

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

გიორგი ნოზაძე

რკინაბეტონის შედგენილი კვების კონსტრუქციებში აღძრული  
ძაღვების სტატისტიკური ანალიზი

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის  
მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა: მშენებლობა 0406

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

2017 წ. თებერვალი

საავტორო უფლება 2017 წელი, გიორგი ნოზაძე

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური  
უნივერსიტეტის ა. სოხაძის სახ. სამოქალაქო და სამრეწველო  
მშენებლობის დეპარტამენტში

ხელმძღვანელი: პროფესორი მ. ჭანტურია

დაცვა შედგება 2017 წლის 24 თებერვალს, 14<sup>00</sup> საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო  
ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე,

სტუ, კორპუსი I, აუდიტორია 227

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 68ა

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,  
ხოლო ავტორეფერატის - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი:

პროფესორი

დ. ტაბატაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
სამშენებლო ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ნოზაძე გიორგის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „რკინაბეტონის შედგენილი კვეთის კონსტრუქციებში აღძრული ძალების სტატისტიკური ანალიზი“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი: 24.02.2017 წელი

ხელმძღვანელი: პროფესორი

მ. ჭანტურია

რეცენზენტი: პროფესორი LL

ლ. ბალანჩივაძე

რეცენზენტი: აკად. დოქტორი

ნ. ერემაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2017 წ.

ავტორი: ნოზაძე გიორგი

დასახელება: „რკინაბეტონის შედგენილი კვეთის კონსტრუქციებში  
აღძრული ძაღვების სტატისტიკური ანალიზი“

ფაკულტეტი: სამშენებლო

ხარისხი: დოქტორი

ინდივიდუალურ პირობების ან ინსტიტუტის მიერ  
ზემოთმოყვანილი დასახელების საშრომის გაცნობის მიზნით

მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

## ავტორის ხელმოწერა

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

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

## რეზიუმე

ბეტონი და რკინაბეტონი ძირითად კონსტრუქციულ სამშენებლო მასალებს წარმოადგენენ სამშენებლო საქმეში. რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების თეორიაში ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ამოცანას კონსტრუქციის ხანგრძლივი დეფორმაციის მოქმედების ქვეშ გაანგარიშება წარმოადგენს, თუმცა ამ სფეროში არასაკმარისად სანდოდ არის განსაზღვრული ბეტონის ცოცვადობის მახასიათებლის შესაძლო მნიშვნელობების გაბნევის საზღვრები და ამ ფაქტორის გავლენა რკინაბეტონის შედგენილი კვეთის კონსტრუქციებში ძალვათა გადანაწილებაზე, ასევე მისი გავლენა ისეთი ტიპის კონსტრუქციულ ელემენტებზე, რომლებშიც ერთობლივად მუშაობენ ბეტონი და ფოლადი, ფოლადი და კომპოზიტი, სხვადასხვა მახასიათებლის მქონე (სხვადასხვა კლასის) ბეტონები და ა.შ.

დამუშავებულია მიახლოებითი მეთოდები, რომლებიც საკმაოდ სრულად ითვალისწინებენ კონსტრუქციაში შიდა ძალების ცვლილების ხასიათის განსაკუთრებულებას, თუმცაღა დღემდე სათანადოდ არ არის დამუშავებული საანგარიშო მეთოდიკა, რომელიც ამ ტიპის კონსტრუქციებში გამოყენებული ბეტონის ცოცვადობის ექსპერიმენტული მონაცემების სტატისტიკურ დამუშავებაზეა დაფუძნებული. ეს მეთოდიკა კი იძლევა ბეტონის ცოცვადობის გავლენით ძალვათა ცვლილების შეფასების საშუალებას და ამ გზით ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციების მასალის ხარჯისა და ხანმედეგობის რესურსების განსაზღვრას.

ამასთან დაკავშირებით გაკეთდა მცდელობა დამუშავებულიყო შედგენილი კვეთის რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების საფუძვლიანი მეთოდიკა ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის ალბათური ბუნების გათვალისწინებით, რაც ბეტონის ხანგრძლივი დეფორმაციების გათვალისწინებით კონსტრუქციის გაანგარიშების თეორიაში წარმოადგენს ერთ-ერთ აქტუალურ ამოცანას.

კვლევის მიზნიდან გამომდინარე დაისვა შემდეგი ამოცანები:

- განხილულ იქნას ძაღვები და ძაბვები, რომლებიც აღიმკრებიან რკინაბეტონის შედგენილი კვეთის კონსტრუქციებში, როგორც შემთხვევითი არგუმენტის (ბეტონის ცოცვალობის ზღვრული მახასიათებლის) ფუნქცია; განსაზღვრულ იქნას ძაღვებისთვის და ძაბვებისთვის შესაძლო გადახრათა საზღვრები და მათი გაანგარიშების კანონი - დადგინდეს ძაღვათა და ძაბვათა როგორი შესაძლო გადახრები შეესაბამებიან ბეტონის ცოცვალობის ზღვრული მახასიათებლის შესაძლო გადახრებს.

ნაშრომში მოცემული თეორიული კვლევის დასასაბუთებლად ჩატარდა პრაქტიკული ექსპერიმენტი, რომლის დინამიკასაც დამუშავებულ თეორიასთან საკმაოდ ახლოს მდგომი შედეგი უნდა მოეცა.

სადისერტაციო ნაშრომში დამუშავებულ იქნა შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების ხანგრძლივ დეფორმაციებზე გაანგარიშების მეთოდოლოგია ბეტონის ცოცვალობის შესაძლო გადახრების სტატისტიკური გაფანტულობის გათვალისწინებით; დადგინდა ძაღვათა და ძაბვათა შესაძლო გადახრები, რომლებიც აღიმკრებიან შედგენილი კვეთის კონსტრუქციებში ბეტონის ცოცვალობის დეფორმაციის განვითარების შედეგად, მისი ზღვრული მახასიათებლის შესაძლო გადახრებთან შესაბამისობაში.

სადისერტაციო ნაშრომში ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევების საფუძველზე დამუშავდა რკინაბეტონის შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების გაანგარიშების მეთოდოლოგია, ბეტონის ცოცვალობის დეფორმაციის ალბათური ბუნების გათვალისწინებით და განსაზღვრულ იქნა ცოცვალობის დეფორმაციის ზღვრული მახასიათებლის, როგორც შემთხვევითი სიდიდის გაანგარიშების შესაბამისი ძაღვათა და ძაბვათა შესაძლო გადახრების საზღვრები. დადგინდა, რომ შედგენილი კვეთის კონსტრუქციებში ცოცვალობის დეფორმაციის შედეგად განვითარებული ძაბვების შესაძლო გადახრების საზღვრები მერყეობს -45%-დან +50%-მდე, ხოლო ამ დეფორმაციებისგან განვითარებული ძაღვის

(მლუნავი მომენტის) შესაძლო გადახრების საზღვრები მერყეობს -20%-დან +50%-მდე;

ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებლის შესაძლო გადახრების ვარიაციის კოეფიციენტი შედარებით დიდია - 26%, ვიდრე ამ დეფორმაციისგან აღძრული ძაბვის - 18%, ხოლო ძაღვისა - 17%;

ძაღვები, რომლებიც აღიძვრებიან რკინაბეტონის შედგენილი კვეთის კონსტრუქციებში ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარების შედეგად, წარმოდგენილია როგორც ფუნქცია ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებლისა, რომელიც წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეს და მნიშვნელოვნად მოქმედებს რკინაბეტონის შენობა-ნაგებობების დამაბუღ-დეფორმირებულ მდგომარეობაზე. მიღებულია, რომ ბეტონის ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებლის შესაძლო მნიშვნელობები ემორჩილებიან ნორმალური განაწილების კანონს. ამასთან 0,95-იანი გარანტიით ამ სიდიდის გადახრები მერყეობს  $\pm 45\%$ -ის ფარგლებში, ხოლო 0,84 გარანტიით -  $\pm 25\%$ -ის ფარგლებში.

შედგენილი კვეთის რკინაბეტონის კონსტრუქციებში ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებლის შესაძლო გადახრებს  $\pm 25\%$ -ის ფარგლებში, შეესაბამება მლუნავი მომენტის შესაძლო გადახრის მნიშვნელობა  $\pm 5\%$ -ის ფარგლებში.

რკინაბეტონის შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების საინჟინრო გაანგარიშებებში დასაშვებია გამოყენებულ იქნას ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებლის შესაძლო გადახრები -30%-დან +45%-მდე, რასაც შეესაბამება ძაბვის და ძაღვის შესაძლო გადახრები -10%-დან +10%-მდე.

შედგენილი კვეთის კონსტრუქციებში ხანგრძლივი დეფორმაციების შედეგად განვითარებული ძაბვების შესაძლო გადახრები 0,87 საიმედოობით ექვემდებარებიან ნორმალური (გაუსის) განაწილების კანონს.

შედგენილი კვეთის რკინაბეტონის კონსტრუქციებში ცოცვადობის დეფორმაციისგან განვითარებული მლუნავი მომენტის შესაძლო გადახრების



თეორიული განაწილების კანონი ახლოსაა ლოგისტიკურ განაწილების კანონთან.

პრაქტიკულმა ექსპერიმენტმა დაწყებიდან ხუთი თვის შემდეგ უკვე გვიჩვენა, რომ ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარების დინამიკა თეორიული გაანგარიშებით მიღებულ შედეგებთან დამაკმაყოფილებლად ახლოსაა. ამ შედეგმა და სხვა მეცნიერთა მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტების სტატისტიკურმა დამუშავებამ გვიჩვენა, რომ ძაბვები და ძაღვები, რომლებიც რედუცირებული კვეთისთვისაა გამოთვლილი, საკმაოდ ახლოსაა მათი უშუალო დათვლის მეთოდით მიღებულ სიდიდესთან.

## **Abstract**

### **STATISTICAL ANALYSIS STRESSES ARISEN IN REINFORCED CONCRETE COMPOSITE SECTION STRUCTURES**

Concrete and reinforced concrete represents the basic structural materials in the construction field. In the theory of analysis of reinforced concrete structures one of the important tasks represents the analysis of structure under the action of long-time deformation, but in this scope is not sufficiently reliable determined the possible scattering boundaries of the concrete creep characteristics values and impact of this factor on stress distribution in reinforced concrete composite section structures, as well as its impact on such types of structural elements, in that jointly are working concrete and steel, steel and composite, having different characteristics concretes (different classes), etc.

Are developed the approximate methods, in that are quite completely taken into account the singularity of internal stresses variation nature in structure, but so far has not been adequately developed the methodology of analysis that will be based on processing of creeping statistical experimental data of applied in this type of concrete structures. This methodology provides a possibility of assessment of stress variation due concrete creep influence and determination by this way of concrete and reinforced concrete structures materials consumption and resources of durability.

In this connection was made an attempt to develop well-grounded methodology for analysis of composite section structures reinforced concrete structures with taking into account the concrete creep deformation probabilistic nature that with taking into account the long-time deformations of the concrete in the structure calculation theory represents one of the most urgent tasks.

Proceeding from the purposes of the study were arisen the following tasks: were considered forces and stresses that are arisen in the reinforced concrete composite section structures as a random argument (concrete creep limit characteristic) function; will be specified for the forces and stresses possible deviations limits and their calculating the law – to determine what possible deviations of forces and stresses to concrete creep characteristics possible limit deviations.

For the justification of stated in this work the theoretical research was conducted the practical experiment, the dynamics of that will be obtain quite close to the result of developed theory.

In the dissertation work was developed the analysis methodology for composite section structures with taking into account the possible deviations of statistical dispersion of the concrete creep deformations; are defined the possible deviations of forces and stresses that are arisen in the composite section structures as result of the development of concrete creep deformation, in accordance with its ultimate possible deviations.

On the basis of carried out in the dissertation work theoretical and experimental studies a is developed of reinforced concrete composite sections structures analysis methodology with taking into account the probability nature of concrete creep deformation and were determined the accordance of creep deformation ultimate characteristic, as a random variable calculating limits of accordingly forces and stresses possible deviations. It was defefined that in the composite section structures range of the possible deviations developed due creep deformation as a result of stresses varies from -45% up to + 50%, while the possible deviations range of developed due these deformation torque (bending moment) varies from -20% up to + 50%;;

The variation coefficient of creep characteristics possible limit deviations is relatively high - 26%, while at arisen due deformation stress - 18%, but for forces - 17%;

Stresses that are arisen in the reinforced concrete composite section structures as a result of the development of concrete creep deformation, are presented as a function of creep limit characteristic, which represents a random value and significantly affects on mode of deformation of reinforced concrete buildings. It is accepted that possible values of concrete creep characteristics limit obey the normal distribution law. At the same time with 0.95-percent guarantee this value deviations range vary in the range from  $\pm 45\%$ , and with the guarantee of 0,84 – in the range of  $\pm 25\%$ .

To the composite section reinforced concrete structures ultiamate creep characteristics possible deviations within range of  $\pm 25\%$  corresponds the bending moment possible deviation in the range of  $\pm 5\%$ .

In the reinforced concrete composite section structures in engineering calculations is possible to be used to creep characteristics possible ultimate deviations from -30% up to + 45%, which corresponds to the stress and force possible deviations from -10% up to + 10%.

In the composite section structures developed as a result of long-time deformations possible deviations 0.87 with reliability is subjected to normal (Gaussian) distribution law.

In the composite section structures the distribution law of arisen due creep deformation in reinforced concrete structures bending moment possible deviation from the theoretical distribution is close to the logistic distribution law.

The practical experiment after five months from the start have shown that creep deformation development dynamics is satisfactory close to the obtained by theoretical calculations. This result and carried out by other scientists experiments shows that stresses and forces that are calculated from reduced section are rather close with obtained by direct readings method .

## შინაარსი

### შესავალი

თავი 1. რკინაბეტონის კონსტრუქციათა გაანგარიშება ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარების გათვალისწინებით

1.1. რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშება ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის გათვალისწინებით

1.2. ბეტონის ცოცვადობის თეორიები

1.3. ბეტონის ცოცვადობის ალბათური ბუნება

1.4. ხიდების გაანგარიშების მეთოდების ისტორიული მიმოხილვა

1.5. რკინაბეტონის მრავალმალნიანი უჭრი ხიდის გაანგარიშება მასში განვითარებული ცოცვადობის დეფორმაციის ალბათური ბუნების გათვალისწინებით

1.6. ძალვათა განსაზღვრა საავტომობილო ხიდში ცოცვადობის დეფორმაციის გათვალისწინებით

1.7. ბეტონის დრეკადობის მოდულის მათემატიკური მოდელი

თავი 2. შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების გაანგარიშება

2.1. ღუნვაზე მომუშავე შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების ხანგრძლივ დეფორმაციებზე გაანგარიშება

2.2. რკინაბეტონის შედგენილი კვეთის კონსტრუქციებში აღძრული ძალების სტატისტიკური ანალიზი

თავი 3. ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე შედგენილი კვეთის რკინაბეტონის კოჭის ხანგრძლივი დატვირთვის ქვეშ მუშაობის ექსპერიმენტული კვლევა

ძირითადი დასკვნები

გამოყენებული ლიტერატურა

## ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. რეალურ ხიდში ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციებისგან აღძრული მომენტის მნიშვნელობათა სტატისტიკური განაწილების რიგი.

ცხრილი 2. შედარებითი ცხრილი მომენტის მნიშვნელობისთვის, რომლებიც აღიძვრებიან რეალურ ხიდში ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარების პირობებში.

ცხრილი 3. რეალურ ხიდში ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციისგან აღძრული მომენტის მნიშვნელობათა ნორმალური განაწილების სიმკვრივები.

ცხრილი 4.  $\eta$ -s სტატისტიკური განაწილების რიგი.

ცხრილი 5.  $k_x$ - ის შესაძლო გადახრათა ნორმალური განაწილების სიმკვრივები.

ცხრილი 6.  $k_x$ - ის შესაძლო გადახრათა ნორმალური განაწილების სიმკვრივები.

ცხრილი 7. მღუნავი მომენტის შესაძლო გადახრათა სტატისტიკური განაწილების რიგი.

ცხრილი. 8. მღუნავი მომენტის შესაძლო გადახრათა თეორიული განაწილების ფუნქციის მნიშვნელობები.

ცხრილი: 9. ტენზომეტრების ანათვლები.

ცხრილი 10. ტენზომეტრების ანათვლები.

## ნახაზების ნუსხა

- ნახ. 1. ჰემისჰოფის ხიდი მდ. რეინზე (შვეიცარია).
- ნახ. 2. თალოვანი ხიდი მდუ რეინზე ქ. კონსტანცაში (გერმანია).
- ნახ. 3. კიდული ხიდი პოტუგალიაში.
- ნახ. 4. ხიდი მდ. მაგანაზე ვანტური ფორმით.
- ნახ. 5. საავტომობილო ხიდის სქემა
- ნახ. 6. მლუნავი მომენტის ეპიურა
- ნახ. 7. საავტომობილო ხიდში აღძრული მლუნავი მომენტის ჰისტოგრამა და ნორმალური განაწილების მრუდი
  
- ნახ. 8.  $\eta$ -ს ჰისტოგრამა და თეორიული განაწილების მრუდი
  
- ნახ. 9. შედგენილი კვეთი
- ნახ. 10.  $k_x$ -ის ჰისტოგრამა და თეორიული განაწილების მრუდი
- ნახ. 11. მოძრავი მაღლივი შენობა ვან-კუვერში (კანადა)
- ნახ. 12. შედგენილი კვეთი
- ნახ. 13.  $k_x$ -ის ჰისტოგრამა და თეორიული განაწილების მრუდი
- ნახ. 14. საანგარიშო სქემა
- ნახ. 15. საანგარიშო სქემა
- ნახ. 16. ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციისგან განვითარებული მლუნავი მომენტის შესაძლო მნიშვნელობათა განაწილების გრაფიკები; ა) ჰისტოგრამა, ბ) ლოგისტიკური განაწილების მრუდი
- ნახ. 17. რკინაბეტონის შედგენილი კვეთის კოჭი
- ნახ. 18. დატვირთული კოჭი
- ნახ. 19. კოჭის საანგარიშო სქემა
- ნახ. 20. დაუტვირთავი კოჭი
- ნახ. 21. ბზარწარმოქმნის მომენტი
- ნახ. 22. ბზარწარმოქმნის მომენტი
- ნახ. 23. ბზარწარმოქმნის მომენტი
- ნახ. 24. ბზარწარმოქმნის მომენტი

- ნახ. 25 ძაბვა-დეფორმაციის გრაფიკები
- ნახ. 26. შედგენილი კვეთის რკინაბეტონის კოჭი
- ნახ. 27. კოჭის საანგარიშო სქემა
- ნახ. 28. რკინაბეტონის შედგენილი კვეთის კოჭი
- ნახ. 29. დატვირთული კოჭი
- ნახ. 30. კოჭის საანგარიშო სქემა
- ნახ. 31. დაუტვირთავი კოჭი
- ნახ. 32. ბზარწარმოქმნის მომენტი
- ნახ. 33. ბზარწარმოქმნის მომენტი
- ნახ. 34. ბზარწარმოქმნის მომენტი
- ნახ. 35 ძაბვა-დეფორმაციის გრაფიკები
- ნახ. 36. კოჭის საანგარიშო სქემა
- ნახ. 37. დატვირთული კოჭი
- ნახ. 38. საყრდენის სქემა
- ნახ. 39. დატვირთვის სქემა
- ნახ. 40. შედგენილი კვეთი
- ნახ. 41. დატვირთვის სქემა
- ნახ. 42. დატვირთვის მოქმედების სქემა
- ნახ. 43. დატვირთვის სქემა
- ნახ. 44. დატვირთვის სქემა
- ნახ. 45. დატვირთვის სქემა
- ნახ. 46. დატვირთვის სქემა
- ნახ. 47. დატვირთვის სქემა
- ნახ. 48. დატვირთვის სქემა
- ნახ. 49. დატვირთვის სქემა
- ნახ. 50. დატვირთვის სქემა



## შესავალი

*თემის აქტუალობა:* ბეტონი და რკინაბეტონი ძირითად კონსტრუქციულ სამშენებლო მასალებს წარმოადგენენ სამშენებლო საქმეში. რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების თეორიაში ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ამოცანას კონსტრუქციის ხანგრძლივი დეფორმაციის მოქმედების ქვეშ გაანგარიშება წარმოადგენს, თუმცა ამ სფეროში არასაკმარისად სანდოდ არის განსაზღვრული ბეტონის ცოცვადობის მახასიათებლის შესაძლო მნიშვნელობების გაზნევის საზღვრები და ამ ფაქტორის გავლენა რკინაბეტონის შედგენილი კვეთის კონსტრუქციებში ძალვათა გადანაწილებაზე, ასევე მისი გავლენა ისეთი ტიპის კონსტრუქციულ ელემენტებზე, რომლებშიც ერთობლივად მუშაობენ ბეტონი და ფოლადი, ფოლადი და კომპოზიტი, სხვადასხვა მახასიათებლის მქონე (სხვადასხვა კლასის) ბეტონები და ა.შ.

კონსტრუქციების ცოცვადობის დეფორმაციის გათვალისწინებით გაანგარიშების ამოცანის ამოხსნა დაიყვანება დიფერენციალურ და ინტეგრო-დიფერენციალური განტოლებების ამოხსნაზე.

დამუშავებულია მიახლოებითი მეთოდები, რომლებიც საკმაოდ სრულად ითვალისწინებენ კონსტრუქციაში შიდა ძაღვების ცვლილების ხასიათის განსაკუთრებულებას, თუმცაღა დღემდე სათანადოდ არ არის დამუშავებული საანგარიშო მეთოდიკა, რომელიც ამ ტიპის კონსტრუქციებში გამოყენებული ბეტონის ცოცვადობის ექსპერიმენტული მონაცემების სტატისტიკურ დამუშავებაზეა დაფუძნებული. ეს მეთოდიკა კი იძლევა ბეტონის ცოცვადობის გავლენით ძალვათა ცვლილების შეფასების საშუალებას და ამ გზით ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციების მასალის ხარჯისა და ხანმედეგობის რესურსების განსაზღვრას.

