

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

გიორგი ჩიკვაძე

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

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოასპოვებლად  
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი  
2012 წ.

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
სამშენებლო ფაკულტეტზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: სრული პროფესორი აგული სოხაძე

რეცენზენტები: ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორი, აკადემიკოსი გურამ გაბრიჩიძე  
სრული პროფესორი მერაბ ლორთქიფანიძე

დაცვა შედგება 2012 წლის 25 ივნისს, 14<sup>00</sup> საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის

სადისერტაციო საბჭოს სხდომაზე, კორპუსი I, აუდიტორია 507ა

მისამართი: თბილისი 0175, კოსტავას 72

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატის სტუ-ს ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს

სწავლული მდივანი:

სრული პროფესორი მ. კუბლაშვილი

## ნაშრომის საერთო დახასიათება

**თემის 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 მოდულის 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.

**დისერტაციის მიზანი:** სადისერტაციო ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს ძველი და ახალი ბეტონის შეუღლების შემთხვევისას პრაქტიკულ პროექტირებაში არსებული პრობლემების კვლევა და მათი ნაწილის გადაწყვეტა, რაც საშუალებას გვაძლევს გამარტივებული მეთოდებით შევძლოთ მონოლითური რკინაბეტონის ელემენტების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის განსაზღვრა არაწრფივ სტადიაზე, ბეტონის შეპირაპირების ზონების გათვალისწინებით; კერძოდ განხილულია დაპროექტებისათვის ძალიან მნიშვნელოვანი ორი საკითხი:

1. რკინაბეტონის ელემენტებში ძველი და ახალი ბეტონის შეუღლების ზონის მოდელირება.

2. შეუღლების ზონაში მყოფი რკინაბეტონის ელემენტების სივრცითი ზუსტი გაანგარიშების მეთოდები და ანალიზი.

**მეცნიერული სიახლე:** ნაშრომში განხილულია ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების 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 ან დამაკავშირებელი არმირების ბადის მოდელირების გათვალისწინებით. გარდა თეორიული კვლევისა ჩატარდა პრაქტიკული ექსპერიმენტი, რომლის დროსაც გაიზომა მონოლითური ურიგელო ბრტყელი ფილის ჩაღუნვები ბეტონის შეპირაპირების ზონაში.

ჩატარდა მრავალმხრივი თეორიული კვლევების, გაანგარიშებების და ექსპერიმენტით მიღებული შედეგების ანალიზი. გაანგარიშების გამარტივების მიზნით და ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით არაწრფივი დეფორმაციების მისაღებად, პირველად განისაზღვრა სიხისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტი, რაც გულისხმობს საანგარიშო ელემენტის ღუნვაზე სიხისტის ( $EI$ ) და ღერძული სიხისტის ( $EA$ ) შემცირებას, ზემოსხენებულ 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 გაანგარიშება მოვახდინოთ წრფივად, მაგრამ შემცირებული სიხისტეებით, ისე რომ საბოლოო შედეგი პრაქტიკულად დაემთხვას არაწრფივი გაანგარიშებების შედეგებს.

გარდა ამისა, რიცხვითი ექსპერიმენტების საფუძველზე განისაზღვრა 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 მოედს კონსტრუქციაზე.

**მიღებული შედეგების საიმედოობა:** შემოწმებულია სამშენებლო კონსტრუქციების ტიპური საანგარიშო პროგრამული კომპლექსის LIRA 9.6 R6-ის (პროგრამა ეყრდნობა სასრულ ელემენტთა მეთოდს) საშუალებით და აგრეთვე განპირობებულია ექსპერიმენტისას გამოყენებული ხელსაწყოების მაღალი სიზუსტით.

**მიღებული შედეგების პრაქტიკული გამოყენება:** შენობების გაანგარიშების დროს დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მიღებული შედეგების მაღალ სიზუსტეს, რათა მაქსიმალურად დაკმაყოფილებულ იქნეს სამშენებლო ინდუსტრიის მოთხოვნა – შენობა იყოს მტკიცე, მდგრადი და ამავდროულად 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 ვლტულობთ უფრო დიდ გადაადგილებებს, ვიდრე ყველა ძალოვანი ფაქტორის ერთდროული მოქმედებისას. არაწრფივი გაანგარიშება განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ბეტონის შეუღლების 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 გამოუსადეგარია პრაქტიკული, კომპიუტერული პროექტირებისათვის.

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

**ნაშრომის აპრობაცია და გამოქვეყნებული პუბლიკაციები:** სადისერტაციო ნაშრომის, როგორც ცალკეული ისე ძირითადი შედეგები მოხსენებულ იქნა სადოქტორო პროგრამით გათვალისწინებულ ორ სემინარზე, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა საერთაშორისო კონფერენციაზე და კირიაკ ზავრიევის სახელობის სამშენებლო მექანიკისა და სეისმომდევობის ინსტიტუტში გამართულ ერთ საერთაშორისო კონფერენციაზე. გარდა ამისა სადისერტაციო ნაშრომის მასალების მიხედვით გამოქვეყნებულია 5 სამეცნიერო შრომა.

**ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა:** დისერტაცია შედგება შესავლის, ლიტერატურის მიმოხილვის, ძირითადი ნაწილის, დასკვნების და გამოყენებული ლიტერატურისაგან. სადისერტაციო ნაშრომი შედგება 129 გვერდისაგან და გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა შეიცავს 12 დასახელებას.

## ნაშრომის შინაარსი

**შესავალში** წარმოდგენილია თემატიკის აქტუალობა, მეცნიერული სიახლე და პრაქტიკული მნიშვნელობა.

**ნაშრომის მეორე თავში (ლიტერატურის მიმოხილვა)** 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 მეთოდოლოგია ევროკოდიდან, ფლორიდის უნივერსიტეტის (აშშ), პენსილვანიის უნივერსიტეტის (აშშ), პორტოს უნივერსიტეტის (პორტუგალია) და სხვა დასავლურ ჟურნალებში გამოქვეყნებული სტატიებიდან, აგრეთვე რუსული ელექტრონული ლიტერატურიდან. შესწავლილია ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების ზონაში მყოფი ელემენტის 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 რამდენიმე პირობიდან ერთ-ერთს: „შეპირაპირების ბმის ძალა – 14 (14კგ/სმ<sup>2</sup>) მპა გამოიყენება, როგორც საორიენტაციო საანგარიშო სიდიდე შეპირაპირების ზონების პროექტირებაში” 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.” 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 შეპირაპირების საშუალებების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების შესახებ, რაც გამოსადეგია შემდგომი კომპიუტერული მოდელირებისათვის.

