

ა. სოხაძე, ლ. ხახიანი, ლ. ავალიშვილი,  
ლ. ბალანდიაძე, მ. ჯანაშია, გ. გურგენიძე

# კონსტიტუციის ანსტრუქცია

1-ე ნაწილი

„ტექნიკური უნივერსიტეტი“

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ა. სოხაძე, ლ. კახიანი, ლ. ავალიშვილი,  
ლ. ბალანჩივაძე, მ. ჭანტურია, გ. გურეშიძე

## რკინაბეტონის კონსტრუქციები

I ნაწილი



დამტკიცებულია სახელმძღვანელოდ  
სტუ-ის სარედაქციო-საგამომცემლო საბჭოს  
მიერ. 11.10.2010, ოქმი №6

ნაშრომში მოცემულია ზოგადი ცნობები სამრეწველო და სამოქალაქო შენობების რკინაბეტონის სამშენებლო კონსტრუქციების შესახებ, რკინაბეტონის წინაღობის თეორიის, ჩვეულებრივი და წინასწარდაძაბული ელემენტების კონსტრუქციული გადაწყვეტებისა და გაანგარიშების საფუძვლები. შედგენილია რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების ამჟამად მოქმედი სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით.

განკუთვნილია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ყველა სამშენებლო სპეციალობის სტუდენტებისათვის.

რეცენზენტები: პროფ. ჯ. ესაიაშვილი,  
პროფ. ბ. გრიგოლაშვილი

© საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2011

ISBN 978-9941-14-962-7 (ყველა ნაწილი)

ISBN 978-9941-14-963-4 (პირველი ნაწილი)

<http://www.gtu.ge/publishinghouse/>



ყველა უფლება დაცულია. ამ წიგნის არც ერთი ნაწილი (იქნება ეს ტექსტი, ფოტო, ილუსტრაცია თუ სხვა) არანაირი ფორმით და საშუალებით (იქნება ეს ელექტრონული თუ მექანიკური), არ შეიძლება გამოყენებულ იქნას გამომცემლის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

საავტორო უფლებების დარღვევა ისჯება კანონით.

**THE GEORGIAN TECHNICAL UNIVERSITY**

**A. SOKHADZE, L. KAKHIANI, L. AVALISHVILI  
L. BALANCHIVADZE, M. CHANTURIA, G. GURESHIDZE**

# **THE CONCRETE CONSTRUCTIONS**

## **Part I**



**Approved guidelines**

**GTU-the editorial - publishing council**

**By. 11.10.2010, Protocol № 6**

**Tbilisi**

**2011**

ძირითადი ასოითი აღნიშვნები ..... 6

## I თავი

რკინაბეტონის არსი

- 1.1. რკინაბეტონის კონსტრუქციების განვითარების მოკლე ისტორია..... 6
- 1.2. რკინაბეტონი – განსხვავებული თვისებების მქონე მასალების ერთიანობა..... 7
- 1.3. რკინაბეტონის კონსტრუქციების ძირითადი მოთხოვნები ..... 9
- 1.4. რკინაბეტონის სახეები, გამოყენების არე, განვითარების პერსპექტივები..... 10
- 1.5. წინასწარდაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციები..... 12

## II თავი

ბეტონის ძირითადი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები

- 2.1. ბეტონის სახეობები, ბეტონის სიმტკიცე, ბეტონის დეფორმაცია..... 22
- 2.2. ბეტონის ძალური დეფორმაციები..... 26

## III თავი

არმატურის ძირითადი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები

- 3.1. არმატურის სახეობები, კლასიფიკაცია, საარმატურე ნაწარმი..... 29
- 3.2. ძირითადი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები..... 31

## IV თავი

რკინაბეტონის ძირითადი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები

- 4.1. შეჭიდულობა ბეტონსა და არმატურას შორის..... 32
- 4.2. რკინაბეტონის შეკლება, გაჯირჯევა, ცოცვადობა..... 34
- 4.3. რკინაბეტონის ელემენტების დაბული მდგომარეობის სტადიები ..... 34

## V თავი

რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების საფუძვლები ..... 37

- 5.1. გაანგარიშების მეთოდი ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით. გაანგარიშების ორი ჯგუფი ..... 37

## VI თავი

რკინაბეტონის ელემენტების გაანგარიშება პირველი ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით

6.1. ლუნვადი ელემენტები. საერთო ცნობები.....	40
6.2. ლუნვადი ელემენტების ნორმალური კვეთის სიმტკიცეზე გაანგარიშება	
6.2.1. ცალფარმატურიანი კვეთის სიმტკიცეზე გაანგარიშება .....	43
6.2.2. ორფარმატურიანი კვეთის სიმტკიცეზე გაანგარიშება.....	47
6.2.3. ტესტური კვეთის სიმტკიცეზე გაანგარიშება.....	50
6.3. ლუნვადი ელემენტების გრძივი ღერძისადმი დახრილი კვეთის სიმტკიცეზე გაანგარიშება	
6.3.1. ზოგადი ცნობები.....	55
6.3.2. დახრილ ბზარზე გამავალი კვეთის სიმტკიცის პირობები.....	56
6.3.3. დახრილი კვეთის გაანგარიშება სიმტკიცეზე განივი ძალის მიხედვით.....	59
6.3.4. დახრილი კვეთის გაანგარიშება სიმტკიცეზე განივი ძალის მიხედვით, განივი და დახრილი არმატურების გამოყენებით.....	64
6.4. შეკუმშული ელემენტები. ზოგადი ცნობები.....	64
6.4.1. შეკუმშული ელემენტების გაანგარიშება შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტით.....	66
6.4.2. არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშება .....	67
6.5. გაჭიმული ელემენტები. ზოგადი ცნობები.....	71
6.5.1. ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშება.....	71
6.5.2. არაცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშება .....	72

## VII თავი

რკინაბეტონის ელემენტების გაანგარიშება მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მიხედვით

7.1. ზოგადი ცნობები.....	75
7.2. ბზარმდებლობის მოთხოვნების კატეგორიები.....	75
7.3. ბზარების წარმოქმნის გაანგარიშება .....	76
7.4. ბზარების გახსნის გაანგარიშება.....	80
7.5. ბზარების დახურვის გაანგარიშება.....	82
7.6. რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშება დეფორმაციების - ჩაღუნვების	

განგარიშება..... 83

დანართები..... 87

ლიტერატურა..... 85

# ძირითადი ასოითი აღნიშვნები

## 1. გარე დატვირთვები

- g** - ძირითადი (მუდმივი) თანაბრად განაწილებული, ნ/მ; კნ/მ  
ან ზედაპირული დატვირთვა მპა (საკუთარი წონისაგან);
- y** - დროებითი სასარგებლო დატვირთვა, ნ/მ; კნ/მ; მპა;
- F** - შეყურსული ძალა, ნ; კნ.

## 2. გარე დატვირთვებით აღძრული (გამოწვეული) ძალები და ზემოქმედებები ელემენტის ნორმალურ კვეთში

- M, T** - მღუნავი და მგრეხი მომენტები, ნმ; კნმ;
- N, Q** - გრძივი და განივი ძალები, ნ; კნ;
- M<sub>int</sub>; M<sub>e</sub>; M<sub>tot</sub>** - მღუნავი მომენტი გამოწვეული, შესაბამისად, ხანმოკლედ მოქმედი, ხანგრძლივად მოქმედი და სრული დატვირთვისაგან, ნმ; კნმ.

## 2. მასალის სიმტკიცის მახასიათებლები

- R<sub>b</sub>, R<sub>a,ser</sub>** - ბეტონის საანგარიშო წინაღობა ღერძულ კუმშვაზე; მპა;
- R<sub>bt</sub>, R<sub>bt,ser</sub>** - ბეტონის საანგარიშო წინაღობა ღერძულ გაჭიმვაზე I და II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისას, მპა;
- R<sub>b,loc</sub>** - ბეტონის საანგარიშო წინაღობა თელვისას, მპა;
- R<sub>bp</sub>** - ბეტონის სიმტკიცე წინასწარდაბაბულ კონსტრუქციებში; მპა;
- R<sub>s</sub>, R<sub>s,ser</sub>** - არმატურის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე I და II ჯგ ზღვრული მდგომარეობისას, მპა;
- R<sub>sw</sub>** - განივი არმატურის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე, განივი ძალების მოქმედებისას, მპა;
- R<sub>sc</sub>** - არმატურის საანგარიშო წინაღობა კუმშვაზე, მპა;
- σ<sub>y</sub>** - არმატურის დენადობის ზღვარი, მპა;
- σ<sub>bu</sub>, σ<sub>su</sub>** - ბეტონისა და არმატურის დროებითი წინაღობა, მპა;
- σ<sub>s,src</sub>** - ძაბვები არმატურაში ბზარის წარმოქმნისას, მპა;
- E<sub>b</sub>, E<sub>s</sub>** - ბეტონისა და არმატურის საწყისი დრეკადობის მოდული კუმშვისა და გაჭიმვისას, მპა;
- α = E<sub>s</sub>/E<sub>b</sub>** - შესაბამისად, ბეტონისა და არმატურის კვეთის დაყვანის კოეფიციენტი.

რკინაბეტონის არსი

1.1. რკინაბეტონის კონსტრუქციების განვითარების მოკლე ისტორია

რკინაბეტონის კონსტრუქცია არის შენობა-ნაგებობათა მზიდი ელემენტები და მათი გაერთიანება.

რკინაბეტონის კონსტრუქციების განვითარებას წინ უსწრებდა მრეწველობის, ტრანსპორტისა და ვაჭრობის მძლავრი განვითარება, რამაც ახალი ფაბრიკების, ქარხნების და სხვა კაპიტალური შენობების მშენებლობის აუცილებლობა გამოიწვია.

რკინაბეტონის პირველი ნაწარმი, რომელიც ფრანგმა მეცნიერმა ლამბომ 1850წ. შექმნა, იყო ნავი. პირველი პატენტი რკინაბეტონის ნაწარმზე 1867-70 წლებში მიიღო ისევ ფრანგმა მეზადემ მონიემ ყვავილების კასრების დამზადებისათვის. 1892 წელს ფრანგმა ინჟინერმა გენებიკმა შექმნა მონოლითური რკინაბეტონის წიბოვანი გადახურვები და სხვა რაციონალური სამშენებლო კონსტრუქციები.

მონიეს პატენტი შეისყიდეს ავსტრიელმა მეცნიერებმა ვაისმა და ბაუშინგერმა. მათ ჩაატარეს ცდები და დაამტკიცეს ამ მკვეთრად განსხვავებული თვისებების მქონე მასალების გაერთიანების აუცილებლობა მონოლითურ მთლიან მასალაში – რკინაბეტონში. 1886 წ. კენენმა ამ ცდების საფუძველზე ჩამოაყალიბა რკინაბეტონის კონსტრუქციების გააგარიშების მეთოდი და ფაქტობრივად ამის შემდეგ მიიღო რკინაბეტონმა, როგორც საშენმა მასალამ, გამოყენების უფლება და დაიწყო მასზე ფართო კვლევითი სამუშაოები.

მე-20 საუკუნის დასაწყისში პარიზის მსოფლიო გამოფენაზე წარმოდგენილი იყო რკინაბეტონის კონსტრუქციების კვლევის მიღწევები და დაისახა ახალი წინადადებები მისი, როგორც სამშენებლო მასალის, ყოველმხრივი გამოყენებისათვის. 1950 წ. ფრანგებმა იზეიმეს რკინაბეტონის 100 წლისთავი.

რკინაბეტონის განვითარების საქმეში ღირსეული წვლილი შეიტანეს ქართველმა მშენებელ-კონსტრუქტორებმა, სამეცნიერო-კვლევითმა და სამშენებლო ორგანიზაციებმა.

1928 წ. თბილისში დაარსებულ, კავკასიის რეგიონში პირველ სამეცნიერო-კვლევით ორგანიზაციაში, ამიერკავკასიის ნაგებობების ინსტიტუტში, 30-იან წლებში პირველად გ. მიხაილოვმა დაიწყო წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციების კვლევა. მალე გამოქვეყნდა კვლევის შედეგები და პირველად გამოიყენეს წინასწარდაძაბული კონსტრუქციები ამიერკავკასიის რკინიგზის ქსელის საყრდენებად.

ამიერკავკასიის ნაგებობების ინსტიტუტში დამუშავდა მძიმე ბეტონის დაპროექტების მეთოდი. 30-იან წლებში შეისწავლეს მსუბუქი ბეტონი ბუნებრივ ფორვან შემგსებებზე და დაიწყეს მისი მასიური გამოყენება. შეგვიძლია დავასახელოთ პემსა-რკინაბეტონის კონსტრუქციებით განხორციელებული ლოკომოტივის შემკეთებელი

ქარხნის გადახურვა გარსით, დინამოს სტადიონი, კინოთეატრი “რუსთაველი”, მთავრობის სახლი, ცირკი და დახურული ბაზარი კოლმეურნეობის მოედანზე. 1938 წლიდან მსუბუქი ბეტონისაგან აშენდა 14 ხიდი (მათ შორის 30მ მაღის სარკინიგზო ხიდი).

პროფ. გ. ცისკრელის მეცნიერული კვლევებიდან მნიშვნელოვანია მსუბუქი რკინაბეტონის კონსტრუქციების გამოყენება, ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებში ბზარ-მედევობის საკითხების შესწავლა. მანვე შემუშავა მსუბუქი ბეტონის დრეკადობის მოდულის საანგარიშო ფორმულა, რომელიც შემდგომ სამშენებლო ნორმებსა და წესებში აისახა.

საქართველოში რკინაბეტონის სწავლებისა და განვითარების სათავეებთან იდგა საქ. პოლიტექნიკური ინსტიტუტის (ამჟამად ტექნიკური უნივერსიტეტის) ქვისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციების კათედრა და მისი პროფესორ-მასწავლებლები. კათედრის პროფესორმა მ. წულუისკირმა გამოსცა პირველი ქართული სახელმძღვანელო “რკინაბეტონის კონსტრუქციები”, 1988 წელს ამავე კათედრის პროფ. ნ. ნინუამ გამოსცა ახალი ვერცხელი სახელმძღვანელო “რკინაბეტონის კონსტრუქციები”, რომელიც ახალ ნორმებსა და წესებს ეყრდნობოდა. ის დღემდე ძირითად სახელმძღვანელოდ ითვლება ქართველი ინჟინრებისა და სტუდენტებისათვის. არ შეიძლება არ აღინიშნოს ტექ. მეცნ. დოქტორის გ. კიშირიას კვლევები რკინაბეტონის თეორიის განვითარებაში.

2009 წ. შემუშავდა და გამოვიდა ახალი სამშენებლო ნორმები და წესები, რომლის დამუშავებაში აქტიური მონაწილეობა მიიღეს საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტის სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის დეპარტამენტის წევრებმა.

## 1. 2. რკინაბეტონი – განსხვავებული თვისებების მქონე მასალების ერთიანობა

რკინაბეტონი არის კომპოზიტური სამშენებლო მასალა, რომელიც ბეტონისა და ფოლადის არმატურისაგან შედგება და ერთად ქმნის მონოლითურ მთელს.

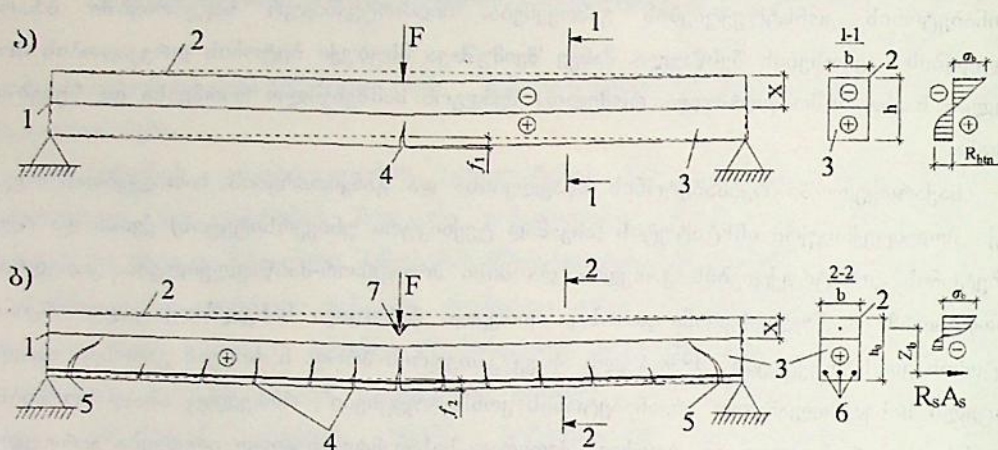
ბეტონი ხასიათდება მნიშვნელოვანი სიმტკიცით კუმშვაზე, დაბალი სიმტკიცით გაჭიმვაზე. მსხვერვადი მასალაა. ბეტონის ზღვრული ფარდობითი ჭიმვადობა

$\epsilon_{nrw} = (\Delta \ell_{tu} / \ell) \times 100 = 0,015\%$  ანუ 0,15 მმ 1მ-ზე და 13-ჯერ ნაკლებია ზღვრულ ფარდობით კუმშვადობაზე.

როგორც აღვნიშნეთ, ბეტონი მსხვერვადი მასალაა და ყოველთვის არ გამოიყენება მშენებლობაში. ტემპერატურის ცვალებადობით, გამყარების პირობით, შემთხვევითი დინამიკური დატვირთვებით მშენებლობის პროცესში მოსალოდნელია ნაადრევი ბზარების წარმოქმნა. ამიტომ ბეტონისაგან ამზადებენ ისეთ კონსტრუქციებს, რომლებიც თავის თავზე იღებს ძირითადად მკუმშავ ძალებს.

თუ კვლევებს ჩაგატარებთ ორ კონსტრუქციულ კოჭზე, რომლებიც დამზადებულია ბეტონისა და რკინაბეტონისაგან და დაგტვირთავთ, ვნახავთ, რომ რკინაბეტონის კოჭის

ზიდვის უნარი გაცილებით მაღალია (20-ჯერ), ვიდრე ბეტონის კოჭის, რაც გამოწვეულია ბეტონის დაბალი წინაღობით გაჭიმვაზე: გაჭიმული ბეტონის დაბზარვა იწვევს კოჭის ნაადრევ რღვევას, ვიდრე ბეტონის წინაღობა კუმშვაზე ბოლომდე არ ამოიწურება (ნახ.1.1).



ნახ. 1.1. კოჭის რღვევის სქემები  
 ა - ბეტონის; ბ - რკინაბეტონის

ბეტონის გამოყენება შესაძლებელია მხოლოდ მისი დადებითი თვისებებიდან გამომდინარე, რისთვისაც საჭიროა გაჭიმვაზე მუშაობის ხარვეზები არმატურით შეივსოს.

რკინაბეტონის კონსტრუქციების მოცულობის უდიდესი ნაწილი ბეტონია, ამიტომ მისი განმსაზღვრელი ბეტონის თვისებებია, არმატურა კი მის დანამატს წარმოადგენს.

ბეტონისა და არმატურის ერთობლივ მუშაობას განაპირობებს:

1. გამყარებისას ბეტონსა და არმატურას შორის წარმოქმნილი მნიშვნელოვანი შეჭიდულობის ძალები, რაც გარე დატვირთვების გავლენით არ ირღვევა.
2. ბეტონსა და ფოლადს თითქმის თანაბარი ტემპერატურული წრფივი გაფართოების კოეფიციენტი აქვს (ბეტონს - 0,000100,00014; ფოლადს - 0,000012), რის გამო მაღალ ტემპერატურაზეც კი არ ირღვევა მასალის მთლიანობა;
3. ბეტონი საიმედოდ იცავს არმატურას დაჟანგვისაგან - კოროზიისაგან.

რკინაბეტონის თვისებები დამოკიდებულია არა მარტო ბეტონისა და არმატურის თვისებებზე, არამედ არმატურის რაოდენობასა და განლაგებაზე როგორც კვეთში, ასევე ელემენტის მთელ სიგრძეზე.

### 1.3. რკინაბეტონის კონსტრუქციების ძირითადი მოთხოვნები

1. საიმედოობა. საიმედოობაში იგულისხმება კონსტრუქციის ტვისება, შეინარჩუნოს საექსპლუატაციო მანევრებლები, "გარანტირებული უსაფრთხოება", მცხოვრებლების და მომუშავე პერსონალის კომფორტულობა, რათა არ მოხდეს ტექნოლოგიური პროცესის შეწყვეტა პროექტით გათვალისწინებულ დროის მანძილზე (თეორიულად გათვლილ დროში).

შენობის საიმედოობა ძირითადად ორი კოეფიციენტით ხასიათდება, ესენია:

γ<sub>r</sub> - შენობის მომსახურების ფაქტიური დროის შეფარდება გამოთვლილი კაპიტალური რემონტის დროზე.

γ<sub>t</sub> - თეორიული საექსპლუატაციო დანახარჯების შეფარდება შენობის ფაქტიური კაპიტალური რემონტის პერიოდთან.

ეს კოეფიციენტები ერთზე ნაკლები არ შეიძლება იყოს. მათი სიდიდეები დამოკიდებულია: მასალების ხარისხზე, დაარმატურებაზე; დამზადების წესზე, სხვადასხვა დამცავი ღონისძიებებისა და სამონტაჟო-სარემონტო სამუშაოების ჩატარებაზე, შენობის ექსპლუატაციის კულტურაზე, მიმდინარე და კაპიტალური რემონტების დროულ ჩატარებაზე. საიმედოობის კოეფიციენტები გაიზრდება, თუ მოიმატებს შენობების სივრცითი სიხისტე და მდგრადობა. ამიტომ საჭიროა ასაწყობი რკინაბეტონის კონსტრუქციების შეერთების კვანძების ისე დამონოლითება, რომ დატვირთვების ქვეშ მუშაობდეს, როგორც ერთიანი მონოლითური სისტემა.

შენობა-ნაგებობების დაპროექტება აუცილებელია ისე წარიმართოს, რომ ყველაზე ცუდ პირობებშიც კი რკინაბეტონის საიმედოობა მაღალი იყოს.

2. ინდუსტრიულობა. იგულისხმება შენობის კონსტრუქციული ელემენტების ქარხნებში ავტომატიზებული წესით დამზადების უზრუნველყოფა. ამ პირობას პასუხობს ასაწყობი რკინაბეტონის კონსტრუქციები.

3. გაბარიტული ზომების მოდულირება. მოდულირება არის ერთიანი მოდულიური სისტემის ჩამოყალიბება, რომელიც გულისხმობს ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ზომების 100მმ დამრგვალებას ან 100მმ გაზრდას. მრავალსართულიან სამრეწველო შენობებში მიღებულია უნიფიცირებული სვეტების ბადე: 6X6; 9X6 მ.

სამოქალაქო შენობებში ღერძებს შორის მანძილი გრძივი და განივი მიმართულებით არის: 2±6,4 მ; ბიჯით 6მ. კარკასულ შენობებში მალი (5X6,5)მ-მდე იცვლება, ბიჯი აიღება 6მ. ადმინისტრაციული შენობის სიმაღლე - 3,3; ±3,6 მ. შემდგომ 300 მმ-ის ჯერადი.

4. უნიფიკაცია არის შენობის კონსტრუქციული სქემის დაყვანა მინიმალური ტიპის კონსტრუქციების რაოდენობის გამოყენებაზე. კონსტრუქციული სქემების უნიფიკაცია გულისხმობს მკვეთრად შემცირდეს როგორც კონსტრუქციის ტიპი, ასევე მისი ზომებიც, რომელიც დადებითად მოქმედებს აგებაზე, ტრანსპორტირებასა და მონტაჟზე.

5. მოთხოვნები კონსტრუქციული სქემებისადმი. სამშენებლო კონსტრუქციების დაპროექტებისას აუცილებელია ისეთი კონსტრუქციული გადაწყვეტა, რომელიც მაქსიმ-

მალურად პასუხობს ფოლადის, ხის მასალისა და ცემენტის ეკონომიურობას, მაქსიმალურად ამცირებს კონსტრუქციის წონას, შრომატევადობას, დამზადებისა და შენობის აგების ღირებულებას. მონოლითური კონსტრუქციებით დაპროექტებისას აუცილებელია ყველა ობიექტისათვის უნიფიცირებული მინიმალური რაოდენობისა და ტიპის კონსტრუქციული ელემენტების, დაარმატურებისათვის უნიფიცირებული ელემენტების, ბადეებისა და კარკასების გამოყენება, რომელთა დამზადება ქარხნული წესით ხდება.

6. ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტურობა. იგულისხმება კონსტრუქციის თვისება ხანგამძლეობაზე, მაქსიმალურად იქნეს დაკმაყოფილებული წაყენებული საექსპლუატაციო და ესთეტიკური მოთხოვნები. ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტურობის გადამწვევტი მაჩვენებელი რკინაბეტონის კონსტრუქციებში არის ენერგოდანახარჯები, შრომატევადობა კონსტრუქციის დამზადებისას, მასალის ხარჯი, მასა, ხანგამძლეობა და ექსპლუატაციის საიმედოობა.

7. კონსტრუქციული უსაფრთხოება განისაზღვრება თანაბრად-განაწილებული დატვირთვის ფარდობით მის მიერ გამოწვეულ მრღვევ მომენტთან. დაპროექტების ყველა ეტაპის მოთხოვნებისადმი დამოკიდებულება რკინაბეტონის კონსტრუქციებისაგან იძლევა დახვეწილი პროექტების შექმნის შესაძლებლობას.

#### 14. რკინაბეტონის სახეები. გამოყენების არე, განვითარების პერსპექტივები

რკინაბეტონის კონსტრუქციები არის ასაწყობი, მონოლითური და ასაწყობმონოლითური. დაპროექტებისას, ტექნიკურ-ეკონომიური შედარების შემდეგ, ხდება მათი შერჩევა.

1. ასაწყობი კონსტრუქციები. ასაწყობი კონსტრუქციული ელემენტები რკინაბეტონის ქარხნებში მზადდება, გადაიზიდება დანიშნულების მიხედვით სამშენებლო მოედანზე, სადაც ხდება მათი აწყობა-დამონოლითება. მშენებლობა ასაწყობი კონსტრუქციებით ბევრად ეფექტურია, მოითხოვს განსაკუთრებულ გარემო პირობებს. წარმოებისათვის აუცილებელია ქარხნების მაქსიმალური მექანიზაცია და ავტომატიზაცია, რათა დამზადდეს განსაზღვრული სახეობის ნაკეთობა. ასაწყობი კონსტრუქციებით მშენებლობის ძირითად უარყოფით მხარედ ითვლება მაღალი ღირებულება, შრომატევადობა, კვანძებში ლითონის მომატებული ხარჯი, კონსტრუქციულ ელემენტების დაბალი სიხისტე, რაც ამცირებს შენობის სივრცით სიხისტეს.
2. მონოლითური ისეთი კონსტრუქციებია, რომელთა დამზადება ხდება უშუალოდ სამშენებლო მოედანზე, წინასწარ გამზადებულ ყალიბში. მისი ძირითადი უარყოფითი მხარეებია:

ა) სამუშაოს სეზონურობა;

ბ) ძვირად ღირებული ხარაჩოებისა და ყალიბების წინასწარ მოწყობა;

გ) მშენებლობის ვადების გაზრდა, ბეტონის ბუნებრივ პირობებში გამყარების გამო;

დ) დაბალი ინდუსტრიალიზაცია და ა.შ.

მონოლითური რკინაბეტონის ძირითად ღირსებად ითვლება მისი მაღალი სივრცითი სიხისტე, რაც მასალის ნაკლებ ხარჯს მოითხოვს.

3. ასაწყობ-მონოლითური არის კომპლექსური კონსტრუქციები, რომელშიც ასაწყობი და მონოლითური კონსტრუქციების განთავსება მშენებლობის ადგილზე ხდება ერთდროულად, კვანძების დაბეტონებით. დატვირთვების ქვეშ კონსტრუქცია მუშაობს, როგორც ერთიანი მონოლითი.

ხშირად ასაწყობ-მონოლითურ კონსტრუქციებში ასაწყობი ელემენტი გამოიყენება, როგორც ყალიბი, რომელიც თავის თავზე იღებს ყველა სამონტაჟო დატვირთვას.

რკინაბეტონის ყველა დადებითი თვისება წარმატებით გამოიყენება ასაწყობ-მონოლითურ კონსტრუქციებშიც. ასაწყობი ელემენტებით მშენებლობისას მიიღწევა მაღალი ინდუსტრიულობა, ხოლო მონოლითური რკინაბეტონით კვანძების დამონოლითებისას - მაღალი სივრცითი სიხისტე.

ასაწყობ-მონოლითური კონსტრუქციები გაიანგარიშება მათი მუშაობის ორივე ეტაპზე: დაბეტონებამდე (ასაწყობი ელემენტები გამოიანგარიშება - საკუთარი წონით აღძრულ დატვირთვებზე) და დამონოლითების შემდეგ (გამყარების საჭირო სიმტკიცემდე - ესაა აგება და საექსპლუატაციო დატვირთვებზე გაანგარიშება).

მშენებლობაში ფართოდ გამოიყენება რკინაბეტონის კონსტრუქციები. მისი გამოყენების არე თითქმის განუსაზღვრელია: სამოქალაქო და სამრეწველო, ატომურ რეაქტორებში, სახლავო, გზების, ხიდებისა და სხვადასხვა საინჟინრო ნაგებობების მასიურ მშენებლობაში; დიდი გამოყენება პოვა რკინაბეტონის კონსტრუქციებმა თბო- და ჰიდროელექტროსადგურების, კაშხლების, წყალგამყოფი რაბების და სხვა ჰიდროტექნიკურ მშენებლობაში; იგი შეუცვლელი სამშენებლო მასალაა სანიტარიულ-ტექნიკური და მიწისქვეშა მშენებლობისათვის; კონსტრუქციის დამზადების ავტომატიზაცია და მექანიზაცია, ხანგამძლეობის ამაღლება; გამოთვლითი ტექნიკის გამოყენებით ანგარიშის მეთოდების დახვეწა (САПР, Lira); შენობების სეისმომდებლობის ამაღლება აგრესიულ გარემოში, დაბად და მაღალ ტემპერატურებზე კონსტრუქციის ხანგამძლეობის უზრუნველყოფის გაზრდა.

მშენებლობის დარგში ძირითად მიმართულებად რჩება მისი ღირებულების, ენერგოდანახარჯების და შრომატევადობის შემცირება მაღალი ხანგამძლეობის, უსაფრთხოებისა და საიმედოობის პირობებში.

## 15. წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციები

წინასწარდაძაბული ეწოდება ისეთ კონსტრუქციებს, როდესაც კონსტრუქციის დამზადების პროცესში ხელოვნურად, ამა თუ იმ ხერხით, ბეტონში წინასწარ იქმნება მკუმშავი ძაბვები, რაც რადიკალურად ცვლის ჩვეულებრივი, დაუძაბავი რკინაბეტონის კონსტრუქციების მუშაობის ხასიათს.