ამასთან დაკავშირებით გაკეთდა მცდელობა დამუშავებულიყო შედგენილი კვეთის რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების საფუძვლიანი მეთოდიკა ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის ალბათური ბუნების გათვალისწინებით, რაც ბეტონის ხანგრძლივი დეფორმაციების

გათვალისწინებით კონსტრუქციის გაანგარიშების თეორიაში წარმოადგენს ერთ-ერთ აქტუალურ ამოცანას.

**დისერტაციის მიზანს** შეადგენს რკინაბეტონის შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების გაანგარიშება ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის შემთხვევითი ხასიათის გათვალისწინებით, კვლევის მიზნიდან გამომდინარე დაისვა შემდეგი ამოცანები:

- განხილულ იქნას ძალები და ძაბვები, რომლებიც აღიძვრებიან რკინაბეტონის შედგენილი კვეთის კონსტრუქციებში, როგორც შემთხვევითი არგუმენტის (ბეტონის ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებლის) ფუნქცია; განსაზღვრულ იქნას ძალებისთვის და ძაბვებისთვის შესაძლო გადახრათა საზღვრები და მათი გაანგარიშების კანონი - დადგინდეს ძალვათა და ძაბვათა როგორი შესაძლო გადახრები შეესაბამებინ ბეტონის ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებლის შესაძლო გადახრებს.
- დამუშავებული მეთოდიკის საიმედოობა (გამართული მუშაობა) შემოწმდეს კონკრეტული რკინაბეტონის კონსტრუქციის გაანგარიშების საფუძველზე.
- ნაშრომში მოცემული თეორიული კვლევის დასასაბუთებლად ჩატარდა პრაქტიკული ექსპერიმენტი, რომლის დინამიკასაც დამუშავებულ თეორიასთან საკმაოდ ახლოს მდგომი შედეგი უნდა მოეცა.

**მეცნიერული სიახლე:**

- დამუშავებულ იქნა შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების ხანგრძლივ დეფორმაციებზე გაანგარიშების მეთოდიკა ბეტონის ცოცვადობის შესაძლო გადახრების სტატისტიკური გაფანტულობის გათვალისწინებით;
- დადგინდა ძალვათა და ძაბვათა შესაძლო გადახრები, რომლებიც აღიძვრებიან შედგენილი კვეთის კონსტრუქციებში ბეტონის ცოცვადობის

დეფორმაციის განვითარების შედეგად, მისი ზღვრული მახასიათებლის შესაძლო გადახრებთან შესაბამისობაში.

*მიღებული შედეგების პრაქტიკული ღირებულება:* სადისერტაციო ნაშრომში ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევების საფუძველზე დამუშავდა რკინაბეტონის შედგენილი კვების კონსტრუქციების გაანგარიშების მეთოდიკა, ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის ალბათური ბუნების გათვალისწინებით და განსაზღვრულ იქნა ცოცვადობის დეფორმაციის ზღვრული მახასიათებლის, როგორც შემთხვევითი სიდიდის გაანგარიშების შესაბამისი ძალვათა და ძაბვათა შესაძლო გადახრების საზღვრები.

# 1. რკინაბეტონის კონსტრუქციათა გაანგარიშება ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარების გათვალისწინებით

## 1.1 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 /2,3,4,9,10,20/ ნაშრომების ანალიზმა განაპირობა სათანადო მეთოდის შექმნა, სადაც გათვალისწინებულია ცოცვადობის დეფორმაციის სავარაუდო ბუნება და კონსტრუქციაში ამ დეფორმაციებით წარმოქმნილი დაძაბული 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 /13/ მიხედვით, ბეტონის ცოცვადობის გავლენა არსებითად საყურადღებოა 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 მეთოდიკას, რომელიც ეყრდნობა დაძველების მოდიფიცირებული თეორიის გამოყენებას.

ამ შრომების შედეგები აღწერილია ლივშიცის წიგნებში. მიღებული მონაცემების შესაბამისად დადგენილია, რომ ასეთ სისტემებში ბეტონის ცოცვადობის გამო დროის გარკვეულ მომენტში ხდება დამაბულობის არსებითი გადანაწილება კვეთებს შორის.

ერთ-ერთ სტატიაში განხილულია ხიდების ანგარიშის შემთხვევა ბეტონის ცოცვადობის და ჯდენის დეფორმაციების აუცილებლობის გათვალისწინებით. აქ ყურადღება გამახვილებულია ცვლადი სტატიკური სქემის ხიდების ანგარიშზე (მონტაჟის პროცესში). მოცემულია გაანგარიშების გამარტივებული და დაზუსტებული მეთოდები.

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

სხვა სტატიაში მოცემულია ძაბვების განსაზღვრა რკინაბეტონის სტატიკურად ურკვევ ღეროვან (კოჭის ტანი) კონსტრუქციებში მუშაობის I სტადიაში. ხანგრძლივი დეფორმაციებისაგან აღძრული ძალები

გამოთვლილია ბეტონის დაძველების მოდიფიცირებული თეორიით, მათემატიკური მოდელის გამოყენებით.

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.

ზემოთ მოცემულ ნაშრომში აღწერილია წინასწარ დაძაბული ასაკრეფ-მონოლითური კონსტრუქციების დაძაბული მდგომარეობის განსაზღვრის მეთოდიკა, რომელიც მუშაობს სტადია 1-ზე (ზზარების გარეშე გაჭიმულ ზონაში), ხანგრძლივი ცვალებადი საექსპლოატაციო დატვირთვიდან ბეტონის ცოცვადობის გათვალისწინებით, მისი ჯდენის და დრეკადობის მოდულის ცვლილებით, ვარაუდით, რომ კავშირი ბეტონის დაძაბულობებს შორის და ჩაქრობის კოეფიციენტის შორის გამოიხატება რელაქსაციური მრუდებით. ასეთი მიახლოების დახმარებით დეფორმაციებს და დაძაბულობებს შორის კავშირის ინტეგრალური განტოლებები შეიძლება ალგებრულ განტოლებებად გადავაქციოთ.

პრაქტიკულად კომბინირებული კონსტრუქციების და შედგენელი კვეთის თაღების გაანგარიშების მეთოდი მუდმივ დატვირთვაზე, ხანგრძლივი პროცესების წინასწარი განსაზღვრა, რომელიც ბეტონში მიმდინარეობს, დაბერების (დაძველების) მოდიფიცირებული თეორიის საფუძველზე, მოცემულია ნაშრომში. დატვირთვებს შორის კავშირების გამოყენებით და ცოცვადობის დახასიათებით რელაქსაციური მრუდების სახით აღწერილია იმავე შრომაში.

შრომაში /6/ განსაზღვრულია დაჭიმვის განსაზღვრის მეთოდი თხელკედლიან ღეროებში, რომლებსაც განივ კვეთებში ხისტი კონტური აქვთ.

შემდეგ შრომაში დამუშავებულია გაჭიმვის განსაზღვრის მეთოდი თხელკედლიან ღეროებში, რომლებსაც განივ კვეთში ხისტი კონტური აქვს,

რომლებიც ითვალისწინებენ ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციას. განსაზღვრულია ურთიერთქმედების ძალები კონსტრუქციებს და ფუძეებს შორის ბეტონისა და გრუნტის ცოცვადობის გათვალისწინებით. მიღებულია ცოცვადობის დაყვანილი მახასიათებლები დაძველების მოდიფიცირებული თეორიით არაერთგვაროვანი კვეთის კონსტრუქციების გაანგარიშებისას.

სტატიკურად ურკვევი რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების მეთოდი, სადაც გათვალისწინებულია ბეტონის ცოცვადობა, აღწერილია /10/ ნაშრომში. ავტორმა გამოიყენეს მიახლოებითი დამოკიდებულებები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან გავითვალოთ ღეროს კონსტრუქციები დახშული სახით.

ნაშრომში ასევე განხილულია ხიდების სტატისტიკურად ურკვევ კონსტრუქციებში ძირითადი უცნობების განსაზღვრის მიახლოებითი მეთოდიკა ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის გათვალისწინებით და დრეკად-მცოცავი ტანის მოდიფიცირებული თეორიის საფუძვლებით, სეზონური ცვლილებები ცოცვადობის დეფორმაციების განვითარების ინტენსივობაზე დამოკიდებულებით.

ვანტურ კონსტრუქციებში დაჭიმვის შეფასების მიახლოებითი მეთოდი, რომელიც გამოყენებულია დაბერების (დაძველების) მოდიფიცირებულ თეორიებში აღწერეს გ.ი. გვინჩიძემ და დ.ა. დოლიძემ. მოცემულია გაანგარიშების რიცხვითი მაგალითი მითითებული მეთოდიკით.

ი.დ. ლივშიცი ნაშრომში /13/ 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 ლუნვადი რკინაბეტონის კოჭებზე, წინასწარ დაძაბული არმატურებით, ხანგრძლივი დატვირთვის პირობებში.

სტატიკურად ურკვევ რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების ამოცანა ა.ა. ზეინის ნაშრომში /7/ ამოიხსნება ინტეგრალურ-ოპერატორული მდგომით. 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 /6/ 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 დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობაზე, ჩალუნვებზე, ბზარების ჩამოყალიბებაზე და გახსნაზე, ასევე შესაერთებელი ელემენტების დაბოლოებათა ურთიერთ განლაგებაზე.

ასაწყობი რკინაბეტონის კონსტრუქციებში დაძაბულობის განსაზღვრისათვის სტატიკურად ურკვევ კონსტრუქციებში ბეტონის ცოცვადობის გათვალისწინებით ვ.ვ. სიზონოვმა საფუძვლად მიიღო ერთგვაროვანი დრეკად-ცოცვადი სისტემების ხაზობრივი ერთგვაროვნების გაანგარიშების თეორია. ის იძლევა მიახლოებით ჩაკეტილ



გადაწყვეტილებას ამ თეორიის ძირითად ინტეგრალურ განტოლების ამოხსნაზე.

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

გამოიყენეს რა ბლანტ-დრეკადი ტანის თეორია ცოცვადი ბეტონებისათვის, ავტორებმა გამოიყვანეს ვოლტერის ინტეგრალური განტოლების მეორე რიგი. წარმოდგენილია მათი გადაწყვეტილების რიცხობრივი მეთოდი, რომელიც რეალიზირებულია ალგებრული ენის პროგრამის სახით ფორტმან IV. დამუშავებული მეთოდის უტყუარობა მომწდება პრაქტიკული მაგალითის გადაწყვეტით.

მასლოვ-არუთინიანის /2/ 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.

გამოყენებულია რა არუთინიან-ტროსტის დრეკად-მცოცავი ტანის თეორია, სტატიკურად განსაზღვრებადი შემადგენელი კოჭის დაძაბული მგდომარეობის გაანგარიშებით  $t$  დროში, ავტორებმა გამოიყვანეს ვოლტერის ინტეგრალური განტოლების მეორე სახეობა. აქაც, ისევე როგორც წინა შემთხვევაში, შემუშავებულია ცოცვადობის მემკვიდრეობითი ამოცანის ამოხსნის რიცხვითი მეთოდი.

$t=\infty$  დროში სტატიკურად რკვევადი კომბინირებული რკინაბეტონის კოჭის დაძაბული მდგომარეობის განსაზღვრისათვის ბლანტ-დრეკადი ტანის თეორიის გამოყენებით გამოყენილია ვოლტერის ინტეგრალური განტოლებები. მოწოდებულია მემკვიდრეობითი ცოცვადობის ამოცანის გადაწყვეტის ციფრული მეთოდი, რომელიც მაღალი სიზუსტით გამოირჩევა.

დამუშავებულია ახალი პრაქტიკული მეთოდი სტატიკურად რკვევად კომბინირებული ერთიანი კოჭების დაძაბული მდგომარეობის დროში განსაზღვრისათვის, სადაც გამოყენებულია ბლანტ-დრეკადი ტანის მასლოვ-არუთინიან-ტროსტის თეორია ბეტონის ცოცვადობაზე და ასევე ვოლტერის ინტეგრალური განტოლებები თეორიაც.

დ.ნ. პეტროვის, ვ.ნ. ჩერნოგოროვის და ჩ.ტ. დიმიტროვის შრომებში განხილულია კომბინირებული სამშენებლო ელემენტები, ფოლადის ორტესებრი კოჭები, რომელიც შეკავშირებულია მართკუთხედის ფორმის რკინაბეტონის ფილებით. როგორც ცნობილია ასეთი ტიპის მზიდი ელემენტების პროექტირების დროს გათვალისწინებული უნდა იყოს დაძაბულობის გადანაწილება, რაც გამოწვეულია ბეტონის ჯდენით და ცოცვადობით. ბლანტ-დრეკადი ბეტონის თეორიის საფუძველზე მიღებულია ვოლტერის მეორე სახის ინტეგრალური განტოლება. მიღებული განტოლებების ამოსახსნელად გამოყენებულია მეთოდი, რომელიც ეფუძნება დროში დისკრეტიზაციას. აპროქსიმაციისათვის გამოყენებულია ტრაპეციის წესი. განხილულია მაგალითები სამშენებლო პრაქტიკიდან.

ვ.დ. ხარლაბი, ა.ვ. რომინი, ბ.ნ. კოგანი შრომაში წარმოგიდგენენ უბრალო, მიახლოებით მეთოდს ბეტონის წრფივი ცოცვადობის ანგარიშისათვის უჭრ ფოლად-რკინაბეტონის კოჭებისათვის, რომლებსაც ცვლადი კვეთი აქვთ. ეს მიდგომა უზრუნველყოფს გამოყენებულ იქნას ნებისმიერი ზომები. ბეტონის ცოცვადობისათვის მოყვანილია მზა ფორმულები, სადაც გათვალისწინებულია ბეტონის ცოცვადობა დაძველების თეორიის მიხედვით, დრეკადი მემკვიდრეობითობის თეორია,

დაძველების მოდიფიცირებული თეორია და ბლანტ-მცოცავი ტანის თეორიის ვარიანტები.

მ. ტეზინმა გამოიკვლია ცოცვადობის გავლენით ძალების გადანაწილება ზესტატიკურად ურკვევ ხიდებში, რომლებიც წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონისგანაა აგებული, იმის გათვალისწინებით, რომ მათი სტატიკური სქემა იცვლება ექსპლოატაციის პროცესში. დამუშავებულ მეთოდს მივყავართ ვოლტერის ინტეგრალურ განტოლებამდე. ავტორი მიუთითებს თუ რომელი ჰიპოთეზები იძვეიან იმის საშუალებას, რომ ეს ინტეგრალური განტოლებები დავიყვანოთ უბრალო წრფივამდე. მოცემულია შედეგების შედარება, რომლებიც მიღებულია ორი ჰიპოთეზის საფუძველზე განსაკუთრებული შემთხვევისათვის.

დრეკად-მცოცავი ტანის თეორიაზე დაყრდნობით, რომელიც მიღებულია ბეტონის ქვევის აღსაწერად დროში, ვ. კრიუგერმა მიიღო დეფორმაციის და წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ელემენტებში დეფორმაციის გაანგარიშებისათვის, როგორც მხოლოდ დაჭიმული არმატურის მოქმედებისათვის, ასევე მუდმივად მოქმედი მღუნავი მომენტის გათვალისწინებით.

დ. დჟევტიჩი და ზ. პრასკევიჩი აღწერენ წინასწარდაძაბულ რკინაბეტონის კოჭების ცოცვადობის გათვლის ორ მეთოდს, ზუსტს და მიახლოებითს. ისინი საშუალებას იძლევიან ნაპოვნი იქნას ჩაღუნვები, დეფორმაციები და დაძაბულობის გადანაწილება კონსტრუქციის კვეთებში. ორივე მეთოდი დაფუძნებულია დაძველების (დაბერების) თეორიაზე, რომელიც მოდიფიცირებულია ბეტონის შესახებ ევროპული კომიტეტის რეკომენდაციების შესაბამისად. შედარებით მარტივია მეთოდი, რომელშიც ავტორს გამოყენებული აქვს დეფორმაციისა და დაძაბულობას შორის ალგებრული დამოკიდებულება. ამ მეთოდის გამოყენებით ნაპოვნი იქნა ჩაღუნვები და დაძაბულობის რელაქსაცია ბლოკების დიდ რაოდენობაში. კერძოდ, ჩატარებულია გაანგარიშება და ექსპერიმენტი კოჭების სამი

სერიისთვის არმირების სხვადასხვა კოეფიციენტებით. ორივე მეთოდმა მოგვცა შედეგი, რომელიც ახლოსაა ექსპერიმენტალურთან.

გ.ლ. ერგლანდის სტატიაში მოყვანილია ექსპერიმენტალური და თეორიული გამოკვლევების მონაცემები რკინაბეტონის კონსტრუქციების დეფორმაციების გამოკვლევებზე. ცოცვადობა ჩვეულებრივი ტემპერატურის პირობებში თეორიული აღწერის დროს წარმოდგენილია ორი კომპონენტით: ბლანტი დენადობის ტიპის შეუქცევადი დეფორმაციით და შექცევადი დეფორმაციით, რომელიც წარმოდგენილია შეყოვნებული დრეკადი კომპონენტით და რომელიც შედგება ჩვეულებრივი დრეკადი დეფორმაციის 20+30%, მაღალი ტემპერატურის პირობებში ცოცვადობა მოითხოვს დამატებით აღრიცხვას დეფორმაციის დამოკიდებულებაზე ტემპერატურასთან, მაშინ, როცა დეფორმაციის შექცევადი ნაწილი ტემპერატურაზე დამოკიდებული არ არის. ამ თეორიის შესამოწმებლად მისი შედეგების შედარება ხდებოდა ექსპერიმენტულ მონაცემებთან საყრდენი კოჭისათვის, შეკუმშულ-ჩალუნული სვეტის ტანის, ორი და სამმალიანი უჭრი კოჭებით ატომური რეაქტორის დამცავ გარსსაცმზე, ცილინდრულ ჭურჭელზე, რომელიც ცივი წყლით და ცხელი ზეთით იყო სავსე და სხვა კონსტრუქციებზე.

როგორც გამოკვლევათა შედეგებმა აჩვენეს, ცოცვადობა და ტემპერატურა ახდენენ მნიშვნელოვან გავლენას ძალის გადანაწილებაზე სტატიკურად ურკვევ კონსტრუქციებში, რომელიც აუცილებლად გათვალისწინებული უნდა იყოს გაანგარიშებებში. ტემპერატურის ციკლური ცვალებადობა იწვევს დამაბულობის და გადაადგილების მოკლევადიან ცვლილებას, რომელიც ემატება გრძელვადიან ცვლილებებს. კონსტრუქციული ელემენტების მოქნილობის გადიდებასთან ერთად ცოცვადობა დომინირებული როლის შესრულებას იწყებს. თეორიის თანხვედრა ექსპერიმენტულთან დამაკმაყოფილებელია, თუ დატვირთვა და ტემპერატურები ციკლური გზით უცვლელია. მრავალ შემთხვევაში

ცოცვალობის დეფორმაციის გამოთვლა შეიძლება ერთნაბიჯიანი გზით დრეკადი სტადიების ანალოგიებზე დაყრდნობით.

ს.დ. დიგლერი გვათავაზობს წინასწარდამაბული რკინაბეტონის ცოცვალობის ანგარიშის გამარტივებულ მეთოდს “დამველების კოეფიციენტის” გამოყენებით, რომელიც კვაზიდრეკადი ანალიზის ჩარჩოებში დამაბულობის და დეფორმაციების გამოთვლის საშუალებას იძლევა.

მეთოდის მთავარი ღირსება ისაა, რომ მისი დახმარებით შეიძლება გათვალისწინებულ იქნას წინასწარდამაბული არმატურის ადგილმდებარეობა რამდენიმე შრეში, ასევე გამოვთვალოთ კომბინირებული ასაკრეფ-მონოლითური კონსტრუქციები, დეტალურად განხილულია რამდენიმე საანგარიშო მაგალითი, რომლებიც რკინაბეტონის კოჭების პროექტირებისას, სადაც უჭრადობა მიიღწევა მონოლითურობის შექმნით. განხილულია აღწერილი პროცედურის შემდგომი შესაძლო განზოგადების პირობები უფრო რთული კონსტრუქციების, ან დატვირთვებისთვის.

ვ. ფიორემ და პუნგ ზენ ტაომ შრომაში ექსპერიმენტულად გამოიკვლიეს ბეტონის ცოცვალობის გამო დამაბულობის გადანაწილების პირობები სტატიკურად ურკვევ წინასწარდაჭიმულ კოჭებში. აღწერილია სამმალიანი კოჭების მეთოდის განიკვეთის დატვირთვის სხვადასხვა ვარიანტისთვის და საყრდენი მოწყობილობის სიმაღლით სხვადასხვა დონეზე განლაგების პირობებში. ბეტონის გაზომილი დამაბულობების გადაადგილებების და ლოკალური დეფორმაციებით გამოვლენილია, რომ კოჭის საყრდენი პირველადი განსხვავების ეფექტი სიმაღლის მიხედვით სწრაფად მცირდება პირდაპირი განივი დატვირთვების დროს ხანგრძლივობასთან ერთად. მიღებული ექსპერიმენტული მონაცემები შედარებული ნორმატიული საანგარიშო პროცედურების გამოყენების შედეგებთან. მოცემულია დატვირთვების შეფასებები ბეტონის ცოცვალობის დროს მუდმივი დატვირთვის და ცვლადი ცოცვალობის პირობებში.

ვ. ლომკემ დაამუშავა რკინაბეტონის ფერმების დაპროექტების მეთოდოლოგია, სადაც გათვალისწინებულია კონსტრუქციის ელემენტების ცოცვადობა და ჯდება, რომელშიც გათვალისწინებულია დატვირთვის და მომენტების განსაზღვრა სვეტის ტანში დროის სხვადასხვა მონაკვეთში. ცოცვადობაზე გათვლები იწარმოება დაძველების თეორიის საფუძველზე. გადაწყვეტილია ცოცვადობის დიფერენციალური განტოლება. გაანგარიშების საფუძველზე დაპროექტებულია კონსტრუქციები ბეტონის და ფოლადის ელემენტებით.

