

გიორგი ჩიკვაიძე

მონოლითური რკინაბეტონის რიგელებისა და ფილების
შეუღლების ზონის თეორიული და ექსპერიმენტალური
კვლევა მათი საკონტაქტო (შეპირაპირების) ზედაპირების
თავისებურებათა გათვალისწინებით

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
ივნისი, 2012

საავტორო უფლება©2012 „ჩიკვაიძე გიორგი“

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

„სამშენებლო ფაკულტეტი“

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ჩიკვაძე გიორგის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „მონოლითური რკინაბეტონის რიგელებისა და ფილების შეუღლების ზონის თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევა მათი საკონტაქტო (შეპირაპირების) ზედაპირების თავისებურებათა გათვალისწინებით“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის „სამშენებლო ფაკულტეტის“ სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

14 მაისი, 2012წ.

სამეცნიერო ხელმძღვანელი:

სრული პროფესორი აგული სოხაძე -----

რეცენზენტები:

ტმდ, აკადემიკოსი გურამ გაბრიჩიძე -----

სრული პროფესორი მერაბ ლორთქიფანიძე -----

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2012 წ.

ავტორი: ჩიკვაიძე გიორგი

დასახელება: „მონოლითური რკინაბეტონის რიგელებისა და ფილების შეუღლების ზონის თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევა მათი საკონტაქტო ზედაპირების თავისებურებათა გათვალისწინებით”

ფაკულტეტი: „სამშენებლო ფაკულტეტი”

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: 14 მაისი, 2012 წ.

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

ავტორის ხელმოწერა

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

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

რეზიუმე

მონოლითური რკინაბეტონის რიგელებისა და ფილების შეუღლების ზონის თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევა მათი საკონტაქტო (შეპირაპირების) ზედაპირების თავისებურებათა გათვალისწინებით

სადისერტაციო ნაშრომში განხილულია მონოლითური რკინაბეტონის რიგელებისა და ფილებში ძველი და ახალი ბეტონის შეუღლების ზონის კომპიუტერული მოდელირების საკითხები საკონტაქტო (შეპირაპირების) ზედაპირის ანალიზის გათვალისწინებით, აღწერილია ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების ზონაში მყოფი ელემენტების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა, რიცხვითი და პრაქტიკული ექსპერიმენტების საფუძველზე დადგენილია საკონტაქტო ზედაპირზე მხები ძაბვების კონცენტრაციისა და ღუნვაზე სიხისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტები, შემუშავებულია რეკომენდაციები დამპროექტებლებისათვის.

განხილულია შეუღლების საკონტაქტო ზედაპირები და მათი გავლენა რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის, რკინაბეტონის ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული კოჭის, ანაკრებ-მონოლითური კოჭის და მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ურიგელო ფილის დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობაზე. აგრეთვე ჩატარებულია მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობის სეისმური გაანგარიშება სართულშუა გადახურვებში ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით და შესწავლილია შენობის შესაბამისი სეისმური ქცევა.

გაანალიზებულია ძველი და ახალი ბეტონის შეუღლების მეთოდოლოგია, გაანგარიშებისა და კომპიუტერული მოდელირების სპეციფიკა თანამედროვე ამერიკული, ევროპული და აგრეთვე რუსული სამეცნიერო ლიტერატურის გამოყენებით. ნაშრომში გვხვდება ციტატები და მეთოდიკა ევროკოდიდან, ფლორიდის უნივერსიტეტის (აშშ), პენსილვანიის უნივერსიტეტის (აშშ), პორტოს უნივერსიტეტის (პორტუგალია) და სხვა დასავლურ ჟურნალებში გამოქვეყნებული სტატიებიდან, აგრეთვე რუსული ელექტრონული ლიტერატურიდან.

შესრულებულია მრავალმხრივი გაანგარიშებები: “კლასიკური” მეთოდით, ევროკოდ-2-ში წარმოდგენილი ეკვივალენტურ ჩარჩოთა მეთოდით, Microsoft Excel-ის ბაზაზე, ამ ნაშრომისთვის საგანგებოდ შექმნილი, საინჟინრო კალკულატორით (G01), რიცხვითი მეთოდებით, ბრტყელი წრფივი და სივრცითი (3D) არაწრფივი სასრული ელემენტებით LIRA 9.6 R6-ის გამოყენებით.

სადისერტაციო ნაშრომისათვის ჩატარდა ექსპერიმენტი ‘Black Sea Hotel & Residences’-ის პროექტის ფარგლებში, გარდა ამისა გამოყენებულ იქნა ტმკ ლ. ბალანჩივაძის სადისერტაციო ნაშრომისათვის ჩატარებული ექსპერიმენტების მონაცემები.

დადგენილი სიხისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტი საშუალებას მოგვცემს შენობის სუპერსტრუქტურის, ცალკეული კონსტრუქციული ელემენტის ან შეპირაპირების მოდელის აგება და გაანგარიშება

მოვახდინოთ წრფივად, მაგრამ შემცირებული სიხისტეებით, ისე რომ საბოლოო შედეგი პრაქტიკულად დაემთხვას არაწრფივი გაანგარიშებების შედეგებს და თან გათვალისწინებულ იქნას ბეტონის შეპირაპირების გავლენა მონოლითური რკინაბეტონის კონსტრუქციული ელემენტის დეფორმაციის მიმართ, ხოლო შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირზე მოქმედი მხები ძაბვების კონცენტრაციის კოეფიციენტი საშუალებას გვაძლევს ზუსტად განვსაზღვროთ მხები ძაბვების მაქსიმალური მნიშვნელობა საკონტაქტო ზედაპირზე და შესაბამისად შევარჩიოთ ეპოქსიდური წებოს ან შეპირაპირების სხვა საშუალებების მახასიათებლები და საიმედოდ დავაპროექტოთ შეუღლების ზონაში მყოფი ელემენტი. გარდა ამისა სიხისტის მოდიფიკაციის და ძაბვების კონცენტრაციის კოეფიციენტის განსაზღვრა ბეტონის შეპირაპირების ზონაში მყოფი ელემენტებისათვის, საშუალებას მოგვცემს მარტივი გზებით მივადწიოთ მაღალი სიზუსტის შედეგებს პრაქტიკულ პროექტირებაში.

მიღებული შედეგებიდან გამომდინარე გაცემულია კონკრეტული მკაცრი რეკომენდაცია, რომ რკინაბეტონის იმ ელემენტებისათვის, რომლის ფარგლებშიც ხდება ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირება, აუცილებელია დაპროექტებისათვის სიხისტის მნიშვნელოვნად შემცირება. საანგარიშო მოდიფიცირებული სიხისტის მისაღებად რეკომენდირებულია გამოიყენოთ ნაშრომში განსაზღვრული კოეფიციენტები, რაც საშუალებას მოგვცემს, რომ გაანგარიშება ჩავატაროთ ჩვეულებრივი პერსონალური კომპიუტერის საშუალებით, წრფივ სტადიაზე; მიღებული შედეგები კი მაქსიმალურად ახლოს იქნება არაწრფივი გაანგარიშებებით მიღებულ შედეგებთან, რაც აჩვენა კიდევ ჩვენს მიერ ჩატარებულმა ექსპერიმენტულმა კვლევებმა. განსაკუთრებით დიდი მალეების (>10მ) და განსაკუთრებით დიდი კონსოლების შემთხვევაში (>4მ) აუცილებელია, რომ შესრულდეს შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირების და შეპირაპირების საშუალებების მოდელირება, გაანგარიშება ჩატარდეს არაწრფივ სტადიაზე, რათა მაღალი სიზუსტით აღიწეროს შესაბამისი ელემენტის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა. რკინაბეტონის ელემენტის შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირის ჭრაზე ანგარიშისას რეკომენდებულია გამოიყენებულ იქნას მხები ძაბვების კონცენტრაციისა კოეფიციენტები, ხოლო სოგმანური შეერთებისას ნაშრომში წარმოდგენილი შესაბამისი ფორმულები.

დაარმატურების თვალსაზრისით, განსაკუთრებით სეისმურ ზონებში, რეკომენდებულია, რომ ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების ზონაში არმირების პროცენტული მაჩვენებელი გაიზარდოს 2-ჯერ ან მოხდეს საკონტაქტო ზედაპირების სივრცითი არაწრფივი სასრული ელემენტებით გაანგარიშება და მხოლოდ ამის შემდეგ შესაბამისი დაარმატურება.

გამომდინარე მოცემული ნაშრომისათვის ჩატარებული რიცხვითი ექსპერიმენტებიდან და კონკრეტული სივრცითი მოდელებიდან, ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირებისათვის გამოსაყენებელი ეპოქსიდური წებოსთვის, რეკომენდებულია, რომ დრეკადობის მოდული განისაზღვროს არანაკლებ $E=250.000\text{ტ/მ}^2$, ხოლო პუასონის კოეფიციენტი არაუმეტეს $V=0.4$;

შენობა-ნაგებობების რეკონსტრუქციის შემთხვევაში ან შეჩერებული მშენებლობის განახლებისას, სადაც ადგილი აქვს ძველი და ახალი ბეტონის შეუღლების უამრავ შემთხვევას, გაცემულია რეკომენდაცია, რომ მთელი შენობის მოდელირება და გაანგარიშება შესრულდეს სივრცითი არაწრფივი სასრული ელემენტებით, უკიდურეს შემთხვევაში კი ანალოგიური მეთოდებით განისაზღვროს სიხისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტები კონკრეტულ გეომეტრიულ ზომებსა და არსებული მასალის ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებზე დაყრდნობით და მხოლოდ ამის შემდეგ ჩატარდეს გაანგარიშება წრფივ სტადიაზე.

Abstract

Theoretical and experimental research of monolithic reinforced concrete beam and slab bonding zone including the contact surface specificities.

In this dissertation thesis discussed computer modeling problems in old and new concrete bonding zone for monolithic reinforced concrete beams and slabs including the contact (bonding) surface analysis, described stress-strained state in structural elements in old and new concrete bonding zone, determined contact surface shear stress concentration coefficient and bending stiffness modification coefficient by numerical and practical experiments, worked out recommendations for designers.

Discussed bonding contact surfaces and their influence to stressed-strained state in reinforced concrete cantilever beam, reinforced concrete beam fixed at both ends, precast-monolithic beam and monolithic reinforced concrete flat slab. Also provided seismic calculation of monolithic reinforced concrete framework building including the old and new concrete bonding in floor slabs and studied building seismic behavior.

Analyzed old and new concrete bonding methodology, calculation and computer modeling specifications based on modern American, European and also Russian scientific literature. There are quotations and methods in the thesis from Eurocode, Florida University (USA), Penn University (USA), Porto University (Portugal) and other articles from western magazines, also from Russian electronic literature.

In the thesis completed complex calculations within: 'classic method', equivalent frame method introduced in Eurocode-2, engineering calculator (G01) created for this thesis on the Microsoft Excel basis, numerical methods including flat linear and spatial solid (3D) nonlinear finite elements of LIRA 9.6 R6 software.

Experiment is provided for this dissertation thesis during the project 'Black Sea Hotel & Residences', apart from it, there is used C.T.S. L. Balanchivadze dissertation thesis experimental data.

Determined stiffness modification coefficient gives us opportunity to set up and provide linear analysis of building superstructure, separate structural element or bonding model but with reduced stiffness, so that final result will practically coincide to results of nonlinear analysis including the concrete bonding influence to monolithic reinforced concrete structural element deflections. The contact surface shear stress concentration coefficient gives us opportunity to define precisely the maximum value of shear stresses on the contact surface and consequently chose epoxy adhesive or other bonding medium properties and safely design the element in the bonding zone. Moreover, stiffness modification coefficient and stress concentration coefficient definition for the structural elements in the concrete bonding zone allows us to achieve highly precise results with simple ways in practical design.

On the basis of received results, it is strongly recommended to reduce the stiffness during design for concrete members where old and new concrete bonding takes place. It is recommended to use the coefficients defined in this thesis to find design modified stiffness values that allows us to provide calculations by ordinary personal computer at linear stage; And the received results will be very close to the results of nonlinear

calculations as it is shown in our experimental research. In case of extremely long spans (>10m) and extremely long cantilever (>4m) structures, it is very important to model bonding contact surface and bonding medium and calculations to be provided at nonlinear stage to describe the stressed-strained state of appropriate element. In shear calculations of reinforced concrete bonding contact surface, it is recommended to use shear stress concentration coefficient and in case of concrete connectors – the formulas presented in this thesis.

It is recommended especially for seismic hazard zones to increase 2 times reinforcement percentage in old and new concrete bonding zone or to provide contact surface modeling and calculation by spatial solid nonlinear finite elements and reinforcing only after this kind of analysis.

Consequently from the numerical experiments and spatial solid models provided for this thesis, it is recommended for old and new concrete bonding epoxy adhesives to have elasticity modulus not less than $E=250.000\text{t/m}^2$ and poisson's ratio not more than $\nu=0.4$;

In case of reconstruction or renewing of stopped construction where many cases of old and new concrete bonding take place, its is recommended to calculate the whole structure by using spatial solid nonlinear finite elements, for worse case the stiffness modification coefficients have to be determined in the same way based on specific geometric dimensions and existing material physical-mechanical properties and linear analysis have to be provided only after it.

შინაარსი

1.	შესავალი	18
1.1.	სადისერტაციო თემატიკის აქტუალობა	18
1.2.	სადისერტაციო თემატიკის სიახლე	19
1.3.	სადისერტაციო თემატიკის პრაქტიკული მნიშვნელობა	20
2.	ლიტერატურის მიმოხილვა	22
2.1.	ბეტონის შეპირაპირების ზოგადი მეთოდოლოგია, საშუალებები და მათი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები	22
2.2.	ბეტონის ადგეზიური თვისებების მოკლე მიმოხილვა	29
2.3.	ეკვივალენტურ ჩარჩოთა მეთოდი „ვეროკოდი 2“-ის („ბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტება“) მიხედვით	30
2.4.	ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების ზონაში მყოფი რკინაბეტონის ელემენტების გაანგარიშები პრობლემატიკა.....	33
3.	ჩატარებული მეცნიერული კვლევები, რიცხვითი და პრაქტიკული ექსპერიმენტები და მათი შედეგები	37
3.1.	მონოლითური რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის ფარგლებში ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის კვლევა სხვადასხვა მეთოდებით	37
3.2.	მონოლითური რკინაბეტონის ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული კოჭის ფარგლებში ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირება.....	48
3.3.	მონოლითური რკინაბეტონის ფილის სიხისტის მოდიფიკაცია ძველი და ახალი ბეტონის საკონტაქტო ზედაპირებისა და არაწრფივი დეფორმაციების გათვალისწინებით	60
3.4.	მრავალსართულიანი რკინაბეტონის შენობების გაანგარიშება სეისმურ დატვირთვებზე, სართულშუა გადახურვის ფილებში ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების (საკონტაქტო ზედაპირების) გათვალისწინებით. შედეგების შედარება.....	71
3.5.	ანაკრები ფილებისა და მონოლითური რკინაბეტონის ფილების უბნების ერთდროული მუშაობის კვლევა სოცმანური შეერთებისას ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით. შესაბამისი სიხისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტის განსაზღვრა პრაქტიკული ექსპერიმენტისა და სივრცითი არაწრფივი სასრული ელემენტებით ჩატარებული გაანგარიშების საფუძველზე.....	90
3.6.	სიხისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტის განსაზღვრა მონოლითური რკინაბეტონის ფილის ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით, რიცხვითი და პრაქტიკული ექსპერიმენტების საფუძველზე.....	105

4.	დასკვნა	122
4.1.	მიღებული შედეგებიდან გამომდინარე დასკვნები	122
4.2.	მიღებული შედეგებიდან გამომდინარე რეკომენდაციები.....	127
5.	გამოყენებული ლიტერატურა	129
	დანართი	130

ცხრილების ნუსხა

ცხრ.1 სხვადასხვა შემკვერელი ნივთიერებების ადგეზიის მაჩვენებლები ქვიშის მარცვლებთან მიმართებაში.....	29
ცხრ.2 რკინაბეტონის ბრტყელ ფილაში მღუნავი მომენტების დანიშვნის გამარტივებული ცხრილი.....	32
ცხრ.3 არმირებული რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის ტანში, ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირზე, τ_{xz} მხები დაბევების განაწილების ელექტრონული ცხრილი	44
ცხრ.4 ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული მონოლითური რკინაბეტონის კოჭის ტანში, ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირზე, τ_{xz} მხები დაბევების განაწილების ელექტრონული ცხრილი.....	56
ცხრ.5 სეისმური ძალების განმსაზღვრელი მონაცემთა ბაზა.....	76
ცხრ.6 შედეგების შეჯამება.....	84
ცხრ.7 რკინაბეტონის კონსოლური კოჭი.....	122
ცხრ.8 ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული კოჭი.....	123
ცხრ.9 მართკუთხა ბრტყელი ურიგელო გადახურვის ფილა.....	123
ცხრ.10 მრავალსართულიანი შენობის კარკასი.....	124
ცხრ.11 ანაკრებ-მონოლითური კოჭი.....	124
ცხრ.12 კვადრატული ბრტყელი ურიგელო გადახურვის ფილა.....	125
ცხრ.13 მიმდინარე ნაშრომში განსაზღვრული და რეკომენდებული კოეფიციენტების ჩამონათვალი.....	126

ნახაზების ნუსხა

ნახ.1 ბეტონის შეპირაპირების ზონის მოწყობის სქემა.....	23
ნახ.2 ბეტონის შეპირაპირება წვრილი დიამეტრის არმატურის ბადის მოწყობით.....	26
ნახ.3 რკინაბეტონის ბრტყელი ფილის დაყოფა ზოლებად.....	31
ნახ.4 ეფექტური გაფართოების განსაზღვრა.....	32
ნახ.5 რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის საანგარიშო სქემა.....	32
ნახ.6 არმირებული რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის სივრცითი მოდელი.....	40
ნახ.7 არმირებული რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის სივრცითი მოდელი, როდესაც კოჭის შუა წერტილში მოხდა ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირება ეპოქსიდური წებოთი.....	41
ნახ.8 არმირებული რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის სივრცითი მოდელი, როდესაც კოჭის შუა წერტილში მოხდა ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირება ეპოქსიდური წებოთი (მხები ძაბვები)	42
ნახ.9 არმირებული რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის სივრცითი მოდელი, როდესაც კოჭის შუა წერტილში მოხდა ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირება ეპოქსიდური წებოთი (საკონტაქტო ზედაპირი)	43
ნახ.10 არმირებული რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის სივრცითი არაწრფივი მოდელი, როდესაც კოჭის შუა წერტილში მოხდა ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირება ეპოქსიდური წებოთი. (მწვანე ზოლი).....	46
ნახ.11 მონოლითური რკინაბეტონის კონსოლური კოჭი. არაწრფივი ანგარიშის მსვლელობა.....	47
ნახ.12 ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული რკინაბეტონის კოჭის საანგარიშო სქემა.....	49
ნახ.13 ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული მონოლითური რკინაბეტონის კოჭის სივრცითი მოდელი.....	52
ნახ.14 ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული მონოლითური რკინაბეტონის კოჭის სივრცითი მოდელი, როდესაც კოჭის შუა წერტილში მოხდა ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირება ეპოქსიდური წებოთი.....	53

ნახ.15 ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული მონოლითური რკინაბეტონის კოჭის სივრცითი მოდელი, როდესაც კოჭის შუა წერტილში მოხდა ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირება ეპოქსიდური წებოთი.....54

ნახ.16 ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული მონოლითური რკინაბეტონის კოჭის სივრცითი მოდელი, როდესაც კოჭის შუა წერტილში მოხდა ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირება ეპოქსიდური წებოთი (საკონტაქტო ზედაპირი)55

ნახ.17 ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული მონოლითური რკინაბეტონის კოჭის სივრცითი არაწრფივი მოდელი, როდესაც კოჭის შუა წერტილში მოხდა ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირება ეპოქსიდური წებოთი (მწვანე ზოლი)58

ნახ.18 ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული მონოლითური რკინაბეტონის კოჭი. არაწრფივი ანგარიშის მსვლელობა.....59

ნახ.19 რკინაბეტონის ბრტყელი ფილის საანგარიშო სქემა.....62

ნახ.20 რკინაბეტონის ბრტყელი ფილის საანგარიშო სქემა 2-განზომილებიანი განსახილველი ეკვივალენტური ჩარჩოს კერძო შემთხვევისათვის.....63

ნახ.21 დადებითი და უარყოფითი მომენტების გადანაწილების ვიზუალიზაცია „სვეტის ზოლების“ და „შუალედური ზოლების“ მიხედვით.....65

ნახ.22 მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ფილა. საანგარიშო მოდელი სასრული ელემენტებით.....67

ნახ.23 მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ფილა. საანგარიშო მოდელი სივრცითი წრფივი სასრული ელემენტებით. მოდელირებულია წებო და საკონტაქტო ზედაპირები (მწვანე ზოლი)68

ნახ.24 მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ფილა. საანგარიშო მოდელი სივრცითი არაწრფივი (3D) სასრული ელემენტებით. მოდელირებულია წებო და საკონტაქტო ზედაპირები.....69

ნახ.25 მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ფილა. ძველი და ახალი ბეტონის საკონტაქტო (შეპირაპირების) ზედაპირის სივრცითი მოდელი.....70

ნახ.26 განხილული შენობის მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ურიგელო სართულშუა გადახურვის ფილა.....72

ნახ.27 განხილული შენობის მონოლითური რკინაბეტონის კარკასი.....	73
ნახ.28 შენობა-ნაგებობის საკუთარი რხევის i-ური ტონის (ფორმის) შესაბამისი დინამიკურობის განმსაზღვრელი β მრუდი, დამოკიდებული შენობა-ნაგებობის საკუთარი რხევის i-ური ტონის (ფორმის) პერიოდზე.....	75
ნახ.29 შენობის საანგარიშო სივრცითი (3D) მოდელი.....	77
ნახ.30 მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობა. (ბეტონის ერთიანად ჩასხმის შემთხვევა, შეპირაპირების გარეშე) საანგარიშო მოდელი ორგანზომილებიანი წრფივი სასრული ელემენტებით.....	78
ნახ.31 მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობა. (ბეტონის ერთიანად ჩასხმის შემთხვევა, შეპირაპირების გარეშე) საანგარიშო მოდელი ორგანზომილებიანი წრფივი სასრული ელემენტებით.....	79
ნახ.32 მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობა. (ბეტონის ერთიანად ჩასხმის შემთხვევა, შეპირაპირების გარეშე) საანგარიშო მოდელი ორგანზომილებიანი წრფივი სასრული ელემენტებით. სეისმური ძალებით გამოწვეული პერიოდები.....	80
ნახ.33 მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობა. (ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით) საანგარიშო მოდელი ორგანზომილებიანი წრფივი სასრული ელემენტებით.....	81
ნახ.34 მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობა. (ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით) საანგარიშო მოდელი ორგანზომილებიანი წრფივი სასრული ელემენტებით.....	82
ნახ.35 მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობა. (ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით) საანგარიშო მოდელი ორგანზომილებიანი წრფივი სასრული ელემენტებით. სეისმური ძალებით გამოწვეული პერიოდები.....	83
ნახ.36 მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობა. მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ურიგელო ტიპური სართულშორის გადახურვის ფილა. (ბეტონის ერთიანად ჩასხმის შემთხვევა, შეპირაპირების გარეშე)	85
ნახ.37 მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობა. მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ურიგელო ტიპური სართულშორის გადახურვის ფილა. (ბეტონის ერთიანად ჩასხმის შემთხვევა, შეპირაპირების გარეშე)	86

ნახ.38 მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობა. მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ურიგელო ტიპიური სართულშორის გადახურვის ფილა. (ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით)87

ნახ.39 მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობა. მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ურიგელო ტიპიური სართულშორის გადახურვის ფილა. (ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით)88

ნახ.40 მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობა. მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ურიგელო ტიპიური სართულშორის გადახურვის ფილა. (ბეტონის ერთიანად ჩასხმის შემთხვევა, შეპირაპირების გარეშე) კვანძის კონსტრუქცია89

ნახ.41 მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობა. მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ურიგელო ტიპიური სართულშორის გადახურვის ფილა (ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით) კვანძის კონსტრუქცია.....89

ნახ.42 ანაკრებ-მონოლითური კონსტრუქციის ჩაღუნვების მნიშვნელობები, გამომდინარე პრაქტიკული ექსპერიმენტის, რიცხვითი ექსპერიმენტის და ანალიზური მეთოდით გაანგარიშების შედეგებიდან.....92

ნახ.43 ანაკრები კოჭების და წინასწარდაძაბული ბაგროვანი არმატურის მქონე რკინაბეტონის კოჭის კონსტრუქციები.....95

ნახ.44 ანაკრებ-მონოლითური კონსტრუქცია. საანგარიშო სქემა.....95

ნახ.45 ანაკრებ-მონოლითური რკინაბეტონის კოჭი. (სოგმანებით შეპირაპირების გათვალისწინებით) საანგარიშო მოდელი სივრცითი წრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით. Q=10ტძ. დატვირთვის შემთხვევა.....96

ნახ.46 ანაკრებ-მონოლითური რკინაბეტონის კოჭი. (სოგმანებით შეპირაპირების გათვალისწინებით) საანგარიშო მოდელი სივრცითი წრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით. Q=40ტძ. დატვირთვის შემთხვევა.....97

ნახ.47 ანაკრებ-მონოლითური რკინაბეტონის კოჭი. (სოგმანებით შეპირაპირების გათვალისწინებით) საანგარიშო მოდელი სივრცითი წრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით. Q=70ტძ. დატვირთვის შემთხვევა.....98

ნახ.48 ანაკრებ-მონოლითური რკინაბეტონის კოჭი. (სოგმანებით შეპირაპირების გათვალისწინებით) საანგარიშო მოდელი სივრცითი არაწრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით. Q=10ტძ. დატვირთვის შემთხვევა.....99

ნახ.49 ანაკრებ-მონოლითური რკინაბეტონის კოჭი. (სოგმანებით შეპირაპირების გათვალისწინებით) საანგარიშო მოდელი სივრცითი არაწრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით. Q=40ტძ. დატვირთვის შემთხვევა.....100

ნახ.50 ანაკრებ-მონოლითური რკინაბეტონის კოჭი. (სოგმანებით შეპირაპირების გათვალისწინებით) საანგარიშო მოდელი სივრცითი არაწრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით. Q=70ტძ. დატვირთვის შემთხვევა.....101

ნახ.51 ანაკრებ-მონოლითური რკინაბეტონის კოჭი. (სოგმანებით შეპირაპირების გათვალისწინებით) საანგარიშო მოდელი სივრცითი არაწრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით. Q=10ტძ. დატვირთვის შემთხვევა. არაწრფივი ანგარიშის მსვლელობა.....102

ნახ.52 ანაკრებ-მონოლითური რკინაბეტონის კოჭი. (სოგმანებით შეპირაპირების გათვალისწინებით) საანგარიშო მოდელი სივრცითი არაწრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით. Q=40ტძ. დატვირთვის შემთხვევა. არაწრფივი ანგარიშის მსვლელობა.....103

ნახ.53 ანაკრებ-მონოლითური რკინაბეტონის კოჭი. (სოგმანებით შეპირაპირების გათვალისწინებით) საანგარიშო მოდელი სივრცითი არაწრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით. Q=70ტძ. დატვირთვის შემთხვევა. არაწრფივი ანგარიშის მსვლელობა.....104

ნახ.54 რკინაბეტონის ბრტყელი ფილის საანგარიშო სქემა.....107

ნახ.55 რკინაბეტონის ბრტყელი ფილის საანგარიშო სქემა 2-განზომილებიანი განსახილველი ეკვივალენტური ჩარჩოს კერძო შემთხვევისათვის.....108

ნახ.56 დადებითი და უარყოფითი მომენტების გადანაწილების ვიზუალიზაცია „სვეტის ზოლების“ და „შუალედური ზოლების“ მიხედვით.....110

ნახ.57 მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ფილა. Black Sea Hotel & Residences. საანგარიშო მონაცემები საინჟინრო კალკულატორისთვის.....112

ნახ.58 მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ფილა. საანგარიშო მოდელი სასრული ელემენტებით.....113

ნახ.59 მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ფილა. საანგარიშო მოდელი სივრცითი არაწრფივი (3D) სასრული ელემენტებით.....114

ნახ.60 მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ფილა. არაწრფივი ანგარიშის მსვლელობა.....115

ნახ.61 მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ფილა. საანგარიშო მოდელი სივრცითი არაწრფივი (3D) სასრული ელემენტებით, საკონტაქტო ზედაპირის გათვალისწინებით.....116

ნახ.62 ბეტონის შეპირაპირების ზონა. “ჰილტონის” სასტუმრო. ქ. ბათუმი. პროექტის სახელწოდება: ‘Black Sea Hotel & Residences’.....117

ნახ.63 ბეტონის შეპირაპირების ზონა. “ჰილტონის” სასტუმრო. ქ. ბათუმი. პროექტის სახელწოდება: ‘Black Sea Hotel & Residences’.....118

ნახ.64 ბეტონის შეპირაპირების ზონა დაბეტონების შემდეგ. “ჰილტონის” სასტუმრო. ქ. ბათუმი. პროექტის სახელწოდება: ‘Black Sea Hotel & Residences’.....118

ნახ.65 ექსპერიმენტალური მონაცემები.....119

ნახ.66 ბეტონის შეპირაპირების ზონა დაბეტონების შემდეგ. “ჰილტონის” სასტუმრო. ქ. ბათუმი. პროექტის სახელწოდება: ‘Black Sea Hotel & Residences’.....120

1. შესავალი

1.1. სადისერტაციო თემატიკის აქტუალობა

თანამედროვე შენობა-ნაგებობათა მშენებლობისა და მათი მზიდი კონსტრუქციული ელემენტების დამზადებისათვის ჩვენს ქვეყანაში ძირითადად გამოიყენება მონოლითური რკინაბეტონი. მშენებლობის პროცესში, ხშირ შემთხვევაში, ადგილი აქვს უკვე არსებულ რკინაბეტონის კონსტრუქციების ზედაპირზე ახალი ბეტონის განთავსებას. ასევე ხშირია დიდი მოცულობის მქონე მონოლითური რკინაბეტონის კონსტრუქციული ელემენტების ეტაპობრივი დაბეტონება. ძირითადად, ასეთი, შედარებით ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების შემთხვევებს წარმოადგენენ საძირკვლის ფილების, სართულშუა გადახურვის ფილების და რიგელების შეუღლების ზონები. შეპირაპირების ზედაპირებზე, არაერთდროულად დაბეტონებულ კონსტრუქციულ ელემენტებში, სხვადასხვა სიმტკიცის და დრეკადობის მონდულის მქონე ბეტონის ურთიერთქმედების საკონტაქტო ზედაპირების გავლენა საერთო დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობაზე, როგორც ცნობილია ნაკლებადაა შესწავლილი. საკონტაქტო ზედაპირებზე და ასევე რკინაბეტონის კონსტრუქციების ტანშიც ძაბვები სავარაუდოდ არათანაბრადაა გადანაწილებული, არაწრფივ სტადიაზე დეფორმაციები განსაკუთრებით დიდ მნიშვნელობებს ღებულობენ, აგრეთვე დიდი მნიშვნელობა აქვს შემაკავშირებელი საშუალებების (ეპოქსიდური წებო, არმირების ბადე და ა.შ.) ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს. შეპირაპირების ზონა და შესაბამისად შეპირაპირების ზონებში არსებული მონოლითური რკინაბეტონის ელემენტები, ჯერ კიდევ წარმოადგენენ ნაკლებად შესწავლილ პრობლემას. აღნიშნულ პრობლემათა დაწვრილებითი შესწავლა, მთლიანად რკინაბეტონის მზიდი კონსტრუქციული ელემენტებისა და მათი დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობისათვის არის ძალიან მნიშვნელოვანი პროექტირებისა და მშენებლობისათვის, გააჩნია დიდი პრაქტიკული, კომერციული და სამეცნიერო-ტექნიკური ღირებულება, განსაკუთრებით დიდმალიანი შენობებისა და სეისმური

რეგიონებისათვის. კერძოდ, დიდმალიანი შენობების პრაქტიკული პროექტირებისათვის ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს რკინაბეტონის მზიდი ელემენტების დეფორმაციების მაღალი სიზუსტით განსაზღვრას, ბეტონის შეპირაპირების გავლენის გათვალისწინებით, არაწრფივ სტადიაზე.

სადისერტაციო ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს ზემოთ აღნიშნული და პრაქტიკულ პროექტირებაში არსებული პრობლემების კვლევას და მათი ნაწილის გადაწყვეტას, რაც საშუალებას გვაძლევს გამარტივებული მეთოდებით შევკლოთ მონოლითური რკინაბეტონის ელემენტების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის განსაზღვრა ბეტონის შეპირაპირების ზონების გათვალისწინებით.

12. სადისერტაციო თემატიკის სიახლე

ნაშრომში განხილულია არსებული პრობლემატური საკითხის რამდენიმე შემთხვევა რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის და მონოლითური რკინაბეტონის ურიგელო ბრტყელი ფილის მაგალითზე. შესრულებულია მრავალმხრივი გაანგარიშებები: კლასიკური მეთოდით, ეკვივალენტურ ჩარჩოთა მეთოდით, **Microsoft Excel-ის** ბაზაზე საგანგებოდ შექმნილი საინჟინრო კალკულატორით და რიცხვითი მეთოდებით, სივრცითი არაწრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით, კომპიუტერული საანგარიშო კომპლექსის **LIRA 9.6 R6-ის** გამოყენებით. სივრცითი არაწრფივი სასრული ელემენტების გამოყენება იშვიათი მოვლენაა თვით თანამედროვე კომპიუტერული გაანგარიშებებისას, მითუმეტეს ბეტონის შეპირაპირებისათვის საჭირო ეპოქსიდური წებოს და დამაკავშირებელი არმირების ბადის მოდელირების გათვალისწინებით. გარდა თეორიული კვლევისა ჩატარდა პრაქტიკული ექსპერიმენტი, რომლის დროსაც გაიზომა მონოლითური ურიგელო ბრტყელი ფილის ჩალუნვები ბეტონის შეპირაპირების ზონაში.

ჩატარდა მრავალმხრივი თეორიული კვლევების, გაანგარიშებების და ექსპერიმენტით მიღებული შედეგების ანალიზი. გაანგარიშების

გამარტივების მიზნით და არაწრფივი დეფორმაციების მისაღებად განსაზღვრულია სიხისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტი, რაც გულისხმობს საანგარიშო ელემენტის ღუნვის სიხისტის (EI) და ღერძული სიხისტის (EA) შემცირებას, ამ კოეფიციენტზე გადამრავლებით, გამომდინარე არაწრფივობის ფიზიკური ბუნებიდან (ბზარწარმოქმნა, არაერთგვაროვანი შეპირაპირება, კონტაქტი და ა.შ.) და გასაანგარიშებელი ელემენტის მდგომარეობიდან. სიხისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტი საშუალებას მოგვცემს შენობის სუპერსტრუქტურის ან ცალკეული კონსტრუქციული ელემენტის და შეპირაპირების მოდელის აგება და გაანგარიშება მოვახდინოთ წრფივად, მაგრამ შემცირებული სიხისტეებით, ისე რომ საბოლოო შედეგი პრაქტიკულად დაემთხვას არაწრფივი გაანგარიშებების შედეგებს.

გარდა ამისა, რიცხვითი ექსპერიმენტების საფუძველზე დადგენილია შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირზე მოქმედი მხები ძაბვების კონცენტრაციის კოეფიციენტი, რაც საშუალებას გვაძლევს ზუსტად შევარჩიოთ ეპოქსიდური წებოს მახასიათებლები და საიმედოდ დავაპროექტოთ შეპირაპირების ზონაში მყოფი ელემენტი.

აგრეთვე ჩატარებულია მრავალსართულიანი მონოლითური რკინაბეტონის შენობის სტატიკური და დინამიკური გაანგარიშებები, სართულშუა გადახურვის ფილებში ბეტონის შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირების გათვალისწინებით. გაანალიზებულია რკინაბეტონის ელემენტების შეპირაპირების გავლენა შენობის მთელს კონსტრუქციაზე.

მიღებული თეორიული და ექსპერიმენტული შედეგების ანალიზი ცხადყოფს, რომ აღნიშნული მეთოდებით გაანგარიშებული ბეტონის შეპირაპირების კვანძები აკმაყოფილებს სიმტკიცის და დეფორმაციის პირობებს.

1.3. სადისერტაციო თემატიკის პრაქტიკული მნიშვნელობა

შენობების გაანგარიშების დროს დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მიღებული შედეგების მაღალ სიზუსტეს, რათა მაქსიმალურად

დაკმაყოფილებულ იქნეს სამშენებლო ინდუსტრიის მოთხოვნა – შენობა იყოს მტკიცე, მდგრადი და ამავედროულად ყველაზე ეკონომიური შესაძლო ვარიანტთა შორის. შედეგების მაღალი სიზუსტით მისაღებად საჭიროა განხორციელდეს შენობის სუპერსტრუქტურის არაწრფივი გაანგარიშება, როდესაც არ სრულდება სუპერპოზიციის პრინციპი და, შესაბამისად, ძალების ცალ-ცალკე მოქმედების შედეგად დეფორმირებული სტრუქტურა უწყვეტად განიცდის შემდგომ დეფორმაციებს და ჯამში ვლებულობთ უფრო დიდ გადაადგილებებს, ვიდრე ყველა ძალოვანი ფაქტორის ერთდროული მოქმედებისას. არაწრფივი გაანგარიშება განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ბეტონის შეპირაპირების ზონაში მყოფი რკინაბეტონის მზიდი ელემენტებისათვის.

ყველა ზემოხსენებული ფაქტორის გათვალისწინება, ამის საფუძველზე შენობის სუპერსტრუქტურის უზუსტესი მოდელის, სივრცითი არაწრფივი 3D სასრული ელემენტებით აგება, დინამიკური გაანგარიშება და შესაბამისი შედეგების მიღება, საკმაოდ პრობლემატური საკითხია თვით თანამედროვე ტექნოლოგიებისათვისაც. ამგვარი სახის გაანგარიშებები მოითხოვს ძალიან მძლავრ სუპერკომპიუტერებს და შესაბამის მეთოდებს, დაკავშირებულია დიდ დროსთან და გამოსადეგარია პრაქტიკული, კომპიუტერული პროექტირებისათვის.

სიხისტის მოდიფიკაციის და ძაბვების კონცენტრაციის კოეფიციენტის განსაზღვრა ბეტონის შეპირაპირების ზონაში მყოფი ელემენტებისათვის, საშუალებას მოგვცემს მარტივი გზებით მივაღწიოთ მაღალი სიზუსტის შედეგებს პრაქტიკულ პროექტირებაში.

2. ლიტერატურის მიმოხილვა

2.1. ბეტონის შეპირაპირების ზოგადი მეთოდოლოგია, საშუალებები და მათი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები.

სამხრეთ ფლორიდის უნივერსიტეტმა (აშშ) შეიმუშავა რკინაბეტონის ელემენტების შეპირაპირების ზოგადი მეთოდოლოგია პრაქტიკული ექსპერიმენტებისა და ლაბორატორიული კვლევების საფუძველზე. მეთოდოლოგიაში არ არის განხილული შეპირაპირების ზონაში მყოფი რკინაბეტონის ელემენტების გაანგარიშებანი და მათი თავისებურებანი, მაგრამ კარგად არის ჩამოყალიბებული ზოგადი პროცედურები, შეპირაპირების საშუალებები და მათი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები. გავეცნოთ მათი კვლევების შედეგებს.

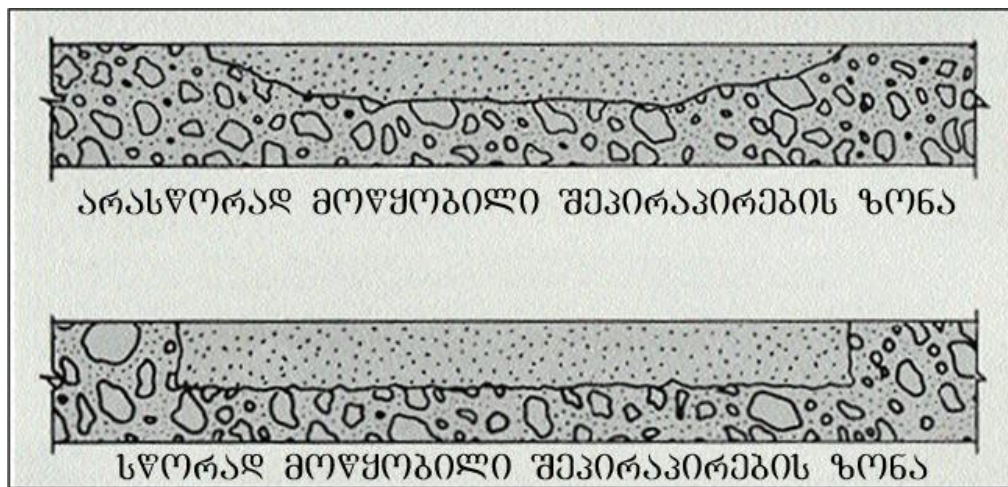
ბეტონის შეპირაპირების პროცედურისათვის აუცილებელია საკონტაქტო ზედაპირებიდან სხვადასხვა მექანიკური საშუალებით მოცილებულ იქნას ნებისმიერი დაზიანებული, შესუსტებული და შეუკავშირებელი ფრაგმენტი. ამის შემდეგ ზედაპირი დამუშავდეს ქვიშით ან წყლის ჭავლით, ბოლოს კი გასუფთავდეს და გაშრეს. ეს პროცედურა საკონტაქტო ზედაპირს მოაშორებს ნაგავს, მტვერს, მცენარეულ ნარჩენებს, ზეთს და სხვა უცხო ნივთიერებებს, რამაც შეიძლება ხელი შეუშალოს ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირებას.

ძირითადად, შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირის დამუშავება-მომზადებისათვის გამოიყენება წყალი და ჰაერი, მაგრამ მანამდე უნდა დაერწმუნდეთ რომ გამოსაყენებელი წყალი არის სუფთა და აგრეთვე რომ არ არის დაბინძურებული არც დამუშავებისთვის გამოსაყენებელი შეკუმშული ჰაერი. რეკომენდებულია, რომ ყველა ხელსაწყო, რომელიც გვაწვდის შეკუმშულ ჰაერს და წყალს, იყოს აღჭურვილი წყლისა და ზეთის ეფექტური ფილტრებით, რათა არ მოხდეს საკონტაქტო ზედაპირების დაბინძურება.

მუავით დამუშავება ადრეულ პერიოდში ითვლებოდა შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირის მომზადების ერთ-ერთ მეთოდად, მაგრამ თანამედროვე გამოცდილებამ გვაჩვენა, რომ ეს მეთოდი არ არის ისეთი სანდო, როგორც მექნიკური მეთოდები. ასევე ზოგიერთი გამწმენდი მუავა შეიცავს ქლორიდებს, რასაც შუქლია გამოიწვიოს არმატურის კოროზია. აქედან გამომდინარე, მუავით დამუშავება არ არის რეკომენდებული თუ გასუფთავების სხვა საშუალებები არსებობს.

შეპირაპირების ზონები, რაც უფრო მარტივად მოეწყო, მით უკეთესია პრაქტიკული ტექნოლოგიური მოთხოვნებიდან გამომდინარე.

დამუშავებისთვის სასურველია რომ ბეტონი იყოს ჯერ კიდევ ახალი, 12-24 საათის ჩაგებული, მაგრამ შეპირაპირების ზონების გაკეთება შეიძლება ნებისმიერ დროს. დეფექტური ადგილები უნდა ამოიჭრას სწორად, მართი კუთხეებით. როდესაც ამოჭრა ხდება არმატურის გარშემო სულ მცირე 25 მმ-ის სივრცე უნდა დარჩეს თითოეული არმატურის გაშიშვლებული დეროს გარშემო. არმატურა ყოველთვის უნდა დარჩეს ნაწილობრივ დაბეტონებული. (ნახ.1)



ნახ.1 ბეტონის შეპირაპირების ზონის მოწყობის სქემა

მათი რეკომენდაციების მიხედვით მშენებლებს შეუძლიათ მოამზადონ კონსტრუქციული შეერთებების ზედაპირები პირველი ბეტონის

განთავსებისთანავე. კონსტრუქციული ელემენტების კორიზონტალური შეერთებებისას ახალი ბეტონის ზედაპირი შესაძლოა გაუხეშდეს ჯერ კიდევ მანამ, სანამ პლასტიკურია. ახალი ბეტონი შეიძლება მარტივად ამოიჭრას და დაიჩქვოს უხეში ზედაპირის შესაქმნელად. თანამედროვე მშენებლობისას არსებობს საშუალებები, და დამატებითი მინარევები, რაც ანელებს ზედაპირის გამაგრებას და მისი შედარებით მარტივად დამუშავება, შესაძლებელია 48 საათის განმავლობაში. კონსტრუქციული ელემენტების ვერტიკალური შეერთებისას, როგორც წესი, ბეტონი იმდენად გლუვია რომ შეუძლებელია ხარისხიანი შეპირაპირება, ამიტომ საჭირო ხდება ბეტონის დამუშავება უხეში ლითონის ზედაპირიანი ინსტრუმენტებით თუ ის 3 დღის ჩაგებულია, სხვა შემთხვევაში კი საჭიროა ჩაქუჩით დამტვრევა ან ქვიშით და წყლით დამუშავება და შემდეგ მისი გარეცხვა-დასუფთავება მტვრის და დარჩენილი ნაწილაკებისაგან.

შეპირაპირების ყველაზე პრაქტიკული და ეკონომიური აგენტები არის ქვიშა-ცემენტი, წყალ-ცემენტი, ეპოქსიდური წებოები და არმატურის ბადეები. მაგალითად: **ACI 503** არის ახალი და ძველი, გამაგრებული ბეტონისთვის, გათვალისწინებული წებო. აგრეთვე გამოიყენება **Redux**-ის ტიპის წებოც.

ეპოქსიდური წებოები და მისი გამამაგრებლები ქიმიური რეაქციაში შედიან ერთმანეთთან, რაც მასალის გამაგრებას უზურუნველყოფს. წებოს და გამამაგრებლის პროპორცია უკიდურესად მნიშვნელოვანია. მანამდე უნდა ვურიოთ ხსნარს სანამ არ გაჯერდება. ეს უზურუნველყოფს შეპირაპირების სრულ რეაქციას. ეპოქსიდური წებოები შეიძლება მიღებულ იქნას სხვადასხვა ტემპერატურის, მშრალი და ტენიანი ზედაპირებისათვის.

განურჩევლად შეპირაპირების საშუალებისა, მინიმალური ბმის ძალის პირობა დაკმაყოფილებული უნდა იყოს. ლაბორატორიული გამოცდების შესაბამისად **2.8 მპა-ზე** (28კგ/სმ²) მეტი ბმის ძალა მიღწევადია, მაგრამ **1,4 მპა-ის** (14კგ/სმ²) მახლობლობაში მეოფი ბმის ძალაც მეტ-ნაკლებად მისაღებად შეიძლება ჩაითვალოს. **1,4 მპა (14კგ/სმ²)**

ბმის ძალა გამოიყენება როგორც საორიენტაციო საანგარიშო სიდიდე შეპირაპირების ზონების პროექტირებაში.