წინასწარდაძაბვის იდეა შემდეგში მდგომარეობს: საექსპლუატაციო დატვირთვების მოდებამდე შეეკმნათ მკუმშავი ძაბვები ელემენტის ბეტონის გაჭიმულ ნაწილში, სადაც დატვირთვების მოქმედების შედეგად ნაადრევი ბზარები ჩნდება.

წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის არსის გარკვევისათვის დავაკვირდეთ გაჭიმული I და გაუჭიმავი II არმატურების ელემენტების  $\sigma_s - E_s$  კუმშვა-გაჭიმვის დიაგრამას (ნახ.1.2).

ნახაზზე I მრუდის წერტილი 1 გვიჩვენებს საწყის წინასწარ ძაბვებს  $\sigma_{sp}$  არმატურაში, რომლის საანგარიშო ფარდობითი წაგრძელება არის  $\epsilon_{sp} + \epsilon_b$ , შემდეგ ხდება ელემენტის დაბეტონება. მიადწევს რა ბეტონის სიმტკიცე  $R_b$  მნიშვნელობის 70%-ს - წინასწარდაძაბული არმატურა თავისუფლდება საყრდენებისგან. იგი ცდილობს დაუბრუნდეს საწყის მდგომარეობას, რაშიც ხელს უშლის გამყარებული ბეტონი. შემკუმშავი ძაბვის მნიშვნელობა ბეტონში (ნახ.1.2, გ)

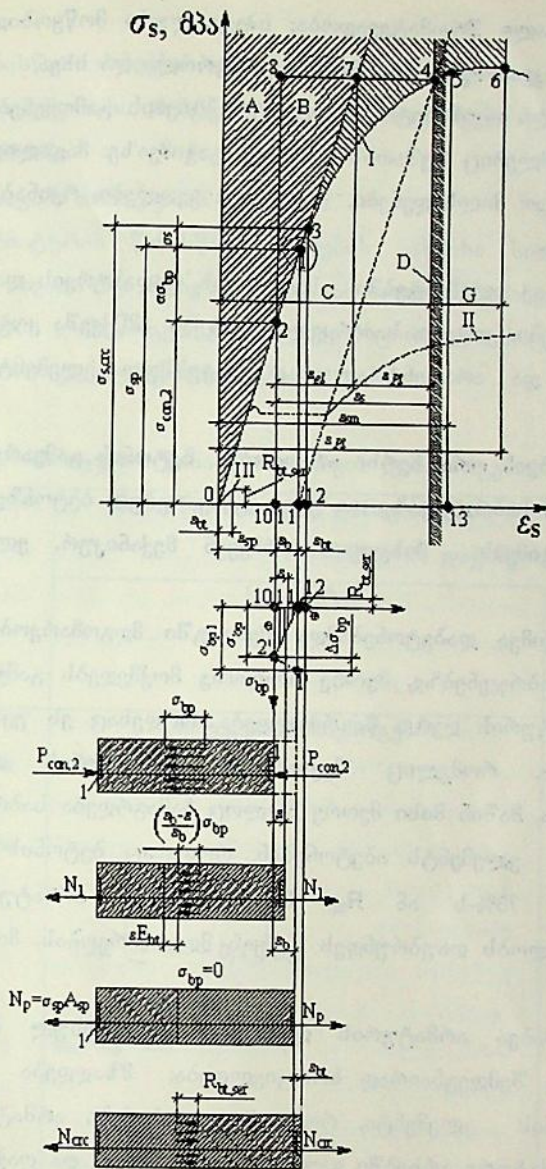
$$\sigma_{bp1} = (A_{sp} \sigma_{sp}) / A_b \quad (1.1)$$

ხდება ელემენტის გაჭიმული ზონის შეკუმშვა ბეტონის დრეკადი  $\epsilon_b$  დეფორმაციის სიდიდემდე. არმატურაში საწყისი წინასწარი ძაბვები მცირდება  $\Delta\sigma_{sp} = \alpha\sigma_{bp}$  სიდიდით, ხოლო  $\sigma_{bp1}$  ბეტონის შეკუმშვის ძაბვები -  $\Delta\sigma_{bp}$  სიდიდით. გაჭიმულ არმატურაში წინასწარი ძაბვები ტოლია (ნახ. 1.2, ა).

$\sigma_{con2} = \sigma_{sp} - \alpha\sigma_b$  და გაუტოლდება ბეტონის შემკუმშავ  $\sigma_{bp}$  ძაბვებს:

წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის დადებითი მხარეა:

- ა) მაღალი კლასის არმატურის გამოყენების შედეგად მისი ხარჯი მნიშვნელოვნად მცირდება;
- ბ) ბზარმდეგობა მნიშვნელოვნად იზრდება, ბზარების გახსნის სიგანე მნიშვნელოვნად იზღუდება; ბზარმდეგობის გაზრდის შედეგად სიხისტე იზრდება, ნადუნვა თითქმის 4-ჯერ მცირდება; დიდი სიხისტის და მაღალი კლასის ბეტონების გამოყენების გამო,
- გ) შესაძლებელია კონსტრუქციის ზომების შემცირება, რაც იწვევს მისი საკუთარი მასის შემცირებას და იძლევა 15-30%-მდე ბეტონის ეკონომიას. საკუთარი მასის შემცირება იძლევა წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის გამოყენების შესაძლებლობას დიდმალიან კონსტრუქციებში.



ნახ. 12. ცენტრალურად გაჭიმული წინასწარდაძაბული ელემენტის დიაგრამა  
 ა - გაჭიმვის დიაგრამა; ბ - წინასწარდაძაბული ელემენტის დიაგრამა;  
 გ - წინასწარდაძაბული ელემენტის დიაგრამა კუმშვის შემდეგ

დ) კონსტრუქციის გამძლეობის გაზრდა მრავალჯერადი დატვირთვების მოქმედების მიმართ;

ე) ხანგამძლეობა. ნაადრევი ბზარების უქონლობა ან მათი შეზღუდვა უზრუნველყოფს არმატურის კოროზიისაგან დაცვას, რაც ხელს უწყობს მისი ხანგამძლეობის ზრდას.

წინასწარდაძაბული კონსტრუქციების უარყოფითი მხარე:

დამზადების მაღალი შრომატევადობა; სპეციალური მოწყობილობების აუცილებლობა და მუშახელის კვალიფიკაცია, ზუსტი კონტროლი და სხვა.

წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციების გამოყენება ეფექტურია ისეთ კონსტრუქციებში, რომლებიც მუშაობს ღერძულ გაჭიმვაზე: მაგალითად, ცილინდრული რეზერუარები, სადაწნო მილსადენები, სილოსის კედლები, რკინაბეტონის წამწის ქვედა სარტყელი და სხვა.

ღუნვაზე მომუშავე ელემენტებში: სახურავის, გადახურვის და კარკასის ელემენტები, ფილები, პანელები, კოჭები, საძირკვლის კოჭები, ამჭქვეშა კოჭები და სხვა.

ცენტრალურად და არაცენტრალურად შეკუმშულ ელემენტებში: სვეტები და თაღები.

წინასწარი დაძაბვის ორი ხერხი არსებობს: ბეტონის გამყარებამდე, როცა არმატურის დაჭიმვა ხდება საბრჯენებზე და უკვე გამყარებულ ბეტონზე.

არმატურის დაჭიმვის მიხედვით არჩევენ მექანიკურ, ელექტროთერმულ და მექანიკურ ხერხს.

არმატურის დაჭიმვა დაბეტონებამდე შემდეგში მდგომარეობს: არმატურის ერთ ბოლოს ამაგრებენ საბრჯენებზე, მეორე ბოლოზე მოქმედებს გამჭიმვი ძალა, რომლის საშუალებითაც არმატურის ღერო წაგრძელდება. როდესაც ეს უკანასკნელი მიადწევს ისეთ მნიშვნელობას, რომელიც შეესაბამება არმატურის დაძაბვის წინასწარ გამოთვლილ სიდიდეს, მაშინ მისი მეორე ბოლოც ჩამაგრდება საბრჯენზე სპეციალური დამჭერით. შემდეგ ელემენტს აბეტონებენ. როდესაც ბეტონის სიმტკიცე მიადწევს სიმტკიცის ზღვრის 70%-ს ან  $R_{bp}$  მნიშვნელობას, არმატურა თავისუფლდება საბრჯენებიდან, ცდილობს დაუბრუნდეს საწყის მდგომარეობას, მოკლდება და ბეტონს კუმშავს.

წინასწარი დაძაბვა არმატურის დაჭიმვით გამყარებულ ბეტონზე. დაძაბვა დაბეტონების შემდეგ შემდეგნაირად ხორციელდება: მზადდება სუსტად დაარმატურებული რკინაბეტონის ელემენტი, რომელშიც დასაძაბი არმატურისათვის დატოვებული არსებობს. საარმატურე არხებში გაუყრიან არმატურას და დაჭიმავენ. შემდეგ წინვით წერილმარცვლოვანი ბეტონით ავსებენ არხებს. გაჭიმული არმატურიდან ძაბვები დამჭიმვი მოწყობილობებით გადაეცემა ბეტონს და კუმშავს.

არმატურის დაჭიმვა შესაძლებელია განხორციელდეს მექანიკურადაც – დომკრატებით, დამხვევი მანქანებით, ელექტროთერმული ან ელექტროთერმულ-მექანიკური ხერხით.

წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ელემენტების ბზარმედგობა დამოკიდებულია დაძაბული არმატურის დაჭიმვის ძალისა და წინასწარი ძაბვების სიდიდეებზე.

წინასწარი ძაბვების ზღვრული სიდიდე  $S$  და  $S'$  დაძაბულ არმატურაში  $\sigma_{sp}, \sigma'_{sp}$ -ით აღინიშნება. დასაშვები გადახრის გათვალისწინებით, რომ შესრულდეს პირობები:

$$\sigma_{sp} + p \leq R_{s,ser}; \quad \sigma_{sp} - p \geq 0,3 R_{s,ser}, \quad (1.3)$$

სადაც  $p$  არის წინასწარი დაბევის დასაშვები გადახრა, მგპ და არმატურის მექანიკური დაჭიმვისას:  $p=0,05 \sigma_{sp}$ ; ელექტროთერმული ხერხით დაჭიმვისას:  $p= 30+ 360,0/\ell$ ,

სადაც  $\ell$  არის დასაჭიმი არმატურის სიგრძე, მ.

დაჭიმული არმატურის წინასწარი დაბევის საწყისი სიდიდე დროთა განმავლობაში მცირდება სხვადასხვა მიზეზის გამო. ამ მოვლენას დაბევის კარგვა ეწოდება. განასხვავებენ დაბევის დანაკარგების ორ ჯგუფს. ცხრილში მოცემულია ყველა დანაკარგი და მათი გამოსათვლელი ფორმულები.

არმატურის წინასწარი დაბევის დანაკარგები

არმატურის წინასწარი დაბევის დანაკარგების გამომწვევი ფაქტორები	წინასწარი დაბევის დანაკარგების მნიშვნელობები, მგპა, არმატურის დაჭიმვისას	
	საბჯენზე	ბეტონზე
	პირველი დანაკარგები	
1. არმატურის დაბევის რელაქსაცია: არმატურის მექანიკური ხერხით დაჭიმვისას: ა) მათულოვანის	$0,22 \left[ \begin{array}{c} \sigma_{sp} \\ - 0,1 \end{array} \right] \sigma_{sp}$ $R_{s,ser}$ $0,1 \sigma_{sp} - 20$	-
ბ) დეროვანის არმატურის ელექტროთერმული და მექანიკური ხერხებით დაჭიმვისას: გ) მათულოვანის დ) დეროვანის	$0,05 \sigma_{sp}$ $0,03 \sigma_{sp}$ <p>აქ <math>\sigma_{sp}</math> მიიღება დანაკარგების გაუთვალისწინებლად, მგპა. თუ გამოთვლილი დანაკარგების მნიშვნელობა აღმოჩნდა უარყოფითი, ისინი უნდა მივიღოთ ნულის ტოლი</p>	-
2. ტემპერატურული სხვაობა დაჭიმული არმატურის ტემპერატურასა და დამჭიმ მოწყობილობას შორის	$B15-B40$ კლასების ბეტონისათვის $1,25\Delta t$ , $B45$ და უფრო მაღალი კლასისათვის $1,0\Delta t$ , სადაც $\Delta t$ სხვაობაა გაცხელებული არმატურისა და უძრავი საბჯენების (გაცხელების ზონის გარე მდებარე)	

	<p>ტემპერატურას შორის, რომელთაც გადაეცემა დაჭიმვის ძალვა, °C. ზუსტი მონაცემების უკონლობი-სას მიიღება <math>\Delta t = 65^{\circ}\text{C}</math>.</p> <p>თერმოდამუშავების პროცესში, დასაჭიმი არმატურის მოჭიმვისას ისეთი სიდიდით, რომელიც ტემპერატურის სხვაობით გამოწვეული დანაკარგების კომპენსირებას ახდენს, <math>\Delta t</math> მიიღება ნულის ტოლი</p>	
<p>3. დამჭიმ მოწყობილობებთან განლაგებული ანკერების დეფორმაციები</p>	<p style="text-align: center;"><math>\Delta l</math></p> <p style="text-align: center;">— · Es,</p> <p style="text-align: center;"><math>l</math></p> <p>სადაც <math>\Delta l</math> – დაწინებელი საყელურების მოკუმშვა, გამოტვიფრული თავების თელვა და ა.შ., მიიღება 2 მმ ტოლი; ღეროების გადანაცვლება საინვენტარო მომჭერებში განისაზღვრება ფორმულით</p> <p style="text-align: center;"><math>\Delta l = 1,25 + 0,15 d;</math></p> <p><math>d</math> – ღეროს დიამეტრი, მმ; <math>l</math> – დასაჭიმი ღეროს სიგრძე (სტენდის ან ყალიბის საბჯენების გარე წახნაგებს შორის მანძილი), მმ.</p> <p>დაჭიმვის ელექტროთერმული მეთოდისას, ანკერების დეფორმაციებისაგან დანაკარგები გაანგარიშებაში არ გაითვალისწინება, რადგან ისინი გათვალისწინებულია არმატურის მთლიანი წაგრძელების მნიშვნელობის განსაზღვრისას</p>	<p style="text-align: center;"><math>\Delta l_1 + \Delta l_2</math></p> <p style="text-align: center;">————· Es</p> <p style="text-align: center;"><math>l</math></p> <p>სადაც <math>\Delta l_1</math> ელემენტის ბეტონსა და ანკერებს შორის განლაგებული საყელურების ან შუასადებების შეკუმშვაა, მიიღება 1 მმ; <math>\Delta l_2</math> – ტიქსებრი ანკერების საცობებიანი ხუნდების, ანკერების, ქანჩებისა და დამჭერების დეფორმაციები, რომელთა სიდიდე მიიღება 1 მმ; <math>l</math> – დასაჭიმი ღეროს (ელემენტის) სიგრძე მმ-ში</p>

<p>4. არმატურის ხახუნი:</p> <p>ა) არხის კედლებთან ან კონსტრუქციის ბეტონის ზედაპირთან</p>		$\sigma_{sp} \left[ \frac{1}{1 - e^{a \cdot x + b}} \right]$ <p>სადაც <math>e</math> ნატურალური ლოგარითმის ფუძეა; <math>a, b</math> – კოეფიციენტები, რომლებიც განისაზღვრება დანართი 4-ის</p>
--	--	--

ბ) გადამღუნაე მოწყობილობებზე

$$\sigma_{sp} \left[ 1 - \frac{1}{e^{\theta}} \right]$$

სადაც  $e$  ნატურალური ლოგარითმის ფუძეა;  $\theta$  - კოეფიციენტი, რომელიც 0,25-ის ტოლი მიიღება;  $\theta$  - არმატურის ღერძის მობრუნების ჯამური კუთხე, რად;  $\sigma_{sp}$  მიიღება დანაკარგების გაუთვალისწინებლად

მიხედვით;  $x$  - უბნის სიგრძე დამჭიმი მოწყობილობებიდან საანგარიშო კვეთამდე, მ;  $\theta$  - არმატურის ღერძის მობრუნების ჯამური კუთხე, რად;  $\sigma_{sp}$  მიიღება დანაკარგების გაუთვალისწინებლად

5. ფოლადის ყალიბის დეფორმაციით

$$\Delta \xi = \eta \cdot \xi \cdot E_s$$

სადაც  $\eta$  კოეფიციენტი, რომელიც განისაზღვრება შემდეგი ფორმულებით: დომკრატებით არმატურის დაჭიმვის დროს  $n - 1$

$$\eta = \frac{P}{2n}$$

ელექტრომექანიკური ხერხით, დამხვევი მანქანით არმატურის დაჭიმვისას (ძალვის 50% იქმნება ტვირთით)  $n - 1$

$$\eta = \frac{P}{4n}$$

$n$ -არაერთდროულად დასაჭიმი ღეროების ჯგუფების რიცხვი;

$\Delta \xi$  ყალიბის დეფორმაციის გაანგარიშებით განსაზღვრული,  $P$  ძალვის მოქმედების ხაზზე საბჯენების დაახლოება;  $\xi$  - მანძილი საბჯენების გარე წახნაგებს შორის. დამზადების ტექნოლოგიისა და კონსტრუქციის ფორმის შესახებ ინფორმაციის უქონლობის დროს მისი დეფორმაციით დანაკარგები მიიღება 30 მგპა-ის ტოლი. დაჭიმვის ელექტროთერმული მეთოდის შემთხვევაში

	დანაკარგები ყალიბის დეფორმაციისაგან გაანგარიშებაში არ გაითვალისწინება, რადგან ისინი გათვალისწინებულია არმატურის მთლიანი წაგრძელების განსაზღვრისას		
6. სწრაფმდინარი ცოცვადობით: ა) ბუნებრივი გამყარებით	$\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} \leq \alpha;$ $40\alpha + 85\beta \left[ \frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} - \alpha \right], \text{ როცა } \frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} > \alpha,$	<p>სადაც <math>\alpha</math> და <math>\beta</math> კოეფიციენტები მიიღება <math>\alpha = 0,25 + 0,025R_{bp}</math>, მაგრამ არა უმეტეს 0,8-ისა; <math>\beta = 5,25 - 0,185 R_{bp}</math>, მაგრამ არა უმეტეს 2,5-ისა და არანაკლებ 1,1-ის;</p> <p><math>\sigma_{bp}</math> განისაზღვრება <math>S</math> და <math>S'</math> გრძივი არმატურის სიმძიმის ცენტრის დონეზე, დანაკარგების გათვალისწინებით, მოცემული ცხრილის მე-5 პოზიციის მიხედვით.</p> <p>მსუბუქი ბეტონისათვის 11 მგპა და ნაკლები გადასაცემი სიმტკიცისას მამრავლ 40-ის ნაცვლად აიღება 60;</p> <p>დანაკარგები გამოითვლება მოცემული ცხრილის პოზ. 6-ის მიხედვით მიღებული შედეგის გამრავლებით 0,85-ზე</p>	
ბ) სითბური დამუშავებით			
7. არმატურის ძაბვების რელაქსაცია: ა) მავთულოვანის ბ) ღეროვანის	მეორე დანაკარგები		$\left( \frac{\sigma_{sp}}{R_{s,ser}} - 0,22 \right) \sigma_{sp}$ $0,1\sigma_{sp} - 20$ <p>(განმარტვები იხ. ამავე ცხრ. პოზ. 1)</p>
8. ბეტონის შეკლება (იხ. მ. 4.26): მძიმე კლასებისათვის:	ბუნებრივი გამყარების ბეტონი	ბეტონი, თერმულად დამუშავებული ატმოსფერული წნევის პირობებში	ბეტონის გამყარების პირობებისგან დამოუკიდებლად
ა) B35 და ნაკლები			
ბ) B40	40	35	30
გ) B45 და მეტი	50	40	35
წვრილმარცვლოვანი,	60	50	40

ჯგუფებისათვის:	დანაკარგები განისაზღვრება ამავე ცხრილის პოზ. 8ა,ბ-ს მიხედვით, კოეფიციენტი 1,3-ზე გადამრავლებით;		
A	დანაკარგები განისაზღვრება ამავე ცხრილის პოზ. 8ა-ს მიხედვით, 1,5-ზე გადამრავლებით;		40
B	დანაკარგები განისაზღვრება ამავე ცხრილის პოზ. 8ა,გ-ს მიხედვით ბუნებრივი გამყარების მძიმე ბეტონისათვის		40
მსუბუქი, წვრილ შემესებზე:			
დ) მკვრივი	50	45	40
ე) ფოროვანი	70	60	50

9. ბეტონის ცოცვადობა (იხ. პ. 4.26) ა) მძიმე და მსუბუქი, მკვრივ წვრილ შემესებზე	$150 \sigma_{bp} / R_{bp}$ , როცა $\sigma_{bp} / R_{bp} \leq 0,75$ ; $300 \alpha (\sigma_{bp} / R_{bp} - 0,375)$ , როცა $\sigma_{bp} / R_{bp} > 0,75$ . სადაც $\sigma_{bp}$ იგივეა, რაც პოზ. 6-ში, მაგრამ ამავე ცხრ. პოზ. 1-6 მიხედვით დანაკარგების გათვალისწინებით; $\alpha$ -კოეფიციენტი, რომელიც მიიღება ბეტონისათვის: ბუნებრივი გამყარების - 1,0; სითბური დამუშავების, 0,85 ატმოსფერული წნევის დროს	
ბ) წვრილმარცვლოვანი, შემდეგი ჯგუფებისათვის:		
A	დანაკარგები გამოითვლება ამავე ცხრ. პოზ.9,ა-ს მიხედვით, მიღებული მნიშვნელობების 1,3-ზე გადამრავლებით;	
B	დანაკარგები გამოითვლება ამავე ცხრ. პოზ.9,ა-ს ფორმულების მიხედვით მიღებული მნიშვნელობების 1,5-ზე გადამრავლებით;	
B	დანაკარგები გამოითვლება ამავე ცხრ. პოზ. 9,ა-ს ფორმულის მიხედვით, როცა $\alpha=0,85$ ;	
გ) მსუბუქის, ფორიან წვრილ შემესებზე	დანაკარგები გამოითვლება ამავე ცხრ. პოზ. 9,ა-ს ფორმულის მიხედვით, მიღებული მნიშვნელობების 1,2-ზე გადამრავლებით	
10. ბეტონის თელვა სპირალური ან რგოლური არმატურის ხვიების ქვეშ	-	$70-0,22d_{ext}$ , სადაც $d_{ext}$ კონსტრუქციის გარე დიამეტრია, სმ
11. ბლოკებს შორის პირაპირების შეკუმშვის დეფორ-		$n \Delta L$ — . Es,

<p>შაცია (ბლოკებისაგან შედგენილი კონსტრუქციებისათვის)</p>	<p>-</p>	<p>L</p> <p>სადაც <math>n</math> კონსტრუქციის ნაკერებისა და ალტურელობის რიცხვია დასაჭიმი არმატურის სიგრძეზე;</p> <p><math>\Delta L</math> - პირაპირის შეკუმშვა, რომელიც მიიღება ბეტონით შევსებული პირაპირებისათვის 0,3 მმ; მშრალად შეპირაპირებისას - 0,5მმ;</p> <p>L - დასაძაბი არმატურის სიგრძე,მმ</p>
---	----------	---

**შენიშვნები:**

1. S' დასაძაბ არმატურაში წინასწარი ძაბვების დანაკარგები განისაზღვრება ისევე, როგორც S არმატურაში.
2. თვითდაძაბული კონსტრუქციებისათვის ბეტონის შეკლებისა და ცოცვალობით გამოწვეული დანაკარგი განისაზღვრება ექსპერიმენტების მონაცემების მიხედვით

ბეტონის ძირითადი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები

2.1. ბეტონის სახეობები, ბეტონის სიმტკიცე, ბეტონის დეფორმაცია

ბეტონი მიიღება შემკვრელის, წყლის, მსხვილი და წვრილი შემავსებლის ნარევის გამყარების შედეგად.

ბეტონის შემკვრელად იყენებენ 200, 300, 400, 500 და მეტი მარკის ცემენტებს.

შემავსებლები არის მსხვილი და წვრილი, ბუნებრივი და ხელოვნური, მკვრივი და ფოროვანი. ხელოვნური შემავსებლები ძირითადად ფოროვანია. მკვრივი შემავსებლებია: მძიმე ქანები (გრანიტი, ქვიშაქვა და ა.შ.), ღორღი, ხრეში და კვარცის ქვიშა. ხელოვნური შემავსებლებია: წიდა, კერამიტი და სხვა; ხოლო ფოროვანი ბუნებრივი შემავსებლებია: პემზა, პერლიტი, ვულკანური წიდეები და სხვა.

შემავსებლების მასის მიხედვით იცვლება ბეტონის მასაც. მკვრივ შემავსებლებზე დამზადებული ბეტონის მოცულობითი მასა იცვლება 2 200-დან 2 500 კგ/მ<sup>3</sup>-მდე და მას მძიმე ბეტონს უწოდებენ. ის ყველაზე გავრცელებულია ბეტონის სხვა სახეობებს შორის. ძირითადად გამოიყენება მზიდ კონსტრუქციებში.

ბეტონს ფოროვანი შემავსებლებით, მსუბუქ ბეტონებს მიაკუთვნებენ და მისი მოცულობითი წონა 2 200 კგ/მ<sup>3</sup>-მდეა. გამოიყენება საკედლე და არამზიდ კონსტრუქციებში.

ბეტონი თავისი სტრუქტურული აგებულებით არაერთგვაროვანი მასალაა, რომელშიც მეტი ადგილი შემავსებლებს უჭირავს, რომელიც იკვრება ცემენტის ქვის გამყარების შედეგად.

გამყარების პროცესში იცვლება ბეტონის მოცულობა: თუ გამყარება ხდება ჰაერზე, მოცულობა მცირდება (შეკლება); თუ გამყარება ხდება წყალში, მოცულობა მატულობს (გაჯირჯება).

ბეტონის სიმტკიცე დროთა განმავლობაში მატულობს.

ჩვეულებრივ, ბეტონის შეკლება გამყარების საწყის პერიოდში ინტენსიურად მიმდინარეობს, ხოლო დროთა განმავლობაში მიიღევა.

ბეტონის არათანაბარი შრობა იწვევს არათანაბარ შეკლებას და მის ზედაპირზე ბზარების გაჩენას. ამის თავიდან აცილება შეიძლება ბეტონის ნარევის სწორი შერწყვით, ბეტონის ღია (გარე) ზედაპირის დანოტივებით.

## ბეტონის სახეობები

შემავსებლის სახეობის მიხედვით ბეტონები იყოფა:

1. მძიმე ბეტონი;
2. ბეტონი ფოროვან შემავსებლებზე;
3. უჯრედოვანი ბეტონი;
4. მსხვილფოროვანი ბეტონი;
5. დაფოროვებული ბეტონი.

ბეტონის სპეციალური სახეობებია:

1. სილიკატური ბეტონი;
2. მხურვალმედეგი ბეტონი;
3. მჟეაგამძლე ბეტონი;
4. პოლიმერცემენტის ბეტონი;
5. პოლიმერბეტონი;
6. დამძაბავი ბეტონი.

### ა) ბეტონის სიმტკიცე

1. ბეტონის სიმტკიცის მაჩვენებელი კუმშვაზე ბეტონის ძირითადი მახასიათებელია. სიმტკიცე კუმშვისას ექსპერიმენტულად ადვილი დასადგენია. ბეტონის სიმტკიცის ძირითად საზომად კუბური სიმტკიცეა მიღებულია.

კუბური სიმტკიცე არის 28 დღის ასაკის, 15X15X15 სმ ზომის ბეტონის კუბის სიმტკიცის ზღვარი (R, მპა) დერძულ კუმშვაზე ნორმალური ტემპერატურისა და ტენიანობის დროს.

კუბის ფორმის ბეტონის ნიმუშის გამოცდა კუმშვისას წნეხის საშუალებით ხდება (ნახ.2.1).

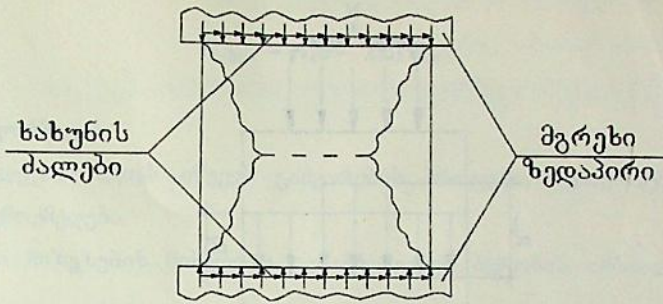
სასულმიწყო სტანდარტების თანახმად, კუბური სიმტკიცე განისაზღვრება, როგორც მრღვევი ძალის ფართობა ნიმუშის განივკვეთის ფართობთან:

$$R = F_{გრ} / A, \quad (2.1)$$

სადაც  $F_{გრ}$  მრღვევი ძალაა;  $A$  — ნიმუშის განივკვეთის ფართობი.

ბეტონი სიმტკიცის მიხედვით დაყოფილია B კლასებად, მპა-ში, B2,5 ÷ B60 - ის ჩათვლით.

რადგან რკინაბეტონის რეალური კონსტრუქციის ერთი ზომა ყოველთვის აღემატება დანარჩენ ორს (ანუ სიგრძე განივკვეთს), ამიტომ კუბური სიმტკიცე რკინაბეტონის კონსტრუქციების სიმტკიცეზე გაანგარიშების დროს არ გამოიყენება. ამ დროს ბეტონ-



ნახ. 2. 1.

ნის კონსტრუქციების სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას არ გამოიყენება. ამ დროს გამოიყენება ე.წ. პრიზმული სიმტკიცე  $R_b$ , რომელიც თითქმის სტაბილურია და კუბური სიმტკიცის დაახლოებით სამ მეოთხედს შეადგენს:

$$R_b \approx 0,75R. \quad (2.2)$$

2. ბეტონის სიმტკიცის მაჩვენებელი გაჭიმვაზე

$$R_{bt} = (0,05+0,1)R. \quad (2.3)$$

ბეტონის კლასის გადიდებისას მატულობს სიმტკიცე გაჭიმვაზე, მაგრამ ნაკლებ ინტენსიურად, ვიდრე სიმტკიცე კუმშვაზე.

