ნ. ნინუა

რკინაბეტონის კონსტრუქციები

38.53
624.92
ნ 678

ნაშრომში მოცემულია ზოგადი ცნობები სამრეწველო და სამოქალაქო შენობების რკინაბეტონის სამშენებლო კონსტრუქციების შესახებ, რკინაბეტონის წინაღობის თეორიის საფუძვლები, ჩეულებრივი (დაუძაბავი) და წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ელემენტების კონსტრუქციული გადაწყვეტისა და გაანგარიშების საფუძვლები.

სახელმძღვანელო შედგენილია საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის „სამრეწველო და სამოქალაქო მშენებლობის“ სპეციალობის (1202) სალამოსა და დაუსწრებელი სწავლების სტუდენტებისათვის.

რეცენზენტები: ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი,
პროფესორი **ი. ბერიშვილი**

ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი,
დოცენტი **მ. წულეისკირი**

Н $\frac{3305000000—093}{M—602(08)—88}$ 336—88

© გამომცემლობა „განათლება“, 1988

ISBN 5—505—00186—6

შ ე ს ა ვ ა ლ ი

რკინაბეტონი, სხვა ტრადიციულ საშენ მასალებთან შედარებით, ძალზე ახალგაზრდაა. მისი გამოყენების ისტორია მოიცავს მხოლოდ ერთ საუკუნეზე რამდენადმე მეტ ხანს.

პირველი უმარტივესი, არასრულყოფილი რკინაბეტონის კონსტრუქციები გამოჩნდა 1860—1880 წლებში, როდესაც მისი წინაღობის თეორიის საფუძვლები ჯერ კიდევ არ იყო ჩამოყალიბებული. რკინაბეტონის კონსტრუქციული ფორმებისა და ბეტონის ტექნოლოგიის ფართო კვლევის შედეგად XIX საუკუნის დასასრულს უკვე შეიქმნა რკინაბეტონის გაანგარიშების მეთოდი (დასაშვები ძაბვების მიხედვით).

რკინაბეტონის ტექნოლოგიისა და კონსტრუქციული ფორმების განვითარება, რკინაბეტონის თეორიის სრულყოფაზე მუშაობა მიმდინარეობს განუწყვეტლივ. მშენებლობის ინდუსტრიალიზაციისა და ტექნიკის პროგრესის პირობებში ისპობა (ან მცირდება) რკინაბეტონის ის ნაკლოვანებები, რომელთა არსებობა წინათ გარდუვალად ითვლებოდა.

შეიქმნა რკინაბეტონის პროგრესული ნაირსახეობები, რომელთაგან პირველ რიგში აღსანიშნავია წინასწარ დაძაბული და ასაწყობი რკინაბეტონი.

რკინაბეტონი მშენებლობის პრაქტიკაში დამკვიდრდა როგორც ძირითადი საკონსტრუქციო საშენი მასალა. მომავლის მეცნიერული პროგნოზის თანახმად იგი შეინარჩუნებს ამ უპირატესობას უახლოესი 25—50 წლის განმავლობაში.

უკანასკნელ ხანს კიდევ უფრო გაფართოვდა რკინაბეტონის გამოყენების არე; იგი მკვიდრდება ახალ დარგებში, როგორიცაა სამრეწველო ობიექტები აგრესიული გარემოთი, რეაქტორები და მათი დამცავი გარსები, სხვადასხვა დანიშნულების სატევები, ზღვების სიღრმიდან ნავთობისა და გაზის მოსაპოვებელი ნაგებობები და სხვ.

გამოყენების ახალი დარგები ახალ მოთხოვნებს უყენებს რკინაბეტონის კონსტრუქციებისა და მასალების თვისებებს.

რკინაბეტონის თვისებები უნდა შეესაბამებოდეს მშენებლობისა და ექსპლუატაციის პირობებს, რათა უზრუნველყოფილ იქნეს კონსტრუქციის საიმედოობა და ხანგამძლეობა ისე, რომ სრულად იყოს გამოყენებული რკინაბეტონის შესაძლებლობები. ამ ამოცანის გადაჭრა ეკისრება რკინაბეტონის თეორიას.

რკინაბეტონის თეორია აძლევს საანგარიშო შეფასებას კონსტრუქციის მდგომარეობას სამსახურის დაგეგმილი ვადის განმავლობაში დატვირთვასა და ყოველგვარ ზემოქმედებაზე.

კონსტრუქციის მდგომარეობის საანგარიშო შეფასებას საფუძვლად უდევს ექსპერიმენტული და თეორიული გამოკვლევები, რომელთა შედეგი

დაპროექტების პრაქტიკაში გამოყენებული იქნება მხოლოდ დაპროექტების ნორმებში მათი ასახვის შემდეგ.

დაპროექტების ნორმები სამშენებლო ნორმებისა და წესების ერთი (სახელდობრ მე-2) ნაწილია. სამშენებლო ნორმები და წესები (СНиП) არის საბჭოთა კავშირის მშენებლობაში საყოველთაოდ სავალდებულო ძირითადი ნორმატიული დოკუმენტების კრებული. იგი ძირითადი სამუშაო საბუთია დამპროექტებლებისა და მშენებლებისათვის და შედგება 5 ნაწილისაგან: 1. ორგანიზაცია, მართვა, ეკონომიკა; 2. დაპროექტების ნორმები; 3. სამუშაოთა ორგანიზაცია, წარმოება და მიღება; 4. სახარჯთაღრიცხვო ნორმები; 5. მატერიალური და შრომითი რესურსების ხარჯვის ნორმები.

დაპროექტების ნორმები სრულად ვერ ასახავს კვლევის შედეგად დაგროვილ ცოდნას, მაგრამ ისეთი საკითხები, რომელთა გავლენა ეკონომიკის ეფექტიანობაზე მნიშვნელოვანია, ნორმებში შედის.

დაპროექტების ნორმები მეცნიერებისა და ტექნიკის განვითარების კვალობაზე დროდადრო იცვლება. ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტების ნორმების ახალი რედაქცია, ნაცვლად აქამდე მოქმედი СНиП II—21—71-ისა, დამტკიცებულია სსრკ-ს მშენებლობის საქმეთა სახელმწიფო კომიტეტის მიერ 1984 წ. და ძალაში შევიდა 1986 წ. 1 იანვრიდან აღნიშვნით СНиП 2.03.01—84.

ახალ ნორმებში აისახა ისეთი საკითხები, როგორიცაა წვრილმარცვლოვანი და დამძაბავი ბეტონების გამოყენება.

დაპროექტების ახალი ნორმები შედგენილია ერთეულთა საერთაშორისო სისტემის შესაბამისად (*SI*); მიღებულია ახალი ასოითი აღნიშვნები თანახმად საბჭოთა კავშირში სახელმწიფო სტანდარტებად აღიარებული ურთიერთდახმარების საბჭოს სტანდარტებისა СТ СЭВ 1052—78, СТ СЭВ 1565—79 და СТ СЭВ 1406—78. ხდება გადასვლა ბეტონის კლასზე სიმტკიცის მიხედვით ნაცვლად მარკისა, რაც ძირითადად გაპირობებულია მარკის ცნების მოძველებით (ახალი ძირითადი ასოითი აღნიშვნები მოცემულია დანართებში).

კვლევის შედეგები ისეთ მნიშვნელოვან საკითხებზე, როგორიცაა ბეტონების დამზადების ტექნოლოგიის ცვლილება დანამატ-მოდიფიკატორების დანერგვის, მაღალი მექანიკური მახასიათებლების საარმატურე ფოლადის გამოყენების, დისპერსიული დაარმატურების იდეის განხორციელებისა და გარე დაარმატურების გამოყენების შესახებ დაპროექტების ნორმებში არ აისახა.

წინამდებარე სახელმძღვანელო აგებულია დაპროექტების მოქმედი ნორმების (СНиП 2.03.01—84) გათვალისწინებით. იგი შედგება ორი ნაწილისაგან: 1. რკინაბეტონის წინაღობის თეორიის საფუძვლები — გადმოცემულია I—IX თავებში; 2. სამრეწველო და სამოქალაქო შენობების რკინაბეტონის მზიდი კონსტრუქციები — X—XV თავებში.

საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის რკინაბეტონის კონსტრუქციების კათედრის ტრადიციისამებრ დაუძაბავი და წინასწარ დაძაბული რკინა-

ბეტონი განხილულია ცალ-ცალკე. გამოცემული არ არის 1202 სპეციალობისათვის „რკინაბეტონისა და ქვის კონსტრუქციების“ კურსში ტიპური პროგრამით გათვალისწინებული ზოგიერთი საკითხი: რკინაბეტონის თხელკედლიანი სივრცული კონსტრუქციები, რკინაბეტონის ქარხნული წარმოების თავისებურებები, განსაკუთრებულ პირობებში მომუშავე ნაგებობების რკინაბეტონის კონსტრუქციები და სხვ., რომელთა შესწავლა კათედრის სამუშაო პროგრამების მიხედვით განზრახულია რკინაბეტონის სპეციალურ კურსში ან განეკუთვნება ტექნიკური ლიტერატურის წყაროებზე სტუდენტთა დამოუკიდებელი მუშაობის საგანს.

სამშენებლო პორტალი
MSHENEBLOBA.INFO

I თავი.

რკინაბეტონის არსი

§ 1. რკინაბეტონი — განსხვავებული თვისებების მასალების ერთიანობა

რკინაბეტონი არის შედგენილი საშენი მასალა. იგი შედგება ბეტონისა და ფოლადის არმატურისაგან, რომელთა ერთობლიობა ქმნის მონოლითურ მთელს. რკინაბეტონის, როგორც საშენი მასალის, თვისებები დამოკიდებულია შემადგენლების — ბეტონისა და ფოლადის — ერთმანეთისაგან მკვეთრად განსხვავებული თვისებების მასალების, მიზანშეწონილ შეხამებაზე.

რკინაბეტონის ერთ-ერთი შემადგენელი — ფოლადი — გამოყენებულია როგორც ბეტონის აღჭურვილობა; აღჭურვილობას — ფოლადის ღეროებს, ღეროების ერთობლიობას — არმატურა ეწოდება.

ბეტონი ხელმისაწვდომი, შეიძლება ითქვას ადგილობრივი საშენი მასალაა, რომელსაც გააჩნია მრავალი დადებითი თვისება: არ იწვის, არ ლპება, დროთა განმავლობაში სიმტკიცეს არ ჰკარგავს (უფრო მეტიც — გარკვეულ გარემოში მისი სიმტკიცე იზრდება), თითქმის არ გააჩნია საექსპლუატაციო ხარჯები, მედეგია ატმოსფერული, აირებისა და მრავალი ქიმიური ნივთიერების ზემოქმედებისადმი, ბეტონის კონსტრუქციებს შეიძლება მიეცეს ნებისმიერი ფორმა და სხვ.

ბეტონი ხასიათდება მნიშვნელოვანი სიმტკიცით კუმშვაზე, გაჭიმვაზე კი დაბალი სიმტკიცე აქვს. ამის გამო მიზანშეწონილი არ არის ბეტონისაგან ისეთი ელემენტების დამზადება, რომელთაც გარე დატვირთვების მოქმედებით ექმნებათ გაჭიმული ზონა. ასეთია ღუნვადი, ცენტრალურად ან არაცენტრალურად გაჭიმული, არაცენტრალურად შეკუმშული, გრეხადი და სხვა ელემენტები, ე. ი. პრაქტიკულად მზიდი კონსტრუქციების ელემენტების უმრავლესი სახეობები.

ბეტონის, როგორც საშენი მასალის, ფართოდ გამოყენება შესაძლოა მხოლოდ მისი მნიშვნელოვანი დადებითი თვისებების რეალიზაციის პირობებში, ამისათვის უნდა შეივსოს მისი გაჭიმვაზე სუსტად მუშაობის ხარვეზი.

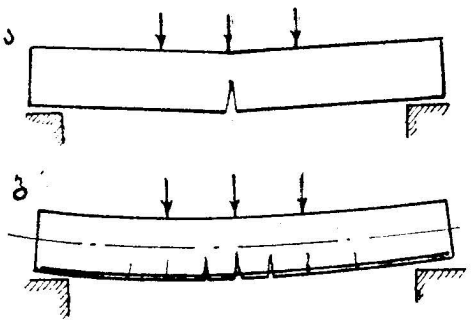
ფოლადი ხასიათდება მაღალი წინაღობით როგორც კუმშვაზე, ასევე გაჭიმვაზე. ფოლადის წინაღობა მრავალჯერ აღემატება ბეტონის წინაღობას, შესაბამისად ფოლადის მცირე ხარჯით გაჭიმული ბეტონის ზონის გაძლიერება გამორიცხავს მის ნაადრევ რღვევას — რღვევას გაჭიმული ბეტონის სიმტკიცის გადალახვის შედეგად.

ერთი და იგივე ზომების ორი კოჭის — ბეტონისა და რკინაბეტონის — შედარებისას (ნახ. I. 1.) ნათლად ჩანს, რომ ბეტონის კოჭის ზიდვის უნარი

იზღუდება ბეტონის დაბალი წინაღობით გაჭიმვაზე, გაჭიმული ბეტონის დაბზარვა იწვევს ნაადრევ რღვევას, როდესაც ბეტონის მაღალი წინაღობა კუმშვაზე გამოუყენებელია.

რკინაბეტონის კოჭის გაჭიმულ ზონაში ბეტონის დაბზარვის შემდეგ გაჭიმვაზე მუშაობს არმატურა, კუმშვაზე — ბეტონი და ასეთი კოჭის ზიდვის უნარიც გაცილებით მაღალია, ვიდრე ბეტონისა (20-ჯერ და მეტად); შესაძლებელი ხდება ბეტონის მაღალი სიმტკიცის გამოყენება კუმშვაზე.

რკინაბეტონის მოცულობის უდიდეს ნაწილს ბეტონი შეადგენს. რკინაბეტონის, როგორც სამენი მასალის, თვისებების განმსაზღვრელია ბეტონის დადებითი თვისებები, არმატურა კი წარმოგვიდგება მის დანამატად. რკინაბეტონის შედგენილობაში ბეტონი და ფოლადის არმატურა — ერთმანეთისაგან მკვეთრად განსხვავებული თვისებების მასალები — ქმნიან მონოლითურ მთელს. მათი ერთობლივი მუშაობის საფუძველზე იქმნება რკინაბეტონის განსაკუთრებული თვისებები — რკინაბეტონი კარგად მუშაობს როგორც კუმშვაზე, ასევე გაჭიმვაზე.



ნახ. I.1. ა—ბეტონის კოჭი; ბ—რკინაბეტონის კოჭი.