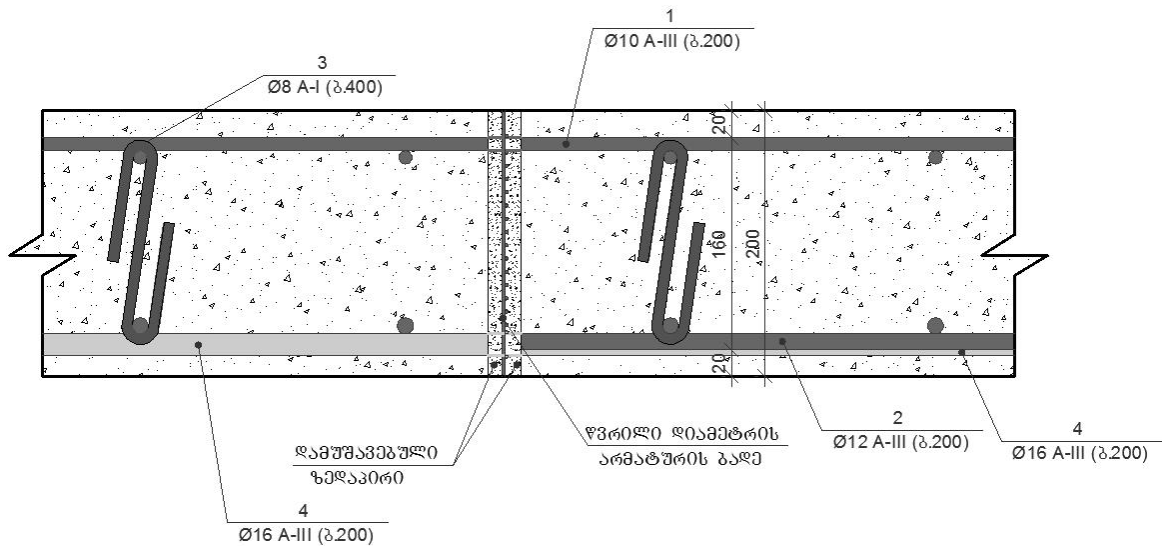
Redux-ის ტიპის ეპოქსიდურ წებოებს გააჩნიათ ბეტონის საშუალო მონაცემებთან შედარებით დაახლოებით 8-ჯერ უფრო მცირე დრეკადობის მოდული ($E \approx 325000 \text{ტ/მ}^2$) და საკმაოდ მაღალი პუასონის კოეფიციენტი ($\mu \approx 0.35$). წყალ/ცემენტის და ქვიშა/ცემენტის ხსნარებიც ხასიათდებიან დაახლოებით მსგავსი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებით, გააჩნიათ დაბალი დრეკადობის მოდული ($E \approx 300000 \text{ტ/მ}^2$) და საკმაოდ მაღალი პუასონის კოეფიციენტი ($\mu \approx 0.40$).

ზედაპირის მომზადების შემდეგ უნდა გადაწყდეს ბეტონი იყოს მშრალი თუ ტენიანი, მანამ სანამ შეპირაპირების საშუალებას განათავსებდნენ საჭირო ადგილზე. სპეციალისტების უმეტესობა რეკომენდაციას იძლევა ტენიან, მაგრამ უწყლო ზედაპირზე, განსაკუთრებით ცხელი ქარიანი ამინდებისას. შეპირაპირების საშუალება ორივე მხრიდან უნდა დაცულ იქნას გაშრობისაგან. ატმოსფეროს ზემოქმედება აშრობს შეპირაპირების საშუალებებს ზედა მხრიდან, ქვედა მხრიდან კი ფოროვან შემავსებლებს ან ბეტონს შეუძლია შეიწოვოს გარკვეული რაოდენობის წყალი, რაც ხელს შეუშლის სრულ ჰიდრაციას და გამოიწვევს სუსტ შეპირაპირებას ან შესაძლოა ფოროვანმა ზედაპირმა შეიწოვოს საკმაო რაოდენობით ეპოქსიდური წებო და პრაქტიკულად მოშალოს დაწებების ხაზი.

შეპირაპირების ხსნარი უნდა განთავსდეს ახალი ბეტონის ჩაგების წინ, თანაც მხოლოდ იმ რაოდენობით, რამდენიც დაიფარება ახალი ბეტონით, სანამ ეპოქსიდი გაშრებოდეს. წებოს რაოდენობა იცვლება ამინდის და სხვა ატმოსფერული ზემოქმედებების გათვალისწინებით. მას შემდეგ რაც გამოყენებულ იქნება შეპირაპირების საშუალება ჩვეულებრივად ჩაიგოს ბეტონი.

შეპირაპირების საშუალებად გამოიყენება საკონტაქტო ზედაპირზე განთავსებული წვრილი დიამეტრის არმატურის ბადეც, რომელიც უნდა

განთავსდეს მართი კუთხით მოჭრილ, კარგად დამუშავებულ ზედაპირზე და შემდეგ ჩვეულებრივ ჩაიგოს ბეტონი. (ნახ.2)



ნახ.2 ბეტონის შეპირაპირება წვრილი დიამეტრის არმატურის ბაჟის მოწყობით

გამაგრება უნდა დაიწყოს, როგორც კი მორჩება ახალი ბეტონის ჩაგება. ტენიანობა და ტემპერატურა ორივე ახდენს გავლენას შეპირაპირებულ ბეტონზე. დაბეტონების ნორმალურ პირობებად უნდა ჩაითვალოს $+20C$ -დან $+22C$ -მდე ტემპერატურა და 40% -დან 60% -მდე ტენიანობა. განსხვავებულმა შეკლებამ, თერმულმა მოვლენებმა და ტენიანობის პროცენტმა შეიძლება გამოიწვიოს გადაძაბვა და ბმის დამსხვრევა გამაგრების პროცესში. ეს განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, რადგან ახალ ბეტონს გააჩნია სხვა თვისებები. (დრეკადობის მოდული, სიმტკიცე, სითბური გაფართოების კოეფიციენტი და ა.შ)

“ევროკოდი-2” (“ბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტება”) განსაზღვრავს ბეტონის სიმტკიცის და დრეკადობის დამოკიდებულებას დროზე. ბეტონის სიმტკიცე t ასაკში დამოკიდებულია ცემენტის სახეობაზე, ტემპერატურაზე და ჩასხმის პირობებზე. $T=+20C$ ტემპერატურისას და **EN 12390** ევრონორმით გათვალისწინებული ჩასხმის

პირობებში ბეტონის სიმტკიცე კუმშვაზე სხვადასხვა ასაკში შეიძლება შეფასდეს შემდეგი ფორმულით:

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t)f_{cm} \quad (1)$$

$\beta_{cc}(t)$ განისაზღვრება:

$$\beta_{cc}(t) = e^s \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{1/2} \right] \quad (2)$$

სადაც:

$f_{cm}(t)$ არის ბეტონის საშუალო სიმტკიცე კუმშვაზე t დღის ასაკში

f_{cm} არის ბეტონის საშუალო სიმტკიცე კუმშვაზე 28 დღის ასაკში

$\beta_{cc}(t)$ არის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ბეტონის ასაკზე t არის ბეტონის ასაკი დღეებში

s არის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ცემენტის სახეობაზე

ბეტონის დრეკადობის მოდულის ცვლილება დროში შესაძლებელია, რომ შეფასდეს შემდეგნაირად:

$$E_{cm}(t) = (f_{cm}(t)/f_{cm})^{0.3} E_{cm} \quad (3)$$

სადაც:

$E_{cm}(t)$ არის ბეტონის დრეკადობის მოდული t დღის ასაკში

$f_{cm}(t)$ არის ბეტონის საშუალო სიმტკიცე კუმშვაზე t დღის ასაკში

f_{cm} არის ბეტონის საშუალო სიმტკიცე კუმშვაზე 28 დღის ასაკში

E_{cm} არის ბეტონის დრეკადობის მოდული 28 დღის ასაკში

პენსილვანიის სახელმწიფო უნივერსიტეტი (აშშ) გვაწოდის ზოგად დასკვნებს და რეკომენდაციებს რკინაბეტონის ელემენტების შეპირაპირების ზონის რღვევის შესახებ, მაგრამ არც აქ არის განხილული მთლიანი რკინაბეტონის ელემენტების შეპირაპირების გაანგარიშებანი, მითუმეტეს არაწრფივ სტადიაზე.

მათი დასკვნები და რეკომენდაციები მიგვითითებენ, რომ რკინაბეტონის ელემენტების შეპირაპირების მრღვევი ძალა ძირითადად დამოკიდებულია შეპირაპირების ზონის სიგანეზე და სისქეზე. შეპირაპირების სიგანის ზრდას გააჩნია უდიდესი გავლენა ელემენტის

მრღვევი ძალის ზრდაზე, მაგრამ მაინც შეიძლება შეზღუდულ იქნას გამომდინარე ელემენტის გეომეტრიული ფორმიდან.

შეპირაპირების ზონის სისქის ზრდა მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მრღვევ ძალაზე.

შეპირაპირების რღვევა ხდება ეტაპობრივად. წარმოდგენილია შეპირაპირების საკმარისი სიგრძე, რაც საშუალებას გაძლევს განვათავსოთ შეპირაპირების სრული მზიდუნარიანობა არა მარტო ერთ რეგიონში, ლოკალურად. შესაბამისი დეფორმაციის და დატვირთვა-გადაადგილების მაჩვენებლები ადასტურებენ ზემოთ ხსენებულ დაკვირვებებს.

აგრეთვე გვაწვდიან ინფორმაციას შეპირაპირების რღვევის შესახებ თავისუფალ ბოლოზე, როგორცაა ბზარი კოჭში, რაც გადაიზრდება ბეტონის ფრაგმენტების დაშორშორებაში და მოჰყვება შეპირაპირების რღვევა ეპოქსიდ-ბეტონის ზედაპირზე.

რკინაბეტონის კონსტრუქციის შეპირაპირების ზონის საბოლოო რღვევა არის ძალიან მყიფე და გამოთავისუფლებული ენერგია, ზოგჯერ ამსხვრევს თვითონ რკინაბეტონის ელემენტსაც კი.

პენსილვანიის სახელმწიფო უნივერსიტეტის კვლევის შედეგების ანალიზი გვაჩვენებს, რომ აუცილებელია გაგრძელდეს კვლევა ამ მიმართულებით სხვა შედეგების მისაღებად და სრულყოფისათვის. საჭიროა შეიქმნას რკინაბეტონის კონსტრუქციული ელემენტების და მათი შეპირაპირების ზონების ზუსტი მოდელები, ჩატარდეს სხვადასხვა რიცხვითი და პრაქტიკული ექსპერმენტები, რათა მივიღეთ ამგვარი კონსტრუქციების დაპროექტებისთვის საჭირო კონდიციებამდე.

პენსილვანიის სახელმწიფო უნივერსიტეტიც იძლევა რეკომენდაციას, რომ წარმართოს მუშაობა შეპირაპირების ზონაში მყოფი ელემენტების უფრო ზუსტი მოდელების მისაღებად, რათა მოხდეს მათი ინტეგრება პროექტირებაში.

2.2. ბეტონის ადგეზიური თვისებების მოკლე მიმოხილვა

როგორც ცნობილია, ბეტონის ადგეზია არის მისი უნარი მიეხას ზედაპირზე სხვა ნივთიერებებს და მასალებს. ადგეზია თამაშობს ძირითად როლს ბეტონისა და რკინაბეტონის სიმტკიცეში და ასევე მთლიანად ძველი და ახალი ბეტონით შეპირაპირებული რკინაბეტონის კონსტრუქციული ელემენტების ანგარიშის დროსაც. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ადგეზია და მისი გათვალისწინება თუ რკინაბეტონის ისეთი ელემენტის გაანგარიშებასთან გვაქვს საქმე, რომელიც მდებარეობს ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების ზონაში.

რუსულ ელექტრონულ ლიტერატურაში საკმაო რაოდენობით გვხვდება ბეტონის ადგეზიური თვისებების კვლევის შედეგები. ადგეზიის როლი ბეტონის სიმტკიცეში, მდგომარეობს მასში, რომ მის სიდიდეზეა დამოკიდებული ცემენტის ქვის კავშირი ბეტონის შემავსებელთან. ამიტომ ის არ არის ერთგვარი და დამოკიდებულია შემესხები ნივთიერების სახეობებზე.

რუსეთში ჩატარებულმა კვლევის შედეგებმა აჩვენა, რომ ქვიშის მარცვლებთან ადგეზიის სიდიდის მიხედვით, რაც განსაზღვრულია სიმტკიცის ზღვარით ღუნვისას, შემკვრელი ნივთიერებები განლაგებული არიან შემდეგი თანამიმდევრობით:

თხევადი მინა	80 კგ/სმ ²
მაგნეზირებული ცემენტი	56 კგ/სმ ²
პორტლანდცემენტი	30 კგ/სმ ²
პუცოლანიანი პორტლანდცემენტი	20 კგ/სმ ²
თაბაშირი	14 კგ/სმ ²
კირი	5 კგ/სმ ²

ცხრ.1 სხვადასხვა შემკვრელი ნივთიერებების ადგეზიის მაჩვენებლები ქვიშის მარცვლებთან მიმართებაში

ცემენტის დაფქვის სიწმინდის გაზრდის შემთხვევაში ადგეზიის მაჩვენებლები მატულობს.

პორტლანდცემენტის ქვის ადგეზიური მაჩვენებლები სხვა მასალებთან მიმართებაში, წარმოდგენილია შემდეგნაირად (სიმტკიცის ზღვარი ღუნვისას 6 თვის ასაკის ბეტონისათვის):

ზოგადად, რკინაბეტონში, არმატურასთან ადგეზიური ბმის ძალაზეა დამოკიდებული რკინაბეტონის მონოლითურობა და კონსტრუქციის მდგრადობა. ღუნვისას, რკინაბეტონის ელემენტებში წარმოიშობა ბეტონის ჭრის ტენდენცია, არამტურასთან კონტაქტის ზონაში, რაც იწვევს კონსტრუქციის რღვევას.

არსებული გამოკვლევები მეტ-ნაკლებად კარგად აღწერს ბეტონის ადგეზიურ მაჩვენებლებს და ბმის პარამეტრებს, მაგრამ ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების ზონაში მყოფი ელემენტების მთლიანი გაანგარიშება სიმტკიცეზე და განსაკუთრებით არაწრფივ დეფორმაციებზე კვლავ ღია საკითხად რჩება.

2.3. ეკვივალენტურ ჩარჩოთა მეთოდი “ევროკოდი 2”-ის (“ბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტება”) მიხედვით.

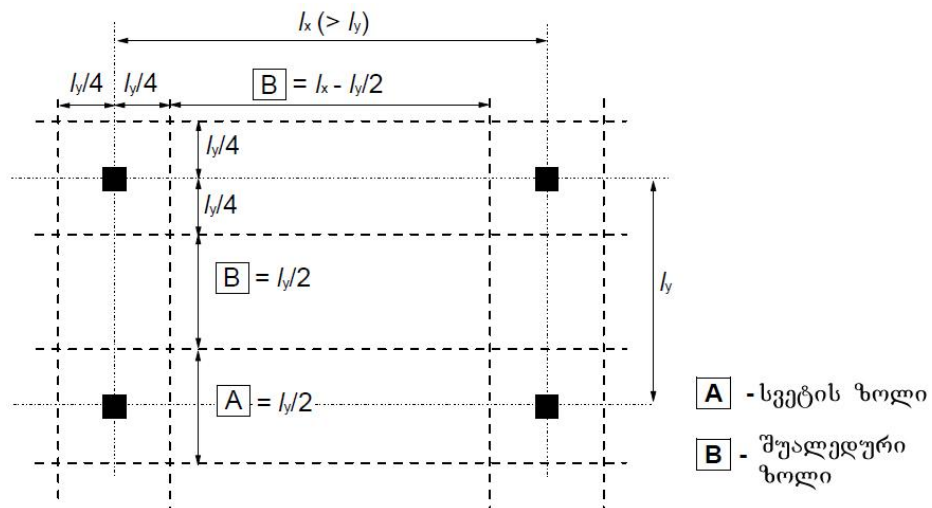
თანამედროვე მშენებლობაში სულ უფრო და უფრო ხშირად გამოიყენება რკინაბეტონის ბრტყელი უკოჭო გადახურვის ფილები. ზოგიერთ შემთხვევაში, დიდმალიანი მშენებლობებისას, ერთდროულად ვერ ხერხდება მთელი ფილის დაბეტონება და ჩნდება ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების ზონები.

დაპროექტების ევროპული ნორმატიული დოკუმენტაცია, კერძოდ “ევროკოდი 2” (“ბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტება”) გეთავაზობს, რომ ბრტყელი ფილების გაანგარიშება მოხდეს ანგარიშის უკვე დამტკიცებული მეთოდებით. ერთ-ერთ ასეთ მეთოდად “ევროკოდი 2” განიხილავს ეკვივალენტურ ჩარჩოთა მეთოდს.

“ეკვივალენტურ ჩარჩოთა მეთოდის მიხედვით კონსტრუქცია უნდა დაიყოს გრძივი და განივი მიმართულებით ჩარჩოებად, რომლებიც თავის მხრივ შედგება სვეტებისგან და ფილის დანაყოფებისგან მიმდებარე ზოლების ცენტრებს შორის. რკინაბეტონის ელემენტების სიხისტე უნდა გამოთვლილ იქნას მათი სრული განივკვეთის მიხედვით. ვერტიკალური დატვირთვების შემთხვევაში სიხისტის გამოთვლა უნდა მოხდეს ზოლის მთლიანი სიგანის გათვალისწინებით. ჰორიზონტალური დატვირთვების შემთხვევაში ამ სიდიდის მხოლოდ 40% უნდა იქნას გამოყენებული, რათა აისახოს მომეტებული მოქნილობა სვეტის და ფილის შეერთების ზონაში, ბრტყელი უკოჭო ფილების შემთხვევისას, უშუალოდ სვეტის და კოჭის შეერთების ზონასთან შედარებით. გაანგარიშებისას სრული დატვირთვა უნდა იქნას ზოლზე მოდებული თითოეული მიმართულებისთვის ცალ-ცალკე.” [1]

გაანგარიშებით მიღებული მთლიანი მდუნავი მომენტი უნდა გადანაწილდეს ბრტყელი ფილის მთელს სიგანეზე. დრეკადი ანალიზის შემთხვევაში უარყოფითი მომენტები კონცენტრირდებიან სვეტების ღერძებთან.

რკინაბეტონის ბრტყელი ურიგელო ფილა უნდა დაიყოს სვეტის ზოლებად (“A”) და შუალედურ ზოლებად (“B”) (ნახ.3) და მდუნავი მომენტები უნდა დაინიშნოს, როგორც ეს მოცემულია ცხრ.2-ში.



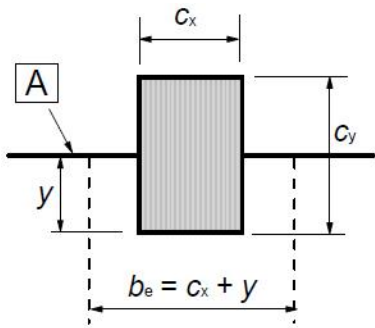
ნახ. 3 რკინაბეტონის ბრტყელი ფილის დაყოფა ზოლებად.

	უარყოფითი მომენტი	დადებითი მომენტი
სვეტის ზოლი	60-80%	50-70%
შუალედური ზოლი	40-20%	50-30%
შენიშვნა: მთლიანი უარყოფითი და დადებითი მომენტების ჯამი, რასაც მიიღებს სვეტის ზოლი და შუალედური ზოლი, უნდა შეადგენდეს 100%-ს.		

ცხრ. 2 რკინაბეტონის ბრტყელ ფილაში მღუნავი მომენტების დანიშნის გამარტივებული ცხრილი.

სვეტის ზოლი პირობითად ეწოდება ფართობს, რომლის ნახევარსიგანე ტოლია უმცირესი მალის 1/4 ნაწილის ერთი მიმართულებით, ხოლო მეორე მიმართულებით მალის ტოლია. შუალედური ზოლი შესაბამისად წარმოადგენს დანარჩენ ფართობს სვეტის ზოლებს შორის.

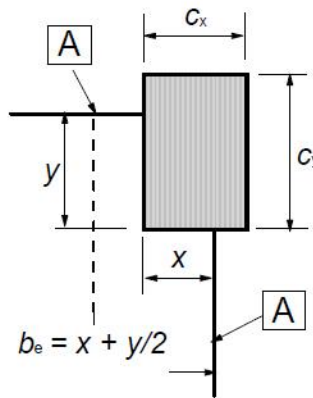
მაშინ როდესაც სვეტის ზოლის სიგანე განსხვავდება $0.5I_x$ სიდიდისგან, რაც ნაჩვენებია ნახ.3-ზე, და არის პილიასტრის სიგანის ტოლი, ამ შემთხვევაში შუალედური ზოლიც უნდა დაინიშნოს შესაბამისად.



შენიშვნა: y შეიძლება იყოს $> c_y$

a) კილის სვეტი

შენიშვნა: y არის მანძილი ფილის კიდიდან სვეტის შიდა ზედაპირამდე



შენიშვნა: x შეიძლება იყოს $> c_x$ და y შეიძლება იყოს $> c_y$

b) კუთხის სვეტი

A - ფილის კიდე

ნახ. 4 ეფექტური გაფართოების განსაზღვრა, b_e

გარდა შემთხვევისა, როდესაც გვაქვს გრეხვის შესაბამისად დაპროექტებული პერიმეტრის კოჭები, მომენტების გადაცემა კიდის ან კუთხის სვეტებისკენ უნდა შეიზღუდოს კვეთის წინაღობის მომენტით, რომელიც ტოლია: $0.17 \cdot b_e \cdot d^2 \cdot f_{ck}$. დადებითი მომენტი ბოლო მალში უნდა დაინიშნოს ცხრ.2-ის შესაბამისად.

“ევროკოდი 2” სხვადასხვა მიზეზით საჭირო არაწრფივი გაანგარიშებისას იძლევა რეკომენდაციას, რომ მოვახდინოთ სიხისტის მოდიფიკაცია შემცირებისკენ, მაგრამ არ არის ცალსახად განსაზღვრული თუ რამდენით უნდა შემცირდეს სიხისტე რკინაბეტონის ბრტყელი ურიგელო ფილის გაანგარიშებისათვის, რომელიც იმყოფება ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების ზონაში.

2.4. ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების ზონაში მყოფი რკინაბეტონის ელემენტების გაანგარიშების პრობლემატიკა.

სამხრეთ ფლორიდის უნივერსიტეტის (ტამპა, აშშ) მიერ გამოქვეყნებული პუბლიკაცია ***Bonding New Concrete To Old***, ***Bruce Suprenant*** ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების შესახებ საკმაოდ კარგად აყალიბებს რკინაბეტონის კონსტრუქციების შეპირაპირების ზოგად მეთოდოლოგიას, გვითითებს დაპროექტებისათვის აუცილებელი რამოდენიმე პირობიდან ერთ-ერთს: “შეპირაპირების ბმის ძალა – 1.4 (14კგ/სმ²) მკა გამოიყენება, როგორც საორიენტაციო საანგარიშო სიდიდე შეპირაპირების ზონების პროექტირებაში”^[2] ჩამოთვლილია რკინაბეტონის კონსტრუქციების შეპირაპირებისათვის გამოყენებადი საშუალებები: “ყველაზე პრაქტიკული და ეკონომიური შეპირაპირების საშუალებები არის ქვიშა-ცემენტი, წყალ-ცემენტი, ეპოქსიდური წებოები და არმატურის ბადეები. მაგალითად: ACI 503 არის ახალი და ძველი, გამაგრებული ბეტონისთვის, გათვალისწინებული წებო.”^[1] ისინი ცნობილია რუსული ლიტერატურიდანაც, მაგრამ კვლევა არ ითვალისწინებს შეპირაპირების

ზონაში მყოფი რკინაბეტონის კონსტრუქციის ელემენტების გაანგარიშებას სიმტკიცეზე და დაეფორმაციაზე.

პორტუს უნივერსიტეტის (პორტუ, პორტუგალია) მიერ გამოქვეყნებული პუბლიკაცია *Measurement of The Mechanical Properties of Structural Adhesives*, *Lucas F.M. Da Silva & R.D. Adams* გვაწვდის საკმაოდ მდიდარ ინფორმაციას ბეტონის შეპირაპირებების საშუალებების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების შესახებ, რაც გამოსადეგია შემდგომი კომპიუტერული მოდელირებისათვის. [3]

პენსილვანიის სახელმწიფო უნივერსიტეტის (პენსილვანია, აშშ) მიერ გამოქვეყნებული პუბლიკაცია *FRP-Concrete Bond Behavior*, *B.M. McSweeney & M.M. Lopez* გვაძლევს დასკვნებს და რეკომენდაციებს რკინაბეტონის ელემენტების შეპირაპირების ზონის რღვევის შესახებ, მაგრამ თავადვე ადასტურებს, რომ “საჭიროა შეიქმნას რკინაბეტონის კონსტრუქციული ელემენტების და მათი შეპირაპირების ზონების ზუსტი მოდელები” [4],

რუსულ ინტერნეტსივრცეში გვხვდება კვლევები ბეტონის ადგეზიური თვისებების შესახებ: *«Адгезионные свойства бетона»* (<http://www.stroy-vest.ru/tyazhelye-betony/vid15.php>), სადაც მოცემულია ექსპერიმენტული გამოკვლევების შედეგად დადგენილი ბეტონის ადგეზიური თვისებები და პარამეტრები. [5] არც აქ გვხვდება ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების დეფორმაციაზე და სიმტკიცეზე გაანგარიშების მეთოდები.

საბჭოთა სახელმძღვანელო *«Контакт арматуры с бетоном»*, *М.М. Холмянский* გამოყოფს 3 ძირითად მიმართულებას შეჭიდულობის ტექნიკური თეორიის შესახებ, კერძოდ: “შეჭიდულობის ტექნიკური თეორიის წარმატებით კვლევა შესაძლებელია მხოლოდ იმ პირობით, თუ ისინი დაეფუძნება ღრმა კვლევებს, მიმართულს ზუსტი თეორიის შექმნისაკენ. შეიძლება მითითებულ იქნას სამი მიმართულება ასეთი თეორიისკენ გზების ძიებაში: 1. კონტაქტის განხილვა, როგორც შემთხვევითი პროცესის და შესაბამისად შეჭიდულობის არაკლასიკური თეორიის შექმნა. 2. ელექტრონული გამოძივლელი კომპლექსების

გამოყენებით. 3. პრინციპულად ახალი მოდელების შექმნა და გამოკვლევა.”
[6] ჩვენ ავირჩიეთ მე-2 მიმართულება და შევეცდებით კომპიუტერული
გამომთვლელი კომპლექსების საშუალებებით შევქმნათ ძველი და ახალი
ბეტონის შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირების მოდელები და მათი
გამოყენებით მოვახდინოთ რკინაბეტონის კონსტრუქციული ელემენტების
გაანგარიშება სიმტკიცეზე და დეფორმაციაზე.

აგრეთვე განხილული გვაქვს მთლიანად ***Eurocode 2: Design of concrete structures*** და ერთ-ერთი მათ მიერ დამტკიცებული “ეკვივალენტურ
ჩარჩოთა მეთოდი”, რაც საშუალებას იძლევა მოვახდინოთ ბრტყელი
ურიგელო გადახურვის ფილის მაღალი სიზუსტით გაანგარიშება
დეფორმაციაზე. [1]

ჩვენს მიერ მიმოხილულ ლიტერატურაში გვხვდება მრავალგვარი
ინფორმაცია რკინაბეტონის ელემენტებში ძველი და ახალი ბეტონის
შეპირაპირების შესახებ. გამოკვლეულია შეპირაპირების ზოგადი
მეთოდოლოგია, შეპირაპირების საშუალებების ფიზიკურ-მექანიკურ
თვისებები, ბეტონის ადგეზიის მაჩვენებლები და აგრეთვე სხვა
თავისებურებანი, მაგრამ ღიად რჩება ორი დაპროექტებისათვის
უმნიშვნელოვანესი ორი საკითხი:

1. რკინაბეტონის ელემენტებში ძველი და ახალი ბეტონის
შეპირაპირების ზონის მოდელირება.
2. შეპირაპირების ზონაში მყოფი რკინაბეტონის ელემენტების
ზუსტი სივრცითი გაანგარიშების მეთოდები და ანალიზი.

აღნიშნულ სადისერტაციო ნაშრომში შევეცადეთ ზემოთ მოყვანილი
პრობლემატიკის გადაჭრას. როგორც თავდაპირველად აღვნიშნეთ,
რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის, ორ საყრდენზე მდებარე ხისტად
ჩამაგრებული კოჭისა და მონოლითური რკინაბეტონის ურიგელო ბრტყელი
ფილების მაგალითისთვის ჩავატარეთ სივრცითი არაწრფივი
გაანგარიშებანი ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით. გარდა ამისა
ჩატარდა მონოლითური რკინაბეტონის მრავალსართულიანი შენობის

სტატიკური და დინამიკური გაანგარიშება ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირების გათვალისწინებით.

სადისერტაციო ნაშრომისთვის და ევროკოდი 2-ის საანგარიშო მეთოდების სარეალიზაციოდ საგანგებოდ შეიქმნა საინჟინრო კალკულატორი, რის შემდეგაც მრავალმხრივი თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევებით მიღებული შედეგების ანალიზმა მიგვიყვანა კონკრეტულ დასკვნებამდე. მიღებულ იქნა რამოდენიმე კოეფიციენტი და შემუშავებულ იქნა რეკომენდაციები დამპროექტებლებისათვის.

3. ჩატარებული მცნიერული კვლევები, რიცხვითი და პრაქტიკული ექსპერიმენტები და მათი შედეგები

3.1. მონოლითური რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის ფარგლებში ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის კვლევა სხვადასხვა მეთოდებით.

ამ ქვეთავში განხილულია დასმული პრობლემატური ამოცანების კერძო შემთხვევა რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის მაგალითზე. შესრულებულია გაანგარიშებები კლასიკური ანალიზური მეთოდით და რიცხვითი მეთოდებით, სივრცითი სასრული ელემენტებით კომპიუტერული საანგარიშო კომპლექსის LIRA 9.6 R6-ის გამოყენებით. როგორც აღვნიშნეთ სივრცითი სასრული ელემენტების გამოყენება შედარებით იშვიათი მოვლენაა თვით კომპიუტერული გაანგარიშებებისას, შესაბამისად საინტერესოა მიღებული შედეგები და მათი ანალიზი, მეტადრე მაშინ, როდესაც გათვალისწინებულია ბეტონის შეპირაპირებისათვის გამოყენებული ეპოქსიდური წებოს მოდელირებაც.

შედარების მიზნით განვიხილოთ 3000მმ-ის სიგრძის და 400X500მმ განივკვეთის რკინაბეტონის კონსოლური კოჭი, რომელშიც გამოყენებულია B25 კლასის ბეტონი და გარდა საკუთარი წონისა, მასზე მოქმედებს არამზიდი კონსტრუქციული ელემენტების გამოწვეული დატვირთვა 6ტ/მ. (ნახ.5) B25 კლასის მძიმე ბეტონის საშუალო მოცულობით წონად მივიღოთ $\rho=2.5\text{ტ/მ}^3$. შესაბამისად, რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის საკუთარი წონით გამოწვეული დატვირთვა განისაზღვრება:

$$q_{\text{საკ.წონა}} = 0.4\text{მ} \cdot 0.5\text{მ} \cdot 2.5\text{ტ/მ}^3 = 0.5\text{ტ/მ} \quad (4)$$

როგორც აღვნიშნეთ, არამზიდი კონსტრუქციული ელემენტებისაგან გამოწვეული დატვირთვა ტოლია:

$$q_{\text{გარე დატვ.}} = 6\text{ტ/მ} \quad (5)$$

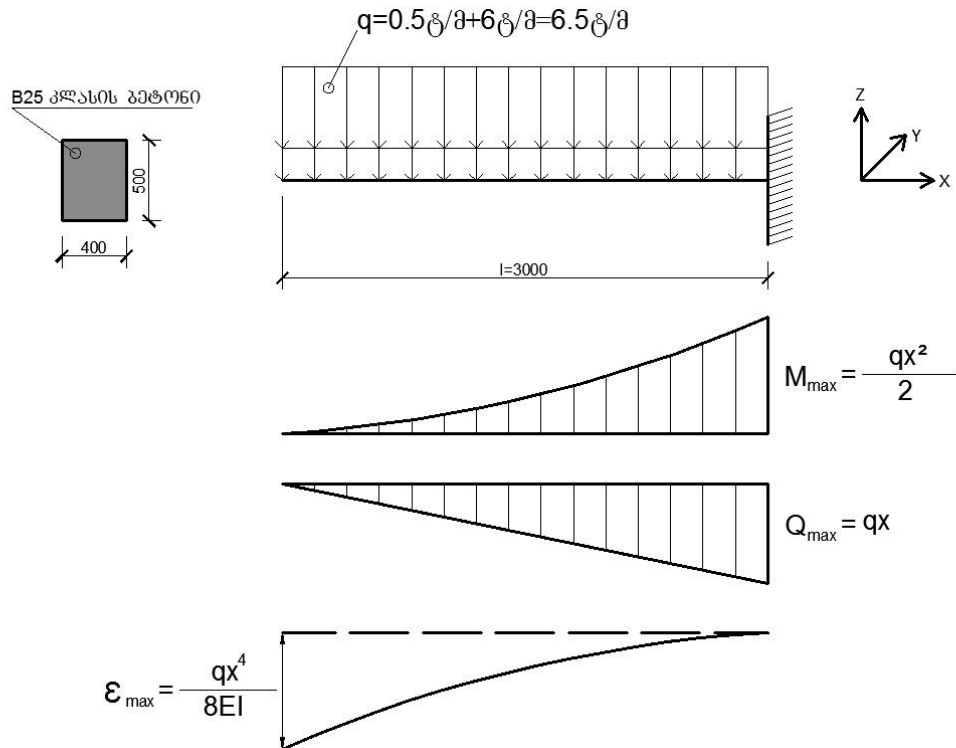
მთლიანად, რკინაბეტონის კონსოლურ კოჭზე მოსული ჯამური

დატვირთვა განისაზღვრება:

$$q_{\text{ჯამ.}} = q_{\text{საკ.წონა}} + q_{\text{გარე დატვი.}} = 0.5 \text{ ტ/მ} + 6 \text{ ტ/მ} = 6.5 \text{ ტ/მ} \quad (6)$$

მაქსიმალური მღუნავი მომენტი საყრდენზე, ტოლი იქნება:

$$M = \frac{qx^2}{2} = \frac{6.5 \text{ ტ/მ} \cdot (3\text{მ})^2}{2} = 29.25 \text{ ტ}\cdot\text{მ} \quad (7)$$



ნახ. 5 რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის საანგარიშო სქემა

მაქსიმალური განივი ძალა საყრდენზე:

$$Q = qx = 6.5 \text{ ტ/მ} \cdot 3\text{მ} = 19.5 \text{ ტ} \quad (8)$$

განვსაზღვროთ მაქსიმალური დეფორმაცია რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის თავისუფალ ბოლოზე. B25 კლასის ბეტონის საწყისი დრეკადობის მოდული ტოლია: $E=3100000 \text{ ტ/მ}^2$.

გამოვთვალოთ კვეთის ინერციის მომენტი Y-ღერძის მიმართ:

$$I_y = \frac{bh^3}{12} = \frac{0.4\text{მ} \cdot (0.5\text{მ})^3}{12} = 0.00416(6)\text{მ}^4 \quad (9)$$

დეფორმაცია მიიღებს მნიშვნელობას:

$$\epsilon_x = \frac{qx^4}{8EI} = \frac{6.5\text{ტ/მ} \cdot (3\text{მ})^4}{8 \cdot 3100000\text{ტ/მ}^2 \cdot 0.00416(6)\text{მ}^4} = 5.095\text{მმ} \quad (10)$$

მხები ძაბვა რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის კვეთის სიბრტყეში განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$\tau = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta A} = \frac{dQ}{dA} \quad (11)$$

ჩვენს შემთხვევაში მხები ძაბვის გასაშუალოებული მნიშვნელობა საყრდენთან ტოლი იქნება:

$$\tau = \frac{Q}{A} = \frac{19.5\text{ტ}}{0.4\text{მ} \cdot 0.5\text{მ}} = 97.5\text{ტ/მ}^2 \quad (12)$$

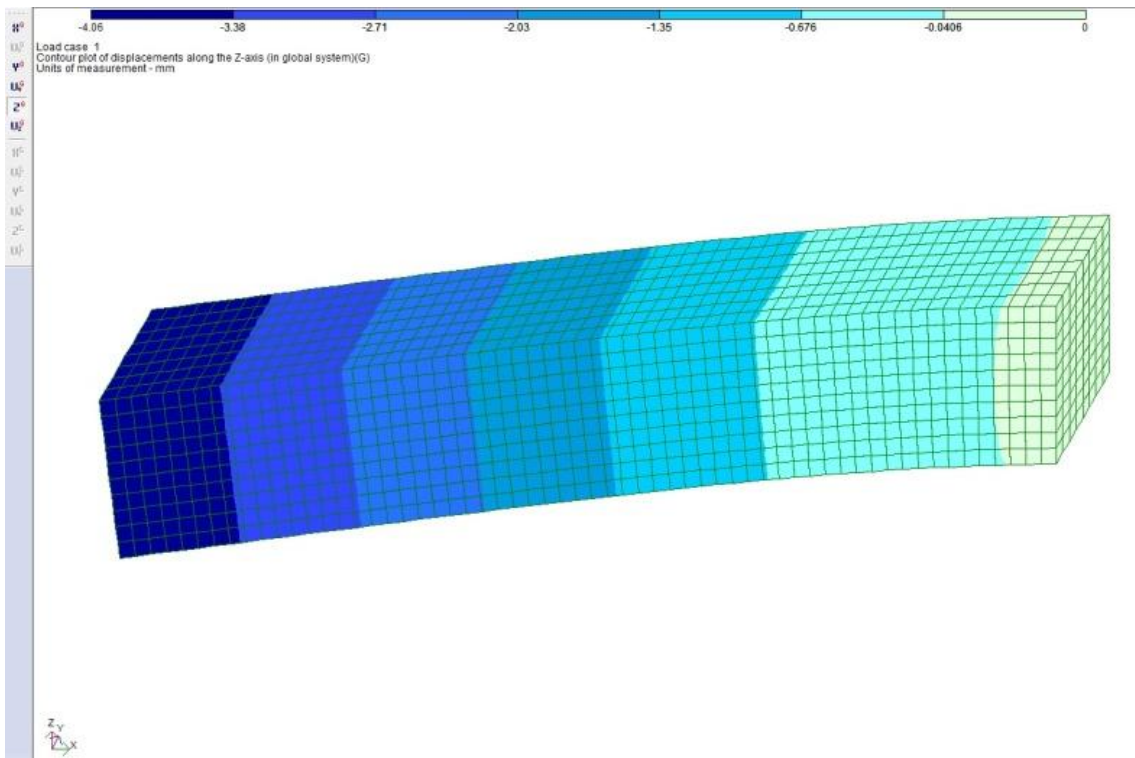
ხოლო მხები ძაბვის გასაშუალოებული მნიშვნელობა რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის შუა წერტილში *(სადაც მოგვიანებით მოვახდენთ ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირებას ეპოქსიდური წებოს მეშვეობით.)* მიიღებს შემდეგ მნიშვნელობას:

$$\tau = \frac{Q}{A} = \frac{qx}{A} = \frac{9.75\text{ტ}}{0.4\text{მ} \cdot 0.5\text{მ}} = 48.75\text{ტ/მ}^2 \quad (13)$$

რკინაბეტონის კონსოლურ კოჭში მღუნავი მომენტების, განივი ძალების, მხები ძაბვების, დეფორმაციების და საერთოდ დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ამგვარი აღწერა ვერ იძლევა მაღალი სიზუსტის შედეგებს, რაც ესეოდენ საჭიროა ბეტონის შეპირაპირების სიმტკიცისათვის. რეალურად, რკინაბეტონის კოჭში ყოველთვის არის არმატურის ღეროები, რომლებიც ხშირად არათანაბრად არიან განაწილებული კოჭის ტანში ნებისმიერი მიმართულებით. ისინი გარკვეულ სიხისტეს მატებენ კოჭს, რის გამოც იცვლება დეფორმაციების მნიშვნელობები, რაც იწვევს ძაბვების არათანაბარ განაწილებას და ა.შ. გარდა ამისა, ნებისმიერი კოჭი მოცულობითი ელემენტია და დეფორმაციებს განიცდის ყველა მიმართულებით.

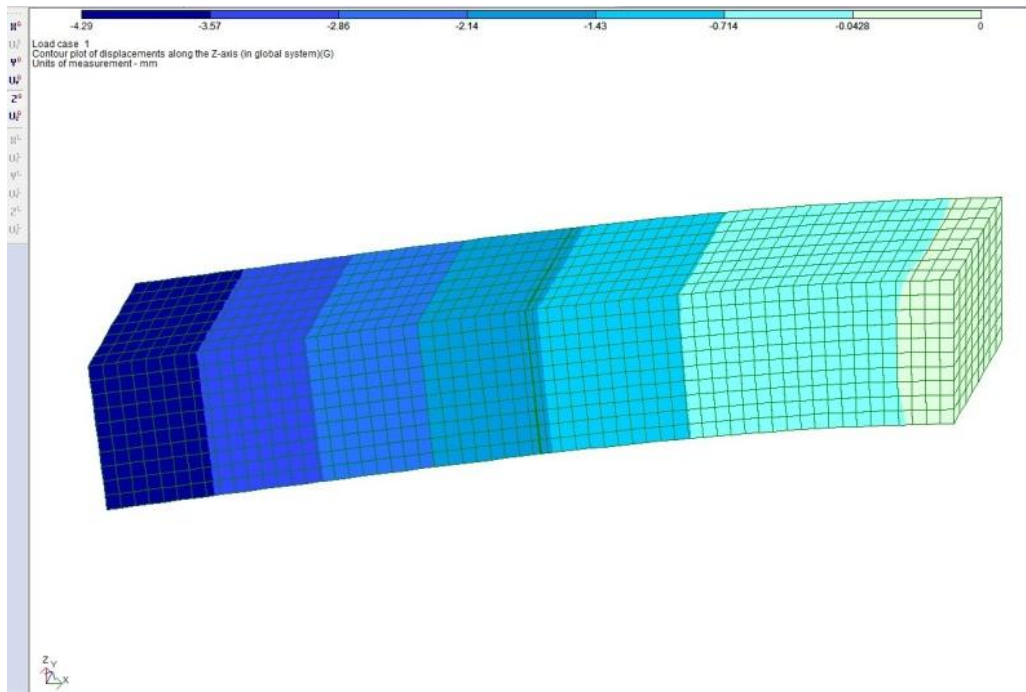
ზემოთ ჩამოთვლილი პრობლემების შესწავლისათვის ჩატარდა

რიცხვითი ექსპერიმენტი სივრცითი სასრული ელემენტების გამოყენებით. მოდელირებული იქნა მონოლითური რკინაბეტონის კონსოლური კოჭი B25 კლასის ბეტონით და გაანგარიშებით მიღებული არმატურის ღეროებით (ზედა შრეში 2Ø28+2Ø25 A500C, ხოლო ქვედა შრეში 4Ø16 A500C). აგრეთვე მოდელირებულ იქნა ეპოქსიდური წებო და საკონტაქტო ზედაპირები, გამომდინარე ადგეზიის მაჩვენებლებიდან. მიღებულმა შედეგებმა აჩვენა, რომ არმირებული კონსოლური კოჭის დეფორმაციამ, წრფივ სტადიაზე, შეადგინა 4.06მმ, რაც დაახლოებით 20%-ით ნაკლებია, კოჭის, როგორც ღეროვანი ელემენტის გაანგარიშებებით მიღებულ დეფორმაციებთან შედარებით. ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირებით და ეპოქსიდური წებოს ზონისგან შესუსტებული რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის დეფორმაციამ, წრფივ სტადიაზე, შეადგინა 4.29მმ, რაც თითქმის 6%-ით მეტია ერთიანად დაბეტონებულ კოჭთან შედარებით, მაგრამ მაინც 16%-ით უფრო მცირე მაჩვენებელზეა, ვიდრე ზემოთ მოყვანილი კლასიკური ანგარიშებიდან ჩანს.



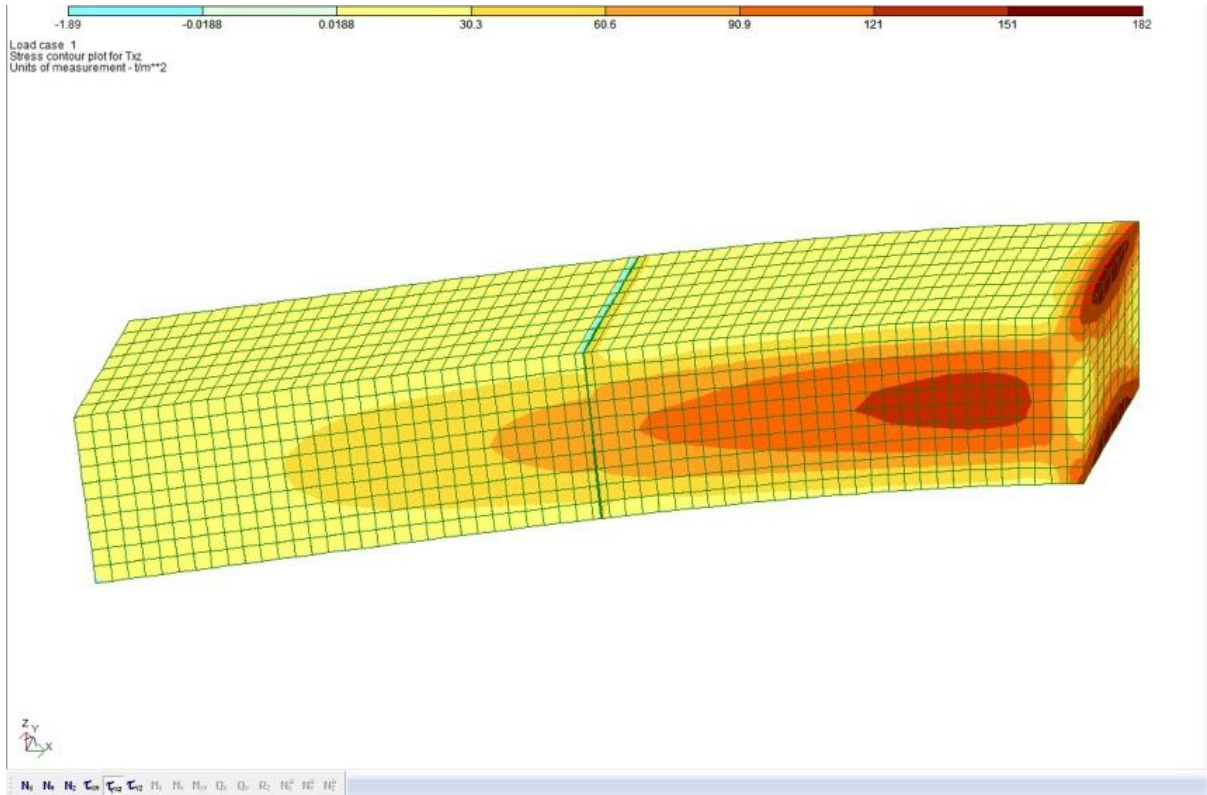
ნახ.6 არმირებული რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის სივრცითი მოდელი. მაქსიმალური დეფორმაცია, $\epsilon_{max}=4.06$ მმ

ნახ.6-ზე წარმოდგენილია მონოლითური რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის სივრცითი წრფივი მოდელის დეფორმაციის სქემა ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გარეშე. უფრო მუქი (ღურჯი) ფერები აღნიშნავს უფრო დიდ დეფორმაციებს, ხოლო უფრო ღია (ცისფერი) ფერები აღნიშნავს უფრო მცირე დეფორმაციებს. როგორც აღვნიშნეთ სივრცითი სასრული ელემენტებით მოდელირებული არმირებული კონსოლური კოჭის დეფორმაცია წრფივ სტადიაზე უფრო ნაკლებია კოჭის, როგორც დეროვანი ელემენტის გაანგარიშებებით მიღებულ დეფორმაციებთან შედარებით. ნახ.7-ზე გამოსახულია ანალოგიური კოჭის სივრცითი წრფივი მოდელის დეფორმაციის სქემა ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით. კოჭის კონტურზე არსებული მუქი (მწვანე) ზოლი აღნიშნავს ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირს, რომელიც მოდელირებულია სხვადასხვა სპეციფიკაციებით განსაზღვრული დრეკადობის მოდულის, პუასონის კოეფიციენტის, მოცულობითი წონის და ადგეზიის მაჩვენებლების გათვალისწინებით.