ესპანელი მეცნიერის ლ. მურკიას გამოკვლევებში აღწერილია შეკუმშულ ღეროებში ცოცვადობის გაანგარიშების მეთოდები, განხილულია შიდა ძალოვანი ფაქტორების სასაზღვრო პირობების განსაზღვრის მეთოდები, რომლებიც მოქმედებენ ჩარჩოდან გამოყოფილი შეკუმშულ-მოხრილი სვეტის ტანის ელემენტებზე, დადგენილია შეკუმშული თხელ ღეროზე ზღვრული დატვირთვის პირობები ეფექტური მეორე რიგის გათვალისწინებით.

შრომაში აღწერილია ბეტონის ღეროს არაცენტრული შეკუმშვის პირობებში ცოცვადობის გავლენის პროცედურა მითითებულია მიახლოებითი საანგარიშო ფორმულის გამოყენების შეზღუდვებზე. წარმოდგენილია ახალი საანგარიშო ფორმულა, რომელიც აირეკლავს ექსცენტრისიტეტის დაგვიანება კუმშვადი დატვირთვის ხანგრძლივობასთან დამოკიდებულებაში და ბეტონის ცოცვადობის ცვლილებებთან.

მ. სპეცინსკი ძირითად ყურადღებას აქცევს გაღუნული რკინაბეტონის კოჭების ხანგრძლივი დატვირთვის პირობებში ცოცვადობის გაანგარიშების საკითხებს. ამისთვის გამოყენებულია როგორც წრფივი, ისე არაპირდაპირი განსაზღვრული ინტეგრალური ტიპის განტოლებები.

ვ.მ. ბონდარენკო და ა.კ. შაგინი სწავლობდნენ მრავალაკომპონენტურ კონსტრუქციების ცოცვადობას. მრავალაკომპონენტურობაში იგულისხმება კონსტრუქციები, რომლებშიც ერთდროულად სამუშაოსათვის

რაციონალურადაა შეერთებული 3 და მეტი ელემენტი, რომლებიც იმ მასალითაა დამზადებული, რომლებსაც სხვადასხვა ფიზიკო-მექანიკური, ან დეფორმაციულ-სიმტკიცეთა მახასიათებლები გააჩნიათ.

განხილულია ფუნქციები, რომლებიც მისაღებია ბეტონის ცოცვადობისთვის, მყიფე საარმატურე ფოლადი და მრავალკომპონენტის კონსტრუქციაში გამოყენებული სტეკლოპლასტიკატების ტიპები.

ბ.პ. მიხლინი, ვ.ე. პოპოვი და ვ.მ. ბონდარენკო გვთავაზობენ რკინაბეტონის ღეროებში დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის გაანგარიშების მეთოდიკას, რომელსაც სუფთა ნაკეცისადმი მიდრეკილება აქვს, ფიზიკური არაწრფივობის გათვალისწინებით და ბეტონის რეოლოგიური თვისებებით.

ს.ვ. ბონდარენკოს და ო.ბ. თუთბერიძის ნაშრომში განიხილება სამშენებლო კონსტრუქციების წინააღმდეგობის ამოცანები ცოცვადობის პირობებში. მოცემული ამოცანის მიზანია სამშენებლო კონსტრუქციების გაანგარიშების შესახებ ცვლადი სტატიკური სქემის პირობებში. წამოდგენილია გაანგარიშების ზუსტი და გამოყენებითი მეთოდები წრფივი და არაპირდაპირი დეფორმირების გათვალისწინებით.

დაჭიმული ფურცლოვანი სარტყელებით შედგენილი მდგენ ელემენტების მდგრადობა გამოკვლეულია ა.ს. ამახინის მიერ ხანგრძლივი დატვირთვის დროს მაღალი დატვირთვის პირობებში. როგორც კერძო შემთხვევა განიხილება წრფივი ცოცვადობის პირობებში შემადგენელი ელემენტის მდგრადობის ამოცანა. დამაბულობის და ბეტონის შეკუმშულ ზონაში დეფორმაციებს შორის დამოკიდებულება მიღებულია არაწრფივი ცოცვადობის განტოლების საფუძველზე.

ბზარიანი რკინაბეტონის დეფორმაციის თეორიის ჩარჩოებში ა.ფ. იარომენკომ და ა.ი. მელნიკმა დაამუშავეს ისეთი მეთოდიკა, რომლითაც ისეთი კონსტრუქციები, როგორცაა კოჭი-კედელი ამოცანები ამოიხსნება ცოცვადობის თეორიით. ამ გათვლების დროს გათვალისწინებულია

ბეტონის ცოცვადობის განსაკუთრებულობა ორღერძა დატვირთვის დროს, ცოცვადობის დეფორმაციის არაპირდაპირობა, ბეტონის სიმტკიცის გადიდება დროში და რკინაბეტონის სხვა განსაკუთრებული თავისებურებები სხვადასხვა სტადიაში, რომელიც ნგრევასთან ახლოსაა.

ე.ნ. შერბაკოვმა /20,21/ და ვ.ლ. ხასინმა დაამუშავეს რკინაბეტონის ელემენტების გათვლის მათემატიკურად მკაცრი და ზუსტი მეთოდები, ბეტონის წრფივი ცოცვადობის გათვალისწინებით მიღებული ანალიტიკური გამოსახულებები საშუალებას იძლევა ამოცანის გადაწყვეტა დავიყვანოთ რკინაბეტონის ელემენტში ერთობლივი არმატურით (დამოუკიდებლად ცოცვადობის თეორიის წინაპირობიდან და ინტეგრალური განტოლების ბირთვის სახეობისა) დამაბულობის ჩაქრობის კოეფიციენტის აღრიცხვამდე.

მათივე სტატიაში მოცემულია რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების მეთოდიკა ხანგრძლივი დატვირთვისათვის დამაბულობის და დეფორმაციების არაპირდაპირი კავშირის გათვალისწინებით, რაც საშუალებას იძლევა რთული საინჟინრო საკითხები გადაიჭრას შედარებით მარტივი ალგებრული ოპერაციებით დახშული სახით (ფორმით). წარმოდგენილი მეთოდი ახდენს ადრე მიღებული მკაცრი მათემატიკური გადაწყვეტილებების განზოგადებას, რაც პასუხობს რკინაბეტონის კონსტრუქციების მუშაობის ფაქტიურ პირობებს.

ახლა გადავიდეთ იმ ნაშრომებზე, რომლებშიაც გათვალისწინებულია ცოცვადობის სავარაუდო ბუნება რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების პირობებში (დროს).

ა.პ. შეიკინი და ბ.ი. პარაგაში გვთავაზობენ მასიურ დასახლებებში მსხვილპანელიანი კორპუსების სავარაუდო გაანგარიშებათა შედეგებს არათანაბარი დეფორმაციის დროს, ხანგრძლივი პროცესების გათვალისწინებით, რომლებიც მიმდინარეობენ გრუნტში (საძირკველში) და რკინაბეტონის კონსტრუქციებში. თავის ნაშრონში ა.პ. პშენინკინმა



დაამუშავა კოჭის და ფილების გათვლის ინჟინრული მეთოდი სტოხასტიკურ საფუძველზე.

საპირკვლის დეფორმაციის სავარაუდო ზედაპირი განისაზღვრება მისი სხვადასხვა მოდელის გათვალისწინებით. კოჭის და ფილების სავარაუდო გათვლა წარმოებს გეოლოგიური პროცესების გათვალისწინებით, რომლებიც მიმდინარეობენ რკინაბეტონის კონსტრუქციებში გათვალისწინებული ბეტონის ცოცვადობაც.

რკინაბეტონის კონსტრუქციების (კერძოდ, რკინაბეტონის ხიდების) გაანგარიშების სავარაუდო მიდგომას (ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის გათვალისწინებით) ეძღვნება ა.კ. ცეიტლინის შრომებში. ერთობლივ ნაშრომში (ა.ვ. კრილოვი) საწყისი მონაცემები, რომლებზედაც დამოკიდებულია კონსტრუქციების გათვლის საბოლოო შედეგები. განხილულია ალბათობის თვალსაზრისით, იმდენად, რამდენადაც მათზე მოქმედებს მთელი რიგი შემთხვევითი ფაქტორებისა. მოყვანილია ამ ტიპის ორი ამოცანის გადაწყვეტის მაგალითი. საწყისი მონაცემები აღებულია შემთხვევითი სიდიდეების სახით, რომლებიც განაწილების შესაბამისი კანონებითაა მოცემული, ხოლო გაანგარიშებათა შედეგები განისაზღვრება საიმედოობის მოთხოვნილი ხარისხით, ამოცანა მონტე-კარლოს მეთოდით ამოიხსნება.

პირველ ამოცანაში განისაზღვრება რკინაბეტონის კონსტრუქციის კვეთის დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა, ბეტონის ცოცვადობის გათვალისწინებით. შედგენილია პროგრამა, რომლის ალგორითმი დამუშავებულია ნაშრომში. ძირითადი პროგრამისათვის საწყისი მონაცემი აღებულია, როგორც შემთხვევითი სიდიდეები, რომლებიც განისაზღვრებიან როგორც თანაბარზომიერები ან გადანაწილების ნორმალური კანონებით. გაანგარიშების შედეგად დგინდება ნორმალური ძაბვები, მოსახვევთა შედარებითი კუთხეები და კვეთის სიმძიმის ცენტრის შედარებითი გადაადგილებები. თითოეული ამ მახასიათებელიდან იანგარიშება საშუალო მაჩვენებელი, სტანდარტი, ასიმეტრია და ექსცესი.

განგარიშების მონაცემთა შესაბამისად, ნაპოვნ მახასიათებლებს როგორც წესი გააჩნიათ ნორმალური გადანაწილება.

მეორე ამოცანაში განისაზღვრება წინასწარ დამაბული კოჭოვანი კონსტრუქციების ჩაღუნვები, შემდგარია პროგრამა ППБ, რომლის აგების საერთო სქემა ანალოგიურია СУС პროგრამისა. განგარიშების შედეგად განისაზღვრება კონსტრუქციების ჩაღუნვები და კვეთის გრძივი გადაადგილება ზედა და ქვედა ფიბრის სიმძიმის ცენტრის დონეზე. ყოველი ამ პარამეტრისათვის განისაზღვრება საშუალო მაჩვენებელი და სტანდარტი.

რკინაბეტონის კვეთის დამაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობაზე სხვადასხვა ფაქტორების გავლენის გამოკვლევისათვის ა.ვ. კრილოვმა ჩაატარა სამუშაოები სტატისტიკური გამოცდის მეთოდის გამოყენებით, რომლის ალგორითმში ჩართულია დეტერმინირებული ალგორითმიშეკუმშული კვეთის ანგარიშები. ამ დროს მიღებულია, რომ განგარიშების ძირითადი საწყისი პარამეტრები იცვლებიან ნორმალურად (მასალის დეფორმატიული მახასიათებლები, წინასწარი დამაბვის ძალები, მუდმივი დატვირთვები), “წაკვეთილი” ნორმალურად (დროებითი დატვირთვა) და თაბაბრად (დაჯდომის და ცოცვადობის სიჩქარეები, დროებითი მახასიათებლები) განაწილების კანონებით. განგარიშების შედეგად განისაზღვრება დეფორმაციის და დამაბულობის სტატისტიკური პარამეტრები: საშუალო მაჩვენებლები საშუალო კვადრატული გადახრები, ასიმეტრიის და ექსცესის კოეფიციენტები. აიგება განაწილების პიროგრამები, რომლებიც შეფარებულია თეორიულთან.

სტატისტიკური მოდელების გამოყენებითაა გამოკვლეული ტიპიური უნიფიცირებული კვეთური კოჭები და ჩარჩო-საკიდი კონსტრუქცია, რომელიც აგებულია გადახურვითი აკრეფით. ამ დროს გამოიყენება რეალური ნაგებობისთვის უფრო მეტად სავარაუდო საწყისი პარამეტრები: ცოცვადობის საბოლოო მახასიათებლები, არმატურაში დამაბულობის მოდული, ვერტიკალური მუდმივი და დროებითი დატვირთვების ჩაღუნვის მომენტები და ა.შ.

მიღებულია, რომ ბეტონის ცოცვალობის დეფორმაციული მახასიათებლების გაზრდა გადახურვითი აწყობის დროს გავლენას არ ახდენს კუთხური დეფორმაციების საბოლოო მნიშვნელობებზე, ხოლო სტაციონალური ხიდურების მონტაჟის დროს პირიქით, ეს გავლენა არსებითია.

ი.ფარკაშის ნაშრომში გამოკვლეულია რეალური კონსტრუქციების საიმედოება ნაპრალიანობის მიხედვით, კონსტრუქციულ-ტექნოლოგიურ ცვალებადობაზე დამოკიდებულებით, ისეთი, როგორცაა: ცოცვალობა და ბეტონის ჯდომა, არმატურის ხახუნით არხებში და სხვა. გაანგარიშების მეთოდიკაში ცოცვალობა და ჯდენა განხილულია როგორც ნორმალური შემთხვევითი პროცესები. მაგალითებზე მიღებული შედეგების შემოწმება ხორციელდება მონტეკარლოს მეთოდით.

გ.ო. მადსენი და ვ.რ. ბაზანტის ნაშრომებში გამოიყვანება უბრალო სავარაუდო მოდელები ცოცვალობაზე და ჯდომაზე ანგარიშებისათვის, რაც დაფუძნებულია შემთხვევითი პარამეტრების შემოღებაზე. მითითებული პარამეტრების იდენტიფიკაცია წარმოებს ცდების მონაცემების დამუშავების ბაზაზე; ამ დროს კონსტრუქციის ანგარიში შეიძლება ჩვეულებრივი დეტერმინისტული მეთოდებით. გაიანგარიშება უბრალო კოჭის გამონოლითურობის ეფექტი, მის ერთ გაუჭრელ კოჭად გადაქცევით, მოყვანილია რკინაბეტონის კოჭის წინასწარდაძაბვის დანაკარგების ანგარიში, ასევე კოლონის გამობერვის დეფორმაციის ანალიზი ცოცვალობის პირობებში.

ცდების შედეგების ანალიზის შესაბამისად ჩაწერის მოხერხებული მატრიკული ფორმა საშუალებას იძლევა საკმაოდ იოლად მივიღოთ კონსტრუქციებში ამა თუ იმ შინაგანი დამაბულობის და გადაადგილების მომენტების ზუსტი შეფასება. ზოგიერთი შინაგანი დამაბულობა, რომლებიც დეტერმინირებულ კონსტრუქციულ მოდელებში თითქმის ნულს უტოლდებიან, შემთხვევითი პარამეტრების გაფანტვის ხარჯზე შეიძლება მიაღწიონ მნიშვნელოვან სიდიდეს და დიდი გავლენა მოახდინონ

კონსტრუქციების მუშაობაზე. მთელ რიგ სხვა შემთხვევებში საწყისი მონაცემების განუსაზღვრელობას არ მივყავართ ანგარიშის შედეგების მნიშვნელოვან გაფანტვამდე. ამას გარდა, მასალის და კონსტრუქციების თვისებების ცვალებადობა დამოკიდებულია დაკვირვების დროზე, ხოლო ვარიაციის კოეფიციენტი წარმოადგენს დროის ფუნქციას.

ა.გ. მალხასიანმა და ლ.ტ. მანანდიანმა დაამუშავეს კოჭინ ნალუნის ამოცანის გადაწყვეტის სტატიკური მეთოდი. ამ კოჭის მასალას წრფივი ცოცვადობა გააჩნია. ითვლება, რომ კოჭის მასალის თვისებები დროში ინვარიანტულები არიან, ხოლო ცოცვადობის გული – გაუსური კვაზისტაციონალური დროის შემთხვევითი ფუნქციაა. მიღებულია კოჭის ჩალუნვის მოცდის და დისპერსიის მათემატიკური გამოსახულება.

ზემოთმოყვანილი ნაშრომების ანალიზი აჩვენებს, რომ მიუხედავად იმისა, რომ ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის მოვლენა რკინაბეტონის კონსტრუქციების ანგარიშებში განიხილება სხვადასხვა ასპექტში, ხოლო მრავალი სავარაუდოდ მათში არაა ამ ანგარიშებისათვის მნიშვნელოვანი ძალების შესაძლო გაბნევის საზღვრების განსაზღვრა, სტატიკურად ურკვევი რკინაბეტონის კონსტრუქციებში გაფანტვისაგან ბეტონის ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებლებით.

## 1.2. 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.

ცოცვადობის თეორია წარმოადგენს კონსტრუქციათა ანგარიშების ნამდვილი მუშაობის პირობებთან მიახლოების ერთ-ერთ ასპექტს და ადგენს დამოკიდებულებას დეფორმაციასა და დამაბულობას შორის დროის ფაქტორის გათვალისწინებით.

დ. მაქსველმა პირველად წარმოადგინა დეფორმაციის კანონი დროში დიფერენციალური განტოლების სახით, რომელიც ზოგიერთ შემთხვევაში შეიძლება საინჟინრო პრაქტიკაში გამოვიყენოთ.

ბეტონის ცოცვადობის გავლენის აღწერა ბეტონის და რკინაბეტონის დამაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობაზე გამოიყენება შემდეგი წრფივი თეორიები: დრეკადობის მემკვიდრეობის თეორია (ბლანტ-დრეკადი სხეული თეორია), დამკვლების თეორიის მოდიფიცირებული ვარიანტ (ბლანტი-დრეკადი ტანის გამარტივებული თეორია) და დამკვლების მემკვიდრეობითობის თეორია (ბლანტი-დრეკადი ტანის თეორია).

მემკვიდრეობით-დრეკადობის თეორიას /2/ საფუძვლად უდევს შემდეგი ძირითადი წინაპირობები:

1. ბეტონი განიხილება როგორც ერთგვაროვანი იზოტრიპული მასალა;

2. მყისიერ დეფორმაციას და დამაბულობას შორის არსებობს პირდაპირი დამოკიდებულება;

3. ცოცვადობის დეფორმაციას და დამაბულობებს 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 დამაბულობის დამატებით.

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

დრეკადი მემკვიდრეობითობის თეორიის ძირითადი განტოლება შეიძლება ასე ჩაიწეროს:

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

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

$\tau$  - 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.

დრეკადი მემკვიდრეობითობის თეორიამ შემდგომი განვითარება ჰპოვა ა.რ. რჟაცინის, ბ.ბ. ოგორკოვის, ი.ი. რაბოტნოვის, ა.კ. მალკისტერის, ს. გაუხარის და სხვათა შრომებში.

იუტენიმ და ფ. დიშინგერმა ბეტონის ცოცვადობაზე ექსპერიმენტულ მონაცემებზე დაყრდნობით შექმნეს ბეტონის ცოცვადობის დაბერების გათვალისწინების თეორია, რომელსაც საფუძვლად უდევს ჰიპოთეზა იმაზე, რომ ბეტონის ნიმუშების ცოცვადობის დეფორმაციათა მრუდები, რომლებიც სხვადასხვა დროს არიან დატვირთულები, გარკვეული მომენტის შემდეგ თითქმის პარალელურიები ხდებიან. ამიტომ დიშინგერმა მიიღო

დამატებითი ჰიპოთეზა ცოცვადობის დეფორმაციათა მრუდების პარალელურობის შესახებ. ამის გათვალისწინებით ბეტონის ცოცვადობის ზომები, რომელიც დატვირთულია ნებისმიერი  $t$  დროის მომენტში, შეიძლება მივიღოთ ბეტონის ნიმუშების ცოცვადობის ზომებიდან, რომელიც დატვირთულია  $t=0$  დროის მომენტში, ამ მონაკვეთის მრუდის იმ ადგილის ამოჭრით, რომელიც შეესაბამება  $0 - t$  დროის ინტერვალს, ანუ

$$c(t, \tau) = c(t) - c(\tau) \quad (1.2)$$

დამკვლევების თეორიის თანახმად /9,10,11/ დამოკიდებულება დამაბულობებსა და დეფორმაციებს შორის, როცა  $E=const$ , შემდეგი ძირითადი ფორმულით გამოიხატება:

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

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

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

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

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

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

სადაც  $\varphi_k$  - ცვალებადობის უკანასკნელი (ბოლო) მახასიათებელია, ანუ სიდიდე

$t \rightarrow \infty$  - ის დროის;

$\beta$  - კოეფიციენტი, რომელიც ახასიათებს მცოცავი დეფორმაციის მიმდინარეობის სიჩქარეს.

დამკვლევების (დაბერების) თეორია დამუშავებულია და განვითარებულია მრავალი მეცნიერის შრომებში (ს.ვ. ალექსანდროვსკი, ი.ი.

რიულდე, ვ. დილგერი, ვ. ბაზოტი და დ. ჩერნი, ო.ი. ბერგი და ე.ნ. ერბაკოვი, კარაპეტინი და სხვა მრავალი).

გ.ვ. კიზირიას ნაშრომში ბეტონი ცოცვადობის გათვლა რეალიზდება დაძველების თეორიის გამოყენებით, რომლიც მიხედვითაც ცოცვადობის დეფორმაცია გამოიხატება დამოკიდებულებით:

$$\alpha \varepsilon_1 + \varepsilon_1 \alpha \varphi_1 \quad (1.6)$$

სადაც  $\varepsilon_1$  – დრეკადობის დეფორმაცია;

$\varphi_1$  – ცოცვადობის ფუნქცია.

გადაადგილების ერთდროულობის პირობები ბეტონის ცოცვადობის გათვალისწინება ავტორს უფლებას აძლევს მიიღოს წრფივი დიფერენციალური განტოლებების სისტემა.

დაძველების მოდიფიცირებული თეორია /4/, ანუ დრეკად-მცოცავი სხეულის გამარტივებული თეორია გარკვეული ხარისხით (სიდიდით) გამორიცხავს შეცდომებს, რომლებიც დაკავშირებული არიან ცოცვადობის მრუდეების პარალელურობის ჰიპოთეზის მიღებასთან, და ამასთან შენარჩუნებულია გამოთვლების სიმარტივე, რომელიც დამახასიათებელია დაძველების (სიბერის) კლასიკურ თეორიასთან.

