

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ალექსი ცაკიაშვილი

რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტების სიმტკიცის შემოწმება  
განივი ძალის მიხედვით ექსპერიმენტულ  
მონაცემების საფუძველზე

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2014 წ.

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში,  
სამშენებლო ფაკულტეტზე,  
სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის დეპარტამენტში.

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: სრული პროფესორი ლია ბალანჩივაძე

რეცენზენტები: ტ.მ.დ. პროფესორი არჩილ ყუბანიეშვილი  
სრული პროფესორი არჩილ ჩიქოვანი

დაცვა შედგება 2014 წლის ----- საათზე,  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის  
სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი I, აუდიტორია 507<sup>ა</sup>.  
მისამართი: თბილისი 0175, კოსტავას 72.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,  
ხოლო ავტორეფერატისა - სტუ-ს ვებ-გვერდზე.

სადისერტაციო საბჭოს

სწავლული მდივანი:

სრული პროფესორი დ. ტაბატაძე

## ნაშრომის საერთო დახასიათება

თემის აქტუალურობა: რკინაბეტონის სიმტკიცეზე გაანგარიშების არსებული მეთოდების სრულყოფა და მათი გადაჭრის ახალი გზების ძიება, რომელიც უზრუნველყოფს ერთის მხრივ კონსტრუქციის საიმედოობას, როცა გამოყენებული მასალის სიმტკიცისა და დეფორმაციულობის მახასიათებლები ბოლომდეა გამოყენებული, წარმოადგენს შენობა-ნაგებობების ოპტიმალური დაპროექტების მთავარ მოთხოვნას, რის შედეგად მცირდება კონსტრუქციის ღირებულება და მასალის ხარჯი.

რკინაბეტონის ელემენტის სიმტკიცე, როცა მასზე მოქმედებს მღუნავი მომენტი და განივი ძალები, დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე, როგორც ეს დაამტკიცა ექსპერიმენტულმა კვლევებმა, რომელთა ქმედება სხვადასხვანაირ გავლენას ახდენს კონსტრუქციის ზიდვის უნარზე. ეს ფაქტორებია: ბეტონის სიმტკიცის მახასიათებლები (სახეობა, კლასი); განივი არმირება (არმატურის კლასი, დიამეტრი, ბიჯი, დახრა); გრძივი არმირება (არმატურის კლასი, განივკვეთის ფართობი, დიამეტრი); ელემენტის განივი კვეთის მახასიათებლები (კვეთის ფორმა, სიმაღლე, სიგანე); ძალური ფაქტორები (დატვირთვის სახეები და მოქმედების ხასიათი, ფარდობა მღუნავ მომენტსა და განივ ძალას შორის); არმატურის წინასწარდაძაბვის მდგომარეობა, შეჭიდულობისა და დაანკერების პირობები და ა.შ.

საჭიროა ამ ფაქტორების ერთიან სისტემაში გაერთიანება და მათ შორის მთავარი მიმართულების გამოყოფა, როგორცაა: დახრილი ბზარის ხასიათი და ელემენტის რღვევა ასეთი ბზარით; გამოკვლევების ანალიზით ირკვევა, რომ ეს მოვლენა დამოკიდებულია განივი დაარმატურების ინტენსივობაზე, ასევე ელემენტის კვეთში დამატებით განთავსებული ორი და მეტი რიგით გრძივ არმატურაზე.

რკინაბეტონის კონსტრუქციაში ყველაზე სახიფათოა, ორი შეყურსული ძალით დატვირთვის გადაცემის საანგარიშო სქემა, დადგენილია, რომ ასეთ დროს რღვევის მთავარი მიზეზი ჭრის  $\alpha/h_0$  მაღლია.

კვეთი, სადაც არ არის განივი არმატურა, ირღვევა სწრაფად, ხოლო განივი დაარმატურებით კვეთის რღვევა პლასტიურ ხასიათს ატარებს, დახრილი ბზარი ჩნდება საკმაოდ გვიან. აქედან გამომდინარე, განივი დაარმატურებით კვეთის ზიდვის უნარი უფრო მაღალია, ვიდრე კვეთისა, სადაც განივი არმატურა არ არის.

ჩატარებული თეორიული კვლევების ანალიზი და რკინაბეტონის დახრილი კვეთების სიმტკიცეზე გაანგარიშების მეთოდი მოითხოვს დამატებით ექსპერიმენტალურ კვლევებს, რადგან იგი დაფუძნებულია ემპირიულ კოეფიციენტებზე და სრულად არ ასახავს რეალურ სურათს კონსტრუქციის ზიდვის უნარზე მღუნავი მომენტისა და განივი ძალების მოქმედებისას.

რკინაბეტონის სიმტკიცეზე გაანგარიშება დახრილი კვეთების მიხედვით, რომელიც წარმოდგენილია სამშენებლო ნორმებსა და წესებში, განიცდის მუდმივ განახლება-ცვლილებას, თუმცა მთავარი მიდგომა რჩება უცვლელი, მღუნავი მომენტისა და განივი ძალის ქმედება განიხილება ცალ-ცალკე, ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად, რაც ეჭვქვეშ აყენებს კონსტრუქციის საიმედოობას ექსპლუატაციისას.

გამომდინარე აქედან, ძალზე აქტუალურია - დაზუსტდეს რკინაბეტონის დახრილი კვეთების სიმტკიცეზე გაანგარიშების მეთოდი, რომელიც უზრუნველყოფს კონსტრუქციის საიმედოობას. ეს მეთოდი ადვილად გამოსაყენებელი იქნება დამპროექტებლებისათვის.

**დისერტაციის მიზანს შეადგენს:** ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევების ანალიზის საფუძველზე, შეფასდეს ახალი მიდგომების რეალური მდგომარეობა, ექსპერიმენტის საფუძველზე მოხდეს რკინაბეტონის კონსტრუქციების დახრილი კვეთების სიმტკიცეზე გაანგარიშების მეთოდის დახვეწა, თანამედროვე ტექნოლოგიებისა და სტანდარტების გათვალისწინებით.

**ექსპერიმენტული კვლევის ამოცანა:**

1. კონსტრუქციის რღვევის სქემის ანალიზი და გაანგარიშების მეთოდის შეფასება ზღვრული ძალებების მოქმედებისას დახრილ კვეთში სხვადასხვა ფაქტორების გათვალისწინებით;
2. რკინაბეტონის დახრილი კვეთის დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის შეფასება ექსპერიმენტული კვლევის საფუძველზე, კვეთში განვითარებულ ძაბვებსა (ძალებს) და დეფორმაციაზე (გადაადგილებაზე) სიხისტის მაჩვენებლის გათვალისწინებით.

**მეცნიერული სიახლე:** ნაშრომში განხილულია რკინაბეტონის დახრილი კვეთის სიმტკიცეზე გაანგარიშების არსებული მეთოდები, რომელთა ანალიზის საფუძველზე შემუშავდა ახალი დასკვნები.

ექსპერიმენტალური კვლევებისათვის შეირჩა რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტები (კოჭი), რომელთა გამოცდა ჩატარდა სტუ-ს რკინაბეტონის კონსტრუქციების ლაბორატორიაში .

ორ საყრდენზე თავისუფლად დაყრდნობილი რკინაბეტონის კოჭის ექსპერიმენტით მიღებული შედეგების ანალიზით დადგენილი “ $\sigma$ - $\varepsilon$ ” დამოკიდებულების გრაფიკის მიხედვით შეიქმნა რკინაბეტონის კოჭის სივრცითი მოდელი. ჩატარდა არაწრფივი გაანგარიშება სასრული ელემენტების მეთოდით, კომპიუტერული პროგრამის LIRA 9.6-ის გამოყენებით. რკინაბეტონის კოჭის დახრილი კვეთის სიმტკიცის შესა-  
მოწმებლად არაწრფივი სივრცითი გაანგარიშებით, სასრულ ელემენტთა მეთოდით მიღებული შედეგები მნიშვნელოვანია დასმული ამოცანის გადასაწყვეტად.

გარდა ამისა, კომპიუტერულ რიცხვითი ექსპერიმენტების საფუძველზე ჩატარდა კვლევა, ელემენტის სიმტკიცეზე გაანგარიშების არსებულ მეთოდში ემპირიული კოეფიციენტის გავლენაზე.

**მიღებული შედეგების პრაქტიკული გამოყენება:** ლიტერატურიდან ცნობილია, რომ რკინაბეტონის ელემენტებში ნაგებობათა რღვევის მიზეზი უმრავლეს შემთხვევაში არის დახრილი კვეთის არასაკმარისი სიმტკიცე,

განგარიშების არსებული მეთოდების არასრულყოფილების გამო დახრილი კვეთების სიმტკიცეზე განგარიშების მეთოდის სრულყოფას დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. დამპროექტებლისათვის ყველაზე ხელმისაწვდომი და ადვილად გამოსაყენებელი მეთოდის შექმნა უზრუნველყოფს რკინაბეტონის კონსტრუქციების საიმედოობას და ხანგამძლეობას.

რკინაბეტონის ელემენტის დახრილი კვეთის რღვევა დამოკიდებულია ბეტონის კვეთში ნორმალური გამჭიმის და მხები ძაბვების სიდიდეებზე. არსებულ ნორმატიულ მასალაში ნაკლებად არის შესწავლილი მათი ქმედების მექანიზმი.