ბეტონისა და ფოლადის არმატურის ერთობლივ მუშაობას განაპირობებს შემდეგი:

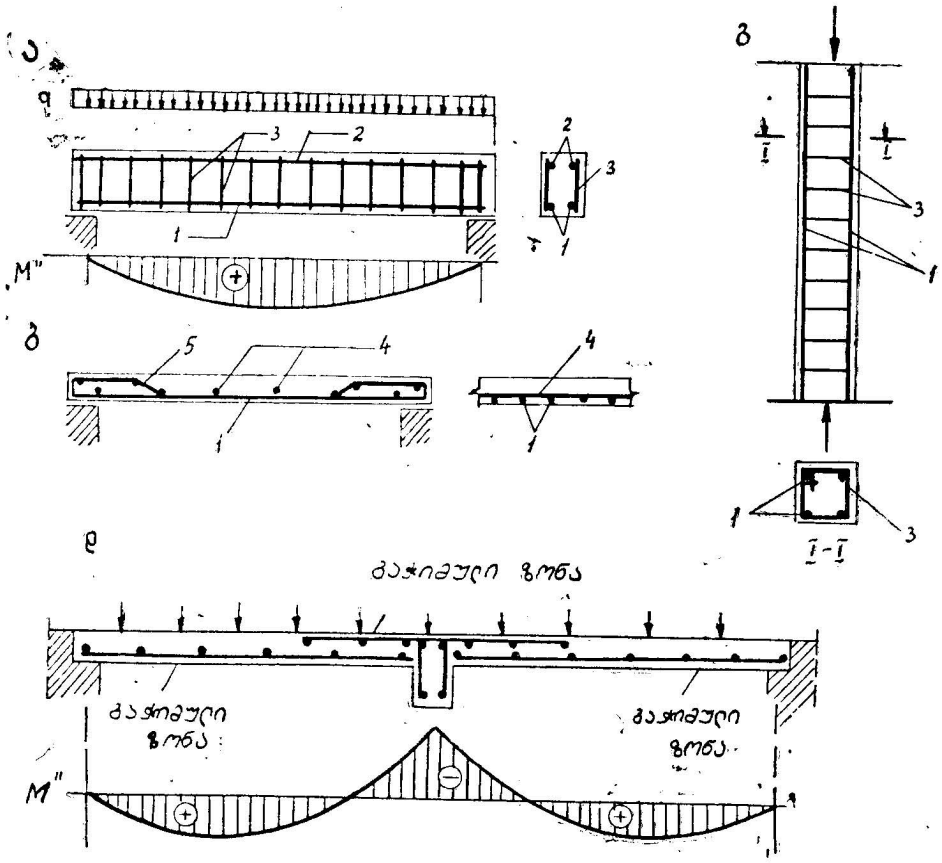
1. გამყარებისას ბეტონსა და არმატურას შორის წარმოიქმნება მნიშვნელოვანი შეჭიდულობს ძალები, რაც არ ირღვევა გარე დატვირთვის გავლენით;

2. ბეტონსა და ფოლადის არმატურას თითქმის თანაბარი ტემპერატურული ხაზოვანი გაფართოების კოეფიციენტი აქვს (ბეტონს — 0,000010÷0,000014, ფოლადს — 0,000012); ამის გამო გარემო ტემპერატურის შეყუეობა არ იწვევს ფოლადის არმატურისა და ბეტონის განსხვავებულ დეფორმაციებს და არ არღვევს მასალის მთლიანობას;

3. ბეტონი საიმედოდ იცავს ფოლადის არმატურას ჟანგვისაგან (საკმაო სიმკვრივისა და სისქის ბეტონის დამცველი შრის გამოყენების შემთხვევაში).

რკინაბეტონის **კონსტრუქციებში** არმატურის ძირითადი დანიშნულება გაჭიმვაზე **მუშაობაა, მაგრამ არმატურას იყენებენ** შეკუმშული ბეტონის გასაძლიერებლადაც. I.2 ნახაზზე ნაჩვენებია რკინაბეტონის ელემენტებში არმატურის განლაგების მაგალითები.

რკინაბეტონის თვისებები დამოკიდებულია არა მარტო ბეტონისა და არმატურის თვისებებზე, არამედ არმატურის რაოდენობასა და განლაგებაზეც (როგორც კვეთში, ასევე ელემენტის სიგრძეზე).



ნახ. I.2. დაარმატურება გამჭიმი და მკუმშავი ნორმალური ძაბვების მისაღებად: ა ბ, დ—ღუნვადი ელემენტის (გაჭიმული ზონის); გ—შეკუმშული ელემენტის.

§ 2. რკინაბეტონის ძირითადი დადებითი და უარყოფითი თვისებები

რკინაბეტონის ძირითადი დადებითი თვისებებიდან აღსანიშნავია: ხანგამძლეობა, ცეცხლგამძლეობა, ატმოსფერული გავლენებისადმი და მრავალი ქიმიური ნივთიერებისადმი მედეგობა, სტატიკური და დინამიკური დატვირთვებისადმი მაღალი წინაღობა, საექსპლუატაციო ხარჯების სიმცირე, ნებისმიერი ფორმის კონსტრუქციების შექმნის შესაძლებლობა და სხვ. განსაკუთრებით უნდა აღინიშნოს, რომ რკინაბეტონის მეტი ნაწილი — ბეტონი — ადვილობრივი საშენი მასალაა, ხოლო ფოლადის ხარჯი მცირეა (ფოლადის კონსტრუქციაზე 2—3-ჯერ მეტი ფოლადი იხარჯება, ვიდრე რკინაბეტონის კონსტრუქციაზე). ამიტომ რკინაბეტონი ხელმისაწვდომ, ხელსაყრელ მასალას წარმოადგენს.

რკინაბეტონის უარყოფითი თვისებებიდან აღსანიშნავია: შედარებით მნიშვნელოვანი საკუთარი მასა (რკინაბეტონის კონსტრუქციები მძიმეა); ბგე-

რისა და თბოგამტარობა; მზა ნაწარმის გადაკეთების ან შესწორების სირთულე და სხვ.

რკინაბეტონის მრავალი ნაკლოვანება მოისპო ან უმნიშვნელო გახდა სხვადასხვა გაუმჯობესებისა და სიახლეთა შემოღებით, როგორიცაა: ასაწყობი და წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის დანერგვა; მსუბუქი შემვსებების გამოყენება ბეტონისათვის; მაღალი სიმტკიცის დაჩქარებული გამყარების ცემენტების გამოყენება და მრავალი სხვ.

რკინაბეტონის დადებითი თვისებები ბევრად ჭარბობს მის ნაკლოვანებებს, რამაც განაპირობა რკინაბეტონის ფართო გავრცელება მშენებლობაში.

§ 3. რკინაბეტონის სახეობანი. გამოყენების არე

რკინაბეტონის კონსტრუქციები გამოირჩევა მრავალფეროვნებით. რკინაბეტონს განასხვავებენ დამახასიათებელი ნიშან-თვისებების მიხედვით, როგორიცაა: არმატურისა და ბეტონის სახეობა, მოცულობითი მასა, წინასწარი ძაბვების წარმოქმნა და სხვ.

რკინაბეტონის ძირითად დამახასიათებელ ნიშანს წარმოადგენს წინასწარი ძაბვების მინიჭება კონსტრუქციისათვის; შესაბამისად განასხვავებენ წინასწარ დაძაბულსა და დაუძაბავ (ჩვეულებრივ) რკინაბეტონს; აგების მეთოდის მიხედვით კი — მონოლითურს, ასაწყობს და ასაწყობ-მონოლითურ რკინაბეტონს; გამოყენებული არმატურის სახეობის მიხედვით — მოქნილ და ხისტარმატურიან რკინაბეტონს.

რკინაბეტონის მოცულობითი მასა ძირითადად დამოკიდებულია ბეტონის მოცულობით მასაზე. მოცულობითი მასის მიხედვით განასხვავებენ ძძიმე, შემსუბუქებულ, მსუბუქ, ზემძიმე და ზემსუბუქ ბეტონს, შესაბამისად იქმნება მძიმე, მსუბუქი და ა. შ. რკინაბეტონი.

რკინაბეტონის ნაირსახეობებიდან ყველაზე ფართოდაა გავრცელებული მძიმე ბეტონზე დამზადებული რკინაბეტონი მოქნილი არმატურით.

რკინაბეტონისაგან აგებენ ერთ- და მრავალსართულიან შენობებს, ელექტროსადგურებს, საწყობებს, ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებს, სილოსებსა და ბუნკერებს, რეზერვუარებს; ხიდებს, გვირაბებსა და სხვა საგზაო ხელოვნურ ნაგებობებს; თხელკედლიან სივრცით კონსტრუქციებს და სხვ.

წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის შემოღებამ გააფართოვა მისი გამოყენების არე, კერძოდ, ამჟამად რკინაბეტონს დიდმალიან კონსტრუქციებშიც იყენებენ.

ინდუსტრიული მშენებლობის საფუძველს წარმოადგენს ასაწყობი რკინაბეტონი. ასაწყობი რკინაბეტონისაგან აგებენ სამრეწველო, სასოფლო-სამეურნეო და საცხოვრებელ-სამოქალაქო შენობებს; საინჟინრო ნაგებობებს — სილოსებს, ბუნკერებს და სხვ.; სატრანსპორტო ნაგებობებს — მეტროპოლიტენების, ხიდებისა და გვირაბების სახით; სამთო მრეწველობაში იყენებენ შახტზედა ნაგებობებისა და მიწისქვეშა გამაგრებებისათვის და სხვ.

სკკპ-ის და სსრ კავშირის მინისტრთა საბჭოს სხვადასხვა დადგენილებაში ასახულია ასაწყობი რკინაბეტონის განვითარებისადმი შეუნელებელი ყურადღება. რკინაბეტონის წარმოების ტექნიკური დონის ამაღლებისა და მისი

უფრო ეფექტურად გამოყენების მიზნით გათვალისწინებულია მაღალი სიმტკიცის, მსუბუქი და უჯრედოვანი ბეტონისაგან სრული ქარხნული მზაობის მაღალეფექტური კონსტრუქციებისა და ნაკეთობების მასობრივი დანერგვა (მათ შორის წინასწარ დაძაბული კონსტრუქციებისა), სამეცნიერო კვლევის ინტენსიფიკაცია და სხვა ღონისძიებები.

ბეტონისა და რკინაბეტონის დარგში სამეცნიერო-კვლევით საძუშაოთა საკოორდინაციო საბჭოს მიერ დასახული განვითარების მიმართულებების თანახმად, ჩვენს ქვეყანაში მძიმე ბეტონი შეინარჩუნებს მთავარ ადგილს საშენ მასალებს შორის უახლოესი ათწლეულების განმავლობაში. გაიზრდება მისი სიმტკიცე. ჩვეულებრივი გახდება მაღალი კლასების ბეტონის გამოყენება.

§ 4. რკინაბეტონის კონსტრუქციების განვითარება

რკინაბეტონის გამოყენების ცალკეული შემთხვევები ცნობილია 1850 წლიდან. კერძოდ, 1850 წ. საფრანგეთში ი. ლამბომ ააგო ნავი რკინით დაარმატურებული ცემენტის დუღაბისაგან, რომელიც 1855 წ. წარდგენილი იყო სადემონსტრაციოდ პარიზის მსოფლიო გამოფენაზე და შემდეგ დიდი ხნის განმავლობაში დაცურავდა მირაველის პარკში.

1854 წ. უილკინსონმა ინგლისში ააგო სახლი რკინაბეტონის გადახურვებით და კიბეებით.

1861 წ. საფრანგეთში მებაღე ი. მონიემ დაამზადა ყვავილების კასრები და მებაღეობისათვის საჭირო სხვა მოწყობილობები რკინის მავთულების კარკასზე ცემენტის დუღაბის შემოლესვით. 1867 წ. მონიეს სახელზე გაიცა მსოფლიოში პირველი პატენტი რკინაბეტონის გამოყენებაზე, რასაც მოჰყვა პატენტები რკინიგზის შპალებზე (1867 წ.), მილებსა და რეზერვუარებზე (1868 წ.) და რკინაბეტონის ბრტყელ ფილებზე (1869 წ.).

1861 წ. ფრანგმა ინჟინერმა ფ. კუანიემ ჩამოაყალიბა დაარმატურებული ბეტონისაგან მშენებლობის ძირითადი დებულებები და შეადგინა კოჭების, თაღების, მილებისა და სხვ. პროექტები, რაც მონიეს ნაწარმთან ერთად წარდგენილი იყო 1867 წლის მსოფლიო გამოფენაზე.

ახალი მასალის გარშემო გაჩაღდა მსჯელობა, კამათი. საფრანგეთშიც კი მას დასაწყისში საკმაოდ უნდობლად მოეკიდნენ.

მონიეს პატენტები 1884—86 წლებში იყიდა გერმანიისა და ავსტრიის ფირმებმა. ავსტრიაში ვაისისა და ბაუშინგერის მიერ ჩატარებული ცდებით დამტკიცდა ფოლადისა და ბეტონის — ასე მკვეთრად განსხვავებული თვისებების მასალების — გაერთიანების მნიშვნელობა მონოლითურ მთლიან მასალაში — რკინაბეტონში.

ამ ცდების საფუძველზე 1886 წ. კენენმა ჩამოაყალიბა რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების პირველი მეთოდი. ფაქტობრივად ამის შემდეგ მიიღო რკინაბეტონმა საშენი მასალის უფლებები — გაჩაღდა ფართო კვლევები და მშენებლობა რკინაბეტონისაგან.

1900 წ. პარიზის მსოფლიო გამოფენაზე წარმოდგენილი იყო მიღწევები და წინადადებები რკინაბეტონის, როგორც საშენი მასალის, ყოველმხრივი გამოყენებისათვის.

1890 წლიდან ამერიკაში სწრაფად განვითარდა რკინაბეტონის მშენებლობა. გერმანიაში რკინაბეტონის დანერგვა ნელა მიმდინარეობდა, მაგრამ XIX საუკუნის ბოლოს მიაღწია წარმატებებს.

რუსეთში რკინაბეტონის გამოყენება თარიღდება 1886 წლით, როდესაც მოსკოვის ერთ-ერთ სამშენებლო კანტორაში ჩამოყალიბდა ბეტონისა და რკინაბეტონის სამუშაოთა განყოფილება. რკინაბეტონის დანერგვას რუსეთში ხელი შეუწყო 1891 წ. პეტერბურგში ჩატარებულმა რკინაბეტონის კონსტრუქციების საჯარო გამოცდებმა ცნობილი ინჟინრის ნ. ბელელუბსკის ხელძღვანელობით. ექსპერიმენტული კვლევის საგანი იყო რკინაბეტონის ფილები, თაღები, მილები, რეზერვუარები და 17 მ მალის თაღოვანი ხიდი.

კვლევები მიმდინარეობდა გზათა მიმოსვლის ინჟინერთა ინსტიტუტის ლაბორატორიაში, რის საფუძველზეც 1899 წ. გზათა მიმოსვლის სამინისტროს გადაწყვეტილებით რუსეთის რკინიგზაზე დაიწყო რკინაბეტონის დანერგვა ჯერ წყალსაცავების, შემდეგ გზაგამტარებისა და ხიდების მშენებლობაში.

რკინაბეტონის განვითარების საქმეში დიდი წვლილი მიუძღვით რუს მეცნიერებსა და ინჟინრებს ნ. აბრამოვს, ს. დრუჟინინს, გ. კრივოშეინს, ა. ლოლეიტს, გ. პერედერის, ი. პოდოლსკის და სხვებს. რევოლუციამდელ რუსეთში რკინაბეტონის განვითარებაში მიღწეული წარმატებებიდან განსაკუთრებით აღსანიშნავია ნიკოლაევში 1904 წ., პირველად მსოფლიოში, 40 მ-მდე სიმაღლის რკინაბეტონის შუქურის აშენება. 1908 წ. მოსკოვში, ევროპაში პირველად, ააგო უკოჭო გადახურვა, რომლის ავტორი იყო რუსი მეცნიერი ა. ლოლეიტი.

ოქტომბრის რევოლუციის შემდეგ თანდათან გაფართოვდა რკინაბეტონის გამოყენება კაპიტალურ მშენებლობაში. რკინაბეტონი დამკვიდრდა ჰიდროტექნიკურ, სამრეწველო და სამოქალაქო ნაგებობებისა და შენობების მშენებლობაში, შემდეგ კი მოიცვა მშენებლობის ყველა დარგი.

1928 წ. პირველად საბჭოთა კავშირში გამოჩნდა ასაწყობი რკინაბეტონის კონსტრუქციები — გუმბათები, ცილინდრული გარსები და სხვ.