3. ბეტონის სიმტკიცე ადგილობრივი კუმშვისას (თელვა)

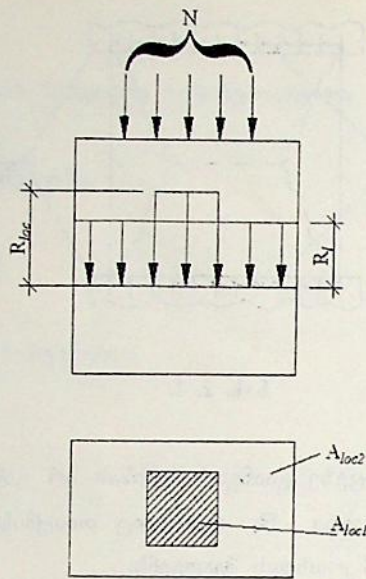
ადგილობრივი კუმშვა (თელვა) გეხდება კოჭების, თაღებისა და წამწების საყრდენებზე, როცა მკუმშავი ძალა კვეთის ნაწილს გადაეცემა (ნახ.2.3).

ბეტონის სიმტკიცის ზღვარი ადგილობრივი კუმშვისას (თელვის) შემდეგი ფორმულით განისაზღვრება:

$$R_{loc} = R_b \sqrt{A_{loc2} / A_{loc1}}. \quad (2.4)$$

სადაც  $A_{loc1}$  — კვეთის დატვირთული ნაწილის ფართობია (თელვის ფართობი);

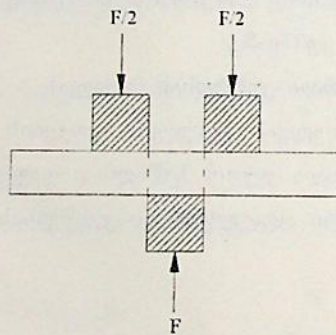
$A_{loc2}$  — ბეტონის ელემენტის მუშაობაში მონაწილე საანგარიშო კვეთის ფართობი.



ნახ. 2.2

#### 4. ბეტონის სიმტკიცე ჭრასა და ახლენაზე

ბეტონის წმინდა ჭრა იშვიათად გვხვდება. ჭრის მოვლენა გულისხმობს, რომ ელემენტი ორ ნაწილად იყოფა იმ განივიკვეთში, რომელშიც მოქმედებს გადამჭრელი ძალა(ნახ.2.3).



ნახ.2.3.

ცდებით დადგენილია, რომ სიმტკიცე ჭრაზე დაახლოებით ორჯერ უფრო მაღალია, ვიდრე სიმტკიცე გაჭიმვაზე, ე.ი. ჭრის წინაღობა

$$R_{\text{ჭ}} \approx 2 R_{\text{bt}} . \quad (2.5)$$

ბეტონის წინაღობას ახლენაზე ვხვდებით ღუნვაზე მომუშავე კოჭებში დახრილი ბზარების წარმოშობამდე. დადგენილია, რომ ბეტონის წინაღობა ახლენისას 1,5 – 2-ჯერ აღემატება ბეტონის სიმტკიცეს წმინდა გაჭიმვისას

$$R_{ახლ} = (1,5 - 2,0) R_{ბტ} . \quad (2.6)$$

## 5. ბეტონის დეფორმაცია

ბეტონის დეფორმაციას იწვევს გამყარების პროცესი, ტემპერატურისა და გარე დატვირთვის ზემოქმედება.

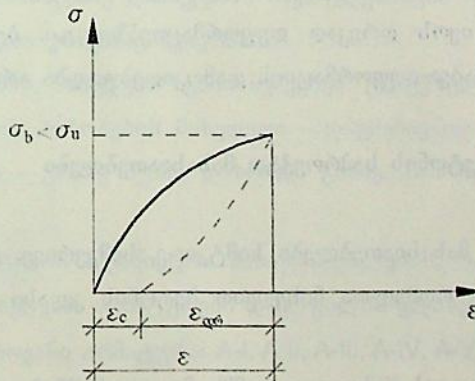
გამომწვევი მიზეზების მიხედვით განასხვავებენ ბეტონის არაძალურ და ძალურ დეფორმაციებს.

არაძალური დეფორმაციებია - გამყარების და ტემპერატურული ზემოქმედებისგან გამოწვეული დეფორმაცია; პაერზე გამყარებისას - შეკლების და წყალში გამყარებისას - გაჯირჯვების. გარემოს ტემპერატურის ცვლილებისას ბეტონის მოცულობა იცვლება. ბეტონის ხაზოვანი (წრფივი) გაფართოების კოეფიციენტი ტემპერატურის  $100^{\circ}\text{C}$  ფარგლებში ცვალებადობისას საშუალოდ  $1 \cdot 10^{-5}$  შეადგენს, ფოლადის ტემპერატურული წრფივი გაფართოების კოეფიციენტი -  $1,2 \cdot 10^{-5}$ , რაც პირველ სიდიდესთან ახლოა.

## 2.2. ბეტონის ძალური დეფორმაციები

რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტებისას სიმტკიცის მახასიათებლების გარდა, მნიშვნელოვანია მისი დეფორმაციული მახასიათებლებიც.

ცდებით დადგენილია, რომ დატვირთვის მოქმედებისას დეფორმაციის განვითარების კანონი დამოკიდებულია დატვირთვის მოქმედების ხასიათზე, ხანგრძლივობაზე, გარემოს ტემპერატურულ და ტენიანობის პირობებზე.

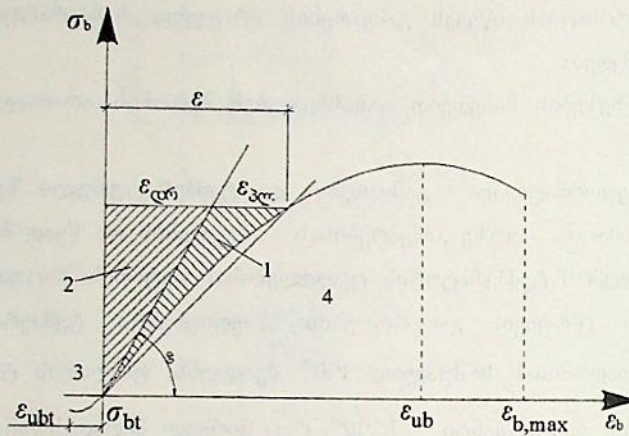


ნახ. 2.4.

ბეტონის დეფორმაციის სიდიდე შედგება დრეკადი და პლასტიკური ნაწილისაგან (ნახ.2.4):  $\epsilon = \epsilon_{დრ} + \epsilon_{პლ}$  ნახაზიდან კარგად ჩანს, რომ ბეტონი არის დრეკად-პლასტიკური მასალა.

დატვირთვის მოქმედების ხასიათისა და ხანგრძლივობის მიხედვით განასხვავებენ ბეტონის ძალური დეფორმაციების შემდეგ სახეებს:

- ა. დეფორმაციები ერთჯერადი ხანმოკლე დატვირთვისას;
- ბ. დეფორმაციები ხანგრძლივი დატვირთვისას;
- გ. დეფორმაციები მრავალჯერ განმეორებადი დატვირთვისას.



ნახ. 2.5. ძაბვა-დეფორმაციათა მრუდი გაჭიმვასა და კუმშვისას  
 1. პლასტიკური; 2. დრეკადი; 3. გაჭიმვა; 4. კუმშვა

დატვირთვის მოდების მომენტში განვითარებულ დეფორმაციებს დრეკადი ხასიათი აქვს ( $\epsilon_{დრ}$ ) და ძაბვასთან დამოკიდებულებაც წრფივია. ბეტონში დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედებისას განვითარებულ დეფორმაციებს პლასტიკური ბუნება ( $\epsilon_{პლ}$ ) აქვს.

ბეტონის თვისებას, დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედებისას გაზარდოს დეფორმაციის სიდიდე, ბეტონის ცოცვადობა ეწოდება. ცოცვადობის დეფორმაციები შეიძლება 3–4ჯერ მეტი იყოს დრეკად დეფორმაციებზე. ე.ი. ბეტონი არის დრეკად-პლასტიკური მასალა და ძაბვა-დეფორმაციის დამოკიდებულება არაწრფივია.

### ბეტონის საპროექტო მახასიათებლები

ბეტონის საპროექტო მახასიათებლები სიმტკიცე, სიმკვრივე, ყინვამედეგობა, წყალგაუმტარობა, თვითდაძაბვა, რომელთა მიხედვით ბეტონის კლასი ან მარკა განისაზღვრება.

ბეტონის კლასი სიმტკიცის მიხედვით კუმშვაზე, აღინიშნება -  $R_b$ -ით;

ბეტონის კლასი სიმტკიცის მიხედვით გაჭიმვაზე, აღინიშნება -  $R_{bt}$ -ით;

ბეტონის მარკა ყინვამედეგობის მიხედვით, აღინიშნება - F-ით;

ბეტონის მარკა წყალგაუმტარობის მიხედვით, აღინიშნება - W-ით;

ბეტონის მარკა სიმკვრივის მიხედვით, აღინიშნება - D-ით;

დამძაბავი ბეტონის მარკა თვითდაძაბვის მიხედვით, აღინიშნება -  $S_p$  - ით.

არმატურის ძირითადი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები

3.1. არმატურის სახეობები, კლასიფიკაცია, საარმატურე ნაწარმი

რკინაბეტონის შედგენილობაში ფოლადის ღეროების ერთობლიობას და ცალკეულ ღეროებს არმატურა ეწოდება.

არმატურის ძირითადი დანიშნულებაა ბეტონის გაჭიმული ზონის გაძლიერება. იყენებენ შეკუმშული ბეტონის ელემენტების კვეთის გასაძლიერებლადაც. გარდა ამისა, წინასწარ დაძაბულ რკინაბეტონის კონსტრუქციებში არმატურას იყენებენ ბეტონში წინასწარი ძაბვების შესაქმნელად.

ფოლადის არმატურა არის მოქნილღეროვანი, მავთულოვანი; ბაგირები და ხისტი არმატურა – კუთხოვანი, ორტესებრი და სხვა მძლავრი კვეთის ფასონური ნაგლინი.

მუშაობის ყველა სტადიაზე არმატურას მოეთხოვება ბეტონთან საიმედო კავშირი (შეჭიდულობა), ფოლადის ხარჯის ეკონომიურობა, დამზადებისა და მონტაჟის დროის შრომატევადობის სიმცირე.

მოქნილი არმატურა იყოფა დამზადების ტექნოლოგიის, ღეროების ზედაპირის ფორმის, გამოყენების პირობებისა და დანიშნულების მიხედვით.

დამზადების ტექნოლოგიის მიხედვით განასხვავებენ ცხლად გლინულ ღეროვან A კლასის და ცინაჭიმი B კლასის მავთულოვან არმატურებს.

6-40(80)მმ დიამეტრის ღეროვანი არმატურა იგლინება. მზადდება 2,5-8მმ დიამეტრის მავთულოვანი არმატურა. მცირე დიამეტრის მავთულებისგან K კლასის ბაგირები მზადდება. ბაგირები შეიძლება კონებად შეიკრას.

ზედაპირის ფორმის მიხედვით განასხვავებენ გლუვზედაპირიან და პერიოდული პროფილის; გამოყენების პირობების მიხედვით - დაუძაბავ და წინასწარდაძაბულ; დანიშნულების მიხედვით - გრძივ მუშა, დახრილ, განივ, სამონტაჟო და გამანაწილებელ არმატურებს.

საარმატურე ფოლადის მექანიკური მახასიათებლების, დამზადებისა და მომდევნო დამუშავების წესის მიხედვით არმატურები დაყოფილია კლასებად:

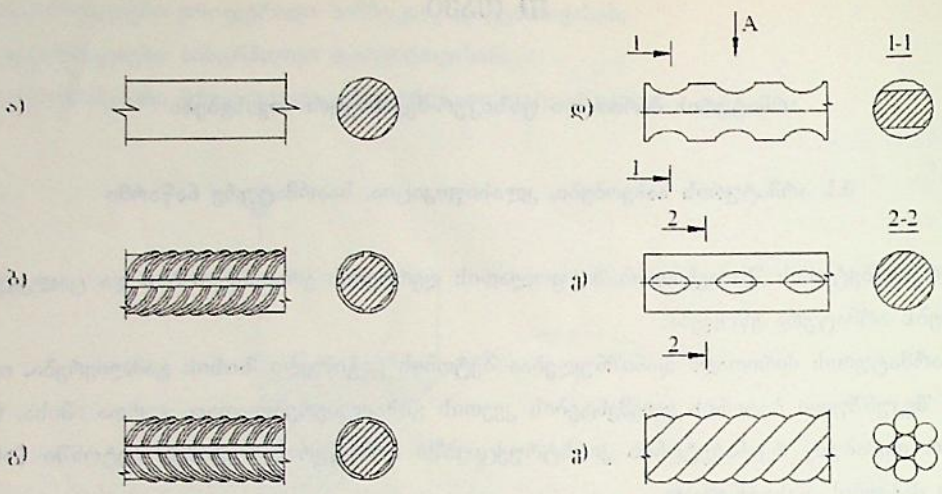
ცხლად გლინული ღეროვანი არმატურა: A-I, A-II, A-III, A-IV, A-V;

თერმულად დამუშავებული ღეროვანი არმატურა: AT-IV, AT-V, AT-VI;

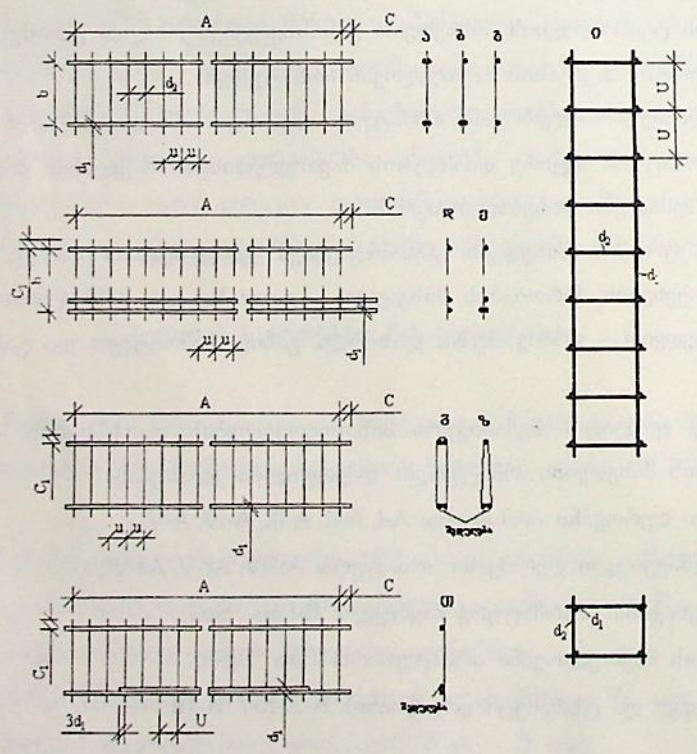
ნვეულებრივი ცინაჭიმი საარმატურე მავთული: B-I და Bp-I;

მაღალი სიმტკიცის მავთულოვანი არმატურა: B-II და Bp-II;

ბაგირები (სამ, შვიდ და ცხრამეტმავთულიანი): K-3, K-7, K-19.



ნახ. 3.1. ა) ღეროვანი (A-I); ბ) პერიოდული პროფილის ღეროვანი (A-II); გ) პერიოდული პროფილის ღეროვანი (A-III); დ,ე) პერიოდული პროფილის მაღალი სიმტკიცის მავთულგანი (Bp-II); ე) შედამავთულიანი საარმატურე ბაგირი (K-7)



ნახ. 3.2. არმატურის ნაკეთობები

### 3.2. ძირითადი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები

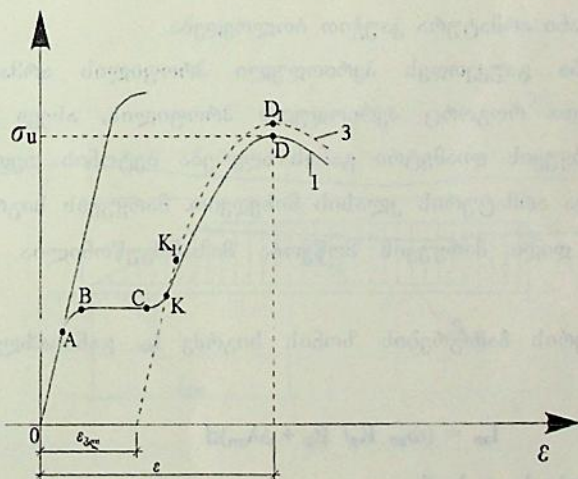
არმატურის თვისებები დამოკიდებულია ფოლადის ქიმიურ შედგენილობასა და დამზადების წესზე.

საარმატურე ფოლადის სიმტკიცისა და დენადობის თვისებების დასახასიათებლად იყენებენ გაჭიმვის დიაგრამას, რომელიც აიკვება ფოლადის გაჭიმვაზე გამოცდისას, დატვირთვის თანდათანობით გადიდებით გაწყვეტამდე.

ფოლადის ძირითადი მექანიკური მახასიათებლებია: სიმტკიცის ზღვარი, დენადობის ზღვარი და პლასტიკურობა.

ფოლადის არმატურის შედგენილობაში შედის: რკინა - Fe, ნახშირბადი - C, სილიციუმი - Si, მანგანუმი - Mn, გოგირდი - S, ფოსფორი - P. ფოლადის შედგენილობაში სპეციალური მინარევების - ქრომის, ტიტანის და სხვა შეტანით და მანგანუმისა და სილიციუმის გადიდებით (ლეგირებით) მაღლდება ფოლადის სიმტკიცე და კოროზიამდეგობა. ფოლადში ნახშირბადის შემცველობის გადიდებით იზრდება სიმტკიცე, მაგრამ მცირდება პლასტიკურობის მახასიათებელი.

მაღალი სიმტკიცის მათულოვან არმატურაში ნახშირბადის შემცველობა 0.8%-ია (ნახშირბადოვანი ფოლადი).



ნახ. 3.3. ფოლადის გაჭიმვის დიაგრამები: 1. რბილი ნახშირბადმცირე (დენადობის ზღვრით); 2. მაღალი სიმტკიცის (დენადობის პირობითი ზღვრით); 3) გაჭიმვით განმტკიცებული არმატურა. **OA** - პროპორციულობის უბანი; **AB** - დრეკად-პლასტიკური უბანი; **BC** - დენადობის უბანი; **KD** - სიმტკიცის უბანი

## რკინაბეტონის ძირითადი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები

## 4.1. შეჭიდულობა ბეტონსა და არმატურას შორის

რკინაბეტონის კონსტრუქციამ რომ შეძლოს ძალოვანი ზემოქმედების შედეგად ნორმალური მუშაობა, ბეტონი და არმატურა ერთობლივად უნდა მუშაობდეს, ანუ ადგილი არ უნდა ჰქონდეს ერთმანეთის მიმართ გასხლეტას (გასრიალებას).

რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტებისას აუცილებელია ბეტონში არმატურის საიმედო დაანკერება, რომელიც ბეტონსა და არმატურას ერთმანეთის მიმართ დაძვრაში ხელს შეუშლის.

დაუძაბავი არმატურის დაანკერება ხორციელდება: ა) ღეროს სწორი ბოლოს შეჭიდულობით ბეტონთან, ბ) კაუჭების, გ) თათების, დ) მარყუქების დაბოლოებით, ე) განივი არმატურის მიდუღებით დასაანკერებელი გრძივი ღეროს ბოლოზე ან ე) სპეციალური მუდმივი ანკერებით (ნახ. 4.1).

ღეროს სწორი ბოლოთი ბეტონთან შეჭიდულობა დასაშვებია მხოლოდ პერიოდული პროფილის არმატურისთვის.

გლუვზედაპირიანი არმატურა კაუჭით ბოლოვდება.

თათი შეიძლება გაუკეთდეს პერიოდული პროფილის არმატურას. მარყუქით დაანკერება შესაძლოა როგორც პერიოდული პროფილის, ასევე გლუვზედაპირიანი არმატურისთვის. მარყუქის დიამეტრი განისაზღვრება ბეტონის თელვის პირობით და მიიღება ბეტონისა და არმატურის კლასის მიხედვით. მარყუქის სიგრძე აიღება (5-20)დ ფარგლებში. ამაზე დიდი მარყუქის მოწყობა მიზანშეუწონელია. აქ d არმატურის დიამეტრია.

გრძივი არმატურის ჩამაგრების ზონის სიგრძე  $l_{an}$  განისაზღვრება ფორმულით (ნახ. 4.2):

$$l_{an} = (\omega_{an} R_s / R_b + \Delta\lambda_{an})d \quad (4.1)$$

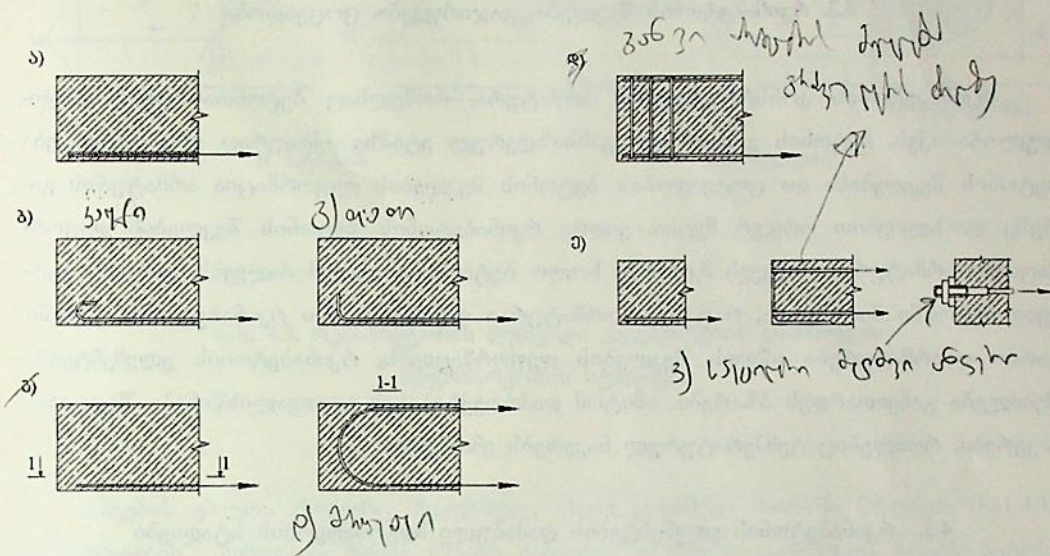
და მიიღება არანაკლები  $l_{an} = \lambda_{an}d$ ,

სადაც  $\omega_{an}$ ,  $\Delta\lambda_{an}$ ,  $\lambda_{an}$  დაანკერების კოეფიციენტებია და ცხრილიდან აიღება არმატურის სახეობის და მუშაობის პირობების მიხედვით;

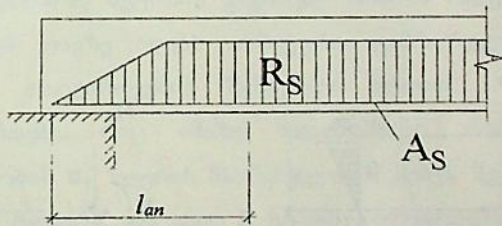
d – დასაანკერებელი არმატურის დიამეტრი;

$R_s$  და  $R_b$  – არმატურის და ბეტონის საანგარიშო წინააღობები;

$l_{an}$  – მანძილი კვეთიდან (არმატურას ითვალისწინებენ სრული საანგარიშო წინააღობით) არმატურის ბოლომდე.



ნახ. 4.1. დაანკვრების სახეები



ნახ. 4.2.

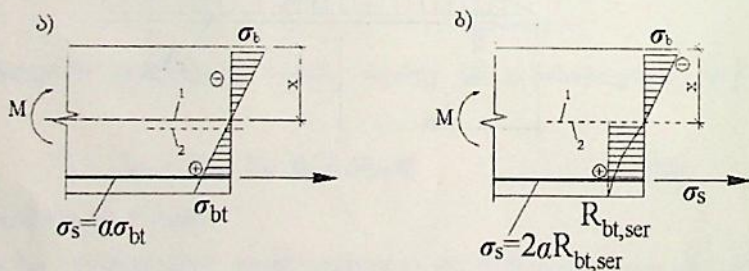
## 4.2. რკინაბეტონის შეკლება, გაჯირჯება, ცოცვადობა

რკინაბეტონის კონსტრუქციებში არმატურა, რომელსაც ბეტონთან კარგი შეჭიდულობა აქვს, ბეტონის გამყარების განსაზღვრულ ეტაპზე აქტიურად ეწინააღმდეგება ბეტონის შეკლებასა და ცოცვადობას. ბეტონის შეკლების დეფორმაცია არმატურის გარეშე დაახლოებით ორჯერ მეტია, ვიდრე რკინაბეტონის. ბეტონის შეკლების დეფორმაციები არმატურაში იწვევს მკუმშავ, ხოლო ბეტონში - გამჭიმ ძალებს. გამჭიმი ძალები ბეტონში მით მეტია, რაც მეტი არმატურაა განთავსებული რკინაბეტონის კვეთში. ჭარბი დაარმატურება იწვევს შეკლების დეფორმაციებს, რკინაბეტონის ელემენტებში შეიძლება განვითარდეს ბზარები, ამიტომ დაპროექტებისას გაითვალისწინება შეკლების ნაკერები, რომლებიც ტემპერატურულ ნაკერებს ემთხვევა.

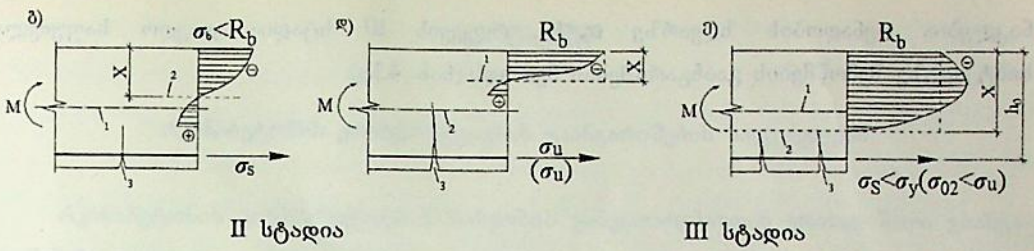
## 4.3. რკინაბეტონის ელემენტების დაძაბული მდგომარეობის სტადიები

დატვირთვის თანდათანობითი გაზრდით რკინაბეტონის ელემენტის დაძაბული მდგომარეობა რღვევამდე იცვლება. დადგენილია დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის სამი სტადია, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდება როგორც რაოდენობრივად, ასევე თვისებრივად.

I სტადია. დატვირთვა და ბეტონის დეფორმაციები მცირეა, ძაბვებსა და დეფორმაციებს შორის დამოკიდებულება წრფივი.



I სტადია



ნახ. 4.3. რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტების დაძაბული მდგომარეობის სტადიები

ძაბვების ეპიურა როგორც შეკუმშულ, ასევე გაჭიმულ ზონაში წრფივია (ნახ.4.3,ა). დატვირთვების შემდგომი ზრდა იწვევს ძაბვების გაზრდას. გაჭიმული ზონის ბეტონში ძაბვები უფრო ნელა იზრდება, ვიდრე დეფორმაციები. ვითარდება პლასტიკური დეფორმაციები და ბეტონის გამჭიმვი ძაბვების ეპიურა მრუდდება. როცა წრფივი დეფორმაციები გაჭიმული ზონის ბეტონში აღწევს ზღვრულ სიდიდეს  $\epsilon \approx 15 \cdot 10^{-5}$ , I სტადია მთავრდება (ნახ.4.3,ბ).

I სტადიის საანგარიშო ეპიურად მიღებულია: კვეთის შეკუმშულ ზონაში ძაბვების სამკუთხა ფორმა, გაჭიმულ ზონაში კი - მართკუთხა ფორმა,  $R_{btser}$  ორდინატით.

დატვირთვების გაზრდა გაჭიმულ ზონაში ბზარების გაჩენას იწვევს.

II სტადია. ამ სტადიაზე ბეტონის გაჭიმულ ზონაში ჩნდება ინტენსიური ბზარები, გამჭიმ ძაღვებს თავის თავზე იღებს არმატურა, დაბზარული ბეტონი გამორთულია მუშაობიდან ნახ.4.3,გ. დატვირთვების შემდგომი ზრდით არმატურაში პლასტიკური დეფორმაციები ვითარდება, რაც იმაზე მიგვანიშნებს, რომ არმატურაში ძაბვები უტოლდება მის დენადობის  $\sigma_y$  ზღვრის მნიშვნელობას. ძაბვა შეკუმშული ზონის ბეტონში ვერ აღწევს სიმტკიცის ზღვარს და ამით II სტადია სრულდება.

II სტადია დაედო საფუძვლად კონსტრუქციების გაანგარიშებას ბზარმდეგობაზე, ბზარების გახსნასა და სიხისტეზე.

დატვირთვების შემდგომი გადიდებით ელემენტის კვეთი გადადის III რღვევის სტადიაში. ამ დროს ბზარები კიდევ უფრო იხსნება, შეკუმშული ზონის სიმაღლე მცირდება, ძაბვები არმატურასა და ბეტონში ერთდროულად ან ცალ-ცალკე აღწევს ზღვრულ სიდიდეებს, რაც ელემენტის რღვევას იწვევს (ნახ. 4.3, დ).

რღვევა შეიძლება დაიწყოს გაჭიმული ზონიდან, როდესაც არმატურაში ძაბვა მიაღწევს ზღვრულ მნიშვნელობას  $\sigma_s = R_s$ , ხოლო შეკუმშულ ბეტონში  $\sigma_c < R_b$ . შეკუმშულ ბეტონში ძაბვა გაუტოლდება ზღვრულ წინაღობას  $\sigma_c = R_b$ , ხოლო არმატურაში ძაბვები

ნაკლებია დენადობის ზღვარზე  $\sigma_s < R_s$ . რღვევის III სტადია დაედო საფუძვლად სიმტკიცეზე შემოწმების გაანგარიშების მეთოდს (ნახ. 4.3,ე).

## რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების საფუძვლები

რკინაბეტონის კონსტრუქციების სახეობის განვითარებასთან ერთად მათი გაანგარიშების თეორიული საფუძვლებიც ვითარდებოდა. პრაქტიკაში ცნობილია რკინაბეტონის გაანგარიშების სამი მეთოდი: 1. დასაშვები ძაბვების; 2. მრღვევი ძაღვების და 3. ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით.