რკინაბეტონის ელემენტის ღერძისადმი დახრილი ბზარის წარმოქმნა განპირობებულია მღუნავი მომენტისა და განივი ძალების ერთობლივი მოქმედებით, ნორმების მოთხოვნების თანახმად. დახრილი კვეთის სიმტკიცეზე განგარიშება წარმოებს ამ ძალების მიხედვით ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად.

**ნაშრომის აპრობაცია და გამოქვეყნებული პუბლიკაციები:** სადისერტაციო ნაშრომის, როგორც ცალკეული ისე ძირითადი შედეგები მოხსენებული იქნა სადოქტორო პროგრამით გათვალისწინებულ ორ სემინარზე, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე. გარდა ამისა სადისერტაციო ნაშრომის მასალების მიხედვით გამოქვეყნებულია 5 სამეცნიერო შრომა.

**ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა:** დისერტაცია შედგება შესავლის, ოთხი თავის, ლიტერატურის მიმოხილვის, ძირითადი დასკვნების და გამოყენებული ლიტერატურისაგან. სადისერტაციო ნაშრომი შედგება 127 გვერდისაგან და გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა შეიცავს 47 დასახელებას.

## ნაშრომის შინაარსი

შესავალში წარმოდგენილია თემის აქტუალობა, მეცნიერული სიახლე და პრაქტიკული მნიშვნელობა.

პირველ თავში განხილულია რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების მეთოდების განვითარების ტენდენციები და მათი როლი საიმედოობისა და რღვევის შემთხვევაში. პირველი ე.წ. „დასაშვებ ძაბვათა მეთოდი“, რომელიც გერმანიაში შემუშავდა და რომელმაც განვითარების დიდ გზა გაიარა და ზოგიერთ ქვეყანაში დღემდე მოქმედებაშია.

დასაშვები ძაბვების მეთოდს საფუძვლად დაედო რკინაბეტონის ელემენტის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის – II სტადია, როდესაც შეკუმშულ ბეტონსა და გაჭიმულ არმატურაში ძაბვები არ აღემატება დასაშვებს, ელემენტის გაჭიმულ ზონაში ჩნდება ბზარები, ე.ი. დარღვეულია მისი მთლიანობა (უწყვეტობა), მართებულია ჰუკის კანონი და ბრტყელი კვეთების ჰიპოთეზა, შესაძლებელია არადრეკადი-პლასტიკური დეფორმაციების გათვალისწინება: გაანგარიშების ეს მეთოდი შემდეგში შეიცვალა ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდით, რომლის საფუძვლად მიღებულია რკინაბეტონის ელემენტის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის რღვევის სტადია, როდესაც ელემენტში გაჩენილია ბზარები, დარღვეულია მთლიანობა (უწყვეტობა), ძაბვები ბეტონსა და არმატურაში აღწევს ზღვრულ (საანგარიშო) სიდიდეს, პლასტიკური დეფორმაციები შეინიშნება როგორც ბეტონში, ისევე არმატურაში არ არის მართებული ჰუკის კანონი და ბრტყელი კვეთების ჰიპოთეზა. ლიტერატურიდან ცნობილია, რომ გაანგარიშების ეს მეთოდი შემდგომში გამარტივდა და წარმოდგენილია მისი საფუძველი ხისტ-პლასტიკური მოდელის სახით. ეს მეთოდი საშუალებას გვაძლევს გავითვალისწინოთ ის მარაგი, რომელიც აქვს რკინაბეტონის კონსტრუქციას: მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტების ანალიზით არის დადგენილი, რომ რღვევისას, დროის რაღაც მონაკვეთში ელემენტს

შეუძლია აიტანოს დატვირთვის გარკვეული რაოდენობა და არ მოხდეს მყიფე რღვევა.

დასაშვებ ძაბვათა მეთოდი რკინაბეტონს განიხილავს როგორც ერთ მთლიან, ბრტყელ ან მოცულობით სისტემას, რომლის შემადგენელი ელემენტის (ფოლადი და ბეტონი) დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა დაკავშირებულია ერთმანეთთან, ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდი კი, როგორც დაშლილს ღეროვან ელემენტებად, საჭიროა მხოლოდ წონასწორობის პირობების შესრულება. ამიტომ ითვლება ეს მეთოდი, როგორც დაუხვეწავი და არა უნივერსალური. მეთოდში არის შეზღუდვები და ემპირიული კოეფიციენტების მთელი სისტემა, რომელთა არსი ინჟინერ-დამპროექტებლისთვის გაუგებარია.

ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდის მიხედვით რკინაბეტონის ელემენტების გაანგარიშებას განივ ძალაზე აქვს შემდეგი თავისებურებები:

რკინაბეტონის ელემენტი ბზარის გაჩენის შემდეგ დაიშალა შემადგენელ ნაწილებად. რღვევის სტადიაში იგი განიხილება როგორც ცალკეულ ღეროთა ერთობლიობა, მდგენელები, რომლებიც აწონასწორებენ განივ ძალას, ნორმების თანახმად გამოთვლება სამი დამოუკიდებელი წევრის მეშვეობით:

$$Q = Q_b + Q_{sw} + Q_{sinc} \quad (1)$$

დასაშვებ ძაბვათა მეთოდი დამაკმაყოფილებლად ასახავს რკინა-ბეტონის ელემენტის მუშაობის თავისებურებებს განივ ძალაზე, ითვალისწინებს, რომ არმატურის წინაღობა, რომელიც მთავრი გამჭიმავი ძაბვების მიმართულებითაა, გამოიყენება სრულად.

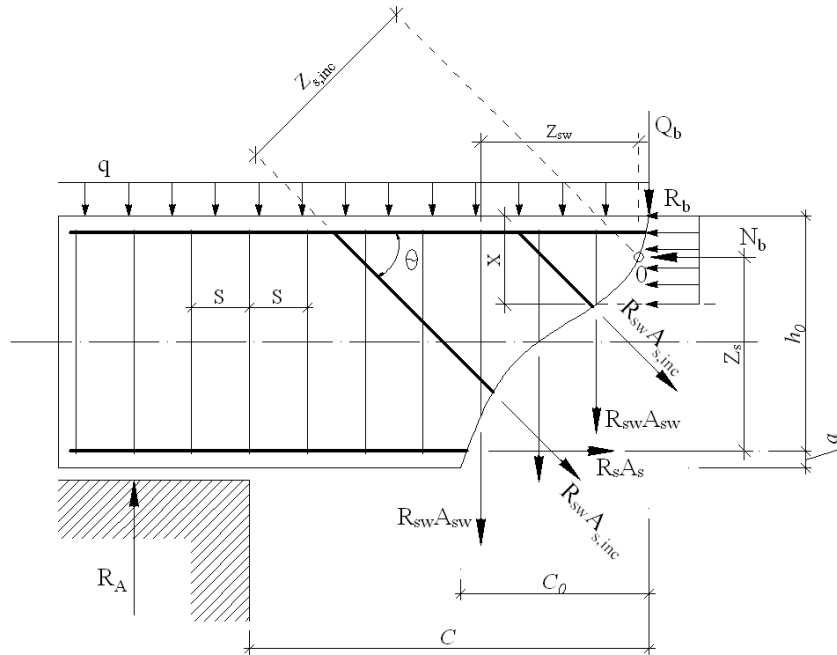
გაჭიმული ბეტონის მუშაობა განივ ძალაზე შემოფარგლული იყო მხოლოდ იმ უბნით, სადაც გამჭიმვი ძაბვები არ აღემატება დასაშვებს, ბეტონის მუშაობა მთავარი მკუმშავი ძაბვების მიმართულებით გაითვალისწინება ელემენტის მთელს სიგრძეზე.



დასაშვები ძაბვების მეთოდი ბეტონის მუშაობას ძვრაზე არ ითვალისწინებს. ნორმების მიხედვით შემოთავაზებულია ფორმულა, რომლის მიხედვით

$$Q_b = \varphi_{b2}(1 + \varphi_t + \varphi_n)R_{bt}bh_0^2/C_0 \quad (2)$$

იანგარიშება განივი ძალის ნაწილი, რომელსაც იტანს დახრილ ზხარს ზემოთ მოთავსებული ბეტონის შეკუმშული ზონა.



ნახ. 1 რკინაბეტონის კოჭში განივი ძალების საანგარიშო სქემა

ნახ.1-ის მიხედვით ზხარებს შორის მოთავსებული ბეტონის ვიწრო ზოლი უნდა მუშაობდეს ძვრაზე, მაგრამ ფორმულის (2) მნიშვნელობაში ( $C_0$ ) ზხარის პროექცია გამორიცხავს ამ ნაწილის მუშაობას ძვრაზე (როდესაც  $C_0=0$ , მაშინ  $Q_b=\infty$ ). მეორეს მხრივ (2) ფორმულაში შედის ბეტონის წინაღობა გაჭიმვაზე  $R_{bt}$ , რაც ნიშნავს, რომ ამ ზოლში მოქმედებს ბეტონის მთავარი გამჭიმვი ძაბვები. არ არის ცნობილი რა ხასიათისაა ეს ძაბვები, როგორია მისი მიმართულება ან რა გავლენას ახდენს ამ ძაბვების დახრა  $Q_b$ -ზე. ამის შესახებ თეორია არაფერს ამბობს. არ არის განმარტებული ისიც, თუ რატომ ახდენს გავლენას ზხარის სიგანის პროექცია კოჭის ღერძის მართობულ სიბრტყეში მოთავსებულ შეკუმშული ბეტონის ზიდვის უნარზე. ჩვენის

აზრით, იმ გარემოებამ, რომ განივი ძალის მიხედვით რკინაბეტონის ელემენტის ზიდვის უნარი იმ უბანზე, სადაც მთავარი გამჭიმი ძაბვების ზემოქმედებით გაჩენილია ბზარები, დაკავშირებულია ბეტონის (კლასთან) სიმტკიცესთან და ეს კავშირი აღიწერება ფიზიკურ შინაარსს მოკლებული ემპირიული ფორმულით, ამ მოვლენამ სხვა ფაქტორებთან ერთად გამოიწვია რკინაბეტონის ნაგებობათა საიმედოობის მკვეთრი შემცირება, რასაც მოჰყვა რკინაბეტონის კონსტრუქციის რღვევა-ჩამოვარდნა, ადამიანთა მსხვერპლით.