რკინაბეტონის კონსტრუქციების წილი მშენებლობის საერთო მოცულობაში თანდათან გაფართოვდა. რკინაბეტონის განვითარებისათვის საჭირო გახდა საკავშირო საპროექტო და სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტების ჩამოყალიბება, რომელთაგან პირველ რიგში აღსანიშნავია ბეტონისა და რკინაბეტონის სამეცნიერო-კვლევითი მეთაური ინსტიტუტი НИИЖБ მოსკოვში.

დროთა განმავლობაში თანდათან გამოიკვეთა რკინაბეტონის, როგორც დრეკადი მასალის გაანგარიშების მეთოდის ნაკლოვანებები (რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების კლასიკური მეთოდი დასაშვები ძაბვების მიხედვით, რომელიც ჩამოყალიბდა XIX ს. დასასრულს, თითქმის ბოლო დრომდე ძალაში იყო საზღვარგარეთ).

1931 წ. საბჭოთა მეცნიერმა ა. ლოლეიტმა წამოაყენა წინადადება გაანგარიშების ახალი თეორიის შექმნის შესახებ მრღვევი ძალვების მიხედვით. მრღვევ ძალვათა მეთოდი აისახა რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტების საბჭოთა ნორმებში 1938 წელს.

1955 წ. საბჭოთა კავშირში ძალაში შევიდა რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტების ახალი ნორმები, რომელსაც საფუძვლად დაედო ახალი პრინციპით — ზღვრული მდგომარეობების მიხედვით გაანგარიშების მეთოდი.

ამჟამად ეს მეთოდი მიღებულია ყოველგვარი სამშენებლო კონსტრუქციების გაანგარიშებებისათვის.

ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტების მოქმედი ნორმები (უკანასკნელი რედაქცია) დაფუძნებულია ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშების მეთოდზე და დამტკიცებულია საბჭოთა კავშირის მშენებლობის საქმეთა სახელმწიფო კომიტეტის მიერ 1984 წელს, ძალაში შევიდა 1986 წ. 1 იანვრიდან.

რკინაბეტონის განვითარების ისტორიაში განსაკუთრებული ადგილი უკავია წინასწარ დაძაბულ რკინაბეტონს.

რკინაბეტონის წინასწარი დაძაბვის იდეის განხორციელებას სათავე ედება 1886 წლიდან, როდესაც პ. ჯეკსონმა (სან-ფრანცისკო) წარადგინა განაცხადი პატენტზე „ხიდების კონსტრუქცია ხელოვნური ქვისა და ბეტონისაგან“, სადაც გათვალისწინებული იყო გაჭიმვაზე მომუშავე დაძაბული ანკერების გამოყენება.

1888 წ. ვ. დიორინგმა (ბერლინში) წარადგინა განაცხადი პატენტზე წინასწარ დაძაბული ფილების, ძელაკების და მცირე კოჭების დამზადებაზე. ფაქტობრივად ეს იყო პირველი შემთხვევა რკინაბეტონის ელემენტების დამზადებისა წინასწარ დაძაბული არმატურით. წინასწარი დაძაბვის იდეა სხვადასხვა გზით განახორციელეს ვ. დიორინგმა 1888 წ. (ბერლინი), მანდლმა 1895 წ. (ვენა), ლუნდმა (ნორვეგია) და კენენმა (ბერლინი) 1905—1907 წლებში და შემდეგ სხვებმა.

წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის მრავალი წლის კვლევის შედეგად, 1928 წელს ფრანგმა ინჟინერმა ფრეისინემ (სეაილთან ერთად) აიღო ფრანგული პატენტი წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის შესაქმნელად მაღალი წინასწარი ძაბვების (4000 კგ/სმ² და მეტი) განვითარებით მაღალი სიმტკიცის არმატურის დაბეტონებამდე დაჭიმვით გამოყენებაზე; პატენტში ხაზგასმულია, რომ ბეტონის წინასწარი დაძაბვის დიდი ხნით შენარჩუნების პირობას წარმოადგენს მაღალი წინასწარი ძაბვები არმატურაში. ფრეისინემ პირველმა გამოიტანა დასკვნა ბეტონის ცოცვადობის გავლენის შესახებ წინასწარ დაძაბულ რკინაბეტონზე. ფრეისინემ განახორციელა მთელი რიგი მნიშვნელოვანი წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ნაგებობები.

1930 წლიდან საბჭოთა კავშირში გამოჩნდა პირველი სამამულო ნაშრომები წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის დარგში, კერძოდ, ვ. მიხაილოვმა ამიერკავკასიის ნაგებობათა ინსტიტუტში (თბილისში) დაამუშავა წინასწარი დაძაბვით რკინაბეტონის კონსტრუქციების დამზადების იდეა. მისი ხელმძღვანელობით შეიქმნა უწყვეტი დაარმატურების წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ელემენტების არმატურის დამბვევი მანქანა.

საბჭოთა კავშირში ბევრი გაკეთდა წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის გაანგარიშების თეორიისა და კონსტრუირების დარგში. აღსანიშნავია ვ. მიხაილოვის, ა. გვოზდევის ს. ფრაიფელდის, პ. ბასტერნაკის, ს. დიმიტრიევის და სხვათა ღვაწლი.

თანამედროვე კაპიტალურ მშენებლობაში რკინაბეტონი ყველა მისი ნაირსახეობით წარმოადგენს ძირითად საკონსტრუქციო მასალას. დასახულია მნიშვნელოვანი ამოცანები რკინაბეტონის შემდგომი განვითარებისათვის.

რკინაბეტონის განვითარების ისტორიიდან მოყვანილი მოკლე ცნობები

ეხება მხოლოდ პირველადმოჩენათა და განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი მოვლენების ქრონიკას.

საბჭოთა კავშირში რკინაბეტონის განვითარებაში ღირსეული წვლილი შეაქვს საქართველოს სამშენებლო მეცნიერების წარმომადგენლებს, სამეცნიერო-კვლევით და სამშენებლო ორგანიზაციებს.

1928 წ. ქ. თბილისში დაარსებულ კავკასიის რეგიონში პირველ სამეცნიერო-კვლევით ორგანიზაციაში — ამიერკავკასიის ნაგებობების ინსტიტუტში 30-იანი წლების დასაწყისში საბჭოთა კავშირში პირველად დაიწყო წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის კვლევა ვ. მიხაილოვის ხელმძღვანელობით. 1933 წ. გამოქვეყნდა კვლევის შედეგები, რასაც მოჰყვა წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის სამშენებლო ნორმების — პირველი ნორმატიული დოკუმენტის გამოცემა. ამ გამოკვლევების საფუძველზე 1936 წ. საბჭოთა კავშირში პირველად ამიერკავკასიის რკინიგზის ელექტრულ-საკონტაქტო ქსელის საყრდენებისათვის გამოიყენეს წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონი.

ამიერკავკასიის ნაგებობების ინსტიტუტში (სპეციალისტთა ჯგუფი ა. იაშვილის, პ. წულუკიძისა და სხვ. შემადგენლობით) დაამუშავეს მძიმე ბეტონის შედგენილობის დაპროექტების მეთოდი.

მსუბუქი ბეტონის (ბუნებრივ ფოროვან შემვსებებზე) შესწავლისათვის 30-იანი წლების დასაწყისში საბჭოთა კავშირში ჩატარებული ექსპერიმენტული კვლევებიდან (მოსკოვში ЦНИПС, ერევანში ИСМИС, თბილისში ამიერკავკასიის ნაგებობების ინსტიტუტსა და რკინიგზის ტრანსპორტის ინჟინერთა ინსტიტუტში) არსებითი მნიშვნელობა ენიჭება თბილისში შესრულებულ კვლევებს, რომელთა კვალდაკვალ მიმდინარეობდა მსუბუქი რკინაბეტონის ფართოდ დანერგვაც.

1933 წლიდან საქართველოში დაიწყეს მსუბუქი რკინაბეტონის, როგორც საკონსტრუქციო მასალის გამოყენება შენობებისა და ნაგებობებისათვის. საკმარისია დავასახელოთ თბილისში პემზა-რკინაბეტონის კონსტრუქციებით განხორციელებული მარქსიზმ-ლენინიზმის ინსტიტუტის შენობა, ლოკომოტივების შემკეთებელი ქარხნის გადახურვა გარსით, „დინამოს“ სტადიონი, კინოთეატრი „რუსთაველი“, მთავრობის სახლი, 100-ბინიანი საცხოვრებელი სახლი გმირთა მოედანზე. ცირკი, დახურული ბაზარი.

1938 წლიდან, საბჭოთა კავშირში პირველად ამიერკავკასიის საავტომობილო და რკინიგზაზე, მსუბუქი რკინაბეტონისაგან აშენდა 14 ხიდი (მათ შორის 30 მ მალის სარკინიგზო ხიდი), გზაგამტარი და მილი. ამ პასუხსაგები საინჟინრო ნაგებობების მშენებლობა წარმატებით განხორციელდა თბილისის რკინიგზის ტრანსპორტის ინჟინერთა ინსტიტუტის პროფესორის მ. იაკუბოვიჩის მოღვაწეობით, რომელიც წლების განმავლობაში იკვლევდა მსუბუქ ბეტონსა და რკინაბეტონს და მათი გამოყენების საკითხს სატრანსპორტო ნაგებობებისათვის. მსუბუქი რკინაბეტონის ხიდების ახალი კონსტრუქციების დამუშავებაში მონაწილეობდა ТБИИЖТ-ის უფროსი და ხიდების კათედრის მაშინდელი გამგე მ. კობახიძე.

მსუბუქი ბეტონი ასაწყობი რკინაბეტონის კონსტრუქციებისათვის საბჭოთა კავშირში პირველად თბილისში გამოიყენეს (1936 წ.) ტრიკოტაჟის კომბინატისა და დახურული ბაზრის გადახურვისათვის „სიმკარის“ ტიპის კოჭი-ფენილის სახით. „სიმკარის“ (ერთ-ან ორსიცარიელიანი კოჭი-ფენილის)

ავტორები იყვნენ ნაგებობების ინსტიტუტის თანამშრომლები მ. სიმონოვი და ბ. კარმანოვი. შემდგომ თბილისის სამშენებლო ორგანიზაციებმა მასობრივად გამოიყენა რკინაბეტონის ღრუტანიანი ფილები (მრავალსიცარიელეებიანი პანელები, რომელთაც აგრეთვე „სიმკარებს“ უწოდებენ) და ასაწყობი, ცალკეული ელემენტებისაგან შედგენილი წამწეები სახურავების ნივნივებად.

საქართველოში მსუბუქი ბეტონისა და რკინაბეტონის შესწავლისა და გამოყენების შედეგები ქვეყნდება 1935 წლიდან. 1937 წ. ქ. თბილისში გამოიცა საბჭოთა კავშირში პირველი ინსტრუქცია მსუბუქი რკინაბეტონის კონსტრუქციებისა და ნაგებობების დაპროექტებისა და მშენებლობისათვის. მსუბუქი რკინაბეტონის თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები გამუქებულია კ. ზავრიევის, მ. სიმონოვის, ი. შტეარმანის, მ. იაკუბოვიჩის, გ. ცისკრელის და სხვ. შრომებში.

პროფ. გ. ცისკრელის მეცნიერული კვლევებიდან შეიძლება გამოვყოთ მსუბუქი ბეტონისა და რკინაბეტონის ჰიმვადობის, ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციების ბზარმედეგობის საკითხები. გ. ცისკრელის მიერ დასაბუთებულ იქნა, რომ მსუბუქ ბეტონს მძიმე ბეტონთან შედარებით მაღალი ჰიმვადობა გააჩნია და, რომ რკინაბეტონის (საერთოდ და, კერძოდ, დისპერსიული დაარმატურების შემთხვევაში) ჰიმვადობა აღემატება სუფთა ბეტონის ჰიმვადობას; მან შეიმუშავა მსუბუქი ბეტონის დრეკადობის მოდულის საანგარიშო ფორმულა, რომელიც აისახა ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტების ნორმებში СНиП II—21—75; გ. ცისკრელმა დაასაბუთა და ჩამოაყალიბა ჰიდროტექნიკური ნაგებობებისათვის გამოყენებული ბეტონის კლასიფიკაცია სიმტკიცის მიხედვით გაჰიმვაზე; დაასაბუთა და ჩამოაყალიბა ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციების საანგარიშო პირობა, რომლის მიხედვითაც მათში დასაშვებია შეზღუდული სიგანის ბზარების გახსნა. ეს მნიშვნელოვანი რეკომენდაცია აისახა ჰიდროტექნიკური ნაგებობების დაპროექტების ნორმებში.

საქართველოში რკინაბეტონის სწავლებისა და განვითარების სათავეებთან იდგა და მრავალი წლის განმავლობაში იღვწვის საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის რკინაბეტონის კონსტრუქციების კათედრის დოცენტი, დამსახურებული მშენებელი მ. წულეისკირი; მის კალამს ეკუთვნის უმაღლესი სკოლის სამშენებლო სპეციალობის სტუდენტებისათვის ქართულ ენაზე შედგენილი პირველი სახელმძღვანელო რკინაბეტონის კონსტრუქციების კურსში.

რკინაბეტონის შესწავლა, სრულყოფა და განვითარება მიმდინარეობს განუწყვეტლივ, ისახება ახალი ამოცანები, კვლევის ახალი დარგები.

II თავი

ბეტონი. ბეტონის ძირითადი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები

§ 1. ბეტონის ძირითადი სახეობები

რკინაბეტონის უდიდეს ნაწილს მოიცავს ბეტონი; ბეტონი მიიღება შემკვრელის, შემვსებისა და წყლის ნარევის გამყარების შედეგად.

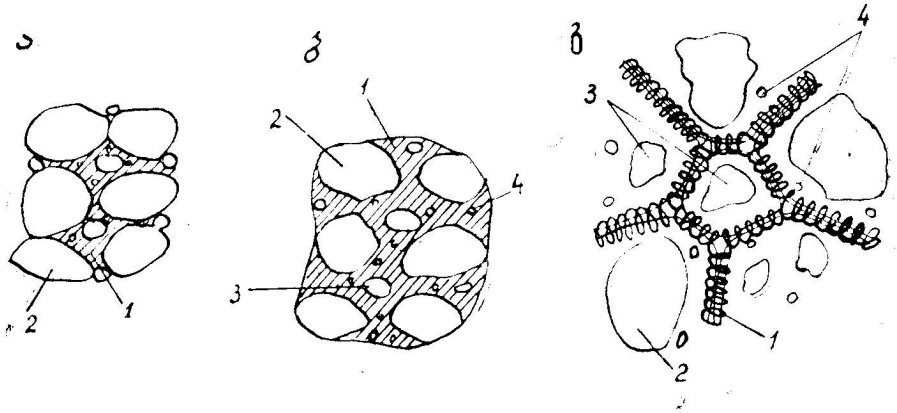
ბეტონში შემკვრელად ჩვეულებრივ იყენებენ 150, 200, 250, 300, 400,

500, 600 მარკის ცემენტებს. ცემენტის რაოდენობა 1 მ³ ბეტონში აღწევს 200—250 კგ, ზოგჯერ 500 კგ-საც.

შემვსებები არსებობს: მსხვილი და წვრილი; ბუნებრივი და ხელოვნური; მკვრივი და ფოროვანი. ხელოვნური შემვსებები ჩვეულებრივ ფოროვანია. ფოროვანი ხელოვნური შემვსებებია წიდა, კერამზიტი და სხვ.; ხოლო ფოროვანი ბუნებრივი შემვსებებიდან აღსანიშნავია პემზა, პერლიტი, ვულკანური წიდები და სხვ. მკვრივი შემვსებებია მძიმე ქანების (გრანიტი, ქვიშაქვა და სხვ.) ღორღი, ხრეში და კვარცის ქვიშა.

