამედროვე ტექნოლოგიების არასაკმარისი დანერგვა, აგრეთვე მოძველებული ნორმების და სტანდარტების გამოყენება;
- უსაფრთხოების პრობლემასთან თანამედროვე სამეცნიერო მიდგომების არასაკმარისი შემუშავება და გამოყენება;

- პრინციპულად ახალი უდევექტო მაღალი სიმტკიცის კონსტრუქციების და მაღალ სიცოცხლისუნარიანობის მასალების არარსებობა.

ამგვარად, მექანიკური კატასტროფების ფარგლებში შენობა-ნაგებობების უსაფრთხოების და სიცოცხლისუნარიანობის უზრუნველყოფის და ანალიზის მეცნიერული საფუძვლების შექმნა საკმაოდ პერსპექტიულია.

ჩვენი კვლევა უპირველეს ყოვლისა ხასიათდება გამოკვლევის თავისი ობიექტით ან საგნით, აგრეთვე მეთოდებით, რომელთა საფუძველზეც წარმოებს მიმართულების ფორმულირების ფარგლებში შესასწავლი მოვლენების და პროცესების ანალიზი.

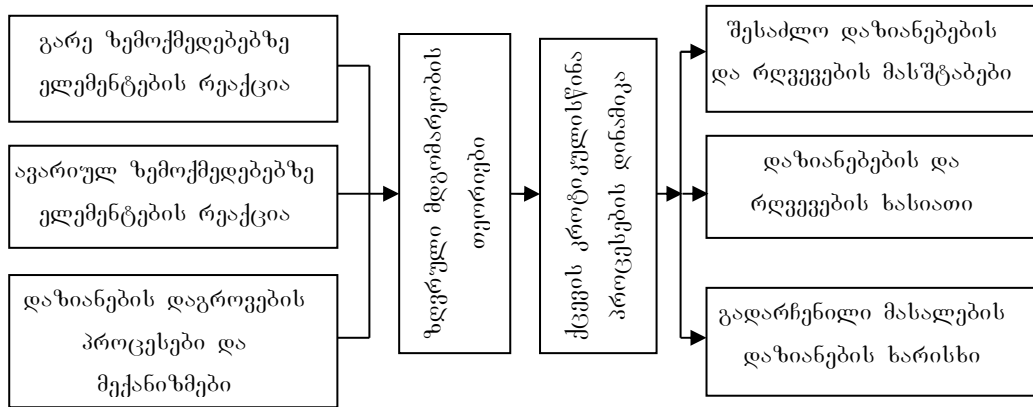
კვლევის საგანს წარმოადგენს მექანიკურ დაზიანებებთან და რღვევებთან დაკავშირებული ავარიები, რომელთა შედეგების, უსაფრთხოების თვალსაზრისით, აქვს პრინციპული მნიშვნელობა (ანუ ის ავარიები, რომლებიც ხასიათდება დიდი ზარალით). მონიტორინგი და დიაგნოსტიკა საშუალებას იძლევა გავაანალიზოთ შემდეგი ავარიული სიტუაციები: რღვევები, ვარდნა, ჩამონგრევა, შეჯახება, აფეთქებები, ხანძრები, რადიაციულად საშიში და მომწამლავი ნივთიერებების უწყვეტი და ზალბისებრი გამოტყორცნა. ჩვენი კვლევა ემყარება მასალათა გამძლეობის ტრადიციულ და ახალ განვითარებად მეთოდებს, დრეკადობის თეორიას, სამშენებლო მექანიკას, ფირფიტების და გარსების თეორიას, სიმტკიცის თეორიას, კონსტრუქციულ მასალათმცოდნეობას, სიმტკიცის ფიზიკას, მანქანების დინამიკას, მთლიანი და დისკრეტული სისტემების გამოთვლით მექანიკას, სითხეების და აირების მექანიკას, საიმედოობის თეორიაზე რღვევის წრფივ და არაწრფივ მექანიკას, ტრიბოლოგიას, საზომ ტექნიკას და კომპიუტერული კომპლექსური პროგრამების გამოყენებას.

მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის მეთოდები – ესაა სიმტკიცის თეორიული მდგომარეობის და პრინციპების მეცნიერული მოდელების ერთობლიობა, მათ შორის ბზარების, დიდი პლასტიკური დეფორმაციების, ექსტრემალური დატვირთვების, დინამიკური ეფექტების, ფიზიკური წარმოშობის და კოროზიული არეებიდან გამოწვეული დაზიანებების ჩათვლით. ამას გარდა, დაზიანებების და რღვევების თავდაპირველ და შემდგომ სტადიებს შეუძლიათ გამოიწვიონ ავარიული სიტუაციების განმეორებითი გამოვლინება, ისეთები, როგორცაა რადიაციული და ტოქსიკური ნივთიერებების გამოტყორცნა, აფეთქებები, ხანძრები და ა. შ. ეს გამოვლინებები მნიშვნელოვნად ართულებენ კატასტროფული რღვევების შემდგომი სტადიების მექანიკის ანალიზს. ამიტომ ჩვენი კვლევები ეყრდნობა სიმტკიცესთან მოსაზღვრე საგნების თეორიულ დასკვნებს და ექსპერიმენტულ შედეგებს, ისეთებს, როგორცაა აფეთქებების თეორია, აირების და სითხეების მექანიკა და ა.შ. ამგვარად, რღვევის მექანიკის დამაკავშირებელი პრობლემები მნიშვნელოვან ადგილს იკავებენ ჩვენს კვლევებში.

ჩვენი კვლევების ძირითად სამეცნიერო ამოცანებს წარმოადგენს: დაზიანებების დაგროვების პროცესების კვლევა, კონსტრუქციების ელემენტების რეაქცია გარე და

შიგა (მათ შორის ავარიული) ზემოქმედებებზე, ზღვრული მდგომარეობის თეორიის განვითარება და კონსტრუქციის ელემენტების კრიტიკულისწინა ქმედების პროცესი, რომლებსაც მივყავართ ამა თუ იმ შედეგებამდე, აგრეთვე დაზიანებული შენობა-ნაგებობების კრიტიკული, გარდამავალი, კრიტიკულის წინა და დასაშვები მდგომარეობების თეორიების შექმნა.

მექანიკური კატასტროფების ფარგლებში გამოკვლევების სხვადასხვა მიმართულების ურთიერთქმედების სქემატური სტრუქტურა წარმოდგენილია ნახ. I.1-ზე.



ნახ. I.1 კრიტიკული, გარდამავალი, კრიტიკულის წინა და დასაშვები მდგომარეობების სქემატური სტრუქტურა

რღვევის მექანიკა, როგორც ფუნდამენტალური სამეცნიერო დისციპლინა ტექნიკურ დიაგნოსტიკაში, უნდა განვიხილოთ სამეცნიერო საფუძვლის სახით, რომელიც გამოიყენება მომატებული პოტენციური საშიშროების რთულ შენობა-ნაგებობებში ავარიული და კატასტროფული სიტუაციების გაჩენის წყაროების და განვითარების სცენარების ანალიზისათვის. ამასთან დაკავშირებით ჩნდება დიდი მოცულობის კვლევების ჩატარების აუცილებლობა, რომელიც დაკავშირებულია კატასტროფების და ავარიების გაჩენის და განვითარების სხვადასხვა სტადიებზე სიმტკიცის, რესურსის და საიმედოობის კრიტერიუმების მიხედვით ობიექტების ზღვრული მდგომარეობის გაჩენის პირობების შესწავლასთან. ავარიების და კატასტროფების სცენარების საანგარიშო ანალიზი უნდა განხორციელდეს ეტაპობრივად ტრადიციული საინჟინრო მიდგომების უწყვეტი განვითარების გათვალისწინებით:

- სიმტკიცეზე, სიხისტეზე და მდგრადობაზე (მასალების წინააღმდეგობის მეთოდების გამოყენებით);
- სიმტკიცეზე და ციკლურ რესურსზე, ხანგამძლეობაზე (მრავალი და მცირე ციკლური დაღლილობის თეორიების მეთოდების გამოყენებით);
- სიმტკიცეზე და დროებით რესურსზე, ხანმედგობაზე (დენადობის და ხანგრძლივი სიმტკიცის თეორიების მეთოდების გამოყენებით);

- დინამიკურ სიმტკიცეზე და რესურსზე (დეფორმირების და რღვევის დინამიკის მეთოდების გამოყენებით);

- ბზარმდეგობაზე (რღვევის წრფივი და არაწრფივი მექანიკის მეთოდების გამოყენებით);

ამასთან მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის ფარგლებში გამოიყენება:

- ზემოთხსენებული თეორიების და დისციპლინების ანალიზური მეთოდები;
- რიცხვითი მეთოდები (სასრულ ელემენტთა სასრული სხვადასხვაობის მეთოდები, ვარიაციული მეთოდები);

- ექსპერიმენტალური მეთოდები (ნიმუშების, მოდელების და ნატურული კონსტრუქციების მექანიკური ცდები);

- კომბინირებული მეთოდები (ანალიზურის, რიცხვითის და ექსპერიმენტალურის ერთობლიობა).

მაქსიმალური ჰიპოთეზური ავარიების აქტიური შემუშავება საშუალებას იძლევა მოხდეს მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის ფარგლებში შენობა-ნაგებობების შესწავლის შემდეგი პირველი რიგის ამოცანების ფორმულირება:

- სისტემის ელემენტებზე მოქმედი გარე დატვირთვების სისტემის დადგენა როგორც ნორმალურ, ისე ავარიულ პირობებში მისი ექსპლუატაციის რეალური პირობებიდან გამომდინარე;

- ძლიერ დატვირთული მზიდი ელემენტების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის შესწავლა გარე და შიგა დინამიური დატვირთვების გათვალისწინებით;

- შენობა-ნაგებობების კონსტრუქციების ელემენტების, სიმტკიცის, დაზიანების და შესაძლო რღვევის მასშტაბების შეფასება;

- ასეთი დაზიანებების და რღვევების შედეგების შეფასება;

- კატასტროფული და საშიში დაზიანებებისაგან გამოწვეული შესაძლო ზარალის შემცირების ან გამორიცხვისათვის რეკომენდაციების და ზომების შემუშავება.

რაც შეეხება უკანასკნელ პუნქტს, კატასტროფული დაზიანებების აღკვეთის მოთხოვნები, ზოგადად, წარმოადგენს საყოველთაოდ მიღებულს და რთული შენობა-ნაგებობების ფუნდამენტალური მოთხოვნებიდან ერთერთს – მსხვილი ავარიების აღკვეთის მოთხოვნები, რომლებიც მიზნად ისახავენ ადამიანების და გარემომცველი არის გამიჯვნას ტექნიკური ზემოქმედებებისაგან, რომლებსაც აქვთ ძნელად წინასწარმეტყველებადი შედეგები.

ძლიერ მნიშვნელოვანია სამი ძირეული პრინციპის შემუშავება, რომელთა შემდგომი დანერგვა პრაქტიკაში საშუალებას მოგვცემს აღკვეთოს მსხვილმასშტაბიანი რღვევები. ეს პრინციპებია ხარისხის უზრუნველყოფა, პერიოდული ან უწყვეტი დიაგნოსტიკის და ოპერატიული ანალიზის უზრუნველყოფა. უარესი შემთხვევის დაშვება.

ხარისხის უზრუნველყოფის პრინციპი მეტყველებს შენობა-ნაგებობების ელემენტების საიმედოობის მაღალი ხარისხის მიღწევის აუცილებლობაზე მასალების არჩევის, ტექნოლოგიური დამუშავების, წარმოების ხარისხის გარანტიის, ექსპლუატაციის და სხვათა ხარჯზე.

უარესი შემთხვევის დაშვების პრინციპი მიუთითებს შესაძლო ავარიული სიტუაციის შესწავლის აუცილებლობაზე, ჰიპოთეზური ავარიის განხილვის ჩათვლით, ამასთან ამ პრინციპის შესაბამისად აუცილებელია ორიენტირება მოხდეს გარემოებების ყველაზე არახელსაყრელ განვითარებაზე.

პერიოდული ან უწყვეტი დიაგნოსტიკის და ოპერატიული ანალიზის პრინციპი შეიცავს შენობა-ნაგებობების ელემენტების მდგომარეობაში გადახრების ადრეულ აღმოჩენასთან და შესაძლო შემდგომი ექსპლუატაციის გადაწყვეტილების მიღებასთან დაკავშირებულ ამოცანებს.

## **1.2. შენობა-ნაგებობების დეგრადაციის და რემონტის დაგეგმვის პროგნოზირების არსებული მეთოდოლოგია**

რემონტის პროგნოზირების მეთოდოლოგიის ანგარიშის ამოცანებს წარმოადგენს: ბიუჯეტის ანგარიში სამოქალაქო ნაგებობების შენახვასა და რემონტებზე უახლოეს წელიწადში; ბიუჯეტის საორიენტაციო ანგარიში (პროგნოზირება) და ოპტიმიზაცია შენახვისა და მათი რემონტებისათვის დასაგეგმ პერიოდში, მათ შორის არსებული ბიუჯეტური შეზღუდვების ჩათვლით, რომელიც შეიცავს ნაგებობის დეგრადაციის პროგნოზს გეგმიური პერიოდის განმავლობაში; სარემონტო ზემოქმედებების არარსებობა, სარემონტო ზემოქმედებების შესრულება ოპტიმიზირებული გარაფიკის მიხედვით, რემონტების შესრულების გრაფიკის განსაზღვრა, სპეციალური გამოკვლევების ჩატარება და შესაბამისი საპროექტო დოკუმენტაციის გამოშვება.

ანგარიშის ობიექტს წარმოადგენს სატიტულო სიის საზღვრებში ნებისმიერად შერჩეული ნაგებობა. არჩევა ფორმირდება სპეციალური პროცედურის მიხედვით და ეწოდება “დაგეგმვის ობიექტი”.

დასაგეგმ პერიოდს წარმოადგენს 1÷99 წლამდე დროის არჩეული მონაკვეთი, ამასთან ათვლის დასაწყისი იქნება რემონტის დღე, თუმცა რეალური სიზუსტის ჩათვლით, დაკვირვების დასაგეგმი პერიოდის ხანგრძლივობის განსაზღვრა რეკომენდირებულია 10–15 წლით.

დასაგეგმი პერიოდი ჩვეულებრივ იყოფა ორ ეტაპად და მაჩვენებლების ანგარიში ამ ეტაპების მიხედვით წარმოებს სხვადასხვა ალგორითმით. ეს დაყოფა დასაბუთებულია ოთხი, პრინციპულად განსხვავებული სახეობის მოქმედებების

არსებობით, სამოქალაქო საინჟინრო ნაგებობების შენახვისა და რემონტების მიხედვით, რომლებიც შეიცავენ:

- რუტინულ სამუშაოებს: დასუფთავება, მცირე სეზონური რემონტი;
- დანიშნული სარემონტო ზემოქმედებები ე.ი. სამუშაოები, ადრე არ იყო დაგეგმილი, მაგრამ რომლებიც აუცილებელია ჩატარდეს შემდეგი ინსპექციის ჩატარების მომენტამდე;
- დაგეგმილი სარემონტო ზემოქმედებები, რომელთა აუცილებლობა ადრევე იქნა გამოვლენილი და გათვალისწინებული მოცემულ პერიოდში შესრულებისათვის;
- პროგნოზირებული სარემონტო ზემოქმედებები, რომლებიც საჭიროა შენობების საჭირო დონეზე შენარჩუნებისათვის, მათი ბუნებრივი დეგრადაციის გათვალისწინებით მთელი დაგეგმილი პერიოდის განმავლობაში.

მოცემული კლასიფიკაციიდან ჩანს, რომ დასაგეგმი პერიოდის პირველ წელიწადზე ან შემდეგი ინსპექციის ჩატარების მომენტამდე ( $F_1$ ) ფინანსური მოთხოვნილება, განსაზღვრული I, II, III სახეობების ზემოქმედებებით, რომელიც გამომანგარიშებული უნდა იყოს მაღალი სიზუსტით. ფინანსური მოთხოვნილება მეორე წლიდან პერიოდზე ( $F_2$ ), განსაზღვრული I და IV სახეობის ზემოქმედებებით, შეიძლება მხოლოდ ვივარაუდოთ ე.ი. უნდა გამოითვალოს მიახლოებით, რამდენად ძალაშია სამოქალაქო ნაგებობების კონსტრუქციების, სტანდარტული ელემენტების ცვეთის, ტრანსპორტის მოძრაობის პირობების, რემონტისათვის გამოყენებული მასალების სხვადასხვაობა, აგრეთვე გათვალისწინებული სიტუაციების გაჩენა. ამიტომ ხანგრძლივი გეგმური პერიოდის განმავლობაში III სახეობის ზემოქმედების ზუსტად გამომანგარიშება შეუძლებელია.

ამგვარად მთელი გეგმური პერიოდის ბიუჯეტი განისაზღვრება როგორც

$$F = F_1 + F_2 \quad (I.1)$$

ანგარიშის შედეგებში წარმოებს ობიექტის დეგრადაციის პროგნოზირება მთელ გეგმიურ პერიოდზე.

სარემონტო ზემოქმედებების დაგეგმვა მთელ გეგმიურ პერიოდზე, დაწყებული მეორე წლიდან, გამოითვლება დეგრადაციული მოდულის მიხედვით, გამომდინარე მდგომარეობის ფაქტიური კატეგორიის ინსპექციური ფორმის და ელემენტების დაშვების კატეგორიის მითითებიდან, აგრეთვე მდგომარეობის ზღვრულად დასაშვები კატეგორიის დანიშნულებიდან. ბიუჯეტის საორიენტაციო ანგარიში გეგმიური პერიოდის ყოველ (დაწყებული მეორე წლიდან) წელიწადზე, რომელშიც გათვალისწინებულია: დასუფთავება, სეზონური რემონტი და შენახვა იანგარიშება ნაგებობის ფართობის მიხედვით ახალი სამშენებლო ნაგებობების ექსპლუატაციაში ჩაშვების



გათვალისწინებით, აგრეთვე თანმხლები ხარჯების ავარიული მომსახურების შემცველობაზე და ტრანსპორტზე.

შემდგომში განიხილება ხარჯები სპეციალურ გამოკვლევებზე და საპროექტო სამუშაოებზე, რომელიც აუცილებელია სარემონტო ზემოქმედებების შესრულებისათვის მოსამზადებლად და საორიენტაციო ხარჯები დანიშნული სარემონტო ზემოქმედებების შესრულებაზე.

ბიუჯეტის ანგარიში შემდეგ წელიწადზე ითვალისწინებს: დასუფთავებას, შენახვას, სეზონურ რემონტებს, თანმხლებ ხარჯებს ტრანსპორტის და ავარიული მომსახურების შენახვაზე (ზემოთ აღნიშნულის ანალოგიურად), აგრეთვე ხარჯებს ინსპექციის სამსახურის მიერ დანიშნული სარემონტო ზემოქმედებების შესრულებაზე და ხარჯებს წინასწარ დაგეგმილ სპეციალურ გამოკვლევებზე და საპროექტო სამუშაოებზე, რომლებიც აუცილებელია სარემონტო სამუშაოების შესრულების მოსამზადებლად, რაც განისაზღვრება როგორც პროცენტი სარემონტო ზემოქმედებების საორიენტაციო ღირებულებიდან.

დამატებით ჩაითვლება ხარჯები წინასწარ დანიშნულ და დაგეგმილ სარემონტო ზემოქმედებების შესრულებაზე, რომლებიც გათვალისწინებულია სარემონტო დოკუმენტაციის მონაცემების საფუძველზე.

ბიუჯეტის ანგარიშის და სარემონტო ზემოქმედებების დაგეგმვის შედეგები არჩეული სტრატეგიისათვის წარმოდგენილია, როგორც მთლიანობაში ობიექტის დასაგეგმად ისე მასში შემავალი ყოველი ნაგებობისათვის. საძიებო მონაცემების გამოყენებით ყოველი კონკრეტული ნაგებობის შედეგების ანალიზისას შეიძლება დავაზუსტოთ სტრატეგია და ვაწარმოთ ახალი ანგარიში სარემონტო დანიშნულების კორექტირებული ცხრილების ბაზაზე. ეს გახსნის იტერაციული დაგეგმვის დამატებით შესაძლებლობას.

### **სტანდარტული ელემენტების დეგრადაციის აღწერა სარემონტო ზემოქმედებების არარსებობისას**

ფინანსური მოთხოვნების ძირითადი ანგარიში გეგმიურ პერიოდზე, დაწყებული მეორე წლიდან წარმოადგენს ნაგებობის ტექნიკური მდგომარეობის დეგრადაციის მოდულს.

სამოქალაქო საინჟინრო ნაგებობების და კერძოდ მათი ელემენტების ფუნქციონალური თვისებების დარღვევის ხანგრძლივი შესწავლის საფუძველზე დადგენილია, რომ განხილული შემთხვევისათვის ცვეთის ნებისმიერი რაოდენობრივი მახასიათებლის ცვლილება შეიძლება იყოს აღწერილი დროის მონაკვეთის მიხედვით განსაზღვრული ფუნქციით  $[O;T]$ .

$$I = e^{\lambda(t - T_0)} = 1 \quad (I.2)$$

სადაც:  $I$  – ნორმატიული ფარდობითი ცვეთა;

$t$  – დროის მიმდინარე მომენტი, წელი;

$T$  – მუშაობის ნორმატიული ვადა, წელი;

$T_0$  – დეფექტების გარეშე ექსპლუატაციის პერიოდი, წელი;

$\lambda$  – ზღვრული პირობიდან გამოანგარიშებული ნორმირების კოეფიციენტი

$$\frac{I}{I_0} = T = 1 \quad (I.3)$$

ანუ ყოველი სტანდარტული ელემენტისათვის:

$$\lambda = 0.693 / (T - T_0) \quad (I.4)$$

სინამდვილეში სხვადასხვა ელემენტების ზღვრულ მდგომარეობას შეესაბამება ფარდობითი ცვეთის სხვადასხვა აბსოლუტური მნიშვნელობები (ჩვეულებრივ 70÷100%-ის დიაპაზონში), რომლებიც დაინიშნებიან კონსტრუქციული ნაგებობებიდან. შეიძლება ჩაითვალოს, რომ ”მუშაობის ნორმატიულ ვადას” შეესაბამება “ზღვრული მდგომარეობა”, გაგებული როგორც 100% ნორმატიული ცვეთა ( $I = 1$ ).

ტექნიკური მდგომარეობის დეგრადაციის მთელი დიაპაზონი დახასიათებული ნორმატიული ცვეთის ( $I$ ) ცვლილებით, იყოფა 5 კატეგორიად: სამი ძირითადი და ორი შუალედური, ცხრილი I.1-ის შესაბამისად.

ცხრილი I.1. ელემენტების მდგომარეობის კატეგორიის განზოგადებული მახასიათებლები

კატეგორია	მახასიათებლები	მაქსიმალური ცვეთა $I_0$ , %
1	2	3
1	ნორმალური ფუნქციონირება, დამაკმაყოფილებელი გარე სახე	20
1.5	შუალედური 1	40
2	ნორმალური ფუნქციონირების დარღვევა, განსაზღვრულ დატვირთვების ან/და მოძრაობების შეუძლებლობა, არადამაკმაყოფილებელი გარე სახე, შემდგომი ექსპლუატაცია ნეგატიურად მოქმედებს მზიდ ელემენტებზე	60 (დასაშვები)

1	2	3
2.5	შუალედური 2	80
3	ცალკეული ელემენტების მტყუნება, საჭიროა დატვირთვების და/ან მოძრაობის შეზღუდვა, ცუდი გარე სახე	100 (ზღვრული)

ყველა ელემენტის ფაქტიური მდგომარეობის იდენტიფიკაცია წარმოებს მასზე ამა თუ იმ “მდგომარეობის კატეგორიის” მიკუთვნების გზით. შემდგომი ანგარიშისათვის მიიღება, რომ ელემენტის ფაქტიური ცვეთა ტოლია

$$I = 0.5(I_P(i) + I_P(i+1)) \quad (I.5)$$

სადაც:  $i$  – მდგომარეობის კატეგორიის ნომერი;

$I_P(i)$  –  $i$ -ური კატეგორიის მაქსიმალური ცვეთა.

მაგალითად, თუ ელემენტს მიეკუთვნება მდგომარეობის “2” კატეგორია, მისი ფაქტიური ცვეთა გაიგება როგორც 50%, თუ მდგომარეობის “2.5” კატეგორია – 70%.

ელემენტის მდგომარეობის შემდგომ პროგნოზირებას აწარმოებენ რაოდენობრივი ცვეთის მაჩვენებლებში. ამგვარად, ცნება “მდგომარეობის კატეგორია” საჭიროა მხოლოდ ელემენტის ცვეთის დონის იდენტიფიკაციისათვის და ამ მიზნით ისაზღვრება დეგრადაციის პროგნოზის სიზუსტე.

ითვლება, რომ რაც უფრო მაღალია მდგომარეობის კატეგორიის რიცხვი, მით უფრო შესაძლებელია ელემენტის დეგრადაციის უფრო ზუსტი პროგნოზირების მიღწევა. აქ ამოცანა მდგომარეობს, იმაში, რომ კატეგორიის დეტალური დაყოფა მოითხოვს ნაგებობის უფრო შრომატევად და ხანგრძლივ გამოკვლევას. სამოქალაქო ინჟინერული ნაგებობების ექსპლუატაციის მუშაობის რეალური შესაძლებლობების, აგრეთვე დაგროვილი გამოცდილების გათვალისწინებით დადგენილია, რომ 3-5 კატეგორიიანი დაყოფა იძლევა დამაკმაყოფილებელი სიზუსტის უზრუნველყოფის საშუალებას.

$i$ -ური მდგომარეობის საზღვრებში ელემენტის მუშაობის დრო განისაზღვრება ფორმულით:

$$(T_P)_i + (In[(I_P)_i + 1]) = I_n[(I_P)_i + I] / \lambda \quad (I.6)$$

თუ  $i > 1$   $i = 1$  – სას

$$(TP)_i = 1/\lambda \ln[(I_P)_i + 1] + T_0 \quad (I.7)$$

ფარდობითი (პროცენტული) ცვეთის მიხედვით მდგომარეობის კატეგორიის შეფასებისას ნარჩენი რესურსის მნიშვნელობის გამოთვლა მოსახერხებელია ნებისმიერი მიმდინარე ცვეთის სიდიდისათვის ( $I_t$ ):

$$R = \frac{T - T_0 + 1}{\lambda \ln(I_t + 1)} \quad (I.8)$$

თუ  $T_0=0$ , მაშინ

$$R = \frac{T - 1}{\lambda \ln(I_t + 1)} \quad (I.9)$$

მაშინ, რადგანაც ამ შემთხვევაში  $\lambda = 0.693/T$

ნარჩენი მარაგის ფარდობითი სიდიდე შეადგენს

$$R' = R/T = 1 - 1.443 \ln(I_t + 1) \quad (I.10)$$

(I.8)–(I.10) ფორმულები საშუალებას გვაძლევენ გამოვითვალოთ ელემენტის ნარჩენი მარაგი მუშაობის მთელ პერიოდში რემონტების არარსებობის პირობისას.

ამასთან უნდა გავითვალისწინოთ, რომ ეს მაჩვენებლები ემყარება “ნორმატიული ანგარიშის” ცნებას, ხოლო უკანასკნელი, განსაზღვრის მიხედვით, გამოიყენება მხოლოდ ნორმალური ექსპლუატაციის პირობებში, ე.ი. როდესაც ნაგებობების ყველა ელემენტი ინარჩუნებს მუშაუნარიანობას.

### **I.3. დეფორმაციების და ბზარების მონიტორინგის არსებული მოწყობილობები და სისტემები**

ბეტონის და რკინაბეტონის კონსტრუქციების ხანგამძლეობა პირდაპირაა დამოკიდებული ძალოვან ზემოქმედებებზე და გარემოს გავლენაზე. ექსპლუატაციის დროს რკინაბეტონის ძალური წინაღობის განმასხვავებელ განსაკუთრებულობას წარმოადგენს მისი ანიზოტროპია და შეუქცევადობა, აგრეთვე არაწრფივი არათანაბარი დეფორმაციულობის რეჟიმ-მემკვიდრეობითი სპეციფიკაცია. რეალურ დროში დამდგარი დომინანტური მდგენელი მიმართულია ქალაქის ინფრასტრუქტურის ნაგებობების რენოვაციის და რეკონსტრუქციის მოცულობების ზრდისაკენ. მათ რიცხვში შედის: ტრანსპორტის და ფეხითმოსიარულეთა მიწისზედა და მიწისქვედა ჩაწყობის კვანძები; სანაპირო არხების საყრდენების კედლები, ნაგებობები რელიეფის სტაბილურობის შენარჩუნებისათვის; საინჟინრო ნაგებობების მრავალრიცხოვანი სპექტრი. ცხადია, რომ სამოქალაქო აგლომერაციის სტაბილური და ავარიის გარეშე განვითარება შეუძლებელია ქალაქის არსებული და ახლად აშენებული საინჟინრო ინფრასტრუქტურის მონიტორინგის სისტემის ჩალაგების გარეშე. მონიტორინგის სისტემის ერთ-ერთი მდგენელი შეიძლება იყოს ნაგებობისა და კონსტრუქციის დეფორმაციების და ბზარების ანალიზი.

დეფორმაციის თანამედროვე მონიტორინგი შეიძლება ჩატარდეს ოპტიკურ-ბოჭკოვანი სისტემის გამოყენებით. ამ სისტემის მუშაობის პრინციპი მდგომარეობს

შემდეგში: სინათლის სხივი აღწევს ოპტიკურ ბოჭკოში, რომელსაც აქვს მკვეთრი გადაღუნვა. სინათლის სხივის ნაწილი იკარგება, გადის რა ბოჭკოს კედელში, იმ დროს როცა მისი მეორე ნაწილი აირეკლება უკანვე სინათლის წყაროს მხარეს. ეს გადაღუნვა მიიღება სამი ბოჭკოს სპეციალური ხერხით გადახლართვით ისე, რომ წარმოიქმნას კაბელი. კაბელის ახლოს გადაღუნვა ე.წ. “მიკროღუნვის მხარე”, იჭიმება, რადგან ბოჭკოები დაძაბულია დიდი რაოდენობის სინათლის არეკვლის შედეგად.

დროის ნებისმიერ მომენტში შეიძლება განისაზღვროს გადამწოდის გადახრა თავდაპირველი მდგომარეობიდან გამოსხივებული და არეკლილი სინათლის კონის ინტენსიურობის სხვაობის მიხედვით.

კონსტრუქციულ ელემენტებში გადანაცვლებების გამზომი გადამწოდის სიზუსტე შეადგენს  $\pm 0.02\text{მმ}$ -ს  $2\div 5\text{სმ}$ -მდე სიგრძის გადამწოდებისათვის. 6-8 თვის ამოწურვის შემდეგ სისტემის სიზუსტე მცირდება  $\pm 0.1\text{მმ}$ -მდე, ათვლილი თავდაპირველი მნიშვნელობიდან. ოპტიკურ-ბოჭკოვანი გადამწოდის ცდომილება დეფორმაციის გაზომვისას შეადგენს 3%. სისტემის კონსტრუქცია საშუალებას იძლევა დავარეგულიროთ გამოსაკვლევი დეფორმაციის მგრძობიარობა და გარემო. განხილული სისტემა იძლევა საშუალებას დავაკვირდეთ როგორც ერთეულ ბზარებს, ისე რიგი ბზარების ქცევას გამოსაკვლევი ზონის საზღვრებში. ბზარების ადგილმდებარეობის განსაზღვრა ხდება ორ საფეხურად: ჯერ შუქის მიღების მეთოდის მიხედვით სენსორი ადგენს გადამწოდის სიგრძის სრულ ცვლილებას ერთი ბოლოდან მეორემდე და მუშაობს, როგორც გამაფრთხილებელი სისტემა, იტყობინება, რომ რაღაც მოუვიდა გამოსაკვლევი ელემენტს. ამ დროს დგინდება ფაქტი, რომ ადგილი ჰქონდა რაღაც გადაადგილებას, გადამწოდი დროებით ხდება ოპტიკური ამრეკლი, რომელიც წარმოადგენს სენსორის შიგნით დეფორმაციის გადანაწილების დასადგენ მოწყობილობას, რაც იძლევა სენსორის შიგნით შუალედურ კვანძურ წერტილებში მაქსიმალური დეფორმაციული არის განსაზღვრის შესაძლებლობას, რითაც სენსორი მიმაგრებულია კონსტრუქციაზე.

ამოსავალი მონაცემები მიიღება როგორც უშუალოდ საინჟინრო ნაგებობაზე, ისე მოშორებული წერტილებისათვის.

ბზარების და დეფორმაციების მონიტორინგი აგრეთვე შეიძლება იყოს ჩატარებული ინსპექციის სპეციალისტების რეკომენდაციების მიხედვით არჩეული ხელსაწყოების გამოყენებით, რომლებიც ასრულებენ ნაგებობის გამოკვლევას ან გამოცდილებიდან გამომდინარე.

ამ მიზნისათვის უფრო შესაფერის ხელსაწყოებს შორის შეიძლება იყოს გამოყენებული მექანიკური გადამწოდები. მათში ბერკეტული და გორგოლაჭიანი კავშირი ადიდებს ბზარების გახსნის მნიშვნელობას. გადანაცვლებების მნიშვნელობების ზრდა იზომება მგრძობიარე დისკური გადამწოდებით, ოპტიკური დონეებით ან სხვა ზუსტი გამზომი ხელსაწყოებით. მექანიკური გადამწოდები შეიძლება მიმაგრებული იყოს

გამოსაკვლევ ზედაპირზე ან იყოს დასაშლელი და გადანაცვლებების გაზომვას აწარმოებდეს საყრდენებს შორის, რომლებიც მტკიცეა დაფიქსირებული ბეტონის ზედაპირზე. მეზობელ განზომილებებს შორის დეფორმაცია შეიძლება გამოთვლილი იყოს როგორც გადამწოდების მანქანებლებს შორის სხვაობა ან ინვარულ ლარტყაზე გადათვლით.

გადამწოდების სიგრძე ირხევა  $112 \div 2000$ მ-მდე. გადაწყვეტის უნარი იზრდება გადამწოდის სიგრძესთან ერთად. ეს გადამწოდები იძლევიან გაზომვის მაღალ სიზუსტეს, მაგრამ მათი დაყენებისათვის აუცილებელია მისადგომობა გასაზომ წერტილებთან და გაზომვის შედეგები უნდა დამუშავდეს ყოველი მოწყობილობისათვის ინდივიდუალურად.

წინააღმდეგობის ელექტრონული გადამწოდები წარმოადგენენ მავთულის ბადეს ან ამოჭიმულ სპილენძ-ნიკელის ფოლგას, რომელიც მიმაგრებულია თხელ პლასტიკურ ფურცელზე, რომელიც თავის მხრივ მიეკვრება გამოსაკვლევ ზედაპირს. დეფორმაციის განსაზღვრა ხდება გადამწოდის გაჭიმვით ან კუმშვით გამოწვეული ელექტრონული წინააღმდეგობის ცვლილების გაზომვის გზით. გარემო პირობებთან მაღალი მგრძობიარობის შედეგად ეს გადამწოდები არ გამოდგებიან მუდმივი მონიტორინგისათვის. დატვირთვის ვიბრაციული მდგენელის განსაზღვრისათვის იყენებენ ვიბროგადამწოდს, ამ ტიპის გადამწოდები წარმოადგენენ მავთულს, გაჭიმულს ორ წერტილს შორის. ბეტონის დეფორმაციებს მიყვავართ მავთულის გაჭიმვის ცვლილებასთან, რომელიც აირეკლება რეზონანსული სიხშირის რხევებზე. მავთული აღიგზნება მისი სიგრძის შუაში განთავსებული ელექტრომაგნიტით. ელექტრომაგნიტი ასევე შეიძლება იყოს გამოყენებული ვიბრაციის აღმოსაჩენად და სიხშირულ გასაზომ ხელსაწყოებზე გადასაცემად. მოცემული ტიპის ხელსაწყოებისათვის გადამწოდის სიგრძეები მერყეობენ  $12 \div 200$ მმ-ის დიაპაზონში. არსებულ კონსტრუქციებში გადამწოდები უნდა იყოს მჭიდროდ მიმაგრებული ზედაპირზე. გადამწოდის აღწერილი ტიპი განკუთვნილია გარკვეულ მანძილზე მყოფი ელემენტების მონიტორინგისათვის. გადამწოდები შეიძლება მიემაგროს ხიდური ფრთის ნაპირებზე ან სხვა საინჟინრო ნაგებობებზე პირაპირების გადაადგილების მონიტორინგისათვის.

ბეტონის და რკინაბეტონის ტენიანობა არ შეიძლება იყოს განსაზღვრული მხოლოდ საკონტაქტო სინჯის მქონე ინსტრუმენტის გამოყენებით.

არსებობს ნაგებობების კონსტრუქციებში ტენიანობის გაზომვის სამი მეთოდი, რომლებიც იძლევა უკეთეს შედეგებს:

- ქიმიური – ეყრდნობა იმ თვისებებს, რომ განსაზღვრული ქიმიური ნივთიერება შთანთქავს ტენს გაბურღულ ღიობში არსებული ჰაერიდან, ტენის შემცველობა გამოითვლება სკალის ფერის ცვლილებით;

- ტევადური - ეფუძნება ელექტრულ ტევადობის ცვლილების გაზომვებს, რომლებიც გამოწვეულია ღიობში არსებული ჰაერის ტენშემცველობით;
- ნამის წერტილი - ეყრდნობა წრიულ გაცივებულ სარკეზე დამუქებების გაჩენის პრინციპს ელექტრო რეგულირებადი სინათლის სხივის გამოყენებით.

ყველა აღწერილი მეთოდი საჭიროებს წინასწარ მომზადებას, რაც მდგომარეობს ხვრელის გაბურღვაში, რომლებიც შეიძლება დახურული იყოს ზედაპირიდან, რათა გავაიოლოთ შემდგომი გაზომვების ჩატარება.

ტემპერატურის მუდმივი მონიტორინგი მომსახურეობისას გვეხმარება კონსტრუქციის ქცევის ანალიზში. წლის განმავლობაში ტემპერატურული ცვლილებებით გამოწვეული ეფექტები შეიძლება 10-ჯერ და მეტადაც აჭარბებდეს, რეალური დატვირთვებით გამოწვეულ ძაბვებს. ამიტომ ტემპერატურა და დეფორმაცია უნდა გაიზომოს ერთდროულად.

არსებობს ტემპერატურის გასაზომი ხელსაწყოების ორი ძირითადი ტიპი:

**თერმოწყვილი.** თერმოწყვილებში ორი მასალაა გამოყენებული, სხვადასხვა ტემპერატურული მახასიათებლებით, რომლებიც ერთი ბოლოთი მიერთებულია ტემპერატურის მარეგისტრირებელ გასაზომ ხელსაწყოსთან. ორი განსხვავებული მასალის შეერთების წერტილს ეწოდება “გასაზომი დარჩილვა”, ხოლო გასაზომ ხელსაწყოსთან მიერთებულ ბოლოებს – რეპერული წერტილები. ტემპერატურის ცვლილებით გასაზომი დარჩილვის ელექტროწყვილის ელექტრული სიგნალი შეიცვლება. სიგნალის ეს ცვლილება რეგისტრირებული იქნება რეპერული წერტილით. თუ რეპერულ წერტილთან შენარჩუნებულია მუდმივი ტემპერატურა, გასაზომი დარჩილვის ტემპერატურა შეიძლება განისაზღვროს ტარირებული ცხრილებით. თერმოწყვილის დახმარებით ტემპერატურის გაზომვის დიაპაზონი ირხევა 250÷2000°C. თერმოწყვილის ნაკლს წარმოადგენს შედარებით სუსტი გამაფრთხილებელი სიგნალი.

**თერმორეზისტორი.** ელექტროგამტარში დენის გატარების წინაღობა დაკავშირებულია მათ ტემპერატურასთან. თუ ამ თანაფარდობის წინასწარმეტყველება შესაძლებელია და იგი სტაბილურია, მაშინ შეიძლება ვაწარმოოთ ტემპერატურული გაზომვები. ამ ხელსაწყოებს აქვთ გამოსასვლელი პერსონალურ კომპიუტერთან მისაერთებლად.

აკუსტიკური ემისიის ხელსაწყოები შეიძლება გამოვიყენოთ ბეტონის ან ფოლადის სამოქალაქო ნაგებობებისათვის ბზარწარმოქმნის მონიტორინგის მიზნით. წინასწარდაძაბულ ბეტონის კონსტრუქციაში შეიძლება დავაფიქსიროთ არმატურის კონების რღვევა.

ლაზერული მონიტორინგისას გამოიყენება დოპლერული ტექნოლოგია ნაგებობაზე ან კონსტრუქციულ ელემენტზე ორ ზღვრულ მდგომარეობას შორის გაზომვების ფარდობითი სინქარეებისათვის. გასაზომი ბლოკი შეიძლება იყოს,

მაგალითად, ხიდური სვეტები. ეს მეთოდი ხელმისაწვდომია დეფორმაციის გასაზომად საგზაო მოძრაობისას ან რეგულირებული დატვირთვებისას.

ძალოვანი ზემოქმედებების განსაზღვრისათვის იყენებენ აქსელერომეტრებს. ისინი ანხორციელებენ კონსტრუქციის ელემენტების რეაქციის მონიტორინგს არამდგრად დატვირთვაზე, როგორცაა ნორმალური ან არაორდინალური საგზაო მოძრაობა. აქსელერომეტრი შეიძლება მიერთებული იყოს მუდმივი მონიტორინგის ნებისმიერ სისტემასთან.

ფოლადის არმატურაში ნარჩენი ძაბვების ანალიზი, ნაგებობაზე დარტყმითი ზემოქმედებები, წყალსადენის სისტემის მუშაუნარიანობა აგრეთვე წარმოადგენს ძლიერ მნიშვნელოვან საკითხს.

ნაგებობის ტრანსპორტირებად კონსტრუქციაზე დარტყმითი ზემოქმედების გამზომი სისტემები იყენებენ სამღერძულ აქსელერომეტრს, რომელიც დაკავშირებულია გასაზომ ბლოკთან და დამაგრებულია ხიდზე. სისტემის გამაფრთხილებელი სიგნალი შეიძლება მივიღოთ და გააკონტროლოთ ნაგებობიდან. ელექტრო ან რადიო დაბრკოლებებით გამოწვეული ცრუ სიგნალი შესაძლებელია დაწუნებულ იქნას.

წყალსადენების სისტემის მუშაუნარიანობის მონიტორინგისათვის უნდა გამოვიყენოთ ატმოსფერული ტენიანობის/ტემპერატურის მზომი კომბინირებული გადამწოდი, დაყენებული შენობის ისეთ ზონაში, რომელშიც არის ჰიდროიზოლაციის ნორმალური მდგომარეობა და წყალსადინარი სისტემის გაზრდილი ტენიანობა არ იქნება შენარჩუნებული ხანგრძლივი დროის განმავლობაში.

ნაგებობის სატრანსპორტო მდგომარეობის მონიტორინგის საფუძველს შეიძლება წარმოადგენდეს ვიდეოკამერის-მოდემის კომპლექსი, რომელიც საშუალებას იძლევა რეალური დროის რეჟიმში დაფიქსირდეს და განუსაზღვრელ მანძილზე გადაეცეს 115 კბ-მდე სიჩქარით შავ-თეთრი ან ფერადი ვარიანტი. როგორც წესი, მოდემმა შეიძლება ერთდროულად იმუშაოს 4-8 ვიდეოკამერით, რაც სავსებით საკმარისია საშუალო კლასის ერთ ნაგებობაზე დაკვირვებისათვის.

სამოქალაქო ნაგებობების დისტანციურად დაწვრილებითი დათვალიერების მცდელობები როგორც წესი მოითხოვს გადასაადგილებელ კამერებს ან მათ დიდ რაოდენობას. ასეთი ხელსაწყოების გამოყენებას მივყავართ სისტემის მრავალჯერად გაიაფებასთან და მისი გამოყენება რეკომენდირებულია მხოლოდ განსაკუთრებულ შემთხვევებში.

სამოქალაქო ნაგებობების მუდმივი მონიტორინგისას ინფორმაცია შეიძლება მივიღოთ სამი გზით:

- დისპეჩერულ ცენტრთან მუდმივი გადაცემის გზით სპეციალური კაბელის ან გამოყოფილი სატელეფონო ხაზის, აგრეთვე ქალაქის ან მობილური ქსელის საშუალებით, სპეციალური მოდემების გამოყენებით;



- დამონტაჟებული გადამწოდებიდან ჩვენებების არაავტომატურ რეჟიმში პერიოდული მოხსნით, კომპიუტერის კომპიტირებულ გასაზომ ქსელთან წინასწარი მიერთების გზით;
- სპეციალური დაგროვებითი მოწყობილობებიდან ინფორმაციის პერიოდული მოხსნით. ხიდურ ნაგებობებზე დამაგრებული გასაზომი ქსელის გადამწოდებიდან პერიოდულად, ავტომატურ რეჟიმში, ინფორმაციის მიღების განხორციელებით, მონაცემების საკუთარ მეხსიერებაში დაგროვებით.

განხილული სისტემის ინსტრუმენტული აღჭურვის მიხედვით მონიტორინგის და წინადადებების პრაქტიკაში გამოყენება საშუალებას იძლევა ვიწინასწარმეტყველოთ საინჟინრო კონსტრუქციის მზიდუნარიანობის შესუსტების პროცესი და დავლოთ მათი გაძლიერების ადეკვატური საინჟინრო და კონსტრუქციული წინადადებები.

ოპტიმალური გადაწყვეტები უნდა მიეუსადაგოთ ყოველი ცალკეული შემთხვევისათვის მონიტორინგის კონკრეტულ ამოცანას, გასაზომი ხელსაწყოების განსაკუთრებულობების ჩათვლით.

მუდმივი მონიტორინგის ერთ-ერთ პრობლემას წარმოადგენს მიღებული ინფორმაციის მნიშვნელოვანი მოცულობა, რომელიც ყოველთვის არაა შესაძლებელი თავისდროულად დამუშავდეს. ამიტომ განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს ექსპერიმენტის დაგეგმვას, ამოცანების სწორ დაყენებას მონაცემების კომპიუტერული დამუშავების ყველა გამოყენებული მეთოდების აუცილებელი შეკვრით.

#### **I.4. შენობების და სამშენებლო კონსტრუქციების მონიტორინგის სახეები**

სამშენებლო კონსტრუქციის უსაფრთხოებას უზრუნველყოფს მისი სიმტკიცე და საიმედოობა, ასევე ამ მაჩვენებლების შესაძლო შემცირების პროგნოზირების შესაძლებლობა, ხანგრძლივი ექსპლუატაციის დროს. თავის მხრივ, სამშენებლო კონსტრუქციების სიმტკიცე და საიმედოობა, როგორც ერთი მთლიანი იქმნება იმ ელემენტების სიმტკიცითა და საიმედოობით, რომლებისგანაც შედგება მოცემული კონსტრუქცია.

ბოლო უკანასკნელი ათწლეულის განმავლობაში, სწრაფად განვითარებადმა სამშენებლო კონსტრუქციების ინდუსტრიამ წინ გაუსწრო ნორმატიულ და რეგლამენტულ მექანიზმებს, მოწოდებულს დარეგულირდეს წარმოების სტანდარტიზაციის საკითხები, ექსპლუატაცია და უსაფრთხოება. შენობის ნებისმიერი კომპონენტი, საჭიროებს ოპერატიულ მონიტორინგს მისი მდგომარეობის შესახებ. ძირითადად ეს არის დინამიკურად დაძაბული მდგომარეობის კონტროლი, რომელიც

ითვალისწინებს მოცულობითი და დროებითი მექანიკური ძაბვების განლაგებას და სიდიდეს.

მაგრამ ყველა დიაგნოსტიკის და კონტროლის საკითხებთან ერთად, შენობა-ნაგებობების სხვადასხვა კონსტრუქციებს გააჩნიათ მთელი რიგი ნიშნები, რომლებიც არსებითად განასხვავებენ მათ ერთმანეთისაგან რიგ კომპონენტებში. მაგალითისთვის განვიხილოთ ფასადი.

უპირველეს ყოვლისა ფასადი არის გარე მონტაჟის ელემენტი. მეორე ყველა ფასადისათვის დამახასიათებელი, განმასხვავებელი, როგორც წესი არის დიდი სიბრტყული ზომები, რისი საშუალებითაც მათ გააჩნიათ დიდი ფართობი ან დიდი ვერტიკალური განზომილება. ფასადის თვისება იყოს შენობის გარე კონსტრუქცია და ქონდეს მნიშვნელოვანი გეომეტრიული ზომები ორ განზომილებაში, წარმოადგენს ძირითად მახასიათებელს, რომელიც განსაზღვრავს მონიტორინგისა და მისი მთლიანობის, როგორც სამშენებლო კონსტრუქციის ელემენტის, კონტროლის სპეციფიკას. სხვა ნიშნები როგორცაა: ტექნოლოგიური და ტექნიკური გადაწყვეტილებების მრავალფეროვნება, წარმოადგენენ პარამეტრებს, განმსაზღვრელს ფასადის ადგილს, ფასადური კონსტრუქციების რიგში. ამიტომაც ისინი ითვალისწინებიან, ანგარიშში ფასადის მონიტორინგის ორგანიზებისას, როდესაც კონტროლის საბაზო სისტემა შექმნილია და საჭიროა მისი ადაპტირება კონკრეტული პარამეტრებისათვის.

უეჭველია, რომ დღეისათვის საჭიროა მიღებულ იქნას ზომები სხვადასხვა კონსტრუქციის ელემენტების უსაბრთხოების ნორმების დასადგენად პროექტირებისას, მონტაჟისა და ექსპლუატაციისას. მაგრამ უკვე ფუნქციურებადი კონსტრუქციებისთვის ყველაზე აქტუალური პრობლემა არის მათი მდგომარეობის მონიტორინგი. მონიტორინგი კონკრეტულ შემთხვევაზე დამოკიდებულობით, შეიძლება იყოს, დისკრეტული—დაგეგმილი კონტროლის ფორმატში (ერთჯერადი გამოკვლევა გარკვეული დროის პერიოდში) ანუ კონტროლი დროის რესურსით, ან “პერპერული” გზით. რაც ითვალისწინებს ფასადის კონსტრუქციის მუდმივ კონტროლს, მრიცხველების საშუალებით. ფასადის მონიტორინგის ორგანიზებისათვის, როგორც დისკრეტული ასევე პერპერული მეთოდით, მშენებლობაში მოიზიდებიან ახალი თაობის მეთოდები.

დავუბრუნდეთ ისევ ფასადებს. ფასადი, როგორც წესი შენობის ნაწილია, რომელსაც გააჩნია მნიშვნელოვანი სიმაღლე და რადგანაც ის შენობის გარე ნაწილია, პრობლემა ერთჯერადი გამოკვლევის, დისკრეტული მონიტორინგისათვის, არის სიმაღლის სპეციალისტების მოწვევის აუცილებლობა. ამასთან მნიშვნელოვანია იმ გარემოების გათვალისწინება, რომ ფასადური კონსტრუქციის ანალიზი – არამხოლოდ “მაღლა მცოცავისთვის” სამუშაოების ჩატარების მაღალ რისკთან არის დაკავშირებული, ერთმნიშვნელოვნად ისაზღვრება, როგორც ოსტატობა, ასევე საქმე, რომელიც ითხოვს ინჟინერ-მშენებლის მაღალ კვალიფიკაციას. სპეციფიკურ პირობებში

ყოფნისას, დიდ სიმაღლეზე სპეციალისტი შეზღუდულია, გამოკვლების ორგანიზების ვარიანტების შერჩევაში. მას ამ შემთხვევაში შეუძლია გამოიყენოს მხოლოდ სამი დიაგნოსტიკის მეთოდი: ვიზუალური მეთოდი, არამრღვევი კონტროლისათვის პორტატული აპარატურის გამოყენება და მასალის ნიმუშის, ან კონსტრუქციის ლოკალური ელემენტის ამოჭრა, შემდგომი ლაბორატორიული კვლევისთვის.

რადგანაც ფასადის დესტრუქციული ცვლილებების მიზეზები და სახეები, რომლებსაც პოტენციურად შეუძლიათ მიგვიყვანონ ავარიულ მდგომარეობამდე, წინასწარ ცნობილნი არ არიან, ხოლო ფასადური კონსტრუქციის მრავალფეროვნების გამო ნაკლებად პროგნოზირებადი. ამასთან საჭიროა, ოპერატიულად დამუშავება მიმდინარე ინფორმაციის და ის რაც უკვე ზემოთ ითქვა, სპეციალისტ მკვლევარს უნდა გააჩნდეს სიმაღლის სპეცისლისტის მაღალი კვალიფიკაცია და იყოს ინჟინერ-მშენებელი დიდი სამეცნიერო და ტექნიკური გამოცდილებით.

სწორედ ასეთ საკითხებში გამოიყენება საწარმოო ალპინიზმი – სამუშაო ზონაში შემსრულებლის მოხვედრის მეთოდი სიმაღლეზე ალპინისტური ტექნიკისა და მოწყობილობებით კონკრეტული ამოცანის შესასრულებლად, ფასადის გამოკვლევისას. საწარმოო ალპინიზმი ისეთი უნიკალური და ახალია, რომ სამუშაოებისა და პროფესიების რეესტრში მხოლოდ 2001 წელს გამოჩნდა.

ამრიგად დისკრეტული მონიტორინგი მთლიანად და კვალიფიციურად შეიძლება განხორციელდეს საწარმო ალპინიზმის სპეციალისტების მიერ. უნდა აღინიშნოს რომ ოპტიმალურია დისკრეტული მონიტორინგის გამოყენება იმ სიტუაციებში, რომლებიც საჭიროობენ ოპერატიული გადაწყვეტილებების მიღებას. ექსტრემალური საკონტროლო გამოკვლევა ხშირად ხდება ერთადერთი, ფასადის მდგომარეობის შეფასების საშუალება. მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ უწყვეტი მონიტორინგის სწორი ორგანიზებით შესაძლებელია თავიდან ავიცილოთ მსგავსი სიტუაციების წარმოქმნა.

არსებობს მონიტორინგის ორი სახე:

1. საბაზო მონიტორინგი – რამოდენიმე ძირითადი კვანძების ერთდროული კონტროლის სქემით, წინასწარ განსაზღვრული შემქმნელებისაგან, როგორც პოტენციურად მაქსიმალური რისკის ადგილი, ან იმ კვანძების, რომლებიც იყვნენ განსაზღვრული, როგორც ავარიული მდგომარეობის შექმნის შესაძლო წყაროები, საწარმოო ალპინიზმის სპეციალისტების მიერ საკონტროლო გამოკვლევის დროს.
2. მთლიანი მონიტორინგი – ხელოვნური ნეიროქსელის სქემით, შედგენილი კომპლექსური სენსორების მრიცხველებით. მრიცხველი აკონტროლებს მიცემულ პარამეტრებს და გენერირებს განგაშის სიგნალს პარამეტრების ნორმაზე გადაცდომის შემთხვევაში, რომელიც განისაზღვრება შენობის უსაფრთხო ექსპლუატაციით. ამასთან მრიცხველების სისტემა მოიცავს კონსტრუქციას მთლიანად ისე, რომ კონსტრუქციის ნებისმიერი უბანი იმყოფება რამოდენიმე მრიცხველის კონტროლის ზონაში.

რატქმაუნდა საბაზო მონიტორინგი არის მთლიანი მონიტორინგის კერძო შემთხვევა და შესაბამისად უფრო მარტივი და იაფი მონტაჟისა და ექსპლუატაციისას. საბაზო მონიტორინგი მიზანშეწონილია ექსპლუატაციაში მყოფი ფასადის კონტროლის აუცილებლობისას, რომელიც აგებული იქნა მაკონტროლებელი მრიცხველების გარეშე.

### I.5. მოწყობილობები მონიტორინგისათვის

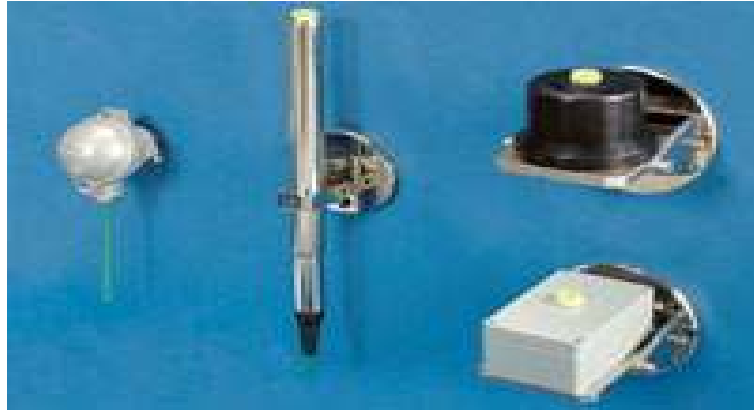
ხელსაწყოები და მოწყობილობა გეოტექნიკური მონიტორინგისათვის სპეციალიზაციით, კონტროლირებადი პარამეტრებზე დამოკიდებულობით, შეიძლება დაიყოს რამოდენიმე ჯგუფად.

**“ინკლინომეტრი და გადახრისმზომი”** – ჩასადგმელი და ზედაპირული ციფრული ინდიკაციით.

- ინკლინომეტრი მოთვალთვალე სენსორით (ვერტიკალური და ჰორიზონტალური მოდელი)
- დისტანციური კოორდინომეტრი (TEL-310)
- მრავალფუნქციური მონაცემების რეგისტრატორი (NADIR) გადახრების გასაზომათ (დამუშავების პაკეტით)
- გადასატანი გადახრებისმზომი (TILLI), გაზომვები წარმოებს სპეციალურად, სტაციონალურად დამონტაჟებულ, გადახრად ჭანჭიკზე, როგრც ჰორიზონტალურ ასევე ვერტიკალურ ზედაპირზე.
- სასიგნალო სისტემა ჰორიზონტალური გადაადგილებების კონტროლისათვის ფუნდამენტში, შენობა-აგებობებში, ლიფტის შახტების ვერტიკალური გადახრების კონტროლისათვის.



სურ. I.2. მაღალი სიზუსტის ინკლინომეტრიული სისტემა Nadir



სურ. I.3. ზედაპირული გადახრების მზომი, მაგნიტორეზისტორული ინკლონომეტრი, ინკლუნომეტრი აუცილებელი კორექციით



სურ. I.4. გადასატანი პორტატული გადახრების მზომი TILLI

პირაპირებისა და ბზარების კონტროლის მრიცხველი (Jointmeters) ერთეულოვანი და სამ კომპონენტისა.

- გადაადგილების ტერმინალური მრიცხველი.
- ინტეგრირებული სისტემები (GRID) – 4 მინიატურული, ელექტრული ბზარების მზომი, კომპაქტური რეგისტრატორით.
- მავრთულოვანი მზომები – გადაადგილების აღმოსაჩენად, (გაფართოვება ან შეკუმშვა) მთის მასებში. ანკერებს შორის მანძილი 30მ-მდე, გაშლის დიაპაზონი 2მ-მდე.



სურ. I.5. ბზარების მზომი (პირაპირების და ნაკერების კონტროლის მრიცხველი)



სურ. I.6. ელექტრო-დეფორმატორი



სურ. I.7. ბზარების მათულოვანი მზომი

**დატვირთვების მრიცხველი** – გრუნტის დატვირთვის მრიცხველს გააჩნია ლითონის დიფრაგმა  $D=230\text{მმ}$ ; მკვრივი მასების გაზომვისას იღებენ მართკუთხა ფირფიტას  $1000\times 2000\text{მმ}$  ბრტყელი ქვესადები საშუალებას იძლევა გაეზომოს ელასტიურობის კოეფიციენტი და ქვის დეფორმაციის შესაძლებლობები, ბეტონის და ადურის წყობის.

ბეტონის დატვირთვების მრიცხველი გამოიყენება გვირაბების მონიტორინგისათვის ბეტონის ფენის შიგნით. გასაზომ უჯრედებს გააჩნიათ დამატებითი

კომპენსატორი, რომელიც აღადგენს დაწოლას (ქვესადებსა და ბეტონს შორის მჭიდრო კავშირის უზრუნველყოფისათვის მონტაჟის შემდეგ).

ტენზომეტრული მრიცხველი – გამოყენება მექანიკური დატვირთვების გასაზომად როგორც ლითონის ასევე რკინაბეტონის კონსტრუქციებში. მოდულების მრავალფეროვნება საშუალებას იძლევა გადავწყვიტოთ სხვადასხვა სახის ამოცანები.

ყველაზე ხშირად მრიცხველ ამონტაჟებენ არმატურაზე ბეტონის შასხმამდე რთული სამშენბლო კონსტრუქციების დამზადებისას, (ხიმინჯები, რიგელები, ან ხიდების მალეები)

დატვირთვის ჰიდრაულიკური მრიცხველი – საანკერო მრიცხველი (ელექტრო/ჰიდრაულიკური ან ტენზომეტრული დიაპაზონით 3000 დან 10000კნ) საყრდენების მონიტორინგის საშუალებას იძლევა, რკინაბეტონის სვეტში, საანკერო დგარებში, ლითონის სვეტებში, დატვირთვები ხიდის საყრდენებზე.



სურ. I.8. არმატურაზე დეფორმაციის ვიბრაციული მრიცხველის მონტაჟი



სურ. I.9. დაწნევის მრიცხველის ელექტრული ღუზა



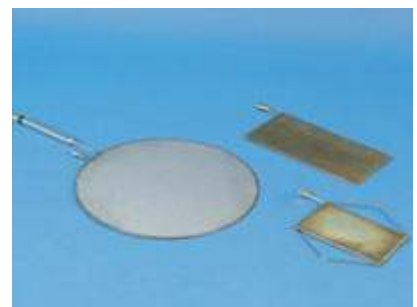
სურ. I.10. ჰიდრაულიკური ანკერი (დაწნევის მრიცხველი)



სურ. I.11. ბეტონის დატვირთვის მრიცხველი



სურ. I.12. ელექტრო რეგისტრატორი დატვირთვის მრიცხველი



სურ. I.13. გრუნტის დაწოლის მრიცხველი

რეგისტრატორები და ინფორმაციის შემგროვებლები - მარტივი ციფრული მოწყობილობები და უნივერსალური პორტატული რეგისტრატორები.

- ინილონგერ - განცალკევებული ავტონომიური მონაცემების რეგისტრატორი; მესხიერების სიმძლავრე 64000 გაზომვა, პორტი RS485;
- მონაცემების რეგისტრატორი (ADK-10) მძლავრი, უნივერსალური, მრავალფუნქციური რეგისტრატორი CR10X-ის ბაზაზე. ეს არის მიკრო კომპიუტერი, ტაიმერი, მულტიმეტრი, სკანერი, სიგნალების მრიცხველი და მაკონტროლებელი. ოპერაციული სისტემა მრავალფუნქციურია, იგი საშუალებას იძლევა ერთდროულად ვაწარმოთ გაზომვები და კომუნიკაცია. საბაზო მოდული 6 პირველი კომპიუტერის სკანირების საშუალებას იძლევა. კომპიუტერები უზრუნველყოფენ დამატებით 192 შემომავალ ანლოგურ ან დიფერენცირებულ (ციფრულ) არხს.
- პროგრამული უზრუნველყოფა (Multilogger) შემუშავებულია რეალურ დროში მონიტორინგისათვის (ADK-10 რეგისტრატორის ბაზაზე) რეალიზებულია შესაძლებლობები: კომუნიკატორების სკანირება, არხების დაყენება, სკანირების პერიოდის დანიშვნა, ავარიული სიგნალების ზღვრის შეყვანა შეტყობინების სიგნალის დაბრუნებით, ინფორმაციის გრაფიკული გამოსახვა, ლოკალური ან დაშორებული შეერთება COM-პორტი RS 232, ის საშუალებით. MD-9 მოდემის ან GSM-ის შეერთებით.



სურ. I.14. პორტატული ინფორმაციის შემგროვებელი



სურ. I.15. ინფორმაციის უნივერსალური შემგროვებელი



სურ. I.16. მონაცემების რეგისტრატორი ADK-10 და Multilogger



სურ. I.17. საველე რეგისტრატორი (Minilogger)



სურ. I.18. რეგისტრაციის და დამუშავების სიტემა ADK-10



სურ. I.19. დამხმარე მოწყობილობები ADK-10

**ობიექტების მონიტორინგი** – გაცილებით რთული და მრავალკომპონენტური კონტროლის სისტემის შემუშავება ხდება მაღლივი შენობების, არამდგრადი გრუნტების,



დამბების, ცოცვადი ქანობების და სხვა რთული ინჟინრული კონსტრუქციების მონიტორინგისათვის.