ეს თეორია განვითარებულია ე.ა. გოლიშევას და ა.ი. ბარაშიკოვის, ი.დ. დივშიცის, დ. დჟევტიჩის და ვ. პრასკოვოჩის და სხვათა შრომებში.

წარმოდგენილი “სახელმძღვანელოს” მეთოდს საფუძვლად უდევს დაბერების (დაძველების) მოდიფიცირებული თეორია, რომლის ბირთვი ასეთ სახეს ღებულობს:

$$1+E(t, \tau) = 1 + \varphi(t) - \varphi(\tau) + \theta_0 - m\varphi(t) \quad (1.7)$$

სადაც  $\theta$  – ბეტონის მყისიერად მიმდინარე ცოცვადობის დეფორმაციის საბოლოო დახასიათებაა.

ეს ფორმულა გარკვეული მიახლოებით გამოხატავს მასალის როგორც “დაძველებას” (“დაბერებას”), ასევე ცოცვადობის დეფორმაციის



“მემკვიდრეობით” თვისებებს და დატვირთვის საწყის პერიოდში მათი განვითარების სწრაფად მიმდინარეობის ხასიათს.

მემკვიდრეობითი დაძველების თეორიაში გათვალისწინებულია როგორც დაძველების მოვლენა, ასევე დრეკადი მემკვიდრეობაც. ეს თეორია წარმოადგინეს და დაამუშავეს გ.ნ. მასლოვმა, ნ.ხ. არუთინიანმა და ა.ა. გვოზდევმა /2,5/ 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 დამაბულობებს შორის ძირითადი დამოკიდებულება ასე ჩაიწერება:

$$\varepsilon(t) = \sigma(\tau_1)\delta(t, \tau) + \int_{\tau_1}^1 \frac{\partial \sigma(\tau)}{\partial \tau} \delta(t, \tau) d\tau \quad (1.8)$$

ან ცალკეულ ნაწილებად ინტეგრირების შემთხვევაში

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E(t)} - \int_0^1 \sigma(\tau) \frac{\partial \sigma(t, \tau)}{\partial \tau} d\tau \quad (1.9)$$

ა.ა. გვოზდევის მიხედვით

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E(t)} - \int_{\tau_1}^1 \frac{\sigma(t)}{ER(\tau)} L(t, \tau) d\tau \quad (1.10)$$

სადაც  $K(t, \tau)$  – ადრე არსებული (მოქმედი) დამაბულობის გავლენის ფუნქციაა  $\varepsilon(\tau)$  დეფორმაციაზე.

ცოცვადობის საზომად ნ.ა. არუთინიანი ღებულობს:

$$c(t, \tau) = \theta(\tau)g(t - \tau) = \left(c_0 + \frac{A_1}{\tau}\right) [1 - e^{-\gamma(t-\tau)}] \quad (1.11)$$

ხოლო ს.ნ. ალექსანდროვსკის /1/ მიხედვით სათანადო დამოკიდებულება ასეთ სახეს ღებულობს:

$$c(t, \tau) = \varphi(\tau) - F(t)(e^{yr} - A_c) - \Delta(\tau)e^{-a(r-\tau)} \quad (1.12)$$

რომელიც საუკეთესედ აღწერს ექსპერიმენტალურ მონაცემებს.

ა.ბ. კვიადარასი და ა.ნ. კუდზინი ცოცვადობის საზომად გვთავაზობენ გამოსახულებას:

$$c^-(t, \tau) = c(r, \tau) + \frac{1}{E(\tau)} - \frac{1}{E(E, \tau)} \quad (1.13)$$

რომელიც უკეთესად გამოსახავს დრეკადობის მოდულის გავლენას დროში.

### 1.3. ბეტონის ცოცვადობის ალბათური ბუნება

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

ე.ნ. ჩერბაკოვის, /20,21/ 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 ლბათური მიდგომები მოცემულია ასევე ზ. ბაზონტის, უ. ჯორდანის, რ. ვესტლუნდის, ე. ცინლერის, ე.ბ. შერბაკოვის, ლ.ნ. მაკარენკოს და ნ.მ. ბიტკოს, მ. ჭანტურიას /17,18,19/ და სხვათა შრომებში.

ე.ნ. შერბაკოვის /20/ შრომებში მოცემულია ბეტონის მექანიკური მახასიათებლების პროგნოზირების მეთოდები, მათ შორის მისი ცოცვადობის (მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტალური მონაცემების სტატისტიკური გადამუშავების საფუძველზე).

ცოცვადობის ძირითადი პარამეტრების პროგნოზირებას ეძღვნება ი.პ. სამორინის, ი. ერიომინის, ო. ბლოხის, მ.მ. ზასტავის და სხვათა გამოკვლევებიც.

#### **1.4. ხიდების გაანგარიშების მეთოდების ისტორიული მიმოხილვა**

თანამედროვე ხიდების სახეობანი მეტად მრავალფეროვანია. მათი კლასიფიკაცია შეიძლება სხვადასხვა თვალსაზრისით მოხდეს. დანიშნულების მიხედვით ძირითად სახეობას რკინიგზის და ავტოსაგზაო ხიდები წარმოადგენს. მნიშვნელოვანია ხიდების კლასიფიკაცია მათ მიერ

გადალახული დაბრკოლების სახის მიხედვით. უმეტეს შემთხვევაში ხიდები მდინარეებს კვეთენ. ასეთი ნაგებობა საკუთვრივ ხიდს წარმოადგენს. მისი ზომების განმსაზღვრელი პირობაა მდინარის ხარჯის დაუბრკოლებელი გატარება. ხიდს, რომელიც ღრმა ხევის ან ხეობას გადახურავს, ვიადუკი ეწოდება. ხევში მომდინარე წყლის ნაკადი ამ შემთხვევაში ხიდის ზომაზე გავლენას აღარ ახდენს – ისინი ხევის კონფიგურაციით განისაზღვრება. ვიადუკები ხშირად გვხვდება მთიან რაიონებში. ზოგიერთ შემთხვევაში ხიდი კეთდება შემხვედრი გზის გადასაკვეთად. ასეთ ხიდს გზაგამტარი ეწოდება. აარის ისეთი შემთხვევები, როდესაც გზას არავითარი საგანგებო დაბრკოლება არ ხვდება – ის შეიძლება ვაკისზე მოეწყოს; მაგრამ ეკონომიური მიზნით უფრო ხელსაყრელია ხიდის გაკეთება. ამ შემთხვევაში ხიდს ესტაკადა ეწოდება.

ხიდები უნდა განვასხვავოთ მათი მასალის მიხედვითაც. ზოგად შემთხვევაში ხიდის საყრდენებისა და მალის ნაშენების მასალა შეიძლება სხვადასხვა იყოს. ამიტომ მიღებულია ხიდების კლასიფიკაცია მათი მალის ნაშენის მასალის მიხედვით. ამ თვალსაზრისით გამოირჩევა ხის, ქვის, რკინაბეტონის და ლითონის ხიდები.

მეტად მნიშვნელოვანია ხიდების კლასიფიკაცია მათი სტატიკური სქემის მიხედვით. განმსაზღვრელ როლს აქ მალის ნაშენის სტატიკური სქემა თამაშობს. ამ თვალსაზრისით ძირითადი სახეობაა: კოჭური, თაღოვანი და კიდული (ვანტური) ხიდები.



ნახ.1. ჰემისჰოფის ხიდი მდ. რეინზე (შვეიცარია)

კოჭური ხიდის (ნახ.1) მალის ნაშენის მზიდი კონსტრუქცია თავისი სტატიკური სქემით წარმოადგენს კოჭს, ე.ი. ისეთ სისტემას, რომელიც შვეული დატვირთვების დროს მხოლოდ შვეულ რეაქციებს წარმოქმნის. იგი შეიძლება იყოს როგორც ჭრილი, ისე უჭრი ან კონსოლური-სახსროვანი.

თაღოვანი ხიდის მალის ნაშენის ძირითადი მზიდი კონსტრუქცია წარმოადგენს თაღს ან კამარას (ნახ.2). ეს გამბრჯენიანი კონსტრუქციაა: შვეული დატვირთვების მოქმედების დროს, გარდა შვეული რეაქციებისა, წარმოიშობა თარაზული რეაქცია – განმბრჯენი, მიმართული მალის შიგნით.



ნახ.2. თალოვანი ხიდი მდუ რეინზე ე. კონსტანცაში (გერმანია)

კიდული ხიდის ძირითადი მზიდი კონსტრუქციაა აგრეთვე გამბრჯენიანი სისტემა. ეს არის ჯაჭვი (ვანტი), რომელიც გაჭიმვაზე მუშაობს. შვეული დატვირთვების მოქმედება აქაც წარმოშობს თარაზულ რეაქციას – განმბრჯენს, მაგრამ თალოვანი ხიდებისაგან განსხვავებით, განმბრჯენი აქ მალიდან გარეთაა მიმართული (ნახ.3).



ნახ.3. კიდული ხიდი პოტუგალიაში

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 დიდმალიანი 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 ვეროცანო-ნეროუზი აშშ-ში, კვებეკის ხიდი კანადაში და მრავალი სხვა /1/. ამ ობიექტების მშენებლობის პროცესში გამოიკვეთა კონსტრუქციების მდგრადობის მნიშვნელობა ნაგებობის სიმტკიცისა და საექსპლოატაციო საფრთხოების უზრუნველყოფისათვის.

დიდი მალეების მქონე ხიდების სიგრძემ, არახელსაყრელმა დინამიკურმა მახასიათებლებმა (დაბალი სიხშირეები და რხევების მიღევის 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 წარმოდგენს 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.

თუ სეისმური და ტრანსპორტის დატვირთვის მნიშვნელობა აპრიორულად ცხადი იყო და მათ ზემოქმედებაზე ნაგებობის გაანგარიშებას თავიდანვე ექცეოდა საკმაო ყურადღება.

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.

ეს ხიდი, მთავარი მალით 854 მ, კარგად ეწინააღმდეგებოდა ძლიერი ქარის ზემოქმედებას, მაგრამ მეტად მგრძნობიარე 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 გარშემოდინების 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.

საქართველოში ანალოგიური კვლევები ეკუთვნით ა.რაზმაძეს, ი.მელაშვილს, ო.სულაბერიძეს და სხვებს.

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 ინარჩუნებს 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 ხიდეები 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;

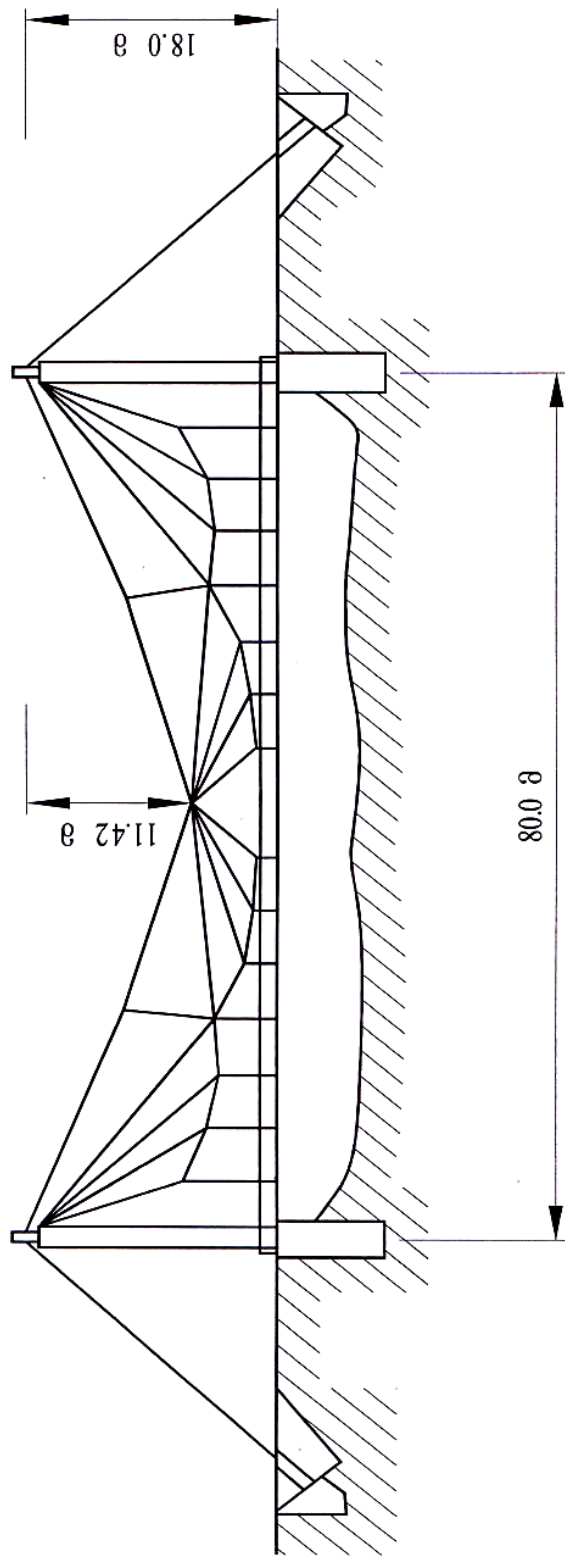
- სიხისტის კოჭების განივკვეთს აქვს ძირითადად აეროდინამიკური მოხაზულობა ჩაკეტილი კოლოფისებური კვეთის ან მალის ნაშენი განივი კვეთის ნაპირებში განლაგებული კოლოფისებრი კონსტრუქციების სახით;

- 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 მალის მნიშვნელოვანი ზრდის საშუალებას.

მოქნილი სისტემის ხიდების (კიდული და ვანტური ხიდები) კონსტრუქციების დაპროექტებისას ძირითადად ამოცანად იღებენ კონსტრუქციის სიმტკიცისა და სიხისტის უზრუნველყოფას დატვირთვის სტატიკური ზემოქმედებისას. დროებითი მოძრავი დატვირთვის ზემოქმედების დინამიკური ეფექტის გათვალისწინება ხდება სტატიკური

დატვირთვის პირობითი გაზრდით, ანუ დინამიკური კოეფიციენტის გამოყენებით.



ნახ. 1.2. ხიდი მდ. მაგანაზე ვანტური ფერმით

ნახ. 4. ხიდი მდ. მაგანაზე ვანტური ფორმით

საერთოდ კიდული და ვანტური ხიდების კონსტრუქციები ხასიათდებიან გეომეტრიული და სიხისტითი მახასიათებლების მრავალფეროვნებით.

თანამედროვე ვანტური ხიდები, როგორც წესი, უფრო მგრძობიარეა რხევების მიმართ, ვიდრე ადრინდელი კონსტრუქციები, რაც გამოწვეულია მალის ნაშენის საკუთარი წონის შედარებით შემცირებით, მოქნილობის გაზრდით, კონსტრუქციის მადემპფირებელი უნარის დაქვეითებით.

ვანტური ხიდების გაანგარიშება სტატიკურ და დინამიკურ დატვირთვებზე დაკავშირებულია მთელ რიგ მათემატიკურ სირთულეებთან. ამის გამო საკითხის გასამარტივებლად გაანგარიშების არსებული მეთოდები იყენებენ სხვადასხვა დაშვებებს. მათ შორის ძირითადი შემდეგია:

– ვანტურ ხიდის სიხისტის კოჭს წარმოვიდგენთ როგორც მრავალმალამ უჭრ კოჭს დრეკად საყრდენებზე;

– ვანტები რხევის პროცესში რჩება გაჭიმული, ანუ განიხილება სისტემის მცირე გადაადგილებები, რომელთა დროს ვანტი არ გამოდის მუშაობის მდგომარეობიდან;

– ვანტის მასა სავალი ნაწილისა და სიხისტის კოჭის მასასთან შედარებით უგულვებებყოფილია;

– კოჭის სიხისტე და მალის ნაშენის გრძივი მეტრის წონა ხიდის მთელ სიგრძეზე მუდმივი სიდიდეა;

– შუალედ ბურჯებზე პილონის დაყენების ადგილას სიხისტის კოჭი არ ითვისებს მდუნავ მომენტებს;

– რხევების მიღების გავლენა და პილონების ინერციის თარაზული ძალები უგულვებელყოფილია.

ამ დაშვების საფუძველზე საანგარიშო სქემა წარმოადგენს ბოლოებზე სახსრულად დაყრდნობილ და ვანტების მიმაგრების ადგილებში დრეკადი შუალედური საყრდენების მქონე კოჭს მალით  $l$ .

ყოველი შუალედური საყრდენის სიხისტე განისაზღვრება შესაბამისი ვანტის დეფორმატიულობით, დახრის კუთხით და პილონის თარაზული გადაადგილებით ვანტის ჩამაგრების დონეზე.

თუ სისტემა სიმეტრიულია შუა კვეთის მიმართ, ანგარიში მნიშვნელოვნად მარტივდება.

კიდევ ერთი დაშვება გაანგარიშების გამარტივების მიზნით იმაში მდგომარეობს, რომ რადგან კონსტრუქციული მოსაზრებებიდან და მღუნავი მომენტების რაციონალური განაწილების პირობიდან გამომდინარე პანელების სიგრძე ერთნაირი ინიშნება, დრეკადი საყრდენების სიხისტეებს შორის სხვაობა მცირეა და საკმაოდ კანონზომიერად მცირდება მალის შუისკენ. ამის შედეგად, როგორც ამას გაანგარიშებების პრაქტიკა აჩვენებს, ყველა დრეკადი საყრდენის სიხისტე შეიძლება მიღებულ იქნეს ერთნაირი

და ტოლი 
$$\Delta = \frac{\bar{\Delta}^{-2}}{\Delta_k} \quad (1.4)$$

სადაც  $\bar{\Delta}$  – სიხისტეების საშუალო არითმეტიკულია;

$\Delta_k$  – მალის შუასთან ყველაზე ახლოს განლაგებული საყრდენის სიხისტეა.

ვანტური სისტემების ხისტი ელემენტების გაანგარიშებისას ძირითადად საქმე გვაქვს შეკუმშულ და შეკუმშულ-გალუნულ ელემენტებთან. ამ გაანგარიშებები სას მთავარი ამოცანაა კრიტიკული მკუმშავი ძალის დადგენა, როგორც ელემენტის მდგრადობის განმსაზღვრელი პარამეტრისა, ეს კი თავის მხრივ, მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მოქნილი სისტემების სიხისტის ელემენტების დინამიკურ მახასიათებლებზე.

ხიდების კონსტრუქციების აეროდინამიკური მდგრადობა განისაზღვრება მათი აეროდინამიკური თვისებებით ჰაერის ნაკადში, რაც თავის მხრივ, განპირობებულია კონსტრუქციის განიკვეთის ფორმით, მისი ორიენტაციით ჰაერის ნაკადის მიმართ, ნაგებობისა და მისი ცალკეული

ელემენტების დრეკადი, ინერციული და მადემპფირებელი მახასიათებლებით, ქარის სტრუქტურით და რიგი სხვა გარემოებებით.

რხევების პარამეტრების მართვის აეროდინამიკური მეთოდების ეფექტურობა განპირობებულია რხევების გამომწვევ აეროდინამიკური მიზეზებზე ზემოქმედების ხარისხით. ამიტომ რხევების პარამეტრების მართვის აეროდინამიკური მეთოდები ეფუძნება რიგ ცნობილ ეფექტებს: კონსტრუქციის გარშემო ჰაერის ნაკადის ცირკულაციის ხასიათის შეცვლა, კარმანის გრიგალების მოწყვეტის ფაზის ცვლილება ნაგებობის სიგრძეზე, ანუ აგრიგალების რეულარობის დარღვევა და სხვა. ყოველივე ამის მიღწევა ხდება ნაგებობისა და მისი კონსტრუქციებისთვის შესაბამისი გარსადენის ფორმის მიცემით, გამჭოლი კონსტრუქციების გამოყენებით, კონსტრუქციაზე გარსმდენების დაყენებით და სხვა მისთანა ხერხებით.

თანამედროვე ხიდმშენებლობაში ფართო გამოყენებას ნახულობს გაუმჯობესებული გარსადენის ფორმის კოლოფისებრი განივკვეთის მალის ნაშენები (ნახ. 1.6). ექსპლუატაციაში მყოფი ხიდებისთვის, რომლებსაც აქვთ არაგარსადენის ფორმის განივი კვეთები, იყენებენ სხვადასხვა ფორმის გარსშემომდენებს (ნახ. 1.7)

დ.შტაინმანმა ყურადღება მიაქცია იმ გარემოებას, რომ სავალ ნაწილში განაჭერების მოწყობა, აგრეთვე სავალ ნაწილსა და სიხისტის კოჭს შორის ღიობის დატოვება მნიშვნელოვნად ზრდის ხიდის აეროდინამიკურ მდგრადობას.

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.

## 1.5. რკინაბეტონის მრავალმალღიანი უჭრი ხიდის გაანგარიშება მასში განვითარებული ცოცვადობის დეფორმაციის ალბათური ბუნების გათვალისწინებით

რომელიც წარმოადგენს ექსპერიმენტულად მიღებულ სიდიდეს თავისი შესაძლო გადახრებით საშუალოდან. ამ სიდიდის განაწილების კანონის დადგენა წარმოადგენს კონსტრუქციის საიმედო მუშაობის ერთ-ერთ გარანტს. ასევე მნიშვნელოვანია კონსტრუქციებში ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებელი, რომელიც წარმოადგენს დრეკადობის მოდულის ნაწარმოებ სისდიდეს, და ამიტომაც წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეს.