ნახ.7 არმირებული რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის სივრცითი მოდელი, როდესაც კოჭის შუა წერტილში მოხდა ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირება ეპოქსიდური წებოთი. მაქსიმალური დეფორმაცია, $\epsilon_{max}=4.29\text{მმ}$

ნახ.8-ზე წარმოდგენილია მონოლითური რკინაბეტონის ანალოგიური კონსოლური კოჭის სივრცითი წრფივი მოდელის მხები დაბეჭდვის სქემა ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით, რაც კვლავ აღნიშნულია მუქი (მწვანე) ზოლით.



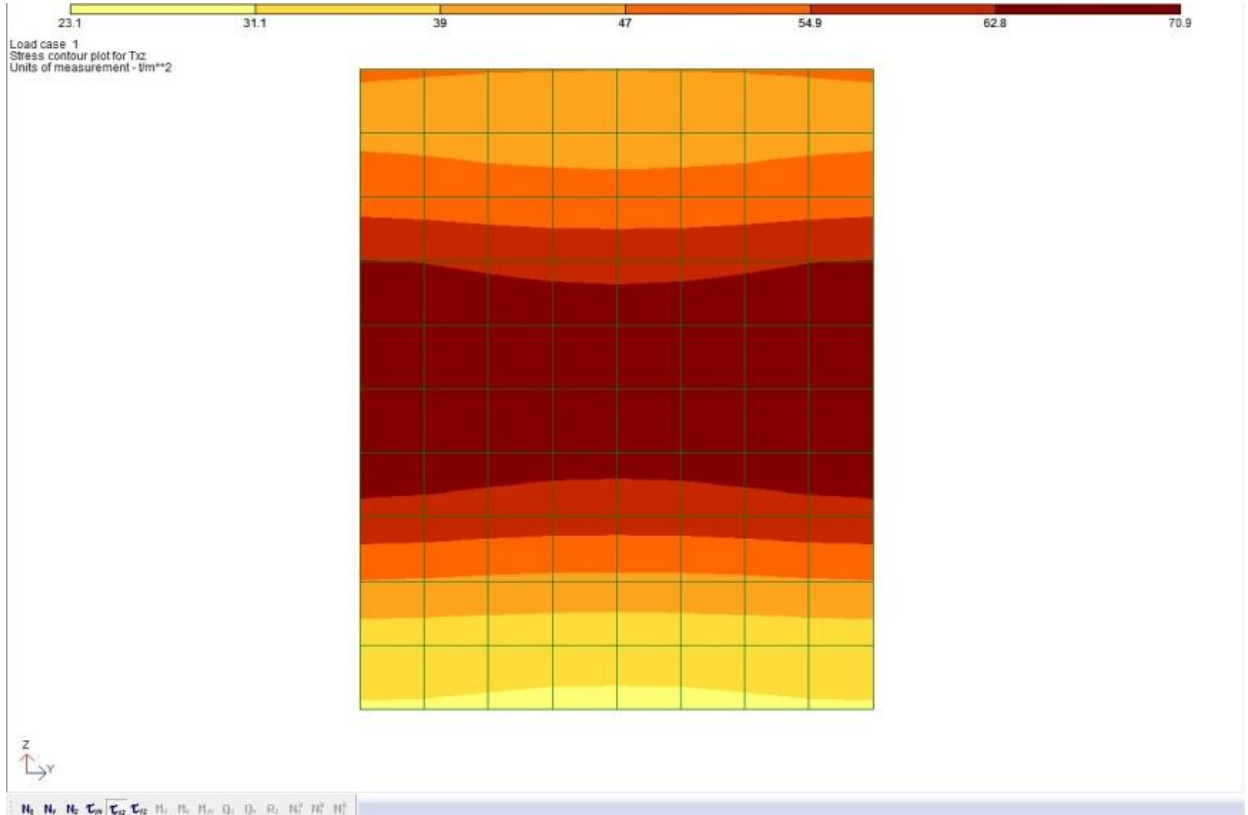
ნახ.8 არმირებული რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის სივრცითი მოდელი, როდესაც კოჭის შუა წერტილში მოხდა ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირება ეპოქსიდური წებოთი. (მხები დაბეჭდვი)

უფრო მუქი (წითელი) ფერები აღნიშნავს უფრო დიდ მხებ დაბეჭდვს, ხოლო უფრო ღია (ყვითელი) ფერები აღნიშნავს უფრო მცირე მხებ დაბეჭდვს. მაქსიმალური მხები დაბეჭდვა მონოლითური რკინაბეტონის კონსოლურ კოჭში შეადგენს: $\tau_{xz}=148.0\text{ტ/მ}^2$

ზემოხსენებული რიცხვითი ექსპერიმენტის შედეგები იძლევა დასკვნის საფუძველს, რომ წრფივ სტადიაზე, მონოლითური რკინაბეტონის კონსოლურ კოჭში უფრო მცირე დეფორმაციებია მოსალოდნელი, იმ

შემთხვევასთან შედარებით, როდესაც რკინაბეტონის კონსოლური კოჭი განხილულია, როგორც ღეროვანი ელემენტი.

ნახ.9-ზე ნაჩვენებია მონოლითური რკინაბეტონის ანალოგიური კონსოლური კოჭის სივრცითი წრფივი მოდელის მხევი ძაბვების სქემა განივკვეთში, ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით. მაქსიმალური მხევი ძაბვა საკონტაქტო ზედაპირზე ტოლია: $\tau_{xz}=69.4\text{ტ/მ}^2$



ნახ.9 არმირებული რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის სივრცითი მოდელი, როდესაც კოჭის შუა წერტილში მოხდა ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირება ეპოქსიდური წებოთი. (საკონტაქტო ზედაპირი)

აქვე, ყურადღება გვინდა გავამახვილოთ იმ ფაქტზე, რომ სივრცითი მოდელიდან ამოჭრილი, ძველი და ახალი ბეტონების შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირებზე მხევი ძაბვები საკმაოდ არათანაბრადაა განაწილებული და მნიშვნელოვნად განსხვავდება, კოჭის ღეროვან

ელემენტად განხილვისას, კლასიკური მეთოდით მიღებული გასაშუალოებული სიდიდისაგან: $\tau_{xz} = 48.75 \text{ ტ/მ}^2$

52.021ტ/მ ²	51.428ტ/მ ²	51.584ტ/მ ²	51.470ტ/მ ²	51.470ტ/მ ²	51.584ტ/მ ²	51.428ტ/მ ²	52.021ტ/მ ²
39.305ტ/მ ²	38.356ტ/მ ²	37.949ტ/მ ²	37.643ტ/მ ²	37.643ტ/მ ²	37.949ტ/მ ²	38.356ტ/მ ²	39.305ტ/მ ²
56.234ტ/მ ²	55.341ტ/მ ²	54.397ტ/მ ²	54.943ტ/მ ²	54.943ტ/მ ²	54.397ტ/მ ²	55.341ტ/მ ²	56.234ტ/მ ²
65.206ტ/მ ²	64.473ტ/მ ²	63.471ტ/მ ²	62.931ტ/მ ²	62.931ტ/მ ²	63.471ტ/მ ²	64.473ტ/მ ²	65.206ტ/მ ²
69.403ტ/მ ²	68.774ტ/მ ²	67.797ტ/მ ²	67.242ტ/მ ²	67.242ტ/მ ²	67.797ტ/მ ²	68.774ტ/მ ²	69.403ტ/მ ²
68.896ტ/მ ²	68.288ტ/მ ²	67.337ტ/მ ²	66.799ტ/მ ²	66.799ტ/მ ²	67.337ტ/მ ²	68.288ტ/მ ²	68.896ტ/მ ²
63.362ტ/მ ²	62.699ტ/მ ²	61.787ტ/მ ²	61.296ტ/მ ²	61.296ტ/მ ²	61.787ტ/მ ²	62.699ტ/მ ²	63.362ტ/მ ²
54.986ტ/მ ²	54.232ტ/მ ²	53.433ტ/მ ²	53.053ტ/მ ²	53.053ტ/მ ²	53.433ტ/მ ²	54.232ტ/მ ²	54.986ტ/მ ²
34.142ტ/მ ²	33.325ტ/მ ²	32.959ტ/მ ²	32.707ტ/მ ²	32.707ტ/მ ²	32.959ტ/მ ²	33.325ტ/მ ²	34.142ტ/მ ²
30.951ტ/მ ²	30.555ტ/მ ²	30.456ტ/მ ²	30.340ტ/მ ²	30.340ტ/მ ²	30.456ტ/მ ²	30.555ტ/მ ²	30.951ტ/მ ²

ცხრ.3 არმირებული რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის ტანში, ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირზე, τ_{xz} მხები ძაბვების განაწილების ელექტრონული ცხრილი.

ცხრ.3-ში ნაჩვენებია მხები ძაბვების მნიშვნელობები ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირის თითოეულ სასრულ ელემენტისათვის ნახ.9-ის მიხედვით.

როგორც რიცხვითი ექსპერიმენტებიდან ვხედავთ (ნახ.9 და ცხრ.3) მხები ძაბვები გადანაწილებულია “უნაგირისებრი” ფორმით, ძაბვათა დიდი მნიშვნელობები კონცენტრირებულია კვეთის შუაში და ვითარდება განივად დახრილი მიმართულებებით. ლოკალურად, მაქსიმალური მხები ძაბვების მნიშვნელობა აღწევს 69.4 ტ/მ²-ს, გამომდინარე აქედან, შეგვიძლია დავადგინოთ მხები ძაბვების კონცენტრაციის კოეფიციენტი, ეპოქსიდური წებოებით განხორციელებულ შეპირაპირების ზედაპირზე:

$$K_{\text{კონცენტრაციის}} = \frac{\tau_{\text{max}}}{\tau_{\text{საშ.}}} = \frac{69.40}{48.75} \approx 1.4 \quad (14)$$

გამომდინარე კონცენტრაციის კოეფიციენტის არსიდან, ეპოქსიდური წებო უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას:

$$\tau_{\text{კრ. წებოს}} \geq K_{\text{კონც.}} \frac{q_x}{A} \quad (15)$$

წინააღმდეგ შემთხვევაში შეპირაპირების ზედაპირზე ბზარების წარმოქმნის ალბათობა საკმაოდ მაღალია.

აღნიშნული მაგალითიდან გამომდინარე, კონცენტრაციის კოეფიციენტზე დაყრდნობით შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირებისათვის გამოყენებული საშუალების სიმტკიცე უნდა ეკვივალენტური იყოს B15 კლასის ბეტონის სიმტკიცის. აგრეთვე რეკომენდებულია მსები ძაბვების კონცენტრაციის ზონაში გაიზარდოს არმირების პროცენტი.

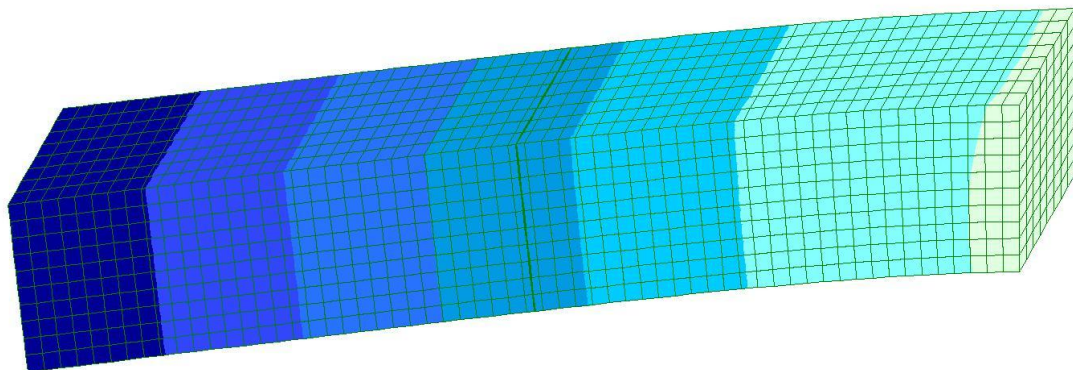
როგორც ადრე აღვნიშნეთ, გაანგარიშების გამარტივების მიზნით და არაწრფივი დეფორმაციების მისაღებად შემუშავებულია საანგარიშო ელემენტის **სიხისტის მოდიფიკაციის** მეთოდი, რაც გულისხმობს საანგარიშო ელემენტის ღუნვის სიხისტის (EI) და ღერძული სიხისტის (EA) შემცირებას გარკვეულ კოეფიციენტებზე გადამრავლებით, გამომდინარე არაწრფივობის ფიზიკური ბუნებიდან (ბზარწარმოქმნა, შეპირაპირება, კონტაქტი და ა.შ.) და გასაანგარიშებელი ელემენტის მდგომარეობიდან. სიხისტეების მოდიფიკაცია საშუალებას მოგვცემს შენობის სუპერსტრუქტურის მოდელის აგება და გაანგარიშება მოვახდინოთ წრფივად, მაგრამ შემცირებული სიხისტეებით, ისე რომ საბოლოო შედეგი პრაქტიკულად დაემთხვეს არაწრფივი გაანგარიშებების შედეგებს.

მონოლითური რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის სიხისტის მოდიფიკაციის განსაზღვრისათვის ჩატარდა **რიცხვითი ექსპერიმენტი სივრცითი არაწრფივი (3D) სასრული ელემენტების გამოყენებით**. მოდელირებულ იქნა ანალოგიური მონოლითური რკინაბეტონის კონსოლური კოჭი B25 კლასის ბეტონის გამოყენებით. ამ შემთხვევაშიც მოდელირებულ იქნა ეპოქსიდური წებო და **რკინაბეტონის შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირები**. (ნახ. 10 და ნახ. 11)

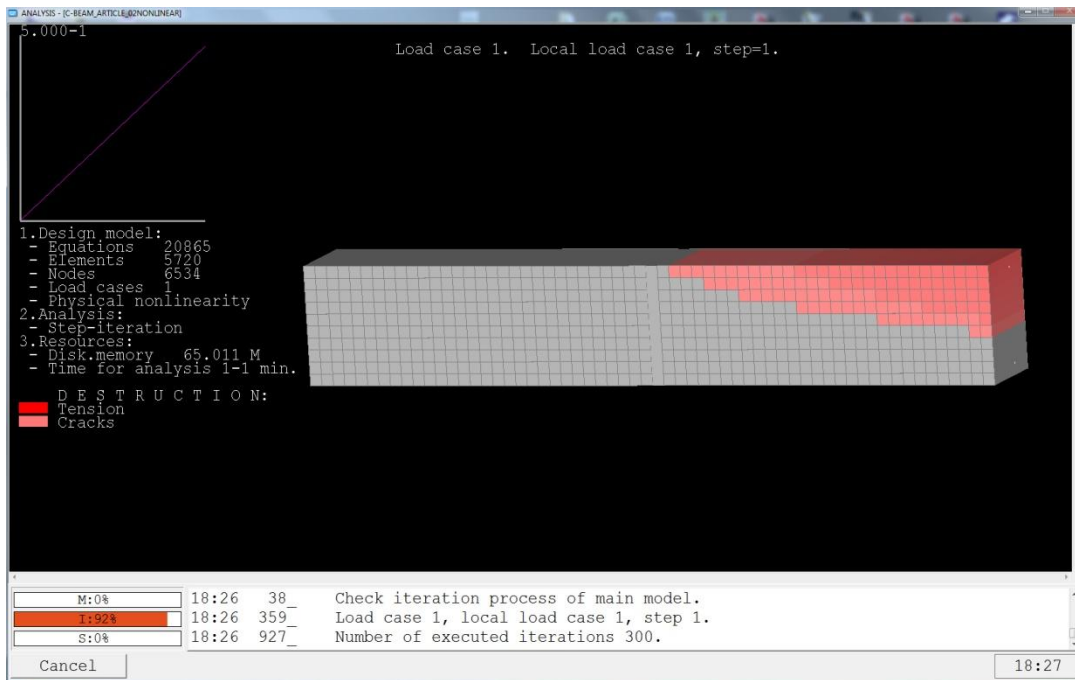
ნახ.10-ზე წარმოდგენილია მონოლითური რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის სივრცითი არაწრფივი მოდელის დეფორმაციის სქემა ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით. აქაც, უფრო მუქი

(ღურჯი) ფერები აღნიშნავს უფრო დიდ დეფორმაციებს, ხოლო უფრო ღია (ცისფერი) ფერები აღნიშნავს უფრო მცირე დეფორმაციებს. როგორც გაანგარიშებებიდან ჩანს სივრცითი სასრული ელემენტებით მოდელირებული არმირებული კონსოლური კოჭის დეფორმაცია არაწრფივ სტადიაზე გაცილებით მეტია კოჭის, როგორც დეროვანი ელემენტის გაანგარიშებებით მიღებულ დეფორმაციებთან შედარებით.

მოდელირებულმა რიცხვითმა ექსპერიმენტმა აჩვენა, რომ რკინაბეტონის შეპირაპირების ზედაპირის გათვალისწინებით არაწრფივი დეფორმაციები 77%-ით აღემატება კლასიკური ანგარიშებით მიღებულ შედეგებს და შეადგენს $\epsilon_{max}=9.04\text{მმ}$ -ს. ამ შემთხვევაშიც, კოჭის კონტურზე არსებული მუქი (მწვანე) ზოლი აღნიშნავს ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირს, რომელიც მოდელირებულია სხვადასხვა სპეციფიკაციებით განსაზღვრული დრეკადობის მოდულის, პუასონის კოეფიციენტის, მოცულობითი წონის და ადგეზიის მაჩვენებლების გათვალისწინებით.



ნახ.10 არმირებული რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის სივრცითი არაწრფივი მოდელი, როდესაც კოჭის შუა წერტილში მოხდა ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირება ეპოქსიდური წებოთი. (მწვანე ზოლი) მაქსიმალური დეფორმაცია, $\epsilon_{max}=9.04\text{მმ}$



ნახ. 11 მონოლითური რკინაბეტონის კონსოლური კოჭი. არაწრფივი ანგარიშის მსვლელობა.

ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირის მოდელირებით და არაწრფივ სტადიაზე გაანგარიშებით მიღებული შედეგების შედარება მარტივი კლასიკური მეთოდებით მიღებულ შედეგებთან, საშუალებას გვაძლევს ნათლად დავინახოთ ყველა ის თავისებურებანი, რაც ახასიათებს მონოლითური რკინაბეტონის იმ ელემენტებს, სადაც ადგილი აქვს ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირებას. შედარებითი ანალიზით მიღებული კოეფიციენტები საშუალებას გვაძლევს გაანგარიშებები ჩავატაროთ კლასიკური მეთოდებით, მაგრამ გავითვალისწინოთ საკონტაქტო ზედაპირების გავლენა არაწრფივ სტადიაზე. ამ გზით დიდ დახმარებას გავუწევთ დამპროექტებლებს.

გამომდინარე გაზრდილი დეფორმაციებიდან გამოვთვალოთ სიხისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტი მონოლითური რკინაბეტონის კონსოლური კოჭისათვის შეპირაპირების ზონების გათვალისწინებით:

$$K_{EI} = \frac{\epsilon_{\max, \text{კლასიკური}}}{\epsilon_{\max, \text{არაწრფივი}}} = \frac{5.095\text{მმ}}{9.040\text{მმ}} = 0.56 \approx 0.6 \quad (16)$$

3.2. მონოლითური რკინაბეტონის ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული კოჭის ფარგლებში ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირება.

მიმდინარე ქვეთავში განხილულია დასმული პრობლემატური ამოცანების კიდევ ერთი კერძო შემთხვევა ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული რკინაბეტონის კოჭის მაგალითზე. ამჯერადაც შესრულებულია გაანგარიშებები კლასიკური ანალიზური მეთოდით და რიცხვითი მეთოდებით, სივრცითი სასრული ელემენტებით კომპიუტერული საანგარიშო კომპლექსის LIRA 9.6 R6-ის გამოყენებით. ამ შემთხვევაშიც გათვალისწინებულია ბეტონის შეპირაპირებისათვის გამოყენებული ეპოქსიდური წებოს მოდელირებაც.

შედარების მიზნით განვიხილოთ 6000მმ-ის სიგრძის და 400X500მმ განივკვეთის ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული რკინაბეტონის კოჭი, რომელშიც გამოყენებულია B25 კლასის ბეტონი და გარდა საკუთარი წონისა, მასზე ზემოქმედებს არამზიდი კონსტრუქციული ელემენტების გამოწვეული დატვირთვა 6ტ/მ. (ნახ.3) B25 კლასის მძიმე ბეტონის საშუალო მსუბუქობით წონად მივიღოთ $\rho=2.5\text{ტ/მ}^3$. შესაბამისად, რკინაბეტონის კოჭის საკუთარი წონისგან გამოწვეული დატვირთვა განისაზღვრება:

$$q_{\text{საკ.წონა}} = 0.4\text{მ} \cdot 0.5\text{მ} \cdot 2.5\text{ტ/მ}^3 = 0.5\text{ტ/მ} \quad (17)$$

როგორც აღვნიშნეთ, არამზიდი კონსტრუქციული ელემენტებისგან გამოწვეული დატვირთვა ტოლია:

$$q_{\text{გარე დატვ.}} = 6\text{ტ/მ} \quad (18)$$

მთლიანად, რკინაბეტონის კოჭზე მოსული ჯამური დატვირთვა განისაზღვრება:

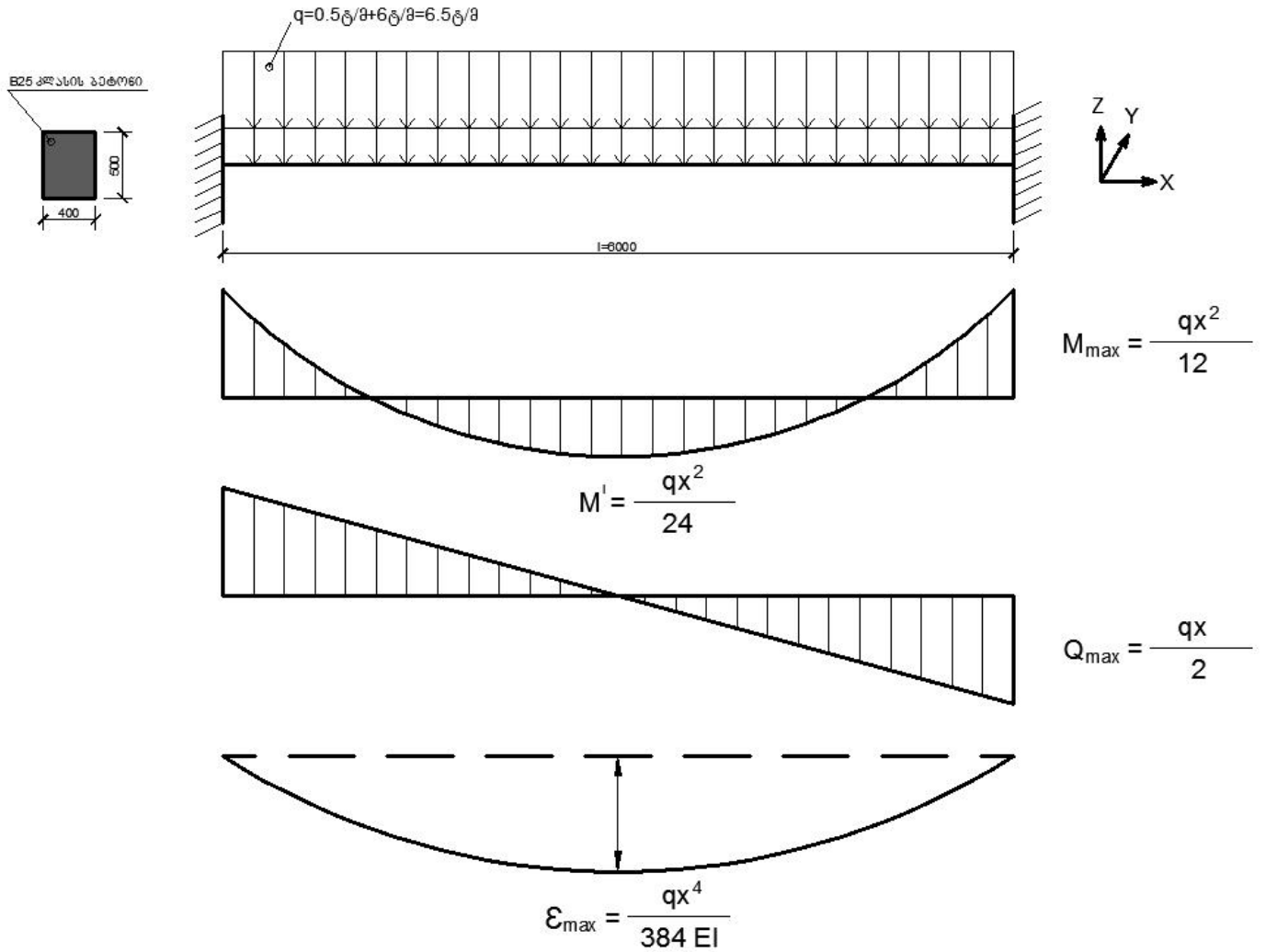
$$q_{\text{ჯამ.}} = q_{\text{საკ.წონა}} + q_{\text{გარე დატვ.}} = 0.5\text{ტ/მ} + 6\text{ტ/მ} = 6.5\text{ტ/მ} \quad (19)$$

მაქსიმალური მღუნავი მომენტი საყრდენზე, ტოლი იქნება:

$$M = \frac{qx^2}{2} = \frac{6.5\text{ტ/მ} \cdot (6\text{მ})^2}{2} = 114.75\text{ტ}\cdot\text{მ} \quad (20)$$

მდუნავი მომენტი მაღის შუაში, ტოლი იქნება:

$$M = \frac{qx^2}{24} = \frac{6.5\text{ტ/მ} \cdot (6\text{მ})^2}{24} = 9.75\text{ტ}\cdot\text{მ} \quad (21)$$



ნახ. 12-ის საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული რკინაბეტონის კოჭის საანგარიშო სქემა

მაქსიმალური განივი ძალა საყრდენზე:

$$Q = \frac{qx}{2} = \frac{6.5\text{ტ/მ} \cdot 6\text{მ}}{2} = 19.5\text{ტ} \quad (22)$$

განვსაზღვროთ მაქსიმალური დეფორმაცია რკინაბეტონის კოჭის მაღის შუაში. B25 კლასის ბეტონის დრეკადობის მოდული ტოლია: $E=3100000\text{ტ/მ}^2$.

გამოვთვალოთ კვეთის ინერციის მომენტი Y-ღერძის მიმართ:

$$I_y = \frac{bh^3}{12} = \frac{0.4\text{მ} \cdot (0.5\text{მ})^3}{12} = 0.00416(6)\text{მ}^4 \quad (23)$$

დეფორმაცია მიიღებს მნიშვნელობას:

$$\epsilon_x = \frac{qx^4}{384EI} = \frac{6.5\text{ტ/მ} \cdot (3\text{მ})^4}{384 \cdot 3100000\text{ტ/მ}^2 \cdot 0.00416(6)\text{მ}^4} = 1.70\text{მმ} \quad (24)$$

მხები ძაბვა რკინაბეტონის კოჭის კვეთის სიბრტყეში განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$\tau = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta A} = \frac{dQ}{dA} \quad (25)$$

ჩვენს შემთხვევაში მხები ძაბვის გასაშუალოებული მნიშვნელობა საყრდენთან ტოლი იქნება:

$$\tau = \frac{Q}{A} = \frac{19.5\text{ტ}}{0.4\text{მ} \cdot 0.5\text{მ}} = 97.5\text{ტ/მ}^2 \quad (26)$$

ხოლო მხები ძაბვის მნიშვნელობა რკინაბეტონის კოჭის შუა წერტილში *(სადაც მოგვიანებით მოვახდენთ ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირებას ეპოქსიდური წებოს მეშვეობით)* მიიღებს შემდეგ მნიშვნელობას:

$$\tau = \frac{Q}{A} = 0 \quad (27)$$

ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული რკინაბეტონის კოჭში მდუნავი მომენტების, განივი ძალების, მხები ძაბვების, დეფორმაციების და საერთოდ დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ამგვარი აღწერა ვერ იძლევა მაღალი სიზუსტის შედეგებს, მსგავსად წინა მაგალითისა, რაც ესეოდენ საჭიროა ბეტონის შეპირაპირებისათვის.

ამ პრობლემის ანალიზისათვისაც ასევე ჩატარდა, კიდევ ერთი რიცხვითი ექსპერიმენტი სივრცითი სასრული ელემენტების გამოყენებით. მოდელირებული იქნა ორ საყრდენზე მდებარე მონოლითური რკინაბეტონის კოჭი B25 კლასის ბეტონით და გაანგარიშებით მიღებული არმატურის ღეროებით. აგრეთვე, ამ ამოცანისთვისაც მოდელირებულ იქნა ეპოქსიდური წებო და საკონტაქტო ზედაპირები, გამომდინარე ადგეზიის

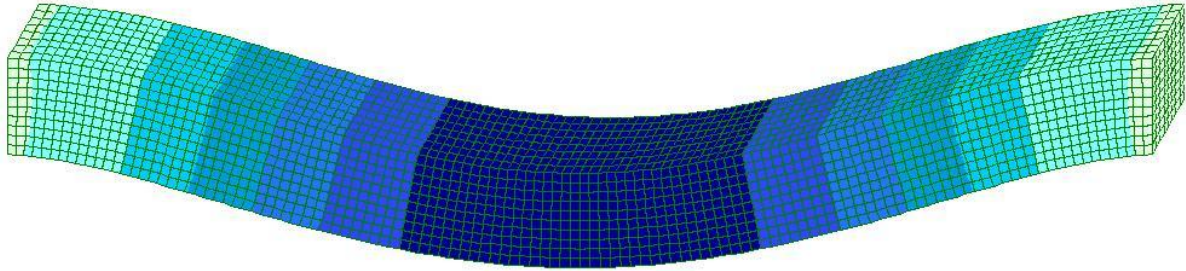
მაჩვენებლებიდან. ამ შემთხვევაში მიღებულმა შედეგებმა აჩვენა, რომ რკინაბეტონის კოჭის დეფორმაციამ, წრფივ სტადიაზე, შეადგინა 1.41მმ, რაც დაახლოებით 17%-ით ნაკლებია, კოჭის, როგორც დეროვანი ელემენტის გაანგარიშებით მიღებულ შედეგებთან შედარებით. წრფივ სტადიაზე, ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირებით და ეპოქსიდური წებოს ზონისგან შესუსტებული რკინაბეტონის კოჭის დეფორმაციამ შეადგინა 1.63მმ, რაც თითქმის 16%-ით მეტია ერთდროულად დაბეტონებულ მონოლითურ კოჭთან შედარებით, მაგრამ მაინც 5%-ით უფრო მცირე მაჩვენებელზეა, ვიდრე ზემოთ მოყვანილი კლასიკური ანგარიშებიდან ჩანს.

ნახ.13-ზე წარმოდგენილია ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული მონოლითური რკინაბეტონის კოჭის სივრცითი წრფივი მოდელის დეფორმაციის სქემა ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გარეშე. უფრო მუქი (ღურჯი) ფერები აღნიშნავს უფრო დიდ დეფორმაციებს, ხოლო უფრო ღია (ცისფერი) ფერები აღნიშნავს უფრო მცირე დეფორმაციებს.

გაანგარიშებიდან ჩანს, რომ სივრცითი სასრული ელემენტებით მოდელირებული რკინაბეტონის ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული კოჭის დეფორმაცია წრფივ სტადიაზე უფრო ნაკლებია ვიდრე ანალოგიური კოჭის, როგორც დეროვანი ელემენტის გაანგარიშებებით მიღებულ დეფორმაციებთან შედარებით. მოცემულ მოდელის მაქსიმალური დეფორმაცია შეადგენს: $\epsilon_{\max}=1.41\text{მმ-ს}$.

სივრცითი სასრული ელემენტებით აგებულ მოდელში 17%-ით უფრო მცირე დეფორმაცია გამოწვეულია იმით, რომ სივრცითი მოდელი ორივე მიმართულებით მუშაობს ღუნვაზე; გარდა ამისა დაძაბულობა თანაბრად არის განაწილებული მთელს მოცულობაში.

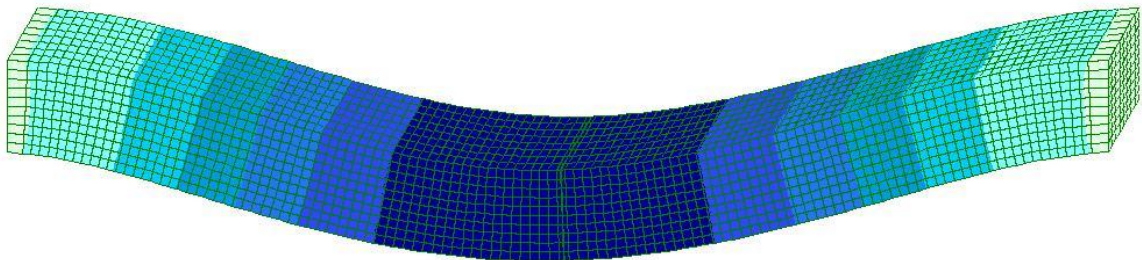
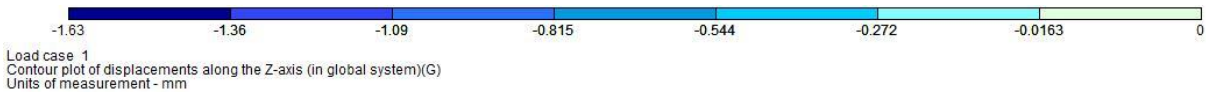
მოცემული სივრცითი მოდელი აგრეთვე ითვალისწინებს არმატურის სიხისტის მნიშვნელობასაც, რაც რკინაბეტონის კონსტრუქციების განუყოფელი ნაწილია. რკინაბეტონის კოჭის დეფორმაციაზე კლასიკური გაანგარიშებისას კი მხოლოდ ბეტონის დრეკადობის მოდული გამოიყენება, რაც გარკვეულ მნიშვნელობით ამცირებს კოჭის მთლიან სიხისტეს.



ნახ.13 ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული მონოლითური რკინაბეტონის კოჭის სივრცითი მოდელი. მაქსიმალური დეფორმაცია, $\epsilon_{max}=1.41$ მმ

ნახ.14-ზე გამოსახულია ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული მონოლითური რკინაბეტონის კოჭის სივრცითი წრფივი მოდელის დეფორმაციის სქემა ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით. უფრო მუქი (ღურჯი) ფერები აღნიშნავს უფრო დიდ დეფორმაციებს, ხოლო უფრო ღია (ცისფერი) ფერები აღნიშნავს უფრო მცირე დეფორმაციებს. კოჭის კონტურზე არსებული მუქი (მწვანე) ზოლი აღნიშნავს ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირს.

გაანგარიშებიდან ჩანს, რომ სივრცითი სასრული ელემენტებით მოდელირებული რკინაბეტონის ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული კოჭის დეფორმაცია, ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების შემთხვევაშიც, წრფივ სტადიაზე უფრო ნაკლებია ვიდრე ანალოგიური კოჭის, როგორც დეროვანი ელემენტის გაანგარიშებებით მიღებულ დეფორმაციებთან შედარებით. მოცემულ მოდელის მაქსიმალური დეფორმაცია შეადგენს: $\epsilon_{\max}=1.63\text{მმ}$ -ს.

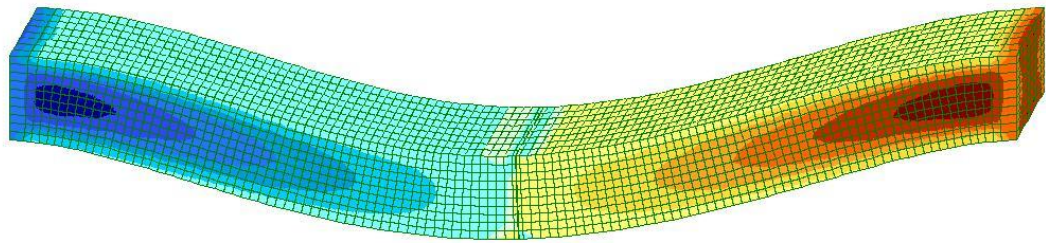
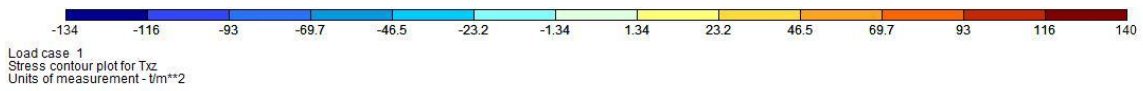


ნახ.14 ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული მონოლითური რკინაბეტონის კოჭის სივრცითი მოდელი, როდესაც კოჭის შუა წერტილში მოხდა ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირება ეპოქსიდური წებოთი. მაქსიმალური დეფორმაცია, $\epsilon_{\max}=1.63\text{მმ}$

ნახ.15-ზე გამოსახულია ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული მონოლითური რკინაბეტონის კოჭის სივრცითი წრფივი მოდელის მხეტი

ძაბვების სქემა ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით. უფრო მუქი (წითელი) ფერები აღნიშნავს უფრო დიდ მხებ ძაბვებს, ხოლო უფრო ღია (ყვითელი) ფერები აღნიშნავს უფრო მცირე მხებ ძაბვებს. კოჭის კონტურზე არსებული მუქი (მწვანე) ზოლი აღნიშნავს ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირს.

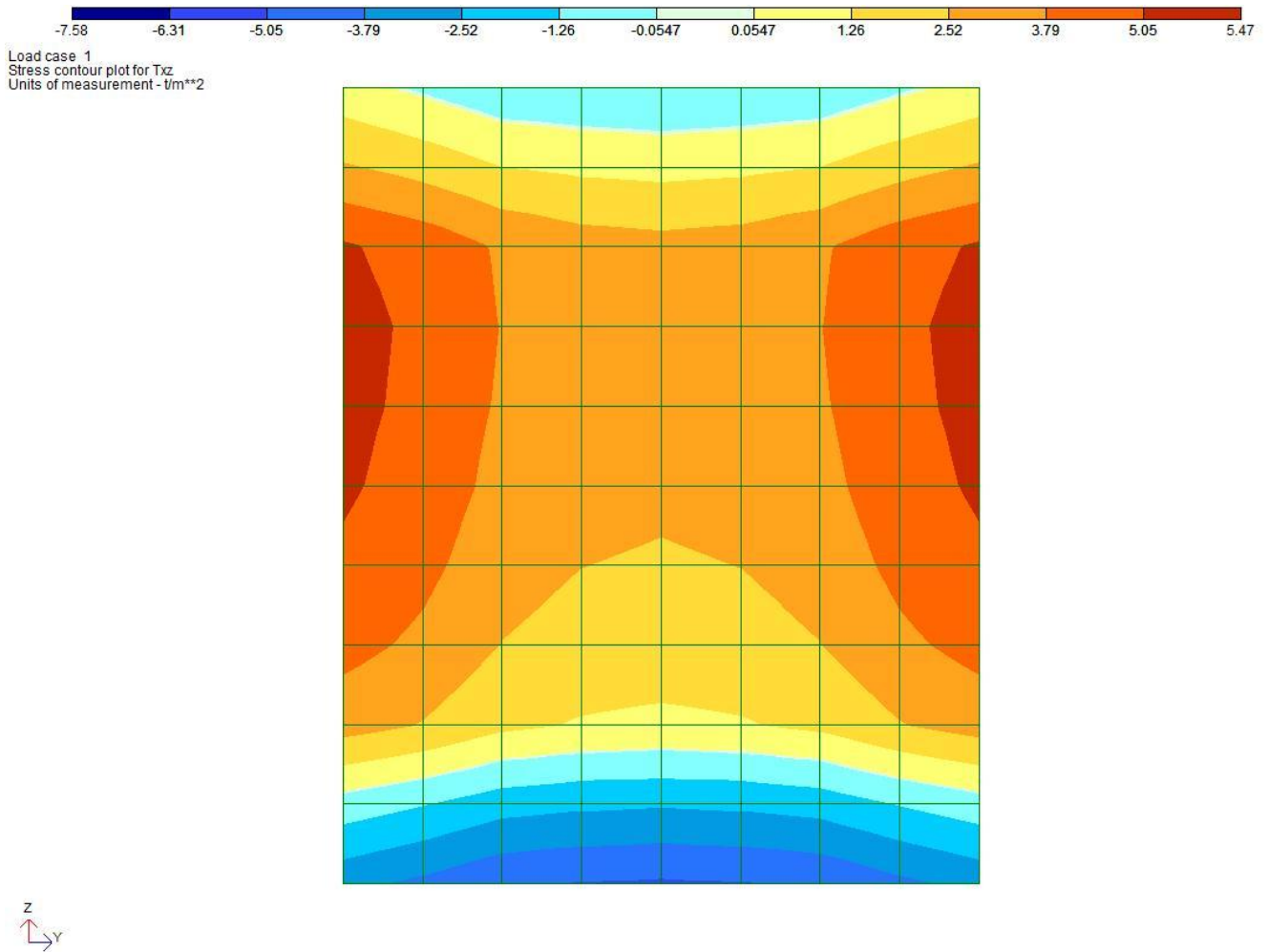
მაქსიმალური მხები ძაბვა რკინაბეტონის კოჭის ტანში შეადგენს $\tau_{xz}=140.0 \text{ტ/მ}^2$.



ნახ.15 ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული მონოლითური რკინაბეტონის კოჭის სივრცითი მოდელი, როდესაც კოჭის შუა წერტილში მოხდა ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირება ეპოქსიდური წებოთი (მხები ძაბვა). მაქსიმალური მხები ძაბვა კოჭის ტანში, $\tau_{xz}=140 \text{ტ/მ}^2$

ნახ.16-ზე წარმოდგენილია ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული მონოლითური რკინაბეტონის კოჭის ტანში ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების ზედაპირზე მხები ძაბვების განაწილება სივრცითი

წრფივი მოდელის საფუძველზე. მაქსიმალური მხეები ძაბვა საკონტაქტო ზედაპირზე შეადგენს $\tau_{xz}=5.51/\text{მ}^2$, რაც განსხვავებულია კლასიკური მეთოდით, (27) ფორმულით მიღებული “ნულოვანი” მნიშვნელობისაგან. ეს მოვლენაც აიხსნება იმით, რომ სივრცითი მოდელი ორივე მიმართულებით მუშაობს ღუნვაზე. გარდა ამისა ეს მოდელიც ითვალისწინებს არმატურის სიხისტეს და და და ძაბვების არათანაბარ გადანაწილებას მთელს მოცულობაში.



ნახ.16 ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული მონოლითური რკინაბეტონის კოჭის სივრცითი მოდელი, როდესაც კოჭის შუა წერტილში მოხდა ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირება ეპოქსიდური წებოთი. მაქსიმალური მხეები ძაბვა საკონტაქტო ზედაპირზე, $\tau_{xz}=5.51\text{ტ/მ}^2$

მოცემული რიცხვითი ექსპერიმენტის შედეგები იძლევა დასკვნის საფუძველს, რომ წრფივ სტადიაზე, მსგავსად მონოლითური რკინაბეტონის

კონსოლური კოჭისა, ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული, მონოლითურ რკინაბეტონის კოჭშიც, უფრო მცირე დეფორმაციებია მოსალოდნელი, იმ შემთხვევასთან შედარებით, როდესაც რკინაბეტონის კოჭი განხილულია, როგორც ღეროვანი ელემენტი.

-2.819ტ/მ ²	-4.125ტ/მ ²	-4.140ტ/მ ²	-4.352ტ/მ ²	-4.352ტ/მ ²	-4.140ტ/მ ²	-4.125ტ/მ ²	-2.819ტ/მ ²
2.770ტ/მ ²	1.617ტ/მ ²	1.013ტ/მ ²	0.689ტ/მ ²	0.689ტ/მ ²	1.013ტ/მ ²	1.617ტ/მ ²	2.770ტ/მ ²
5.516ტ/მ ²	4.242ტ/მ ²	3.427ტ/მ ²	3.078ტ/მ ²	3.078ტ/მ ²	3.427ტ/მ ²	4.242ტ/მ ²	5.516ტ/მ ²
4.732ტ/მ ²	3.298ტ/მ ²	2.595ტ/მ ²	2.270ტ/მ ²	2.270ტ/მ ²	2.595ტ/მ ²	3.298ტ/მ ²	4.732ტ/მ ²
4.855ტ/მ ²	3.373ტ/მ ²	2.677ტ/მ ²	2.377ტ/მ ²	2.377ტ/მ ²	2.677ტ/მ ²	3.373ტ/მ ²	4.855ტ/მ ²
4.549ტ/მ ²	3.059ტ/მ ²	2.369ტ/მ ²	2.076ტ/მ ²	2.076ტ/მ ²	2.369ტ/მ ²	3.059ტ/მ ²	4.549ტ/მ ²
3.894ტ/მ ²	2.445ტ/მ ²	1.767ტ/მ ²	1.474ტ/მ ²	1.474ტ/მ ²	1.767ტ/მ ²	2.445ტ/მ ²	3.894ტ/მ ²
3.624ტ/მ ²	2.330ტ/მ ²	1.648ტ/მ ²	1.374ტ/მ ²	1.374ტ/მ ²	1.648ტ/მ ²	2.330ტ/მ ²	3.624ტ/მ ²
1.184ტ/მ ²	-0.019ტ/მ ²	-0.429ტ/მ ²	-0.690ტ/მ ²	-0.690ტ/მ ²	-0.429ტ/მ ²	-0.019ტ/მ ²	1.184ტ/მ ²
-0.304ტ/მ ²	-1.611ტ/მ ²	-1.903ტ/მ ²	-2.083ტ/მ ²	-2.083ტ/მ ²	-1.903ტ/მ ²	-1.611ტ/მ ²	-0.304ტ/მ ²

ცხრ.4 ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული მონოლითური რკინაბეტონის კოჭის ტანში, ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირზე, τ_{xz} მხები ძაბვების განაწილების ელექტრონული ცხრილი.

ცხრ.4-ში ნაჩვენებია მხები ძაბვების მნიშვნელობები ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირის თითოეულ სასრულ ელემენტისათვის ნახ.16-ის მიხედვით.

როგორც რიცხვითი ექსპერიმენტებიდან ჩანს მხები ძაბვები ამ შემთხვევაშიც გადანაწილებულია “უნაგირისებრი” ფორმით, ძაბვათა დიდი მნიშვნელობები კონცენტრირებულია კვეთის შუაში და ვითარდება განივად დახრილი მიმართულებებით.

