

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

გიორგი ნოზაძე

რკინაბეტონის შედგენილი კვეთის კონსტრუქციებში აღძრული  
ძაღვების სტატისტიკური ანალიზი

დოქტორის აკადემიური ხარისხის  
მოსაპოვებლად წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

სადოქტორო პროგრამა : მშენებლობა 0406

თბილისი

2017 წელი

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

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: ასოც. პროფესორი მაია ჭანტურია

რეცენზენტები: პროფესორი ლ.ბალანჩივაძე  
პროფესორი ა.ყუბანიშვილი

დაცვა შედგება 2017 წლის თებერვალში საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი I, აუდიტორია 202 მისამართი: თბილისი 0175, კოსტავას72.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ – ს ბიბლიოთეკაში,  
ხოლო ავტორეფერატისა - სტუ – ს ვებგვერდზე.

სადისერტაციო საბჭოს  
სწავლული მდივანი:

პროფესორი დ.ტაბატაძე

## ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

**თემის აქტუალობა:** უკანასკნელი წლების განმავლობაში მსოფლიოში სამშენებლო ინდუსტრიამ მკვეთრი ნახტომით წაიწაია წინ. რომ არაფერი ვთქვათ აშშ-ზე, აზიის რიგ ქვეყნებში, განსაკუთრებით ჩინეთში და არაბულ სახელმწიფოებში, ძალზედ სწრაფი ტემპით მიმდინარეობს ახალი ქალაქების მშენებლობა, სადაც ძირითადად მაღლივი შენობები შენდება. ამის ძირითადი მიზეზი ტერიტორიების სიმცირე და მოსახლეობის სიჭარბეა. ასეთი ტიპის შენობებში ძირითადად მსუბუქი კონსტრუქციები გამოიყენება. არქიტექტორთა და კონსტრუქტორთა ფანტაზიისა და შრომის შედეგად იქმნება ისეთი ტიპის კონსტრუქციული ელემენტები რომლებშიც ერთობლივად მუშაობენ ბეტონი და ფოლადი, ფოლადი და კომპოზიტი, სხვადასხვა მახასიათებლების მქონე (სხვადასხვა კლასის) ბეტონები და ა.შ. ასეთ პირობებში მნიშვნელოვანია შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების მუშაობის კვლევა როგორც დრეკად, ისე პლასტიკურ სტადიაში. ღუნვაზე მომუშავე ელემენტებში კვეთში აღიძვრებიან სხვადასხვა ნიშნიანი ძაბვები - კვეთის ნაწილი იკუმშება, ნაწილი იჭიმება. ასეთ პირობებში სასურველია და აუცილებელიცაა კვეთი შევადგინოთ ისეთი მასალებისგან, რომლებიც უკეთ მუშაობენ კუმშვაზე ან გაჭიმვაზე და დამუშავებულ იქნას ასეთი ტიპის კონსტრუქციების გაანგარიშების მეთოდით.

**დისერტაციის მიზანს შეადგენს:** კონსტრუქციების საიმეოობაზე გაანგარიშების საფუძვლების დამუშავება და ამის მიხედვით კომბინირებულ და შედგენილი კვეთის კონსტრუქციებში ხანგრძლივი დეორმაციების განვითარების შედეგად აღძრულ ძალვათა შესაძლო გადახრათა განაწილების კანონის დადგენა და იმის გარკვევა თუ რა სიხშირითაა მოსალოდნელი საშიში ძალვების წარმოქმნა. შედგენილი კვეთის კონსტრუქციებში ხანგრძლივი დეფორმაციების განვითარების შედეგად აღძრული ძაბვების და ძალვების გაანგარიშების მეთოდით მოკრძალებული კორექტივების შეტანა. შედგენილი კვეთის კონსტრუქციული ელემენტების როგორც თეორიული, ისე პრაქტიკული ექსპერიმენტული კვლევა და მიღებული შედეგების განზოგადება.

**მეცნიერული სიახლე:** სადისერტაციო ნაშრომში დამუშავებული მეთოდითაა საშუალებას მოგვცემს გავიანგარიშოთ ნებისმიერი შედგენილი კვეთის

კონსტრუქცია, რომელშიც ერთობლივი მუშაობისთვის გაერთიანებული იქნებიან რკინაბეტონი და ლითონი, რკინაბეტონი და რომელიმე მსუბუქი კომპოზიტი, კომპოზიტი და წებო ( ამ ტიპის შედგენილ კვეთებს იყენებენ ტრანსფორმირებად კონსტრუქციებში). შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების გაანგარიშების ეს მეთოდიკა საშუალებას მოგვცემს თამამად გამოვიყენოთ მაღლივ შენობებში შემსუბუქებული კონსტრუქციები.

ასეთი შედეგი, რასაკვირველია აისახება მშენებლობის თვითღირებულებაზე და მოგებაში დარჩება, როგორც ინვესტორი, ასევე ჩვენი მოსახლეობაც.

**მიღებული შედეგების პრაქტიკული ღირებულება:** სადისერტაციო ნაშრომში ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები გვაძლევს იმის საფუძველს, რომ დავასკვნათ: მოცემული მეთოდიკის დანერგვა და პრაქტიკული განხორციელება მნიშვნელოვნად შეამცირებს მშენებლობის თვითღირებულებას და საგრძნობლად შეამსუბუქებს შენობა-ნაგებობას. ამასთანავე, ცნობილია, რომ მოცემული მეთოდიკა იძლევა შედგენილი კვეთის კონსტრუქციულ ელემენტებში გამოყენებული მასალების დეფორმაციული თუ სიმტკიცის შესაძლებლობების ოპტიმალური გამოყენების საშუალებას. ასევე დისერტაციაში დამუშავებული მეთოდიკა მნიშვნელოვნად ამარტივებს ასეთი ტიპის კვეთების გაანგარიშებას, რადგან რთული განივკვეთის გაანგარიშება დაჰყავს რედუცირებული კვეთის გაანგარიშებაზე.

**ნაშრომის აპრობაცია და გამოქვეყნებული პუბლიკაციები:** მასლების მიხედვით გამოქვეყნებულია 3 სამეცნიერო სტატია:

1. გ. ნოზაძე, მ. ჭანტურია. სტატიკურად ცვლადი საანგარიშო სქემის კონსტრუქციების საიმედოობაზე გაანგარიშების საფუძველები. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი "მშენებლობა", თბილისი, # 4 (23) 2011 (გვ. 39-42).

2. გ. ნოზაძე, მ. ჭანტურია. ღუნვაზე მომუშავე შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების ხანგრძლივ დეფორმაციებზე გაანგარიშება. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი "მშენებლობა", თბილისი, # 4 (39) 2015 (გვ. 87-89).

3. გ. ნოზაძე. ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე შედგენილი კვეთის კოჭის ექსპერიმენტული კვლევა. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი "მშენებლობა",თბილისი, # 3 (42) 2016 (გვ.136-139).

დისერტაციის ძირითადი შედეგები მოხსენებულ იქნა:

სტუდენტთა 84-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კომფერენციაზე (გვ. 21.) 2016 წელს (თეზისები გვ. 21). „შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების ხანგრძლივ დეფორმაციებზე გაანგარიშება“.

სამუშაოს მოცულობა და სტრუქტურა: სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, 2 თავის,10 ქვეთავის, დასკვნის და გამოყენებული ლიტერატურის 18 დასახელების და დანართებისაგან. ტექსტის საერთო მოცულობაა 103 გვერდია.

## ნაშრომის შინაარსი

პირველი თავი ეხება რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშება ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის გათვალისწინებით.

ცოცვადობის დეფორმაცია წარმოადგენს პლასტიკური დეფორმაციის ერთ-ერთ სახეს. ის ვითარდება დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედებისას. ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარება განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია კომბინირებულ კონსტრუქციებში, კონსტრუქციებში, რომლებიც მონტაჟის მომენტში მუშაობენ სხვა სტატიკური სქემით, ხოლო ექსპლუატაციის მომენტში – სხვა სტატიკური სქემით.

რკინაბეტონის სტატიკურად ურკვევ კონსტრუქციებში, განსაკუთრებით უნივერსალური ტექნოლოგიით აგებულ კონსტრუქციებში და შედგენილი კვეთის კონსტრუქციებში, მნიშვნელოვანია ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარების შედეგად აღძრული ძალები და ძაბვები. ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის მახასიათებელი სიდიდე წარმოადგენს ექსპერიმენტულად დადგენილ სიდიდეს, რომელსაც გააჩნია შესაძლო გადახრები. გადახრები შესაძლოა იმდენად დიდი იყოს, რომ გამოიწვიოს კონსტრუქციის მდგრადობის დაკარგვა.

რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების მეთოდების დამუშავებაში, ბეტონის ცოცვადობის გათვალისწინებით, ცნობილ მეცნიერთა ნაშრომების ანალიზმა განაპირობა სათანადო მეთოდის შექმნა, სადაც გათვალისწინებულია ცოცვადობის დეფორმაციის სავარაუდო ბუნება და კონსტრუქციაში ამ დეფორმაციებით წარმოქმნილი დამაბული მდგომარეობები. ქვემოთ განხილულია ამ სფეროს ძირითადი შრომები.