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 ორმალღიანი უჭრი კოჭი, რომლის სტატიკური 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 სტატიკურ 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 მდუნავი მომენტი განისაზღვრება შემდეგნაირად:

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

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

დაშვებულია ჰიპოთეზა, რომ მოცემული სტატისტიკური განაწილების რიგს შეიძლება მივუსადაგოთ განაწილების ნორმალური კანონი, რომელიც მოწმდება პირსონის შესაბამისობის კრიტერიუმით. ამ მიზნით გამოთვლილია თეორიული ალბათობები  $P_i$ -ური მნიშვნელობათა მოხვედრისა და სტატისტიკური რიგის სიხშირესთან  $P_1^*$ -თან. ცხრილების დახმარებით და ფორმულების საშუალებით გამოთვლილია პირსონის განსხვავებულობა  $X^2=4.50$ , თავისუფლების ხარისხის რიცხვი  $r=9$ , ცხრილის საშუალებით ალბათობა იმისა, რომ მოცემული სიდიდე, რომელსაც გააჩნია განაწილება  $X^2 r=9$ -ით, გადააჭარბებს მოცემულ მნიშვნეობას  $X^2=4.50$ -ს  $P=0.81 > 0.1$ , რადგან ეს ალბათობა საკმაოდ დიდია, შეიძლება დავუშვათ, რომ მოცემულ სტატისტიკურ განაწილებას გააჩნია თეორიული განაწილების ფუნქცია-ნორმალური განაწილების კანონის სახით:

$$f_{M_x} = \frac{0.44}{1.11 \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(M_x - 17.2)^2}{2 \cdot 1.11^2}\right)$$

სადაც 0.44 – ნორმალური განაწილების მრუდის (ბ) ჰისტოგრამასთან (5) მიახლოების კოეფიციენტი. ნორმალური განაწილების მრუდის (ბ) სტატისტიკური განაწილების რიგის ჰისტოგრამასთან (ა) ერთად, შეიძლება

გამოვიყენოთ მოცემული ჰიპოთეზის კოლმოგოროვის შესაბამისობის კრიტერიუმით შესამოწმებლად.

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:

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

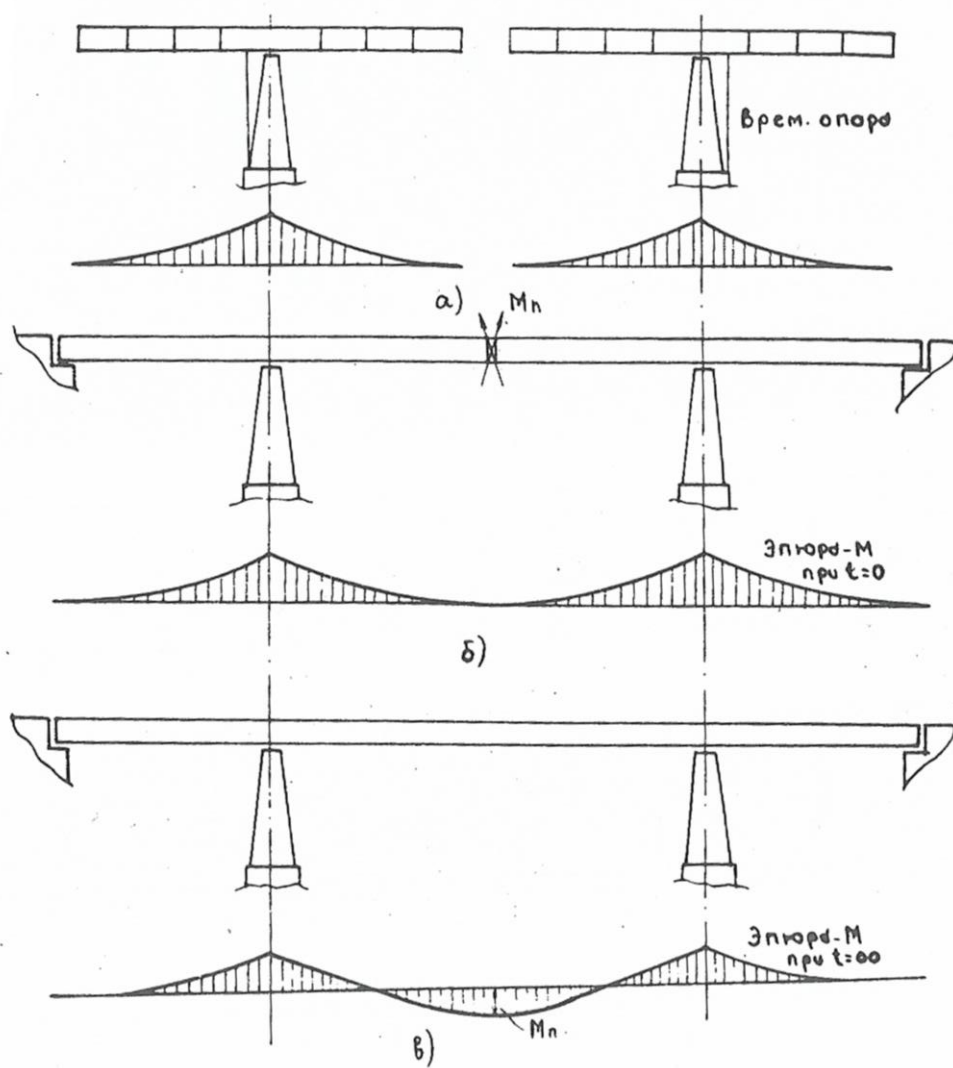
სტატისტიკური განაწილების რიგისთვის ნორმალური კანონის შესაბამისობა შემოწმდა კოლმოგოროვის შესაბამისობის კრიტერიუმით. ცხადია,  $k_x$ -ის შესაძლო გადახრები გამოიწვევს კვეთში აღძრულ ძაბვათა სიდიდეების ცვლილებას, რისი გამოკვლევაც მეტად მნიშვნელოვანია საბოლოოდ კონსტრუქციის საიმედო მუშაობისათვის.

## 1.6. ძალგათა განსაზღვრა საავტომობილო ხიდში ცოცვადობის დეფორმაციის გათვალისწინებით

ზემოთ მოცემული მეთოდით გავიანგარიშეთ რკინაბეტონის უჭრი საავტომობილო ხიდის კონსტრუქცია, რომლის მასალებია 42X84X42 მ. რომელიც უნივერსალური ტექნოლოგიითა აგებული. ასეთი ხიდის (აწყობა) აგება მიმდინარეობს შემდეგი თანმიმდევრობით: ხიდის უჭრ კონსტრუქციაზე, რომელიც იგება დროებით საყრდენებზე კონსოლური სქემით, ხანგრძლივი დატვირთვა (კოჭის საკუთარი წონა) მოქმედებს ამ კონსოლური სქემის პირობებში (ნახ. 8)

კონსოლთა ცალკეული ნაწილების შეერთების მომენტში შუა მალის შუაში ძალები საკუთარი წონისგან შეერთების ადგილას ნულის ტოლია (ნახ. 8.ბ)

გამთლიანების განსკუთრებულობა იმაში მდგომარეობს, რომ კონსოლების პირაპირების დაბეტონებისას ფიქსირდება იგივე მობრუნების კუთხეები, რომელიც ჰქონდა პირაპირის ზედაპირს გამთლიანების მომენტში (ნახ. 8 ბ) კონსოლის მასალას, რომ არ ახასიათებდეს ცოცვადობის თვისება, მობრუნების კუთხეები არ შეიცვლებოდნენ. რადგანაც ბეტონს ახასიათებს ცოცვადობის თვისება, პირაპირების მობრუნების კუთხეები უნდა გაზრდილიყვნენ და უნდა გაზრდილიყო კონსოლის კიდის გადაადგილებაც, მაგრამ გამთლიანების პროცესი ხელს უშლის ამ კუთხეების გაზრდას და აგრეთვე გადაადგილების განვითარებასაც. კავშირის ადგილას ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარების შედეგად აღიმკრება ძალვა,



ნახაზი 5. საავტომობილო ხიდის სქემა

რომლის განსაკუთრებულობა იმაშია, რომ დამატებითი კავშირების მოდების მომენტში ისინი ნულის ტოლი არიან. ისინი აღიმკვრიბიან და იზრდებიან ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარების შედეგად, ე.ი. წარმოადგენენ დროში ცვალეზად სიდიდეს. მღუნავი მომენტი, რომელიც აღიმკვრება კონსოლთა შეერთების ადგილას, ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარების შედეგად გარკვეული დროის შემდეგ იმავე რიგისა იქნება, როგორც მღუნავი მომენტი, რომელიც აღიმკვრებოდა ჩვეულებრივი უჭრი სქემისას.

აღმრული მღუნავი მომენტი შეცვლის მოქმედ ძალეებს კონსტრუქციის ყველა კუთხეში.

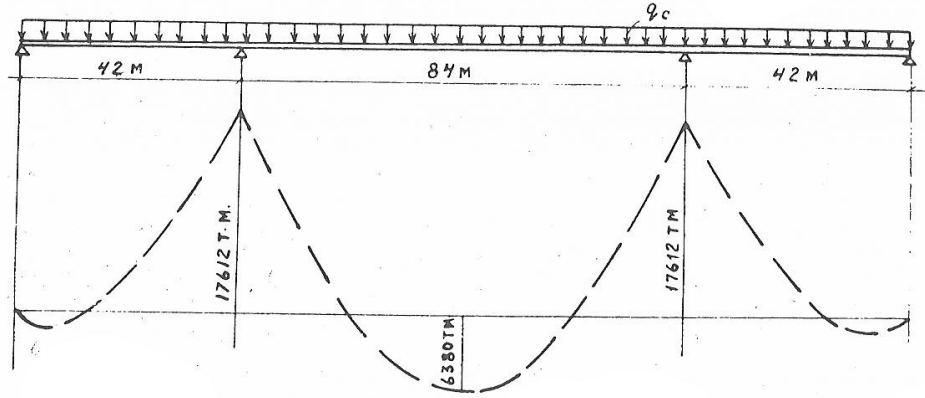
გარე სტატიკურად რკვევადი კონსტრუქციებისგან განსხვავებით, რომლებშიც დეფორმაციებს ცალკეულ კვეთეებში შეუძლიათ გამოიწვიონ ძალვათა ცვლილება მხოლოდ ამ კვეთეებში, სტატიკურად ურკვევ კონსტრუქციებში დეფორმაციის განვითარების ცალკეულ კვეთში მიყვავართ მთლიანი დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ცვლამდე.

განგარიშება მოხდა კომპიუტერის დახმარებით. საანგარისო სქემა (ნახ 8. გ) -ს იდენტურია, როცა ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის ზღვრული მახასიათებელი  $\varphi_n=2.0$  შესაბამისი მღუნავი მომენტი  $M = 17600$  ტ.მ. ნაჩვენებია (ნახ. 6)-ზე.

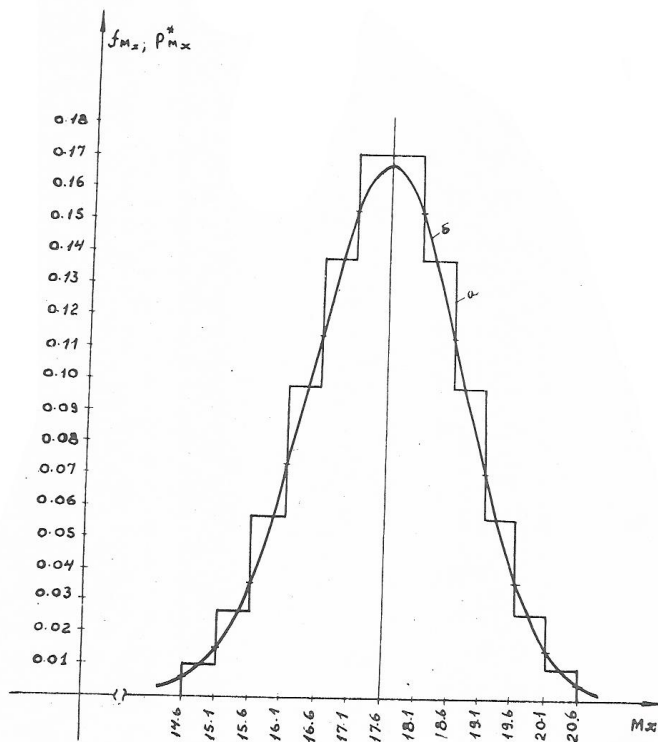
სტატისტიკური ექსპერიმენტის ჩასატარებლად ავიღეთ  $\varphi_n$ - ის მნიშვნელობათა მასივი  $n=2500$  (ცხრილი 18) და ამ მონაცემებით დავიანგარიშეთ შესაბამისი მომენტები ჯამური დატვირთვებისგან. რადგან საანგარიშო პროგრამა ითვალისწინებდა მრავალ ფაქტორს  $\varphi_n$ -სა და  $M_x$ - ს შორის დამოკიდებულება მივიღეთ თითქმის წრფივი.

მიღებულ იქნა  $M_x$ - ის შესაზლო მნიშვნელობათა მასივი, რომელიც რიგებად დაიყო, გავიანგარიშეთ მნიშვნელობათა რაოდენობა  $m_i^*$ , და სიხშირეები  $p_i^*$ , რომლის მოცემულ რიგს შეესაბამება. შევადგინეთ სტატიკური განაწილების რიგი, რომელიც ცხრილ 23-შია მოცემული.

დანაყოფთა რაოდენობა  $k=12$  მოცემული სტატიკური რიგის ჰისტოგრამა ნაჩვენებია (ნახ. 9. ა)-ზე.



ნახაზი. 6. მლუნავი მომენტის ეპიურა



ნახაზი 7. საავტომობილო ხიდში აღძრული მლუნავი მომენტის ჰისტოგრამა და ნორმალური განაწილების მრუდი

ცხრილი №1 რეალურ ხიდში ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციებისაგან აღძრული მომენტის მნიშვნელობათა სტატისტიკური განაწილების რიგი

$f_{n_2}$	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,75	3	3,25	3,5
$f_{n_2, \%}$	75	62,5	50	37,5	25	12,5	0	-12,5	-25	-37,5	-50	-62,5	-75
$M_x \cdot 10^6$	14,6	15,1	15,6	16,1	16,6	17,1	17,6	18,1	18,6	19,1	19,6	20,1	20,6
$M_x \cdot \%$	17	14	11	8	5	2	0	-2	-5	-8	-11	-14	-17
$m^*_j$	25	75	150	250	325	425	425	325	250	150	75	25	0,01
$p^*_j$	0,01	0,03	0,06	0,1	0,13	0,17	0,17	0,13	0,1	0,06	0,03	0,01	

ცხრილი 1. რეალურ ხიდში ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციებისაგან აღძრული მომენტის მნიშვნელობათა სტატისტიკური განაწილების რიგი

ცხრილი № 2. შედარებითი ცხრილი მომენტის მნიშვნელობისათვის, რომლებიც აღიძვრებიან რეალურ ხიდში ცოცვადობის განვითარების დეფორმაციისგან

$M_x \cdot 10^6$	14,6	15,1	15,6	16,1	16,6	17,1	17,6	18,1	18,6	19,1	19,6	20,1
$p^*$	0,01	0,03	0,06	0,1	0,13	0,17	0,17	0,13	0,1	0,06	0,03	0,01
$p_j$	0,01	0,027	0,057	0,098	0,138	0,171	0,171	0,138	0,098	0,057	0,027	0,01

ცხრილი № 3. რეალურ ხიდში ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციისაგან აღძრული მომენტის მნიშვნელობათა ნორმალური განაწილების სიმკვრივეები

$M_x \cdot 10^6$	14,6	15,1	15,6	16,1	16,6	17,1	17,6	18,1	18,6	19,1	19,6	20,1
$f_{m_x}$	0,005	0,015	0,036	0,071	0,114	0,153	0,168	0,153	0,114	0,071	0,036	0,005

ცხრილი 2. შედარებითი ცხრილი მომენტის მნიშვნელობისათვის, რომლებიც აღიძვრებიან რეალურ ხიდში ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარების პირობებში

ცხრილი 3. რეალურ ხიდში ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციისგან აღძრული მომენტის მნიშვნელობათა ნორმალური განაწილების სიმკვრივეები



მოცემული მონაცემებისთვის გამოვიანგარიშეთ ალბათობის თეორიის ფორმულებით მათემატიკური ლოდინი  $m=17.6$  103, მეორე საწყისი მომენტი  $-a^*=311.05 \cdot 10^6$ . დისპერსია  $d=126 \cdot 10^6$ , სტანდარტი (საშუალო კვადრატული გადახრა)  $n=1.14 \cdot 10^3$ , ვარიაციის კოეფიციენტი  $\delta = 0.065$ .

სტატისტიკური განაწილების ჰისტოგრამაში აშკარად ჩანს, რომ მოცემულ სტატისტიკურ გადანაწილებას შეესაბამება თეორიული განაწილების კანონი, ნორმალური განაწილების კანონის სახით. დავუშვათ ჰიპოთეზა ნორმალური კანონით განაწილების შესახებ აღძრული მდუნავი მომენტის შესაძლო მნიშვნელობებისთვის, რომელიც შევამოწმეთ პირსონის შესაბამისობის კრიტერიუმით. ამ მიზნით გამოვიანგარიშეთ თეორიული ალბათობა  $p_i$  იმისა, რომ მოცემული ფორმულით (ნორმალური განაწილების კანონით) მიღებული მნიშვნელობები ნამდვილად მოხვდებიან  $i$ -ურ დანაყოფში (რიგში). ცხრილი 24-ის დახმარებით გამოვთვალოთ პირსონის კოეფიციენტი  $\chi^2 = 4.35$ , თავისუფლების ხარისხის რიცხვი  $r=9$  და ალბათობის თეორიის გამოყენებით შევაფასეთ ალბათობა იმისა, რომ მოცემული სიდიდე, რომელსაც გააჩნია ეს  $\chi^2$  და  $r$ , აღემატება  $\chi^2$  – ს მოცემულ მნიშვნელობას  $\chi^2 = 4.53 - p=0.85 > 0.1$  რადგან ეს ალბათობა ძალზედ მაღალია მოცემულ სტატისტიკურ განაწილებაზე (ცხრილი 6) გააჩნია თეორიული ფუნქცია განაწილებისა, რომელსაც ნორმალური (გაუსის) განაწილების ფორმა აქვს:

$$f_{mx} = 0.48 \exp / 1; 14 \sqrt{2\pi} (-(M_x - 17.6)^2 / 2 \cdot 1.14^2) \quad (3.1)$$

სადაც 0.48 ნორმალური განაწილების მრუდის ჰისტოგრამასთან მიახლოების კოეფიციენტია. (ნახაზი 7.)

ნორმალური განაწილების კანონის სიმკვრივის მნიშვნელობები ყოველ საზღვარზე მოცემულია (ცხრილი 7-ში).

მოცემული ჰიპოთეზა მოწმდება კოლმოგოროვის შესაბამისობის კრიტერიუმით. მაქსიმალური მოდული განსხვავებისა ნორმალურ და სტატისტიკურ განაწილებას შორის  $D^*=0.02$ , კოლმოგოროვის რიცხვი

$\lambda=0.02\sqrt{2500}=1$  ცხრილებიდან ალბათობა  $P(1)=0.27>0.1$ , ამიტომ ჰიპოთეზა ნორმალური განაწილების კანონი გამოყენებადობის შესახებ დასაშვებია.

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

## 1.7. ბეტონის დრეკადობის მოდულის მათემატიკური მოდელი

კონსტრუქციის საიმედოობაზე გაანგარიშების ძირითად ამოცანას წარმოადგენს იმის აღბათობის განსაზღვრა, რომ მოცემული საექსპლუატაციო დროის განმავლობაში შენობის ან ნაგებობის ელემენტები არ აღმოჩნდნენ ზღვრულ მდგომარეობაში. რკინაბეტონის კონსტრუქციების დამაბუღ-დეფორმირებული მდგომარეობის განსაზღვრისას ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ფაქტორს წარმოადგენს ბეტონის დრეკადობის მოდული -  $E_b$ , რომელიც წარმოადგენს ექსპერიმენტულად მიღებულ სიდიდეს თავისი შესაძლო გადახრებით საშუალოდან. ამ სიდიდის განაწილების კანონის დადგენა წარმოადგენს კონსტრუქციის საიმედო მუშაობის ერთ-ერთ გარანტს.

ბეტონის დრეკადობის მოდულის ალბათური მახასიათებლების დასადგენად ჩავატარეთ სტატისტიკური ექსპერიმენტი, რომლისთვისაც გამოვიყენეთ სხვადასხვა მეცნიერის მიერ /3,4,5 და სხვები/ ჩატარებული 150 ექსპერიმენტული მონაცემი. იმისათვის, რომ ეს მონაცემები გამოგვეყენებინა ჩვენს ექსპერიმენტში, ავადგეთ ამ სიდიდისთვის მათემატიკური მოდელი, რომელშიც გათვალისწინებულია ყველა ის ძირითადი ფაქტორი, რომელიც გავლენას ახდენს ამ სიდიდეზე.

ამ 150 მონაცემით /3,4,5 და სხვები/ შევადგინეთ განტოლებათა სისტემების რამდენიმე განსხვავებული ვარიანტი. ასე გამოთვლილი კოეფიციენტების სხვადასხვა ვარიანტიდან უმჯობესეს კვადრატთა მეთოდით შეირჩა მათემატიკური მოდელის შესაბამისი კოეფიციენტები. ბეტონის დრეკადობის მოდულის -  $E_b$  - ის მათემატიკურ მოდელს აქვს შემდეგი სახე:

$$E_b^{\text{mod}} = 3,52 \times 10^5 \left( 0,5 \frac{450 + \tau}{450} + \frac{0,324 R_{pr}}{180} \right),$$

სადაც  $\tau$  - ბეტონის ნიმუშის ასაკია დატვირთვისას, დღე-ღამე;

450 – ექსპერიმენტებში გამოყენებული ბეტონის მაქსიმალური ასაკია, დღე-ღამე;

$R_{pr}$  - დატვირთვისას ბეტონის ნიმუშის პრიზმული სიმტკიცეა, კგ/სმ<sup>2</sup>;

180 – გამოყენებულ ექსპერიმენტებში მინიმალური პრიზმული სიმტკიცეა,

კგ/სმ<sup>2</sup>;

0,5 და 0,324 – უმცირეს კვადრატთა მეთოდით მიღებული კოეფიციენტებია;

$3,52 \times 10^5$  - B35 კლასის ბეტონის ნორმატიული დრეკადობის მოდულია (СНИП 2.05.03-84).