ყველა შემთხვევაში ჩამოთვლილი არის უნიკალური ობიექტი, როგორც თავისი კონსტრუქციით, ასევე იმ გეოლოგიური უნიკალურობით სადაც უშუალოდ არის განხორციელებული. საზგასმით უნდა აღინიშნოს, რომ ობიექტის გეოლოგიური საფუძველი, გეოლოგიური პირობები არ არის აბსოლუტურად სტაბილური. დროთა განმავლობაში ისინი იცვლებიან ზოგჯერ კი ძალიან მკვეთრად.

მრავალი პარამეტრის მონიტორინგი, რომლებიც უზრუნველყოფენ კონსტრუქციის სტაბილურობას, საშუალებას იძლევა ავამაღლოთ მისი საექსპლუატაციო საიმედოობა, გაგზარდოთ მისი ფუნქციონირების დრო და თითქმის გამოვრიცხოთ უბედური შემთხვევები მისი ნგრევის დროს.

## I.6. შენობა-ნაგებობების მონიტორინგის სისტემები

### I.6.1. შესავალი

დღეისათვის სამშენებლო ნაგებობების მონიტორინგის სისტემის შექმნა არ მოითხოვს მტკიცებულებებს და დასაბუთებებს. უფრო მეტიც – რუსეთში და საზღვრებს გარეთ მიმდინარეობს სამშენებლო ნაგებობების ტექნიკური მონიტორინგის (სნტმ) სხვადასხვა სისტემების შემუშავების აქტიური პროცესი.

ძირითადი საკითხი, რომელიც შეიძლება განისაზღვროს, როგორც უფრო მეტად მნიშვნელოვანი ამ სფეროში – მონიტორინგის არსებული სისტემები რატომ არ გახდა კონსტრუქციებში დესტრუქციული ცვლილებების საიმედოდ და ეფექტურად მაძიებელი ინსტრუმენტი? საკითხი არცთუ მარტივია და პასუხი მასზე უნდა მოვიძიოთ მიზეზების მოელ რიგ კომპლექსში. ჩამოვთვალოთ სნტმ სისტემების შემუშავებაზე გავლენის მქონე ძირითადი ასპექტები.

- ტექნიკური – ფიზიკო-ტექნიკური მიზეზების განსაზღვრა, რომლებზეც ბაზირდება გამზომი სისტემა;
- ტექნოლოგიური – ექსპლუატაციის და მონტაჟის სისტემების მაკომპლექტირებელი წარმოების მეთოდების და ხერხების შემუშავება;
- ეკონომიკური – სისტემის ღირებულებითი პარამეტრების ოპტიმიზაცია.

ჩამოთვლილი ასპექტების გარდა მნიშვნელოვანია აგრეთვე სნტმ-ს ადგილის სოციალური და ფსიქოლოგიური განსაზღვრა. რადგან მონიტორინგი საბოლოოდ ეხებოდეს ყოველ მოქალაქეს, აუცილებელია კანონმდებლობის ბაზა, რომელიც განსაზღვრავს და არეგლამენტირებს მის მიზანს და ფუნქციას. ამასთან მონიტორინგის სტატუსის განმსაზღვრელი იურიდიული მექანიზმი უნდა

შეესაბამებოდეს დანერგვის მოფიქრებულ პოლიტიკას, რომელიც ითვალისწინებს ფსიქოლოგიური აღქმის ყველა ასპექტს: ტექნიკურს, ტექნოლოგიურს და ეკონომიკურს.

## I.6.2. მონიტორინგის სისტემის განხორციელების ბლოკ-სქემა

ცხადია, რომ მონიტორინგის ტიპური სისტემის არ არსებობის მიზეზი მდგომარეობს იმ ფაქტში, რომ მრავალი შემუშავებული სისტემა შემოიფარგლება კონტროლის ერთი ან რამდენიმე პარამეტრის განხილვით. ამასთან კონკრეტული პარამეტრების კონტროლი ბაზირდება სხვადასხვა ტიპის გადამწოდებზე. რამდენადაც ნებისმიერ გამზომ სისტემას აუცილებლად აქვს ორი ძირითადი შემადგენელი ფიზიკური სიდიდების გარდამქმნელი და დამუშავების ელექტრონული ბლოკი. მაშინ ყოველ მათგანში ერთგვარონების არ არსებობა მრავალჯერ ზრდის მონიტორინგის სისტემის სხვადასხვატიპობრიობას და როგორც შედეგი, ამცირებს ტიპური სისტემის შექმნის შესაძლებლობას.

სხვადასხვა ტიპის სისტემების სიმრავლიდან მიღებული ინფორმაცია ითხოვს დამუშავების რთული სისტემის შექმნას. მეორე მხრიდან, სისტემის ავტომატიზაციის სპეციალისტები ანვითარებენ უფრო და უფრო რთულ ტექნოლოგიებს, ფიზიკური კონტროლის პროცედურების ოპტიმიზაციის საკითხებისგან დამოუკიდებლად. ამასთან კონკრეტული სისტემები იქმნებიან სხვადასხვა ამოცანების, კონსტრუქციების და საკონტროლო-გამზომი პირობების ქვეშ. შედეგად ჩნდება მოქმედების სხვადასხვა პრინციპის მქონე დამოუკიდებელი სისტემების მასა, ახალი ამოცანისას ჩნდება ახალი სისტემა და ა.შ. ტიპური სისტემა ასეთ პირობებში ვერ შეიქმნება. დასავლეთის ტექნოლოგიებით გატაცება ან მორალურად მოძველებული შემუშავებების გამოყენება რუსული სპეციფიკით განსაზღვრული თანამედროვე აქტიური მშენებლობის დროს, არ აახლოებს მიზნის მიღწევას.

მონიტორინგის სისტემის, როგორც ტიპური ინსტრუმენტის შექმნისათვის უნდა ჩამოყალიბდეს მიზანი. აუცილებელია შეიქმნას სნტმ სისტემა საბაზო ვარიანტში, რომელიც ითვალისწინებს, როგორც მინიმუმ ყველა ტიპური საცხოვრებელი შენობის კონტროლს. მონიტორინგის საბაზო ვარიანტი უნდა უზრუნველყოფდეს ძირითადი პარამეტრების კონტროლს, რომლებიც პასუხისმგებლები არიან პოტენციური ავარიების უფრო მეტად გავრცელებულ მიზეზებზე. აუცილებლობისას საბაზო ვარიანტს უნდა ქონდეს გაფართოების შესაძლებლობა, როგორც კონტროლის წერტილების რაოდენობის მიხედვით, ისე საკონტროლო კონსტრუქციების სახეობის მიხედვით, აგრეთვე საკონტროლო პარამეტრების სიის მიხედვით. სნტმ ტიპური სისტემა უნდა შეიცავდეს:

- საბაზო ფიზიკურ პრინციპზე აგებულ გამზომ ბლოკს;

- სიგნალების დამუშავების ელექტრულ ბლოკს, რომელიც ადვილად ადაპტირდება გაფართოებულ საბაზო სისტემების დროს.

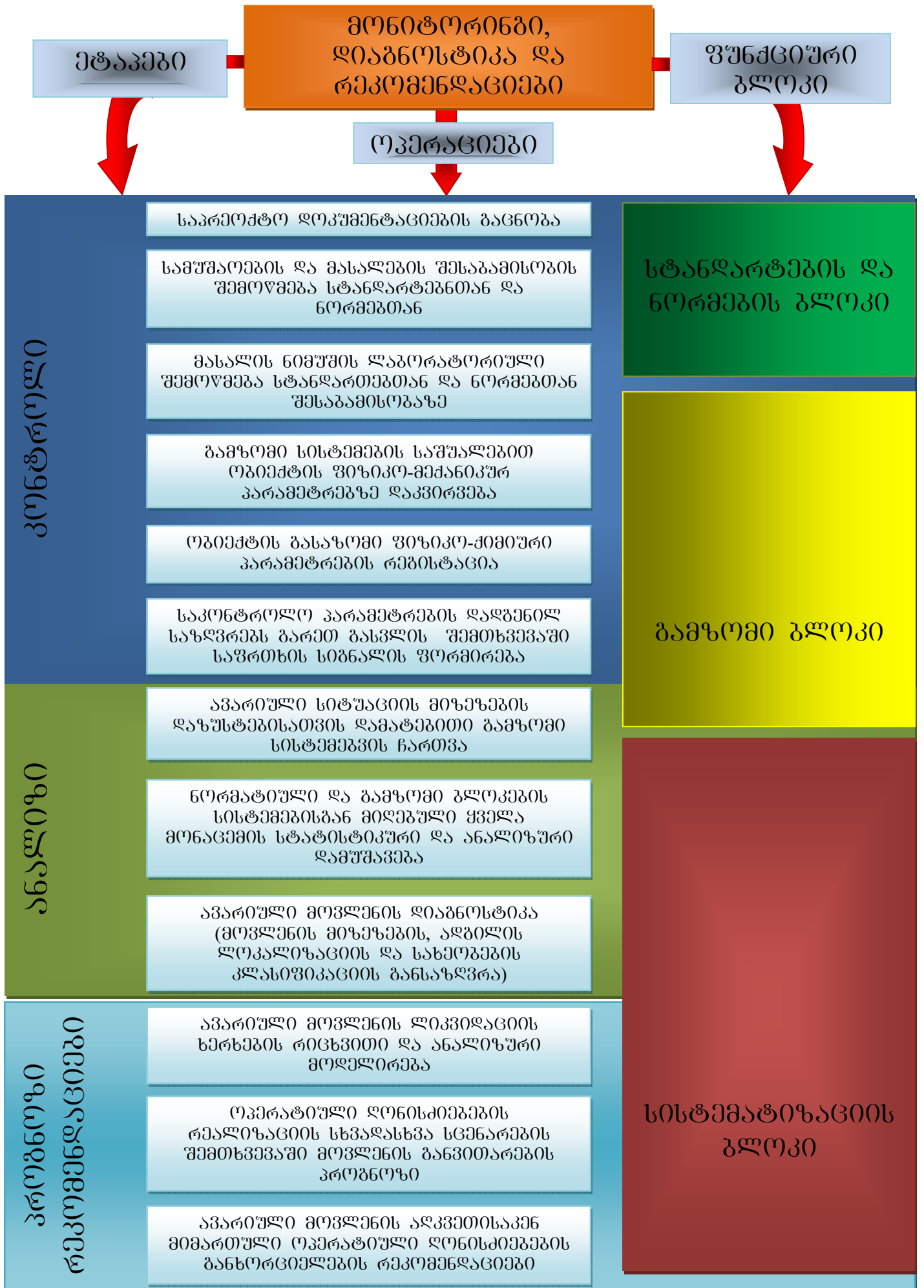
სამშენებლო მონიტორინგის ოპტიმალური სისტემების შემუშავების მიზნის მიღწევისათვის, წარმოდგენილია საკონტროლო-გამზომი სისტემა ბოჭკოვან-ოპტიკური გადამწოდების ბაზაზე. მოვახდინოთ ამ სისტემის ძირითადი პარამეტრების ფორმულირება (სურ. I.20).

მონიტორინგის სისტემაში გამოყენებული საბაზო გადამწოდი წარმოადგენს დეფორმაციის ამპლიტუდურ ბოჭკოვან-ოპტიკურ გადამწოდს. გადამწოდს აქვს შესრულების რამდენიმე ვარიანტი, რომელიც იძლევა რკინაბეტონის კონსტრუქციაში მისი ჩასმის ან სამშენებლო ელემენტების ზედაპირზე დამაგრების შესაძლებლობას. გადამწოდის დამაგრება დესტრუქციის პოტენციური წყაროს (დიდი დატვირთვები, მომენტები) მაქსიმალურად შესაძლო წერტილებში რეგლამენტირდება პროექტის სტადიაზე.

კონტროლი შეიძლება მიმდინარეობდეს როგორც მონტაჟის განმავლობაში, ისე შენობის ექსპლუატაციის პერიოდში. სიგნალების დამუშავების ელექტრონული ბლოკი იღებს მუდმივ ინფორმაციას კონსტრუქციის მდგომარეობის შესახებ კონტროლის შიგა და გარე წერტილებიდან. საპროექტო მონაცემებთან ამ ინფორმაციის შედარება მუდმივ რეჟიმში იძლევა კონსტრუქციის „ჯანმრთელობის“ შესახებ დასკვნების გაკეთების საშუალებას.

ამასთან ანალიზი წარმოებს ნაგებობის მდგომარეობის რიცხვითი მოდელირების გზით რეალურად გაზომილი მონაცემებით, რომლებიც შეიტანება ანგარიშში. მიღებული შედეგი საშუალებას იძლევა გავიგოთ, როგორ დეფორმირდა შენობა მთლიანობაში. მნიშვნელოვანია აღვნიშნოთ, რომ ინფორმაცია მიიღება მხოლოდ ლოკალური დეფორმაციის მიხედვით, ხოლო დასკვნები შეიძლება გამოვიტანოთ მთლიანობაში შენობის ცვლილების მიხედვით. სისტემაში დამატებით არის ტემპარატურის ბოჭკოვან-ოპტიკური გადამწოდი, რომლის მგრძობიარე ელემენტის მინიატურობა საშუალებას იძლევა იგი ჩამაგრდეს ყველაზე ძნელად მისაღწევ ადგილებში, მათ შორის ისევ და ისევ რკინაბეტონის კონსტრუქციების შეგნით.

მიღებული სისტემა წარმოადგენს უნიფიკაციის მაგალითს მონტაჟის და დამზადების ტექნოლოგიების, საბაზო ფიზიკური პრინციპის მიხედვით, ამასთან ბოჭკოვანი ოპტიკის ბაზაზე ფიზიკური სიდიდეების გარდაქმნის მექანიზმების სხვადასხვაგვარობა საშუალებას იძლევა მოცული იქნეს პარამეტრების მთელი სპექტრი, რომელთა კონტროლი აუცილებელია მშენებლობაში.



სურ. I.20. სამშენებლო მონიტორინგის ორგანიზაციის

სქემა

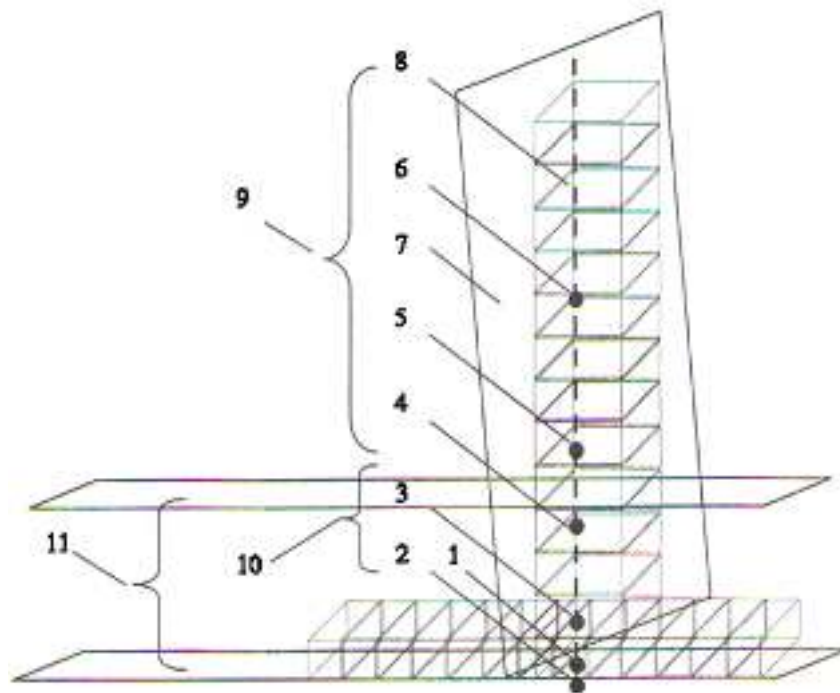
პასუხისმგებლობის ობიექტებისათვის ან დამატებითი კონტროლის აუცილებლობის შემთხვევებში გადამწოდების რაოდენობა იზრდება, სისტემა ივსება სხვა გადამწოდებით (როგორც ბოჭკოვან-ოპტიკური, ისე ტრადიციული). სისტემაში გამოყენებულ სიგნალების გადაცემის და დამუშავების ელექტრულ ბლოკს აქვს უნიფიცირებული სტრუქტურა. სიგნალების გადაცემა შეიძლება განხორციელდეს როგორც ბოჭკოვან-ოპტიკური კავშირის არხებით, ისე არსებული ელექტრული ქსელით (რაც არ მოითხოვს კავშირის არხების აღჭურვივის დამატებით სამუშაოებს), აგრეთვე უკაბელო ფორმატით.

ბოჭკოვან-ოპტიკური გადამწოდები წარმოადგენენ მაქსიმალურად უსაფრთხო გადამწოდების მაგალითს, რომლებიც იძლევიან ფეთქებადუსაფრთხოების და ხანძარუსაფრთხოების უზრუნველყოფის გარანტიას ფეთქებადი აირის ან აალებადი ნივთიერების პირობებშიც კი, გამომდინარე იქიდან, რომ ისინი არ შეიცავენ ელექტრულ ჯაჭვს და სიგნალებს. ამას გარდა, ბოჭკოვან-ოპტიკური გადამწოდები არ ექცევიან ელექტრომაგნიტური ველის გავლენის ქვეშ და თავად არ ახდენენ მათ ინდუცირებას. სამშენებლო მონიტორინგის ბოჭკოვან-ოპტიკური სისტემების დანერგვას სოციალურ-ფსიქოლოგიური აღქმის თვალსაზრისით ყველა ეს თვისება არა ნაკლებ მნიშვნელოვანია, ვიდრე რეალიზაციის ტექნიკური ასპექტები.

„მონიტორინგი-ცენტრი“ გადამწოდებზე ბაზირებულ მონიტორინგის სისტემებში გამზომი კვანძების განთავსების საერთო პრინციპები განისაზღვრება შემდეგი პირობებით:

- კონკრეტული გადამწოდების კონტროლის ქვეშ მყოფი ზონები უნდა ფარავდნენ კონტროლირებადი ნაგებობების მაქსიმალურად შესაძლო მოცულობას ან ფართს;
- გადამწოდების მოწყობის რაოდენობა და ადგილი უნდა იყოს საკმარისი იმისათვის, რათა გასაზომი პარამეტრების აპროქსიმირებისას იყოს კონტროლირებადი პარამეტრის განაწილების ველების აღდგენილი სურათის მიღების შესაძლებლობა;
- გადამწოდების განთავსება ოპტიმიზირებული უნდა იქნეს იმგვარად, რომ ერთი ტიპის გადამწოდების მონაცემები შევუდართო სხვა ტიპის გადამწოდების მონაცემებს სხვადასხვა პარამეტრების კორელაციის დონის შესახებ შემდგომი დასკვნების გამოტანით;
- გადამწოდების რაოდენობა უნდა იყოს მინიმიზირებული მონიტორინგის სისტემის შექმნის ხარჯების თვალსაზრისით;
- გადამწოდების ქსელის კონფიგურაცია უნდა უზრუნველყოფდეს გასაზომი კვანძის ზონაში შენობის ან ნაგებობის პარამეტრის ლოკალური კონტროლის მიღმა ნაგებობის გლობალური მახასიათებლების შეფასების შესაძლებლობას, კერძოდ, შენობების ან ნაგებობების მიწისზედა და მიწისქვეშა ნაწილების ურთიერთქმედების კორელაციას.

ზემოთხამოთვლილი პირობებიდან გამომდინარე საზღვრავენ გასაზომი კვანძების განთავსებას შემდეგ დონეებზე (სურ. I.21).



სურ. I.21. ვერტიკალურად სხავადსხვა დონეზე გასაზომი კვანძების განთავსების პრინციპი. აღნიშნულია: 1 – I დონეზე კონტაქტური ძაბვების გადამწოდები; 2 – II დონეზე დეფორმაციის გადამწოდი; 3 – III დონეზე დეფორმაციის გადამწოდი; 4 – IV დონეზე დეფორმაციის გადამწოდი; 5 – V დონეზე დეფორმაციის გადამწოდი; 6 – VI დონეზე დეფორმაციის გადამწოდი; 7 – ვერტიკალური მკვეთი სიბრტყე; 8 – ვერტიკალური პირდაპირი, ყველა დონის გადამწოდების შემაერთებელი; 9 – მიწისზედა ნაწილი; 10 – გამყოფი ზღვარი; 11 – მიწისქვეშა ნაწილი

- გრუნტის საფუძვლის დონე, საძირკვლის ფილის ძირი – I დონე;
- საძირკვლის ფილის არმირების ზონის ქვედა დონე – II დონე;
- საძირკვლის ფილის არმირების ზონის ზედა დონე – III დონე;
- პირველი სართულის „მინუს“ დონე (თუ არსებობს) – IV დონე;
- პირველი სართულის დონე – V დონე;
- ვერტიკალის მიხედვით შენობის ცენტრში მყოფი სართულის დონე – VI დონე.

I-VI დონის ქსელის ორგანიზაცია საშუალებას იძლევა მივიღოთ ინფორმაციის რაოდენობა, რაც მთლიანად დაახასიათებს შენობის მდგომარეობას ნაგებობის შემადგენელ ყველა ძირითად ნაწილში ვერტიკალის მიხედვით: მიწისქვეშა ნაწილი (I-III დონე), მიწისქვეშა და მიწისზედა ნაწილების შეპირაპირების ზონა (IV-V დონე);



**მონიტორინგის ობიექტი:** მრავალფუნქციური მაღლივი კომპლექსის SIEMENS-АФК „სისტემა“ (სურ. I.23 და I.24).

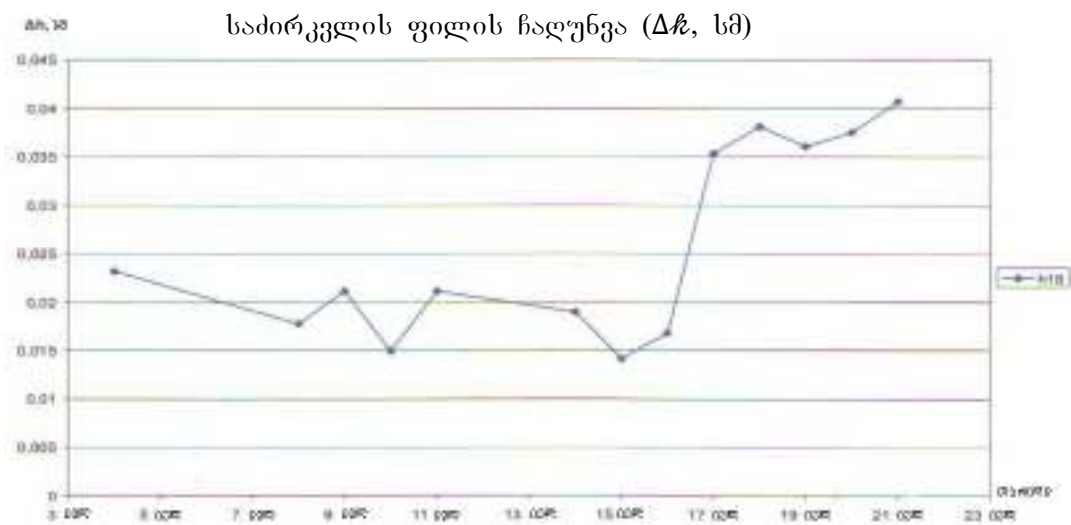
**მისამართი:** ქ. მოსკოვი, ლენინგრადი პროსპექტი 39.

**მონიტორინგის პერიოდი:** 2007 წლის 15 ივლისიდან.

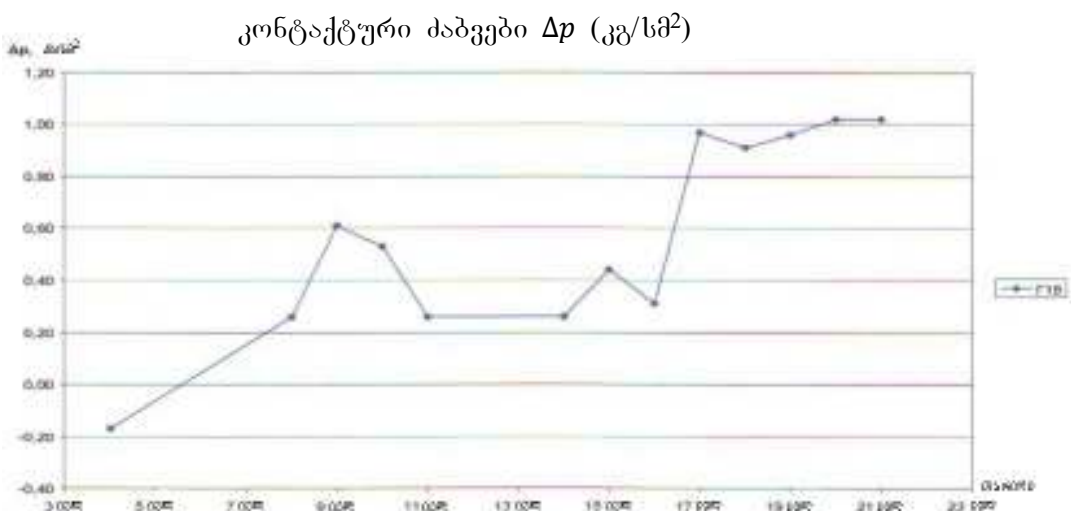
**მონიტორინგის მიზანი:**

- კონსტრუქციის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის მონიტორინგი;
- კონტაქტური ძაბვების კონტროლი;
- პილონებში მომენტების ანალიზი.

**გასაზომი კვანძების რაოდენობა:** 160



სურ. I.23. მრავალფუნქციური მაღლივი კომპლექსის SIEMENS-АФК „სისტემა“.  
მონიტორინგის მონაცემები: საძირკვლის ფილის ჩაღუნვა



სურ. I.24. მრავალფუნქციური მაღლივი კომპლექსის SIEMENS-АФК „სისტემა“.  
მონიტორინგის მონაცემები: კონტაქტური ძაბვები



**მონიტორინგის ობიექტი:** ყინულის სასახლე „ურალის ელვა“ (სურ. 25).

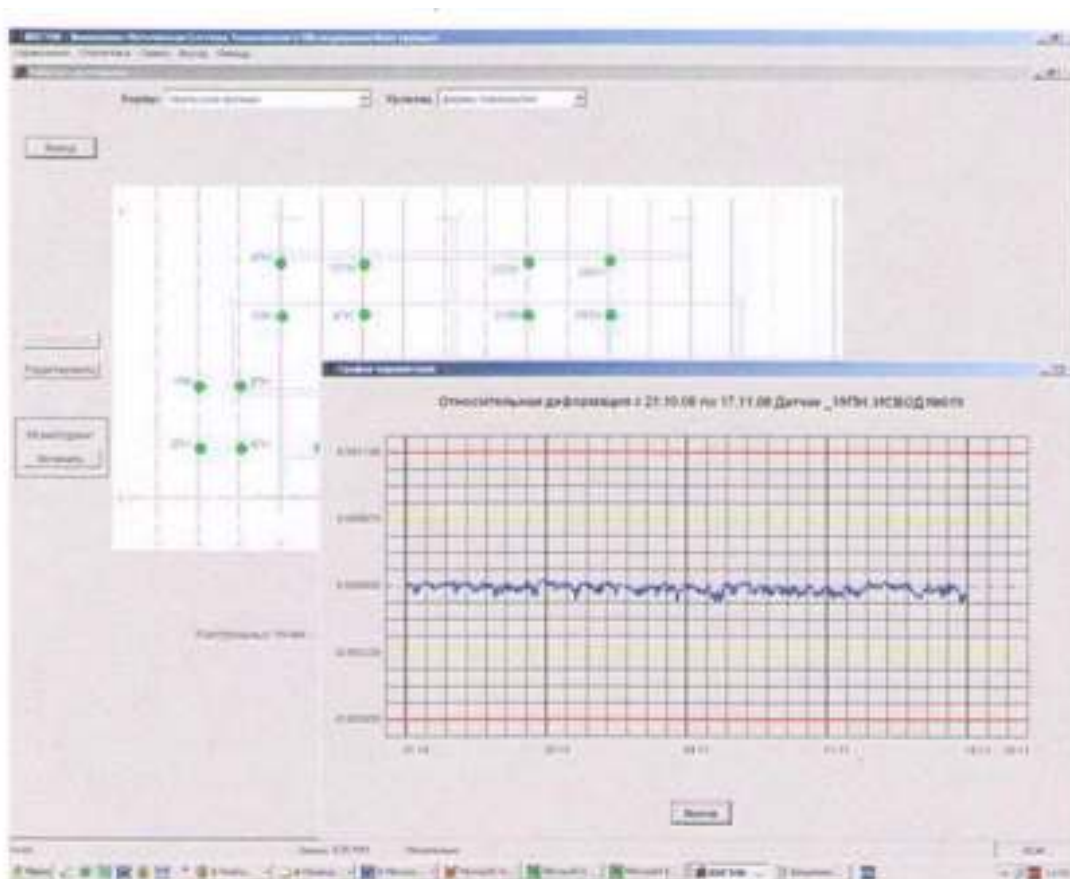
**მისამართი:** ქ. ჩელიაბინსკი, ცენტრალური რ-ნი, შრომის ქ. №187ა.

**მონიტორინგის პერიოდი:** 2008 წლის 30 სექტემბრიდან.

**მონიტორინგის მიზანი:**

- სახურავის კონსტრუქციის 15 თაღოვანი ფერმის დეფორმაციის კონტროლი.

**გასაზომი კვანძების რაოდენობა:** 34



სურ. I.25. მონიტორინგის სისტემის „მონიტორინგი-ცენტრი“ დისპეჩერის პუნქტის რეგისტრაციის ეკრანი ყინულის სასახლეში „ურალის ელვა“.

**მონიტორინგის ობიექტი:** ბალტიის გვირაბის მშენებლობა, როგორც ტრანსპორტის განტვირთვის პირველი გამშვები კომპლექსის, ლენინგრადის და ვოლოკოლამსკის ტრასის ნაწილი.

**მისამართი:** ქ. მოსკოვი, მეტროს სადგურის „შევარდენი“-ს რ-ნი.

**მონიტორინგის პერიოდი:** 2008 წლის 12 სექტემბრიდან.

**მონიტორინგის მიზანი:**

- სამუშაოების წარმოების ადგილთან უშუალო სიახლოვეს გრუნტის მასივში წნევის მონიტორინგი;

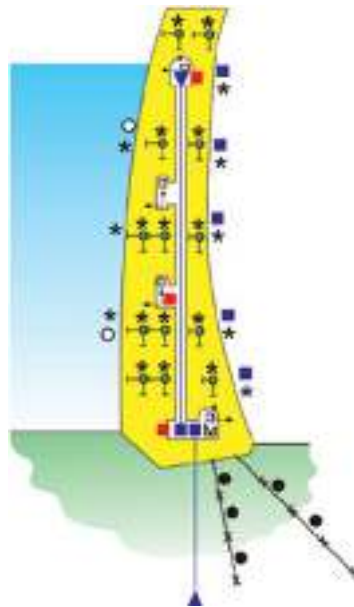
- კონსტრუქციის სამაგრის დეფორმაციის კონტროლი გამონამუშევრობის გასვლილასა.

*გასაზომი კვანძების რაოდენობა: 35*

## I.7. მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის კომპლექსური სისტემები

### I.7.1. მაღლივი ობიექტის მონიტორინგი

მრიცხველების სისტემა საშუალებას იძლევა გავაკონტროლოთ ძაბვის ზრდა და შენობა-ნაგებობების კონსტრუქციებში დეფორმაციების ჩასახვა ან მის ძირითად ელემენტებში გადახრა ვერტიკალიდან, ჰორიზონტალური გადაადგილება განსაზღვრულ ჰორიზონტზე, შევაფასოთ ობიექტის გრუნტზე დაწნევის სიდიდე, ზედა სართულებზე ქარის დაწნევის სიდიდე, განვახორციელოთ კონტროლი შენობის ფუძის გეოლოგიურ და ჰიდროგეოლოგიურ მდგომარეობაზე (ნახ. I.26).

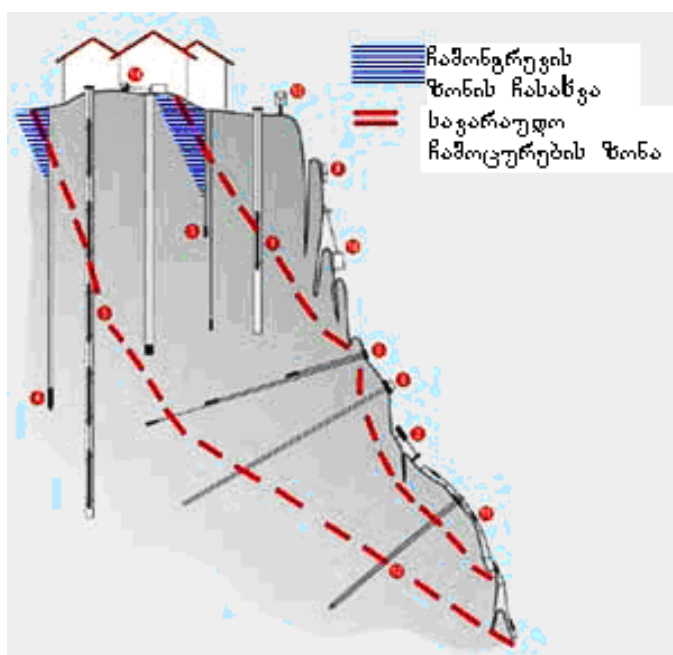


ნახ. I.26. ნაგებობის სხეულზე მრიცხველების განლაგების სქემა, თალური დამბა (ანალოგურია მაღლივი შენობისთვის)

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

## I.7.2. მთის ჩამოცურების მონიტორინგის სიტემა

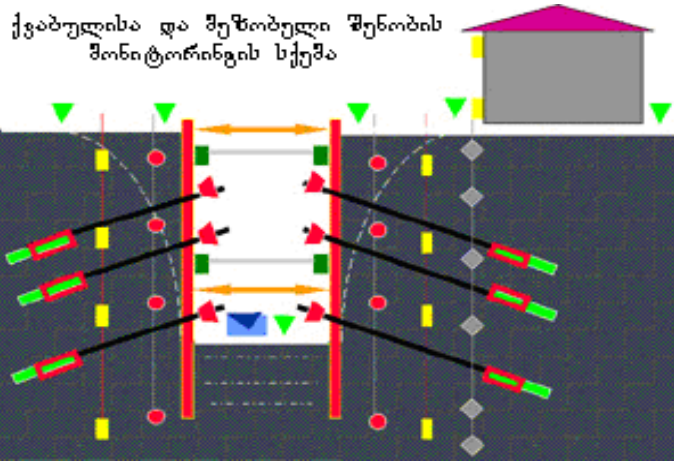
ოპტიმალური სქემის შემუშავებისათვის მნიშვნელოვანია ინჟინრულ-გეოფიზიკური გამოკვლევა. შესწავლა და დახარისხება საშუალებას იძლევა დაკონკრეტდეს ცოცვადი სტრუქტურის პარამეტრები, გამოვყოთ ზონები, რომლებიც საჭიროებენ გაძლიერებას და განვსაზღვროთ სენსორების დაყენებისთვის მაქსიმალურად ეფექტური ადგილები. მიდგომა მექანიკურად განვალაგოთ მრიცხველები გამოსაკვლევე ობიექტის ფართობზე მნიშვნელოვნად ამცირებს მონიტორინგის ეფექტურობას.



ნახ. I.27. მთის ჩამოცურების მონიტორინგის სიტემა

## I.7.3. ქვაბულის ინჟინრული დამცავი ნაგებობის მონიტორინგი

გეოტექნიკური მონიტორინგის ხელსაწყოების ფართო სპექტრის გამოყენება, საშუალებას გვაძლევს გავაკონტროლოთ ქვაბულის პერიმეტრზე არსებული გრუნტის მასების გადაადგილება, შევაფასოთ დაწოლა ქვაბულის დამცავ კედელზე. გავაკონტროლოთ კონსტრუქციის ჰორიზონტალური მდგომარეობა, გარშემო არსებული შენობების მდგომარეობა და ქვაბულის გავლენა მათ სტაბილურობაზე.



ნახ. I.28. ქვაბული ინჟინრული დამცავი ნაგებობის მონიტორინგი

სურათებზე: I.29; I.30; I.31; I.32; I.33; I.34; გამოსახულია მონიტორინგის ტექნიკური საშუალებების გამოყენება და მონტაჟი.



ნახ. I.29. შენობის ვიბრომედეგობის კონტროლი



ნახ. I.30. DSM სისტემის ჰიდრაულიკური შეერთების კვანძი გრუნტის ჯდენის კონტროლისათვის



ნახ. I.31. ვერტიკალური გადახრის შუქურა-მრიცხველის საბაზო ნაწილი



ნახ. I.32. ბზარის მზომი დამონტაჟებულია პირაპირის სტაბილურობის კონტროლისათვის



ნახ. I.33. ძაბვის ტენზომეტრული მრიცხველი, დამონტაჟებულია ლითონის კონსტრუქციაზე



ნახ. I.34. ბეტონის დაძაბულობის მრიცხველი, დამონტაჟებულია ლითონის სამონტაჟო ნიშაში ცემენტის ხსნარის ჩასხმამდე

## I.7.4. გადაწყვეტილებები შენობებისა და ნაგებობების საექსპლუატაციო და სადისპეტჩერო სამსახურებისათვის

### I.7.4.1. შესავალი

ამჟამად მთელ მსოფლიოში წარმატებით ვითარდება შენობებისა და ნაგებობების ექსპლუატაციის მომსახურების ბაზარი. ამას მოწმობს საექსპლუატაციო კომპანიების შექმნა და განვითარება მსხვილ სამშენებლო ფირმებთან და მიღებული ფედერალური მიზნობრივი პროგრამა „საცხოვრებელი“ 2002-2010 წლებისათვის, რომელშიც აღინიშნება გადასვლა ხელშეკრულებით ურთიერთობებზე საბინაო-კომუნალური მეურნეობის ექსპლუატაციის დარგში 2011 წლისთვის. ამასთან დაკავშირებით, მუშაობენ რა მკაცრი კონკურენციის პირობებში, საექსპლუატაციო კომპანიებმა მაქსიმალურად ეფექტურად უნდა მართონ თავისი საქმიანობა და ააგონ ურთიერთობები კლიენტებთან. ეს ამოცანები წარმატებით ვერ გადაწყდება ავტომატიზაციის გარეშე. ავტომატიზაციის დარგში უნიკალურ შესაძლებლობებს გვთავაზობს გეოინფორმაციული სისტემები, რომლებსაც აქვს მარტივი და გასაგები გრაფიკული სამომხმარებლო ინტერფეისი. გეოინფორმაციული ტექნოლოგიები წარმატებით გამოიყენება სხვადასხვა დარგში, მათ შორის, უძრავი ქონების მართვაში და გვთავაზობს სივრცითი და სიტუაციური ანალიზის მძლავრ საშუალებებს, რაც მნიშვნელოვანი ნაწილია შენობებისა და ნაგებობების საექსპლუატაციო და სადისპეტჩერო სამსახურებისათვის.

გადაწყვეტილების სახელწოდება

შენობებისა და ნაგებობების საექსპლუატაციო სამსახურების

საინფორმაციო სისტემა

მიზანი

შენობებისა და ნაგებობების ექსპლუატაციის ეფექტურობის ზრდა.

დანიშნულება

შენობებისა და ნაგებობების ექსპლუატაციის პროცესის ავტომატიზაცია.

ეფექტურობა

1. საექსპლუატაციო ობიექტების შესახებ ინფორმაციის შეკრების და ანალიზისთვის საჭირო დროის და ფინანსური დანახარჯების შემცირება;
2. მმართველობითი გადაწყვეტილებების მიღების ხარისხის და ოპერატიულობის ზრდა;
3. სტრატეგიული დაგეგმვის განხორციელების შესაძლებლობა საექსპლუატაციო ობიექტის შესახებ ინფორმაციის სრული კონსოლიდირებული ინფორმაციის საფუძველზე.
4. შტატგარეშე სიტუაციაზე რეაგირების ოპერატიულობის ზრდა;
5. კლიენტების მომსახურების ოპერატიულობისა და ხარისხის ზრდა.

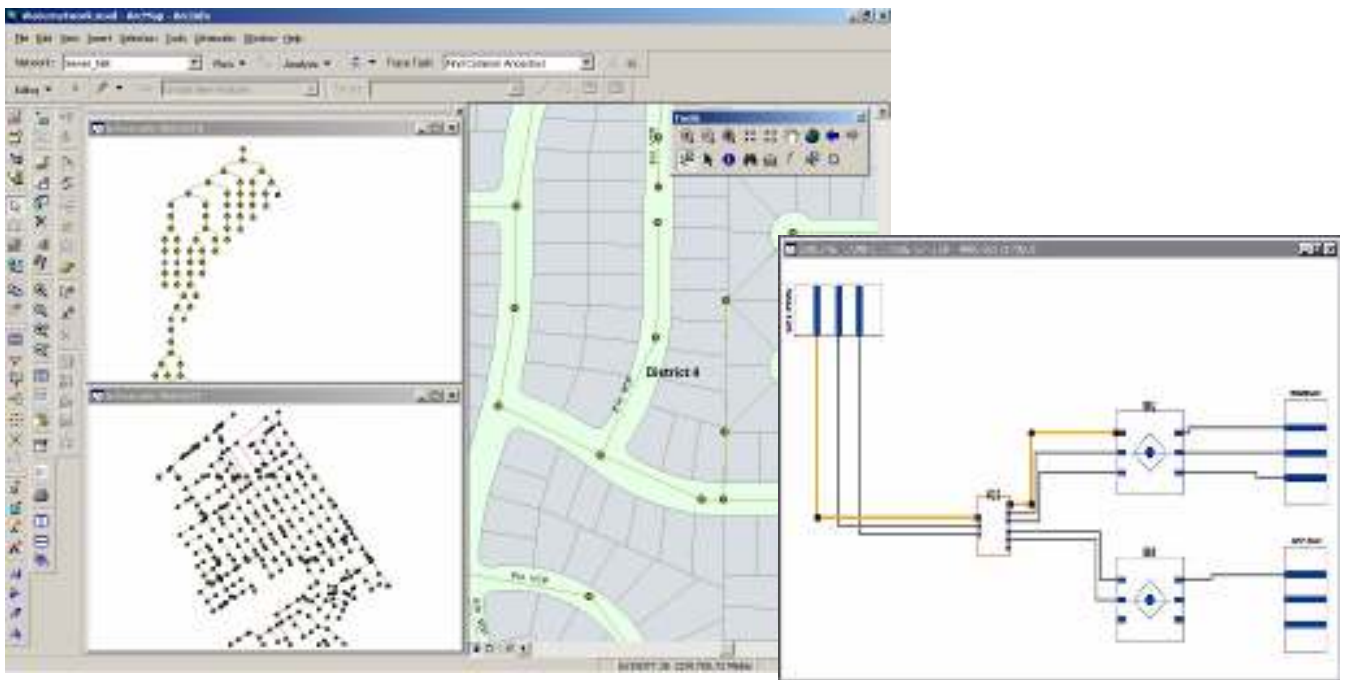
გადაწყვეტილების არსი.

გადაწყვეტილების არსი მდგომარეობს საექსპლუატაციო და სადისპეტჩერო სამსახურების ერთიანი საინფორმაციო სისტემის შემუშავებაში, უძრავი ქონების ექსპლუატაციის და დისპეტჩერიზაციის ეფექტური მართვის მიზნით.

საექსპლუატაციო და სადისპეტჩერო სამსახურის ერთიანი ინფორმაციული სისტემა საშუალებას იძლევა გადაწყდეს იმ ამოცანათა ფართო სპექტრი, რომლებიც მიმართულია შენობებისა და ნაგებობების ექსპლუატაციის ეფექტურობის ზრდისკენ. გადასატრეული პრობლემათა შორის არის აღჭურვილობის ტექნიკური მომსახურების და რემონტის ამოცანები, ობიექტებისა და აღჭურვილობის დისპეტჩერიზაცია, მართვა და აღრიცხვა, სამუშაოთა მართვა, დაგეგმვა და კონტროლი, სასაქონლო-მატერიალური მარაგის მართვა და სხვა.

### 1.7.4.2. აღჭურვილობის ტექნიკური მომსახურება და რემონტი

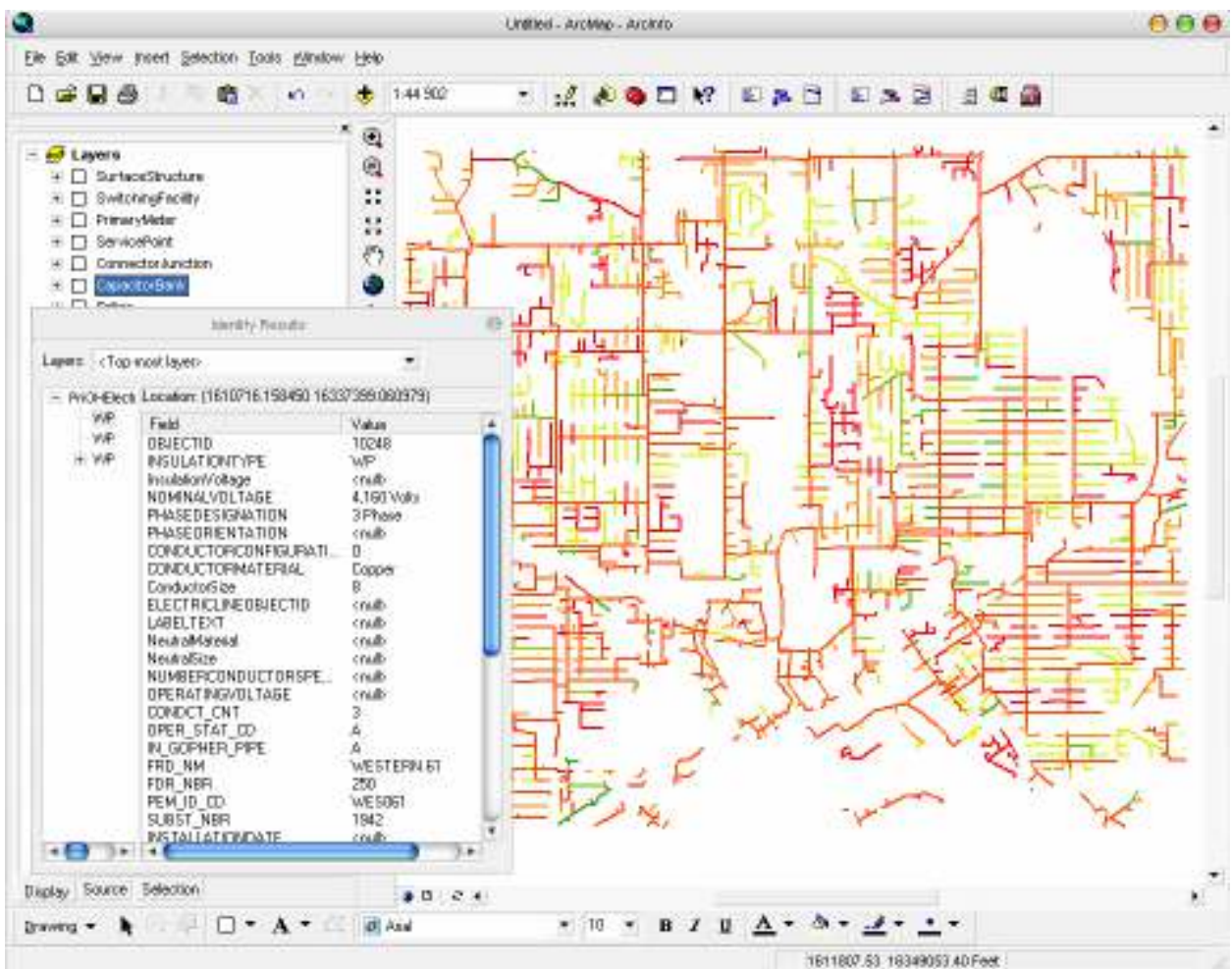
აღჭურვილობის ტექნიკური მომსახურება და რემონტის პროცესების კომპლექსური ავტომატიზაცია საშუალებას იძლევა უფრო ეფექტურად დაგეგმოს კაპიტალური რემონტების ვადები, განვახორციელოთ სამუშაოთა შესრულების მონიტორინგი, ჩავატაროთ აღჭურვილობის ტექნიკური პასპორტიზაცია, ვმართოთ აღჭურვილობისა და მასალების დოკუმენტაცია და საგარანტიო ვალდებულებები, აგრეთვე გადავჭრათ ტექნიკურ ექსპლუატაციასთან დაკავშირებული სხვა საგნობრივი საკითხები.



ნახ. 1.35. ინფორმაციულ სისტემაში აღჭურვილობის ტექნიკური ინფორმაციის შენახვის და გამოყენების მაგალითი

### 1.7.4.3. სადისპეტჩერო სისტემები

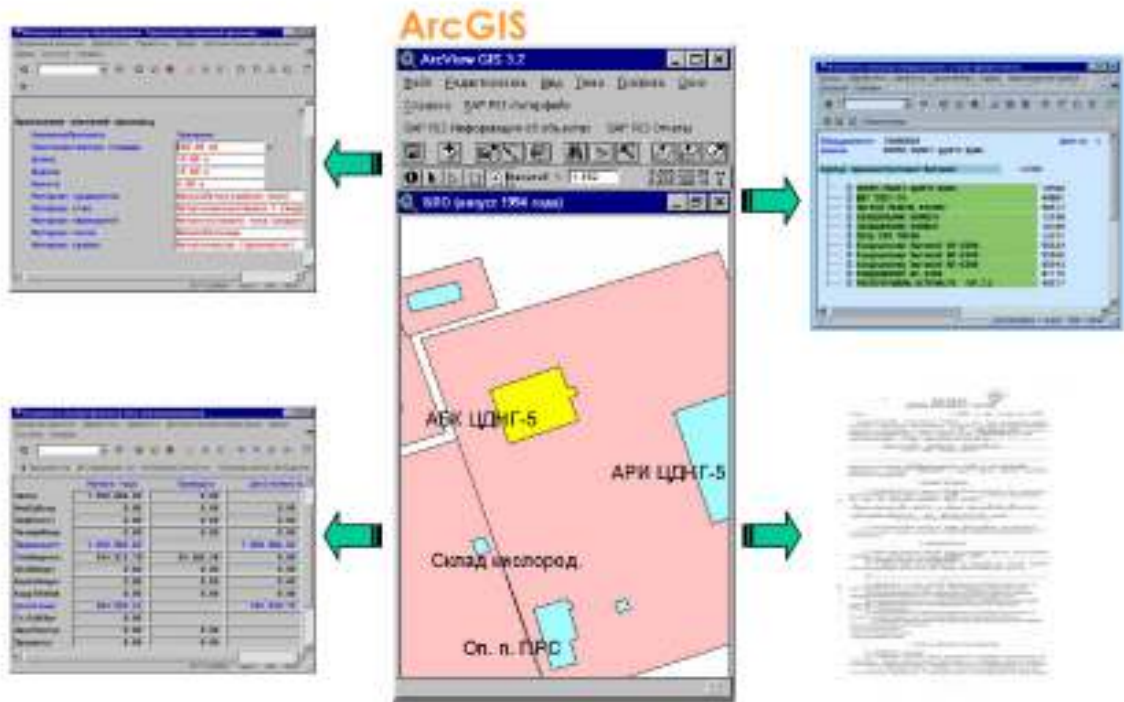
საექსპლუატაციო სამსახურებში სადისპეტჩერო სამსახურების აგება ზრდის უძრავი ქონების და ობიექტების ფუნქციონირების უსაფრთხოებისა და საიმედოობის დონეს. სადისპეტჩერო სისტემები საშუალებას იძლევა განვახორციელოთ აღჭურვილობის მუშაობის მონიტორინგი დროის რეალურ მასშტაბში, აგრეთვე შენობების და ნაგებობების ტექნიკურ მდგომარეობის მონიტორინგი. სადისპეტჩერო სისტემების შექმნა ხელს უწყობს ავარიული სიტუაციების თავიდან აცილებას და საგანგებო სიტუაციებზე ოპერატიულ რეაგირებას.



ნახ. 1.36. ელექტროქსელზე დატვირთვის მონიტორინგის მაგალითი ოპერატორთან

### I.7.4.4. ობიექტების და აღჭურვილობის მართვა და აღრიცხვა

ობიექტების და აღჭურვილობის აღრიცხვის პროცესის ავტომატიზაცია მდგომარეობს საექსპლუატაციო სამსახურის ინფორმაციულ სისტემაში ტექნოლოგიური აგრეგატების, მექანიზმების, წყალგაყვანილობის, გაზგაყვანილობისა და ელექტრული ქსელების, ცალკეული საექსპლუატაციო შენობების და ნაგებობების და სხვა შესაძლო ობიექტების შესახებ ინფორმაციის შეგროვებაში, შენახვასა და შეყვანაში. ობიექტების და აღჭურვილობის შესახებ დოკუმენტაციის ხელშეკრულებებისა და სხვა დოკუმენტების შენახვა ერთიან ინფორმაციულ სისტემაში საშუალებას იძლევა ცენტრალიზებულად ემართოს საექსპლუატაციო სამსახურის დოკუმენტბრუნვის პროცესი.



ნახ. I.37. გრაფიკული და ატრიბუტული ინფორმაციის ცენტრალიზებული შენახვა

### I.7.4.5. მუშაობის მართვა, დაგეგმვა და კონტროლი

მუშაობის მართვის, დაგეგმვისა და კონტროლის ავტომატიზაცია საექსპლუატაციო სამსახურს საშუალებას აძლევს უფრო ეფექტურად დაგეგმოს სამუშაოები, გაანაწილოს ადამიანური და მატერიალური რესურსები, გააკონტროლოს სამუშაოების შესრულების მიმდინარეობა, მოამზადოს საანგარიშო დოკუმენტები.





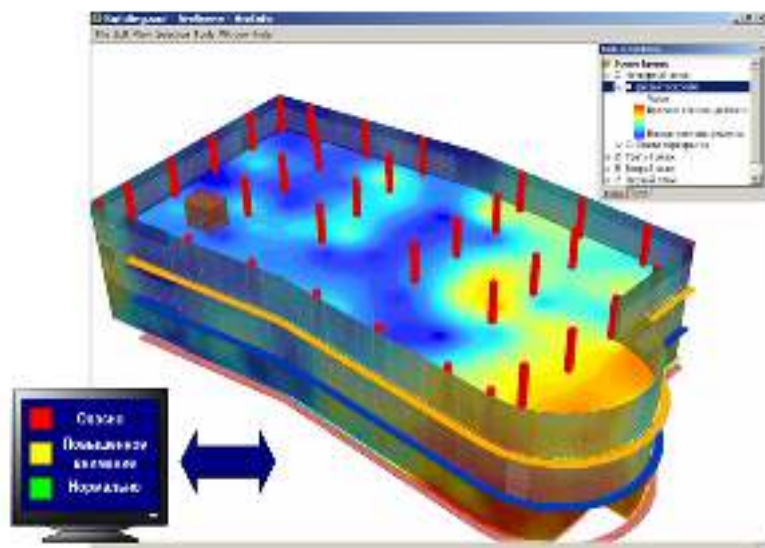
რესურსების შესახებ, რაც მყისიერად აისახება საექსპლუატაციო სამსახურის დისპერჩერის ეკრანზე.



ნახ. I.39. მობილური მოწყობილობები

### 1.7.5. შენობებისა და ნაგებობების ტექნიკური მდგომარეობის ავტომატიზირებული მონიტორინგი

გეოინფორმაციული ტექნოლოგიები საშუალებას იძლევა დროის რეალურ მასშტაბში აისახოს ნებისმიერი საგნობრივ-თემატური ინფორმაცია შენობის ორი და სამგანზომილებიან მოდელზე. ასეთი ინფორმაციის სახით გამოდის შენობის დეფექტოსკოპია, რომელიც რეალურ დროში SCADA კლასის სისტემით აისახება მართული სენსორების სისტემის საშუალებით.



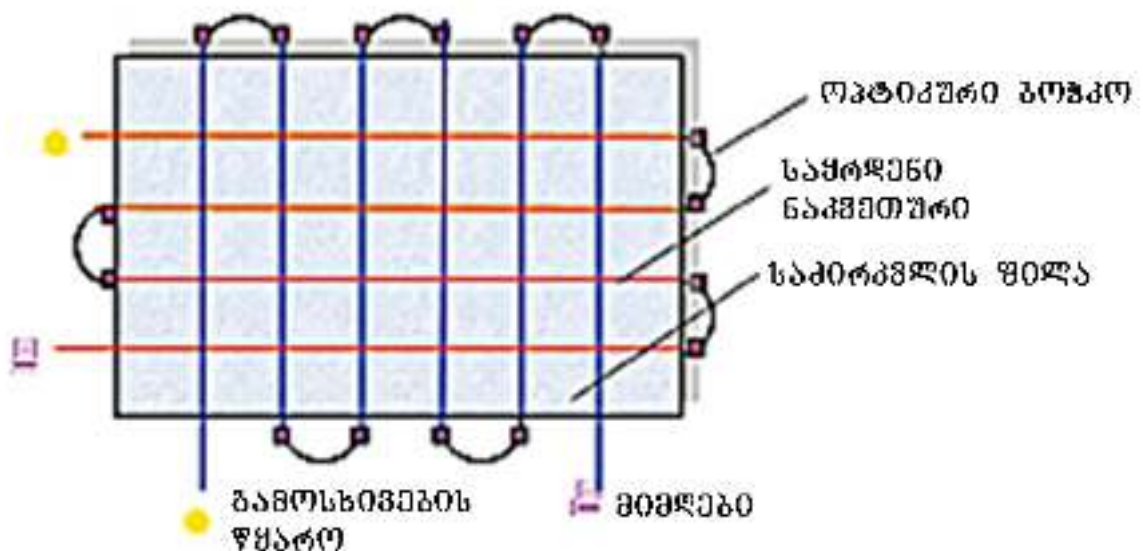
ნახ. I.40. შენობის დეფექტოსკოპია

## I.7.6. ინტეგრაციის შესაძლებლობები

გეოინფორმაციული სისტემები ღიაა ისეთ გარე სისტემებთან ინტეგრირებისთვის, როგორცაა SCADA, ERP და სხვა ღია სისტემებთან არსებული ღია პროტოკოლების ბაზაზე. ინტეგრაციის შესაძლებლობა საშუალებას იძლევა გრაფიკული სახით თვალსაჩინოდ ავსახოთ და გავაანალიზოთ ნაგებობების, კომპლექსების და საწარმოების ყველა ავტომატიზებული სისტემის ინფორმაცია.

## I.7.7. პრაქტიკული ამოცანები სამშენებლო მონიტორინგის სისტემის ორგანიზებაზე

ოპტიკური ცენტრი. ოპტიკურ-ბოჭკოვანი სენსორების კომპლექსი წარმოადგენს ოპტიკურ ტესტებს, რომელიც უზრუნველყოფს კონტროლის იაფ საშუალებას „ნორმა-განგაშის“ პრინციპით, რომლის ძირითადი ელემენტია ოპტიკურ-ბოჭკოვანი შუქსატარი. შუქსატარის გაყვანის ტოპოლოგია საშუალებას იძლევა მოვიცვათ ფუნდამენტის ფილის ან სხვა გასაანალიზებელი კონსტრუქციის მთელი მოცულობა. ფუნდამენტის ფილაში ჩასამაგრებლად შუქგამტარს არმატურის ღეროებზე დააბამენ ქვემოდან, ბეტონის მასის ჩასხმამდე. ფუნდამენტის ფილაში შუქგამტარის გაყვანის შესაძლო ტოპოლოგია ნაჩვენებია ნახ-ზე I41.



ნახ. I41.

ოპტიკურ ბოჭკოვანი სენსორების კომპლექსი შედგება სამი ძირითადი ნაწილისგან:

- გამოსხივების წყარო;
- ოპტიკურ-ბოჭკოვანი შუქსატარი;
- ოპტიკური სიმძლავრის საზომი (მიმღები).

შუქდიოდის შემცველი გამოსხივების წყარო გამოასხივებს სინათლის სხივს, რომელიც შუქსატარში გავლის შემდეგ რიგი მიზეზების გამო კარგავს თავის ნაკადის გარკვეულ ნაწილს, კერძოდ შუქსატარზე გარეშე ზემოქმედების შედეგად.

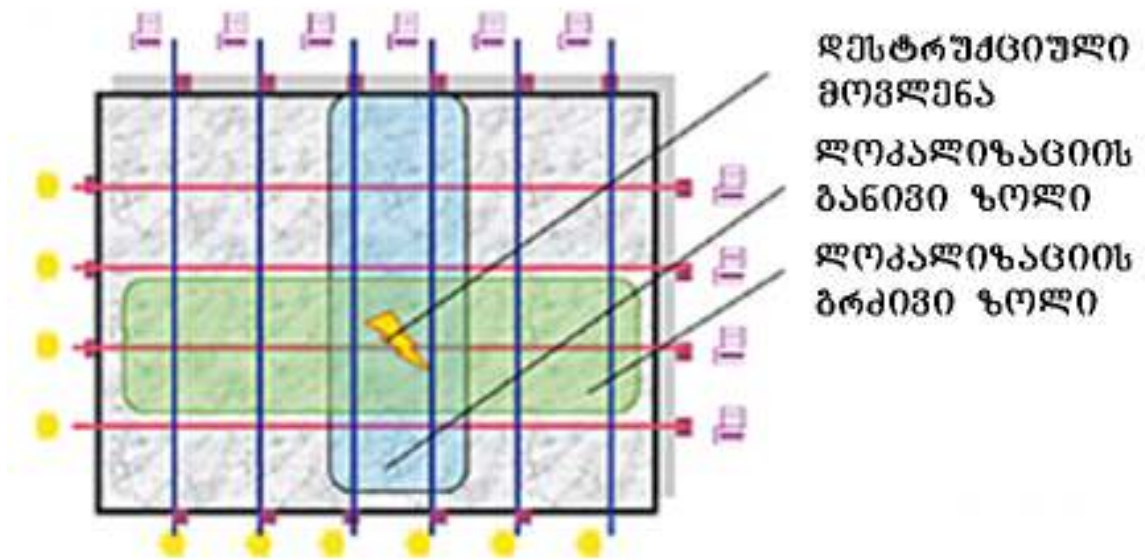
შუქსატარზე ნებისმიერი მექანიკური ან სითბური ზემოქმედება იწვევს მისი ფორმის გეომეტრიულ ცვლილებას ან მიკროდაზიანებას. რაც ავტომატურად იწვევს გამზომის მიერ ფიქსირებული სინათლის ნაკადის სიმძლავრის ნაკადის სიმძლავრის ცვლილებას. სწორედ, ამაზეა დამყარებული კონსტრუქციის გასაკონტროლებელი ფრაგმენტის მონიტორინგის პრინციპი, რაც რეალიზებულია ოპტიკურ-ბოჭკოვანი სენსორებით. მოცემული კრიტიკული მნიშვნელობის მიღწევისას, რაც მიუთითებს კონსტრუქციის რომელიმე ადგილში ზღვრული მექანიკური ან სითბური დატვირთვის არსებობაზე, ოპტიკურ-ბოჭკოვანი სენსორების კომპლექსი სიგნალს ოპერატორს სიგნალების დამუშავების ელექტრონული ბლოკის გავლით აწვდის ავარიული სიტუაციის შესახებ.

ამასთან, გაწყვეტის შემთხვევაშიც კი შუქსატარის ცალკეული დაზიანებული ნაჭრები სრულფასოვნად მუშაობს, როგორც სენსორი რეფლექტომეტრების გამოყენებისას – ხელსაწყოები, რომლებიც აანალიზებენ უკუგაბნეული გამოსხივების სხვადასხვა სახეობებს. პოტენციურად, ოპტიკურ-ბოჭკოვანი სენსორების კომპლექსს შეუძლია შეასრულოს უფრო მასშტაბური ამოცანაც, ვიდრე უბრალო სიგნალი ავარიული სიტუაციის შესახებ ფუნდამენტის ფილაში, როგორც საკონტროლო ობიექტის ხარისხის გაუარესების ინტეგრალური მაჩვენებელი.