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”.

რუსულ ინტერნეტსივრცეში გვხვდება კვლევები ბეტონის ადგიური თვისებების შესახებ: «Адгезионные свойства бетона» (<http://www.stroy-vest.ru/tyazhelye-betony/vid15.php>), სადაც მოცემულია ექსპერიმენტული გამოკვლევების შედეგად დადგენილი ბეტონის ადგიური თვისებები და პარამეტრები. არც აქ გვხვება 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 გამომთვლელი კომპლექსების გამოყენებით. 3. პრინციპულად ახალი მოდელების შექმნა და გამოკვლევა.“ 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 მოლიანად *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. გარდა ამისა „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

$\sigma$  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

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 შეუღლების ზონის მოდელირება.
2. შეუღლების ზონაში მყოფი რკინაბეტონის ელემენტების სივრცითი ზუსტი გაანგარიშების მეთოდები და ანალიზი.

აღნიშნულ სადისერტაციო ნაშრომში შევეცადეთ ზემოთ მოყვანილი პრობლემების გადაჭრას.

ნაშრომის მესამე თავში (ჩატარებული მეცნიერული კვლევები რიცხვითი და პრაქტიკული ექსპერიმენტები და მათი შედეგები) 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.

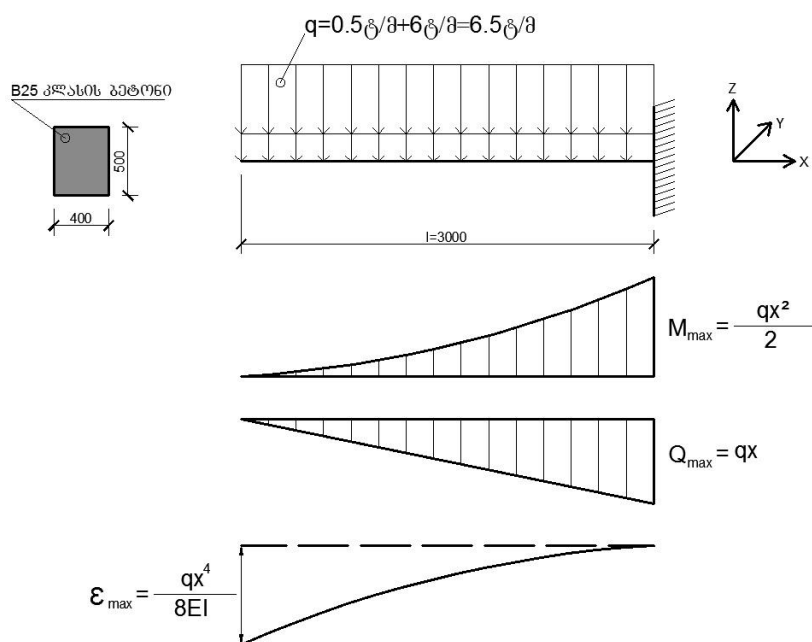
სადისერტაციო ნაშრომისათვის ჩატარდა ექსპერიმენტი 'Black Sea Hotel & Residences'-ის პროექტის ფარგლებში, გარდა ამისა გამოყენებულ იქნა ტმკ ლ. ბალანჩივაძის სადისერტაციო ნაშრომისათვის ჩატარებული ექსპერიმენტების მონაცემები.

დადგენილი სიხისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტი საშუალებას მოგვცემს შენობის სუპერსტრუქტურის, ცალკეული კონსტრუქციული ელემენტის ან შეპირაპირების მოდულის აგება და გაანგარიშება მოვასხდინოთ წრფივად, მაგრამ შემცირებული სიხისტებით, 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 მივაღწიოთ მაღალი სიზუსტის შედეგებს პრაქტიკულ პროექტირებაში.

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. B25 კლასის მძიმე ბეტონის საშუალო მოცულობით წონად მივიღოთ  $\rho=2.5\text{ტ/მ}^3$ .



ნახ. 1 რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის საანგარიშო სქემა

დეფორმაცია მიიღებს მნიშვნელობას:

$$\epsilon_x = \frac{qx^4}{8EI} = \frac{6.5t/m \cdot (3m)^4}{8 \cdot 3100000t/m^2 \cdot 0.00416(6)m^4} = 5.095mm \quad (4)$$

ჩვენს შემთხვევაში მხები ძაბვის გასაშუალოებული მნიშვნელობა საყრდენთან ტოლი იქნება:

$$\tau = \frac{Q}{A} = \frac{19.5t}{0.4m \cdot 0.5m} = 97.5t/m^2 \quad (5)$$

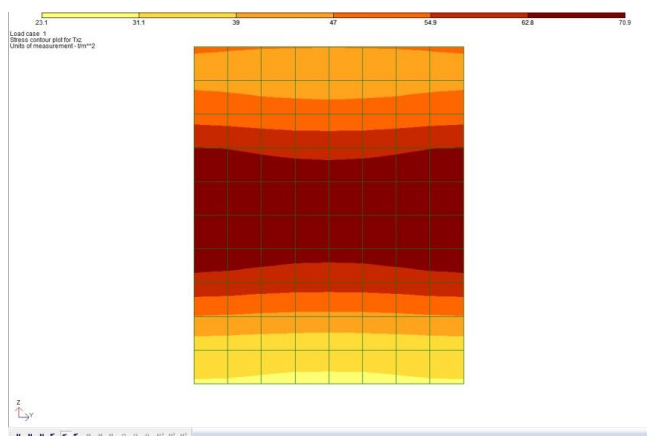
სოლო მხები ძაბვის გასაშუალოებული მნიშვნელობა რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის შუა წერტილში (სადაც მოკვიანებით მოვახდენთ ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირებას ეპოქსიდური წებოს მეშვეობით.) მიიღებს შემდეგ მნიშვნელობას:

$$\tau = \frac{Q}{A} = \frac{qx}{A} = \frac{9.75t}{0.4m \cdot 0.5m} = 48.75t/m^2 \quad (6)$$

რკინაბეტონის კონსოლურ კოჭში მდუნავი 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 გადანაწილებას 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.

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



ნახ.2 არმირებული რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის სივრცითი მოდელი, როდესაც კოჭის შუა წერტილში მოხდა ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირება ეპოქსიდური წებოთი. (საკონტაქტო ზედაპირი)

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

ცხრ.1 არმირებული რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის ტანში, ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირზე,  $\tau_{xz}$  მხები ძაბვების განაწილების ელექტრონული ცხრილი.