ბეტონის დრეკადობის მოდულის მათემატიკური მოდელის საიმედოობის შესამოწმებლად ექსპერიმენტული და მათემატიკური

მოდელით მიღებულ მნიშვნელობათა ფარდობის სიდიდებს –  $\eta = \frac{E_b^{exp}}{E_b^{mod}}$  -

ვეოფთ შესაბამის მნიშვნელობათა თანრიგებად და ვაგებთ სტატისტიკური განაწილების რიგს (ცხრილი 1).

ცხრილი 4.  $\eta$ -ს სტატისტიკური განაწილების რიგი

$\eta$	0,84	0,87	0,90	0,93	0,96	0,99	1,02	1,05	1,08	1,11
	0,87	0,90	0,93	0,96	0,99	1,02	1,05	1,08	1,11	1,14
m	3	7	14	23	28	28	23	14	7	3
$i^*$										
$P_i^*$	0,020	0,047	0,093	0,153	0,187	0,187	0,153	0,093	0,047	0,020

ცხრილი 1-ში  $m_i^*$  - i-ურ რიგში მოსული რაოდენობა;

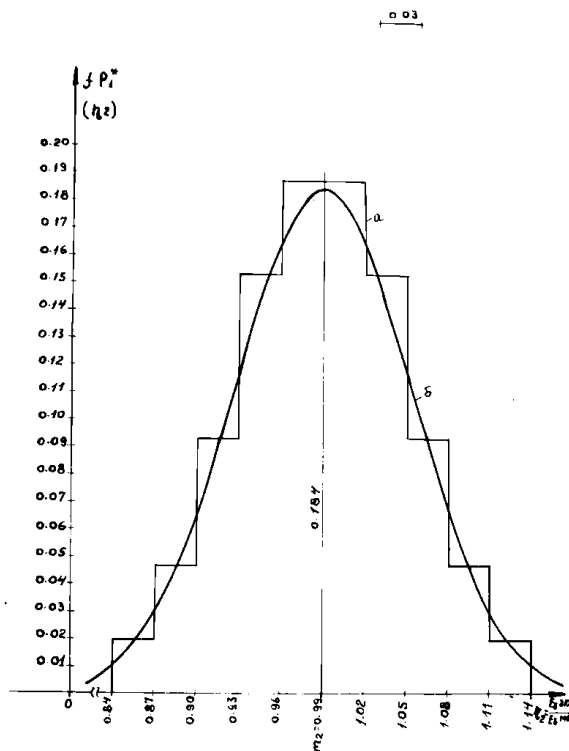
$$P_i^* - \text{შესაბამისი სიხშირეები} - P_i^* = \frac{m_i^*}{P_i^*}$$

ალბათობის თეორიის ცნობილი ფორმულების გამოყენებით გამოვთვალოთ: მათემატიკური ლოდინი:

$$m = \sum_{i=1}^k (X_i \cdot P_i^*) = 0,99;$$

სადაც  $X_i$  -  $i$ -ურ რიგში საშუალო მნიშვნელობა;

$P_i^*$  - მეორე საწყისი მომენტი:



ნახაზი. 8.  $\eta$ -ს ჰისტოგრამა და თეორიული განაწილების მრუდი

$$\alpha_2^* = \sum_{i=1}^k (X_i^2 \cdot P_i^*) = 0,984;$$

სტატისტიკური რიგის დისპერსია  $D = \alpha_2^* - m^2 = 0,004$ ; საშუალო კვადრატული გადახრა (სტანდარტი)  $\sigma = \sqrt{D} = 0,063$ , ვარიაციის კოეფიციენტი  $\delta = \frac{\sigma}{m} = 0,058$ .

ამ სტატისტიკური რიცხვითი მახასიათებლების დახმარებით იგება თეორიული განაწილების კანონი, რომელიც მოცემული შემთხვევისთვის წარმოადგენს ნორმალური განაწილების კანონს. მას აქვს შემდეგი სახე:

$$f_{(n)} = \frac{0,0299}{0,063 \sqrt{2\pi}} \exp \left( -\frac{(\eta - 0,99)^2}{2 \cdot 0,063^2} \right),$$

სადაც 0,0299 – ნორმალური განაწილების კანონის მრუდის (ზარის) სტატისტიკური რიგის ჰისტოგრამასთან მიახლოების კოეფიციენტი. ნორმალური განაწილების მრუდი და სტატისტიკური რიგის ჰისტოგრამა მოცემულია ნახაზ 1-ზე.

ნორმალური განაწილების კანონის მოცემულ სტატისტიკურ რიგთან მისადაგების სამართლიანობა მოწმდება პირსონის და კოლმოგოროვის შესაბამისობის კრიტერიუმებით /1/.

პირსონის მიხედვით განსხვავებულობის ზომა -  $\chi^2$ -s გამოვალეთ შედარებითი ცხრილი 2-ის საშუალებით და მივიღეთ, რომ  $\chi^2 = 4,25$ ; თავისუფლების ხარისხი  $r = 7$ . ამ მონაცემებით ცხრილი 4-ით /12/-დან განისაზღვრება ალბათობა იმისა, თუ რამდენად სამართლიანია მოცემული ჰიპოთეზა;  $P = 0,85 > 0,1$ , რაც მიუთითებს ნორმალური განაწილების კანონის მოცემულ სტატისტიკურ რიგთან მისადაგებას.

სტატისტიკური და თეორიული განაწილების მაქსიმალური განსხვავების მოდული  $D^* = 0,035$ . კოლმოგოროვის რიცხვი  $\lambda = 0,429$ . ცხრილი 7.6.1 /22/-დან ამ ფუნქციების დამთხვევის ალბათობა  $P(0,429) = 0,987 > 0,1$ .

შესაბამისობის ორივე კრიტერიუმით მტკიცდება ნორმალური განაწილების მოცემულ სტატისტიკურ რიგთან შესაბამისობის ჰიპოთეზა.

**თავი 2. შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების გაანგარიშება**  
**2.1. ღუნვაზე მომუშავე შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების**  
**ხანგძლივ დეფორმაციებზე გაანგარიშება**

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 განიცდის  $N$  – 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 განივკვეთის ფართობი და ინერციის მომენტია. 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 მომენტია.

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

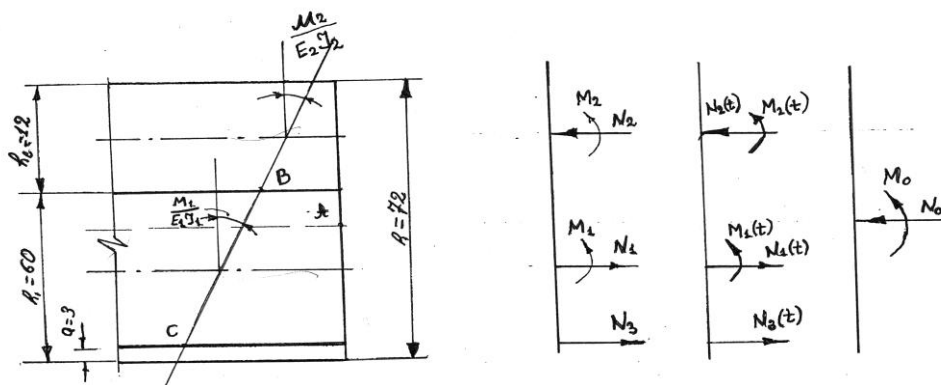
ამ ნაშრომში ჩვენ განვიხილავთ ძაბვათა უშუალო გამოთვლის მეთოდს ცოცვადობის დეფორმაციების განვითარების გათვალისწინებით. მოცემული გვაქვს რკინაბეტონის კოჭი, რომელიც ერთობლივად მუშაობს რკინაბეტონის ფილასთან.

ამ დროს ყველა ერთგვაროვან ელემენტზე გარე ძაღვების ზემოქმედების შედეგად აღიძვრებიან შემდეგი ძაღვები:

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

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





ნახაზი 9. 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:

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

წონასწორობის პირობები:

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

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

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

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

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:

$$N_3(t)E_s A_s = (N_1(t)/EA_1)k_1 + ((M_1(t)/EI_1)(h_1/2 - a)k_1$$

(5)

საბოლოო გამოთვლები გვაძლევს:

$$M_1(t) = -374517.76 \text{ კგ.სმ.} \quad (M_2(t) = -21722.03 \text{ კგ.სმ.}; \quad N_1(t) = -1991.9$$

$$\text{კგ.} \quad N_2(t) = -36569.8 \text{ კგ.} \quad N_3(t) = -16652.9 \text{ კგ.}$$

$$\text{მაბვეები: } \sigma_{max} = (M_o/I_{red})h_{red} \quad \sigma_{min} = (M_o/I_{red})(72 - h_{red})$$

$$\sigma_{max} = 7.42 \text{ mpa} \quad \sigma_{min} = -6.5 \text{ mpa}$$

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

$\varphi_m$  თვითონ წარმოადგენს შემთხვევით სოდიდეს, 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:

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

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

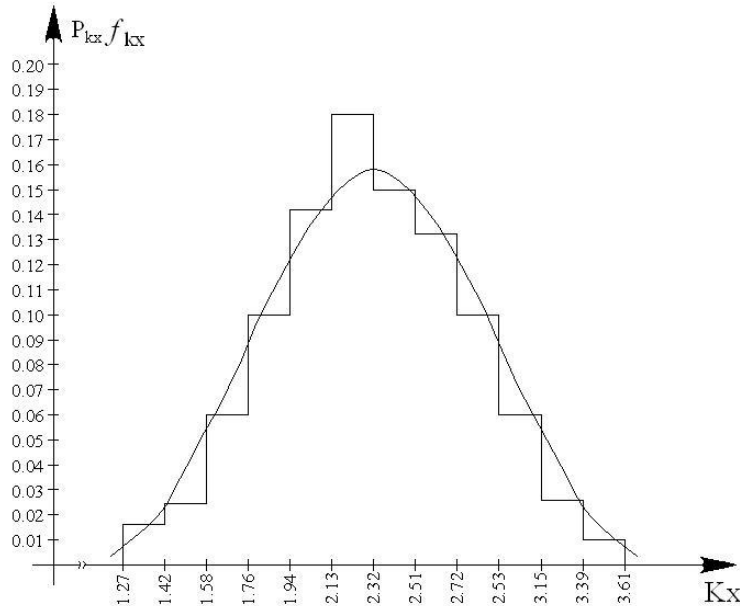
ცხრილი 5.  $k_x$ - ის შესაძლო გადახრათა ნორმალური განაწილების სიმკვრივები.

$k_x$	1.2	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.6
	7	2	8	6	4	3	2	1	2	3	5	9	1
$f_{kx}$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	2	3	6	9	2	5	7	6	3	9	6	2	1

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 10.  $k_x$ -ის ჰისტოგრამა და თეორიული განაწილების მრუდი

## 2.2. რკინაბეტონის შედგენილი კვეთის კონსტრუქციებში აღძრული ძალების სტატისტიკური ანალიზი

უკანასკნელი წლების განმავლობაში მსოფლიოში სამშენებლო ინდუსტრიამ მკვეთრი ნახტომით წაიწია წინ. აშშ-ში, აზიის რიგ ქვეყნებში, განსაკუთრებით ჩინეთში და არაბულ სახელმწიფოებში, ასევე სამხრეთ-აღმოსავლეთ აზიაში 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.



ნახ. 11. მოძრავი მაღლივი შენობა ვან-კუვერში (კანადა)

ასეთი 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).

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 სტატისტიკური ექსპერიმენტის შედეგები.

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

ჩვენი მიზანია, ბეტონის დრეკადობის მოდულის, ცოცვადობის დეფორმაციის ზომის და ცოცვადობის მახასიათებლის განსაზღვრული შეაძლო გადახრებისთვის შედგენილი კვეთის კონსტრუქციებში აღძრული შესაბამისი ძალების და ძაბვების შესაძლო გადახრის საზღვრები. ძალვათა და ძაბვათა სიდიდეები, როგორც შემთხვევითი სიდიდეებისგან ნაწარმოები სიდიდეები, წარმოადგენენ შემთხვევით სიდიდეებს. მაგალითისთვის წარმოდგენილია შედგენილი კვეთის კოჭი, რომელშიც ერთობლივად მუშაობენ სხვადასხვა კლასის ბეტონები. მნიშვნელოვანია ის, რომ კონსტრუქციის ელემენტები შედგენილი კვეთისაა.

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

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

სადაც  $M_{Mc}$  - მღუნავი მომენტი, რომელიც ცოცვადობის დეფორმაციისგან ვითარდება.  $M_{dr}$  - მომენტის სიდიდეა, რომელიც აღიძვრება დრეკად სტადიაში.  $\varphi_n$  - ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის ზღვრული მახასიათებელია, რომელიც წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეს.

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.

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).

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 განიცდის  $N$  – 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 განივკვეთის ფართობი და ინერციის მომენტია. თუ ამ კვეთში გვაქვს სხვადასხვა დრეკადობის მახასიათებლის მქონე ბეტონის კვეთები, გაერთიანებულნი ერთობლივი მუშაობისათვის, მაშინ  $A=A_{\text{ს}}$  და  $I = I_{\text{ს}}$ , სადაც  $A_{\text{ს}}$  და  $I_{\text{ს}}$  - დაყვანილია (რედუცირებული) კვეთის ფართობი და ინერციის მომენტია.

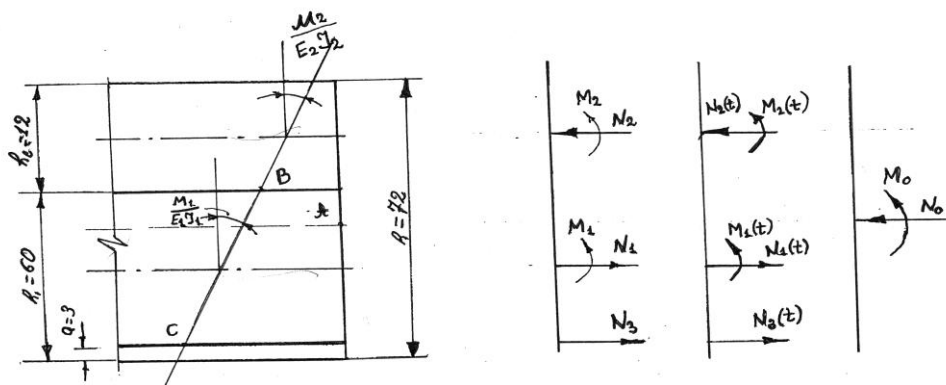
შედგენილ კვეთებში ძაბვათა განსაზღვრისას, ცოცვადობის გათვალისწინებით, უნდა გავიანგარიშოთ ეს სიდიდე ყველა მდგენელი ერთგვაროვანი ელემენტისათვის დროის ნებისმიერ მომენტში.

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:

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

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



ნახაზი 12. 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;

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

$M_{2(t)}$  - მლუნავი 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:  $I_1 = 216000$  სმ<sup>4</sup> და

$$I_2 = 8640 \text{ სმ}^4;$$

$A_1 = A_2 = 720$  სმ<sup>2</sup>. კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ცოცვადობის დეფორმაციების განვითარებას დაძველების თეორიაში, გამოითვლება ფორმულით:

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

წონასწორობის პირობები:

$$7. \quad \sum X = 0 \quad N_1(t) + N_3(t) = N_2(t) \quad (1)$$

$$8. \quad \sum M_A = 0 \quad M_1(t) + M_2(t) + N_2(t)(h_2/2|h_1 - h_{red}) + N_1(t)(h_{red} - N_3(t)(h_{red} - a) = 0$$

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

$$10. \quad (M_1(t)/EI_1)k_1 = (M_2(t)/EI_2)k_2 \quad (3)$$

11. B წერტილის პირობა:

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

12. 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:

$$M_1(t) = -374517,76 \text{ კგ.სმ. } (M_2(t) = -21722,03 \text{ კგ.სმ.; } N_1(t) = -1991,9 \text{ კგ.}$$

$$N_2(t) = -36569,8 \text{ კგ. } N_3(t) = -16652,9 \text{ კგ.}$$

$$\text{მაბევები: } \sigma_{max} = (M_o / I_{red}) h_{red} \quad \sigma_{min} = (M_o / I_{red}) (72 - h_{red})$$

$$\sigma_{max} = 7.42 \text{ მპა} \quad \sigma_{min} = -6.5 \text{ მპა}$$

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:

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

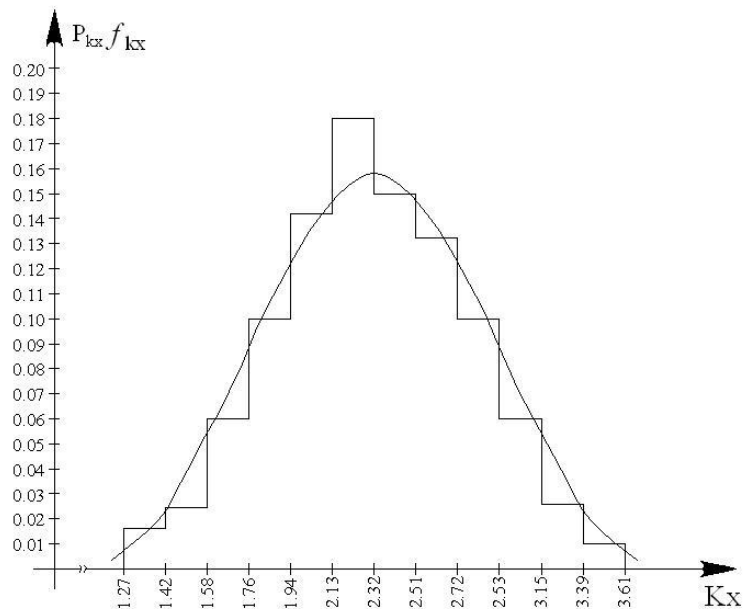
სადაც 0.23 ნორმალური განაწილების მრუდის (ნახ.2.ბ) სტატისტიკური რიგის ჰისტოგრამასთან (ნახ.2.ა) მიახლოების კოეფიციენტია.  $f_{kx}$  - ის მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილ 1-ში.

ცხრილი 6.  $k_x$ - ის შესაძლო გადახრათა ნორმალური განაწილების სიმკვრივები.

$k_x$	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
$f_{kx}$	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 სიხშირეებს შორის, როცა  $\lambda = 0.9$ , შესაბამისი ცხრილიდან შეესაბამება ჰიპოთეზის სამართლიანობის ალბათობა  $P(0.9) - 0.4 > 0.1$ , რადგან ეს ალბათობა საკმარისად დიდია, ნორმალური განაწილების კანონის მისადაგება მოცემული სტატისტიკური რიგისთვის სამართლიანია.

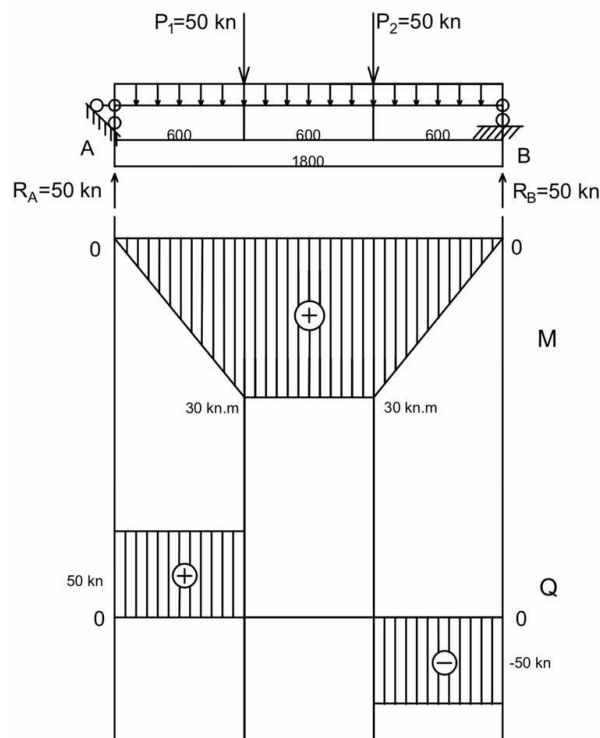
ცხადია,  $k_x$ - ის შესაძლო გადახრები გამოიწვევს კვეთში აღძრულ ძაბვათა სიდიდეების ცვლილებას, რისი გამოკვლევაც მეტად მნიშვნელოვანია საბოლოოდ კონსტრუქციის საიმედო მუშაობისათვის.



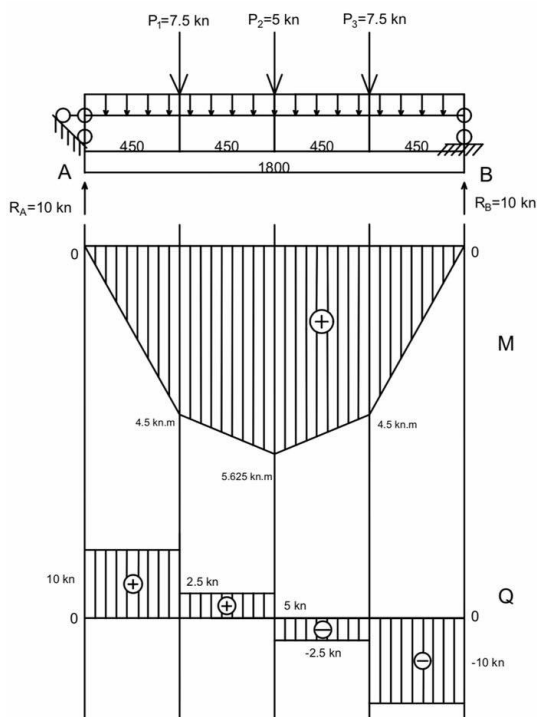
ნახაზი 13.  $k_x$ - ის ჰისტოგრამა და თეორიული განაწილების მრუდი

ნაშრომში ასევე გამოკვლეულია შედგენილი კვეთის რკინაბეტონის კოჭში ცოცვლობის დეფორმაციის შედეგად განვითარებული მღუნავი მომენტის შესაძლო მნიშვნელობები. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ,

ცოცვალობის დეფორმაციის განვითარების შედეგად აღძრული მღუნავი მომენტი წარმოადგენს შემთხვევითი არგუმენტის ფუნქციას, ამიტომ თვითონაც შემთხვევითი სიდიდეა თავისი შესაძლო შემთხვევითი გადახრებით. მნიშვნელოვანია ამ გადახრათა გაფანტულობის ზღვრების დადგენა, რადგან შესაძლოა ისინი იმდენად დიდი აღმოჩნდნენ, რომ კონსტრუქციის მდგრადობის დაკარგვაც კი გამოიწვიოს. დასმული ამოცანის გადასაწყვეტად გაანგარიშებულ იქნა შედგენილი კვეთის კოჭი, რომელსაც ტესებრი განიკვეთი აქვს; სიგრძით 2 მეტრი, თარო, რომლის ზომებია 30X10X200 სმ, B20 კლასის ბეტონისგანაა, ხოლო წიბო, ზომებით 10X20X200 სმ, - B15 კლასის ბეტონისგან. გაჭიმულ ზონა არმირებულია A-III კლასის 12 მმ დიამეტრის არმატურით. ნახ. 3-ზე და ნახ. 4-ზე მოცემულია შედგენილი კვეთის კოჭის საანგარიშო სქემა და ტვირთვის სხვადასხვაგვარი მოდების პირობებში.