განვიხილოთ ნახ-ზე I.42 წარმოდგენილი შუქსატარის გაყვანის ტოპოლოგია. აქ შემოთავაზებულია ოპტიკურ-ბოჭკოვანი სენსორების კომპლექსის ვარიანტი სინათლის ორი წყაროთი და ოპტიკური სიმძლავრის ორი გამზომით (პირობითად ორი სხვადასხვა ოპტიკურ-ბოჭკოვანი ქსელი აღნიშნული წითელი და ლურჯი ფერით). შუქსატარის საყრდენი მონაკვეთის თითოეული წყვილი შეერთებულია ოპტიკური შემაერთებლით, რომელიც გამოტანილია ფუნდამენტის ფილის ზედაპირზე.

ავარიული სიგნალის შემოსვლისას, რაც ნიშნავს ოპტიკურ-ბოჭკოვან ქსელში ოპტიკური სიმძლავრის დაცემას კრიტიკულ დონემდე, ოპერატორი შეუდგება ავარიული მოვლენის ადგილის განსაზღვრას. ამისთვის იგი ხსნის ოპტიკურ შემაერთებლებს და თანამიმდევრობით გაატარებს სინათლის სიგნალს გრძივი და განივი ქსელის თითოეულ საყრდენ შუქსატარში, ოპტიკური სიმძლავრის შესაბამისი გაზომვით. შუქსატარის ყველა საყრდენი მონაკვეთის ტესტირების დასრულების შემდეგ განისაზღვრება გრძივი და განივი ქსელის ის შუქსატარები, რომელთა გავლენის ზონაშიც მოხდა ავარიული

მოვლენა. აღმოჩენილი ზონების (ზოლების) გადაკვეთა აფიქსირებს ავარიული მოვლენის ადგილს (ნახ. I.42).

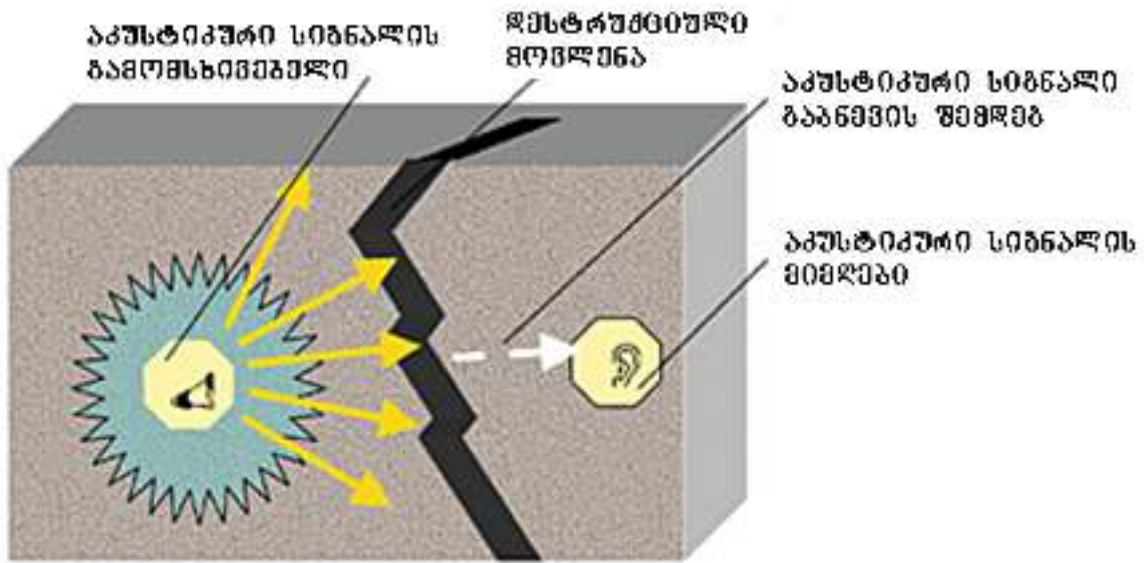


ნახ. I.42.

### I.7.8. მონიტორინგის სისტემის ორგანიზება პიეზოკერამიკული სენსორების ბაზაზე

პიეზოკერამიკული სენსორების კომპლექსი წარმოადგენს აკუსტიკური გამოსხივებლებისა და მიმღებების „ბუჩქების“ ოჯახს, რომელიც ფუნდამენტის ფილაში თავსდება მისი ჩამოსხმის დროს. ბუჩქის თითოეული ელემენტი ელექტროსხივებითაა უზრუნველყოფილი ოპერატორისკენ გარე ზონაში გამოყოფილი ელექტრისადენის საშუალებით. აკუსტიკური სიგნალი აღიქვება გამომსხივებლიდან და ვრცელდება ფუნდამენტის ფილის მთელ გარემოში.

პიეზოკერამიკული სენსორების კომპლექსის მოქმედების ფიზიკური სქემა შემდეგში მდგომარეობას. წყაროს მახონდირებელი გამოსხივება ვრცელდება უშუალოდ საკონტროლო ფუნდამენტის ფილაში (ნახ. I.43) და საშუალებას იძლევა ინფორმაცია მივიღოთ ბეტონის დრეკადობის მახასიათებლების განაწილების შესახებ, დარტყმით სიბლანტეზე, შიგა დაძაბულობებზე, გრანულომეტრულ შემადგენლობასა და ბეტონის მახასიათებლების ცვლილებაზე.



ნახ. I.43

ასეთ ცვლილებებს უნდა მივაკუთვნოთ შემდეგი მოვლენები:

- არმატურის კოროზია;
- ბეტონის მიერ სიმტკიცის აკრეფა;
- ფუნდამენტის ფილის გლობალური დესტრუქცია;
- ლოკალური ღრმულების წარმოქმნა;
- მიკრობზარების ჩასახვა;
- მაგისტრალური ბზარების განვითარება.

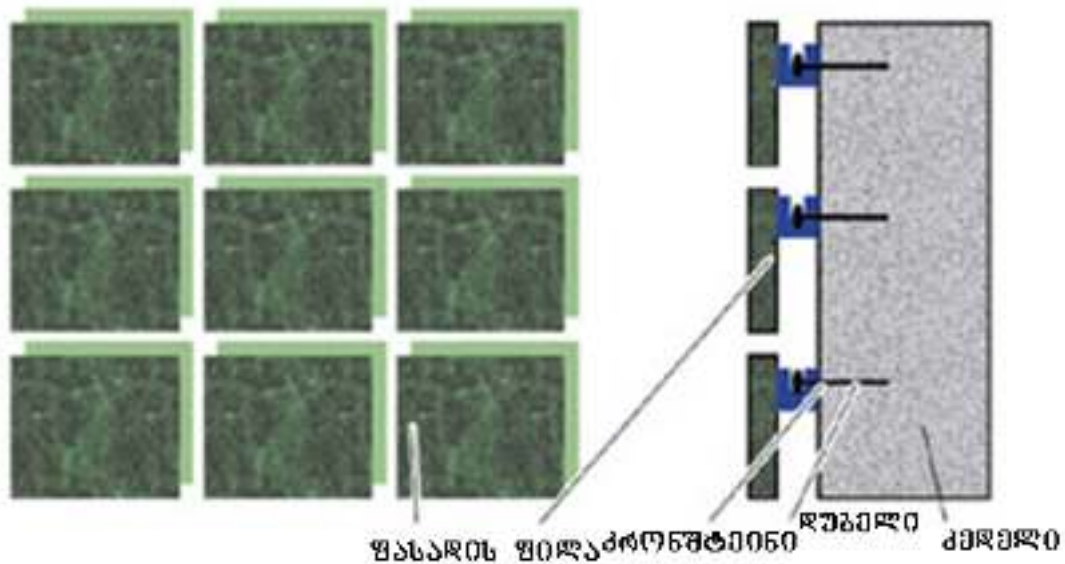
სიგნალების დამუშავების ელექტრონულ ბლოკს აქვს კრიტერიუმი დაკალიბრებული მნიშვნელობების საფუძველზე, რომლის თანახმად აკუსტიკური სიგნალის ანალიზის ინტეგრალური კოეფიციენტი არ უნდა გასცდეს ტაბულირებულ საზღვრებს. მოცემული საზღვრების მიღწევის შემთხვევაში, პიეზოკერამიკული სენსორების კომპლექსი სიგნალს აძლევს ოპერატორს ავარიული სიტუაციის შესახებ.

### **I.7.9. სამშენებლო მონიტორინგის სისტემის ორგანიზების პრაქტიკული ამოცანები**

ფასადური სისტემების მდგომარეობის მონიტორინგი ამპლიტუდური ოპტიკურ-ბოჭკოვანი სენსორების ბაზაზე.

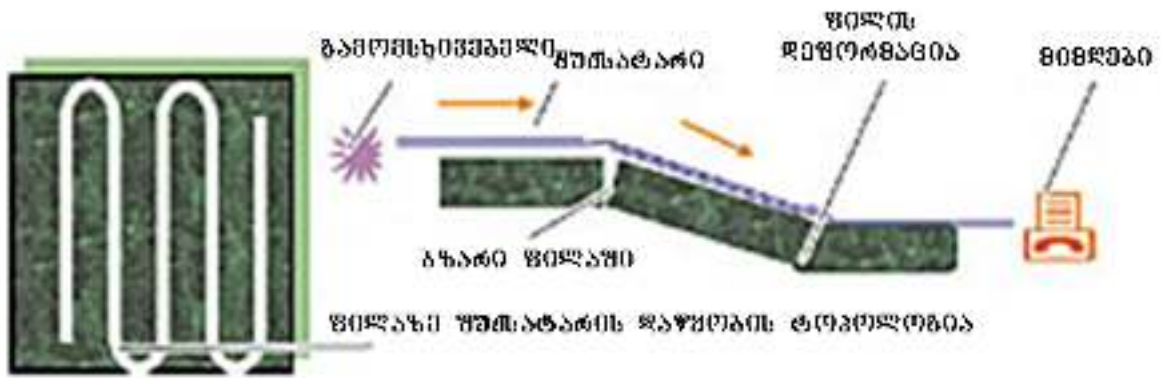
ფასადის კონსტრუქციების მონიტორინგის სისტემის შესაქმნელად შესაძლებელია ოპტიკურ-ბოჭკოვანი სენსორული სისტემების შემუშავება, რომლებიც კონკრეტულად იქნება ორიენტირებული მშენებელი ინჟინერების მიერ დასახულ ამოცანებზე. ამ შემთხვევაში სასურველია გამოვიყენოთ ამპლიტუდური ოპტიკურ-ბოჭკოვანი სენსორების ბაზაზე სპეციალურად შექმნილი მონიტორინგის სისტემა და არ გამოვიყენოთ

შესაძლებლობების ფართო სპექტრის მქონე ხელსაწყოები. შედეგად, ფასადის კონსტრუქციების მონიტორინგის სისტემის მომხმარებლებს ექნებათ ინსტრუმენტი, რომელიც გააკონტროლებს მხოლოდ საჭირო პარამეტრებს საჭირო სიზუსტით, რომელსაც გონივრული ღირებულება ექნება.

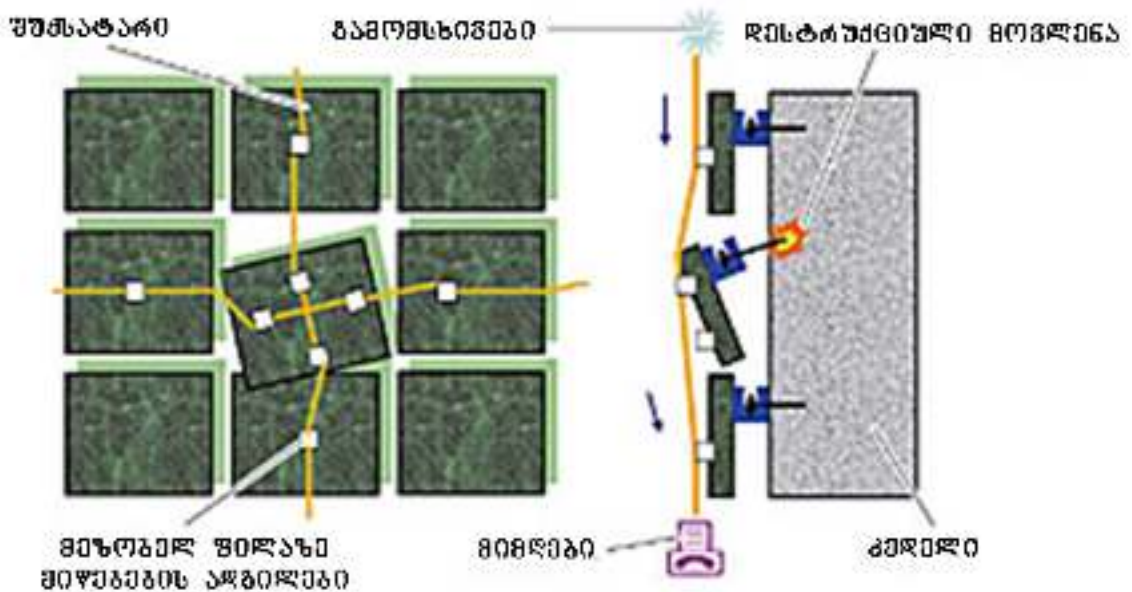


ნახ. I.44.

ერთ-ერთი ვარიანტის სახით განვიხილოთ ფილემით მოპირკეთებული ფასადი (ნახ. I.44). გადაადგილების და დეფორმაციის ოპტიკურ-ბოჭკოვანი სენსორების დაყენება შესაძლებელია, როგორც ფასადის მონტაჟისას, ასევე საექსპლუატაციო კონსტრუქციაზეც. რადგან ფასადი შედგება გარკვეული რაოდენობის ფილებისგან, ამიტომ კონტროლის ბაზისურ ობიექტად შეიძლება ავირჩიოთ ერთ-ერთი მათგანი. ფილას შეიძლება ჰქონდეს ავარიული მოვლენის ორი ვარიანტი: წანაცვლება კრონშტეინის შესუსტების გამო ან თვით ფილის დეფორმაცია და როგორც შედეგის ზედაპირზე ბზარის წარმოქმნა ან განვითარება. ბუნებრივია, შესაძლებელია ამ ორი სიტუაციის ერთობლივი განვითარების ვარიანტიც (ავარიული მოვლენების ზედდება ან სუპერპოზიცია). ამ სიტუაციების გასაკონტროლებლად საკმარისია გვექონდეს მრავალარხიანი ოპტიკური ტესტერისებრი სენსორი, რომლის შუქსატარები მიწებებულია გასაკონტროლებელი ფილის ზედაპირზე. თუ ავირჩევთ ფილაზე შუქსატარების განლაგების ტოპოლოგიას, მივიღებთ დეფორმაციის სენსორს (ნახ. I.45). ფარდობითი წანაცვლების განსაზღვრისათვის უნდა მივაწვებთ ორი შუქსატარი – ერთი ჰორიზონტალური და მეორე ვერტიკალური მიმართულებით ისე, რომ გასაკონტროლებელი ფილის გარდა, შუქსატარი მიწებებული იყოს უახლოეს შეერთებებზეც (ნახ. I.46).



ნახ. I45.



ნახ. I46.

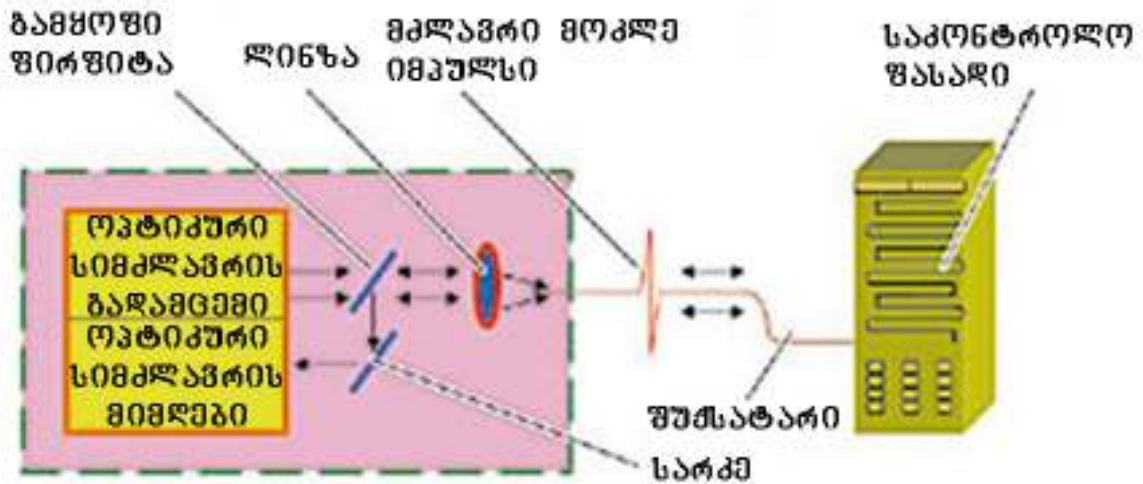
დეფორმაციის და წანაცვლების სენსორის მოქმედების პრინციპი დამყარებულია წყაროდან გაგზავნილი და შექსატარში გავლილი სინათლის გამოსხივების ოპტიკური სიმძლავრის კონტროლზე. ოპტიკური სიმძლავრის გამზომი საშუალებას იძლევა გასაკონტროლებელი ფილის დეფორმაციის ან წანაცვლების ხარისხის მიხედვით დავაფიქსიროთ გარდაქმნილი ოპტიკური სიგნალის გამოსავალი ძაბვა.

შედეგად სენსორი, საპროექტო მდებარეობიდან დაუშვებელი გადახრის არსებობის შემთხვევაში სიგნალს იძლევა ავარიული მოვლენის შესახებ, რადგან ადგილი ექნება გამოსავალი ძაბვის შემცირებას ექსპლუატაციის უსაფრთხო პირობების შესაბამის ზღვარზე დაბლა. ზემოთქმული ეხება როგორც წანაცვლების სენსორებს, ასევე დეფორმაციის სენსორებსაც, რომლებსაც შეუძლია აკონტროლოს ფასადის სისტემის ნებისმიერი სხვა ელემენტი.

ფასადის ელემენტების დეფორმაციისა და წანაცვლების მონიტორინგის სისტემის, ასევე მარტივად და ადვილად ორგანიზება უზრუნველყოფს ავარიული მოვლენის დაწყების ზუსტ ფიქსირებას. ამ ფაქტის გათვალისწინებით, რომ ოპტიკურ



შუქსატარს მაღალი სიმტკიცე და მაღალი მგრძობიარობა ახასიათებს მისი გეომეტრიული ზომის და ფორმის ცვლილების მიმართ (გაჭიმვის ან შეკუმშვის შემთხვევაში, მიკროგადახრების, მიკრობზარების და წყვეტების გაჩენისას), შემოთავაზებული სენსორი ოპტიკური ტესტერის ბაზაზე გვაძლევს მონიტორინგის იაფ და ხარისხიან ინსტრუმენტს.



ნახ. I.47.

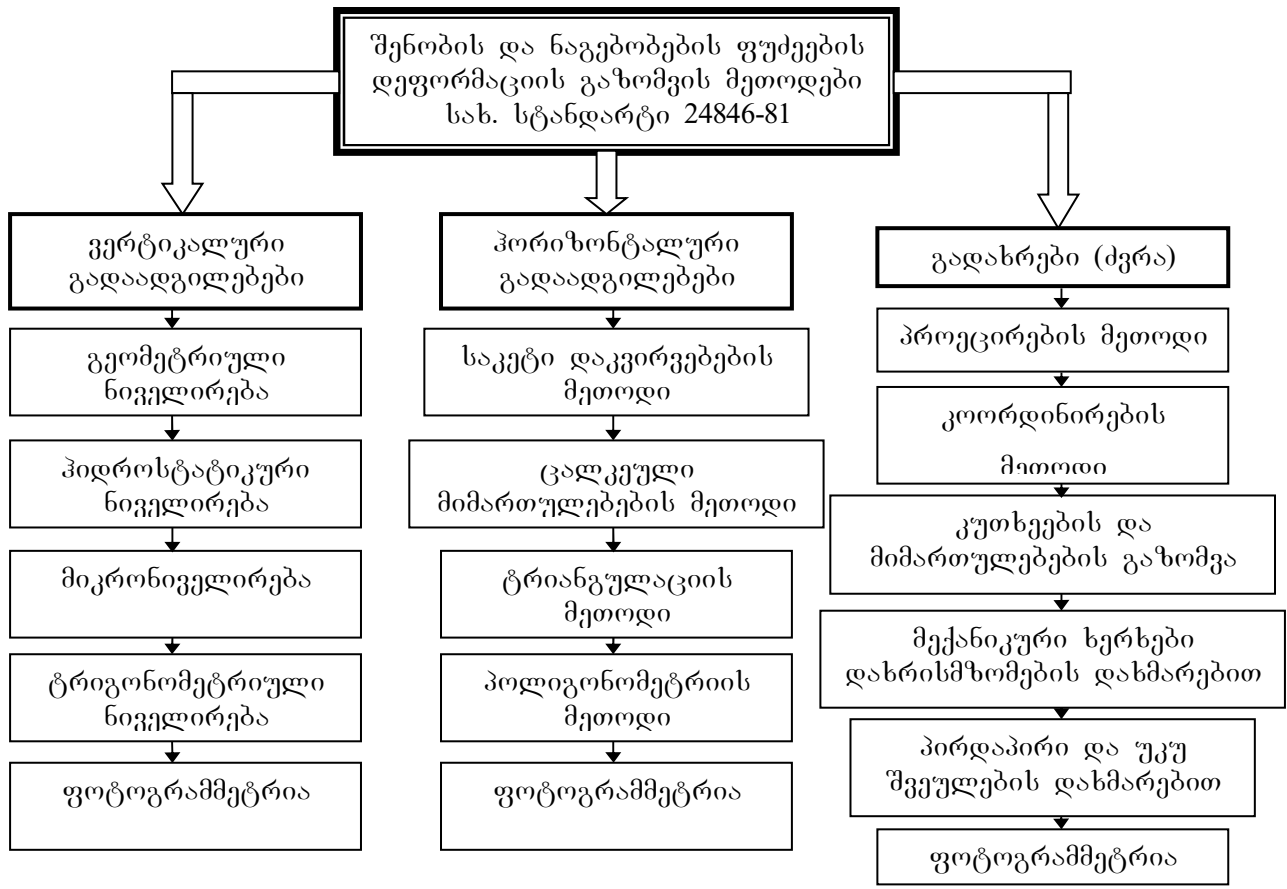
საჭიროების შემთხვევაში შესაძლებელია კონტროლის სისტემის მოდიფიცირება ნებისმიერი სხვა ფასადისთვის. ამასთან, ოპტიკური ბოჭკო მიწებებულია ფასადის მთელს ზედაპირზე საკონტროლო ზონის მაქსიმალური დაფარვით (ნახ. I.47). ამგვარი მეთოდით საშუალებას იძლევა გამოვიყენოთ უფრო რთული, მაგრამ გაცილებით მგრძობიარე ინტერფერომეტრული სქემები. ამ შემთხვევაში, ოპტიკური შუქსატარის მდგომარეობის დიაგნოსტიკა, როგორც წესი, ხდება სხვადასხვა ტიპის რეფლექტომეტრებით. რომლებიც საშუალებას იძლევა გავაანალიზოთ შუქსატარში პირუკუ გაბნეული სინათლის გამოსხივების ნაირსახეობები: რელეის, რომანოვის და ბრილუენტოვის.

## I.8. შენობების და ნაგებობების სივრცითი დეფორმაციის მონიტორინგი

ახალი მშენებლობის გავლენის ზონაში ან ბუნებრივ-ტექნოგენური ზემოქმედებით გამოწვეული საფუძვლის გრუნტის არათანაბარი ჯდომის გავლენის ქვეშ მყოფი შენობების სივრცით დეფორმაციაზე გეოდეზიური დაკვირვების ტრადიციული ტექნოლოგია ითვალისწინებს პერიოდული სამუშაოების ჩატარებას ვერტიკალური (ჯდომა) და ჰორიზონტალური (ძვრა) გადაადგილებების ცალ-ცალკე განსაზღვრისათვის, და აგრეთვე გადახრების გაზომვას.

ნაგებობის და მათი ელემენტების გადაადგილებები შეიძლება განისაზღვროს სხვადასხვა მეთოდებით [1], რომელიც მოცემულია სქემაზე (ნახ. I.48). მეთოდის შერჩევა

დამოკიდებულია დეფორმაციის ხასიათზე გაზომვის სიზუსტის კლასის მოთხოვნებზე, აგრეთვე გეოდეზიური სამუშაოების ჩატარების პირობებზე.



ნახ. I48. შენობების და ნაგებობების ფუძეების დეფორმაციის გეოდეზიური გაზომვის მეთოდები

**ვერტიკალური გადაადგილებები.** სამოქალაქო და საზოგადოებრივი დანიშნულების ნაგებობების უმეტესობისათვის მათი კონსტრუქციების ტექნიკური მდგომარეობის მონიტორინგის ფარგლებში ფუძეების არათანაბარი დეფორმაციის გაზომვის ძირითად მეთოდად იყენებენ **გეომეტრიულ ნიველირებას**, რაც ითვალისწინებს ნაგებობების ფუძის დონეზე დადგენილი გაზომვების ციკლების მიხედვით ჯდომის მანიშნების ვერტიკალურ გადაადგილებებზე დაკვირვებას, ეს მეთოდი დღეისათვის ფართოდ გავრცელებულია თავისი ღირსებების წყალობით, როგორცაა გაზომვების სიზუსტე და სიმარტივე, სამუშაოების შესრულების შესაძლებლობა ნებისმიერი გარე პირობების მიუხედავად, ხელმისაწვდომობა, ხელსაწყოების კომპაქტურობა.

მანიშნებს შორის პირდაპირი ხილვადობის არ არსებობის პირობებში, გაზომვის შეზღუდული სივრცის შემთხვევაში მიზანშეწონილია **ჰიდროსტატიკური ნიველირების** გამოყენება, რომელსაც აქვს გაზომვის დიდი სიზუსტე და აგრეთვე საშუალებას იძლევა გამოყენებული იქნას ავტომატიზებული სტაციონალური სისტემები ინფორმაციის დისტანციური ჩაწერით. არსებობს ვიდეოგამზომი ჰიდროსტატიკური გაზომვის სისტემები სხვადასხვა სიმაღლის ჰორიზონტების გასაზომად. ერთმანეთის სიახლოვეს

განლაგებული წერტილების ჯდომაზე (0.01 მმ) დაკვირვების მაღალ საიმედოობას უზრუნველყოფს **მიკრონიველირება**. სიმაღლის მკვეთრი ცვლილებების პირობებში, ძნელად მისადგომ ადგილებში განთავსებული გადასაღები წერტილების არსებობისას, აგრეთვე წინააღმდეგობებისას ნიველირების წარმოებისას იყენებენ **ტრიგონომეტრიულ ნიველირებას**.

**ჰორიზონტალური გადაადგილებები.** ჰორიზონტალური გადაადგილებების გამოვლენა წარმოებს ობიექტის შესაბამისი წერტილების გეგმური კოორდინატების სხვადასხვაობის მიხედვით დაკვირვების სხვადასხვა ციკლებისას. **საკეტი გაზომვები** გამოიყენება სწორხაზოვანი ნაგებობების ან მათი ცალკეული ნაწილების ძერის მიმართულების შესახებ ინფორმაციის არსებობისას. საკეტი გაზომვების ტრადიციულ ხერხებს მიეკუთვნება მცირე კუთხეების მეთოდი (საკეტის მომიჯნავე წერტილებს შორის პოლარული დაშორებების და მცირე კუთხის გაზომვა), მოძრავი მარკის მეთოდი (მოძრავი მარკის მეშვეობით საკეტი გადაადგილებების განსაზღვრა). **ცალკეული მიმართულებების მეთოდი** გამოიყენება საკეტი ჩამაგრების შესაძლებლობის არსებობისას, ამასთან იზომება ნაგებობებზე და საყრდენ პუნქტებზე დამაგრებული მარკების მიმართულებებს შორის კუთხეები.

**გადახრები (ძვრები).** გადახრების და ღუნვის შესახებ მონაცემებს იღებენ ნაგებობის საძირკვლის და კორპუსის მდებარეობაზე დაკვირვების შედეგების მიხედვით. გადახრის განსაზღვრისათვის გამოიყენება კონსტრუქციის ზედა წერტილის **პროექტირების მეთოდი** სტაბილურ ფუძეზე თეოდოლიტის ან ვერტიკალური პროექტირების ხელსაწყოების დახმარებით. **კუთხეების და მიმართულებების გაზომვის მეთოდი** გამოიყენება მაღალი ნაგებობებისათვის დახურული ფუძით და მდგომარეობის მარკაზე მიმართულების კუთხის ორი პუნქტიდან გაზომვაზე ობიექტის ზედა დონიდან და საყრდენი მიმართულებიდან.

**კოორდინატების მეთოდი** თავის თავში აერთიანებს საყრდენი გეოდეზიური ქსელის, ტრიანგულაციის მეთოდის ან პოლიგონომეტრიის შექმნას, რომლის წერტილებიდან განისაზღვრებიან ნაგებობებზე დამაგრებული დეფორმაციული მარკების კოორდინატები. **ტრიანგულაციის მეთოდი** ითვალისწინებს ტრიანგულაციური ქსელის შექმნას, სადაც იზომებიან ბაზისები და კუთხეები მანიშნების კოორდინატების შემდგომი გამოთვლით, უპირატესად გამოიყენება საკეტების ბოლო საყრდენი ნიშნების მდგრადი მდგომარეობის უზრუნველყოფის შეუძლებლობისას. მშენებლობის შევიწროებული (შეზღუდულ) პირობებში გამოიყენება პოლიგონომეტრიის მეთოდი, რომლისთვისაც საჭიროა მაღალი სიზუსტის მქონე კუთხური და წრფივი გაზომვები.

ნაგებობების ელემენტების გადაადგილების ცალკეული გაზომვის შედეგების მიხედვით გამოითვლება დეფორმაციული პროცესის ძირითადი მახასიათებლები (ცხრილი I.2), ხდება ობიექტის დეფორმაციის შემდგომი პროცესის პროგნოზირება და მოწმდება საპროექტო ანგარიშების მართებულობა.

ნაგებობების დეფორმაციის ზემოთ ჩამოთვლილი მეთოდებიდან უმრავლესობა დღეისათვის კარგავს აქტუალობას შრომატევადობიდან გამომდინარე, აგრეთვე გეოდეზიური ხელსაწყოების ბაზის თანამედროვე სრულყოფის და განვითარების სისწრაფიდან გამომდინარე.

ცხრილი I.2.

დეფორმაციის პროცესის მახასიათებლები			
დასახელება	აღნიშვნა	გამოსათვლელი ფორმულა	შენიშვნა
1	2	3	4
აბსოლიტური ჯდომა	$s$	$s = H_i^{mim} - H_i^{saw}$	$H - i$ წერტილის სიმაღლე
საშუალო ჯდომა	$\bar{s}$	$\bar{s} = \sum_l^n s/n$	$n$ - ჯდომების გაზომვის წერტილების რიცხვი
ჯდომების სხვადასხვაობა	$\Delta s$	$\Delta s_{i,j} = s_i - s_j$	$i, j$ - ჯდომების გაზომვის წერტილები
ჯდომების ფარდობითი სხვადასხვაობა	$\Delta s/L$	$\Delta s_{i,j}/L_{i,j}$	$L_{i,j}$ - მანძილი წერტილებს შორის
გადახრა (ჰორიზონტალური გადაადგილება)	$D(\Delta x, \Delta y)$	$\Delta x = x_i^{mim} - x_i^{saw}$ $\Delta y = y_i^{mim} - y_i^{saw}$ $D = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$	$x, y - i$ წერტილის ჰორიზონტალური კოორდინატები
გადახრა ვერტიკალიდან	$u$	$u_x = x_i^{zeda} - x_j^{qveda}$ $u_y = y_i^{zeda} - y_j^{qveda}$	$i, j$ - ერთი ვერტიკალური სიბრტყის ზედა და ქვედა დონის წერტილები
დახრა	$\Delta u$	$\Delta u = u_i^{mim} - u_i^{saw}$	-
გადახრა (ძერა)	$i$	$i = \frac{u}{h}$	$h$ - წერტილებს შორის გადახრა
ფარდობითი ჩაღუნვა (ამოღუნვა)	$f/L$	$\frac{f_{j-1i+1}}{L_{j-1i+1}}$ $= \frac{(2s_i - s_{i-1} - s_{i+1})}{2L_{j-1i+1}}$	$f$ - ჩაღუნვის ისარი, $L$ სიგრძის უბანზე $i - 1, i$ და $i + 1$ წერტილებს შორის
გრეხვის ფარდობითი კუთხე	$v$	$v = (\beta_1 + \beta_2)/L$ $\beta_1 \cong tg\beta_1$ $= -(s_1 - s_2)/B$ $\beta_2 \cong tg\beta_2$ $= -(s_3 - s_4)/B$	$s_n - 1-4$ წერტილების ჯდომა ნაგებობის ტორსების მიხედვით $L, B$ - წერტილებს შორის დაშორება

1	2	3	4
დეფორმაციის საშუალო სიჩქარე	$v$	$v = (s_i^k - s_i^n)/t$	$t - n$ და $k$ გაზომვის ციკლებს შორის დროის პერიოდი

ფუძის დეფორმაცია, როგორც მისგან გამოწვეული ნაგებობების დეფორმაციები, უმრავლეს შემთხვევაში ატარებენ სივრცით ხასიათს. მიუხედავად ამისა ხშირად გეოდეზიური მონიტორინგის მიხედვით სამუშაოების წარმოებისას, რაც რა თქმა უნდა აისახება ნაგებობების კონსტრუქციის ტექნიკურ მდგომარეობაზე დეფორმაციის გავლენის და მათი შემდგომი განვითარების პროგნოზირების შესახებ ტექნიკური დასკვნის ხარისხზე. ეს იწვევს შეცდომებს შესაბამისი ღონისძიებების ჩატარების რეკომენდაციების შედგენისას, რაც აფრთხილებს კრიტიკული დეფორმაციებისას ნეგატიურ შედეგებს.

ფუძის დეფორმაციის რთული ხასიათისას აუცილებელი ხდება სახასიათო წერტილების მასივის სივრცითი გადაადგილებების გეოდეზიური გაზომვის განხორციელება რამოდენიმე დონეზე სიმაღლის მიხედვით და ობიექტის პერიმეტრზე. წარმოდგენილი ამოცანის რეალიზაცია ხდება შრომატევადი, თუკი გამოვიყენებთ მხოლოდ გაზომვის ტრადიციულ მეთოდებს.



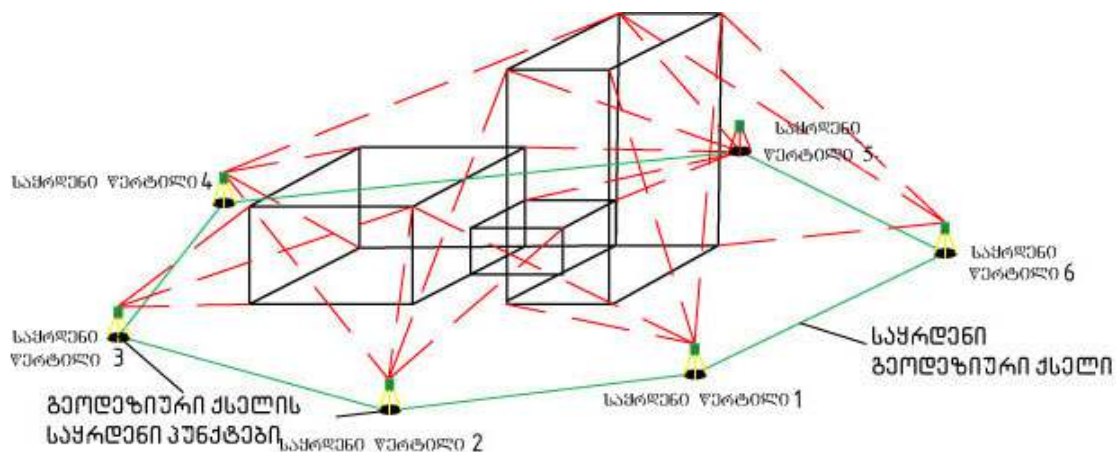
სურ. I.49. ტახეომეტრის საერთო ხედი

დღეისათვის გადაწყვეტის უფრო ეფექტურ ხერხს წარმოადგენს ობიექტის მდგომარეობის სივრცითი აზომვა თანამედროვე ელექტრონული გეოდეზიური ხელსაწყოებით – ტახეომეტრით, რომელიც თავის თავში აერთიანებს კოდური თეოდოლიტის, ლაზერულმანძილზომის და მინიკომპიუტერის ფუნქციებს. ასეთი

ხელსაწყოები ფართოდაა გავრცელებული თანამედროვე სამშენებლო წარმოებაში და წარმოდგენილია სხვადასხვა ფორმების მიერ, როგორცაა: SOKKIA (იაპონია), Trimble Navigation (აშშ), Leica Geosystems (შვეიცარია), Topcon Positioning Systems (იაპონია), Nikon (იაპონია), Pentax (იაპონია) და ა.შ. სურ. I.49-ზე მოცემულია ტახეომეტრის საერთო ხედი.

ნაგებობის ტახეომეტრიული აზომვა (ს-აზომვა) (ნახ. I.50) ითვალისწინებს მონიტორინგის განსაზღვრულ ეტაპზე დანიშნული წერტილების მასივების სივრცით განსაზღვრას. ეს საშუალებას იძლევა გაზომვის სხვადასხვა ციკლში შესაბამისი წერტილების სივრცითი კოორდინატების ( $x_i$   $y_i$   $z_i$ ) მნიშვნელობების სხვადასხვაობის მიხედვით ერთდროულად გამოითვალოს როგორც ვერტიკალური, ისე ჰორიზონტალური გადაადგილებები, გადახრა (ძვრა) და სხვა დეფორმაციული მახასიათებლები (იხ. ცხრილი I.2).

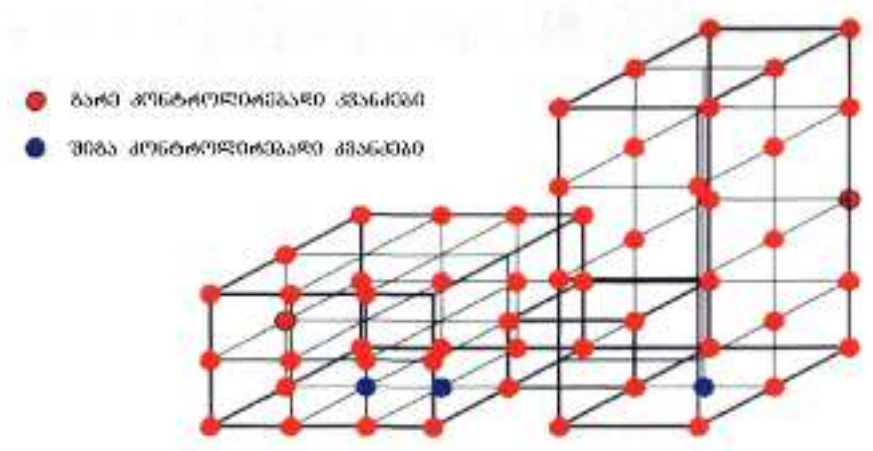
წერტილების მასივის სისტემატიზაციის მიზნით, რომლის გადაადგილებებიც თავისი არსით მონიტორინგის საგანს წარმოადგენს შემოვიტანოთ განსაზღვრება ნაგებობის დეფორმაციის კონტროლის სივრცითი-საკოორდინატო მოდელი (ს-მოდელი).



ნახ. I.50. მონიტორინგის ობიექტის ს-აზომვა

ნაგებობების ზომები და მისი კონსტრუქციული სქემის დამოკიდებულებით ს-მოდელი შეიძლება ფორმირებული იქნას მხოლოდ ობიექტის გარე კონტურის მიხედვით, ანუ შედგება გარე კონტოლირებადი წერტილებისგან (კვანძებისგან), რომლებიც ფასადზეა დაფიქსირებული ობიექტის დიდი გაბარიტების ან მისი რთული კონსტრუქციული სქემის შემთხვევაში გაზომვის სიზუსტის და დეფორმაციის დამატებითი კონტროლის შესაძლებლობების ამაღლებისათვის ს-მოდელი უნდა შეიცავდეს საკონტროლო კვანძებს ობიექტების შიგნით (ნახ. I.51). მოცემული კვანძების ჯგოფმა განისაზღვრება შენობის შიგნით გეომეტრიული ნიველირების გზით, ამასთან ციფრული ნიველირება მნიშვნელოვნად ზრდის სამუშაოს ტემპებს. ნაგებობის ფუძის დონეზე განთავსებული გარე კონტოლირებადი კვანძები, შეიძლება დუბლირებული

იქნენ სტანდარტული ჯდომის მარკების დახმარებით, რომლებიც განთავსებულია ობიექტების როგორც შიგნით, ისე გარეთ.



ნახ. I.51. ნაგებობის დეფორმაციის კონტროლის ს-მოდელის გარე და შიგა კონტროლირებადი კვანძები

მონიტორინგის ობიექტების ს-მოდელების ფორმირება დაკავშირებულია რამოდენიმე ძირითადი საკითხის გადაჭრასთან:

- ს-მოდელის კონტროლირებადი კვანძების არჩევის კრიტერიუმების განსაზღვრა;
- გეგმურ-მადლივი გეოდეზიური საფუძვლის ფორმირებასთან მოთხოვნების განსაზღვრა;
- მონიტორინგის ობიექტთან შეზღუდული დაშვების პრობლემის გადაჭრა;
- ს-მოდელის შექმნისათვის გაზომვის სიზუსტესთან მოთხოვნების განსაზღვრა;
- გაზომვის შედეგების მათემატიკური დამუშავება.

ს-მოდელი წარმოადგენს ურთიერთდაკავშირებული წერტილების (კვანძების) სტრუქტურირებულ მასივს. რომელიც ასახავს მონიტორინგის ობიექტის ძირითად გეომეტრიულ განსაკუთრებულობებს, მისი კონსტრუქციული სქემის განსაკუთრებულობების გათვალისწინებით. ს-მოდელების ფორმირება ხორციელდება რამოდენიმე ეტაპად. აუცილებელი ინფორმაციის შეკრება წარმოებს მონიტორინგის მომზადებულ ეტაპზე ნაგებობის კონსტრუქციის ტექნიკური მდგომარეობის კომპლექსური საინჟინრო გამოკვლევის მიმდინარეობისას.

**I ეტაპი** – საწყის ეტაპზე, საპროექტო დოკუმენტაციის არსებობის შემთხვევაში ნაგებობის ძირითადი განსაკუთრებულობების გამოვლენა შეიძლება მოხდეს მონიტორინგის ობიექტის ნახვის გარეშეც. ამასთან არქიტექტურული ნახაზების მიხედვით (გეგმები, ფასადები ჭრილები) ფიქსირდება ობიექტის ისეთი მახასიათებლები, როგორცაა:

- გაბარიტები (ზომები)
- კონფიგურაცია გეგმაში

- სართულიანობა
- ძირითადი ღერძების განლაგება

კონსტრუქციული ნახაზების მონაცემების დეტალური გაცნობისას ძირითადი ყურადღება ეთმობა:

- მზიდი კონსტრუქციების განლაგების სქემებს;
- ნაგებობის სივრცით სიხისტეს;
- საძირკვლების ტიპს.

დეფორმაციული მანიშნების განთავსების პროექტის შედგენისას ნაგებობის სახასიათო წერტილებში დამატებით აუცილებელია მოშენების მოედნის საინჟინრო-გეოლოგიური და ჰიდროგეოლოგიური პირობების მონაცემები, რომელთა შესაბამისად შემდგომში განისაზღვრება:

- ჯდომის დასაშვები აბსოლიტური სიდიდეები;
- ჯდომების საპროექტო წინასწარ დასაშვები არაერთგვაროვნება.

დანიშნულების, გაბარიტების, კონსტრუქციული სქემის და სხვა განსხვავებული ობიექტებისათვის საერთო შემთხვევებში სს-მოდულების კონტროლირებადი კვანძები განლაგდება:

- კარკასის კვანძებში;
- მზიდი გრძივი და განივი კედლების გადაკვეთის ადგილებში;
- დეფორმაციული ნაკერების განთავსების ზონაში;
- ნაგებობის ცალკეული ნაწილების შეპირაპირების ადგილებში და სხვა.

ამგვარად, გარე კონტროლირებადი კვანძები უნდა განლაგდნენ აუცილებელი რიგობრიობით გარე კედლების პერიმეტრზე და კუთხეების მიხედვით, ნაგებობის ღერძის ბიჯის და სართულების გადახურვის დონის შესაბამისად (საძირკველი – პირველი სართული, შემდეგ არჩეული გადახურვები), უნდა იმყოფებოდნენ სიმაღლის მკვეთრი ცვლილებების ადგილებში, ბურჯის მიკვრის ადგილებში და ა.შ.

კონტროლირებადი კვანძების რაოდენობა საკმარისი უნდა იყოს მონიტორინგის ობიექტის სივრცითი დეფორმაციის განსაზღვრისათვის და ჯდომის პროცესის არაერთგვაროვნების გამოვლენისათვის. ამასთან აუცილებელია გაითვალისწინოთ დიდი რაოდენობის წერტილების გაზომვის სირთულე და ეკონომიური მიზანშეწონილობა, გეოდეზიური გაზომვის სიზუსტის შემცირება, რაც პირდაპირად დამოკიდებული აზომვის სადგურების რაოდენობაზე (ჩაღუნვის მდებარეობაზე). ასევე აუცილებელია აღნიშნული იქნას, რომ მაქსიმალურად სარწმუნო მონაცემების მისაღებად გაზომვების ერთი ციკლის შესრულების დროს უნდა იძლეოდეს ობიექტის სტაბილური მდგომარების გარანტიას. მოცემული ეტაპის დასასრულს ინიშნება ს-მოდულების კონტროლირებადი კვანძების წინასწარი განთავსების ადგილები.



**II ეტაპი** – ს-მოდულების კვანძების წინასწარი არჩევის შემდეგ წარმოებს მათი რაოდენობის და ადგილზე განლაგების კორექცია მონიტორინგის ობიექტის ვიზუალური შესწავლის მიმდინარეობისას შემდეგის გათვალისწინებით:

- გარშემო არსებული განაშენიანების პირობების;
  - ნაგებობების ექსპლუატაციის განსაკუთრებულობების.
- ახლომდებარე ტერიტორიის მჭიდრო განაშენიანების პირობებში საჭიროა:
- მონიტორინგის ობიექტის ს-მოდულების კვანძების დანიშნულ მდებარეობასთან მისაწვდომობის ხარისხის განსაზღვრა;
  - კონტროლირებადი წერტილების რაოდენობის შემცირების შესაძლებლობის განსაზღვრა მათი აზომვის შეუძლებლობისას.

ვიზუალური გაცნობის მნიშვნელოვან ასპექტს შეიძლება მივაკუთვნოთ ნაგებობების გარე მოპირკეთების კონსტრუქციების დაწვრილებითი შესწავლა ჯდომის და დეფორმაციის მანიშნის ტიპის არჩევის მიზნით.

ს-მოდულების შიგა კვანძების ადგილმდებარეობა და რაოდენობა შეიძლება იცვლებოდეს შენობის შიგნით განთავსებული მზიდი კონსტრუქციების ზედაპირებთან მიღწევის პირობებზე დამოკიდებულებით.

**III ეტაპი.** ნაგებობებზე კონტროლირებადი კვანძების მდებარეობის ფიქსაცია ხორციელდება დეფორმაციული მანიშნების დახმარებით. ამასთან შესაძლებლობის მიხედვით, აუცილებელია დავიცვათ საკეტების ვერტიკალურობის და მანიშნების დაყენების დონის პორიზონტალურობის მოთხოვნები. შემდეგ ფასადების დეტალურ სქემებზე ფიქსირდება გარე დეფორმაციის მანიშნების საბოლოო ადგილმდებარეობები. სართულების გეგმებზე დაიტანება შიგა ჯდომის მარკების ადგილები მზიდი კონსტრუქციების მდგომარეობის მაღლივი კონტროლისათვის. ყოველ მარკას ენიჭება ნომერი, მისი მდებარეობის შესაბამისად, რომლის ქვეშაც შემდგომში ფიქსირდება ყველა დაკვირვება, რომელიც ეხება მოცემულ მარკას.

### **მოთხოვნები საყრდენი გეოდეზიური ქსელის აგების მიმართ**

მონიტორინგის ობიექტების ს-მოდულების აგების მნიშვნელოვან ეტაპს წარმოადგენს საყრდენი გეოდეზიური ქსელის (სგქ) აგება, რომელიც წარმოადგენს წერტილების ადგილმდებარეობაზე არჩეულ და ჩამაგრებულ სისტემას, რომელიც ემსახურება გეოდეზიური აზომვის საყრდენ პუნქტებს. სგქ-ს წერტილების საერთო მოთხოვნები შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით [1]:

- დეფორმაციული პროცესების გავლენის ზონის მიღმა განთავსებული ან მოცემული ზონის საზღვრებს გარეთ საკონტროლო ორიენტაციული წერტილების არსებობა;

- სხვადასხვა სახეობის ვიბრაციული პროცესების გავლენის და წერტილების რღვევის შესაძლებლობის არსებობა;
- წერტილის მდგომარეობის სტაბილურობის მუდმივი კონტროლი.

გეგმურ-მალღივი ქსელის ობიექტების გარე კონტროლირებადი კვანძების ტაქომეტრული აზომვისათვის იქნება პოლიგონომეტრიის მეთოდით, რომელიც უფრო ხშირად გამოიყენება ქალაქის პირობებში და შეიცავს სგკ წერტილებზე განთავსებული სადგურებს, იმ რაოდენობით რაც საკმარისია ობიექტის ყველა მარკირებული წერტილის მდგომარეობის ფიქსაციისათვის. ამასთან დასაშვებია „დაკიდული“ სადგურების არსებობაც. სს-მოდელის კონტროლირებადი კვანძების გადაადგილების სიდიდის განსაზღვრისათვის დეფორმაციული ზონის საზღვრებს გარეთ ჩაიწყო 3-4 საყრდენი ნიშანი. მათ სტაბილურობაზე მსჯელობენ საწყის და მიმდინარე ციკლში მათი კოორდინატების და სიმაღლეების თანხვედრის მიხედვით.

სგქს ფორმა განისაზღვრება განაშენიანების ტერიტორიის, მონიტორინგის ობიექტების ფორმის და ფართობის და მასთან მიღწევის მიხედვით [2]. ამაზე დამოკიდებულებით ქსელი პროექტირდება ცალკეული სვლის სისტემის სახით საკვანძო წერტილებით. ნაგებობის აზომვა ხორციელდება კოორდინატების პირობით (ადგილობრივ) სისტემაში. ასეთი სისტემის დერძების უფრო ხელსაყრელი განთავსება მიიღწევა ნაგებობის გრძივ და განივ დერძებთან მათი მიმართულების თანხვედრისას, რაც საშუალებას იძლევა შუალედური გამოთვლების გარეშე განისაზღვროს მოცემული დერძების ახლოს ს-მოდელის კვანძების გადაადგილება.

შიგა კონტროლირებადი კვანძების ჯდომის ვერტიკალური შემადგენლობის განსაზღვრის მიზნით შექმნილი მალღივი ქსელი ფორმირდება გეომეტრიული ნიველირების მეთოდით და შეიცავს საყრდენ რეპერებს, რომელთა მალღივი მდებარეობა რჩება პრაქტიკულად უცვლელი. რეპერის ტიპი დგინდება მოედნის გრუნტულ პირობებზე დამოკიდებულებით:

- სიღრმითი რეპერები, რომელთა საფუძვლები ჩაიწყო კლდოვან, ნახევრადკლდოვან ან სხვა ძირითად პრაქტიკულად არაკუმშვად გრუნტებში;
- გრუნტული რეპერები, რომელთა საფუძვლები ჩაიწყო სეზონური გაყინვის ან გრუნტის გადაადგილების სიღრმის ქვეშ;
- კედლის რეპერები, რომლებიც მაგრდება მიმდებარე შენობების და ნაგებობების მზიდ კონსტრუქციებზე, რომელთა საძირკველის ჯდომა პრაქტიკულად სტაბილიზებულია.

მალღივი სგკ იწყოება ერთეული ბიჯის სახით ან საყრდენ რეპერებს შორის ბიჯების სისტემის სახით, რომლებიც ჩაიწყოება არა უგვიანეს 2 თვით ადრე, ვიდრე დაიწყება ნაგებობის დეფორმაციაზე დაკვირვება. მალღივი ნიველირების საყრდენი რეპერების მიმართ მოთხოვნები:

- დეფორმაციული პროცესების გავლენის ზონის მიღმა განლაგება ჯდომადი გრუნტის ფენის სამმაგ მანძილზე, ან ქვაბულის მიმაგრების მეთოდზე დამოკიდებულებით მონიტორინგის ობიექტის მიმდებარე ტერიტორიაზე მშენებლობის განხორციელებისას;
- არა ნაკლებ სამი საკონტროლო რეპერის არსებობა;
- დაკვირვების ყოველი ციკლისათვის საყრდენი რეპერების სტაბილურობის კონტროლის შესაძლებლობა.

შიგა ჯდომადი მანიშნების ნიველირება უნდა წარმოებდეს სიმაღლის ერთიან სისტემაში გარე დეფორმაციის მანიშნებთან ერთად ინფორმაციის შემდგომი დამუშავების გამარტივებისათვის. სტკ-ს პუნქტების ზუსტი განლაგება და კონსტრუქცია შემუშავდება უშუალოდ იმ ორგანიზაციის მიერ, რომელიც აწარმოებს გაზომვებს, შესაბამის საექსპლუატაციო და კომუნალური ორგანიზაციების მიერ დამტკიცებული გეგმის მიხედვით და შეთანხმებით.

### **დეფორმაციული და ჯდომადი მანიშნების დამზადების და დაყენების ტექნოლოგია**

საერთო შემთხვევებში დეფორმაციული და ჯდენითი მანიშნები – ესაა გეოდეზიური ნიშნები, რომლებიც მჭიდროდაა დამაგრებული ნაგებობის კონსტრუქციებზე, როგორცაა კედლები, კოლონები, კოჭები, გადახურვები, საძირკვლები და ა.შ, რომლებიც თავის სივრცით მდებარეობას იცვლიან ფუძის არათანაბარი ჯდომის და დეფორმაციის შემდგომი გადანაწილების შედეგად მთელი ნაგებობის მოცულებაში.

**გარე დეფორმაციული მანიშნები.** სამშენებლო კონსტრუქციების ელემენტების გადაადგილებების სივრცითი შემადგენლის გაზომვისას წინასწარ არჩეულ წერტილებზე (ს-მოდელის კვანძები) ელექტრონული ტაქომეტრის გამოყენებით აყენებენ შუქდამბრუნებელ დეფორმაციულ მარკებს თვითწებვადი ამრეკლების სახით, რომლებიც საიმედოდ ეწებება ნებისმიერ თანაბარ ზედაპირს. ამრეკლები წარმოადგენს ბრტყელ თვითწებვად ფირს (ნახ. I.52,ა), რომლის გარე ზედაპირზე დატანილია კატაფორტური ფენა მიკროპრიზმების ან 0.05-დან 0.3 მმ-მდე დიამეტრის შუშის ბურთულების სახით. ფირები მზადდება სხვადასხვა ზომის, უპირატესია მართკუთხა ფორმები, აქვთ მიმართვის ფიქსირებული წერტილი.

თვითწებვადი მარეკლების გამოყენება იძლევა შრომის დანახარჯის ეკონომიის საშუალებას, კედლებში ღიობების გაბურღვის და დუბლების დაყენების აუცილებლობის არარსებობის შედეგად. ამრეკლებს შეუძლიათ აიტანონ სეზონური კლიმატური ზემოქმედებები.

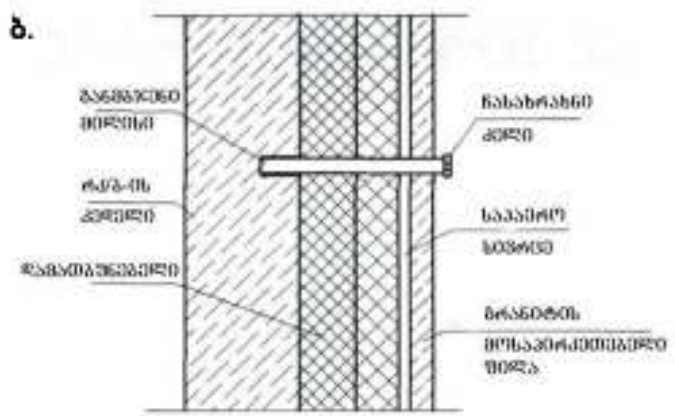
**ჯდომის მანიშნები გეომეტრიული ნიველირებისათვის.** შედარებით მკაცრი მოთხოვნები წაყენება ჯდომის მანიშნებს, რომლებიც მაგრდება შიგა

კონტროლირებადი კვანძების განლაგების ადგილებში, რაც გამოიყენება ნიველირის ლარტყის დასამაგრებლად ან ჩამოსაკიდად. მოცემულ შემთხვევაში მათი კონსტრუქციები უნდა უზრუნველყოფდნენ ლარტყის მდგომარეობის ფიქსირების სიზუსტეს, მდგრადობას, ხანგრძლივ შენახვას, აგრეთვე უნდა უზრუნველყოფდნენ ნიველირების სამუშაოების წარმოების მეტად ხელსაყრელ პირობებს.

დაყენების ადგილების შეასბამისად ჯდენის მანიშნები იყოფა კედლის (კონსტრუქციის ვერტიკალურ საზღვრებზე) და მანიშნი-კონსტრუქციები (ნაგებობის ცალკეული დეტალები, გამოიყენება მანიშნებად). კედლის გარე ჯდომის მანიშნები ძირითადად ყენდება მოკირწყვლის დონიდან  $0.4 \pm 0.8$  მ-ის დაშორებით. მანიშნები შენობის შიგნით ჩაიწყობა აზომვისათვის მოსახერხებელ სიმაღლეზე ნაგებობის კონსტრუქციებთან დაშვების შესაძლებლობის გათვალისწინებით.

ტრადიციულად ჯდომის მანიშნები მოწყობის და ჩამაგრების ხერხზე დამოკიდებულებით სრულდება:

- გარე და შიგა აგურის (ბლოკის) კედლებში და სვეტებში, რკინაბეტონის და ბეტონის კონსტრუქციების ტანში ჩასაწყობი;
- ზედაპირულები, რომლებიც მაგრდება ფოლადის ჩასაწყობ ზოლებზე, ან ფოლადის კოლონებზე;
- დახურული (მექანიკური დაზიანების ადგილებში);
- ფარული, შკალური და ა.შ.



ნახ. I.52. დეფორმაციის და ჯდომის მანიშნები ა) ბრტყელი თვითწებავადი დეფორმაციის მანიშნები ბ) კედლის ჯდომის მანიშნის მოწყობილობა

შემუშავებული მეთოდის რეალიზაციისას შიგა კონტროლირებადი კვანძების ნიველირებისათვის გამოიყენებოდა ზედაპირული ჯდომის მანიშნები, რომლებიც ყენდებოდა გადახურვის მზიდ კოჭებზე და მექანიკური ზემოქმედებისგან დაცულ სათავსის შიგა მოპირკეთების კონსტრუქციებზე (დაკიდული ჭერი). სარწმუნო შედეგების მიღების მიზნით გარე ჯდომის მარკები იმ ობიექტებისათვის, რომლებსაც

აქვთ ვენტილირებადი ფასადები და გარე თბოიზოლაცია, რაც დამახასიათებელია დღეისათვის აგებული სხვადასხვა დანიშნულების უმეტესი შენობებისათვის, ეწყობოდა მზიდი კონსტრუქციების ტანში ჩასაწყობი ანკერების სახით. ამ ანკერებში გაზომვის მომენტში ჩაიხრახნება ლითონის ძელი, რაც წარმოადგენს ლარტყის ჩამაგრების საყრდენს (ნახ. I.52,ბ). მონიტორინგის მთელი პერიოდის მანძილზე მანიშნების შენარჩუნების უზრუნველსაყოფად ისინი სრულდებოდა მოსახსნელი.

### **სამგანზომილებიანი ლაზერული გადახრის მზომი სივრცითი კოორდინატების გაზომვისათვის**

იქ, სადაც ტახომეტრი ვერ მუშაობს გამოიყენება ჩვენს მიერ დამუშავებული სამგანზომილებიანი ლაზერული გადახრის მზომი, რომლის ფუნქციონალური სქემა და საერთო ხედი მოცემულია სურ. I.53-ზე.



სურ. I.53. სამგანზომილებიანი ლაზერული მზომი

ს-აზომვის ტექნოლოგიის გამოყენება შეზღუდული დაშვების პირობებში სამგანზომილებიანი ლაზერული გადახრის მზომის გამოყენებით ტრადიციულ ტექნოლოგიებთან შედარებით, რომლებიც დაფუძნებული იყო სტანდარტული ბრტყელი მარკების გამოყენებაზე საშუალებას იძლევიან:

- გაზომვების შრომატევადობის შემცირება აზომვის სადგურის არარსებობის ხარჯზე, რომლებიც თავსდება გართულებული მიღწევადობის ადგილებში

(მიმდებარე ნაგებობების სასურავეები, სავალი ნაწილები, ტერიტორიის ნაწილები და ა.შ.);

- ნაგებობის სახასიათო წერტილების სივრცითი გადაადგილების უფრო სრული სურათის მიღების უზრუნველყოფა გარე ს-მოდელის კვანძების რაოდენობის ზრდის ხარჯზე, რომლებიც განლაგებულია ზედა კონტროლირებად ჰორიზონტალურ დონეებში.

### **კონტროლირებადი კვანძების დეფორმაციის მონიტორინგი**

ამოცანის გადაწყვეტისათვის გამოყენება გადაადგილებების განსაზღვრის კოორდინატთა მეთოდი. მონიტორინგის ობიექტის ს-მოდელის დეფორმაციების დროს გარკვეულ შუალედში განსაზღვრავენ დეფორმაციული მანიშნების ჰორიზონტალური და ვერტიკალური გადაადგილება სიდიდებით, რომლებიც დაყენებულია ნაგებობის კონტროლირებად კვანძებში, რომლებიც გამოითვლება, როგორც შესაბამისი მანიშნების კოორდინატებსა და სიმაღლეებს შორის სხვაობა მონიტორინგის სხვადასხვა ეტაპზე. ამასთან საწყის (ათვლის სათავე) მდგომარეობად მიიღება გაზომვების I ციკლის შედეგები.

**გარე კონტროლირებადი კვანძები.** ს-მოდელის გარე კონტროლირებადი კვანძების გეგმური და მაღლივი განსაზღვრა სრულდება მათი სივრცითი კოორდინატების გაზომვის გზით კოორდინატების ადგილობრივ სისტემაში პოლარული მეთოდით წინასწარ შექმნილი სქემით, რისთვისაც გამოიყენება სამგანზომილებიანი ლაზერული მზომი.

მჭიდრო საქალაქო დასახლება განაპირობებს დიდი რაოდენობის შუალედური სადგურების გამოყენების აუცილებლობას ს-აზომვის წარმოებისას და პოლიგონომეტრულ სვლებში მოკლე მხარეების ჩაწყობას, რაც ამცირებს ორიენტირების სიზუსტეს შემდგომ სადგურზე. ამ მოვლენის აღსაკვეთად რეკომენდებულია სტაციონალური არაგადასატანი დამატებითი საორიენტაციო წერტილების გამოყენება, რომლებიც პოლიგონომეტრული სვლის სადგურიდან მოშორებულია მანძილით, რაც ამცირებს ცენტრირების და რედუქციის გავლენას.

მოცემულ ნაშრომში დამუშავებულია ს-აზომვის ტექნოლოგიის რეალიზება შეზღუდული დაშვების პირობებში სამგანზომილებიანი ლაზერული გადახრის მზომის დახმარებით საშუალებას იძლევა ამაღლდეს ს-აზომვის ეფექტურობა სგქ სადგურების რაოდენობის შემცირების და მათ შორის მანძილის გაზრდის ხარჯზე, რაც თავის მხრივ გავლენას ახდენს გაზომვებისას ორიენტირების სიზუსტის გაზრდაზე.