შემვსებების მასის მიხედვით იცვლება ბეტონის მასაც. მკვრივ შემვსებებზე დამზადებული ბეტონის მოცულობითი მასა აღემატება 2200 კგ/მ³-ს.

ბეტონის აგებულება ძალზე არაერთგვაროვანია. სქემატურად ბეტონს წარმოიდგენენ როგორც ცემენტის ქვის სივრცულ გისოსს — მატრიცას, რომელშიაც ჩართულია შემვსებების მარცვლები. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ცემენტის ქვაც რთული, არაერთგვაროვანი აგებულებისაა. ცემენტის ქვა შედგება კრისტალური შენაზარდის, გელის და, ჰაერითა და წყლით შევსებული, დიდი რაოდენობის ფორმებისა და კაპილარებისაგან (ნახ. II.1).



ნახ. II.1. ბეტონის აგებულება: ა—ხისტი ნარევი; ბ—ძვრადი ნარევი; გ—ბეტონის სქემა; 1—ცემენტის ქვა; 2—ღორღი (ან ხრეში); 3—ქვიშა; 4—ჰაერითა და წყლით შევსებული ფორები.

შემვსებებისა და ცემენტის ქვის თვისებების შერწყმა ქმნის ბეტონის განსაკუთრებულ თვისებებს.

გამყარების პროცესში იცვლება ბეტონის აგებულება და თვისებებიც: მოცულობა მცირდება (შეკლება), თუ გამყარება ხდება ჰაერზე ან მატულობს (გაჯირჯვება), როდესაც გამყარება ხდება წყალში; ბეტონის სიმტკიცე დროთა ვითარებაში მატულობს.

ბეტონის თვისებებზე გავლენას ახდენს ტექნოლოგიური ფაქტორებიც — არევის ხანგრძლივობა და ნარევის გამკვრივება, გამყარების გარემო (წნევა, ტემპერატურა) და სხვ.

ბეტონებს განასხვავებენ აგებულების (სტრუქტურის), მოცულობითი მასის, შემკვრელის სახეობის, შემვსების სახეობის, მარცვლოვანი შედგენილობის, გამყარების პირობების მიხედვით.

1. აგებულების მიხედვით განასხვავებენ: ა) მკვრივს, ბ) მსხვილფოროვანს, გ) ფორიზებულსა და დ) უჯრედოვან ბეტონს.

ა) ბეტონი მკვრივია, როდესაც შემვსებების (მსხვილი და წვრილი ან მხოლოდ წვრილი) მარცვლებშორისი სივრცე უკავია გამყარებულ შემკვრელის ცომს, ხოლო მარცვლებშორისი სიცარიელე გამკვრივებულ ბეტონის ნარევში არ აღემატება 5%-ს.

ბ) მსხვილფოროვანი ეწოდება ბეტონებს (მცირექვიშოვანი ანუ უქვიშო), რომელთა მსხვილი შემვსებების მარცვლებშორისი სივრცე მთლიანად არ არის შევსებული წვრილი შემვსებით და გამყარებული შემკვრელით.

გ) ფორიზებული ბეტონების შემვსებების მარცვლებშორისი სივრცე უკავია გამყარებულ შემკვრელს, რომელშიაც შექმნილია ფორები ქაფისა და აირწარმომქმნელების ან ჰაერის შემტანი დანამატების საშუალებით, ხოლო მარცვლებშორისი სიცარიელე ბეტონის ნარევში აღემატება 5‰-ს.

დ) უჯრედოვანი ბეტონი ხელოვნურად შექმნილი ფორებით შემკვრელისა (ცემენტი, კირი ან დაფქული წიდა) და კაჟმიწის კომპონენტის (დაფქული ქვიშა ან ნაცარი) ნარევია.

2. მოცულობითი მასის მიხედვით ბეტონები შეიძლება იყოს: ა) ზემძიმე, რომლის მოცულობითი მასა $\gamma > 2500$ კგ/მ³; ბ) მძიმე — $2200 < \gamma \leqslant 2500$ კგ/მ³; გ) შემსუბუქებული — $1800 < \gamma \leqslant 2200$ კგ/მ³; დ) მსუბუქი — $500 < \gamma \leqslant 1800$ კგ/მ³; ე) ზემსუბუქი — $\gamma < 500$ კგ/მ³.

3. შემკვრელის სახეობის მიხედვით არსებობს: ა) ცემენტის, ბ) სილიკატური (კირის შემკვრელზე), გ) თაბაშირზე, დ) შერეულ შემკვრელზე და ე) განსაკუთრებულ შემკვრელზე დამზადებული ბეტონები.

4. შემვსებების სახეობის მიხედვით განასხვავებენ: ა) მკვრივ, ბ) ფოროვან და გ) სპეციალურ შემვსებებზე დამზადებულ ბეტონებს.

5. მარცვლოვანი შედგენილობის მიხედვით გვხვდება: ა) მსხვილმარცვლოვანი და ბ) წვრილმარცვლოვანი ბეტონები.

6. გამყარების პირობების შესაბამისად არსებობს: ა) ბუნებრივ ატმოსფერულ პირობებში გამყარებული, ბ) ატმოსფერული წნევის პირობებში თბოდამუშავებით ან ელექტროგახურებით გამყარებული და გ) ავტოკლავებში გამყარებული ბეტონები.

ამ ნიშნების მიხედვით განასხვავებენ ბეტონის ძირითად და სპეციალურ სახეობებს.

ბეტონის ძირითადი სახეობებია: 1. მძიმე ბეტონი, 2. ბეტონი ფოროვან შემვსებებზე, 3. უჯრედოვანი ბეტონი, 4. მსხვილფოროვანი ბეტონი, 5. დაფოროვნებული ბეტონი (ფორიზებული).

ბეტონის სპეციალური სახეობებია: 1. სილიკატური ბეტონი, 2. მხურვალმედეგი ბეტონი, 3. მჟავამედეგი ბეტონი, 4. პოლიმერცემენტის ბეტონი, 5. პოლიმერბეტონი, 6. დამძაბავი ბეტონი.

მზიდი კონსტრუქციებისათვის ბეტონის ძირითადი სახეობებიდან ჩვეულებრივ იყენებენ მძიმე, მსუბუქ და წვრილმარცვლოვან ბეტონებს. სპეციალური ბეტონებიდან ფართოდ გამოიყენება დამძაბავი ბეტონები.

ჩამოთვლილი დასახელებების ბეტონები სხვადასხვა ნიშან-თვისებებით ხასიათდება.

მ ძ ი მ ე ბ ე ტ ო ნ ი არის მკვრივი აგებულების, მოცულობითი მასის მიხედვით მძიმე (2200—2500 კგ/მ³), ცემენტის შემკვრელზე და მკვრივ შემვსებებზე შედგენილი, მსხვილმარცვლოვანი, გამყარების ყოველგვარ პირობებში დამზადებული ბეტონები.

მ ს უ ბ უ ქ ი ბ ე ტ ო ნ ი ეწოდება მკვრივი აგებულების მოცულობითი მასის მიხედვით მსუბუქ (800—1800 კგ/მ³) ან შემსუბუქებულ (1900—2200 კგ/მ³), მსხვილ ფოროვან და წვრილ მკვრივ ან ფოროვან შემვსებებზე შედგენილ, მსხვილმარცვლოვან, გამყარების ყოველგვარ პირობებში დამზადებულ ბეტონებს.

წ ვ რ ი ლ მ ა რ ც ვ ლ ო ვ ა ნ ი ეწოდება წვრილ შემვსებებზე შედგენილი, 1800 კგ/მ³ და მეტი საშუალო სიმკვრივის ბეტონს; ქვიშის სიმსხოსა და გამყარების პირობების მიხედვით იყოფა სამ ჯგუფად: *A* ჯგუფი — ქვიშის სიმსხოს მოდულით 2,0-ზე მეტი, ბუნებრივ პირობებში ან თბური დამუშავებით (ატმოსფერული წნევისას) გამყარებული; Б ჯგუფი — ქვიშის სიმსხოს მოდულით 2,0 და ნაკლები, გამყარების იმავე პირობებისა, როგორც *A* ჯგუფი; *B* ჯგუფი — ავტოკლავებში გამყარებული.

მსუბუქი ბეტონები იხმარება როგორც ასაწყობ, ასევე მონოლითური რკინაბეტონის კონსტრუქციებში მძიმე ბეტონის მსგავსად. თანაბარი კლასის ბეტონებისათვის მრავალ შემთხვევაში ისინი მძიმე ბეტონზე ეფექტურნი არიან — ამცირებენ კონსტრუქციის მასას.

რკინაბეტონის შედგენილობაში ბეტონს მოეთხოვება საკმაო სიმტკიცე, შეჭიდულობა არმატურასთან და სიმკვრივე. რაც უფრო მტკიცეა ბეტონი, მით უფრო მაღალია მისი წინააღმდეგობა ბზარების გაჩენისადმი გაჭიმვის დროს და მით უკეთესი შეჭიდულობა აქვს არმატურასთან. რაც უფრო მკვრივია ბეტონი, მით უფრო საიმედოდ იცავს იგი არმატურას კოროზიისაგან. ბეტონის სიმტკიცე და სიმკვრივე განაპირობებს რკინაბეტონის სიმტკიცესა და ხანგამძლეობას.

ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებიდან მთავარია სიმტკიცე და დეფორმირებადობა.

როგორც კვლევები ცხადყოფს, ერთგვაროვანი მასალების სიმტკიცისა და დეფორმირებადობის თეორია ბეტონისათვის მართებული არ არის.

ბეტონის აგებულებისა და შედგენილობისაგან სიმტკიცისა და დეფორმაციის თვისებების დამოკიდებულების ზოგადი თეორია — ბეტონის სიმტკიცისა და დეფორმაციის თეორია — ჯერ კიდევ არ არის საბოლოოდ ჩამოყალიბებული; ამიტომ ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების დადგენას საფუძვლად უდევს ექსპერიმენტების შედეგები.

§ 2. ბეტონის სიმტკიცე

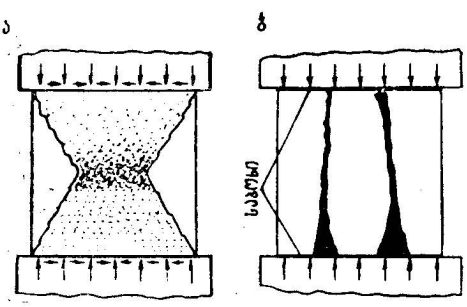
ბეტონი არაერთგვაროვანი მასალაა, მისი შემადგენელი ნაწილაკების განლაგებაში, ფორების სიმსხოსა და განლაგებაში არ არსებობს კანონზომიერება — ერთი და იგივე ნარევიდან დამზადებული ნიმუშების გამოცდის შედეგად მიიღება სიმტკიცის განსხვავებული მახასიათებლები, ხდება სიმტკიცის გაბნევა.

ბეტონის სიმტკიცე დაძოკიდებულია ძირულ რიგ ფაქტორებზე (50-მდე ფაქტორი), როგორიცაა: გამოყენებული შემკვრელისა და შემვსებების თვისებები, შედგენილობა, წყალცემენტის ფაქტორი, დამზადების, დამუშავებისა და მოვლის წესი, ასაკი, გამყარების პირობები და სხვ.

სხვადასხვა ძალური ზემოქმედებისას (კუმშვა, გაჭიმვა, ჭრა და სხვ.) ბეტონის წინაღობა განსხვავებულია.

1. წინაღობა კუმშვაზე ბეტონის სიმტკიცის თვისებებიდან ყველაზე მნიშვნელოვანი მახასიათებელია, ამასთანავე სიმტკიცე კუმშვისას ექსპერიმენტულად ადვილად დასადგენიცაა. ამიტომ ბეტონის სიმტკიცის ძირითად საზომად მიღებულია ე. წ. კუბური სიმტკიცე. კუბური სიმტკიცე არის ბეტონის სიმტკიცის ზღვარი (R,MPa) ღერძულ კუმშვაზე, 28 დღის ასაკის სამუშაო შედგენილობის ბეტონის კუბური ნიმუშისა, რომლის ზომებია 15×15× × 15 სმ (შენახვის პირობები: ტემპერატურა 20°C±2, ტენიანობა ⩾90%).

როგორც ცდები ცხადყოფს, კუბური ნიმუშების რღვევა კუმშვისას ხდება განივი გარღვევისაგან— გვერდებიდან ბეტონის ამოტეხის ან ძალის მიმართულებით განვითარებულ ბზარებზე დაპობის შედეგად. დატვირთვის თანდათანობით გადიდებისას ჯერ ჩნდება მიკროსკოპული ბზარები ფორებსა და მარცვლებშორის სიცარიელეთა თავმოყრის ადგილებში. დატვირთვის ზრდასთან ერთად მიკროსკოპული ბზარები ერთიანდებიან და ქმნიან ხილულ ბზარებს. ბზარები თანდათან იხსნება და ბოლოს ნიმუში ირღვევა. ბზარების მიმართულება დამოკიდებულია ნიმუშისა და საცდელი წნეხის წნევის ზედაპირებს შორის განვითარებულ ხახუნის ძალებზე, რომლებიც (წარმოქმნის შემთხვევაში) ეწინააღმდეგებიან ნიმუშის განივ თავისუფალ დეფორმაციას. ხახუნის შემკავებელი გავლენა მცირდება ხახუნის ზედაპირებიდან დაშორებულ კვეთებში; ხახუნის პირობებში რღვევის შემდეგ ნიმუში მცირე ფუძეებით შეკრული ორი წაკვეთილი პირამიდის ფორმას ღებულობს. როდესაც ხახუნის ძალა არ არსებობს (წნეხისა და ნიმუშის შეხების კვეთში ნიმუშის ზედაპირები გაპოხილია), რღვევის ბზარები მოქმედი ძალის მიმართულებით ვითარდება, ხოლო დროებითი წინაღობა ორჯერ მცირდება (ნახ. II.2).



ნახ. II. 2. ბეტონის კუბური ნიმუშების რღვევა კუმშვა უ ... ცდის დროს ა—ნიმუში გაუპოხავი ზედაპირებით ბ—ნიმუში გაპოხილი ზედაპირებით.

სახელმწიფო სტანდარტების თანახმად, კუბური სიმტკიცე განისაზღვრება გაუპოხავი ზედაპირის ნიმუშებისათვის, როგორც მრღვევი ძალის ფარდობა ნიმუშის განივკვეთის ფართობთან

$$R = \frac{F_{\text{მრღ}}}{A}, \qquad \text{(II.1)}$$

სადაც $F_{\text{მრღ}}$ არის მრღვევი ძალა;
A—ნიმუშის განივკვეთის ფართობი.

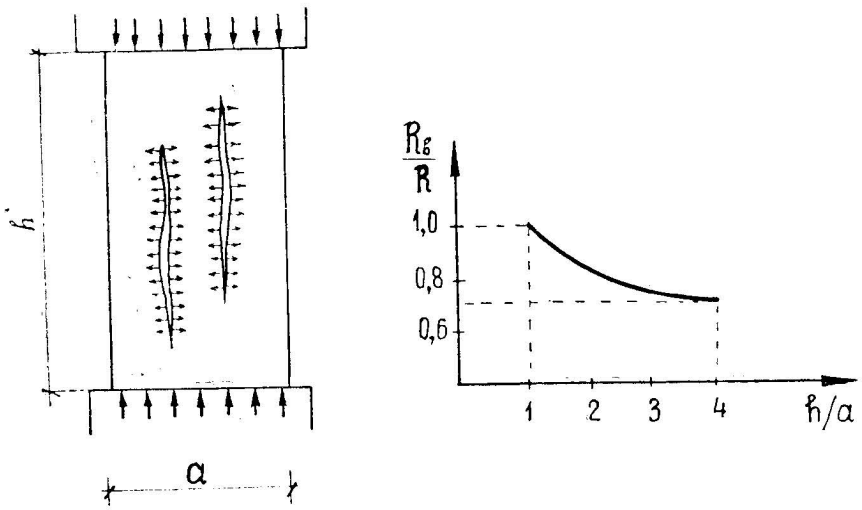
ბეტონის სიმტკიცე დამოკიდებულია ნიმუშის ზომებზეც. თუ სტანდარტული კუბისათვის (ზომებით 15×15×15 სმ) სიმტკიცის ზღვარს აღვნიშნავთ R-ით, უფრო დიდი ზომის კუბებისათვის სიმტკიცე ნაკლები იქნება, ხოლო უფრო მცირე ზომის კუბებისათვის — მეტი.