პრაქტიკა გვიჩვენებს, რომ ზღვრული მდგომარეობის მეთოდის საფუძველზე დაპროექტებულ და აგებულ კონსტრუქციებს აქვთ ნაკლები საიმედოობა, ვიდრე დასაშვებ ძაბვათა მეთოდის საფუძველზე დაპროექტებულ და აგებულ კონსტრუქციებს. აღსანიშნავია, რომ რკინაბეტონის კონსტრუქციების ნგრევა ძირითადად გზდება სამოქალაქო და სამრეწველო ნაგებობების მშენებლობისას.

მეორე თავში განხილულია ის მნიშვნელოვანი ფაქტორები, რომლებიც მოქმედებენ რკინაბეტონის ელემენტების ბზარწარმოქმნაზე, რღვევაზე და ზიდვის უნარზე დახრილი კვეთით რღვევისას.

ხარისხობრივი და რაოდენობრივი შეფასება იმ მნიშვნელოვანი ფაქტორებისა, რომლებიც დიდ გავლენას ახდენენ რკინაბეტონის კონსტრუქციის ზიდვის უნარზე აუცილებელია არა მარტო საიმედო, საანგარიშო მეთოდების შექმნისათვის, არამედ პროექტირებისათვისაც. აღსანიშნავია ისიც, რომ გაანგარიშების თანამედროვე მეთოდი არ იძლევა საშუალებას გავითვალისწინოთ ყველა ის ფაქტორი, რომლებიც გავლენას ახდენენ კონსტრუქციის ზიდვის უნარზე.

ვეყრდნობით რა ექსპერიმენტალური კვლევების მონაცემებს, ის ფაქტორები, რომლებიც ყველაზე მეტად ახდენენ გავლენას ელემენტის ზიდვის უნარზე პირობითად შეიძლება გაიყოს ორ ჯგუფად:

პირველი - გარე ზემოქმედება, რომელიც ითვალისწინებს როგორც ელემენტის დაყრდნობის პირობებს და დატვირთვის სქემას, ასევე გადამჭრელი ძალის სახეს, რეჟიმს და გარემო პირობებს.

მეორე - კონსტრუქციული ელემენტის გრძივი და განივი დაარმატურება, ბეტონის კლასი, ელემენტის განივი კვეთის ზომები და ფორმა, არმატურის ჩაანკერების პირობები, ბეტონთან მათი შეჭიდულობა და ა.შ.

განვიხილოთ პირველი ჯგუფი: კონსტრუქციის დაყრდნობის გარკვეული პირობებისათვის მნიშვნელოვანია განივი ძალა აღიმგრა შეყურსული თუ თანაბრად განაწილებული დატვირთვით. ძალზედ მნიშვნელოვანია ძალის ზემოქმედების რეჟიმი, სტატიკურია ის თუ დინამიური, ან ნიშანცვლადი. ძალზედ მნიშვნელოვანია ის მომენტიც, თუ სხვა რა ძალოვანი ფაქტორებია და როგორი თანაფარდობითაა მოდებული საანგარიშო ელემენტზე. მაგალითად: მღუნავი, მგრები მომენტი ან გრძივი ძალები, ძალური ზემოქმედება, გარემოს ტენიანობის და თვით ბეტონში არსებული წყალშემცველობის ურთიერთკავშირი.

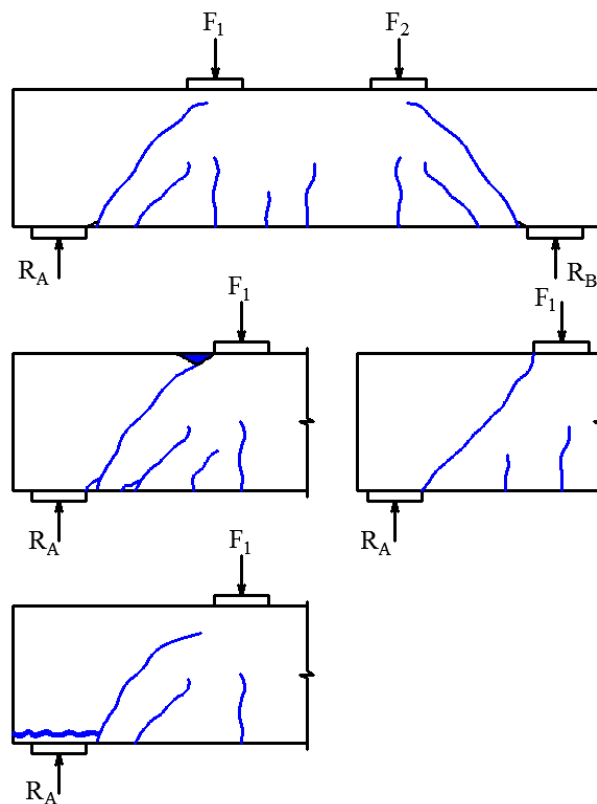
უნდა აღინიშნოს, რომ პრაქტიკაში ყველაზე ხშირად გვხვდება თავისუფლად დაყრდნობილი რკინაბეტონის კოჭები, რომელზედაც მოქმედებს შეყურსული ძალები, ასეთი დატვირთვის ქვეშ მყოფი კონსტრუქციისათვის განმსაზღვრელი პარამეტრია ჭრის  $\alpha$  ძალი - მანძილი საყრდენიდან ძალის მოდების წერტილამდე, მის სიდიდეზე ბევრად არის დამოკიდებული რკინაბეტონის ელემენტის ბზარწარმოქმნის ხასიათი და მისი რღვევის ფორმა - სახე, საბოლოოდ კი თვით რკინაბეტონის ელემენტის ზიდვის უნარი.

ფაქტიურად ჭრის  $\alpha$  ძალის ფარდობა კვეთის მუშა  $h_0$  -თან სიმაღლესთან  $a/h_0$ , წარმოადგენს კვეთში მოქმედი მღუნავი და გადამჭრელი ძალების მაქსიმალური სიდიდეების ფარდობას  $a/h_0 = M/Qh_0$ . რღვევა ხდება, როგორც წესი სუფთა ღუნვის ზონაში, ნორმალური კვეთით, როცა ამ ფარდობის  $\sin a/h_0$  -ზე ნამრავლი საკმაოდ დიდი ამ ფარდობის

შემცირებით და გადამჭრელი ძალის გადიდებით, ელემენტი ტყდება ჭრის ძალის ზონაში დახრილი კვეთით.

ჭრის ძალის  $4 \div 6 a/h_0$  -დან  $2 \div 2,5 a/h_0$  შემცირების შემთხვევაში კოჭების ზიდვის უნარი, განივი ღეროების გარეშე დაარმატურებული ელემენტების უმნიშვნელოდ იზრდება. რღვევა ხდება ბზარის გაჩენასთან ერთად, კრიტიკულ დახრილ ბზარზე, შეკუმშული ბეტონის ნგრევის შედეგად, ძალის მოდების ადგილას.

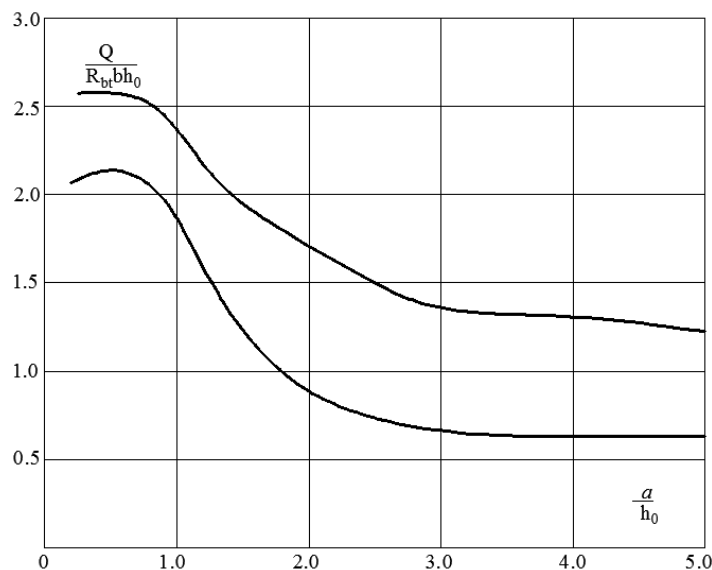
ჭრის ძალის  $2 \div 2,5 a/h_0$  -დან  $1,0 a/h_0$  -მდე შემცირებისას ხდება ზიდვის უნარის მნიშვნელოვანი მატება, იცვლება ელემენტის რღვევის სქემის სურათი (ხასიათი). კრიტიკული ბზარი ჩნდება რღვევამდე დიდი ხნით ადრე. ბზარი სწორხაზოვანია საყრდენიდან ძალამდე. ზიდვის უნარის ამოწურვა ხდება კრიტიკული ბზარის მიმართულებით, ბეტონის შეკუმშული ზონის გახლეჩით (ჭრით). შემდეგი რღვევა ხდება ბზარებს შორის.