ნახ.14. საანგარიშო სქემა



ნახ. 15. საანგარიშო სქემა

სამშენებლო მექანიკის ფორმულების გამოყენებით გამოვიანგარიშეთ მღუნავი მომენტი და განვიძალა, რომელთა მნიშვნელობებმა შეადგინა, პირველ შემთხვევაში  $M_{max} = 30$  კნ.მ  $Q_{max} = 50$  კნ, ხოლო მეორე შემთხვევაში -  $M_{max} = 5,625$  კნ.მ  $Q_{max} = 10$  კნ. ფორმულაში, რომლითაც უნდა გამოვთვალოთ ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის შედეგად აღძრული მღუნავი მომენტი მნიშვნელობა დაზველების თეორიის საფუძველზე -

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

- ფიგურირებს ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებელი -  $\varphi$ , რომელიც წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეს თავისი შემთხვევითი გადახრებით. ამიტომაც ეს სიდიდე (მღუნავი მომენტი) თვითონაც წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეს. განსაზღვრულ იქნა ბეტონის ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებლის შესაძლო გადახრების შესაბამისი მნიშვნელობები მღუნავი მომენტისთვის.

$$M_{\sigma} = M_{dr} * (1 - e^{-\varphi k})$$

$$\sigma_{\sigma} = \sigma_{dr} * (1 - e^{-\varphi k})$$

$$M_{dr} = 5.625$$

$$\begin{aligned}
M_{\theta} &= M_{\varphi^k} * (1 - e^{-\varphi^k}) = 5.625 * (1 - e^{-0.5}) = 5.625 * (1 - 0.6) = 2.25 \\
M_{\theta} &= M_{\varphi^k} * (1 - e^{-\varphi^k}) = 5.625 * (1 - e^{-0.75}) = 5.625 * (1 - 0.47) = 2.98 \\
M_{\theta} &= M_{\varphi^k} * (1 - e^{-\varphi^k}) = 5.625 * (1 - e^{-1}) = 5.625 * (1 - 0.37) = 3.50 \\
M_{\theta} &= M_{\varphi^k} * (1 - e^{-\varphi^k}) = 5.625 * (1 - e^{-1.25}) = 5.625 * (1 - 0.29) = 4.0 \\
M_{\theta} &= M_{\varphi^k} * (1 - e^{-\varphi^k}) = 5.625 * (1 - e^{-1.5}) = 5.625 * (1 - 0.2) = 4.5 \\
M_{\theta} &= M_{\varphi^k} * (1 - e^{-\varphi^k}) = 5.625 * (1 - e^{-1.75}) = 5.625 * (1 - 0.17) = 4.67 \\
M_{\theta} &= M_{\varphi^k} * (1 - e^{-\varphi^k}) = 5.625 * (1 - e^{-2}) = 5.625 * (1 - 0.135) = 4.87 \\
M_{\theta} &= M_{\varphi^k} * (1 - e^{-\varphi^k}) = 5.625 * (1 - e^{-2.25}) = 5.625 * (1 - 0.105) = 5.03 \\
M_{\theta} &= M_{\varphi^k} * (1 - e^{-\varphi^k}) = 5.625 * (1 - e^{-2.5}) = 5.625 * (1 - 0.08) = 5.175 \\
M_{\theta} &= M_{\varphi^k} * (1 - e^{-\varphi^k}) = 5.625 * (1 - e^{-2.75}) = 5.625 * (1 - 0.06) = 5.2875 \\
M_{\theta} &= M_{\varphi^k} * (1 - e^{-\varphi^k}) = 5.625 * (1 - e^{-3}) = 5.625 * (1 - 0.049787) = 5.345 \\
M_{\theta} &= M_{\varphi^k} * (1 - e^{-\varphi^k}) = 5.625 * (1 - e^{-3.25}) = 5.625 * (1 - 0.03877) = 5.407 \\
M_{\theta} &= M_{\varphi^k} * (1 - e^{-\varphi^k}) = 5.625 * (1 - e^{-3.5}) = 5.625 * (1 - 0.03) = 5.456
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M &= \left( \frac{2.25 + 2.98}{2} * 0.01 \right) + \left( \frac{2.98 + 3.50}{2} * 0.03 \right) + \left( \frac{3.50 + 4.0}{2} * 0.06 \right) \\
&\quad + \left( \frac{4.0 + 4.50}{2} * 0.1 \right) + \\
&\quad \left( \frac{4.50 + 4.67}{2} * 0.13 \right) + \left( \frac{4.67 + 4.87}{2} * 0.17 \right) + \left( \frac{4.87 + 5.03}{2} * 0.17 \right) \\
&\quad + \left( \frac{5.03 + 5.175}{2} * 0.13 \right) + \\
&\quad \left( \frac{5.175 + 5.2875}{2} * 0.1 \right) + \left( \frac{5.2875 + 5.345}{2} * 0.06 \right) + \left( \frac{5.345 + 5.407}{2} * 0.03 \right) \\
&\quad + \left( \frac{5.407 + 5.456}{2} * \right. \\
&\quad \left. * 0.01 \right) = 0.026 + 0.097 + 0.225 + 0.425 + 0.596 + 0.8109 + 0.8415 + 0.66 \\
&\quad + 0.523 + 0.32 + \\
&\quad + 0.16 + 0.05 = 4.7344
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sigma &= \sqrt{(4.7344 - 2.615)^2 * 0.01 + (4.7344 - 3.24)^2 * 0.03 + (4.7344 - 3.75)^2 * 0.06 +} \\
&\quad + (4.7344 - 4.25)^2 * 0.1 + (4.7344 - 4.585)^2 * 0.13 + (4.7344 - 4.77)^2 * 0.17 + \\
&\quad + (4.7344 - 4.95)^2 * 0.17 + (4.7344 - 5.1)^2 * 0.13 + (4.7344 - 5.23)^2 * 0.1 + \\
&\quad + (4.7344 - 5.31625)^2 * 0.06 + (4.7344 - 5.376)^2 * 0.03 + (4.7344 - 5.4315)^2 * \\
&\quad * 0.01 = 0.0449 + 0.067 + 0.058 + 0.2346 + 0.0029 + 0.00021545 + 0.0079 + \\
&\quad + 0.017376 + 0.024562 + 0.02 + 0.01235 + 0.00486 = 0.49466345 \\
\sigma &= \sqrt{0.49466345} = 0.7
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
f_{(Mx)} &= \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{0.7\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(2.25-4.7344)^2}{2*0.7^2}} = 0.4768 * e^{-\frac{6.17}{0.98}} \\
&= 0.4768 * 0.079 = \\
&= 0.000877
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
f_{(Mx)} &= \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{0.7\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(2.98-4.7344)^2}{2*0.7^2}} = 0.4768 * e^{-\frac{3.0779}{0.98}} \\
&= 0.4768 * 0.04325 =
\end{aligned}$$

$$= 0.0206$$

$$f_{(Mx)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{0.7\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(3.5-4.7344)^2}{2*0.7^2}} = 0.4768 * e^{-\frac{1.5237}{0.98}}$$

$$= 0.4768 * 0.04325 =$$

$$= 0.1007$$

$$f_{(Mx)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{0.7\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(4.0-4.7344)^2}{2*0.7^2}} = 0.4768 * e^{-\frac{0.539}{0.98}}$$

$$= 0.4768 * 0.5767477 =$$

$$= 0.275$$

$$f_{(Mx)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{0.7\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(4.5-4.7344)^2}{2*0.7^2}} = 0.4768 * e^{-\frac{0.0549}{0.98}}$$

$$= 0.4768 * 0.945478 =$$

$$= 0.4508$$

$$f_{(Mx)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{0.7\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(4.67-4.7344)^2}{2*0.7^2}} = 0.4768 * e^{-\frac{0.00414736}{0.98}}$$

$$= 0.4768 *$$

$$* 0.9957769 = 0.474786$$

$$f_{(Mx)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{0.7\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(4.87-4.7344)^2}{2*0.7^2}} = 0.4768 * e^{-\frac{0.01838736}{0.98}}$$

$$= 0.4768 * 0.98 =$$

$$= 0.467937$$

$$f_{(Mx)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{0.7\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(5.03-4.7344)^2}{2*0.7^2}} = 0.4768 * e^{-\frac{0.08737936}{0.98}}$$

$$= 0.4768 *$$

$$* 0.9146968 = 0.436$$

$$f_{(Mx)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{0.7\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(5.175-4.7344)^2}{2*0.7^2}} = 0.4768 * e^{-\frac{0.19412836}{0.98}}$$

$$= 0.4768 * 0.82 =$$

$$= 0.391$$

$$f_{(Mx)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{0.7\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(5.2875-4.7344)^2}{2*0.7^2}} = 0.4768 * e^{-\frac{0.30591961}{0.98}}$$

$$= 0.4768 *$$

$$* 0.731862 = 0.34895$$

$$f_{(Mx)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{0.7\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(5.345-4.7344)^2}{2*0.7^2}} = 0.4768 * e^{-\frac{0.37283236}{0.98}}$$

$$= 0.4768 *$$

$$* 0.683559767 = 0.3259$$

$$f_{(Mx)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{0.7\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(5.407-4.7344)^2}{2*0.7^2}} = 0.4768 * e^{-\frac{0.45239076}{0.98}}$$

$$= 0.4768 * 0.63 =$$

$$= 0.30$$

$$f_{(Mx)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{0.7\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(5.456-4.7344)^2}{2*0.7^2}} = 0.4768 * e^{-\frac{0.52070656}{0.98}}$$

$$= 0.4768 * 0.5878 = 0.28$$

შევადგინეთ სტატისტიკური განაწილების რიგი (ცხრ.2) და დავადგინეთ თეორიული განაწილების ფუნქცია; გამოვთვალოთ ამ ფუნქციის მნიშვნელობები (ცხრ.3).

ცხრილი 7. მლუნავი მომენტის შესაძლო გადახრათა სტატისტიკური განაწილების რიგი

$M_{n_2}$	2.25	2.98	3.50	4.0	4.5	4.67	4.87	5.03	5.175	5.2875	5.345	5.407
	2.98	3.50	4.0	4.5	4.67	4.87	5.03	5.175	5.2875	5.345	5.407	5.456
$P_1^*$	0.01	0.03	0.06	0.1	0.13	0.17	0.17	0.13	0.1	0.06	0.03	0.01
$P_1$	0.01	0.026	0.058	0.096	0.014	0.17	0.17	0.14	0.096	0.053	0.026	0.01

ცხრილი 8. მლუნავი მომენტის შესაძლო გადახრათა თეორიული განაწილების ფუნქციის მნიშვნელობები

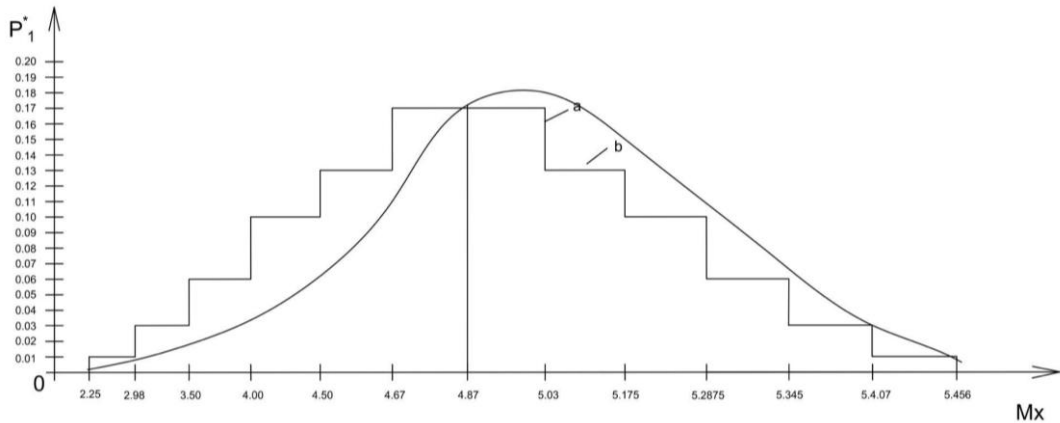
$M_{n_2}$	2.25	2.98	3.50	4.0	4.5	4.67	4.87	5.03	5.17	5.28	5.34	5.40	5.45
									5	75	5	7	6
$f_{M_2}$	0.0008	0.020	0.100	0.275	0.450	0.474	0.467	0.436	0.391	0.348	0.325	0.30	0.28
	77	6	7		8	786	937			95	9		

მლუნავი მომენტის შესაძლო გადახრების თეორიული განაწილების ფუნქციას აქვს შემეგი სახე:

$$f_{(Mx)} = \frac{0,05}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} = \frac{0,05}{0.7\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(5.407-4.7344)^2}{2*0.7^2}}$$

სადაც 0,05 - თეორიული (ლოგისტიკური) განაწილების მრუდის სტატისტიკური განაწილების რიგის ჰისტოგრამასთან მიახლოების კოეფიციენტი (ნახ.5).





ნახ. 16. ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციისგან განვითარებული მღუნავი მომენტის შესაძლო მნიშვნელობათა განაწილების გრაფიკები; ა) ჰისტოგრამა, ბ) ლოგისტიკური განაწილების მრუდი

შესაბამისობის ჰიპოთეზის სამართლიანობა(ნახ.5), შევამოწმეთ კოლმოგოროვის შესაბამისობის კრიტერიუმით. მაქსიმალური განსხვავების მოდული ტეორიულ მრუდსა და სტატისტიკური განაწილების რიგის ჰისტოგრამას შორის  $D = 0,03$ . კოლმოგოროვის რიცხვი  $\lambda = 0,03\sqrt{900} = 0,09$ .  $\lambda$ -ს ასეთ მნიშვნელობას შესაბამისობის ცხრილებიდან შეესაბამება  $P(0,9) = 0,38 \geq 0,1$ ; ამიტომ ეს ჰიპოთეზა სამართლიანია.

ზემოთ მოცემული კვლევებიდან შეიძლება შემდეგი დასკვნების გაკეთება:

ბეტონის ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებლის დიდ შესაძლო გადახრებს შეესაბამება შედგენილი კვების კოჭში ამ დეფორმაციების შედეგად განვითარებული მღუნავი მომენტის და ძაბვის შედარებით მცირე შესაძლო გადახრები;

შედგენილი კვების კონსტრუქციებში ცოცვადობის დეფორმაციის შედეგად განვითარებული ძაბვების შესაძლო გადახრების საზღვრები მერყეობს -45%-დან +50%-მდე, ხოლო ამ დეფორმაციებისგან განვითარებული ძაღვის (მღუნავი მომენტის) შესაძლო გადახრების საზღვრები მერყეობს -20%-დან +50%-მდე;

ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებლის შესაძლო გადახრების ვარიაციის კოეფიციენტი შედარებით დიდია - 26%, ვიდრე ამ დეფორმაციისგან აღძრული ძაბვის - 18%, ხოლო ძალვისა - 17%;

რკინაბეტონის შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების საინჟინრო გაანგარიშებებში დასაშვებია გამოყენებულ იქნას ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებლის შესაძლო გადახრები -30%-დან +45%-მდე, რასაც შეესაბამება ძაბვის და ძალვის შესაძლო გადახრები -10%-დან +10%-მდე.

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 განიკვეთის 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.

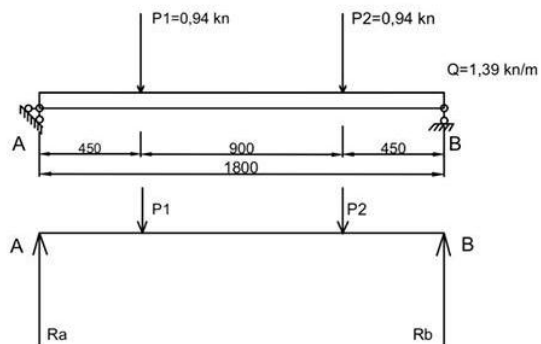
თავდაპირველად გადაწყვეტილი გვექონდა კოჭი დაგვერტვირთა თავისივე იდენტური კოჭით (ნახ.3). ასეთნაირად დატვირთული კოჭის საანგარიშო სქემა მოცემულია ნახ 4-ზე. ექსპერიმენტი დავიწყეთ 2016 წლის მაისში. მთელი ზაფხულის განმავლობაში დატვირთულ კოჭზე დაკვირვებამ არანაირი შედეგი არ მოგვცა.



ნახ.17. რკინაბეტონის შედგენილი კვეთის კოჭი



ნახ.18. დატვირთული კოჭი



ნახ.19. კოჭის საანგარიშო სქემა

გადავწყვიტეთ შეგვეცვალა დატვირთვის ფორმა. წინასწარ გამოვიანგარიშეთ ამტიპის ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე კოჭი, გამოვთვალოთ კრიტიკული ძალა, რომელმაც კოჭის რღვევა უნდა გამოიწვიოს. ამ ძალის მნიშვნელობამ 6,2 ტმ შეადგინა (ნახ.5,6).



ნახ. 20. 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 მეთოდით 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.



Баб. 21.



Баб. 22.



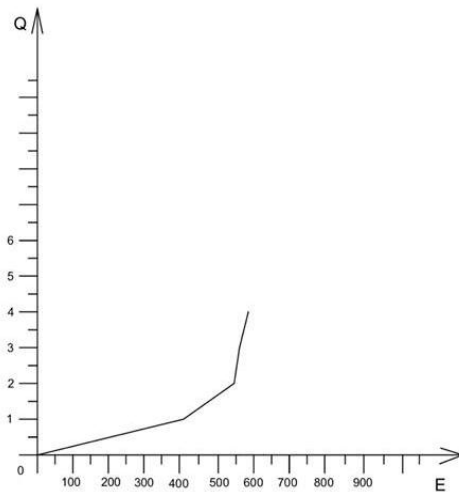
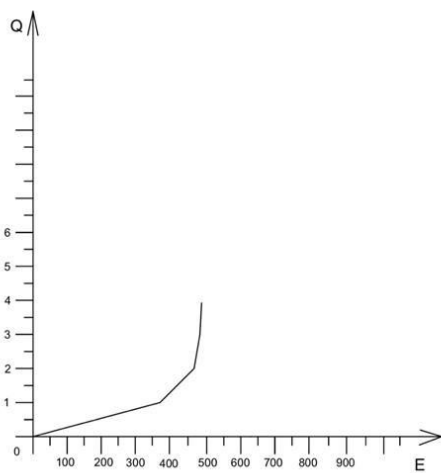
Баб. 23.

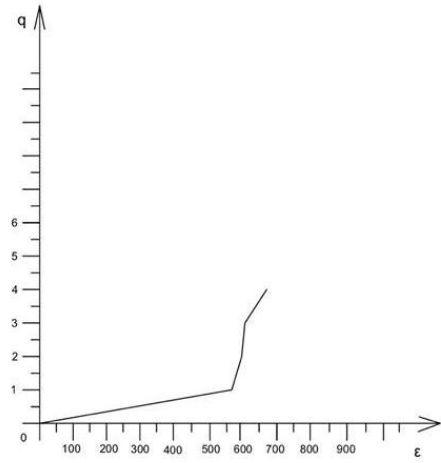
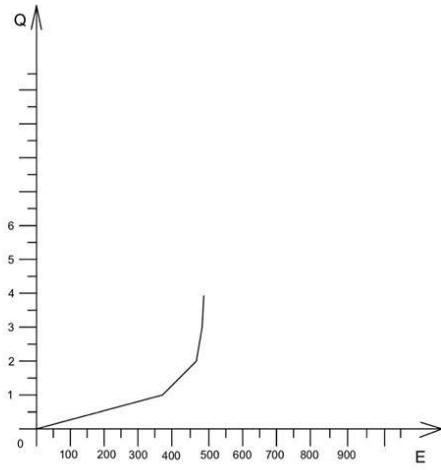


ნახ. 24.

ცხრილი: 9 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. 25. ძაბვა-დეფორმაციის გრაფიკები



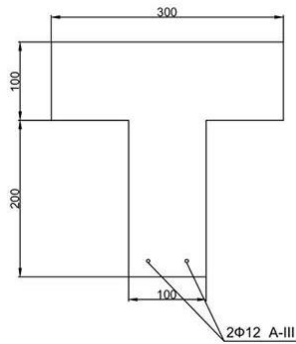
### თავი 3. ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე შედგენილი კვეთის რკინაბეტონის კოჭის ხანგრძლივი დატვირთვის ქვეშ მუშაობის ექსპერიმენტული კვლევა

ჩვენი ექსპერიმენტის ძირითად მიზანს წარმოადგენდა შედგენილი კვეთის ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე კოჭში განვითარებული ხანგრძლივი დეფორმაციების, კერძოდ, ცოცვადობის დეფორმაციის კვლევა. შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების გამოყენების არე სამშენებლო ინდუსტრიაში ძალზედ დიდია. მათ გაანგარიშებაში მეტად მნიშვნელოვანია დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედებისას განვითარებული ცოცვადობის დეფორმაციები. ზემოთ თეორიულად გავანგარიშეთ 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.6 და ნახ.7).