საყრდენზე, მაქსიმალური მხები ძაბვების მნიშვნელობა აღწევს 140 ტ/მ²-ს, ნაცვლად 97.5 ტ/მ²-სა, გამომდინარე აქედან, მხები ძაბვების კონცენტრაციის კოეფიციენტი ამ შემთხვევაშიც პრაქტიკულად იგივე მნიშვნელობას ღებულობს

$$K_{\text{კონცენტრაციის}} = \frac{\tau_{\text{max}}}{\tau_{\text{საშ.}}} = \frac{140.00}{97.50} \approx 1.4 \quad (28)$$

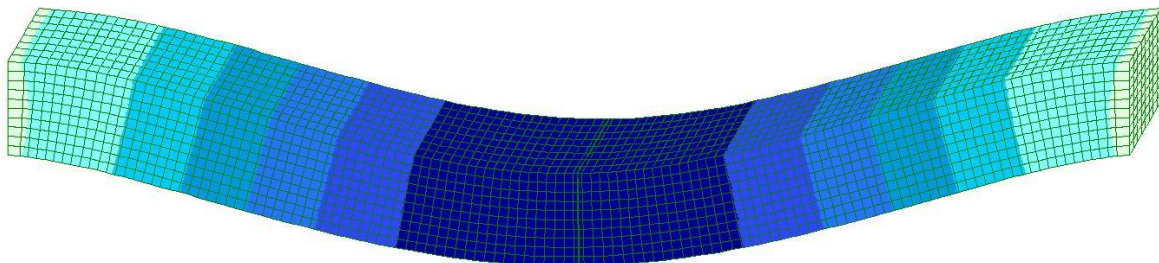
ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული მონოლითური რკინაბეტონის კოჭის სიხისტის მოდიფიკაციის განსაზღვრისათვისაც ჩატარდა კიდევ ერთი რიცხვითი ექსპერიმენტი სივრცითი არაწრფივი (3D) სასრული ელემენტების გამოყენებით. მოდელირებულ იქნა ანალოგიური ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული მონოლითური რკინაბეტონის კოჭი B25 კლასის ბეტონის გამოყენებით. ამ შემთხვევაშიც მოდელირებულ იქნა ეპოქსიდური წებო და რკინაბეტონის შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირები. (ნახ. 17 და ნახ. 18)

მოდელირებულმა რიცხვითმა ექსპერიმენტმა აჩვენა, რომ რკინაბეტონის შეპირაპირების ზედაპირის გათვალისწინებით არაწრფივი დეფორმაციები 15%-ით აღემატება კლასიკური ანგარიშებით მიღებულ შედეგებს.

ნახ.17-ზე ნაჩვენებია ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული მონოლითური რკინაბეტონის კოჭის სივრცითი არაწრფივი მოდელის დეფორმაციის სქემა ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით. რკინაბეტონის კოჭის გარშემო მუქი (მწვანე) კონტური ამ შემთხვევაშიც აღნიშნავს ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირს.

გაანგარიშებიდან ჩანს, რომ სივრცითი სასრული ელემენტებით მოდელირებული რკინაბეტონის ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული კოჭის დეფორმაცია ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით, არაწრფივ სტადიაზე უფრო მეტია ვიდრე ანალოგიური კოჭის, როგორც დეროვანი ელემენტის გაანგარიშებებით მიღებულ დეფორმაციებთან შედარებით. მოცემულ მოდელის მაქსიმალური დეფორმაცია შეადგენს: $\epsilon_{\max}=1.96\text{მმ-ს}$.

სივრცითი სასრული ელემენტებით აგებულ მოდელში 15%-ით უფრო დიდი დეფორმაცია გამოწვეულია იმით, რომ სივრცითი მოდელი ითვალისწინებს ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირების მოდელირებას და არაწრფივ დეფორმაციებს, როგორც ბეტონში, ასევე შეპირაპირებისათვის გამოყენებულ ეპოქსიდურ წებოში.



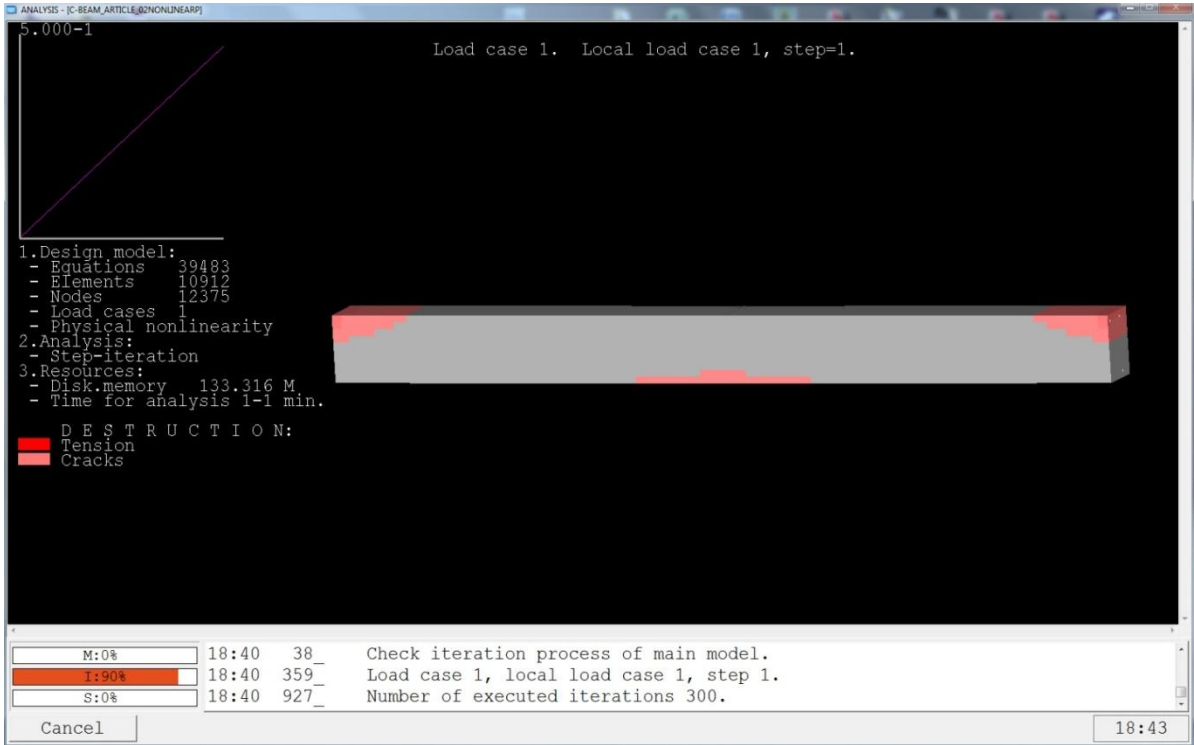
ნახ.17 ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული მონოლითური რკინაბეტონის კოჭის სივრცითი არაწრფივი მოდელი, როდესაც კოჭის შუა წერტილში მოხდა ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირება ეპოქსიდური წებოთი (მწვანე ზოლი).
მაქსიმალური დეფორმაცია, $\epsilon_{max}=1.96$ მმ

ნახ.18-ზე გამოსახულია ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული მონოლითური რკინაბეტონის კოჭის არაწრფივი გაანგარიშებების მსვლელობა, გაჭიმული და დაბზარული ზონის ზუსტი სურათი ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით.

წითელი ფერით აღნიშნული გაჭიმული ბეტონის ზონა, ხოლო ვარდისფერი ფერით დაბზარული ბეტონის ზონა. **როგორც მოსალოდნელი იყო ბეტონის გაბზარვა მოხდა რკინაბეტონის კოჭის საყრდენებზე ზედა შრეში, ხოლო შუა მალში – ქვედა შრეში.**

ამ შემთხვევაშიც, ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირის მოდელირება და არაწრფივ სტადიაზე გაანგარიშებით მიღებული შედეგების შედარება კლასიკური მეთოდებით მიღებულ შედეგებთან, საშუალებას გვაძლევს ნათლად დავინახოთ ყველა

ის თავისებურებანი, რაც ახასიათებს მონოლითური რკინაბეტონის იმ ელემენტებს, სადაც ადგილი აქვს ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირებას.



ნახ.18 ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული მონოლითური რკინაბეტონის კოჭი. არაწრფივი ანგარიშის მსვლელობა.

რეალური დეფორმაციების სიდიდეები კი მნიშვნელოვნად აღემატება იმ სიდიდეებს, რომლებიც მარტივი ანგარიშებით მიიღება. ამ შემთხვევაშიც, კლასიკური გაანგარიშების დროს აუცილებელი ხდება სიხისტის შემცირება, რათა გავითვალისწინოთ ბეტონის შეპირაპირება და არაწრფივი დეფორმაციები.

გამომდინარე გაზრდილი დეფორმაციებიდან გამოვთვალოთ სიხისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტი ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული მონოლითური რკინაბეტონის კოჭისათვის შეპირაპირების ზონების გათვალისწინებით:

$$K_{EI} = \frac{E_{\max, \text{კლასიკური}}}{E_{\max, \text{არაწრფივი}}} = \frac{1.70\text{მმ}}{1.96\text{მმ}} = 0.86 \quad (29)$$

3.3. მონოლითური რკინაბეტონის ფილის სიხისტის მოდიფიკაცია ძველი და ახალი ბეტონის საკონტაქტო ზედაპირებისა და არაწრფივი დეფორმაციების გათვალისწინებით

განვიხილოთ დასმული პრობლემატური ამოცანების კიდევ ერთი შემთხვევა რკინაბეტონის ურიგელო ბრტყელი გადახურვის ფილის მაგალითზე. განსაკუთრებით დიდი მნიშვნელობა აქვს **სიხისტის მოდიფიკაციის** კოეფიციენტის განსაზღვრას რკინაბეტონის ურიგელო სართულშუა გადახურვებისათვის, ძველი და ახალი ბეტონის შეუღლების საკონტაქტო (შეპირაპირების) ზედაპირების მოდელირების გათვალისწინებით.

შედარების მიზნით განვიხილოთ 12250X10700მმ-ის გაბარიტული ზომებისა და 420მმ-ის სიხის მქონე მონოლითური რკინაბეტონის ურიგელო გადახურვის ბრტყელი ფილა, **(ქოზურგეთის იუსტიციის სახლის გადახურვის ფილის ანალოგი)** რომელშიც გამოყენებულია B30 კლასის ბეტონი და გარდა საკუთარი წონისა, მასზე ზემოქმედებს გარეგანი ფაქტორებისაგან გამოწვეული საექსპლუატაციო დატვირთვა 0.2ტ/მ² (ნახ.19).

B30 კლასის მძიმე ბეტონის საშუალო მოცულობით წონად მივიღოთ $\rho=2.5$ ტ/მ³. შესაბამისად, მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ფილის საკუთარი წონისგან გამოწვეული დატვირთვა განისაზღვრება:

$$Q_{\text{საკ.წონა}} = 1.0\text{მ} \cdot 1.0\text{მ} \cdot 0.42\text{მ} \cdot 2.5\text{ტ/მ}^3 = 1.05\text{ტ/მ}^2 \quad (30)$$

როგორც აღვნიშნეთ, გარეგანი ფაქტორებისგან გამოწვეული დატვირთვა ტოლია:

$$q_{\text{საკ.წონა}} = 0.2\text{ტ/მ}^2 \quad (31)$$

მთლიანად, რკინაბეტონის ბრტყელ ფილაზე მოსული ჯამური დატვირთვა განისაზღვრება:

$$Q_{\text{ჯამ.}} = Q_{\text{საკ.წონა}} + q_{\text{საკ.წონა}} = 1.05\text{ტ/მ}^2 + 0.2\text{ტ/მ}^2 = 1.25\text{ტ/მ}^2 \quad (32)$$

აღნიშნული მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ფილა გავიანგარიშოთ დეფორმაციაზე “ევროკოდი 2”-ში წარმოდგენილი

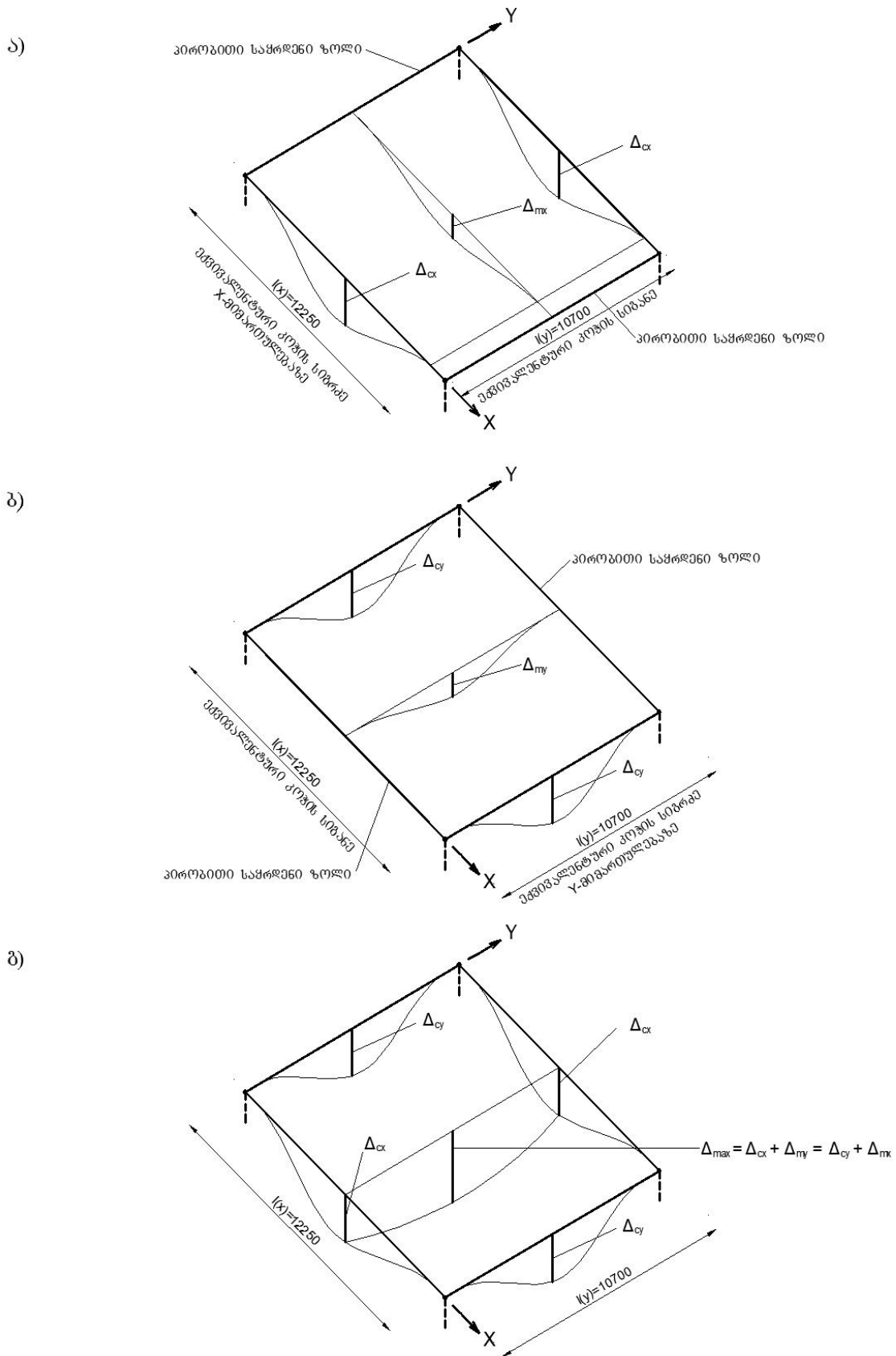
ეკვივალენტურ ჩარჩოთა მეთოდით, რაც გულისხმობს 3-განზომილებიანი საანგარიშო მოდელის დაყოფას ორ ან რამდენიმე 2-განზომილებიან ეკვივალენტურ ჩარჩოდ. მიღებული ჩარჩოები განიხილებიან ცალ-ცალკე, გრძივი და განივი მიმართულებით და შემდეგ, თითოეულ მიმართულებაზე მიღებული დეფორმაციები იკრიბება, რათა მივიღოთ ჯამური დეფორმაცია ნებისმიერ წერტილში. (იხ. ნახ.3; ნახ.4; ცხრ.2)

ეკვივალენტურ ჩარჩოთა მეთოდი, როგორც ევროკოდი 2-შია წარმოდგენილი, ეფუძნება მომენტების ანალიზს. „სვეტის ზოლი“, „შუალედური ზოლი“, „დადებითი მომენტების“ და „უარყოფითი მომენტების“ გადანაწილება განსაზღვრულია მრავალწლიანი თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების შედეგად.

ნახ. 19ა-ს მიხედვით, ფილა მუშაობს, როგორც ფართო კოჭი, რომლის სიგანე ეკვივალენტურია მთლიანი ფილის სიგანის $I_y = 10700\text{მმ}^2$ და მისი მალის სიგრძეა $I_x = 12250\text{მმ}^2$. პირობითად, ჩავთვალოთ, რომ რკინაბეტონის ფილას გააჩნია საყრდენი ზოლები, შესაბამისად $x=0$ და $x=12250\text{მმ}$. გამომდინარე განსხვავებული მდუნავი მომენტებიდან და აგრეთვე ღუნვის სიხისტიდან, ყველა ერთეულოვანი ზოლი X-მიმართულებაზე არ ჩაიღუნება თანაბრად. როგორც წესი, „შუალედურ ზოლში“ ჩაღუნვები იქნება უფრო მცირე, ვიდრე „სვეტის ზოლში“, რადგან „შუალედურ ზოლში“ უფრო მცირე მდუნავი მომენტი გვაქვს.

შემდეგ, ნახ. 19ბ-ზე ფილა განიხილულია, როგორც ეკვივალენტური ფართო კოჭი სიგანით $I_x = 12250\text{მმ}^2$ და მუშაობს ღუნვაზე, Y-მიმართულებით, სადაც მალის სიგრძეა $I_y = 10700\text{მმ}^2$. ამ მიმართულებითაც საქმე გვექნება განსხვავებულ მდუნავ მომენტებთან „შუალედურ ზოლში“ და „სვეტის ზოლში“.

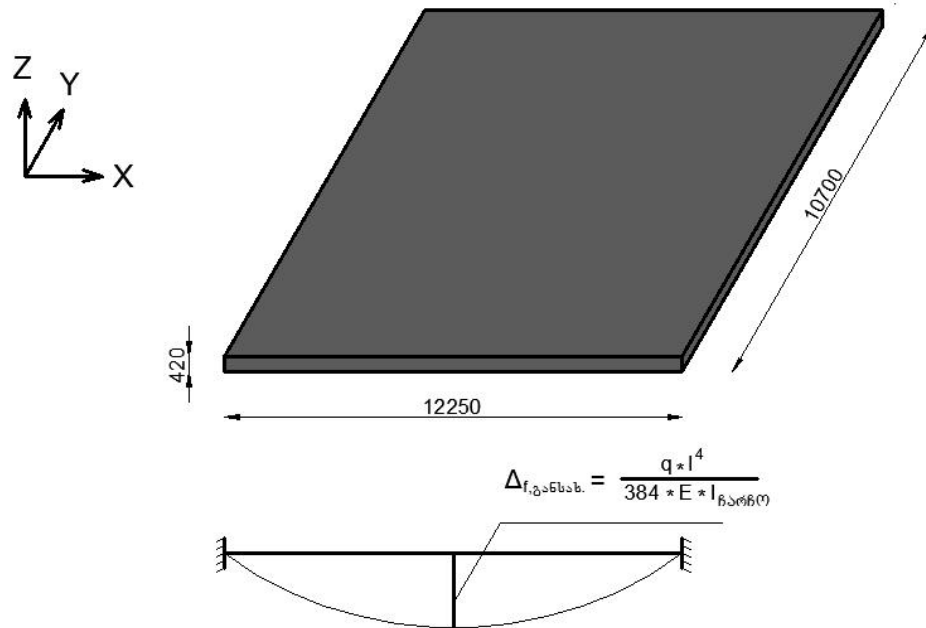
რეალური დეფორმაციის სურათი კი ჩანს ნახ. 19გ-ზე. მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ფილის მაქსიმალური ჩაღუნვა (შუა წერტილში), წარმოადგენს ერთი მიმართულებით – „სვეტის ზოლის“ შუა მალის დეფორმაციისა და მეორე მიმართულებით – „შუალედური ზოლის“ შუა მალის დეფორმაციების ჯამს.



ნახ. 19 რეინაბეტონის ბრტყელი ფილის საანგარიშო სქემა

გამომდინარე აქედან, ვაღგენთ:

$$\Delta_{\max} = \Delta_{cx} + \Delta_{my} = \Delta_{cy} + \Delta_{mx} \quad (33)$$



ნახ. 20 რკინაბეტონის ბრტყელი ფილის საანგარიშო სქემა 2-განზომილებიანი განსახილველი ეკვივალენტური ხარხოს კერძო შემთხვევისათვის.

დავიწყოთ უშუალოდ გაანგარიშება. საწყის ეტაპზე მივიჩნიოთ, რომ საყრდენები არის აბსოლუტურად ხისტი, შეზღუდულია, როგორც მობრუნება, ისე ვერტიკალური გადაადგილება.

განსახილველი დეფორმაცია გამოითვლება ფორმულით:

$$\Delta_{f,განსახ.} = \frac{ql^4}{384EI_{განსახ.}} \quad (34)$$

მას შემდეგ, რაც მოვახდინეთ 3-განზომილებიანი მოდელის დაყოფა ორ 2-განზომილებიან ეკვივალენტურ სისტემადა, საჭირო ხდება (30), (31) და (32) ფორმულებით განსაზღვრული, ერთეულ ფართზე მოსული

დატვირთვების გადაყვანა მათ ეკვივალენტურ თანაბრადგანაწილებულ დატვირთვებად გრძივ მეტრზე, ორივე მიმართულებით:

$$Q_{x,იჯამ.} = Q_{x,ი.საკ.წონა} + q_{x,ი.გარე დატვირთვა} = 11.235 \text{ ტ/მ} + 2.14 \text{ ტ/მ} = 13.375 \text{ ტ/მ} \quad (35)$$

$$Q_{y,იჯამ.} = Q_{y,ი.საკ.წონა} + q_{y,ი.გარე დატვირთვა} = 12.8625 \text{ ტ/მ} + 2.45 \text{ ტ/მ} = 15.3125 \text{ ტ/მ} \quad (36)$$

განვსაზღვროთ განსახილველი დეფორმაცია მონოლითური რკინაბეტონის ეკვივალენტური კოჭების შუა მალში. B30 კლასის ბეტონის დრეკადობის მოდული ტოლია: $E=3300000 \text{ ტ/მ}^2$.

გამოვთვალოთ ეკვივალენტური კოჭის კვეთის ინერციის მომენტი X-ღერძის მიმართ:

$$I_{x,ჩარჩო} = \frac{bh^3}{12} = \frac{1225 \text{ სმ} \cdot (42 \text{ სმ})^3}{12} = 7563150 \text{ სმ}^4 = 0.076 \text{ მ}^4 \quad (37)$$

გამოვთვალოთ ეკვივალენტური კოჭის კვეთის ინერციის მომენტი Y-ღერძის მიმართ:

$$I_{y,ჩარჩო} = \frac{bh^3}{12} = \frac{1070 \text{ სმ} \cdot (42 \text{ სმ})^3}{12} = 6606180 \text{ სმ}^4 = 0.066 \text{ მ}^4 \quad (38)$$

განსახილველი დეფორმაცია X-ღერძის გასწვრივ, მიიღებს შემდეგ მნიშვნელობას:

$$\Delta_{f,x,განსახ.} = \frac{ql^4}{384EI_{ჩარჩო}} = \frac{13.375 \text{ ტ/მ} \cdot (12.25 \text{ მ})^4}{384 \cdot 3300000 \text{ ტ/მ}^2 \cdot 0.066 \text{ მ}^4} = 0.0036 \text{ მ} = 3.6 \text{ მმ} \quad (39)$$

განსახილველი დეფორმაცია Y-ღერძის გასწვრივ, მიიღებს შემდეგ მნიშვნელობას:

$$\Delta_{f,y,განსახ.} = \frac{ql^4}{384EI_{ჩარჩო}} = \frac{15.3125 \text{ ტ/მ} \cdot (10.70 \text{ მ})^4}{384 \cdot 3300000 \text{ ტ/მ}^2 \cdot 0.076 \text{ მ}^4} = 0.0021 \text{ მ} = 2.1 \text{ მმ} \quad (40)$$

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ფილა უნდა დაიყოს „სვეტის ზოლად“ და „შუალედურ ზოლად“ (ნახ.19). ამ გზით მოვახერხებთ გავიგოთ თუ როგორია მომენტების განაწილება ეკვივალენტური კოჭის სიგანეზე და აგრეთვე სიხისტის მნიშვნელობა, „სვეტის ზოლის“ და „შუალედური ზოლის“ განსხვავებული ინერციის მომენტების გამო. შემდეგ, მიღებული განსახილველი დეფორმაციები გავამრავლოთ M/EI წილადზე, რადგან რეალური დეფორმაციები პირდაპირპროპორციულია მომენტების სიდიდის

და უკუპროპორციულია სიხისტეების. „სვეტის ზოლის“ ნახევარსიგანე ტოლია უმცირესი მალის 1/4 ნაწილის.

„სვეტის ზოლების“ ჯამური სიგანე უდრის:

$$W_{სვ.ზ. xy} = 2 \frac{l(y)}{4} = 2 \cdot 2675 მმ = 5350 მმ \quad (41)$$

„შუალედური ზოლის“ სიგანე, მიმართულებების მიხედვით, ტოლია:

$$W_{შ.ზ. x} = l(x) - W_{სვ.ზ. xy} = 12250 მმ - 5350 მმ = 6900 მმ \quad (42)$$

$$W_{შ.ზ. y} = l(y) - W_{სვ.ზ. xy} = 10700 მმ - 5350 მმ = 5350 მმ \quad (43)$$

გამოვთვალოთ „სვეტის ზოლის“ ინერციის მომენტი X და Y ღერძების მიმართ:

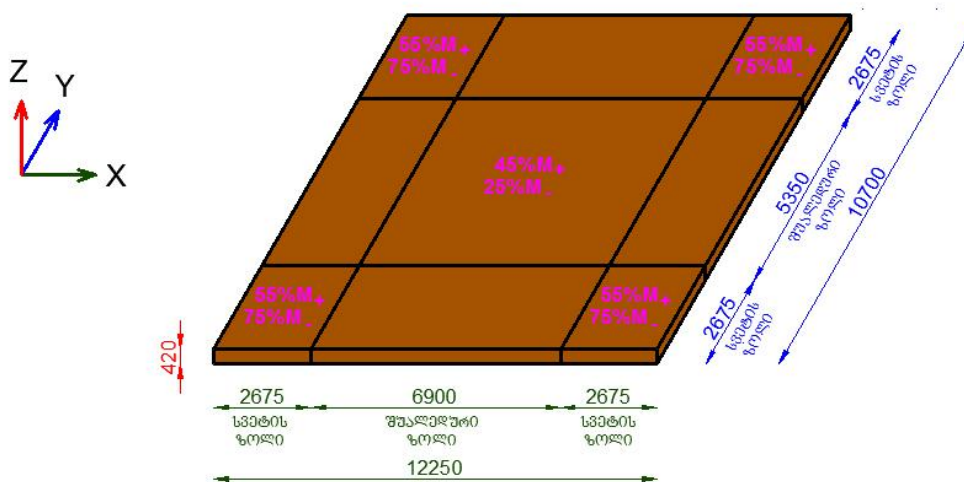
$$I_{x,სვ.ზ.} = I_{y,სვ.ზ.} = \frac{bh^3}{12} = \frac{535 სმ \cdot (42 სმ)^3}{12} = 3303090 სმ^4 = 0.033 მ^4 \quad (44)$$

გამოვთვალოთ „შუალედური ზოლის“ ინერციის მომენტი X ღერძის მიმართ:

$$I_{x,შ.ზ.} = \frac{bh^3}{12} = \frac{690 სმ \cdot (42 სმ)^3}{12} = 4260060 სმ^4 = 0.043 მ^4 \quad (45)$$

გამოვთვალოთ „შუალედური ზოლის“ ინერციის მომენტი Y ღერძის მიმართ:

$$I_{y,შ.ზ.} = \frac{bh^3}{12} = \frac{535 სმ \cdot (42 სმ)^3}{12} = 3303090 სმ^4 = 0.033 მ^4 \quad (46)$$



ნახ. 21 დადებითი და უარყოფითი მომენტების გადანაწილების ვიზუალიზაცია „სვეტის ზოლების“ და „შუალედური ზოლების“ მიხედვით.

მომენტების გადანაწილება „სვეტის ზოლებისა“ და „შუალედური ზოლების“ მიხედვით დაფუძნებულია ევროკოდი 2-ში მითითებული სიდიდეების ფარგლებში. (იხ. ცხრ.2).

სრული სტატიკური მომენტის 65% მოდის უარყოფით მომენტზე, საიდანაც:

„სვეტის ზოლი“ მიიღებს:

$$75\% \cdot 65\% \cdot M_0 = 48.75\% \cdot M_0 \quad (47)$$

„შუალედური ზოლი“ მიიღებს:

$$25\% \cdot 65\% \cdot M_0 = 16.25\% \cdot M_0 \quad (48)$$

სრული სტატიკური მომენტის 35% მოდის დადებით მომენტზე, საიდანაც:

„სვეტის ზოლი“ მიიღებს:

$$55\% \cdot 35\% \cdot M_0 = 19.25\% \cdot M_0 \quad (49)$$

„შუალედური ზოლი“ მიიღებს:

$$45\% \cdot 35\% \cdot M_0 = 15.75\% \cdot M_0 \quad (50)$$

მთლიანი მომენტი „სვეტის ზოლზე“ განისაზღვრება:

$$(48.75\% + 19.25\%) \cdot M_0 = 68\% \cdot M_0 \quad (51)$$

მთლიანი მომენტი „შუალედურ ზოლზე“ განისაზღვრება:

$$(16.25\% + 15.75\%) \cdot M_0 = 32\% \cdot M_0 \quad (52)$$

გამოვთვალოთ მაქსიმალური დეფორმაცია X ღერძის გასწვრივ, „სვეტის ზოლში“:

$$\Delta_{cx} = \Delta_{f,x,განსახ.} \cdot \frac{M_{სვ.ზ.}}{M_{ნარჩო}} \cdot \frac{EI_{y,ნარჩო}}{EI_{y,სვ.ზ.}} = 3.6\text{მმ} \cdot 68\% \cdot 200\% = 4.90\text{მმ} \quad (53)$$

გამოვთვალოთ მაქსიმალური დეფორმაცია X ღერძის გასწვრივ, „შუალედურ ზოლში“:

$$\Delta_{mx} = \Delta_{f,x,განსახ.} \cdot \frac{M_{შ.ზ.}}{M_{ნარჩო}} \cdot \frac{EI_{y,ნარჩო}}{EI_{y,შ.ზ.}} = 3.6\text{მმ} \cdot 32\% \cdot 200\% = 2.30\text{მმ} \quad (54)$$

გამოვთვალოთ მაქსიმალური დეფორმაცია Y ღერძის გასწვრივ, „სვეტის ზოლში“:

$$\Delta_{cy} = \Delta_{f,y,განსახ.} \cdot \frac{M_{სვ.ზ.}}{M_{ნარჩო}} \cdot \frac{EI_{x,ნარჩო}}{EI_{x,სვ.ზ.}} = 2.1\text{მ} \cdot 68\% \cdot 229\% = 3.27\text{მ} \quad (55)$$

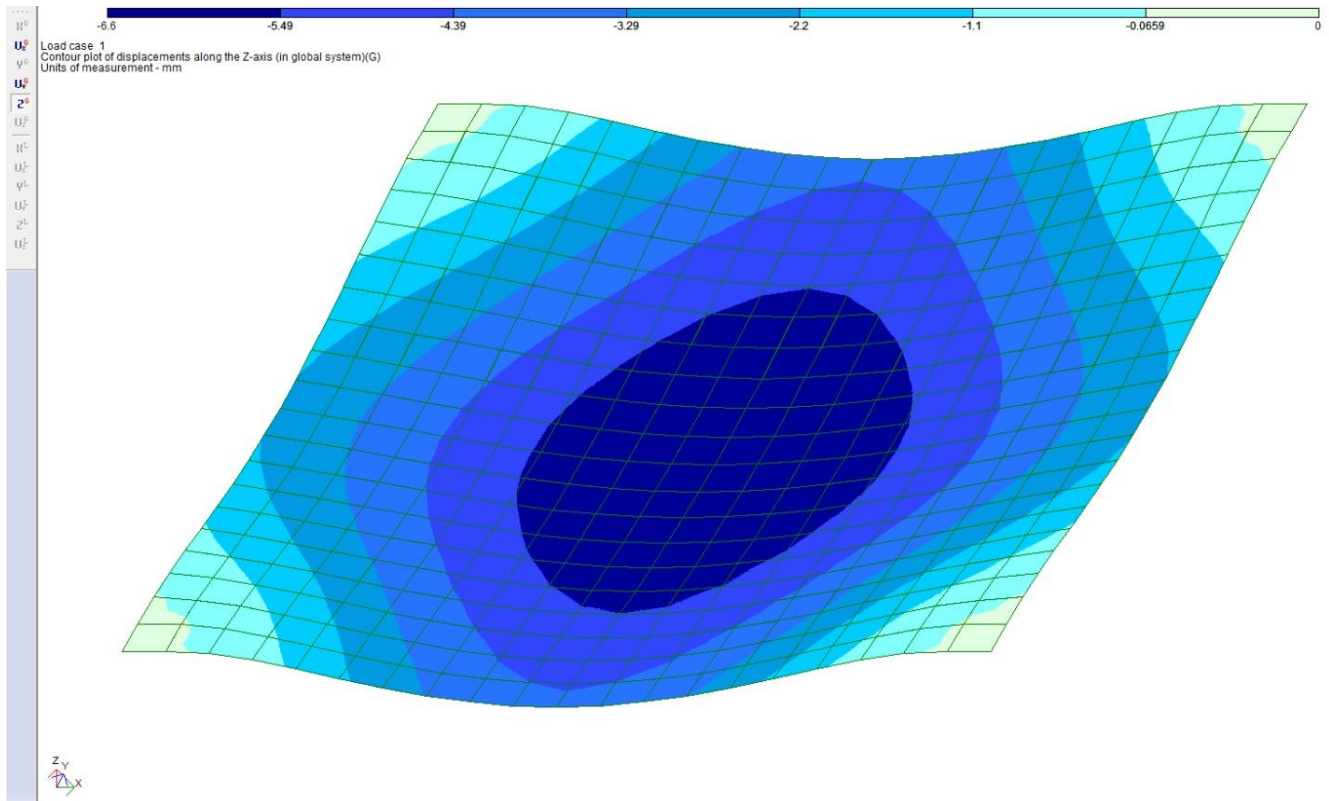
გამოვთვალოთ მაქსიმალური დეფორმაცია Y დერძის გასწვრივ, „შუალედურ ზოლში“:

$$\Delta_{my} = \Delta_{f,y,განსახ.} \cdot \frac{M_{შ.ზ.}}{M_{ნარჩო}} \cdot \frac{EI_{x,ნარჩო}}{EI_{x,შ.ზ.}} = 2.1\text{მ} \cdot 32\% \cdot 177\% = 1.19\text{მ} \quad (56)$$

გამოვთვალოთ მაქსიმალური დეფორმაცია:

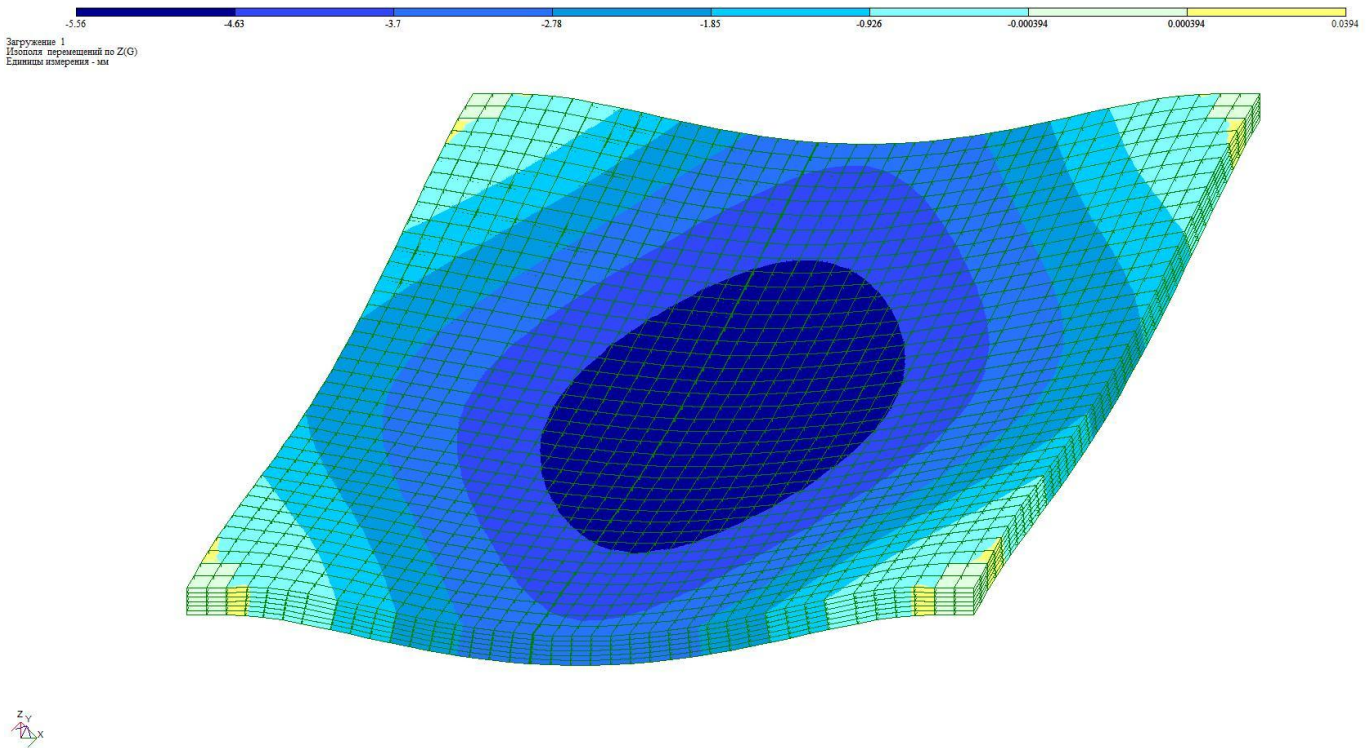
$$\Delta_{max} = \Delta_{cx} + \Delta_{my} \cong \Delta_{cy} + \Delta_{mx} = 4.90\text{მ} + 1.19\text{მ} = 6.09\text{მ} \cong 5.57\text{მ} \quad (57)$$

მარტივი შედარების მიზნით ჩავატარეთ ანალოგიური წრფივი გაანგარიშება სასრული ელემენტების საფუძველზე რიცხვითი მეთოდების გამოყენებით. მიღებული შედეგები **8%-ის** სიზუსტით დაემთხვა ანალიზური მეთოდით მიღებულ შედეგებს და შეადგინა **6.58მმ**. (ნახ.22)



ნახ. 22 მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ფილა. საანგარიშო მოდელი სასრული ელემენტებით. მაქსიმალური დეფორმაცია $\Delta_{max} = 6.58\text{მმ}$.

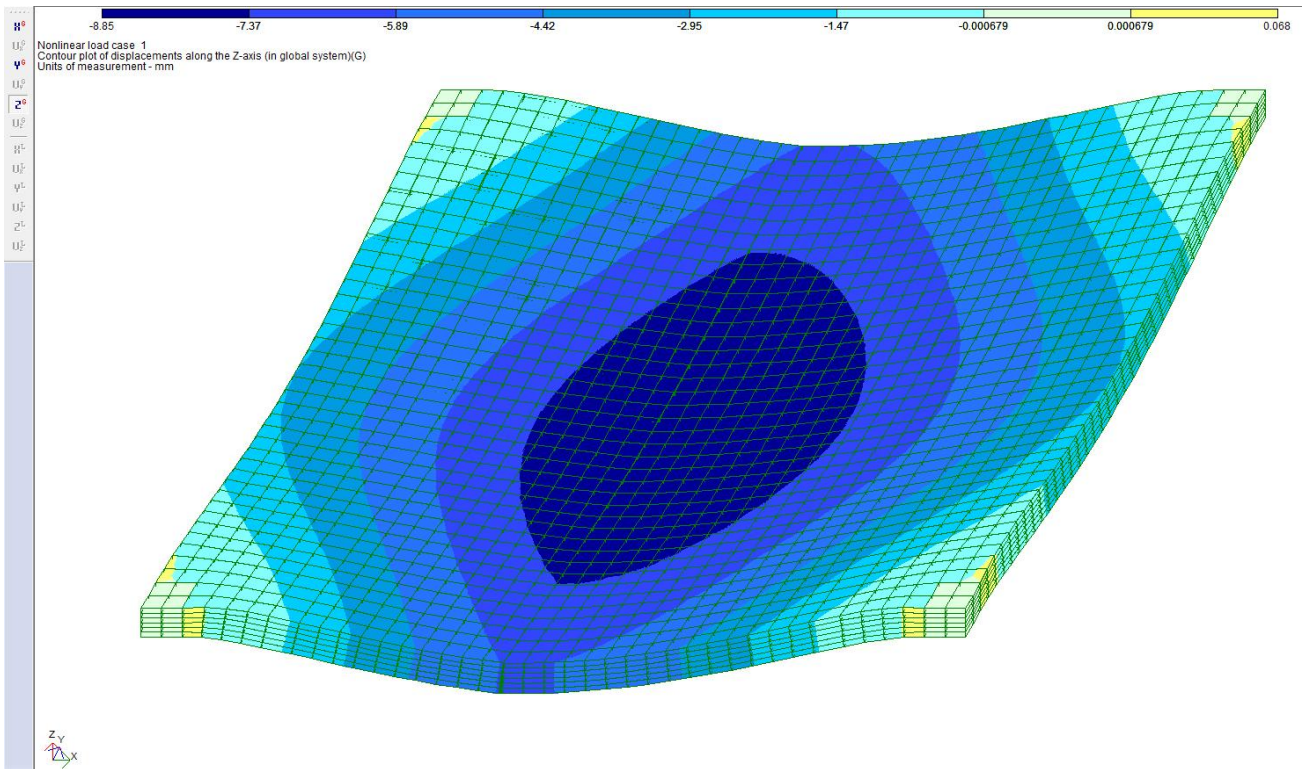
განვაზოგადოთ შედარებები. ჩავატარეთ ანალოგიური მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ურიგელო ფილის გაანგარიშება სივრცითი სასრული ელემენტების საფუძველზე რიცხვითი მეთოდებით. მიღებულმა შედეგებმა კიდევ ერთხელ დაადასტურა, რომ სივრცითი გაანგარიშებების დროს დეფორმაციის მნიშვნელობები რამდენადმე უფრო მცირეა, ვიდრე ბრტყელი გაანგარიშებებისას. ამ შემთხვევაში მიღებული შედეგები **8%-ის** სიზუსტით დაემთხვა ანალიზური მეთოდით მიღებულ შედეგებს და შეადგინა **5.56მმ**. (ნახ.23)



ნახ. 23 მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ფილა. გაანგარიშო მოდელი სივრცითი წრფივი სასრული ელემენტებით. მოდელირებულია წებო და საკონტაქტო ზედაპირები. მაქსიმალური დეფორმაცია $\Delta_{max} = 5.56\text{მმ}$. (მწვანე ზოლი)

ამ პრობლემის დრმა შესწავლისათვის ჩატარდა რიცხვითი ექსპერიმენტი სივრცითი არაწრფივი (3D) სასრული ელემენტების გამოყენებით. მოდელირებულ იქნა მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ფილა B30 კლასის ბეტონის გამოყენებით. აგრეთვე მოდელირებულ იქნა

ეპოქსიდური წებო და რკინაბეტონის შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირები. (ნახ. 24)



ნახ. 24 მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ფილა. საანგარიშო მოდელი სივრცითი არაწრფივი (3D) სასრული ელემენტებით. მოდელირებულია წებო და საკონტაქტო ზედაპირები. მაქსიმალური დეფორმაცია $\Delta_{max} = 8.85\text{მმ}$.

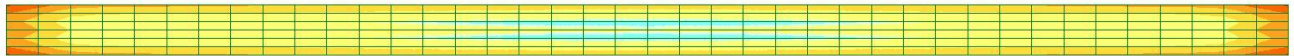
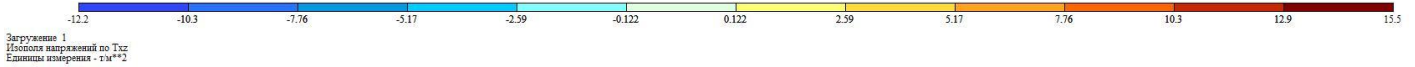
მოდელირებულმა რიცხვითმა ექსპერიმენტმა აჩვენა, რომ რკინაბეტონის შეპირაპირების ზედაპირის გათვალისწინებით არაწრფივი დეფორმაციები **34%-ით** აღემატება სტანდარტული, წრფივი სასრული ელემენტებით მიღებულ შედეგებს და **45%-ით** აღემატება ეკვივალენტურ ჩარჩოთა ანალიზური მეთოდით მიღებულ შედეგებს. გამომდინარე გაზრდილი დეფორმაციებიდან გამოვთვალოთ სიხისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტები რკინაბეტონის ფილის შეპირაპირებისათვის:

$$K_{EI,1} = \frac{\Delta_{max,ეკვივანტო}}{\Delta_{max,არაწრფივი}} = \frac{6.08\text{მმ}}{8.85\text{მმ}} = 0.69 \quad (58)$$

$$K_{EI,2} = \frac{\Delta_{\max, \text{სასრულ. ელემენტ.}}}{\Delta_{\max, \text{არაწრფივი}}} = \frac{6.58 \text{ მმ}}{8.85 \text{ მმ}} = 0.74 \quad (59)$$

$$K_{EI, \text{საშუალო}} = \frac{0.69 + 0.74}{2} = 0.715 \approx 0.7 \quad (60)$$

აღსანიშნავია ის ფაქტიც, რომ ძველი და ახალი ბეტონების შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირებზე მხები ძაბვები საკმაოდ არათანაბრადაა განაწილებული და მაქსიმალური მნიშვნელობა აღწევს 15.5 ტ/მ²-ს. (იხ. ნახ.25)



ნახ.25 მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ფილა. ძველი და ახალი ბეტონის საკონტაქტო (შეპირაპირების) ზედაპირის სივრცითი მოდელი, მაქსიმალური მხები ძაბვა საკონტაქტო ზედაპირზე, $\tau_{xz}=15.5 \text{ ტ/მ}^2$

3.4. მრავალსართულიანი რკინაბეტონის შენობების გაანგარიშება სეისმურ დატვირთვებზე. სართულშუა გადახურვის ფილებში ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების (საკონტაქტო ზედაპირების) გათვალისწინებით. შედეგების შედარება.

განვიხილოთ ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირების გავლენა მრავალსართულიანი რკინაბეტონის შენობების სეისმურ გაანგარიშებაზე. შედარებისათვის გავიანგარიშოთ ერთი და იგივე შენობის ორი პირობითი მოდელი, პირველი შემთხვევა, როდესაც ერთიანად მოხდა ბეტონის ჩასხმა, ხოლო მეორე შემთხვევა, როდესაც შენობის სართულშუა გადახურვის ფილებში რამოდენიმე ადგილას მოხდა ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირება. მოვახდინოთ ორივე შემთხვევისათვის მიღებული შედეგების შედარება.