ნახ. 2. რკინაბეტონის ელემენტების ბზარწარმოქმნის ხასიათი და რღვევის ფორმები დახრილი კვეთით რღვევისას.

რკინაბეტონის ელემენტის ზიდვის უნარზე დიდ გავლენას ახდენს განივი დაარმატურების ინტენსივობა, ბეტონის (კლასი) სიმტკიცე, კვეთის ზომები, ფორმა, გრძივი დაარმატურება, ღეროების ჩამაგრება და ბეტონის შეჭიდულობა, წინასწარი დამაბზა და სხვა.

განივი დაარმატურების ინტენსივობა ასევე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს დახრილი კვეთით ელემენტის ზიდვის უნარზე.

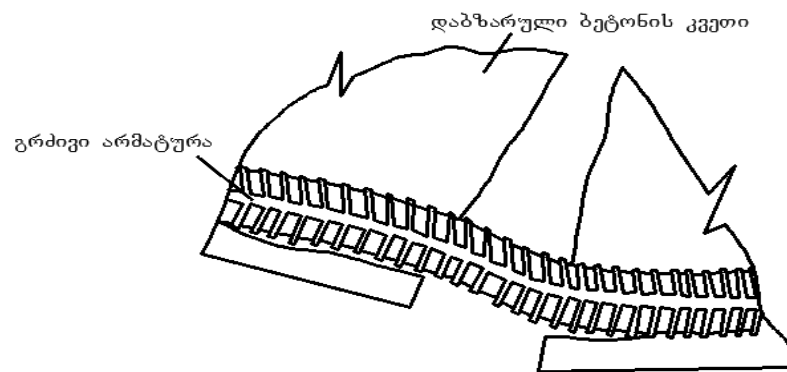


ნახ. 3 რკინაბეტონის ელემენტის ზიდვის უნარი ჭრის მალის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის.

განივი დაარმატურების ინტენსივობის ზრდის შედეგად, ბიჯის შემცირება, დიამეტრის გაზრდა, არმატურის სიმტკიცის ზრდა, იწვევს ზიდვის უნარის ზრდას (1,5 ÷ 2) ზღვრებში. შემდგომში განივი არმატურის ინტენსიურობის ზრდა არ იწვევს ზიდვის უნარის მკვეთრ ზრდას. განივი დაარმატურების პროცენტული ზრდა იწვევს კრიტიკული დახრილი კვეთის ზრდას და სათანადოდ მისი გეგმილის ჰორიზონტალურ ღერძზე  $C_0$  -ის შემცირებას. მისი სიდიდე იცვლება დაახლოებით  $2h_0$  -დან  $h_0$  -მდე.

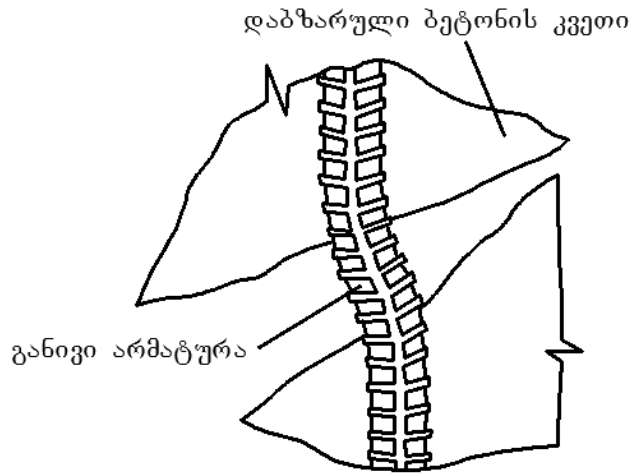
ჭრის მალის  $a/h_0 < (2 \div 2,5)$  შემთხვევაში, ასევე განივი დაარმატურების ზრდის შემთხვევაში და შესაბამისად რღვევის სხვა ფორმისას, ბზარის წვერის თავზე და ბეტონის კვეთის საყრდენსა და დატვირთვას შორის,

ელემენტის ზიდვის უნარის ზრდა უმნიშვნელოა. ერთი მხრივ ეს დამოკიდებულია დახრილი ბზარის ჰორიზონტალური პროექციის სიდიდეზე  $C_0 < 2h_0$  ე.ი ხასიათდება განივი დაარმატურების სიმცირით. **გრძივი დაარმატურება.** გაჭიმული ზონის დაარმატურება გრძივი არმატურით მნიშვნელოვნად მოქმედებს ელემენტის ზიდვის უნარზე, როდესაც ელემენტის რღვევა ხდება შეკუმშული ბეტონის რღვევით ან ჭრით. ეს გხვდება ხშირად კოჭებში, რომელთაც განივი დაარმატურება არ აქვთ. ამიტომ, თუ განივი დაარმატურების  $A_s/bh_0 = \mu_s$  პროცენტს გავრზდით 1% ÷ 4%-მდე, მაშინ ელემენტის სიმტკიცე გაიზრდება 30% ÷ 50%. ჭრის მალის შემცირების შემთხვევაში გრძივი დაარმატურების ეფექტი მცირდება.



ნახ. 4 დახრილი კვეთის გადამკვეთი გრძივი არმატურის დეფორმირების საერთო სურათი

ექსპერიმენტის მონაცემების ანალიზი იძლევა საფუძველს, რომ განივი ძალების ზემოქმედების დროს გამოიყოს რკინაბეტონის ელემენტის მუშაობის 4 ძირითადი სტადია:



ნახ. 5 განივი არმატურის დეფორმირების საერთო სურათი

პირველი – ბზარის გაჩენამდე; მეორე – ნორმალური ბზარების გაჩენა და განვითარება; მესამე – დახრილი ბზარების გაჩენა და განვითარება; მეოთხე-რლვევა.

როგორც ექსპერიმენტების მონაცემების ანალიზიდან ირკვევა, რკინაბეტონის ელემენტი შეიძლება დაირღვეს შეკუმშული ბეტონის რღვევის ან ჭრის შემდეგ კრიტიკული დახრილი ბზარის თავზე ან გაჭიმული ზონით გრძივი არმატურის ბეტონთან შეჭიდულობის დარღვევის შედეგად ან გრძივი არმატურის დენადობით დახრილი ბზარის სიახლოვეს.

ელემენტის რღვევისას, როდესაც ბეტონის სიმტკიცე კუმშვაზე აღწევს თავის ზღვრულ მნიშვნელობას დახრილი ბზარის თავზე, ხოლო დეფორმაცია მრუდწირულია, ამ დროს მხები ძაბვები ნორმალურ კვეთში, რომელიც გადის დახრილი კვეთის წვერზე თავისი ფორმით არ განირჩევა მე-3 სტადიაში არსებული დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობიდან, ხოლო მხები ძაბვების მაქსიმალური სიდიდე  $(2\div 3) R_{bt}$ -ს ტოლია, მოქმედებენ დახრილი ბზარის თავზე და მცირდება ელემენტის შეკუმშული ზონისა და გაჭიმული კიდეებისაკენ.

ელემენტის ზიდვის უნარის დაკარგვის პერიოდისათვის ძაბვები ყველა საკიდში აღწევს დენადობის ზღვარს. ამ დროს გრძივ არმატურაში

ღერძული ძაბვები ვერ აღწევენ დენადობის ზღვარს. თუმცა დახრილ ბზარში გრძივი არმატურის ღეროებში შეიძლება მიღწეულ იქნას დენადობის ზღვარი. ელემენტის დახრილი კვეთის თავზე ბეტონის დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა მისი რღვევის მეორე ფორმით დროს ჯერ კიდევ ნაკლებად არის შესწავლილი. არსებობს მოსაზრება, რომ რღვევა ხდება, როდესაც ნორმალური გამჭიმვი ძაბვების სიდიდე აღწევს ბეტონის სიმტკიცეს გაჭიმვაზე  $R_{bt}$ -ს, ან როდესაც მხები ძაბვები იმავე მიმართულებით აღწევენ ბეტონის სიმტკიცეს ჭრაზე  $R_{sb}$ -ს.

შესაბამისად, ეს ორი შემთხვევა განიხილება, როგორც დახრილი კვეთის გაანგარიშება სიმტკიცეზე განივი ძალის მოქმედებით და გაანგარიშება სიმტკიცეზე დახრილი კვეთის მღუნავი მომენტის მიხედვით.

მიუხედავად იმისა, რომ ღუნავი ელემენტის გრძივი ღერძისადმი დახრილი ბზარების წარმოქმნა განპირობებულია მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების ერთობლივი მოქმედებით, დახრილი კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცეზე წარმოებს მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების მიხედვით ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად.

**მესამე თავში** განხილულია ყველა ის მეთოდები, რომლებიც სწავლობენ რკინაბეტონის ღუნავი ელემენტის დახრილი კვეთების გაანგარიშებას სიმტკიცეზე:

განივი ძალის მიხედვით დახრილ ბზართაშორისი შეკუმშული ზოლისა;

განივი ძალის მიხედვით დახრილ ბზარზე გამავალი კვეთისა;

მღუნავი მომენტის მიხედვით დახრილ ბზარზე გამავალი კვეთისა.