რკინაბეტონის სტატიკურად ურკვევი კონსტრუქციების გაანგარიშება ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციების გათვალისწინებით გაშუქებულია ი.დ. ლივშიცის მრავალრიცხოვან ნაშრომებში.

ი.დ. ლივშიცის მიხედვით, ბეტონის ცოცვადობის გავლენა არსებითად საყურადრებოა ასაწყობ-მონოლითური კონსტრუქციებისთვის. მონოლითური ბეტონის დამაბული მდგომარეობა, მათში ბზარების გაჩენის ხასიათი, შეიძლება გამოვლინდეს მათში მოქმედი ხანგრძლივი ფაქტორების გათვალისწინებით. ამ ფაქტორების გაანგარიშება უნდა ეყრდნობოდეს კონსტრუქციების მუშაობას

სხვადასხვა სტადიის განხილვას (დროებით საყრდენზე განივი ელემენტების განთავსება, განივი ჭრილების გაერთიანება და დროებითი საყრდენების მოშორება, მონოლითური ბეტონის ჩამოსხმა, მუდმივი დატვირთვის მეორე ნაწილის ჩამოსხმა და სხვა.) აქედან გამომდინარე, ავტორი გვთავაზობს მეთოდუკას, რომელიც ეყრდნობა დაძველების მოდიფიცირებული თეორიის გამოყენებას.

ა.ბ. გოლიშევის მიერ დამუშავებულია სტატიკურად ურკვევი კონსტრუქციების გაანგარიშების სხვადასხვა მეთოდები ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის გათვალისწინებით.

წარმოდგენილი გადაწყვეტა მისაღები ფორმით საშუალებას იძლევა გათვალისწინებულ იქნეს ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციების ცვლილება ბეტონის დაძველების გავლენის გათვალისწინებით სტატიკურად ურკვევ რკინაბეტონის კონსტრუქციები. კონკრეტული მაგალითის სახით მოყვანილია გადახურვის კოჭები.

ი.ზ. აკტიუგანოვი ნაშრომში განსაზღვრავს ხანგრძლივ დეფორმაციებს სტატიკურად რკვევად რკინაბეტონის კონსტრუქციებში თავისუფლად არმირებული ელემენტებით. ბეტონის დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა დაკავშირებულია ვოლტერის მეორე რიგის ინტეგრალურ განტოლებებთან, ხოლო არმატურისა – ჰუკის კანონთან. ამოცანა ამოიხსნება საერთო სახით: განტოლების ცენტრში და მის მარჯვენა ნაწილში დაიდება ერთადერთი შეზღუდვა – ისინი ეკუთვნის  $L_2$  კლასს.

ვ.ა. ზედგენიძემ ჩაატარა ექსპერიმენტალური გამოკვლევები ღუნვადი რკინაბეტონის კოჭებზე, წინასწარ დამაბული არმატურებით, ხანგრძლივი დატვირთვის პირობებში.

სტატიკურად ურკვევ რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების ამოცანა ა.ა. ზევიანის ნაშრომში ამოიხსნება ინტეგრალურ-ოპერატორული მიდგომით. ძალის მეთოდის ინტეგრალური განტოლების სისტემა დგება ზოგიერთი ხაზობრივი სისტემის ალგებრული განტოლების შესაბამისად, რომლის კოეფიციენტები დამოკიდებული არიან პარამეტრებზე. დამტკიცებულია, რომ პრინციპული გადაწყვეტილება ცოცვადობის გათვალისწინებით შეიძლება მივიღოთ პარამეტრის მემკვიდრეობითი ოპერატორის შეცვლით ალგებრულ განტოლებში.

განვითარებულია ვოლტერის ოპერატორის ფუნქციის აპროქსიმაციის მეთოდი, რომლებიც მოხერხებულია კომპიუტერების რეალიზაციისათვის. მეთოდის სიზუსტე ილუსტრირდება მაგალითით.

ა.ს. სააკიანს სტატიაში მოჰყავს ექსპერიმენტალურ-თეორიული გამოკვლევების შედეგები რკინაბეტონის მოდელების ცოცვადობაზე, მრავალსართულიან ნაგებობებში ჰორიზონტალური დატვირთვების დროს. ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის ექსპერიმენტული მრუდები საკმაოდ კარგად აპროქსიმირდებიან დრეკად-მცოცავი ტანის თეორიებით. დადგენილია, რომ ბეტონის ცოცვადობა დიდ გავლენას ახდებს დამაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობაზე, ჩალუნვებზე, ბზარების ჩამოყალიბებაზე და გახსნაზე, ასევე შესაერთებელი ელემენტების დაბოლოებათა ურთიერთ განლაგებაზე.

ასაწყობი რკინაბეტონის კონსტრუქციებში დამაბულობის განსაზღვრისათვის სტატიკურად ურკვევ კონსტრუქციებში ბეტონის ცოცვადობის გათვალისწინებით ვ.ვ. სიზონოვმა საფუძვლად მიიღო ერთგვაროვანი დრეკად-ცოცვადი სისტემების ხაზობრივი ერთგვაროვნების გაანგარიშების თეორია. ის იძლევა მიახლოებით ჩაკეტულ გადაწყვეტილებას ამ თეორიის ძირითად ინტეგრალურ განტოლების ამოხსნაზე.

ამავე თემებს მიუძღვნეს თავიანთი შრომები ცნობილმა ბულგარელმა მეცნიერებმა დ.ნ. პატროვმა და ვ.გ. ჩერნიგოროვმა.

მასლოვ-არუთინიანის დრეკად-მცოცავი სხეულის ხაზობრივი თეორიის საფუძველზე ამოცანა სტატიკურად რკვევად ხიდზე, რომელიც შეერთებულია ბეტონის ფილებით, დაყვანილია ვოლტერის მეორე რიგის ინტეგრალურ განტოლებამდე. ეს განტოლებები გადაწყვეტილია კვადრატულ განტოლებათა სისტემის ჩანაცვლებით.

ასეთ ცვლილებებს საფუძვლად უდევს ინტეგრალური ოპერატორების ჩართვა კვადრატულ განტოლებებში.

ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის გათვალისწინებით სტატიკურად კვლევად შედგენილი კოჭებში ძალთა გადანაწილების ამოცანის გადასაწყვეტად გამოყვანილია ვოლტერის მეორე რიგის ინტეგრალური განტოლებები. მოწოდებულია მათი გადაწყვეტის რიცხვითი მეთოდები, რომელიც დიდი სიზუსტით გამოირჩევა.



მეთოდის საიმედოობა გამოცდილია კონკრეტულ მაგალითზე.

გადმოცემულია ბეტონის ცოცვადობის თეორიები. ბეტონი წარმოადგენს დრეკად-პლასტიკურ-ბლანტ მასალას. ხანგრძლივი დატვირთვის შედეგად პლასტიკური დეფორმაციები განპირობებულია მისი ცოცვადობით, რომელიც არსებით გავლენას ახდენს მის სიმტკიცეზე და კონსტრუქციის და ნაგებობის მდგრადობაზე. ამ მოვლენის ფიზიკური არსის შესწავლას ეძღვნება ისეთი დიდი სპეციალისტების შრომები, როგორებიც არიან: ფრეისინე, ა.ე. შეიკინი, ი.ი ულიცკი, რ. ლორმანი, გ.დ. ვიშნევსკი, გ. რიუში, ს.ვ. ალექსანდროვსკი, კ.ს. კარაპეტიანი, ვ.ვ. მიხაილოვი, ზ.ნ. წილოსანი, რ. დევისი, ვიტმანი, ა. ნევილი და სხვები. ამ შრომებში განიმარტებიან ცოცვადობის თვისებების კანონები ცალკეული მხარეები, მაგრამ ისინი მთლიანად ვერ ხსნიან ამ მოვლენის არსს. ბეტონის ცოცვადობის გავლენის აღწერა ბეტონის და რკინაბეტონის დამაბუღ-დეფორმირებულ მდგომარეობაზე გამოიყენება შემდეგი წრფივი თეორიები: **დრეკადობის მემკვიდრეობის თეორია** (ბლანტ-დრეკადი სხეული თეორია), **დაბველების თეორიის მოდიფიცირებული ვარიანტი** (ბლანტი-დრეკადი ტანის გამარტივებული თეორია) და **დაბველების მემკვიდრეობითობის თეორია** (ბლანტი-დრეკადი ტანის თეორია).

მემკვიდრეობით-დრეკადობის თეორიას საფუძვლად უდევს შემდეგი ძირითადი წინაპირობები:

1. ბეტონი განიხილება როგორც ერთგვაროვანი იზოტრიპული მასალა;
2. მყისიერ დეფორმაციას და დამაბუღობას შორის არსებობს პირდაპირი დამოკიდებულება;
3. ცოცვადობის დეფორმაციას და დამაბუღობებს შორისაც არსებობს წრფივი დამოკიდებულება;
4. დასაშვებია, რომ ცოცვადი დეფორმაციისთვის მოქმედებს დამატების პრინციპი: ჯამური დეფორმაცია ცვლადი დატვირთვის დროს შეიძლება მოიძებნოს როგორც ცოცვადობის დეფორმაციების ჯამის სახით, რომელიც მიიღება დამაბუღობის დამატებით.