სეისმური გაანგარიშებისათვის განვიხილოთ 14-სართულიანი შენობის მოდელი. შენობის ზომები ღერძებში შეადგენს 25.5X22.0მ მიმართულებების შესაბამისად. შენობის სიმაღლეა 49.5მ. შენობის მაქსიმალური მალის ზომა არის 7.0მ. შენობის მზიდ ელემენტებს წარმოადგენენ მონოლითური რკინაბეტონის საძირკველის ფილა (90სმ), მონოლითური რკინაბეტონის სვეტები (70X70სმ და 50X50სმ), მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ურიგელო სართულშუა გადახურვის ფილები (20სმ) და მონოლითური რკინაბეტონის დიაფრაგმული კედლები (30სმ) (ნახ. 24 და ნახ. 25)

შენობისათვის გამოყენებულია **B35** კლასის ბეტონი, რომლის დრეკადობის მოდული ტოლია: $E=3500000$ ტ/მ², ხოლო საანგარიშო წინაღობა კუმშვაზე ტოლია: $R_k=1990$ ტ/მ² .

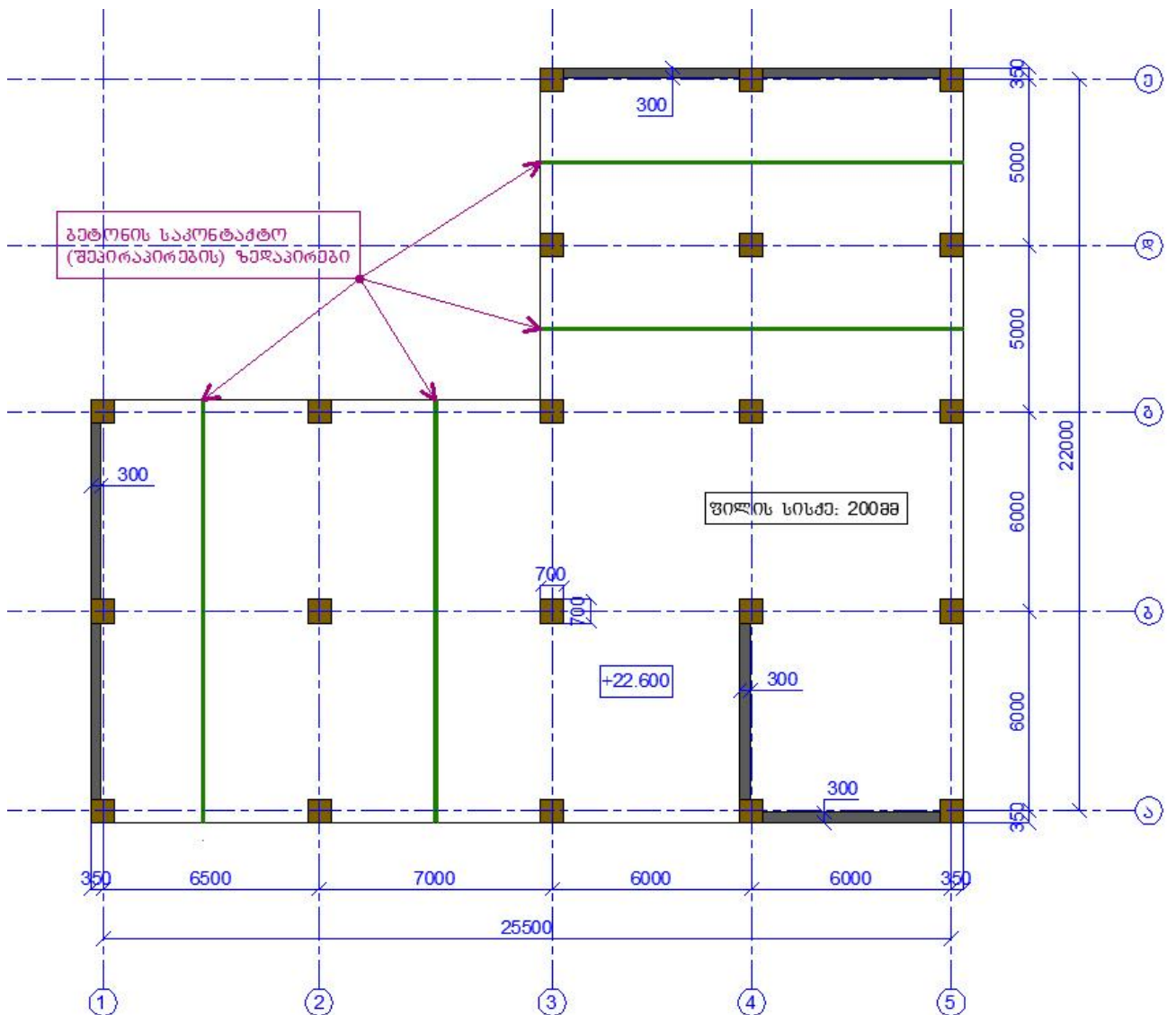
განსახილველ შენობაზე მოქმედებს:

- 1) საკუთარი წონისგან გამოწვეული მუდმივი დატვირთვა – 0.55 ტ/მ²
- 2) არამზიდი კონსტრუქციებით გამოწვეული დროებითი ხანგრძლივი დატვირთვა – 0.25 ტ/მ²

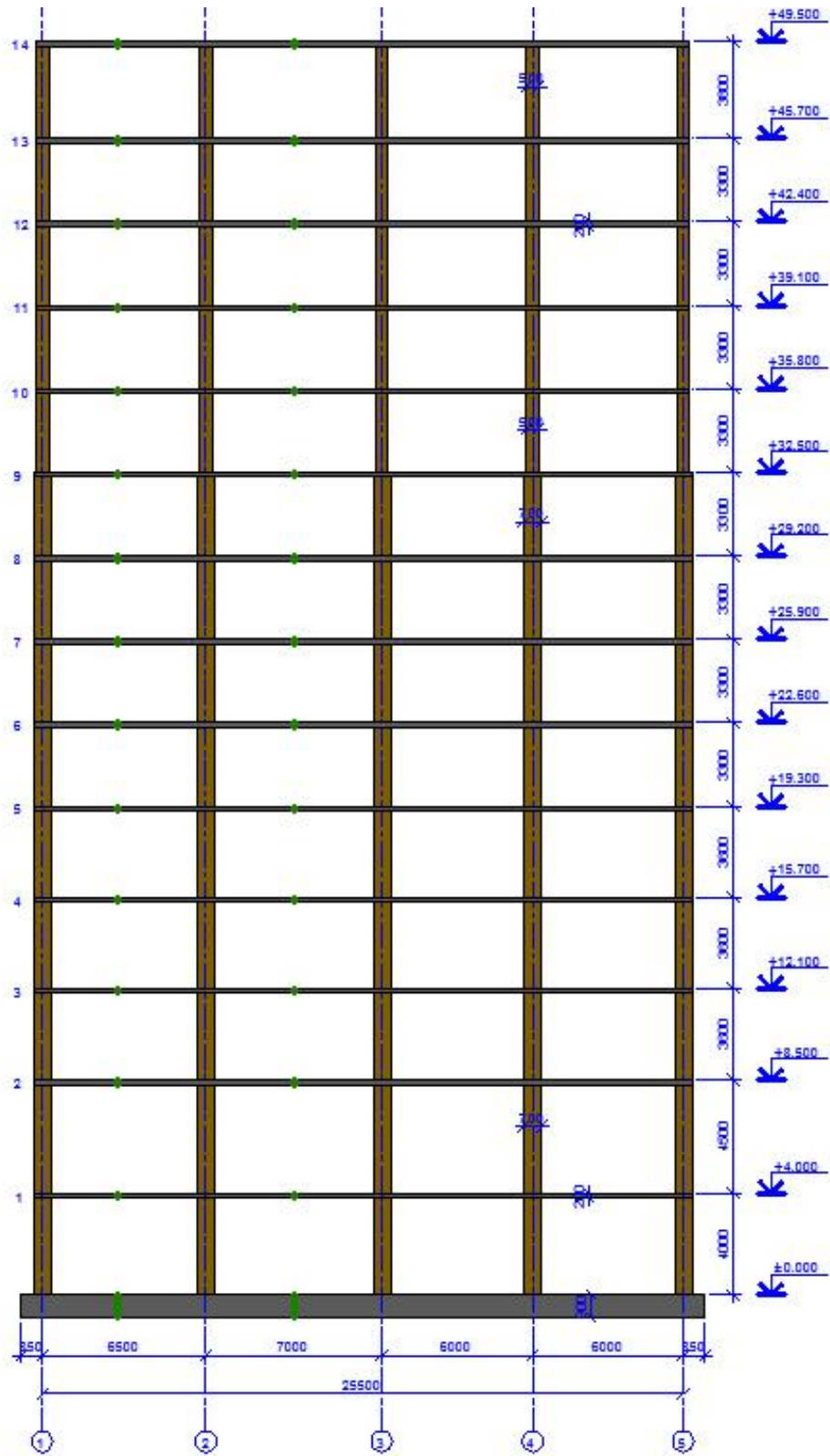
3) ექსპლოატაციისგან გამოწვეული დროებითი ხანმოკლე დატვირთვა – 0.20 ტ/მ^2

4) X-მიმართულებაზე მოქმედი 0.17გ აჩქარების გამომწვევი პორიზონტალური სეისმური დატვირთვა.

5) Y-მიმართულებაზე მოქმედი 0.17გ აჩქარების გამომწვევი პორიზონტალური სეისმური დატვირთვა.



ნახ.26 განხილული შენობის მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ურიგელო სართულ შუა გადახურვის ფილა. ტიპური სართული, ნიშნული: +22.600მ.



ნახ.27 განხილული შენობის მონოლითური რკინაბეტონის კარკასი

მოცემული შენობის k-ურ წერტილში, i-ური რხევის ტონის შესაბამისი სეისმური დატვირთვა განისაზღვრება ფორმულით:

$$S_{ik} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot S_{oik} \quad (61)$$

სადაც:

K_1 არის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს შენობაში დასაშვებ დაზიანებებს, კონსტრუქციის უნარს განავითაროს არადრეკადი დეფორმაციები და აგრეთვე სხვა სეისმურ მარაგებს, რომელიც შენობას გააჩნია სეისმური ზემოქმედებისას. **მონოლითური რკინაბეტონის კარკასის მქონე შენობებისათვის $K_1 = 0.35$**

K_2 არის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს შენობა ნაგებობის კონსტრუქციულ გადაწყვეტას.

განსახილველი შენობისათვის K_2 კოეფიციენტი გამოითვლება ფორმულით:

$$K_2 = 1 + 0.1 \cdot (n-5) = 1 + 0.1 \cdot (14-5) = 1.9 \quad (62)$$

K_3 არის შენობა-ნაგებობის მნიშვნელობის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს შენობა-ნაგებობის ფუნქციას და მახასიათებლებს. **საცხოვრებელი შენობებისათვის $K_3 = 1.0$**

S_{oik} არის შენობა-ნაგებობის, როგორც დრეკად-დეფორმირებადი სისტემის საკუთარი რხევის i-ური ტონის შესაბამისი სეისმური დატვირთვა, რომელიც განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$S_{oik} = Q_k \cdot A \cdot \beta_i \cdot K_\psi \cdot K_0 \cdot \eta_{ik} \quad (63)$$

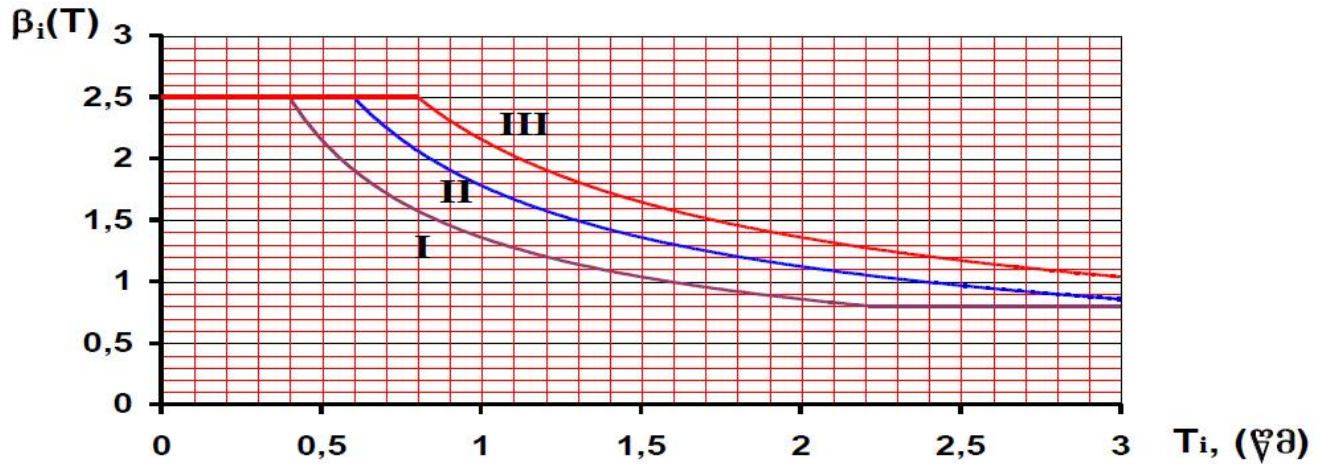
სადაც:

Q_k არის შენობა-ნაგებობის k-ურ წერტილზე მოსული წონა.

A არის სეისმურობის უგანზომილებო კოეფიციენტი, რომელიც გვიჩვენებს მოცემული შენობისათვის გრუნტის საანგარიშო აჩქარების შეფარდებას თავისუფალი ვარდნის აჩქარებასთან. **მოცემული შენობის შემთხვევაში იგი ტოლია 0.17-ის, ხოლო თვითონ აჩქარება ტოლია: $0.17g = 0.17 \cdot 9.81 = 1.667$ მ/წმ²**

β_i არის შენობა-ნაგებობების საკუთარი რხევის i-ური ტონის შესაბამისი დინამიკურობის კოეფიციენტი, რომელიც განისაზღვრება,

გრაფიკით (ნახ. 28);



ნახ.28 შენობა-ნაგებობის საკუთარი რხევის i-ური ტონის (ფორმის) შესაბამისი დინამიკურობის განმსაზღვრელი β მრუდი, დამოკიდებული შენობა-ნაგებობის საკუთარი რხევის i-ური ტონის (ფორმის) პერიოდზე.

წინასწარი გამოთვლებით დადგინდა, რომ შენობის საკუთარი რხევის 1-ლი ძირითადი ფორმის პერიოდი არის: $T_1=2.175$ წმ-ს. აქედან გამომდინარე, II კატეგორიის გრუნტისათვის, რაც წარმოადგენს განსახილველი შენობის ფუძეს, შესაბამისი დინამიკურობის კოეფიციენტი $\beta_1 = 1.1$

K_ψ არის შენობა-ნაგებობების კონსტრუქციული ფორმის გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი. ვინაიდან მოცემული შენობის შემთხვევაში სვეტების სიმაღლის ფარდობა მისივე განივკვეთის ზომებთან, მაქსიმალური მნიშვნელობისას შეადგენს: $h/b=3800/500=9.5 < 15$; შესაბამისად $K_\psi = 1.0$

K_0 არის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს გრუნტის არაწრფივ დეფორმირებას. II კატეგორიის გრუნტისათვის, $0.121g-0.24g$ მაქსიმალური ძორიზონტალური აჩქარების პირობებში $K_0 = 1.0$

η_{ik} არის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია შენობა-ნაგებობების საკუთარი რხევის დროს i -ური ტონის შესაბამისი დეფორმაციის სახეზე და ამავე განსაზღვრული დატვირთვის მოდების წერტილზე.

ჩვენს შემთხვევაში, აღნიშნული კოეფიციენტი გამოთვლილია კომპიუტერული გაანგარიშებისას.

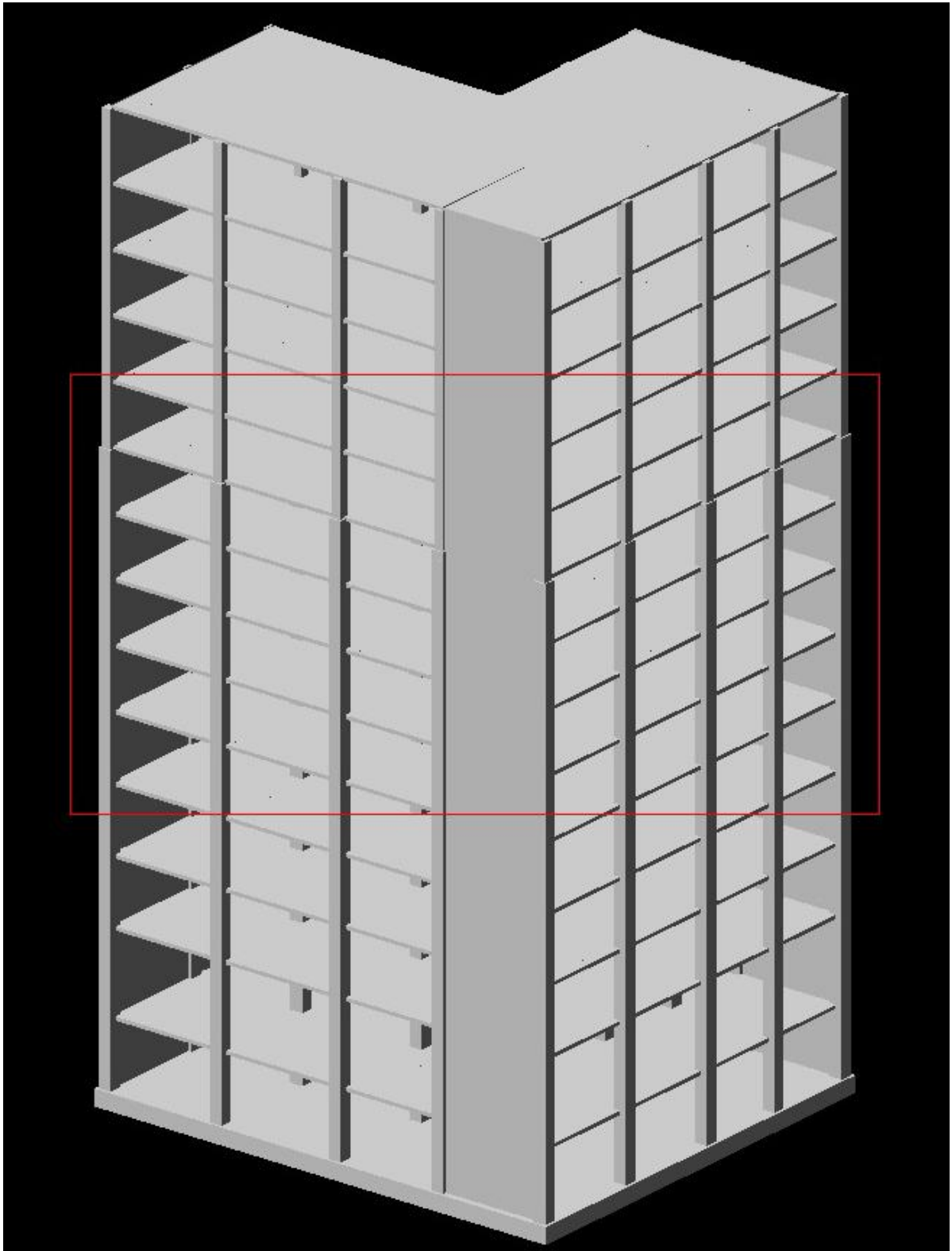
წინამდებარე ფორმულებით, გრაფიკებით და ნორმატიულ დოკუმენტაციაში არსებული მითითებული მეთოდებით განსაზღვრეთ საწყისი მონაცემთა ბაზა, რომლის საფუძველზეც ავაგეთ ბრტყელი და წრფივი სასრული ელემენტების მოდელები საანგარიშო კომპლექსის **LIRA 9.6 R6** – ის გამოყენებით:

კოეფიციენტი	მნიშვნელობა
K_1	0.35
K_2	1.90
K_3	1.00
A	0.17
β	1.10
K_ψ	1.00
K_0	1.00

ცხრ.5 სეისმური ძალების განმსაზღვრელი მონაცემთა ბაზა

ზემოაღნიშნული მონაცემების საფუძველზე ჩატარდა გაანგარიშებები ორივე მოდელის მიხედვით: ერთიანად ჩასხმული ბეტონის შემთხვევისათვის და სართულშია გადახურვებში ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით.

გაანგარიშებებით მიღებული შედეგები: გადაადგილებები X და Y მიმართულებით, პერიოდები რხევის I, II და III ფორმებისათვის და მონოლითური რკინაბეტონის ფილების არმირება ერთმანეთთან არის შედარებული ორივე შემთხვევისათვის. მიღებულია შესაბამისი დასკვნები.

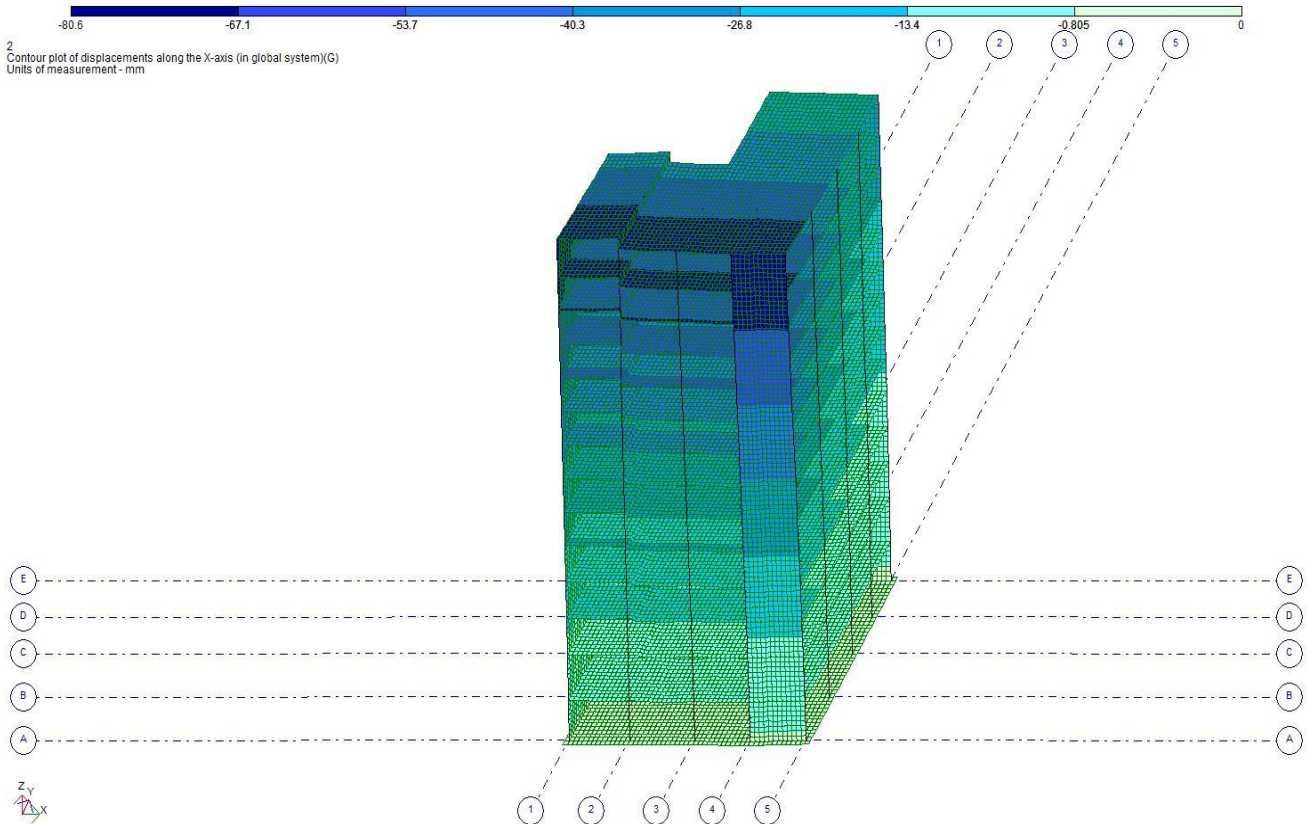


ნახ.29 შენობის საანგარიშო სივრცითი (3D) მოდელი.

ნახ. 30-ზე გამოსახულია მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობის მოდელი ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გარეშე (ერთიანად ჩასხმის შემთხვევა), რომელიც აგებულია ორგანოზომილებიანი (ბრტყელი) წრფივი სასრული ელემენტების მეშვეობით, კომპიუტერული საანგარიშო კომპლექსის **LIRA 9.6 R6** – ის გამოყენებით.

სქემაზე დიდი გადაადგილებები ნაჩვენებია უფრო მუქი ფერებით (ლურჯი), ხოლო მცირე გადაადგილებები უფრო ღია ფერებით (ცისფერი). 0.17g-ს ეკვივალენტური სეისმური აჩქარებებით გამოწვეული გადაადგილება X-მიმართულებაზე შეადგენს $\Delta_{max,x} = 80.6\text{მმ}$ -ს, რაც არის შენობის სიმაღლის **1/614** ნაწილი.

მიუხედავად იმისა, რომ შენობა დასმულია დრეკად ფუძეზე, გადაადგილებები ძირითადად გამოწვეულია შენობის ვერტიკალური ელემენტების დეფორმაციით.

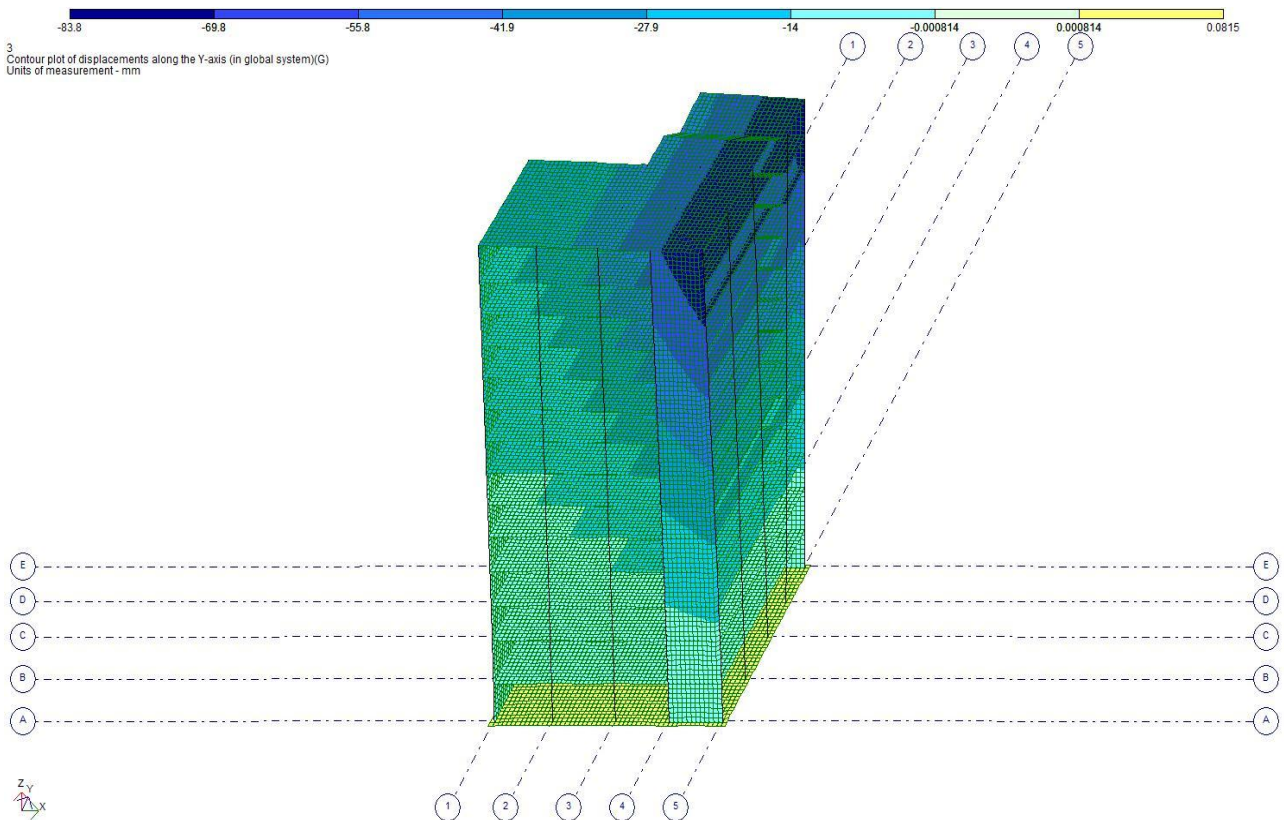


ნახ. 30 მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობა. (ბეტონის ერთიანად ჩასხმის შემთხვევა, შეპირაპირების გარეშე) საანგარიშო მოდელი ორგანოზომილებიანი წრფივი სასრული ელემენტებით.

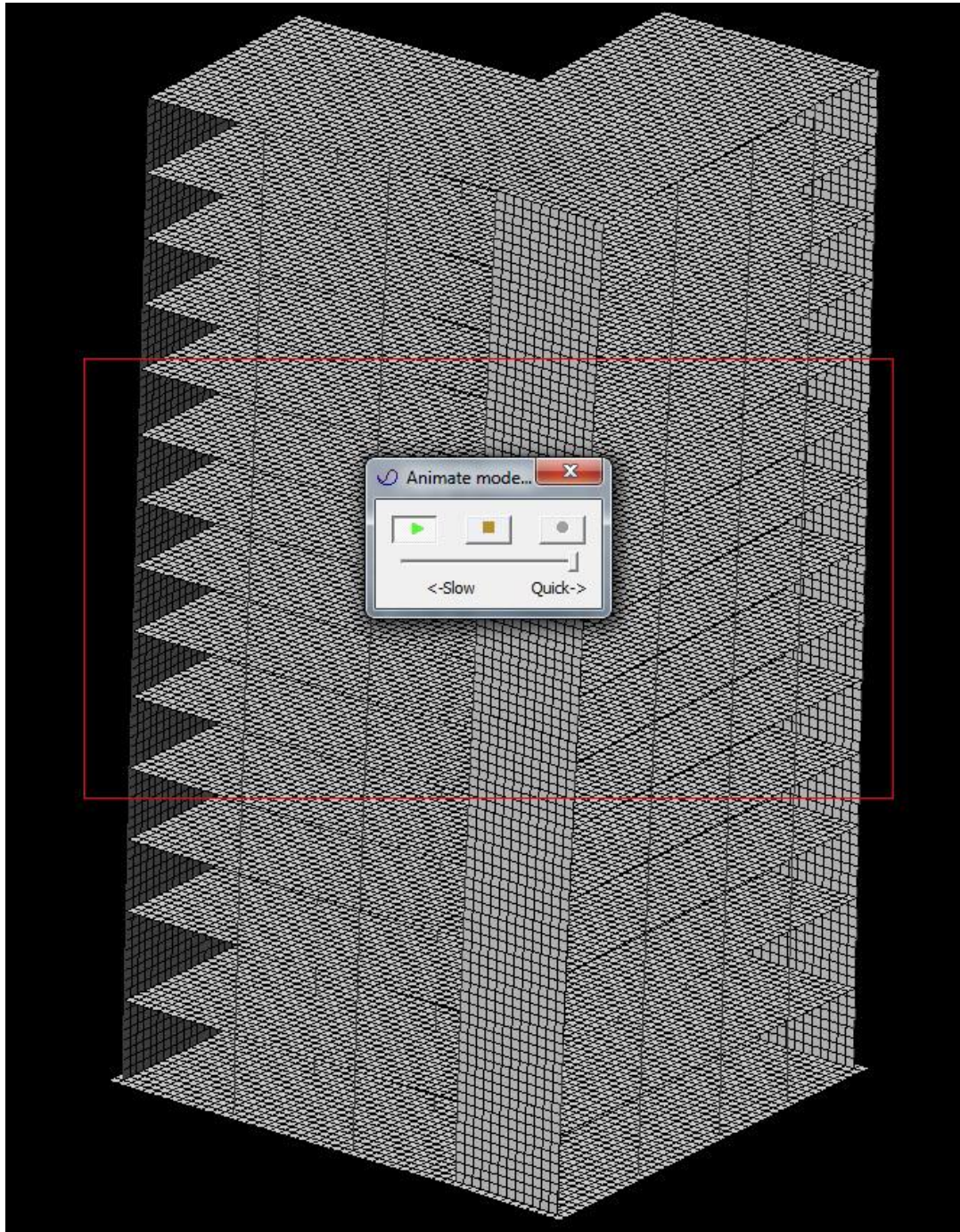
ნახ. 31-ზე გამოსახულია მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობის მოდელი ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გარეშე (ერთიანად ჩასხმის შემთხვევა), რომელიც აგებულია ორგანზომილებიანი (ბრტყელი) წრფივი სასრული ელემენტების მეშვეობით, კომპიუტერული საანგარიშო კომპლექსის **LIRA 9.6 R6** – ის გამოყენებით.

სქემაზე დიდი გადაადგილებები ნაჩვენებია უფრო მუქი ფერებით (ლურჯი), ხოლო მცირე გადაადგილებები უფრო ღია ფერებით (ცისფერი). 0.17გ-ს ეკვივალენტური სეისმური აჩქარებებით გამოწვეული გადაადგილება Y-მიმართულებაზე შეადგენს $\Delta_{max,y} = 83.8\text{მმ}$ -ს, რაც არის შენობის სიმაღლის 1/590 ნაწილი.

მიუხედავად იმისა, რომ შენობა დასმულია დრეკად ფუძეზე, გადაადგილებები ძირითადად გამოწვეულია შენობის ვერტიკალური ელემენტების დეფორმაციით.



ნახ. 31 მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობა. (ბეტონის ერთიანად ჩასხმის შემთხვევა, შეპირაპირების გარეშე) საანგარიშო მოდელი ორგანზომილებიანი წრფივი სასრული ელემენტებით.

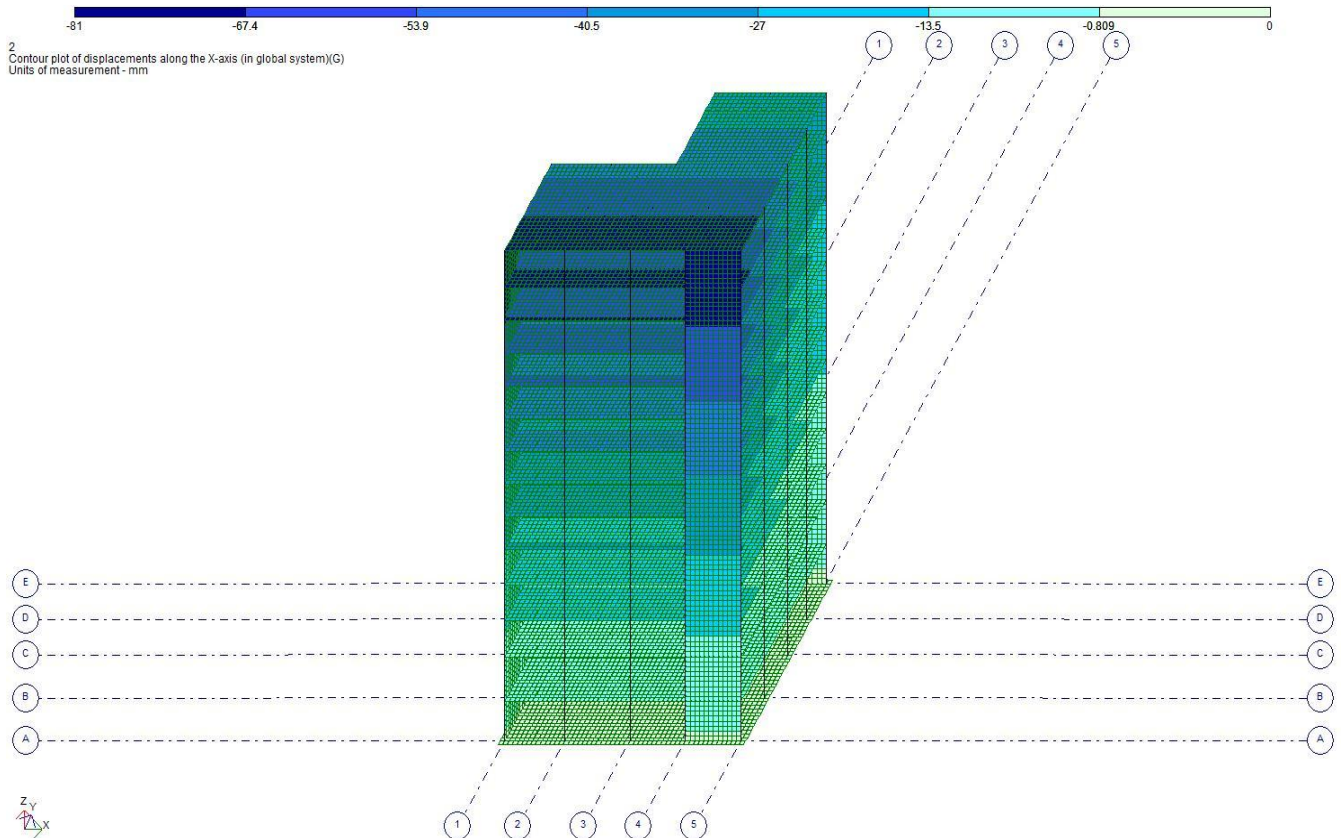


ნახ. 32 მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობა. (ბეტონის ერთიანად ჩასხმის შემთხვევა, შეპირაპირების გარეშე) საანგარიშო მოდელი ორგანოზომილებიანი წრფივი სასრული ელემენტებით. სეისმური ძალებით გამოწვეული პერიოდები:

*რხევის I ფორმისთვის $T_1 = 2.175$ წმ
 რხევის II ფორმისთვის $T_2 = 1.446$ წმ
 რხევის III ფორმისთვის $T_3 = 0.930$ წმ*

ნახ. 33-ზე გამოსახულია მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობის მოდელი ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით, რომელიც აგებულია ორგანზომილებიანი (ბრტყელი) წრფივი სასრული ელემენტების მეშვეობით, კომპიუტერული საანგარიშო კომპლექსის **LIRA 9.6 R6** – ის გამოყენებით.

სქემაზე დიდი გადაადგილებები ნაჩვენებია უფრო მუქი ფერებით (ღურჯი), ხოლო მცირე გადაადგილებები უფრო ღია ფერებით (ცისფერი). 0.17g-ს ეკვივალენტური სეისმური აჩქარებებით გამოწვეული გადაადგილება X-მიმართულებაზე შეადგენს $\Delta_{max,x} = 81.0$ მმ-ს, რაც არის შენობის სიმაღლის 1/611 ნაწილი. შესაბამის გადაადგილებებს შორის სხვაობა სხვაობა ბეტონის შეპირაპირების და ერთიანად ჩასხმის შემთხვევებს შორის შეადგენს 0.5%-ს. ბეტონის შეპირაპირების შედეგად შენობა უფრო მოქნილი გახდა.

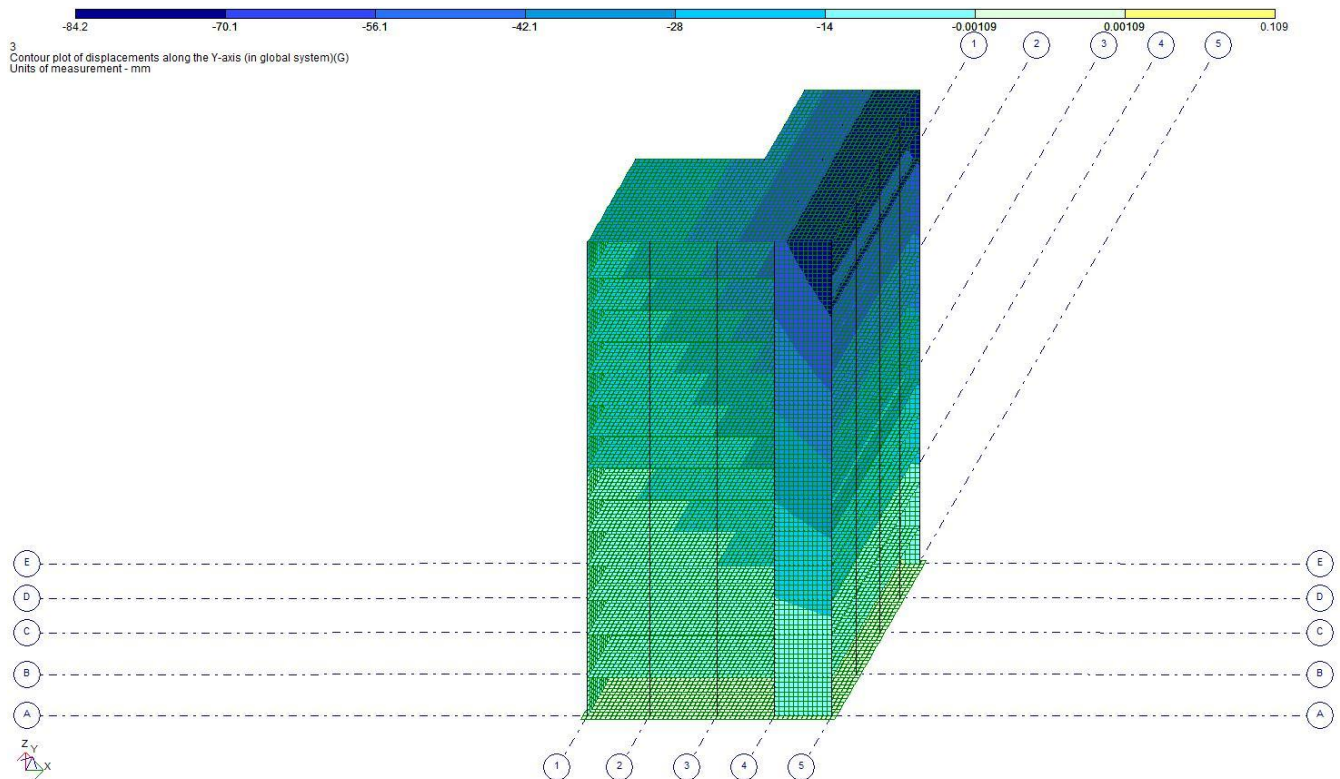


ნახ. 33 მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობა. (ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით) საანგარიშო მოდელი ორგანზომილებიანი წრფივი სასრული ელემენტებით.

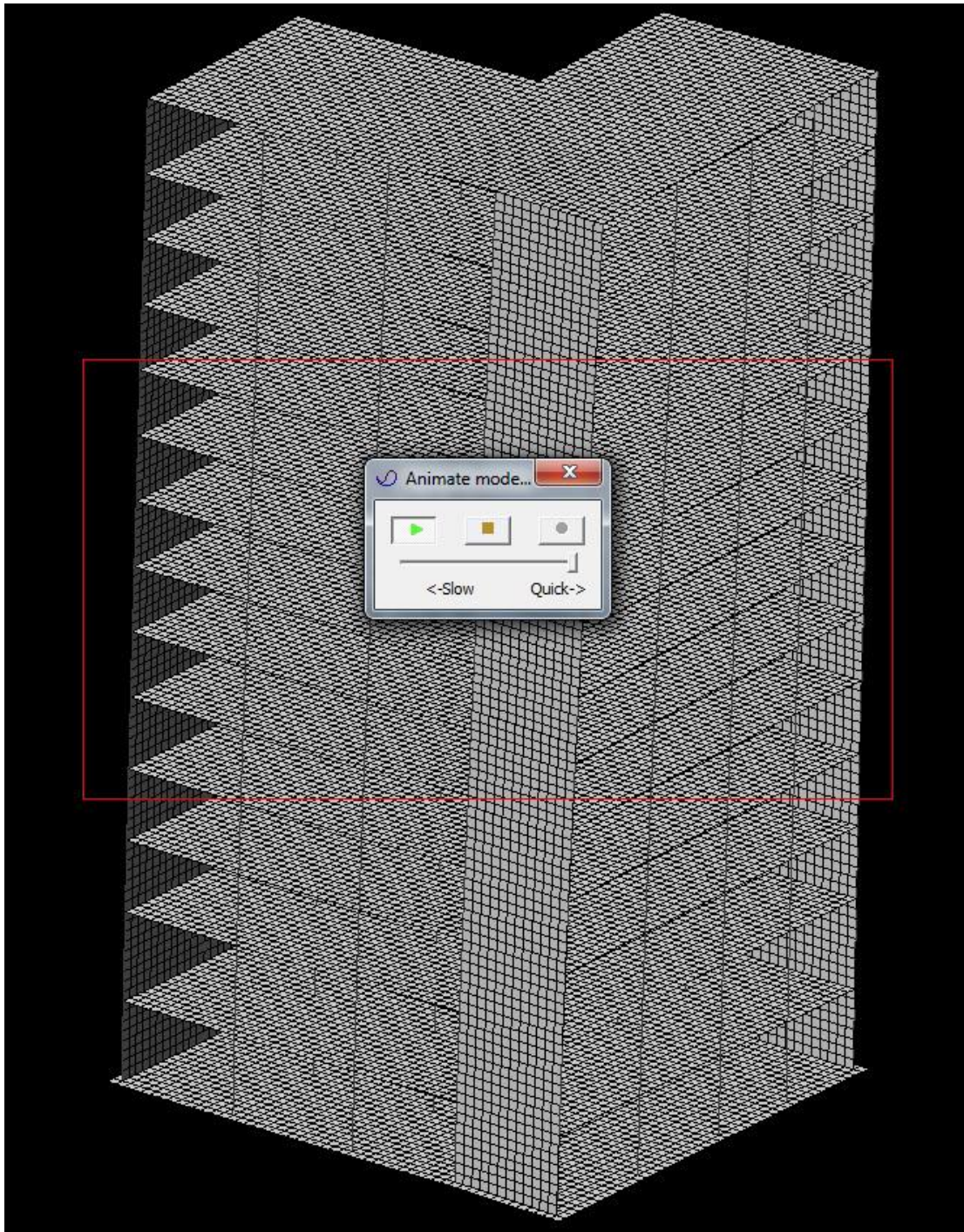
ნახ. 34-ზე გამოსახულია მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობის მოდელი ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით, რომელიც აგებულია ორგანოზომილებიანი (ბრტყელი) წრფივი სასრული ელემენტების მეშვეობით, კომპიუტერული საანგარიშო კომპლექსის **LIRA 9.6 R6** – ის გამოყენებით.

სქემაზე დიდი გადაადგილებები ნაჩვენებია უფრო მუქი ფერებით (ლურჯი), ხოლო მცირე გადაადგილებები უფრო ღია ფერებით (ცისფერი).

0.17გ-ს ეკვივალენტური სეისმური აჩქარებებით გამოწვეული გადაადგილება Y-მიმართულებაზე შეადგენს $\Delta_{max,y} = 84.2\text{მმ}$ -ს, რაც არის შენობის სიმაღლის $1/588$ ნაწილი. შესაბამის გადაადგილებებს შორის სხვაობა სხვაობა ბეტონის შეპირაპირების და ერთიანად ჩასხმის შემთხვევებს შორის შეადგენს 0.5% -ს. ბეტონის შეპირაპირების შედეგად შენობა უფრო მოქნილი გახდა.



ნახ. 34 მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობა. (ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით) საანგარიშო მოდელი ორგანოზომილებიანი წრფივი სასრული ელემენტებით.