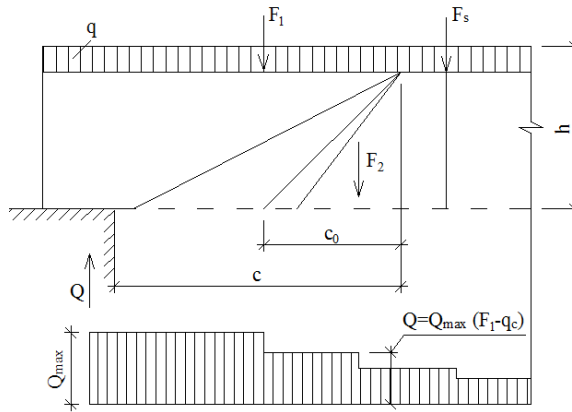
განივი ძალის მიხედვით დახრილი კვეთის გაანგარიშებისას დაცული უნდა იყოს პირობა:

$$Q < Q_{sb}$$

სადაც  $Q$  – გარე ძალებით გამოწვეული განივი ძალა, რომელიც მოქმედებს დახრილ კვეთში;

$Q_{sb}$  – შიგა ძალებით გამოწვეული განივი ძალა, რომელსაც იტანს არმატურა და ბეტონი დახრილ კვეთში.





ნახ. 6 საანგარიშო განივი ძალის განსაზღვრა

განივი ძალა დახრილ კვეთში განისაზღვრება როგორც გრძივი ძალის პროექცია გრძივი ღერძის მიმართ და ტოლია ყველა გარე ძალის ჯამის, რომელიც მდებარეობს დახრილი ბზარის ცალ მხარეს განსახილველ კვეთში.

განივი ძალა, დახრილ კვეთში როცა ძალა მოდებულია ელემენტზე ზემოდან, გამოითვლება ფორმულით:

$$Q = Q_{max} - (\sum F_i + q c) \quad (3)$$

სადაც  $Q$  – განივი ძალა საყრდენთან;

$\sum F_i, q$  – შეყურსული და თანაბრად განაწილებული დატვირთვა

ბლოკის საზღვრებში, რომელიც გამოკვეთილია დახრილი ბზარით.

აქედან ჩანს, რომ დატვირთვა რომელიც მოდებულია ბლოკის საზღვრებში, (გამოკვეთილს დახრილი კვეთით), ამცირებს განივ ძალას დახრილ კვეთზე, საყრდენ კვეთში მოქმედ განივ ძალასთან შედარებით.

განივი  $Q_{sb}$  ძალა, რომელიც უნდა აიტანოს დახრილ კვეთში გრძივმა არმატურამ, რომელიც კვეთს დახრილ ბზარს და შეჭიდულობის ძალამ, რომელიც წარმოიქმნება დახრილი ბზარის კიდევებზე, ჯერჯერობით არ არის შემუშავებული მეთოდი ამ ძალების ერთობლივი მოქმედების გამოსათვლელად, ამიტომ ინჟინრულ გაანგარიშებებში ცალკე გამოითვლება  $Q_s$  და ცალკე  $Q_b$  რომელიც უნდა აიტანოს ბეტონის კვეთმა.

$$Q_{sb} = Q_b + Q_s \quad (4)$$

რკინაბეტონის ელემენტი დახრილი ბზარით ირღვევა მაშინ, როდესაც ძაბვა განივ ღეროებში, რომელიც გადაკვეთს დახრილ ბზარს, მიაღწევს არმატურის წინაღობას გაჭიმვაზე  $R_s$  –ს. ამასთან საერთო განივი  $Q_s$  –ის ძალის გამოთვლისას, ყველა განივ არმატურაში გამჭიმავი ძაბვა ერთნაირი არ არის დახრილი ბზარის სიგრძეზე.

$$R_{sw} = \gamma_{s1} \gamma_{s2} R_s \quad (5)$$

განივი ძალა, რომელიც უნდა აიტანოს განივმა ღეროებმა, შეადგენს ცალკეულ ღეროებში აღძვრულ ძაღვების ჯამს და გამოითვლება ფორმულით:

$$Q_{sw} = \sum R_{sw} A_{sw} \quad (6)$$

თუ განივი ღეროები ელემენტის ზოგიერთ უბანზე განლაგებულია თანაბრად, ერთნაირი ბიჯით და დიამეტრით, ისინი შეიძლება განვიხილოთ როგორც უწყვეტად განლაგებული ელემენტის მთელ სიგრძეზე და ძალვა

$$Q_{sw} = q_{sw} c_0 \quad (7)$$

სადაც  $q_{sw}$ – ძაღვის ინტენსივობა განივი ღეროს ერთეულ სიგრძეზე და ტოლია:

$$q_{sw} = R_{sw} A_{sw} / S \quad (8)$$

$c_0$ – დახრილი კვეთის სიგრძის პროექცია.

განივი ძალა  $Q_b$ , რომელსაც იტანს ბეტონის კვეთი განისაზღვრება ცდების ანალიზის საფუძველზე. ძირითად მახასიათებელ კომპონენტად განიხილება  $R_{bt}$ , ბეტონის სიმტკიცე გაჭიმვაზე, ელემენტის კვეთის  $b$  სიგანე და კვეთის  $h_0$  მუშა სიმაღლე. ცდებით დადგენილია, რომ  $Q_b$  მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია  $C / h_0$ , ფარდობით სიდიდეზე, ამ ფარდობის გადიდებით მკვეთრად ეცემა  $Q_b$ –ს მნიშვნელობა, რომელიც დაახლოებით აღიწერება გიპერბოლური დამოკიდებულებით.

$$Q_b = \varphi_{b2} R_{bt} b h_0^2 \quad (9)$$

მაგრამ აიღება არა უმეტესი  $2.5 R_{bt} b h_0$  და არა უმცირესი  $\varphi_{b3} R_{bt} b h_0$ .

$\varphi_{b2}$  და  $\varphi_{b3}$  კოეფიციენტის რიცხვითი სიდიდე მიღებულია ექსპერიმენტული მონაცემების დამუშავებით: მძიმე ბეტონისათვის  $\varphi_{b2}=2$ ,

და  $\varphi_{b3} = 0.6$ . სხვა სხვა სახეობის ბეტონებისათვის ამ კოეფიციენტების სიდიდე ან არის იგივე ან შედარებით შემცირებული.

თუ კვეთში საკიდების მინიმალური რაოდენობაა, არსებობს საშიშროება, რომ დახრილი ბზარის გაჩენისას განივი ძალვა, რომელსაც აქამდე იტანდა ბეტონი და განივი არმატურა, ეს უკანასკნელი ვერ აიტანს და მოხდება ელემენტის მყისიერი რღვევა. ეს განსაკუთრებით საშიშია, მაშინ, როცა დიდია ბზარის სიგრძე.

$$Q_{b,min} = \varphi_{b3} (1 + \varphi_f + \varphi_n) R_{bt} b h_0^2 \quad (10)$$

ხოლო  $Q_{sw}$  განივი ძალის სიდიდე, რომელიც უნდა აიტანოს განივმა არმატურამ, დახრილი ბზარის პროექციის  $c_0 = 2h_0 - b$  მაქსიმალური მნიშვნელობისას იქნება:

$$Q_{sw} = q_{sw} c_0 = q_{sw} 2h_0 \quad (11)$$

მაშინ

$$q_{sw} \geq q_{sw,min} = \varphi_{b3} (1 + \varphi_f + \varphi_n) R_{bt} b/2 \quad (12)$$

განივი არმატურის მინიმალური სიდიდე იცავს კვეთს ბზარის დასაშვებ სიდიდეზე მეტად გახსნისაგან, რომლის მნიშვნელობები მოცემულია ნორმებში.

აღსანიშნავია, რომ (12) ფორმულა შეიცავს გარკვეულ უზუსტობებს, ბეტონის  $R_{bt}$  სიმტკიცის ან კვეთის  $b$  სიგანის გაზრდა, იწვევს განივი ღეროების რაოდენობის გაზრდას. იმის გამო, რომ თავიდან ავიცილოთ ეს არალოგიკური დასკვნა რეკომენდირებულია გამოვიყენოთ შემდეგი ღონისძიებები: გაანგარიშებაში შეიძლება გავითვალისწინოთ  $R_{bt}$ ,  $b$ -ს სიდიდის და  $q_{sw}$  ნაკლები მნიშვნელობა, რომლის დროსაც დაცული იქნება პირობა (12). ამ შემთხვევაში განივი არმატურის რაოდენობის გაზრდა საჭირო არ არის. როცა განივ არმატურებს შორის არის დიდი ბიჯი შეიძლება მოხდეს ელემენტის რღვევა განივი ბზარის წარმოშობისთანავე. ამ დროს საჭიროა დაცული იქნას პირობა:

$$Q \leq \varphi_{b4} (1 + \varphi_f) R_{bt} b h_0^2 / c \quad (13)$$

თუ  $c$  -ს შევცვლით  $S_{max}$  და მოვახდენთ მათემატიკურ გარდაქმნებს, მივიღებთ

$$S_{max} = \varphi_{b4} (1 + \varphi_n) b h_0^2 / Q \quad (14)$$

აღსანიშნავია, რომ განივი ღეროების ბიჯის გადიდება იწვევს სიმტკიცის ძალის გაზრდას, რომელსაც იტანს განივი არმატურა დახრილი კვეთის ფარგლებში და შეიძლება არ იქნას გათვალისწინებული მუშაობის პირობების კოეფიციენტის საშუალებით, ამიტომ საჭიროა განივ ღეროებს შორის მაქსიმალური ბიჯი დამოკიდებული იყოს ელემენტის კვეთის  $h$ -ზე სიმაღლეზე. ნორმებში მოცემულია განივი არმატურის ბიჯი საყრდენებზე, როცა კვეთის სიმაღლე  $h \leq 450$  მმ-ზე და მიიღება არაუმცირესი 150 მმ-ისა და დანარჩენ კვეთში არაუდიდესი 500 მმ-ისა.