ამ დროს თვლიან, რომ ცოცვადობის დეფორმაცია, რომელიც გამოწვეულია დამაბუღობის დამატებით, დამოკიდებულია ამ უკანასკნელის სიდიდეზე და ხანგრძლივობაზე.

დრეკადი მემკვიდრეობითობის თეორიის ძირითადი განტოლება შეიძლება ასე ჩაიწეროს:

$$\epsilon_t = \frac{\sigma(t)}{E} - \frac{1}{E} \int_0^t K(t-\tau) \sigma(\tau) d\tau \quad (1.1)$$

სადაც  $t$  - დროის მომენტი, რომლისთვისაც განისაზღვრება დეფორმაცია;

$\tau$  - დათვირთვის მიღების დროის მომენტი;

$K(t-\tau)$  - თავისუფალი ფუნქციაა, რომელიც დამოკიდებულია ორი არგუმენტის  $\tau$  და  $t$ -ს სხვაობაზე.

მემკვიდრეობის პრინციპი პირველად აღწერა ბოლცმანმა, ხოლო დრეკადი მემკვიდრეობითობის თეორია შექმნა და განავითარა ფოლტერმა.

დამველების თეორიის თანახმად დამოკიდებულება დამაბულობებსა და დეფორმაციებს შორის, როცა  $E = const$ , შემდეგი ძირითადი ფორმულით გამოიხატება:

$$\epsilon_n(t) = \frac{\sigma_0}{1+\varphi_1} + \int_0^t \frac{1}{E} \delta(1, \tau) d\tau \quad (1.3)$$

სადაც  $\varphi = \frac{\epsilon_n(t)}{\epsilon_0}$  - დახასიათებაა, ხოლო  $\epsilon_n(t)$  - ცოცვადობის დეფორმაცია;

$\epsilon_0$  - დრეკად-მომენტალური დეფორმაციის მნიშვნელობა დატვირთვის დაწყების მომენტისთვის

$$\delta(t, \tau) = \frac{1}{E} + \frac{1}{E} (\varphi_1 - \varphi_2) \quad (1.4)$$

დიშინგერის მიხედვით  $\varphi_1$  - სიდიდისათვის მიიღება დროის ცვალებადობის ექსპერიმენტალური კანონი

$$\varphi_1 = \varphi_R (1 - e^{-\beta t}) \quad (1.5)$$

სადაც  $\varphi_R$  - ცვალებადობის უკანასკნელი (ბოლო) მახასიათებელია, ანუ სიდიდე  $t \rightarrow \infty$  -ის დროის;

მემკვიდრეობითი დამველების თეორიაში გათვალისწინებულია როგორც დამველების მოვლენა, ასევე დრეკადი მემკვიდრეობაც. ეს თეორია წარმოადგინეს და დაამუშავეს გ.ნ. მასლოვმა, ნ.ხ. არუთინიანმა და ა.ა. გვოზდევმა და შემგომში განავითარეს ი.ე. პროკოპოვიჩმა, ს.ვ. ალექსანდროვსკიმ, პ.ი. ვისილიევმა, ნ.ი. პანარინმა, ვ.მ. ბონდარენკომ, ა.პ. კუდზისმა, ა.ა. ზევინმა, ა.ი. ფილიპოვმა და სხვა მეცნიერებმა.

დეფორმაციებს და დაძაბულობებს შორის ძირითადი დამოკიდებულება ასე ჩაიწერება:

$$\varepsilon(t) = \sigma(\tau_1)\delta(t, \tau) + \int_{\tau_1}^1 \frac{\partial \sigma(\tau)}{\partial \tau} \delta(t, \tau) d\tau$$

განხილულია ბეტონის ცოცვადობის ალბათური ბუნება. რკინაბეტონის კონსტრუქციების პროექტირებისათვის და მშენებლობისათვის საჭიროა ბეტონის ხანგრძლივი დეფორმაციების მნიშვნელობათა ნორმირება მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტულ მონაცემთა სტატისტიკური დამუშავების შესაბამისად.

ი.ვ. პროკოპოვის, ო.ი. ბლოხის და მ.ნ. ზასტავას შრომებში მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდით უფრო საიმედოდაა დასაბუთებული აუცილებელი საანგარიშო მახასიათებლები და მოცემულია მათგან სავარაუდო გადახრათა მაქსიმუმები.

ცოცვადობის დეფორმაციებთან ალბათური მიდგომები მოცემულია ასევე ზ. ბაზონტის, უ. ჯორდანის, რ. ვესტლუნდის, ე. ცინლერის, ე.ბ. შერბაკოვის, ლ.ნ. მაკარენკოს და ნ.მ. ბიტკოს, მ. ჭანტურიას და სხვათა შრომებში.

ე.ნ. შერბაკოვის შრომებში მოცემულია ბეტონის მექანიკური მახასიათებლების პროგნოზირების მეთოდები, მათ შორის მისი ცოცვადობის (მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტალური მონაცემების სტატისტიკური გადამუშავების საფუძველზე).

ნაგებობის მდგრადობის საკითხები ყოველთვის იყო მშენებლობის ერთერთი მნიშვნელოვანი პრობლემა. ახალი კონსტრუქციული ფორმების შექმნა, ახალი მასალების დანერგვა, გაანგარიშებისა და პროექტირების მეთოდების დახვეწა მუდამ მიმართულია ნაგებობის საექსპლოატაციო მახასიათებლის გაუმჯობესებისაკენ, მისი საიმედოობისა და ხანმედეგობის ამაღლებისაკენ, ადამიანის უსაფრთხოების უზრუნველყოფისაკენ ნაგებობის ექსპლოატაციის ყველა სტადიაზე.

თუ გადავავლებთ თვალს ნაგებობების დაპროექტებისა და გაანგარიშების მეთოდების განვითარების ისტორიას, ვნახავთ, რომ ჯერ ყურადღება ექცეოდა კონსტრუქციების სიმტკიცის უზრუნველყოფის საკითხებს და მხოლოდ მოგვიანებით დადგა დღის წესრიგში მათი მდგრადობის პრობლემა, რაც დაკავშირებული იყო მასიური კონსტრუქციების სისტემურ ჩანაცვლებასთან მცირე განივკვეთის მქონე კონსტრუქციებით.

ამ პრობლემის გადაწყვეტაში დიდი წვლილი აქვს შეტანილი ლეონარდ ვილერს, რომელმაც დაამუშავა შეკუმშული ღეროს მდგრადობის თეორია და დაადგინა კრიტიკული ძალის მნიშვნელობა, რომელიც ელემენტის მდგრადობის ერთერთ მთავარ კრიტერიუმად ჩამოაყალიბა.

ახალი მასალების (ფოლადი, რკინაბეტონი) დანერგვამ მშენებლობის პრაქტიკაში შესაძლებელი გახადა დიდძალიანი კონსტრუქციების შექმნა. ეს განსაკუთრებით აშკარად დაეტყო ხიდების მშენებლობის მსოფლიო პრაქტიკას. მე-19 საუკუნის ბოლოსა და მე-20 საუკუნის დასაწყისში აიგო ისეთი ცნობილი გრანდიოზული ხდები როგორცაა ფორტის ხიდი შოტლანდიაში, ხიდი ვეროცანონეროუზი აშშ-ში, კვებეკის ხიდი კანადაში და მრავალი სხვა /1/. ამ ობიექტების მშენებლობის პროცესში გამოიკვეთა კონსტრუქციების მდგრადობის მნიშვნელობა ნაგებობის სიმტკიცისა და საექსპლოატაციო საფრთხოების უზრუნველყოფისათვის.

დიდი ძალების მქონე ხიდების სიგრძემ, არახელსაყრელმა დინამიკურმა მახასიათებლებმა (დაბალი სიხშირეები და რხევების მილევის დეკრემენტის მცირე მნიშვნელობა), სიხისტის კოჭის განივკვეთის არახელსაყრელმა ფორმებმა საჭირო გახადა საინჟინრო ნაგებობების დაპროექტების ტრადიციული მეთოდების გადასინჯვა და წინა პლანზე წამოსწია საკითხები, რომლებსაც ადრე ნაკლები ყურადღება ექცეოდა.

საერთოდ ამ ტიპის ხიდებისათვის დატვირთვის ძირითად სახეს საკუთარ წონასთან (სტატიკა) ერთად წარმოადგენს დროებითი დინამიკური დატვირთვები: მოძრავი ტრანსპორტისა, ქარისა და სეისმური.

მოძრავი დატვირთვის ნაგებობაზე დინამიკური გავლენის გათვალისწინება ხდება სტატიკური დატვირთვის პირობითი ზრდით ე.წ. დინამიკურობის კოეფიციენტით, რომლის მნიშვნელობა დგინდება ექსპერიმენტული მონაცემების, ძირითადად ხიდების გამოცდით მიღებული სიდიდეების, სტატისტიკური დამუშავებით.

მსგავსი მიდგომით ხასიათდება ნაგებობის გაანგარიშება სეისმურ დატვირთვაზეც - სეისმური ძალების დინამიკური ზემოქმედება შეცვლილია კვაზისტატიკური ზემოქმედებით, თუმცა ბოლო პერიოდში აქტიურად იყენებენ ნაგებობების გაანგარიშების მეთოდს რეალური სეისმოგრამების გამოყენებით.