რკინაბეტონის თეორიის განვითარების დასაწყისში დამუშავდა გაანგარიშების მეთოდი დასაშვები ძაბვების მიხედვით ე.წ. კლასიკური მეთოდი, რომელიც გულისხმობს დრეკად სხეულს, უარყოფს საშენი მასალების პლასტიკურ თვისებებს და არ ითვალისწინებს მუშაობის ნამდვილ პირობებს. ამიტომ გაანგარიშების ამ მეთოდს არ შეუძლია მოგვცეს სამშენებლო კონსტრუქციის ამტანუნარიანობის რეალური შეფასება. მაქსიმალური საანგარიშო ძაბვებით არ შეიძლება ნაგებობის სიმტკიცის შეფასება, რაც განსაკუთრებით გამოვლინდა მაღალი სიმტკიცის არმატურისა და ბეტონის, აგრეთვე მსუბუქი ბეტონის გამოყენებისას. ამიტომ 1938 წლიდან იგი შეიცვალა მრღვევი ძაბვების მიხედვით გაანგარიშების მეთოდით, რომელიც არ ითვალისწინებს ფაქტიური დატვირთვების შესაძლო ცვალებადობას, მასალის სიმტკიცის ცვლილებას. გარდა ამისა, მეთოდი ეყრდნობა განზოგადებულ, არადიფერენცირებულ კოეფიციენტს, რომელიც არ ითვალისწინებს კონსტრუქციის სიმტკიცეზე გაანგარიშების გავლენის ფაქტორებს.

ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშების მეთოდი მრღვევი ძაღვების მეთოდისაგან განვითარდა. რღვევის სტადიის მიხედვით სიმტკიცეზე გაანგარიშებებისას ახალ მეთოდში მასალის პლასტიკური თვისებები გათვალისწინებულ იქნა. ერთიანი მარაგის კოეფიციენტი შეიცვალა საიმედოობისა და მუშაობის პირობების კოეფიციენტით, რომელიც ითვალისწინებს აგებისა და ექსპლუატაციის კონკრეტულ პირობებს და გარე დატვირთვების ხასიათს; შეიქმნა კონსტრუქციის საიმედოობის სწორად შეფასების და უფრო ეკონომიკური კონსტრუქციების დაპროექტების შესაძლებლობა. 1955 წლიდან დამკვიდრდა გაანგარიშების მეთოდი ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით.

### 5.1. გაანგარიშების მეთოდი ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშების ორი ჯგუფი

ზღვრული ეწოდება კონსტრუქციის ისეთ მდგომარეობას, რომლის დადგომისას მისი შემდგომი ექსპლუატაცია შეუძლებელია, რადგან დაკარგული აქვს ზიდვის უნარი.

რკინაბეტონის კონსტრუქციების ზღვრული მდგომარეობის მიხედვით გაანგარიშების მეთოდები ორ ჯგუფად იყოფა: I და II.

ზღვრული მდგომარეობის I ჯგუფს მიეკუთვნება ელემენტის რღვევა (ხისტი, ბლანტი, დადლილობისა ან სხვა ხასიათის); ფორმის მდგრადობა, მდებარეობის დაკარგვა, რეზონანსული რხევა ან მდგომარეობა, რომელთა დადგომისას აუცილებელია კონსტრუქციის ექსპლუატაციის შეწყვეტა.

ზღვრული მდგომარეობათა II ჯგუფს განეკუთვნება ელემენტის მდგომარეობა, რომელიც ართულებს კონსტრუქციის ნორმალურ ექსპლუატაციას ან ადაბლებს მათ ხანგამძლეობას დაუშვებელი სიდიდის გადაადგილებების (ჩაღუნვა, ჯდომა, ძვრა, მობრუნების კუთხე), რხევებისა და ბზარების განვითარების გამო.

ზღვრული მდგომარეობის დადგომა კონსტრუქციის ექსპლუატაციის პერიოდში და აგების(მონტაჟის) დროს დაუშვებელია.

რკინბეტონის კონსტრუქციები უნდა აკმაყოფილებდეს გაანგარიშების მოთხოვნებს ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით.

I ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშება გულისხმობს სიმტკიცეზე, მდგრადობასა (ფორმა; მდებარეობა) და გამძლეობაზე შემოწმებას (მრავალჯერ განმეორებადი, მოძრავი ან პულსაციური დატვირთვები) და უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას:

$$N \leq \Phi. \quad (5.1)$$

გაანგარიშება II ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გულისხმობს ელემენტის შემოწმებას ბზარმდებლობასა (ბზარების წარმოქმნის, გახსნის ან დახურვის) და დეფორმაციაზე (ჩაღუნვები; მობრუნების კუთხეები; გადახრის კუთხეები; რხევების მიხედვით). დაკმაყოფილებული უნდა იქნეს შემდეგი პირობები:

$$N \leq N_{crc}; \alpha_{crc} \leq [\alpha_{crc}]_{lim}; f \leq [f]_{lim}. \quad (5.2)$$

სადაც  $N$  არის საანგარიშო ძალვა;  $\Phi$  ზღვრული ძალა;  $N_{crc}$  ძალვა ბზარების წარმოქმნის წინ (როდესაც ბეტონში ძაბვები აღწევს სიმტკიცის ზღვარს გაჭიმვაზე);  $\alpha_{crc}$  ბზარის გახსნის სიდიდე ელემენტის მუშაობის გარკვეულ ეტაპზე;  $f$  — დეფორმაციის (ჩაღუნვის) სიდიდე;  $[\alpha_{crc}]$ ,  $[f]_{lim}$  — ბზარის სიდიდის და ჩაღუნვის ნორმით დასაშვები მნიშვნელობა.

ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშების ძირითადი მოთხოვნა იმაში მდგომარეობს, რომ გარე დატვირთვით და ზემოქმედებით გამოწვეული ძაღვები, დეფორმაციები, ბზარების გახსნა და სხვა საანგარიშო სიდიდეები არ უნდა აღემატებოდეს დაპროექტების ნორმებით დადგენილ ზღვრულ მნიშვნელობებს.

კონსტრუქციის გაანგარიშების ძირითადი ფაქტორებია: მოქმედი დატვირთვები, მასალების მექანიკური მახასიათებლები და მუშაობის პირობები.

ნაგებობის ნორმალური ექსპლუატაციის შესაბამის უდიდეს დატვირთვას, რომელიც ნორმებითაა დადგენილი, ნორმატიული ეწოდება. ნორმატიული მნიშვნელობიდან დატვირთვის არახელსაყრელი გადახრა (გადიდება ან შემცირება) გათვალისწინებულია საიმედოობის კოეფიციენტით ( $\gamma$ ), რომლის სიდიდე დადგენილია შენობის დანიშნულების და ექსპლუატაციის პირობების გათვალისწინებით.

საანგარიშო დატვირთვა არის ნორმატიული დატვირთვის ნამრავლი შესაბამის საიმედოობის კოეფიციენტზე:

$$F = \gamma_r F_n, \quad (5.3)$$

სადაც  $F$  საანგარიშო დატვირთვაა;  $F_n$  – ნორმატიული დატვირთვა;  $\gamma_r$  – საიმედოობის კოეფიციენტი დატვირთვის მიხედვით: დროებითი დატვირთვებისათვის  $\gamma_r > 1$ , მუდმივი დატვირთვებისათვის  $\gamma_r > 1$ .

დატვირთვები ზემოქმედების ხასიათის მიხედვით არის მუდმივი და დროებითი.

მუდმივ დატვირთვებში შედის შენობა-ნაგებობების უძრავი ნაწილების წონა, გრუნტის წონა, ქანების დაწოლა, წინასწარი დაძაბვის ზემოქმედება და სხვა.

დროებითი დატვირთვა შეიძლება იყოს ხანგრძლივი, ხანმოკლე და განსაკუთრებული.

ხანგრძლივად მოქმედი დროებითი დატვირთვებია: ნაგებობათა იმ ნაწილის წონა, რომელთა მდებარეობა ექსპლუატაციის პერიოდში იშვიათად იცვლება (მაგ., ტიხრები); სტაციონარული დანადგარების წონა; აირის ან სითხის დაწოლა საცაეებსა და მილსადენებზე და სხვა.

ხანმოკლედ მოქმედი დროებითი დატვირთვებია: თოვლის, ქარის, ადამიანების, მსუბუქი მოწყობილობების და სხვა.

განსაკუთრებული დატვირთვები: სეისმური და აფეთქების მოქმედება; ფუძის არათანაბარი დეფორმაცია, ავარიული.

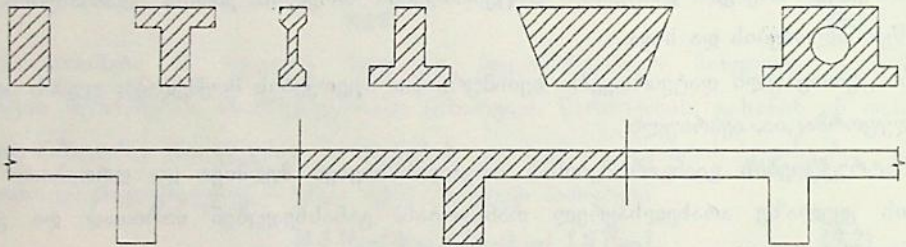
კონსტრუქციების გაანგარიშებისას ითვალისწინებენ მუდმივი და დროებითი დატვირთვების ყველაზე არახელსაყრელ თანწყობას. განასხვავებენ ძირითად და განსაკუთრებულ შეხამებებს. დატვირთვათა ძირითად თანწყობაში შედის მუდმივი, დროებითი ხანგრძლივი და დროებითი ხანმოკლე დატვირთვები, ხოლო განსაკუთრებულ თანწყობაში – მუდმივი, დროებითი ხანგრძლივი, დროებითი ხანმოკლე და ერთი განსაკუთრებული დატვირთვა.

რკინაბეტონის ელემენტების გაანგარიშება პირველი ჯგუფის ზღვრულ  
მდგომარეობათა მიხედვით

6.1. ღუნვადი ელემენტები. საერთო ცნობები

ღუნვად ელემენტებს მიეკუთვნება კოჭები და ფილები. კოჭები ღეროვანი ელემენტებია, რომელთა განივკვეთის ზომები მის სიგრძესთან შედარებით გაცილებით მცირეა; ფილა ბრტყელი ელემენტია, რომლის სისქე მის დანარჩენ ზომებთან შედარებით უმნიშვნელოა. მშენებლობაში ფილებისა და კოჭების რაოდენობა დაახლოებით 60% შეადგენს და ამდენად მათი შესწავლა ძალზე მნიშვნელოვანია.

ფილებისა და კოჭების განივკვეთის ფორმები მრავალგვარია: მართკუთხა, ტესები, ორტესები, კოლოფისები და სხვა (ნახ.6.1).



ნახ. 6.1.

კოჭები და ფილები გვხვდება ცალკეული (დამოუკიდებელი) ელემენტების ან რთული კონსტრუქციების შემადგენელი ნაწილების სახით (ნახ.6.2).

საანგარიშო სქემის მიხედვით და მალეების რაოდენობით გვხვდება ერთმალისანი, მრავალმალისანი, უჭრი, სახსროვანი, კონსოლური, ხისტად ჩამაგრებული, საყრდენებზე თავისუფლად მდებარე და სხვა (ნახ. 6.2).

გრძივი მუშა არმატურის განლაგების მიხედვით განასხვავებენ ცალფა და ორფაარმატურიან კვეთებს (ნახ.6.3).

თუ მუშა არმატურა  $A_s$  განლაგებულია მხოლოდ გაჭიმულ ზონაში ცალფაარმატურიანი კვეთით, თუ განლაგებულია როგორც გაჭიმულ, ისე შეკუმშულ ზონაში - ორფაარმატურიანი კვეთით.

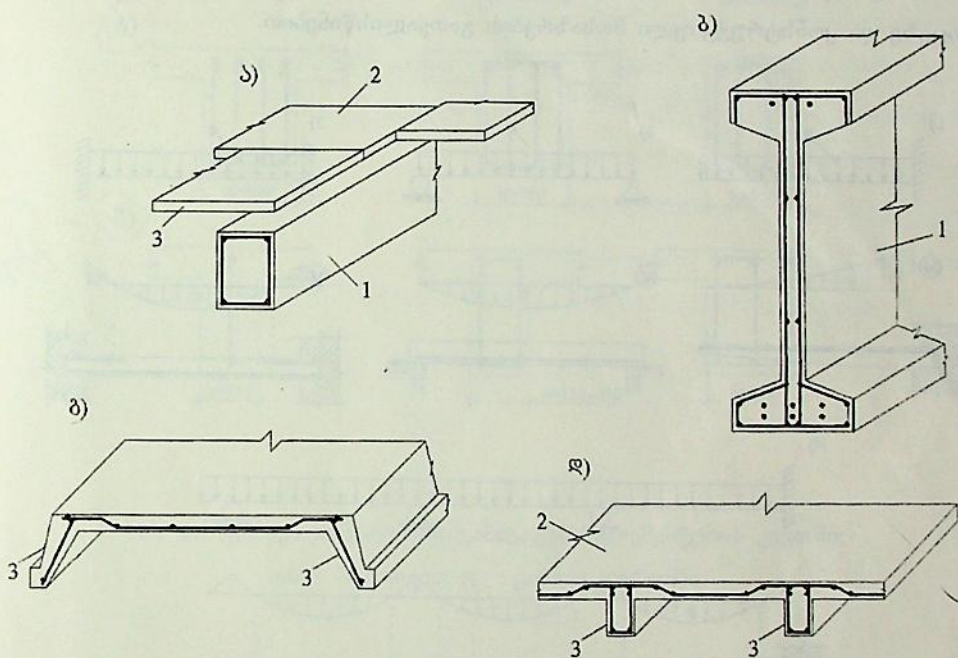
კოჭების განივკვეთის ზომები დამოკიდებულია მის მალზე (სიგრძეზე), სიმტკიცის, სიხისტისა და კონსტრუირების მოთხოვნებზე. კოჭების ზომები 5 სმ-ის ჯერადი უნდა

იყოს. მათი დაარმატურება წარმოებს გაანგარიშების საფუძველზე გრძივი მუშა, განივი, სამონტაჟო და აღუნული (დახრილი) არმატურით.

ფილების დაარმატურება გაანგარიშების საფუძველზე მიმდინარეობს გრძივი მუშა და მანაწილებელი ღეროებით.

კოჭებისა და ფილების კონსტრუირებისათვის გამოიყენება ბრტყელი, სივრცითი შენადული კარკასები და ბადეები, ასევე ცალკეული ღეროები.

ეს უკანასკნელი მონოლითური კონსტრუქციების დამზადებისას გამოიყენება.



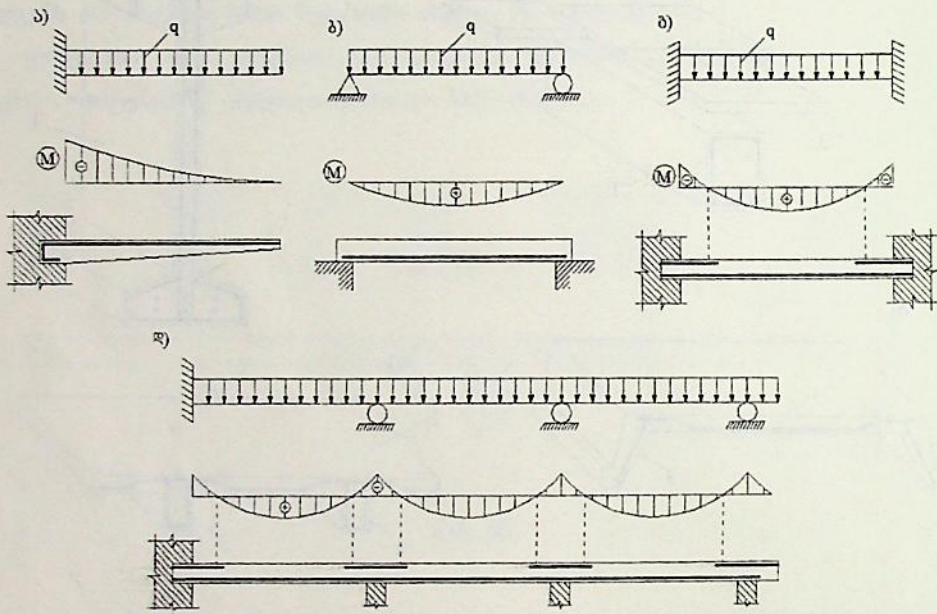
ნახ. 6. 2. რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტების სახეობები: ა) - ასაწყობი გადახურვის ელემენტები; ბ - ცალკეული კოჭები; გ - წიბოვანი პანელი; დ - მონოლითური წიბოვანი გადახურვა

კოჭებში გრძივი არმატურის დიამეტრი  $12 \div 32$  მმ აიღება, პერიოდული პროფილი A-II და A-III კლასის, განივი არმატურა (საკიდები) A-I; B-I; A-II; A-III კლასის, დიამეტრი იცვლება  $3 \div 16$  მმ-მდე იცვლება.

გრძივი მუშა არმატურა სასურველია განლაგდეს კვეთის კიდესთან ახლოს. საჭიროა დაცულ იქნეს დამცველი შრის სისქე, რომელიც კონსტრუქციის სახეობის მიხედვით მოცემულია ნორმებში. კოჭებში დამცველი შრის სისქე  $\alpha = (25 \div 30)$  მმ-მდეა. განივი ღეროების (საკიდების) რაოდენობა კვეთში დამოკიდებულია კვეთის სიგანეზე.

აღუნული (დახრილი) არმატურა გამოიყენება მაშინ, როდესაც კონსტრუირების დროს გრძივი მუშა არმატურა გაჭიმული ზონიდან საჭიროა გადავიტანოთ შეკუმშულ ზონაში. მისი დახრის კუთხე ფილებში  $30^\circ$  აიღება, ხოლო კოჭებში  $-45^\circ$ , მაღალ კოჭებში -  $60^\circ$ . დახრილი არმატურა ბოლოვდება სწორი მონაკვეთით, რომლის სიგრძე შეკუმშულ ზონაში მიიღება არანაკლები  $10d$ , ხოლო გაჭიმულ ზონაში -  $20d$  ( $d$  დეროს დიამეტრია).

განივი და დახრილი არმატურის განლაგება ელემენტის გასწვრივ, მათი რაოდენობა და კვეთი დამოკიდებულია განივ ძალებზე. განივი არმატურის დიამეტრი, ბიჯი და ტოტები კოჭის კვეთში შეირჩევა დახრილი კვეთების გაანგარიშებით სიმტკიცეზე და კონსტრუქციული მოსაზრების გათვალისწინებით.

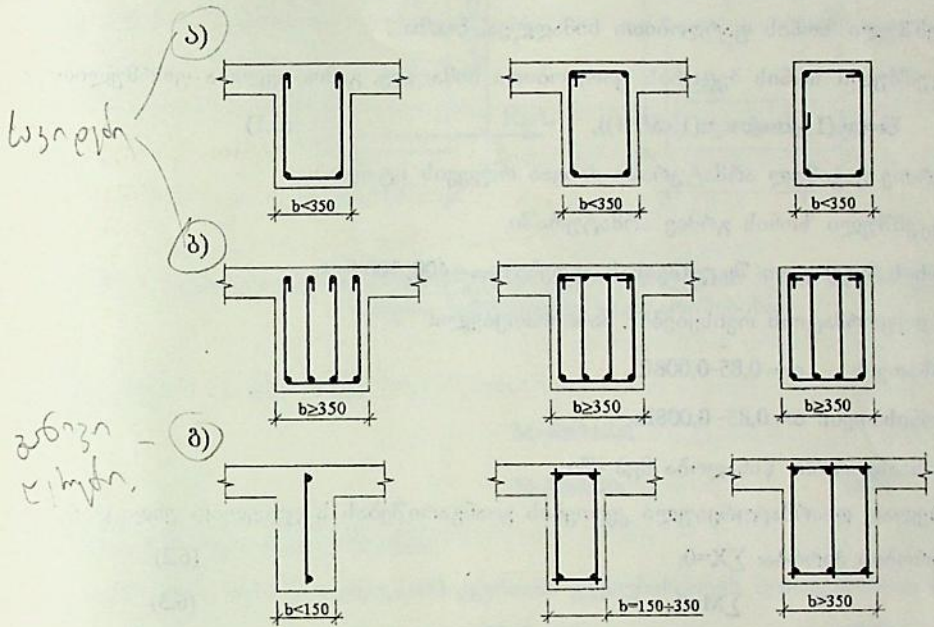


ნახ. 6.3. გრძივი მუშა არმატურის განლაგების სქემები ღუნვადი ელემენტების გაჭიმულ ზონაში

განივი არმატურა (საკიდები, განივი დეროები) ინიშნება  $6... 12$  მმ დიამეტრით (ნახ. 6.4).

სამონტაჟოდ გამოიყენება A-I კლასის არმატურა  $10 \times 18$  მმ დიამეტრით. ფილების სისქე მონოლითურ ელემენტებში  $50 \pm 100$  მმ აიღება, ასაწყობში - კი შედარებით ნაკლები. ფილის კონსტრუირება ხდება შენადული ბადეებით და ცალკეული დეროებით. ბადეებში მუშა არმატურა მუშა ძალის გასწვრივ განლაგდება.

ფილებში არმატურის დიამეტრი  $3 \pm 10$  მმ-ია. გამოიყენება B- I,B-II, A-I,A-II; A-III კლასის არმატურა. დამცველი შრის სისქე თხელ ფილებში - 10მმ; სქელ ფილებში: ( $h > 100$ მმ) - 15მმ.



ნახ. 6.4. განივი არმატურის განლაგება ელემენტების კვეთში:  
 ა,ბ - საკიდები; გ - განივი ღეროები

6.2. ღუნვადი ელემენტების ნორმალური კვეთის სიმტკიცეზე გაანგარიშება

6.2.1. ცალფაარმატურიანი კვეთის სიმტკიცეზე გაანგარიშება

ღუნვადი ელემენტი დატვირთვების ზეგავლენით ირღვევა ყველაზე დაძაბულ ნორმალურ ან დახრილ კვეთზე, შესაბამისად, ნორმალური ან დახრილი ბზარების გახსნისას. ამდენად, სიმტკიცეზე გაანგარიშება ორივე მიმართულებითაა აუცილებელი.

ნორმალური კვეთის სიმტკიცეზე გაანგარიშება დამოკიდებულია მუშა არმატურის მექანიკურ თვისებებზე, რაოდენობაზე, გაჭიმული და შეკუმშული ზონების დაძაბვის ხარისხზე.

ნორმალურ კვეთში ღუნვადი ელემენტების რღვევა შეიძლება მოხდეს გაჭიმული არმატურიდან და შეკუმშული ზონის ბეტონიდან. პირველ შემთხვევაში ძაბვა გაჭიმულ არმატურაში აღწევს ზღვრულ მნიშვნელობას, მეორე შემთხვევაში რღვევა იწყება

შეკუმშული ზონიდან. ამასთან, გაჭიმულ არმატურაში ძაბვას ზღვრული მნიშვნელობისათვის ჯერ არ მიუღწევია.

პირველ შემთხვევაში ადგილი აქვს პირობას:  $\xi < \xi_R$ ;

მეორე შემთხვევაში:  $\xi > \xi_R$ ,

სადაც  $\xi$  შეკუმშული ზონის ფარდობითი სიმაღლეა,  $\xi = x/h_0$ ,

$\xi_R$  - შეკუმშული ზონის ბეტონის ფარდობითი სიმაღლე, გამოითვლება ფორმულით

$$\xi_R = \omega / (1 + \sigma_{sr} / \sigma_{sc.u} (1 - \omega / 1.1)), \quad (6.1)$$

სადაც  $\sigma_{sr}$  გრძივ გაჭიმულ არმატურაში ძაბვაა რღვევის სტადიაზე;

$\sigma_{sc.u}$  - ძაბვა შეკუმშული ზონის გრძივ არმატურაში.

- ბეტონის ზღვრული შეკუმშვისას აიღება  $\sigma_{sc.u} = 400; 500$  მგპ;

$\omega$  ბეტონის დეფორმაციის თვისებების მახასიათებელი:

მიიმე ბეტონისათვის  $\omega = 0,85 - 0,008R_b$ ,

მსუბუქი ბეტონისათვის  $\omega = 0,85 - 0,008R_b$ ,

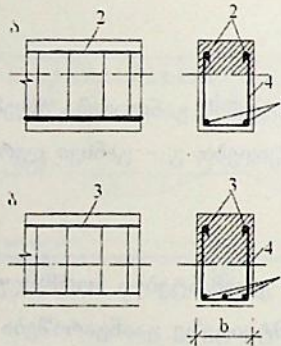
$R_b$  - ბეტონის საანგარიშო წინაღობა მგპ -ში.

ხელსაყრელად დაარმატურებული კვეთების გაანგარიშებას საფუძვლად უნდა დაედოს წონასწორობის პირობა:  $\sum X = 0$ ;

$$(6.2)$$

$$\sum M = 0.$$

$$(6.3)$$



ნახ. 6.5. ღუნვადი ელემენტების ცალფა და ორფაარმატურიანი კვეთები:

1 - გრძივი მუშა არმატურა; 2 - სამონტაუო; 3 - შეკუმშული

ზონის გრძივი მუშა არმატურა; 4 - განივი არმატურა

6.6 ნახ-ზე გამოსახული სქემისა და წონასწორობის პირველი პირობა ჩაიწერება შემდეგნაირად:

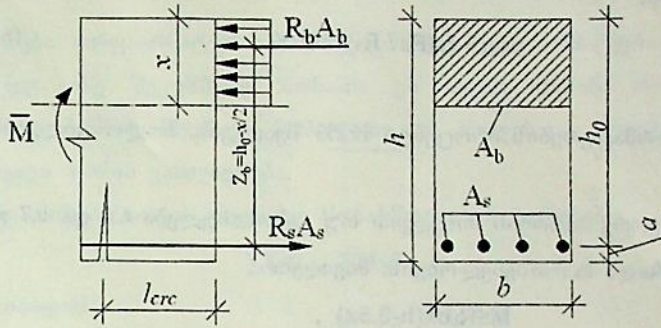
$$R_b A_b - R_s A_s = 0, \quad (6.4)$$

სადაც  $A_b$  შეკუმშული ბეტონის კვეთის ფართობია;  $A_s$  - გრძივი მუშა არმატურის

განიკვეთის ფართობი;  $R_b$  - ბეტონის საანგარიშო წინაღობა დერძულ კუმშვაზე;

$R_s$  - არმატურის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე;  $R_b A_b$  - შიგა მკუმშავი ძალა;

$R_s A_s$  - შიგა გამჭიმვი ძალა.



ნახ. 6.6. ცალფაარმატურიანი მართკუთხა კვეთის ძაღვების სქემა და ძაბვების ეპიურა სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას

მეორე პირობას აქვს სახე:

$$M = R_b A_b Z_b;$$

$$M = R_s A_s Z_b. \quad (6.5)$$

სადაც  $Z_b$  შიგა ძაღვა მხარია.

სიმტკიცის პირობა ცალფაარმატურიანი კვეთებისათვის შემდგენიარად ჩაიწერება:

$$M \leq R_b A_b Z_b. \quad (6.6)$$

$$M \leq R_s A_s Z_b. \quad (6.7)$$

მართკუთხა კვეთის მქონე ელემენტებისათვის შეკუმშული ბეტონის ფართობი

$A_b = X \cdot b$ ;  $Z_b = (h_0 - 0,5x)$ ; ჩავსვათ (6.4) გამოსახულებაში

$$R_b x - R_s c x - R_s A_s = 0,$$

$$R_b x = R_s A_s. \quad (6.8)$$

6.8 გამოსახულებიდან შეკუმშული ბეტონის სიმაღლე

$$x = R_s A_s / R_b \cdot b. \quad (6.9)$$

(6.9) გამოსახულების ორივე მხარე გავეყოთ  $h_0$ -ზე – მუშა სიმაღლეზე, რომელიც

$h_0 = h - a$  სიდიდეა

$$x/h_0 = R_s A_s / R_b b h_0, \quad (6.10)$$

$$\xi = x/h_0 = R_s A_s / R_b b h_0. \quad (6.11)$$

ავღნიშნოთ  $A_s/bh_0 = \mu$ ,

$$\xi = x/h_0 = (R_s/R_b) \cdot \mu, \quad (6.12)$$

სადაც  $\mu$  არმატურის შემცველობაა მუშა კვეთში, რომელსაც დაარმატურების კოეფიციენტი ეწოდება, ნაკლებია ერთზე და შეიძლება გამოითვალოს პროცენტებით. მას დაარმატურების პროცენტი ეწოდება

$$\mu\% = (A_s/bh_0) 100\%. \quad (6.13)$$

თუ გაანგარიშებისას ცნობილია  $\xi$ , შეიძლება განვსაზღვროთ მაქსიმალური დაარმატურების პროცენტი

$$\mu_{\max} = \xi_R(R_s / R_b) \cdot 100\%. \quad (6.14)$$

კოჭებისათვის დაარმატურების პროცენტი  $1 \pm 2\%$  შეადგენს, ხოლო ფილებისათვის —  $-0,3 \pm 0,5\%$ .

სიმტკიცის მეორე პირობის მიხედვით თუ გამოსახულება 6.6 და 6.7 გამოსახულებებში ჩავსვამთ  $A_s$  და  $z_b$  მნიშვნელობებს, მივიღებთ:

$$M \leq R_b b x (h_0 - 0,5x), \quad (6.15)$$

$$M \leq R_s A_s (h_0 - 0,5x). \quad (6.16)$$

მიღებული ფორმულების გარდაქმნის შემდეგ გამოვიტანოთ ფრჩხილებიდან  $h_0$  და მარჯვენა მხარე გავამრავლოთ და გავყოთ  $h_0$ -ზე

$$M = R_b b x \cdot h_0 (1 - 0,5x/h_0) = R_b (x/h_0) h_0^2 (1 - 0,5\xi) = R_b b h_0^2 (1 - 0,5\xi) \cdot \xi.$$

აღვნიშნოთ  $\xi(1 - 0,5\xi) = A_0$ , მივიღებთ

$$M = R_b b h_0^2 A_0. \quad (6.17)$$

$A_0$  უგანზომილებო კოეფიციენტია, რომელიც გამოითვლება ფორმულით:

$$A_0 = M / R_b b h_0^2. \quad (6.18)$$

გაჭიმული არმატურის ფართობის გამოსათვლელად განვიხილოთ 6.7 გამოსახულება

$$M = R_s A_s (h_0 - 0,5x) = R_s A_s h_0 (1 - 0,5\xi). \quad (6.19)$$

აღვნიშნოთ  $(1 - 0,5\xi) = \eta$  და ჩავსვათ 6.6-ში, მივიღებთ,

$$M = R_s A_s h_0 \eta, \quad (6.20)$$

საიდანაც გამოითვლება გაჭიმული არმატურის კვეთის ფართობი

$$A_s = M / R_s h_0 \eta. \quad (6.21)$$

$A_0$ ,  $\eta$  და  $\xi$  მნიშვნელობებით გაანგარიშებების გამარტივების მიზნით შედგენილია ცხრილები.

დუნვადი ელემენტების გაანგარიშება სიმტკიცის პირობის მიხედვით გულისხმობს ელემენტის კვეთის ზომების შემოწმებას, გრძივი მუშა არმატურის ფართობის დადგენას და სიმტკიცის პირობის შემოწმებას.