ყველა, ზემოთ მოყვანილი წესების დაცვა დახრილი კვეთის გაანგარიშებისას სიმტკიცეზე და ზიდვის უნარზე აუცილებელია ახალი ექსპერიმენტული კვლევების შედეგების გათვალისწინებით.

ამავე თავში მოყვანილია რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების სასრულ ელემენტთა მეთოდი. ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ეს მეთოდი, რომელიც ითვალისწინებს ბზარების არსებობას, არმატურის მუშაობას ბზარიან კვეთში და არადრეკად დეფორმაციებს ბეტონში, იძლევა შედეგს, რომელიც საკმაოდ ეთანხმება რკინაბეტონის ელემენტის მუშაობის საერთო კანონზომიერებას, როდესაც მასზე ერთდობლივად მოქმედებს მღუნავი მომენტი და განივი ძალა.

უნდა აღინიშნოს, რომ სასრულ ელემენტთა მეთოდით გაანგარიშება მოითხოვს, გამომთვლელი მანქანების გამოყენებას, რაც დაკავშირებულია მნიშვნელოვან დროსთან მოსამზადებელი სამუშაოების შესასრულებლად, ასევე მნიშვნელოვან სამანქანო დროის დანახარჯს. ამიტომ მისი გამოყენება მიზანშეწონილია რთული ამოცანების გადაწყვეტის დროს, როდესაც ძნელია ან შეუძლებელია უფრო მარტივი ინჟინრული მეთოდების გამოყენება.

ნაშრომში მოცემულია გაანგარიშების კიდევ ერთი მეთოდი, რომელიც ეფუძნება ასევე ზღვრულ წონასწორობას და ითვალისწინებს დახრილი კვეთის სიმტკიცეს დეფორმირებული სქემით. ზღვრული წონასწორობის მეთოდიდან გამომდინარე განიხილება შიგა და გარე ზღვრული ძალების წონასწორობის პირობა, რომელიც მოქმედებს კოჭზე და აჩენს დახრილ ბზარს. ჩვეულებრივ, სტატიკურად ურკვევ სისტემებში ეს პირობები არ არის საკმარისი, ამიტომ გაანგარიშებისას სარგებლობენ დამატებითი დამოკიდებულებით, რაც გამოიხატება საძიებო ძალების ურთიერთ-კავშირით. ამ კავშირს წარმოადგენს დეფორმაციული დამოკიდებულება დახრილი კვეთის შემთხვევაში, რომელიც ხასიათდება ზღვრული მდგომარეობის დროს ცალკეული კომპონენტის ერთობლივი მუშაობით ბეტონის დახრილი ბზარის წვერზე, განივი არმატურის შეჭიდულობის კავშირის და გრძივი არმატურით. ამასთან, სიმტკიცეზე გაანგარიშებაში გათვალისწინებულია კვეთის ფიზიკურ-მექანიკური ფაქტიური მახასიათებლები, რომელიც საშუალებას იძლევა გავითვალისწინოთ რკინაბეტონის ელემენტის დეფორმაციული თვისებები. დეფორმაციული დამოკიდებულება აღწერილია  $\Delta$ -ძვრის და კუმშვა-გაჭიმვისას,  $\delta$ -თი დახრილი კვეთის შემთხვევაში, რომელიც წარმოიქმნება შესაბამისი დეფორმაციის დროს ელემენტის ბლოკში. საერთო სახით ეს დამოკიდებულება ჩაიწერება  $\sum \Delta = 0$  და  $\sum \delta = 0$  კავშირებისათვის და ბლოკისათვის.

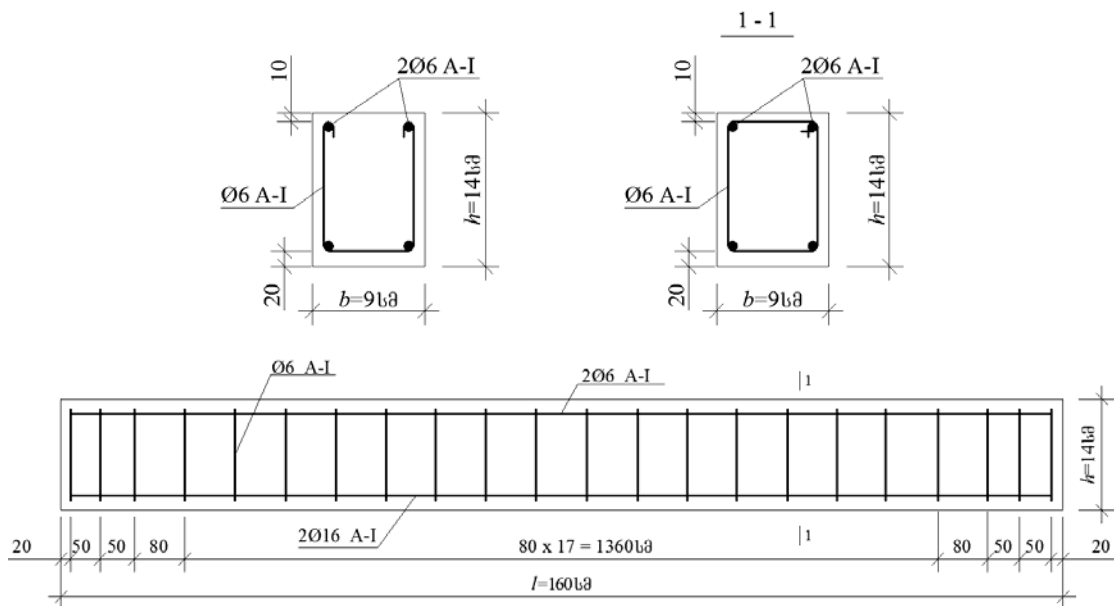
ელემენტის რღვევა განისაზღვრება ბლოკის ან ზოლის და მათი შემაკავშირებლის დეფორმირების და სიმტკიცის მიხედვით. რკინაბეტონის დეფორმირებული ელემენტი როგორც შედგენილი, განიხილება ორი საანგარიშო სქემით: როგორც შედგენილი ცვალებადი კვეთის ბლოკის სქემა და სქემა შედგენილი დახრილი ზოლით, რომლის კვეთი პირობითად შეიძლება მივიღოთ მუდმივი. შემაკავშირებლად ბლოკსა და ზოლს შორის შეიძლება წარმოვიდგინოთ ძვრის კავშირი, რომელიც იტანს ძვრის ძალებს და განივი კავშირი, რომელიც ხელს უშლის ბლოკის გადაადგილებას.

კავშირების განაწილება დახრილი ბზარის გასწვრივ შეიძლება განვიხილოთ უწყვეტად. ამ შემთხვევაში გაითვალისწინება ბლოკის და ზოლის დეფორმირება როგორც ცალკეული ელემენტის.

ამრიგად, რკინაბეტონის ელემენტის სიმტკიცეზე გაანგარიშება დახრილი ბზარის შემთხვევაში დაფუძნებულია წონასწორობის განტოლებათა სისტემის შედგენაზე და მის ამოხსნაზე, დეფორმაციის სიმტკიცის პირობების დადგენაზე.

მეოთხე თავში განხილულია ჩატარებული ექსპერიმენტული კვლევის მეთოდიკა, რომელიც დაფუძნებული იყო დასახული ამოცანების გადასაწყვეტად. წინასწარი თეორიული გამოთვლებით შეირჩა მართკუთხა ფორმის რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტი და მოხდა მისი გამოცდა ღუნვაზე (ნახ.7). გამოიცადა სხვადასხვა სიმტკიცის კოჭები. ექსპერიმენტალური კვლევა ჩატარდა სტუ-ს, სამშენებლო ფაკულტეტის რკინაბეტონის კონსტრუქციების ლაბორატორიაში (ნახ.10).

ღუნვადი ელემენტები გამოიცადა სხვადასხვა დატვირთვების ქვეშ. კოჭების დაბეტონება და კონსტრუირება მოხდა სამშენებლო ნორმების დაცვით. კოჭის გეომეტრული ზომები შერჩეულ იქნა 160X14X9სმ. (ნახ.7).