ჩვეულებრივი ნაგებობებისათვის ქარის დატვირთვა მეორეხარისხოვან როლს

თამაშობს. ამიტომ ქარის გავლენას კონსტრუქციის სიმტკიცესა და საიმედოობაზე დიდი ყურადღება არ ექცეოდა. მხოლოდ 1940 წელს ამერიკის შეერთებულ შტატებში ტაკომას ხიდის ცნობილი ავარიის შემდეგ მიექცა სათანადო ყურადღება ხიდების და საზოგადოდ მოქნილი სისტემების მდგრადობისა და სიმტკიცის საკითხებს ქარის დატვირთვისთან მიმართებაში /2/.

ეს ხიდი, მთავარი მალით 854 მ, კარგად ეწინააღმდეგებოდა ძლიერი ქარის ზემოქმედებას, მაგრამ მეტად მგრძობიარე აღმოჩნდა შედარებით სუსტი ქარების მიმართ, რითაც თავიდანვე მიიქცია მკვლევარების ყურადღება. ხიდის მალის ნაშენის H-ებრი კვეთის ნ.ბაუერსის მიერ ჩატარებულმა კვლევამ აეროდინამიურ მილში აჩვენა კონსტრუქციის დაბალი აეროდინამიკური მდგომარეობა. ამის გამო დაიწყო სათანადო ღონისძიებების შემუშავება ხიდის მდგომარეობის ასამაღლებლად, მაგრამ ბუნებამ არ დააცადა მკვლევარებს საქმის ბოლომდე მიყვანა, ხიდი დაინგრა და ამას მოჰყვა ავარიის მიზეზების ინტენსიური კვლევა, რაც გადაიზარდა მოქნილი სისტემების დამაკმაყოფილებელი ფიზიკური მოდელის ძიებაში და შესაბამისი მათემატიკური თეორიების შექმნაში ამ სახის სისტემების ქარის ნაკადით გარშემოძინების აღწერისათვის.

კიდული და ვანტური ხიდების, ზოგადად მოქნილი სისტემების კვლევის დარგში დღეს წამყვანი პოზიციები უჭირავთ ისეთ საკვლევ-სამეცნიერო ცენტრებს როგორებიცაა ნაციონალური ფიზიკური ლაბორატორია ტედინგტონში (დიდი ბრიტანეთი), ვაშინგტონის უნივერსიტეტის საკვლევ-სამეცნიერო ლაბორატორია (აშშ), ტოკიოს უნივერსიტეტი (იაპონია), შტუტგარტის უნივერსიტეტი (გერმანია), ლონდონის ლაბორატორია (კანადა). ამ სამეცნიერო ცენტრებში აეროდინამიკის პრობლემებზე მუშაობდნენ რ.ფრეზერი, კ.სკრუტონი, ფ.ფარკუასონი, დ.შტაინმანი, ა.ხირაი, ფ.ლეონგარტი, კ.კაპელი, ა. დევენპორტი და სხვანი.

დღეს ნაგებობების მდგრადობის კვლევისას და განსაკუთრებით მათი დაპროექტებისას ფართოდ გამოიყენება გაანგარიშების რიცხვითი მეთოდები, რაც შესაძლებელი გახდა კომპიუტერული ტექნიკის განვითარების საფუძველზე. ამასთან ერთად, ნაგებობის და მისი ცალკეული კონსტრუქციული ელემენტების მუშაობის ცხადი ადეკვატური სურათის მისაღებად, რაც განსაკუთრებით აქტუალურია ახალი კონსტრუქციების დამუშავებისა და შექმნის პროცესში, დიდ მნიშვნელობას ინარ-

ჩუნებს გაანგარიშების ანალიზური მეთოდების განვითარება.

დინამიკური გამოცდებისას განისაზღვრება რხევების სიხშირეები, ამპლიტუდები და მილევის ლოგარითმული დეკრემენტი. ჰაერის ნაკადის სიჩქარეს ზრდიან მოცემულ რეჟიმში კატასტროფული შედეგების დადგომამდე, ანუ ამა თუ იმ პარამეტრისთვის საზღვრავენ ქარის კრიტიკულ სიჩქარეს.

ვანტური სისტემის ხიდები უძველესი დროიდან გამოიყენება. ჩინეთში, სამხრეთ და ცენტრალურ აფრიკაში, კავკასიაში ამ ტიპის ხიდების მშენებლობის უძველესი ტრადიციები არსებობს. კიდული და ვანტური სისტემები, სადაც მზიდ ელემენტად ჯაჭვები გამოიყენებოდა, ფართოდ იყო გავრცელებული შუა საუკუნეების ევროპის საფორტიფიკაციო არქიტექტურაში.

თანამედროვე ტიპის ვანტური სისტემების განვითარება დაკავშირებულია მავთულიანი ბაგირების წარმოების მასიურ ხასიათთან, რაც შესაძლებელი გახდა ფოლადის მეტალურგიის განვითარებასთან ერთად. მე-19 ს-ის პირველ ნახევარში და განსაკუთრებით მე-19 - მე-20 სს-ის მიჯნაზე ევროპასა და ამერიკაში აიგო მრავალი ინჟინრული და არქიტექტურული თვალსაზრისით შესანიშნავი ვანტური სისტემის ხიდი. ამ სისტემის ხიდების განვითარებაში მნიშვნელოვანია ჟისკლიარისა და ლაინეკუგელ ლე კოკის წვლილი, რომლებმაც შექმნეს ვანტური ხიდების თანამედროვე სისტემები და მათი გაანგარიშების საფუძვლები. საქართველოში თანამედროვე სისტემის ვანტური ხიდია (სიხისტის კოჭის გარეშე) პროფ. ე.კრილ-ცოვის პროექტით 1928 წელს აშენებული ცნობილი ხიდი მდ. მაგანაზე (ნახ. 1.2).

ვანტური ხიდების მშენებლობის თანამედროვე პრაქტიკაში აღინიშნება შემდეგი ტენდენციები:

– იზრდება ხიდების მთავარი მალეების სიგრძე: ლითონის ხიდებისთვის 500 მ-მდე და რკინაბეტონის ხიდებისთვის 350-მდე;

– მცირდება სიხისტის კოჭების ფარდობითი სიმაღლე: ლითონის ხიდებისთვის  $l$ : 125-მდე და რკინაბეტონის ხიდებისთვის  $l$ : 500- მდე;

– სიხისტის კოჭების განივკვეთს აქვს ძირითადად აეროდინამიკური მოხაზულობა ჩაკეტილი კოლოფისებური კვეთის ან მალის ნაშენი განივი კვეთის ნაპირებში განლაგებული კოლოფისებრი კონსტრუქციების სახით;

– თანმიმდევრულად მცირდება პანელების ფარდობითი სიგრძე ვანტების

რაოდენობის ზრდასთან ერთად, რაც დაკავშირებულია სიხისტის კოჭში მღუნავი მომენტების შემცირებისკენ სწრაფვასთან;

– აშკარად არის გამოხატული მისწრაფება ნაგებობის მასალატევადობის შემცირებისკენ, რაც იძლევა ხიდის ძალის მნიშვნელოვანი ზრდის საშუალებას.

**მეორე თავში** გადმოცემულია შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების გაანგარიშების მეთოდოლოგია და ამ მეთოდოლოგიის საფუძველზე გაანგარიშებულია ხიდის სავალი ნაწილის სიხისტის კოჭი დაძველების თეორიის და დაძველების მოდიფიცირებული თეორიის საფუძველზე. ასევე გადმოცემულია ჩატარებული ექსპერიმენტის შედეგები.

შედგენილი კვეთის რკინაბეტონის კონსტრუქციებში ცოცვადობის დეფორმაციისგან აღძრული ძალები იმდენად მნიშვნელოვანია რკინა-ბეტონის კონსტრუქციების საინჟინრო გაანგარიშებებში, რომ შესაძლო გადახრების საზღვრების დადგენა წარმოადგენს ერთერთ მნიშვნელოვან ამოცანას.

ჩვენი მიზანია, განვსაზღვროთ ბეტონის დრეკადობის მოდულის, ცოცვადობის დეფორმაციის ზომის და შედგენილ კვეთებში აღძრულ ძალვათა გადახრის საზღვრები. ძალვათა სიდიდეები წარმოადგენენ შემთხვევით სიდიდეებს. განხილულია შედგენილი კვეთის ორმალიანი უჭრი კოჭი, რომლის სტატისკური სქემა იცვლება მოქმედი დატვირთვების მოდების შემდეგ. როგორც ზემოთ ავღნიშნეთ, მთავარ ფაქტორს წარმოადგენს ბეტონის ცოცვადობისგან გამოწვეული ძაბვათა რელაქსაცია.

უჭრი კონსტრუქცია იგება შემდეგი თანმიმდევრობით: წინასწარ დამზადებული კოჭები იდება (საფუძველზე) საყრდენზე (ნახ.10) რის შემდეგაც პირაპირებს შორის არე A მონოლითდება ბეტონით. კონსტრუქციის განსაკუთრებულობა მდგომარეობს იმაში, რომ ხანგრძლივად მოქმედი დატვირთვა – კოჭის საკუთარი წონა – მოდებულია სხვა სტატისკურ სქემაზე – ჭრად სქემაზე, ხოლო ცოცვადობის დეფორმაციები ვითარდებიან სხვა უჭრ სქემაზე, ასევე მნიშვნელოვანია ის, რომ კონსტრუქციის ელემენტები შედგენილი კვეთისაა.