ცხრილი II.1

კუბური ნიმუში ზომებით	სიმტკიცის ზღვარი, ანუ დროებითი წინაღობა	
	მძიმე ბეტონის	ბეტონისათვის ფოროვან შემვსებებზე
15×15×15 სმ	R	R
20×20×20 სმ	0,93 R	0,97 R
10×10×10 სმ	1,10 R	1,03 R

ბეტონის კუბური სიმტკიცის მიხედვით დადგინდება ბეტონის კლასები B, MPa-ში. ბეტონის კლასები სიმტკიცის მიხედვით კუმშვაზე მიიღება $B2,5 \div B60,0$ ფარგლებში.

ბეტონის სიმტკიცეზე გავლენას ახდენს ნიმუშის ფორმაც. ცილინდრული ფორმის ნიმუშისათვის, რომლის $d=6''$ და $h=12''$, დროებითი წინაღობა შეადგენს კუბური ნიმუშის (ზომებით 15×15×15 სმ) წინაღობის 0,7—0,75-ს.



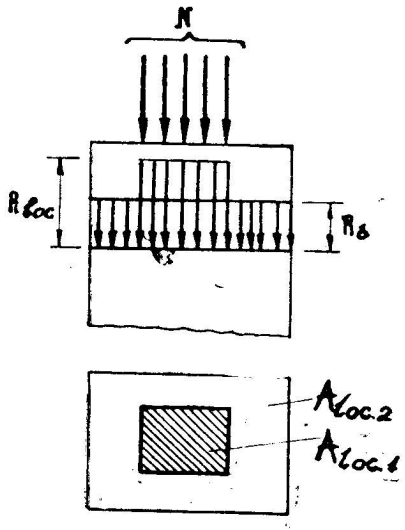
ნახ. II. 3. პრიზმული ნიმუშების გამოცდის შედეგები ღერძული კუმშვისას.

რკინაბეტონის კუმშვაზე მომუშავე ელემენტები თავისი ფორმით განსხვავდება კუბისაგან. ჩვეულებრივ მათი სიგრძე მნიშვნელოვანია განივკვეთის ზომებთან შედარებით. ჩატარებული ექსპერიმენტების საფუძველზე დადგინდა, რომ პრიზმული ნიმუშის სიმტკიცე ღერძული კუმშვის დროს ნაკლებია კუბურ სიმტკიცეზე, რომელიც კლებულობს სიმაღლის გადიდებით. როდესაც სიმაღლისა და კვეთის სიგანის ფარდობა აღწევს ოთხს, სიმაღლის შემდგომი გადიდებისას პრიზმული ნიმუშის სიმტკიცის ზღვარი ღერძულ კუმშვაზე, ე. წ. პრიზმული სიმტკიცე R_h თითქმის სტაბილურია და შეადგენს დაახლოებით კუბური სიმტკიცის სამ მეოთხედს

$$R_h \simeq 0,75\,R. \qquad \text{(II.2)}$$

II.3 ნახაზზე ნაჩვენებია პრიზმული ნიმუშების გამოცდის შედეგები ღერძულ კუმშვაზე, ფარდობითი პრიზმული წინაღობის დიაგრამის სახით.

2. ბეტონის სიმტკიცე ადგილობრივ კუმშვაზე (თელვაზე). ადგილობრივი კუმშვა (თელვა) გვხვდება კოჭების, თაღებისა და ფერმების საყრდენებზე, ანკერების ქვეშ და სხვ., როდესაც მკუმშავი ძალა გადაეცემა კვეთის ნაწილს (ნახ. II. 4). ამ დროს კვეთის დაუტვირთავი ნაწილის შემკავებელი გავლენის გამო (სალტის ეფექტი) დატვირთული ნაწილის წინაღობა უფრო მაღალია, ვიდრე მისი ტოლი განივკვეთის ფართობიანი პრიზმული ნიმუშის ღერძული კუმშვისას მთელ კვეთზე მოდებული დატვირთვით.

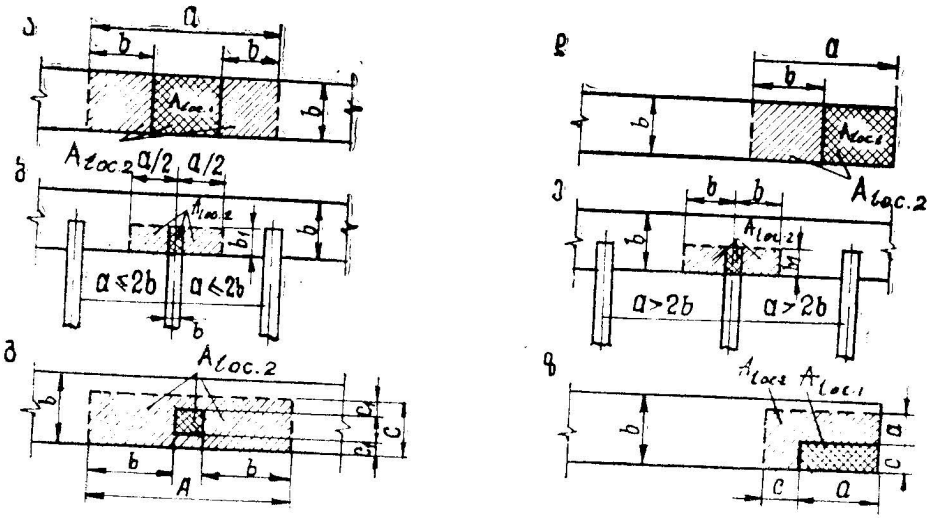


ნახ. II. 4. ბეტონის ადგილობრივი კუმშვა—თელვა.

R_{loc} ბეტონის სიმტკიცის ზღვარი ადგილობრივი კუმშვისას—თელვისას—განისაზღვრება ფორმულით

$$R_{loc} = R_b \sqrt[3]{\frac{A_{loc.2}}{A_{loc.1}}} \qquad (II.3)$$

სადაც $A_{loc.2}$ არის ბეტონის ელემენტის მუშაობაში მონაწილე საანგარიშო კვეთის



ნახ. II. 5. ადგილობრივი კუმშვის (თელვის) შემთხვევები და საანგარიშო კვეთის ფართობები.

ფართობი, რომლის სიდიდე განისაზღვრება თელვის შემთხვევის შესაბამისად (ნახ. II. 5). საანგარიშო კვეთის ფართობებად მიიღება დატვირთული ნაწილის უახლოესი ზონისა და თვით თელვის ფართობების ჯამი.

$A_{loc.1}$—კვეთის დატვირთული ნაწილის ფართობი—თელვის ფართობი;

$\sqrt[3]{\frac{A_{loc.2}}{A_{loc.1}}}$ —ადგილობრივი დატვირთვის მოქმედებისას არ მიიღება მეტი, ვიდრე 1,5 და 2—ადგილობრივი და მთელი კვეთის დატვირთვის ერთობლივი მოქმედებისას.

3. ბეტონის სიმტკიცე გაჭიმვაზე. ბეტონის აგებულების არაერთგვაროვნება განსაკუთრებით იჩენს თავს გაჭიმვის დროს. სიმტკიცე გაჭიმვაზე დამოკიდებულია ცემენტის ქვის სიმტკიცეზე და მის შეჭიდულობაზე შემვსებების მარცვლებთან.

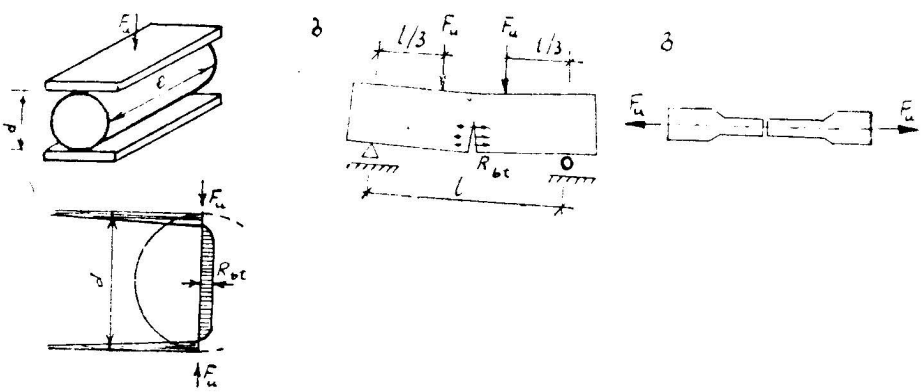
R_{bt} ბეტონის სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვაზე დაბალია და შეადგენს

$$R_{bt} = (0{,}05 \div 0{,}1)\, R. \qquad \text{(II.4)}$$

მისი სიდიდე შეიძლება განისაზღვროს ფერეს ემპირიული ფორმულით

$$R_{bt} = 0{,}5 \sqrt[3]{R^2}, \qquad \text{(II.4, ა)}$$

რომელიც ყოველთვის არ იძლევა სწორ პასუხს. კონსტრუქციებისათვის, რომლებიც ძირითადად გაჭიმვაზე მუშაობენ, R_{bt}-ს განსაზღვრავენ რვიანისმაგვარი ნიმუშების გამოცდით გაჭიმვაზე; R_{bt}-ს დადგენა შეიძლება აგრეთვე კოჭების გამოცდით ღუნვაზე ან ცილინდრული ნიმუშის გამოცდით გახლეჩაზე (ნახ. II.6).

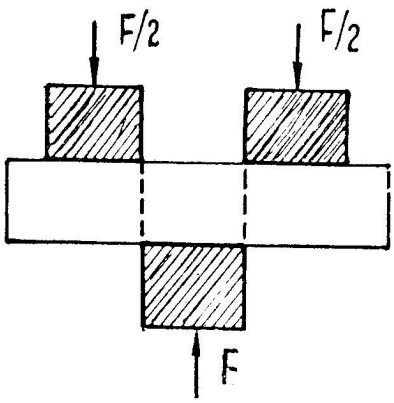


ნახ. II. 6. ბეტონის წინაღობის განსაზღვრა გაჭიმვაზე: ა—ცილინდრული ნიმუშის გამოცდა განივ კუმშვაზე; ბ—პრიზმული ნიმუშის გამოცდა განივ ღუნვაზე; გ—პრიზმული (რვიანის) ნიმუშის გამოცდა გაჭიმვაზე.

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

ბეტონის სიმტკიცის გაზრდა გაჭიმვაზე შეიძლება სიმკვრივის გადიდებით და შემვსებების სპეციალური შერჩევის გზით. ხრეშის ნაცვლად ღორღის გამოყენება ზრდის შეჭიდულობას ცემენტის ქვასა და შემვსებებს შორის, შესაბამისად იზრდება სიმტკიცეც გაჭიმვაზე.

4. ბეტონის სიმტკიცე ჭრასა და ხლეჩაზე. ბეტონის ჭრა სუფთა სახით იშვიათად გვხვდება. ჭრა წარმოდგენილი გვაქვს როგორც ელემენტის გაკვეთა იმ სიბრტყეში, რომელშიაც მოდებულია განივი ძალები. მიღება, რომ ჭრის ძაბვები კვეთის ზედაპირზე თანაბრად ნაწილდება. ცდებით (საცდელი სქემის ერთი სახეობა ნაჩვენებია II. 7 ნახაზზე) ნაჩვენებია, რომ სიმტკიცე ჭრაზე დაახლოებით ორჯერ უფრო მაღალია, ვიდრე გაჭიმვაზე, ე. ი. ჭრის წინაღობა



ნახ. II. 7. ჭრაზე ბეტონის წინაღობის განსაზღვრისათვის.

$$R_{cut} \simeq 2\, R_{bt}; \qquad \text{(II.5)}$$

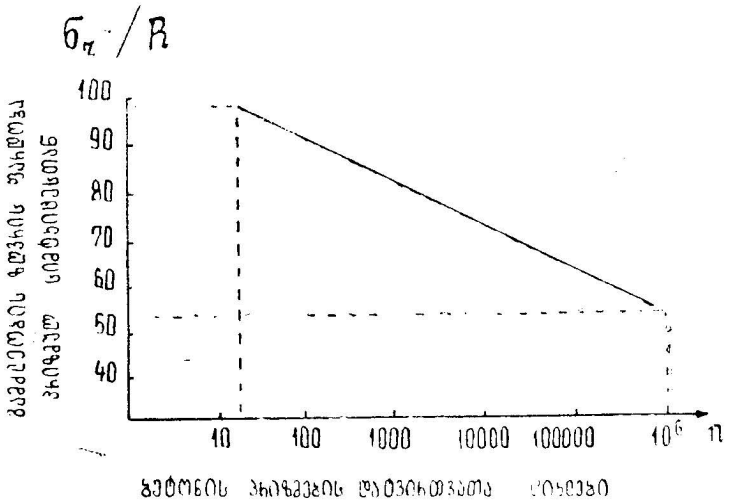
იგი გამოისახება ემპირიული ფორმულით

$$R_{cut} = 0{,}7\, \sqrt{R_b R}. \qquad \text{(II.5, ა)}$$

წინაღობა ხლეჩაზე გვხვდება რკინაბეტონის კოჭების ღუნვაზე მუშაობის დროს (დახრილი ბზარების გაჩენამდე). ცდებით დადგენილია, რომ დროებითი წინაღობის სიდიდე ხლეჩაზე 1,5—2-ჯერ აღემატება ბეტონის სიმტკიცეს გაჭიმვაზე

$$R_{sh} = (1{,}5 \div 2{,}0)\, R_{bt}. \qquad \text{(II.6)}$$

5. მრავალჯერგანმეორებადი ხანგრძლივი დატვირთვების გავლენა სიმტკიცეზე. რკინაბეტონის კონსტრუქციებში ვხვდებით ელემენტებს, რომელთა



ნახ. II.8. ბეტონის გამძლეობის ზღვარი დატვირთვების განმეორებადობის ციკლთა რაოდენობისაგან დამოკიდებულებით.

დატვირთვა მილიონობით მეორდება. ასეთია ამწისქვეშა კოჭები, ურიკების საძირკვლები, ხიდები და სხვა. მრავალჯერგანმეორებადი დატვირთვების ზე-

მოქმედებით ბეტონი შეიძლება უფრო ადრე დაირღვეს, ვიდრე ერთჯერადი დატვირთვისას. ბეტონის გაძლეობის R_r ზღვარი, ანუ დროებითი წინაღობა მრავალჯერგანმეორებადი დატვირთვებისას, კერძოდ, პრიზმულ ნიმუშის გამოცდის დროს კუმშვაზე

$$R_r = (0{,}5 \div 0{,}85)\, R_b \qquad \text{(II.7)}$$

და დამოკიდებულია დატვირთვა-განტვირთვის ციკლთა რაოდენობაზე და მახასიათებლის $\rho = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$ სიდიდეზე (ნახ. II. 8). გამძლეობის ზღვრის უდაბლესი მნიშვნელობა დაკავშირებულია სტრუქტურული მიკრობზარების გაჩენასთან

$$R_r \geqslant R_{crc.o}, \qquad \text{(II. 7, ა)}$$

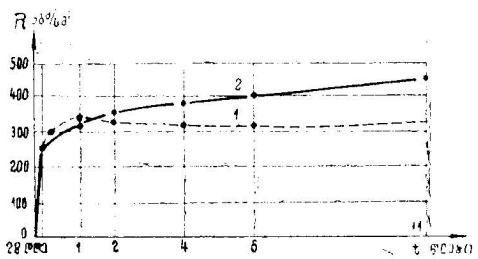
სადაც $R_{crc.o}$ არის ბეტონის წინაღობა მიკრობზარების წარმოქმნისას.