ნახ.7 რკინაბეტონის კოჭის განივი და გრძივი კვეთები



ნახ. 8 რკინაბეტონის კოჭის განივი და გრძივი კვეთები



ნახ. 9 რკინაბეტონის კოჭების დაბეტონება





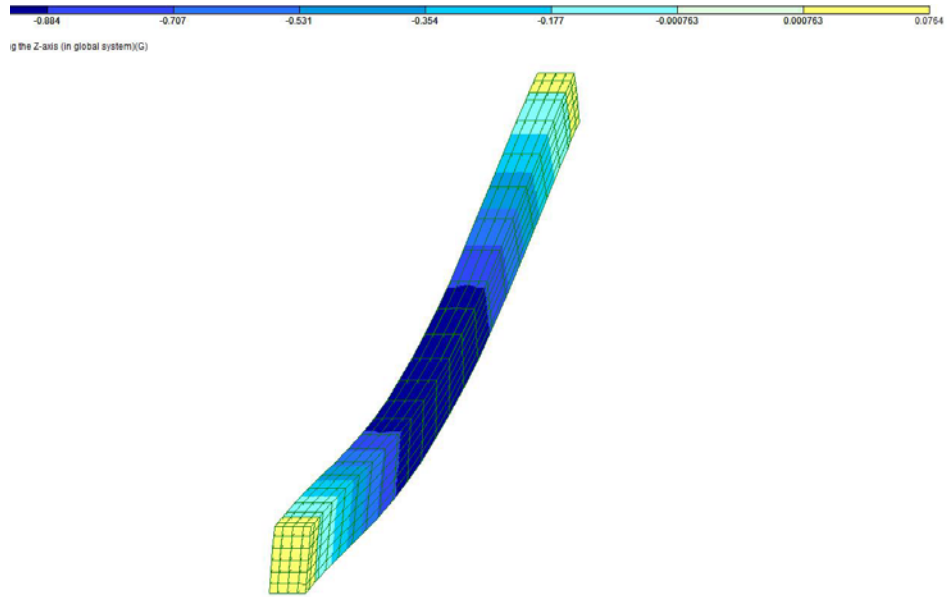
ნახ. 10 რკინაბეტონის კოჭების გამოცდა

ექსპერიმენტით მიღებული “ $\sigma$ - $\varepsilon$ ” დამოკიდებულების გრაფიკის მიხედვით შეიქმნა რკინაბეტონის კოჭის სივრცითი მოდელი და ჩატარდა ასევე ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე კოჭის არაწრფივი ანგარიში 10 საფეხურიანი იტერაციის ბიჯით. არაწრფივი გაანგარიშებისას გამოყენებულია გენიევის მეთოდი.

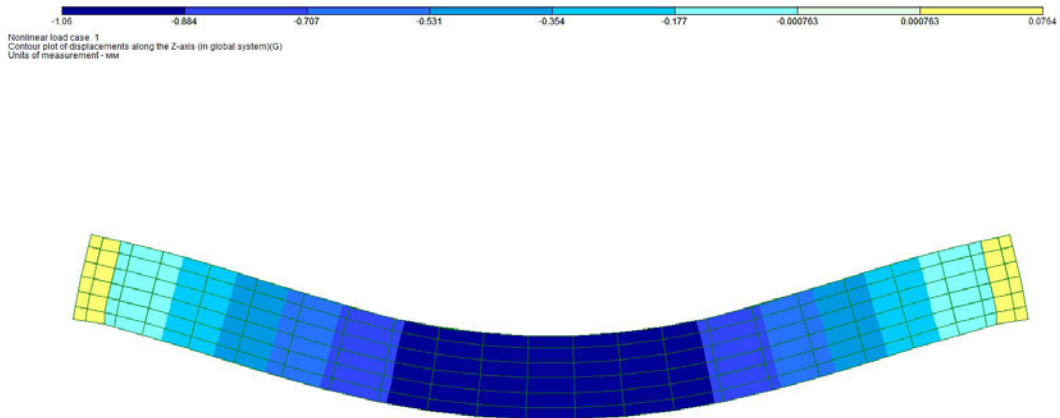
მოდელირებულია 9X14 სმ რკინაბეტონის კოჭი B20 და B25 კლასის ბეტონის საფუძველზე. მალი :  $l=1.6$  მ, გამოყენებული არმატურა:  $\varnothing 16$  და  $\varnothing 6$  A-I კლასის ექსპერიმენტის შესაბამისად, მოდებულია დატვირთვები: შეყურსულად, ორ წერტილში, 1.25 ტ, (მთ. 2.5ტ).

გაანგარიშებები წარმოდგენილია ფერადი ილუსტრაციების (ნახაზები) სახით (ნახ.11 ÷ ნახ.15), მაქსიმალური ჩაღუნვა: 10.6 მმ.





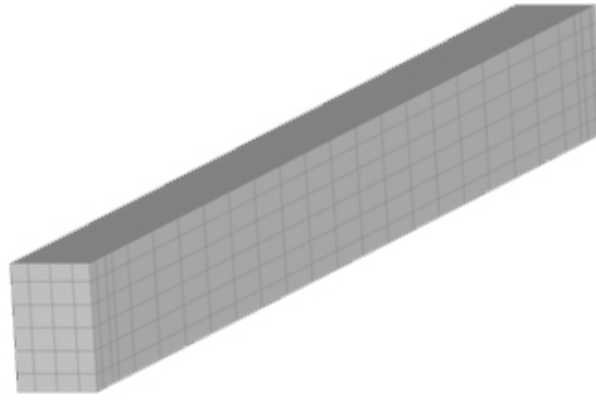
ნახ. 11. რკინაბეტონის კოჭის ჩაღუნვა (მმ)



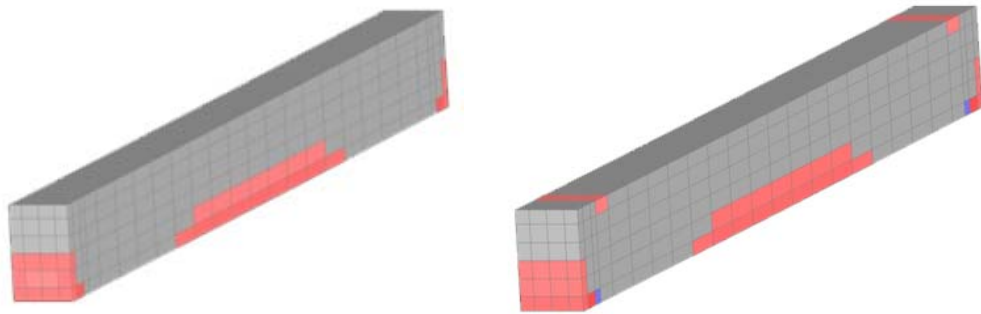
ნახ.12 რკინაბეტონის კოჭის ჩაღუნვა (მმ)

გაჭიმულ-შეკუმშულ ზონებში ბზარების თანდათანობითი გაჩენა წარმოდგენილია იტერაციის ბიჯებით, ბიჯი 01-დან ბიჯ 10-მდე;

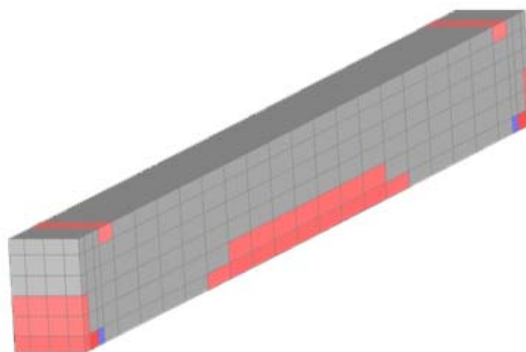
როგორც 13,14 და 15 ნახაზებიდან ჩანს, დატვირთვების პირველ საფეხურზე რკინაბეტონის კვეთში ბზარების კონცენტრაცია აღინიშნება სუფთა ღუნვის არეში და საყრდენებზე, თუმცა ნორმების მიხედვით მხოლოდ სუფთა ღუნვის არეში გვხვდება ბზარების კონცენტრაცია.



ნახ. 13. რკინაბეტონის კოჭი დატვირთვის საწყის ეტაპზე



ნახ. 14. რკინაბეტონის კოჭი ბზარწარმოქმნელი დატვირთებისას



ნახ. 15. რკინაბეტონის კოჭის რღვევის სტადია

## ძირითადი დასკვნები

1. ჩატარდა რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტის დახრილი კვეთების სიმტკიცეზე გაანგარიშების არსებული მეთოდების (СНиП-ის, ევროკოდ 2-ის სასრულ ელემენტთა და სივრცითი მოდელის შედარებითი ანალიზი: СНиП-ის ნორმების და ევროკოდ 2-ის მიხედვით გაანგარიშების მეთოდის შედარებისას დადგინდა: რომ СНиП-ი ეფუძნება ზღვრულ წონასწორობის მეთოდს, ხოლო ევროპული კოდები კარკასულ-ღეროვან სქემას, მიუხედავად პრინციპული განსხვავებისა, ორივე მეთოდში შენარჩუნებულია დახრილი კვეთების სიმტკიცეზე გაანგარიშების მეთოდი.
2. СНиП-ის მეთოდის მიხედვით ელემენტის ზიდვის უნარი 1.5%-ით დაბალია, ვიდრე ევროკოდ-2-ით. სასრულ ელემენტთა მეთოდით რკინაბეტონის ელემენტის დახრილი კვეთის სიმტკიცეზე გაანგარიშება, როდესაც მასზე მოქმედებს მღუნავი მომენტი და განივი ძალა, სრულად შეესაბამება ელემენტის ექსპერიმენტით მიღებულ სიდიდეებს.
3. რკინაბეტონის ელემენტის სივრცითი მოდელის მიხედვით გაანგარიშების მეთოდი იძლევა ბეტონსა და არმატურაში ზღვრული ძაღვების სიმტკიცეზე დადგენის შესაძლებლობას. ელემენტის დეფორმაციულობის სიდიდეების განსაზღვრის შესაძლებლობას რღვევისას მისი ზღვრული მნიშვნელობის დასადგენად.
4. ჩატარდა სხვადასხვა ფორმის განივი ღეროებით დაარმატურებული რკინაბეტონის ელემენტის ექსპერიმენტული გამოცდა ღუნვაზე სტატიკური დატვირთვებით. დადგინდა, რომ კოჭები, სადაც გამოყენებული იყო ჩაკეტილი საკიდები, ბიჯით  $S=8სმ$ , სიმტკიცე 12-15%-ით მეტია, ვიდრე ღია საკიდებით დაარმატურებულ კოჭებში. მაქსიმალური ჩაღუნვები კოჭში რკინაბეტონის ზიდვის უნარზე არსებით გავლენას ახდენს.