კვეთის სიმაღლის შემოწმება ხდება 6.4 გამოსახულების მიხედვით

$$h_0 = \sqrt{M / R_b A_0}$$

$A_0$  აიღება ცხრილებიდან  $\xi = \mu R_s / R_b$  მიხედვით, ელემენტის მთლიანი სიმაღლე  $h = h_0 + a$ .

$a$  დამკვეთი შრის სიმაღლე აიღება სამშენებლო ნორმების და წესების და კონსტრუქციის სახეობის მიხედვით.

## 6.2.2. ორფაარმატურიანი კვეთის სიმტკიცეზე გაანგარიშება

კვეთს ეწოდება ორფაარმატურიანი, თუ გრძივი მუშა არმატურა განლაგებული, როგორც გაჭიმულ, ისე შეკუმშულ ზონაში. ეს ხდება მაშინ, როდესაც კვეთზე მოქმედებს ცვლადი ნიშნის მღუნავი მომენტები ან როდესაც კვეთის შეუცვლელად საჭიროა შეკუმშული ზონის გაძლიერება.

სიმტკიცეზე გაანგარიშებისათვის ვიყენებთ წონასწორობის პირობებს:

$$\sum X=0; \quad \sum M=0.$$

პირველი პირობიდან:

$$R_s A_s - R_{sc} A_s' - R_b A_b = 0, \quad (6.22)$$

$$R_s A_s - R_{sc} A_s' = R_b A_b. \quad (6.23)$$

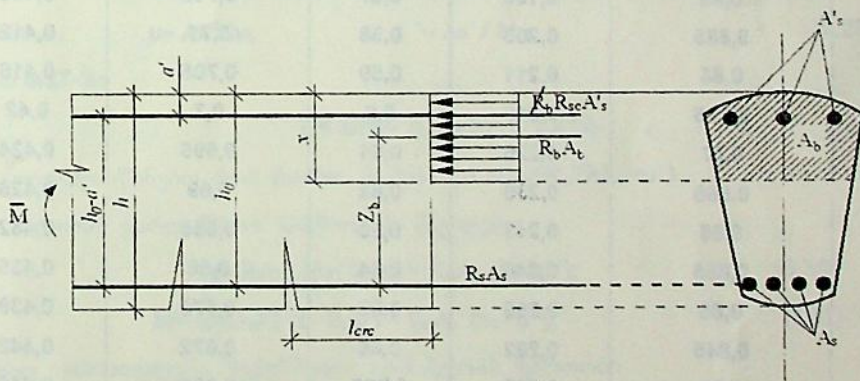
სადაც  $A_s$  შეკუმშული ზონის არმატურის ფართობია;  $R_{sc} A_s'$  ძაბვა შეკუმშულ არმატურაში.

6.23 -დან განისაზღვრება შეკუმშული ბეტონის  $x$  სიმაღლე. მეორე პირობით:

$$M = R_b A_b z_b + R_{sc} A_s' (h_0 - \alpha'), \quad (6.24)$$

$$M = R_s A_s z_b - R_{sc} A_s' (0,5x - \alpha'). \quad (6.25)$$

თუ 6.24 და 6.25 გადავწეროთ უტოლობის სახით, მივიღებთ სიმტკიცის პირობებს ორფაარმატურიან კვეთისათვის:



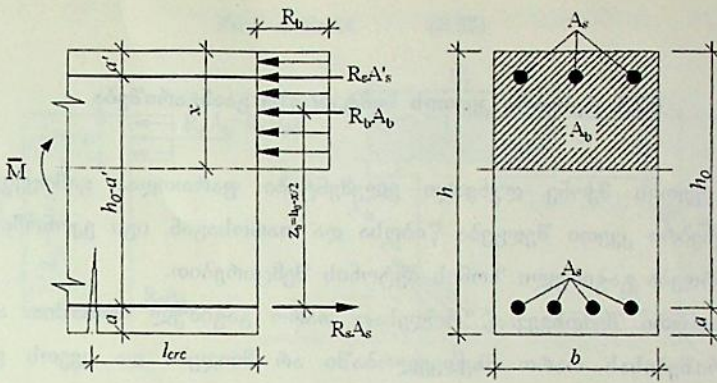
ნახ.6.7. ნებისმიერი სიმეტრიული პროფილის ღუნავი ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური ორფაარმატურიანი კვეთის ძაღვების სქემა და ძაღვების ეპიურა სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას

ცხრილი 6.1

ცალფაარმატურიანი მართკუთხა კვეთის ღუნავი ელემენტების სიმტკიცეზე

საანგარიშო კოეფიციენტების ცხრილი

$\xi = x / h_0$	$\eta = z / h_0 = 1 - 0,5 \xi$	$A_0 = \xi(1 - 0,5\xi)$	$\xi = x / h_0$	$\eta = z / h_0 = 1 - 0,5 \xi$	$A_0 = \xi(1 - 0,5\xi)$
0,01	0,995	0,01			
0,02	0,99	0,02	0,37	0,815	0,301
0,03	0,985	0,03	0,38	0,81	0,309
0,04	0,98	0,039	0,39	0,805	0,314
0,05	0,975	0,048	0,4	0,8	0,32
0,06	0,97	0,058	0,41	0,795	0,326
0,07	0,965	0,067	0,42	0,79	0,332
0,08	0,96	0,077	0,43	0,785	0,337
0,09	0,955	0,085	0,44	0,78	0,343
0,1	0,95	0,095	0,45	0,775	0,349
0,11	0,945	0,104	0,46	0,77	0,354
0,12	0,94	0,113	0,47	0,765	0,359
0,13	0,935	0,121	0,48	0,76	0,365
0,14	0,93	0,13	0,49	0,755	0,37
0,15	0,925	0,139	0,5	0,75	0,375
0,16	0,92	0,147	0,51	0,745	0,38
0,17	0,915	0,155	0,52	0,74	0,385
0,18	0,91	0,164	0,53	0,735	0,39
0,19	0,905	0,172	0,54	0,73	0,394
0,2	0,9	0,18	0,55	0,725	0,399
0,21	0,895	0,185	0,56	0,72	0,403
0,22	0,89	0,196	0,57	0,715	0,406
0,23	0,885	0,203	0,58	0,71	0,412
0,24	0,88	0,211	0,59	0,705	0,416
0,25	0,875	0,219	0,6	0,7	0,42
0,26	0,87	0,226	0,61	0,695	0,424
0,27	0,965	0,236	0,62	0,69	0,428
0,28	0,86	0,241	0,63	0,685	0,432
0,29	0,855	0,248	0,64	0,68	0,435
0,3	0,85	0,255	0,65	0,675	0,439
0,31	0,845	0,262	0,66	0,672	0,442
0,32	0,84	0,269	0,675	0,665	0,446
0,33	0,8,35	0,275	0,68	0,66	0,449
0,34	0,832	0,282	0,69	0,655	0,452
0,35	0,825	0,289	0,7	0,65	0,455
0,36	0,82	0,295			



ნახ. 6.8. ორფარმატურიანი მართკუთხა კვეთის დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა

თუ განვიხილავთ მართკუთხა კვეთის ელემენტს, საანგარიშო ფორმულები მიიღებს 6.6 ნახაზზე მოცემულ სახეს:

$$R_s A_s - R_{sc} A_s' = R_b b \cdot X, \quad (6.25)$$

საიდანაც

$$X = (R_s A_s - R_{sc} A_s') / R_b \cdot b. \quad (6.26)$$

(6.26) გამოსახულების ორივე მხარე გავყოთ  $h_0$ -ზე

$$\xi = x/h_0 = R_s A_s / R_b b h_0 - R_{sc} A_s' / R_b b h_0. \quad (6.27)$$

აღვნიშნოთ

$$\mu = A_s / b h_0; \quad \mu' = A_s' / b h_0. \quad (6.28)$$

ჩავსვათ 6.27-ში

$$\xi = x/h_0 = \mu' R_s / R_b - \mu' R_{sc} / R_b$$

თუ ჭავითვალისწინებთ რომ  $R_s = R_{sc}$ , მაშინ  $\xi = x/h_0 = R_s / R_b (\mu + \mu')$ . (6.29)

მეორე პირობის გარდაქმნით 6.26—დან მივიღებთ

$$M = R_b b x (h_0 - 0,5x) + R_{sc} A_s' (h_0 - \alpha'); \quad (6.30)$$

$$M = R_b b h_0^2 \xi (1 - 0,5\xi) + R_{sc} A_s' (h_0 - \alpha'), \quad (6.31)$$

საიდანაც გამოითვლება შეკუმშული არმატურის ფართობი

$$A_s' = (M - R_b b h_0^2 \xi) / R_{sc} (h_0 - \alpha'). \quad (6.32)$$

გაჭიმული არმატურის კვეთის ფართობი გამოითვლება 6.22-ის მიხედვით

$$A_s = R_b A_b / R_s + R_{sc} A_s' / R_s. \quad (6.33)$$

(6.30) ჩავსვათ  $A_b = x \cdot b$  და  $x = \xi h_0$ .

$\xi$ -ის მნიშვნელობა აიღება ცხრილებიდან  $A_0$  საშუალებით

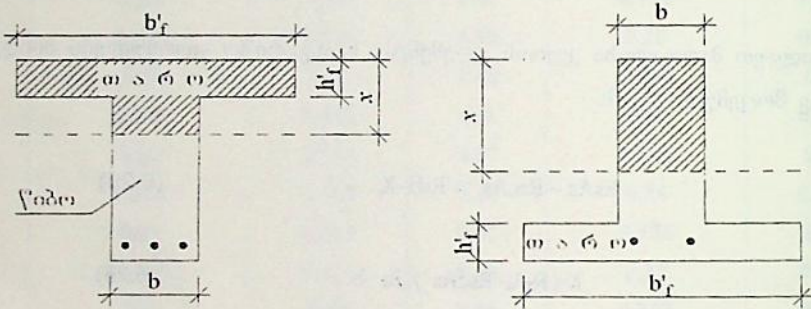
$$A_0 = [(M - R_{sc} A_s' (h_0 - \alpha')) / R_b b h_0^2]. \quad (6.33)$$

ორფარმატურიანი კვეთების სიმტკიცეზე გაანგარიშების დროს გვხვდება ორი ამოცანა - გრძივი მუშა არმატურის კვეთის შერჩევა და სიმტკიცეზე შემოწმება.

### 6.2.3. ტესებრი კვეთის სიმტკიცეზე გაანგარიშება

ტესებრი კვეთის მქონე ღუნვადი ელემენტები ფართოდაა გამოყენებული მშენებლობაში. ტესებრი კვეთი შედგება წიბოსა და თაროსაგან. იგი ეკონომიურია. ბეტონის ხარჯი მცირდება გაჭიმული ზონის ბეტონის შემცირებით.

გვხვდება ისეთი შემთხვევაც, როდესაც თარო გაჭიმულ ზონაშია. ასეთ შემთხვევაში გაანგარიშებისას თარო მხედველობაში არ მიიღება და კვეთს გამოთვლიან, როგორც სწორკუთხა  $b - h$  კვეთის მქონეს. ტესებრი კვეთში თაროს არსებობას, შეკუმშულ ზონაში სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას, დიდი მნიშვნელობა ენიჭება (ნახ.6.9).



ნახ.6.9. ტესებრი კვეთები შეკუმშული და გაჭიმული თაროებით

გაანგარიშებისას განიხილავენ ორ შემთხვევას:

I. როდესაც ნეიტრალური ღერძი გადის კვეთის თაროზე და II. კვეთის წიბოზე (მოიცავს თაროსა და წიბოს ნაწილს).

I. ტესებრი კვეთის გაანგარიშების პირველი შემთხვევა. განვიხილოთ შემთხვევა, როდესაც ნეიტრალური ღერძი წიბოს თაროზე გადის. ცალფარმატურიანი კვეთის სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას დაცული უნდა იქნეს პირობა (ნახ.6.10):

$$R_s A_s \leq R_b b' h' r'$$

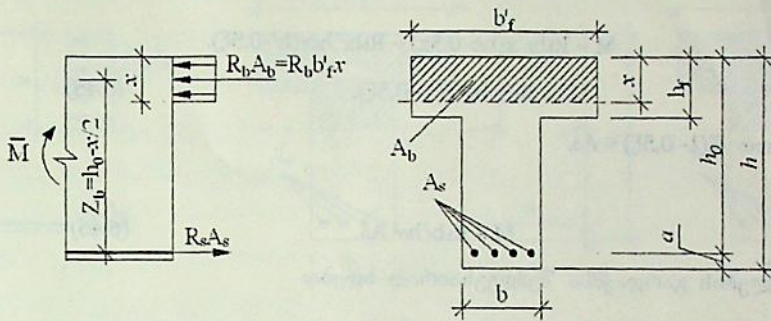
ე.ი. შეკუმშული ზონის სიმაღლე  $x \leq h' r'$ . შეკუმშული ბეტონის ფართობი ტოლი ან ნაკლებია თაროს ფართობზე.

წონასწორობის პირველი პირობის თანახმად  $\sum X=0$ , მივიღებთ:

$$R_b A_b - R_s A_s = 0. \quad (6.34)$$

მიღებულ გამოსახულებაში ჩავსვათ შეკუმშული ბეტონის ფართობი  $A_b = b' r' x$ , მივიღებთ:

$$R_b b r' \cdot x = R_s A_s \quad (6.35)$$



ნახ. 6.10. ტესტური პროფილის ღუნვადი ელემენტის გრძივი დერძისადმი ნორმალური ცალფარმატურიანი კეეთის ძაღვების სკემა და ძაღვების ეპიურა სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას, როდესაც ნეიტრალური ხაზი თაროზე გადის

საიდანაც

$$x = R_s A_s / R_b b r' \quad (6.36)$$

(6.36) გამოსახულების ორივე მხარე გავყოთ  $h_0$ -ზე

$$X / h_0 = R_s / R_b b r' \cdot h_0 \quad (6.37)$$

$$\xi = x / h_0 = R_s A_s / R_b b r' h_0 \quad (6.38)$$

სადაც  $\mu r = A_s / b r' h_0$

$$\xi = \mu r R_s / R_b \quad (6.39)$$

წონასწორობის მეორე პირობის მიხედვით  $\sum M = 0$ , მივიღებთ:

$$M \leq R_b A_b z_b$$

$$M \leq R_s A_s z_s \quad (6.40)$$

$z_b$  და  $A_b$  შევიტანოთ (6.39)-ში, მივიღებთ:

$$M \leq R_b b r' x (h_0 - 0,5x) \quad (6.41)$$

$$M \leq R_s A_s (h_0 - 0,5x) \quad (6.42)$$

(6.42) გამოსახულებიდან გამოითვლება არმატურის საჭირო ფართობი

$$A_s = M / R_s (h_0 - 0,5x) \quad (6.43)$$

სადაც თაროს სიმაღლესა და შეკუმშული ზონის სიმაღლეს შორის განსხვავება მცირეა, ამიტომ დავუშვათ, რომ  $h r' = x$ , მაშინ გრძივი მუშა არმატურის ფართობი

$$A_s = M / R_s (1 - 0,5h r') \quad (6.44)$$

საანგარიშო ფორმულების მისაღებად მოვახდინოთ (6.41) გამოსახულების გარდაქმნა:

$$M = R_{br} \cdot x(h_0 - 0,5x) = R_{br} \cdot h_0 x(h' - 0,5\xi),$$

$$M^* = R_{br} h_0^2 \xi(1 - 0,5\xi). \quad (6.45)$$

აღვნიშნოთ  $\xi(1 - 0,5\xi) = A_0$ ,

მივიღებთ

$$M = R_{br} h_0^2 A_0. \quad (6.46)$$

მეორე განტოლების გარდაქმნა შემდეგნაირად ხდება:

$$M = R_s A_s (h_0 - 0,5x) = R_s A_s h_0 (1 - 0,5\xi).$$

აღვნიშნოთ  $(1 - 0,5\xi) = \eta$ , მივიღებთ  $M = R_s A_s h_0 \eta$ . (6.47)

ამ გამოსახულებიდან გამოიანგარიშება გრძივი გაჭიმული არმატურის კვეთის ფართობი

$$A_s = M / R_s h_0 \eta. \quad (6.48)$$

ცხრილების გამოყენებით ტესტური კვეთის გაანგარიშების პირველი შემთხვევა მართკუთხა კვეთის ანალოგიურია.

გამოითვლება მინიმალური გრძივი გაჭიმული არმატურის ფართობი, თუ გვეცოდინება დაარმატურების პროცენტი

$$A_s = \beta_{br} \cdot h_0. \quad (6.49)$$

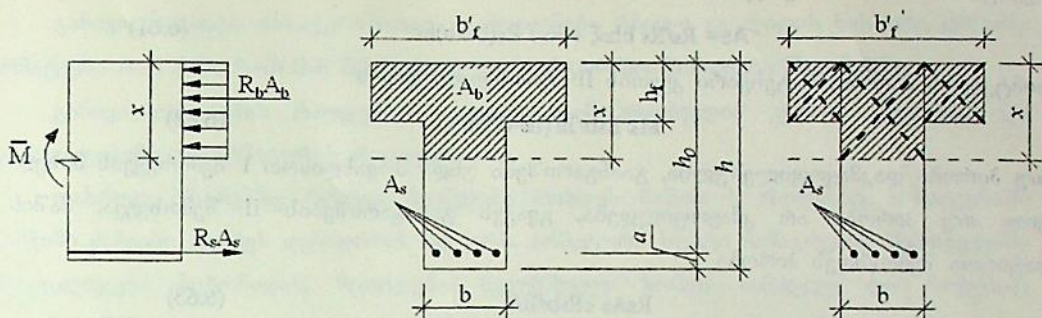
სიმტკიცის პირობები კი ასე ჩაიწერება:

$$M \leq R_{br} \cdot h_0^2 A_0, \quad (6.50)$$

$$M \leq R_s A_s \eta h_0. \quad (6.51)$$

## 6.2.5. ტესტური კვეთის გაანგარიშების II შემთხვევა

მეორე შემთხვევის დროს ნეიტრალური ღერძი გადის წიბოში, ე.ი. შეკუმშულია თარო და წიბოს ნაწილი (ნახ. 6.11).



ნახ. 6.11. ტესტური პროფილის ღუნვადი ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური ცალფარამატურიანი კეეთის ძაღვების სქემა და ძაღვების ეპიურა სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას, როდესაც ნულოვანი ხაზი წიბოს ჰკევოს

შეკუმშული ბეტონის ფართობი

$$A_b = b \cdot x + (b'f - b) \cdot h_f \quad (6.52)$$

წონასწორობის პირველი პირობის მიხედვით  $\sum x = 0$ ,

$R_b A_b - R_s A_s = 0$ . ჩავსვათ  $A_b$ -ს მნიშვნელობა

$$R_b b x + R_b (b'f - b) h_f = R_s A_s \quad (6.53)$$

საიდანაც შეკუმშული ზონის სიმაღლე

$$x = R_s A_s / R_b b - R_b (b'f - b) h_f / R_b b \quad (6.54)$$

წონასწორობის მეორე პირობა  $\sum M = 0$  ასე ჩაიწერება:

$$M = R_b A_b z_b \quad (6.55)$$

$$M = R_s A_s z_b \quad (6.56)$$

მოვახდინოთ გარდაქმნები. ჩავსვათ  $A_b$  და  $z_b$ -ს მნიშვნელობები

$$M = R_b b x (h_0 - 0,5x) + R_b (b'f - b) h_f (h_0 - 0,5h_f) \quad (6.57)$$

$$M = R_b b h_0^2 \xi (1 - 0,5\xi) + R_b (b'f - b) h_f (h_0 - 0,5h_f);$$

$$M = R_b b h_0^2 A_0 + R_b (b'f - b) h_f (h_0 - 0,5h_f) \quad (6.58)$$

საიდანაც

$$A_0 = [M - R_b (b'f - b) h_f (h_0 - 0,5h_f)] / R_b b h_0^2 \quad (6.59)$$

გრძივი მუშა არმატურის საჭირო ფართობი გამოითვლება (6.44) მიხედვით

$$A_s = R_b A_b / R_s = R_b [b \cdot x + (b'f - b) h_f] / R_s \quad (6.60)$$

შევიტანოთ  $X=\xi h_0$ , მივიღებთ:

$$A_s = R_b / R_s \cdot b h_0 \xi + R_b / R_s (b r' - b) h r' \quad (6.61)$$

სიმტკიცის პირობები ტესტური კვეთის II შემთხვევის დროს

$$M \leq R_b b r' h r' (h_0 - 0,5 h r') \quad (6.62)$$

თუ პირობა დაკმაყოფილებულია, გაანგარიშება უნდა მოვახდინოთ I შემთხვევის მიხედვით; თუ პირობა არ დაკმაყოფილებია, გვაქვს გაანგარიშების II შემთხვევა, მაშინ საჭიროა შემოწმდეს პირობა

$$R_s A_s \leq R_b b r' h r' \quad (6.63)$$

თუ პირობა დაცულია, ნეიტრალური ღერძი გადის თაროს კიდეზე, ე.ი. I შემთხვევაა და თუ პირობა არ დაკმაყოფილდა, ნეიტრალური ღერძი გადის წიბოზე და გვაქვს II შემთხვევა.

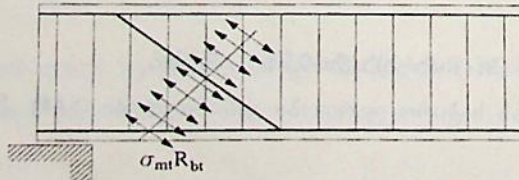
ტესტური კვეთის გაანგარიშებისას განიხილება ორი ამოცანა: გრძივი მუშა არმატურის ფართობის შერჩევა და სიმტკიცის შემოწმება.

### 6.3. ღუნვადი ელემენტის გრძივი ღერძისადმი დახრილი კვეთის სიმტკიცეზე გაანგარიშება

#### 6.3.1. ზოგადი ცნობები

როგორც ცნობილია, ღუნვად ელემენტში დატვირთვის ზემოქმედებით აღიძვრება მღუნავი მომენტი და განივი ძალა. მათი ერთობლივი გავლენით წარმოიქმნება მთავარი  $\sigma_{mz}$  ძაბვები დახრილ კვეთში. როდესაც  $\sigma_{mz} > R_{bt}$  ჩნდება დახრილი ბზარი, რომელიც ელემენტს ორ ნაწილად კვეთს. დახრილი კვეთის სიმტკიცის უზრუნველსაყოფად გრძივი მუშა არმატურის გარდა გამოყენებული უნდა იქნეს განივი (საკიდები) და დახრილი არმატურა (ნახ.6.12).

ელემენტის გრძივი ღერძისადმი დახრილ არმატურას აღუნულ ღეროებს უწოდებენ, რომელიც ჩვეულებრივ კვეთში გრძივი ღერძის მიმართ  $45^\circ$  კუთხით ეწყობა. მნიშვნელოვანი სიმაღლის კოჭებისათვის აღუნვა ხდება არა უმეტეს  $60^\circ$ -ისა.

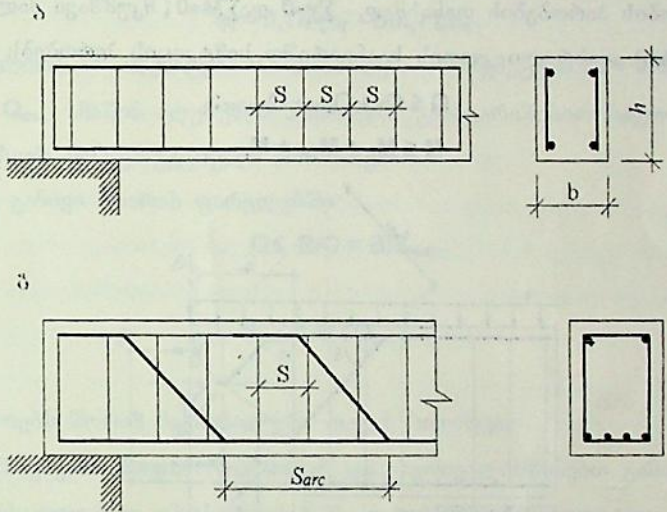


ნახ. 6.12. დახრილი ბზარის განვითარების სავარაუდო კვეთი

განივი (საკიდი) არმატურისათვის გამოიყენება რბილი ფოლადის ნახშირბადმცირე არმატურა A-I; A-II; A-III; B-I; Bp-I, რომლის საანგარიშო წინაღობა  $R_{sw}=0,8R_s$ .

განივი ღეროების რაოდენობა კვეთში დამოკიდებულია კვეთის სიგანესა და გრძივი გაჭიმული არმატურის რაოდენობაზე.

დახრილ ბზარებზე რღვევა შეიძლება მოხდეს მაშინ: 1. როდესაც არმატურაში გამჭიმო ძაბვები აღწევს დენადობის ზღვარს. არმატურა სუსტი ჩამაგრების შემთხვევაში ამოიგლიჯება ბეტონიდან, მცირდება შეკუმშული ზონის სიმაღლე და როდესაც ბეტონის წინაღობა გადაილახება, ელემენტი ირღვევა;



ნახ. 6.13. დახრილი კვეთების დაარმატურება. ა - განივი; გ - განივი და აღუნული

2. შეკუმშული და გამჭიმო ძალების ურთიერთქმედებით ირღვევა შეკუმშული ზონის ბეტონი და ბზარის ნაპირები ურთიერთ ძერას განიცდის.

ღუნვადი ელემენტის დახრილი კვეთის სიმტკიცეს უზრუნველყოფს შეკუმშული ბეტონი, განივი (საკიდი) და დახრილი არმატურა.

სიმტკიცის შემოწმება წარმოებს, განივი ძალის მიხედვით, შემდეგი პირობის უზრუნველყოფით:

$$Q \leq 0,3 \phi_{\omega} \phi_{\beta} R_b b h_0$$

სადაც  $Q$  საანგარიშო განივი ძალის უდიდესი მნიშვნელობაა;  $\phi_{\omega}$  - განივი არმატურის გაელენა ბეტონის სიმტკიცეზე და აიღება არა უმეტეს 1,3.

$$\phi_{\omega} = 1 + \alpha \mu_{\omega}$$

აქ  $\alpha = E_s/E_b$ ;  $\beta_{\omega} = A_{sw} \cdot b \cdot s$ ;  $\mu_{\omega}$  განივი არმატურის გაჯერების კოეფიციენტი;

$\phi_{\beta}$  - კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ბეტონის სახეობას  $\phi_{\beta} = 1 + \beta \cdot R_b$ ;

**β** - აიღება სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით, ბეტონის სახეობის გა  
ვალისწინებით.

თუ პირობა დარღვეულია, საჭიროა გაიზარდოს ელემენტის გეომეტრიული ზომები  
ბეტონის კლასი და განივი არმატურის დიამეტრი.

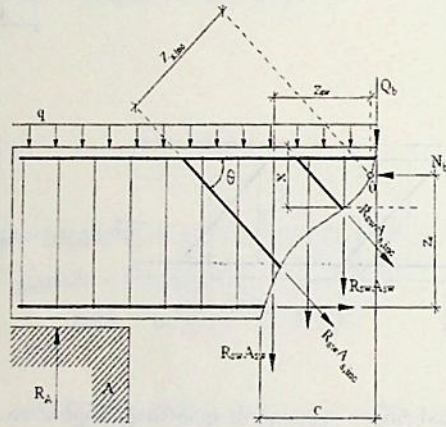
**6.3.2. დახრილ ბზარზე გამავალი კვეთის სიმტკიცის პირობები**

რკინაბეტონის ელემენტის ნორმალური და დახრილი კვეთის სიმტკიცის  
შემოწმებისას საანგარიშო მეთოდი იგივეა (ნახ. 6.14).

წონასწორობის პირობების თანახმად,  $\sum y=0$  და  $\sum M=0$  (მკუმშავი ძალის მოდების  
წერტილის მიმართ). დახრილი კვეთის საანგარიშო სიმტკიცის პირობებს აქვს სახე:

$$Q \leq Q_b + Q_{sw} + Q_{sw,inc}; \tag{6.64}$$

$$M \leq M_s + M_{sw} + M_{s,inc}, \tag{6.65}$$



ნახ. 6.14. სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას ელემენტის გრძივი ღერძისადმი დახრილი  
კვეთების ძალებების სქემა

სადაც **Q** საანგარიშო განივი ძალა დახრილი კვეთის მხარეა;

**Q<sub>b</sub>** -შეკუმშული ბეტონის კვეთის მიერ ატანილი განივი ძალა

$$Q_b = \phi_{bz}(1+\phi_f)R_{bz}bho^2 / c; \tag{6.66}$$

**Q<sub>sw</sub>** - დახრილი ბზარის გადამკვეთ განივ არმატურაზე გადანაწილებული  
განივი ძალა  $Q_{sw} = \sum R_{sw}A_{sw}; \tag{6.67}$

**Q<sub>sinc</sub>** - დახრილი ბზარის გადამკვეთ აღუნულ არმატურაზე გადანაწი-  
ლებული განივი ძალა

$$Q_{sinc} = \sum R_{sinc}A_{sinc}, \tag{6.68}$$

**c** საშიში დახრილი კვეთის პროექცია;

**R<sub>sw</sub>** და **R<sub>sinc</sub>** - განივი დახრილი არმატურის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე,

$R_{sw} = \gamma_{s1} R_s$ ;  $\gamma_{s1} = 0,8$  ყველა სახის არმატურისათვის;

$A_{sw}$  - დახრილი კვეთის ფარგლებში განივი არმატურის ტოტების ჯამური ფართობი;

$A_{sinc}$  - დახრილი ღეროების განივკვეთის ჯამური ფართობი;

$\Phi_{b2}$  - ითვალისწინებს ბეტონის სახეობის გავლენას სიმტკიცეზე და აიღება მიძიმე ბეტონისათვის 2,0; წვრილმარცვლოვანი ბეტონისათვის - 1,7; მსუბუქი ბეტონისათვის - 1,5-1,9;

$\Phi_r$  - ითვალისწინებს შეკუმშული თაროს გავლენას დახრილი კვეთის სიმტკიცეზე, როდესაც კვეთი ტესტები ან ორტესტებია

$$\Phi_r = 0,75 (b_r' - b) h_r' / b h_0;$$

$\Phi_r$ -ის მნიშვნელობა არ აღემატება 0,5 და აიღება არა უმეტესი  $(b + 3h_r')$ .

თუ  $Q \leq Q_b + Q_{sw}$ , მაშინ აღუნული არმატურა გაანგარიშებით საჭირო არ არის, იგი შეიძლება მოეწყოს კონსტრუქციული მოსაზრებით.