პოლიგონომეტრული სვლის სადგურების კოორდინატები  $S_1, S_2, S_3 \dots S_{q-1}, S_q$ , განისაზღვრება კოორდინატთა არჩეულ სისტემაში ადგილზე წრფეების სიგრძის  $L_1, L_2,$

...,  $L_{q-1}$  გაზომვის გზით, რომლებიც თანმიმდევრობით აერთებენ ამ სადგურებს და ქმნიან პოლიგონომეტრიულ სვლას, აგრეთვე მათ შორის პორიზონტალურ კუთხეებს  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_a$  [2]. პოლიგონომეტრიული სვლა ჩაიწეობა საყრდენი (საწყისი) სადგურიდან  $S_1 = S_H$  ცნობილი კოორდინატებით  $x_H, y_H$  და მოცემული დირექციული კუთხეებით  $\alpha_H$  გადამკვეთ წერტილზე  $S_{CH}$ . მაშინ  $k + 1$  სვლის სადგურისათვის

$$\begin{aligned} \alpha_k &= \alpha_H + \sum_{k=1}^k \beta_k - k180^\circ; \\ x_{k+1} &= x_H + \sum_{k=1}^k L_k \cos \alpha_k; \\ y_{k+1} &= y_H + \sum_{k=1}^k L_k \sin \alpha_k, \end{aligned} \tag{I.11}$$

სადაც:  $\alpha_k - k$  მხარის დირექციული კუთხე;

$x_{k+1}, y_{k+1}$  - პოლიგონომეტრიული სვლის  $k + 1$  პუნქტის კოორდინატებია

$L_k$  - სვლის პუნქტებს შორის წრფის სიგრძე;

$\beta_k$  - სვლის მხარეებს შორის კუთხეები.

პოლიგონომეტრიული სვლის (ბიჯის) ჩაწყობასთან ერთდროულად წარმოებს დეფორმაციის მარკების აზომვა ს-მოდელის ვერტიკალური საკეტის მიხედვით მათი განთავსების შესაბამისად. გაზომვების სიზუსტის ამაღლების მიზნით საკეტების აზომვა შესაძლებლობის მიხედვით დუბლირდება სვლის (ბიჯის) მეზობელი სადგურებიდან (ნახ. I.54).



ნახ. I.54. ს-მოდელის ვერტიკალური სვლის ტაქომეტრული აზომვა

დეფორმაციის მარკების სივრცითი კოორდინატები, რომლებიც მოწყობილია კონტროლირებად კვანძებში, განისაზღვრება დეფორმაციის მანიშნებზე დახრის კუთხის და მანძილების გაზომვის შედეგების მიხედვით ხელსაწყოში სვლის სადგურის კოორდინატების მნიშვნელობების და ინსტრუმენტის სიმაღლის საფუძველზე (ნახ. 55).

$$\begin{aligned} x_i &= X_k + N \sin \theta \cos \alpha; \\ y_i &= Y_k + N \sin \theta \sin \alpha; \\ z_i &= Z_k + N \cos \theta + I_h, \end{aligned} \quad (I.12)$$

სადაც:  $X_k, Y_k, Z_k$  –  $k$  პოლიგონომეტრიული სვლის კოორდინატებია;

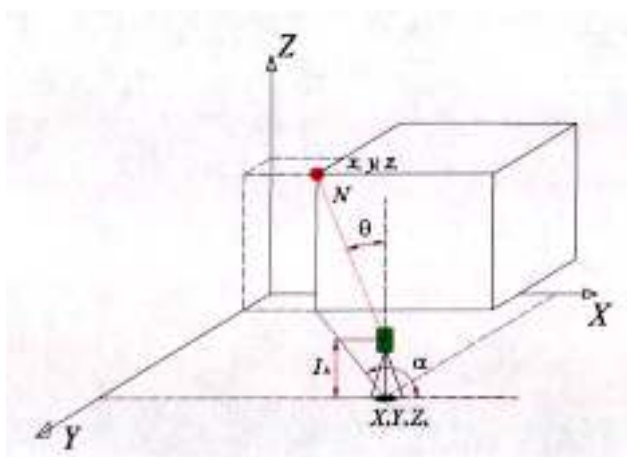
$x_i, y_i, z_i$  –  $i$  დეფორმაციის მანიშნის კოორდინატები;

$N$  – დახრილობის მანძილი;

$\theta$  – ზენიტის კუთხე;

$\alpha$  – დირექციული კუთხე;

$I_h$  – ინსტრუმენტის სიმაღლე.



ნახ. I.55. ს-მოდელის კვანძების სივრცითი კოორდინატების განსაზღვრა

პოლიგონომეტრიული სვლა იკეტება საწყის სადგურზე  $S_q = S_H$  ან  $S_q = S_3$  სადგურზე  $x_3, y_3$  ცნობილი კოორდინატებით და  $\alpha_3$  დირექციული კუთხეებით  $S_{C3}$  გადაძკვეთ წერტილზე.

ელექტრონული ტაქსომეტრების გამოყენება საშუალებას იძლევა ვაწარმოთ ჰორიზონტალური, ვერტიკალური კუთხეების და დახრილობითი მანძილების ერთდროული გაზომვა. პროგრამული უზრუნველყოფა ავტომატურად ითვლის ვიზირებული სამიზნეების სივრცით კოორდინატებს გასაზომ მანძილებში და გასაზომ კუთხეზე ხელსაწყოს ვერტიკალური დერძის გადახრაში შესწორებების გათვალისწინებით.

არათანაბარი დეფორმაციის სიდიდე და მიმართულება განისაზღვრება დეფორმაციული მანიშნების კოორდინატების სხვადასხვაობის მიხედვით დროის შუალედში ნულს და  $j$ -იურ ციკლებს შორის.

$$\begin{aligned} \Delta X_i^j &= x_i^0 - x_i^j; \\ \Delta Y_i^j &= y_i^0 - y_i^j; \\ \Delta Z_i^j &= z_i^0 - z_i^j, \end{aligned} \quad (I.13)$$

მონიტორინგის  $j$  ციკლში ს-მოდელის  $i$  კოორდინატებად კვანძში გეგმიური გადაადგილებების მიმართულება და სიდიდე:



$$\Delta XY_i^j = \sqrt{(\Delta X_i^j)^2 + (\Delta Y_i^j)^2};$$

$$\varphi_i^j = \arctg \frac{\Delta X_i^j}{\Delta Y_i^j},$$
(I.14)

სადაც:  $\varphi$  – ჰორიზონტალური გადაადგილების კუთხე

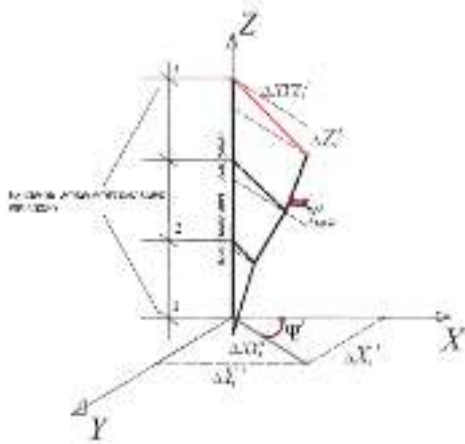
$i$  – კონტროლირებადი კვანძის სივრცითი გადაადგილება

$$\Delta XYZ_i^j = \sqrt{(\Delta XY_i^j)^2 + (\Delta Z_i^j)^2};$$

$$\gamma_{i \rightarrow -1}^j = \arctg \frac{\Delta XY_i^j}{z_i^j - z_{i-1}^j},$$
(I.15)

სადაც:  $\gamma$  – ვერტიკალური გადაადგილების კუთხეა

საკეტის გადაადგილების მიმართულება და სიდიდე გამოითვლება ანალოგიური მიმოხილვით ზედა და ქვედა წერტილების კოორდინატებს შორის სხვაობით (ნახ. I.56).



ნახ. I.56. ს-მოდელის ვერტიკალური საკეტის სივრცითი გადაადგილება

**შიგა კონტროლირებადი კვანძები.** შიგა კონტროლირებად ს-მოდელის კვანძებს შორის წანაცვლება განისაზღვრება მიმდევრობითი გეომეტრიული ნიველირების სვლის ჩაწყობის გზით, საყრდენი რეპერიდან დაწყებული, რომელსაც აქვს ცნობილი ნიშნული, ნიშნულის მიმდევრობითი გადაცემით შენობის საჭირო სართულზე (დონეზე) და შემდგომში ყველა მარკირებული წერტილის აზომვით. ამგვარად ჯდომის მარკის  $i$  ნიშნული ყოველ ციკლში:

$$H_i^j = H_{pen} + \sum_{n=1}^n h^j,$$
(I.16)

სადაც:  $H_{pen}$  – საყრდენი რეპერის ნიშნული;

$n$  – ჯდომის მარკების რაოდენობა;

$h^j$  – მონიტორინგის  $i$  ციკლში ნიველირების ქსელის წერტილებს შორის წანაცვლება

$i$  შიგა ჯდომის მარკის ვერტიკალური ჯდომა შეადგენს

$$\Delta z_i^j = H_i^{j-1} - H_i^j;$$

$$\Delta Z_i^j = H_i^0 - H_i^j,$$
(I.17)

სადაც:  $\Delta z_i^j$  – გაზომვის ციკლებს შორის დროის მანძილზე მარკის ჯდომა;

$\Delta Z_i^j$  – გაზომვის ნულოვანი ციკლიდან მარკის სრული ჯდომა.

### ს-აზომვის წარმოებისას გაზომვის სიზუსტის მიმართ მოთხოვნები

მონიტორინგის ობიექტის სივრცითი მდებარეობის გეოდეზიური გაზომვა, როგორც გაზომვის ყველა სხვა სახეობა, მუდმივი სიდიდეების განმეორებით განსაზღვრისას იძლევა რამდენადმე განსხვავებულ შედეგებს, რაც განპირობებულია მრავალი ფაქტორით, რომელთა შორის მთავარს წარმოადგენს გაზომვის ძირითადი მახასიათებლები [3]:

- გაზომვის სიზუსტე (განსაკუთრებულად ზუსტი, მაღალი სიზუსტის, ტექნიკური);
- გაზომვის სარწმუნოება, დამოკიდებულია გაზომვის საშუალებების არჩეულ პარამეტრებზე და ჩასატარებელი გაზომვების მოთხოვნებთან გაზომვის საშუალებების არჩეულ პარამეტრებზე და ჩასატარებელი გაზომვების მოთხოვნებთან გაზომვის საშუალებების მეტროლოგიური მახასიათებლების შესაბამისობაზე;

- გაზომვის ცდომილებები:

- უხეში შეცდომები – გამოწვეულია გასაზომი სისტემების გაუმართაობით, რეგისტრის შეცდომებით, გარე პირობების მკვეთრი გაუარესებით და ა.შ. გამოვლინებიან მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდებით, რაც მოითხოვს განმეორებითი გაზომვების ჩატარებას ან კონტროლდება აქსიომეტრული მაჩვენებლების შესრულებით  $\sum \Delta Z = 0$ ,  $\sum \Delta X = 0$ ,  $\sum \Delta Y = 0$ ;
- სისტემატური – გამოწვეულია ხელსაწყოთა, გაზომვის მეთოდების თეორიის შემუშავების არასრულყოფილებით, გასაზომი აპარატურის არაზუსტი გრადუირებით, გაზომვის პირობების ცვლილებებით, გამოსწორდება ექსპერიმენტის შედეგად აღმოჩენილი შესწორებების შეტანით;
- შემთხვევითი – არაკონტროლირებადი ფაქტორების გავლენით (ანათვლების უზუსტობა, ტემპერატურის შემთხვევითი ცვლილება, ვიბრაცია და ა.შ.), ფასდება მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდებით მრავალჯერადი გაზომვების მონაცემების მიხედვით.

ს-მოდელის დეფორმაციის გაზომვების სიზუსტე განპირობებულია სამუშაოების წარმოების ტექნიკური დავალებით ნორმატიული დოკუმენტებით ან, აუცილებლობის შემთხვევაში, მას სპეციალურად ითვლიან. საჭირო სიზუსტე განსაზღვრავს გაზომვის სიზუსტის კლასის არჩევას და ხასიათდება საშუალო კვადრატული ცდომილებით (სკც).

ს-მოდელის კონტროლირებადი კვანძების სივრცითი მდგომარეობის აზომვის ჩატარების სიზუსტე განისაზღვრება ცდომილების გაჩენის სხვადასხვა წყაროებით:

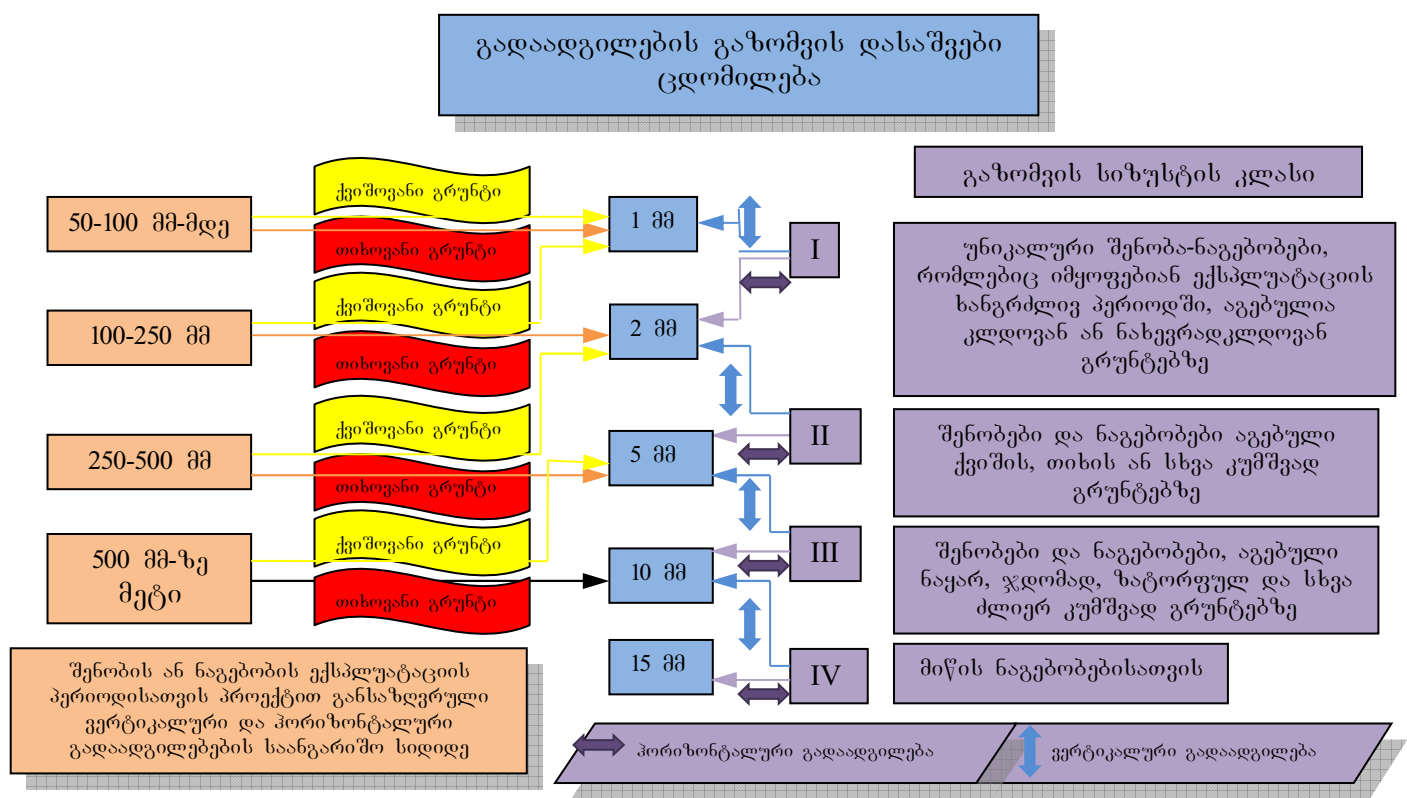
- საწყისი მონაცემების ცდომილება ( $m_s$ )

- ცენტრირების ცდომილება ( $m_c$ )
- ვიზირების ცდომილება ( $m_v$ )
- გარე პირობების გავლენის ცდომილება ( $m_a$ )
- ინსტრუმენტალური ცდომილება ( $m_d$ )

საერთო შემთხვევაში სს-მოდელის კვანძების კოორდინატების გაზომვის სრული სკც (საშუალო კვადრატული ცდომილება):

$$m_i^2 = m_s^2 + m_c^2 + m_v^2 + m_a^2 + m_d^2 + \dots + m_n^2 = \sum_{n=1}^n m^2, \quad (I.18)$$

უმრავლეს შემთხვევაში მონიტორინგის ობიექტის გადაადგილებების გაზომვების აუცილებელი სიზუსტე და მისი შესაბამისი სიზუსტის კლასები განისაზღვრებიან ნორმატიული მოთხოვნების საფუძველზე [1], ამასთან ვერტიკალური გადაადგილებების გაზომვები იყოფა სიზუსტის სამ კლასზე, ჰორიზონტალური კი ოთხზე. გადაადგილებების გაზომვის სიზუსტის განსაზღვრის მოხერხებულობისათვის GOCT 24846-81-ის ცხრილი I.1 და ცხრილი I.2-ის მონაცემები [1] წარმოდგენილია სქემატური სახით ნახ. I.57-ზე.



ნახ. I.57. გაზომვების დასაშვები ცდომილების განსაზღვრა GOCT 24846-81

გადაადგილებების გაზომვის სარწმუნოობა ფასდება გაზომვის სკც მეთოდის ფარდობით პროგნოზირებული გადაადგილებების სიდიდესთან, მოვლენის დადგომის სავარაუდოობის გამოთვლის გზით.

## ს-აზომვის ჩატარებისას გაზომვის სიზუსტის ანგარიში

გაზომვის სიზუსტის ანგარიში განსაზღვრავს სამუშაოების წარმოების პროექტს: გაზომვის მეთოდოლოგას, დასაშვებ გადახრებს, გაზომვის პირობებს. სიზუსტის დაბალი მოთხოვნები არ გამოაქვნიან დეფორმაციული პროცესის არსებობას. მომატებული მოთხოვნები, თავის მხრივ, იწვევს დიაგნოსტიკური სამუშაოების შესრულების ვადების და მათი ღირებულების ზრდას.

დიაგნოსტიკურ-გასაზომი სამუშაოების სიზუსტის ანგარიშის პროცესის წარმოდგენილი საერთო სახის თანახმად, სს-აზომვის სიზუსტის ანგარიშისას ანსხვავებენ პირდაპირ და უკუ ამოცანებს.

	პირდაპირი ამოცანა	უკუ ამოცანა
მიზანი:	სუზუსტის შეფასება	სიზუსტის ანგარიში
მოცემულია:	$B_k; \eta_k$	$\Delta A_i, \xi_i$
განისაზღვროს:	$\xi_i$	$B_k; \eta_k$
პირობა:	$\xi_i \leq \Delta A_i$ – პირობა შესრულებულია $\xi_i \geq \Delta A_i$ – პირობა არ შესრულებულია	

აქ  $A_i$  – ს-მოდელის  $i$  კვანძის გადაადგილების მნიშვნელობა გამოითვლება როგორც შესაბამისი კოორდინატების სხვაობა გაზომვის სხვადასხვა ციკლში.

$\Delta A_i$  – გადაადგილებების გაზომვის დასაშვები (ნორმატიული) სკც,  $სკც_{\Delta X(Y)}$  – კორიზონტალური;  $სკც_{\Delta Z}$  – ვერტიკალური;

$B_k$  – სვლის  $k$  სადგურზე სტანდარტული გაზომვები;

$\alpha, \beta, L$  – შესაბამისად პოლიგონომეტრიულ სვლაში დირექციული კუთხე, მხარის სიგრძე და წრფის სიგრძე;

$N, \theta, \lambda$  – შესაბამისად მარკების აზომვისას დახრილი მანძილი, ზენიტის კუთხე, პოლარული კუთხე;

$h$  – გადაჭარბება ნიველირულ სვლაში;

$\eta_k$  – გაზომვის საშუალო კვადრატული ცდომილება

$m_\alpha, m_\beta, m_L$

$m_N, m_\theta, m_\lambda$

$m_h$

$\xi_i$   $i$  დეფორმაციის მარკის  $i$  კოორდინატის სკც განსაზღვრა

$m_{x(y)}, m_z$

ზემოთ მოყვანილი სიდიდეები დაკავშირებულია შემდეგ საერთო ტოლობებთან:

$$\begin{aligned} A_i &= \varphi_i(B_1, \dots, B_q), i \rightarrow n; \\ \xi_i &= \psi_i(B_1, \dots, B_q, \eta_1, \dots, \eta_q), \end{aligned} \tag{I.19}$$

სადაც:  $n$  – დეფორმაციის მარკების რაოდენობა;

$q$  – სგქ პუნქტების რაოდენობა.

პირდაპირი ამოცანის გადაწყვეტის შედეგად ფასდება გაზომვების ფაქტიური სიზუსტე საკონტროლო სგქს და გამზომი ხელსაწყოების გამოყენებისას. გაზომვების მოცემული სიზუსტის უზრუნველყოფის აუცილებლობისას წყდება უკუ ამოცანა [2].

შემუშავებული მეთოდის რეალიზაციისას კონკრეტული ტიპის გასაზომი აპარატურის არსებობის პირობებში წყდება პირდაპირი ამოცანა. მოცემულ შემთხვევაში სიზუსტის კონტროლი და შეფასება გაზომვების შედეგების მიხედვით წარმოებს პოლიგონომეტრიული სვლის საწყის  $S_q = S_H$  ან  $S_q = S_3$  წერტილზე ჩაკეტვისას ცნობილი  $x_3, y_3$  კოორდინატებით და  $\alpha_3$  დირექციული კუთხით  $S_{c3}$  შემხვედრ წერტილზე. ქსელის სადგურის კოორდინატების განსაზღვრის შეცდომები იზრდება საწყისი წერტილიდან დაცილების პროპორციულად იმასთან დაკავშირებით, რომ მხრის და კუთხის გაზომვა შეიცავს ცდომილებებს შესაბამისად  $dL_1, dL_2, \dots, dL_n$  და  $d\beta_1, d\beta_2, \dots, d\beta_{n+1}$  სვლის კუთხური და წრფივი აცდენები:

$$\begin{aligned} f_\alpha &= \alpha_q - \alpha_H & \text{ან} & f_\alpha = \alpha_q - \alpha_3; \\ f_x &= x_q - x_H & \text{ან} & f_x = x_q - x_3; \\ f_y &= y_q - y_H & \text{ან} & f_y = y_q - y_3, \end{aligned} \quad (I.20)$$

სრული წრფივი აცდენა

$$f_p = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}, \quad (I.21)$$

სვლის პერიმეტრში ფარდობითი აცდენა:

$$\frac{f_p}{\Sigma L} \leq \frac{1}{N}, \quad (I.22)$$

სადაც:  $N$  – სვლის დასაშვები ფარდობითი ცდომილების მნიშვნელი.

სგქს პოლიგონომეტრიის მეთოდით აგებისას წრფივი და კუთხური გაზომვების სიზუსტე შეიძლება აგრეთვე გამოთვლილი იქნას გრძივი და განივი გადაადგილებების კოორდინატების შემადგენელი შეცდომების მიხედვით.

განივი ძვრა:

$$m_u = \frac{m_\beta}{\rho} L \sqrt{\frac{q+3}{12}}, \quad (I.23)$$

გრძივი ძვრა:

$$m_t = m_D \sqrt{q}, \quad (I.24)$$

პოლიგონომეტრიული სვლის ორ საწყის წერტილზე დაყრდნობისას სვლის შუაში იქნება:

$$m_t^{med} = \frac{m_D \sqrt{q}}{2}, \quad (I.25)$$

სკც ცალკეული სვლის მიახლოებითი შეფასებისას დაახლოებით ერთიდაიგივე მხარეებით, რომლებიც ეყრდნობიან 2 საწყის პუნქტს გაღუნული სვლისთვის იქნება:

$$M^2 = m_D^2 q + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} [D_{D,k}^2], \quad (I.26)$$

სადაც:  $D_{D,k}^2$  – დაშორება სვლის ყოველი წერტილიდან მის ცენტრამდე.

სვლის ზღვრული ფარდობითი აცდენა:

$$\frac{2M}{[L]} \leq \frac{1}{N}, \quad (I.27)$$

სადაც:  $L$  – სვლის სიგრძე.

დახურული ნიველირული  $f$  სვლის აცდენა განისაზღვრება სადგურის  $n$  რიცხვისას დახურული სვლის შესაბამისად  $i$  ჯღენითი მანიშნის  $H$  სიმაღლეებს შორის სხვაობით:

$$f = H_i^K - H_i^H \leq \begin{cases} \pm 0.15\sqrt{n} & - \text{სიზუსტის I კლასი} \\ \pm 0.5\sqrt{n} & - \text{სიზუსტის II კლასი} \\ \pm 1.5\sqrt{n} & - \text{სიზუსტის III კლასი} \\ \pm 5.0\sqrt{n} & - \text{სიზუსტის IV კლასი} \end{cases} [1] \quad (I.28)$$

გადაჭარბების საშუალო კვადრატული ცდომილება  $m_h$  სადგურზე ორჯერადი გაზომვების შედეგების მიხედვით:

$$m_h \leq \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[d^2]}{n}}, \quad (I.29)$$

სადაც:  $d$  – სადგურზე ორჯერადი გაზომვების სხვაობა;

$n$  – ნიველირულ ქსელში სხვაობის საერთო რიცხვი

დახურული სვლებისათვის სიზუსტის შეფასება ხორციელდება სადგურზე გადაჭარბების  $m_h$  სკც-ს მიხედვით:

$$m_h \leq \sqrt{\frac{[f^2]}{K \cdot n}}, \quad (I.30)$$

სადაც:  $f$  – დახურული სვლის აცდენა, მმ

$K$  – სვლის რიცხვი;

$n$  – სვლაში ნიველირული სადგურის რიცხვი.

სკც ცალკეული სვლებისათვის სიმაღლის განსაზღვრა გამოითვლებოდა შემდეგი ფორმულის მიხედვით:

$$m = m_h \sqrt{n}, \quad (I.31)$$

სადაც:  $n$  – სვლაში შედარებით მოშორებულ მარკამდე ნიველირული სადგურების რიცხვი

დეფორმაციული მარკების გადაადგილების გაზომვების სკც ცდომილების თეორიის თანახმად [3]:

$$\begin{aligned} m_{\Delta X(\Delta Y)} &= \pm m_{x(y)} \sqrt{2} \leq m_{\Delta X(\Delta Y)}^{\text{ნორმ}}; \\ m_{\Delta Z} &= \pm m_{z(h)} \sqrt{2} \leq m_{\Delta Z}^{\text{ნორმ}}, \end{aligned} \quad (I.32)$$

უკუ ამოცანის გადაწყვეტის შემთხვევაში საპროექტო სგქ-ს აგების სიზუსტის შეფასება მდგომარეობს საკვანძო პუნქტების კოორდინატების მოსალოდნელი ცდომილების სვლის ფარდობითი შეცდომების განსაზღვრაში და მათ შედარებაში დასაშვებ მნიშვნელობებთან. ქსელში გაზომვების სიზუსტის წინასწარი ანგარიშის საფუძველზე დევს შემდეგ დამოკიდებულებები:

$$m_F = \mu \sqrt{\frac{1}{P_F}}; \quad (I.33)$$

$$\frac{1}{P_F} = f_1 f_1 Q_{11} + 2f_1 f_2 Q_{12} + \dots + 2f_1 f_t Q_{1t} + f_2 f_2 Q_{22} + \dots + 2f_2 f_t Q_{2t} + \dots + f_t f_t Q_{tt}, \quad (I.34)$$

მატრიცული სახით

$$\frac{1}{P_F} = F_{1t}^T N_{tt}^{-1} F_{t1}; \quad (I.35)$$

$$\frac{1}{P_{x_t}} = Q_{tt}, \quad (I.36)$$

სადაც:  $m_F$  – ქსელის შეფასებული ელემენტის სკც ფუნქციები;

$\mu$  – გაზომვის წონის სკც ერთეულები;

$1/P_F = Q_F$  – ქსელის შეფასებული ელემენტის ფუნქციის უკუ წონა.

უკუ წონები დამოკიდებულია ქსელის ზომებზე, კონსტრუქციაზე და მასში ელემენტის მდგომარეობაზე:

$$m_F = \mu \sqrt{\frac{1}{P_F}} \cong f(m_\beta, m_D, k, q, g); \quad (I.37)$$

სადაც:  $m_\beta, m_D$  – კუთხური და წრფივი გაზომვების სკც;

$k$  – შეფასებული ელემენტების ნომერი ქსელში;

$q$  – სკქს პუნქტების რაოდენობა;

$g$  – ქსელის კონსტრუქციის მაჩვენებელი.

სიზუსტის ანგარიში შეიძლება წარმოებული იქნას ორი ხერხით:

1.  $Q_F$  გამოთვლილი სიდიდის და სიზუსტის განსაზღვრული ნორმატიული კლასის შესაბამისად  $\mu$  ცნობილი მნიშვნელობის მიხედვით განისაზღვრება ქსელის შესაფასებელი ელემენტის  $m_F$  შეცდომა და შეედარება ნორმატიულს.

2.  $Q_F$  გამოთვლილი სიდიდის და  $m_F$  დანიშნული მნიშვნელობის მიხედვით განისაზღვრება  $\mu$  და აირჩევა გაზომვების მეთოდიკა.

კონტროლირებადი კვანძების კოორდინატების გაზომვის აუცილებელი სიზუსტის წინასწარი ანგარიში შეიძლება აგრეთვე ვაწარმოთ შემდეგი ფორმულის მიხედვით:

$$\begin{aligned} \mu &\leq m_{\Delta X(Y)} / \sqrt{2Q_{x(y)}}; \\ \mu &\leq m_{\Delta Z} / \sqrt{2Q_z}, \end{aligned} \quad (I.38)$$

### ს-აზომვისას გაზომვების შედეგების მათემატიკური დამუშავება

ნორმატიული დოკუმენტებით საჭიროა გაზომვების შედეგების მათემატიკური დამუშავების შესრულება გათანაბრების გამოთვლების გზით. თუმცა როგორც გამოცდილება გვიჩვენებს მონიტორინგისას განმეორებითი გაზომვების შედეგებში შეყვანილი შესწორება ყოველთვის არ ზრდის დეფორმაციის საერთო სურათის სარწმუნოებას.

ნაშრომში გაზომვების სიზუსტის კონტროლი, ს-აზომებისას, არსებული ელექტრონული ტაქომეტრების და ნიველირების დახმარებით უზრუნველყოფილი იყო გეოდეზიური გაზომვების გათანაბრების პროცესში, რაც საშუალებას იძლევა შევამციროთ გაზომვების მსვლელობის პერიოდში შემთხვევითი ცდომილებების გავლენა. მისი არსი მდგომარეობს ს-მოდელის კვანძების კოორდინატების სავარუდო მნიშვნელობების მიღებაში ჭარბი გაზომვების არსებობისას შედეგების სიზუსტის შემდგომი შეფასებით და აცდენების აღმოფხვრით, რაც განპირობებულია გაზომვების შეცდომების არსებობით. ეს მიიღწევა გაზომილ სიდიდეებში (კუთხე, მანძილი) შესწორებების შეყვანის გზით, ან მათი ფუნქციების შესწორებით (ს-მოდელის კვანძების კოორდინატები).

გეოდეზიური გაზომვების გათანაბრების პროცედურის საფუძველში ჩადებულია ალბათობის თეორია და მათემატიკური სტატისტიკა [3]. გადასახოში სიდიდეების შესწორებები, არიან რა შემთხვევითი სიდიდეები, ემორჩილებიან შემთხვევითი სიდიდების ნორმალური გადანაწილების კანონს, რომლის ძირითად მახასიათებლებს წარმოადგენს: გადანაწილების ფუნქცია, გადანაწილების სიმკვრივის ფუნქცია, მათემატიკური ლოგინი, დისპერსია და საშუალო კვადრატული გადახრა.

გათანაბრების პროცედურა შეიძლება შესრულდეს 2 მეთოდით: არამკაცრი (გასაყოფი) და მკაცრი მეთოდით.

არამკაცრი მეთოდი გამოიყენება პოლიგონომეტრიული სვლის პუნქტების ფარდობითად მცირე რაოდენობისას. მოცემულ შემთხვევაში საკოორდინატო აცდენები გადანაწილდება სვლის მხარის სიგრძის პროპორციულად ნამატში, ხოლო მისი წერტილები წანაცვლდება სვლის პარალელურად აცდენის მიმართულებით.

$$\Delta x_i = \frac{f_x L_i}{\sum L}; \quad \Delta y_i = \frac{f_y L_i}{\sum L}, \quad (I.39)$$

კუთხური აცდენა გადანაწილდება კუთხეებს შორის თანაბრად და შეიყვანება საპირისპირო ნიშნით კუთხეების გაზომვის მნიშვნელობაში:

$$v_i = \frac{f_{\alpha}}{k}, \quad (I.40)$$

ნაშრომში გასაყოფი გათანაბრების პროცედურა რეალიზდება MSExcels-ის ელექტრონული ცხრილების საშუალებით.

პოლიგონომეტრიული სვლის პუნქტების დიდი რაოდენობის გამოთვლების სიზუსტის და საიმედოობის გაზრდისათვის, აგრეთვე შეცდომების დაუშვებლობის გარანტიის სახით აუცილებელია გამოვიყენოთ გაზომვების მკაცრი გათანაბრება, რომელიც იძლევა აცდენების თანაბარი გადანაწილების საშუალებას, მათი დაგროვების შესაბამისად. დასაწყისისათვის განისაზღვრება საკვანძო პუნქტების კოორდინატების საბოლოო მნიშვნელობა და საკვანძო მიმართულებების დირექციული კუთხეები, ხოლო შემდგომ ამ მონაცემების მიხედვით თანაბრდება ცალკეულ სვლებში.



## ს-მოდელის ავტომატიზებული აგების ტექნოლოგია

ს-მოდელის შექმნა, დაწყებული ნაგებობების სავსე აზომვით და დამთავრებული მზა 3-D სკემის ფორმირებით შეიძლება იყოს სრულად ავტომატიზირებული პროცესი. ჩვენს გამოყენებული ციფრული გეოდეზიური აპარატურა საშუალებას იძლევა მოვახდინოთ მონიტორინგის ობიექტების ს-მოდელების ავტომატიზირებული აგების ტექნოლოგიის რეალიზება დისერტაციის ავტორის მონაწილეობით შექმნილი სპეციალური პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით, რომელიც ასრულებს გეოდეზიური ინფორმაციის ავტომატიზებულ გადაყვანას ელექტრონულ ნახაზებად. ეს პროგრამული უზრუნველყოფა შედის ე.წ. გამზომ-ინფორმაციული კომპლექსის შემადგენლობაში, რომლის ძირითად მიზანს წარმოადგენს გეოდეზიური ინფორმაციის დანქარებული შეკრების უზრუნველყოფა და მის ბაზაზე შენობების და ნაგებობების ნახაზების ავტომატიზებული აგება. შემუშავებულის საფუძველში დევს თანამედროვე გეოდეზიური ხელსაწყოების გამოყენება (ტაქომეტრები, გადახრის მზომები და ლაზერული მანძილმზომები) და გაზომვის მონაცემების დამუშავებისათვის თანამედროვე პროგრამული საშუალებების ნაკრები.

გამზომი ინფორმაციული კომპლექსის ტექნიკური ნაწილი ეფუძნება „Sokkia“-ს ტაქომეტრების გამოყენებაზე. კომპლექსის პროგრამული ნაწილი ეფუძნება გეოდეზიური ინფორმაციის წინასწარი დამუშავების სისტემაზე Prolink (ფირმა „Sokkia“) და ელექტრონული ნახაზების აგების სისტემაზე AutoCAD (ფირმა Autodesk), რომელიც ფლობს ორ პრინციპულ უპირატესობას სხვა ანალოგიურ სისტემებთან შედარებით:

- მონაცემების წარმოდგენის DXE-ფორმატი, რომელიც წარმოადგენს სხვა სისტემებთან მონაცემების გაცვლის უნივერსალურ ფორმატს, კერძოდ სემ სისტემებთან და გეოდეზიური ინფორმაციის დამუშავების სისტემებთან;
- AUTO-LISP შიგა პროგრამების ჩაშენებული ენის არსებობა, რომელიც საშუალებას იძლევა AutoCAD მოვაწვოთ სპეციფიკური ტექნიკური ამოცანების ავტომატური შესრულებისათვის, კერძოდ, ნახაზების აგება გეოდეზიური ინფორმაციის ბაზაზე.

ს-მოდელის ავტომატური აგებისას ქმედებების საერთო მიმდევრობა შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით:

1. გეოდეზიური ხელსაწყოების დახმარებით ნაგებობების კონტროლირებადი კვანძების კოორდინატების განსაზღვრა;
2. PROLINK პაკეტის დახმარებით ინფორმაციის დამუშავება და მომზადება;
3. AutoCad-ის სისტემაში ნაგებობების ს-მოდელის კარკასის ავტომატური აგება (აქსონომეტრია და სიბრტყითი ნახაზები).

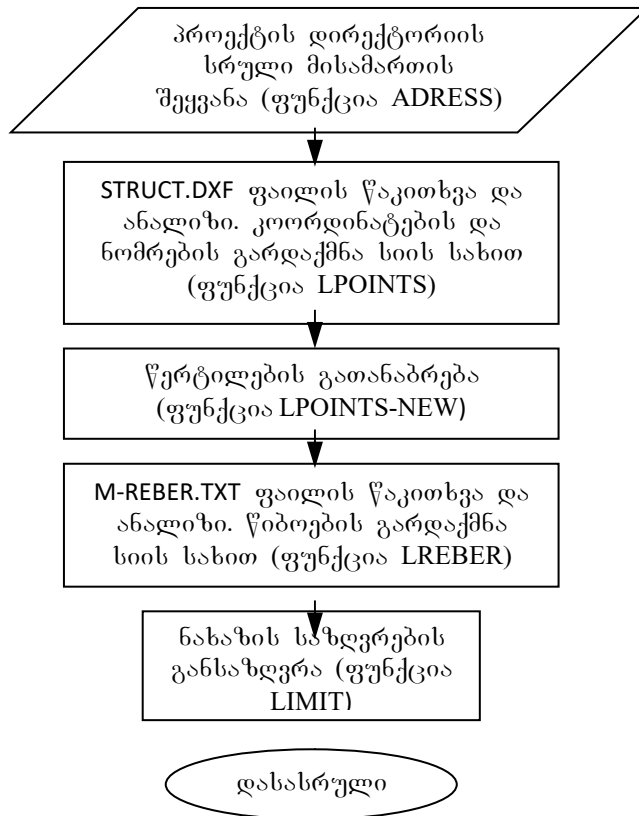
გაზომვების ჩატარების პროცესში ხელსაწყოში დაგროვილი ინფორმაცია შემდეგ გადაიქაჩება კომპიუტერში გეოდეზიური ინფორმაციის დამუშავების სპეციალიზებული პაკეტის PROLINK დახმარებით. ამ პაკეტს აქვს შესაძლებლობა მოახდინოს ინფორმაციის მოდიფიცირება და შეინახოს იგი DXF ფორმატის რამოდენიმე ტიპის ფორმატის ფაილებში, რომელიც შედის AutoCAD-ის სისტემაში მონაცემების წარმოდგენის მრავალრიცხოვანი ფორმის შემადგენლობაში.

DXF-ფაილები წარმოადგენენ განსაზღვრული ფორმატის ტექსტურ ფაილებს, რომლებიც ჩვეულებრივ შეიცავენ AutoCAD-ის ნახაზების გრაფიკული ობიექტების შესახებ ინფორმაციას: შრეების დასახელება, გეომეტრიული ობიექტების ტიპები და აღწერა. ამას გარდა ყოველ ობიექტთან შეიძლება იყოს დაკავშირებული სხვა რიცხვითი და სიმბოლური მნიშვნელობები, რომლებიც აუცილებელია სხვადასხვაგვარი გრაფიკული აგებებისათვის. ამგვარად, DXF-ფაილი შეიძლება შეიცავდეს არა მხოლოდ რიცხვით ინფორმაციას, რომელიც საკმარისი იქნება ს-მოდელის აგებისათვის, არამედ ტექნიკურ ინფორმაციასაც, აზრობრივი აღწერების ჩათვლით, რაც საშუალებას იძლევა მოვახდინოთ მონაცემების დაჯგუფება AutoCAD-ის შიგნით ნახაზების აგებისას განსაზღვრული ნიშნების მიხედვით.

ნაგებობის ს-მოდელის შექმნისას გაზომვების წერტილების კავშირების ანალიზისათვის დამატებითი ინფორმაციის მომზადება ხდება MSEXCEL-ის პაკეტში, რომლის ფაილებიც შემდეგ გადაეცემა AutoCAD-ის გრაფიკულ სისტემას.

იმისათვის, რომ კორექტირებული და მომზადებული ინფორმაციის საფუძველზე, რომლებიც შეეხება ნაგებობების გეომეტრიულ პარამეტრებს და წარმოდგენილია AutoCAD-ის საკონტროლო კვანძების კოორდინატებით ავტომატურ რეჟიმში ავაგოთ ს-მოდელის სიბრტყითი ნახაზები და აქსონომეტრია, უნდა განვახორციელოთ მისი დაყენება AutoLISP ენის პრაგრაფული ფაილის ჩატვირთვის გზით.

მოცემულ ფუნქციას ასრულებს ტექნიკური ფაილი პირობითი სახელწოდებით MONITORING, რომელიც წარმოადგენს ფუნქციის მიმდევრობის აღწერის პროგრამას ნახაზების ავტომატიზირებული აგებისათვის (ნახ. I.58).



ნახ. I.58. MONITORING მოდულის ალგორითმის ბლოკ-სქემა

ფუნქცია LPOINTS ითვლის ფაილს STRUCT.DXF, აანალიზებს მის შემცველობას, ამოიცნობს კონტროლირებადი კვანძების კოორდინატებს და ნომერს, და ახდენს მათ ორგანიზებას ჩამონათვალის სახით ( $n_i, x_i, y_i, z_i$ ).

1. პროექტის დირექტორის სრული მისამართის შეყვანა (ფუნქცია ADDRESS).
2. STRUCT.DXF ფაილის ანალიზი და წაკითხვა. წერტილების კოორდინატების და ნომრების გარდაქმნა ჩამონათვალში (ფუნქცია LPOINTS).
3. წერტილების გათანაბრება (ფუნქცია LPOINTS-NEW)
4. M-REBER.TXT ფაილის ანალიზი და წაკითხვა. წიბოების გარდაქმნა ჩამონათვალში (ფუნქცია LREBER).
5. ნახაზის საზღვრების განსაზღვრა (ფუნქცია LIMIT)
6. აქსონომეტრიის მითითებულ დირექტორიაში გამოსახვა და ჩაწერა (ფუნქცია AKS)

ფუნქცია LREBER ითვლის M-REBER.TXT ფაილიდან შემაერთებული წერტილების ნომერს, აანალიზებს მათ და ახდენს წიბოების ჩამონათვალს.

ფუნქცია LPOINTS-NEW ახდენს კოორდინატების ინფორმაციის კორექტირებას ცდომილებების მოცილებისათვის, რომლებიც იწვევენ გეოდეზიური გაზომვების შედეგების დამახინჯებას.

ფუნქცია LIMITS განსაზღვრავს ნაგებობის ნახაზის მასშტაბს მოცემული ფორმატის ფურცელზე მისი განთავსებისათვის გაზომილი წერტილების კოორდინატების ანალიზის გზით, ხაზვის არეალის საზღვრების განსაზღვრისათვის აუცილებელი ზღვრული მნიშვნელობების გამოვლენის მიზნით.

ფუნქცია AKS წერტილების კორექტირებული კოორდინატების და წიბოების მატრიცის მიხედვით გამოხაზავს ნაგებობის სს-მოდელის აქსონომეტრიას, ე.წ. კარკასულ-წერტილოვანი მოდელის ფორმაში და იმასსოვრებს მას AKS.DWG ფაილში.

ამგვარად ფორმირებული ფაილები DWG გაფართოებით წარმოადგენენ AutoCAD-ის სისტემის სტანდარტულ ფაილებს და წარმოადგენენ ნაგებობის ს-მოდელის საბაზო ნახაზებს, რომლებიც შეიძლება იყონ არასრული და შემდგომში მოხდეს მათი რედაქტირება არასაკმარისი ინფორმაციის დამატება ხელით. აუცილებლობისას ს-მოდელი შეიძლება გამოვიყენოთ ნაგებობის საანგარიშო მოდელის აგების საფუძვლად, სიბრტყითი და სივრცითი ნახაზების DXF ფაილებიდან სემ-მოდელში გარდაქმნის გზით.

ამგვარად, ობიექტების ს-მოდელის აგების მოცემული ტექნოლოგია იძლევა დიაგნოსტიკური გაზომვების მონაცემების დაჩქარებული დამუშავების საშუალებას და წარმოადგენს შენობების და ნაგებობების მზიდი კონსტრუქციების ტექნიკური მდგომარეობის მონიტორინგის ჩატარების სივრცითი მეთოდის ელემენტს.

## II. შენობა-ნაგებობების ზღვრული მდგომარეობისა და ნარჩენი რესურსის მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის მეთოდოლოგიის დამუშავება დაზიანებათა გათვალისწინებით

### II.1. შესავალი

ბოლო დროს აქტუალური ხდება შენობა-ნაგებობების მონიტორინგი და დიაგნოსტიკა, მათი უსაფრთხოების უზრუნველყოფის და რესურსის გაგრძელების ანალიზის მზარდ აუცილებლობასთან დაკავშირებით [4,5,6,7,8,9-12]. შენობა-ნაგებობების რესურსის, უსაფრთხოების, ხანგამძლეობის, სიმტკიცის პრობლემების გადაწყვეტასთან კომპლექსური მიდგომის მეთოდოლოგია შეიცავს შემდეგ ძირითად დებულებებს:

- მზიდი ელემენტების კონსტრუქციული მასალების მდგომარეობის ანალიზი, გაჩენილი ექსპლუატაციური დაზიანებების და საწყისი ტექნოლოგიური მემკვიდრეობის ჩათვლით;
- მზიდ ელემენტებში მაკრო და მიკრო დეფექტების ზომების, დისლოკაციის, პარამეტრების და ხასიათის განსაზღვრა;
- მზიდი ელემენტების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის საანგარიშო და ექსპერიმენტალური ანალიზი;
- მასალის ბუნებრივი და დაჩქარებული ხანდაზმულობის (დაბერების) მექანიზმის გამოკვლევა;
- კონსტრუქციის მზიდი ელემენტების ზღვრული მდგომარეობის ანალიზი;
- კონსტრუქციის ელემენტების და მასალების სიცოცხლისუნარიანობის შეფასება დაზიანების სხვადასხვა სტადიაზე;
- სიმტკიცის, ხანგამძლეობის, უსაფრთხოების და ნარჩენი რესურსის საანგარიშო-ექსპერიმენტალური განსაზღვრა;
- შენობა-ნაგებობების ზღვრული მდგომარეობის, სიმტკიცის, უსაფრთხოების და ხანგამძლეობის ძირითადი პრინციპების ჩამოყალიბება კატასტროფების მექანიკის პოზიციიდან.

დიდი ხნის განმავლობაში ფუნდამენტალური და გამოყენებითი კვლევები ორიენტირებული იყო პროგრესის უმნიშვნელოვანესი მახასიათებლების მიღწევაზე (ეფექტურობის, ერთეული სიმძლავრის, სიჩქარის ამაღლება, ახალი მასალების და ტექნოლოგიების ათვისება) ავარიების და კატასტროფების გაჩენის რისკის გათვალისწინების გარეშე. ამის გამო ბევრი განვითარებული მრეწველობის ქვეყანა აღმოჩნდა მძიმე სოციალური, ეკონომიკური და მატერიალური შედეგებისათვის მოუმზადებული, რაც გამოიწვია ძლიერი ავარიების და კატასტროფების მზარდმა

რიცხვმა. ამასთან რთული და საპასუხისმგებლო შენობა-ნაგებობები, რომლებიც წარმოადგენენ უეჭველ საშიშროებას ხალხისა და გარემოსათვის, უმრავლეს შემთხვევაში იქმნებოდა პროექტირების ტრადიციული წესების, გაანგარიშების და გამოცდის უმარტივესი საინჟინრო მეთოდების გამოყენებით.

ამან გამოიწვია, უკანასკნელ ათწლეულში, შენობა-ნაგებობების უსაფრთხოების უზრუნველყოფის ახალი პრინციპების და კონცეფციების ფორმირება, აგრეთვე სამეცნიერო კვლევების ახალი მიმართულების – მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის კომპლექსური სისტემების ფორმირება. მომავალში, როგორც ჩანს, ეს სამეცნიერო მიმართულება შეიცავს არა მხოლოდ შენობა-ნაგებობების კატასტროფული რღვევის დაფიქსირებას, არამედ, აგრეთვე მათი გამომწვევი მიზეზების დადგენას და უფრო მეტიც, წინა ავარიული მდგომარეობის განსაზღვრას.

## II.2. შენობა-ნაგებობების ზღვრული მდგომარეობის შესწავლა დაზიანებების გათვალისწინებით

მონიტორინგი და დიაგნოსტიკა დაკავებულია არა იმდენად სხვადასხვა სახეობების ზემოქმედებების შესწავლით, რამდენადაც განსაზღვრული ზემოქმედებებიდან საანგარიშო მოქმედ დატვირთვებზე გადასვლის აპარატის შექმნით. ეს გადასვლა შეიძლება განხორციელდეს შესაბამისი საანგარიშო მოდელების (ფუნქციონალური ან იმიტაციური) შექმნის ბაზაზე სრულმასშტაბიანი ან მოდელური ექსპერიმენტების ჩატარებისას. საექსპლუატაციო დატვირთვის პირობების მონაცემები წარმოადგენს ამომავალ წერტილს ძირითადი საანგარიშო პარამეტრების დანიშნისას, რომლებიც შედის მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის საბაზისო განტოლებებში და საჭიროა ინიცირებული და განვითარებული ავარიების და კატასტროფების შემდგომი მოდელირებისათვის.

საერთო შემთხვევებში შენობა-ნაგებობების ექსპლუატაციისას მათზე მოქმედებს სამი ძირითადი ტიპის დატვირთვა: მექანიკური  $P_m$  (წნევისაგან, წონისაგან, ინერციის ძალებისაგან და სხვა); თბური  $P_T$  (ტემპერატურის არათანაბარი გადანაწილებისაგან და (ან) მასალების არაერთგვაროვანი თბოფიზიკური თვისებებისაგან) და ელექტრომაგნიტური  $P_{em}$  (ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედებისაგან). ჯამური საექსპლუატაციო დატვირთვები ქმნიან შესაბამის ძაბვებს  $\sigma$  და დეფორმაციებს  $\epsilon$ . საექსპლუატაციო დატვირთვის პარამეტრების (დატვირთვის ციკლების რიცხვის  $N$ , დროის  $T$ , ტემპერატურის  $T$ , საექსპლუატაციო ძალების  $P$ , დაძაბულობის  $\sigma$  და დეფორმაციის  $\epsilon$ ) გათვალისწინებით აგებენ დროებით დამოკიდებულებებს  $P, T, \sigma, \epsilon$ . ყველა  $i$ -რეჟიმის ანალიზიდან დგინდება უფრო მეტად არახელსაყრელი შეხამება  $P$ ,

$T : P_{\max} - T_{\max}$  – მომატებული და მაღალი ტემპერატურებისას;  $P_{\max} - T_{\min}$  – დაბალი და კრიოგენული ტემპერატურებისას. ასეთი შეხამების რიცხვი განისაზღვრება საანგარიშო დეტალების ან ელემენტების რიცხვის და გეომეტრიული ფორმის, მათში საშიში ზონების და კვეთების რიცხვის გათვალისწინებით. დაძაბულობის მახასიათებლების სწორედ ეს არახელსაყრელი თანწყობა მიიღება გადამწყვეტად კონსტრუქციების სიმტკიცის, უსაფრთხოების და ხანგამძლეობის შემდგომი საანგარიშო-ექსპერიმენტალური შეფასებისათვის. ამას გარდა, დატვირთვის მიხედვით ადგენენ დამატებით საანგარიშო პარამეტრებს:

- ძაღვის რხევის სიდიდე (ნაზრდი)  $\Delta P$  და ძაღვების ამპლიტუდა  $P_a = \frac{\Delta P}{2}$
- ტემპერატურის ნაზრდი  $\Delta T$ ;
- ვიბრაციული (ორი ან მრავალსიხშირიანი) დატვირთვის ძაღვების ნაზრდი  $\Delta P_b$ .

ამასთან განსაზღვრას ექვემდებარება დაძაბულობა  $\sigma$  (დეფორმაციები  $\epsilon$ ) ტემპერატურები  $T$ , წარმოქმნილი დეფექტების (ბზარების) ზომები, ფორმა და ადგილი  $e$ , რომლებიც იცვლება დროში  $\tau$ . ეს პარამეტრები დამოკიდებულია საექსპლუატაციო დატვირთვის პირობებზე (წნევაზე, მექანიკურ და ელექტრომაგნიტურ ძაღვებზე, სიჩქარეზე, აჩქარებაზე), კონსტრუქციული ელემენტების გეომეტრიულ ფორმებზე და ზომებზე, კონსტრუქციული მასალების თვისებებზე. რადგან პრაქტიკულად ყველა ავარიული სიტუაციის გაჩენა და განვითარება იწყება მზიდი ელემენტების დაზიანებით (რღვევა, დეფორმირება, სიმკვრივის კარგვა, მდგრადობის კარგვა), მაშინ დიაგნოსტიკის პროცესში აუცილებელ განსაზღვრას ექვემდებარება საბაზისო პარამეტრების მაქსიმალური ( $\sigma_{\max}, \epsilon_{\max}, T_{\max}$ ) და ამპლიტუდური ( $\sigma_a, \epsilon_a, T_a$ ) მნიშვნელობები. მათი მიხედვით დგინდება შესაბამისი ციკლების ასიმეტრიის კოეფიციენტები.

ჯამური ავარიული დატვირთვები ქმნიან შესაბამის დაძაბულობებს და დეფორმაციებს  $\sigma, \epsilon$  რომლებიც საბოლოოდ განსაზღვრავენ დროის  $\tau$  დატვირთვის ციკლის  $N$  რიცხვის მიხედვით ექსპლუატაციური დაზიანებების დაგროვებას  $a$ :

$$a = [\{P_m, P_{em}, P_T\}, \{\tau, N\}_T] \quad (II.1)$$

თუ განხილული რეჟიმების საერთო რიცხვი  $k$ -ს ტოლია, მაშინ წრფივი ჯამური დაზიანების საფუძველზე ჯამურ დაზიანებას ვადგენთ შემდეგი ფორმულის გამოყენებით

$$a = \sum_i^k \{a_i\} \leq 1 \quad (II.2)$$

აღნიშნული დამოკიდებულებები წარმოადგენს ამოსავალ წერტილს შენობა-ნაგებობების სიმტკიცის მარაგის, საიმედოობის და საინჟინრო უსაფრთხოების

ანალიზისათვის. სიდიდეებს  $p$ ,  $T$  და  $\tau$  -ს, როგორც წესი იძლევა საექსპლუატაციო რეჟიმები და შეიძლება დარეგისტრირდეს კონსტრუქციების კონკრეტულ-გაზომვით სისტემებად. საერთო და ადგილობრივი დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის პარამეტრები  $\sigma$  და  $\varepsilon$  შეიძლება მიღებული იქნას  $p$ ,  $T$  და  $\tau$  სიდიდეების მიხედვით ანგარიშით ან ნატურული სპეციალური გაზომვით, არამრღვევი კონტროლის მეთოდებით.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, შენობა-ნაგებობების და კონსტრუქციის მზიდი ელემენტების რეაქცია ჯამურ დატვირთვებზე, ფიზიკური ველების და კოროზიული არეების ზემოქმედებაზე წარმოადგენს არა მხოლოდ დაძაბულობის და დეფორმაციების ველების გაჩენას, არამედ დაზიანებების ველის გაჩენას. ამასთან დაძაბულობის კონცენტრაციის ზონებში ადგილობრივ დაძაბულობას და დეფორმაციებს აქვთ მომატებული მნიშვნელობები, ხოლო თვით მასალების დაზიანებების პროცესები მიმდინარეობს უფრო ინტენსიურად და იწვევს რღვევას. ამასთან დატვირთვის და არის პირობებზე დამოკიდებულებით რეალიზდება დაზიანების და რღვევების დაგროვების სხვადასხვა მექანიზმები. ამ მექანიზმებს შორის უფრო საშიშია ისინი, რომლებიც იწვევენ კატასტროფულ (ზვავისმაგვარ) რღვევებს, მაგალითად კოროზიული დასკდომის დინამიკური და ხანგრძლივი სტატიკური დატვირთვის, სტატიკური მცირეხნიანი დატვირთვისას ბზარების არამდგრადი განვითარების, კონტაქტური ურთიერთქმედების პირობებში. მასალაში დაზიანებების გაჩენის და დაგროვების განსაკუთრებული მექანიზმების ფიზიკური ანალიზი და გამოვლენა თამაშობს ძლიერ მნიშვნელოვან როლს კონსტრუქციის ზღვრული მდგომარეობის მიღწევის ფიზიკური კრიტერიუმების ფორმირებისას.

ამგვარად, დეფორმირებული მყარი ტანის მექანიკის განმსაზღვრელი თანაფარდობების და დაზიანებების კინეტიკის, ძირითადი დამაზიანებელი ფაქტორების და დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ცოდნა იძლევა დაზიანებულ მდგომარეობებში შენობა-ნაგებობების ზღვრული მდგომარეობის იერარქიის შემუშავებაზე გადასვლის საშუალებას. ამასთან ელემენტების ზღვრული მდგომარეობა ხასიათდება დეფორმაციულობისა და სიხისტის, ერთჯერადი მოკლევადიანი, დინამიკური და ხანგრძლივი სტატიკური რღვევის, რღვევის წრფივი და არაწრფივი მექანიკის კრიტერიუმებით (განსაზღვრავს მზიდუნარიანობას).

რღვევის მექანიკის პოზიციიდან ჩვეულებრივ განიხილავენ ზღვრული მდგომარეობის შემდეგ ტიპებს:

- რღვევა (ბლანტი და მყიფე);
- ელემენტის მთელ კვეთზე პლასტიკური დეფორმირება;
- მდგრადობის დაკარგვა;
- დაუშვებელი ფორმის გაჩენა;



– ციკლური დატვირთვისას მიკრობზარების გაჩენა;

უსაფრთხოების თვალსაზრისიდან ზღვრული მდგომარეობის პირველ სახეობას (რღვევა) აქვს პრინციპული მნიშვნელობა, რადგან იწვევს მაქსიმალურ შესაძლო ზარალს. ზღვრული მდგომარეობის პირველ სახეობისათვის (რღვევა) საანგარიშო სახით შეიძლება იყოს განხილული შემდეგი შემთხვევები: სრული რღვევა, ბზარების განსაზღვრული ზომის მიღწევა, ბზარების არასტაბილური მდგომარეობის გაჩენა ერთჯერადი სტატიკური ან დინამიკური დატვირთვისას, ციკლური ან ხანგრძლივი სტატიკური დატვირთვისას ბზარის მიერ განვითარების მოცემული სიჩქარის მიღწევა, ერთჯერადი სტატიკური ან დინამიკური დატვირთვისას მოძრავი ბზარის გაჩერების სტადია. ზღვრული მდგომარეობის დადგომა მიიღწევა დატვირთვის საექსპლუატაციო (მათ შორის ავარიული) რეჟიმების ზემოქმედების შედეგად საწყისი ტექნოლოგიური ან საექსპლუატაციო დეფექტების განვითარებით.

შენობა-ნაგებობების ელემენტების ზღვრული მდგომარეობის განმსაზღვრელი კრიტერიუმების კომპლექსი, შეიძლება წარმოვადგინოთ ფუნქციონალური დამოკიდებულების სახით  $\phi_{N,T,\tau}\{\sigma, \varepsilon, N, T, \tau\} = \phi_c$ , რომლის მარცხენა ნაწილი ხასიათდება კონსტრუქციების მდგომარეობის პარამეტრების (ძალოვანი, დეფორმაციული და სხვა) ერთობლიობით, რომლებიც ასახავენ კონსტრუქციების რეაქციას გარე (მათ შორის ავარიული) ზემოქმედებებზე, ხოლო მარჯვენა – ანალოგიური კომპლექსია, მაგრამ მასში შედის მასალების (კონსტრუქციების ელემენტების) კრიტერიული მახასიათებლები.  $\phi_{N,T,\tau}$  მნიშვნელობას კრიტერიულ დამოკიდებულებებში განსაზღვრავენ ანგარიშით, ხოლო მასალის კრიტერიულ მახასიათებლებს  $\phi_c$  განსაზღვრავენ კონსტრუქციების ნატურული ელემენტების, მოდელების ან ნიმუშების ექსპერიმენტიდან.

შენობა-ნაგებობების მდგომარეობის დასაშვები პარამეტრების საზღვრების დადგენისათვის კრიტიკული მახასიათებლები მცირდება რამოდენიმეჯერ ანუ ანგარიშში შეჰყავთ უსაფრთხოების (მარაგის) კოეფიციენტები. კრიტიკული მახასიათებლების მიხედვით მარაგის კოეფიციენტები ინიშნება, როგორც წესი კონსტრუქციების შესაძლო ზღვრული მდგომარეობიდან, მისი (ან მისი პროტოტიპების) ექსპლუატაციის პრაქტიკიდან და ტრადიციიდან გამომდინარე. ზღვრული მდგომარეობის ზოგიერთი შემთხვევისათვის მარაგის კოეფიციენტები შეიძლება მიღებული და გამოთვლილ იქნას მეცნიერულად დასაბუთებული კოეფიციენტების საფუძველზე გამოთვლის გზით.

დეფორმირების და რღვევის მექანიკის ფუნდამენტალურ საკითხს წარმოადგენს მდგომარეობის გათანაბრების შესახებ კითხვები, რომლებიც ახასიათებენ კავშირს დაძაბულობის  $\sigma$  და დეფორმაციების  $\varepsilon$  დენად მნიშვნელობებს შორის. ეს კავშირი საერთო შემთხვევებში არის საკმაოდ რთული და დამოკიდებულია კონსტრუქციის მასალის ტიპზე, დატვირთვის პირობებზე (ტემპერატურა, დეფორმირების სიჩქარე, გარემომცველი არის ფიზიკო-მექანიკური ზემოქმედებები). დაძაბული მდგომარეობის

თვისებებზე, დეფორმირების პროცესში მასალაში შესაძლო სტრუქტურულ ცვლილებებზე და მიკრო და მაკრო დაზიანებების განვითარების ხარისხზე. კონსტრუქციებში მასალების ზღვრულ მდგომარეობაზე და მექანიკურ ქცევაზე გავლენის მომხდენი უფრო მნიშვნელოვანი ფაქტორების რიცხვს მიეკუთვნებიან: ტემპერატურა, დეფორმირების სინქარე, ატანის დრო, ციკლურობა, დაძაბული მდგომარეობის სახეობა, კვეთის აბსოლიტური ზომები, აგრეთვე სხვა ფიზიკური ზემოქმედებები. ეს ფაქტორები გავლენას ახდენენ დეფორმირების და რღვევის მრუდების ფორმაზე, აგრეთვე მდგომარეობის გათანაბრების ძირითად პარამეტრებზე. დაბალი ან კრიოგენული ტემპერატურების რაიონში ცივადმტვრევადი მასალებისათვის ზღვრული მდგომარეობის დადგენა შეიძლება შეფასდეს ექსპლუატაციურ ტემპერატურასა  $T_i$  და სიმყიფის კრიტიკულ ტემპერატურას  $T_{ki}$  შორის ტემპერატურული ინტერვალის მიხედვით:

$$\Delta T_{ki} = T_i - T_{ki} \quad (II.3)$$

დეფორმირებულ დამოკიდებულებაში სიმტკიცეზე და რესურსზე კომპლექსური ანგარიშის ჩატარებისას იყენებენ საექსპლუატაციო დატვირთვების გასაშუალებული მახასიათებლების, დეფორმირებისა და რღვევის მიმართ კონსტრუქციული მასალების წინააღმდეგობის გასაშუალებული ან გარანტირებული მახასიათებლების მთელ საწყის ინფორმაციას, რომლებიც განისაზღვრება ფიზიკური (დეფექტოსკოპიური) მეთოდით კონტროლის ნორმების მიხედვით. თუ პროექტირების ან ექსპლუატაციის სტადიაზე ანგარიშში შეყავთ დატვირთვის (გადანაწილების ფუნქციები და მათი პარამეტრები), მზიდი ელემენტების დეფექტურობის და მასალების მექანიკური თვისებების სტატისტიკური მახასიათებლები, მაშინ შესაძლებელი ხდება განისაზღვროს კონსტრუქციების საიმედოობის შესაძლო მახასიათებლები [13,5,6,14,15].