ჩავატარეთ ექსპერიმენტით მიღებულ სიდიდესა და თეორიულ გამოთვლას შორის ექსპერიმენტში გამოყენებული რკინაბეტონის კოჭის „სივრცითი მოდელი“-ის არაწრფივი გაანგარიშება სასრულ ელემენტთა მეთოდით, რომლისთვისაც გამოვიყენეთ ექსპერიმენტით მიღებული  $\sigma$ - $\varepsilon$  დიაგრამა. გამოირკვა, რომ ბზარების განვითარების სურათი ელემენტის რღვევისას შეესაბამება ექსპერიმენტით მიღებულს; კოჭის ჩაღუნვა 13-16%-ით მეტია ექსპერიმენტით მიღებულთან და 15-18% ნაკლებია СНИП-ის მიხედვით თეორიულად გაანგარიშებით მიღებულ სიდიდეებთან.

5. როგორც ექსპერიმენტულმა და კომპიუტერულმა კვლევებმა გვიჩვენა რკინაბეტონის კოჭის დახრილი კვეთის სიმტკიცეზე შემოწმება დამოკიდებულია რამდენიმე ფაქტორზე:
  - I. კოჭის ჭრის მალზე, რომელიც წარმოადგენს ფარდობას ძალის მოდების მანძილის კვეთის მუშა სიმაღლესთან  $a/h_0$ , ასევე დახრილი კვეთის გეგმილზე  $C_0$  მანძილზე;
  - II. საკიდების ფორმაზე (ღია საკიდია თუ დახურული);
  - III. ბეტონსა და არმატურის დეფორმაციულ სიდიდეზე ( $\varepsilon_b$ ,  $\varepsilon_s$ ,  $\sigma_{დენ}$ ).
6. დღეისათვის მოქმედი სამშენებლო ნორმების და წესების მიხედვით (პნ.03.01.07) რკინაბეტონის ელემენტები განივი ძალის მოქმედებისას გაანგარიშდება ფორმულებით, რომელშიაც ემპირიული კოეფიციენტების დიდი რაოდენობა გამოიყენება, რაც გარკვეულ უზუსტობებს იწვევს დახრილი კვეთის სიმტკიცის დადგენისას.
7. მიზანშეწონილად მიგვაჩნია, შეიქმნას რკინაბეტონის დახრილი კვეთების სიმტკიცეზე გაანგარიშების მიახლოებითი მეთოდი, რომელიც დაფუძნებული იქნება ექსპერიმენტულ მონაცემებზე, სადაც გათვალისწინებულია საშენი მასალის ფიზიკურ - მექანიკური მახასიათებლების გავლენა ელემენტის რღვევაზე.

## დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია

### შემდეგ ნაშრომებში

1. ლ. კახიანი, ლ. ბალანჩივაძე, გ. სულავა, ა. ცაკიაშვილი - ნაგებობათა სეისმომდეგობაზე გაანგარიშების სტატიკური მეთოდის გამოყენება, სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“ №2(25), თბილისი 2012, გვ. 137-139.
2. ლ. კახიანი, ლ. ბალანჩივაძე, ა. ცაკიაშვილი - გადამჭრელი ძალების გავლენა სეისმომდეგ მშენებლობაში, სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“ №3(26), თბილისი 2012, გვ. 149-155.
3. ლ. კახიანი, ლ. ბალანჩივაძე, ა. ცაკიაშვილი, გ. სულავა-მონოლითური რკინაბეტონის სართულშორისი გადახურვა კონტურზე დაყრდნობილი ფილებით (მეთოდური მითითებები) - ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი 2012, 44 გვერდი.
4. ა. ცაკიაშვილი, ლ. ბალანჩივაძე - რკინაბეტონის ელემენტების დახრილი კვეთების რღვევის მიზეზების კვლევა გაანგარიშების თანამედროვე მეთოდების გათვალისწინებით, 81 ლია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი 2013.
5. ა. ცაკიაშვილი - რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტის დამაბუდეფორმირებული მდგომარეობის შესწავლა გაანგარიშების მეთოდების სრულყოფისა და ექსპერიმენტული კვლევების შედეგად, სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“ №1(32), თბილისი 2014, გვ. 78-82.

## Abstract

At design of building it is important to consider its durability and reliability that is possible due relevant selection of structural elements geometric dimensions and applied building materials, according to norms. This often would not or will not be performed due the inferiority of the structure analysis method and lack of its behavior real design scheme.

An analysis of theoretical studies and the method of calculating the strength of the inclined reinforce concrete sections needs additional practical studies since it is based on an empirical coefficient and does not reflect the real picture of ability to the supporting structure under flexible influence of forces.

Calculation of reinforced concrete strength by oblique sections which is used in building rules and regulations undergoes constant renewal and change, however, the main approach remains unchanged, flexible moment and forces affecting are considered separately, independently, which casts doubt on the reliability of operation of construction.

Based on this, becomes relevant to refine the technique method of calculating the strength of reinforced concrete oblique sections, which will provide reliable design and also will be easy for designers.

The results of long-term experimental and theoretical research again confirm the above mentioned: has been said on the analysis method of reinforced concrete structures on limit state.

The reinforced concrete bending elements represents the 70% of existing in buildings load-bearing structures that is why their strength and durability will determine the stability of the whole building.

Even in 1988 was published the first results of a long-term study that was presented by A.S. Zalesov, E.N. Kodish, L.L. Emish and I.K. Nikitin, and indeed the results of these studies formed the basis for the concrete and reinforced concrete structures analysis construction norms and rules (SNiP 2.03.84 - Concrete and reinforced concrete structures), there is also the considered the strength analysis of reinforced concrete bending element according to the inclined sections.

**The aim of the dissertation topic includes:** to improve strength analysis method of reinforced concrete bending element inclined section real grounded on experimental data.

Would be defined the cracks origination and propagation picture of a reinforced concrete bending element mode of deformation, will be compared the bending element failure with the classical real picture.

The inclined sections of reinforced concrete bending element's strength analysis are carried out: according to the shear force inter crack inclined compressed strip;

According to the shear force on the inclined section through the crack;

According to the bending moment of the inclined section through the crack.

Accordingly of the construction standards the analysis of compressed and tensile zones according to the inclined crack is carried out independently by separate element. At this to evaluate the compressed zone strength is applied ultimate equilibrium equation of the shear force; ultimate equilibrium equation according to the inclined section bending moment.

Despite the fact that the inclined related to bending element longitudinal axis cracks origination is provided due bending moments and shear forces joint action, angled sections calculated using the bending moments and lateral forces according to the strength independently of each other.

In this chapter is stated reinforced concrete structures analysis Finite Element Method. From analysis is clear that this method that takes into account the existence of cracks, the reinforcement bar behavior in the cracked section and non-elastic deformations in the concrete, gives results which rather match with the reinforced concrete elements behavior general law, when on it jointly acts the bending moment and shear force.

Also is stated another method of analysis that also is based on the ultimate equilibrium and is taking into account inclined section strength by deformed scheme. Depending on the ultimate equilibrium method is considered internal and external ultimate stress equilibrium condition that acts on beam and originates the inclined cracks.

Analysis of experimental data gives grounds to divide into basic four stages work of reinforced concrete element under the influence of forces. First - until the crack, second - appearance and development of normal cracks, third - appearance oblique cracks and its development, forth - destruction.

As determined from the results of research, reinforced concrete element may be destroyed by compressing the concrete or as a result of cut on height critically inclined crack, or stretched zone valves resulting in the destruction caused by resistance fixtures and concrete, or as a consequence of long-term fluctuations of the fixture near oblique crack.

In the fourth chapter is considered the experimental research methodology that was based for solution of raise tasks. Due the preliminary theoretical calculation of was selected rectangular shape reinforced concrete bended element and was carried out its test on bending. Were tested various strength beams. The

experimental test was carried out in Georgian Technical University reinforced concrete structures laboratory.

The bending elements were tested under various loads. The concrete casting and design of beams were carried out due the construction norms.

According of experimentally determined “ $\sigma$ - $\alpha$ ” dependency diagram is created the spatial model of a reinforced concrete beam and was carried out the nonlinear analysis of freely supported on two supports beam by 10-stage iteration step. At nonlinear analysis is applied the Geniev method.

Thus, the carried out strength analysis methods on reinforced concrete inclined sections shows that all proposed method as a whole indicates on a reinforced concrete element works when both are acting the bending moment and shear force: the reduction of element’s carrying capacity at increasing of fracture section span and the increase in carrying capacity at transverse and longitudinal reinforcement. In addition, these analysis methods include the significant difference between calculation of load carrying ability and qualitative results of the calculation.

It's reasonable to create a generalized method for strength analysis of reinforced concrete inclined sections that at elements failure to more accurately take into account the cross-sectional strength and deformability characteristics, when on element at the same time are acting the bending moment and shear force; at the same time the section strength and deformability characteristics would only be determined by experimental research.