ხანგრძლივი დატვირთვა აგრეთვე იწვევს ბეტონის რღვევას უფრო დაბალი ძაბვების დროს, ვიდრე ხანმოკლე დატვირთვა. ხანგრძლივი წინაღობის ზღვარი ღერძული კუმშვის დროს შეიძლება იყოს $0{,}85R$ და უფრო ნაკლებიც; ხანგრძლივი წინაღობა აღინიშნება R_l-ით; ღერძული კუმშვისას

$$R_l \simeq 0{,}85\, R_b. \qquad \text{(II. 8)}$$

როდესაც ძაბვების $\frac{\sigma_b}{R_b}$ დონე ექსპლუატაციის დროს თანდათან მცირდება, დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედების უარყოფითი გავლენა შეიძლება არც გამოვლინდეს, თუ არსებობს ბეტონის სიმტკიცის ზრდის ხელსაყრელი პირობები.

6. დროისა და გამყარების პირობების გავლენა ბეტონის სიმტკიცეზე. ბეტონის სიმტკიცე დროთა განმავლობაში იზრდება. განსაკუთრებით ინტენსიურად სიმტკიცის ზრდა ხდება გამყარების საწყის პერიოდში; პორტლანდცემენტზე დამზადებული ბეტონისათვის 28 დღის განმავლობაში, პუცოლან ან წიდაპორტლანდცემენტზე დამზადებული ბეტონისა—90 დღის განმავლობაში. შემდეგ, გამყარებისათვის ხელსაყრელ პირობებში (სველი გარემო, დადებითი ტემპერატურა) ბეტონის სიმტკიცის ზრდა შეიძლება გრძელდებოდეს წლობით. ეს მოვლენა აიხსნება ცემენტის მასის გაქვავების ხანგრძლივი პროცესით. მშრალ გარემოში ნიმუშების შენახვისას სიმტკიცის ზრდა ერთ წელზე მეტ ხანს არ გრძელდება (ნახ. II. 9).



ნახ. II. 9. ბეტონის სიმტკიცის ზრდა დროთა განმავლობაში; 1—მშრალ გარემოში; 2—სველ გარემოში ნიმუშის შენახვისას.

დროთა განმავლობაში ბეტონის სიმტკიცის ზრდა დადებითი ტემპერატურისა და ტენიან გარემოში გამყარებისას შეიძლება გამოისახოს ემპირიული დამოკიდებულებით

$$R_t = R_{28} \frac{\lg t}{\lg 28}, \qquad \text{(II. 9)}$$

სადაც R_t არის დროებითი წინაღობა კუმშვაზე t დღეღამის ასაკის კუბური ნიმუშისათვის, R_{28}—28 დღის ნიმუშისათვის. ფორმულა მართებულია 7 დღეზე მეტი ასაკის ბეტონისათვის.

ბეტონის გამყარების პროცესი დამოკიდებულია გარეშე ტემპერატურასა და ტენიანობაზე. ტემპერატურისა და ტენიანობის გადიდება აჩქარებს გამყარების პროცესს. უარყოფითი ტემპერატურის მოქმედებისას გამყარების პროცესი ნელდება და წყდება კიდეც.

ჩარხნული წესით რკინაბეტონის ელემენტების დამზადებისას გამყარების დასაჩქარებლად იყენებენ თბოდამუშავებას (90°C ტემპერატურისას, ტენიანობა 100%-მდე) და ავტოკლავურ დამუშავებას (ორთქლის წნევა 12 ატმ-მდე, ტემპერატურა 170°-მდე), რაც 1 დღეღამეში იძლევა საპროექტო სიმტკიცის 70%-ს.

§ 3. ბეტონის დეფორმაცია

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

გამომწვევი მიზეზების მიხედვით განასხვავებენ ბეტონის არაძალურ და ძალურ დეფორმაციებს. პირველს მიეკუთვნება გამყარების და ტემპერატურული დეფორმაციები, მეორეს — დეფორმაციები გამოწვეული გარე დატვირთვით.

1. ბეტონის არაძალური დეფორმაცია

შეკლება და გაჯირჯვება. გამყარების პროცესში ბეტონის მოცულობა შეიძლება შეიცვალოს: ჰაერზე გამყარებისას შემცირდეს — ამ მოვლენას შეკლება ეწოდება, წყალში გამყარებისას გადიდდეს — ამ მოვლენას გაფუება (გაჯირჯვება) ეწოდება.

არსებობს ბეტონები, რომელთაც შეკლება არ ახასიათებთ — სპეციალურ (გაფართოებად ან შეუკლებად) ცემენტზე დამზადებული ბეტონები.

შეკლებისა და გაჯირჯვების დეფორმაციები წლობით პიმდინარეობს, გამყარების დასაწყისში განსაკუთრებით ინტენსიურად, შემდეგ თანდათან ნელდება და ბოლოს წყდება.

შეკლების დეფორმაციების სიდიდე 2-ჯერ და მეტად (2÷5) აღემატება გაჯირჯვებას.

შეკლება და გაფუება მოცულობითი დეფორმაციაა. მაგრამ ჩვეულებრივ განსაზღვრავენ ხაზოვან სიდიდეს — დეფორმაციას ელემენტის სიგრძეზე.

ცდებით დადგენილია შეკლების საშუალო სიდიდე: მძიმე ბეტონებისათვის $\varepsilon_{sl} = 3 \cdot 10^{-4}$, ხოლო ფოროვან შემვსებებზე დამზადებული ბეტონებისათვის $\varepsilon_{sl} \cong 4{,}5 \cdot 10^{-4}$.

ბეტონის მასაში შეკლება ხდება არათანაბრად, ზედაპირზე იგი მაქსიმალურია, ვრცელდება ზედაპირიდან სიღრმისაკენ. არათანაბარი შეკლების გამო

წარმოიშობა შინაგანი დაძაბულობა, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს ბეტონის დაბზარვა.

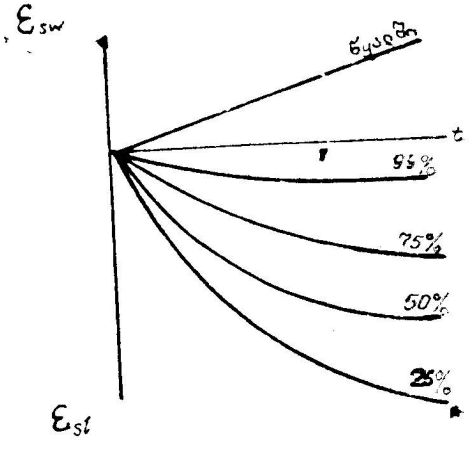
გამყარების პროცესში ბეტონის შეკლებისა და გაფუების სიდიდე და ზრდის ხასიათი დროში დამოკიდებულია ძირითადად შემკვრელის ხარისხსა და რაოდენობაზე; გარდა ამისა, შემვსების თვისებებსა და გრანულომეტრიულ შედგენილობაზე, გამყარების გარემოს ტემპერატურასა და ტენიანობაზე.

რაც უფრო მეტია ცემენტის რაოდენობა ბეტონის ნარევში და მაღალია მისი აქტივობა, მით მეტია ბეტონის შეკლების დეფორმაციები; წყალცემენტის ფაქტორის გადიდება ზრდის შეკლებას.

გამყარების დამაჩქარებლების გამოყენებისას შეკლება მატულობს.

შემვსებები — ბეტონის შინაგანი ბმები — ამცირებენ შეკლებას: რაც უფრო მკვრივია შემვსები და მაღალია მისი დრეკადობის მოდული, მით უფრო მცირეა შეკლება.

შეკლება და გაფუება შედგება შეუქცევი და შექცევადი დეფორმაციებისაგან. შეუქცევი დეფორმაციები გამოწვეულია ცემენტის ქვის ამორფული მასის — გელის — დაბერებით და დროთა განმავლობაში მატულობს. შექცევადი დეფორმაციები დაკავშირებულია კაპილარულ მოვლენებთან — კაპილარებსა და ფორებში არსებული თავისუფალი წყლის რაოდენობის ცვალებადობაზე — გარემოს ტენიანობის კვალობაზე მატულობს ან კლებულობს (ნახ. II. 10).



ნახ. II. 10. შეკლებისა და გაჯირჯვების დეფორმაციების დამოკიდებულება გარემოს ტენიანობაზე.

ბეტონის შეკლების მოვლენის გათვალისწინება უშუალოდ გაანგარიშებით არ ხდება. შეკლების მავნე გავლენის შესამცირებლად მიმართავენ ტექნოლოგიურ (ბეტონის შედგენილობის შერჩევა, გამყარების პროცესში შესაფერისი მოვლა) და კონსტრუქციულ ზომებს—კონსტრუქციის მნიშვნელოვანი სიგრძის შემთხვევაში აწყობენ შეკლების ნაკერებს, რომელიც უთავსდება ჯდომისა და ტემპერატურულ ნაკერებს. ჯდომის ნაკერით შენობა იყოფა საძირკლიანად. შეკლება—ტემპერატურული ნაკერები ეწყობა საძირკვლამდე, მათ შორის მანძილი მიიღება 60 მ-მდე (დანართები, XXII ცხრილი).

ტემპერატურული დეფორმაციები. გარემოს ტემპერატურის ცვალებადობისას ბეტონის მოცულობა იცვლება, რასაც ტემპერატურული დეფორმაცია ეწოდება. ტემპერატურული დეფორმაციების აბსოლუტური სიდიდე მნიშვნელოვანია კონსტრუქციის უდიდესი ზომის მიმართულებით — სიგრძივ.

თუ ტემპერატურული დეფორმაციები თავისუფლად ვითარდება ტემპერატურის პროპორციულად, ბეტონში ძაბვები არ აღიძვრება. როდესაც ბეტონის

ტემპერატურული დეფორმაციები დაბრკოლებულია (მაგალითად, რკინაბეტონში არმატურით, სტატიკურად ურკვევ სისტემებში ზედმეტი ბმებით) ან ტემპერატურა მოქმედებს არათანაბრად, აღიძვრება ძაბვები, რასაც შეიძლება მოჰყვეს ბეტონის დაბზარვა.

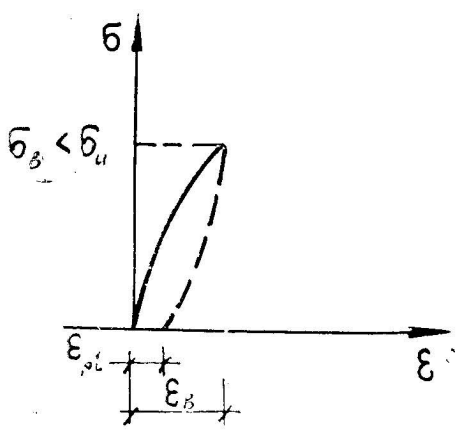
ტემპერატურული ძაბვები ჩნდება ცემენტის ქვისა და შემვსების ტემპერატურული გაფართოების კოეფიციენტების განსხვავების გამო. ტემპერატურის 100°C ფარგლებში ცვალებადობისას ეს სხვაობა პრაქტიკულად უმნიშვნელო სიდიდის ძაბვებს აღძრავს.

ბეტონის ხაზოვანი გაფართოების კოეფიციენტი ტემპერატურის 100°C ფარგლებში ცვალებადობისას საშუალოდ $1 \cdot 10^{-5}$ შეადგენს. ამ სიდიდესთან ახლოა ფოლადის ტემპერატურული ხრფივი გაფართოების კოეფიციენტი $1{,}2 \cdot 10^{-5}$.

მნიშვნელოვანი სიგრძის კონსტრუქციებში ეწყობა ტემპერატურული ნაკერები, რომელთა შეთავსება ხდება შეკლების ნაკერებთან.

2. ბეტონის ძალური დეფორმაციები

ჩატარებული ცდები ცხადყოფენ, რომ დატვირთვის მოქმედებისას ბეტონის დეფორმაციების განვითარების კანონი დამოკიდებულია დატვირთვის მოქმედების ხასიათზე, ხანგრძლივობაზე, გარემოს ტემპერატურულ და ტენიანობის პირობებზე (და სხვა ნაკლებმნიშვნელოვან ფაქტორებზე).



ნახ. II.11.

საერთოდ, ბეტონის დეფორმაციის სიდიდე შედგება დრეკადი და პლასტიკური ნაწილისაგან

$$\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_{pl},$$

რაც ადვილი დასადგენია გამოსაცდელი ნიმუშის მუდმივი სიჩქარით დატვირთვის და განტვირთვის შემდეგ დეფორმაციის სიდიდეთა გაზომვით (ნახ. II. 11). ეს მიგვითითებს, რომ ბეტონი დრეკადი მასალა არ არის.

დატვირთვის მოქმედების ხასიათისა და ხანგრძლივობის მიხედვით განასხვავებენ ბეტონის ძაღური დეფორმაციების შემდეგ სახეობებს: 1. დეფორმაციები ერთჯერადი ხანმოკლე დატვირთვისას; 2. დეფორმაციები ხანგრძლივი დატვირთვისას; 3. დეფორმაციები მრავალჯერგანმეორებადი დატვირთვისას.

დ ა ტ ვ ი რ თ ვ ი ს ე რ თ ჯ ე რ ა დ ი ხ ა ნ მ ო კ ლ ე მ ო ქ მ ე დ ე ბ ი ს ა ს ძ ა ბ ვ ა-დ ე ფ ო რ მ ა ც ი ა თ ა დამოკიდებულების კანონი გამოისახება მ რ უ დ ი თ, რომლის ნებისმიერ წერტილზე გავლებული მხები დეფორმაციების ღერძთან შეადგენს სხვადასხვა სიდიდის კუთხეს. მრუდის საწყისზე გავლებული მხები კუმშვისა და გაჭიმვის შემთხვევაში დეფორმაციის ღერძთან თითქმის თანაბარი სიდიდის α_0 კუთხეს ქმნის (ნახ. II. 12).

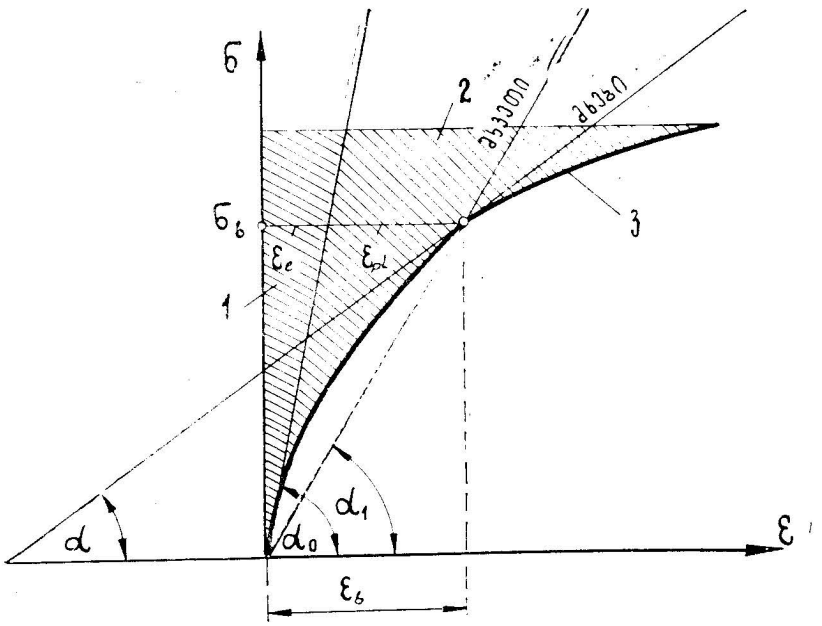
ძაბვების ნებისმიერ დონეზე σ_b-ის შესაბამისი მთლიანი დეფორმაციები შეიძლება განვიხილოთ როგორც დრეკადი და პლასტიკური დეფორმაციების ჯამი, როგორც კუმშვის

$$\varepsilon_b = \varepsilon_{b,e} + \varepsilon_{b,pl}, \tag{II.10}$$

ასევე გაჭიმვის შემთხვევებში

$$\varepsilon_{bt} = \varepsilon_{bt,e} + \varepsilon_{bt,pl}. \tag{II.11}$$

ერთჯერადი ხანმოკლე დატვირთვის მოქმედებისას განვითარებულ დეფორმაციებს საწყისი (პირველადი) დეფორმაციები ეწოდებათ, ხოლო შესაბამის σ—ε მრუდს — საწყისი მრუდი.