სიმტკიცე განივი ბზარის ფარგლებში

$$Q \leq B/C = B/S_{max};$$

საიდანაც

$$S_{max} \leq B / Q, \quad (6.69)$$

$S_{max}$  განივ ღეროებს შორის მაქსიმალური ბიჯის სიდიდეა;

თუ (6.69) ჩავსვამთ  $B = \Phi_{b2}(1 + \Phi_r) R_{sz} b h_0^2$  და გავითვალისწინებთ განივი არმატურის განლაგების მოსალოდნელ უზუსტობას 0,75 კოეფიციენტით, მივიღებთ:

$$S_{max} = 0,75 \Phi_{b2}(1 + \Phi_r) R_{sz} b h_0^2 / Q.$$

მცირე სიმაღლის ფილებსა და კოჭებში შეიძლება (15 - 30) სმ განივი არმატურა არ მოეწყოს, მაგრამ უზრუნველყოფილი იქნება შემდეგი პირობა:

$$Q \leq \Phi_{b4} R_{st} b h_0^2 / c. \quad (6.70)$$

(6.70) პირობის მარჯვენა მხარე აიღება არა უმეტეს  $2,5 R_{st} b h_0$  და არანაკლები  $\Phi_{b2} R_{st} b h_0$ -ისა.  $\Phi_{b2}$  და  $\Phi_{b4}$  მიიღება ბეტონის სახეობის მიხედვით (სამშენებლო ნორმები და წესები).

კოჭებსა და ფილებში, რომელთა სიმაღლე 30სმ-ია, განივი არმატურა უნდა მოეწყოს საყრდენებთან  $\ell/4$  მანძილზე ( $\ell$  - ელემენტის სიგრძე) გაანგარიშებით, ხოლო კონსტრუქციული მოსაზრებით  $h/2$  ბიჯით და არა უმეტეს 15 სმ-ისა; თუ  $h \leq 45$  სმ-ზე  $h/3$  ბიჯით და არა უმეტეს 50 სმ-ისა. ელემენტის დანარჩენ ნაწილში განივი არმატურა შეიძლება განლაგდეს  $3/4h$  ბიჯით და არა უმეტეს 50სმ-ისა.

მღუნავი მომენტის მიხედვით, სიმტკიცის პირობა შეკუმშული ბეტონის სიმძიმის ცენტრის მიმართ შემდეგნაირად გამოისახება:

$$M \leq R_s A_s Z_s + \sum R_{sw} A_{sw} Z_{sw} + \sum R_{sinc} A_{sinc} Z_{sinc}.$$

სადაც  $Z_s, Z_{sw}, Z_{sinc}$ , მანძილია შესაბამისად გრძივი, განივი და დახრილი არმატურის შეკუმშული ბეტონის სიმძიმის ცენტრის მიმართ.

მუდმივი კვეთის სიმაღლის მქონე ელემენტებში დახრილი კვეთის შემოწმება, მღუნავი მომენტის მიხედვით, შეიძლება არ ჩატარდეს. იგი უზრუნველყოფილია კონსტრუქციული ღონისძიებებით - არმატურის ჩამაგრება, აღუნვასა და შეწყვეტის ადგილის შერჩევა და სხვა.

მღუნავი მომენტის მიხედვით დახრილი კვეთის სიმტკიცის შემოწმება აუცილებელია, როდესაც ხდება კვეთის სიმაღლის ცვლილება ან არმატურის შეწყვეტა.

### 6.3.3. დახრილი კვეთის გაანგარიშება სიმტკიცეზე განივი ძალების მიხედვით

დახრილი კვეთის გაანგარიშება სიმტკიცეზე საჭიროა იმ უბანში, სადაც დახრილი ბზარია. კვეთის სიმტკიცე უზრუნველყოფილია შეკუმშული ბეტონით და გაჭიმულ ხონაში განლაგებული გაჭიმული არმატურით და განივი (საკიდები) ღეროებით.

$$Q \leq Q_b + Q_s. \quad (6.71)$$

როდესაც კვეთში აღუნული არმატურაც არის, მაშინ

$$Q \leq Q_b + Q_{sw} + Q_s. \quad (6.72)$$

სიმტკიცის პირობა

$$Q \leq B / c + q_{sw}, \quad (6.73)$$

როდესაც

$$B = \varphi_b (1 + \varphi_f) R_b b h_0^2. \quad (6.74)$$

$q_{sw}$  საკიდის სიგრძის ერთეულზე მოდებული განივი ძალაა

$$q_{sw} = R_{sw} A_{sw} / S.$$

(6.73) გამოსახულებას თუ  $c$ -თი გავაწარმოებთ, მივიღებთ:

$$d/dc(B/c + q_{sw} \cdot c) = -B/c_0^2 + q_{sw} - B/c_0^2 + q_{sw} = 0,$$

$$c_0 = \sqrt{B/q_{sw}}. \quad (6.75)$$

ძალა განივ არმატურაში საშიშ დახრილ კვეთში

$$Q_{sw} = q_{sw} C_o = \sqrt{q_{sw} \cdot B.} \quad (6.76)$$

შეკუმშული ბეტონის ზღერული განივი ძალა

$$Q_b = B / c_o = \sqrt{q_{sw} \cdot B,} \quad (6.77)$$

ე.ი.  $Q_b + Q_{sw} = 2 \sqrt{q_{sw} \cdot B.} \quad (6.78)$

თუ ტესებრი და ორტესებრი კვეთის ელემენტი გვაქვს, მაშინ შეკუმშული თაროს გავლენა გათვალისწინებულია  $\varphi_f$  კოეფიციენტის მიხედვით, რომელიც შედის  $Q_b$  მუდმივას და  $B$  ს გამოსახულებაში (6.74).

თუ (6.75) გამოსახულებაში შევიტანთ  $B$  მნიშვნელობას, მივიღებთ:

$$c_o = \sqrt{\varphi_{bz}(1 + \varphi_f) R_{xb} h_o^2 / q_{sw}.} \quad (6.79)$$

დახრილი ბზარის სიმტკიცის პირობის მიხედვით განივ ღეროსა და შეკუმშული ბეტონის კვეთზე განივი ძალის სიდიდე ერთმანეთის ტოლია-

$$Q_b = Q_{sw}.$$

$Q_b$  და  $Q_{sw}$  -ს განსაზღვრისას მიღებული უნდა იქნეს შემდეგი გარემოება: როდესაც  $c_o > h_o$ , განივი არმატურა განლაგებულია ბზარის გასწვრივ და სიმტკიცეზე გავლენას არ ახდენს, როდესაც  $c_o < h_o$ , შეკუმშული ზონის ბეტონის წინაღობა არ აღემატება  $Q_b$  სიდიდეს (დადგენილს დახრილი კვეთისათვის).

დახრილი ბზარის განვითარების უბანზე, გარდა კვეთის სიმტკიცეზე შემოწმებისა, საჭიროა შემოწმდეს პირობა:

$$Q \leq 0,3\varphi_{a1} \varphi_{b1} R_{xb} h_o.$$

თუ პირობა დარღვეულია, საჭიროა გადიდდეს კვეთის ზომები ან შეიცვალოს ბეტონის კლასი.

დახრილი კვეთის სიმტკიცეზე გაანგარიშება განივი ძალების მიხედვით ითვალისწინებს უკვე კონსტრუირებულ, დასრულებული ელემენტის სიმტკიცის შემოწმებას და სიმტკიცის პირობიდან განივი არმატურის კვეთის ფართობის დადგენას.

ა) პირველი ამოცანის შესასრულებლად საჭიროა შემოწმდეს დახრილი კვეთის

სიმტკიცე

$$Q \leq Q_b + Q_{sw}$$

ანუ

$$Q \leq B / c + q_{sw} \cdot c.$$

განივი ბზარის სავარაუდო გახსნის ადგილი მოწმდება ფორმულით:

$$Q \leq \varphi_{bz}(1 + \varphi_f) R_{xb} h_o. \quad (6.80)$$

თუ პირობა დაკმაყოფილებულია, დახრილი ბზარი არ წარმოიქმნება და სიმტკიცის პირობით კვეთის გაანგარიშება საჭირო არ არის (ნახ.6.14), თუ (6.80) დაცული არ არის, მაშინ დახრილი კვეთის გაანგარიშება აუცილებელია. განისაზღვრება განივი ძალების ინტენსივობა

$$q_{sw} = R_{sw} A_{sw} / S \geq \varphi_{bz}(1 + \varphi_f) R_{xb} / 2. \quad (6.81)$$

თუ პირობა დაცულია, გამოითვლება დახრილი კვეთის პროექცია:

$$c_0 = \sqrt{B/q_{sw}} = \sqrt{\phi_b(1 + \phi_f) R_b b h_0^2 / q_{sw}}$$

შემდეგ ბეტონსა და განივ არმატურაში ძალები გამოიანგარიშება

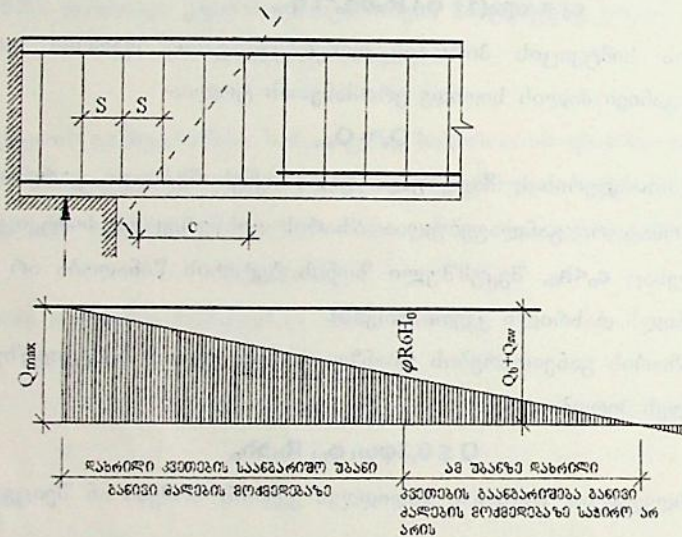
$$Q_b = \phi_b(1 + \phi_f) R_b b h_0^2 / c_0;$$

$$Q_{sw} = q_{sw} \cdot c_0 = q_{sw} \cdot 2h_0,$$

როდესაც  $c_0 < 2h_0$ , მოწმდება პირობა:

$$Q \leq Q_b + Q_{sw}.$$

თუ პირობა არ სრულდება, საჭიროა გადიდდეს განივი არმატურის კვეთი ან შეიცვალოს ელემენტის კვეთის ზომები, ან გადიდდეს ბეტონის კლასი.



ნახ. 6.15. დახრილი კვეთების სიმტკიცისათვის განივი არმატურის გამოყენება

დახრილი კვეთის გაანგარიშება, განივი ძალების მიხედვით, ითვალისწინებს არმატურის კვეთის ფართობის დადგენას და მათ კვეთში განლაგებას(ნახ. 6.15). საჭიროა შემოწმდეს პირობა:

$$Q_b \leq \phi_b(1 + \phi_f) R_b b h_0.$$

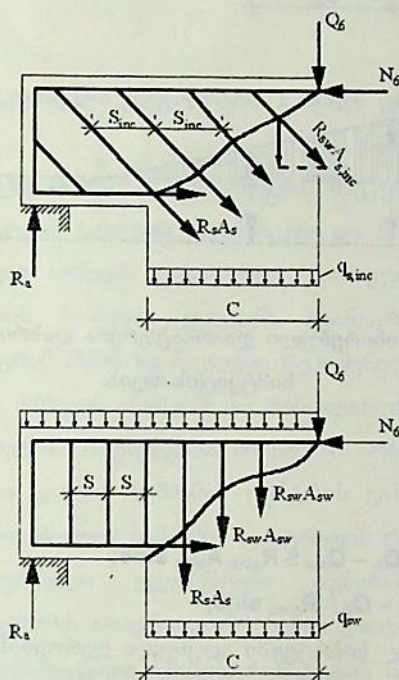
თუ პირობა დაცული არ არის მოსალოდნელია დახრილი ბზარის განვითარება და საჭიროა კვეთის გაანგარიშება სიმტკიცის პირობით. გაანგარიშება მიმდინარეობს შემდეგნაირად: გამოითვლება დახრილი კვეთის პროექცია  $c_0$ , შემდეგ  $Q_b = Q_{sw} = Q/2$ , ბოლოს მოწმდება პირობა:

$$Q \leq Q_b + Q_{sw}.$$

თუ  $Q \leq Q_b$ -ზე, მაშინ კვეთის გაანგარიშება განივი ძალის მიხედვით საჭირო არ არის და განივი არმატურა მოეწყოება კონსტრუქციული მოსაზრებით.

თუ  $Q > Q_b$  -ზე, ასეთ შემთხვევაში განივი არმატურა გაანგარიშებით მოეწყობა. გამოითვლება ძალვა განივ არმატურაში  $q_{sw} = Q_{wc} / c = Q - Q_b / c$ , მოწმდება პირობა:

$$q_{sw} \geq q_{swmin} = \phi_{b3}(1 + \phi_f) R_{bc} b / 2.$$



ნახ. 6.16. განივი და დახრილი არმატურების ძალები დახრილი კვეთების სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას

### 6.3.4. დახრილი კვეთის გაანგარიშება სიმტკიცეზე განივი ძალის მიხედვით, განივი და დახრილი არმატურების გამოყენებით

დახრილი კვეთის სიმტკიცე განივი ძალის მიხედვით, კომბინირებული დაარმატურების შემთხვევაში, საჭიროა აკმაყოფილებდეს პირობას (6.64) (ნახ. 6.16):

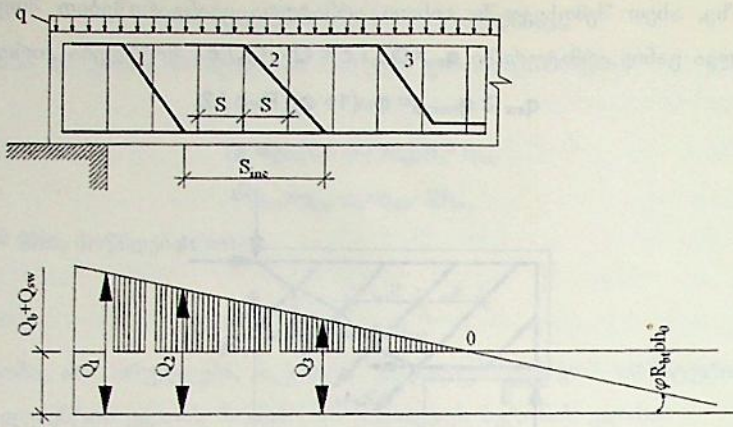
$$Q \leq Q_b + Q_{sw} + Q_{sinc}.$$

შეკუმშული ზონის სიმაღლე გამოითვლება  $\sum \dot{Y} = 0$  წონასწორობის განტოლების მიხედვით

$$R_b A_b = R_s A_s - R_{sc} A_{sc} + R_{sinc} A_{sinc} \sin \theta. \quad (6.82)$$

დახრილი კვეთის სიმტკიცეზე გაანგარიშება, მღუნავი მომენტის მიხედვით საჭიროა საყრდენებთან ან არმატურის შეწყვეტის ზონაში.  $\theta$  აღუნიული ღეროს დახრის კუთხეა.

დახრილი არმატურის აუცილებლობის შემთხვევაში დაცული უნდა იქნეს პირობა:



ნახ.6.17. კომბინირებული დაარმატურება დახრილი კვეთების სიმტკიცისათვის.

$$Q_{sinc} = Q_b - Q_{sw} \leq R_{sinc} A_{sinc} \sin\theta; \quad (6.83)$$

საიდანაც

$$A_{sinc} = Q - Q_b / R_{sinc} \sin\theta,$$

$A_{sinc}$  არის ერთ დახრილ სიბრტყეში აღუნული ღეროების კვეთის ფართობი.

მაქსიმალური განივი ძალის სიდიდე, რომლის ატანა ბეტონის კვეთს და განივ არმატურას შეუძლია, რომელიც კვეთში განლაგებულია თანაბარ მანძილზე, გამოისახება ფორმულით:

$$Q_{bw} = Q_b + Q_{sw}.$$

პირველი აღუნვის სიბრტყეში განივი ძალის სიდიდე

$$Q_1 = Q - Q_{bw}$$

მეორე აღუნვის სიბრტყეში

$$Q_2 = Q_1 - Q_{bw}$$

და ა.შ. მიღებული განივი ძალების მნიშვნელობით ადვილად გამოითვლება ნებისმიერი დახრილი სიბრტყისათვის აღუნული ღეროს კვეთის ფართობი.

$$A_{sing1} = Q / R_{sinc} \sin\theta; \quad A_{sing2} = Q_2 / R_{sinc} \sin\theta.$$

აღუნული ღეროებით კვეთის კონსტრუირებისას საჭიროა დაცულ იქნეს სამშენებლო ნორმებსა და წესებში მოცემული კონსტრუირების პირობები.

თუ აღუნული ღერო გრძივი მუშა არმატურის ნაწილია, მაშინ მისი აღუნვა შეიძლება დაიწყოს საყრდენიდან  $h/2$  მანძილით; შემდეგი აღუნვა კი პირველი აღუნული ღეროს დასაწყისიდან არა უმცირეს  $s$  ბიჯის შემდეგ. აღუნული ღეროების ჩამაგრების  $w$  მანძილი გამოითვლება ფორმულით:

$$w = Q - Q_{sinc} / 2q_{sw} + 5d,$$

სადაც  $d$  შეწყვეტილი გრძივი ღეროს დიამეტრია;  $q_{sw}$  - საკიდის ზღვრული ძალა სიგრძის ერთეულზე

$$q_{sw} = R_{sw} A_{sw} / s.$$

#### 6.4. შეკუმშული ელემენტები. ზოგადი ცნობები

რკინაბეტონის კუმშვაზე მომუშავე ელემენტებს მიეკუთვნება სვეტები, ჩარჩოების დგარები, წამწეების სარტყლები, გისოსის ელემენტები და სხვა.

განივი კვეთის მიხედვით არჩევენ კვადრატულ, მართკუთხა, მრავალკუთხა, წრიულ და სხვა. სვეტების კვეთის ზომების დადგენა გაანგარიშებით ხდება, არ არის შეზღუდული ნორმებით; მაგრამ 250მმ-ზე ნაკლები რეკომენდებული არ არის (ნახ.6.18).

დამზადების მიხედვით არჩევენ ასაწყობ და მონოლითურ სვეტებს.

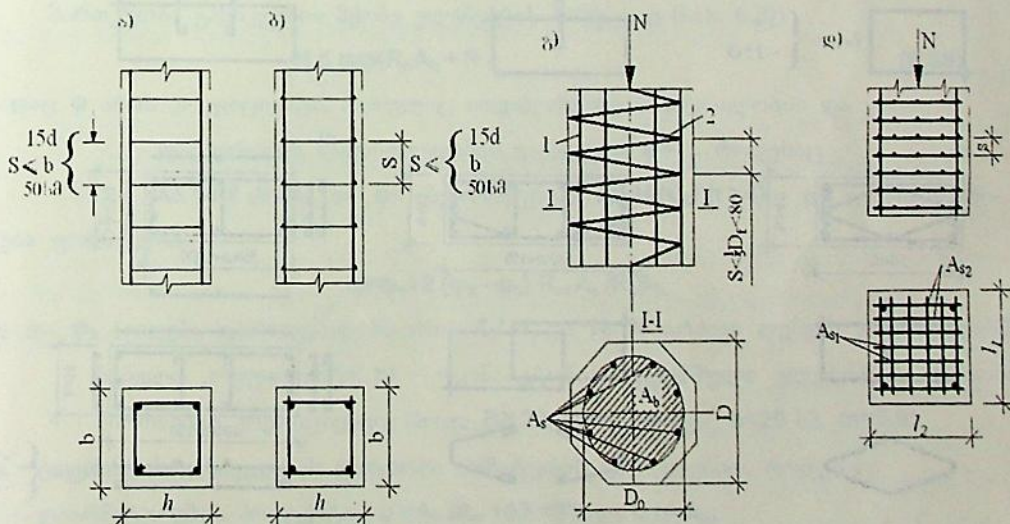
საანგარიშო დატვირთვების მოქმედების მიხედვით არჩევენ ცენტრალურ კუმშვას, როდესაც ძალა მოდებულია კვეთის სიმძიმის ცენტრის გასწვრივ და არაცენტრალურ კუმშვას, როდესაც ძალა მოდებულია სიმძიმის ცენტრიდან რაღაც მანძილზე.

ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტები ბუნებაში იშვიათად გვხვდება. დატვირთვებისა და რკინაბეტონის არაერთგვაროვნების გათვალისწინებამ განაპირობა

გაანგარიშებებში  $e_0$  შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტის სიდიდის შემოღება

$$e_0 \geq \ell / 600; h / 30, \quad (6.84)$$

სადაც  $\ell$  ელემენტის სიგრძეა;  $h$  - კვეთის სიმაღლე.



ნახ. 6.18. შეკუმშული ელემენტების დაარმატურების კონსტრუქციული სქემები:  
 I - დაარმატურება გრძივი მუშა არმატურით და ჩვეულებრივი განივი არმატურით; II - არაპირდაპირი დაარმატურება;  
 ა- ცალკეული ღეროებით დაარმატურება; ბ- შედუღებული კარკასებით დაარმატურება; გ- სპირალური განივი არმატურის გამოყენების შემთხვევა; დ - შედუღებული ბადეები არაპირდაპირი დაარმატურებისას; 1-გრძივი მუშა არმატურა; 2 - განივი არმატურა

სტატიკურად რკვევად სისტემებში  $e_0$  დატვირთვების მიხედვით იანგარიშება:

$$e_0 = M \setminus N + e_a . \tag{6.85}$$

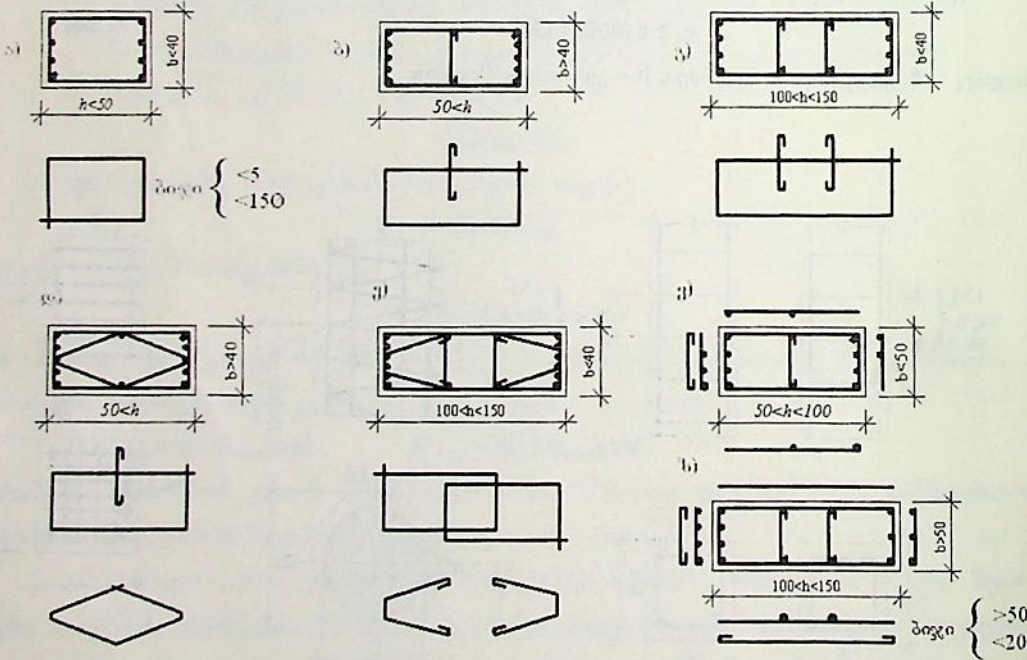
სადაც  $e_a$  შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტია;

$e_0 = M \setminus N$  - სტატიკური გაანგარიშებით მიღებული ექსცენტრისიტეტის სიდიდე სტატიკურად ურკვევი სისტემისათვის, მაგრამ არანაკლები  $e_a$  შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტისა.

შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტის მიხედვით გაანგარიშებული ელემენტების კვეთის ზომები შეიძლება იყოს კვადრატული, წრიული, მრავალკუთხა.

ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტები არის:

1. მოქნილი გრძივი არმატურით და კონსტრუქციული განივი არმატურით (საკიდებით);
2. მოქნილი გრძივი მუშა და განივი მუშა არმატურით (სპირალის ან რგოლების სახით).



ნახ. 6.19. არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების კვეთების დაარმატურება

სვეტების გრძივი მუშა არმატურის დიამეტრი 12მმ-ზე ნაკლები არ არის, ხოლო საკიდის დიამეტრი აიღება  $d/3$ ,  $S \leq 20d$  ბიჯით შედუღებული კარკასებით კონსტრუირების დროს და  $d/4$ ,  $S \leq 15d$  ბიჯით - შეკრული კარკასებით კონსტრუირების დროს. ორივე შემთხვევაში ბიჯი აიღება არა უმეტეს 50 სმ და  $h$ -ის, სადაც  $d$  გრძივი მუშა არმატურის დიამეტრია (ნახ. 6.19).

ცენტრალურად შეკუმშულ ელემენტებში გრძივ მუშა არმატურას განალაგებენ კვეთის პერიმეტრზე, ხოლო არაცენტრალურად შეკუმშულ ელემენტებში - კვეთის მოკლე გვერდის გასწვრივ. კვეთში ღეროებს შორის მანძილი აიღება არა უმეტეს 40 სმ-ისა და არანაკლებ 5სმ. სვეტების დაარმატურებისას დაცული უნდა იქნეს სამშენებლო ნორმებსა და წესებში მიღებული კონსტრუირების პირობები.

#### 6.4.1. შეკუმშული ელემენტების გაანგარიშება შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტით

ცენტრალურად შეკუმშულ ელემენტებში მოქმედი დატვირთვა ნაწილდება ბეტონის კვეთსა და გრძივ არმატურაზე. მისი ზიდვის უნარი დამოკიდებულია ელემენტის მოქნილობასა და სვეტის ჩამაგრების ხარისხზე.

მოქნილობა ან  $\lambda = \ell_0 / i > 14$ ;  $\lambda = \ell_0 / h > 4$ .

სადაც  $\ell_0$  საანგარიშო სიგრძეა;  $i$  - ინერციის რადიუსი;  $h$  - ელემენტის გვერდი.  $\ell_0$  დამოკიდებულია ელემენტის დაბოლოების ჩამაგრებაზე და შეიძლება დადგინდეს სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით.

მართკუთხა განიკვეთის მქონე ელემენტის სიმტკიცე (ნახ. 6.20)

$$N \leq m\phi(R_b A_b + R \tag{6.86}$$

სადაც  $\phi$  არის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს მოქნილობის და დატვირთვის ხანგრძლივობის გავლენას,  $\phi=1$ , როდესაც

$$\lambda \leq 14 (\ell_0/h \leq 4) \text{ და } \phi < 1 \text{-ზე, როდესაც } \lambda > 16 (\ell_0/h > 4) \text{ და გამოიანგარიშება ფორმულით:}$$

$$\phi = \phi_b + 2 (\phi_z - \phi_b) R_{sc} A_s / R_b A_b.$$

$\phi_z$  და  $\phi_b$  (აიღება ცხრილებიდან) არის  $\ell_0/h$  და  $N_i/N$  გრძივი ღუნვის გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი;  $m$  - რკინაბეტონის შეკუმშული ელემენტის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი, როცა  $B \geq 20$ ,  $m=1$ , როცა  $b < 20$  სმ,  $m=0,9$ :

$A_b$  - ელემენტის განიკვეთის ფართობი არმატურის გამოკლებით, როდესაც

$$\text{დაარმატურების პროცენტი: } \mu = A_s / A_b \text{ 100 } < 3\% \text{ და } b \cdot h = A_b.$$

არმატურის საჭირო ფართობი სიმტკიცის პირობიდან გამოითვლება ფორმულით:

$$A_s = [N/m\phi - R_b A_b] / R_{sc} = (N / m\phi - R_b b h) / R_{sc}.$$

როდესაც გაანგარიშებით მიღებული არმატურის ფართობი უარყოფითია, ე.ი. ანგარიშით არმატურა საჭირო არ არის, იგი ინიშნება კონსტრუქციული მოსაზრებით ისე რომ არმატურის შემცველობა ელემენტის კვეთში იყოს არანაკლებ 0,3%, როდესაც მოქნილობა  $\xi_0 / \bar{\xi} \leq 35$  და არანაკლებ 0,4%, როდესაც მოქნილობა  $\xi_0 / \bar{\xi} > 35$ . თუ არმატურის შემცველობა კვეთში 3,5%-ს აღემატება, ე.ი. განიკვეთის ზომები მცირეა და საჭიროა მისი გაზრდა. ყველაზე ხელსაყრელი არმატურის შემცველობა არის მაშინ, როცა  $\mu = 1...2\%$  -ს.



ნახ. 6.20. მოქნილობის გათვალისწინებით

#### 6.4.2. არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშება

არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების გაანგარიშებისას განიხილავენ ორ შემთხვევას: 1.  $\xi > \xi_R$ , დიდი ექსცენტრისიტეტის შემთხვევა და 2.  $\xi < \xi_R$ , მცირე ექსცენტრისიტეტის შემთხვევა.

განვიხილოთ პირველი შემთხვევა, როდესაც  $\xi > \xi_R$ :

1. სწორკუთხა კვეთის მქონე ელემენტებისათვის შეკუმშული ბეტონის ფართობი  $A_b = b \cdot X$ . მანძილი გაჭიმული არმატურის სიმძიმის ცენტრიდან შეკუმშული ბეტონის სიმძიმის ცენტრამდე  $z_b = (h_0 - 0,5X)$  (ნახ.6.20).

საანგარიშო ფორმულების მისაღებად ვისარგებლოთ წონასწორობის განტოლებებით:

$$\sum X=0 \text{ და } \sum M=0.$$

პირველი განტოლების მიხედვით

$$N = R_b A_b + R_{sc} A_s' - R_s A_s, \quad (6.87)$$

მეორე განტოლების მიხედვით

$$Ne \leq R_b A_b z_b + R_{sc} A_s' (h_0 - \alpha).$$

ჩავსვათ  $A_b$  და  $z_b$  მნიშვნელობები:

$$N = R_b b \cdot X + R_{sc} A_s' - R_s A_s, \quad (6.88)$$

$$Ne \leq R_b b \cdot x (h_0 - 0,5 x) + R_{sc} A_s' (h_0 - \alpha). \quad (6.89)$$

(6.87) გამოსახულების პირველი წევრი გავამრავლოთ და გავყოთ  $h_0$  და  $x/h_0 = \xi$  აღენიშნოთ

$$N = R_b b h_0 x/h_0 + R_{sc} A_s' - R_s A_s = R_b b h_0 \xi + R_{sc} A_s' - R_s A_s. \quad (6.90)$$

(6.90) გამოსახულების პირველი წევრიდან გამოვიტანოთ ფრჩხილებს გარეთ  $h_0$  და გავამრავლოთ და გავყოთ  $h_0$ -ზე

$$Ne \leq R_b b h_0^2 x/h_0 (1 - 0,5 x/h_0) + R_{sc} A_s' (h_0 - \alpha); \quad (6.91)$$

$$N = R_b b h_0 \xi + R_{sc} A_s' - R_s A_s; \quad (6.92)$$

$$Ne \leq R_b b h_0^2 A_0 + R_{sc} A_s' (h_0 - \alpha), \quad (6.93)$$

სადაც  $A_0 = \xi (1 - 0,5\xi)$ .