ავარიების და კატასტროფების გაჩენის და განვითარების სხვადასხვა სტადიაზე სიმტკიცის მარაგის და საიმედოობის კრიტერიუმების მიხედვით ობიექტების ზღვრული მდგომარეობის წარმოქმნის პირობების შესწავლასთან დაკავშირებული დიდი მოცულობის კვლევის ჩატარების აუცილებლობასთან დაკავშირებით ასეთი თავისი არსით არაწრფივი ობიექტების წინასწარმეტყველებისა და შესწავლისათვის ყველაზე ეფექტურ სამეცნიერო მიდგომას წარმოადგენს მათემატიკური მოდელირება ან რიცხვითი ექსპერიმენტი. რიცხვითი ექსპერიმენტის წარმატებული ჩატარებისათვის საჭიროა მონაცემების სპეციალური ბაზების და ბანკების შემუშავება, რომელიც თავის თავში აერთიანებს გარემომცველი და დეფორმირებული არის ფიზიკო-მექანიკურ თვისებებს, დეფორმირებისა და რღვევის მიმართ კონსტრუქციული მასალების წინააღმდეგობის მახასიათებლებს, აგრეთვე მდგომარეობის გათანაბრების და მათი ევოლუციის გათანაბრების პარამეტრებს, მათ შორის დაზიანებების კონტინუალური

მექანიკის მოდელებისათვის, დატვირთვის შესაძლო შედეგებით გამოსაკვლევი ობიექტების კვანძების და დეტალების ტიპების აღწერისათვის და სხვა.

რთული კონსტრუქციების ხანგამძლეობის და უსაფრთხოების რიცხობრივი შეფასებისათვის არსებითი მნიშვნელობა აქვს კონსტრუქციის ანგარიშის მეთოდებს. დღეისათვის შემუშავებულია და პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება კონსტრუქციის ელემენტების მუშაუნარიანობის შეფასების სხვადასხვა მოდელები და მეთოდები შემთხვევითი დატვირთვების რეალიზაციის, მასალების თვისებების გადანაწილების მოცემული კანონის და სხვათა პირობებში. ასეთი მოდელების აგების საფუძველში ჩვეულებრივ ჩადებულია შესაძლო ზემოქმედებების ხასიათის, მასალების თვისებების გადანაწილების განსაკუთრებულობების და გეომეტრიული ელემენტების ემპირიული ცნობები. ეს მოდელები და შესაბამისი საანგარიშო მეთოდები იძლევიან რისკის დასაშვები პარამეტრების გადანაწილებაზე, ნორმირებაზე და დასაბუთებაზე გადასვლის საშუალებას, კონსტრუქციების ელემენტების დატვირთულობის და დეფექტურობის დონეებზე გადასვლის საშუალებას. აუცილებელია აღინიშნოს, რომ კონსტრუქციის ელემენტების მუშაუნარიანობის შესაძლო შეფასებების საფუძველზე მიღებული ღირებულებები მცირდება ემპირიული დაშვებების დასაბუთების შემცირების მიხედვით, რომლებიც ჩადებულია საანგარიშო მეთოდის საფუძველში, ამიტომ მცირედ შესაძლებელი მოვლენების შეფასებისას ჩნდება ობიექტური სირთულეები, რომლებიც დაკავშირებულია ალბათობითი ანალიზის შედეგების უტყუარობასა და დასაბუთებულობასთან.

უსაფრთხოების პრობლემების გადაწყვეტა მჭიდრო კავშირშია კომპლექსურ გამოკვლევებთან, დაძაბულ-დეფორმირებული და ზღვრული მდგომარეობების რიცხვითი ექსპერიმენტული მეთოდების გამოყენებასთან, აგრეთვე გამოკვლევების უნიფიკაციასა და სტანდარტიზაციასთან. კრიტიკული მექანიკური მახასიათებლების ექსპერიმენტალური განსაზღვრისათვის, რომელიც შედის მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის საბაზისო ბლოკში, ზოგადად შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით [4,12]:

$$\{S, R_{\tau, N}, P_R, R_{\sigma}\} = F\{f_s(P_s, T, N, \tau, \phi) f_{\sigma}(\sigma_B, \sigma_T, \sigma_{B\tau}, \sigma_{-1}, E, \lambda, H_B, \eta, \psi, K_{IC}) f_{\ell}(\ell, K_t, F)\} \quad (4)$$

სადაც  $S$  – უსაფრთხოების მახასიათებლებია;  $R_{\tau, N}$  – მარაგის მახასიათებლები;  $P_R$  – საიმედოობის მახასიათებლები;  $R_{\sigma}$  – სიმტკიცის მახასიათებლები (რღვევისადმი წინააღმდეგობა);  $f_s$  – საექსპლუატაციო დატვირთვის ფუნქციონალი:  $T$  – ტემპერატურა დროის მოცემულ მომენტში;  $N$  – დატვირთვის ციკლების რიცხვი;  $\tau$  – ექსპლუატაციის დრო;  $\phi$  – ფიზიკური ზემოქმედებების ველების პარამეტრები (რადიაცია, მუშა რაიონი, მაგნიტური ველი);  $f_{\sigma}$  – კონსტრუქციული მასალების ფიზიკო-მექანიკური თვისებების ფუნქციონალი,  $\sigma_B$  – სიმტკიცის ზღვარი,  $\sigma_T$  – დენადობის ზღვარი;  $\sigma_{B\tau}$  – ხანგრძლივი

სიმტკიცის ზღვარი;  $\sigma_{-1}$  – ამტანიანობის ზღვარი;  $E$  – დრეკადობის მოდული;  $\lambda$  – თბოგამტარობის კოეფიციენტი;  $H_B$  – სიმყარე (მიკროსიმყარე);  $\eta$  – პლასტიკურ არეში გამკვრივების მაჩვენებელი;  $\psi$  – მასალის ზღვრული პლასტიურობა;  $K_{lc}$  – ბზარმდეგობის მახასიათებელი;  $K_{Ic}$  – ბზარმდეგობის მახასიათებელი;  $f_\ell$  – კონსტრუქციის მზიდი ელემენტების კონსტრუქციული ფორმების ფუნქციონალი;  $\ell$  – დეფექტის ზომა;  $K_I$  – დაძაბულობის კონცენტრაციის თეორიული კოეფიციენტი;  $F$  – განსახილველ ზონაში განიკვეთის მახასიათებლები.

ამგვარად, უსაფრთხოების ანალიზი გეთავაზობს კონსტრუქციების მთლიანობის შეფასების მრავალდონიან სისტემას და შესაბამისად განისაზღვრება ამოცანის დაყენებით, დატვირთვის პირობებით და საკვლევი ობიექტის საშიშროების ხარისხით.

ავარიული სიტუაციებისათვის შენობა-ნაგებობების სიმტკიცის უსაფრთხოების და ხანგამძლეობის ანგარიში წარმოებს რღვევის მექანიკის საბაზო ფორმულების საფუძველზე, ავარიული სიტუაციის მიმდინარეობის მომენტისათვის მაქსიმალური დატვირთვის გამოყენებით ფორმულაში (4) შემავალი მასალის თვისების მახასიათებლები გამოიყენება დროის მოცემული მომენტისათვის  $\tau$ , მოცემული ტემპერატურისათვის  $T$  და დეფორმაციულობის სიჩქარისათვის. ამას გარდა, ანგარიშში შედის (ექსპლუატაციის ნორმალურ პირობებთან შედარებით) მარაგის კოეფიციენტები.

მაგალითად, ფორმულის (4) შესაბამისად მზიდი ელემენტების სიმტკიცის ტრადიციული ნორმატიული ანგარიშისას სიმტკიცის ძირითად პირობას წარმოადგენს შემდეგი პირობა:

$$\{R_\sigma\} = F\{f_s(P_s)f_\sigma(\sigma_B\sigma_T\sigma_{B\tau})f_\ell(F)\} \quad (5)$$

რომელიც შეიძლება წარმოვადგინოთ უფრო ტრადიციული სახით

$$\sigma_n^b = (\rho_{max}^b/F) \leq [\sigma]_n = \left\{ \frac{\sigma_B}{n_B}, \frac{\sigma_T}{n_T}, \frac{\sigma_{B\tau}}{n_{B\tau}} \right\} \quad (6)$$

სადაც  $\sigma_n^b$  – ნომინალური ძაბვებია მაქსიმალური დატვირთვებისაგან  $P_{max}^b$  ექსპლუატაციის ნორმალურ პირობებში;  $[\sigma]_n$  – ნომინალური დასაშვები ძაბვები;  $\{n_T, n_{B\tau}, n_B\} = \{1, 5 \div 3\}$  – მარაგის კოეფიციენტები სიმტკიცის მახასიათებლების მიხედვით (დენადობის ზღვარის  $\sigma_T$ , ხანგრძლივი სიმტკიცის ან ცოცვადობის ზღვარის  $\sigma_{B\tau}$ , სიმტკიცის ზღვარის  $\sigma_B$  მიხედვით). შენობა-ნაგებობების ანგარიშისათვის ავარიული სიტუაციის გაჩენისა და განვითარებისას შეიძლება გამოყენებული იყოს ფორმულები (5), (6) მაქსიმალური დატვირთვების  $P_{max}^b$  ცვლილებით ავარიული სიტუაციების დროს. მოცემული მომენტისათვის  $\tau$  მაქსიმალურ დატვირთვებზე  $\rho_{max\tau}^b$ .

ამასთან მექანიკური მახასიათებლები  $\sigma_B, \sigma_T, \sigma_{B\tau}$  ანალიზებული ავარიული სიტუაციებისათვის აირჩევა, აგრეთვე დროის მოცემულ მომენტში  $\tau$ , მოცემული ტემპერატურისას  $T$  და დეფორმირების სიჩქარისას. ხოლო მარაგის კოეფიციენტები (ექსპლუატაციის ნორმალურ პირობებში ანალოგიურთან შედარებით) მიიღება მცირე და ტოლი:  $\{n_T, n_{B\tau}, n_B\} = \{1.1 \div 2.5\}$ .

მზიდი ელემენტების ხანგრძლივი დატვირთვისათვის სიმტკიცის ანგარიში წარმოებს (მარაგის ანგარიში დროებითი და ციკლური) შემდეგი ფორმულით [4]:

$$\{R_{\tau, N}, R_{\sigma}\} = F\{f_s(P_s, T, N, \tau, \phi), f_{\sigma}(\sigma_B, \sigma_T, \sigma_{B\tau}, E, \lambda, n, \psi) f_{\ell}(K_I, F)\} \quad (II.7)$$

ბზარისმაგვარი დეფექტების არსებობისას მყიფე რღვევის მიმართ წინააღმდეგობა შეიძლება წარმოვადგინოთ, სიმტკიცის პირობების ანალოგიურად (5) და (6) შემდეგი საბაზისო ფორმულის სახით:

$$\{P_R, R_{\sigma}\} = F\{f_s(P_s, T, \phi), f_{\sigma}(K_{Ic}) f_{\ell}(\ell)\} \quad (II.8)$$

ან

$$K_I^b = f(P_{max}^b, T_{min}, \ell) \leq [K_I] = \frac{K_{Ic}}{n_k} \quad (II.9)$$

სადაც:  $[K_I]$  – დაძაბულობის ინტენსიურობის კოეფიციენტის დასაშვები მნიშვნელობა ექსპლუატაციის მინიმალური ტემპერატურის გათვალისწინებით  $T_{min}$ ;  $n_k$  – ძაბვის ინტენსიურობის კრიტიკული კოეფიციენტის  $K_{Ic}$  მიხედვით, რომელიც განსაზღვრულია ტემპერატურისას  $T_{min}$ . ექსპლუატაციის ნორმალური პირობების სიდიდე  $n_k$  აიღება  $n_T \leq n_k \leq n_B$  ინტერვალში ან იანგარიშება მიღებული მოდელის ჩარჩოებში.

ტემპერატურის მდგომარეობაზე (მყიფე ან ბლანტი) ტემპერატურის გავლენის და  $K_{Ic}$ -ს  $T_{mir}$ -ზე დამოკიდებულების გათვალისწინებით კონსტრუქციული მასალებისათვის, გათანაბრების ანგარიშს (9) აუცილებელია დაემატოს სიმტკიცის კრიტიკული ტემპერატურების მიხედვით ანგარიში:

$$T_{min}^b = f(\ell, F) \geq [T] = T_k + [\Delta T_k] \quad (II.10)$$

სადაც:  $[T]$  – ექსპლუატაციის დასაშვები მინიმალური ტემპერატურა;  $T_k$  – სიმყიფის კრიტიკული ტემპერატურა, რომელიც შეესაბამება  $K_{Ic}$ -ს მკვეთრ შემცირებას;  $[T_k]$  – სიმყიფის კრიტიკული ტემპერატურების მარაგი. კონსტრუქციული ფოლადისაგან დამზადებული მზიდი ელემენტებისათვის მარაგის სიდიდე  $[\Delta T_k]$  ინიშნება  $20 \div 30^{\circ}C$  ინტერვალში.

ფორმულის (4) თანახმად დეფექტებით დაზიანებული კონსტრუქციების ხანგამძლეობის მახასიათებლების სახით შეიძლება გამოვიყენოთ საიმედოობის და სიმტკიცის მარაგი:

$$\begin{aligned} & \{R_{\tau,N}, P_R, R_\sigma\} = \\ & = F\{f_s(P_s, T, N, \tau, \phi) f_\sigma(\sigma_B, \sigma_T, \sigma_{B\tau}, \sigma_{-1}, E, \lambda, H_B, \eta, \psi, K_{Ic}) f_\ell(\ell, K_t, F)\} \end{aligned} \quad (\text{II.11})$$

ბზარების განვითარების სტადიაზე ტექნიკური სისტემების მარაგი  $R_{\tau,N}$  დგინდება ბზარმდებლობის კრიტერიუმების თანახმად (II.9) ფორმულის მიხედვით, რღვევის დიაგრამების საფუძველზე, რომლებიც აკავშირებს ბზარის ზრდის სიჩქარეებს დროის მიხედვით  $\mathcal{T}$  ხანგრძლივი სტატიკური დატვირთვისას ან ციკლების რიცხვის მიხედვით  $N$  ციკლური დატვირთვისას:

ამასთან რესურს განსაზღვრავენ რღვევის დიაგრამის გათანაბრების ინტეგრირებით ბზარის დენადი ზომის მიხედვით

$$\{R_{\tau,N}\} = \int_{\ell_0}^{\ell_c} d\ell_{\tau,N} \leq [\tau, N] = \left\{ \frac{\tau_c}{n_\tau}, \frac{N_c}{n_N} \right\} \quad (\text{II.12})$$

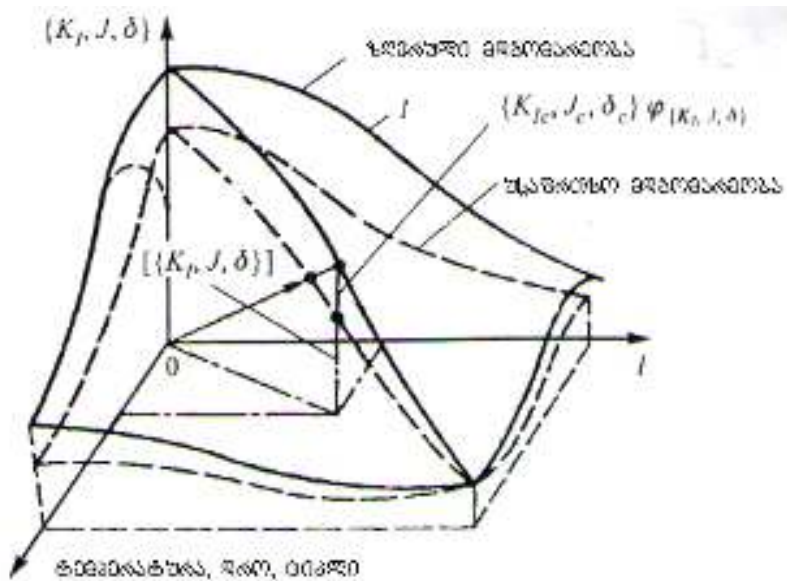
სადაც  $\ell_c$  - დეფექტის კრიტიკული ზომა, რომელიც დგინდება (9)-(10) მიხედვით;  $\ell_0$  - ექსპლუატაციის მოცემულ სტადიაზე საწყისი დეფექტი;  $[\tau, N]$  - ექსპლუატაციური დატვირთვის ციკლების დასაშვები რიცხვი ან დასაშვები დრო;  $n_\tau, n_N$ , - მარაგი რესურსის მიხედვით.

ხანგამძლეობის ანგარიში, დამატებით, შეიძლება აგრეთვე მივიყვანოთ დეფექტის დასაშვები ზომების ანგარიშთან  $[l]$  ბზარმდებლობის კრიტერიუმების მიხედვით

$$l_{max}^b = f(K_{Ic}, F, \phi, P_{max}^b) \leq [l] = \frac{l_c}{n_l} \quad (\text{II.13})$$

სადაც  $l_{max}^b$  - ექსპლუატაციის დეფექტის მაქსიმალური ზომა;  $l_c$  - დეფექტის კრიტიკული ზომა;  $n_l$  - მარაგი დეფექტის ზომის მიხედვით.  $n_l$  დგინდება  $n_b \leq n_l \leq n_T^2$  საზღვრებში. უფრო საპასუხისმგებლო და პოტენციურად საშიში კონსტრუქციებისათვის დაკმაყოფილებული უნდა იყოს მოთხოვნები ყველა მარაგის მიხედვით -  $n_k, [\Delta T_k]$  და  $n_t$ .

ავარიული სიტუაციებისათვის ზღვრული და უსაფრთხო (დასაშვები) მდგომარეობების თვალსზრისით ხანგამძლეობის ანგარიშს აწარმოებენ ბზარმდებლობის კრიტერიუმების მიხედვით (II.8)-(II.13) შესაბამისად (ნახ. II.1).



ნახ. II.1. ზღვრული და უსაფრთხო მდგომარეობების სქემა ბზარის მაგვარი დეფექტებით დაზიანებული მაღალი რისკის ობიექტებზე ავარიების და კატასტროფების ექსპერტიზისას

ამასთან ავარიული სიტუაციის განვითარების მოცემული მომენტისათვის უნდა გავითვალისწინოთ დატვირთვების შესაბამისი ექსტრემალური დონეები, ტემპერატურების მინიმალური და მაქსიმალური დონეები, დეფექტების მაქსიმალური ზომები და მექანიკური თვისებების მინიმალური მახასიათებლები. რადგანაც ავარიული სიტუაციებისას, როგორც წესი მაქსიმალური ადგილობრივი და ხშირად მინიმალური ექსტრემალური ძაბვები აჭარბებენ დენადობის ზღვარს, ამიტომ რღვევის წრფივი მექანიკის გათანაბრება ხდება გამოყენებელი. ამასთან დაკავშირებით კონსტრუქციების ხანგამძლეობის ანალიზისათვის ავარიული სისტემების გაჩენისა და განვითარების პირობებში გამოყენებული უნდა იყოს რღვევის არაწრფივი მექანიკის გათანაბრებები საანგარიშო პარამეტრების სრული გამოყენებით (II.11). რღვევის მექანიკის წრფივი საბაზისო მახასიათებლები იცვლება რღვევის მექანიკის არაწრფივი მახასიათებლებით, მაგალითად, გახსნა ბზარის წვერზე,  $J$  - ინტეგრალი, პლასტიკურ არეში დეფორმაციის ინტენსიურობის კოეფიციენტი, ბზარმდეგობის კოეფიციენტი და ა.შ.

ამგვარად, საბაზისო ფორმულების (II.4)-( II.14) გათვალისწინებით უსაფრთხოება მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის პოზიციიდან, უნდა განიხილებოდეს, როგორც მზიდი ელემენტების კომბინირებული უნარი წინააღმდეგობა გაუწიოს ექსტრემალურად მაღალი შიგა და გარე ზემოქმედებების უფრო შესაძლო და არახელსაყრელ ფაქტორებს მასალის რღვევის და დეფორმაციის შემცირებული მახასიათებლებისას. ამასთან ფორმულის (II.4) შესაბამისად მიიღება შემდეგი ფორმულა

$$\{S\} \in f(T_{T,N}, P_R, R_\sigma) \in f(n_T, n_B, n_{B_T}, n_N, n_i, n_K, N_l) \quad (II.14)$$

### II.3. დაზიანებული შენობა-ნაგებობების უსაფრთხოება, ხანგამძლეობა და მარაგი (რესურსი)

მეცნიერების და ტექნოლოგიების თანამედროვე მიღწევები უეჭველად იძლევა საშუალებას მნიშვნელოვნად ამაღლდეს პროექტირების სტადიაზე დანიშნული რესურსი ტრადიციული წესების მიხედვით, ანგარიშის და გამოცდის უმარტივესი მეთოდის საფუძველზე. ამასთან კომპლექსში გადაწყვეტილი უნდა იყოს შემდეგი ძირითადი პრობლემები:

- როგორც ცალკეული ობიექტების, ისე ობიექტების სისტემების საწყისი, გამოყენებული და ნარჩენი რესურსის რიცხოვრივი ანალიზი;
- საპროექტო, ფაქტიური და ნარჩენი რესურსის დასაბუთება;
- მზიდი ელემენტების კონსტრუქციული მასალების მდგომარეობის შეფასება გაჩენილი საქსპლუატაციო დაზიანებების და საწყისი ტექნოლოგიური მემკვიდრეობითობის გათვალისწინებით;
- მზიდ ელემენტებში მაკრო და მიკროდეფექტების ხასიათის, პარამეტრების, დისლოკაციის და ზომების განსაზღვრა;
- მზიდი ელემენტების დეფორმირებული მდგომარეობის ნორმატიული და ექსპერიმენტალური ანგარიში;
- ბუნებრივი და დაჩქარებული ხანდაზმულობის (დაბერების) მექანიზმების კვლევა;
- დაზიანების სხვადასხვა სტადიებზე კონსტრუქციის ელემენტების და მასალების ხანგამძლეობის შეფასება;
- რესურსის კომპლექსური დიაგნოსტიკა;
- ნარჩენი რესურსის წინასწარი და დაზუსტებული საანგარიშო-ექსპერიმენტალური განსაზღვრა.

ზემოთაღნიშნული პრობლემების გადაწყვეტას შეიძლება ჰქონდეს, როგორც საუწყებო-ობიექტური, ისე უნიფიცირებული ხასიათი. ამასთან პრინციპულად მნიშვნელოვანია, რომ ნარჩენი რესურსი განისაზღვროს უფრო მაღალი სამეცნიერო-მეთოდური დონით, ვიდრე საპროექტო და საწყისი.

ახლად დაპროექტებული კონსტრუქციებისათვის სიმტკიცის ანგარიშს აწარმოებენ დატვირთვის ექსპლუატაციური რეჟიმების ყველა სპექტრის მიხედვით, გაშვების წინა და პერიოდული ცდების ჩათვლით, მუშა პარამეტრების რეგულირება და ავარიული დაცვის სისტემების ამუშავება.

სიმტკიცის რესურსის და ბზარმედგობის დასაბუთებისათვის საჭიროა მზიდი ელემენტების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ანგარიშის კომპლექსი, რომელიც შეიცავს ნომინალური და მაქსიმალური ძაბვების განსაზღვრას, ამ ძაბვების ამპლიტუდებს, ექსპლუატაციის მაქსიმალურ და მინიმალურ ტემპერატურებს,



ექსპლუატაციის დროის და ციკლების რაოდენობას. რთული მრავალეფემანტიანი კვანძებისათვის ამ ანგარიშს უმატებენ ოპტიკურად აქტიური (ფოტოდრეკადი) და დაბალმოდულიანი მასალების გამოცდის მოდელებს, აგრეთვე შესაბამისი კონსტრუქციული მასალებისაგან მიღებულ მონაცემებს. ცდებს ატარებენ დატვირთვის საექსპლუატაციო რეჟიმის იმიტაციისას, ხოლო ნომინალურ და ლოკალურ ძაბვებს, დეფორმაციებს, ტემპერატურებს ზომავენ ტენზორეზისტორების, ოპტიკურად აქტიური და მყიფე ტენზომგრძობიარე საფარების, მუარის მეთოდის, ჰოლოგრაფიის, თერმოჩვენების დახმარებით.

ტექნიკური დიაგნოსტიკის, დატვირთვის ინდიკატორების და დაზიანების გადამწოდების ექსპერიმენტალური საშუალებების გამოყენება საშუალებას იძლევა აღვადგინოთ კონსტრუქციის ელემენტების დატვირთულობა და მასალების დაზიანების კინეტიკა ექსპლუატაციის პროცესში. გამოყენებული მეთოდების საფუძველს უნდა შეადგენდეს მექანიკური, ფიზიკური და ქიმიური მოვლენები, რომლებიც თან ახლავს დაზიანების დაგროვების პროცესს. დაზიანების გადამწოდების მგრძობიარე ელემენტებში (მაგალითად, ტენზორეზისტორებში) შეუქცევადი დაზიანების დაგროვების დაფიქსირებისას, შეიძლება შეიქმნას დაზიანებების დაჯამების მოდელი და ვიმსჯელოთ კონსტრუქციების ელემენტების დაზიანების ხარისხზე. კონსტრუქციის მასალაზე დამაზიანებელი ფაქტორების რთული კომპლექსის ზემოქმედებისას მიზანშეწონილია დამუშავდეს მასალის ექსპლუატაციური კონტროლის კომპლექსური სისტემა.

სიმტკიცის რესურსის და ბზარმედევობის კრიტერიული მახასიათებლების დამტკიცებისათვის ატარებენ ატესტაციური გამოცდების კომპლექსს სტანდარტულ ან სპეციალურ ლაბორატორიულ ნიმუშზე. იმ შემთხვევაში, როცა იქმნება ახალი და უნიკალური კონსტრუქციები ატარებენ მოდელების გამოცდას, მიყავთ რა ისინი დაუშვებელი დეფორმაციების განვითარების, მყიფე ან ბლანტი რღვევის, ბზარების გაჩენის და განვითარების მდგომარეობამდე. ამასთან ფართოდ გამოიყენება დეფექტოსკოპიის მეთოდები და საშუალებები – ულტრაბგერითი, რენტგენული, ოპტიკური, აკუსტიკური და აკუსტოემისიური, ელექტრომაგნიტური, თბოვიზიური, ჰოლოგრაფიული.

ასეთი ცდების შედეგებიდან გამომდინარე წყვეტენ ორ მნიშვნელოვან პრაქტიკულ ამოცანას:

- მიღებული საანგარიშო სქემების, ზღვრული მდგომარეობების და სიმტკიცის მარაგების დასაბუთება;
- ახალ, ჩვეულებრივ შემცირებულ სიმტკიცის მარაგზე გადასვლა.

ამ უკანასკნელ შემთხვევაში სიმტკიცის ზღვრულად მცირე მარაგი დასაბუთებულია სრულმასშტაბიანი კვლევებით მიხსლოებით საშტატო პირობებში – კონსტრუქციულ-ტექნოლოგიური გადაწყვეტების საფუძველზე საექსპლუატაციო ზემოქმედებების წარმოდგენილი სპექტრის მიხედვით. თუმცა, ასეთი ცდების

ჩატარებისას ადგილობრივი ძაბვის და დეფორმაციის მიხედვით მარაგი რეკომენდირებულია იყოს 1.15-1.25-ზე არა ნაკლები, ხოლო რესურსის მიხედვით – არა ნაკლებ 3-5.

კონსტრუქციების ექსპლუატაციის სტადიაზე მზიდი ელემენტების (მექანიკური თვისებები და დეფექტურობა) მდგომარეობის ცვლილების და საექსპლუატაციო დაზიანებების დაგროვების ჩათვლით აუცილებელია მოხდეს ნიმუშების, ცალკეული კვანძების ან მთლიანად ნაკეთობების გამოცდა, განსაზღვრავენ ნარჩენ სიმტკიცეს, რესურსს და ბზარმდეგობას. უსაფრთხო ექსპლუატაციის რესურსის გახანგრძლივება შეიძლება ყველა მარაგის – ნომინალური ძაბვების, ადგილობრივი ძაბვების და დეფორმაციების, ბზარმდეგობის, ციკლების დროის და რიცხვის მიხედვით.

შენობა-ნაგებობების რესურსში იგულისხმება მისი მუშაობა ექსპლუატაციის დაწყებიდან ზღვრული მდგომარეობის დადგომამდე. ზღვრული მდგომარეობის აღქმა დაიშვება სხვადასხვაგვარად მისი შეფასების არჩეულ კრიტერიუმზე დამოკიდებულებით. მაკროდეფექტების (ბზარის ტიპის) არ არსებობისას ზღვრული მდგომარეობა განისაზღვრება ადგილობრივი ძაბვების ან დეფორმაციების კრიტიკული სიდიდებით ექსპლუატაციური დატვირთვის ბლოკისთვის მოყვანილი ძაბვების ციკლების სქემის მიხედვით ძაბვების კონცენტრაციის და ძაბვების მახასიათებლების წერტილების და სიდიდების გამოვლენის ზონების გათვალისწინებით. სტატიკური, ხანგრძლივი და ციკლური სიმტკიცის კრიტერიუმების საფუძველზე ანგარიშში ფორმულის (II.14) თანახმად, ადგილობრივი ძაბვების და დეფორმაციების მიხედვით მარაგის კოეფიციენტების შეყვანა საშუალებას იძლევა დადგინდეს უსაფრთხოების თვალსაზრისით დასაშვები ჯამური დაზიანება ((II.11) და (II.15) ტიპის ფორმულები).  $k$  – სათვის დროის, ციკლების რიცხვის და ტემპერატურის მიხედვით დატვირთვის რეჟიმები:

$$[a] = \sum_i^K \{[a_i]\} \leq 1 \quad (II.15)$$

და შეფასდეს უსაფრთხო ექსპლუატაციის მარაგი, მათ შორის აგარიული რეჟიმებისას. საჭიროა აღინიშნოს, რომ მნიშვნელოვან გავლენას დაზიანების დაგროვებაზე, უშუალოდ კი რესურსზე ახდენენ როგორც კონსტრუქციული ფაქტორები, მათ შორის ძაბვის კონცენტრატორები, ისე მასალის მექანიკური თვისებებით  $\sigma_B, \sigma_T, \psi_k, S_k, m$  განსაზღვრული ტექნოლოგიური ფაქტორები. ამიტომ, ექსპლუატაციური და აგარიული დატვირთვების, აგრეთვე ბზარების შესაძლო ჩასახვის და განვითარების პროცესში მასალების ფიზიკო-მექანიკურ დაზიანებებთან დაკავშირებით ჩნდება რთული შენობა-ნაგებობების მზიდი ელემენტების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის დაზუსტების ამოცანები.

როგორც წესი, აგარიებს და კატასტროფებს თან ახლავს მომატებული კონცენტრაციის ზონებში ბზარების გაჩენა და განვითარება. ამ შემთხვევაში ცხადი ხდება კონცენტრაციის არეში კვლევების მიზანშეწონილობა და პერსპექტიულობა.

ამგვარად, როგორც ექსპლუატაციის სტადიაზე, ისე პრინციპულად ახალი მაღალი რისკის კონსტრუქციების დაპროექტების დროს სიმტკიცის, ხანგამძლეობის, უსაფრთხოების და რესურსის პრობლემები, პრინციპულად ახალი კონსტრუქციული მასალების შექმნა შემცირებული დეფექტურობით და მაღალი ხანგამძლეობით მჭიდროდაა დაკავშირებული ბზარების (ბზარმედგობის) კინეტიკის გამოკვლევის ამოცანების დაყენებასა და გადაწყვეტასთან.

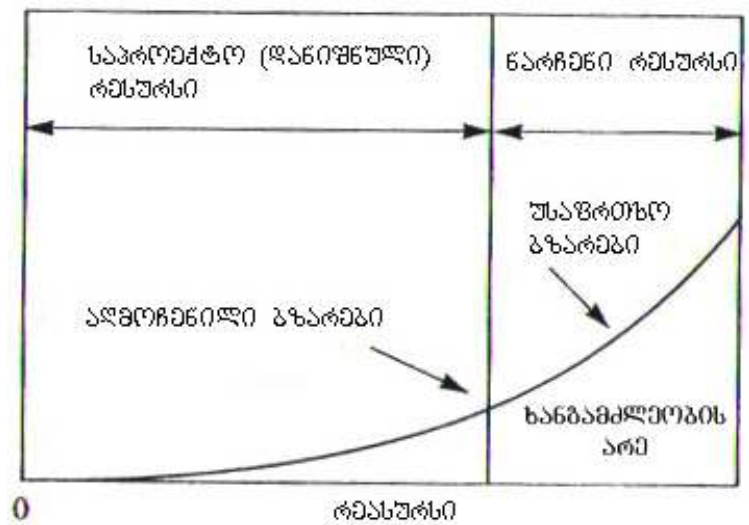
ზემოთქმულთან დაკავშირებით კონსტრუქციების ბზარმედგობის პროგნოზირებისა და დასაბუთებისას ძირითად მიზნებს და ამოცანებს წარმოადგენს: კონსტრუქციების სიმტკიცის, ხანგამძლეობის და უსაფრთხოების კომპლექსური კრიტერიუმების, ანალიზის მეთოდების და ნორმირების დამუშავება, ბზარის განვითარების მიმართ კონსტრუქციული მასალების წინაღმდეგობის მახასიათებლების საფუძველზე.

ამოცანების გადაწყვეტისათვის გამოიყენება ბზარების, სიმტკიცის თეორიის, დადლილობის და საიმედოობის მექანიკის და ფიზიკის თანამედროვე თეორიული გარემოებები, პრინციპები და მეთოდოლოგიური მიდგომები, შემდეგი პრიორიტეტული მიმართულებების მიხედვით [11]:

- ფენომენალური მოდელების დამუშავება, რომელიც დაკავშირებულია ბზარების განვითარების ლოკალურ და არალოკალურ კრიტერიუმებზე ექსპერიმენტალური ფიზიკო-მექანიკური ზემოქმედებების და კოროზიული არეების პირობებში;
- ბზარისმაგვარი დეფექტების არსებობისას კონსტრუქციების კატასტროფული რღვევების და კრიტიკული, გარდამავალი ზღვარს გარე და დასაშვები მდგომარეობების კრიტერიუმების აგება;
- ბზარების მექანიკის არაწრფივი ამოცანების გადაწყვეტის ეფექტური ანალოგიური და რიცხვითი მეთოდების შექმნა, დაზიანებული კონსტრუქციების უსაფრთხოების, ხანგამძლეობის და რესურსის პრობლემების გადასაწყვეტად მიკრო და მაკრო ბზარების განვითარების სტატიკური მოდელირების მეთოდების განვითარება;
- ბზარების (მასალების და კონსტრუქციების ბზარმედგობის) კინეტიკის ექსპერიმენტალური გამოკვლევა რღვევის სხვადასხვა მექანიზმების რეალიზაციისას რთული დაძაბული მდგომარეობის პირობებში;
- მიკროსტრუქტურულად და ფიზიკურად მოკლე ბზარების გავრცელების ფენომენალური თეორიის აგება მრავალფეროვანი ციკლური დატვირთვის პირობებში, რაც რღვევის პროცესის მართვაზე გადასვლის საშუალებას იძლევა;
- კონსტრუქციების უსაფრთხოების, ხანგამძლეობის და რესურსის კრიტერიუმების მიხედვით მასალების ბზარმედგობისადმი მოთხოვნების დასაბუთება, პრინციპულად ახალი კონსტრუქციული მასალების შექმნა გაზრდილი ხანგამძლეობით;
- პრინციპულად ახალი ექსპერიმენტალური მეთოდების და საშუალებების, რღვევის ლოკალიზაციის და ბზარების გავრცელების შეჩერების საშუალებების

დამუშავება ძლიერ დაზიანებულ მდგომარეობაში კონსტრუქციის უსაფრთხო ექსპლუატაციის რესურსის და ხანგამძლეობის უზრუნველყოფის მიზნით.

რესურსის განსაზღვრასთან დაკავშირებით დიდ მნიშვნელობას იძენს ზღვრული მდგომარეობის განმარტება არჩეულ კრიტერიუმზე დამოკიდებულებით. მაგალითად შენობა დაპროექტდა უსაფრთხო რესურსის პრინციპის მიხედვით, რომლის შესაბამისადაც კონსტრუქციაში პრაქტიკულად არ დაიშვებოდა საპროექტო (დანიშნული) რესურსის პერიოდის მანძილზე ბზარების წარმოქმნა. ამიტომ ბზარებით დაზიანებული კონსტრუქციების რესურსის გახანგრძლივება საპროექტოს საზღვრებს გარეთ შეიძლება უზრუნველყოფილი იყოს უსაფრთხო ზომებამდე ბზარის განვითარებისას მათი ხანგამძლეობის ხარჯზე (ნახ. II.2).



ნახ. II.2. ბზარების განვითარებასთან დაკავშირებული დაზიანებული ტექნიკური სისტემების რესურსი

დაზიანების დაგროვების და ბზარების განვითარების პირობებში რესურსის გახანგრძლივების შესაძლებლობა შეიძლება დასაბუთებული იქნას იმით, რომ დღეისათვის შექმნილია წინაპირობები, ბზარების მექანიკის თეორიული საფუძვლების და საინჟინრო მეთოდების პრაქტიკული გამოყენებისათვის, აგრეთვე ტექნიკური დიაგნოსტიკის საშუალებები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან საკმარისად ზუსტად განისაზღვროს ბზარისმაგვარი დეფექტები დაზიანებულ კონსტრუქციებში. ცხადია, ამასთან ერთად გატარებული უნდა იქნას კონსტრუქციის ხანგამძლეობის დაწვრილებითი ანალიზი კონსტრუქციის მასალების უსაფრთხო ექსპლუატაციის მოთხოვნების დაცვისას მისი ფიზიკო-მექანიკური დაზიანების გათვალისწინებით, აგრეთვე რეგლამენტირებული დეფექტოსკოპიური კონტროლის მიხედვით რეკომენდაციების დამუშავება.

### III. შენობა-ნაგებობების საშიში დეფორმაციების მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის სისტემების დამუშავება, ბზარის ზომების განსაზღვრა ექსპერიმენტულად

#### III.1. შესავალი

რღვევის ექსპერიმენტალური მექანიკა, როგორც რღვევის მექანიკის ნაწილი, შეისწავლის ბზარების გავრცელებას და ინიცირების პროცესებს მყარ სხეულებში, როცა მათზე მოქმედებს დატვირთვა, ფიზიკური ველი ან აგრესიული გარემო. რღვევის მექანიკის ამ ნაწილში გამოიყენება დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ანალიზის მეთოდი ბზარის გარშემო წვეროზე, ბზარის გავრცელების სიჩქარის და ზომების გაზომვის მეთოდი, ფაქტოგრაფიკული მეთოდი, რღვევის ზედაპირის გამოკვლევა მექანიზმების და რღვევის კინეტიკა, ფიზიკური მოდელირება შიგა ექსპერიმენტალურ მოქმედებაზე მყარ სხეულებში. ექსპერიმენტალური მექანიკის ჩარჩოებში რღვევის მექანიკაში შეიძლება გამოვიყოს ფუნდამენტალური და გამოთვლითი მიმართულება. ფუნდამენტალური გამოკვლევის ძირითად ამოცანას წარმოადგენს მყარი სხეულის რღვევის მექანიზმის და კინამატიკის შესწავლა, რომელზეც დაფუძნებულია რღვევის მექანიკის მოდელები და კრიტერიუმები. ძირითად გამოკვლევებს მიეკუთვნება ექსპერიმენტალური გამოკვლევები ბზარის გავრცელებაზე მასალის კონსტრუქციებში, პირობით კონსტრუქციაზე ფიზიკო-მექანიკური რეალური ზემოქმედება ხორციელდება.

დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ექსპერიმენტალური ანალიზი ბზარის გარშემო მყარ სხეულზე დრეკადი და დრეკადპლასტიკური დატვირთვისას დაფუძნებულია მასალების ექსპერიმენტალური მექანიკის მეთოდებზე, რომელთა შორის შეიძლება დავასახელოთ მყიფე ტენზომგრძნობიარე დაფარვის მეთოდი, ოპტიკურად მგრძნობიარე დაფარვით, ელექტროტენზომეტრით, პოლარულ-ოპტიკური, აკუსტიკურ ემისიის, ულტრაბგერითი და ა.შ.

ბზარის გავრცელების სიგრძის გაზომვა და სიჩქარის გავრცელება დამოკიდებულია ბზარის გავრცელებასთან ფიზიკური ველებით, რომლებიც წარმოიქმნება რღვევის პროცესის გარეშე. ფიზიკური ველებს შეიძლება მივაკუთვნოთ: სინათლის, დრეკადი, ელექტრული, მაგნიტური და ელექტრომაგნიტური.

ჩამოვთვალოთ რამოდენიმე მეთოდი ბზარის გავრცელების სიჩქარის და სიგრძის გაზომვის, რომლებიც დამოკიდებულია ხსენებულ ფიზიკურ ველებზე: ოპტიკური და ვიზუალური; დრეკად დამყოლი და აკუსტიკურ ემისიური; ელექტროწინააღმდეგობა და ელექტრული პოტენციალის სხვაობა; ფეროგრაფია და მაგნიტურფხვნილური; რენტგენული და ელექტრო-მიკროსკოპული.

ზედაპირის რღვევა (ტეხილი) მყარ სხეულებში შეიცავს თავის თავში მთელ ინფორმაციას კონსტრუქციების შესახებ. ტეხილების შესწავლა დაფუძნებულია სიჩქარის ელექტრულ და რენტგენოსტრუქტურულ მეთოდებზე.

ექსპერიმენტალური მეთოდები, რომლებიც განსაზღვრავენ ბზარის ხასიათს შეიძლება დაფუძნებულნი იქნან რღვევის მექანიკის შემდეგ მიდგომებზე:

– როცა სხეულის ზომა ბზარის ზომის ტოლია, ამასთან ანალიზის შედეგები გავითვალისწინოთ ბზარის წვეროს გარშემო დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობისას;

– ენერჯის დანაკარგი სხეულის ზედაპირის ერთეულზე წარმოქნილი ბზარის გავრცელების დროს;

– დადგენილია კორელაციური დამოკიდებულებები კონსტრუქციის ბზარმდგევი და ფიზიკურ პარამეტრებს შორის.

### III.2. კონსტრუქციის რღვევის აქტიურ ზონებში ვიზიალური და ინსტრუმენტალური ძიების მეთოდთა

ნივთიერების ფიზიკო-მექანიკურ მდგომარეობაზე ობიექტური ინფორმაციის მისაღებად აუცილებელია გამოვიყენოთ კომპლექსური მეთოდი, რომელიც საშუალებას მოგვცემს მივიღოთ გამოსაცდელი კონსტრუქციის შედეგები ნებისმიერ ადგილზე, ეს აუცილებელია.

ამჟამად ნაგებობების გამოსაკვლევადა იყენებენ ვიზუალურ მეთოდებს სპეციალური ხელსაწყოების გამოყენებით.

დაზუსტებულია, რომ არამრღვევი (ურღვევი) კონტროლის მეთოდების გამოყენებით მიიღება შემდეგი ობიექტური დასკვნები:

- სამშენებლო მასალის ძირითადი მახასიათებლები;
- კონსტრუქციის ერთგვაროვნება;
- მასალის დრეკადი მახასიათებლები;
- კონსტრუქციის დეფექტურობა;
- მასალის სიმკვრივე და ტენიანობა.

**ვიზუალური მეთოდი.** ვიზუალური მეთოდი კონსტრუქციის მდგომარეობის შეფასებისათვის გამოიყენება. ნაგებობების ვიზუალური დათვალიერების ტექნიკური ექსპერტი გამოავლენს ხილულ დეფექტებს, გეომეტრიულ ზომებში ცდომილება, მოხაზულობის ცვლილება, განსახილველი კონსტრუქციის ფაქტორის და ფერის ცვლილება, ბზარების განლაგება.

ბზარის გახსნის დაკვირვებისათვის იყენებენ უქურას (ყალაურს), მსაზე მიუთითებენ მისი დაყენების თარიღს, ნომერს იმ ორგანიზაციის მონაცემებს რომელმაც

იგი დაამონტაჟა. დაკვირვებები დეფექტების აღმოჩენის შესახებ ფიქსირდება სპეციალურ ჟურნალში.

**არამრღვევი მეთოდი.** ბოლო წლებში ნაგებობების გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ ფართოდ გამოიყენება ეგრეთ წოდებული არამრღვევი კონტროლი. მისი უპირატესობა იმაში მდგომარეობს, რომ სხვადასხვა გაზომვები ხდება სხვადასხვა ხელსაწყოებით.

კონტროლის მეთოდები, რომლებიც რეკომენდირებულია თანამედროვე მეცნიერებით, იყოფა ორად აქტიურად და პასიურად:

- შემწოვი გამომსხივებლით კონტროლი;
- რადიოაქტიური მეთოდი;
- კაპილარული მეთოდი.

კონსტრუქციების დეფექტების და დაზიანებების ტექნიკური დიაგნოსტიკას ატარებენ გამომდინარე მისი გეომეტრიული ზომებიდან, წარმოქმნის მიზეზებზე და ზრდის დინამიკაზე, მასალის ქიმიური შემადგენლობის ანალიზით.

გახსნილი დეფექტები და შიგა დაზიანებები მასალის მოცულობაში გამოსაკვლევ კონსტრუქციაში გამოიკვლევა არამრღვევი კონტროლის მეთოდით.

**ქვემოთ განხილულია კონსტრუქციების კონტროლისათვის გავრცელებული და პერსპექტიული არამრღვევი კონტროლის მეთოდები:**

### **აკუსტიკური ემისია**

აკუსტიკური ემისიის სიგნალები შეიძლება მომდინარეობდნენ მყარი სხეულების დეფორმირებისას სხვადასხვა წყაროდან. ჩვეულებრივ ისინი იუწყებიან მასალის შიგა სტრუქტურის ძალიან სწრაფი ლოკალური ცვლილების შესახებ. აკუსტიკური ემისიის გამომწვევი მიზეზი სხვადასხვა მასალისათვის სხვადასხვაა; ასე მაგალითად: სრიალი დისლოკაციისას, გაორება, მარტენსიტული ტიპის ფაზური გარდაქმნები და რა თქმა უნდა მიკრობზარწარმოქმნა, ბზარების განვითარება და ხახუნის პროცესები. ატომების სრიალი, გაორება და ფაზური გარდაქმნები არღვევენ სტრუქტურის მთლიანობას და ამით განაპირობებენ გარემოში დრეკადი ტლდების გამოყოფას. ასეთი ტალღების ზუსტი ანალიზი ბეტონის შემთხვევაში გაძნელებულია და არც არის მიზანშეწონილი, რადგან ისინი ხასიათებიან დაბალი ენერგიით და სწრაფად მიიღვიან მასალაში მაღალი სიხშირის გამო. ამ მოვლენების აკუსტიკური ემისია შესწავლილია სხვა უფრო ერთგვაროვანი მასალებისათვის (ლითონები, პოლიმერები, შენადული ნაერთები და სხვა).

ბზარების წარმოქმნის დროს მექანიკური ტალღების გამოსხივება შეიძლება აიხსნას მასალის იმ ნაწილის დინამიკური განტვირთვით, რომელიც ბზარის ნაპირებს ესაზღვრება. ამავე ეფექტს იწვევს ბზარების ნახტომისებური ზრდაც [16].

ვ. ფინკელის [17] აზრით, განვითარებადი ბზარის დრეკადი ტალღის წარმოქმნას ხელს უწყობს მისი სიჩქარის პულსაცია, ასევე მიმართულების მკვეთლი ცვლილება, ე.ი. აკუსტიკური სიგნალების წარმოქმნის ერთ-ერთ მიზეზად შეიძლება დავასახელოთ ბზარების განტოტვა.

ბზარების განვითარებისას წარმოქმნილ აკუსტიკურ მოვლენებს იკვლევდნენ მრავალ ნაშრომში [18,19,20,21].

ყოველგვარი მშრალი ხახუნის მიმდინარეობს ზედაპირების მიკროარაერთგვაროვანობების პლასტიკური დეფორმაციების თანხლებით. სხეულების შემადგენელი ნაწილების უერთიერთსრიალის დროს იღრევა ძველი და ჩნდება ახალი საკონტაქტო უბნები. ყველაფერმა ამან შეიძლება გამოიწვიოს მიკრობზარების წარმოქმნა ხახუნის ზედაპირებზე. ამგვარი პროცესები მიმდინარეობს სხეულის შიგნითა (ტანში) მისი დეფორმაციების დროს. ხახუნის შედეგად გამოწვეული მექანიკური ტალღები ასევე აკუსტიკური ემისიის ჩამოყალიბების საფუძველია. გერმანელი მეცნიერი ი. კაიზერი მიიჩნევდა გაგლეჯვის ზედაპირების ურთიერთხახუნის პროცესს, რომელიც მასალის შიგნით მისი დეფორმირებისას მიმდინარეობს, აკუსტიკური სიგნალების აღმოცენების ერთ-ერთ ძირითად მიზეზად [22].

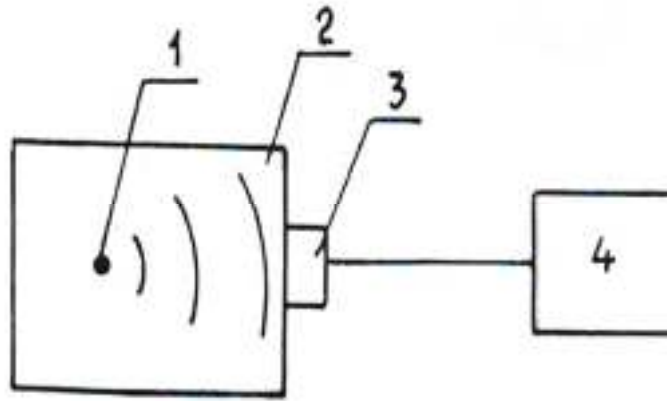
ზემოთ მინიშნებული წყაროები, რა თქმა უნდა, ვერ ამოწურავენ აე-ს იმპულსების წარმოშობის ყველა მიზეზს, მაგრამ ისინი ითვლებიან ძირითად კერებად კონსტრუქციებში ბგერითი რხევების გაჩენისა, აქედან გამომდინარე აკუსტიკური ემისიის, როგორც მოვლენის ცნება შეიძლება ასე განისაზღვროს აკუსტიკური ემისია არის მასალის შიგა სტრუქტურის დინამიკური გადაწყობით გამოწვეული მექანიკური ტალღების გამოსხივების პროცესი” [16].

ზემოთქმულიდან გამომდინარე შეიძლება დავასაკენათ, რომ მექანიკური ტალღები შეიძლება გამოთავისუფლდნენ, როგორც სუბმიკროსკოპულ და მიკროსკოპულ დონეებზე (ერთგვაროვანი მასალების მესერებში წარმოქმნილი სრიალის და გაორების პროცესები დეფორმაციისას, ფაზის სწრაფად მიმდინარე მარტენსიტული გარდაქმნები), ასევე მიკროდონეებზეც (ბზარების გაჩენა, მათი განვრცობა და განვითარება, რღვევისა და ხახუნის პროცესები).

წყაროების სიდიდის მიხედვით, იმიტირებული ბგერითი სიგნალები ვრცელდებიან რამდენიმე ათეული რივის სიხშირეებით, კერძოდ ინფრაბგერიდან (<16 კჰც-ზე, როგორც მიწისძვრების შემთხვევაში) დაწყებული და ულტრაბგერით დამთავრებული (<16 კჰც-ზე) [23].

აკუსტიკური სიგნალების რეგისტრაციის უმარტივესი სქემა წარმოდგენილია ნახ. III.1-ზე

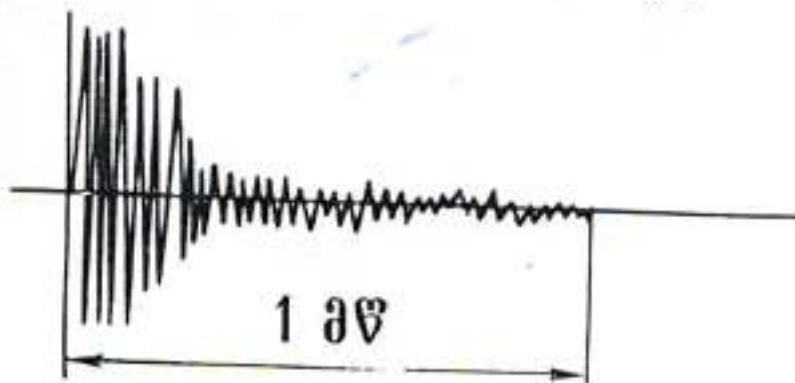




ნახ. III.1

გამოსაკვლევ სხეულში 2 ადრული მექანიკური იმპულსები, რომლებიც 1 წყაროს მიერ არიან გამოწვეულნი, გარდაიქმნებიან ელექტრულ სიგნალებად კონტაქტური პიეზოგაქდამქნელით 3. ეს ელექტრული სიგნალები ძლიერდება, გადამუშავდება და რეგისტრირდება ელექტრული აპარატურით 4.

ტალღური მოძრაობის დისპერსია მყარ სხეულში იწვევს საწყისი მექანიკური სიგნალის ფორმის დამახინჯებას. შემდეგი დამახინჯებების მიზეზია გარდამქნელის თვისებები. საწყისი მექანიკური იმპულსის მცირე ენერგიის გამო, რათა მოხდეს ხელსაწყოს მგრძობიარობის ამაღლება, როგორ წესი იყენებენ პიეზოგადამწოდებს. ამ გადმწოდების მუშაობა დაფუძნებულია გრაკვეული კრისტალების თვისებებზე, რაც გამოიხატება მათზე მექანიკური ზემოქმედების შემთხვევაში ელექტრული სიგნალის აღძვრის ფენომენზე (პიეზოელექტრული ეფექტი), ამიტომ მექანიკური ზემოქმედების ცალკეული ციკლის დროს აღიძვრება თავად გარდამქნელის რეზონანსული რხევები, ხოლო გარდამქნელის ბოლოში გამოსული ელექტროსიგნალს ექნება რადიოიმპულსური სახე, რომელიც ნახ. III.2-ზე ასახული.



ნახ. III.2 ელექტონულ ოსცილოგრაფზე დაფიქსირებული სიგნალის სახე დეპოლიარიზაციის საშიშროების თავიდან აცილების მიზნით რომელიც შესაძლებელია წარმოიშვას შემხვედრი, ძლიერი ელექტრული ველების (>100 ვოლტ/მმ),

დიდი მექანიკური დაძაბულობის, ან ატომური გამოსხივების ზემოქმედების ( $>10^{10}$  რად) დროს, ბგერითი ემისიის გარდამქნეი სიგნალები საკვლევი ობიექტის ზედაპირიდან არინებული უნდა იქნას სპეციალური ტალღაგამტარებით, ოსცილოგრაფზე რეგისტრაციის და შემდგომი ანალიზისათვის.

თუ ორი მექანიკური სიგნალის წარმოშობის დრო აღემატება გარდამავალი პროცესების მიმდინარეობის დროს საკვლევ სხეულში, ამ შემთხვევაში აკუსტიკური ემისიის იმპულსები აღქმულნი იქნებიან ხელსაწყოს მიერ, როგორც დისკრეტული თანმიმდევრობა და ამ ტიპის ემისიას ეწოდება დისკრეტული ემისია.

თუ ბგერითი იმპულსები წარმოიქმნებიან ძალიან მჭიდრო თანმიმდევრობით, მაშინ ფაქტიურად შეუძლებელი ხდება ერთი სიგნალის მეორედან გამოცალკავება. ამ შემთხვევაში საქმე გვაქვს უწყვეტ აკუსტიკურ ემისიასთან, რომელიც ოსცილოგრაფზე გამოსახება მთლიანი ელექტრული ტალღა.

**აკუსტიკური ემისიის პარამეტრები.** უნდა აღინიშნოს, რომ დღემდე არ არის სტანდარტიზირებული აკუსტიკური ემისიის ტერმინოლოგია. გამოქვეყნებულ სამუშაოებში ერთი და იგივე ცნების აღსანიშნავად ხშირად სხვადასხვა ტერმინი იხმარება, რაც ძალიან ართულებს მიღებულ შედეგების გაგებას და ინფორმაციის გაცვლას. უნდა აღინიშნოს, რომ ამ სამუშაოში, ჩვენს მიერ გამოქვეყნებული იქნება [1] წიგნში მოყვანილი ტერმინები. აკუსტიკური ემისიის პარამეტრებია: იმპულსების საერთო რაოდენობა (დროის გარკვეულ შუალედში დისკრეტული აკუსტიკური ემისიის იმპულსების საერთო რაოდენობა), ჯამური აკუსტიკური ემისია (დროის საკვლევ ინტერვალში აკუსტიკური ემისიის სიგნალების რაოდენობა დაწესებული შეზღუდვის (დისკრემინაციის) დონის პირობებში), აე-ს აქტიურობა (იმპულსების საერთო რაოდენობაა დროის ერთეულში), აკუსტიკური ემისიის სიგნალების ამპლიტუდა (აე-ს ინტენსივობაა (ჯამური აკუსტიკური ემისია, დროის ერთეულში), აკუსტიკური ემისიის (ტალღის) მაქსიმალური მნიშვნელობა დროის მოცემულ შუალედში), ამპლიტუდური განაწილება (დროის არჩეულ შუალედში აე-ს იმპულსების ამპლიტუდების განაწილება), აე-ს სიგნალების ენერგია (დროის მოცემულ ინტერვალში, წინასწარ დადგენილი სიხშირის ზონაში, გამოყოფილი ენერგია), აე-ს სპეციალური სიმკვრივე (აე-ს სიგნალების განაწილება ენერგიის სიხშირის მიხედვით).

როგორც აღნიშნული იყო, მასალაში წარმოქმნილი მექანიკური ტალღები, პიეზოგარდაქმნელით გარდაიქმნება ელექტრულ სიგნალებად. პრაქტიკაში ძირითადად ამ ელექტრული სიგნალებით ოპერირებენ, რომლებიც ასევე შეგვიძლია დავახასიათოთ ზემოთ ჩამოთვლილი პარამეტრებით.

ჩვენთვის ცნობილია, რომ აე-ს სიგნალები წარმოიქმნებიან დიდი სიხშირის დიაპაზონში – სმენით აღსაქმელი სმაურიდან ულტრაბგერებით იმპულსებამდე. პრაქტიკულად გასაზომი სიხშირე იმყოფება 30 კერცისა და 200 კილოჰერცის შუალედში. გასაზომი დიაპაზონის შეზღუდვა ძირითადად განპირობებულია სხვადასხვა

ხელის შემშლელი ფაქტორების თავიდან აცილების მიზნით (როგორებიცაა დანადგარის ხმაური, წნეხის ფილების მოძრაობა და სხვა). ასე მაგალითად, დ. მოსესოვის [24] მონაცემებით აე-ს იმპულსების სიხშირის დიაპაზონი ბეტონისათვის იცვლება 20 კჰც-დან 120 კჰც-მდე. სხვა ექსპერიმენტატორები [25,26] იყენებენ აპარატურას, რომლის რხევის სიხშირის დიაპაზონი მერყეობს 1,6 კჰც-დან 50 კჰც-მდე, შესაბამისი გარდამქნელების და ფილტრების შედეგით სიხშირის სპექტრი ცალკეული ექსპერიმენტებისათვის მიღებულია სხვადასხვა.

აკუსტიკური ემისიის სიგნალების მართებული ინტერპრეტაციისთვის აუცილებელია ნათელი მოეფინოთ, თუ რამდენად შეესაბამებიან ოსცილოგრაფზე რეგისტრირებული იმპულსები მასალაში დატვირთვისას მიმდინარე დესტრუქციულ მოვლენებს. ამ მიზნით ს. ჟურკოვის და მისი მოწაფეების ნაშრომში გამოკვლეული იქნა რაოდენობრივი ურთიერთდამოკიდებულება მყარ ტანში წარმოქმნილ დეფექტებსა და დარეგისტრირებულ ელექტრულ სიგნალებს შორის. ამასთან რეგისტრირდებოდა, როგორც სიგნალების საერთო რაოდენობა, ასევე მათი ამპლიტუდური განაწილებაც. შემდეგ ხდებოდა ნიმუშის განტვირთვა და დატვირთვის გამო მასში გაჩენილი ბზარების გამოკვლევა ხდებოდა ოპტიკური მიკროსკოპით, ნიმუშიდან ამოკვეთილი ნახეხების (შლიფების) მეშვეობით. ექსპერიმენტების გაკონტროლების მიზნით ნახეხის (შლიფის) ამოღება ხდებოდა დაუტვირთავი ნიმუშებიდანაც. ნახეხების შედარებამ ცხადყო, რომ მიკრობზარების უმეტესობა წარმოშობილ იქნა დატვირთვის შემდეგ, თუმცა მათი გარკვეული კონცენტრაცია დაუტვირთავ ნიმუშებშიც აღინიშნებოდა. ნახეხის ზედაპირზე ბზარების რაოდენობის დათვლის შემდეგ წარმოებდა მათი სეპარაცია ზომების მიხედვით. ამის შემდეგ ნიმუშიდან წარმოებდა 5000 მკმ სისქის ნახეხის ამოღება, მასზე ბზარების დატვლა და ა.შ. ამან საშუალება მისცა ავტორებს მიეღოთ ბზარების კონსცენტრაციის სურათი ნიმუშის მთელს მოცულობაში და ეს მონაცემები შეედარებინათ იმპულსების მთვლელ აპარატზე დაფიქსირებული აკუსტიკური სიგნალების სპექტრისათვის. აღმოჩნდა, რომ ნახეხებზე დავთლილ ბზარების და აკუსტიკური სიგნალების რაოდენობებს შორის სხვაობა მხოლოდ რამდენიმე ერთეულს შეადგენდა. ასევე გამოკვლეული იქნა დამოკიდებულება ბზარის სიგრძესა და გამოსხივებული იმპულსის ამპლიტუდას შორის. ამისათვის ორ ნიმუშს შორის მაგრდებოდა სხვადასხვა დიამეტრის მინის ძაფები. ღუნვისას ეს ძაფები მყიფედ იმსხვრეოდნენ და მათი მსხვრევისას წარმოქმნილი დრეკადობის იმპულსი რეგისტრირდებოდა პიეზოგადამწოდით, რომელიც თავის მხრივ მიმარებული იყო ნიმუშის ზედაპირზე, ელექტრულ სიგნალად გარდაქმნილი ტალღები შემდგომ ხვდებოდნენ ამპლიტუდურ ანალიზატორში. სიგნალის ამპლიტუდის პარამეტრების დამოკიდებულება მინის ძაფების დიამეტრზე წრფივი აღმოჩნდა.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე ეჭვს აღარ იწვევს რომ აე-ს პარამეტრები უტრყუარ ინფორმაციას გვაწვდიან მასალის შიგნით მიმდინარე სტრუქტურულ

ცვლილებებზე და ხელსაწყოს მგრძობიარობის ზღურბლის მართებული გრადუირებით შეიძლება მოვიცვათ მასალის დესტრუქციის მთელი პროცესი.

მიკრობზარების წარმოქმნის და დაგროვების პროცესების შესასწავლად სხვადასხვა მეცნიერის მიერ გამოყენებული იქნა აე-ს სხვადასხვა პარამეტრი, სხვადასხვა შეთანხმებით. ასე მაგალითად, ს. ჟურკოვსკისა და მისი მოწაფეების სამუშაოებში მიკრობზარების დაგროვების კინეტიკის შესწავლის და მასალების ხანგამძლეობის პროგნოზირების მიზნით გამოყენებოდა აე-ს იმპულსების რაოდენობისა და ამპლიტუდური განაწილების ანალიზი. მიმოხილვით ნაწილში აღნიშნული იყო რომ გ. პოჩტოვიკი და ნ. ტემნიკი ბეტონის სიმტკიცის შესაფასებლად იყენებდნენ ბზარწარმოქმნის ენერჯის პარამეტრებს. აკუსტიკური ემისიის ენერჯია და სიგნალების ამპლიტუდური ანალიზი გამოიყენება აგრეთვე ვ. ლოგუნოვისა და ვ. მიხაილევსკაიას ნაშრომში [27], ბეტონის ხანგრძლივი წინააღმდეგობის პროგნოზირებისათვის.