ასეთ შემთხვევაში ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარების შედეგად აღძრული მღუნავი მომენტი განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$M_{Mc} = M_{dr} (1 - e^{-\psi^n})$$

სადაც  $M_{Mc}$  - საყრდენი მომენტი, რომელიც ცოცვადობის დეფორმაციისგან ვითარდება.  $M_{dr}$  – მომენტის სიდიდე, რომელიც აღიძვრებოდა უჭრ კონსტრუქციაში, თუ ხანგრძლივ დატვირთვას მოვდებდით უჭრ კონსტრუქციაზე, ე.ი. იმ სისტემაზე რომელშიც აღიძვრება ცოცვადობის დეფორმაციები.  $\varphi_n$  ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის ზღვრული მახასიათებელია.

შედგენილ კვეთებში ძაბვათა განსაზღვრისას ცოცვადობის გათვალისწინებით, უნდა გავიანგარიშოთ ეს სიდიდე ყველა მდგენელი ერთგვაროვანი ელემენტისათვის დროის ნებისმიერ მომენტში.

ნაშრომში განხილულია ძაბვათა უშუალო გამოთვლის მეთოდი ცოცვადობის დეფორმაციების განვითარების გათვალისწინებით. მოცემულია რკინაბეტონის კოჭი, რომელიც ერთობლივად მუშაობს ბეტონის ფილასთან.

$\varphi_m$  თვითონ წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეს, რომელსაც გააჩნია შესაძლო შემთხვევითი გადახრები, რომლებიც გაუსის განაწილების კანონს ემორჩილებიან. აქედან გამომდინარე, ყველა  $\varphi_m$ -ზე დამოკიდებული სიდიდე წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეს.

სტატისტიკური მონაცემების საფუძველზე იგება ალბათური (თეორიული) განაწილების კანონი  $k_x$ -ის შესაძლო გადახრებისათვის, რომელსაც მოცემული შემთხვევისათვის აქვს ნორმალური განაწილების სახე:

$$f_k = \left( \frac{0.23}{0.55\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(k_x - 2.36)^2}{2} \cdot 0.55^2\right) \right)$$

სტატისტიკური განაწილების რიგისთვის ნორმალური კანონის შესაბამისობა შემოწმდა კოლმოგოროვის შესაბამისობის კრიტერიუმით. ცხადია,  $k_x$ -ის შესაძლო გადახრები გამოიწვევს კვეთში აღძრულ ძაბვათა სიდიდეების ცვლილებას, რისი გამოკვლევაც მეტად მნიშვნელოვანია საბოლოოდ კონსტრუქციის საიმედო მუშაობისათვის.

ბზარების გაჩენის გარეშე დრეკად სტადიაში მომუშავე ბეტონის კვეთებში ნორმალური ძაბვები განისაზღვრება შიდა ძაღვებზე დამოკიდებულებით:

$$\sigma = N/A \pm M_y/I \quad (1)$$

კვეთების გეომეტრიულ მახასიათებლებს იღებენ იმაზე დამოკიდებულებით,



თუ როგორი კვეთი განიცილის  $N$  – ნორმალური ძალის და  $M_y$  - მღუნავი მომენტის ზემოქმედებას. თუ ნორმალური ძალა და მღუნავი მომენტი მოდებულია უარმატურო ბეტონის კვეთზე, მაშინ  $A = A_b$  და  $I = I_b$ , სადაც  $A_b$  და  $I_b$  - ბეტონის განიკვეთის ფართობი და ინერციის მომენტი. თუ ამ კვეთში გვაქვს სხვადასხვა დრეკადობის მახასიათებლის მქონე ბეტონის კვეთები, გაერთიანებულნი ერთობლივი მუშაობისათვის, მაშინ  $A = A_r$  და  $I = I_r$ , სადაც  $A_r$  და  $I_r$  - დაყვანილია (რედუცირებული) კვეთის ფართობი და ინერციის მომენტი.

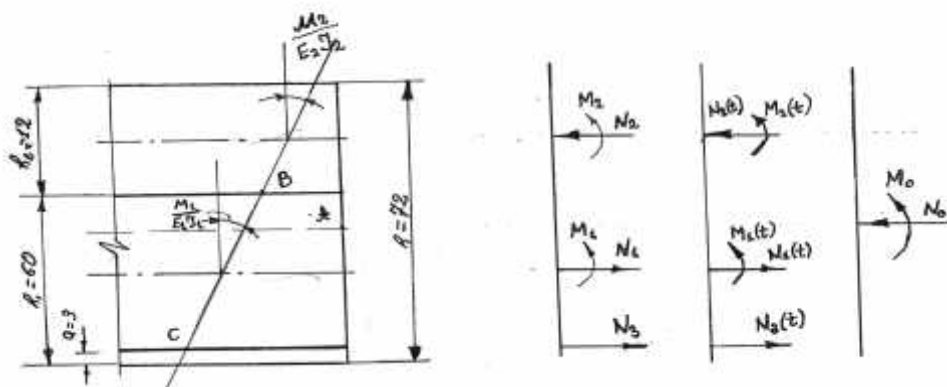
შედგენილ კვეთებში ძაბვათა განსაზღვრისას, ცოცვადობის გათვალისწინებით, უნდა გავიანგარიშოთ ეს სიდიდე ყველა მდგენელი ერთგვაროვანი ელემენტისათვის დროის ნებისმიერ მომენტში.

ამ ნაშრომში ჩვენ განვიხილავთ ძაბვათა უშუალო გამოთვლის მეთოდს ცოცვადობის დეფორმაციების განვითარების გათვალისწინებით. მოცემული გვაქვს რკინაბეტონის კოჭი, რომელიც ერთობლივად მუშაობს რკინაბეტონის ფილასთან.

ამ დროს ყველა ერთგვაროვან ელემენტზე გარე ძალების ზემოქმედების შედეგად აღიძვრებიან შემდეგი ძალები:

$M_1$ - მღუნავი მომენტი, რომელიც მოქმედებს კოჭის ბეტონის კვეთზე;

$M_{1(t)}$ - მღუნავი მომენტი, რომელიც მოქმედებს კოჭის ბეტონის კვეთზე, ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარების გათვალისწინებით;



ნახაზი 1. შედგენილი კვეთი

$N_1$  – ნორმალური ძალა, რომელიც მოდებულია კოჭის ბეტონის სიმძიმის ცენტრზე;

$N_{1(t)}$  – ნორმალური ძალა, რომელიც მოდებულია კოჭის ბეტონის სიმძიმის ცენტრზე, ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარების გათვალისწინებით;

$M_2$ - მღუნავი მომენტი, რომელიც მოქმედებს ფილის ბეტონის კვეთზე;

$M_{2(t)}$ - მღუნავი მომენტი, რომელიც მოქმედებს ფილის ბეტონის კვეთზე, ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარების გათვალისწინებით;

$N_2$  – ნორმალური ძალა, რომელიც მოდებულია ფილის ბეტონის სიმძიმის ცენტრზე;

$N_{2(t)}$  – ნორმალური ძალა, რომელიც მოდებულია ფილის ბეტონის სიმძიმის ცენტრზე, ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარების გათვალისწინებით;

$N_3$  – ნორმალური ძალა, რომელიც მოდებულია არმატურის სიმძიმის ცენტრზე;

$N_{3(t)}$  – ნორმალური ძალა, რომელიც მოდებულია არმატურის სიმძიმის ცენტრზე, ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარების გათვალისწინებით;

ამ შემთხვევისთვის ცოცვადობის მახასიათებელი: კოჭისთვის -  $\varphi_1 = 2$ , ფილისთვის -  $\varphi_2 = 1$ ; ინერციის მომენტები:  $I_1 = 216000 \text{ sm}^4$  და

$$I_2 = 8640 \text{ sm}^4;$$

$A_1 = A_2 = 720 \text{ sm}^2$ . კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ცოცვადობის დეფორმაციების განვითარებას დაძველების თეორიაში, გამოითვლება ფორმულით:

$$k_x = \varphi_m / (1 - e^{-\varphi}), \quad k_1 = 2.313 \quad \text{და} \quad k_2 = 1.582$$

წონასწორობის პირობები:

1.  $\sum X = 0 \quad N_1(t) + N_3(t) = N_2(t) \quad (1)$

2.  $\sum M_A = 0 \quad M_1(t) + M_2(t) + N_2(t)(h_2/2 | h_1 - h_r) + N_1(t)(h_r - N_3(t)(h_r - a) = 0$

3. პირობა, რომ კოჭისა და ფილის მობრუნების კუთხეები ტოლია:

4.  $(M_1(t)/EI_1)k_1 = (M_2(t)/EI_2)k_2 \quad (3)$

5. B წერტილის პირობა:

$$(N_2(t)EA_2)k_2 - ((M_2(t)EI_2)h_2/2)k_2 = ((M_1(t)/EI_1)h_1/2)k_1 - (N_1(t)/EA_1)k_1 \quad (4)$$

6. C წერტილის პირობა:

$$N_3(t)E_sA_s = (N_1(t)/EA_1)k_1 + ((M_1(t)/EI_1)(h_1/2 - a)k_1 \quad (5)$$

საბოლოო გამოთვლები გვაძლევს:

$$M_1(t) = - 374517,76 \text{ კგ.სმ. } (M_2(t)=-21722.03 \text{ კგ.სმ.}; N_1(t) = -1991.9 \text{ კგ. } N_2(t) = -36569.8 \text{ კგ. } N_3(t) = -16652.9 \text{ კგ.}$$

$$\text{ძაბვები: } \sigma_m = (M_u/I_r )h_r \quad \sigma_m = (M_u/I_r )(72 - h_r )$$

$$\sigma_m = 7.42 \text{ mpa} \quad \sigma_m = -6.5 \text{ mpa}$$

ზემოთ მოცემულ ფორმულებში მონაწილეობს  $k_x$  კოეფიციენტი, რომელიც წარმოადგენს ცოცვადობის დეფორმაციის მახასიათებლის -  $\varphi_m$ -ის ფუნქციას.