ნახ. 35 მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობა. (ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით) საანგარიშო მოდელი ორგანოზომილებიანი წრფივი სასრული ელემენტებით. სეისმური ძალებით გამოწვეული პერიოდები:
 რხევის I ფორმისთვის $T_1 = 2.182$ წმ
 რხევის II ფორმისთვის $T_2 = 1.457$ წმ
 რხევის III ფორმისთვის $T_3 = 0.940$ წმ

ზემოაღნიშნული სეისმური გაანგარიშებების შედეგები გვაჩვენებს, რომ თუ ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირებას, ძირითადად სართულშუა გადახურვის ფილებში, ექნება მასიური ხასიათი, მაშინ ის მცირე მასშტაბებით, მაგრამ გარკვეულწილად მაინც ახდენს გავლენას შენობის სუპერსტრუქტურის დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობაზე და სისტემის პერიოდზე (1%-ის ფარგლებში.) თუმცა, თუ ბეტონის შეპირაპირება მოხდება კიდევ უფრო მეტ უბანზე და ფართობზე, ნაცვლად ანგარიშში განხილული 4 უბნისა, მაშინ შესაძლოა კიდევ უფრო დიდი გავლენა იქონიოს ბეტონის შეპირაპირებამ შენობის მთლიანი სუპერსტრუქტურის მუშაობაზე.

მასხასიათებელი	ბეტონის ერთიანად ჩასხმის შემთხვევა (შეპირაპირების გარეშე)	ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით	სხვაობა
გადაადგილება X-მიმართულებით	80.6მმ	81.0მმ	+0.5%
გადაადგილება Y-მიმართულებით	83.8მმ	84.2მმ	+0.5%
საკუთარი რხევის T ₁ პერიოდი	2.175წმ	2.182წმ	+0.3%
საკუთარი რხევის T ₂ პერიოდი	1.446წმ	1.457წმ	+0.8%
საკუთარი რხევის T ₃ პერიოდი	0.930წმ	0.940წმ	+1.0%

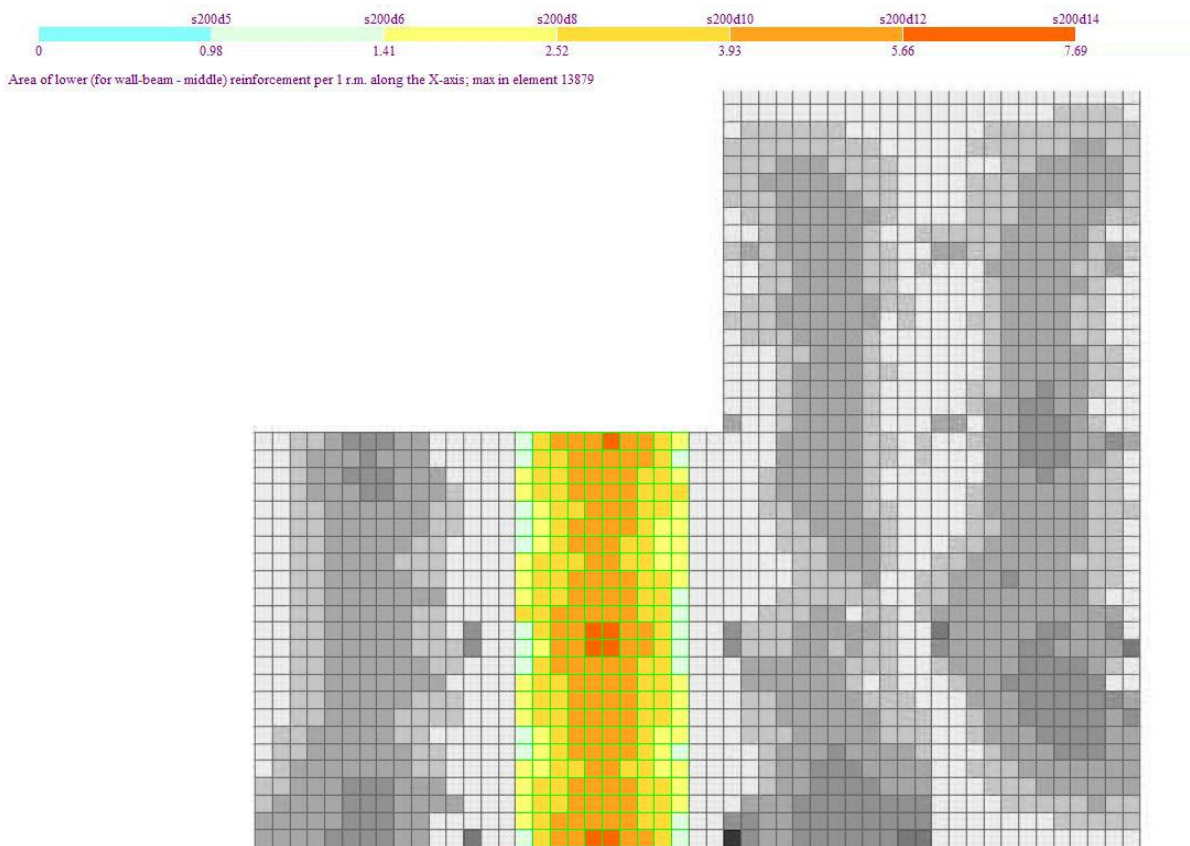
ცხრ.6 შედეგების შეჯამება

მოცემული მოდელების გაანგარიშებების საფუძველზე მოვახდინეთ გადახურვის ფილის ორივე ვარიანტის დაარმატურება (ნახ.: 36, 37, 38 და 39) და კვანძების კონსტრუირება ურთიერთშედარების მიზნით. (ნახ. 40 და ნახ. 41)

ნახ. 36-ზე წარმოდგენილია მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობის ტიპური სართულშუა გადახურვის ბრტყელი ურიგელო ფილის ქვედა შრის დაარმატურების სქემა X-მიმართულებაზე, ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გარეშე. არმირების საშუალო მაჩვენებელი შეადგენს: 5.66სმ²/მ, რაც ეკვივალენტურია Ø12 A-III ბ.200მმ დაარმატურების.

მუქი (ნარინჯისფერი) ფერით ნაჩვენებია დაარმატურების მაღალი პროცენტის მქონე უბნები, ხოლო უფრო ღია (ყვითელი) ფერით ნაჩვენებია დაარმატურების მცირე პროცენტის მქონე უბნები.

რკინაბეტონის ფილის შუა მაღის ქვედა შრეში მაქსიმალური დაარმატურება გამოწვეულია შედარებით დიდი 7 მეტრიანი მაღლით, რაც იწვევს რკინაბეტონის ფილის ქვედა შრის ძლიერ გაჭიმვას.

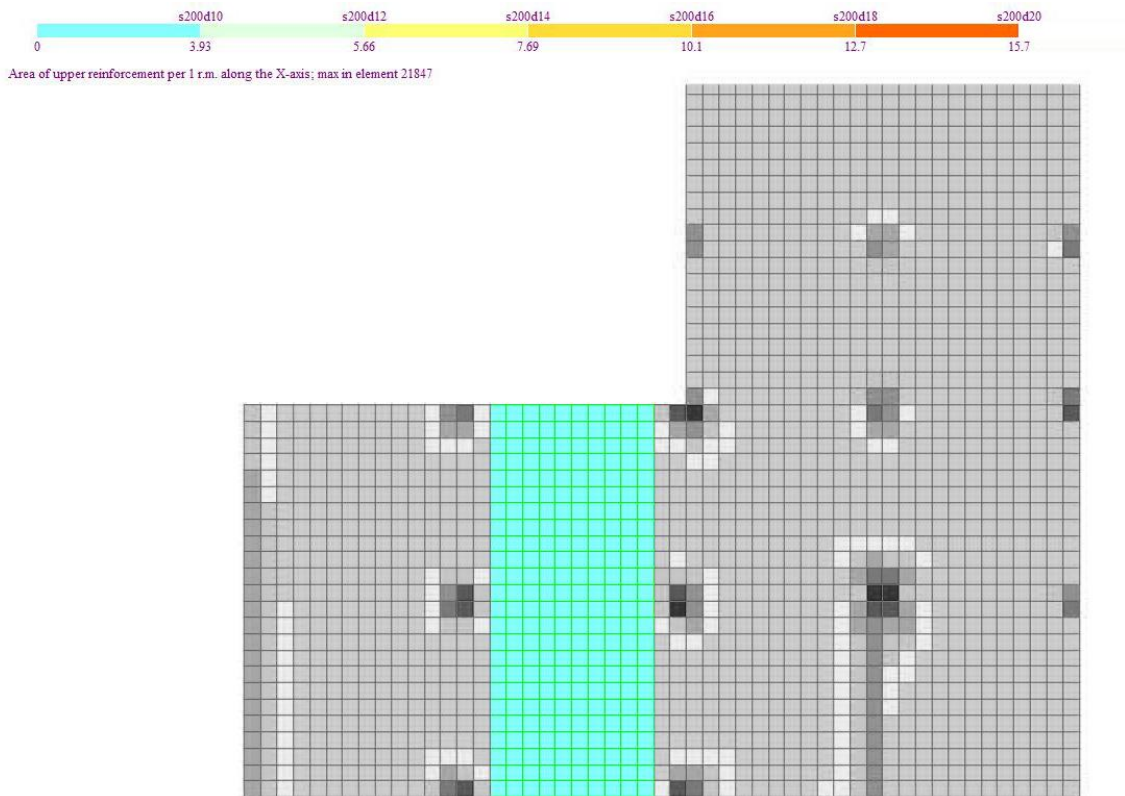


ნახ. 36 მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობა. მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ურიგელო ტიპური სართულშორის გადახურვის ფილა. (ბეტონის ერთიანად ჩასხმის შემთხვევა, შეპირაპირების გარეშე) განათებული ფერადი ფერით ნაჩვენებია კვლევის უბანი.

ნახ. 37-ზე წარმოდგენილია მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობის ტიპური სართულშუა გადახურვის ბრტყელი ურიგელო ფილის ქვედა შრის დაარმატურების სქემა Y-მიმართულებაზე, ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გარეშე. არმირების საშუალო მაჩვენებელი შეადგენს: **3.93სმ²/მ**, რაც ეკვივალენტურია **Ø10 A-III ბ.200მმ** დაარმატურების.

ღია (ცისფერი) ფერით ნაჩვენებია დაარმატურების მცირე პროცენტის მქონე უბნები – კონსტრუქციული არმატურა.

რკინაბეტონის ფილის შუა მალის ზედა შრეში დაარმატურების მცირე პროცენტი გამოწვეულია რკინაბეტონის ფილის ზედა შრის ძლიერი შეკუმშვით.

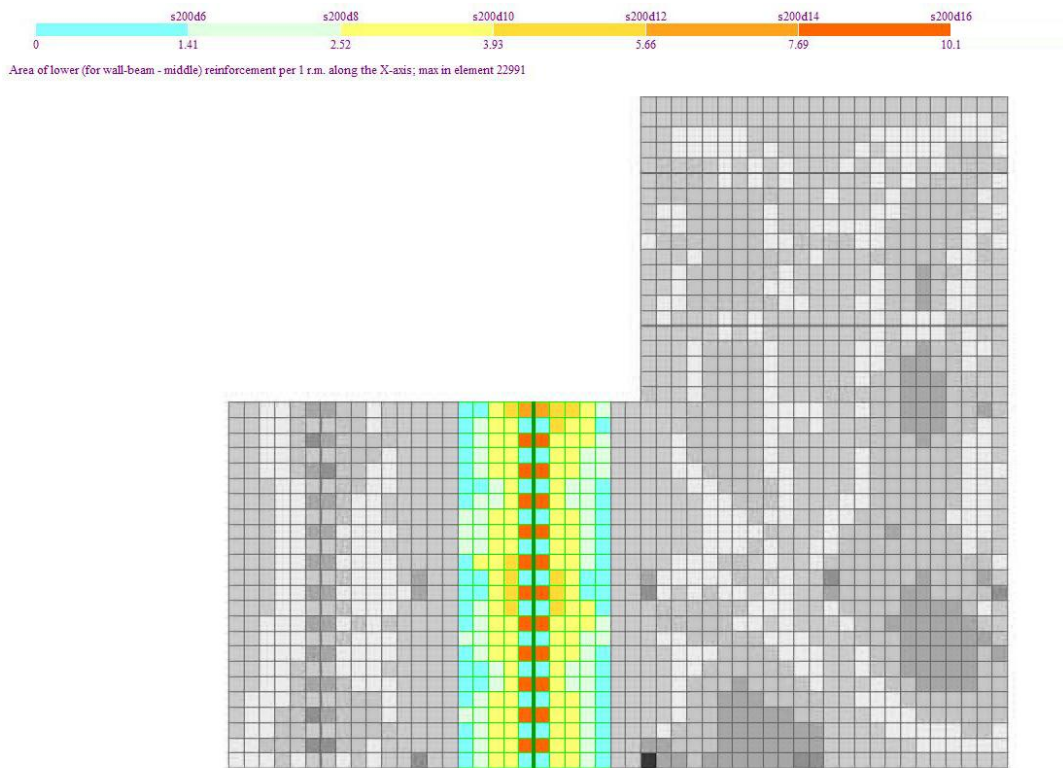


ნახ. 37 მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობა. მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ურიგელო ტიპური სართულშორის გადახურვის ფილა. (ბეტონის ერთიანად ჩასხმის შემთხვევა, შეპირაპირების გარეშე) განათებული ფერადი ფერით ნაჩვენებია კვლევის უბანი.

ნახ. 38-ზე ნაჩვენებია მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობის ტიპური სართულშუა გადახურვის ბრტყელი ურიგელო ფილის ქვედა შრის დაარმატურების სქემა X-მიმართულებაზე, ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით. არმირების საშუალო მაჩვენებელი შეადგენს: 10.1სმ²/მ, რაც ეკვივალენტურია Ø16 A-III ბ.200მმ დაარმატურების.

მუქი (ნარინჯისფერი) ფერით ნაჩვენებია დაარმატურების მაღალი პროცენტის მქონე უბნები, ხოლო უფრო ღია (ყვითელი) ფერით ნაჩვენებია დაარმატურების მცირე პროცენტის მქონე უბნები.

რკინაბეტონის ფილის შუა მაღის ქვედა შრეში უფრო დიდი დაარმატურება ბეტონის შეპირაპირების გარეშე არსებულ შემთხვევასთან მიმართებაში გამოწვეულია დეფორმაციების და ძაბვების ზრდით ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირზე.

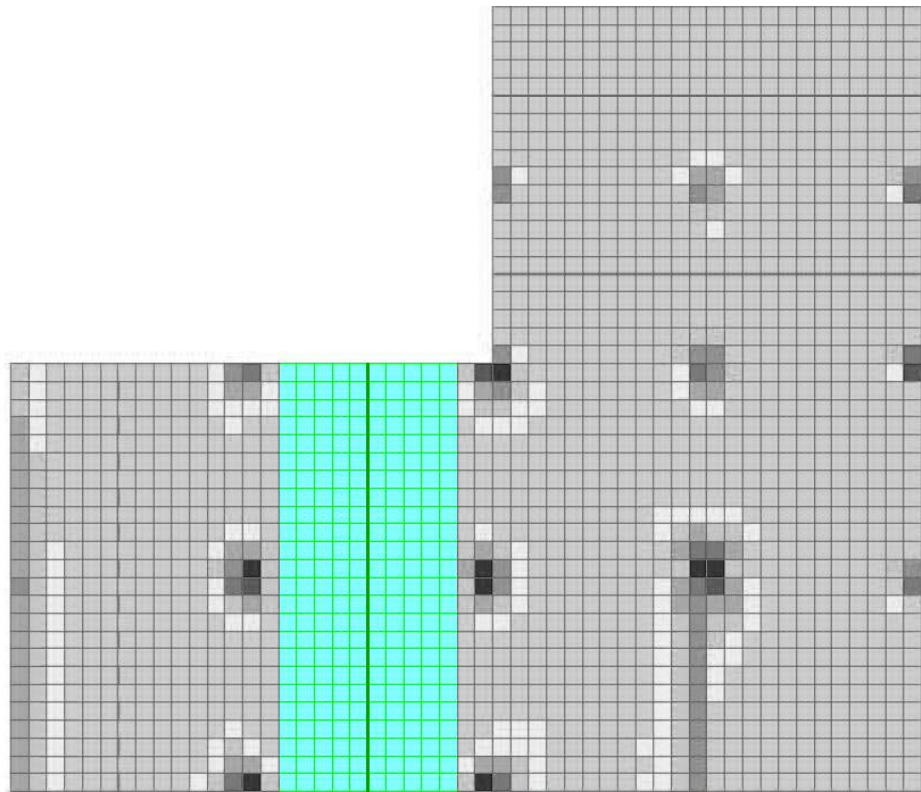
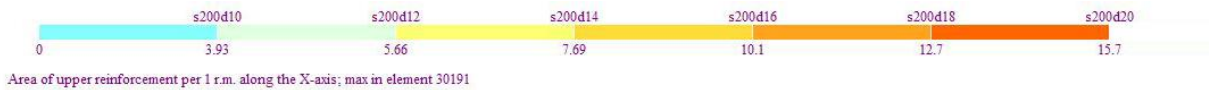


ნახ. 38 მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობა. მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ურიგელო ტიპური სართულშორის გადახურვის ფილა. (ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით) განათებული ფერადი ფერით ნაჩვენებია კვლევის უბანი.

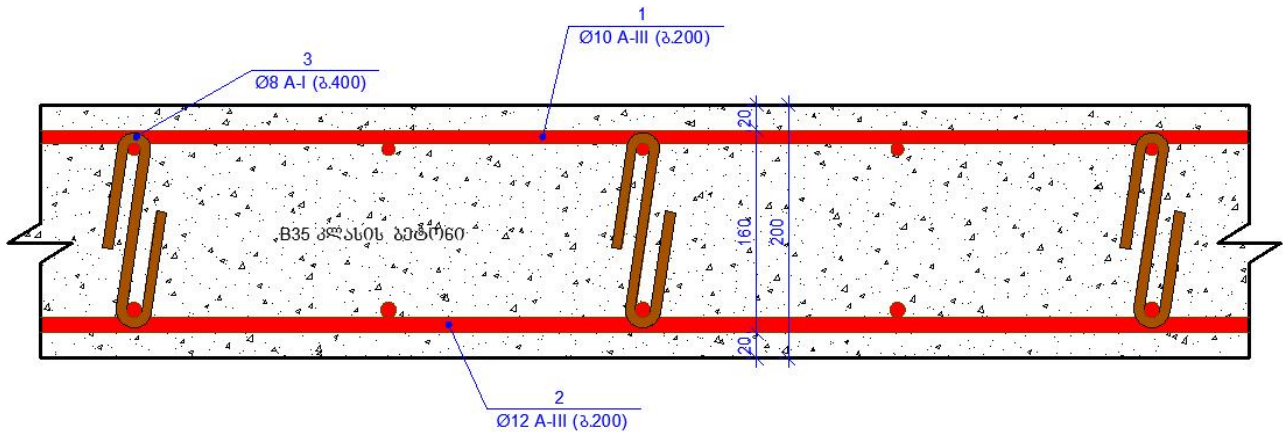
ნახ. 39-ზე ნაჩვენებია მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობის ტიპური სართულშუა გადახურვის ბრტყელი ურიგელო ფილის ზედა შრის დაარმატურების სქემა Y-მიმართულებაზე, ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით. არმირების საშუალო მაჩვენებელი შეადგენს: 3.93სმ²/მ, რაც ეკვივალენტურია Ø10 A-III ბ.200მმ დაარმატურების.

ღია (ცისფერი) ფერით ნაჩვენებია დაარმატურების მცირე პროცენტის მქონე უბნები – კონსტრუქციული არმატურა.

რკინაბეტონის ფილის შუა მალის ზედა შრეში დაარმატურების მცირე პროცენტი, ამ შემთხვევაშიც გამოწვეულია რკინაბეტონის ფილის ზედა შრის ძლიერი შეკუმშვით.

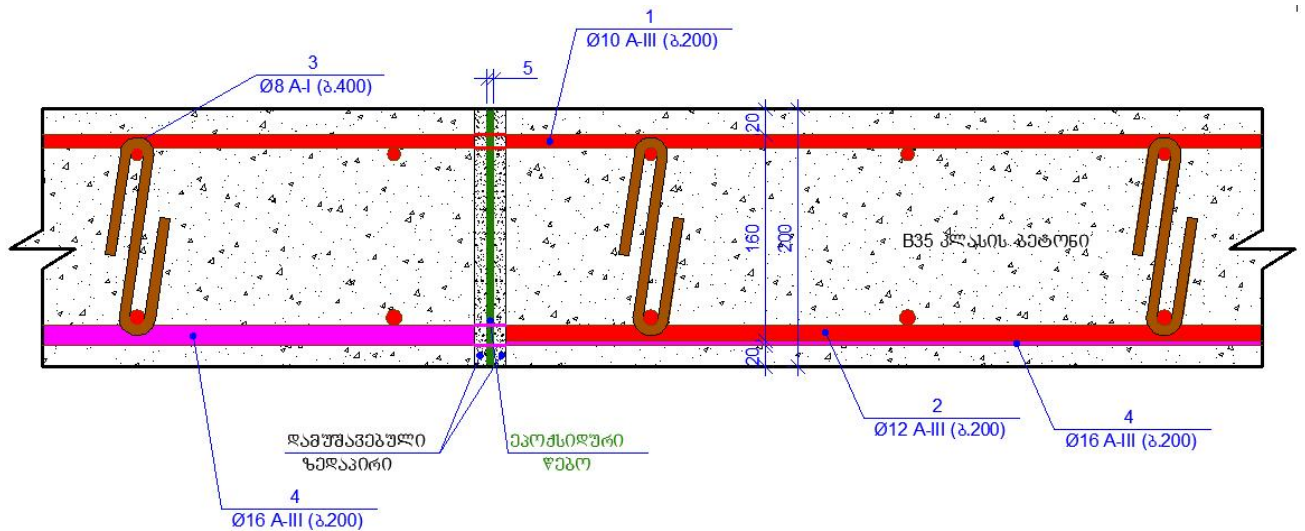


ნახ. 39 მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობა. მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ურიგელო ტიპური სართულშორის გადახურვის ფილა. (ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით) განათებული ფერადი ფერით ნაჩვენებია კვლევის უბანი.



ნახ. 40 მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობა. მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ურიგელო ტიპური სართულშორის გადახურვის ფილა. (ბეტონის ერთიანად ჩასხმის შემთხვევა, შეპირაპირების გარეშე)

კვანძის კონსტრუქცია დაფუძნებულია ზემოხსენებულ რიცხვით ექსპერიმენტებზე და არმირების გაანგარიშებებზე.



ნახ. 41 მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობა. მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ურიგელო ტიპური სართულშორის გადახურვის ფილა. (ბეტონის შეპირაპირების თვალსაზრისით)

კვანძის კონსტრუქცია დაფუძნებულია ზემოხსენებულ რიცხვით ექსპერიმენტებზე და არმირების გაანგარიშებებზე.

როგორც ვხედავთ საგრძნობლად შეიცვალა არმირების მნიშვნელობა ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების უბანზე ქვედა შრეში, რაც გამოწვეულია ჩაღუნვების ზრდის ტენდენციით და ქვედა შრის გაჭიმვით.

3.5. ანაკრები ფილებისა და მონოლითური რკინაბეტონის ფილების უბნების ერთდროული მუშაობის კვლევა სოგმანური შეერთებისას ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით. შესაბამისი სიხისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტის განსაზღვრა პრაქტიკული ექსპერიმენტისა და სივრცითი არაწრფივი სასრული ელემენტებით ჩატარებული გაანგარიშების საფუძველზე.

დამონტაჟებულ ანაკრებ ფილებს შორის, წინასწარდაძაბული ბაგროვანი არმატურის რკინაბეტონის ფილების დამონოლითების შემდეგ, შენობებში, მშენებლობის პროცესში წარმოიქმნება ანაკრებ-მონოლითური გადახურვის კონსტრუქცია, სადაც ადგილი აქვს ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირებას. ექსპლოატაციის სტადიაში ვერტიკალური დატვირთვების ნაწილს, საკუთარ თავზე ღებულობს შეერთების კვანძები, ხოლო დანარჩენ ნაწილს კი მონოლითური უბნები. ანაკრები ფილებიდან დატვირთვის გადაცემა წინასწარდაძაბული ბაგროვანი არმატურის მონოლითური ფილებისათვის, ხდება კავშირების საშუალებით, რომლებიც უზურუნველყოფენ ანაკრები ფილის და მონოლითური უბნის ერთდროულ მუშაობას. ამ კავშირების როლს ანხორციელებენ გადახურვის კონტურზე არსებული სოგმანური შეერთებები.

სოგმანური შეერთებების მეშვეობით ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გამოკვლევას საფუძვლად დაუდეთ ლ.ბალანჩივაძის სადისერტაციო ნაშრომში ჩატარებული პრაქტიკული ექსპერიმენტი, სადაც ჩატარდა კოჭების ნიმუშების გამოცდა, რაც წარმოადგენდა გადახურვის ფილის იმიტაციას ანაკრები ფილის კონტურზე. მისი დამზადებისას მოწყობილ იქნა სოგმანები. (ნახ. 43 და ნახ. 44)

საცდელი ნიმუშის გამოცდებმა გვაჩვენეს, რომ ვერტიკალური დატვირთვებისას, რომლებიც 1.5-ჯერ აჭარბებდნენ საანგარიშო სიდიდეს, წარმოიქმნენ განივი ბზარები, თუმცა მათი გახსნის სიგანე იყო უმნიშვნელო. დატვირთვების გაზრდის შემდეგ ეს ბზარები გაიხსნენ და აგრეთვე წარმოიქმნენ ახალი ბზარები სხვა ადგილებშიც. დატვირთვებისას, რომლებიც ახლოს იყვნენ მრღვევ სიდიდებთან, განივი

ბზარები განვითარდნენ მონოლითური უბნის და ანაკრები ელემენტების საყრდენ ზონაში და მათი გასხნის მაქსიმალური სიდიდე იყო დაახლოებით 0.2 – 0.25მმ ფარგლებში მაღის შუაში.

ნახ. 42-ზე ნაჩვენებია ანაკრებ-მონოლითური კონსტრუქციის ჩაღუნვების მნიშვნელობები, მიღებული პრაქტიკული ექსპერიმენტის, რიცხვითი ექსპერიმენტის და ანალიზური მეთოდით გაანგარიშების შედეგებიდან. დატვირთვებისას, რომლებიც აღემატებოდნენ საანგარიშო მნიშვნელობას, კონსტრუქციის ერთდროული მუშაობა დაირღვა იქ, სადაც ანაკრები ფილის ელემენტს არ გააჩნდა სოგმანური შეერთება კონტურზე.

საცდელი ნიმუშის გამოცდებმა გვაჩვენა, რომ წინასწარდაძაბული ბაგიროვანი არმატურის მქონე მონოლითური კოჭის და ანაკრები ფილების დეფორმაციები, ვერტიკალური დატვირთვებისას ტოლი სიდიდისაა. მათი ერთობლივი მუშაობა გამოწვეულია სოგმანების არსებობით, თუმცა დეფორმაციების მკვეთრ ზრდას ვაწყდებით დატვირთვის ზემოქმედების ბოლო ეტაპებზე. მოცემული კვლევის ჩატარებისას ნაჩვენები იქნა, რომ ბეტონის სოგმანების ხარჯზე უზურუნველყოფილია გადახურვის ფილიდან დატვირთვების საიმედო გადაცემა წინასწარდაძაბული ბაგიროვანი არმატურის მონოლითური კოჭისათვის. ასევე დადგენილია, რომ δ_{sp} სიღრმეზე, არანაკლებ 20მმ-სა, წრიული და კვადრატული სოგმანების სიმაღლე b_{sp} დაპროექტებისას შეიძლება მიღებულ იქნას:

$$b_{sp} = h_n - (40 \dots 60) \text{ მმ} \quad (64)$$

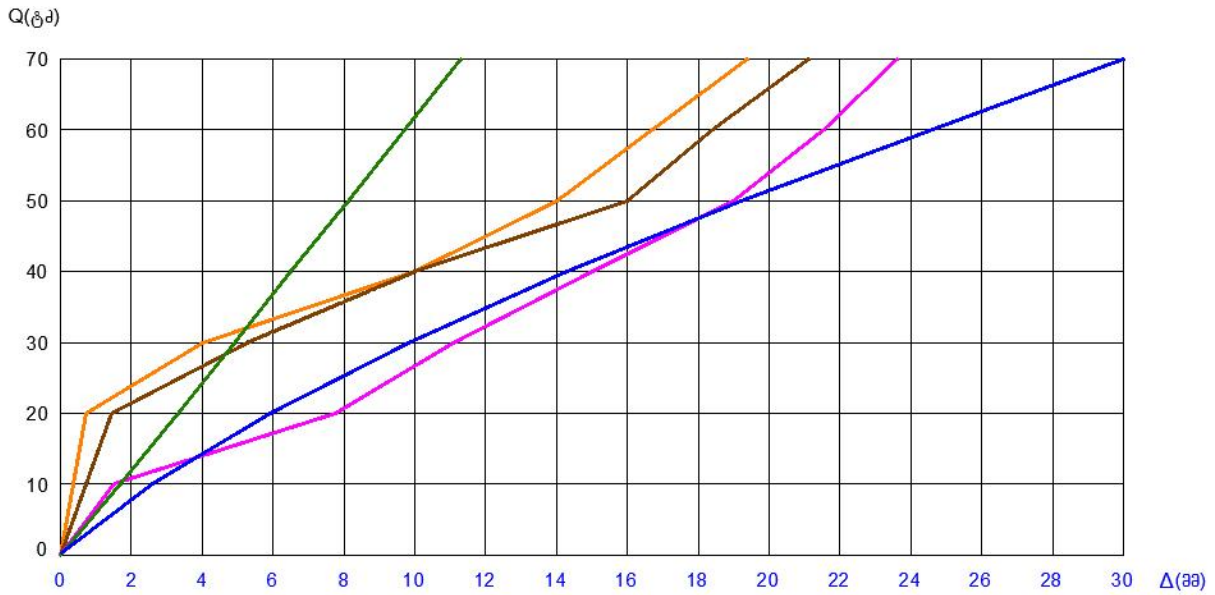
სადაც: h_n არის გადახურვის ფილის სისქე.

ძვრის ძალა, რასაც სოგმანები ღებულობენ საკუთარ თავზე გამოითვლება შემდეგი ორი ფორმულიდან და აიღება მინიმალური მნიშვნელობით:

$$Q_{sp} = R_b \cdot b_{sp} \cdot \delta_{sp} \cdot n_{sp} \quad (65)$$

$$Q_{sp} = 2 \cdot R_{bt} \cdot b_{sp}^2 \cdot n_{sp} \quad (66)$$

სადაც: n_{sp} არის სოგმანების რიცხვი.



ჩაღუნვები:

- ანაკრები ელემენტი (პრაქტიკული ექსპერიმენტული მონაცემი)
- მონოლითური უბანი (პრაქტიკული ექსპერიმენტული მონაცემი)
- მონოლითური უბანი (საანბარიყო ჩაღუნვა გამომდინარე ფორმულიდან: $\Delta = \frac{q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I}$)
- მთლიანი კონსტრუქცია ბეტონის შეპირაპირების ბათვალსწინებით (რიცხვითი ექსპერიმენტი, კომპიუტერული სიმულაცია წრფივ სტადიაზე)
- მთლიანი კონსტრუქცია ბეტონის შეპირაპირების ბათვალსწინებით (რიცხვითი ექსპერიმენტი, კომპიუტერული სიმულაცია არაწრფივ სტადიაზე, სივრცითი სასრული ელემენტების გამოყენებით)

$$\Delta = \frac{q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

ნახ. 42 ანაკრებ-მონოლითური კონსტრუქციის ჩაღუნვების მნიშვნელობები, გამოძიხნარე პრაქტიკული ექსპერიმენტის, რიცხვითი ექსპერიმენტის და ანალიზური მეთოდით გაანგარიშების შედეგებიდან.

სოგმანებით შეერთების მზიდუნარიანობის მნიშვნელობა (N_{sp}) რაც აუცილებელია გადახურვისაგან დატვირთვების მისაღებად, განისაზღვრება ძვრის ძალის გათვალისწინებით, (65) ან (66) ფორმულებით და მიიღება არა უმცირესი:

$$N_{sp} \geq 2 \cdot q_u \cdot l_p \tag{67}$$

ამიტომ აუცილებელია ყურადღება მივაქციოთ შემდეგ პირობას:

$$Q_{sp} \geq N_{sp} \quad (68)$$

საცდელი ნიმუშების გამოცდისას გამოვიკვლიეთ სოგმანებიანი და უსაგმანო შეერთება და მათი გავლენა ანაკრები ფილებისა და წინასწარდაძაბული ბაგროვანი არმატურის მქონე მონოლითური გადახურვის ელემენტისათვის.

საცდელი ნიმუშების გამოცდისას დადგინდა, რომ იმ შემთხვევაში, თუ სოგმანებიანი შეერთების მზიდუნარიანობა (N_{sp}), გადახურვის კონტურზე არ არის საკმარისი და შესაბამისად არ არის უზურუნველყოფილი ვერტიკალური ძალის გადაცემა მონოლითური უბნებისათვის, გადახურვის რღვევა მოხდა სოგმანურ შეერთებებზე.

მოცემული ექსპერიმენტული კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ მრღვევი ძალა 2.2-ჯერ აღემატებოდა მის საანგარიშო სიდიდეს, ხოლო ჩაღუნვა დატვირთვისას $Q=70$ ტმ შეადგენდა: მონოლითურ უბანზე $\Delta=21$ მმ; ანაკრები კოჭის $\Delta=19$ მმ; ხოლო მონოლითური უბნის საანგარიშო ჩაღუნვა შეადგენდა $\Delta=23.5$ მმ ანუ დაახლოებით 1.2-ჯერ უფრო დიდი, ვიდრე ზემოხსენებული მნიშვნელობები.

გარდა ამისა აუცილებელია აღინიშნოს, რომ საცდელი ნიმუშის რღვევა მოხდა საკონტაქტო ზედაპირზე გადახურვის ფილასა და სვეტის ტორსზე. ეს აიხსნება ანაკრები კონსტრუქციის არც თუ ძლიერი დაძაბვით არმატურის დაჭიმვისას, რაც შესაძლებელია გამოწვეული იყოს დანაკარგებით ბაგროვან არმატურაში.

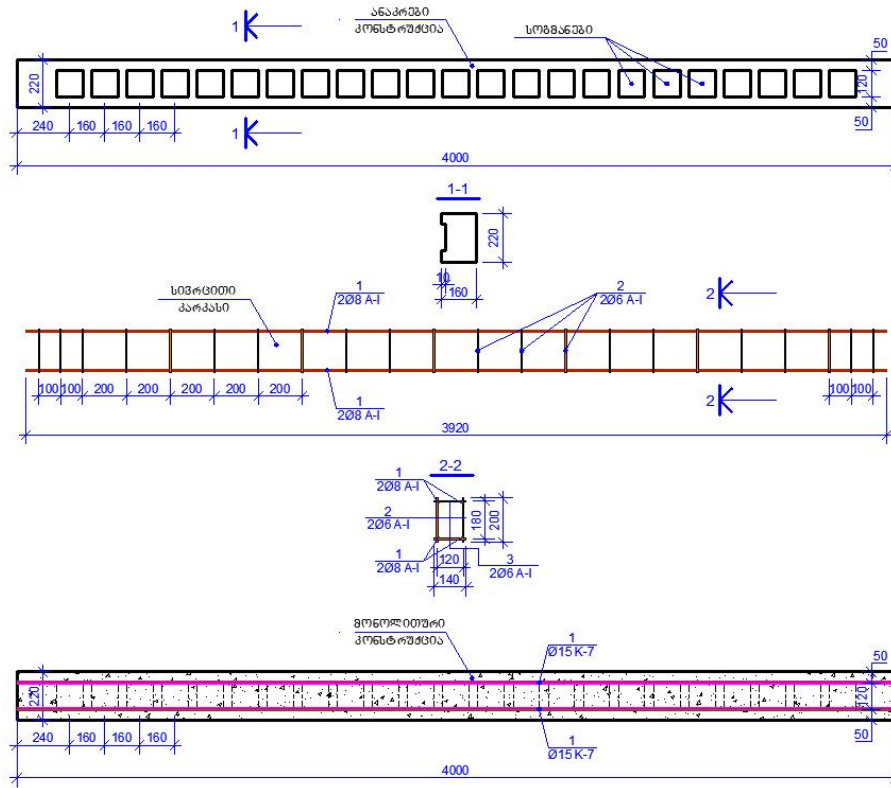
სოგმანებით შეერთების ექსპერიმენტალური კვლევის შედეგების მიხედვით, რომლებიც მოწყობილი არიან მონოლითური უბნების დამონოლითებისას ანაკრები გადახურვის ფილის კონტურზე, რეკომენდაციას ვიძლევი, რომ ყველა შემთხვევაში აუცილებელია მათი მოწყობა განისაზღვროს ფორმულებით: (64), (65) და (66).

აქედან გამომდინარე, პირველ რიგში, რეკომენდაციას ვიძლევი, რომ განგარიშდეს სოგმანებით შეერთება გადახურვის მთელს კონტურზე, რომელიც გადასცემს დატვირთვებს (ანაკრები) ფილიდან მონოლითურ უბანს. (წინასწარდაბაზული არმატურით), რაც საშუალებას გვაძლევს დავაპროექტოთ მტკიცე კონსტრუქცია და შეერთება და უზრუნველყოთ ექსპლუატაციის სტადიაზე ანაკრები და მონოლითური ელემენტების ერთდროული მუშაობა.

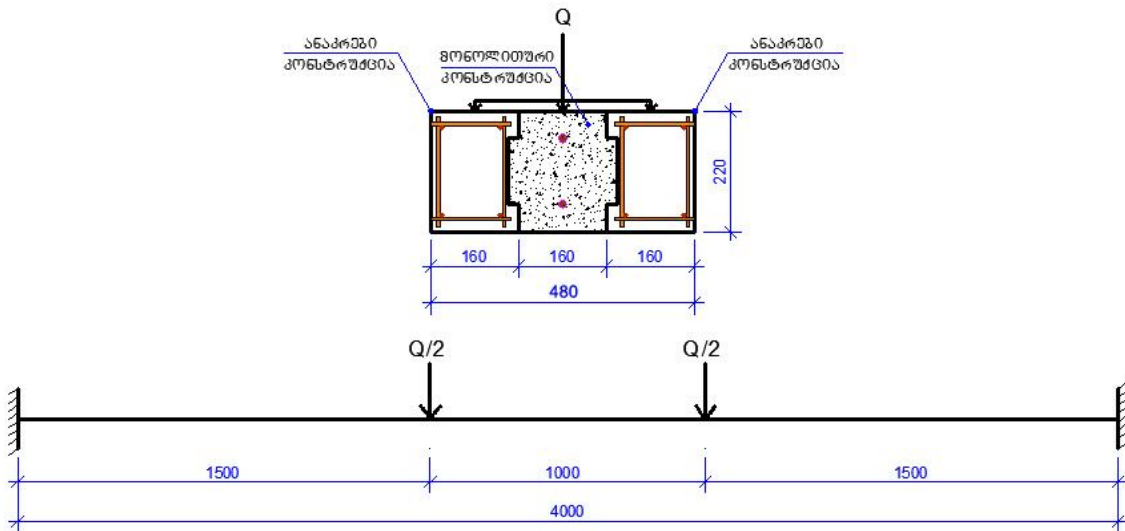
გარდა ზემოხსენებული პრაქტიკული ექსპერიმენტული მონაცემებისა ჩატარდა რიცხვითი ექსპერიმენტები სივრცითი სასრული (3D) ელემენტების გამოყენებით, როგორც წრფივ ასევე არაწრფივ სტადიაზე. რიცხვითი ექსპერიმენტების შედეგები ნაჩვენებია ნახ. 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52 და 53-ზე.

ჩაღუნვების შედეგების შეჯამებიდან გამომდინარე, ვიძლევი რეკომენდაციებს, რომ დაპროექტებისას, თუ გაანგარიშება ხდება კლასიკური ანალიზური მეთოდით წრფივ სტადიაზე ან თუნდაც თანამედროვე კომპიუტერული კომპლექსების გამოყენებით, მაგრამ ორგანოზომილებიანი სასრული ელემენტების გამოყენებით წრფივ სტადიაზე, მაშინ განიკვეთის სიხისტის განსაზღვრისას აუცილებელი იქნება მოვახდინოთ მისი შემცირება დაახლოებით 2-ჯერ, გამომდინარე ნახ.42-ზე ნაჩვენები გრაფიკებიდან, რაც ნათლად გვიჩვენებს, რომ წრფივ გაანგარიშებებთან შედარებით პრაქტიკული და რიცხვითი ექსპერიმენტები საგრძნობლად დიდ განსხვავებას იძლევა. განსაკუთრებით დიდი საანგარიშო დატვირთვების შემთხვევაში კი რეკომენდაციას ვიძლევი, რომ ბეტონის შეპირაპირების მქონე ელემენტების გაანგარიშება მოხდეს არაწრფივად, რათა ზუსტად განისაზღვროს დეფორმაციის რეალური მნიშვნელობები და დადგინდეს თუ დატვირთვის რომელ ეტაპზე არის მოსალოდნელი რღვევა, როგორც შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირებზე, ასევე საყრდენებზე. სხვა შემთხვევებში კი შესაძლებელია ჩატარდეს მხოლოდ წრფივი გაანგარიშებები, მაგრამ აუცილებლად ვისარგებლოთ სიხისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტით, არა უმეტეს:

$$K_{EI} = \frac{\Delta_{\max, \text{კლასიკური}}}{\Delta_{\max, \text{არაწრფივი}}} = \frac{23.50 \text{ მმ}}{30.60 \text{ მმ}} \approx 0.75 \quad (69)$$



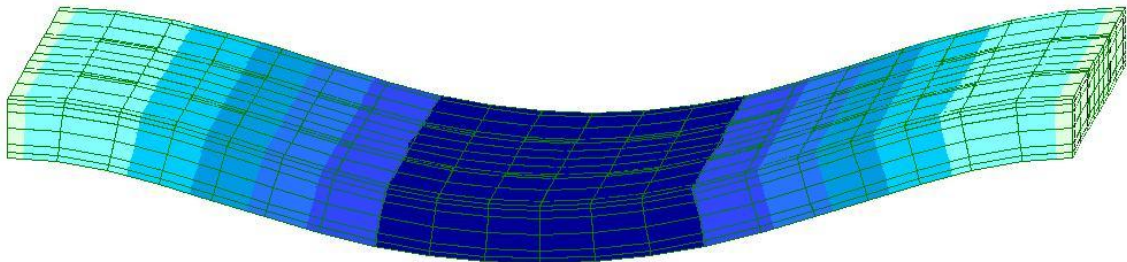
ნახ. 43 ანაკრები კოჭების და წინასწარდაბული ბაგიროვანი არმატურის მქონე რკინაბეტონის კოჭის კონსტრუქციები.



ნახ. 44 ანაკრებ-მონოლითური კონსტრუქცია. საანგარიშო სქემა.

ნახ. 45-ზე გამოსახულია ანაკრებ-მონოლითური რკინაბეტონის კოჭის საანგარიშო მოდელი ძველი და ახალი ბეტონის სოგმანური შეპირაპირების გათვალისწინებით, რომელიც აგებულია სივრცითი (3D) წრფივი სასრული ელემენტების მეშვეობით, კომპიუტერული საანგარიშო კომპლექსის **LIRA 9.6 R6** – ის გამოყენებით.

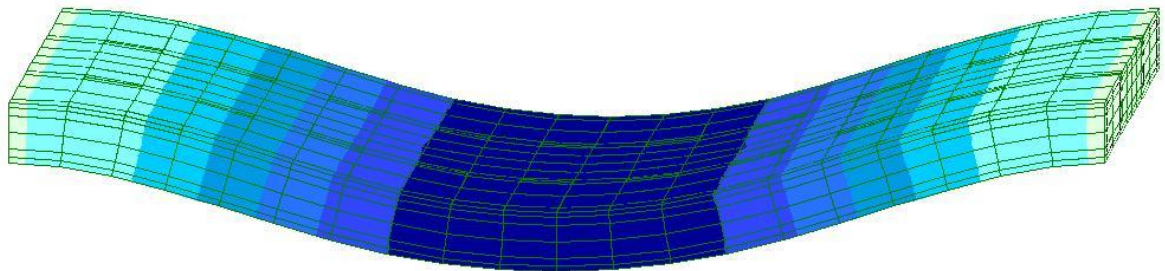
სქემაზე დიდი გადაადგილებები ნაჩვენებია უფრო მუქი ფერებით (ლურჯი), ხოლო მცირე გადაადგილებები უფრო ღია ფერებით (ცისფერი). $Q=10$ ტძ ვერტიკალური დატვირთვის შემთხვევაში მაქსიმალური დეფორმაცია შეადგენს $\Delta_{max} = 1.71$ მმ-ს, რაც არის ანაკრებ-მონოლითური კოჭის მალის $1/2339$ ნაწილი.



ნახ. 45 ანაკრებ-მონოლითური რკინაბეტონის კოჭი. (სოგმანებით შეპირაპირების გათვალისწინებით) საანგარიშო მოდელი სივრცითი წრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით. $Q=10$ ტძ დატვირთვის შემთხვევა.

ნახ. 46-ზე გამოსახულია ანაკრებ-მონოლითური რკინაბეტონის კოჭის საანგარიშო მოდელი ძველი და ახალი ბეტონის სოგმანური შეპირაპირების გათვალისწინებით, რომელიც აგებულია სივრცითი (3D) წრფივი სასრული ელემენტების მეშვეობით, კომპიუტერული საანგარიშო კომპლექსის **LIRA 9.6 R6** – ის გამოყენებით.

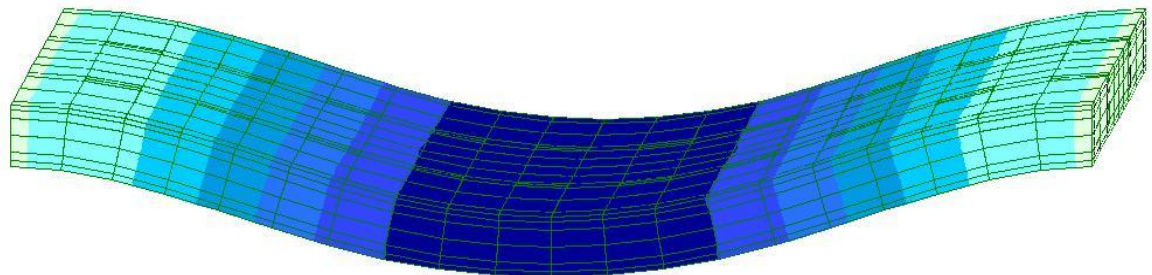
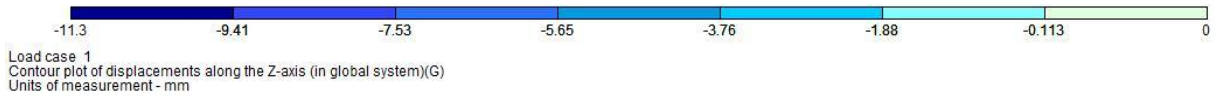
სქემაზე დიდი გადაადგილებები ნაჩვენებია უფრო მუქი ფერებით (ღურჯი), ხოლო მცირე გადაადგილებები უფრო ღია ფერებით (ცისფერი). $Q=40$ ტძ ვერტიკალური დატვირთვის შემთხვევაში მაქსიმალური დეფორმაცია შეადგენს $\Delta_{max} = 6.51$ მმ-ს, რაც არის ანაკრებ-მონოლითური კოჭის მალის $1/614$ ნაწილი.