**გამოყენებული აღჭურვილობა და აპარატურა.** აკუსტიკური ემისიის მეთოდის გამოყენება მოითხოვს მუშაობის განსაკუთრებულ პირობებს, რადგან ყოველგვარი გარეშე ხმაური ექსპერიმენტების ჩატარების დროს წარმოადგენს ხელის შემშლელ ფაქტორს – ცრუ სიგნალების წყაროს. ამიტომ იმ გამოსაცდელ მანქანებს, რომლებიც უზრუნველყოფენ ნიმუშის დატვირთვას, მოეთხოვებათ უხმაურო, ჩუმი მუშაობა. როგორც ცნობილია, ყველა ჰიდრაულიკური წნეხი აღჭურვილია ჰიდროტუმბოებით, რომელთა მოძრაობაც უზრუნველყოფილია ელექტროძრავებით. ჰიდროტუმბოების მუშაობისას აღიძვრება ვიბრაციები, რომელიც გადაეცემა ჰიდრაულიკურ წნეხის ძალოვან დანადგარს და მასში ჩატყედილი ნიმუში განიცდის ვიბრაციას. ამ მდგომარეობაში აკუსტიკური გადამწოდი, რომელიც ნიმუშის წიბოზეა მიჭერილი, იღებს ცრუ სიგნალებს რხევის შედეგად და აე-ს ჭეშმარიტი სიგნალები ძნელად გასარჩევი ხდება. ხელის შემშლელი ხმაურის თავიდან აცილების მიზნით ან უარი ითქვას ელექტრონულ ამძრავიან ჰიდროდრუმზე, ან ჰიდროდრუმში უნდა დაცილდეს წნეხის ძალოვან ნაწილს ისეთ მანძილზე, რომელზეც ვიბრაცია და რხევები საგრძნობი აღარ იქნება.

ჰიდრაულიკური წნეხის მიერ განვითარებული ძალვა ვიზუალურად კონტროლირდება სანიმუშო მანომეტრით. დატვირთვისას აღნიშნული ძალვა მანომეტრის გარდა იზომება სპეციალურად დამზადებული და წნეხში ჩამონტაჟებული ტენზომეტრული ძალის საზომით, რომელიც ბურდონის მილაკს წარმოადგენს და რომელზეც ორი მხრიდან დაწებებულია ტენზორეზისტორები. მილაკი ორივე ბოლოთი ჩატყერილია კორპუსში და მათგან ერთ-ერთით მისი შიგა დრუ მიერთებულია წნეხის ცილინდრის დრუსთან, რის საფუძველზეც ის დეფორმირდება. მილაკზე დამაგრებულ ტენზორეზისტორები აღიქვამენ მილის ზედაპირზე განვითარებულ დეფორმაციებს. ამ დროს აღიძვრება ძალვის პროპორციულ ელექტრონული სიგნალი. ეს სიგნალი

შემდგომში ძლიერდება ტენზოგამაძლიერებელი მოწყობილობით და შეიძლება გაიზომოს ან მიეწოდოს გრაფომგებს.

ამგვარად, გამოყენებული ელექტრონული, გამაძლიერებელი და მარეგისტრირებელი აპარატურა საშუალებას იძლევა ჩაწერილი იქნას გრძივი, განივი და მოცულობითი დეფორმაციების დაიგრამები, დატვილი იქნას დატვირთვისას წარმოშობილი აე-ს იმპულსების საერთო რაოდენობა და დაფიქსირებული იქნას მათი განაწილება დატვირთვის ზრდის მიხედვით. ხოლო ელექტრული ოსცილოგრაფის ეკრანზე წარმობდეს ვიზუალური დაკვირვება შემოსული სიგნალების ფორმაზე, ზომებზე და ჩაქრობის ხარისხზე.

### ულტრაბგერითი კონტროლის მეთოდების კლასიფიკაცია

ულტრაბგერითი კონტროლის მეთოდები ძირითადად გამოიყენება კონსტრუქციაში ფარული დეფექტების გამოსავლენად. ისინი არაპირდაპირ მეთოდებს მიეკუთვნება და ფლობენ სპეციფიკურ შესაძლებლობებს, რომლებიც დაფუძნებულია კონსტრუქციის სიღმეში ულტრაბგერის შეღწევის უნარზე.

ულტრაბგერითი კონტროლის მეთოდებს საფუძვლად უდევს ულტრაბგერის იმპულსების არეკვლა დეფექტიდან, რის შედეგად განისაზღვრება ზედაპირიდან დეფექტის მდებარეობის სიღმე, რომელიც დამოკიდებულია კონსტრუქციაში ულტრაბგერის გავრცელების სიჩქარეზე და დეფექტამდე მანძილის გავლის დროზე.

დეფექტის მდებარეობა ზედაპირიდან განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$h = \frac{ct}{2} \quad (III.1)$$

სადაც:  $c$  – ულტრაბგერის გავრცელების სიჩქარეა, მმ/წმ;

$t$  – დეფექტამდე და უკან ულტრაბგერის გავრცელების დრო, წმ.

ულტრაბგერითი დეფექტოსკოპია დაფუძნებულია მიმართული ტალღის თვისებებზე. ტალღა გარემოში მიმართულად, სხივის სახით ვრცელდება და აირეკლება გარემოს საზღვრიდან ან დეფექტებიდან, რომელაც სხვა აკუსტიკური თვისებები აქვს.

მოწყობილობის ტიპებიდან გამომდინარე შეიძლება გამოვეყნოთ ულტრაბგერითი კონტროლის შემდეგი მეთოდები.

1. ექვიმპულსური მეთოდი (ექოლოკაციის მეთოდი) დაფუძნებულია ულტრაბგერითი რხევის მოკლე იმპულსების კონსტრუქციაში გატარებასა და იმ ექოსიგნალების რეგისტრაციაზე, რომელიც აირეკლება დეფექტიდან და მიემართება მიმღებისაკენ. დეფექტის ნიშანია ექოსიგნალი დეფექტოსკოპიის ეკრანზე.

მეთოდი საკმაოდ არის გავრცელებული პრაქტიკაში მაღალი მგრძობიანობის, რეალიზაციის სიმარტივისა და უნივერსალურობის გამო.

2. ჩრდილური მეთოდი (გამჭოლი გამტარობის მეთოდი). ამ მეთოდში გამომსხივებელი და მიმღები განლაგებულია თანარ რპულიად კონსტრუქციის სხავადასხვა მხარე დეფექტის ნიშანი არის გამომსხივებელიდან მიმღებამდე მისული სიგნალის ამპიტუდის შემცირება. მეთოდის რეალიზება შესაძლებელია ფირფიტის, მილის და ა.შ. კონტროლისათვის, როგორც იმპულსური, ისე უწყვეტი გამოსხივებით.
3. სარკისებრ-ჩრდილური მეთოდი დაფუძნებულია ტალღის სიგნალის შესუსტებაზე, რომელიც არეკლილია კონსტრუქციის მოპირდაპირე ზედაპირიდან. შესაძლებელია გამოყენებული იქნეს ერთი გარდამქმნელი. დეფექტის ნიშანია მიღებული სიგნალის ამპიტუდის შემცირება. წარამტებით გამოიყენება ფურცლოვანი ლითონის, ნაჭედის, მილის, რელსის და ა.შ. კონტროლისათვის.
4. იმპენდანსის მეთოდი. განკუთვნილია წვრიკედლიანი ლითონური და პლასტმასის შემონაკერების მირჩილვის ან მიწებების ხარისხის განსაზღვრისათვის მყარ დანამატთან და დაფუძნებულია დღოს რხევის რეჟიმის ანალიზზე (პიეზოელემენტით), მიყრდნობილია კონსტრუქციის ზედაპირზე დეფექტის არსებობისას ზედაპირის მოცემული უბნის აკუსტიკური იმპენდანსი მცირდება, რაც იწვევს ღეროს რხევის ამპლიტუდის გაზრდას, მის ბოლოზე მექანიკური ძაბვის შემცირებას, რხევის ფაზის ცვლილებას და რეზონანსული რხევის სიხშირის გადანაცვლებას. ამ ნიშნებიდან ნებისმიერი ამტკიცებს დეფექტების არსებობას.
5. თავისუფალი რხევის ანუ სპექტრული მეთოდი. დაფუძნებულია კონსტრუქციის საკუთარი რხევის სიხშირის სპექტრის ანალიზზე, მასზე ვიბრაციული დარტყმის შემდეგ სპექტრის ანალიზი წარმოებს სმენით (ჭურჭლის წკარუნის მიხედვით) ან სპეციალური აპარატურის გამოყენებით. მეთოდს წარმატებით გამოიყენებენ მასალების დრეკადი მუდმივების შეფასებისათვის თავისუფალი რხევის აღზნების გზით განსაზღვრული ფორმის და ზომის ნიმუშში, მაგალითად ღეროში.
6. რეზონანსული მეთოდი დაფუძნებულია რეზონანსული რხევის აღზნებაზე და ანალიზზე კონსტრუქციის საკვლევე მოცილობაში. რეზონანსული სიხშირის მიხედვით განაზღვრავენ კონსტრუქციის სისქეს. დეფექტის არსებობას უჩვენებს ნორმალურთან შედარებით სისქის ნაკლები მნიშვნელობა, რეზონანსული პიკის ოსცილოგრაფის ეკრანზე შესუსტება ან გაქრობა.

მეთოდების პირველი ჯგუფი განიხილავს ულტრაბერის ლოკალურ ათგზნებას, ხოლო მეორე ჯგუფი – ულტრაბერითი აღზნების მთელ კონსტრუქციაში ან მთელი სისქის მიხედვით გამომსხივებელზე.

ვინაიდან ულტრაბგერითი თაღდა, რომელიც გამოყენებულია პრაქტიკაში სისშირის მეგაჰერცულ დიაპაზონზე, არ გადის ჰაერში, ამიტომ  $d$  ღრეჩო გარდამქმნელსა და საკონტროლებელ კონსტრუქციას შორის ავსებული უნდა იყოს კონტაქტური გარემოთი (საკონტაქტო სითხით).

ულტრაბგერითი ტესტირება წარმოადგენს დაუზიანებელი ტესტირებას, რომელიც ეყრდნობა ბეტონში ულტრაბგერითი იმპულსური სიჩქარის ანათვლებს.

მიმართულება რომლითაც ვრცელდება მაქსიმალური ენერგია წარმოადგენს მართ კუთხეს გადაცემის ზედაპირისადმი, შესაძლებელია იმპულსების აღმოჩენა ბეტონში სხვა მიმართულებითაც. ამიტომაც შესაძლებელია გაიზომოს იმპულსური სიჩქარე ორი გადამცემის განთავსებით პორ საპირისპირო სიბრტყეებზე (პირდაპირი გადაცემა), ან მეზობელ სიბრტყეებზე (ნახევრად პირდაპირი გადაცემა), ან ერთიდაიგივე სახე (არაპირდაპირი ან ზედაპირული გადაცემა).

**შენიშვნა 1.** შესაძლებელია აუცილებელი იყოს გადამწოდების განთავსება საპირისპირო სიბრტყეებზე, მაგრამ არა ერთმანეთის საპირისპირო სიბრტყეზე. ამგვარი განთავსება ითვლება ნახევრად პირდაპირ გადაცემად.

**შენიშვნა 2.** არაპირდაპირი გადაცემის მოწყობა არის ყველაზე ნაკლებ მგრძნობიარე და უნდა გამოყენებული იქნას, როდესაც ბეტონის მხოლოდ ერთი სიბრტყე არის მისაღები, ან როდესაც ბეტონის ზედაპირის ხარისხი შედარებით საერთო ხარისხთან არის მისაღები.

**შენიშვნა 3.** ნახევრად პირდაპირი გადაცემის მოწყობა აქვს შუალედური მგრძნობიარობა ნახესხები მოწყობებს შორის და უნდა გამოყენებული იქნეს მხოლოდ მაშინ, როდესაც პირდაპირი მოწყობა არ შეძლება გამოყენებული იქნეს.

პირდაპირი გადაცემისათვის, ნაწილაკის გარბენის სიგრძე წარმოადგენს მანძილს გადამწოდებს შორის და როდესაც ეს შესაძლებელია, ნაწილაკის გარბენის სიგრძის გაზომვის სიზისტე უნდა იყოს  $\pm 1\%$  და სიზუსტე უნდა იყოს ჩაწერილი.

ნახევრად პირდაპირი გადაცემისათვის, საერთოდ დადგენილია, რომ საკმარისი სიზუსტით ნაწილაკის გარბენის სიგრძედ მიიჩნევა გაზომილი მანძილი გადამწოდების სიბრტყეების ცენტრებს შორის. ნაწილაკის გარბენის სიგრძეს სიზუსტის შეფასება დამოკიდებულია გადამწოდის ზომაზე ცენტრებს შორის მანძილთან შედარებით და იგი უნდა შეფასდეს.

პირდაპირ და ნახევრად პირდაპირი გადაცემისათვის იმპულსის სიჩქარე გამოითვლება ფორმულით:

$$V = \frac{L}{T} \quad (III.2)$$

სადაც:  $V$  – არის იმპულსი სიჩქარე, კმ/წმ;

$L$  – არის ნაწილაკის განარბენის სიგრძე, მმ-ში;

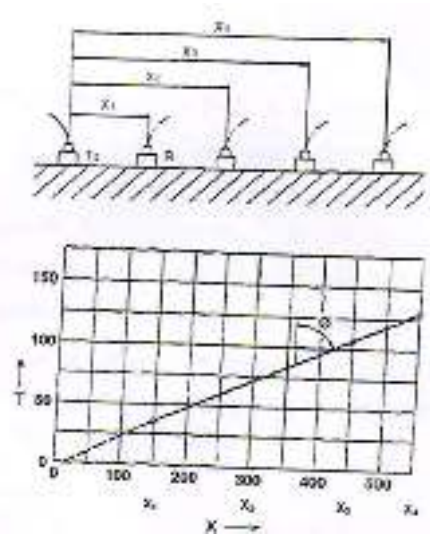
$T$  – არის იმპულსი მიერ სიგრძის გავლის დრო, სმ.

იმპულსის სიჩქარის საბოლოო განსაზღვრა შესაძლებელია გამოიხარტოს 0,01 კმ/წმ ან სამი თანრიგიანი ციფრით.

არაპირდაპირი გადაცემისას არსებობს გაურკვეველობა დაკავშირებული გადაცემის ტრაექტორიის ზუსტ სიგრძესთან გზაზე, გამომდინარე გადამწოდისა და ბეტონს შორის უმნიშვნელო საკონტაქტო ფართიდან. ამიტომ სასურველია, შესრულდეს მრეწველობა მრავალჯერადი გაზომვები გადამწოდების ერთმანეთთაისაგან განსხვავებულ მაზილზე დაშორებით.

ამისათვის გადამცემი გადამწოდი უნდა განთავსდეს ბეტონის ზედაპირის ფიქსირებულ წერტილში  $P$  და მიმღები გადამწოდი უნდა განთავსდეს ფიქსირებული ნაზრდით  $X$  ზედაპირზე შერჩეული ხაზის გასწვრივ. გადაცემის დრო აღინიშნება წერტილებად გრაფიკზე და ასახავს მათ დამოკიდებულებას გადამწოდებს შორის მანძილზე. მაგალითად ასეთი გრაფიკი ნაჩვენებია ნან. 3-ზე.

წერტილზე გამავალი დახაზული საუკეთესო სწორი ხაზის დახრა გაიზომება და ჩაწერება როგორც იმპულსის საშუალო სიჩქარე ბეტონის ზედაპირზე სელცეული ხაზის გასწვრივ. როცა ამგვარად გაზომილი და ჩაწერილი წერტილები ასახავენ წყვეტას, მოსალოდნელია, რომ ზედაპირზე არსებობენ ბზარები ან ზედაპირული ფენა უხარისხოა და სიჩქარის გაზომვა ამ შემთხვევაში არასაიმედოა.



ნახ. III.3 იმპულსის სიჩქარის დადგენა არაპირდაპირი (ზედაპირული) გადაცემისას

დახაზეთ უჯრედები ბეტონზე და გაზომეთ გარბენის სიგრძე უჯრედების წერილებს შორის, ამით შესაძლებელია შევაფასოთ ბეტონის ერთგვაროვნება. მნიშვნელოვანია გრაფიკების გამოყენება ცდების შედეგების ნატლად წარმოსაჩენად და ბეტონის საშუალო ხარისხის დემონსტრირებისათვის.

როდესაც ულტრაბერითი იმპულსი ბეტონში გაივლის შეხვდება ბეტონის და ჰაერის გაყოფის ზედაპირს, ამ დროს ენერჯის გადაცემა გაყოფის ზედაპირიდან



უმნიშვნელოა (დიფრაქციისა და არეკვლის გამო) ასე რომ ნაწილაკის გარბენის სიგრძე უნდა აღემატებოდეს მსგავსი დეფექტების გარეშე ბეტონის შემთხვევას. ეს მოვლენა შეიძლება გამოვიყენოთ დეფექტების, ფულუროების, დაზიანებული ადგილების, ბზარების ადგილმდებარეობის დასადგენად.

თუ დეფექტის სიგრძე ძალზე მცირეა შეუძლებელია შეფასების გაკეთება (მაგ. შეუძლებელია ფულუროების გამოვლენა რომელთა სიგრძე ნაკლებია თავაკის დიამეტრზე).

მასალების მნიშვნელოვანი ფიზიკური თვისებები, რომლებიც გავლენას ახდენენ იმპულსის სიჩქარეზე, წარმოადგენენ დრეკადობის მოდულს და სიმკვრივეს. ბეტონში ეს თვისებები არის დამოკიდებული შემავსებლის ტიპზე, მის პროპორციებზე (ნარევი) და მის ფიზიკურ თვისებებზე და ცემენტის ფიზიკურ თვისებებზე, რომელიც დაკავშირებულია ძირითადად, ორიგინალური წყალ-ცემენტის შეფარდებაზე და ბეტონის ასაკზე. მეორე მხრივ, ბეტონის სიმტკიცე უფრო მეტად დამოკიდებულია წყალ-ცემენტის შეფარდებაზე ვიდრე შემავსებლის ტიპზე და შემავსებლის და ცემენტის პროპორციაზე. ეს დამოკიდებულება იმპულსის სიჩქარესა და ბეტონის სიმძლავრეს შორის ფიზიკურად არაპირდაპირია და უნდა დადგინდეს კონკრეტული ბეტონის ნარევისათვის. უცნობი ბეტონისათვის სიმძლავრის შეფასება მხოლოდ იმპულსის სიჩქარის საფუძველზე არ არის სარწმუნო.

როდესაც ბზარის ადგილმდებარეობა დადგენილია, ფიქსირებულია ორი ანატვალის, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახ. III.4 (1,2). ერთი ანათვალის აიღება როდესაც თავაკები სიმძლავრისტულად არის განთავსებული ბზარის (2) მიმართ, მეორე შემთხვევაში იგივე მანძილი ცეცებს შორის აიღება დეფექტების გარეშე ზედაპირზე (1).

შემდგომი ფორმულით შეიძლება გამოთვლილი იქნას "h" სიღრმის დეფექტი, იმ პირობით რომ ბზარი არ არის წყლით გავსებული:

$$h = x \sqrt{\frac{t_c^2 - 1}{t_s^2}} \quad \text{(III.4)}$$

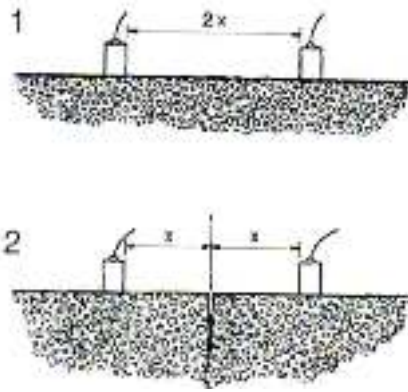
სადაც: x – ნახევარი მაზილი ცეცებს შორის;

h – ბზარის სიღრმე;

$t_c$  – ნაწილაკის გარბენის სიგრძე ბზარზე;

$t_s$  – ნაწილაკის განარბენის სიგრძე ზედაპირის გასწვრივ ბეტონში დეფექტების გარეშე.

"h" და x ერთნაირ ერთეულებში იზომება.



ნახ. III.4 ბზარის სიღმის შეფასებისათვის თავაკების ადგილმდებარეობა

### კაპილარული კონტროლის მეთოდი

კაპილარული მეთოდის შესასრულებლად გამოიყენება პრეტრანტის სითხეები მოცემული ნახ. III.5-ზე



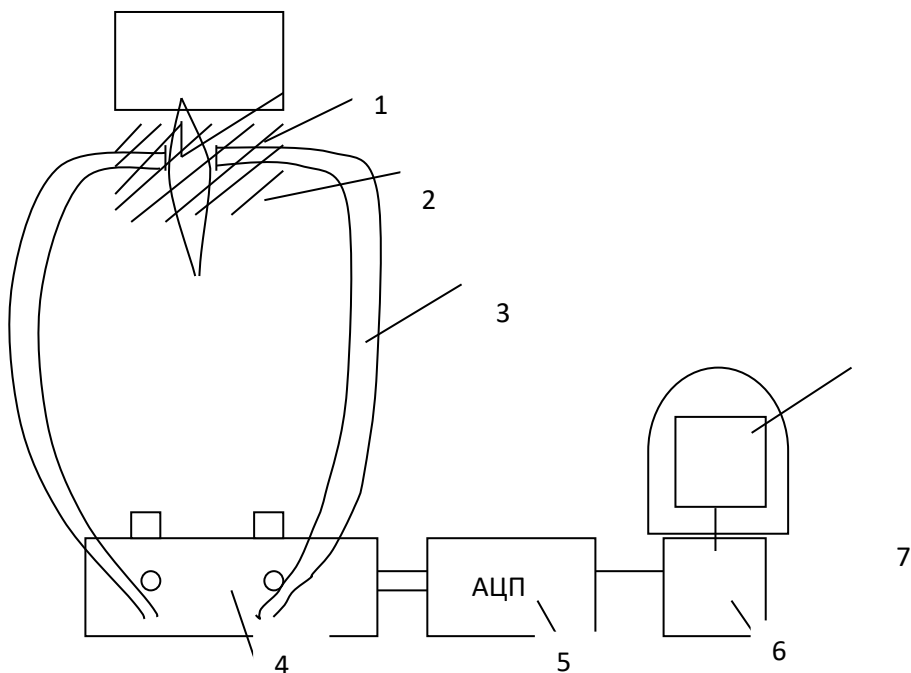
ნახ. 5. პრეტრანტის სითხეები

პრეტრანტს ჯერ ასხავენ წითელიდან ბზარზე სითხეს, 5 წუთს გააჩერებენ შემდეგ შუაში მოთავსებული ბალონიდან და ბოლოს მესამე ბალონიდან ნახ. III.5 რის შედეგადაც უხილავი ბზარი გამოვა ზედაპირზე.

### ბზარის სიგანის გაზომვის მეთოდი და მოწყობილობა

რკინაბეტონის კონსტრუქციების უმეტესობისათვის СНиП 2.03.01-84\* თანახმად ბზარის გახსნის სიგანის სიდიდე ნორმირდება. ნორმირებული მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილ 2-ში СНиП 2.03.01-84\*.

იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ ბზარის გახსნის დინამიკა, ჩვენს მიერ დამუშავებულია მეთოდი და შესაბამისი ბოჭკოვან-ოპტიკური მოწყობილობა, რომლის სქემა მოცემულია ნახ. III.6-ზე.



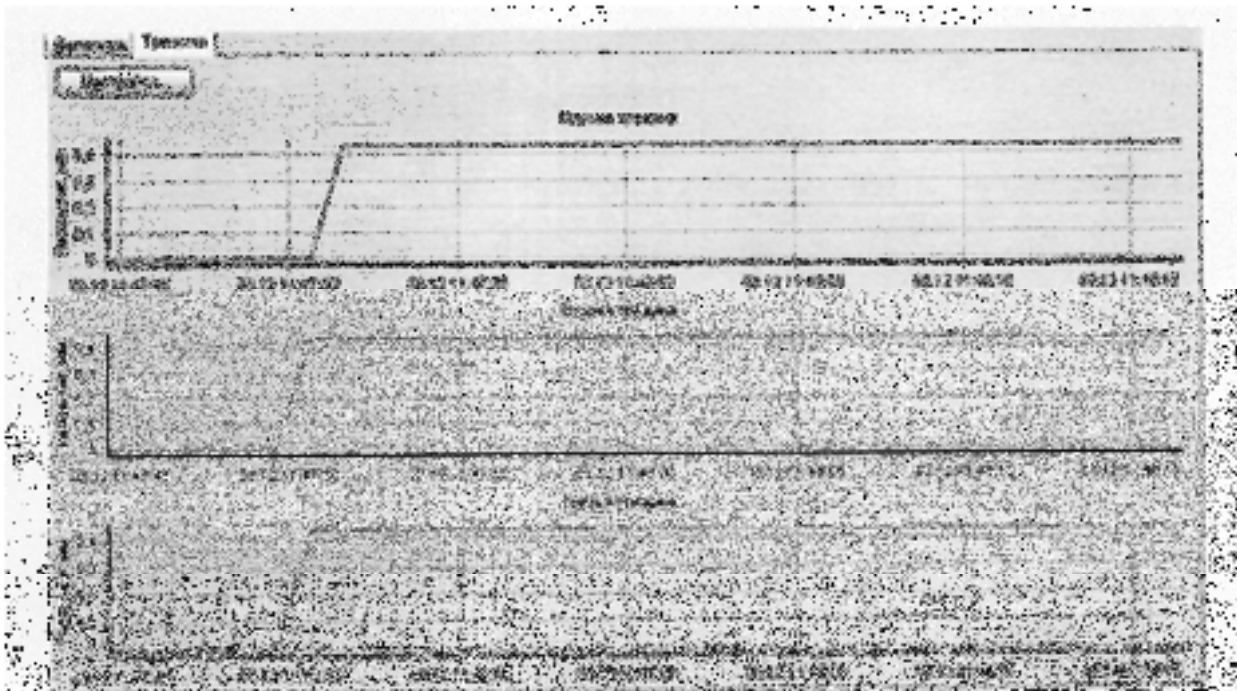
ნახ. III.6. 1 - ბზარი, 2 - თაბაშირის ფენა, 3 – ბოჭკოვან-ოპტიკური შუქსატარი, 4 – სინათლის გამომსხივებელი და მიმღები, 5 – ანალოგიურ ციფრული გარდამქმნელი, 6 – პროცესორი, 7 - მონიტორი

წარმოდგენილი მოწყობილობა მუშაობს შემდეგნაირად: კონსტრუქციაზე წარმოშობილ ბეწვბზარზე (1), რომელიც ჯერ არ არის საშიში მოითხოვს დაკვირვებას ვამაგრებთ თაბაშირის (2) საშუალებით ორ ბოჭკოვან-ოპტიკურ შუქსატარს (3) ერთმანეთის თათარღერძულად მათ შორის დერჩო ტოლია მათი დიამეტრის ნახევარის, მეორე ბოლოებით შუქსატარები მიერთებულია გამომსხივებელზე და მიმღებზე (4), მიმღები (4) მიერთებულია ანალოგიური ციფრულ გარდამქმნელზე (5), პროცესორზე (6) და მონიტორზე (7). გამომსხივებელიდან სინათლის ნაკადი ვრცელდება პირველ შუქსატარში და გადადის მეორე შუქსატარში, თუ ბზარის სიგანე შუქსატარის დიამეტრზე ნაკლებია. მეორე შუქსატარის გავლის შემდეგ სინათლის სხივი მოხვდება მიმღებზე, მიმღებიდან (4) ოპტიკური სიგნალი ელექტრული სიგნალის სახით გადაეცემა ანალოგიურ ციფრულ გარდამქმნელს (5) რომელიც სიგნალს დაამუშავებს და გარდამქმნის ციფრულ ფორმაში და გადასცემს პროცესორს (6), პროცესორში დევს დევს ჩვენს მიერ დამუშავებული პროგრამა, რომელიც მონიტორზე (7) გვაძლევს გრაფიკულ გამოსახვას, ბზარის გახსნის დინამიკას, როდესაც ბზარის გახსნა კრიტიკულზე მოდის ხელსაწყო იძლევა განგაშის სიგნალს, ხმოვანს ან წითელი ნათებით.



ნახ. III.7. ოპერატორის სამუშაო ადგილი

გადაცემის მუშაობის გრაფიკული სახე ბზარების გასხნისას წარმოგვიდგება დიაგრამის სახით (ნახ. 7). მოცემული ფუძე აისახება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა აირჩევა ერთი ობიექტი (მაგ. „კოჭი“ 1) ეკრანზე გამოსახება მონაცემები, მიღებული ბოლო 24 საათის განმავლობაში. ამასთან გრაფიკების განახლება ხდება 1,5 წთ-ის ინტერვალით. ამ ხელსაწყოების შეცვლა შეიძლება დიალოგის დახმარებით, ღილაკით „ხელსაწყოები“ (ნახ. III.7). განახლების პერიოდი გაეღენას ახდენს გრაფიკების განახლების ინტენსივობაზე. ასახული ინტერვალი იძლევა შუალედურ დროს, რომელიც იქნება გამოსახული გრაფიკზე.



ნახ. III.8 ფუქე „ბზარი“



ნახ. III.9 ხელსაწყოების პარამეტრები

ბზარის გახსნის გადაცემის მნიშვნელობა შეიტანება პროტოკოლის საერთო სისტემის მონიტორინგში, მოცემული ნახ. III.7-ზე. პერიოდულობა დამოკიდებულია ხელსაწყოების სისტემაზე, პროტოკოლირება განხორციელდება მთელი დროის განმავლობაში სისტემის მუშაობისას.

Дата	Датчик температуры БС797	Датчик второй температуры БС798	Датчик температуры БС799
04.12.2008 10:14:05	0,9344743	0,4338631	0,4338631
04.12.2008 10:14:12	0,9344743	0,4338631	0,4338631
04.12.2008 10:14:15	0,9344743	0,4338631	0,4338631
04.12.2008 10:14:19	0,9344743	0,4338631	0,4338631
04.12.2008 10:14:21	0,9344743	0,4338631	0,4338631
04.12.2008 10:14:24	0,9344743	0,4338631	0,4338631
04.12.2008 10:14:28	0,9344743	0,4338631	0,4338631
04.12.2008 10:14:31	0,9344743	0,4338631	0,4338631
04.12.2008 10:14:34	0,9344743	0,4338631	0,4338631
04.12.2008 10:14:37	0,9344743	0,4338631	0,4338631
04.12.2008 10:14:40	0,9344743	0,4338631	0,4338631
04.12.2008 10:14:43	0,9344743	0,4338631	0,4338631
04.12.2008 10:14:46	0,9344743	0,4338631	0,4338631
04.12.2008 10:14:49	0,9344743	0,4338631	0,4338631
04.12.2008 10:14:52	0,9344743	0,4338631	0,4338631
04.12.2008 10:14:55	0,9344743	0,4338631	0,4338631
04.12.2008 10:14:58	0,9344743	0,4338631	0,4338631
04.12.2008 10:15:01	0,9344743	0,4338631	0,4338631
04.12.2008 10:15:04	0,9344743	0,4338631	0,4338631
04.12.2008 10:15:07	0,9344743	0,4338631	0,4338631

ნახ. III.10 გადაცემით მიღებული პროტოკოლი

სისტემის მონიტორინგის გაცნობა შესაძლებელია „პროტოკოლის ნახვის“ ინსტრუმენტის დახმარებით (მენიუ „სერვისი“ > „პროფილის დათვალიერება“ (ნახ. III.10)).

მონაცემების დათვალიერებისათვის საჭიროა შესრულდეს შემდეგი მოთხოვნები:

1. მოვნიშნოთ მარცხნივ გადაძველები, რომელთა ნახვაც თქვენ გინდათ, TB7A.4-ის შემთხვევაში, შეიძლება ავირჩიოთ პროფილური გადამწოდები, მეორე და მესამე ბზარების ობიექტებზე (კოჭი 1);
2. დაზუსტდეს მოთხოვნილ დროს ინტერვალი, ვიხელმძღვანელოთ იტერაციით პირველ და მეორე ჩანაწერების საფუძველზე;
3. თუ აღებულია დროის დიდი ინტერვალი, მაშინ რეკომენდირებულია გაკეთდეს არჩევა ყველა ჩანაწერებიდან მიმდევრობით, ეს მონაცემები, შეიძლება დაზუსტდეს ველში „ავირჩიოთ ყოველი ჩანაწერი“.
4. დავაჭიროთ ღილაკზე „განახლება“.

ზღვარის მნიშვნელობის მოძებნა იწვევს ბზარის გახსნის მდგომარეობის კონსტრუქციის გადასვლას სახიფათო მდგომარეობაში. სისტემა ინფორმაციას იღებს

ვიზუალური და ხმოვანი სიგნალით ზღვრული მნიშვნელობები აიღება ცხ.2-დან და მიიღება СНиП 2.03.01-84\*/1/.

### III.3. აკუსტიკური ემისიის და ულტრაბგერითი კონტროლის მეთოდებით აღმოჩენილი დაზიანებების ევოლუციის დადგენისათვის ფრაქტალური თეორიის გამოყენება

უსაფრთხოების და საემედლობის შეფასება არმირებული ბეტონის კონსტრუქციებში, წარმოადგენს ძალიან რთულ პრობლემას, რომელიც მეცნიერული კვლევების პირველ რიგში დგას. ამიტომ დიაგნოსტიკის და კონტროლის მეთოდები ხდება სულ უფრო მნიშვნელოვანი კონსტრუქციის საიმედობის და მდგომარეობის შეფასებისათვის. მეთოდებს შორის ყველაზე კარგ ეფექტურობას წარმოადგენს არამრღვევი კონტროლის მეთოდი დაფუძნებული აკუსტიკურ ემისიაზე და ულტრაბგერაზე.

ენერჯის დისიპაციის დროს ფრაგმენტაციისას ფართოდ გავრცელებული ეფექტები. სხვადასხვა შრომებში თეორიულად გამოყენებულ ფრაქტალურ მიდგომაში იყო ნაჩვენები, რომ ფრაგმენტაციას გააჩნია მრავალმასშტაბური პროცესი ენერჯის დისიპაციისას. მოცემული ფრაქტალური თეორია ითვალისწინებს მრავალმასშტაბური პროცესის ენერჯის დისიპაციას. მოცემული ფრაქტალური თეორია ითვალისწინებს მრავალმასშტაბურ თვისებას ენერჯის დისიპაციისას და მის ფართო გავრცელებულ ეფექტებს. ასეთი მიდგომა ენერჯის გავრცელებაზე უნდა იქნას ექსპერიმენტალურად დაზუსტებული აკუსტიკური ემისიის მეთოდით.

მოცემულ სამუშაოში ყურადღება უნდა მივაქციოთ დამატებით ასპექტებზე, დაკავშირებულ დროებით ეფექტებზე. გავრცელებული-დროებით ეფექტები გვაძლევს საშუალებას შემოვიტანოთ საჭირო ენერგეტიკული პარამეტრი კონსტრუქციის მდგომარეობის შესაფასებლად, დაფუძნებული აკუსტიკური ემისიის სიგნალებს შორის კორელაციაზე კონსტრუქციის მცირე ნიმუშზე.

აკუსტიკური ემისიის ან ულტრაბგერის ყოველ სიგნალზე ბზარების გავრცელებისას ან სხვა დაზიანებული სხეულის ტალღებზე გააჩნია ხანგრძლივობა  $\tau$ , რომელსაც ჩვენ ჩავთვლით ფრაქტალურ სიდიდედ. მაშასადამე სიგნალის გავრცელების ხანგრძლივობა აღიწერება შემდეგი კაკონით:

$$P(< \tau) = \frac{N(< \tau)}{N_{\max}} = 1 - \left( \frac{\tau_{\min}}{\tau} \right)^{D_r} \quad (III.5)$$

სადაც:  $N(< \tau)$  – სიგნალების საერთო რაოდენობაა  $\tau$ -ზე ნაკლები ხანგრძლივობით,  $N_{\max}$  – სიგნალების საერთო რიცხვია;  $\tau_{\min} (< \tau_{\max})$  – მინიმალური ხანგრძლივობაა;  $D_r (< 0)$  – ფრაქტალური რიცხვი.

5. განტოლების ინტეგრირებით მივიღებთ სიმკვრივის ინტენსივობის გავრცელების გამომსახველ შემდეგ ფორმულას:

$$P(\tau) = D_T \frac{\tau_{\min}^{D_T}}{\tau^{D_T+1}} \quad (\text{III.6})$$

ენერჯის დისიპაციას  $W$ , მოცულობა  $V$  შეიძლება გამოვსახოთ შემდეგი ფორმულით:

$$W \propto V^{D_S/3} \quad (\text{III.7})$$

ამრიგად, მცირე ენერჯია  $dW$  დისიპირებული ცალკეული მოვლენით ულტრაბგერის გავრცელება ან აკუსტიკური ემისია აღიწერება (III.7) განტოლებით, სადაც  $V$  წარმოადგენს მოცულობას.

ორ და ერთგანზომილებიანი ობიექტებისათვის მონაკლები ხასიათდება  $A$  და  $L$  ზომით, მივიღებთ შემდეგს,  $W \propto A^{D_S/2}$  ან  $W \propto A^{D_S/2}$  ან  $A \propto \tau^2$  ან  $A \propto \tau$ . ამრიგად ჩვენ მივიღვართ შემდეგ ტოლობამდე, ენერჯის სრული დისიპაცია ტოლია:

$$W \propto \int_{\tau_{\min}}^{\tau_{\max}} \tau^{D_S} dN = \int_{\tau_{\min}}^{\tau_{\max}} N_{\max} p(\tau) d\tau \propto N_{\max} \frac{D_T}{D_S - D_T} \tau_{\min}^{D_T} (\tau_{\max}^{D_S - D_T} - \tau_{\min}^{D_S - D_T}) \cong$$

$$\cong \begin{cases} N_{\max} \frac{D_T}{D_S - D_T} \tau_{\min}^{D_T} \tau_{\max}^{D_S - D_T}, & D_T < D_S, \\ N_{\max} \frac{D_T}{D_S - D_T} \tau_{\min}^{D_T}, & D_T > D_S \end{cases} \quad (\text{III.8})$$

ბგერის გავრცელების სრული დრო განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$t \propto \int_{\tau_{\min}}^{\tau_{\max}} \tau dN = \int_{\tau_{\min}}^{\tau_{\max}} N_{\max} \varphi(\tau) d\tau \propto N_{\max} \frac{D_T}{1 - D_T} \tau_{\min}^{D_T} (\tau_{\max}^{1 - D_T} - \tau_{\min}^{1 - D_T}) \cong$$

$$\cong \begin{cases} N_{\max} \frac{D_T}{1 - D_T} \tau_{\min}^{D_T} \tau_{\max}^{1 - D_T}, & D_T < 1, \\ N_{\max} \frac{D_T}{1 - D_T} \tau_{\min}^{D_T}, & D_T > 1 \end{cases} \quad (\text{III.9})$$

შესაბამისად მონიტორინგის ექსპერიმენტალური მონაცემებით ულტრაბგერითი ან აკუსტიკური ემისიის მეთოდებზე დაყრდნობით უნდა განვსაზღვროთ, რომ სიგნალი გაიშვება თანდათან ად არა პარალელურად.

გარდა ამისა შემთხვევით „კვანტი“ ანუ ერთი იმპულსის ხანგრძლივობის ზომა  $\tau_{\min} = const$ . და მივიღებთ სტატისტიკურ ჰიპოთეზას ავტომოდულირებისათვის ე.ი.  $\tau_{\max} \propto t$ , ამრიგად გამოვიცხვით (III.8) და(III.9) განტოლებებიდან მივიღებთ, რომ:



$$\text{თუ } D_S \geq 1, W \propto \begin{cases} t^{D_S}, D_T < 1, \\ t^{1+D_S-D_T}, 1 \leq D_T \leq D_S \\ t, D_T > D_S \end{cases} \quad (\text{III.10})$$

$$\text{თუ } D_S < 1, W \propto \begin{cases} t^{D_S}, D_T < D_S, \\ t^{D_T}, D_S \leq D_T \leq 1 \\ t, D_T > 1 \end{cases} \quad (\text{III.11})$$

ავღნიშნოთ, რომ ჩვეულებრივ  $D-1 < D_S < D$ , როცა ზომა  $D=1,2,3$  განტოლებიდან გვექნება  $W \propto t^\beta$ , როცა  $1 \leq \beta_t \leq D_S$ , თუ  $D_S \geq 1$  ან  $D_S \leq \beta_t \leq 1$ , თუ  $D_S < 1$  სრულად ექნება სახე:

$$W \propto t^{\beta_t}, 0 \leq \beta_t \leq 3 \quad (\text{III.12})$$

#### III.4. ბზარის გავრცელების კოორდინატების სიგრძის და მიმართულების განსაზღვრის მეთოდი და მოწყობილობა

ჩვენს მიერ დამუშავებულია კონსტრუქციებში ბზარის წარმოქმნისას დაზიანებული ადგილის პოვნის მეთოდი და მოწყობილობა ამ მეთოდის განხორციელებისათვის.

შემოთავაზებული მეთოდის მიზანია ბზარის აღმოჩენა და მისი განვითარების მიმართულების დადგენა ობიექტის ზედაპირზე.

დასახული მიზანი შემდეგნაირად მიიღწევა. საკვლევ ობიექტში ან მის ზედაპირზე ათავსებენ წინასწარ განსაზღვრული სიგრძის შუქსატარს, მაგალითად, „ლაბირინთული სპირალის“-ს ფორმით და ამ პარამეტრებს აფიქსირებენ მესხიერების მოწყობილობაში. შემდეგ რიგრიგობით ორივე ბოლოდან შუქსატარში უწყვეტად შეჰყავთ ლაზერული გამოსხივების პიკოწამური იმპულსები. იმპულსების უკან გაბნევის მრუდებს (რეფლექტორამები) არეგისტრირებენ და იხსომებენ. რეფლექტორამის მეშვეობით განსაზღვრავენ შუქსატარის გაწყვეტის წერტილამდე მანძილს, ხოლო ობიექტში ამ წერტილის კოორდინატებს აღნიშნული მანძილის შუქსატარის მრუდწირულ ფორმაზე გადატანით ადგენენ. ბზარის განვითარების მიმართულება კი შუქსატარის გაწყვეტის წერტილების მიმდევრობითი შეერთებით დგინდება.

მოცემული ტექნიკური გადაწყვეტა საშუალებას იძლევა, დავადგინოთ: 1) შუქსატარის წვეტის წერტილამდე მანძილი; 2) ობიექტში ჩადგმული შუქსატარის წვეტის წერტილების კოორდინატები; 3) ბზარის განვითარების მიმართულება და სიდიდე.

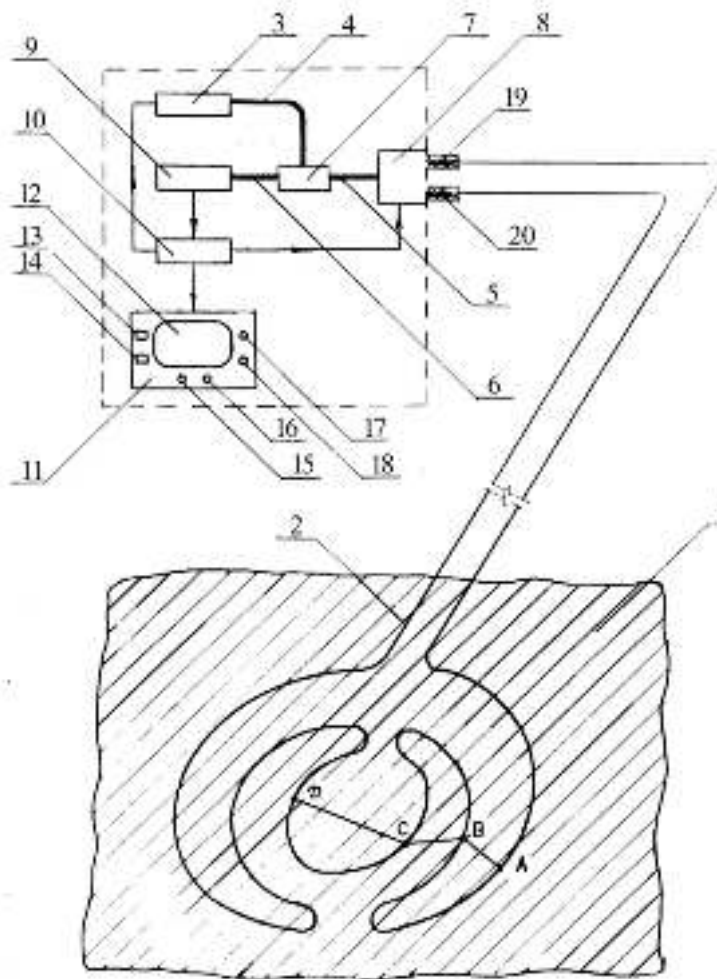
ნახ. III.11-ზე მოცემულია გაბმითი ბოჭკოვან-ოპტიკური გადამწოდის ოპტიკური სქემა. საკითხის უკეთ წარმოდგენისათვის განვიხილოთ მოწყობილობის სქემა და მუშაობის პრინციპი. მოცემული მოწყობილობა შეიცავს: საკვლევ ობიექტს 1, რომლის ტანშიც ან ზედაპირზე თავსდება შუქსატარი 2 „ლაბირინთული სპირალის“ სახით, ზედაპირზე დამაგრებისას შუქსატარს ფარავენ მიიფე საფარველით, იმპულსურ ლაზერს 3, შუქსატარებს 4, 5, განმშტოებელს 7, ოპტიკურ გადამრთველს 8, ფოტომიმლებს 9, პროცესორს 10, ინფორმაციის ასახვის ბლოკს 11. იმპულსური ლაზერი 3, 5 და 6 შუქსატარებით ოპტიკურად დაკავშირებულია ოპტიკურ გადამრთველს 8 და ფოტომიმლებთან 9, რომელიც, თავის მხრივ, ელექტრულ კავშირშია პროცესორთან 10. უკანასკნელი ელექტრულად უკავშირდება იმპულსურ ლაზერს 3, ოპტიკურ გადამრთველს 8, ინფორ-მაციის ასახვის ბლოკს 11 და მართავს მათ მუშაობას. ინფორმაციის ასახვის ბლოკი 11 შეიცავს ეკრანს 12 რეფლექტორამების და საკვლევ ობიექტის 1, საკოორდინატო ბადეზე შუქსატარის 2 ფორმის ასახვისათვის, მოწყობილობაშია აგრეთვე ორი რიცხვითი ინდიკატორი, 13 ემსახურება მთლიანი შუქსატარის სიგრძის, ხოლო 14 – შუქსატარის სიგრძის შემოკლების ასახვას და ოთხი შუქდიოდი, რომელთაგან 15 დანიშნულია ბზარის არსებობის სიგნალიზაციისათვის, 16 – მისი კრიტიკული სიგრძისათვის, 17 – შუქსატარის ზონდირებისათვის ერთი ბოლოდან, 18 – შუქსატარის ზონდირებისათვის მეორე ბოლოდან. შუქსატარის 2 ოპტიკურ გადამრთველთან 8 შეერთებას ემსახურება 19 და 20 ოპტიკური გასართი მისაერთებლები.

წარმატებით მუშავდება სპეციალური დანიშნულების ოპტიკური ბოჭკოები, მაგალითად, თხევადი გულარით, ორმაგი გულარით და ა.შ.

ბოჭკოვან-ოპტიკურ გადამწოდების ერთ-ერთი თავისებურებაა ნახევრადგამტარული ლაზერების ხელსაყრელი გამოყენება.

ამპლიტუდურ გადამწოდებს ოპტიკურ ბოჭკოზე აქვს დიდი პერსპექტივები და უკანასკნელ პერიოდში მიმდინარეობს აქტიური გამოკვლევები.

თუ გამოვიყენებთ ტრადიციულ გამზომ ტექნიკას, მაგალითად ელექტროტენზომეტრებს, ულტრაბგერითი დეფექტოსკოპებს, დაგრწმუნ-დებით რომ ელექტროტენზომეტრები განიცდიან კოროზიას და დიდ მანძილზე გაზომილი პარამეტრების გადაცემა შეუძლებელი ხდება, ტენზომეტრიდან მიღებული ინფორმაცია არ არის დაბრკოლება მედეგი ტრაქტი. ყოველივე ეს და ის გარემოება, რომ ის იძლევა წერტილოვან არეზე დეფორმაციის მნიშვნელობას. ხოლო ჩვენ შემთხვევაში ამოცანის გადაწყვეტა მოითხოვს რამოდენიმე ასეულ ასეთი გადამწოდის დამაგრებას ხიდებში შეუძლებელს ხდის გაზომვის ჩატარებას.



ნახ. III.11 ბეტონის კონსტრუქციაში ბზარის აღმოჩენის, მდებარეობის და მიმართულების დასადგენი ბოჭკოვან-ოპტიკური სისტემა

ყოველივე ზემოთ აღნიშნული მიგვითითებს იმაზე, რომ ელექტროტენზომეტრებით მოწოდებილი ქსელი შეიცავს მთელ რიგ უარყოფით ფაქტორებს და დიაგნოსტიკურ ცენტრში ამ ტექნიკური საშუალებებით ინფორმაციის გადაცემა და მონიტორზე ასახვა თითქმის შეუძლებელი ხდება.

ისმის კითხვა, არსებობს თუ არა სხვა უფრო პროგრესული ტექნიკური საშუალებები, რათა მივაღწიოთ შედეგს. ასეთი ტექნიკა უკვე შექმნილია და ჩვენს მიერ დაწვრილებით იყო აღწერილი წინა პარაგრაფებში.

როგორც აღნიშნეთ, დამუშავებულია გაბმითი ბოჭკოვან-ოპტიკური გადამწოდები, რომელიც საშუალებას იძლევა ოპტიკური ძაფი (მონო ბოჭკო) დავამაგროთ გამოსაცდელ კონსტრუქციაზე და დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობიდან დამოკიდებულებით დავაფიქსიროთ ოპტიკური ძაფის გაწყვეტის წერტილები. ოპტიკური ძაფი მაგრდება ლაბირინთული ფორმით სიბტყეზე ან სივრცეში.

## IV. გამოკვლევის შედეგების პრაქტიკული გამოყენების მაგალითები

### IV.1. ქ. თბილისში ყიფშიძის ქ. №20ა-ში მდებარე საცხოვრებელი შეიდსართულიანი შენობა

#### IV.1.1. შესავალი

ფუძე-გრუნტების არათანაბარი დეფორმაციის პირობებში ექსპლუატაციაში მყოფი ნაგებობის დიაგნოსტიკის და მონიტორინგის კომპლექსური მეთოდიკის, რომელიც დამუშავებულია დისერტაციაში, ექსპერიმენტალური აპრობაცია ხორციელდება ქ. თბილისში, ყიფშიძის ქ. №20ა მისამართზე მდებარე 7 სართულიანი საცხოვრებელი შენობის მზიდი კონსტრუქციების ტექნიკური მდგომარეობის მონიტორინგის მსვლელობისას [28,6,7].

შენობა განლაგებულია რთული საინჟინრო-გეოლოგიური პირობების ზონაში, რაც განაპირობებს ფუძე-გრუნტის მნიშვნელოვანი დეფორმაციების შესაძლებლობას. შენობის ნაწილის ქვეშ ნაყარმა გრუნტმა განსაზღვრა მისი არასტანდარტული მოცულობით-გეგმარებითი და კონსტრუქციული გადაწყვეტა. მშენებლობა დასრულდა 2001 წელი.

შენობის მონიტორინგი ხორციელდება პერიოდული რეჟიმით, დადგენილი გრაფიკის მიხედვით, რომელის შესაბამისად სამუშაოების დასაწყისი თარიღდება 2007 წლით, ძირითადი ეტაპები ხორციელდებოდა 3 თვეში ერთხელ, ხოლო შუალედური კი თვეში ერთხელ.

#### IV.1.2. შენობის კონსტრუქციების ტექნიკური მდგომარეობის მონიტორინგის სამუშაოების შემადგენლობა

##### *მონიტორინგის მოსამზადებელი ეტაპები*

1. საპროექტო, შესასრულებელი და საექსპლუატაციო დოკუმენტაციის ანალიზი;
2. შენობის სამშენებლო კონსტრუქციების ამზომ-გამოსაკვლევი სამუშაოები
  - კონსტრუქციების ფაქტიური მდგომარეობის გამოვლენა და საკონტროლო აზომვა
3. შენობის სამშენებლო კონსტრუქციების საინჟინრო-კონსტრუქციული სამუშაოები
  - დეფექტების განლაგების ძიება, ფოტოფიქსაცია, უწყისების და სქემების შედგენა.
  - კონსტრუქციული მასალების სიმტკიცის არამრღვევი გამოცდები.

- შენობის სემ-მოდელის ფორმირება. საანგარიშო (საექსპლუატაციო) დატვირთვების და საძირკვლების შესაძლო დეფორმაციის განმეორებითი ანგარიში მათი ზღვრული დასაშვები მნიშვნელობების განსაზღვრისათვის.

**მონიტორინგის ძირითადი ეტაპები**

1. შექურების საშუალებით კონსტრუქციების დაზიანების მონიტორინგი
  - დაკვირვებათა ციკლი თვეში ერთხელ
2. შენობის სივრცითი დეფორმაციის გეოდეზიური მონიტორინგი
  - დაკვირვებების ძირითადი ციკლი 3 თვეში ერთხელ
  - დაკვირვებების შუალედური ციკლი თვეში ერთხელ
3. შედეგების კამერალური დამუშავება
4. მზიდი კონსტრუქციების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ცვლილებების ანალიზი სასრულ ელემენტთა მეთოდით.

**IV.1.3. შენობის კონსტრუქციის ტექნიკური მდგომარეობის გამოკვლევა**

**IV.1.3.1. შენობის ძირითადი არქიტექტურული და კონსტრუქციული განსაკუთრებულობები**

7 სართულიანი საცხოვრებელი შენობა წარმოადგენს კარკასული ტიპის საცხოვრებელ სახლს, რომლის პროექტი დამუშავებულია 2000 წელს შპს „პირამიდა-98“-ის მიერ (სურ. IV.1), შენობის გეომეტრიული ფორმა გეგმაში რთული მოხაზულობისაა. გეომეტრიული ზომები გეგმაში 18.00×24.80 მ, სიმაღლე 23.50 მ. სართულების რაოდენობა: 6 სართული მანსარდით, შენობას აქვს სარდაფი. შენობა განლაგებულია მდინარე ვერეს ხრამის თავზე. შენობის ძირითადი არქიტექტურული და კონსტრუქციული განსაკუთრებულობები ვლინდება საპროექტო დოკუმენტაციის შესწავლის მსვლელობისას (არქიტექტურული გეგმები, ფასადები, ჭრილები, კონსტრუქციული ნახაზები, ელემენტების სპეციფიკაცია და ა.შ.) რომელიც წარმოადგინა საექსპლუატაციო ორგანიზაციამ, აგრეთვე დაემატა ტექნიკური მდგომარეობის გამოკვლევის მონაცემები, რომელიც მიღებული იქნა მონიტორინგის მოსამზადებელ ეტაპზე.



სურ. IV.1. შენობის ფასადი

შენობის ასაკი: შენობა აგებულია 2001 წელს.

სართულიანობა: 6 სართული, მანსარდით.

შენობის სიმაღლე: 23.50 მ.

მზიდი კონსტრუქციები კოლონები და რიგელები მონოლითური რკინაბეტონისაა, კარკასი შევსილია პემზობეტონის საკედლე ბლოკებით, სარდაფის კედლები შევსილია რკინაბეტონის ცოკოლის ბლოკებით.

სართულშუა გადახურვები შესრულებულია 6 მ-იანი მალის ანაკრები რკინაბეტონის ფილებით.

კიბეები ორმარშიანია, რომელიც მოწყობილია ლითონის კოსოურებზე მოზაიკის საფეხურებით.

სახურავი ორქანობიანია ხის ნივნივებზე მოთუთიებული ბურულით.

შენობას ორ მხარეს აქვს ერკერები, რომლებიც დაყრდნობილია დოინჯებზე, რაც სეისმურ ზონაში არ არის დასაშვები.

შენობას ყველა სართულზე სართულშუა გადახურვის ფილის ქვეშ აქვს სეისმური სარტყელი.

შენობის ბინებში გადაკეთებულია შიგა ტიხრები.

შენობას ჩაუტარდა მიმდინარე რემონტი რამდენჯერმე.

### IV.13.2. მზიდი კონსტრუქციების ტექნიკური მდგომარეობის ვიზუალური და ინსტრუმენტალური გამოკვლევის შედეგები

მონიტორინგის ობიექტის წინასწარმა დათვალიერებამ, მზიდი კონსტრუქციების ნატურულმა გამოკვლევამ, ასახომმა სამუშაოებმა, ფაქტიური სიმტკიცის ინსტრუმენტალურმა განსაზღვრამ და კონსტრუქციული მასალების ფიზიკური თვისებების არამრღვევი მეთოდებით განსაზღვრამ არ გამოავლინა მნიშვნელოვანი გადახრები საპროექტო გადაწყვეტებისგან.

ვიზუალური და ინსტრუმენტალური დათვალიერებით შეიმჩნევა შემდეგი დაზიანებები და ბზარები:

მიმდინარეობს საძირკვლის ჯდომა, რომლის სიდიდე ნორმას აღემატება. აგრეთვე შეიმჩნევა ფუძე-გრუნტის ჯდომა და გადაადგილება აცურების ზედაპირზე (სურ. IV.2, IV.3).



სურ. IV.2. შენობის კორიზონტალური გადაადგილება



სურ. IV.3. ფუძე-გრუნტის ჯდომის შედეგად გაჩენილი ბზარი

შენობის კედლები დახრილია ჩრდილოეთის მხარეს 5.7÷15 სმ-ის ფარგლებში.

შეიმჩნევა ბზარები კედლებზე, ზღუდარებში და გარე კედლებზე. ბზარების სიდიდე, დახრის კუთხე და ხასიათი მიუთითებს შენობის გრუნტის არა მდგრადობაზე და არათანაბარ ჯდომაზე (სურ. IV.4, IV.5).



სურ. IV.4. შენობის კედელზე განვითარებული ბზარი



სურ. IV.5. შენობის ძირითად ნაწილსა და მიშენებას შორის განვითარებული ბზარი

საძირკვლები პროექტის მიხედვით უნდა შესრულებულიყო მონოლითური რკინაბეტონის წიბოვანი ფილა რკინაბეტონის ნაბურღ-ნატენ ხიმინჯებზე. ადგილზე შესწავლით დგინდება, რომ გაკეთებულია წერტილოვანი რკინაბეტონის საძირკვლები ნაბურღ-ნატენ ხიმინჯებზე (24 ცალი), რომლის თავები ე.წ. „ჭიქები“ დაკავშირებულია ერთმანეთთან რანდკოჭებით. ამის შემდეგ 2003 წელს შენობის ფუძის გამაგრების მიზნით (პროექტი შეადგინა შპს „მონექს“-მა) დამატებით გაკეთდა ნაბურღ-ნატენი ხიმინჯები სულ 16, მათი დიამეტრი 30 სმ-ს შეადგენდა, ჩაღრმავება 25-30 მ (მობინადრეების განმარტებით). ხიმინჯების მოწყობა შესრულდა შემდეგი ტექნოლოგიით: გაყავდათ ჭაბურღილი, რომელშიც იდგმებოდა ლითონის არმატურა და შემდეგ ჭაბურღილში ხდებოდა წყალცემენტის ჩაჭირხენა. ხიმინჯები განლაგებულია ე.წ. ხურჯინის წესით, რათა მათ მიეღოთ შენობის დატვირთვა. როგორც პროფესორი გ. ჭოხონელიძე თავის ანგარიშში ამბობს ხიმინჯები არ დადის ძირითად ქანებამდე და მაშასადამე ისინი მუშაობენ, როგორც კიდული ხიმინჯები.

როგორც შენობის ახლანდელი მდგომარეობა გვიჩვენებს ამ ღონისძიებებმა არ გაამართლა, რადგან შენობის მდგომარეობა არ გამოსწორებულა, ჯდომა ისევ გრძელდება, დაზიანდა კედლები. აგრეთვე უნდა მოგახსენოთ რომ, სვეტები გარსაცმში ჩასვეს მდგრადობის გაზრდის მიზნით, რამაც უფრო დაამძიმა კონსტრუქცია. ეს ღონისძიება ზედმეტად მოგვეჩვენა, რადგან სვეტებს ბზარები არ შეენიშნებოდათ.

აგრეთვე შენობის ჩრდილოეთ მხარეს მოხდა დიდი რაოდენობის მიწის შეტანა და მოზინვა ტერასების სახით. რამაც გაზარდა მოსრიალე მასა და უფრო გააქტიურა მეწყერი.

წინასწარი გეოლოგიური კვლევით დგინდება:



ობიექტი ტექტონიკური თვალსაზრისით განთავსებულია მამა დავითის ანტიკლინალის ჩრდილოეთ ფრთაზე, გეომორფოლოგიურად მოვაკებულ, მდ. ვერეს ხეობის სამხრეთის მეწყრულ ფერდობზე.

გეოლოგიურ აგებულებაში მონაწილეობას იღებს ზედა ეოცენის ნალექები, რომლებიც წარმოდგენილია ქვიშაქვებისა და არგილიტების მორიგეობით, რომელიც გადაფარულია მეოთხეული ტბიური ნალექებით, იგი წარმოდგენილია მონაცრისფრო-ლურჯი თიხებით, მათი სიმძლავრე აღწევს 20-50 მ. ისინი თავის მხრივ გადაფარულია დელუვიური გენეზისის ყავისფერი თიხნარებით, სიმძლავრით 15-20 მ. ზემოდან გვხვდება ტექნოგენური ნალექები, რომლითაც შევსებულია რელიეფის უარყოფითი ფორმები, რომელიც ფართოდაა წარმოდგენილი განსახილველ უბანზე.

საინჟინრო-გეოლოგიური თვალსაზრისით უბანი წარმოადგენს უადრესად არაკეთილსაიმედო ტერიტორიას მშენებლობის საწარმოებლად და მათი შემდგომი ექსპლუატაციისათვის, 90-იან წლებამდე ამ ტერიტორიებზე აკრძალული იყო მშენებლობა უარყოფითი საინჟინრო-გეოლოგიური პირობების გამო. ამ პერიოდიდან იწყება ტერიტორიის ინტენსიური ათვისება, რამაც გამოიწვია შენობა-ნაგებობებით, ქვაბულებიდან ამოღებული გრუნტებით და სამშენებლო ნაგვით (რომლის დაყრაც მოხდა მეწყრულ ფერდობზე) სიტუაციის დამძიმება.

აღნიშნული სახლის გამაგრებისათვის შესასრულებელი პროექტისათვის, ჩასატარებელი საინჟინრო-გეოლოგიური კვლევის დროს გასათვალისწინებელია შემდეგი განსაკუთრებული პირობები: უბანი მდებარეობს მეწყრულ სხეულზე; ფუნდამენტების ფუძის გრუნტები, თავისი ფიზიკო-მექანიკური და დეფორმაციული თვისებებით მიეკუთვნება სუსტ გრუნტებს; ტერიტორია მდებარეობს სეისმურად აქტიურ 8 ბალიან ზონაში.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, გამაგრების პროექტისათვის ჩასატარებელია საინჟინრო-გეოლოგიური კვლევების სრული კომპლექსი ს.ნ. და წ. 1.02.07-87-ის „შენობა-ნაგებობების ფუძეები“ და ს.ნ. და წ. 11-02-96-ის „საინჟინრო კვლევა-ძიება მშენებლობისათვის“ მიხედვით.