$\varphi_m$  თვითონ წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეს, რომელსაც გააჩნია შესაძლო შემთხვევითი გადახრები, რომლებიც გაუსის განაწილების კანონს ემორჩილებიან. აქედან გამომდინარე, ყველა აქ მოყვანილი სიდიდე წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეს, როგორც  $\varphi_m$ - ზე დამოკიდებულნი. მოცემულ ნაშრომში მივიყვანთ მხოლოდ  $k_x$  კოეფიციენტის შესაძლო გადახრებს და დავადგენთ მისი თეორიული განაწილების კანონს.

ამ სტატისტიკური მონაცემების საფუძველზე იგება ალბათური (თეორიული) განაწილების კანონი  $k_x$ -ის შესაძლო გადახრებისათვის, რომელსაც მოცემული შემთხვევისათვის აქვს ნორმალური განაწილების სახე:

$$f_k = \left( \frac{0.23}{0.55\sqrt{2\pi}} \right) \exp\left(-\frac{(k_x-2.36)^2}{2} \cdot 0.55^2\right)$$

სადაც 0.23 ნორმალური განაწილების მრუდის (ნახ14.ბ) სტატისტიკური რიგის ჰისტოგრამასთან (ნახ. 14.ა) მიახლოების კოეფიციენტია.  $f_k$  - ის მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილ 11-ში.

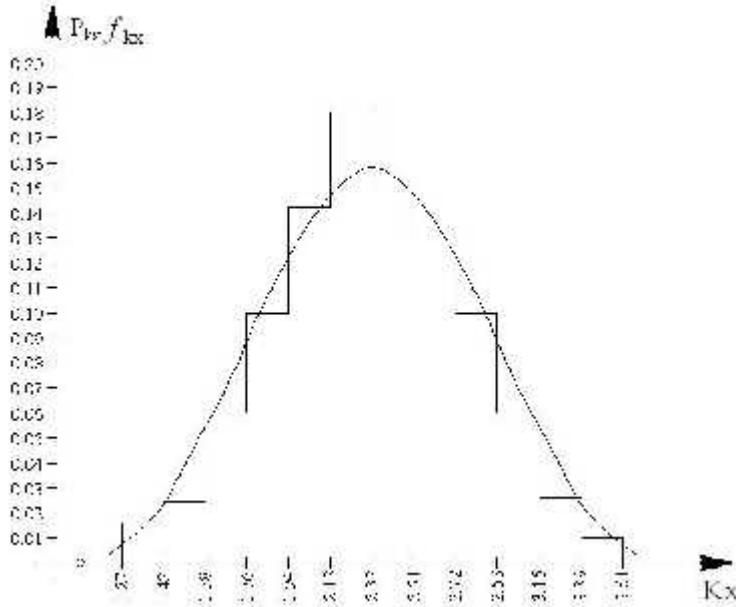
ცხრილი 1.  $k_x$ - ის შესაძლო გადახრათა ნორმალური განაწილების სიმკვრივეები.

$k_x$	1.27	1.42	1.58	1.76	1.94	2.13	2.32	2.51	2.72	2.93	3.15	3.39	3.61
$f_k$	0.02	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.17	0.16	0.13	0.09	0.06	0.02	0.01

სტატისტიკური განაწილების რიგისთვის ნორმალური კანონის შესაბამისობა შემოწმდა კოლმოგოროვის შესაბამისობის კრიტერიუმით.  $D=0.03$  განსხვავებულობის ზომას თეორიულ და სტატისტიკურ სიხშირებს შორის, როცა  $\lambda = 0.9$ , ცხრილი 7.6.1./2./- დან შეესაბამება ჰიპოთეზის სამართლიანობის ალბათობა  $P(0.9) - 0.4 > 0.1$ , რადგან ეს ალბათობა საკმაოდ დიდია, ნორმალური განაწილების კანონის

მისადაგება მოცემული სტატისტიკური რიგისთვის სამართლიანია.

ცხადია,  $k_x$ -ის შესაძლო გადახრები გადახრები გამოიწვევს კვეთში აღძრულ ძაბვათა სიდიდეების ცვლილებას, რისი გამოკვლევაც მეტად მნიშვნელოვანია საბოლოოდ კონსტრუქციის საიმედო მუშაობისათვის.



ნახაზი 2.  $k_x$ -ის ჰისტოგრამა და თეორიული განაწილების მრუდი

მაღლივი ტიპის შენობა-ნაგებობებში არქიტექტორთა და კონსტრუქტორთა ფანტაზიისა და შრომის შედეგად იქმნება ისეთი ტიპის შედგენილი კვეთის კონსტრუქციები, რომლებშიც ერთობლივად მუშაობენ რკინაბეტონი და ფოლადი, ფოლადი და კომპოზიტი, სხვადასხვა მახასიათებლის მქონე (სხვადასხვა კლასის) ბეტონი. ასეთ პირობებში მნიშვნელოვანია ამ ტიპის კონსტრუქციების მუშაობის კვლევა როგორც დრეკად, ისე პლასტიკურ სტადიაში. ჩემს წინა ნაშრომებში განხილული მქონდა შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების, კერძოდ რკინაბეტონის კოჭის, თეორიული კვლევა ხანგრძლივი დეფორმაციების განვითარების პირობებში.

ჩემი ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების მუშაობის კვლევა და ამის საფუძველზე მოკრძალებული წვლილის შეტანა მათი გაანგარიშების მეთოდებში.

მთელი რიგი ნაშრომების შესწავლის და განხილვის შემდეგ გამოიკვეთა ნაშრომი კვლევის მიმართულება, განმეხილა შედგენილი კვეთის კონსტრუქცია როგორც ერთი მთლიანი ტანი (რედუცირებული ფართი).

სამშენებლო მექანიკის ფორმულების გამოყენებით გამოვიანგარიშეთ მღუნავი

მომენტი და განივი ძალა, რომელთა მნიშვნელობებმა შეადგინა  $M_{max}=0.84$  კნ.მ  
 $Q_{max}=1.94$  კნ

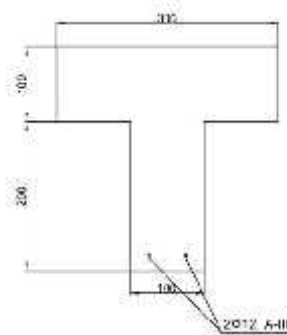
ცოცვადობის მახასიათებელი B20 კლასის ბეტონისთვის  $\varphi_1=3,1$ , ხოლო B15 კლასის  
ბეტონისთვის  $\varphi_2=2,8$

ინერციის მომენტები:  $I_1=250000$  სმ<sup>4</sup> და  $I_2=6700$  სმ<sup>4</sup>

ბეტონის განივკვეთის ფართობი:  $A_1=300$  სმ<sup>2</sup>;  $A_2=200$  სმ<sup>2</sup>

კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ცოცვადობის დეფორმაციების  
განვითარებას დაძველების თეორიაში, გამოითვლება ფორმულით:

$$k_x = \varphi_m / (1 - e^{\varphi}), \quad k_1 = 2.313 \quad \text{და} \quad k_2 = 1.582$$



ნახ.3. შედგენილი კვეთის რკინაბეტონის კოჭი

შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების გამოყენების არე სამშენებლო  
ინდუსტრიაში ძალზედ დიდია. მათ გაანგარიშებაში მეტად მნიშვნელოვანია  
დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედებისას განვითარებული ცოცვადობის  
დეფორმაციები. თეორიულად გავიანგარიშეთ ამ სიდიდის მნიშვნელობა ყველა  
მდგენელი ერთგვაროვანი ელემენტისათვის დროის ნებისმიერ მომენტში და  
ექსპერიმენტით უნდა დაგვემტკიცებინა ამ გამოთვლების სამართლიანობა.

თეორიული გამოთვლების (თეორიული ექსპერიმენტის) გასამყარებლად,  
გადავწყვიტეთ პრაქტიკულად გამოგვეცადა ამ ტიპის კონსტრუქცია. ამისათვის  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სასწავლო-  
სამეცნიერო ლაბორატორიაში დავამზადეთ შედგენილი კვეთის რკინაბეტონის 2 მ.  
სიგრძის ტესტური განივკვეთის კოჭი (ნახ.1).