ნახ. 46 ანაკრებ-მონოლითური რკინაბეტონის კოჭი. (სოგმანებით შეპირაპირების გათვალისწინებით) საანგარიშო მოდელი სივრცითი წრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით. $Q=40$ ტძ დატვირთვის შემთხვევა.

ნახ. 47-ზე გამოსახულია ანაკრებ-მონოლითური რკინაბეტონის კოჭის საანგარიშო მოდელი ძველი და ახალი ბეტონის სოგმანური შეპირაპირების გათვალისწინებით, რომელიც აგებულია სივრცითი (3D) წრფივი სასრული ელემენტების მეშვეობით, კომპიუტერული საანგარიშო კომპლექსის **LIRA 9.6 R6** – ის გამოყენებით.

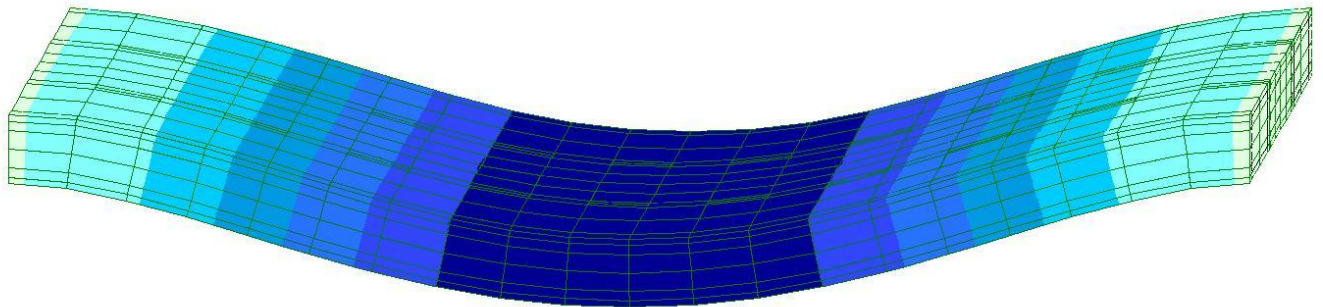
სქემაზე დიდი გადაადგილებები ნაჩვენებია უფრო მუქი ფერებით (ღურჯი), ხოლო მცირე გადაადგილებები უფრო ღია ფერებით (ცისფერი). $Q=70$ ტძ ვერტიკალური დატვირთვის შემთხვევაში მაქსიმალური დეფორმაცია შეადგენს $\Delta_{max} = 11.30$ მმ-ს, რაც არის ანაკრებ-მონოლითური კოჭის მაღის $1/353$ ნაწილი.



ნახ. 47 ანაკრებ-მონოლითური რკინაბეტონის კოჭი. (სოგმანებით შეპირაპირების გათვალისწინებით) საანგარიშო მოდელი სივრცითი წრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით. $Q=70$ ტძ დატვირთვის შემთხვევა.

ნახ. 48-ზე წარმოდგენილია ანაკრებ-მონოლითური რკინაბეტონის კოჭის საანგარიშო მოდელი ძველი და ახალი ბეტონის სოგმანური შეპირაპირების გათვალისწინებით, რომელიც აგებულია სივრცითი (3D) არაწრფივი სასრული ელემენტების მეშვეობით, კომპიუტერული საანგარიშო კომპლექსის **LIRA 9.6 R6** – ის გამოყენებით.

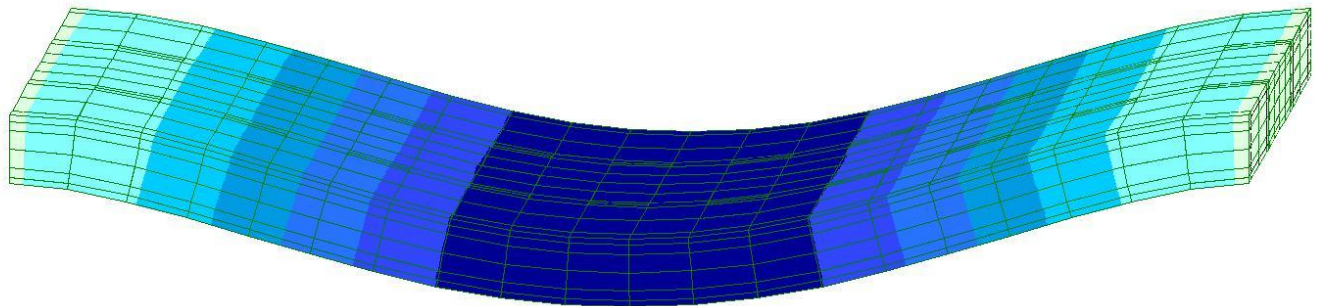
სქემაზე დიდი გადაადგილებები ნაჩვენებია უფრო მუქი ფერებით (ლურჯი), ხოლო მცირე გადაადგილებები უფრო ღია ფერებით (ცისფერი). $Q=10$ ტძ ვერტიკალური დატვირთვის შემთხვევაში მაქსიმალური დეფორმაცია არაწრფივ სტადიაზე შეადგენს $\Delta_{max} = 2.6188$ -ს, რაც არის ანაკრებ-მონოლითური კოჭის მალის $1/1532$ ნაწილი. დატვირთვის ამ შემთხვევისათვის არაწრფივი დეფორმაციის მნიშვნელობა 1.5-ჯერ აღემატება წრფივი დეფორმაციის მნიშვნელობას.



ნახ. 48 ანაკრებ-მონოლითური რკინაბეტონის კოჭი. (სოგმანებით შეპირაპირების გათვალისწინებით) საანგარიშო მოდელი სივრცითი არაწრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით. $Q=10$ ტძ დატვირთვის შემთხვევა.

ნახ. 49-ზე წარმოდგენილია ანაკრებ-მონოლითური რკინაბეტონის კოჭის საანგარიშო მოდელი ძველი და ახალი ბეტონის სოგმანური შეპირაპირების გათვალისწინებით, რომელიც აგებულია სივრცითი (3D) არაწრფივი სასრული ელემენტების მეშვეობით, კომპიუტერული საანგარიშო კომპლექსის **LIRA 9.6 R6** – ის გამოყენებით.

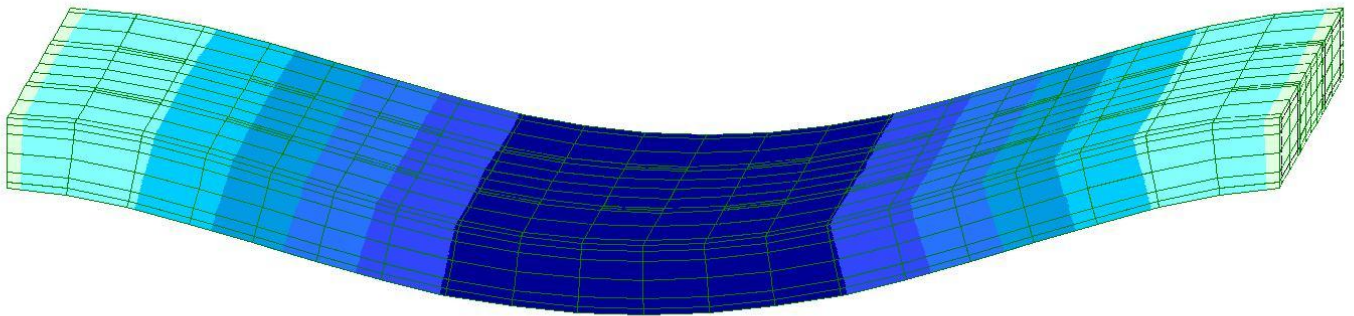
სქემაზე დიდი გადაადგილებები ნაჩვენებია უფრო მუქი ფერებით (ლურჯი), ხოლო მცირე გადაადგილებები უფრო ღია ფერებით (ცისფერი). $Q=40$ ტძ ვერტიკალური დატვირთვის შემთხვევაში მაქსიმალური დეფორმაცია არაწრფივ სტადიაზე შეადგენს $\Delta_{max} = 14.30$ მმ-ს, რაც არის ანაკრებ-მონოლითური კოჭის მალის $1/279$ ნაწილი. დატვირთვის ამ შემთხვევისათვის არაწრფივი დეფორმაციის მნიშვნელობა 2.2-ჯერ აღემატება წრფივი დეფორმაციის მნიშვნელობას.



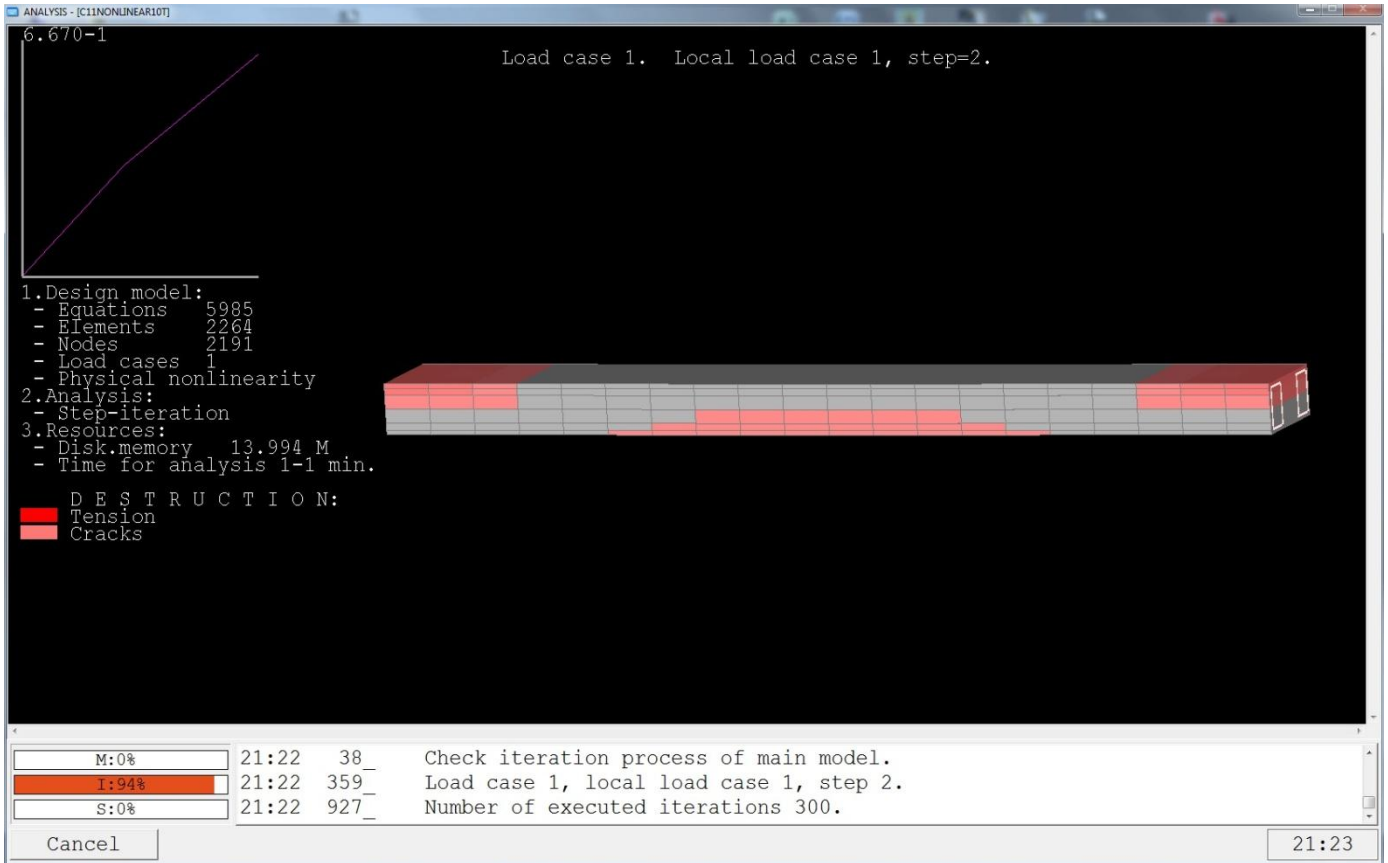
ნახ. 49 ანაკრებ-მონოლითური რკინაბეტონის კოჭი. (სოგმანებით შეპირაპირების გათვალისწინებით) საანგარიშო მოდელი სივრცითი არაწრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით. $Q=40$ ტძ დატვირთვის შემთხვევა.

ნახ. 50-ზე წარმოდგენილია ანაკრებ-მონოლითური რკინაბეტონის კოჭის საანგარიშო მოდელი ძველი და ახალი ბეტონის სოგმანური შეპირაპირების გათვალისწინებით, რომელიც აგებულია სივრცითი (3D) არაწრფივი სასრული ელემენტების მეშვეობით, კომპიუტერული საანგარიშო კომპლექსის **LIRA 9.6 R6** – ის გამოყენებით.

სქემაზე დიდი გადაადგილებები ნაჩვენებია უფრო მუქი ფერებით (ლურჯი), ხოლო მცირე გადაადგილებები უფრო ღია ფერებით (ცისფერი). $Q=70$ ტძ ვერტიკალური დატვირთვის შემთხვევაში მაქსიმალური დეფორმაცია არაწრფივ სტადიაზე შეადგენს $\Delta_{max} = 30.60$ მმ-ს, რაც არის ანაკრებ-მონოლითური კოჭის მალის $1/130$ ნაწილი. დატვირთვის ამ შემთხვევისათვის არაწრფივი დეფორმაციის მნიშვნელობა 2.7-ჯერ აღემატება წრფივი დეფორმაციის მნიშვნელობას.



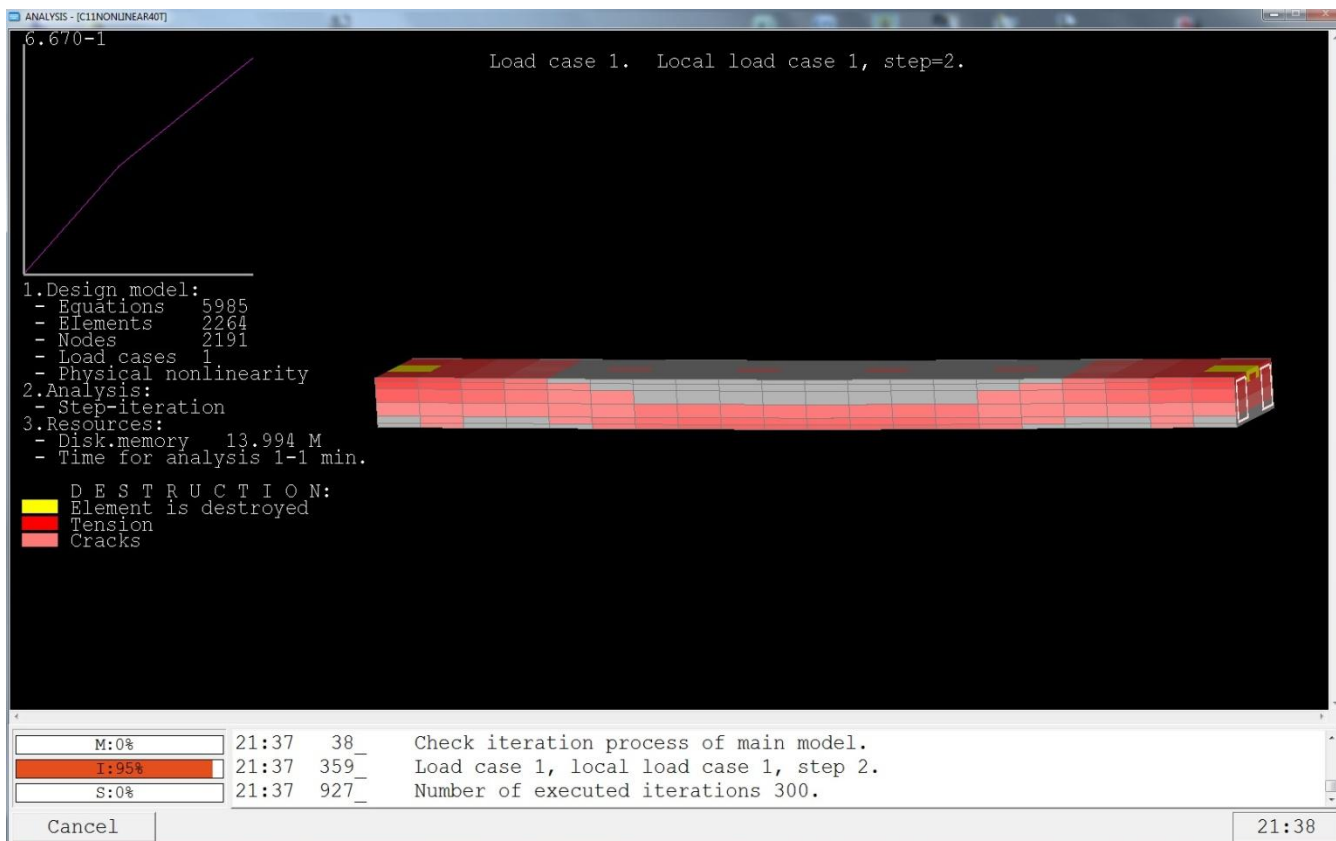
ნახ. 50 ანაკრებ-მონოლითური რკინაბეტონის კოჭი. (სოგმანებით შეპირაპირების გათვალისწინებით) საანგარიშო მოდელი სივრცითი არაწრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით. $Q=70$ ტძ დატვირთვის შემთხვევა.



ნახ. 51 ანაკრებ-მონოლითური რკინაბეტონის კოჭი. (სოგმანებით შეპირაპირების გათვალისწინებით) საანგარიშო მოდელი სივრცითი არაწრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით. $Q=10$ ტძ. დატვირთვის შემთხვევა. არაწრფივი ანგარიშის მსვლელობა.

ნახ. 51-ზე წარმოდგენილია ანაკრებ-მონოლითური რკინაბეტონის კოჭის არაწრფივი ანგარიშის მსვლელობა $Q=10$ ტძ.-ის შემთხვევისათვის. (ნახ. 48).

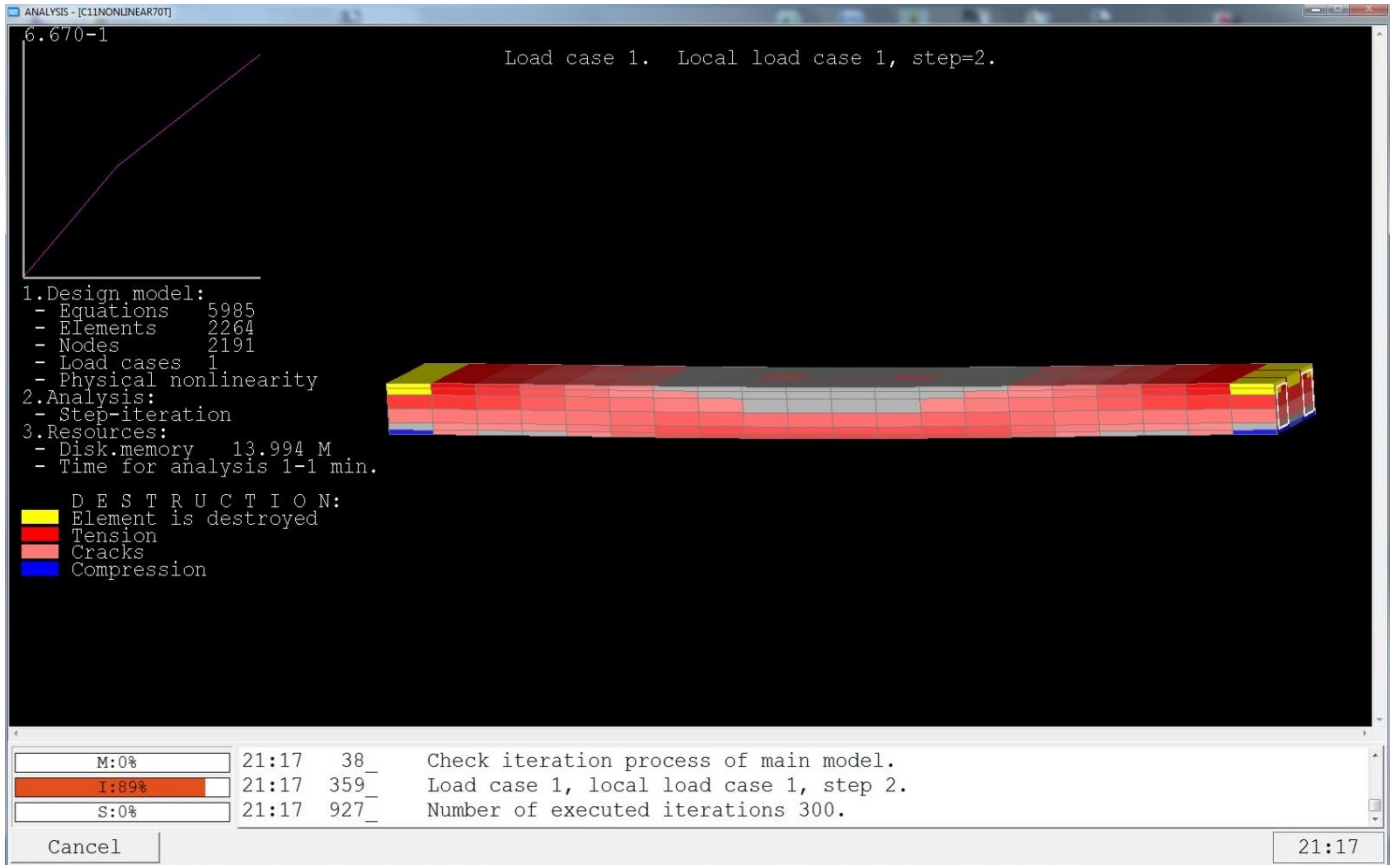
ღია (ვარდისფერი) ფერი აღნიშნავს ბზარწარმოქმნის ზონას, ხოლო მუქი (წითელი) ფერი აღნიშნავს ბეტონის გაჭიმვის ზონას. რიცხვითი ექსპერიმენტი გვაჩვენებს, რომ 10ტძ. დატვირთვის შემთხვევაშიც შეინიშნება ბზარწარმოქმნის პროცესი, საყრდენებთან ზედა შრეში, ხოლო შუა მალში - ქვედა შრეში. როგორც სივრცითი არაწრფივი მოდელის დინამიკაზე ჩანს საყრდენებიდან ბზარწარმოქმნის ზონა დაახლოებით 60სმ-მდე ვრცელდება, შუა მალში კი დაახლოებით 200სმ-მდე.



ნახ. 52 ანაკრებ-მონოლითური რკინაბეტონის კოჭი. (სოგმანებით შეპირაპირების გათვალისწინებით) საანგარიშო მოდელი სივრცითი არაწრფივი ხასრული ელემენტების გამოყენებით. $Q=40$ ტძ. დატვირთვის შემთხვევა. არაწრფივი ანგარიშის მსვლელობა.

ნახ. 52-ზე წარმოდგენილია ანაკრებ-მონოლითური რკინაბეტონის კოჭის არაწრფივი ანგარიშის მსვლელობა $Q=40$ ტძ-ის შემთხვევისათვის. (ნახ. 49).

ღია (ვარდისფერი) ფერი აღნიშნავს ბზარწარმოქმნის ზონას, ხოლო მუქი (წითელი) ფერი აღნიშნავს ბეტონის გაჭიმვის ზონას. ყვითელი ფერი აღნიშნავს რღვევის ზონას. რიცხვითი ექსპერიმენტი გვაჩვენებს, რომ 40ტძ. დატვირთვის შემთხვევაში ბზარწარმოქმნის პროცესმა პრაქტიკულად მთლიანად მოიცვა საყრდენი ზონა, შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირები, ქვედა შრის დიდი ნაწილი და დაიწყო რღვევა საყრდენ უბნებზე.



ნახ. 53 ანაკრებ-მონოლითური რკინაბეტონის კოჭი. (სოგმანებით შეპირაპირების გათვალისწინებით) საანგარიშო მოდელი სივრცითი არაწრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით. $Q=70$ ტძ. დატვირთვის შემთხვევა. არაწრფივი ანგარიშის მსვლელობა.

ნახ. 53-ზე წარმოდგენილია ანაკრებ-მონოლითური რკინაბეტონის კოჭის არაწრფივი ანგარიშის მსვლელობა $Q=70$ ტძ.-ის შემთხვევისათვის. (ნახ. 50).

ღია (ვარდისფერი) ფერი აღნიშნავს ბზარწარმოქმნის ზონას, ხოლო მუქი (წითელი) ფერი აღნიშნავს ბეტონის გაჭიმვის ზონას. ყვითელი ფერი აღნიშნავს რღვევის ზონას. რიცხვითი ექსპერიმენტი გვაჩვენებს, რომ 70ტძ. დატვირთვის შემთხვევაში ბზარწარმოქმნის პროცესმა პრაქტიკულად მთლიანად მოიცვა ანაკრებ მონოლითური კოჭი და მოხდა სიმტკიცის რღვევა საყრდენებზე.

3.6. სისისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტის განსაზღვრა მონოლითური რკინაბეტონის ფილის ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით, რიცხვითი და პრაქტიკული ექსპერიმენტების საფუძველზე.

მოცემულ თავში განხილულია არსებული საკითხის კიდევ ერთი კერძო შემთხვევა მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ფილის მაგალითზე, ბეტონის შეპირაპირების ზონის გათვალისწინებით. მიღებულია ექსპერიმენტალური შედეგები (შპს 'Georgian Contemporary Construction'-ის მუშაობის ფარგლებში) და გაზომილია არსებული დეფორმაციები ქ. ბათუმში მშენებარე "ჰილტონის" სასტუმროს შენობაზე. (პროექტის სახელწოდება: 'Black Sea Hotel & Residences') შესრულებულია გაანგარიშებები "ევროკოდი 2"-ში წარმოდგენილი ეკვივალენტურ ჩარჩოთა მეთოდით, მის საფუძველზე შექმნილი G01 საინჟინრო კალკულატორით და რიცხვითი მეთოდებით, სივრცითი არაწრფივი სასრული ელემენტებით, კომპიუტერული საანგარიშო კომპლექსის LIRA 9.6 R6-ის გამოყენებით. რიცხვითი ექსპერიმენტით მიღებული შედეგები შედარებულია პრაქტიკული ექსპერიმენტით დადგენილ რეალურ მნიშვნელობებთან. დადგენილია სისისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტი ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების და არაწრფივი დეფორმაციების გათვალისწინებით.

განვიხილოთ 9000X9000მმ-ის გაბარიტული ზომებისა და 325მმ-ის სისქის მქონე მონოლითური რკინაბეტონის ურიგელო გადახურვის ბრტყელი ფილა, რომელშიც გამოყენებულია B35 კლასის ბეტონი. მასზე ზემოქმედებს საკუთარი წონით გამოწვეული დატვირთვა. B35 კლასის მძიმე ბეტონის საშუალო მოცულობით წონად მივიღოთ $\rho=2.5\text{ტ/მ}^3$. B35 კლასის ბეტონის დრეკადობის მოდული ტოლია: $E=3500000\text{ტ/მ}^2$. მონაცემები აღებულია "ჰილტონის" სასტუმროს შენობიდან, ქ. ბათუმი. ('Black Sea Hotel & Residences').

შესაბამისად, მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ფილის საკუთარი წონისგან გამოწვეული დატვირთვა განისაზღვრება:

$$Q_{sq,საკ.წონა} = 1.0მ \cdot 1.0მ \cdot 0.325მ \cdot 2.5ტ/მ^3 = 0.8125ტ/მ^2 \quad (70)$$

ეკვივალენტურ ჩარჩოთა მეთოდი, როგორც ევროკოდი 2-შია წარმოდგენილი, ეფუძნება მომენტების ანალიზს. „სვეტის ზოლი“, „შუალედური ზოლი“, „დადებითი მომენტების“ და „უარყოფითი მომენტების“ გადანაწილება განსაზღვრულია მრავალწლიანი თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების შედეგად.

ნახ. 54ა-ს მიხედვით, ფილა მუშაობს, როგორც ფართო კოჭი, რომლის სიგანე ეკვივალენტურია მთლიანი ფილის სიგანის $l_y = 9000მმ$, ხოლო მალის სიგრძეა $l_x = 9000მმ$. პირობითად, ჩავთვალოთ, რომ რკინაბეტონის ფილას გააჩნია საყრდენი ზოლები, შესაბამისად $x=0$ და $x=9000მმ$. გამომდინარე განსხვავებული მდუნავი მომენტებიდან და აგრეთვე ღუნვის სიხისტიდან, ყველა ერთეულოვანი ზოლი X-მიმართულებაზე არ ჩაიდუნება თანაბრად. როგორც წესი, „შუალედურ ზოლში“ ჩაღუნვები იქნება უფრო მცირე, ვიდრე „სვეტის ზოლში“, რადგან „შუალედურ ზოლში“ უფრო მცირე მდუნავი მომენტები წარმოიქმნება.

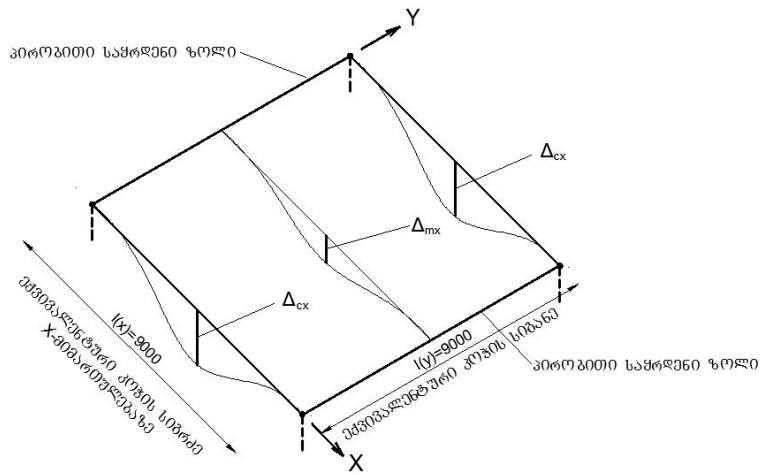
შემდეგ, ნახ. 54ბ-ზე ფილა განხილულია, როგორც ეკვივალენტური ფართო კოჭი სიგანით $l_x = 9000მმ$ და მუშაობს ღუნვაზე, Y-მიმართულებით, სადაც მალის სიგრძეა $l_y = 9000მმ$. ამ მიმართულებითაც საქმე გვექნება განსხვავებულ მდუნავ მომენტებთან „შუალედურ ზოლში“ და „სვეტის ზოლში“.

რეალური დეფორმაციის სურათი კი ჩანს ნახ. 54გ-ზე. მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ფილის მაქსიმალური ჩაღუნვა (შუა წერტილში), წარმოადგენს ერთი მიმართულებით – „სვეტის ზოლის“ შუა მალის დეფორმაციისა და მეორე მიმართულებით – „შუალედური ზოლის“ შუა მალის დეფორმაციების ჯამს. გამომდინარე აქედან, ვადგენთ:

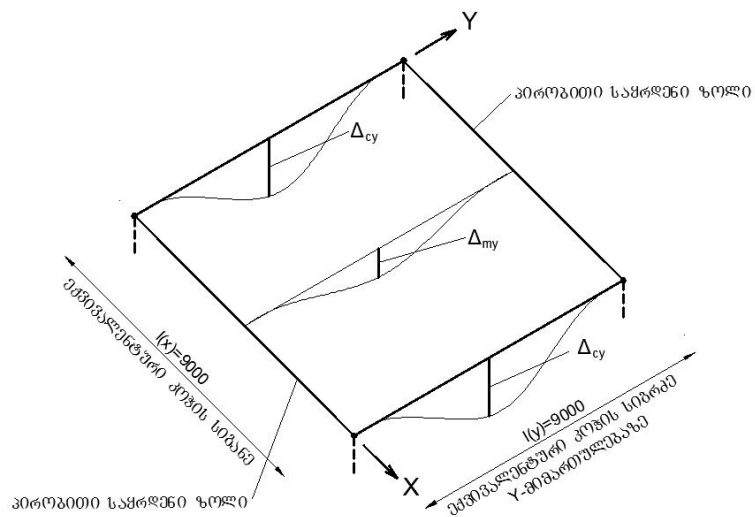
$$\Delta_{max} = \Delta_{cx} + \Delta_{my} = \Delta_{cy} + \Delta_{mx} \quad (71)$$

დავიწყოთ უშუალოდ გაანგარიშება. საწყის ეტაპზე მივიჩნით, რომ საყრდენები არის აბსოლუტურად ხისტი, შეხლუდულია, როგორც მობრუნება, ისე ვერტიკალური გადაადგილება.

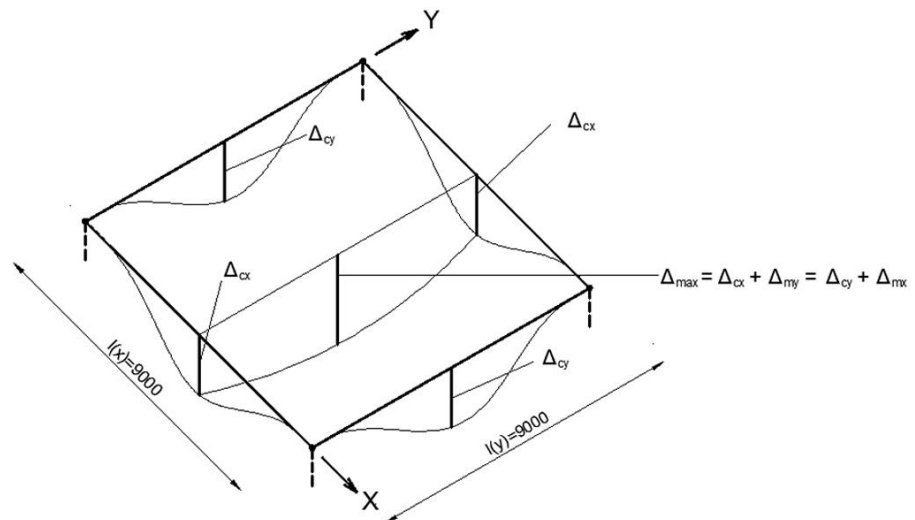
ა)



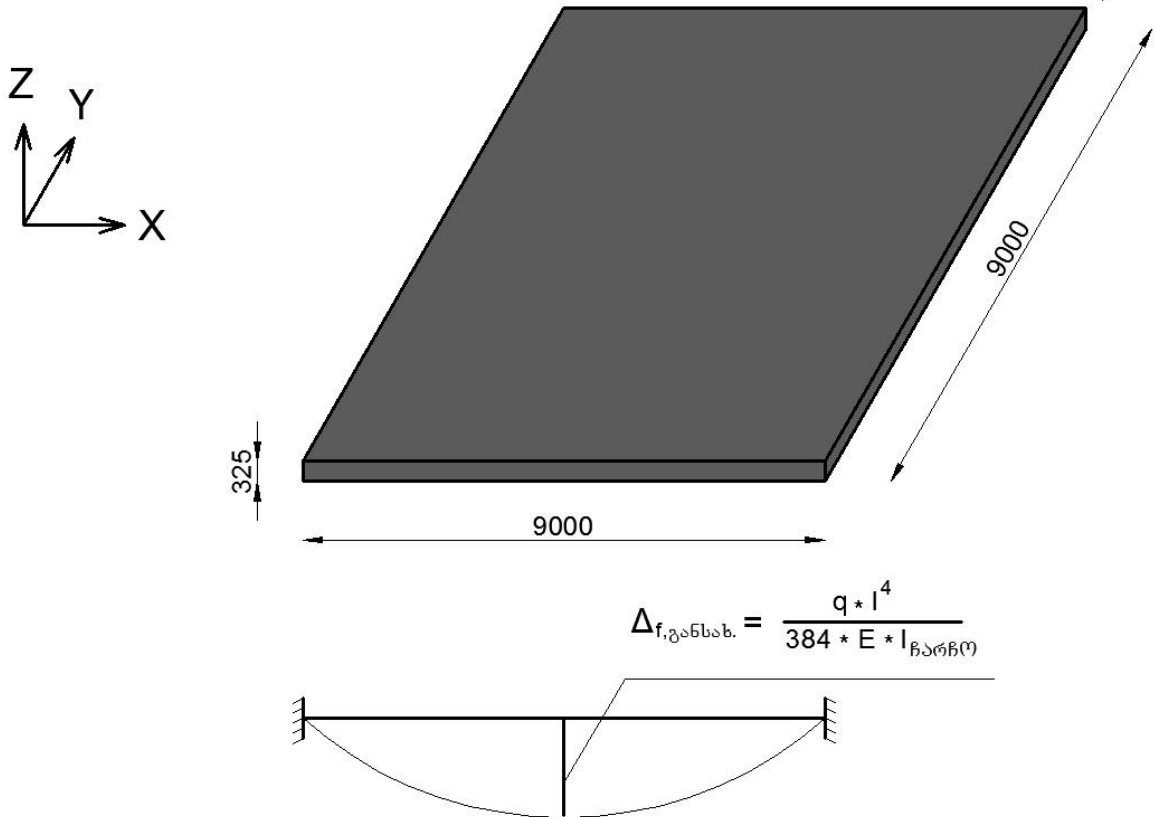
ბ)



ბ)



ნახ. 54 რკინაბეტონის ბრტყელი ფილის საანგარიშო სქემა



ნახ. 55 რკინაბეტონის ბრტყელი ფილის საანგარიშო სქემა 2-განზომილებიანი განსახილველი ეკვივალენტური ჩარჩოს კერძო შემთხვევისათვის.

განსახილველი დეფორმაცია გამოითვლება ფორმულით:

$$\Delta f_{\text{განსახ.}} = \frac{ql^4}{384EI_{\text{განსახ.}}} \quad (72)$$

მას შემდეგ, რაც მოვახდინეთ 3-განზომილებიანი მოდელის დაყოფა ორ 2-განზომილებიან ეკვივალენტურ სისტემად, საჭირო ხდება (65) ფორმულით განსაზღვრული, ერთეულ ფართზე მოსული დატვირთვის გადაყვანა მათ ეკვივალენტურ თანაბრადგანაწილებულ დატვირთვად გრძივ მეტრზე, ორივე მიმართულებით:

$$Q_{x, \text{იჯამ.}} = Q_{x, \text{საკ.წონა}} = 7.3125 \text{ ტ/მ} \quad (73)$$

$$Q_{y, \text{იჯამ.}} = Q_{y, \text{საკ.წონა}} = 7.3125 \text{ ტ/მ} \quad (74)$$

განსახილველი დეფორმაცია მონოლითური რკინაბეტონის ეკვივალენტური კოჭების შუა მალში. B35 კლასის ბეტონის დრეკადობის მოდული ტოლია: $E=3500000\text{ტ/მ}^2$.

გამოვთვალოთ ეკვივალენტური კოჭის კვეთის ინერციის მომენტი X-ღერძის მიმართ:

$$I_{x,\text{ნარჩო}} = \frac{bh^3}{12} = \frac{900\text{სმ} \cdot (32.5\text{სმ})^3}{12} = 2574609\text{სმ}^4 = 0.026 \text{ მ}^4 \quad (75)$$

გამოვთვალოთ ეკვივალენტური კოჭის კვეთის ინერციის მომენტი Y-ღერძის მიმართ:

$$I_{y,\text{ნარჩო}} = \frac{bh^3}{12} = \frac{900\text{სმ} \cdot (32.5\text{სმ})^3}{12} = 2574609\text{სმ}^4 = 0.026 \text{ მ}^4 \quad (76)$$

განსახილველი დეფორმაცია X-ღერძის გასწვრივ, მიიღებს შემდეგ მნიშვნელობას:

$$\Delta_{f,x,\text{განსახ.}} = \frac{ql^4}{384EI_{\text{ნარჩო}}} = \frac{7.3125\text{ტ/მ} \cdot (9.0\text{მ})^4}{384 \cdot 3500000\text{ტ/მ}^2 \cdot 0.026\text{მ}^4} = 0.0014\text{მ} = 1.4\text{მმ} \quad (77)$$

განსახილველი დეფორმაცია Y-ღერძის გასწვრივ, მიიღებს შემდეგ მნიშვნელობას:

$$\Delta_{f,y,\text{განსახ.}} = \frac{ql^4}{384EI_{\text{ნარჩო}}} = \frac{7.3125\text{ტ/მ} \cdot (9.0\text{მ})^4}{384 \cdot 3500000\text{ტ/მ}^2 \cdot 0.026\text{მ}^4} = 0.0014\text{მ} = 1.4\text{მმ} \quad (78)$$

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ფილა უნდა დაიყოს „სვეტის ზოლად“ და „შუალედურ ზოლად“ (ნახ.56). ამ გზით მოვახერხებთ გავიგოთ თუ როგორია მომენტების გადანაწილება ეკვივალენტური კოჭის სიგანეზე და აგრეთვე სიხისტის მნიშვნელობა, „სვეტის ზოლის“ და „შუალედური ზოლის“ განსხვავებული ინერციის მომენტების გამო. შემდეგ, მიღებული განსახილველი დეფორმაციები გავამრავლოთ M/EI წილადზე, რადგან რეალური დეფორმაციები პირდაპირპროპორციულია მომენტების სიდიდის და უკუპროპორციულია სიხისტეების. „სვეტის ზოლის“ ნახევარსიგანე ტოლია უმცირესი მალის $1/4$ ნაწილის.

„სვეტის ზოლების“ ჯამური სიგანე უდრის:

$$W_{\text{სვ.ზ. xy}} = 2 \cdot \frac{l(y)}{4} = 2 \cdot 2250\text{მმ} = 4500\text{მმ} \quad (79)$$

„შუალედური ზოლის“ სიგანე, მიმართულებების მიხედვით, ტოლია:

$$W_{\text{ს.ზ. x}} = I_{(x)} - W_{\text{ს.ზ. xy}} = 9000\text{მმ} - 4500\text{მმ} = 4500\text{მმ} \quad (80)$$

$$W_{\text{ს.ზ. y}} = I_{(y)} - W_{\text{ს.ზ. xy}} = 9000\text{მმ} - 4500\text{მმ} = 4500\text{მმ} \quad (81)$$

გამოვთვალოთ „სვეტის ზოლის“ ინერციის მომენტი X და Y ღერძების მიმართ:

$$I_{x,\text{ს.ზ.}} = I_{y,\text{ს.ზ.}} = \frac{bh^3}{12} = \frac{450\text{სმ} \cdot (32.5\text{სმ})^3}{12} = 1287305\text{სმ}^4 = 0.013\text{მ}^4 \quad (82)$$

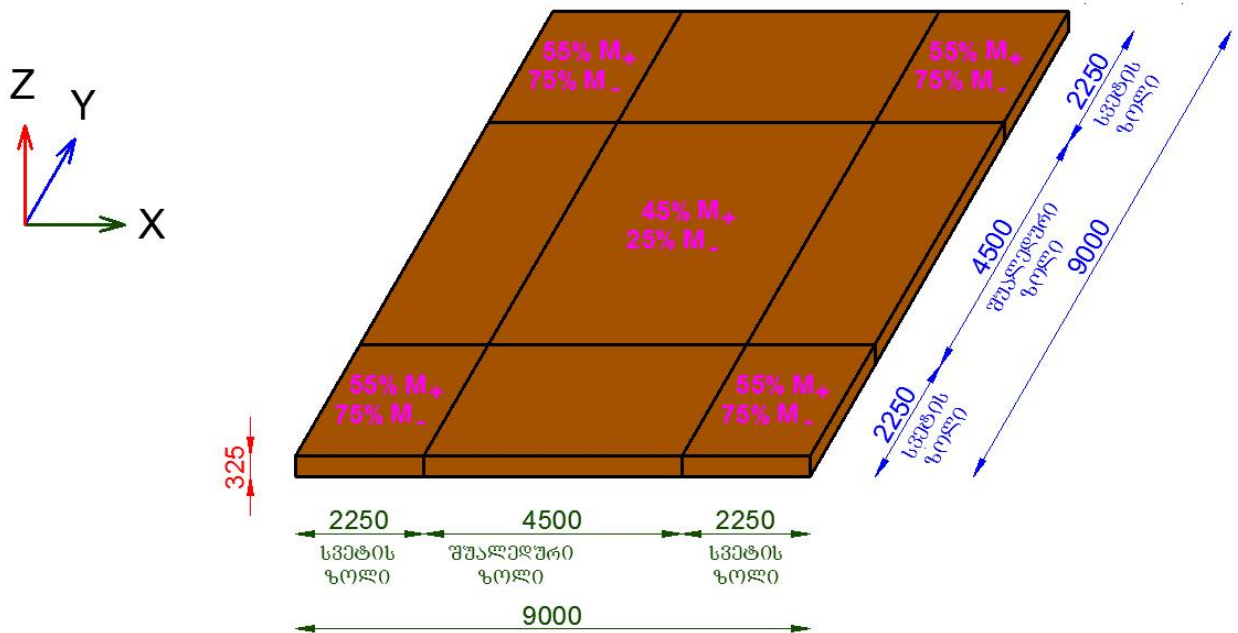
გამოვთვალოთ „შუალედური ზოლის“ ინერციის მომენტი X ღერძის მიმართ:

$$I_{x,\text{შ.ზ.}} = \frac{bh^3}{12} = \frac{450\text{სმ} \cdot (32.5\text{სმ})^3}{12} = 1287305\text{სმ}^4 = 0.013\text{მ}^4 \quad (83)$$

გამოვთვალოთ „შუალედური ზოლის“ ინერციის მომენტი Y ღერძის მიმართ:

$$I_{y,\text{შ.ზ.}} = \frac{bh^3}{12} = \frac{450\text{სმ} \cdot (32.5\text{სმ})^3}{12} = 1287305\text{სმ}^4 = 0.013\text{მ}^4 \quad (84)$$

მომენტების გადანაწილება „სვეტის ზოლებისა“ და „შუალედური ზოლების“ მიხედვით დაფუძნებულია ევროკოდი 2-ში მითითებული სიდიდეების ფარგლებში. (იხ. ცხრ.2).



ნახ. 56 დადებითი და უარყოფითი მომენტების გადანაწილების ვიზუალიზაცია „სვეტის ზოლების“ და „შუალედური ზოლების“ მიხედვით.