არსებული მდგომარეობის მიხედვით არ შეიძლება წავუყენოთ პრეტენზია მზიდ კონსტრუქციებს, რადგან საბოლოოდ არ არის გამოკვლეული გრუნტის მდგრადობა. აქამდე ჩატარებულმა ღონისძიებებმა შედეგი არ გამოიღო. აღნიშნული გრუნტის დეტალური შესწავლის შემდეგ შესაძლებელი გახდება დამატებითი სამუშაოების ჩატარება, როგორც შენობასთან მიმდებარე გრუნტის მდგრადობის ამოღებისთვის, აგრეთვე საძირკვლების და მასზე მდგომი კონსტრუქციების გაძლიერებისათვის.

## IV.14. შენობის სივრცითი დეფორმაციის გეოდეზიური მონიტორინგი

### IV.14.1. სივრცითი მოდელის გარე საკონტროლო კვანძების გადაადგილების მონიტორინგი

გეოდეზიური მონიტორინგის სამუშაოების შემადგენლობაში შედის შენობის სახასიათო წერტილების მასივის მდგომარეობის გეგმურ-სიმაღლივი აზომვა დროში მათი გადაადგილების გაზომვისათვის. ეს სამუშაო სრულდებოდა 2.5 პუნქტში აღწერილი მეთოდის შესაბამისად.

სიზუსტის II კლასისათვის მოთხოვნების [29] თანახმად ვერტიკალური გადაადგილებების გაზომვების ცდომილება უნდა იყოს არა უმეტეს  $\pm 2$  მმ, ხოლო ჰორიზონტალური  $\pm 5$  მმ.

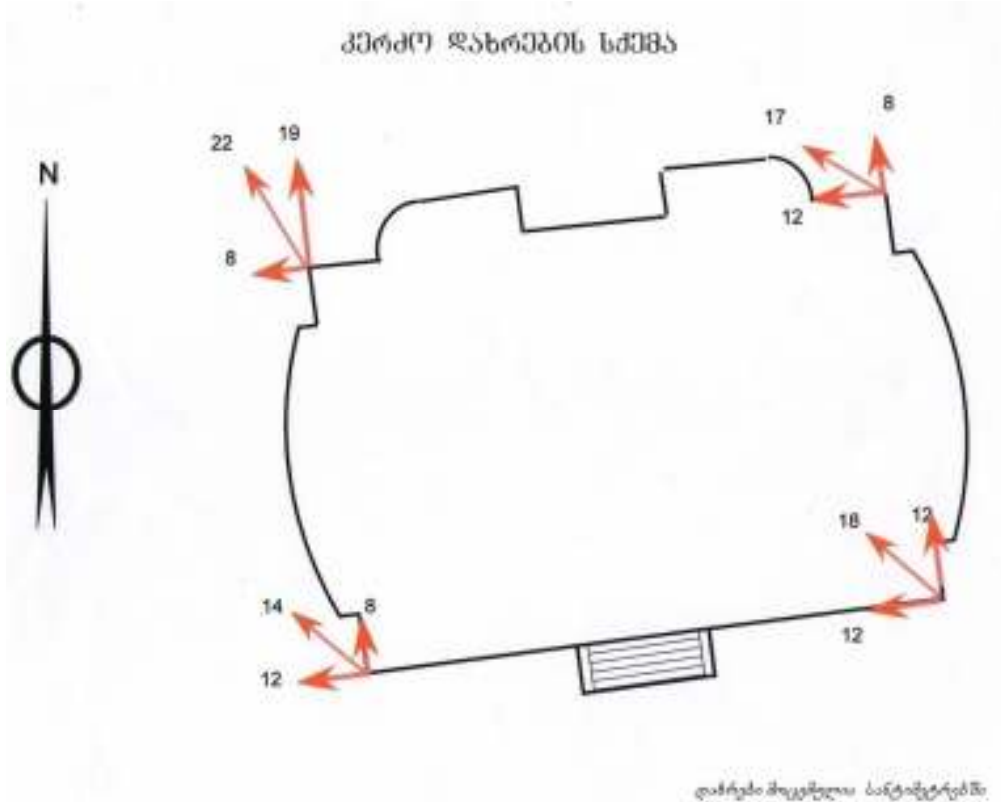
ქ. თბილისის ცენტრალური რაიონის ნაწილში შენობის ადგილმდებარეობასთან დაკავშირებით, რაც ხასიათდება მშენებლობის მაღალი სიმჭიდროვით, ობიექტზე ეფექტურად გამოიყენებოდა საკოორდინატო აზომვის ტექნოლოგია შეზღუდული დაშვების პირობებში სფერული დეფორმაციული მანიშნების გამოყენებით. მოცემული ტექნოლოგიის რეალიზაციამ გამოიწვია სივრცითი აზომვის სადგურების საერთო რაოდენობის შემცირება 1.5-ჯერ, ამასთან შენობის კონსტროლირებადი კვანძების რაოდენობა ზედა დონეში გაზრდილი იქნა 30%-ით ტრადიციულ ბრტყელი მანიშნების გამოყენებასთან შედარებით.

საკონტროლო კვანძების სივრცითი მდებარეობის განსაზღვრისათვის შენობის ფასადზე, მისი კონსტრუქციული და არქიტექტურული განსაკუთრებულობების შესაბამისად დაყენებული იქნა ფირმა SOKKIA-ს 12 ბრტყელი ამრეკლი მანიშნი 39 სფერული ამრეკლით.

ობიექტზე ორგანიზებული იქნა საყრდენი გეოდეზიური ქსელი 8 სადგურისაგან, რომლის კოორდინატები განისაზღვრებოდა კოორდინატების ადგილობრივ სისტემაში დეფორმაციული ზონის საზღვრებს გარეთ განთავსებულ წერტილზე დაყრდნობით. დანარჩენი საყრდენების კოორდინატები განისაზღვრებოდა ST1 სადგურიდან პოლიგონომეტრიული სვლის ჩაწყობის გზით. ნახ. IV.6-ზე წარმოდგენილია პოლიგონომეტრიული სვლა დახურული პოლიგონის სახით და ერთი კიდული წერტილი ST7, რომელიც მოწყობილია შენობის მე-2 სართულის ნაწილზე.

დეფორმაციის კონტროლის სივრცითი მოდელი იქმნებოდა შენობის დანიშნული სახასიათო წერტილების კოორდინატების განსაზღვრის გზით, რომლებიც განთავსებულია 14 ვერტიკალური საკეტის მიხედვით. ყოველ საკეტში ჩანიშნული იყო წერტილები 2-4 სტანდარტულ დონეზე, რომლებიც ემთხვევა მე-2, მე-3 და მე-5

სართულების გადახურვის დონეს (სურ. IV.6). სივრცითი მოდელის აგების სქემები სგქ-ს სადგურიდან წარმოდგენილია აქსონომეტრიული სახით ნახ. 8-ზე.



ნახ. IV.6. საყრდენი გეოდეზიური ქსელის სქემა

კოორდინატების გაზომვა სრულდებოდა ფირმა SOKKIA-ს SET4110 მარკის ელექტრონული ტახომეტრით.  $D=100$  მ დისანციასზე SET4110 ტახომეტრით გაზომილი კოორდინატების მაქსიმალური აბსოლუტური ცდომილება შეადგენს  $\pm 3.3$  მმ-ს, ფარდობითი ცდომილება  $1/30\ 000$  გაზომილი დისანციიდან. მონიტორინგის 1-9 ეტაპებში (2006 წ-ს ივნისიდან 2008 წ-ს ივლისამდე) კოორდინატების გაზომვის ფარდობითმა ცდომილებამ  $\left(\frac{f_p}{\sum L}\right)$  შეადგინა დახურული პოლიგონის მიხედვით  $1/(20\ 400 \div 40\ 000)$ . საშუალო სამუშაო დისანციის დროს  $D=50$  მ, მეზობელი სადგურის მდებარეობის ურთიერთგანსაზღვრის ფაქტიურმა ცდომილებამ შეადგინა  $\pm 2.5$  მმ დახურული პოლიგონისათვის, რაც მოწმობს სამუშაოების ჩატარების სიზუსტის შესაბამისობას საყრდენი ქსელის ნორმატიული მაჩვენებლების წერტილების კოორდინატების გაზომვასთან [29]. მარკების მდებარეობის გაზომვის დამატებითმა ცდომილებამ შეადგინა საშუალო სამუშაო დისანციიდან არა უმეტეს  $1/20000$ , ანუ  $\pm 2.5$  მმ. ამგვარად, დეფორმაციული მარკების მდგომარეობის განსაზღვრის ჯამური სეც არ აჭარბებს  $\pm 3.5$  მმ-ს.  $m_{\Delta x}$ ,  $m_{\Delta y}$  კოორდინატების მიხედვით გადაადგილებების გაზომვის ცდომილება განისაზღვრა 3.22-ის თანახმად 4.9 მმ-ის დიაპაზონში, ხოლო ვერტიკალური

გადაადგილებების გაზომვის ცდომილება დაფიქსირდა  $\pm 2$  მმ დიაპაზონში, რაც შეესაბამება სახ. სტანდ. 24846-81-ის მოთხოვნებს [29].

მონიტორინგის ყველა ეტაპზე შენობის დანიშნული წერტილების ვერტიკალური და ჰორიზონტალური გადაადგილებების სიდიდეები გამოითვლებოდა როგორც გაზომვების საწყისი, მომდევნო და საბოლოო ეტაპების კოორდინატებს შორის სხვაობა 2.5 პუნქტის შესაბამისად.

#### IV.14.2. სივრცითი მოდელის შიგა კონტროლირებადი კვანძების ჯდომის მონიტორინგი

ამ სახის სამუშაოების შესრულების ძირითად მიზანს წარმოადგენს საძირკვლების შესაძლო დეფორმაციის შესახებ დამატებითი ინფორმაციის მიღება შენობის ფასადზე და მზიდ კონსტრუქციებზე წერტილის მაღლივი მდებარეობის განსაზღვრის გზით მათი ვერტიკალური გადაადგილების სიდიდეების გაზომვისათვის. ყოველ ციკლში სრულდებოდა 81 ჯდომითი მანიშნის ნიველირება, მათ შორის 33 განლაგებულია შენობის ფასადზე.

გარე მზიდ კონსტრუქციებზე წერტილების მაღლივი მდებარეობა ფიქსირდებოდა ჯდომითი მანიშნების ნიშნულების განსაზღვრის გზით, რომლებიც დაყენებულია შენობის I სართულის დონეზე შიგა ფასადის მხრიდან, რომელიც ესაზღვრება ახალი მშენებლობის მოედანს.

შენობის შიგნით მზიდ კონსტრუქციებზე წერტილების მაღლივი მდებარეობა ფიქსირდებოდა ჯდომითი მანიშნების ნიშნულების განსაზღვრის გზით, რომლებიც დაყენებულია მე-3 სართულის რიგელების ქვედა სიბრტყეში.

ჯდენითი მანიშნების ნიშნულები განისაზღვრებოდა გეომეტრიული ნიველირების მეთოდით გაზომვების სიზუსტის [29] II კლასის მოთხოვნების შესაბამისად გარე დეფორმაციული მარკების ერთიანი სიმაღლის სისტემაში.

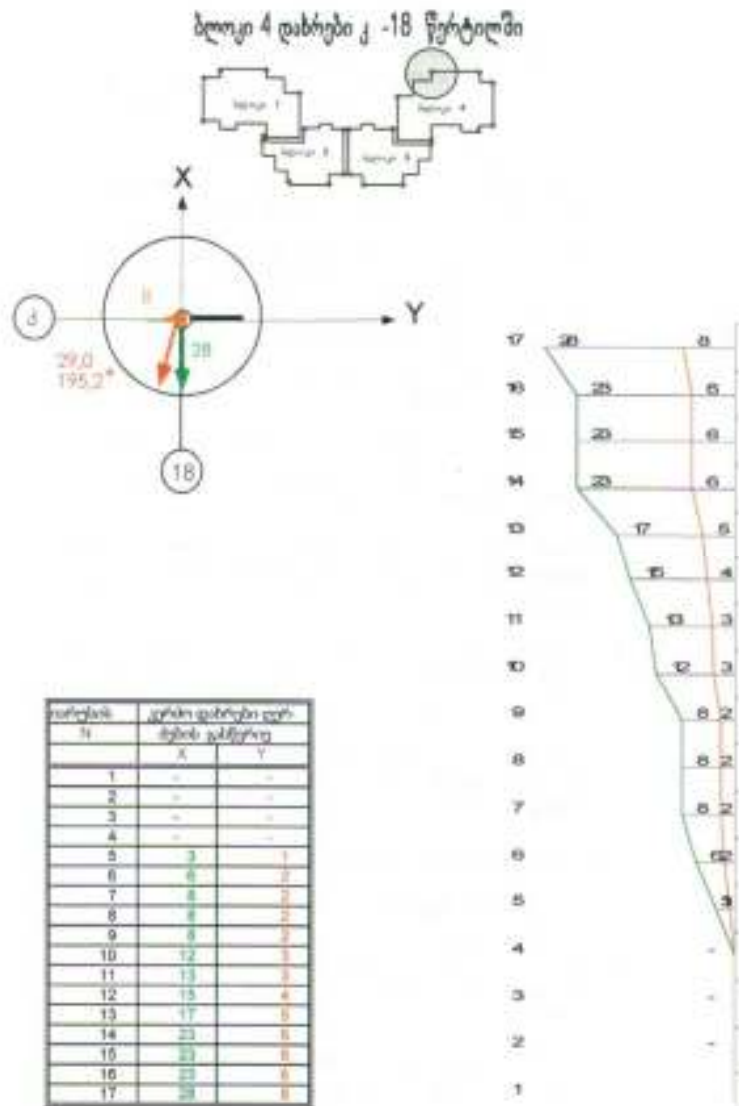
3 სადგურის სიგრძის დახურული სვლები სრულდებოდა პირდაპირი და უკუ მიმართულებით ინსტრუმენტის ორ ჰორიზონტში. ჯდენითი მანიშნების განლაგების სქემები მოყვანილია დანართში II.

ნიველირების სიზუსტის შეფასება ხორცილდებოდა დახურულ და ორმაგ სვლებში აცდენების მიხედვით. ყოველი სვლისათვის გამოითვლებოდა დასაშვები აცდენა  $f_n = \pm\sqrt{n}$  [29]. ნიველირების სიზუსტის შეფასებიდან გამომდინარეობს, რომ ნიველირების საშუალო კვადრატული ცდომილება სადგურზე არ აჭარბებდა 0.5 მმ-ს, რაც შეესაბამება ნიველირების II კლასის სიზუსტის ნორმატივებს.

### IV.14.3. გეოდეზიური მონიტორინგის შედეგების ანალიზი

შენობის კონტროლირებადი კვანძების სივრცითი გადაადგილების 2006-2008 წ-ის პერიოდის გეოდეზიური მონიტორინგის შედეგებით დადგენილია, რომ საფუძვლის დეფორმაციის გავლენის მიხედვით მათი ფორმირება და განვითარება დაკავშირებულია ციკლური სეზონური ტემპერატურული ცვლილებებით.

ნახ. IV.7-ზე წარმოდგენილია მე-12 საკეტიდან კვანძების ჰორიზონტალური გადაადგილებები მონიტორინგის 1-9 ეტაპზე. 10<sup>0</sup>-ზე მაღლა დადებითი ტემპერატურების დროს გაზომვები მიმდინარეობდა 1.5 და 9 ეტაპებზე – საზაფხულო ციკლი; 2 და 6 ეტაპებზე – საშემოდგომო ციკლები; 4-8 ეტაპებზე – საგაზაფხულო ციკლი. ზამთრის გაზომვები მონიტორინგის მე-3, მე-7 ეტაპზე მიმდინარეობდა უარყოფითი ტემპერატურების პირობებში, ამასთან ფიქსირდებოდა ზაფხულის მნიშვნელობებზე დიდი გადაადგილებები.



ნახ. IV.7. მე-18 წერტილში ჰორიზონტალური გადაადგილებების მნიშვნელობები

სივრცითი მოდელის გარე კონტროლირებადი კვანძების გადაადგილების მაქსიმალური მნიშვნელობა გეოდეზიური აზომვის კოორდინატების ადგილობრივ სისტემაში დაფიქსირებული იქნა მონიტორინგის 2-9 ეტაპზე გაზომვების I (საწყისი) ციკლის მიხედვით.

სივრცითი მოდელის გარე კონტროლირებადი კვანძების გადაადგილებების სრული სტატისტიკური დამუშავება, რომლებიც ტრანსფორმირებულია სემ-მოდელის კოორდინატების გლობალურ სისტემაში, შენობის ყოველი ფასადის ნაპირა საკეტებისათვის წარმოდგენილია დანართში.

#### **IV.1.5. შენობის კონსტრუქციების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის შეფასება**

##### **IV.1.5.1. საწყისი მონაცემები სემ-ანგარიშისათვის**

საპროექტო დოკუმენტაციის და ობიექტის კონსტრუქციების გამოკვლევის შედეგების შესწავლის მსვლელობის დროს გამოვლენილი იქნა შენობის ძირითადი კონსტრუქციული განსაკუთრებულობები, რომლებიც აუცილებელია სემ-მოდელის ბაზის აგებისათვის.

##### ***კონსტრუქციული გადაწყვეტა***

– კარკასის მდგრადობა და უცვლელია უზრუნველყოფილია ვერტიკალური კავშირის სისტემებით, აგრეთვე გადახურვის და სახურავის დისკების სიხისტით, რომლებიც საიმედოდ არიან მიერთებული კარკასის კოჭებთან ძვრამდგრადი წკირით (შტიფტით) მათი ერთობლივი მუშაობის უზრუნველყოფისათვის.

– კოჭების ერთმანეთთან შეერთება და მათი კოლონებთან დამაგრება, როგორც წესი, სახსროვანია, კვანძების გამოკლებით, რომლებიც უზრუნველყოფენ კონსტრუქციის ზოგიერთი ფრაგმენტის მდგრადობას.

– საძირკველზე კოლონების დაყრდნობა – სახსროვანი;

– როტონდის კოლონები მიმაგრებულია გადახურვის დისკებთან, რაც უზრუნველყოფს მათ უცვლელია.

##### ***ცალკეული ელემენტების კონსტრუქციული გადაწყვეტა***

– მეორე და მესამე სართულების გადახურვის დიდმალიანი კოჭები განკუთვნილია მეტროპოლიტენის გვირაბის გადახურვის მოწყობისათვის და ირებენ ყველა დატვირთვას 8 სართულის გადახურვისა და სახურავისაგან. კოჭების ნაწილი განთავსებულია კედლების სიბრტყეში, სხვები – უშუალოდ გადახურვის ფილების შემადგენლობაში. კოჭების მალეები შეადგენენ 18÷31.5 მ. სამი კოჭი 27 მ მალით დაპროექტებულია კოლოფისებრი, რაც საშუალებას იძლევა ტავის თავზე აიღოს

მნიშვნელოვანი მგრები მომენტები, უზრუნველყოს ფართე სარტყლებში ნორმალური ძაბვების უფრო თანაბარზომიერი გადანაწილება.

– დიდმალიანი კოჭი (31.5 მ) შესრულებულია უირიბნო ფერმის სახით 7 სართულის სიმაღლით.

– გადახურვის ძირითადი და მეორე ხარისხოვანი კოჭები შესრულებულია ორტყეხებრებით შედურებით. მათი ანგარიშისას გათვალისწინებულია ერთობლივი მუშაობა გადახურვის მონოლითურ ფილასთან.

– კარკასის მზიდი კოლონები შესრულებულია უპირატყესად ორტყეხებრი კვეთით. კოლონების ნაწილი, რომლებიც ირებენ მნიშვნელოვან ვერტიკალურ დატვირთვებს, შესრულებულია შედურებული კოლოფების სახით. კოლონები, რომლებსაც გეგმაში აქვთ მიმხრობილი კოჭები შესრულებულია მრგვალი მიღებისაგან.

– მზიდი კონსტრუქციების ფილადის მარკა C245 ( $R_{yn}=245$  მპა,  $R_{un}=370$  მპა), C345 ( $R_{yn}=265\div 345$  მპა,  $R_{un}=430\div 490$  მპა).

#### IV.1.5.2. შენობის სემ-მოდელის აგება ЛИРА 9.6-ში

ყიფშიდის ქ. №20ა-ში მდებარე საცხოვრებელი შენობის სემ-მოდელის შექმნისათვის გამოიყენებოდა პროგრამული კომპლექსი ЛИРА 9.6.

შენობის სემ-მოდელი ფორმირებულია ნაშრომის მე-3 თავში წარმოდგენილი პრინციპების შესაბამისად. ლითონკონსტრუქციის ელემენტები (კოლონები, კოჭები, ზეწრები, კავშირები) წარმოდგენილია სივრცითი სწორხაზოვანი ღეროვანი სასრული ელემენტები, რომლებიც მუშაობენ გაჭიმვა-კუმშვაზე, ღუნვაზე, გრეხაზე და ძვრაზე. მეორე, მესამე სართულის გადახურვის დიდმალიანი კოჭები მოდელირებულია კოჭი-კედელი ტიპის სასრული ელემენტების სახით.

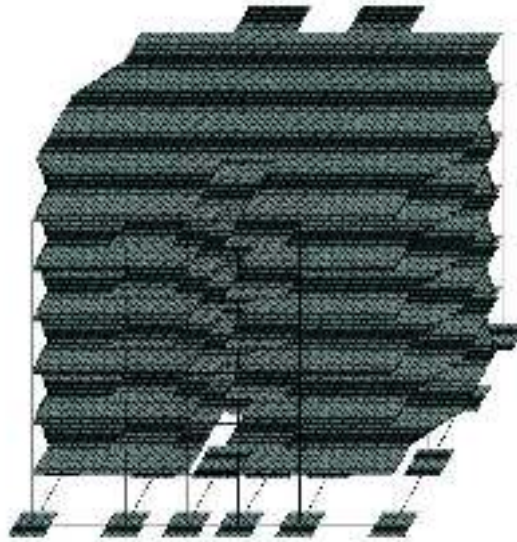
სემ-მოდელის სამუშაო ვერსია შეიცავს 42076 კვანძის და 46138 ელემენტს, რკინაბეტონის გადახურვის (ფილის სასრული ელემენტი) მთლიანი დისკების შემადგენლობაში შემავალი ელემენტების და კვანძების ცათვლით (ნახ. IV.8÷ IV.10).

მოცემული მოდელი საშუალებას იძლევა ჩატარდეს ნებისმიერი ანგარიში დატვირთვების ძირითადი სახეობების მოქმედებაზე: საკუთარი წონა, თოვლის დატვირთვა, დროებითი დატვირთვა ს.ნ. და წ 2.01.07-85, “დატვირთვები და ზემოქმედებები” შესაბამისად [30], აგრეთვე დინამიკურ და დეფორმაციულ ზემოქმედებებზე.

სემ-მოდელის შესახებ ინფორმაცია	
1. გადახურვის ფილები და საძირკვლები – გამოყენებულია გარსის ელემენტები „უნივერსალური ოთხკუთხედიანი ელემენტი“ სე-44	
2. სვეტები და რიგელები – გამოყენებულია სივრცითი კოჭის სასრული ელემენტების სე-10	
ელემენტების რაოდენობა	46 138
კვანძები რაოდენობა	42 076

ნახ. IV.8. შენობის სემ-მოდელის შესახებ ინფორმაცია

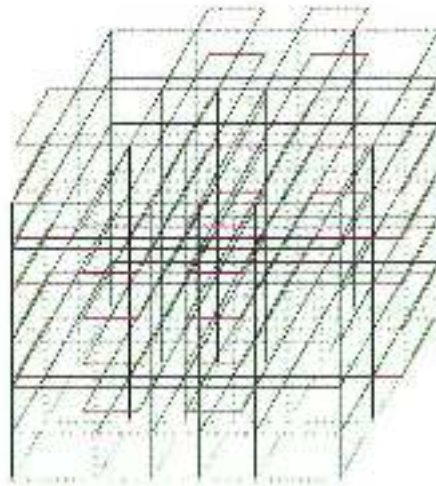
შეფუთვა



სურ. IV.9. შენობის სემ-მოდელის აქსონომეტრიული სახე

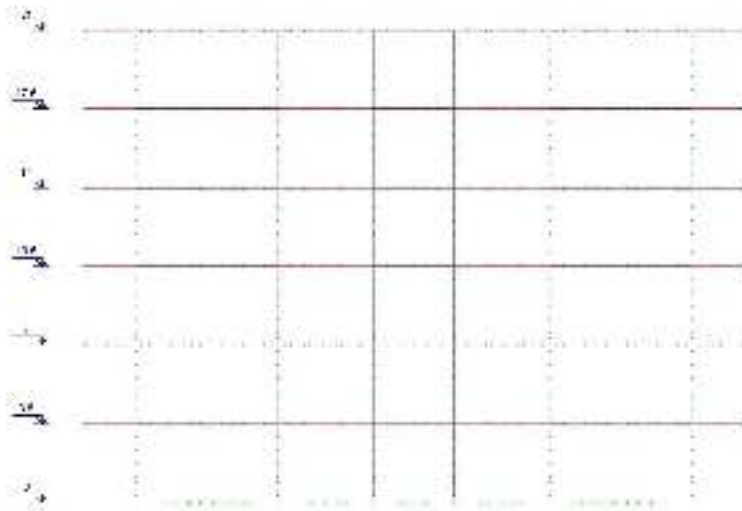


სახ. IV.10



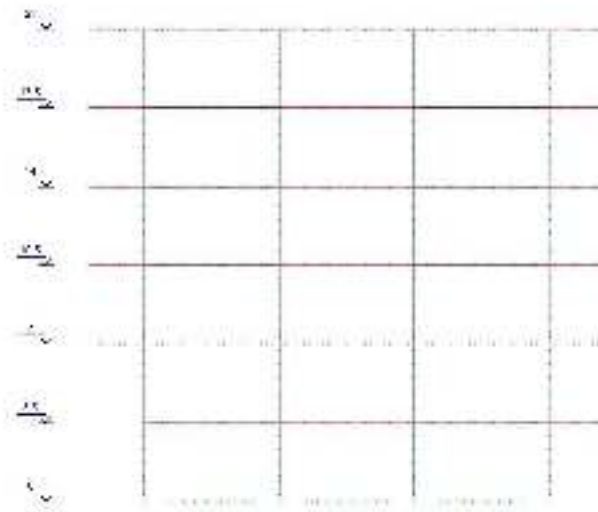
სახ. IV.10

სახ. IV.10



სახ. IV.10

სახ. IV.10



სახ. IV.10

ნახ. IV.10. შენობის სემ მოდელის პროექციურებული სახე

### IV.1.5.3. შენობის საბაზისო სემ-მოდელის ანგარიშის შედეგების ანალიზი

მონიტორინგის შედეგების მიხედვით კონსტრუქციების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის შეფასების მსვლელობისას განიხილებოდა შენობის დატვირთვა საანგარიშო დატვირთვებით (მუდმივი და დროებითი), აგრეთვე მიყენებული გადაადგილებებით, (იხ. I, II და III თავები).

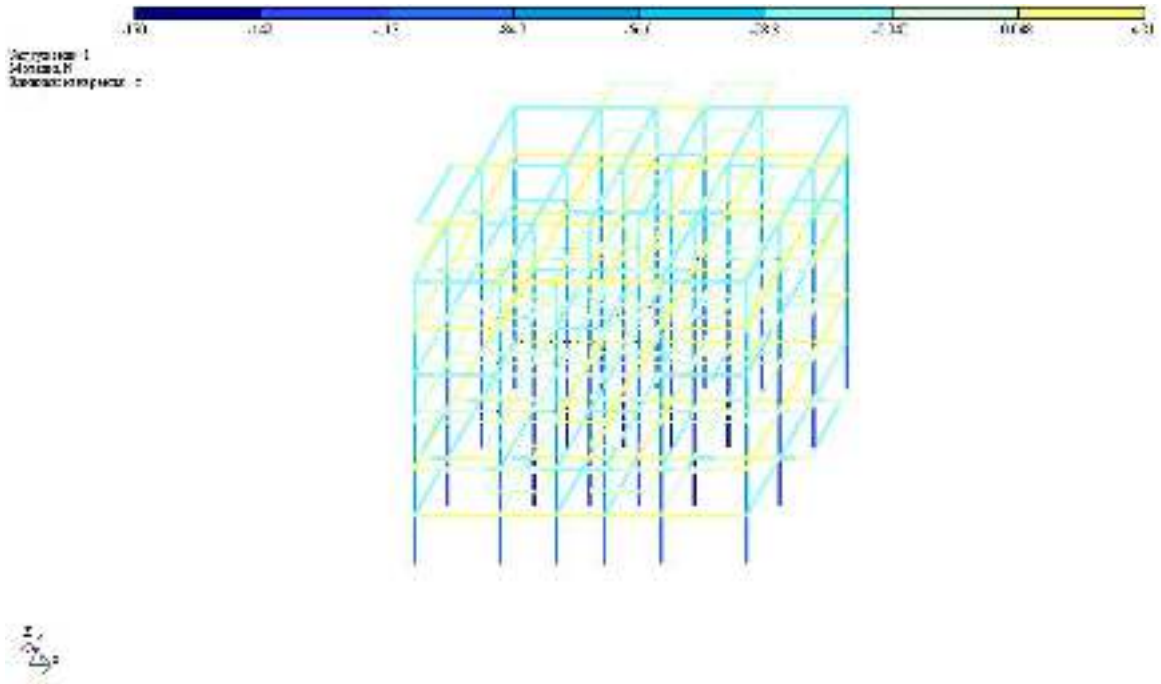
1. ნაგებობის მიმდინარე საექსპლუატაციო (მოცემულ შემთხვევაში ბაზისური) სემ-მოდელი, რომელიც ფორმირებულია საპროექტო დოკუმენტაციის მიხედვით და გაანგარიშება მხოლოდ საანგარიშო დატვირთვების მოქმედებაზე;

2. ნაგებობის მიმდინარე დეფორმაციული სემ-მოდელი, რომელიც ფორმირებულია საბაზისო სემ-მოდელის საანგარიშო დატვირთვების მოშორების შემდგომ და საკონტროლო კვანძებში ჩამაგრებების დამატებით, რომელიც გაიანგარიშება მხოლოდ მოცემულ კვანძებზე მიყენებული გადაადგილებების მოქმედებაზე.

მონიტორინგის მსვლელობისას დაფიქსირებული სემ-მოდელის კარკასის ძირითად კვანძებში, აგრეთვე მიყენებული გადაადგილებების გავლენის პირდაპირი შეფასება მთელი მოდელის ბაზაზე გართულებულია შენობის დიდი მოცულობისა და მზიდი კონსტრუქციების დიდი რაოდენობის ელემენტების გამო. ამ მიზეზით, როგორც ეს აღწერილია 3 პარაგრაფში, მოცემული ობიექტებისათვის გამოიყენებოდა მთელი სემ-მოდელის გაყოფის ტექნოლოგია ბლოკურ სემ-მოდელზე სივრცითი მოდელის მიღებული კონფიგურაციის შესაბამისად (ნახ. IV.9). სემ-მოდელის მტელ შემადგენლობაში სულ წარმოქმნილია 25 კონტროლირებადი ბლოკი (კბ).

კონტროლირებადი ბლოკებისათვის საპროექტო დოკუმენტაციის მონაცემების საფუძველზე ფორმირებული იქნა ძირითადი მზიდი ელემენტების ჯგუფები (ნახ. IV.11) გამომდინარე.

- კონსტრუქციის დანიშნულება (კოლონები, კოჭები, კავშირები);
- ფოლადის მარკები;
- კვეთის გეომეტრიული მახასათებლები.



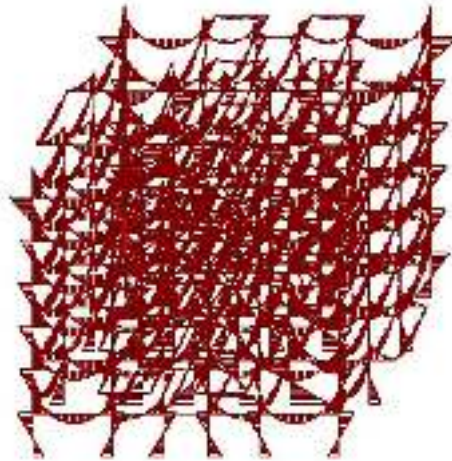
ნახ. IV.11. კბ 1-3 ღეროვანი ელემენტების ფეროვანი კლასიფიკაცია

I სართულის ( $R_y=300$  მპა) კონტროლირებადი კოჭების საანგარიშო დატვირთვების ზემოქმედებისგან უფრო მეტად დატვირთულ კოლონებში დატვირთვების არჩევითი ანალიზის შედეგები (ნახ. IV.12), დატვირთვები და უფრო მეტად დატვირთული ძირითადი და მეორეხარისხოვანი გადახურვის კოჭების სახასიათო ჩაღუნვები.

გადახურვის კოჭებისათვის სნ და  $\nabla$  II-23-81 “ფოლადის კონსტრუქციები” მოთხოვნების შესაბამისად (ფოლადი C245) [31]:

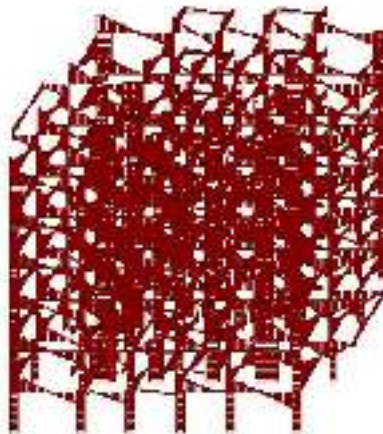
- $\sigma_{ზღვ} = R_y=240$  მპა;
- $\tau_{ზღვ} = 0.58R_y=139$  მპა;

შედეგი 1  
 1/24-1/27  
 2000-00-00-00-00



შედეგი 2  
 1/24-1/27  
 2000-00-00-00-00

შედეგი 3  
 1/24-1/27  
 2000-00-00-00-00



შედეგი 4  
 1/24-1/27  
 2000-00-00-00-00

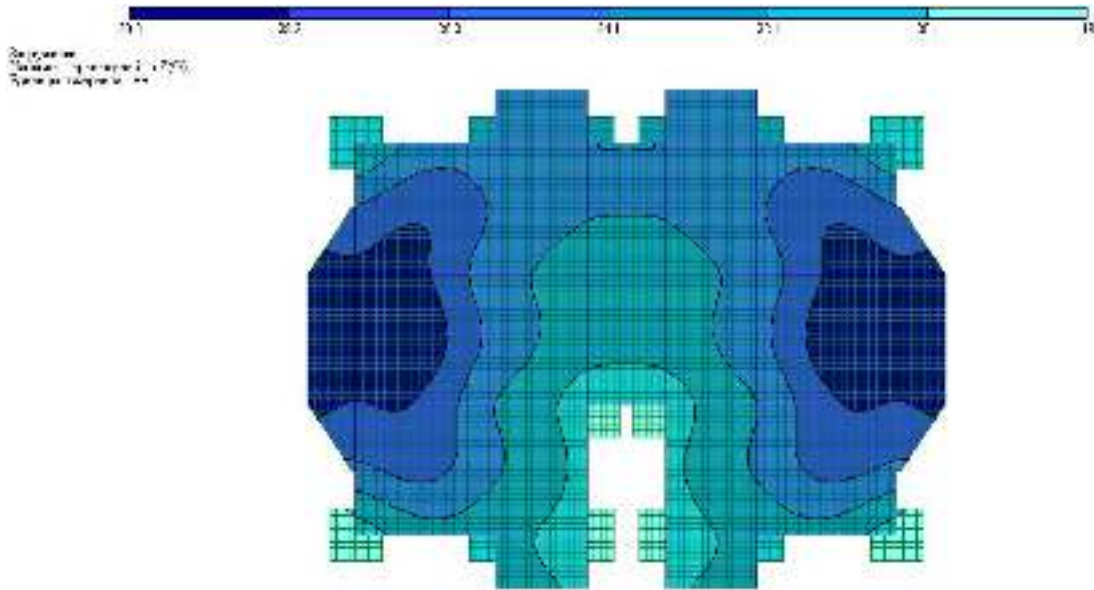
ნახ. IV.12. კბ 1-3 კონსტრუქციებში მღუნავი მომენტების და გრძივი ძალების ეპიურა

ძაბვები დიდმალიან კოჭებში:

– კოჭი 2 –  $\sigma = 223 \text{ მპა} < 270 \times 0.9 = 243 \text{ მპა}$ ;

– კოჭი 3A –  $\sigma = 213 \text{ მპა} < 243 \text{ მპა}$ ;

ზღვრულად დასაშვები ჩაღუნვა  $f_{\text{ზღვ}} = \ell/250$  პირობისას გადახურვის კოჭი მალით 9 მ შეადგენს 3.6 სმ, მალით 8 მ – 3.2 სმ; მალით 9 მ – 3.6 სმ; მალით 11.6 მ – 4.6 სმ (ნახ. IV.13).



ნახ. IV.13. შენობის კონსტრუქციების ვერტიკალური გადაადგილებები მუდმივი და დროებითი საანგარიშო დატვირთვებისგან

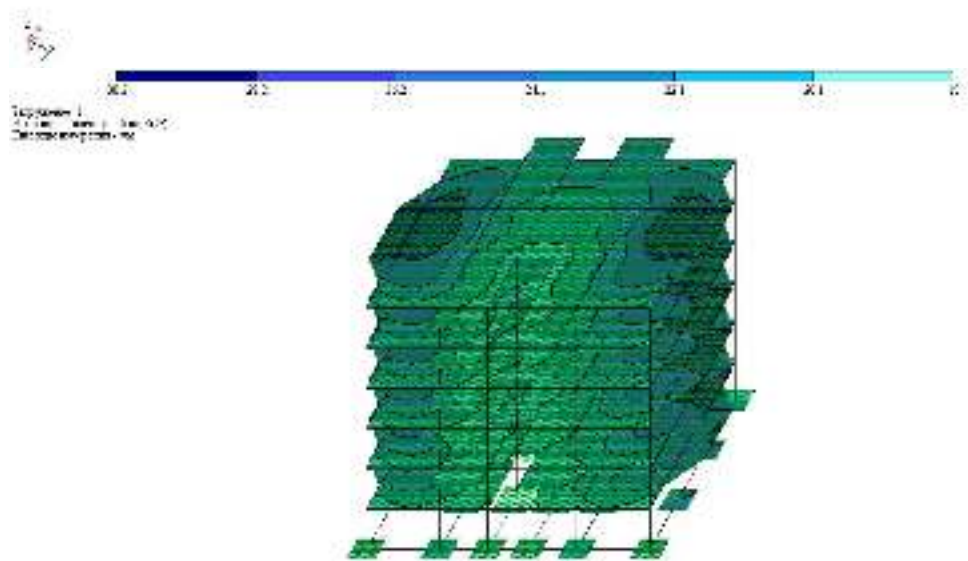
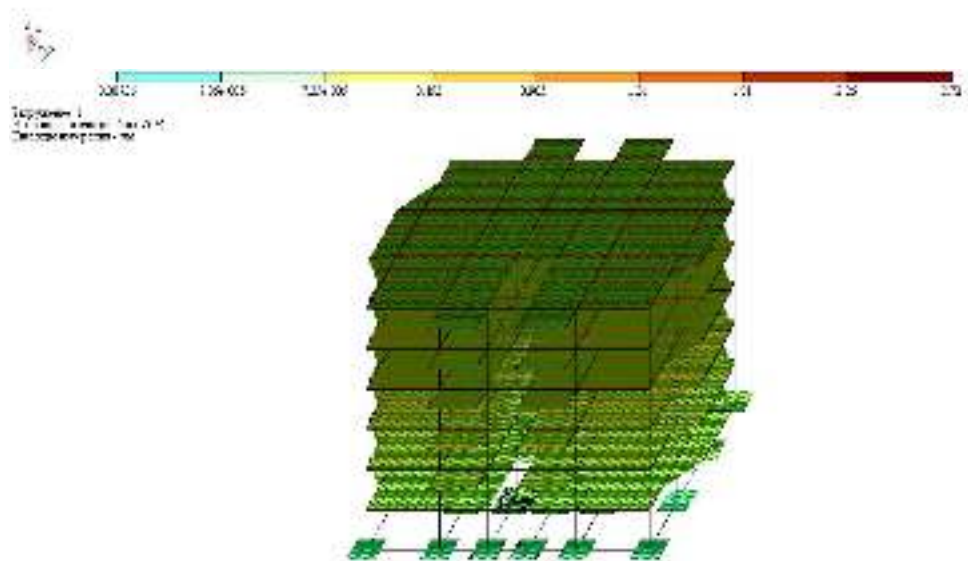
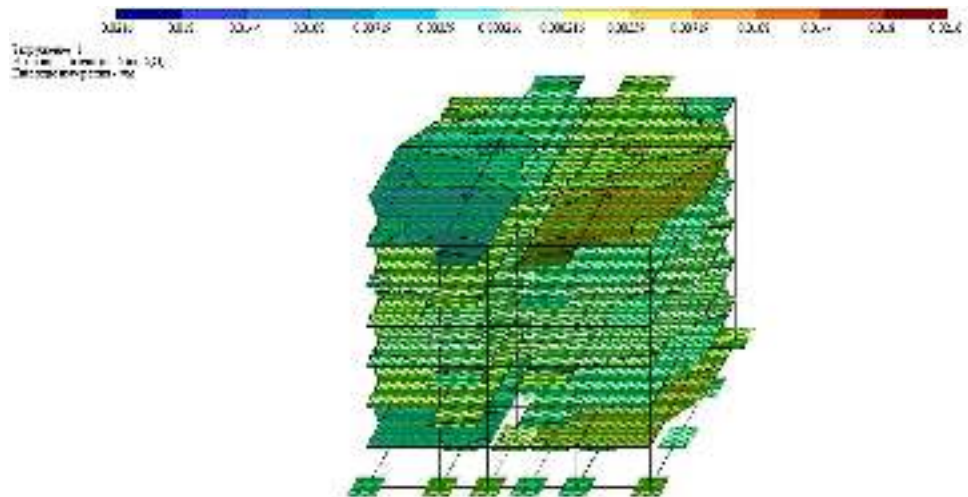
მხოლოდ საანგარიშო დატვირთვებისგან გამოწვეული უფრო მეტად დატვირთული კარკასის კონსტრუქციის ჩატარებულმა არჩევითმა შეფასებამ აჩვენა, რომ კონსტრუქციებში ძალები, ძაბვები და გადაადგილებები შეესაბამება მოთხოვნებს I და II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობების მიხედვით. შენობის მზიდი კონსტრუქციების განლაგების სქემა მოყვანილია დანართში.

#### IV.1.5.4. შენობის კონსტრუქციის დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობაზე ჯდომითი პროცესების გავლენის სასრულ ელემენტთა მეთოდის მოდელირება

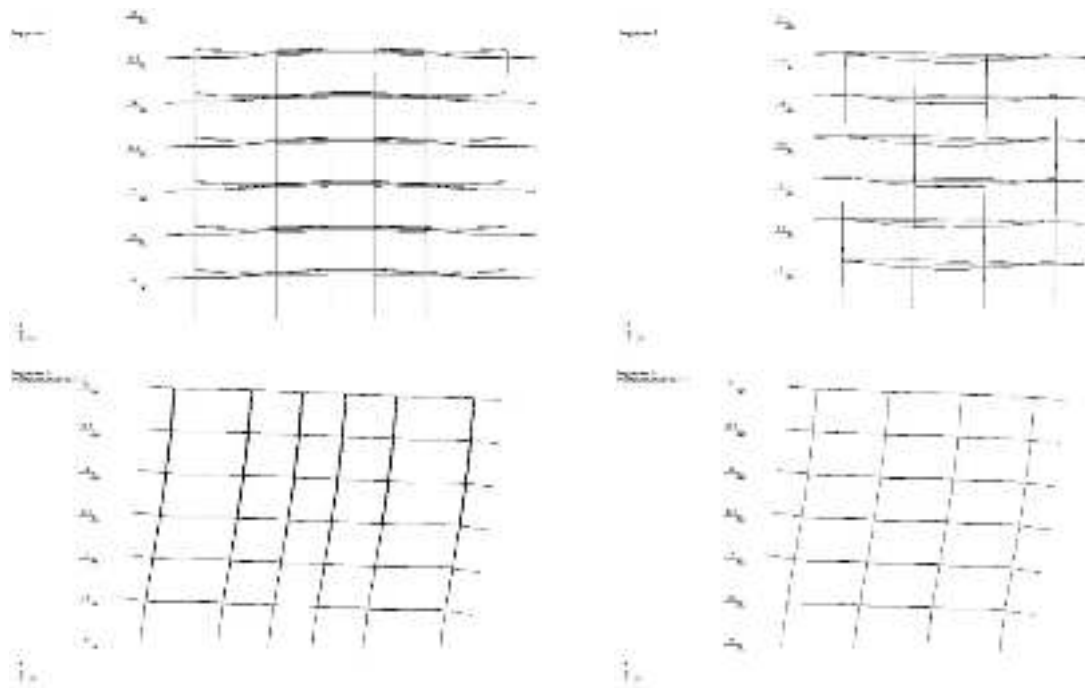
შენობის სემ-მოდელის არსებობა საშუალებას იძლევა მივიღოთ სივრცითი მოდელის კონტროლირებადი კვანძების ვერტიკალური და ჰორიზონტალური გადაადგილებების და საფუძვლის ზღვრულად დასაშვები სიდიდეების მოდელირების გზით, რომლის დროსაც კონსტრუქციის დამ დარჩება დასაშვები ნორმების საზღვრებში. ამასთან გადაადგილებების მირებული მნიშვნელობები შეიზლება გამოყენებული იქნეს ორიენტირად რეალური გადაადგილებების სიდიდეებისათვის, რომლებიც მიღებული იქნა მონიტორინგის მსვლელობისას, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია იმ ნაგებობებისათვის, რომლების მზიდი კონსტრუქციები დამალულია შიგა და გარე მოპირკეთების მიღმა და მიუწვდომელია ვიზუალური დათვალიერებისათვის. თუმცა ამგვარად მიღებულ მნიშვნელობებს აქვს საკონტროლო

ხასიათი და არ შეუძლიათ ობიექტის კონსტრუქციების მზიდუნარიანობის შენარჩუნების უზრუნველყოფის გარანტირება საფუძვლის დეფორმაციის სურათის ყველა პოტენციური ვარიანტების გათვალისწინების შეუძლებლობით, ამიტომ მზიდი კონსტრუქციების დღმ-ზე საფუძვლის არათანაბარი დეფორმაციის გავლენის ობიექტური შეფასებისათვის აუცილებელია მონიტორინგის მსვლელობისას დარეგისტრირებული გადაადგილებების და საანგარიშო დატვირთვების ქმედებებზე სემ-ანგარიშის ჩატარება.

მაგალითის სახით ქვემოთ მოყვანილია შენობის კონსტრუქციის დღმ-ზე სნ და წ-ებით დასაშვები ვერტიკალური ჯდენების ვარიანტებიდან ერთ-ერთის გავლენის მოდელირება. სნ და წ 2.02.01-83 “ძირითადი შენობები და ნაგებობები” – თანახმად [32] მაქსიმალურად დასაშვები არათანაბარი ჯდომებისას  $\Delta S/L=0.003$ , მეზობელ კოლონებზე ჯდომების მაქსიმალური აბსოლუტური სხვაობა მათ შორის  $L=24\div 27$  მმ. სემ-ანგარიშის ჩატარების შედეგების მიხედვით კორიზონტალური გადაადგილებების ზღვრული მნიშვნელობა შენობის ზედა კონტროლირებადი კვანძების ზედა დონეში შეადგენს  $\Delta Y=-88$  მმ (ნახ. IV.14).



ნახ. IV.14. შენობის გადაადგილება საანგარიშო დატვირთვებისაგან (H-1) და საყრდენების მოცემული ჯდენით (H-2) ზედა კონტროლირებადი კვანძების ღონეზე



ნახ. IV.15. შენობის განივი ჩარჩოს დეფორმაციის სქემა

ამასთან გადახურვის მზიდი კოჭები არ განიცდიან დამ მნიშვნელოვან ცვლილებებს, რაც აიხსნება მათი კოლონებთან სახსრული კავშირებით და გადახურვის დისკებთან ერთობლივი მუშაობით (ნახ. IV.15). დამ-ს დიდი ცვლილებები დაფიქსირდა I სართულის კოლონებში. არაცენტრალურად შეკუმშული კოლონების ანგარიში მიმდინარეობდა სნ და წ II-22-81 მოთხოვნების შესაბამისად [31] (49), (51) და (56) ფორმულების მიხედვით NormCad პროგრამის გამოყენებით. უფრო მეტად დატვირთული კოლონების სიმტკიცის და მსგრადობის ანგარიშის შედეგად %-ში ზღვრული მნიშვნელობებისგან.

აუცილებელია ყურადღება მივაქციოთ იმას, რომ სნ და წ-ებით დასაშვები ზღვრული არათანაბარი ჯდომის მნიშვნელობების დროსაც კი მოცემული შენობისათვის I სართულის (კბ. 2-1) უფრო მეტად დატვირთული კოლონების მზიდუნარიანობა ამოწურულია მდგრადობის კარგვის გათვალისწინებით.

#### IV.1.5.5. გადაადგილებების მოქმედებაზე სემ-მოდელის მიმდინარე დეფორმაციული ანგარიშის შედეგების ანალიზი

გეოდეზიური გაზომვების და სივრცითი მოდელის კონსტროლირებადი კვანძების, ვერტიკალური და ჰორიზონტალური გადაადგილებების მიღებული მაქსიმალური მნიშვნელობების ანალიზიდან გამომდინარე მაგალითის სახით სემ-მოდელის ანგარიში მიყენებული გადაადგილებების ქმედებაზე მოყვანილია სემ-მოდელის კონტროლირებადი



ბლოკების კონსტრუქციის სემ ცვლილების ანალიზი, რომლებიც შემოზღუდულია საკეტებით.

ტახომეტრული აზომვის მონაცემები შევსებულია შესაბამისად კონტროლირებადი ბლოკების შესაბამისი შიგა კვანძების ნიველირების შედეგებით, რომლებიც დაყენებულია შენობის მე-3 სართულის კონსტრუქციებზე.

ობიექტის სემ-მოდელის მიმდინარე დეფორმაციული დატვირთვა გეოდეზიური გაზომვების მონაცემებით კონტროლირებადი ბლოკების სისტემის დახმარებით ხორციელდება პ. 3-ის თანახმად.

1. სემ-მოდელის შესაბამის კვანძებში სივრცითი მოდელის გარე და შიგა კონტროლირებადი კვანძების გადაადგილებების შეყვანა;

2. სემ-მოდელის კარკასის ძირითად კვანძებში გადაადგილებების ინტერპოლაცია კვადრატული, წრფივი და ბრტყელი ინტერპოლაციის დახმარებით;

3. კონტროლირებადი ბლოკების სისტემების ანგარიში (ბლოკოვანი სემ-მოდელი) მიყენებული გადაადგილებების მოქმედებაზე.

ანგარიშისას განიხილებოდა დატვირთვის ორი სახეობა: *H-1* (საანგარიშო დატვირთვა); *H-2* (მიყენებული დატვირთვა). სურ. IV.15-ზე მოყვანილია მიყენებული გადაადგილებების მოქმედებისაგან სემ-მოდელის ბლოკების სქემის ფორმირება, აგრეთვე გადაადგილებების ინტერპოლირებული მნიშვნელობების ფეროვანი წარმოდგენა.

შედეგების მიხედვით მიყენებული გადაადგილებების მოქმედებისაგან (*H-2*) გამოწვეული დიდი ძალები, რომლებიც დაფიქსირებულია I სართულის ნაპირა კოლონებში. ცხრილი 4-9-ს მონაცემებით დადგენილია, რომ მოცემული დეფორმაციული დატვირთვებისას კოლონები არ განიცდიან დამ მნიშვნელოვან ცვლილებებს და აკმაყოფილებენ სახ. სტან. 27751-88 მოთხოვნებს [33]. გადახურვის მზიდ კოჭებში მღუნავი მომენტების პარალელურად ჩნდება დამატებითი გამჭიმავი და მკუმშავი ძალები, რაც იწვევს მათი სამუშაო სქემის ცვლილებას. კონტროლირებადი ბლოკების კონსტრუქციებში აღძრული ძალების ეპიურები წარმოდგენილია სახ. IV.12-ზე.

გადაადგილების დაფიქსირებული სიდიდეების შედარება სემ-მოდელირების მსვლელობისას მიღებულ მათ ზედაპირულ მნიშვნელობებთან მოწმობს, იმას, რომ მზიდი კონსტრუქციების ტექნიკურ მდგომარეობაზე დეფორმაციული პროცესების გავლენა უმნიშვნელოა, რაც აგრეთვე მოწმდება ვიზუალური დათვალიერების მონაცემებით და სემ-ანგარიშის შედეგების მიხედვით კონსტრუქციის დამ ცვლილებების შეფასებით.

## IV.2. სხვა ტიპის ობიექტებისათვის სივრცითი მოდელის გამოყენების შესაძლებლობა

სივრცითი მოდელები აგრეთვე შეიძლება იქნან გამოყენებული სხვადასხვა დანიშნულების ობიექტების ტექნიკურ მდგომარეობის მონიტორინგისას. მაგალითის სახით გამოკვლეული გვაქვს ხუთსართულიან საცხოვრებელ შენობაზე ლითონის კარკასული მიშენების მდგომარეობა.

### IV.2.1. შესავალი

გამოსაკვლევო ობიექტი წარმოადგენს ბმ ამხანაგობა „შირაქი“-ს კუთვნილ საცხოვრებელ სახლს, რომელიც მდებარეობს ქ. თბილისში, შირაქის ქ. №11-ში.

გამოკვლევის მიზანი: ქ. თბილისში, შირაქის ქ. №11-ში მდებარე კორპუსის პირველ და მეორე სადარბაზოს შიროს განხორციელებული მინაშენის მზიდი კონსტრუქციების და მათი შემაერთებელი კვანძების ტექნიკური მდგომარეობის გამოკვლევა და მისი შემდგომში ნორმალური ექსპლუატაციისათვის საჭირო ღონისძიებების შემუშავება.

მშენებლობის ნორმატიული დოკუმენტის CP-13-102-2003 (შენობების და ნაგებობების მზიდი სამშენებლო კონსტრუქციების გამოკვლევის წესები) თანახმად განისაზღვრა სამუშაოს მეთოდოლოგია და ამოცანები:

1. მინაშენის საპროექტო დოკუმენტაციის მოძიება, გაცნობა, ანალიზი;
2. მინაშენის ვიზუალურ-ტექნიკური გამოკვლევა;
3. მინაშენის გეომეტრიული პარამეტრების დადგენა;
4. ლითონის სივრცითი კარკასის მზიდი კონსტრუქციების შემაერთებელი ელემენტების (შედულების ნაკერების და ა.შ.) ტექნიკური გამოკვლევა;
5. მინაშენის და ძირითადი შენობის საძირკვლების პირობების და ფუძის მექანიკური მახასიათებლების დადგენა;
6. კვლევის შედეგებზე დაყრდნობით მინაშენის სივრცითი კარკასის გაანგარიშება სტატიკურ და დინამიკურ დატვირთვებზე;
7. კვლევის და გაანგარიშების შედეგების ანალიზი და დასკვნა, რეკომენდაციების შემუშავება;

**IV.2.2. ქ. თბილისში, შირაქის ქ. №11-ში მდებარე ხუთსართულიანი  
საცხოვრებელი სახლის მინაშენის მზიდი კონსტრუქციების ტექნიკური  
მდგომარეობის დადგენა**

**IV.2.2.1 შესავალი**

მინაშენის ვიზუალური გამოკვლევა ჩატარდა ნორმატიული დოკუმენტის CP-13-102-2003 მე-7 პარაგრაფის (წინასწარი ვიზუალური გამოკვლევა) მოთხოვნების შესაბამისად. ვიზუალური გამოკვლევის მიზანია: მინაშენის მზიდი კონსტრუქციების და მათი შემაერთებელი კვანძების წინასწარი ტექნიკური მდგომარეობის დადგენა და კონსტრუქციების დეტალურ-ინსტრუმენტალური გამოკვლევის ჩატარების აუცილებლობის განსაზღვრა.

წინასწარი ვიზუალური გამოკვლევის დროს მზიდი კონსტრუქციების დათვალიერებისას გამოყენებული იყო გამზომი ხელსაწყოები: ბინოკლი, სახაზავი, რულეტი, შტანგერფარგალი, ციფრული ფოტოაპარატი და სხვა.

ვიზუალური გამოკვლევის დროს განხორციელდა: მზიდი კონსტრუქციების ხილული დეფექტების გამოვლენა; საკონტროლო აზომვები და ჩანაწერები; დეფექტების დაფიქსირება ფოტოსურათებზე; მთლიანად მინაშენის და მისი ცალკეული ელემენტების დეფორმაციების დაფიქსირება; მზიდი კონსტრუქციების ავარიული უბნების დადგენა; მინაშენის მზიდი კონსტრუქციების ტექნიკური მდგომარეობის დადგენა; კონსტრუქციების დეტალურ-ინსტრუმენტალური გამოკვლევის ჩატარების აუცილებლობა.

**IV.2.2.2. მინაშენის მზიდი კონსტრუქციების ვიზუალური შესწავლა**

დამკვეთმა სახლისა და მინაშენის შესახებ საპროექტო დოკუმენტაცია ვერ წარმოადგინა. ჩვენს მიერ გატარებული სხვადასხვა ღონისძიებების მიუხედავად სახლისა და მინაშენის შესახებ ტექნიკური დოკუმენტაციის მოძიება ვერ მოხერხდა. საჭირო გახდა ადგილზე გასვლა და ვიზუალური, აზომვითი და სხვა სახის სამუშაოების ჩატარება.



სურ. IV.16



სურ. IV.17

ქ. თბილისში, შირაქის ქ. №11-ში მდებარე ნაგებობა გეგმაში მართკუთხა ფორმისაა. იგი ხუთსართულიანია, აგებულია გასული საუკუნის 70-იან წლებში (სურ. IV.16). გააჩნია სარდაფი, შენობა ორსადარბაზოიანია, სართულის სიმაღლე 2.65 მ-ია. მის მზიდ კონსტრუქციებს წარმოადგენს გრძივი და განივი კედლების სისტემა განხორციელებული აგურით, სისქით 38 სმ, სართულთშორისი გადახურვები კონსტრუირებულია ანაკრები ღრუბანიანი ფილებით, სისქით 0,22 მ. შენობის ზეპირკველი ბეტონისაა. სართულებს შორის კავშირი ხორციელდება ანაკრები რკინაბეტონის კიბეებით, ბაქნები რკინაბეტონისაა. სახურავი ორქანობიანია, რომელიც დაფარულია თუნუქის ბურულით (სურ. IV.17).

აღნიშნულ შენობაზე 1989 წელს უკანა ფასადზე, პირველ და მეორე სადარბაზოებს შორის განხორციელდა მიშენება, რომელსაც გეგმაში მართკუთხედის ფორმა აქვს მაქსიმალური ზომებით 3½/12 მ. (სურ. 18). მინაშენის მზიდ კონსტრუქციებს წარმოადგენს ლითონის ერთმალიანი ხუთსართულიანი კარკასი (H=2,65მ.) გრძივი მიმართულებით სვეტების ბიჯით 3 მ.



სურ. IV.18



სურ. IV.19



სურ. IV.20

მინაშენის საძირკველი წერტილოვანია (სურ. IV.19), რომლებიც გაერთიანებულია ლენტური რკინაბეტონის მონოლითური რანდკოჭებით, რომლებზეც დამონტაჟებულია 8 მმ-ის სისქის ლითონის ფურცლები ზომებით  $30\frac{1}{2}\times 30$  სმ, რომელიც ჩამაგრებულია რკინაბეტონის საძირკველში. ლითონის ფურცელზე, სიხისტის სამკუთხა ფურცლების შედუღებით დამონტაჟებულია ლითონის სივრცითი კარკასის ორტოტა სვეტები. აღნიშნული სვეტების ბაზის ჰორიზონტალურ ფურცლიდან მინაშენის სართულშორისი გადახურვის კონსტრუქციის ზედაპირამდე მანძილი 0.2 მ-ია.

მინაშენის სივრცითი კარკასის სვეტები წარმოადგენს შედგენილ ლითონის კონსტრუქციას, რომელიც განხორციელებულია ორი ცალი [№16 ლითონის შეველერისაგან რომლებიც ერთმანეთის მიმართ თაროებით არიან ორიენტირებული (სურ. IV.20).



სურ. IV.21

აღნიშნული შეველერები ორივე მხრიდან შეკრულია ერთმანეთის მიმართ 0.531, 1.54, 1.6, 0.6 მ-ით (სიმაღლეში) დაშორებული ლითონის ფურცლების საშუალებით. პირველ სართულზე ფურცლების ზომები  $-0.5\frac{1}{2}\times 0.6\frac{1}{2}\times 0.08$  მმ-ის ტოლია, ხოლო მეორე და დანარჩენ სართულებზე –  $0.5\times 1.0\times 0.8\times 0.3$  მ (სურ. IV.21).

მინაშენის გრძივი მიმართულებით, გადახურვის კონსტრუქციის ქვედა ზედაპირის ნიშნულზე, მოწყობილია გრძივი რიგელები, რომელიც კონსტრუირებულია, [№16 შველერისაგან (სურ. IV.22). გრძივი რიგელები ჰორიზონტალური და ვერტიკალური შედუღების ნაკერით უკავშირდება სვეტების შემაკავშირებელ ფურცლებს და ერთ-ერთ ტოტის ზედაპირს. სვეტების გადაბმის პირაპირები განხორციელებულია ორმხრივად ფურცლებით. განივ რიგელებს გააჩნია 0.85 მ კონსოლი. განივი რიგელები შესრულებულია [№16 შველერებისგან. სართულშორისი გადახურვები განხორციელებულია მონოლითური  $\delta = 0.16$  მ-ის სისქის რკინაბეტონის ფილის სახით (სურ. IV.23).



სურ. IV.22



სურ. IV.23



სურ. IV.24

რკინაბეტონის ფილა მოწყობილია, ერთმანეთის მიმართ დაახლოებით 3 მ ბიჯით, (მინაშენის გრძივად) სივრცითი ჩარჩოს გრძივ რიგელებზე ელექტრო შედუღებით მიმაგრებული [16 შველერებისგან განხორციელებულ კოჭებზე. შუა კოჭზე გაკეთებულია ხვრელები, ბიჯით 0.30-0.35 მ, რომელშიც გაყრილია  $\bar{O}16$  არმატურა (სურ. 24). ეს არმატურა განთავსებულია ლითონის კოჭების ქვედა თაროსთან და ის რკინაბეტონის ფილის მუშა არმატურას წარმოადგენს.



სურ. IV.25

უნდა აღინიშნოს, რომ მინაშენში არსებული სათავსოების გარემოსაგან და ერთმანეთთან შემომზღუდავ კონსტრუქციებს წარმოადგენს ცემენტ-ქვიშის ხსნარზე აგურით განხორციელებული კედლები, რაც შესრულებულია მხოლოდ მეორე სართულზე. სხვა სართულებზე, კედლები ამოშენებული არ არის (სურ. IV.25).

აქვე უნდა შევნიშნოთ, რომ მინაშენს გრძივად კონსოლებზე აქვს განხორციელებული ღია აივნები.

### **IV.2.2.3. მინაშენის, სივრცითი კარკასის მზიდი კონსტრუქციების და მათი შემაერთებელი კვანძების, გამოკვლევის შედეგად გამოვლენილი დეფექტები, კოროზიის ხარისხის დადგენა**

ჩატარდა მინაშენის სივრცითი კონსტრუქციების და მათი ელემენტების ტექნიკური მდგომარეობის გამოკვლევა. ნორმატიული დოკუმენტის СП-13-102-2003-ის შესაბამისად.

განსაზღვრული იყო ლითონის ნაგლინი ელემენტების კოროზიის ხარისხი. კოროზიის პროცესის შესასწავლად გამოყენებული იყო: ულტრაბგერითი სისქის მზომი, ლითონის სახაზავი, შტანგენფარგალი, მიკრომეტრი, გამადიდებელი ლუპა, ბინოკლი.