თარო, რომლის ზომებია 30X10X200 სმ, დამზადდა B20 კლასის ბეტონისგან,  
ხოლო წიბო, ზომებით 10X20X200 სმ, დამზადდა B15 კლასის ბეტონისგან. გაჭიმულ  
ზონაში სამუშაოდ გამოვიყენეთ A-III კლასის არმატურა დიამეტრით 12 მმ.

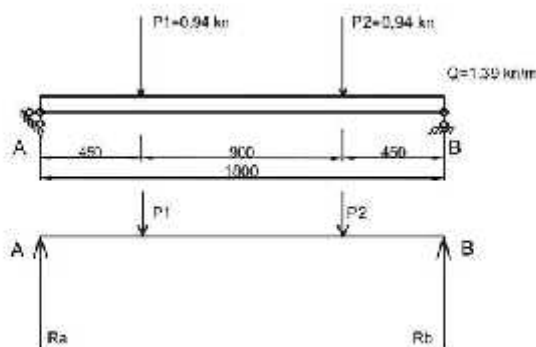
თავდაპირველად გადაწყვეტილი გვექონდა კოჭი დაგვერტვირთა თავისივე იდენტური კოჭით (ნახ.3). ასეთნაირად დატვირთული კოჭის საანგარიშო სქემა მოცემულია ნახ 4-ზე. ექსპერიმენტი დავიწყეთ 2016 წლის მაისში. მთელი ზაფხულის განმავლობაში დატვირთულ კოჭზე დაკვირვებამ არანაირი შედეგი არ მოგვცა.



ნახ.4. რკინაბეტონის შედგენილი კვეთის კოჭი



ნახ.5. დატვირთული კოჭი



ნახ.6. კოჭის საანგარიშო სქემა

გადავწყვიტეთ შეგვეცვალა დატვირთვის ფორმა. წინასწარ გამოვიანგარიშეთ ამტიპის ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე კოჭი, გამოვთვალეთ კრიტიკული ძალა, რომელმაც კოჭის რღვევა უნდა გამოიწვიოს. ამ ძალის მნიშვნელობამ 6,2 ტმ



შეადგინა (ნახ.5,6).



ნახ. 7. დატვირთავი კოჭი

ჩვენი ექსპერიმენტის საბოლოო მიზანია, დავადგინოთ ხანგრძლივი დეფორმაციის განვითარების შედეგად აღძრული ძალების სიდიდის დადგენა, ასევე მათი გავლენა კონსტრუქციის მზიდუნარიანობაზე. თეორიულად გამოთვლილი გვაქვს ამ ტიპის კონსტრუქციაში აღძრული მღუნავი მომენტის და ძაბვების მნიშვნელობები დაძველების თეორიის და დაძველების მოდიფიცირებული თეორიების საფუძველზე. ექსპერიმენტმა უნდა გვიჩვენოს, რომელი თეორიით გამოთვლილი მნიშვნელობაა რეალურთან უფრო ახლოს. ამას სჭირდება დრო, და სწორედ ამიტომ დავამზადეთ იდენტური კოჭი, რომელსაც დავტოვებთ დატვირთვის ქვეშ და დავაკვირდებით. ამ ეტაპზე კი ექსპერიმენტით უნდა დავადგინოთ სწრაფად განვითარებული ძალები და დეფორმაციები. დატვირთვის რა მნიშვნელობისთვის ჩნდებიან პირველი ბზარები, რომლებიც ზედაპირზე ჯერ კიდევ არ ჩანან და რა დატვირთვას გაუძლებს საბოლოოდ კოჭი, რამდენად დაემთხვევა ეს შედეგი თეორიულად გამოთვლილ მნიშვნელობას. თეორიულად გამოვთვალეთ დამუშავებული მეთოდიკით კრიტიკული ძალის მნიშვნელობა, რომელმაც 6,2 ტმ შეადგინა. ექსპერიმენტის დროს, დატვირთვის 6,4 ტმ (64კნ) მნიშვნელობისთვის კოჭში გაჩნდა პირველი ბზარები (ნახ.7). ხოლო 10 ტმ დატვირთვის მნიშვნელობისთვის კოჭის მთლიანობა დაირღვა ნახ. 8, 9, 10.



Бsb.8



Бsb.9

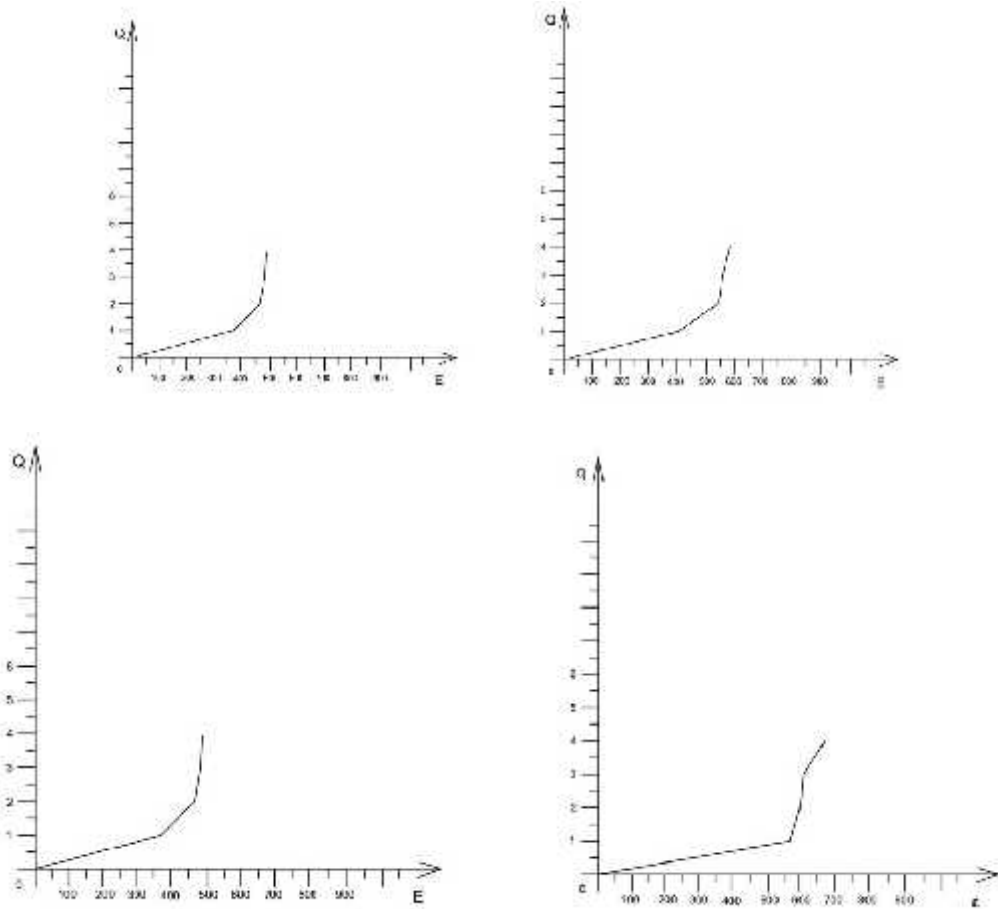


Бsb..10



ცხრილი 2 ტენზომეტრების ანათვლები

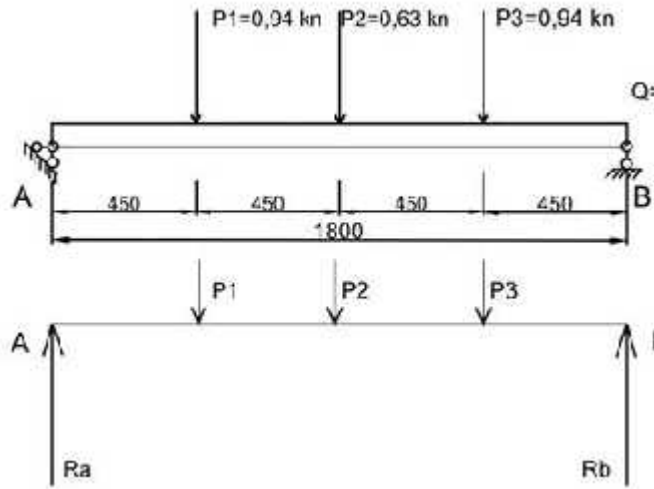
		ტენზომეტრების ანათვლები																
#	დატვ.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	0 ტ.	890	801	789	688	410	406	412	420	415	416	402	875	401	405	825	410	402
2	1 ტ.	929	870	817	700	425	471	555	575	485	520	495	880	417	420	851	425	435
3	2 ტ.	942	932	772	840	542	473	570	605	495	600	600	910	450	435	870	500	470
4	3 ტ.	950	990	780	710	543	490	570	609	500	720	630	940	465	460	875	553	471
5	4 ტ.	910	—	785	715	550	495	575	680	505	—	632	995	468	465	—	550	475



ნახ. 11

ჩვენი ექსპერიმენტის ძირითად მიზანს წარმოადგენდა შედგენილი კვების ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე კოჭში განვითარებული ხანგრძლივი დეფორმაციების, კერძოდ, ცოცვადობის დეფორმაციის კვლევა. ამისათვის კოჭზე, რომლის ზომებია - სიგრძით 2 მეტრი, თარო, რომლის ზომებია 30X10X200 სმ, დამზადდა B20 კლასის ბეტონისგან, ხოლო წიბო, ზომებით 10X20X200 სმ, დამზადდა

B15 კლასის ბეტონისგან. გაჭიმულ ზონაში სამუშაოდ გამოვიყენეთ A-III კლასის არმატურა დიამეტრით 12 მმ. კოჭი დაიტვირთა 2016 წლის მაისში. კოჭზე მოვდეთ მრღვევი დატვირთვის 10%, 1,2 ტმ. საანგარიშო სქემა მოცემულია ნახ.2.6.1-ზე.