(6.93) დან გამოითვლება შეკუმშული არმატურის კვეთის ფართობი

$$A_s' = (Ne - R_b b h_0^2 A_0) / R_{sc} A_s' (h_0 - \alpha). \quad (6.94)$$

$A_0$  არის უგანზომილებო სიდიდე

$$A_0 = (Ne - R_{sc} A_s' (h_0 - \alpha)) / R_b b h_0^2. \quad (6.95)$$

$A_s'$  - ის ჩასმით შემდეგ (6.92) ამოსახულებაში

$$A_s = (R_b b h_0 \xi - N) / R_s + A_s' R_{sc} / R_s. \quad (6.96)$$

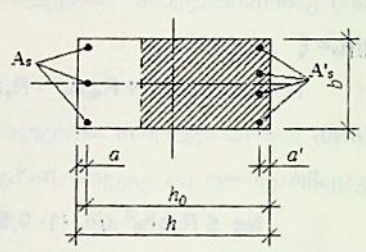
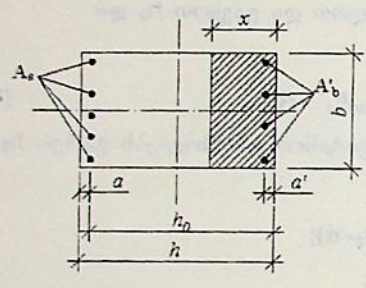
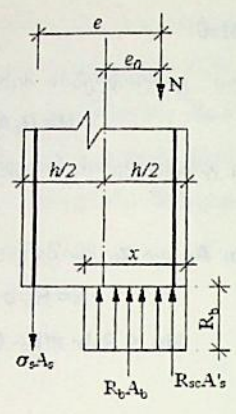
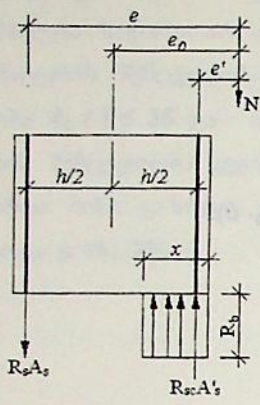
სიმეტრიული დაარმატურების შემთხვევაში, როდესაც  $A_s = A_s'$  და  $R_s = R_{sc}$ , მივიღებთ

(6.92) - გამოსახულებიდან  $x = N / R_b b$  ჩავსვათ (6.91) Si და გარდავქმნით მივიღებთ:

$$A_s = A_s' = ((N(e - h_0 + N/2 R_b b)) / R_s (h_0 - \alpha). \quad (6.97)$$

$\xi, A_0, \eta$  -ით შედგენილი ცხრილების გამოყენებით მიიღება შემდეგი გამოსახულება:

$$A_s = A_s' = (Ne - R_b b h_0^2 A_0) / R_s A_s' (h_0 - \alpha).$$



ნახ.6.21. მართკუთხა კვეთის დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა დიდი ექსცენტრისიტეტის დროს

ნახ. 6.22. მართკუთხა კვეთის დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა მცირე ექსცენტრისიტეტის შემთხვევაში

მოქნილი არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტის გაანგარიშება ხდება გადიდებული ექსცენტრისიტეტის მიხედვით, რომელიც მიიღება  $e_0$  საწყისი ექსცენტრისიტეტის  $\eta$  კოეფიციენტზე გამრავლებით (რომელიც ერთზე ნაკლებია). სიმტკიცის პირობაში  $e$  მანძილი დგინდება ფორმულით:  $e = e_0 \eta + y$  ელემენტის გაღუნვის გამათვალისწინებელი  $\eta$  კოეფიციენტი ტოლია:

$$\eta = 1 / 1 - N/N_{cr}, \quad (6.98)$$

$N$  არის საანგარიშო გრძივი ძალა;  $N_{cr}$  - პირობითი კრიტიკული ძალა, გამოითვლება ემპირიული ფორმულით:

$$N_{cr} = 6,4 E_b / l_0^2 [J / \varphi_e (0,11 / 0,1 + \delta_e) + \alpha J_s], \quad (6.99)$$

სადაც  $J$  ბეტონის მთელი კვეთის ინერციის მომენტი;  $J_s$  —გაჭიმული და შეკუმშული არმატურების კვეთის ჯამური ინერციის მომენტი;  $\alpha$  —არმატურის კვეთის ბეტონის კვეთზე დაყვანის კოეფიციენტი,  $\alpha = E_s / E_b$ .

თუ გაანგარიშების შედეგად აღმოჩნდა, რომ მოქნილობა  $\lambda > 14$ -ზე, არმატურის კვეთის შერჩევა ხდება თანდათანობითი მიახლოების წესით. თუ  $N_{cr} < N$ , ასეთ შემთხვევაში საჭიროა გადიდდეს კვეთის ზომები.

მცირე ექსცენტრისიტეტის შემთხვევაში, როდესაც  $\xi > \xi_R$ , ე.ი.  $e_0 < 0,3h_0$ , დაბალი კლასის ბეტონისათვის პირველი მიახლოებით  $\xi = \xi_R$ . ასეთ შემთხვევაში შეკუმშული და გაჭიმული არმატურების ფართობი გამოითვლება (6.96) და (6.97). ფორმულებით (ნახ.6.21) და (ნახ.6.22).

თუ შეკუმშული არმატურის კვეთის ფართობი აღმოჩნდა უარყოფითი ან მინიმალურ დაარმატურებაზე ნაკლები, მაშინ გაჭიმული და შეკუმშული არმატურების კვეთის ფართობი ინიშნება კონსტრუქციული მოსაზრებით

$$A_s = A_s' = 0,002bh_0.$$

არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების სიმტკიცეზე შემოწმება აუცილებელია. მიიღება დაშვება  $\xi = \xi_R$ .

გამოითვლება შეკუმშული ზონის სიმაღლე  $x$  (6.87)-ის მიხედვით:

$$x = N - R_{sc} A_s' + R_s A_s / R_b b. \quad (6.100)$$

შეკუმშული ბეტონის ფარდობითი სიმაღლის სასაზღვრო მნიშვნელობა გამოითვლება (6.1)-ის მიხედვით.

ცხრილი 62

ფარდობა $\xi_0/h$	$\Phi_b$ კოეფიციენტები, როდესაც			$\Phi_r$ კოეფიციენტები, როდესაც		
	$N_e/N = 0,5$	$N_e/N = 0,5$	$N_e/N = 1$	$N_e/N = 0$	$N_e/N = 0,5$	$N_e/N = 1$
6	0,93	0,92	0,92	0,93	0,92	0,92
8	0,92	0,91	0,91	0,92	0,92	0,91
10	0,91	0,9	0,89	0,91	0,91	0,90
12	0,9	0,89	0,86	0,9	0,89	0,89
14	0,89	0,86	0,82	0,89	0,88	0,87
16	0,88	0,82	0,76	0,88	0,86	0,84
18	0,86	0,78	0,69	0,86	0,83	0,79
20	0,84	0,72	0,61	0,84	0,79	0,74

შენიშვნა: კოეფიციენტი  $\Phi_r$  მოცემულია იმ შემთხვევისათვის, როდესაც შუალედურ ღეროების განივკვეთის ფართობი  $1/3(A_s + A_s')$ . ნაკლებია.

თუ  $x \leq \xi_R h_0$ -ზე, ადგილი აქვს დიდი ექსცენტრისიტეტის შემთხვევას. სიმტკიცე მოწმდება (6.91)-ის მიხედვით

$$N e \leq R_b b \cdot x (h_0 - 0,5 x) + R_{sc} A_s' (h_0 - a). \quad (6.101)$$

როდესაც  $x > \xi_R h_0$ , სიმტკიცის პირობა მოწმდება (6.84) მიხედვით.

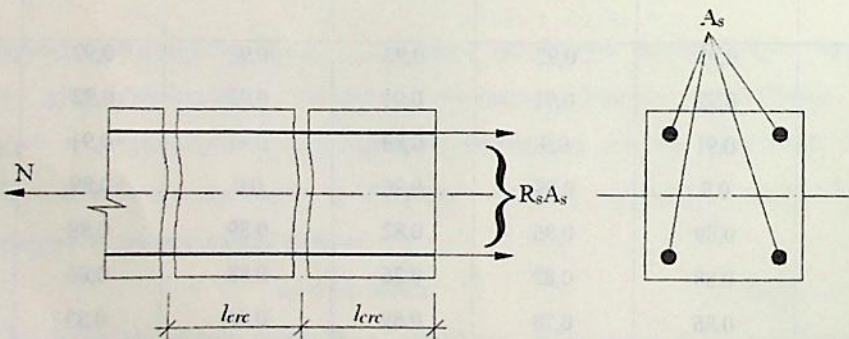
### 6.5. გაჭიმული ელემენტები. ზოგადი ცნობები

გაჭიმულ ელემენტებს მიეკუთვნება წამწის ქვედა სარტყელი, ირიბანები, თაღების შემკვრელები, რეზერვუარის კედლები და სხვა. განასხვავებენ ცენტრალურ და არაცენტრალურ გაჭიმვებს. ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების კვეთის ფორმა შეიძლება იყოს ნებისმიერი, ხოლო არაცენტრალურად გაჭიმულ ელემენტში კვეთის ფორმა შეირჩევა ისე, როგორც არაცენტრალურად შეკუმშულ ელემენტებში. კვეთის ზომა მღუნავი მომენტის მოქმედების სიბრტყეში უფრო მეტია. კონსტრუირების პრინციპები იგივეა, რაც არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტებისათვის.

#### 6.5.1. ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშება

ცენტრალურად გაჭიმულ ელემენტებში კვეთის სიმტკიცეზე შემოწმებისას ბეტონის მუშაობა უგულვებელყოფილია ბზარების გამო და მთელი გამჭიმ ძალა არმატურას გადაეცემა (ნახ. 6.23), რომელშიც ძაბვების სიდიდე აღწევს საანგარიშო წინაღობას აღწევს საანგარიშო ფორმულების მისაღებად ვსარგებლობთ წონასწორობის განტოლებებით:  $\sum X=0$ ;

$$N - R_s A_s = 0, \quad (6.102)$$



ნახ. 6.23. ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტის გრძივი დერძისადმი ნორმალური კვეთის ძაბვების სქემა სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას

სადაც  $N$  საანგარიშო გამჭიმვი გრძივი ძალაა;  $A_s$  - გაჭიმული არმატურის კვეთის ფართობი, რომელიც ტოლია:

$$A_s = N / R_s \quad (6.103)$$

### 5.2. არაცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშება

არაცენტრალურად გაჭიმულ ელემენტებს მიეკუთვნება კონსტრუქციები, სადაც  $N$  გამჭიმვი ძალა მოდებულია კვეთის სიბრტყეში არასიმეტრიის ღერძზე და კვეთის სიბრტყის გარეთ.

განიხილავენ ორ შემთხვევას: 1. როდესაც გამჭიმვი ძალა მოდებულია კვეთის სიბრტყეში; 2. როდესაც გამჭიმვი ძალა მოდებულია კვეთის სიბრტყის გარეთ.

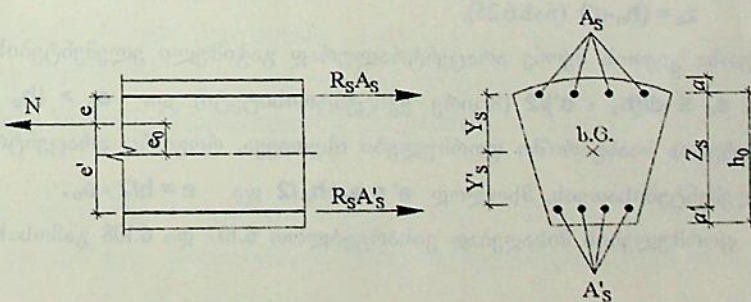
პირველი შემთხვევის დროს ექსცენტრისიტეტი  $e_0 < y_s$  (მცირე ექსცენტრისიტეტის შემთხვევა). ძალა მოდებულია შეკუმშულ და გაჭიმულ არმატურებს შორის, მთელი კვეთი დაზარალებულია და გამჭიმვი ძალა გადაეცემა მხოლოდ  $A_s$  და  $A'_s$  არმატურებს (ნახ.6.24).

სადაც  $A_s$  არის გამჭიმვი ძალის უახლოეს წახნაგთან მდებარე არმატურა;  $A'_s$  - გამჭიმვი ძალის უშორეს წახნაგთან მდებარე არმატურა.

სიმტკიცის პირობის ჩასაწერად ვსარგებლობთ წონასწორობის განტოლებით:  
 $\sum M = 0;$

$$Ne \leq R_s A_s' (h_0 - \alpha);$$

$$Ne' \leq R_s A_s' (h_0 - \alpha'). \quad (6.104)$$



ნახ. 6.24. ნებისმიერი სიმეტრიული პროფილის არაცენტრალურად გაჭიმული ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური კვეთის ძალების სქემა

სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას, როდესაც გრძივი ძალა მოდებულია S და S' არმატურების ძალებს შორისი მანძილის ფარგლებში

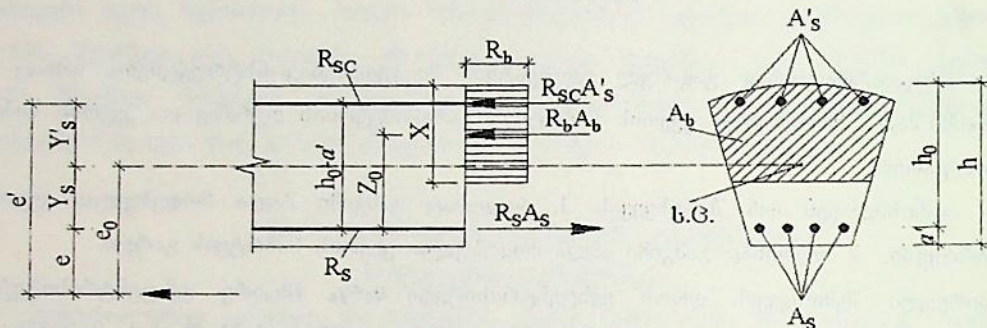
$$(6.104) \text{ ფორმულიდან } A_s' = Ne / R_s(h_0 - \alpha') \quad (6.105)$$

$$\text{და } A_s = Ne' / R_s(h_0 - \alpha'). \quad (6.106)$$

მეორე შემთხვევაში გამჭიმი ძალა მოდებულია კვეთის სიბრტყის გარეთ.

ამ დროს კვეთის ნაწილი შეკუმშულია, N ძალასთან უახლოესი ნაწილი კი გაჭიმული (ნახ. 6.25).

კვეთის სიმტკიცის შემოწმებისათვის საჭიროა შემოწმდეს პირობა:  $\xi \leq \xi_R$ ,  $\sum x = 0$  და  $\sum M = 0$ .



ნახ.6.25. ნებისმიერი სიმეტრიული პროფილის არაცენტრალურად გაჭიმული ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური კვეთის ძალების სქემა და ძალების ეპიურა სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას, როდესაც გრძივი ძალა მოდებულია S და S' არმატურების ძალებს შორისი მანძილის ფარგლებს გარეთ

პირველის პირობის მიხედვით

$$N = R_s A_s' - R_{sc} A_s' - R_b A_b; \quad (6.107)$$

მეორის პირობის მიხედვით

$$Ne' \leq R_b A_b z_b + R_{sc} A_s' (h_0 - \alpha'), \quad (6.108)$$

სადაც  $z_b = (h_0 - \alpha')$  (ნახ.6.25).

მართკუთხა კვეთის მქონე არაცენტრალურად გაჭიმული ელემენტებისათვის ძალა-შია პირობა:  $e_0 \leq d / (h_0 - \alpha') / 2$  (მცირე ექსცენტრისიტეტი) და  $e_0 > (h_0 - \alpha') / 2$  (დიდი ექსცენტრისიტეტი). საანგარიშო ფორმულები ისეთივეა, როგორც არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტებისათვის, მხოლოდ  $e' = e_0 + h_0 / 2$  და  $e = h / 2 - e_0$ .

საანგარიშო ფორმულების მისაღებად ვისარგებლოთ 6.107 და 6.108 გამოსახულებებით გვექნება:

$$x = (R_s A_s - R_{sc} A_s' - N) / R_b b; \quad (6.109)$$

$$A_s' = (Ne - R_b b h_0^2 A_0) / R_{sc} (h_0 - \alpha');$$

$$A_s = (R_b \xi_R b h_0 + N) / R_s + A_s' R_{sc} / R_s. \quad (6.110)$$

როგორც ფორმულებიდან ჩანს, ისინი ანალოგიურია არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების საანგარიშო ფორმულებსა, განსხვავდება გაჭიმული  $N$  ძალის მიმართულებით.

სიმტკიცის შემოწმებისას საჭიროა გამოვთვალოთ უგანზომილებო კოეფიციენტი

$$A_0 = (Ne - R_{sc} A_s' (h_0 - \alpha')) / R_b b h_0^2, \quad (6.111)$$

სადაც  $A_0$  მიხედვით 6.1 ცხრილიდან ვიღებთ  $\xi$ , გაჭიმული არმატურის ფართობს კი 6.110 ფორმულით განესაზღვრავთ.

## VII თავი

### რკინაბეტონის ელემენტების გაანგარიშება მკორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მიხედვით

#### 7.1. ზოგადი ცნობები

მოქმედი ნორმატივების თანახმად, რკინაბეტონის კონსტრუქცია უნდა აკმაყოფილებდეს საანგარიშო მოთხოვნებს არა მარტო I ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა ანუ ზიდვის უნარის მიხედვით, არამედ II ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა ანუ ნორმალური ექსპლუატაციისათვის ვარგისობის მიხედვით.

ზღვრულ მდგომარეობათა II ჯგუფს მიეკუთვნება ისეთი მდგომარეობა, რომელიც აძნელებს კონსტრუქციის ნორმალურ ექსპლუატაციას დაუშვებელი სიდიდის გადაადგილების (ჩაღუნვა, მობრუნების კუთხე, ჯდომა) და ბზარების განვითარების გამო.

II ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშება გულისხმობს:

1. ბზარმდეგობის მიხედვით გაანგარიშებას (ბზარების წარმოქმნა, დახურვა, გახსნა);
2. დეფორმაციების მიხედვით გაანგარიშებას (ჩაღუნვები, მობრუნების კუთხეები, რხევები და ა.შ.).

#### 7.2. ბზარმდეგობის მოთხოვნების კატეგორიები

რკინაბეტონის კონსტრუქციების ბზარმდეგობა ნიშნავს მათ წინაღობას ბზართა წარმოქმნის და გახსნის მიმართ.

კონსტრუქციის ბზარმდეგობას ვარკვეული კატეგორიის მოთხოვნები წაყენება მუშაობის პირობებისა და გამოყენებული არმატურის სახეობის მიხედვით [1]:

I კატეგორიის მოთხოვნა – ბზარის წარმოქმნა დაუშვებელია;

II კატეგორიის მოთხოვნა – დასაშვებია შეზღუდული სიგანის ბზარების ხანმოკლე გახსნა მათი შემდგომი საიმედო დახურვის პირობით (მოკუმშვა);

III კატეგორიის მოთხოვნა – დასაშვებია შეზღუდული სიგანის ბზარების ხანმოკლე და ხანგრძლივი გახსნა.

ბზარების ხანმოკლე გახსნა გამოითვლება მუდმივი, ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვების მოქმედებისას, ხოლო ხანგრძლივი – მხოლოდ მუდმივი და ხანგრძლივი დატვირთვებისაგან.

ბზარმდეგობის I კატეგორიის კონსტრუქციების გაანგარიშებისას დატვირთვის მიხედვით საიმედოობის კოეფიციენტი  $\gamma_f > 1$ , ხოლო II და III კატეგორიის მოთხოვნა წაყენება სითხეებისა და გაზების წნევაზე მომუშავე წინასწარ დადაბულ

კონსტრუქციებს (რეზერვუარები, საწნო მილები), ასევე გრუნტის წყლების დაბლა მოთავსებულ ელემენტებს - მთლიანად გაჭიმული კვეთის ელემენტებს. დანარჩენი წინასწარდაძაბული ელემენტები მიეკუთვნება ბზარმდეგობის II ან III კატეგორიას, მუშაობის პირობებისა და გამოყენებული არმატურის სახეობის მიხედვით. დაუძაბავი რკინაბეტონის ყველა კონსტრუქცია უნდა აკმაყოფილებდეს III კატეგორიის მოთხოვნებს.

გარდა ნორმალური და დახრილი ბზარებისა კონსტრუქციაში შეიძლება წარმოიქმნას გრძივი ბზარები. მათი გახსნის თავიდან ასაცილებლად დაუძაბავ ელემენტებში აწყობენ სპეციალურ განივ არმატურას, ხოლო წინასწარდაძაბულ კონსტრუქციაში შეკუმშვის სტადიაში იზღუდება ბეტონის ძაბვები (0,5 - 0,7) R<sub>bp</sub> სიდიდით.

73. ბზარების წარმოქმნის გაანგარიშება

ბზარწარმოქმნაზე გაანგარიშებას საფუძვლად უდევს ელემენტის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის I სტადია. მიჩნეულია, რომ გაჭიმული ზონის ბეტონში ბზარი წარმოიქმნება, როცა ბეტონის წაგრძელება აღწევს ზღვრულ მნიშვნელობას და R<sub>bt,ser</sub> ძაბვას. ამ მომენტში ძაბვა დაძაბულ არმატურაში შეკუმშვის ჩაქრობის შემდეგ გაუტოლდება წინასწარი ძაბვის (დანაკარგებისა და დაძაბვის სიზუსტის კოეფიციენტის გათვალისწინებით) და გაჭიმული ბეტონის დეფორმაციით აღძრული ძაბვის ნამატის ჯამს

$$(\sigma_{sp} - \sigma_{eog})v_{sp} + 2\alpha R_{bt,ser}.$$

წინასწარდაძაბული ელემენტის დაუძაბავ არმატურაში ძაბვები ტოლია ბეტონის შეკლებით და ცოცვადობით აღძრული კუმშვის ძაბვებისა და გაჭიმული ბეტონის დეფორმაციით გამოწვეული გამჭიმვი ძაბვების ნამატის ჯამის:  $(\sigma_g - \sigma_g) + 2\alpha R_{bt,ser}$

ცენტრალურად გაჭიმულ ელემენტებში ბზარები არ წარმოიქმნება, თუ N გარე დატვირთვით აღძრული ძალვა არ გადააჭარბებს ბზარის წარმოქმნისას N<sub>crc</sub> კვეთის ძალვას:

დაუძაბავ ელემენტებში

$$N \leq N_{crc} = R_{bt,ser}A_b + \sigma_s A_s = R_{bt,ser}(A_b + 2\alpha A_s), \tag{7.1}$$

სადაც  $v_t = 0,5;$

$$\sigma \leq \epsilon_s E_s = \epsilon_{bt,u} E_s = R_{bt,ser} / v_t E_b E_s;$$

წინასწარ დაძაბულ ელემენტებში

$$N \leq R_{bt,ser}(A_b + 2\alpha A_s) + P.$$

სადაც P წინასწარი შეკუმშვის ძალვაა.

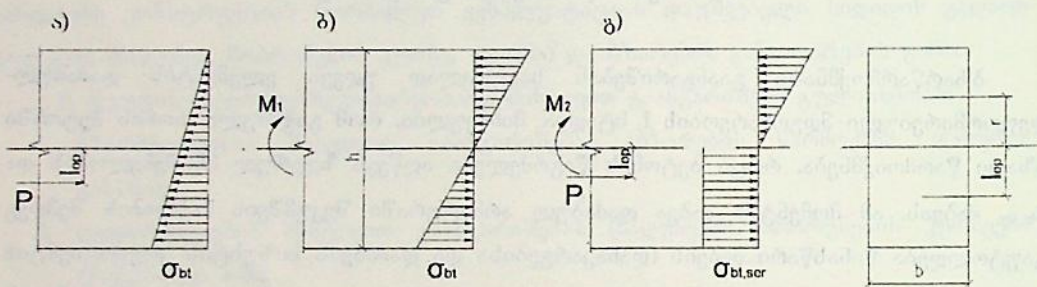
იგი საექსპლუატაციო სტადიისათვის გამოითვლება ყველა დანაკარგის, ხოლო შეკუმშვის სტადიისათვის მხოლოდ პირველი დანაკარგების გათვალისწინებით.

ღუნვად ელემენტებში ბზარები არ წარმოიქმნება, თუ გარე დატვირთვით გამოწვეული  $M$  მომენტი ბზარის წარმოქმნის მომენტში არ გადააჭარბებს გაჭიმული ზონის ბეტონში  $M_{cr}$  მომენტს

$$M \leq M_{cr}$$

წინასწარ დაძაბულ ღუნვად ელემენტებში ბზარის წარმოქმნას ეწინააღმდეგება მომკუმშავი ძალა, რომელიც ქვედა გაჭიმულ ზონაში კუმშვის ძაბვებს აძრავს (ნახ. 7.1):

$$\sigma_{sp} = P/A_{red} + P_{lop} / W_{red}, \quad (7.2)$$



ნახ. 7.1. ბზარის წარმოქმნის მომენტი ღუნვად ელემენტებში

სადაც  $P$  გრძივი არმატურის ძალვათა ტოლქმედია შესაბამისი დანაკარგების გათვალისწინებით.

ბზარის წარმოქმნისას საჭიროა დაკმაყოფილდეს პირობა:

$$P = A_{sp} \sigma_{sp} + A_{sp}' \sigma_{sp}' + A_s' \sigma_s, \quad (7.3)$$

სადაც  $W_{red}$  დრეკადი წინაღობის მომენტი;  $W_{red} = I_{red} / Y_0$ ;  $I_{red}$  - დაყვანილი კვეთის ინერციის მომენტი სიმძიმის ცენტრზე გამავალი დერძის მიმართ;  $Y_0$  - მანძილი სიმძიმის ცენტრიდან ბზარმედგობის შესამოწმებელ ბოჭკომდე.

ბზარის წარმოქმნის მომენტი წინასწარ დაძაბულ ელემენტში შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს ორი შესაკრების - ბეტონის კიდურა ბოჭკოში შეკუმშვის ძაბვის 0-მდე შემამცირებელი  $M_1$  მომენტისა და იმავე ბოჭკოში ძაბვის 0-დან  $R_{bt,ser}$ -მდე ამამაღლებელი  $M_2$  მომენტის ჯამის სახით:

$$M_{cr} = M_1 + M_2, \quad (7.4)$$

$M_1$  მომენტის შემოქმედებისას იგულისხმება ბეტონის დრეკადი მუშაობა მთელ კვეთში. ძაბვათა ეპიურა მიიღება სამკუთხა როგორც შეკუმშულ, ისე გაჭიმულ ზონებში (ნახ. 7.1,ბ). ამიტომ მომენტი შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს მასალათა გამძლეობის ცნობილი ფორმულით:

$$M_1 = W_{red} \sigma_{sp} \quad (7.5)$$

(7.3)-ის ჩასმით (7.5)-ში მივიღებთ

$$M_1 = W_{red} (P/A_{red} + P I_{op}/W_{red}) = P (W_{red}/A_{red} + I_{op}) = P(r + I_{op}) = M_{rp}, \quad (7.6)$$

სადაც  $r = W_{red}/A_{red}$  მანძილია დაყვანილი კვეთის სიმძიმის ცენტრიდან ზედა ბირთვულ წერტილამდე (ნახ. 7.1, გ);  $M_{rp}$  - მოკუმშვის ძალთა მომენტი უფრო დაშორებული ზედა ბირთვული წერტილის მიმართ.

$M_2$  შესაკრების განსაზღვრისას ნორმალურ ძაბვათა ეპიურა შეკუმშულ ზონაში სამკუთხა მიიღება, ხოლო გაჭიმულ ზონაში -  $R_{bt,ser}$  ძაბვის ტოლი მართკუთხა ფორმის. ასეთი ეპიურა ითვალისწინებს გაჭიმულ ზონაში პლასტიკურ დეფორმაციებს და საკმაოდ უახლოვდება ცდის მონაცემებს. ამ შემთხვევაში

(ნახ. 7.1, გ)

$$M_2 = W_{pl} R_{bt,ser}, \quad (7.7)$$

სადაც  $W_{pl}$  რკინაბეტონის კვეთის კიდურა ბოჭკოს დრეკად-პლასტიკური წინაღობის მომენტია

$$W_{pl} = W_{red} \Psi,$$

სადაც  $\Psi$  კოეფიციენტი ითვალისწინებს გაჭიმული ზონის ბეტონის არადრეკად დეფორმაციებს [1]; სწორკუთხა კვეთისათვის  $\Psi = 1,75$ . (7.6)-სა და (7.7)-ის (7.4)-ში ჩასმით მივიღებთ -:

$$M \leq M_{crc} = R_{bt,ser} W_{pl} + M_{rp}. \quad (7.8)$$

განგარიშება დახრილი ბზარების წარმოქმნაზე გულისხმობს, რომ ელემენტში დახრილი ბზარები არ გაჩნდება, თუ სრულდება პირობა:

$$\sigma_{mt} \leq \gamma_{b4} R_{bt,ser}, \quad (7.9)$$

სადაც  $\gamma_{b4}$  კოეფიციენტი ითვალისწინებს ორდერძიანი დაძაბული მდგომარეობი გავლენას ბეტონის სიმტკიცეზე [1];  $\sigma_{sp}$  - მთავარი გამჭიმვი ძაბვა და სიმძიმის ცენტრის დონეზე გამოითვლება ფორმულით:

$$\sigma_{mt} \leq -\sigma_{mc} = J = Q / (bz),$$

სადაც  $z = I / S$  შიგა წვეილძალის მხარია.