ცხრ.1-ში ნაჩვენებია მხები ძაბვების მნიშვნელობები ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირის თითოეულ სასრულ ელემენტისათვის ნახ.2-ის მიხედვით. გამომდინარე აქედან, შეგვიძლია დავადგინოთ მხები ძაბვების კონცენტრაციის კოეფიციენტი, ეპოქსიდური წებოებით განხორციელებულ შეპირაპირების ზედაპირზე:

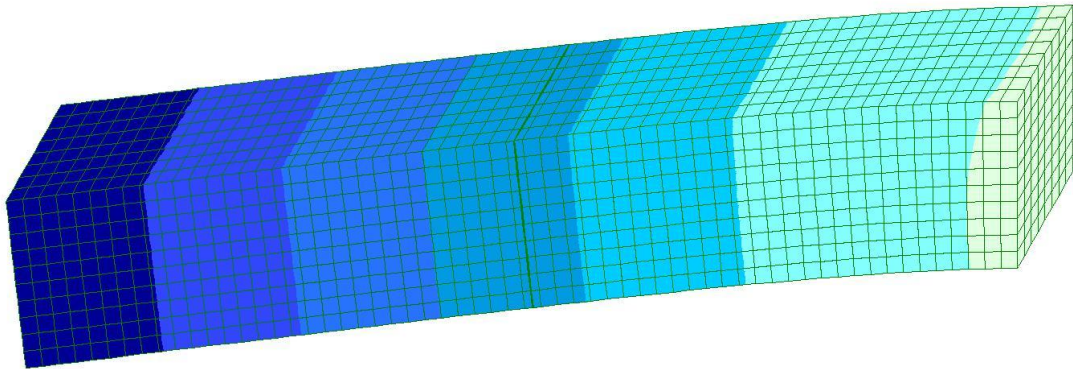
$$K_{\text{კონცენტრაციის}} = \frac{\tau_{\text{max}}}{\tau_{\text{სსს}}} = \frac{69.40}{48.75} \approx 1.4 \quad (7)$$

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.3-ზე წარმოდგენილია მონოლითური რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის სივრცითი არაწრფივი 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. 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  $\epsilon_{\text{max}}=9.04\text{მმ-ს}$ . 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.3 არმირებული რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის სივრცითი არაწრფივი მოდელი, როდესაც კოჭის შუა წერტილში მოხდა ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირება ეპოქსიდური წებოთი. (მწვანე ზოლი) მაქსიმალური დეფორმაცია,  $\epsilon_{max}=9.04\text{მმ}$

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. შედარებით 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:

$$K_{EI} = \frac{\epsilon_{max,klasicuri}}{\epsilon_{max,arwrfivi}} = \frac{5.095\text{mm}}{9.040\text{mm}} = 0.56 \approx 0.6 \quad (8)$$

ნაშრომში აგრეთვე განვიხილეთ 6000მმ-ის სიგრძის და 400X500მმ განივკვეთის ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული რკინაბეტონის კოჭი, რომელშიც გამოყენებულია

B25 კლასის ბეტონი და გარდა საკუთარი წონისა, მასზე შემოქმედებს არამზიდი კონსტრუქციული ელემენტებით გამოწვეული დატვირთვა 6ტ/მ. B25 კლასის მიმე ბეტონის საშუალო მოცულობით წონად მივიღეთ  $\rho=2.5\text{ტ/მ}^3$ . ანალოგიური მეთოდებით გაანგარიშების საფუძველზე მხები ძაბვების კონცენტრაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობად მიჩნეულ იქნა – 1.4; ხოლო სიხისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობად – 0.86;

გაანალიზებულია ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირების გავლენა მრავალსართულიანი რკინაბეტონის შენობების სეისმურ გაანგარიშებაზე. შედარებისათვის გავიანგარიშეთ 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.4)

შენობისათვის გამოყენებულია B35 კლასის ბეტონი, რომლის დრეკადობის მოდული ტოლია:  $E=3500000\text{ტ/მ}^2$ , ხოლო საანგარიშო წინაღობა კუმშვაზე ტოლია:  $R_k=1990\text{ტ/მ}^2$ .

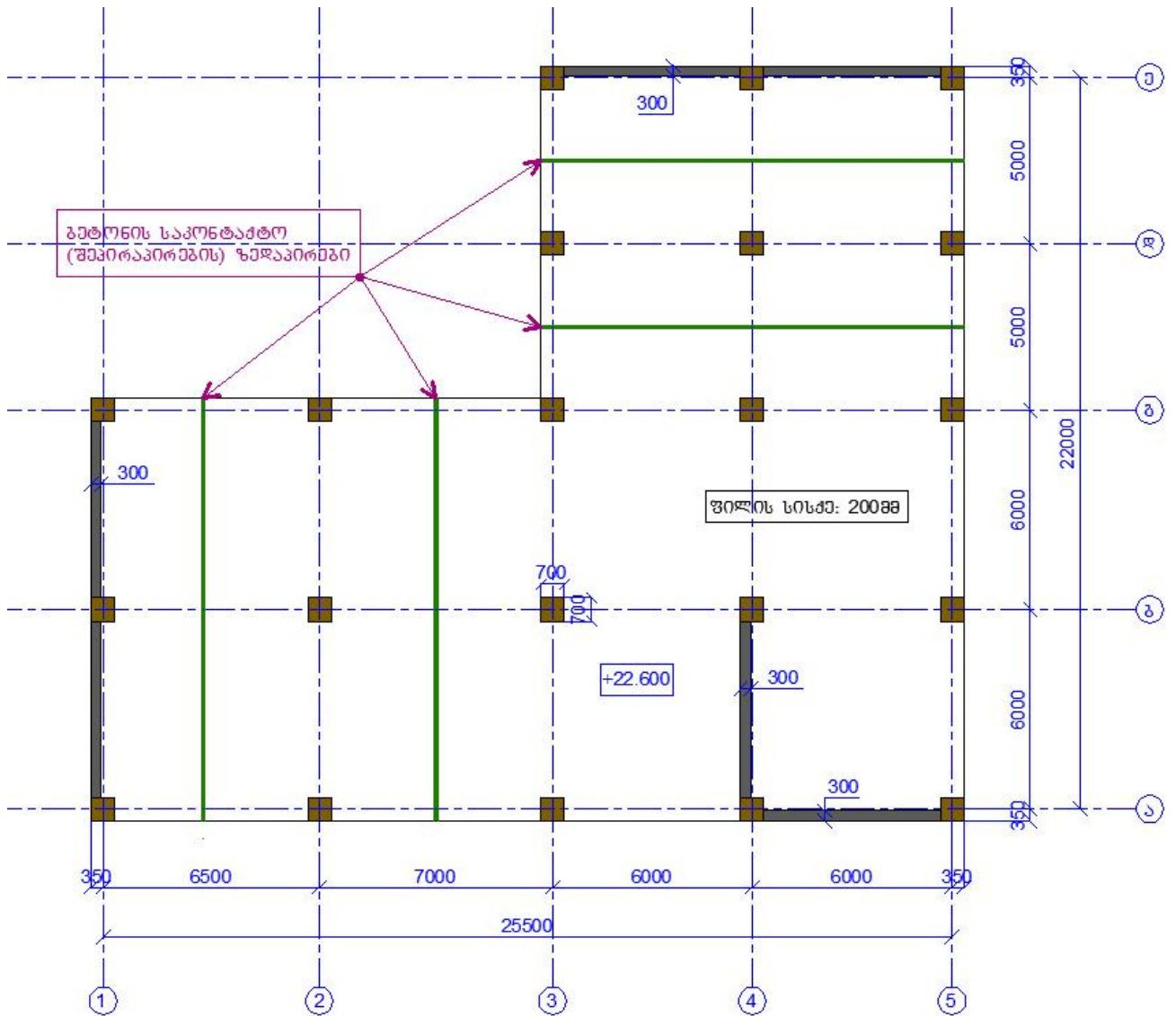
განსახილველ შენობაზე მოქმედებს:

- 1) საკუთარი წონისგან გამოწვეული მუდმივი დატვირთვა – 0.55 ტ/მ<sup>2</sup>
- 2) არამზიდი კონსტრუქციებით გამოწვეული დროებითი ხანგრძლივი დატვირთვა – 0.25 ტ/მ<sup>2</sup>
- 3) ექსპლოატაციისგან გამოწვეული დროებითი ხანმოკლე დატვირთვა – 0.20 ტ/მ<sup>2</sup>
- 4) X-მიმართულებაზე მოქმედი 0.17გ აჩქარების გამომწვევი ჰორიზონტალური სეისმური დატვირთვა.
- 5) Y-მიმართულებაზე მოქმედი 0.17გ აჩქარების გამომწვევი ჰორიზონტალური სეისმური დატვირთვა.

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.

შედგების საბოლოო შეჯამება წარმოდგენილია ცხრ.5-ში.

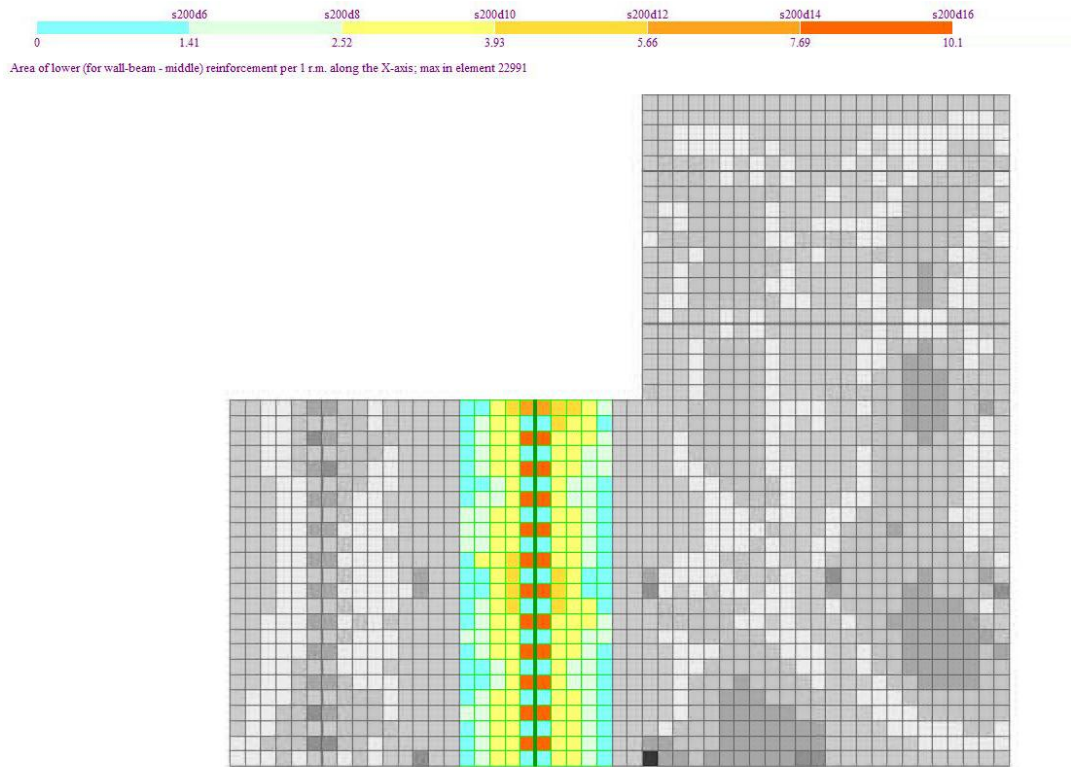


ნახ.4 განხილული შენობის მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ურიგელო სართულშუა გადახურვის ფილა. ტიპური სართული, ნიშნული: +22.600მ.

დაარმატურების თვალსაზრისით უფრო მნიშვნელოვანი სხვაობები იქნა დაფიქსირებული. ნახ. 5-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: 10.1სმ<sup>2</sup>/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.