მინაშენის მზიდი კონსტრუქციების გამოკვლევის საფუძველზე დადგინდა, რომ ლითონის სვეტების მიმაგრება, რკინაბეტონის ლენტურ საძიკველთან განხორციელებულია ხისტად „ბაზის“ საშუალებით. „ბაზის“ კონსტრუქცია წარმოადგენს სვეტის დეროების (ტანის) გაფართოებულ ნაწილს, რომელზედაც სვეტებიდან მოსული ძაღვები, სამკუთხა ლითონის სიხისტის ფირფიტების საშუალებით თანაბრად ნაწილდება ყველა მიმართულებით (სურ. IV.26).



სურ. IV.26



სურ. IV.27

როგორც ცნობილია, პროექტირების დროს სვეტის ტიპის შერჩევა ხორციელდება: ეკონომიური თვალსაზრისით, მოსული დატვირთვების მიხედვით, სვეტებთან კონსტრუქციების შეუღლების კვანძების სიმარტივის მიხედვით, და სხვა. ცნობილია, რომ მაქსიმალური დატვირთვა გამჭოლი კვეთის მქონე, შევლერებისაგან შედგენილ, სვეტებზე არ უნდა აღემატებოდეს 270-350 ტონას. (იხ. Чл. Корр. АН СССР Стрелецкий Н.С. и др. „Строительные Конструкции“, М.1972 с.290-291).

მინაშენის ლითონის სვეტები განხორციელებულია ორი ტოლი, ლითონის [№16 შევლერებისაგან, რომლებიც შეკრულია პორიზონტალური ფურცლებით და თაროების შედუღებით (სურ. IV.27).

ფურცლები ერთმანეთის მიმართ სიმაღლეში პირველ სართულზე დაშორებულია იატაკიდან 0.53, 1.54; 1.6, 0.6 მ. სართულებზე ფურცლების რაოდენობა შემოსისაზღვრება ორი ან სამი ცალით, რომელიც გადახურვის, იატაკის დონეზე და სართულის სიმაღლის ნახევარზეა მოწყობილი. სვეტების ვიზუალური დათვალიერებით აღმოჩნდა, რომ მიწის ზედაპირიდან პირველი სართულის დონემდე, მდებარე სვეტს გააჩნია გადახრა, რომლის სიდიდე 10 სმ-ია, მეორე სართულზე – 15 სმ, მესამე სართულზე – 17 სმ, მეოთხე სართულზე – 24 სმ. სვეტების ტოტების შემაკავშირებელ ფურცლებზე ზოგ ადგილას არ არსებობს ვერტიკალური ნაკერი. პირველი და მეორე სართულის სვეტის შეერთება განხორციელებულია შემდეგნაირად: პირველი სართულის იატაკის ქვედა დონეზე სვეტზე დადუღებულია ფირფიტა 20×20 სმ სისქით 0.08 სმ, რომელზედაც შემდეგ დამონტაჟებულია განივი რიგელი, შევლერები №16, რომლის თაროს ზომა არის 6.5 სმ. იმავე თაროზე დადუღებულია 20 სმ-ის სიგრძის ორტესებრი №16. აღნიშნულ კონსტრუქციაზე შემდეგ დადუღებულია ფირფიტა 20×20×0.8 სმ, რომელიც წარმოადგენს მეორე სართულის სვეტის ბაზისს. აღნიშნული კვანძი ძალიან სუსტია, ის შეიძლება ჩაითვალოს სახსრულ შეერთებად, რაც ყოველად დაუშვებელია. სვეტების შემაკავშირებელ ლითონის ფურცლებზე დამონტაჟებულია გრძივი რიგელები,



რომლებიც განხორციელებულია №16 შევლერი. სართულშორისი გადახურვები განხორციელებულია მონოლითური  $\delta=1.6$  სმ. სიმაღლის რკინაბეტონის ფილით, რომელიც მოწყობილია ერთმანეთის მიმართ (შენობის განივი მიმართულებით), 3.0 მ-ით განთავსებულ №16-სგან განხორციელებულ კოჭებზე. შუა სვეტების შემაერთებელი განივი რიგელი კი განხორციელებულია №16 შევლერებზე. მინაშენი არსებულ შენობასთან დაკავშირებული არ არის (სურ. IV.28).



სურ. IV.28

მინაშენის მზიდი კონსტრუქციები და მათი შემაერთებელი კვანძები განხორციელებულია კუთხური შედუღებებით, ასევე სივრცეში მათი განლაგების და შესრულების მხრივ, გამოყენებულია ქვედა, პორიზონტალური, ვერტიკალური და ჭერის შედუღებები. შედუღების ნორმატიული წინაღობა  $0,7 R^{\sigma}$ -ის ტოლია, სადაც  $R^{\sigma}$  შესადუღებელი ლითონის ელემენტების ნორმატიული წინაღობაა. საანგარიშო წინაღობის მისაღებად ეს მნიშვნელობა მრავლდება შედუღების ერთგვაროვნების კოეფიციენტზე. ერთგვაროვნების კოეფიციენტი დამოკიდებულია რიგ ფაქტორებზე, რომლებიც ზეგავლენას ახდენენ შესადუღებელი ელემენტის სიმტკიცეზე. ეს ფაქტორებია: შედუღების ხარისხი, შესაბამისობა ელექტროდის და შესადუღებელი ლითონების მარკა და სხვა.

მინაშენის ლითონის მზიდ კონსტრუქციებში და მათ შემაერთებელ კვანძებში ლითონის შედუღების გამოკვლევამ გვაჩვენა, რომ შედუღების შესრულების ხარისხი დაბალია. არ არის დაცული შედუღების სიმაღლის სტანდარტი, რომელიც დამოკიდებულია შესადუღებელი ლითონის სისქეზე. განსაკუთრებით ეს აისახება პორიზონტალურ, ვერტიკალურ და ე.წ. „ჭერის“ შედუღებებზე.

### **ლითონის ნაგლინი ელემენტების კოროზიის ხარისხის შესწავლა**

ლითონის ნაგლინი ელემენტების კოროზიის შესწავლა ხდებოდა ნორმატიული დოკუმენტის СП-13-102-2003-ის პ. 8.4.3-ის და პ.8.4.4-ის მოთხოვნების შესაბამისად.

დადგენილია: ლითონის კონსტრუქციები არ არის დაფარული ანტიკოროზიული საღებავით და 15 წელზე მეტია განიცდიან კოროზიას; ძირითად ლითონის ელემენტებში კოროზია არ აღემატება განივკვეთის ფართის 8-10%-ს. მინაშენის სახურავის ქვეშ არსებულ ლითონის კონსტრუქციებში და მათი შეერთების კვანძებში კოროზია უფრო ინტენსიურია და აღწევს ელემენტების განივკვეთის 12-15%-ს. ყველა შემთხვევაში მინაშენის მზიდი კარკასის კოროზიული ცვეთა განივკვეთის ფართის 25%-ზე ნაკლებია. ნორმატიული დოკუმენტის CP-13-102-2003-ის პ.8.4.4-ის თანახმად ლითონის ელემენტების საანგარიშო წინაღობებში ცვლილებების შეტანა საჭირო არ არის. შესწორების კოეფიციენტი 1-ის ტოლია. აუცილებელია სივრცითი ლითონის კარკასის კოროზიული ზედაპირების გაწმენდა ჟანგისაგან, ზედაპირების ანტიკოროზიული ხსნარით დამუშავება და შეღებვა.

როგორც ზემოთ ავღნიშნეთ მინაშენის მზიდი ლითონის კონსტრუქციები და მათი შემაერთებელი კვანძები არ არის დაფარული ანტიკოროზიული საღებავით. წლების განმავლობაში ლითონის კონსტრუქციები იმყოფებოდა ატმოსფერული ნალექების აქტიური ზემოქმედების ქვეშ, ამის გამო ლითონის ელემენტები და შედუღების ნაკერები კოროზირებულია (ნახ. IV.27- IV.31, IV.33, IV.34). ცნობილია, რომ ასეთ პირობებში კოროზიის სიჩქარე წელიწადში 0,05-0,1 მმ-ია, რაც თხუთმეტი წლის განმავლობაში შეადგენს 0,75-1,5 მმ. აღსანიშნავია, რომ ლითონის მზიდი კონსტრუქციების და შეერთების კვანძებში კოროზიის პროცესი ასეთი ინტენსივობის არ არის. ძირითად ლითონის ელემენტებში კოროზია არ აღემატება განივკვეთის 8-10%.

შედარებით მასიურად არის დაფარული ჟანგით სასხვენო გადახურვასთან შეთავსებული, სახურავის ქვეშ არსებული ლითონის მზიდი კონსტრუქციები და მათი შეერთების კვანძები. გაზომვებმა გვაჩვენა, რომ ამ ელემენტების კოროზია აღწევს განივკვეთის 12-15%-ს.

უნდა შევნიშნოთ, რომ მინაშენი განიცდის არათანაბარ ჯდომით დეფორმაციებს. ჯდომის მაქსიმალური სიდიდე აღწევს 117 სმ. იატაკი დახრილია, დახრილობა აღწევს  $8 \div 10$  სმ-ს.

### **IV.2.3. მინაშენის და ძირითადი შენობის საძირკვლის და ფუძის რეალური ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების დადგენა**

საძირკვლების კონსტრუქციისა და ფუძე-გრუნტების შესწავლის მიზნით გაითხარა შურფი და გაშიშვლდა საძიკველი (სურ. 29, 30). შურფის სიღრმეა მიწის ზედაპირიდან 1.90 მ. შემდეგ სიღრმეში გრუნტული პირობების შესწავლის მიზნით გაყვანილი იქნა ჭაბურღილი 5.50 მ სიღრმემდე, რაც განპირობებულია აქტიური ზონის

გავრცელების სიღრმით. აღებული იქნა გრუნტის ნიმუშები მათი ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების დადგენის მიზნით.

ჭაბურღილში გრუნტის წყალი დაფიქსირებული იქნა 5.0 მეტრზე მიწის ზედაპირიდან.

ფუძის გრუნტული პირობები შემდეგი: მიწის ზედაპირიდან 1.3 მ სიღრმემდე გრუნტი წარმოადგენს ნაყარს – თიხნარს მასში ჩართული საყოფაცხოვრებო ნარჩენებით და სამშენებლო ნაგვით.



სურ. IV.29



სურ. IV.30

მის ქვემოთ გავრცელებულია თიხნარი სისქით 0.6 მეტრი, რომლის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები შემდეგია  $\rho=1.98$  ტ/მ<sup>3</sup>;  $\rho_s=2.71$  ტ/მ<sup>3</sup>;  $W=37\%$ ;  $I_L=0.56<0.75$  – თიხნარი რბილკლასტიკურ მდგომარეობაშია;  $R_0=1.65$  კგ/სმ<sup>2</sup>;  $C=0.26$  კგ/სმ<sup>2</sup>;  $\varphi=12^\circ$ ;  $E=80$  კგ/სმ<sup>2</sup>.

შემდეგი ფენა გამოკვლეულ სიღრმემდე 5.5 მ წარმოადგენილია ასევე თიხნარით, რომლის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები შემდეგია:  $\rho=1.89$  ტ/მ<sup>3</sup>;  $W=42\%$ ;  $I_L=0.82$  – გრუნტი დენადკლასტიკურია;  $S_r=0.92$  – წყლით გაუღენთილია  $R_0=0.62$  კგ/სმ<sup>2</sup>;  $C=0.16$  კგ/სმ<sup>2</sup>;  $\varphi=9^\circ$ ;  $E=60$  კგ/სმ<sup>2</sup>.

აღნიშნული მონაცემების საფუძველზე მოდელირებული იქნა საძირკვლის ფუძე-გრუნტი მიშენების კონსტრუქციის კომპიუტერული გაანგარიშებისათვის.

#### **IV.2.4. მინაშენის მზიდი კონსტრუქციული სისტემის კომპიუტერული გაანგარიშება სტატიკურ და დინამიკურ დატვირთვებზე. მინაშენის კონსტრუქციული და საანგარიშო სქემის აღწერა**

ქ. თბილისში, შირაქის ქ. №11-ში მდებარე ხუთსართულიანი მინაშენი გეგმაში მართკუთხა ფორმისაა, გაბარიტული ზომებით (დერძებში). I სართულის სიმაღლე – 3.5 მ, დანარჩენის კი 2.65 მ-ია. შენობის საძირკველი წერტილოვანი რკინაბეტონის.

მიწისზედა ნაწილის მზიდ კონსტრუქციას წარმოადგენს ლითონის სივრცითი კარკასი, რომელიც შედგენილია ნაგლინი პროფილის სვეტების და კოჭებისაგან, რომლებიც ერთმანეთთან კვანძებში შედუღებით არის შეერთებული. მთელი შენობის სიმაღლეზე სვეტების კვეთები. შეველერები ერთმანეთის მიმართ კედლებით არიან ორიენტირებული. სვეტების ელემენტები ერთმანეთთან შედუღებულია. გრძივი და განივი რიგელები კონსტრუირებულია ნაგლინი ელემენტებით.

რადგან მინაშენი სართულთშორისი გადახურვის დონეზე არ არის დაკავშირებული არსებულ შენობის მზიდ კონსტრუქციებთან, ამიტომ მინაშენის სივრცითი ლითონის ჩარჩოს გაანგარიშება მოხდა როგორც ცალკე მდგომი შენობისა.

მინაშენის სივრცითი ლითონის ჩარჩოს გაანგარიშება განხორციელდა გამოთვლითი კომპლექს „ლირა 9.6“-ის საშუალებით. შენობის კარკასის მზიდი ელემენტების (სვეტების და რიგელების) მოდელირება განხორციელდა დეროვანი სასრულო ელემენტებით. სართულთშორისი რკინაბეტონის ფილების და კედლების – მართკუთხა, ოთხ კვანძიანი ფილის ელემენტებით. მზიდი ელემენტების მასალის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები და გეომეტრიული ზომები აღებულია მზიდი კონსტრუქციების მასალების ლაბორატორიული კვლევების და ჩატარებული აზომვების შედეგად მიღებული მონაცემების ანალიზის საფუძველზე.

გაანგარიშებაში განხილულია შემდეგი სახის დატვირთვები:

სტატიკური მუდმივი, სტატიკური დროებითი ხანგრძლივი და ხანმოკლე. რადგან მინაშენი შემოფარგლულია არსებული შენობით, ქარის დატვირთვა ანაგრიშში არ იქნა მიღებული. სეისმური ზემოქმედება განხილულია გრძივი და განივი მიმართულებით გათვალისწინებულია საკუთარი რხევის 6 ფორმა.

ანგარიშის შედეგად მიღებული იქნა, ძალების მნიშვნელობა სტატიკურ და სეისმური დატვირთვის ხუთი თანწყობისათვის (სტატიკური დატვირთვები, სტატიკა+სეისმიკა  $X$  დერძის მიმართულებით, სტატიკა+სეისმიკა  $Y$  დერძის მიმართულებით, სტატიკა-სეისმიკა  $X$  დერძის მიმართულებით, სტატიკა – სეისმიკა  $Y$  დერძის მიმართულებით).  $X$  დერძის მიმართულება ორიენტირებულია მინაშენის გრძივად, ხოლო  $Y$  დერძის მიმართულება – განივად.

კომპიუტერული ანგარიშის გრაფიკული ნაწილი მოცემულია დანართში.

### **მიშენების არსებული ლითონის სივრცითი ჩარჩოს, როგორც ცალკე მდგომი კონსტრუქციის გაანგარიშების შედეგები**

მინაშენის ლითონის ჩარჩო განხილული იქნა დღეს არსებული მდგომარეობის მიხედვით. ჩარჩოს ელემენტების გეომეტრიული ზომები და მასალების ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები მიღებული იქნა ჩატარებული აზომვების და მასალების

კვლევის საფუძველზე კომპიუტერულ ანგარიშში გათვალისწინებულ იქნა ფუძე-გრუნტის გავლენა კონსტრუქციის დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობაზე. გაანგარიშებით მიღებული იქნა შემდეგი პარამეტრები:

1. მინაშენის მაქსიმალური ვერტიკალური გადაადგილებები ძირითადი თანაწყოების დატვირთვებისაგან – 17 სმ.

2. მინაშენის საკუთარი რხევების ფორმების შესაბამისად

I ფორმა –  $T_1=2.41$ ; II ფორმა –  $T_2=1.82$ ; III ფორმა –  $T_3=1.46$ ;

IV ფორმა –  $T_4=1.34$ ; V ფორმა –  $T_5=1.09$ ; VI ფორმა –  $T_6=1.02$ ;

3. მინაშენის მაქსიმალური გადაადგილება გრძივი მიმართულებით განსაკუთრებული თანაწყოების დატვირთვების გრძივი მიმართულებით მოქმედებისას

$$\Delta y = 22.5 \text{ სმ}$$

4. მაქსიმალური გადაადგილება განივი მიმართულებით განსაკუთრებული თანაწყოების დატვირთვების განივი მიმართულებით მოქმედებისას

$$\Delta x = 41.7 \text{ სმ}$$

გაანგარიშებით მიღებული მინაშენის კონსტრუქციის მაქსიმალური გადაადგილებები მიუთითებს იმაზე, რომ კონსტრუქცია ძალიან მოქნილია. სეისმური ზემოქმედების დროს ასეთი გადაადგილებებისას მოსალოდნელია ნაგებობის მდგრადობის დაკარგვა.

შედეგად, არსებული სახით მინაშენის ექსპლუატაცია დაუშვებელია და საჭიროებს დემონტაჟს ან სათანადო გაძლიერებას.

ჩვენი აზრით მინაშენის გაძლიერება არა რენტაბელურია, რადგან მისი გაძლიერება ძალიან ძვირი დაჯდება, ვიდრე დემონტაჟი და იგივე კონსტრუქციების გამოყენებით ახალი მიშენების აგება შესაბამისი პროექტის მიხედვით.

#### **IV.2.5. კვლევისა და გაანგარიშების შედეგების ანალიზი, დასკვნა-რეკომენდაციები**

საცხოვრებელი სახლის მინაშენების ტექნიკური მდგომარეობის გამოკვლევის შედეგების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ მის ლითონის მზიდ კონსტრუქციებში განვითარებული დეფექტები, გამოწვეულია არასრულყოფილი პროექტირებით, სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოების არაკვალიფიციურად განხორციელების და ნაგებობის არასწორი ექსპლუატაციის შედეგად.

გამოკვლევის შედეგად დადგინდა შემდეგი დეფექტები და დაზიანებები:

1. დღეისათვის სხვადასხვა სართულებზე არ არის დამთავრებული კედლების მოწობა.

2. მინაშენის ლითონის მზიდ კონსტრუქციებში და მათ შემადგენელ კვანძებში ლითონის შედუღების გამოკვლევამ გვიჩვენა, რომ შედუღების შესრულების ხარისხი დაბალია. არ არის დაცული შედუღების სიმაღლის სტანდარტი, რომელიც დამოკიდებულია შესადუღებელი ლითონის სისქეზე. განსაკუთრებით ეს აისახება ჰორიზონტალურ, ვერტიკალურ და ე.წ. „ჭერის“ შედუღებებზე.

3. მინაშენის როგორც ცალკე მდგომი სივრცითი სისტემის, ანგარიშმა (სტატიკურ და დინამიკურ დატვირთვებზე) გვიჩვენა, რომ სასხვენო გადახურვის დონეზე მაქსიმალური გადაადგილება  $\delta=41.7$  სმ-ის ტოლია, ხოლო თავისუფალი საკუთარი რხევის პირველი პერიოდი  $T_1=2.41$  წმ-ის ტოლია. ეს სიდიდეები მეტია (ამ ტიპის შენობებისათვის) დასაშვებზე. ანგარიშის საფუძველზე დადგინდა, რომ ასეთი გადაადგილებების დროს სივრცითი ჩარჩოს სვეტები კარგავს მდგრადობას.

4. მინაშენის სივრცითი ლითონის ჩარჩოს სტატიკური და დინამიკური დატვირთვების შედეგად მიღებული მონაცემების (ძაღვების) საფუძველზე გაანგარიშებული იქნა შედუღების სიგრძეები, აღმოჩნდა, რომ შედუღების ნაკერების სიგრძეების თეორიული მნიშვნელობები ტოლია ან ნაკლებია კვანძებში არსებულ შედუღების სიგრძეებზე. გამოკვლევით დადგინდა, რომ „ჭერის“ და ვერტიკალური შედუღებები არ არის განხორციელებული სათანადო დონეზე, იგი უხარისხოა. მინაშენი წლების განმავლობაში იმყოფებოდა ატმოსფერული ნალექების აქტიური ზემოქმედების ქვეშ, ამიტომ შედუღებები და ლითონის ელემენტების ზედაპირები დაფარულია ჟანგის ფენით. ზოგ შემთხვევაში ნაკერის სიმაღლე არ შეესაბამება ნორმარტიულ მნიშვნელობებს.

5. მინაშენის ვერტიკალიდან გადახრის სიდიდე ორივე მიმართულებით აღწევს 20 სმ-ს, რაც გაცილებით დიდია დასაშვებზე  $\frac{H}{500} = \frac{13.25}{500} = 2.65$  სმ.

6. მიშენება ამჟამად განიცდის ჯდომას. ჯდომის სიდიდე აღწევს 20 სმ-ს და ჯდომის პროცესი ატარებს პროგრესირებად ხასიათს. საძირკვლისა და ფუძე-გრუნტის გამოკვლევამ გვიჩვენა, რომ სვეტების ქვეშ საძირკვლებს აქვს უჩვეულო ფორმა და იგი ჩაღრმავებულია იმ ფენაში, რომელსაც აქვს ყველაზე დაბალი მექანიკური მახასიათებლები.

7. იატაკი დახრილია, რომლის სიდიდე აღწევს  $8 \div 10$  სმ-ს.

8. მინაშენის სართულშუა გადახურვის ფილები განიცდიან ვიბრაციას, რაც თანდათანობით მატულობს სართულის სიმაღლის ცვლილებასთან ერთად.

9. მინაშენის არსებულ მდგომარეობაში დატოვება ყოველად დაუშვებელია.

10. მინაშენის აღდგენა-გაძლიერებისათვის და შენარჩუნებისათვის გამოიკვეთა ორი ვარიანტი.

- ა) მინაშენს უნდა მოეხსნას I სართულის ზემოთ ოთხი სართული, გაძლიერდეს საძირკვლები, I სართულის სვეტები, გახისტდეს ჩარჩოები გრძივი და განივი მიმართულებით, შემდეგ მოხდეს ზედა სართულების ხელახლა დაშენება;
- ბ) განხორციელდეს მინაშენის დემონტაჟი. არსებული ლითონის კონსტრუქციების გამოყენებით შესაძლებელია ახალი მიშენების აგება შესაბამისი პროექტის მიხედვით.

### **დასკვნა**

ჩატარებული გამოკვლების შედეგების ანალიზის საფუძველზე დადგინდა, რომ მინაშენის ტექნიკური მდგომარეობა არ შეესაბამება: სეისმომდებლობის და მდგრადობის ნორმატიული დოკუმენტების – СНиП II-23-81\* (ლითონის კონსტრუქციები); СНиП II-7-81\* (მშენებლობა სეისმურ რაიონებში) და საქართველოს სახმშენის მიერ №82-5\* 1991 წელს დამტკიცებული „შენობების რეკონსტრუქციის (მიშენება-დაშენება) პროექტირების დროებითი რეკომენდაციების“ მოთხოვნებს. იგი მწვავე ავრიულ მდგომარეობაშია, მინაშენის ექსპლუატაცია დაუშვებელია, საჭიროებს დაუყოვნებლივ დემონტაჟს, მთალიანად ან პირველი სართულის გადახურვის დონეზე. შესაძლებელია არსებული ლითონის კონსტრუქციების გამოყენება, საძირკვლების ახლიდან მოწყობა და შესაბამისი პროექტის მიხედვით ახალი მიშენების აგება (ძირითადი შენობის როგორც საძირკვლები, ასევე მზიდი კონსტრუქციები დამაკმაყოფილებელ მდგომარეობაშია).

### **IV.3. ქ. ტყიბულში ამბროლაურის გზის მიმდებარე სანიტალურ ზონაში საფილტრი სადგურის შენობა (გადახურვის, „ПКЖ“-ის ტიპის ფილის ავარიულ ჩამოშლასთან დაკავშირებით სახურავის ავარიული მდგომარეობის შესწავლა-გაანალიზება)**

#### **IV.3.1. შენობის ტექნიკური მდგომარეობის გამოკვლევა**

გამოსაკვლევი შენობა მდებარეობს ქ. ტყიბულში, ამბროლაურის გზის მიმდებარედ. იგი აშენებულია გასული საუკუნის 60-იან წლებში. ნაგებობა განთავსებულია სწორ რელიეფზე. შენობა გეგმაში სწორკუთხედის ფორმისაა, გაბარიტული ზომებით 36.0×54.0 მ.

ობიექტის ვიზუალური დათვალიერების შედეგად დადგინდა, რომ:

- შენობა „8-10“ ღერძებში „ა-ბ-გ“ მალში ორსართულიანია, ზომებით 12.0×24.0, სართულის სიმაღლე შეადგენს 3 მ-ს.

- შენობა „გ-დ“ მალში „2-10“ ღერძებში ერთსართულიანია, სიმაღლით 6 მ.
- „ბ-გ“ მალში „1-10“ ღერძებში ორსართულიანია.
- „ა-ბ“ მალში „1-10“ ღერძებში ტექნოლოგიური პროცესებიდან გამომდინარე „ა-ბ“ მალის ნახევარში, „1-10“ ღერძებში ერთსართულიანია, ხოლო მეორე ნახევარში ორსართულიანია.

გამოსაკვლევი შენობის ძირითად მზიდ კონსტრუქციას წარმოადგენს ანაკრები სივრცითი კარკასი, სვეტებით 40×40 სმ. რიგელების როლს ასრულებს მეორე სართულის ანაკრები ორქანობიანი კოჭები. სახურავი შესრულებულია წიბოვანი ფილებით, ე.წ. ПКЖ (სურ. IV.31, IV.32), რომელთა საშუალებით მიიღწევა შენობის საერთო გრძივი სიხისტე.



სურ. IV.31.



სურ. IV.32.

ორსართულიანი ნაგებობის სართულშუა გადახურვა შესრულებულია ანაკრები ღრუტანიანი ფილებით.

სივრცითი კარკასის შევსება განხორციელებულია აგურის წყობით, სისქით 38 სმ (სურ. IV.33, IV.34).



სურ. IV.33.



სურ. IV.34.

კარისა და ფანჯრის ზღუდარები განხორციელებულია რკინაბეტონის კოჭებით, რაც შეეხება საძირკვლებს, ისინი კვლევის მიზანს არ წარმოადგენდა.



ინსტრუმენტული კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ ბეტონის მარკა შეადგენს  $300 \div 350$  კგ/სმ<sup>2</sup>-ს.

შენობის ვიზუალური დათვალიერებითა და ინსტრუმენტული გამოკვლევით დადგინდა, შემდეგი:

## I. რკინაბეტონის ორქანობიანი კოჭები

### ა-ბ მალი

„1-1“ ღერძი – კოჭის ქვედა სარტყელს აქვს განშრევალობა, ჩანს კოროზიული არმატურები, კედლის ბეტონის დამცავი შრე მცირეა, ჩანს საკიდები. კონსტრუქციის საყრდენებთან შეინიშნება ატმოსფერული ნალექების გავლენა. საყრდენთან სვეტის და კოჭის შეერთების ჩასატანებელი დეტალი კოროზირებულია.

„2-2“ ღერძი – კოჭს ქვედა და ზედა სარტყელში აქვს განშრევალობა. დაზიანებულია ასევე საყრდენი კვანძების ჩასატანებელი ფურცელი. კოჭი განიცდის ატმოსფერული ნალექების ზემოქმედებას. რადგან გარემო, ტექნოლოგიური პროცესიდან გამომდინარე, დაზინძურებულია (დატენიანებულია), ამიტომ ბეტონი განიცდის გამოტუტვას.

„3-3“ ღერძი – კოჭი მთლიანად დაზიანებულია, აქვს გამოტუტვის ნიშნები.

„4-4“ ღერძი – კოჭის ქვედა სარტყელში შეინიშნება განშრევალობა; საყრდენებთან აქვს გამოტუტვის ნიშნები; საყრდენი კვანძი დაზიანებულია; არის ლითონის ელემენტების კოროზია ( $0.5 \div 1.2$  მმ).

„5-5“, „6-6“, „7-7“ ღერძები – კოჭის ქვედა სარტყელში ბეტონის დამცავი შრე დაზიანებულია. არმატურა და საყრდენი კვანძი კოროზირებულია.

„8-8“ ღერძი – ღერძის კოჭი განიცდის ატმოსფერული ნალექების ზემოქმედებას. მის კედლებში შეინიშნება გამოტუტვის ნიშნები.

„9-9“, „10-10“ ღერძი – შედარებით ნორმალურ მდგომარეობაშია.

### ბ-გ მალი

„1-1“ ღერძი – შედარებით ნორმალურ მდგომარეობაშია.

„2-2“ ღერძი – კოჭის კედელი დაზიანებულია ატმოსფერული ნალექის და მავნე აირების ზემოქმედების გამო, ქვედა სარტყელში შეიმჩნევა განშრევალობა, ჩანს კოროზირებული არმატურა. საყრდენებთან კოჭის და სვეტის შეერთების კვანძის ლითონის ელემენტები კოროზირებულია ( $0.6 \div 1.1$  მმ).

„3-3“, „4-4“, „5-5“, „6-6“, „7-7“ ღერძი – კოჭების მდგომარეობა ერთმანეთის ანალოგიურია. ქვედა სარტყელში აქვს განშრევალობა, ჩანს კოროზირებული არმატურა. კოჭის კედლის ბეტონის დამცავ შრეში შეიმჩნევა გამოტუტვის ნიშნები. საყრდენი კვანძის ელემენტები კოროზირებულია ( $0.8 \div 1.6$  მმ).

„8-8“ ღერძი – კოჭის მდგომარეობა შედარებით კარგია მუშაობის პირობების თვალსაზრისით, რადგან მისი ქვედა სარტყელი მთლიანად ეყრდნობა აგურის მხიდ

კედელს. მისი კედლები, ასევე განიცდის ატმოსფერული ნალექების ჩადინებას. დამცავი შრე დაზიანებულია.

„9-9“ ღერძი – კოჭის საყრდენებთან კვანძები დაზიანებულია. მისი ლითონის ელემენტები ასევე კოროზირებულია ( $0.7 \div 1.2$  მმ).

„10-10“ ღერძი – კოჭის მდგომარეობა შედარებით ნორმალურია, თუმცა მის საყრდენებთან და კედლებთან შეიმჩნევა გამოტუტვის ნიშნები.

#### **„გ-დ“ მალი**

„1-1“ ღერძი – შედარებით ნორმალურ მდგომარეობაშია.

„2-2“, „3-3“, „4-4“, „5-5“, „6-6“, „7-7“, „8-8“ ღერძი – კოჭის კედელი განიცდის ატმოსფერული ნალექების ჩადინებას, კედლებში შეიმჩნევა გამოტუტვის ნიშნები. საყრდენებთან კვანძის ელემენტები კოროზირებულია. ქვედა სარტყელში შეიმჩნევა განშრევალობა და ჩანს კოროზირებული არმატურა ( $0.5 \div 0.9$  მმ).

„9-9“ ღერძი – კოჭის კედელი დაზიანებულია, ის 1 მ<sup>2</sup>-ის ფარგლებში მთლიანად დაშლილია.

„10-10“ ღერძი – კოჭის კედელი განიცდის ატმოსფერული ნალექების ზემოქმედებას.

უნდა აღინიშნოს რომ, „ა-ბ-გ-დ“ „1-1“, „ა-ა“, „1-10“, „10-10“, „ა-ბ-გ-დ“, „დ-დ“, „1-10“ ღერძებში აგურის შემომფარგლავი კედელი განიცდის ატმოსფერული ნალექების მოქმედებას და ის ზოგ ადგილებში იშლება (ბათქაში იშლება), ასევე „ბ-ბ“, „1-10“, „გ-გ“, „1-10“ ღერძებში შემვსები აგურის კედლებიც განიცდის ატმოსფერული ნალექების გავლენას. ბათქაში ჩამოცვენილია და აგური იშლება.

მე-2 სართულის რკინაბეტონის სვეტები ამჟამად შელესილია და არსებული დაზიანებები არ ჩანს.

პირველი სართულის სვეტების მდგომარეობა არაა დამაკმაყოფილებელია. „ბ-ბ“ ღერძის გასწვრივ „8-7-6-5-4-3“ ღერძებზე სვეტებს აქვს განშრევალობა, კიდეები ჩამომტვრეულია, ჩანს დეფორმირებული არმატურა და განიცდის კოროზიას.

### **IV.3.2. გადახურვის წიბოვანი ფილების ტექნიკური მდგომარეობის გამოკვლევა**

#### **„ა-ბ“ მალი – „1-2“ ღერძის წიბოვანი ფილები**

ფილა №1 (6×3 მ) გრძივი წიბოები დაზიანებულია, ჩანს კოროზირებული  $\emptyset 20$  არმატურა. ასევე დაზიანებულია შუალედური განივი წიბოები და მათ შორის შემავსებელი ფილა.



ფილა №13 (1×6 მ) გრძივი წიბოები დაზიანებულია, ჩანს კოროზირებული არმატურა. ფილაში შეიმჩნევა გამოტუტვის ნიშნები. კოროზიის სისქე 0.5÷1.3 მმ.

ფილა №14 (1×6 მ) გრძივი წიბოები დაზიანებულია, ჩანს კოროზირებული არმატურა. ფილაში შეიმჩნევა გამოტუტვის ნიშნები. კოროზიის სისქე 0.6÷1.2 მმ.

ფილა №15 (1×6 მ) შეიმჩნევა გრძივი წიბოების დაზიანება, ჩანს კოროზირებული არმატურა. დაზიანებები შეინიშნება საყრდენების მახლობლად 1 მ სიგძეზე. კოროზიის სისქე 0.4÷0.9 მმ.

**„ა-ბ“ მალი, „2-3“ ღერძი – გადახურვის წიბოვანი ფილები**

ფილა №1 (3×6 მ) შეიმჩნევა გრძივი წიბოების მცირე დაზიანება.

ფილა №2 (3×6 მ) შეიმჩნევა გრძივი წიბოების დაზიანება. ჩანს კოროზირებული არმატურა. ფილას აქვს განშრევალობა და გამოტუტვის ნიშნები. კოროზიის სისქე 0.5÷1.1 მმ.

ფილა №3 (3×6 მ) შეიმჩნევა გრძივი წიბოების დაზიანება. ჩანს კოროზირებული არმატურა. ფილას აქვს განშრევალობა და გამოტუტვის ნიშნები. კოროზიის სისქე 0.5÷1.1 მმ.

ფილა №4 (3×6 მ) შეიმჩნევა გრძივი წიბოების დაზიანება. ჩანს კოროზირებული არმატურა. ფილას აქვს განშრევალობა და გამოტუტვის ნიშნები. კოროზიის სისქე 0.3÷0.8 მმ.

**„ბ-გ“ მალი, „2-3“ ღერძი – გადახურვის წიბოვანი ფილები**

ფილა №1 (1×6 მ) შეიმჩნევა განშრევალობა, გამოტუტვის ნიშნები. ჩანს კოროზირებული არმატურა. კოროზიის სისქე 0.5÷0.9 მმ.

ფილა №2 (1×6 მ) გრძივი წიბოები დაზიანებულია. ჩანს კოროზირებული არმატურა. ფილაში შეინიშნება ქვედა შრის დაზიანება ატმოსფერული ნალექებისა და მავნე აირების ზეგავლენის შედეგად. კოროზიის სისქე 0.4÷1.0 მმ.

ფილა №3 (1×6 მ) გრძივი წიბოები დაზიანებულია. ჩანს კოროზირებული არმატურა. ფილაში შეინიშნება ქვედა შრის დაზიანება ატმოსფერული ნალექებისა და მავნე აირების ზეგავლენის შედეგად. კოროზიის სისქე 0.4÷1.0 მმ.

ფილა №4 (1×6 მ) გრძივი წიბოები დაზიანებულია. ჩანს კოროზირებული არმატურა. ფილაში შეინიშნება ქვედა შრის დაზიანება ატმოსფერული ნალექებისა და მავნე აირების ზეგავლენის შედეგად. კოროზიის სისქე 0.6÷1.3 მმ.

ფილა №5 (1×6 მ) გრძივი წიბოები დაზიანებულია. ჩანს კოროზირებული არმატურა. ფილაში შეინიშნება ქვედა შრის დაზიანება ატმოსფერული ნალექებისა და მავნე აირების ზეგავლენის შედეგად. კოროზიის სისქე 0.5÷1.2 მმ.



ფილა №4 (6×3 მ) შეიმჩნევა გრძივი წიბოების დაზიანება. ჩანს კოროზირებული არმატურა. აქვს გამოტუტვის ნიშნები. კოროზიის სისქე 0.5÷1.1 მმ.

**„გ-დ“ მალი, „3-4“ ღერძი – გადახურვის წიბოვანი ფილები**

ფილა №1 (6×3 მ) შეიმჩნევა გრძივი წიბოების დაზიანება. აქვს გამოტუტვის ნიშნები. განიცდის ატმოსფერული ნალექების ზემოქმედებას. კოროზიის სისქე 0.5÷1.6 მმ.

ფილა №2 (6×3 მ) შეიმჩნევა გრძივი წიბოების დაზიანება. აქვს გამოტუტვის ნიშნები. განიცდის ატმოსფერული ნალექების ზემოქმედებას. კოროზიის სისქე 0.3÷1.2 მმ.

ფილა №3 (6×3 მ) შეიმჩნევა გრძივი წიბოების დაზიანება. აქვს გამოტუტვის ნიშნები. განიცდის ატმოსფერული ნალექების ზემოქმედებას. კოროზიის სისქე 0.4÷1.3 მმ.

ფილა №4 (6×3 მ) შეიმჩნევა გრძივი წიბოების დაზიანება. აქვს გამოტუტვის ნიშნები. განიცდის ატმოსფერული ნალექების ზემოქმედებას. კოროზიის სისქე 0.5÷1.2 მმ.

**„ა-ბ“ მალი, „4-5“ ღერძი – გადახურვის წიბოვანი ფილები**

ფილა №1 (6×3 მ) აქვს მცირე დაზიანება.

ფილა №2 (6×3 მ) ჩამონგრეულია.

ფილა №3 (6×3 მ) შეიმჩნევა გრძივი წიბოების დაზიანება საყრდენებთან.

ფილა №4 (6×3 მ) შეიმჩნევა გრძივი წიბოების დაზიანება საყრდენებთან.

**„ბ-გ“ მალი, „4-5“ ღერძი – გადახურვის წიბოვანი ფილები**

ფილა №1 (6×3 მ) შეიმჩნევა გრძივი და განივი წიბოების მცირე დაზიანება. საყრდენებთან აქვს განშრევალობა. განიცდის ატმოსფერული ნალექების ზემოქმედებასა და მავნე აირებს გაგლენას.

ფილა №2 (6×3 მ) შეიმჩნევა გრძივი და განივი წიბოების მცირე დაზიანება. საყრდენებთან აქვს განშრევალობა. განიცდის ატმოსფერული ნალექების ზემოქმედებასა და მავნე აირებს გაგლენას.

ფილა №3 (6×3 მ) შეიმჩნევა გრძივი და განივი წიბოების მცირე დაზიანება. საყრდენებთან აქვს განშრევალობა. განიცდის ატმოსფერული ნალექების ზემოქმედებასა და მავნე აირებს გაგლენას.

ფილა №4 (6×3 მ) შეიმჩნევა გრძივი და განივი წიბოების მცირე დაზიანება. საყრდენებთან აქვს განშრევალობა. განიცდის ატმოსფერული ნალექების ზემოქმედებასა და მავნე აირებს გაგლენას.

**„გ-დ“ მალი, „4-5“ ღერძი – გადახურვის წიბოვანი ფილები**

ფილა №1÷№4 (6×3 მ) საყრდენებთან შეიმჩნევა გამოტუტვის ნიშნები, აქვს მცირე ბზარები.



**„ბ-გ“ მალი, „7-8“ ღერძი – გადახურვის წიბოვანი ფილები**

ფილა №1 (6×3 მ) შეიმჩნევა გრძივი და განივი წიბოების დაზიანება საყრდენებთან. ჩანს კოროზირებული არმატურა. აქვს გამოტუტვის ნიშნები და შინიშნება განშრევალობა. კოროზიის სისქე  $0.4 \div 0.9$  მმ.

ფილა №2 (6×3 მ) შეიმჩნევა გრძივი და განივი წიბოების დაზიანება საყრდენებთან. ჩანს კოროზირებული არმატურა. აქვს გამოტუტვის ნიშნები და შინიშნება განშრევალობა. კოროზიის სისქე  $0.5 \div 1.1$  მმ.

ფილა №3 (6×3 მ) შეიმჩნევა გრძივი და განივი წიბოების დაზიანება საყრდენებთან. ჩანს კოროზირებული არმატურა. აქვს გამოტუტვის ნიშნები და შინიშნება განშრევალობა. კოროზიის სისქე  $0.6 \div 1.3$  მმ.

ფილა №4 (6×3 მ) შეიმჩნევა გრძივი და განივი წიბოების დაზიანება საყრდენებთან. ჩანს კოროზირებული არმატურა. აქვს გამოტუტვის ნიშნები და შინიშნება განშრევალობა. კოროზიის სისქე  $0.5 \div 1.2$  მმ.

ვიზუალური დათვალიერების შედეგად, ასევე გამოირკვა, რომ პირველი სართულის სართულშუა გადახურვის მონოლითური წიბოვანი ფილები თითქმის მთლიანად დაზიანებულია. აქვს განშრევალობა, ჩანს კოროზირებული არმატურა. განიცდის ტენიანი ჰაერის მუდმივ გავლენას. ტექნოლოგიური პროცესის გამო მეორე სართულიდან ჩამოდის წყალი.

არხი რომლის საშუალებითაც ხდებოდა წყლის დაცლა დაზიანებულია „გ-დ“ მალის „8-10“ ღერძებში. ამჟამად, აღნიშნული ფართი სავსეა ქიმიურად დაზიანებული წყლით, რაც უარყოფით ზეგავლენას ახდენს შენობის საძირკველზე და შესაძლებელია გამოიწვიოს მთლიანად შენობის ჯდენითი დეფორმაცია.

გარდა ამისა, სახურავზე დატანილია, დამატებით, გადახურვის ფენილები. ზამთრის პერიოდის განმავლობაში მასში ჩაგროვდა გამდნარი თოვლის წყალი, რამაც წარმოქმნა ტემპერატურული ძაბვები და დამატებითი დატვირთვა, რის შედეგადაც ჩამოინგრა ფილა. ანალოგიური ნგრევის საშიშროება არის სხვა ფილებშიც.

სახურავზე დამონტაჟებულ „ПКЖ“-ს ტიპის ფილებს მუშაობა უწევს აგრესიულ გარემოში წლების მანძილზე, შენობაში ხდება წყლის აორთქლება და კონდენსირება ფილების ზედაპირზე. ზედა მხრიდან დაზიანებული იყო ტოლის ბურული და წვიმის წყლის ჩადინების გამო ფილები წლების განმავლობაში იყო წყლის ზემოქმედების ქვეშ, 2012 წლის სექტემბრის თვეში მოხდა სახურავის რემონტი, კერძოდ მოიხსნა ტოლის ბურული და ბიტუმის ზედა ფენები, ხოლო ქვედა საიზოლაციო ფენები კი დარჩა და მათზე ქანობის მოსაწყობად დაემატა პემზის ნაყარი და გაუკეთდა მოჭიმვა დაახლოებით 8 სმ-ზე, რაც ჩანს ჩამონგრეული ფილის ადგილზე (იხ. ფოტოფიქსაცია დანართში). შემდეგ პროექტით გათვალისწინებული ბურულის საფარი არ მოწყობილა. ამასთან, მოხდა სავენტილაციო არხების დაფარვა, რასაც დაემატა მეტალოპლასტმასის



ფანჯრების მონტაჟი, რამაც გამოიწვია ჩაკეტილი სივრცის შექმნა. ტექნოლოგიური პროცესიდან გამომდინარე ჩაკეტილ სივრცეში აორთქლებული მასის კონდენსირება იწვევს არა მარტო გადახურვის ფილების, არამედ გადახურვის კოჭების, სვეტების, კედლების ბეტონისა და არმატურის ეროზიასა და კოროზიას, რომლის განვითარების სიჩქარე არის მაქსიმალური (დაახლოებით 1.6 მმ და მეტი წელიწადში). აქედან გამომდინარე შედეგი არის კატასტროფული. აუცილებელია, პირველ რიგში სავენტილაციო არხების გახსნა, ფანჯრების მოხსნა (ამოღება) რათა გადავარჩინოთ შენობის მზიდი კონსტრუქციები. ფილები დაზიანებულია და მათი 90% ავარიულია, რაც აუცილებელ დემონტაჟს მოითხოვს.

შენობის მზიდ კონსტრუქციებზე შეინიშნება მწვავე ეროზიისა და კოროზიის მოვლენები, რომლებიც ერთმანეთს ახლავს. კოროზია არის ქიმიური ზემოქმედების შედეგი და ქიმიური გარდაქმნის პროცესი, ხოლო ეროზია სუფთა ფიზიკური პროცესია. გაძლიერებული ეროზიული ზემოქმედებით კონსტრუქციის ზედაპირიდან ხდება დამცავი შრის მოცილება, რაც გამოწვეულია ტუტოვანი ჰიდროლიზის დესტრუქციული პროცესებით. ეროზიის გამომწვევი ფაქტორები შეიძლება განაწილდეს შემდეგნაირად: წყლის ზემოქმედება, ტემპერატურული ზემოქმედება, აბრაზიული ზემოქმედება და სინათლის ზემოქმედება.

წყლის ზემოქმედებამ ხელი შეუწყო გადახურვის ფილებში არსებული შემკვრელი მასალის გამოტუტვას, ხსნადი აირების აგრესიული იონებისგან ტრანსპორტირებისას (როგორცაა  $O_2$  ან  $CO_2$ ) მასალის შიგნით გაბერვის და გამოშრობის სახით. ამას გარდა წყალმა შექმნა მიკროორგანიზმების საკვები გარემო, რომლებიც აგრესიულად მოქმედებს მასალის თბოსაიზოლაციო თვისებაზე.

წვიმის წყალი, რომელიც წლების მანძილზე რეცხავდა ფილებს იწვევდა მის გამოუტვას. აქედან გამომდინარე წყალი ითვლება კოროზიული და ეროზიული პროცესების გადამწყვეტ ფაქტორად. დეფორმაციები მიმდინარეობს კონსტრუქციის გაბერვით. აღნიშნული დეფორმაცია ყოველთვის ნაკლებია ტემპერატურულ დეფორმაციაზე, მაგრამ მოცულობებში შეუძლია შექმნას დაძაბულობა, რომელმაც გამოიწვია ბზარების წარმოქმნა. ბზარებში შედის წყალი, იყინება და შლის ზედაპირს და აზიანებს შიგა სტრუქტურას.

ჩვენს შემთხვევაში ადგილი აქვს პროვოცირებულ ეროზიას, რაც მოიცავს დეფექტების მთელ სპექტრს. ასეთი დეფექტები შეიძლება ადვილად აგვეშორებინა თავიდან კვალიფიციური დაპროექტებით (ტექნოლოგიური პროცესის გათვალისწინებით) და სწორი მშენებლობით (რემონტით).

არმატურის კოროზია გამოწვეულია დამცავი შრის მოცილებით და ლითონზე ნესტისა და წყლის დიდი რაოდენობით მოხვედრით.

ჩვენს ამოცანას არ წარმოადგენდა შენობის ყველა მზიდი კონსტრუქციის შემოწმება, მაგრამ მდგომარეობიდან გამომდინარე შევისწავლეთ შენობის სხვა მზიდი

კონსტრუქციებიც. კერძოდ, რკინაბეტონის სვეტები შენობის პირველ სართულზე დაზიანებულია, აუცილებელია მათი გაძლიერება. მეორე სართულის სვეტები გაღესილია და ვერ მოხერხდა მათი შემოწმება. მზიდი კედლები დაშლილია შენობის მეორე ნაწილში.

*გამოკვლევის ამსახველი ზოგადი ფოტოფიქსაცია წარმოდგენილია დასკვნებისა და რეკომენდაციების შემდგომ.*

### IV.3.3. დასკვნა და რეკომენდაციები

ქ. ტყიბულში, ამბროლაურის გზის მიმდებარედ სანიტარულ ზონაში საფილტრი სადგურის გადახურვის „ПКЖ“-ის ტიპის ფილები ავარიულ მდგომარეობაშია, აუცილებლად მიგვაჩნია შენობის ექსპლუატაციის შეჩერება, რათა არ მოხდეს სახურავის რომელიმე ფილის უეცარი ჩამოშლა და მომსახურე პერსონალის დაზიანება.

ავარიულობის მიზეზები: სახურავზე დამონტაჟებულ „ПКЖ“-ს ტიპის ფილებს მუშაობა უწევს აგრესიულ გარემოში წლების მანძილზე, შენობაში ხდება წყლის აორთქლება და კონდენსირება ფილების ზედაპირზე. ზედა მხრიდან დაზიანებული იყო ტოლის ბურული და წვიმის წყლის ჩადინების გამო ფილები წლების განმავლობაში იყო წყლის ზემოქმედების ქვეშ, 2012 წლის სექტემბრის თვეში მოხდა სახურავის რემონტი, კერძოდ მოიხსნა ტოლის ბურული და ბიტუმის ზედა ფენები, ხოლო ქვედა საიზოლაციო ფენები კი დარჩა და მათზე ქანობის მოსაწყობად დაემატა პემზის ნაყარი და გაუკეთდა მოჭიმვა დაახლოებით 8 სმ-ზე. შემდეგ პროექტით გათვალისწინებული ბურულის საფარი არ მოწყობილა. ამასთან, მოხდა სავენტილაციო არხების დაფარვა, რასაც დაემატა მეტალოპლასტმასის ფანჯრების მონტაჟი, რამაც გამოიწვია ჩაკეტილი სივრცის შექმნა. ტექნოლოგიური პროცესიდან გამომდინარე ჩაკეტილ სივრცეში აორთქლებული მასის კონდენსირება იწვევს არა მარტო გადახურვის ფილების, არამედ გადახურვის კოჭების, სვეტების, კედლების ბეტონისა და არმატურის ეროზიასა და კოროზიას, რომლის განვითარების სიჩქარე არის მაქსიმალური (დაახლოებით 1.6 მმ და მეტი წელიწადში). აქედან გამომდინარე შედეგი არის კატასტროფული. აუცილებელია, პირველ რიგში სავენტილაციო არხების გახსნა, ფანჯრების მოხსნა (ამოღება) რათა გადავარჩინოთ შენობის მზიდი კონსტრუქციები. ფილები დაზიანებულია და მათი 90% ავარიულია, რაც აუცილებელ დემონტაჟს მოითხოვს.

შენობის მზიდ კონსტრუქციებზე შეინიშნება მწვავე ეროზიისა და კოროზიის მოვლენები, რომლებიც ერთმანეთს ახლავს. კოროზია არის ქიმიური ზემოქმედების შედეგი და ქიმიური გარდაქმნის პროცესი, ხოლო ეროზია სუფთა ფიზიკური პროცესია. გაძლიერებული ეროზიული ზემოქმედებით კონსტრუქციის ზედაპირიდან ხდება დამცავი შრის მოცილება, რაც გამოწვეულია ტუტოვანი ჰიდროლიზის დესტრუქციული

პროცესებით. ეროზიის გამომწვევი ფაქტორები შეიძლება განაწილდეს შემდეგნაირად: წყლის ზემოქმედება, ტემპერატურული ზემოქმედება, აბრაზიული ზემოქმედება და სინათლის ზემოქმედება.

წყლის ზემოქმედებამ ხელი შეუწყო გადახურვის ფილებში არსებული შემკვრელი მასალის გამოტუტვას, ხსნადი აირების აგრესიული იონებისგან ტრანსპორტირებისას (როგორცაა  $O_2$  ან  $CO_2$ ) მასალის შიგნით გაბერვის და გამოშრობის სახით. ამას გარდა წყალმა შექმნა მიკროორგანიზმების საკვები გარემო, რომლებიც აგრესიულად მოქმედებს მასალის თბოსაიზოლაციო თვისებაზე.

წვიმის წყალი, რომელიც წლების მანძილზე რეცხავდა ფილებს იწვევდა მის გამოუტვას. აქედან გამომდინარე წყალი ითვლება კოროზიული და ეროზიული პროცესების გადამწყვეტ ფაქტორად. დეფორმაციები მიმდინარეობს კონსტრუქციის გაბერვით. აღნიშნული დეფორმაცია ყოველთვის ნაკლებია ტემპერატურულ დეფორმაციაზე, მაგრამ მოცულობებში შეუძლია შექმნას დაძაბულობა, რომელმაც გამოიწვია ბზარების წარმოქმნა. ბზარებში შედის წყალი, იყინება და შლის ზედაპირს და აზიანებს შიგა სტრუქტურას.

ჩვენს შემთხვევაში ადგილი აქვს პროვოცირებულ ეროზიას, რაც მოიცავს დეფექტების მთელ სპექტრს. ასეთი დეფექტები შეიძლება ადვილად აგვეშორებინა თავიდან კვალიფიციური დაპროექტებით (ტექნოლოგიური პროცესის გათვალისწინებით) და სწორი მშენებლობით.

არმატურის კოროზია გამოწვეულია დამცავი შრის მოცილებით და ლითონზე ნესტისა და წყლის დიდი რაოდენობით მოხვედრით. ჰაერში არის წყლის ორთქლი, რომლის რაოდენობა განსაზღვრავს აბსოლუტურ ტენიანობას. ფოლადის ელემენტებზე (არმატურა, შველერი, კუთხოვანა) მიმდინარეობს ინტენსიური კონდენსაცია, რადგან ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა გამოსაკვლევ შენობაში აღწევს  $75 \div 80\%$ -ს. ამ შემთხვევაში კოროზიის სიჩქარე იზრდება და შეუქცევად ხასიათს ღებულობს.

ჩვენს ამოცანას არ წარმოადგენდა შენობის ყველა მზიდი კონსტრუქციის შემოწმება, მაგრამ მდგომარეობიდან გამომდინარე შევისწავლეთ შენობის სხვა მზიდი კონსტრუქციებიც. კერძოდ, რკინაბეტონის სვეტები შენობის პირველ სართულზე დაზიანებულია, აუცილებელია მათი გაძლიერება. მეორე სართულის სვეტები გალესილია და ვერ მოხერხდა მათი შემოწმება. მზიდი კედლები დაშლილია შენობის მეორე ნაწილში.

### რეკომენდაცია

როგორც გამოკვლევიდან და დასკვნებიდან ჩანს შენობა ავარიულია, თითქმის ყველა მზიდი კონსტრუქცია გასაძლიერებელია (80%) საძირკვლების ჩათვლით, ასევე ტექნოლოგიური დანადგარებიც განიცდიან ფიზიკურ და მორალურ ცვეთას. აქედან

გამომდინარე ჩვენი აზრით შენობის რეაბილიტაცია არა რენტაბელური იქნება, მითუმეტეს ტექნოლოგიური პროცესი მოძველებულია და ახალი ტექნოლოგიის დასამონტაჟებლად გაცილებით ნაკლები ფართის და კომპაქტური შენობის აგება უფრო მისაღები იქნება.

თუ დამკვეთი გადაწყვეტს აღნიშნული შენობის შენარჩუნებას, რა თქმა უნდა არა ეკონომიურობიდან, არამედ ქ. ტყიბულის წყლის მიწოდების აუცილებლობიდან გამომდინარე, რომელსაც ჩვენ ვერ ვასაბუთებთ (სცილდება ჩვენი კომპეტენციის ფარგლებს), მაშინ აუცილებლად მიგვაჩნია შემდეგი:

1. შენარჩუნებული იყოს შენობის ის ნაწილი, სადაც მიმდინარეობს ტექნოლოგიური პროცესი (პირველი და მეორე მალი), ხოლო მეორე ნაწილის (მესამე მალის) დემონტაჟი განხორციელდეს;
2. შენარჩუნებისათვის:
  - ა. მთლიანად მოიხსნას შენობის სახურავი (ფილები), დემონტაჟის პროექტის შესრულებით და მისი ზუსტი დაცვით;
  - ბ. შენობის დარჩენილ ნაწილში გაძლიერდეს სვეტები და კოჭები, რომლებიც მითითებულია კვლევით ნაწილში;
  - გ. „ბ“ ღერძის გასწვრივ გრძივი მიმართულებით ვერტიკალური კავშირები კოროზირებულია, გამოსულია მწყობრიდან, რაც მოითხოვს აღდგენას.
3. მოეწყოს გადახურვა შესაბამისად დამუშავებული პროექტის მიხედვით.

#### IV.34.

ფოტოფიქსაცია – ჩამოშლილი „PKK“



ფოტოფიქსაცია – კოროზიის გაზომვა



ფოტოფიქსაცია – დაზიანებული ფილების ფრაგმენტები



ფოტოფიქსაცია – ბეტონის მარკის შემოწმება



ფოტოფიქსაცია – დაზიანებული გადახურვის კოჭები



ფოტოფიქსაცია – კოროზირებული კაგშირები



ფოტოფიქსაცია – კოროზირებული კაგშირები



ფოტოფიქსაცია – მესამე მაღში არსებული წყალი





ფოტოფიქსაცია – ამოქოლილი სავენტილაციო არხები



ფოტოფიქსაცია – დაზიანებული კედელი



ფოტოფიქსაცია – დაზიანებული სვეტები



## გამოყენებული ლიტერატურა

1. მ. წიქარიშვილი, მ. მანჯავიძე, მ. ვარდიაშვილი, ა. წაქაძე, თ. მადრაძე ბაგირის ტესტირება და მონიტორინგი ბოჭკოვან-ოპტიკური სენსორებით, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“ №3(14), თბილისი, 2009, გვ. 16-20;
2. Варвак П.М. Метод конечных элементов [Текст] / П.М. Варвак, А.С. Городецкий и др. – Киев: Высша школа, 1982. – 176с;
3. ა. წაქაძე, ა. კაცაძე, კ. ბაბილოძე, მ. წიქარიშვილი შენობა-ნაგებობების დეფორმაციების მონიტორინგის სისტემების დამუშავება, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“ №2(21), თბილისი, 2011, გვ. 73-79;
4. Безопасность России, Функционирование и развитие сложных народнохозяйственных, технических, энергетических, транспортных систем, систем связи и коммуникаций. – Т.1. – 444 с. Т.2. – 410 с;
5. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций. – М.: Машиностроение, 1990. – 448 с;
6. Гетман А.Ф. Концепция безопасности "течь перед разрушением" для сосудов и трубопроводов давления АЭС. – М.: Энегтоатомиздат, 1999. – 258 с;
7. Гетман А.Ф. Ресурс эксплуатации сосудов и трубопроводов давления АЭС. – М.: Энегтоатомиздат, 2000. – 427 с;
8. Коргина М.А. МКЭ-анализ напряженно-деформированного состояния строительных конструкций на основе пространственно-координатных моделей сооружений, полученных в ходе геодезического мониторинга [Текст] / М.А. Коргина, А.В. Коргин // Научные труды международной научно-практической конференция молодых ученых, аспирантов и докторантов "Строительство – формирование среды жизнедеятельности" / Моск. гос. строит. ун-та. – 2007. – С. 126-130;
9. Лужин О.В. Современные методы диагностики и мониторинга строительных конструкций зданий и сооружений – памятников архитектуры [Электронный ресурс] / О.В. Лужин, Ю.С. Кунин // Промышленное и гражданское строительство – М., 2001. – №9. Режим доступа: <http://pgs.newmail.ru>;
10. Матвиенко Ю.Г. Детерминированный анализ безопасности живучести и остаточного ресурса по критериям механики трещин // Заводская лаборатория. – 1997. – №6. – С. 52-58;
11. Матвиенко Ю.Г. Модели и критерии трещиностойкости в проблемах безопасности и живучести // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2001. – №5. – С. 117-126;
12. Махутов Н.А., Котоусов А.Г., Матвиенко Ю.Г. Механика катастроф // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 1992. – №7. – С. 29-44;

13. Махутов Н.А., Матвиенко Ю.Г. Подходы механики разрушения в концепции инженерной безопасности // Физико-химическая механика материалов. – 1996. – №2. – С. 35-42;
14. Статические закономерности малоциклового разрушения / Н.А. Махутов, В.В. Зацаринный, Ж.Л. Базарас и др. – М.: Наука, 1989. – 252 с;
15. T. Nareklshvili, M. Tsikarishvili, L. Zambakhidze, T. Magradze, A. Tsakadze, D. Kupatadze Experimental Research of fiber-Optical System of Concrete Constructions Monitoring,” Problems of mechanics” international scientific journal №1(34), 2009, p. 84-89;
16. Грешников В. А. Дробот Ю. Б. Акустическая эмиссия. М: Из-во стандартов. 1976, 270 с;
17. Финкел В. М. Физика разрушения. рост трещин в твердых телах. – М. Металлургия 1980, 176 с;
18. Davis B. E. Davis H. E. Broun E. H. Plastic flow and Volume change of Concrete // Soc. for. Test. Proc. 1987. p. 37;
19. Duneagan H. L. Harris D. O. Tetelman A. S. Detection of fatigue crack growth by acoustic emission techniques // Materials Evaluation: 1979. v. 28 #10. p. 221-227;
20. Egle D. M. Tatro C. A. Analyse of acoustic – emission strain waves // I Acoustical Soc. Am. 1987. v. 41. #2 p. 321-327;
21. Callis P. P. Disclotion monitions and acoustic emission // Materials Res. Stand. 1972 v. 11, #3 p/ 11-13;
22. Руайе Д. Дьелесан Э. Упругие волны в твердых телах. Пер. с фран. М: Наука 1992, 385 с;
23. Джикариани А. В. Решению сингулярных интегральных уравнений коллокационными методами. \ ЖВМ и МФ, 1981, т 21, №2 с. 355-362;
24. Мосесов М. Д. Применение акустических методов для исследования процессов третинообразования и механизма разрушения бетона \ Автореф. дисс. канд. техн.наук. М. 1984, 19 с;
25. Weinger H., Klausen D. Ermudunge verhalten von beton. Auswirking einer Beanspruchung in Dauerfestigkeits-bereich // Betonwerk Fertigteil-Technik. H. U. 1989. S. 214-220;
26. Weinger H., Klausen D. Die Schallemissionsanalgye. Vefahren und anwendung bei Beton // Betonwerk Fertigteil-Texnic H12. 1990. S. 709-716;
27. Логунова В. А., Михалевская Н. В. Маслевцов А. В. Исследование долговременного сопротивления бетона с помощью метода акустической эмисии \ Известия ВНИИГ, СНТ. – 1986 т. 136 с. 106-110.

28. Геофизические системы контроля информации [Электронный ресурс]: сайт компании ООО "Геофизические системы контроля информации" – "ГПИКО" – Режим доступа: <http://www.gpiko.ru/ru/Main/ContentPage/Monitoring>;
29. მ. წიქარიშვილი, მ. მანჯავიძე, მ. ვარდიაშვილი, ა. წაქაძე, თ. მადრაძე ბაგირის ტესტირება და მონიტორინგი ბოჭკოვან-ოპტიკური სენსორებით, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“ №3(14), თბილისი, 2009, გვ. 16-20;
30. Дашевский Е.М. Итерационный метод подконструкций для решения больших задач механики деформированного твердого тела [Текст] / Е.М. Дашевский // Проблемы прочности. – 1997. №2. С. 12-15;
31. Егоров Ф.А. Волоконно-оптическая система мониторинга в Москве: опыт, результаты и перспективы [Электронный ресурс] / Ф.А. Егоров В.В. Жданов, А.П. Неугодников, В.И. Поспелов, А.М. Шахраманиян, Е.В. Чурдалев, А.И. Уваров // Технология строительство – М., 2007. – №6. Режим доступа: <http://www.mocent.ru/articles>;
32. Донец А.М. Геодезический мониторинг высотных зданий и сооружений с помощью высокоточных спутниковых методов [Электронный ресурс] / А.М. Донец // Геопрофи. – М; 2005. – №5. – С. 17-19. Режим доступа: <http://www.geoprofi.ru/geoprofi>;
33. Gordon S.J. Metric Performance of a High-Resolution Laser Scanner [text] / S.J. Gordon, D.D. Lichti, M.P. Stewart, M. Tsakiri // Proceedings of SPIE Electronic Imaging 2001 Conference. San Jose, California, USA, 2001. – P.11.