#### 7.4 ბზარების გახსნის განგარიშება

დაპროექტების ნორმების მიხედვით ელემენტის გრძივი ღერძის მიმართ ნორმალური ბზარის გახსნის სიგანე  $\alpha_{crc}$  გამოითვლება ემპირიული ფორმულით, რომელიც მიღებულ შედეგებს ცდების შედეგებთან აახლოებს:

$$\alpha_{crc} = n\varphi_1 n_s / E_s \cdot 20(3,5 - 100\mu)^{1/3} \sqrt{d}, \quad (7.10)$$

სადაც  $n$  კოეფიციენტი ღუნვადია და გარეცენტრალურად შეკუმშულ ელემენტებისათვის  $n=1,6$ ; გაჭიმულათვის —  $n=1,2$ ;  $\varphi_1$  კოეფიციენტი დამოკიდებულია დატვირთვის ხანგრძლივობასა და დატვირთვის მოქმედების ხასიათზე, ბეტონის სახეობასა და მის მდგომარეობაზე: მოცემულია ცხრილში [1]; ხანმოკლე დატვირთვების გათვალისწინებისას მუდმივი და ხანგრძლივი დატვირთვების ხანმოკლე მოქმედებისას,  $\varphi_1=1$  მრავალჯერ განმეორებადი დატვირთვების ხანგრძლივი მოქმედებისას, ბუნებრივი ტენიანობის მძიმე ბეტონის კონსტრუქციებისათვის,  $\varphi_1=1,5$ ;

$\eta$  — კოეფიციენტი პერიოდული პროფილის ღეროებისათვის გლუვზედა  $\eta$  პირიანი ღეროებისათვის  $\eta=1,3$ ;  $\mu$  — გაჭიმული არმატურით დაარმატურების კოეფიციენტი  $\mu = 0,02$ ;  $n_s$  არმატურის განაპირა რიგის ღეროებში (წინასწარი დაძაბვისას)

ძაბვათა ნამატი, გარე დატვირთვის მოქმედებისაგან: დაუძაბავი ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტებისათვის —  $n_s = N/A_s$ ,

წინასწარი დაძაბვისას  $n_s = (N-P)/(A_{sp} + A_s)$ ; დაუძაბავი ცალფაარმატურიანი ღუნვადი ელემენტებისათვის  $n_s = M/A_s Z$ , წინასწარდაძაბული  $n_s = (M-P(Z-l_{sp})) / (A_{sp} + A_s) Z$ ;

$Z$  — შინაგან წყვილძალის მხარი. მანძილი არმატურის ფართობის სიმძიმის ცენტრიდან შეკუმშვის ძალის მოდების წერტილამდე.

ბზარმდეგობის II კატეგორიის ელემენტებისათვის ბზარების ხანმოკლე გახსნის სიგანე  $\alpha_{crc}$  გამოითვლება (7.10) ფორმულით, მუდმივი, ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვების მოქმედებისაგან. ბზარმდეგობის III კატეგორიის ელემენტებისათვის ბზარების ხანმოკლე გახსნის სიგანე გამოითვლება მუდმივი და ხანგრძლივი დატვირთვების ხანგრძლივი მოქმედებისაგან გახსნის სიგანის  $\alpha_{crc3}$  და ხანმოკლე დატვირთვების მოქმედებისაგან გახსნის სიგანის  $\alpha_{crc1} - \alpha_{crc2}$  ნამატის ჯამით:

$$\alpha_{crc} = \alpha_{crc1} - \alpha_{crc2} + \alpha_{crc3}, \quad (7.11)$$

სადაც  $\alpha_{crc}$  - ბზარების გახსნის საწყისი სიგანეა მუდმივი და ხანგრძლივი დატვირთვების ხანმოკლე მოქმედებისაგან, ხოლო  $\alpha_{crc1}$ ,  $\alpha_{crc2}$ ,  $\alpha_{crc3}$  მნიშვნელობები გამოითვლება (7.11) ფორმულით. დახრილი ბზარების გახსნის მიხედვით გაანგარიშებას ატარებენ [1]-ის მიხედვით.

## 7.5. ბზარების დახურვის გაანგარიშება

ბზარმდეგობის II კატეგორიის კონსტრუქციებში დასაშვებია შეზღუდული სიგანის ბზარების გახსნა სრული (მუდმივი, ხანგრძლივი და ხანმოკლე) დატვირთვების შემთხვევებისას შემდგომი საიმედო დახურვის (შეკუმშვის) პირობით (მუდმივი და ხანგრძლივი). ეს იმით აიხსნება, რომ არმატურის კოროზიისათვის საშიშია ბზარების ხანგრძლივი გახსნა. ბევრ შემთხვევაში მათი ხანმოკლე გახსნა არ არღვევს ექსპლუატაციის პირობებს. ამ გარემოების გათვალისწინება ბევრ შემთხვევაში ეკონომიას იძლევა.

გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ ნორმალური ბზარების საიმედო დახურვისათვის დაცული უნდა იქნეს შემდეგი მოთხოვნები:

ა) სრული დატვირთვის მოქმედებისაგან დაძაბულ არმატურაში არ უნდა აღიძრას არადრეკადი დეფორმაციები, რომელიც ხელს შეუშლის ბზარების დახურვას დატვირთვის შემცირებისას, რასაც უზრუნველყოფს პირობა:

$$n_p + n_s \leq 0.8 R_{s,ser}, \quad (7.12)$$

სადაც  $n_p$  წინასწარი ძაბვა არმატურაში ყველა დანაკარგის გათვალისწინებით;

$n_s$  ძაბვის ნაზარდი დაძაბულ არმატურაში გარე დატვირთვების მოქმედებისაგან, რომელიც გამოითვლება (7.10) ფორმულის მიხედვით.

ბ) ელემენტის გაჭიმული ზონის ბზარიანი კვეთი უნდა დარჩეს შეკუმშული ხანგრძლივი დატვირთვების მოქმედებისას. ამასთან, კუმშვის ნორმალური ძაბვა  $n_s$  ელემენტის გარე დატვირთვებით გაჭიმულ კიდეზე არ უნდა იყოს 0.5მპა-ზე ნაკლები.  $n_s$  ძაბვა გამოითვლება დრეკადი ტანის, გარე დატვირთვისა და წინასწარი შეკუმშვის  $P$  ძალით:

$$n_s = [P(l_{op} + r) - M] / W_{red} \geq 0,5 \text{მპა}, \quad (7.13)$$

სადაც  $P$  გამოითვლება (1.3) ფორმულით:  $r = W_{red} / A_{red}$ .

დახრილი ბზარის ბეტონის კვეთში საიმედო დახურვისათვის ორივე მთავარი ძაბვა უნდა იყოს მკუმშავი და 0.5მპა-ზე არანაკლები.

## 7.6. რკინაბეტონის კონსტრუქციების დეფორმაციების — ჩაღუნვების გაანგარიშება

გაანგარიშების მიზანია ჩაღუნვის შეზღუდვა დასაშვებ ზღვრამდე. ელემენტის ნორმალური ექსპლუატაციის აუცილებელი პირობაა:

$$f \leq f_{lim} = (1/200 + 1/600) \ell, \quad (7.14)$$

სადაც  $\ell$  მალა;

$f$  ჩაღუნვის სიდიდე გამოითვლება ფორმულით:

$$f = \int_0^l \overline{M}_x \left( \frac{1}{r} \right) x^{\alpha} \quad (7.15)$$

ან გამარტივებულად

$$f = \varphi_m \left( \frac{1}{r} \right) l_0^2 \quad (7.16)$$

თუ ელემენტი მუშაობს ბზარების გარეშე, მაშინ სიმრუდე

$$\frac{1}{r} = \frac{M \varphi_{b2}}{0.85 E_b I_{red}} ; \quad (7.17)$$

ბზარებით მუშაობისას სიმრუდე

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{z h_0} \left( \frac{\psi_s}{E_s A_s} + \frac{\psi_b}{\nu E_b A_b} \right) \quad (7.18)$$

სადაც  $\overline{M}_x$  ერთეული ძალისაგან გამოწვეული მომენტია X კვეთში;

$\psi = n_{sm} / n_s$ ;  $\psi_b = n_{bm} / n_b$  - კოეფიციენტები ითვალისწინებს ელემენტის დერძის გასწვრივ დაბრუნებას უთანაბრობას გაჭიმულ არმატურასა და შეკუმშულ ბეტონში;

$n_{sm}$  და  $n_{bm}$  - საშუალო ძაბვებია გაჭიმულ არმატურასა და შეკუმშულ ბეტონში;  $\psi_b$  - კოეფიციენტი ითვალისწინებს დატვირთვის სახეობის გავლენას ჩაღუნვაზე.

ორ საყრდენზე თავისუფლად დაყრდნობილი კოჭისათვის: თანაბრად განაწილებული დატვირთვის მოქმედებისას  $\varphi_m = 5/48$ ; შეყურსული დატვირთვის მოქმედებისას მალის შუაში  $\varphi_m = 1/12$ ;  $\varphi_b$  ბეტონის ხანგრძლივი ცოცვალობის გავლენაა სიმრუდეზე; ხანმოკლე დატვირთვის შემთხვევაში  $\varphi_{b2} = 1$ ; მუდმივი და ხანგრძლივი დატვირთვისას ჰაერის ტენიანობისა და ბეტონის სახეობის მიხედვით  $\varphi_{b2} = 2 \dots 4, 5$ . 0.85 კოეფიციენტი ითვალისწინებს მიკრობზარებისა და ბეტონის ხანმოკლე ცოცვალობის სიხისტეზე გავლენას.

სრული ჩაღუნვა

$$f = f_1 - f_2 + f_3 - f_4, \quad (7.19)$$

სადაც  $f$  სრული დატვირთვის ხანმოკლე ჩაღუნვაა;  $f_1$  და  $f_2$  - ხანგრძლივი დატვირთვის ხანმოკლე და ხანგრძლივი ჩაღუნვები;  $f_4$  - აღუნვა წინასწარი დაძაბვისაგან.  $f_4 = 0$  დაუძაბავი რკინაბეტონისათვის.

ര ഛ ഛ ത റ

წინაღობის სახეობა	R <sub>h</sub> და R <sub>h</sub> ბეტონის საანგარიშო წინაღობები პირველი ზღვრული მდომარეობებისას, შემდეგი კლასების ბეტონებისათვის სიმკვრივის მიხედვით კუმულურ																		
	B 1	B 1,5	B 2	B 2,5	B 3,5	B 5	B 7,5	B 10	B 12,5	B 15	B 20	B 25	B 30	B 35	B 40	B 45	B 50	B 55	B 60
R <sub>h</sub> ღერძული კუმულა	--	--	--	2,1	2,8	4,5	6,0	7,5	8,5	11,5	14,5	17,0	19,5	22,0	25,0	27,5	30,0	33,0	33,0
	--	--	1,5	2,1	2,8	4,5	6,0	7,5	8,5	11,5	14,5	17,0	19,5	22,0	--	--	--	--	--
	--	--	15,3	21,4	28,6	45,9	61,2	76,5	86,7	117	148	173	199	224	--	--	--	--	--
	--	--	0,26	0,37	0,48	0,57	0,66	0,75	0,75	0,90	1,05	1,20	1,30	1,40	1,45	1,55	1,60	1,65	1,65
	--	--	2,65	3,77	4,89	5,81	6,73	7,65	7,65	9,18	10,7	12,2	13,3	14,3	14,8	15,8	16,3	16,8	16,8
	--	--	0,26	0,37	0,48	0,57	0,66	0,75	0,75	0,90	1,05	1,20	1,30	1,40	--	--	--	--	--
	--	--	2,65	3,77	4,89	5,81	6,73	7,65	7,65	9,18	10,7	12,2	13,3	14,3	--	--	--	--	--
	--	--	0,17	0,27	0,40	0,45	0,57	0,64	0,64	0,77	0,90	1,00	--	--	--	--	--	--	--
	--	--	1,73	2,75	4,08	4,59	5,81	6,53	6,53	7,85	9,18	10,2	--	--	--	--	--	--	--
	--	--	--	--	--	--	--	--	0,75	0,90	1,05	1,20	1,30	1,40	1,45	1,55	1,60	1,65	1,65
	--	--	--	--	--	--	--	--	7,65	9,18	10,7	12,2	13,3	14,3	14,8	15,8	16,3	16,8	16,8
	--	--	0,20	0,26	0,37	0,48	0,57	0,66	0,75	0,90	1,05	1,20	1,30	1,40	--	--	--	--	--
	--	--	2,04	2,65	3,77	4,89	5,81	6,73	7,65	9,18	10,7	12,2	13,3	14,3	--	--	--	--	--
	--	--	0,20	0,26	0,37	0,48	0,57	0,66	0,74	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	--	--	--	--	--
	--	--	2,04	2,65	3,77	4,89	5,81	6,73	7,55	8,16	9,18	10,2	11,2	12,2	--	--	--	--	--

შენიშვნები: 1. ხაზზევითა წინაღობის მნიშვნელობები მოცემულია МР-ით, ხაზქვევითა — კმ/სმ<sup>2</sup>;  
 2. ცხრილში მოყვანილი R<sub>h</sub> და R<sub>h</sub> სპეციფიკაციებზე აღამრავლება მუშაობის პირობების შესაბამისად;  
 3. ბეტონის სხვა სახეობებისათვის წინაღობები იხილეთ СН II 2.03.01 — 84 13-ე ცხრილში.

არმატურის კლასი	არმატურის დრეკადობის მოდული $E_s \cdot 10^{-4} \text{MPa}$ (კგძ/სმ <sup>2</sup> )	ლეროვანი არმატურა, კლასი	არმატურის ნორმატიული წინაღობა გაჭიმვაზე ( $R_{sn}$ ) და საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე ( $R_{s,ser}$ ) II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისათვის, $\text{MPa}$ (კგძ/სმ <sup>2</sup> )
A-I, A-II	21(210)	A-I	235(2400)
A-III;	20(200)	A-II	295(3000)
A-IV; A-V; A-VI; A-VII	19(190)	A-III	390(4000)
A - III <sub>B</sub>	18(180)	A-IV	590(6000)
B-II, Bp-II;	20(200)	A-V	785(8000)
K-7; K-19	18(180)	A-VI	980(10000)
Bp-I	17(170)	A-VII	1175(12000)
		A - III <sub>B</sub>	540(5500)

ლეროვანი არმატურა, კლასი	არმატურის საანგარიშო წინაღობა I ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისათვის, $\text{MPa}$ (კგძ/სმ <sup>2</sup> )		
	გ ა ჭ ი მ ვ ა ზ ე		
	გრძივი, განივი (საკიდებ ბისა და აღუნული ღეროების) არმატურისათვის დახრილი კვეთების სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას მდუნავი მომენტების მოქმედებაზე, $R_s$	განივი(საკიდებისა და აღუნული ღეროების) არმატურისათვის დახრილი კვეთების სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას განივი მოქმედებაზე, $R_{sw}$	კუმშვაზე $R_{sc}$
A-I	225(2300)	175(1800)	2259(2300)
A-II	280(2850)	225(2300)	280(2850)
A-III დიამეტრით:			
6÷8	355(3600)	285* (2900)	355(3600)
10÷40	365(3750)	290* (3000)	365(3750)
A-IV	510(5200)	405(4100)	400(4000)
A-V	680(6950)	545(5550)	400(4000)
A-VI	815(8300)	650(6650)	400(4000)
A-III <sub>B</sub> : ძაბვებისა და წაგრძელების კონტროლით	490(5000)	390(4000)	200(2000)
მხოლოდ წაგრძელების კონტროლით	450(4600)	360(3700)	200(2000)

\*შედულებული კარკასების შედგენილობაში A - III კლასის არმატურისათვის, რომლის დიამეტრი ნაკლებია გრძივი მუშა არმატურის დიამეტრის მესამედზე,  $R_{sw}$  მიიღება 255  $\text{MPa}$  (2600 კგძ/სმ<sup>2</sup>) ტოლი.

მავთულენი არმატურა, კლასი	არმატურის დიამეტრი, მმ	Rsn ნორმატიული წინაღობა გაჭიმვაზე და Rs,ser საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისათვის,  MPa (კგძ/სმ²)
Bp-I	3	410(4200)
	4	405(4150)
	5	395(4050)
B-II	3	1500(15300)
	4	1400(14250)
	6	1300(13250)
	7	1175(12000)
	8	1200(12200)
Bp-II	3	1500(15300)
	4-5	1400(12500)
	6	1200(12200)
	7	1100(11200)
	8	1000(10200)
K-7	6-12	1500(15300)
	15	1400(15300)
K-19	14	1410(14400)

მავთულოვანი არმატურა, კლასი	არმატურის დიამეტრი, მმ	მავთულოვანი არმატურის საანგარიშო წინაღობა I ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისათვის,		
		MPa (კგძ/სმ <sup>2</sup> )		
		გაჭიმვაზე		კუმშვაზე Rsc
გრძივი არმატურისათვის Rs	განივი(საკიდებისა და აღუნული ) Rsw			
<b>Bp-I</b>	3-5	410(4200)	230(3000)*	375(3850)**
<b>B-II</b>	3	1250(12750)	1000(10200)	
	4-5	1170(11900)	940(9600)	
	6	1050(10700)	835(8500)	
	7	1000(9300)	785(8000)	
	8	915(9300)	730(7450)	
<b>Bp-II</b>	3	1250(12750)	1000(10200)	500(5100)**
	4-5	1170(11900)	940(9600)	
	6	1000(10200)	785(8000)	
	7	915(9300)	730(7450)	
	8	850(8700)	680(6950)	
<b>K-7</b>	6-12	1250(12750)		
	15	1180(8700)	1000(10200) 945(9600)	
<b>K-19</b>	14	1250(12750)	1000(10200)	

მნიშვნელობები მოცემულია შეკრულ კარკასებში გამოყენებული არმატურისათვის

ცალფაარმატურიანი მართკუთხა კვეთის ღუნვადი ელემენტების სიმტკიცეზე  
საანგარიშო კოეფიციენტების ცხრილი

$\xi = x / h_0$	$\eta = z / h_0 = 1 - 0,5 \xi$	$A_0 = \xi(1 - 0,5\xi)$	$\xi = x / h_0$	$\eta = z / h_0 = 1 - 0,5 \xi$	$A_0 = \xi(1 - 0,5\xi)$
0,01	0,995	0,01	0,37	0,815	0,301
0,02	0,99	0,02	0,38	0,81	0,309
0,03	0,985	0,03	0,39	0,805	0,314
0,04	0,98	0,039	0,4	0,8	0,32
0,05	0,975	0,048	0,41	0,795	0,326
0,06	0,97	0,058	0,42	0,79	0,332
0,07	0,965	0,067	0,43	0,785	0,337
0,08	0,96	0,077	0,44	0,78	0,343
0,09	0,955	0,085	0,45	0,775	0,349
0,1	0,95	0,095	0,46	0,77	0,354
0,11	0,945	0,104	0,47	0,765	0,359
0,12	0,94	0,113	0,48	0,76	0,365
0,13	0,935	0,121	0,49	0,755	0,37
0,14	0,93	0,13	0,5	0,75	0,375
0,15	0,925	0,139	0,51	0,745	0,38
0,16	0,92	0,147	0,52	0,74	0,385
0,17	0,915	0,155	0,53	0,735	0,39
0,18	0,91	0,164	0,54	0,73	0,394
0,19	0,905	0,172	0,55	0,725	0,399
0,2	0,9	0,18	0,56	0,72	0,403
0,21	0,895	0,185	0,57	0,715	0,406
0,22	0,89	0,196	0,58	0,71	0,412
0,23	0,885	0,203	0,59	0,705	0,416
0,24	0,88	0,211	0,6	0,7	0,42
0,25	0,875	0,219	0,61	0,695	0,424
0,26	0,87	0,226	0,62	0,69	0,428
0,27	0,965	0,236	0,63	0,685	0,432
0,28	0,86	0,241	0,64	0,68	0,435
0,29	0,855	0,248	0,65	0,675	0,439
0,3	0,85	0,255	0,66	0,672	0,442
0,31	0,845	0,262	0,675	0,665	0,446
0,32	0,84	0,269	0,68	0,66	0,449
0,33	0,8,35	0,275	0,69	0,655	0,452
0,34	0,832	0,282	0,7	0,65	0,455
0,35	0,825	0,289			
0,36	0,82	0,295			

გრძივი ღუნვის კოეფიციენტები

N <sub>e</sub> /N	Φ <sub>e</sub> კოეფიციენტები ლ <sub>0</sub> /h სიდიდეებისათვის							
	6	8	10	12	14	16	18	20
0	0,93	0,92	0,91	0,9	0,89	0,88	0,86	0,84
0,5	0,92	0,91	0,9	0,89	0,86	0,82	0,78	0,72
1,0	0,92	0,91	0,89	0,86	0,82	0,76	0,69	0,61

N <sub>e</sub> /N	Φ <sub>e</sub> კოეფიციენტები ლ <sub>0</sub> /h სიდიდეებისათვის							
	6	8	10	12	14	16	18	20

ა. როდესაც განსახილველი სიბრტყის პარალელურ წახნაგთან განლაგებული შუალედური ღეროების ფართობი 1/3 (As+As')- ზე ნაკლებია

0	0,93	0,92	0,91	0,9	0,89	0,88	0,86	0,84
0,5	0,92	0,92	0,91	0,89	0,88	0,86	0,83	0,79
1,0	0,92	0,91	0,9	0,89	0,87	0,84	0,79	0,74

ა. როდესაც განსახილველი სიბრტყის პარალელურ წახნაგთან განლაგებული შუალედური ღეროების ფართობი 1/3 (As+As')- ზე ტოლია ან მეტია

0	0,92	0,92	0,91	0,89	0,87	0,85	0,82	0,79
0,5	0,92	0,91	0,9	0,88	0,85	0,81	0,76	0,71
1,0	0,92	0,91	0,89	0,86	0,82	0,77	0,7	0,63

ცხრილში მიღებული აღნიშვნები:

N<sub>e</sub> - გრძივი ძალა გამოწვეული მუდმივი და ხანგრძლივი დროებითი დატვირთვით;

N - გრძივი ძალა გამოწვეული სრული საანგარიშო დატვირთვით.

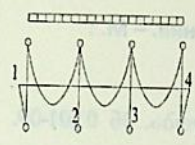
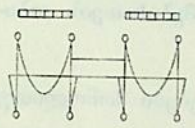
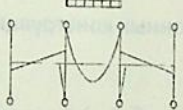
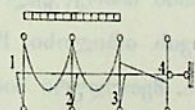
დანართი 8

არმატურის განკვეთის საანგარიშო ფართობები და მასა, ღეროვანი და მკობილი არმატურის სორტების მიხედვით

შპ	განკვეთის საანგარიშო ფართობები (სმ²) ღეროვან რადიუსის მიხედვით										მასა, კგ/მ	შპ	სხვადასხვა ღეროვანი არმატურის სორტების მიხედვით						მკობილი არმატურა			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			A-I	A-II	A-III	A-IV	A-V	A-VI		A-VII	A-VIII	
3	0,071	0,14	0,21	0,28	0,35	0,42	0,49	0,57	0,64	0,71	0,055 (0,051)	3	X								X	
4	0,126	0,25	0,38	0,50	0,63	0,76	0,88	1,01	1,13	1,26	0,096 (0,090)	4	X									X
5	0,196	0,39	0,59	0,79	0,98	1,18	1,37	1,57	1,77	1,96	0,154 (0,139)	5	X									X
6	0,283	0,57	0,85	1,13	1,42	1,70	1,98	2,26	2,55	2,83	0,222 (0,202)	6	X									X
7	0,385	0,77	1,15	1,54	1,92	2,31	2,69	3,08	3,46	3,85	0,302 (0,277)	7	X									X
8	0,503	1,01	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,53	5,03	0,395 (0,365)	8	X									X
9	0,636	1,27	1,91	2,54	3,18	3,82	4,45	5,09	5,72	6,36	0,499 (0,464)	9	X									X
10	0,785	1,57	2,26	3,14	3,93	4,71	5,5	6,28	7,07	7,85	0,617 (0,577)	10	X									X
12	1,131	2,26	3,39	4,52	5,65	6,79	7,92	9,05	10,18	11,31	0,888 (0,833)	12	X									X
14	1,539	3,08	4,62	6,16	7,69	9,23	10,77	12,31	13,85	15,39	1,208 (1,141)	14	X									X
16	2,011	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,10	20,11	1,578 (1,501)	16	X									X
18	2,545	5,09	7,63	10,18	12,72	15,27	17,81	20,36	22,90	25,45	1,998 (1,911)	18	X									X
20	3,142	6,28	9,41	12,56	15,71	18,85	21,99	25,14	28,28	31,42	2,466 (2,366)	20	X									X
22	3,801	7,6	11,4	15,20	19,00	22,81	26,61	30,41	34,21	38,01	2,984 (2,874)	22	X									X
25	4,409	9,82	14,73	19,63	24,54	29,45	34,36	39,27	44,13	49,09	3,853 (3,733)	25	X									X
28	6,158	12,32	18,47	24,63	30,79	36,95	43,1	49,26	55,42	61,58	4,834 (4,704)	28	X									X
32	8,042	16,08	24,13	32,17	40,21	48,25	56,30	64,34	72,38	80,42	6,313 (6,173)	32	X									X
36	10,18	20,36	30,54	40,72	50,9	61,08	71,26	81,44	91,62	101,80	7,990 (7,840)	36	X									X
40	12,56	25,12	37,68	50,24	62,8	75,36	87,92	100,48	113,04	125,60	9,870 (9,700)	40	X									X

შენიშვნები: 1. X ნიშნით აღნიშნულია დამატებითი რაოდენობის მკობილი არმატურის განკვეთის საანგარიშო ფართობები და მასა, ღეროვანი და მკობილი არმატურის სორტების მიხედვით.  
2. ფართობები აღნიშნულია მკ — 1 კლასის მკობილების მიხედვით.

სვეტებთან ხისტად ჩამაგრებული ჩარჩოს განაპირა საყრდენი რიგელები

№	დატვირთვის სქემები და საყრდენი მომენტები	k	საყრდენი მომენტები			
			M <sub>12</sub>	M <sub>21</sub>	M <sub>23</sub>	M <sub>32</sub>
1		0,5	-0,072	-0,090	-0,083	-0,083
		1	-0,063	-0,091	-0,085	-0,085
		2	-0,054	-0,093	-0,087	-0,087
		3	-0,046	-0,095	-0,088	-0,088
		4	-0,039	-0,097	-0,089	-0,089
		5	0,033	-0,099	-0,090	-0,090
		6	-0,027	-0,100	-0,091	-0,091
2		0,5	-0,077	-0,079	-0,006	-0,006
		1	-0,07	-0,074	-0,012	-0,012
		2	-0,062	-0,068	-0,018	-0,018
		3	-0,055	-0,065	-0,022	-0,022
		4	-0,048	-0,063	-0,026	-0,026
		5	-0,042	-0,063	-0,028	-0,028
		6	-0,036	-0,062	-0,030	-0,030
3		0,5	0,005	-0,011	-0,077	-0,077
		1	0,007	-0,017	-0,073	-0,073
		2	0,008	-0,025	-0,069	-0,069
		3	0,009	-0,025	-0,066	-0,066
		4	0,009	-0,030	-0,063	-0,063
		5	0,009	-0,036	-0,062	-0,062
		6	0,009	-0,038	-0,061	-0,061
4		0,5	-0,071	-0,092	-0,088	-0,072
		1	-0,062	-0,095	-0,094	-0,066
		2	-0,052	-0,101	-0,098	-0,059
		3	-0,045	-0,107	-0,100	-0,054
		4	-0,037	-0,112	-0,102	-0,05
		5	-0,032	-0,115	-0,104	-0,046
		6	-0,026	-0,117	-0,105	-0,043

1. ნინუა. რკინაბეტონის კონსტრუქციები. თბილისი: განათლება, . 1988წ.
2. Байков В.Н., Сигалов Э. Е. Железобетонные конструкции. Специальный курс.— М.: Стройиздат, 2003.
3. საქართველოს სამშენებლო ნორმები და წესები. ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციები. პნ 03.01 – 07. თბილისი, 2007.
4. Кувалдин А.Н. и Г.С.Клевцова Г.С. Примеры расчета железобетонных конструкций Зданий.— Москва.: Стройиздат, 1976.
5. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования. — М. : Стройиздат, 1987.
6. სამშენებლო ნორმები და წესები. სეისმომედეგი მშენებლობა. პნ 01.01-09. თბილისი, 2009.
7. Бондаренко В.М. Железобетонные и каменные конструкции. — М. : ВШ, 2004.
8. ჯ. ესაიაშვილი, ლ.კახიანი და სხვ. მეთოდური მითითებები მონოლითური რკინაბეტონის სართულთშორისი გადახურვის გაანგარიშებისათვის. თბილისი: სტუ, 2005.
9. ლ.ვეველესიანი, ლ.კახიანი, ნ.ტაბატაძე. მეთოდური მითითებები მონოლითური რკინაბეტონის სართულთშორისი გადახურვის გაანგარიშებისათვის. თბილისი: სტუ, 1992 წ.
10. Байков В.Н., Сигалов Э.У. Железобетонные конструкции. Общий курс.— М.: Стройиздат, 1985.
11. Попов Н.Н., Забегаев А.В. Проектирование и расчет железобетонных конструкций. —М.: «Высшая школа», 1985.
12. ი. ტაბატაძე. მეთოდური მითითებები ასაწყობი რკინაბეტონის პანელური კოჭოვანი სართულთშორისი გადახურვის გაანგარიშებისათვის. თბილისი: სტუ, 1992.
13. ლ. ავალიშვილი. მეთოდური მითითებები ერთსართულიანი სამრეწველო კარკასული შენობის განივი ჩარჩოს გაანგარიშებისათვის. თბილისი, 1990.
14. ლ. კახიანი, ლ. ბალანჩივაძე, ა. ლებანიძე, მ. ჭანტურია. მეთოდური მითითება მრავალსართულიანი რკინაბეტონის კარკასული შენობის გაანგარიშებისათვის. თბილისი: სტუ, 2010.
15. გ.ჯაფარიძე, ა.სოხაძე. რკინაბეტონის კონსტრუქციები. მოკლე კურსი მაგისტრებისათვის. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2003წ.
16. მ. მარჯანიშვილი, ლ. მარჯანიშვილი, შ. მარჯანიშვილი. თანამედროვე სეისმომედეგი შენობების და გაანგარიშების მეთოდები. თბილისი: თსუ, 2002 წ.

17. Справочник проектировщика: расчетно- теоретический. под ред Уманского А.А. М.:  
Стройиздат, 1972.

18.Трепененков Р.Н. Альбом чертежей конструкций и деталей промышленных зданий. —  
—М.: Издательство литературы по строительству, 1980.

19. ნ. ნინუა. ნორმატიული მასალები რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტე-  
ბისათვის. მეთოდური მითითებები. თბილისი, 1989.

20. გ. ჯაფარიძე. რკინაბეტონისა და ქვის კონსტრუქციები. თბილისი, 2008 .

რედაქტორი ლ. მამალაძე

კომპიუტერული უზრუნველყოფა: ა. ცაკიაშვილის, გ. სულავასი

გადაეცა წარმოებას 11.05.2011. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 13.07.2011. ქაღალდის ზომა 60X84 1/8. პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 5,5. ტირაჟი 100 ეგზ.

საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, კოსტავას 77



Verba volant,  
scripta manent



ISBN 978-9941-14-962-7



9 789941 149627