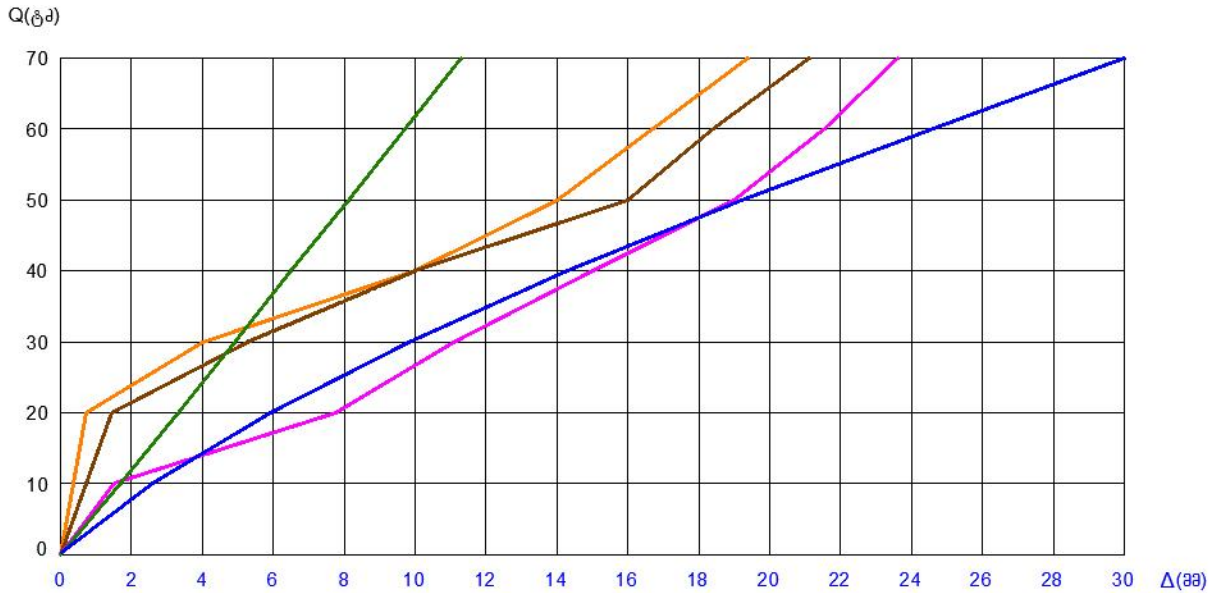
რკინაბეტონის ფილის შუა მალის ქვედა შრეში უფრო დიდი დაარმატურება ბეტონის შეპირაპირების გარეშე არსებულ შემთხვევასთან მიმართებაში გამოწვეულია დეფორმაციების და ძაბვების ზრდით ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების საკონტაქტო ზედაპირზე.



ნახ. 5 მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული შენობა. მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ურიველო ტიპიური სართულშორის გადახურვის ფილა. (ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით) განათებული ფერადი ფერით ნაჩვენებია კვლევის უბანი.

სადისერტაციო ნაშრომში განხილულია ბეტონის შეპირაპირების სხვა შემთხვევებიც. დამონტაჟებულ ანაკრებ ფილებს შორის, წინასწარდაბებული ბაგიროვანი 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 დებულობს შეერთების კვანძები, ხოლო დანარჩენ ნაწილს კი მონოლითური უბნები. ანაკრები ფილებიდან დატვირთვის გადაცემა წინასწარდაბებული ბაგიროვანი არმატურის მონოლითური ფილებისათვის, ხდება კავშირების საშუალებით, რომლებიც უზურუნველყოფენ ანაკრები ფილის და მონოლითური უბნის ერთდროულ მუშაობას. ამ კავშირების როლს ანხორციელებენ გადახურვის კონტურზე არსებული სოგმანური შეერთებები.

სოცმანური შეერთებების მეშვეობით ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გამოკვლევას საფუძვლად დაედო ლ.ბალანჩივაძის სადისერტაციო ნაშრომში ჩატარებული პრაქტიკული ექსპერიმენტი, სადაც ჩატარდა კოჭების ნიმუშების გამოცდა, რაც წარმოადგენდა გადახურვის ფილის იმიტაციას ანაკრები ფილის კონტურზე. მისი დამზადებისას მოწყობილ იქნა სოცმანები.



ჩაღწევები:

- ანაკრები ელემენტი (პრაქტიკული მასპერიმენტული მონაცემი)
- მონოლითური უბანი (პრაქტიკული მასპერიმენტული მონაცემი)
- მონოლითური უბანი (საანბარიშო ჩაღწევა გამოგონიერ ფორმულიდან:  $\Delta = \frac{q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I}$ )
- მთლიანი კონსტრუქცია ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით (რიცხვითი მასპერიმენტი, კომპიუტერული სიმულაცია ფრფივ სტაღიაზე)
- მთლიანი კონსტრუქცია ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით (რიცხვითი მასპერიმენტი, კომპიუტერული სიმულაცია არაფრფივ სტაღიაზე, სივრცითი სასრული ელემენტების გამოყენებით)

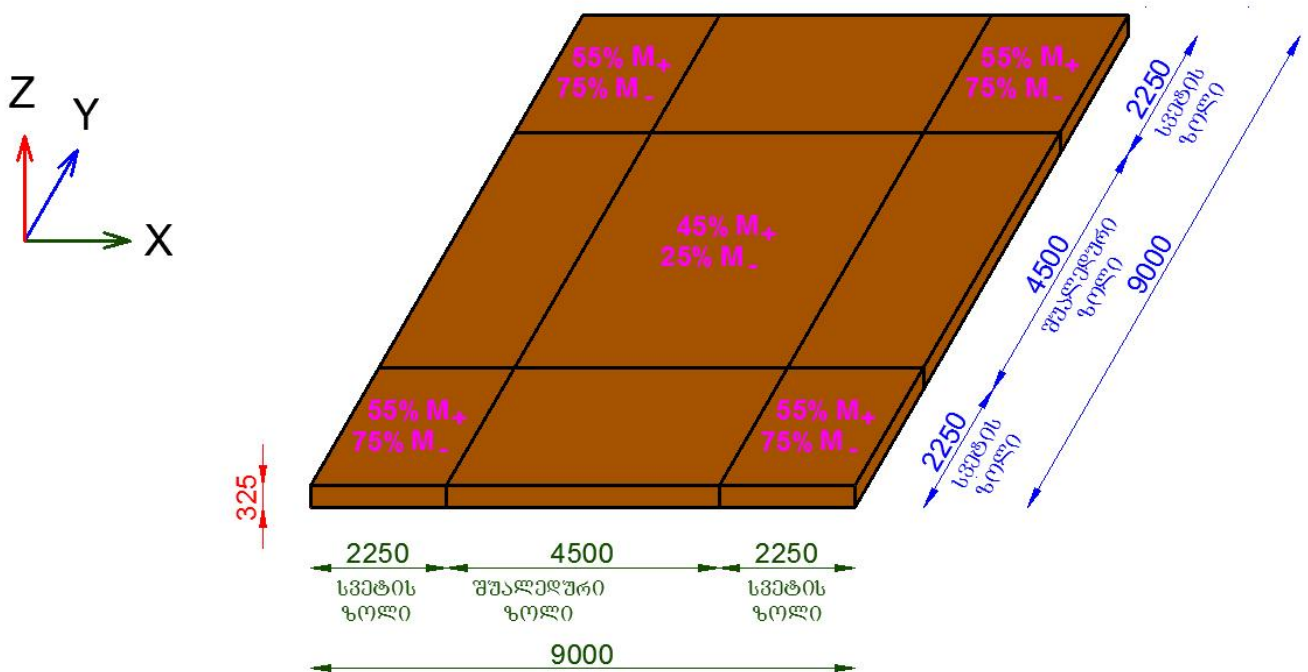
ნახ. 6 ანაკრებ-მონოლითური კონსტრუქციის ჩაღწევების მნიშვნელობები, გამომდინარე პრაქტიკული ექსპერიმენტის, რიცხვითი ექსპერიმენტის და ანალიზური მეთოდით გაანგარიშების შედეგებიდან.