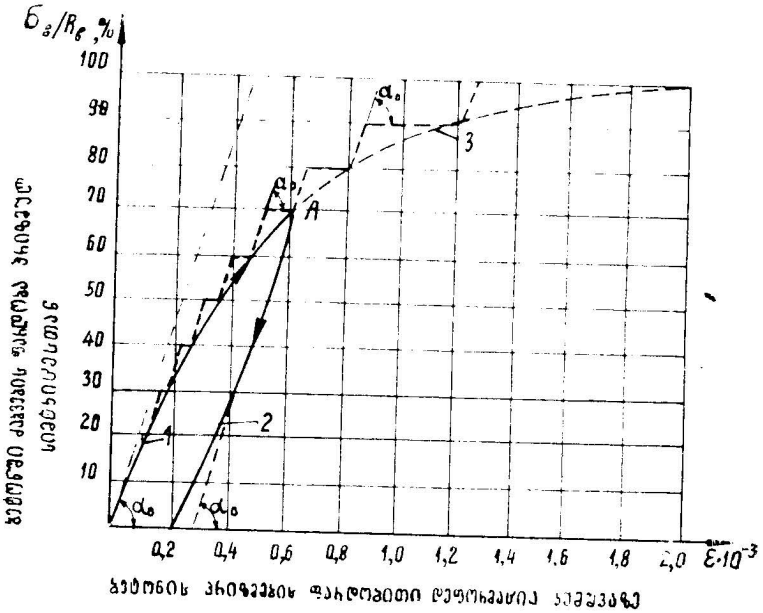
ნახ. II. 12. ძაბვა-დეფორმაციათა დამოკიდებულება კუმშვისა და გაჭიმვისას ხანმოკლე ერთჯერადი დატვირთვის დროს.

საწყისი მრუდი დატვირთვის მატებისას აზნექილია ძაბვათა ღერძისაკენ, განტვირთვისას — ჩაზნექილი დეფორმაციათა ღერძისაკენ.

მრუდი აიგება დატვირთვის ძუძმივი სიჩქარით, თანაბარი საფეხურებით მატებისას, როდესაც თანაბარი სიდიდის დატვირთვის ყოველი საფეხურით ზრდას მოსდევს თანაბარი დროით დაყოვნება. საფეხურთა მნიშვნელოვანი რაოდენობის შემთხვევაში σ—ε დამოკიდებულება (ტეხილი) გამოისახება მრუდით (ნახ. II. 13).

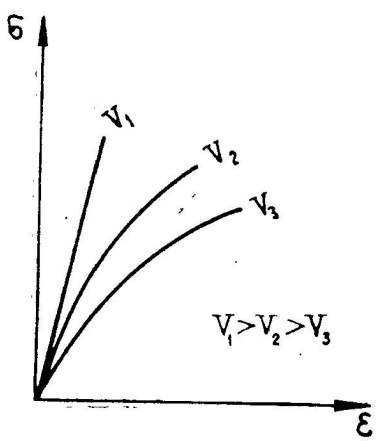
ერთჯერადი ხანმოკლე დატვირთვისას ε_b მთლიანი დეფორმაციები ძაბვების პროპორციული არ არის: ε_e დრეკადი ნაწილი პროპორციულია ძაბვების, ε_{pl}

პლასტიკური ნაწილი დამოკიდებულია დატვირთვის მოქმედების ხანგრძლივობაზე— იზრდება დატვირთვის მოქმედების ხანგრძლივობის გადიდებით და მყისი დატვირთვისას ახლოა ნულთან.



ნახ. II. 13. ბეტონის ძაბვა-დეფორმაციათა დამოკიდებულების პრუდის (3) აგება საფეხუროვანი თანდათანობითი დატვირთვის (1) და განტვირთვისას (2).

დაბალი ძაბვების შესაბამისი დეფორმაციების უდიდეს ნაწილს შეადგენს დრეკადი დეფორმაციები, მაღალი ძაბვებისათვის — პლასტიკური დეფორმაციები.



ნახ. II. 14. ძაბვა-დეფორმაციათა დამოკიდებულების გრაფიკები დატვირთვის სხვადასხვა სიჩქარისას.

სხვადასხვა სიჩქარით დატვირთვისას ერთი და იმავე ძაბვების სიდიდეს სხვადასხვა დეფორმაცია შეესაბამება, σ—ε მრუდი მით უფრო ციცაბოა, რაც უფრო მაღალია დატვირთვის სიჩქარე. სწორხაზოვანი დამოკიდებულება ძაბვებსა და დეფორმაციებს შორის შეესაბამება მყის დატვირთვას, როდესაც ბეტონი მუშაობს როგორც დრეკადი ტანი (ნახ. II. 14).

ბეტონის დეფორმაციის მოდული. დრეკადობის მოდულის ცნება ბეტონისათვის, საერთოდ, გამოდგება მხოლოდ მყისი

დატვირთვის შემთხვევაში. ერთჯერადი ხანმოკლე დატვირთვის დროს იგი გეომეტრიულად წარმოგვიდგება როგორც σ—ε მრუდის საწყისზე გავლებული მხების მიერ დეფორმაციათა ღერძთან შედგენილი კუთხის ტანგენსი

$$E_b = \operatorname{tg} \alpha_0,$$

მას დრეკადობის საწყის მოდულს უწოდებენ. E_b-ის მნიშვნელობა დამოკიდებულია ბეტონის სახეობაზე და გამყარების პირობებზე.

საწყისი მოდულის სიდიდის განსაზღვრა ხდება ძაბვათა დაბალ დონეზე, როდესაც $\sigma_b \leqslant 0{,}2\,R_b$, რადგან დატვირთვის ადრეულ სტადიებზე მყისი და ხანმოკლე დატვირთვის შემთხვევაში ძაბვა-დეფორმაციათა დიაგრამებს შორის განსხვავება უმნიშვნელოა. დრეკადობის საწყისი მოდულის სიდიდე სხვადასხვა კლასისა და სახეობის ბეტონებისათვის იცვლება $2 \cdot 10^4 \div 5 \cdot 10^4$ *MPa*. E_b-ს სიდიდის განსაზღვრავად მიღებულია ემპირიული ფორმულები, მაგალითად, მძიმე ბეტონებისთვის:

გრაფის ფორმულა

$$E_b = \frac{1 \cdot 10^6}{1{,}7 + \dfrac{300}{R}}, \text{ კგძ/სმ}^2, \tag{II.12}$$

როშის ფორმულა

$$E_b = \frac{550000}{1 + \dfrac{187}{R}}, \text{ კგძ/სმ}^2, \tag{II.13}$$

უოკერის ფორმულა

$$E_b = 20000\sqrt{R}, \text{ კგძ/სმ}^2. \tag{II.14}$$

დაპროექტების ნორმებში ბუნებრივი გამყარების მძიმე ბეტონისათვის გამოყენებულია ფორმულა.

$$E_b = \frac{550000\,B}{270 + B}, \; MPa, \tag{II.15}$$

სადაც R, $\dfrac{\text{კგძ}}{\text{სმ}^2}$, ბეტონის კუბური სიმტკიცეა, ხოლო B—ბეტონის კლასი სიმტკიცის მიხედვით კუმშვაზე, *MPa*.

ბეტონის დეფორმაციის თვისებების დასახასიათებლად იყენებენ დრეკადპლასტიკურობის (საშუალო) მოდულის ცნებას, აღინიშნება იგი E'_b-ით და გეომეტრიულად წარმოადგენს σ—ε მრუდზე მკვეთის მიერ აბსცისათა ღერძთან შედგენილი α_1 კუთხის ტანგენსს

$$E'_b = \operatorname{tg} \alpha_1.$$

E'_b ცვლადი სიდიდეა, ნაკლებია E_b-ზე. მათ შორის კავშირის დადგენა შეიძლება პირობიდან, რომ ერთი და იგივე σ_b ძაბვა შეიძლება გამოისახოს როგორც დრეკადი, ასევე მთლიანი დეფორმაციების შესაბამისად.

$\sigma_b = \varepsilon_{b,e} E_b$; იგივე $\sigma_b = \varepsilon_b E'_b$, მაშინ $\varepsilon_{b,e} E_b = \varepsilon_b E'_b$,

ე. ი.

$$E_b' = \frac{\varepsilon_{b.e}}{\varepsilon_b} E_b = \nu E_b, \qquad \text{(II.16)}$$

სადაც $\nu = \frac{\varepsilon_{b.e}}{\varepsilon_b}$ არის დრეკადი დეფორმაციების ფარდობა მთლიან დეფორმაციებთან და მას ეწოდება დრეკადობის (ან დრეკადი დეფორმაციების) კოეფიციენტი. ცდებით დადგენილია, რომ ν იცვლება 1,0÷0,15 ფარგლებში, ახლოა 1-თან დაბალი ძაბვებისათვის (ν-ს დრეკად-პლასტიკურობის მახასიათებელსაც უწოდებენ).

ბეტონის დრეკადობის საწყისი E_b მოდული თბოდამუშავებით გამყარების შემთხვევაში 10%-ით, ხოლო ავტოკლავური დამუშავებისას 25%-ით უფრო დაბალია, ვიდრე ბუნებრივ პირობებში გამყარებისას. ფოროვან შემვსებებზე დამზადებული ბეტონებისათვის იგი 1,5—2-ჯერ უფრო დაბალია, ვიდრე მძიმე ბეტონების.

ბეტონის ძვრის მოდული განისაზღვრება ფორმულით

$$G = \frac{E_b}{2(1+\mu)}. \qquad \text{(II.17)}$$

პუასონის კოეფიციენტი $\mu = 0{,}2$ ყოველგვარი ბეტონისათვის და მაშინ

$$G \cong 0{,}4\, E_b. \qquad \text{(II.17,ა)}$$

შემჩნეულია, რომ დეფორმაციის მოდულების მერყეობა მით უფრო უმნიშვნელოა, რაც უფრო სრულყოფილადაა დამზადებული ბეტონი და ერთგვაროვანია ნარევი. ბეტონის აგებულების არასრულყოფილება, გამოწვეული არასაკმაო სიმკვრივის ნარევის დამზადებით, ადიდებს ბეტონის არადრეკად გადანაცვლებებს — ძვრებს.

დრეკადობის საწყისი მოდულის სიდიდე გაჭიმვის დროს მიიღება ტოლი საწყისი მოდულისა კუმშვისას $E_{bt} = E_b$.

დრეკად-პლასტიკურობის მოდული გაჭიმვის დროს

$$E_{bt}' = \nu_t E_b; \text{ აქ } \nu_t = \frac{\varepsilon_{bt.e}}{\varepsilon_{bt}}.$$

გაჭიმვის დროს ბზარების გაჩენის წინ დრეკადობის კოეფიციენტის საშუალო საცდელი სიდიდე $\nu_t = 0{,}5$.

ბეტონის ზღვრული დეფორმაციის სიდიდეს კუმშვის დროს კუმშვადობა ეწოდება, ხოლო გაჭიმვის დროს — ჭიმვადობა. კუმშვადობის სიდიდე 10—20-ჯერ აღემატება ჭიმვადობას. კუმშვადობის საშუალო სიდიდე მიღებულია $2 \cdot 10^{-3}$, ჭიმვადობისა—$1{,}5 \cdot 10^{-4}$.

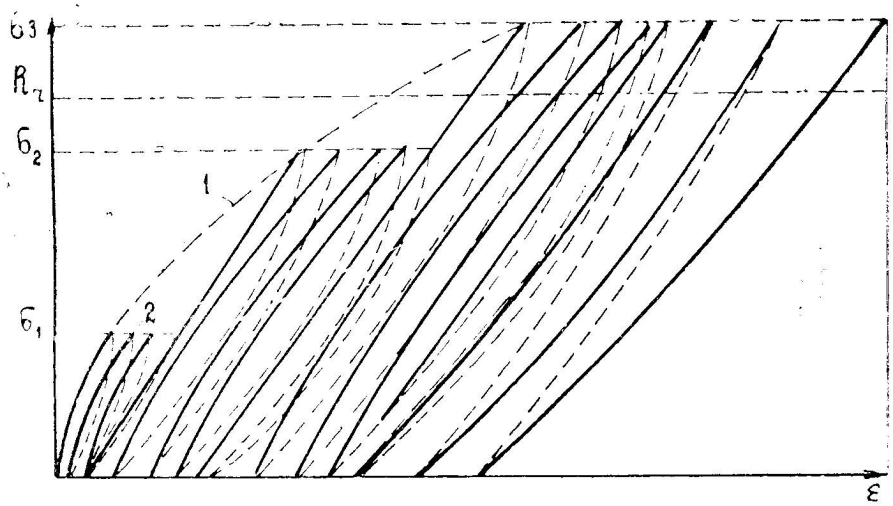
ბეტონის ზღვრული ჭიმვადობის სიდიდე დროებითი წინაღობისაგან დამოკიდებულებით

$$\varepsilon_{bt,\,u} = \frac{R_{bt}}{E_{bt}'} = \frac{R_{bt}}{\nu_t E_b} = \frac{2R_{bt}}{E_b}. \qquad \text{(II.18)}$$

ფოროვან შემვსებებზე დამზადებული ბეტონის ჭიმვადობა უფრო მაღალია, ვიდრე მძიმე ბეტონის.

ბეტონის ზღვრული ჭიმვადობა არსებით გავლენას ახდენს ბეტონის მზარმედეგობაზე.

მრავალჯერგანმეორებადი დატვირთვების მოქმედებისას ბეტონის დეფორმაციების განვითარების კანონი იცვლება (ნახ. II.15). დატვირთვის დასაწყისში დეფორმაციების განვითარების კანონი ემთხვევა საწყის მრუდს, მაგრამ უკვე რამდენიმეჯერ დატვირთვა-განტვირთვის შემდეგ დიაგრამა უახლოვდება სწორ ხაზს. თუ ძაბვათა განმეორების დონე გარკვეულ ზღვარზე დაბალია (დროებითი წინაღობის ნახევარზე), დატვირთვა-განტვირთვის ციკლთა მილიონობით რაოდენობისთვისაც ბეტონის მუშაობა პრაქტიკულად დრეკადია, ნარჩენი დეფორმაციები თანდათან ქრება. როდესაც ძაბვათა ცვალებადობის დონე აღემატება სტრუქტურული მიკ-



ნახ. II. 15. ბეტონის ძაბვა-დეფორმაციათა დამოკიდებულების გრაფიკი: 1—ერთჯერადი ხანმოკლე დატვირთვისას; 2—მრავალჯერგანმეორებადი დატვირთვისას.