სრული სტატიკური მომენტის 65% მოდის უარყოფით მომენტზე, საიდანაც:

„სვეტის ზოლი“ მიიღებს:

$$75\% \cdot 65\% \cdot M_0 = 48.75\% \cdot M_0 \quad (85)$$

„შუალედური ზოლი“ მიიღებს:

$$25\% \cdot 65\% \cdot M_0 = 16.25\% \cdot M_0 \quad (86)$$

სრული სტატიკური მომენტის 35% მოდის დადებით მომენტზე, საიდანაც:

„სვეტის ზოლი“ მიიღებს:

$$55\% \cdot 35\% \cdot M_0 = 19.25\% \cdot M_0 \quad (87)$$

„შუალედური ზოლი“ მიიღებს:

$$45\% \cdot 35\% \cdot M_0 = 15.75\% \cdot M_0 \quad (88)$$

მთლიანი მომენტი „სვეტის ზოლზე“ განისაზღვრება:

$$(48.75\% + 19.25\%) \cdot M_0 = 68\% \cdot M_0 \quad (89)$$

მთლიანი მომენტი „შუალედურ ზოლზე“ განისაზღვრება:

$$(16.25\% + 15.75\%) \cdot M_0 = 32\% \cdot M_0 \quad (90)$$

გამოვთვალოთ მაქსიმალური დეფორმაცია X ღერძის გასწვრივ, „სვეტის ზოლში“:

$$\Delta_{cx} = \Delta_{f,x,განსახ.} \cdot \frac{M_{სვ.ზ.}}{M_{ნარნო}} \cdot \frac{EI_{y,ნარნო}}{EI_{y,სვ.ზ.}} = 1.4მმ \cdot 68\% \cdot 200\% = 1.90მმ \quad (91)$$

გამოვთვალოთ მაქსიმალური დეფორმაცია X ღერძის გასწვრივ, „შუალედურ ზოლში“:

$$\Delta_{mx} = \Delta_{f,x,განსახ.} \cdot \frac{M_{შ.ზ.}}{M_{ნარნო}} \cdot \frac{EI_{y,ნარნო}}{EI_{y,შ.ზ.}} = 1.4მმ \cdot 32\% \cdot 200\% = 0.90მმ \quad (92)$$

გამოვთვალოთ მაქსიმალური დეფორმაცია Y ღერძის გასწვრივ, „სვეტის ზოლში“:

$$\Delta_{cy} = \Delta_{f,y,განსახ.} \cdot \frac{M_{სვ.ზ.}}{M_{ნარნო}} \cdot \frac{EI_{x,ნარნო}}{EI_{x,სვ.ზ.}} = 1.4მმ \cdot 68\% \cdot 200\% = 1.90მმ \quad (93)$$

გამოვთვალოთ მაქსიმალური დეფორმაცია Y ღერძის გასწვრივ, „შუალედურ ზოლში“:

$$\Delta_{my} = \Delta_{f,y,განსახ.} \cdot \frac{M_{შ.ზ.}}{M_{ნარჩო}} \cdot \frac{EI_{x,ნარჩო}}{EI_{x,შ.ზ.}} = 2.18\text{მ} \cdot 32\% \cdot 200\% = 0.90\text{მმ} \quad (94)$$

გამოვთვალოთ მაქსიმალური დეფორმაცია:

$$\Delta_{max} = \Delta_{cx} + \Delta_{my} \cong \Delta_{cy} + \Delta_{mx} = 1.90\text{მმ} + 0.90\text{მმ} = 2.80\text{მმ} \quad (95)$$

მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ურიგელო ფილის დეფორმაციაზე გაანგარიშების მიზნით, საგანგებოდ ამ ნაშრომისათვის Microsoft Excel-ის ბაზაზე შედგენილ იქნა საინჟინრო კალკულატორი (G01), რომლის მეშვეობითაც ჩატარებულ იქნა ზემოაღნიშნული ფილის გაანგარიშება. (ნახ.57) საინჟინრო კალკულატორის პროგრამული მეთოდითაც დაფუძნებულია ბრტყელი ურიგელო ფილის გაანგარიშების ეკვივალენტურ ჩარჩოთა მეთოდზე, რაც წარმოდგენილია “ევროკოდი 2”-ში.

საინჟინრო კალკულატორი G01

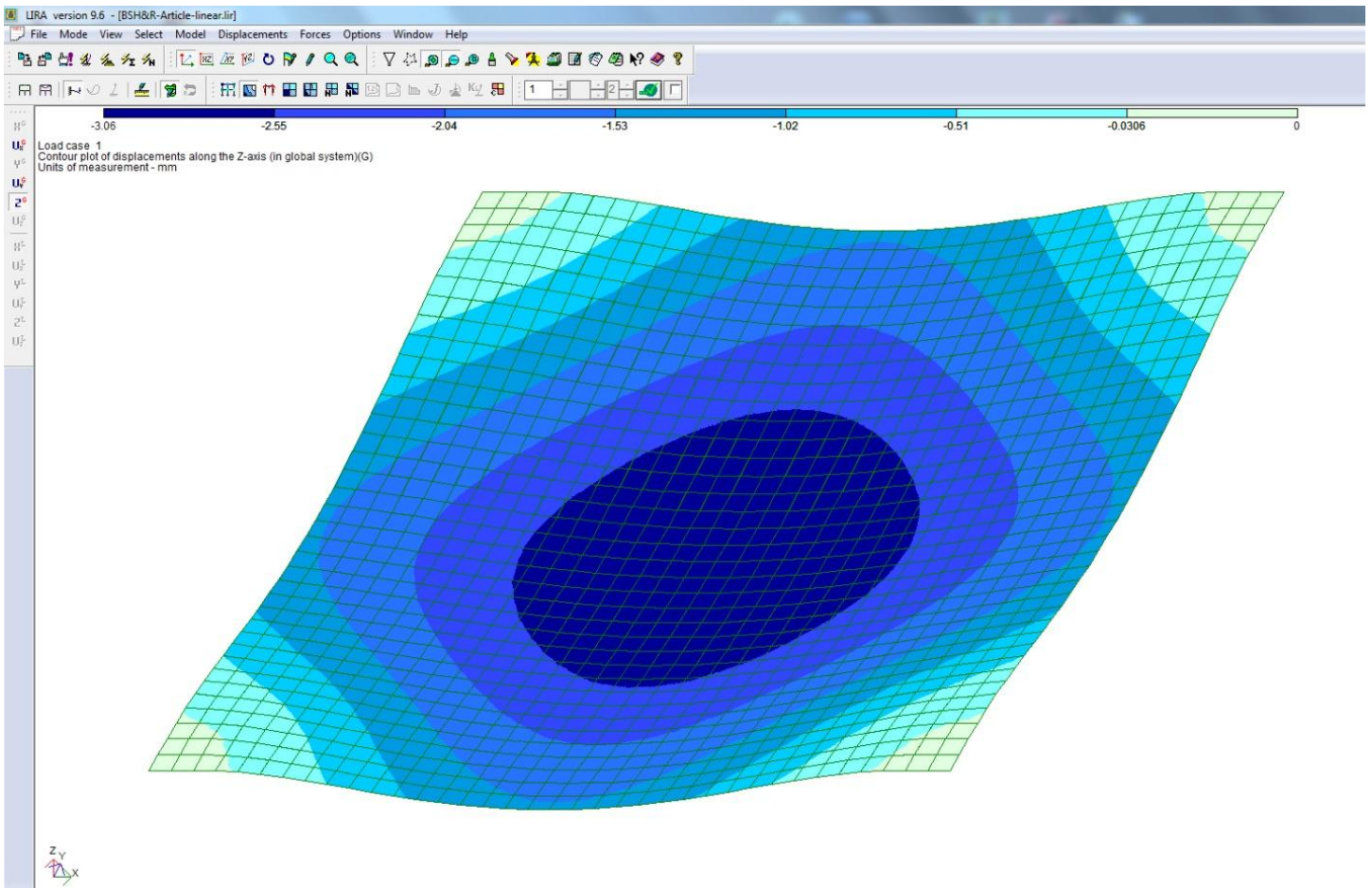
მალი გრძელი მიმართულებით (x)	9.00 მ
მალი მოკლე მიმართულებით (y)	9.00 მ
სისქე (z)	0.325 მ
მასალის დრეკადობის მოდული (E)	3500000 ტ/მ ²
დატვირთვა (Q)	0.8125 ტ/მ ²
Δ _x განსახილველი.	1.4 მმ
Δ _y განსახილველი.	1.4 მმ
Δ _{cx} დეფორმაცია	1.89 მმ
Δ _{mx} დეფორმაცია	0.89 მმ
Δ _{cy} დეფორმაცია	1.89 მმ
Δ _{my} დეფორმაცია	0.89 მმ
მაქსიმალური დეფორმაცია:	2.77 მმ

ნახ. 57 მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ფილა. **Black Sea Hotel & Residences.** საანგარიშო მონაცემები საინჟინრო კალკულატორისთვის. მაქსიმალური დეფორმაცია

$$\Delta_{max} = 2.77\text{მმ}.$$

მიღებული შედეგები 1%-ის სიზუსტით დაემთხვა საინჟინრო კალკულატორით მიღებულ შედეგებს.

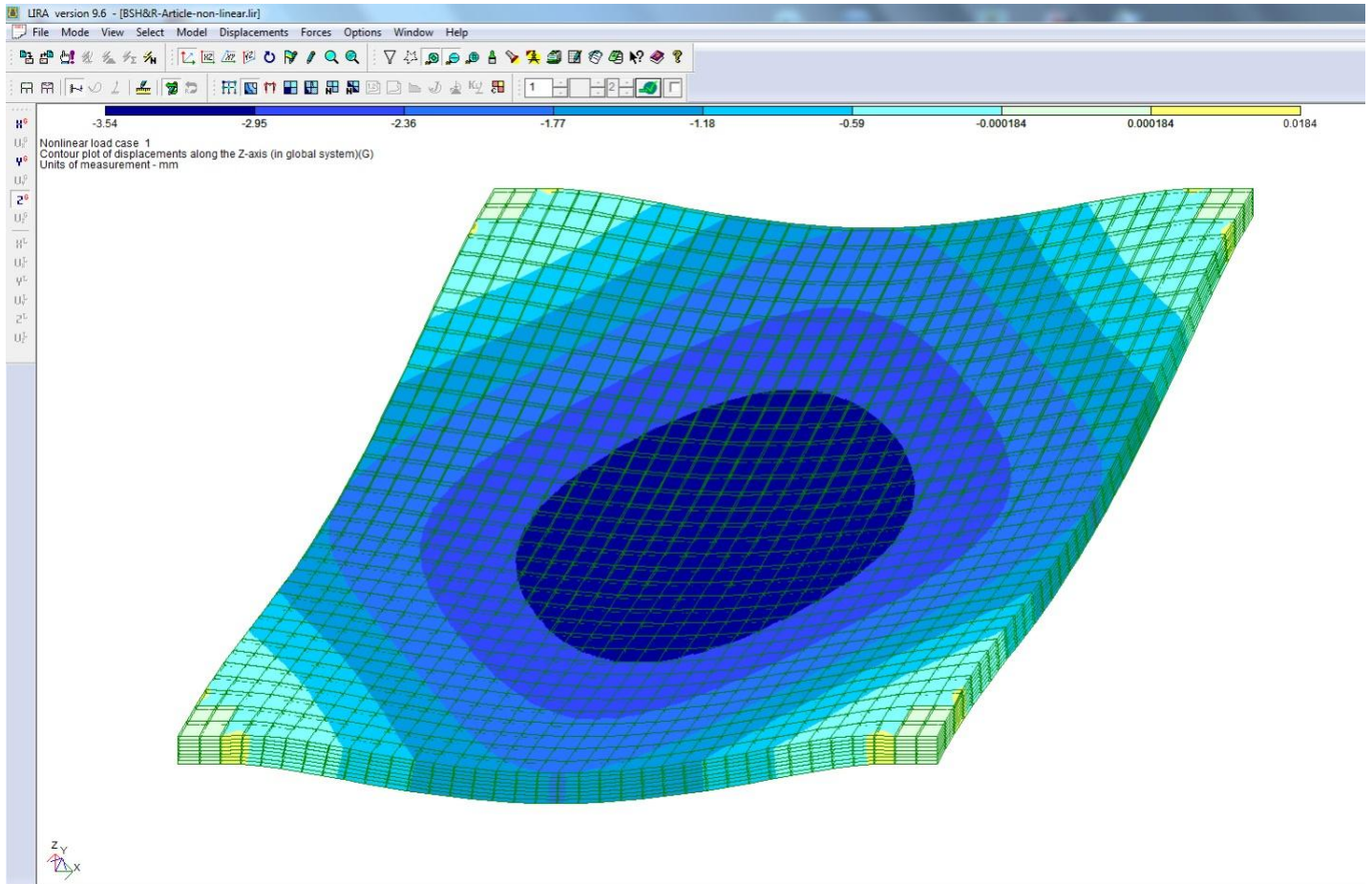
შედარების მიზნით ჩატარდა იგივე ფილის წრფივი გაანგარიშება ბრტყელი სასრული ელემენტების საფუძველზე. მიღებული შედეგები 10%-ის სიზუსტით დაემთხვა საინჟინრო კალკულატორით მიღებულ შედეგებს და შეადგინა 3.06მმ. (ნახ.58)



ნახ. 58 მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ფილა. საანგარიშო მოდელი სასრული ელემენტებით. მაქსიმალური დეფორმაცია $\Delta_{\max} = 3.06\text{მმ}$.

ამ პრობლემის კიდევ უფრო ღრმა ანალიზისათვის ჯერ ჩატარდა რიცხვითი ექსპერიმენტი სივრცითი არაწრფივი (3D) სასრული ელემენტების გამოყენებით, ბეტონის შეპირაპირების გარეშე.

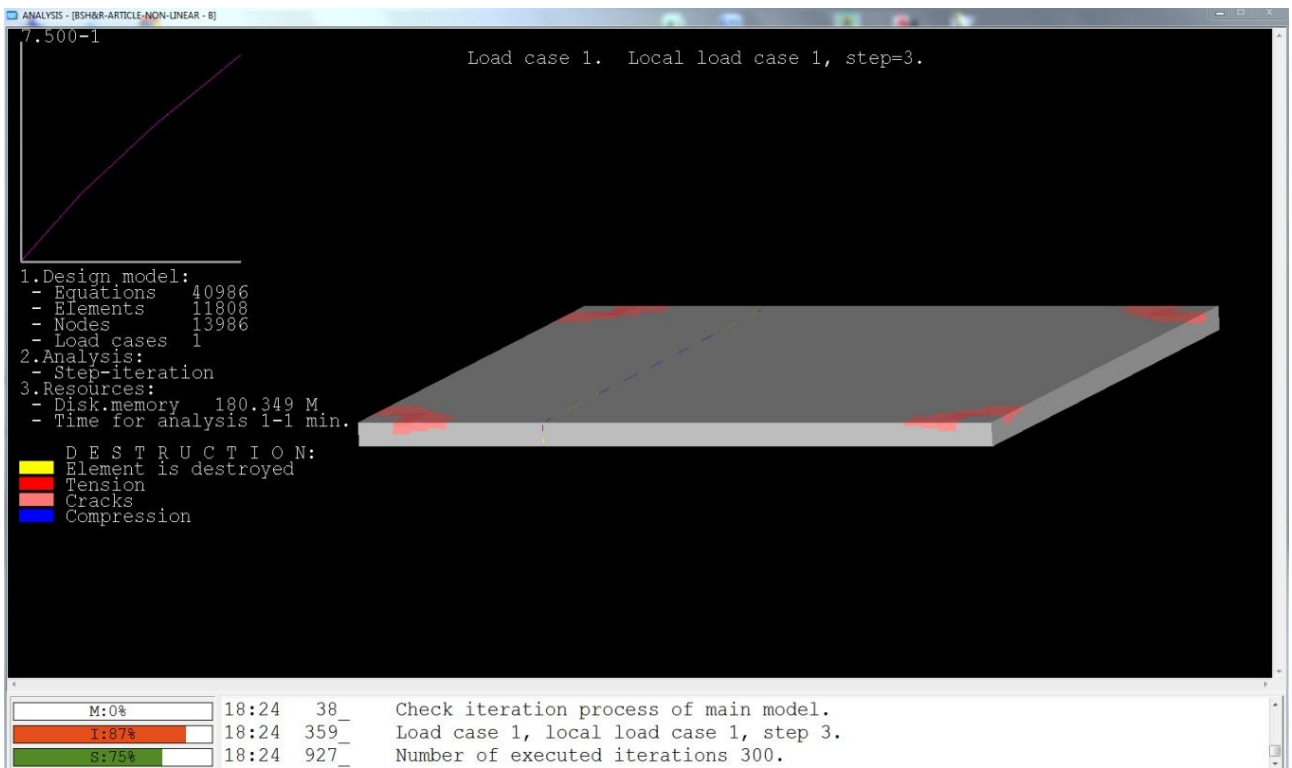
მოდელირებულ იქნა ანალოგიური ფილა (9000X9000მმ) B35 კლასის ბეტონის გამოყენებით. შესაბამისად, ჩატარდა სივრცითი არაწრფივი ანგარიში (ნახ. 59)



ნახ. 59 მონოლითური რკინაბეტონის ბრყეელი ფილა. საანგარიშო მოდელი სივრცითი არაწრფივი (3D) სასრული ელემენტებით. მაქსიმალური დეფორმაცია $\Delta_{\max} = 3.5488$.

მოდელირებულმა რიცხვითმა ექსპერიმენტმა აჩვენა, რომ აღებული შემთხვევისათვის არაწრფივი დეფორმაციები 16%-ით აღემატება სტანდარტული, ბრყეელი წრფივი სასრული ელემენტებით მიღებულ შედეგებს და 27%-ით აღემატება საინჟინრო კალკულატორით (G01) მიღებულ შედეგებს.

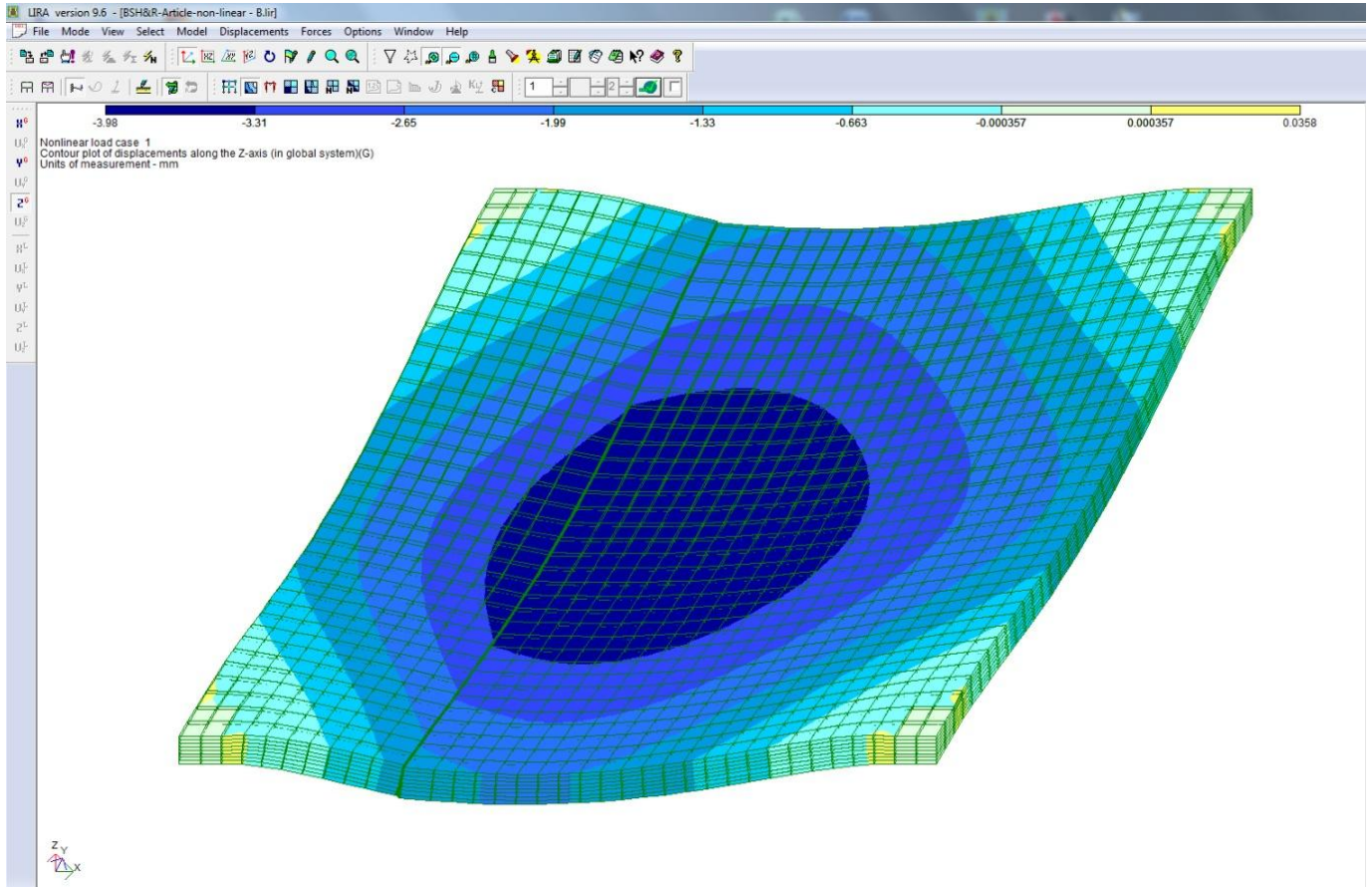
უფრო სრულყოფილი ანალიზისათვის ჩატარდა განმეორებითი რიცხვითი ექსპერიმენტი იმავე ფილასთან (9000X9000მმ) მიმართებაში. ('Black Sea Hotel & Residences'). ამჯერადაც გამოყენებულ იქნა სივრცითი არაწრფივი (3D) სასრული ელემენტები, მაგრამ მოდელირებულ იქნა ბეტონის შეპირაპირების ზონა, ზუსტად იმის ანალოგიურად როგორც შესრულდა პროექტში – გამომდინარე დასაბეტონებელი რკინაბეტონის ფილის ძალიან დიდი მოცულობიდან (2800მ³) და ფართობიდან (8600მ²) რაც შეუძლებელს ხდიდა ერთიან დაბეტონებას. (ნახ. 60 და 61)



ნახ. 60 მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ფილა. არაწრფივი ანგარიშის მსვლელობა.

განმეორებითმა, უფრო ფართო და სრულყოფილმა რიცხვითმა ექსპერიმენტმა აჩვენა, რომ აღებული შემთხვევისათვის, ბეტონის შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირების გათვალისწინებით, არაწრფივი დეფორმაციები 30%-ით აღემატება სტანდარტული, ბრყელი წრფივი

სასრული ელემენტებით მიღებულ შედეგებს და 44%-ით აღემატება საინჟინრო კალკულატორით (G01) მიღებულ შედეგებს.



ნახ. 61 მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ფილა. საანგარიშო მოდელი სივრცითი არაწრფივი (3D) სასრული ელემენტებით, საკონტაქტო ზედაპირის გათვალისწინებით. მაქსიმალური დეფორმაცია $\Delta_{\max} = 3.98\text{მმ}$.

გარდა კომპლექსური რიცხვითი ექსპერიმენტებისა, ჩატარდა პრაქტიკული ექსპერიმენტები, შპს ‘Georgian Contemporary Construction’-ის მუშაობის ფარგლებში. გაზომილია ჩვენს მიერ გაანგარიშებულ ფილაზე რეალურად არსებული დეფორმაციები ბეტონის შეპირაპირების უბანზე ქ. ბათუმში მშენებარე “პილტონის” სასტუმროს შენობაზე.



*ნახ. 62 ბეტონის შეპირაპირების ზონა. “პილტონის” სასტუმრო. ქ. ბათუმი.
პროექტის სახელწოდება: ‘Black Sea Hotel & Residences’*



ნახ. 63 ბეტონის შეპირაპირების ზონა. “ჰილტონის” სასტუმრო. ქ. ბათუმი.
პროექტის სახელწოდება: **‘Black Sea Hotel & Residences’**



ნახ. 64
ბეტონის შეპირაპირების ზონა დაბეტონების შემდეგ.
“ჰილტონის” სასტუმრო. ქ. ბათუმი.
პროექტის სახელწოდება: **‘Black Sea Hotel & Residences’**



Vazha-Pshavela ave. #16, II floor Tel/Fax +995 32 237 10 09

შ.პ.ს ჯორჯიან კონტექმპორარი კონსტრაქშენ

ვაჟა-ფშაველას გამზირი №16, II სართული ტელ/ფარსი +995 32 237 10 09

ქ.ბათუმი

28 დეკემბერი 2011წ.

პროექტის სახელწოდება: "Black Sea Hotel & Residences" (სასტუმრო "პილტონი")

საკუთარი წონით გამოწვეული დეფორმაციების ექსპერიმენტული ანაზომი ბეტონის შეპირაპირების ზონაში, მონოლითური რკინაბეტონის გადახურვის ფილაში.

გადახურვის ნიშნული (მ)	მდებარეობა ღერძებში	დეფორმაცია საყრდენზე (მმ)	დეფორმაცია მალში (მმ)
- 1.875	„E“ - „F“ და „8“ - „9“	—	4.0
- 1.875	„E“ - „F“ და „7“ - „8“	—	4.0

შეასრულა:

გ.ჩიკვაძე

დირექტორი:

დ.გიგინეიშვილი

ნახ. 65 ექსპერიმენტალური მონაცემები



ნახ. 66 ბეტონის შეპირაპირების ზონა დაბეტონების შემდეგ.
 “პილტონის” სასტუმრო. ქ. ბათუმი.
 პროექტის სახელწოდება: **‘Black Sea Hotel & Residences’**

პრაქტიკული ექსპერიმენტით (ნახ. 66) მიღებული დეფორმაციის სიდიდე $\Delta_{\max} = 4.0\text{მმ}$. მაღალი სიზუსტით რიცხვითი ექსპერიმენტით მიღებულ სიდიდეს. გამომდინარე პრაქტიკული ექსპერიმენტიდან გამოვთვალოთ სისისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტი რკინაბეტონის ფილის შეპირაპირებისათვის:

$$K_{EI,1} = \frac{\Delta_{\max, \text{საინჟ. კალკულტორი}}}{\Delta_{\max, \text{ექსპერიმენტალური}}} = \frac{2.77\text{მმ}}{4.00\text{მმ}} = 0.69 \quad (96)$$

$$K_{EI,2} = \frac{\Delta_{\max, \text{წრფივი}}}{\Delta_{\max, \text{ექსპერიმენტალური}}} = \frac{3.06\text{მმ}}{4.00\text{მმ}} = 0.76 \quad (97)$$

$$K_{EI, \text{საშუალო}} = \frac{0.69 + 0.76}{2} = 0.725 \approx 0.7 \quad (98)$$

განხილული რკინაბეტონის ბრტყელი ფილის შეპირაპირების რიცხვითი და პრაქტიკული ექსპერიმენტალური. მონაცემების საფუძველზე განსაზღვრულია სიხისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტები დეფორმაციების ზუსტი მნიშვნელობების მისაღებად. მიღებული თეორიული და ექსპერიმენტული შედეგები ცხადყოფს, რომ აღნიშნული მეთოდებით გაანგარიშებული ბეტონის შეპირაპირების კვანძები აკმაყოფილებს სიმტკიცის და დეფორმაციის პირობებს.

4. დასკვნა

4.1. მიღებული შედეგებიდან გამომდინარე დასკვნები

სადისერტაციო ნაშრომში ჩატარებულია მრავალმხრივი გაანგარიშებები და რიცხვითი ექსპერიმენტები რკინაბეტონის კონსოლური კოჭისათვის (1), ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული კოჭისათვის (2), მართკუთხა ბრტყელი ურიგელო გადახურვის ფილისათვის (3), მრავალსართულიანი შენობის კარკასისათვის (4), ანაკრებ-მონოლითური კოჭისათვის (5), და კვადრატული ბრტყელი ურიგელო გადახურვის ფილისათვის (6). გამოყენებულია: „კლასიკური“ გაანგარიშების მეთოდები, ეკვივალენტურ ჩარჩოთა მეთოდი, სასრულ ელემენტთა მეთოდი, როგორც ბრტყელი, ასევე სივრცითი (3D) ელემენტების გამოყენებით წრფივ და არაწრფივ სტადიაზე. მიღებული შედეგები შედარებულია ექსპერიმენტულ მონაცემებთან. მიღებული შედეგები გამოიყურება შემდეგნაირად:

1. რკინაბეტონის კონსოლური კოჭი. (ცხრ.7)

№	მეთოდი	შედეგი	შენიშვნა
1	“კლასიკური” გაანგარიშების მეთოდი	5.095მმ	დეფორმაცია
2	სივრცითი წრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით	4.06მმ	დეფორმაცია
3	სივრცითი წრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით, ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით	4.29მმ	დეფორმაცია
5	სივრცითი არაწრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით, ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით	9.04მმ	დეფორმაცია
6	“კლასიკური” გაანგარიშების მეთოდი	48.75ტ/მ ²	მხები დაბვა
7	სივრცითი წრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით, ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით	69.40ტ/მ ²	მხები დაბვა

2. ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული კოჭი. (ცხრ.8)

№	მეთოდი	შედგები	შენიშვნა
1	“კლასიკური” გაანგარიშების მეთოდი	1.70მმ	დეფორმაცია
2	სივრცითი წრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით	1.41მმ	დეფორმაცია
3	სივრცითი წრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით, ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით	1.63მმ	დეფორმაცია
5	სივრცითი არაწრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით, ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით	1.96მმ	დეფორმაცია
6	“კლასიკური” გაანგარიშების მეთოდი	0ტ/მ ²	მხები დაბვა
7	სივრცითი წრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით, ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით	5.51ტ/მ ²	მხები დაბვა

3. მართკუთხა ბრტყელი ურიგელო გადახურვის ფილა. (ცხრ.9)

№	მეთოდი	შედგები	შენიშვნა
1	ეკვივალენტურ ჩარჩოთა მეთოდი	5.57/6.09მმ	დეფორმაცია
2	ბრტყელი წრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით	6.58მმ	დეფორმაცია
3	სივრცითი წრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით, ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით	5.56მმ	დეფორმაცია
4	სივრცითი არაწრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით, ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით	8.85მმ	დეფორმაცია
5	სივრცითი წრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით, ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით	15.5ტ/მ ²	მხები დაბვა

4. მრავალსართულიანი შენობის კარკასი (ცხრ.10)

მასსიათებელი	ბეტონის ერთიანად ჩასხმის შემთხვევა (შეპირაპირების გარეშე)	ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით
გადაადგილება X-მიმართულებით	80.6მმ	81.0მმ
გადაადგილება Y-მიმართულებით	83.8მმ	84.2მმ
საკუთარი რხევის T ₁ პერიოდი	2.175წმ	2.182წმ
საკუთარი რხევის T ₂ პერიოდი	1.446წმ	1.457წმ
საკუთარი რხევის T ₃ პერიოდი	0.930წმ	0.940წმ
დაარმატურება ქვედა შრეში	5.66სმ ² (0.56%)	10.10სმ ² (1.10%)

5. ანაკრებ-მონოლითური კოჭი. (ცხრ.11)

№	მეთოდი	შედგები	შენიშვნა
1	„კლასიკური“ გაანგარიშების მეთოდი	23.50მმ	დეფორმაცია
2	სივრცითი წრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით	11.30მმ	დეფორმაცია
3	ადგილზე გაზომილი ექსპერიმენტალური მონაცემი ანაკრები ელემენტისათვის	19.50მმ	დეფორმაცია
4	ადგილზე გაზომილი ექსპერიმენტალური მონაცემი მონოლითური უბნისათვის	21.00მმ	დეფორმაცია
5	სივრცითი არაწრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით, ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით	30.60მმ	დეფორმაცია

6. კვადრატული ბრტყელი ურიგელო გადახურვის ფილა. (ცხრ.12)

№	მეთოდი	შედგეი	შენიშვნა
1	ეკვივალენტურ ჩარჩოთა მეთოდი	2.80მმ	დეფორმაცია
2	საინჟინრო კალკულატორი	2.77მმ	დეფორმაცია
3	ბრტყელი წრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით, ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინების გარეშე	3.06მმ	დეფორმაცია
4	სივრცითი არაწრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით, ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინების გარეშე	3.54მმ	დეფორმაცია
5	სივრცითი არაწრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით, ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით	3.98მმ	დეფორმაცია
6	ადგილზე გაზომილი ექსპერიმენტალური მონაცემი გადახურვის ფილისათვის	4.00მმ	დეფორმაცია

მიღებული შედეგების საფუძველზე შეინიშნება ტენდენცია, რომ ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების შემთხვევაში დეფორმაციები მატულობს, განსაკუთრებით არაწრფივ სტადიაზე, ამიტომ პრაქტიკული დაპროექტების გამარტივების მიზნით, რიცხვითი და პრაქტიკული (ემპირიული) ექსპერიმენტების საფუძველზე დადგინდა სიხისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტების მნიშვნელობები, რაც საშუალებას იძლევა გაანგარიშება ჩავატაროთ წრფივ სტადიაზე, ბეტონის შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირების სივრცითი მოდელირების გარეშე, მაგრამ მათი კომპენსაცია მოვახდინოთ საპროექტო სიხისტის მოდიფიკაციით აღნიშნული კოეფიციენტების გამოყენებით.

გარდა ამისა რიცხვითი ექსპერიმენტები იძლევა საფუძველს, რომ ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირებზე მხები ძაბვა რამდენადმე აღემატება მის გასაშუალებულ მნიშვნელობას, გამომდინარე რკინაბეტონის ელემენტის ფორმიდან და ბეტონის შეპირაპირებისათვის გამოყენებული საშუალებიდან. სადისერტაციო

ნაშრომში განსაზღვრული კოეფიციენტები ღებულობენ შემდეგ მნიშვნელობებს:

კოეფიციენტი	კოეფიციენტის მნიშვნელობა	ფორმულა	განსაზღვრის სახე
კონსოლური კოჭის სიხისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტი	0.6	(16)	რიცხვითი ექსპერიმენტი
კონსოლური კოჭის მხები ძაბვის კონცენტრაციის კოეფიციენტი	1.4	(14)	რიცხვითი ექსპერიმენტი
ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული კოჭის სიხისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტი	0.86	(29)	რიცხვითი ექსპერიმენტი
ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული კოჭის მხები ძაბვის კონცენტრაციის კოეფიციენტი	1.4	(28)	რიცხვითი ექსპერიმენტი
მართკუთხა ბრტყელი ურიგელო გადახურვის ფილის სიხისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტი	0.7	(60)	რიცხვითი ექსპერიმენტი
ანაკრებ-მონოლითური კოჭის სიხისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტი	0.75	(69)	პრაქტიკული ექსპერიმენტი (ემპირიული)
კვადრატული ბრტყელი ურიგელო გადახურვის ფილის სიხისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტი	0.7	(98)	პრაქტიკული ექსპერიმენტი (ემპირიული)

ცხრ.13 მიმდინარე ნაშრომში განსაზღვრული და რეკომენდებული კოეფიციენტების ჩამონათვალი.

4.2. მიღებული შედეგებიდან გამომდინარე რეკომენდაციები

მიღებული შედეგებიდან გამომდინარე ვიძლევიტ მკაცრ რეკომენდაციას, რომ რკინაბეტონის იმ ელემენტებისათვის, რომლის ფარგლებშიც ხდება ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირება, დაპროექტებისას მოხდეს სიხისტის მნიშვნელოვნად შემცირება. საანგარიშო მოდიფიცირებული სიხისტის მისაღებად რეკომენდირებულია გამოიყენოთ ცხრ. 13-ში წარმოდგენილი კოეფიციენტები, რომლებიც განსაზღვრულია (16), (29), (60), (69) და (98) ფორმულების მეშვეობით.

გასანგარიშებელი კვეთის ინერციის მომენტის ან შესაბამისი მასალის საწყისი დრეკადობის მოდულის გამრავლება სიხისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტზე მოგვცემს შემცირებულ სიხისტეს, რაც საშუალებას მოგვცემს, რომ გაანგარიშება ჩავატაროთ ჩვეულებრივი პერსონალური კომპიუტერის საშუალებით, წრფივ სტადიაზე, 2-განზომილებიანი სასრული ელემენტებით, ხოლო მიღებული შედეგები მაქსიმალურად ახლოს იქნება ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით, არაწრფივი გაანგარიშებებით მიღებულ შედეგებთან, რაც აჩვენა ჩვენს მიერ ჩატარებულმა ექსპერიმენტულმა კვლევებმა.

განსაკუთრებით დიდი მალეების (>10მ) და განსაკუთრებით დიდი კონსოლების შემთხვევაში (>4მ) აუცილებელია, რომ შესრულდეს შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირების და შეპირაპირების საშუალებების მოდელირება, გაანგარიშება კი ჩატარდეს არაწრფივ სტადიაზე, რათა მაღალი სიზუსტით აღიწეროს შესაბამისი ელემენტის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა. რკინაბეტონის ელემენტის შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირის ჭრაზე ანგარიშისას რეკომენდაციას ვიძლევიტ გამოყენებულ იქნას (14) და (28) კოეფიციენტები, ხოლო სოგმანური შეერთებისას (64), (65), (66), (67) და (68) ფორმულები.

დაარმატურების თვალსაზრისით, განსაკუთრებით სეისმურ ზონებში, რეკომენდებულია, რომ ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების ზონაში არმირების პროცენტული მაჩვენებელი გაიზარდოს 2-ჯერ ან მოხდეს

საკონტაქტო ზედაპირების სივრცითი არაწრფივი სასრული ელემენტებით გაანგარიშება და მხოლოდ ამის შემდეგ შესაბამისი დაარმატურება.

ძველი და ახალი ბეტონის დრეკადობის მოდულის და სიმტკიცის მოდელირებისათვის გამოყენებულ იქნას (1) და (3) ფორმულები.

გამომდინარე რიცხვითი ექსპერიმენტებიდან და კონკრეტული სივრცითი მოდელებიდან, ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირებისათვის გამოსაყენებელი ეპოქსიდური წებოსთვის, რეკომენდაციას ვიძლევი, რომ დრეკადობის მოდული განისაზღვროს არანაკლებ $E=250.000$ ტ/მ², ხოლო პუასონის კოეფიციენტი არაუმეტეს $V=0.4$; პრაქტიკული შესრულებისას შეპირაპირების ზედაპირი აუცილებლად ჩამოიჭრას მართი კუთხით, ხოლო ეპოქსიდური წებოს სისქე განისაზღვროს: 7-20მმ-ით.

შენობა-ნაგებობების რეკონსტრუქციის შემთხვევაში ან შეჩერებული მშენებლობის განახლებისას, სადაც ადგილი აქვს ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების უამრავ შემთხვევას, აუცილებელია, რომ მთელი შენობის მოდელირება და გაანგარიშება შესრულდეს სივრცითი არაწრფივი სასრული ელემენტებით, უკიდურეს შემთხვევაში კი ანალოგიური მეთოდებით განისაზღვროს სიხისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტები კონკრეტულ გეომეტრიულ ზომებსა და არსებული მასალის ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებზე დაყრდნობით და მხოლოდ ამის შემდეგ უნდა მოხდეს კონსტრუქციის გაანგარიშება წრფივ სტადიაზე.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Eurocode 2: Design of Concrete Structures. Brussels: CEN; 2010, pp 219-220.
2. Bruce Suprenant. Bonding New Concrete to Old. University of South Florida (Tampa, USA). 1988, pp 1-2.
3. F.M. Da Silva, R.D. Adams. Measurement of The Mechanical Properties of Structural Adhesives. University of Porto (Porto, Portugal). 2005, pp 117,119, 124, 125, 127, 129, 135, 139.
4. B.M. McSweeney, M.M. Lopez. FRP-Concrete Bond Behavior. Penn State University (Pensylvania, USA). 2007, pp 449-450.
5. «Адгезионные свойства бетона»
<http://www.stroy-vest.ru/tyazhelye-betony/vid15.php>, უკანასკნელად იქნა
გადამოწმებული – 09.05.2012.
6. М.М. Холмянский. Контакт арматуры с бетоном. Москва: Стройиздать; 1981, стр. 10-14.
7. ა. სოხაძე, ლ. ბაღანჩივაძე, გ. ჩიკვაძე. მონოლითური რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის ფარგლებში ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირება. „მშენებლობა“. 2011წ., გვ. 60-65.
8. სამშენებლო ნორმები და წესები – „სეისმომდებელი მშენებლობა“ თბილისი: კირიაკ ზავრიევის სახელობის სამშენებლო მექანიკისა და სეისმომდებლობის ინსტიტუტი; 2009წ., გვ. 6-14.
9. ლ. ბაღანჩივაძე, გ. ჩიკვაძე. სიხისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტის განსაზღვრა ანაკრებ-მონოლითური კოჭის ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით, რიცხვითი და პრაქტიკული ექსპერიმენტების საფუძველზე. „მშენებლობა“. 2012წ. გვ. 145-151.
10. გ. ჩიკვაძე. სიხისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტის განსაზღვრა მონოლითური რკინაბეტონის ფილის ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით, რიცხვითი და პრაქტიკული ექსპერიმენტების საფუძველზე. „მშენებლობა“. 2011წ. გვ. 67-74.
11. Стрелец-Стрелецкий Е. Б., Боговис В. Е., Гензерский Ю. В. и др. «Руководство пользователя». ЛИРА 9.4; Киев: НИИАС; 2008.
12. A.Beevers. Forensic Studies of Adhesive Joints. Environmental Durability of Adhesive Joints. UK; 1995, pp 13-14.

დანართი

სადისერტაციო ნაშრომში ძირითადად გამოყენებულია LIRA 9.6 R6-ის 236-ე სასრული ელემენტი (FE236). ის ინფორმაცია ზემოხსენებული სასრული ელემენტის შესახებ:

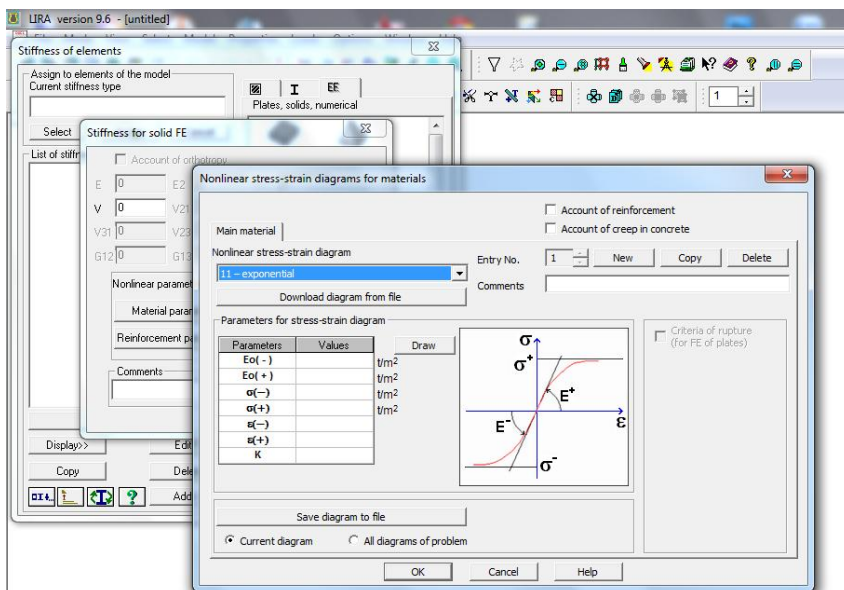
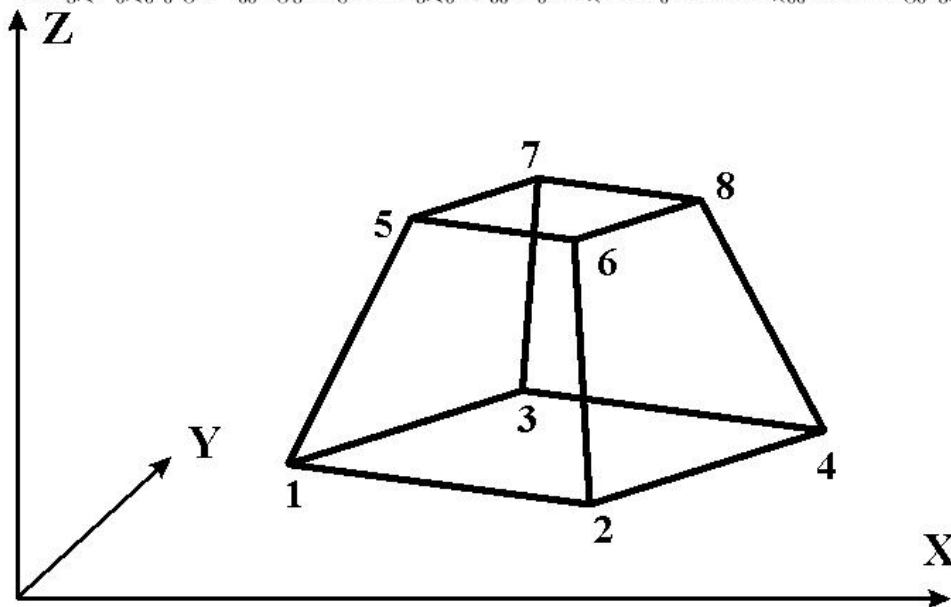
სასრული ელემენტი 236 (ბიბლიოთეკა)

ფიზიკურად არაწრფივი 3D (8-კვანძიანი) იზოპარამეტრული სივრცითი სასრული ელემენტი

სასრული ელემენტი განკუთვნილია სივრცითი სტრუქტურების გაანგარიშებისათვის მასალის ფიზიკური არაწრფივობის გათვალისწინებით ელემენტის თითოეულ კვანძს გააჩნია სამი თავისუფლების ხარისხი

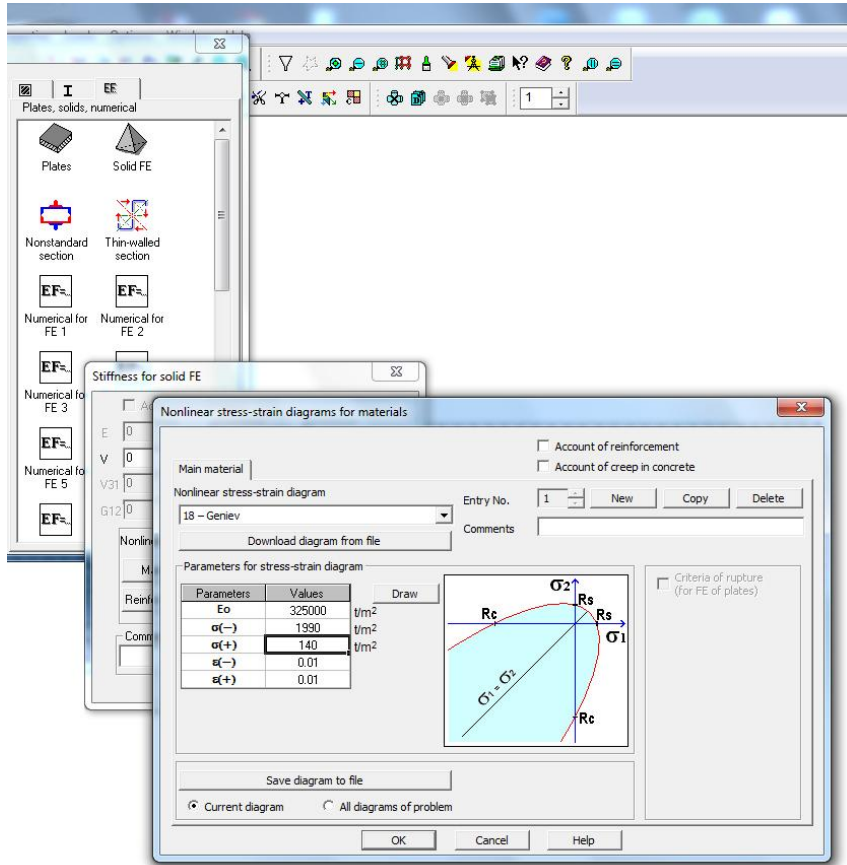
- U - ხაზოვანი გადაადგილება X-ღერძის გასწვრივ
- V - ხაზოვანი გადაადგილება Y-ღერძის გასწვრივ
- W - ხაზოვანი გადაადგილება Z-ღერძის გასწვრივ

სასრულ ელემენტს გააჩნია ადგილობრივი საკოორდინატო სისტემა, რომელიც ემთხვევა გლობალურ საკოორდინატო სისტემას. სასრული ელემენტის სქემატური გამოსახულება, კვანძების დანომრვის თანამიმდევრობით მოცემულია შემდეგ ნახაზზე:



„ძაბვა-დეფორმაციის“ დიაგრამა. მაჩვენებლიანი ფუნქციის პარამეტრების განსაზღვრა. (კომპიუტერული საანგარიშო კომპლექსი LIRA 9.6 R6)





„ძაბვა-დეფორმაციის”
 დიაგრამა. გენიევის
 დამოკიდებულების
 პარამეტრების განსაზღვრა
 (კომპიუტერული საანგარიშო
 კომპლექსი
 LIRA 9.6 R6)