ნახ. 6-ზე გრაფიკული სახით წარმოდგენილია ანაკრებ-მონოლითური კოჭის ჩაღწევების მნიშვნელობები სხვადასხვა მონაცემებზე და გაანგარიშების მეთოდებზე დაყრდნობით. ანალოგიურად განისაზღვრა სიხისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტი, ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით არაფრფივ სტაღიაზე, რომლის მნიშვნელობად ანაკრებ-მონოლითური კოჭისთვის მიღებულ იქნა – 0.75;

ნაშრომში 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

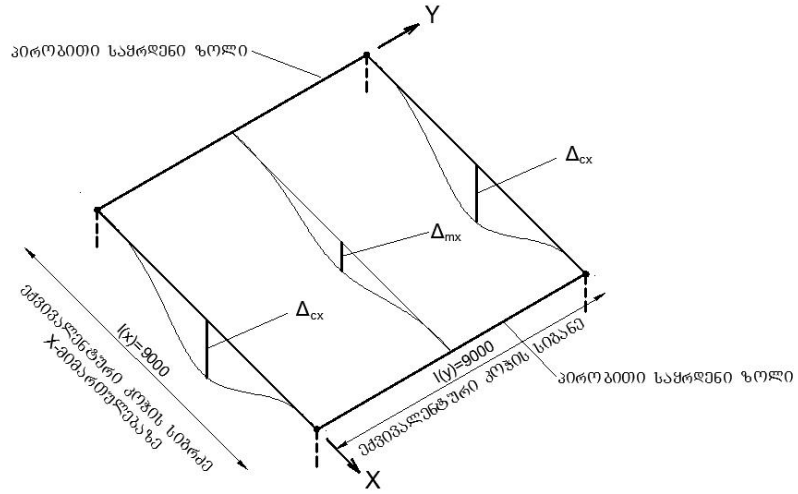
„ევროკოდი 2“-ში წარმოდგენილი ეკვივალენტურ ჩარჩოთა მეთოდით, მის საფუძველზე შექმნილი G01 საინჟინრო კალკულატორით და რიცხვითი მეთოდებით, სივრცითი არაწრფივი სასრული ელემენტებით, კომპიუტერული საანგარიშო კომპლექსის LIRA 9.6 R6-ის გამოყენებით. რიცხვითი ექსპერიმენტით მიღებული შედეგები შედარებულია პრაქტიკული ექსპერიმენტით დადგენილ რეალურ მნიშვნელობებთან. დადგენილია სიხისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტი ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების და არაწრფივი დეფორმაციების გათვალისწინებით.

განვიხილოთ 9000X9000მმ-ის გაბარიტული ზომებისა და 325მმ-ის სისქის მქონე მონოლითური რკინაბეტონის ურიველო გადახურვის ბრტყელი ფილა, რომელშიც გამოყენებულია B35 კლასის ბეტონი. მასზე ხემოქმედებს 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’).

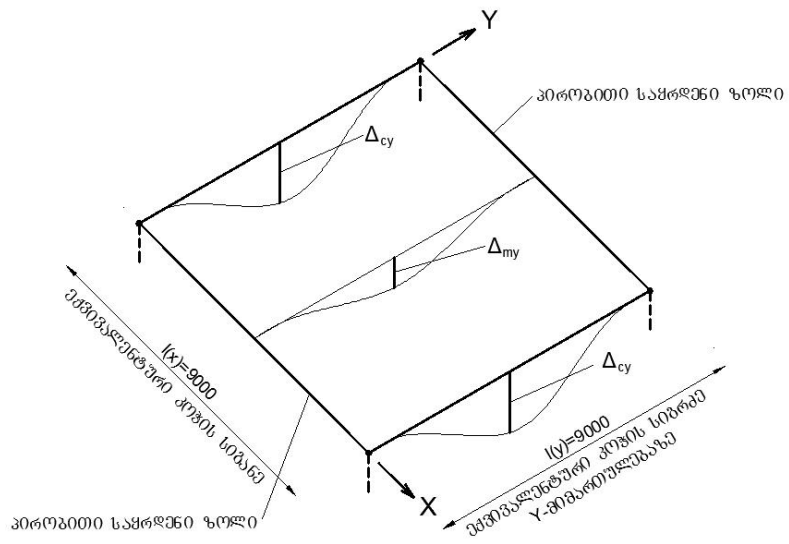


ნახ. 7 დადებითი და უარყოფითი მომენტების გადანაწილების ვიზუალიზაცია „სვეტის ზოლების“ და „შუალედური ზოლების“ მიხედვით.

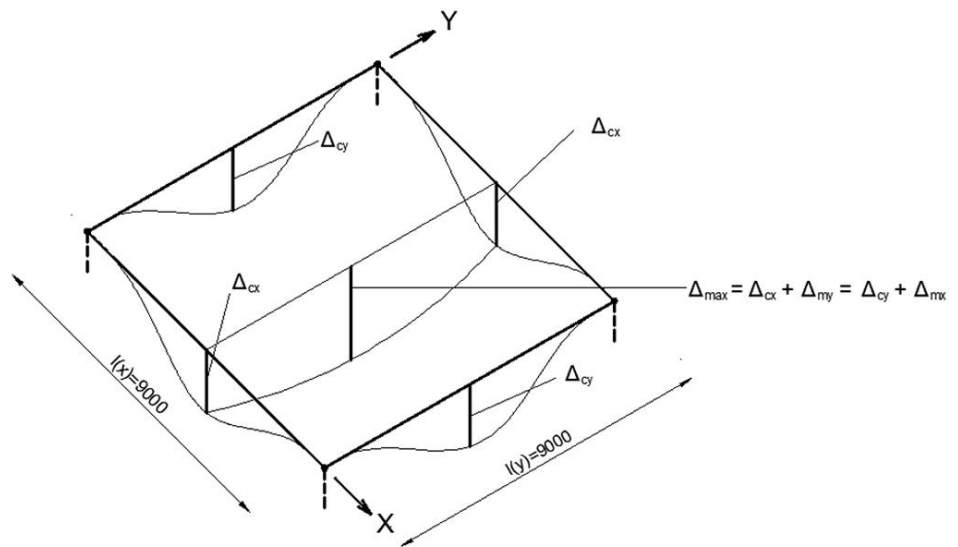
ა)



ბ)



გ)



ნახ. 8 რკინაბეტონის ბრტყელი ფილის საანგარიშო სქემა

მაქსიმალური დეფორმაცია მიიღებს მნიშვნელობას:

$$\Delta_{max} = \Delta_{cx} + \Delta_{my} \cong \Delta_{cy} + \Delta_{mx} = 1.90\text{mm} + 0.90\text{mm} = 2.80\text{mm} \quad (9)$$

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.9) საინჟინრო კალკულატორის პროგრამული მეთოდის დაფუძნებულია ბრტყელი ურიგელო ფილის გაანგარიშების ეკვივალენტურ ჩარჩოთა მეთოდზე, რაც წარმოდგენილია „ევროკოდი 2“-ში.