ნახ.12. კოჭის საანგარიშო სქემა

ექსპერიმენტის დაწყებიდან ხუთი თვის შემდეგ უკვე გამოიკვეთა ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარების დინამიკა. მიღებული შედეგების თეორიული გაანგარიშების შედეგთან შედარებამ დამაკმაყოფილებელი შედეგი მოგვცა. ამ შედეგით და სხვა მეცნიერთა მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტების სტატისტიკურმა დამუშავებამ გვიჩვენა, რომ ძაბვები, რომლებიც რედუცირებული კვეთისთვისაა გამოთვლილი, საკმაოდ ახლოსაა ძაბვების უშუალო დათვლის მეთოდით მიღებულ სიდიდესთან.



ნახ.13. დატვირთული კოჭი

## ძირითადი დასკვნები

1. შედგენილი კვეთის კონსტრუქციებში ბეტონის ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებლის შესაძლო გადახრებს  $-30\%$ -დან –  $45\%$ -მდე, შეესაბამება  $k_x$  კოეფიციენტის შესაძლო გადახრები  $-45\%$ -დან –  $+45\%$ -მდე, ხოლო  $k_x$  - ის ამ შესაძლო გადახრებს შეესაბამება ძაბვათა შესაძლო გადახრები  $-18\%$ -დან  $+18\%$ -მდე.
2. ექსპერიმენტმა გვიჩვენა, რომ დატვირთვის მყისიერი მოქმედებისას, თეორიულად გამოთვლილ კრიტიკულ ძალასა და ექსპერიმენტულად მიღებულ მნიშვნელობას შორის განსხვავება  $4-5\%$ -ა, რაც ადასტურებს თეორიული მეთოდის საიმედოობას.
3. შედგენილი კვეთის კონსტრუქციებში ხანგრძლივი დეფორმაციების შედეგად განგანვითარებული ძაბვების შესაძლო გადახრები  $0,9$  საიმედოობით ექვემდებარებიან ნორმალური (გაუსის) განაწილების კანონს.
4. ბეტონის მახასიათებელი სიდიდე – დრეკადობის მოდული – წარმოადგენს ექსპერიმენტულად მიღებულ სიდიდეს, რომელსაც გააჩნია შესაძლო გადახრები და მათი განაწილება ექვემდებარება ნორმალურს. მისი გადახრები მერყეობს  $-70\%$ -სა და  $+70\%$ -ს შორის.
5. ცვლადი სტატიკური სქემის კონსტრუქციებში ცოცვადობისგან აღძრული საყრდენი მომენტის მნიშვნელობათა შესაძლო გადახრების საზღვრები შეადგენს –  $50\%$ -დან –  $17\%$ -მდე.
6. ცვლადი სტატიკური სქემის კონსტრუქციებში ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის ზღვრული მახასიათებლის გადახრათა ვარიაციის კოეფიციენტი –  $26\%$ , შედარებით დიდია ვიდრე ცოცვადობის დეფორმაციისგან აღძრული საყრდენი მომენტის შესაძლო გადახრათა ვარიაციის კოეფიციენტი –  $19\%$ .
7. საინჟინრო გამოთვლებში მიღებულია დაშვება ბეტონის ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებლის შესაძლო გადახრები  $-30\%$ -დან –  $45\%$ -მდე, რასაც შეესაბამება ცოცვადობისგან აღძვრულ ძალვათა შესაძლო გადახრები –  $10\%$ -დან  $+10\%$ -მდე. რაც არ ახდენს გავლენას ბეტონის საანგარიშო სიმტკიცეზე.
8. ნაშრომში მიღებული შედეგებით შეიძლება დავასკვნათ, რომ საავტომობილო ხიდებში ბეტონის ცოცვადობის მახასიათებლის შედარებით დიდ შესაძლო

გადახრებს შეესაბამება შედარებით ნაკლები გადახრები, ამავე დეფორმაციებით აღძრული მღუნავი მომენტის შესაძლო მნიშვნელობისა:  $=-75\%$ -დან  $75\%$ -მდე,  $M_b=-17\%$ -დან  $17\%$ -მდე. ასე რომ შესაძლო უზუსტობა ბეტონის ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებლის მნიშვნელობის შერჩევასა, საბოლოო შედეგებზე მნიშვნელოვნად არ მოქმედებს.

**9.** რიცხვითი მაგალითის ანალიზის საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ ცოცვადობის დეფორმაციის ზღვრული მახასიათებლის შედარებით დიდ შესაძლო გადახრებს დასაშვები სიდიდიდან –  $71\%$ -დან  $72\%$  შეესაბამება მღუნავი მომენტის შედარებით მცირე შესაძლო გადახრები –  $16\%$ -დან  $+18\%$ -მდე. ასე, რომ ბეტონის მემკვიდრეობითი დაძველების თეორიის საფუძველზე გამოთვლილი ძაღვების მნიშვნელობების გადახრები მცირეა და შესაძლო ცდომილება –სი გვაძლევს უმნიშვნელო გადახრებს ძაღვებში და თვით მთლიანი კონსტრუქციის მუშაობაში.

**10.** სტატისტიკურმა ექსპერიმენტმა, რომელიც ჩავატარეთ ბეტონის დრეკადობის მოდულის მათემატიკური მოდელის შესამოწმებლად, გვიჩვენა, რომ ის მუშაობს ნორმალურად: ბეტონის დრეკადობის მოდულის ექსპერიმენტებით და მოდელით მიღებული მნიშვნელობები დამაკმაყოფილებლად ემთხვევა ერთმანეთს, მათი საშუალო ფარდობითი მნიშვნელობაა  $0,99$  ნორმალური განაწილებით გაზნევისას; ამასთან ვარიაციის კოეფიციენტი  $\delta = 0,058$ .

### **დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია შემდეგ შრომებში**

1. გ. ნოზაძე, მ. ჭანტურია. სტატიკურად ცვლადი საანგარიშო სქემის კონსტრუქციების საიმედოობაზე გაანგარიშების საფუძვლები. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი "მშენებლობა", თბილისი, # 4 (23) 2011 (გვ. 39-42).

2. გ. ნოზაძე, მ. ჭანტურია. ღუნვაზე მომუშავე შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების ხანგრძლივ დეფორმაციებზე გაანგარიშება. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი "მშენებლობა", თბილისი, # 4 (39) 2015 (გვ. 87-89).

3. გ. ნოზაძე. ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე შედგენილი კვეთის კოჭის ექსპერიმენტული კვლევა. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი

### **Abstract**

In recent years the world of construction idustriam sharp jump tsaitsaia ago. Not to mention the US, a number of Asian countries, especially China and the Arab countries, it is very fast in the construction of new cities, mostly in high-rise buildings being built. The main reason for the lack of territories and population abundance. These types of buildings are mostly light structures used. Architects and designers work in fantasy and created the kind of structural elements which are working together on concrete and steel, steel and composite, with different characteristics (different class) of concrete, etc. In such circumstances, it is important to study the work of the structures drawn section of the elastic and plastic stage. Bending the elements of section undertake various voltages moving - sectional portion is compressed, stretched portion. In such circumstances it is desirable and necessary to set up a section with materials that work better compression or stretching of these types of structures and develop the methods of calculation.

The purpose of calculating the basis for development and construction saimeooba for by a combination of long and drawn-section of the construction of the development brought deormatsiebis dzalvata possible deviations and to determine the distribution of the law to find out how often this effort is expected to rise to dangerous. Section drawn deformation structures in the long development effort is the result of negligence and voltages gaangarshebis methods modest corrections. Shedgnili sectional structural elements of both theoretical and practical research and experimental results obtained generalize.

Dissertation work methods will allow us to combine these processed any drawn-section construction, which will be the joint work of metal and reinforced concrete, reinforced concrete and a lightweight composite, and composite glue (this type of composite section for transforming structures). This will allow us to boldly use the methodology for calculation of composite structures crossing the upper buildings lightened structures.

Such a result would of course be reflected in the cost of construction and profits will remain as an investor, as well as our people.

Dissertation work of theoretical and experimental studies give us a basis to conclude that the introduction and practical implementation of methods to significantly reduce

construction costs and significantly reduce the buildings. At the same time, it is known that the methods section gives drawn elements in construction materials used for the optimal use of the capacity of deformation and strength. The dissertation also developed a technique greatly simplifies the calculation of this type of priority, because the complex cross-sectional calculation reduces the calculation of the reduced section.