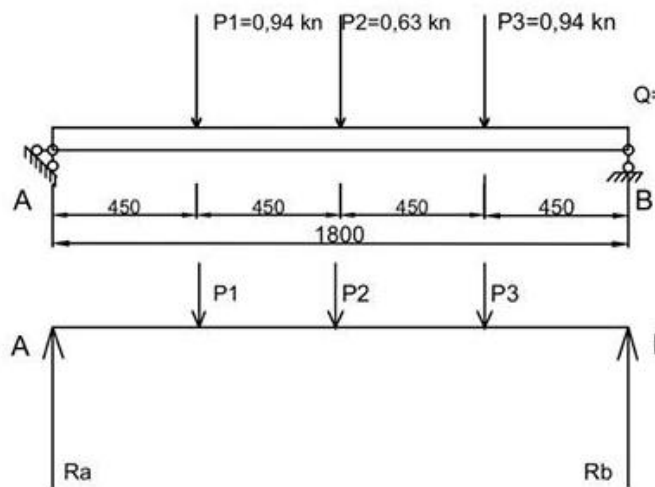
თარო, რომლის ზომებია 30X10X200 სმ, დამზადდა B20 კლასის ბეტონისგან, ხოლო წიბო, ზომებით 10X20X200 სმ, დამზადდა B15 კლასის ბეტონისგან. გაჭიმულ ზონაში სამუშაოდ გამოვიყენეთ A-III კლასის არმატურა დიამეტრით 12 მმ. ცოცვადობის მახასიათებელი B20 კლასის ბეტონისთვის  $\varphi_1=3,1$ , ხოლო B15 კლასის ბეტონისთვის  $\varphi_2=2,8$ . ინერციის მომენტები:  $I_1=250000 \text{ სმ}^4$  და  $I_2=6700 \text{ სმ}^4$ ; ბეტონის განივკვეთის ფართობი:  $A_1=300 \text{ სმ}^2$ ;  $A_2=200 \text{ სმ}^2$





ნახ.26. შედგენილი კვეთის რკინაბეტონის კოჭი

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.27. კოჭის საანგარიშო სქემა

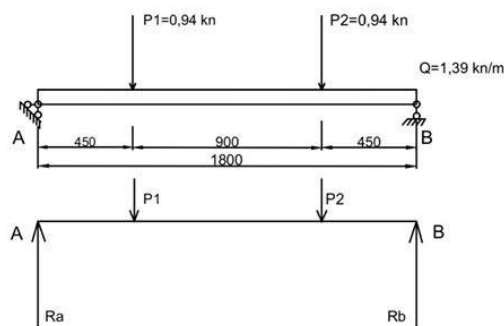
თავდაპირველად გადაწყვეტილი გვქონდა კოჭი დაგვერტვირთა თავისივე იდენტური კოჭით (ნახ.8). ასეთნაირად დატვირთული კოჭის საანგარიშო სქემა მოცემულია ნახ 9-ზე. ექსპერიმენტი დავიწყეთ 2016 წლის მაისში. მთელი ზაფხულის განმავლობაში დატვირთულ კოჭზე დაკვირვებამ არანაირი შედეგი არ მოგვცა.



ნახ.28. რკინაბეტონის შედგენილი კვეთის კოჭი



ნახ.29. დატვირთული კოჭი



ნახ.30. კოჭის საანგარიშო სქემა

გადაწყვეტიტ შეგვეცვალა დატვირთვის ფორმა და ექსპერიმენტის თავდაპირველი არსი, ანუ კოჭი უნდა გავვეტება და დაგვედგინა კრიტიკული ძალის ზუსტი მნიშვნელობა, რათა შემდგომ ეტაპზე დაკვირვებისთვის იდენტური კოჭი დაგვეტვირთა ხანგრძლივად

კრიტიკული ძალის 20%-ის მნიშვნელობის დატვირთვით. წინასწარ გამოვიანგარიშეთ ამ ტიპის ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე კოჭი, გამოვთვალეთ კრიტიკული ძალის ის მნიშვნელობა, რომელსაც კოჭის რღვევა უნდა გამოეწვია. ამ ძალის მნიშვნელობამ 6,2 ტმ შეადგინა (ნახ.10).

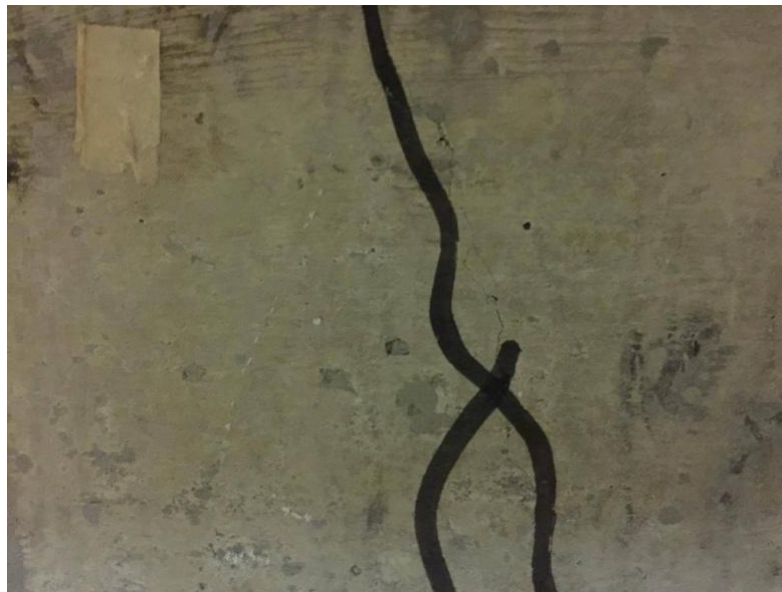


ნახ. 31. დაუტვირთავი კოჭი

ჩვენი ექსპერიმენტის საბოლოო მიზანია, დავადგინოთ ხანგრძლივი დეფორმაციის განვითარების შედეგად აღძრული ძალების სიდიდის დადგენა, ჟღებიან თუ არა ისინი იმ საზღვრებში, რომელიც თეორიული სტატისტიკური ექსპერიმენტის შედეგად დავადგინეთ, ასევე მათი გავლენა კონსტრუქციის მზიდუნარიანობაზე. თეორიულად გამოთვლილი გვაქვს ამ ტიპის კონსტრუქციაში აღძრული მღუნავი მომენტის და ძაბვების მნიშვნელობები დაძველების თეორიის საფუძველზე. ექსპერიმენტმა უნდა გვიჩვენოს, რომელი თეორიით გამოთვლილი მნიშვნელობაა რეალურთან უფრო ახლოს. ამას სჭირდება დრო, და სწორედ ამიტომ დავამზადეთ იდენტური კოჭი, რომელიც დავტოვეთ დატვირთვის ქვეშ და ვაკვირდებით. ორ თვიანი დაკვირვების შედეგების დინამიკა საკმაოდ დამაკმაყოფილებელია.

ექსპერიმენტის პირველ ეტაპზე ექსპერიმენტით უნდა დაგვედგინა სწრაფად(მყისიერად) 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 ზღვრული ძალის მნიშვნელობა, რომელმაც 6,0 ტმ(62 კნ) შეადგინა. ექსპერიმენტის დროს, დატვირთვის 6,4 ტმ (64კნ) მნიშვნელობისთვის კოჭში გაჩნდა პირველი ბზარები (ნახ.7), ანუ განსხვავება ექსპერიმენტულსა და თეორიულს შორის თითქმის 7%-ა, ხოლო 10 ტმ (10 კნ) დატვირთვის მნიშვნელობისთვის(კრიტიკული ძალის მნიშვნელობა) კოჭის მთლიანობა დაირღვა ნახ. 11, 12, 13. ცხრილ 4-ში მოცემულია ამ ეტაპის ტენზომეტრის ანათვლები, ხოლო ნა. 14-ზე შესაბამისი გრაფიკები.



ნახ.32.



Бsb.33.

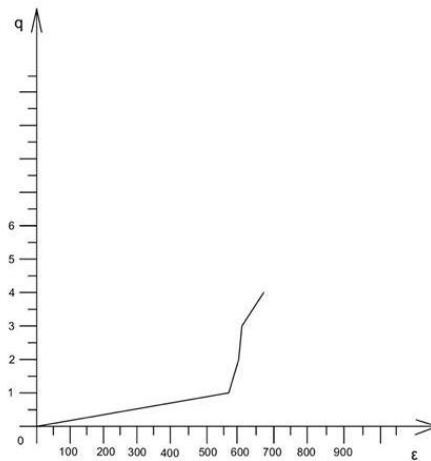
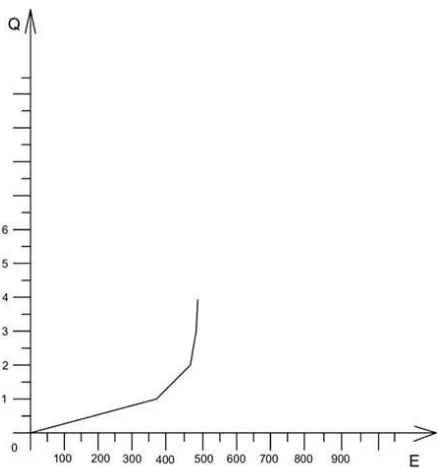
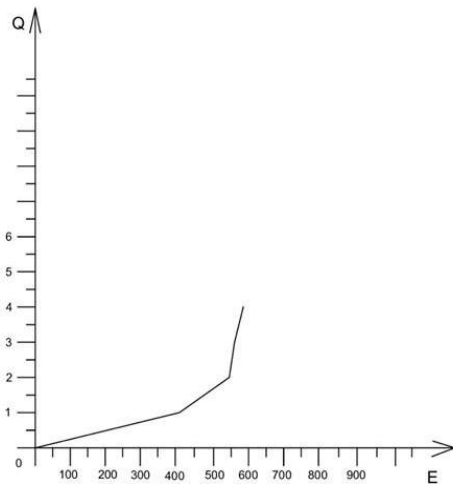
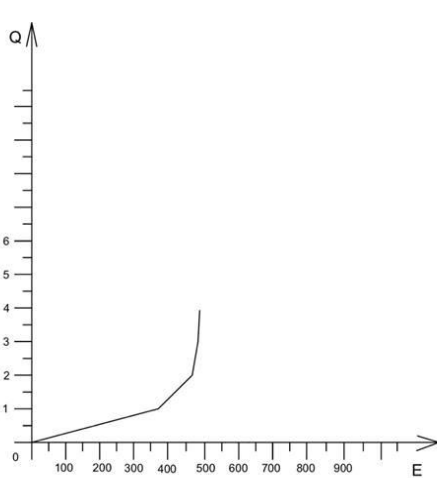


Бsb.34



ცხრილი 10. ტენზომეტრების ანათვლები

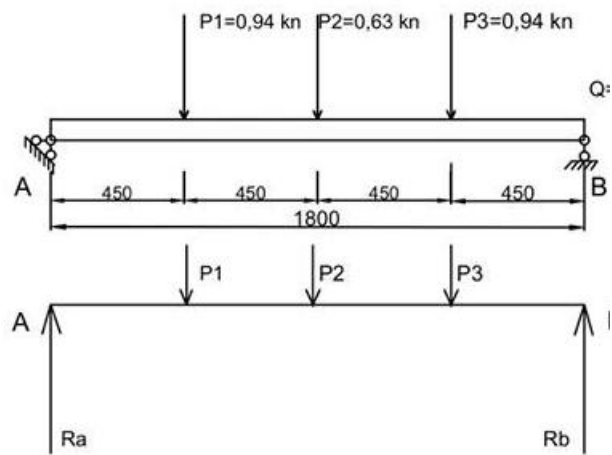
		ტენზომეტრების ანათვლები																
#	დატე	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	0 ტ.	890	801	789	688	410	406	412	420	415	416	402	875	401	405	825	410	402
2	1 ტ.	929	870	817	700	425	471	555	575	485	520	495	880	417	420	851	425	435
3	2 ტ.	942	932	772	840	542	473	570	605	495	600	600	910	450	435	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. 35. ძაბვა-დეფორმაციის გრაფიკები

ამის შემდეგ დავუბრუნდით ჩვენი ექსპერიმენტის ძირითად მიზანს, რომელიც მდგომარეობდა შემდეგში: შედგენილი კვეთის ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე კოჭში განვითარებული ხანგრძლივი დეფორმაციებისგან, კერძოდ, ცოცვადობის დეფორმაციისგან

განვითარებული ძალების (მღუნავი მომენტის) 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, ანუ იდენტურია პირველი კოჭისა (ნახ.16). კოჭი დაიტვირთა 2016 წლის ოქტომბერში. კოჭზე მოვდეთ კრიტიკული დატვირთვის 25%, 2,5 ტმ. საანგარიშო სქემა მოცემულია ნახ.15-ზე.



ნახ.36. 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.37. დატვირთული კოჭი



## ძირითადი დასკვნები

1. შედგენილი კვეთის კონსტრუქციებში ცოცვადობის დეფორმაციის შედეგად განვითარებული ძაბვების შესაძლო გადახრების საზღვრები მერყეობს -45%-დან +50%-მდე, ხოლო ამ დეფორმაციებისგან განვითარებული ძაღვის (მღუნავი მომენტის) შესაძლო გადახრების საზღვრები მერყეობს -20%-დან +50%-მდე;

2. ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებლის შესაძლო გადახრების ვარიაციის კოეფიციენტი შედარებით დიდია - 26%, ვიდრე ამ დეფორმაციისგან აღძრული ძაბვის - 18%, ხოლო ძაღვისა - 17%;

3. ძაღვები, რომლებიც აღიძვრებიან რკინაბეტონის შედგენილი კვეთის კონსტრუქციებში ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარების შედეგად, წარმოდგენილია როგორც ფუნქცია ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებლისა, რომელიც წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეს და მნიშვნელოვნად მოქმედებს რკინაბეტონის შენობა-ნაგებობების დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობაზე. მიღებულია, რომ ბეტონის ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებლის შესაძლო მნიშვნელობები ემორჩილებიან ნორმალური განაწილების კანონს. ამასთან 0,95-იანი გარანტიით ამ სიდიდის გადახრები მერყეობს  $\pm 45\%$ -ის ფარგლებში, ხოლო 0,84 გარანტიით -  $\pm 25\%$ -ის ფარგლებში.

4. შედგენილი კვეთის რკინაბეტონის კონსტრუქციებში ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებლის შესაძლო გადახრებს  $\pm 25\%$ -ის ფარგლებში, შეესაბამება მღუნავი მომენტის შესაძლო გადახრის მნიშვნელობა  $\pm 5\%$ -ის ფარგლებში.

5. რკინაბეტონის შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების საინჟინრო გაანგარიშებებში დასაშვებია გამოყენებულ იქნას ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებლის შესაძლო გადახრები -30%-დან +45%-მდე, რასაც შეესაბამება ძაბვის და ძაღვის შესაძლო გადახრები -10%-დან +10%-მდე.

6. შედგენილი კვეთის კონსტრუქციებში ხანგრძლივი დეფორმაციების შედეგად განვითარებული ძაბვების შესაძლო გადახრები

0,87 საიმედოობით ექვემდებარებიან ნორმალური (გაუსის) განაწილების კანონს.

7. შედგენილი კვეთის რკინაბეტონის კონსტრუქციებში ცოცვადობის დეფორმაციისგან განვითარებული მღუნავი მომენტის შესაძლო გადახრების თეორიული განაწილების კანონი ახლოსაა ლოგისტიკურ განაწილების კანონთან.

8. პრაქტიკულმა ექსპერიმენტმა დაწყებიდან ხუთი თვის შემდეგ უკვე გვიჩვენა, რომ ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარების დინამიკა თეორიული გაანგარიშებით მიღებულ შედეგებთან დამაკმაყოფილებლად ახლოსაა. ამ შედეგმა და სხვა მეცნიერთა მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტების სტატისტიკურმა დამუშავებამ გვიჩვენა, რომ ძაბვები და ძაღვები, რომლებიც რედუცირებული კვეთისთვისაა გამოთვლილი, საკმაოდ ახლოსაა მათი უშუალო დათვლის მეთოდით მიღებულ სიდიდესთან.

## გამოყენებული ლიტერატურა

1. Александровский С. В. Багрий В.Я. Ползучесть бетона при ступе чатых знакопеременных периодических нагрузках. Бетон и железобетон. 1987. №12. С.30-33
2. Арутюнян Н. Х. Некоторые вопросы теории ползучести. - М. - Л. Гостехиздат. 1952. 324 с.
3. Берг О. Я., Щербаков Е. Н., Писанко Г. Н. Высокопрочный бетона. – М. Стройиздат. 1971. 208 с.
4. Гвинчидзе Г. И., Кизирия Г. В. Некоторые вопросы расчета конструкций с учетом деформаций ползучести бетона/Стат. И динам. Задачи строительных конструкций. Тбилиси 1981. С. 93-121
5. Гвоздев А. А. Ползучесть бетона и пути ее исследования/Исследование прочности, пластичности и ползучести строительных материалов. – М. Госстройиздат. 1955 С 98-91.
6. Саакян А.С.. Экспериментальное исследование ползучести бетона. Автореф. дисс. на соис. учен. степени д-ра техн. наук. Л. 1967. 52 с.
7. Зевин А.А. К расчету статически неопределимых железобетонных конструкций с учетом ползучести бетона// Прикладная механика. - 1974. - 10, № 7. - с.93-98.
8. Карапетян К. С. О теоретических и экспериментальных исследованиях в области теории ползучести//Изв. АН АрмССР. Механика. 1976. Вып. XXIХ №1. С.27-38
9. Кизирия Г. В. Расчет конструкции с учетом деформации ползучести бетона. Тбилиси. Мецниереба, 1969, 130 с.
10. Кизирия Г. В. Методика приближенного определения усилий в многократно статически неопределенных комбинированных конструкциях//сообщения АН ГССР.-1964. XXXУ. №2. С.317-323.
11. Кизирия Г. В., Гвинчидзе Г. И. О новой модификации наследственной теории старения//сообщения АН ГССР.-1981. Т. 104. №1. С.117-120.

12. Кудзис А. П., Квядарас А. Б. Исследование ползучести центрифугированного полимерцементного бетона/Ползучесть и усадка бетона. М. Стойиздат. 1969. С. 25-36.
13. Лишиц Я. Д., Толокнов Ю. Н. К расчету железобетонных статически неопределимых конструкций с учетом влияния усадки и ползучести бетона / Теория сооружений. Минск. Высшая школа. 1971. С. 153-163.
14. Чантурия М. Л. Расчет неразрезных бфлок с учетом вероятностной природы величины деформаций ползучести бетона / Строительство ГЭС в высокогорных условиях / Тезисы докладов. Цхвлтубо. 1986. С.119.
15. Чантурия М. Л. Усилия, возникшие в статически неопределимых конструкциях в результате ползучести бетона, как функции случайной величины скорости развития деформаций / XIII объединенная сессия научно-исследовательских институтов Закавказских республик по строительству. 3-6 ноября 1987 г. Тбилиси. 1987. С. 215-216.
16. Кизирия Г. В., Чантурия М. Л. Усилия, возникшие в статически неопределимых конструкциях в результате развития длительных деформаций, как функции случайной величины конечной характеристики ползучести бетона// Сообщения АН ГССР. 1988. Т. 130, №2. С. 385-388.
17. Чантурия М. Л. Определение усилий в комбинированных конструкциях с учетом вероятностной природы ползучести бетона / Качество и надежность строительных материалов и конструкций в сейсмическом строительстве. Тбилиси. 1988. С.84-84.
18. Чантурия М. Л. Модель ползучести композиционных материалов с учетом вероятностных аспектов / Повышение эффективности в строительстве и промышленности строительных материалов. Рига. 1988. С.101-103.
19. Чантурия М. Л. Анализ исследования величины изгибающего момента, как функции случайного аргумента при ползучести бетона / Качество и надежность строительных материалов и конструкций в сейсмическом строительстве. Тбилиси. 1990. С.77-77.
20. Щербаков Е. Н. О прогноз величин деформации ползучести и усадки тяжелого бетона в стадии проектирования конструкций // Труды ЦНИИС. 1969. Вып. 70. С.39-84.

21. Щербаков Е. Н. Аппроксимация и прогнозирование кривых ползучести бетона при постоянных напряжениях сжатия // Сб. Научных трудов ЦНИИС. “Проблемы ползучести и усадки бетона”. 1974. Вып. 77. С.68-78.
22. Вентцель Е.С. Теория вероятностей -М.: Наука, 1964, 576 с.
23. Boes A. Uber des Kriechen von Zementsteln, Mörtel und Beton. Aechen. 73. 186 p.
24. გ. ნოზაძე, მ. ჭანტურია. სტატისტიკურად ცვლადი საანგარიშო სქემის კონსტრუქციების საიმედოობაზე გაანგარიშების საფუძვლები. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი "მშენებლობა", თბილისი, # 4 (23) 2011 (გვ. 39-42).
25. გ. ნოზაძე, მ. ჭანტურია. ღუნვაზე მომუშავე შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების ხანგრძლივ დეფორმაციებზე გაანგარიშება. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი "მშენებლობა", თბილისი, # 4 (39) 2015 (გვ. 87-89).
26. გ. ნოზაძე. ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე შედგენილი კვეთის კოჭის ექსპერიმენტული კვლევა. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი "მშენებლობა", თბილისი, # 3 (42) 2016 (გვ.136-139).

დანართები



ნახ.38. საყრდენის სქემა



ნახ.39. დატვირთვის სქემა





ნახ.40. შედგენილი კვითი



ნახ.41. დატვირთვის სქემა





ნახ.42. დატვირთვის მოქმედების სქემა



ნახ.43. დატვირთვის სქემა



ნახ.44. დატვირთვის სქემა



ნახ.45. დატვირთვის სქემა





ნახ.46. დატვირთვის სქემა



ნახ.47. დატვირთვის სქემა



ნახ.48. დატვირთვის სქემა



ნახ.49. დატვირთვის სქემა





ნახ.50. დატვირთვის სქემა