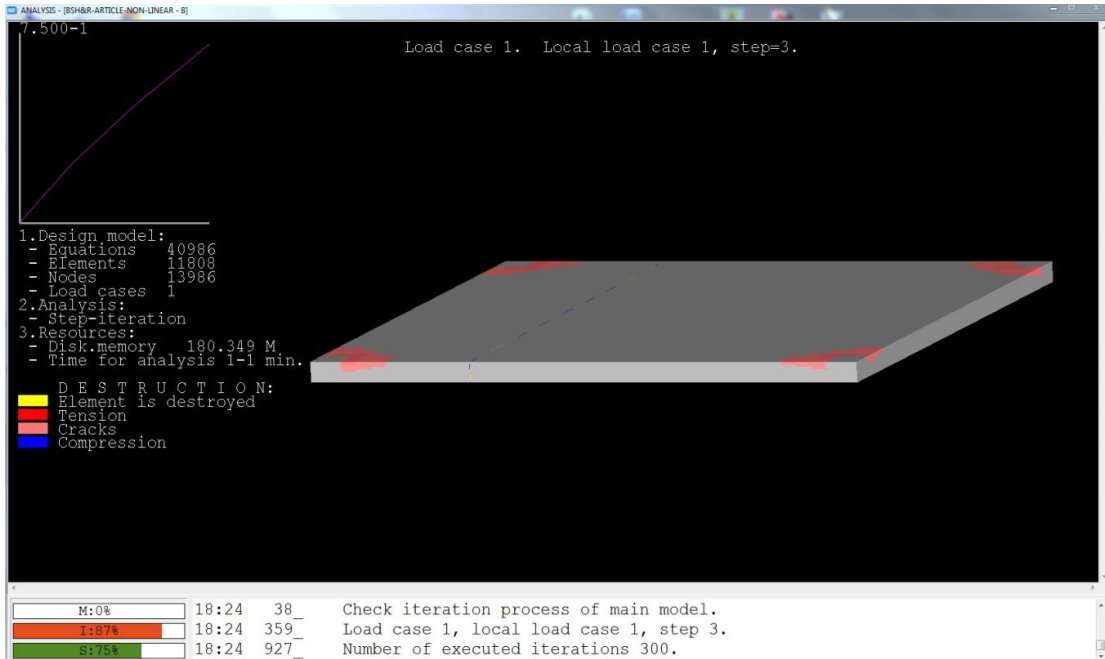
**საინჟინრო კალკულატორი G01**

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 <sup>2</sup>
დატვირთვა (Q)	0.8125 ტ/მ <sup>2</sup>
Δ <sub>x,განსახილველი</sub>	1.4 მმ
Δ <sub>y,განსახილველი</sub>	1.4 მმ
Δ <sub>cx,დეფორმაცია</sub>	1.89 მმ
Δ <sub>mx,დეფორმაცია</sub>	0.89 მმ
Δ <sub>cy,დეფორმაცია</sub>	1.89 მმ
Δ <sub>my,დეფორმაცია</sub>	0.89 მმ
მაქსიმალური დეფორმაცია:	2.77 მმ

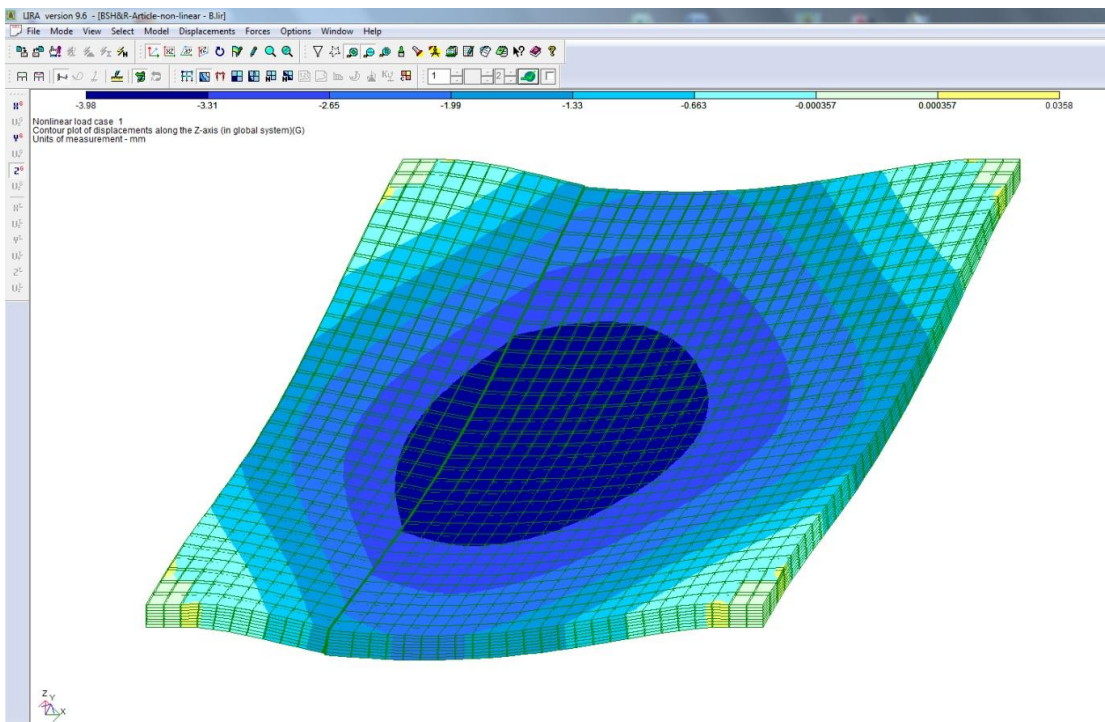
ნახ. 9 მონოლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ფილა. Black Sea Hotel & Residences. საანგარიშო მონაცემები საინჟინრო კალკულატორისთვის. მაქსიმალური დეფორმაცია  $\Delta_{max} = 2.77\text{მმ}$ .

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.

უფრო სრულყოფილი ანალიზისათვის ჩატარდა 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 (2800მ<sup>3</sup>) და ფართობიდან (8600მ<sup>2</sup>) რაც შეუძლებელს ხდიდა ერთიან დაბეტონებას. (ნახ. 10 და 11)



ნახ. 10 მონლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ფილა. არაწრფივი ანგარიშის მსვლელობა.



ნახ. 11 მონლითური რკინაბეტონის ბრტყელი ფილა. საანგარიშო მოდელი სივრცითი არაწრფივი (3D) სასრული ელემენტებით, საკონტაქტო ზედაპირის გათვალისწინებით. მაქსიმალური დეფორმაცია  $\Delta_{max} = 3.98$ მმ.

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.

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 „ჰილტონის“ სასტუმროს შენობაზე.



*ნახ. 12 ბეტონის შეპირაპირების ზონა. "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 კონტემპორარი 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.ჩიკვაიძე

დირექტორი:

დ.გიგინეიშვილი

ნახ. 13 ექსპერიმენტალური მონაცემები



ნახ. 14 ბეტონის შეპირაპირების ზონა დაბეტონების შემდეგ.  
 “პილტონის” სასტუმრო. ქ. ბათუმი.  
 პროექტის სახელწოდება: *‘Black Sea Hotel & Residences’*

პრაქტიკული ექსპერიმენტით (ნახ. 14) მიღებული დეფორმაციის სიდიდე  $\Delta_{max} = 4.0\text{მმ}$ . მაღალი სიზუსტით რიცხვითი ექსპერიმენტით მიღებულ სიდიდეს გამომდინარე პრაქტიკული ექსპერიმენტიდან გამოვთვალოთ სიხისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტი რკინაბეტონის ფილის შეპირაპირებისათვის:

$$K_{EI,1} = \frac{\Delta_{max,calc}}{\Delta_{max,experimental}} = \frac{2.77\text{mm}}{4.00\text{mm}} = 0.69 \quad (10)$$

$$K_{EI,2} = \frac{\Delta_{max,wrft}}{\Delta_{max,experimental}} = \frac{3.06\text{mm}}{4.00\text{mm}} = 0.76 \quad (11)$$

$$K_{EI,saSualo} = \frac{0.69 + 0.76}{2} = 0.725 \approx 0.7 \quad (12)$$

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.

**ნაშრომის მეოთხე თავში (დასკვნა)** გამოტანილია დასკვნები და შემუშავებულია რეკომენდაციები დამპროექტებლებისათვის.

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.2)

№	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 <sup>2</sup>	მხები ძაბვა
7	სივრცითი წრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით, ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით	69.40ტ/მ <sup>2</sup>	მხები ძაბვა

2. ორ საყრდენზე ხისტად ჩამაგრებული კოჭი. (ცხრ.3)

№	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
4	სივრცითი არაწრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით, ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით	1.96მმ	დეფორმაცია
5	„კლასიკური“ გაანგარიშების მეთოდი	0ტ/მ <sup>2</sup>	მხები დაბვა
6	სივრცითი წრფივი სასრული ელემენტების გამოყენებით, ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით	5.51ტ/მ <sup>2</sup>	მხები დაბვა

3. მარტოკუთხა ბრტყელი ურიგელო გადახურვის ფილა. (ცხრ.4)

№	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 <sup>2</sup>	მხები დაბვა

4. მრავალსართულიანი შენობის კარკასი (ცხრ.5)

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 <sub>1</sub> პერიოდი	2.175წმ	2.182წმ
საკუთარი რხევის T <sub>2</sub> პერიოდი	1.446წმ	1.457წმ
საკუთარი რხევის T <sub>3</sub> პერიოდი	0.930წმ	0.940წმ
ღაარმატურება ქვედა შრეში	5.66სმ <sup>2</sup> (0.56%)	10.10სმ <sup>2</sup> (1.10%)

5. ანაკრებ-მონოლითური კოჭი. (ცხრ.6)

№	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.7)

№	მეთოდი	შედეგი	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 დებულობენ შემდეგ მნიშვნელობებს:

მიმდინარე ნაშრომში განსაზღვრული და რეკომენდებული  
კოეფიციენტების ჩამონათვალი. (ცხრ.8)

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

- 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. 8-ში წარმოდგენილი კოეფიციენტები. გასაანგარიშებელი 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.
- 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 მოდულებიდან, ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირებისათვის გამოსაყენებელი ეპოქსიდური წებოსთვის, რეკომენდაციას ვიძლევი, რომ დრეკადობის მოდული განისაზღვროს არანაკლებ  $E=250.000\text{ტ/მ}^2$ , 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.

**დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია შემდეგ  
ნაშრომებში:**

1. **გ.ჩიკვაიძე; ა.სოსხაძე; ლ.ბაღანჩივაძე;** „მონოლითური რკინაბეტონის კონსოლური კოჭის ფარგლებში ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირება“ ჟურნალი „მშენებლობა“ №3, თბილისი, 2011წ. გვ. 60-65
2. **გ.ჩიკვაიძე;** „სიხისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტის განსაზღვრა მონოლითური რკინაბეტონის ფილის ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით, რიცხვითი და პრაქტიკული ექსპერიმენტების საფუძველზე“ ჟურნალი „მშენებლობა“ №4, თბილისი, 2011წ. გვ. 67-74
3. **გ.ჩიკვაიძე;** „მონოლითური რკინაბეტონის ფილის სიხისტის მოდიფიკაცია ძველი და ახალი ბეტონის საკონტაქტო ზედაპირებისა და არაწრფივი დეფორმაციების გათვალისწინებით“ ჟურნალი „მშენებლობა“ №4, თბილისი, 2011წ. გვ. 18-25
4. **გ.ჩიკვაიძე; ლ.ბაღანჩივაძე;** „სიხისტის მოდიფიკაციის კოეფიციენტის განსაზღვრა ანაკრებ-მონოლითური კოჭის ძველი და ახალი ბეტონის შეპირაპირების გათვალისწინებით, რიცხვითი და პრაქტიკული ექსპერიმენტების საფუძველზე“ ჟურნალი „მშენებლობა“ №2, თბილისი, 2012წ. გვ. 148-154
5. **გ.ჩიკვაიძე;** „რკინაბეტონის ფილის სიხისტის მოდიფიკაცია ძველი და ახალი ბეტონის საკონტაქტო ზედაპირების გათვალისწინებით არაწრფივ სტადიაზე“ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა მე-80 საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. 2012წ.

## Summary

### **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  $E=250.000t/m^2$  and poisson's ratio not more than  $V=0.4$ ;

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.