რობზარების გაჩენის R^{0}_{crc} წინაღობას, დატვირთვა-განტვირთვის რამდენიმე ციკლის შემდეგ დეფორმაციების განვითარების კანონი ჯერ სწორხაზოვანი გახდება, ხოლო შემდეგ ნარჩენი დეფორმაციების განვითარება მიმდინარეობს სწრაფად, დიაგრამა ისევ მრუდდება, მაგრამ ჩაზნექილობით დეფორმაციის ღერძისაკენ; ბეტონი ირღვევა შედარებით დაბალ ძაბვებზე პლასტიკური დეფორმაციების დაგროვების გამო.

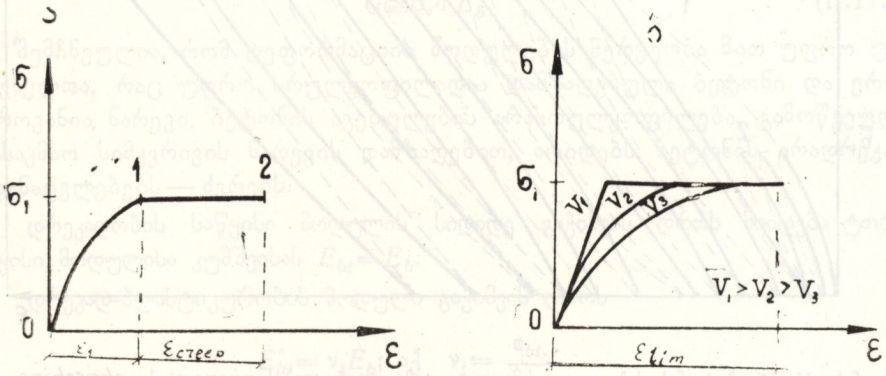
ბეტონის წინაღობა მრავალჯერგანმეორებადი დატვირთვებისას—R_r გამძლეობის ზღვარი, დროებით წინაღობაზე დაბალია; დამოკიდებულია დატვირთვა-განტვირთვის ციკლის $\left(\rho = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}\right)$ სიმეტრიულობაზე და შეადგენს (0,5—0,95) R_b.

ციკლის ასიმეტრიულობის ρ დატვირთვა-განტვირთვის კოეფიციენტი წარმოადგენს ბეტონის ძაბვების უმცირესი და უდიდესი მნიშვნელობების ფარდობას.

დეფორმაციები დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედებისას. კუმშვაზე ჩატარებული ცდები ცხადყოფენ, რომ დატვირთვის ხანგრძლივი, უცვლელი სიდიდით მოქმედებისას დროთა განმავლობაში დეფორმაციები იზრდება. ბეტონის ამ თვისებას ცოცვადობა ეწოდება.

მკუმშავი დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედებისას დეფორმაციათა დიაგრამა ნაჩვენებია II.16 ნახაზზე. II.16, ა ნახაზზე დიაგრამის 0—1 მონაკვეთი (საწყისი მრუდი) შეესაბამება დეფორმაციების განვითარების კანონს ერთჯერადი ხანმოკლე დატვირთვისას, რომელიც აგებულია დატვირთვების თანდათანობით გადიდებისას 0-დან σ_1 ძაბვებამდე.

σ_1 ძაბვების დონეზე, რომელიც დროებით წინაღობაზე მცირეა—$\sigma_1 < \sigma_u$, დატვირთვის უცვლელი სიდიდით ხანგრძლივი ზემოქმედებისას დეფორმაციების განვითარების კანონი იცვლება; დეფორმაციები იზრდება დროთა განმავლობაში ზღვრულ სიდიდემდე. დიაგრამაზე 1—2 უბანი გამოხატავს σ—ε დამოკიდებულებას ხანგრძლივი დატვირთვისას.



ნახ. II. 16. ბეტონის დეფორმაციის დიაგრამა დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედებისას;
ა—ერთი აღებული სიჩქარით დატვირთვის გადიდების შემთხვევა;
ბ—სხვადასხვა სიჩქარით დატვირთვის ზრდა.

1—2 უბნის შესაბამისი დეფორმაციები ცოცვადობის დეფორმაციებია.

ცოცვადობის დეფორმაციები განსაკუთრებით ინტენსიურად ვითარდება დატვირთვიდან პირველი 3—4 თვის განმავლობაში, გრძელდება წლობით, მაგრამ თანდათან ნელდება და ბოლოს წყდება.

დეფორმაციის საბოლოო სიდიდე დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედების დროს დამოკიდებული არ არის დატვირთვის ზრდის სიჩქარეზე (ნახ. II. 16, ბ), მაგრამ რაც უფრო მაღალია საწყისი ძაბვები, მით უფრო მნიშვნელოვანია დეფორმაციები.

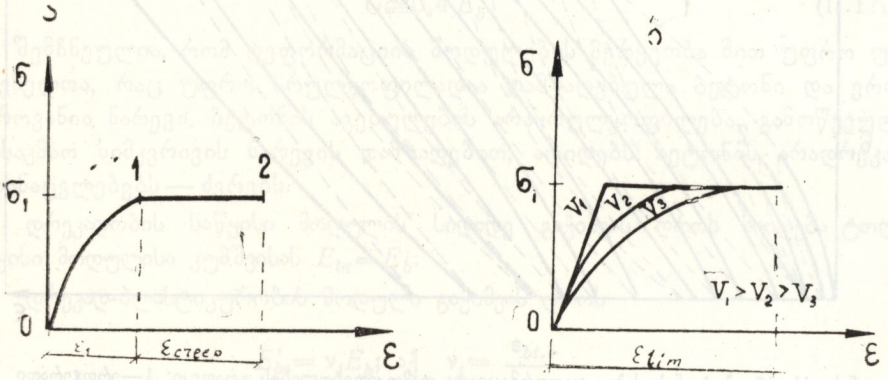
ცოცვადობა გამოვლინდება როგორც მუდმივი, ასევე ცვლადი ძაბვებისას. ახალგაზრდა ბეტონის ცოცვადობა უფრო მნიშვნელოვანი სიდიდისაა, ვიდრე

ციკლის ასიმეტრიულობის ρ დატვირთვა-განტვირთვის კოეფიციენტი წარმოადგენს ბეტონის ძაბვების უმცირესი და უდიდესი მნიშვნელობების ფარდობას.

დეფორმაციები დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედებისას. კუმშვაზე ჩატარებული ცდები ცხადყოფენ, რომ დატვირთვის ხანგრძლივი, უცვლელი სიდიდით მოქმედებისას დროთა განმავლობაში დეფორმაციები იზრდება. ბეტონის ამ თვისებას ცოცვადობა ეწოდება.

მკუმშავი დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედებისას დეფორმაციათა დიაგრამა ნაჩვენებია II.16 ნახაზზე. II.16, ა ნახაზზე დიაგრამის 0—1 მონაკვეთი (საწყისი მრუდი) შეესაბამება დეფორმაციების განვითარების კანონს ერთჯერადი ხანმოკლე დატვირთვისას, რომელიც აგებულია დატვირთვების თანდათანობით გადიდებისას 0-დან σ_1 ძაბვებამდე.

σ_1 ძაბვების დონეზე, რომელიც დროებით წინაღობაზე მცირეა—$\sigma_1 < \sigma_u$, დატვირთვის უცვლელი სიდიდით ხანგრძლივი ზემოქმედებისას დეფორმაციების განვითარების კანონი იცვლება; დეფორმაციები იზრდება დროთა განმავლობაში ზღვრულ სიდიდემდე. დიაგრამაზე 1—2 უბანი გამოხატავს σ—ε დამოკიდებულებას ხანგრძლივი დატვირთვისას.



ნახ. II. 16. ბეტონის დეფორმაციის დიაგრამა დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედებისას;
ა—ერთი აღებული სიჩქარით დატვირთვის გადიდების შემთხვევა;
ბ—სხვადასხვა სიჩქარით დატვირთვის ზრდა.

1—2 უბნის შესაბამისი დეფორმაციები ცოცვადობის დეფორმაციებია.

ცოცვადობის დეფორმაციები განსაკუთრებით ინტენსიურად ვითარდება დატვირთვიდან პირველი 3—4 თვის განმავლობაში, გრძელდება წლობით, მაგრამ თანდათან ნელდება და ბოლოს წყდება.

დეფორმაციის საბოლოო სიდიდე დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედების დროს დამოკიდებული არ არის დატვირთვის ზრდის სიჩქარეზე (ნახ. II. 16, ბ), მაგრამ რაც უფრო მაღალია საწყისი ძაბვები, მით უფრო მნიშვნელოვანია დეფორმაციები.

ცოცვადობა გამოვლინდება როგორც მუდმივი, ასევე ცვლადი ძაბვებისას. ახალგაზრდა ბეტონის ცოცვადობა უფრო მნიშვნელოვანი სიდიდისაა, ვიდრე

ხნიერის. მშრალ გარემოში ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციები უფრო მაღალია, ვიდრე სველ გარემოში.

როგორც ექსპერიმენტებით ირკვევა, ბეტონის ხანგრძლივი დეფორმაციის მიზეზი მრავალი ფაქტორია. ძირითადად ცოცვადობაზე გავლენას ახდენს ცემენტის ცომის შედგენილობა, წყალცემენტის ფაქტორი, ნიმუშის ზომები, გარემოს ტენიანობა, ბეტონის ასაკი, დატვირთვის ხანგრძლივობა.

განასხვავებენ ხაზოვან და არახაზოვან ცოცვადობას. ხაზოვანი ეწოდება ცოცვადობას, როდესაც დეფორმაციები დაახლოებით ძაბვების პროპორციულია. ხაზოვანი დეფორმაციები ვითარდება ისეთი ძაბვების დროს, რომელიც ნაკლებია მიკრობზარების გაჩენის საზღვარზე. ამ საზღვარზე ($R_{0,crc}$) მაღალი ძავებისას ხდება **დეფორმაციების დაჩქარებული ზრდა** ანუ არახაზოვანი ცოცვადობა (ასეთი დაყოფა ძალზე პირობითია). მიკრობზარების გაჩენის საზღვარი საექსპლუატაციო დატვირთვებით გამოწვეულ ძაბვებზე მაღალია, ამიტომ პრაქტიკულ ამოცანებში მეტი მნიშვნელობა ენიჭება ხაზოვან ცოცვადობას.

დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედებისას, გარდა ცოცვადობისა, ვითარდება შეკლების დეფორმაციები.

როგორც ცოცვადობა, ასევე შეკლებაც დაკავშირებულია ბეტონის გამყარების პროცესთან და მიმდინარეობს ერთობლივად, მაგრამ ცოცვადობა ხაზოვანი დეფორმაციაა, შეკლება — მოცულობითი.

ცოცვადობის ბუნებას ხსნიან ცემენტის ქვის ხანგრძლივი კრისტალიზაციით; კრისტალიზაციის პროცესში მცირდება გელი, ხდება ძაბვების გადანაწილება გელიდან კრისტალურ წარმონაქმნებსა და შემვსებებზე და ბოლოს დეფორმაციები წყდება.

ცოცვადობის დეფორმაციის სიდიდის დასადგენად იყენებენ ცოცვადობის საზომისა და ცოცვადობის მახასიათებლის ცნებას.

თუ მთლიანი კუმშვის დეფორმაციებიდან გამოვყოფთ დრეკად (მყის) დეფორმაციებს, მივიღებთ ცოცვადობის დეფორმაციას.

$$\varepsilon_{b,pl}=\varepsilon_b-\varepsilon_{b,e}=\frac{\sigma_b}{E'_b}-\frac{\sigma_b}{E_b}=\frac{\sigma_b}{\nu E_b}-\frac{\sigma_b}{E_b}=\frac{\sigma_b}{E_b}\left(\frac{1}{\nu}-1\right),$$

ე. ი.

$$\varepsilon_{b,pl}=\frac{1-\nu}{\nu}\frac{\sigma_b}{E_b}. \qquad \text{(II.19)}$$

აღვნიშნოთ $\varphi_t=\frac{1-\nu}{\nu}$, რომელსაც უწოდებენ ცოცვადობის მახასიათებელს, მაშინ ცოცვადობის დეფორმაცია

$$\varepsilon_{b,pl}=\varphi_t\frac{\sigma_b}{E_b}. \qquad \text{(II.19, ა)}$$

$\frac{\varphi_t}{E_b}$ წარმოადგენს ცოცვადობის ფარდობით დეფორმაციას ერთეული ძაბვისათვის 1 კგძ/სმ² (0,1 *MPa*) t დროის მომენტში და მას ცოცვადობის საზომი ეწოდება; იგი დამოკიდებულია ბეტონის კლასზე, ძაბვების დონეზე და იცვლება დროში. აღვნიშნოთ ცოცვადობის საზომი $C_t=\frac{\varphi_t}{E_b}$, მაშინ ცოცვადობის დეფორმაცია გამოისახება ფორმულით

$$\varepsilon_{b,pl}=C_t\sigma_b.$$

§ 4. ბეტონის საპროექტო მახასიათებლები

კონსტრუქციების დაპროექტებისას უნდა იყოს ცნობილი ბეტონის გარკვეული თვისებები და შესაბამისი მახასიათებლები კონსტრუქციის დანიშნულებისა და მუშაობის პირობების მიხედვით.

მახასიათებლები ინიშნება სიმტკიცის, სიმკვრივის, ყინვამედეგობის, წყალგაუმტარობის, თვითდაძაბვის შესაბამისად, რომელთაც უწოდებენ კლასს ან მარკას. დაპროექტებისას ითვალისწინებენ ბეტონის შემდეგ კლასებს და მარკებს:

ბეტონის კლასი სიმტკიცის მიხედვით კუმშვაზე—B;
ბეტონის კლასი სიმტკიცის მიხედვით გაჭიმვაზე—B_t;
ბეტონის მარკა ყინვამედეგობის მიხედვით—F;
ბეტონის მარკა წყალგაუმტარობის მიხედვით—W;
ბეტონის მარკა სიმკვრივის მიხედვით—D;
დამძაბავი ბეტონის მარკა თვითდაძაბვის მიხედვით—S_p.

ბეტონის B კლასები დადგენილია კუბური სიმტკიცის შესაბამისად — საშუალო დროებითი წინაღობის მიხედვით ღერძულ კუმშვაზე სახელმწიფო სტანდარტების (ГОСТ) მოთხოვნათა საფუძველზე გამოცდილი 28 დღის ნიმუში-ეტალონებისათვის ზომებით $15\times15\times15$ სმ.

ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციებისათვის გასათვალისწინებელია შემდეგი კლასები B სიმტკიცის მიხედვით კუმშვაზე, MPa, ბეტონის სახეობის შესაბამისად:

მძიმე: 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.

მსუბუქი: 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.

დამძაბავი: B 20; B 25; B 30; B 35; B 40; B 45; B 50; B 55; B 60.

წვრილმარცვლოვანი: ისეთივე გრადაციით, როგორც მძიმე B 3,5 ÷ B 60.

ბეტონის კლასები B_t სიმტკიცის მიხედვით ღერძულ გაჭიმვაზე შემოღებულია იმ შემთხვევებისათვის, როდესაც ბეტონს მუშაობა უხდება ძირითადად გაჭიმვაზე. უნდა გავითვალისწინოთ შემდეგი კლასები B_t, MPa, სიმტკიცის მიხედვით გაჭიმვაზე:

B_t 0,8, B_t 1,2; B_t 1,6; B_t 2,0; B_t 2,4; B_t 2,8; B_t 3,2.

კონსტრუქციებისათვის, რომელთაც აპროექტებენ დაბალი ტემპერატურების მრავალჯერადი გაყინვა-გალღობის პირობებში მუშაობისათვის, შეღებულია ბეტონის საპროექტო F მარკა ყინვამედეგობის მიხედვით. იგი გამოხატავს გაყინვა-გალღობის ციკლთა რაოდენობას, რომელსაც დაურღვევლად უძლებს წყლით გაჟღენთილი ბეტონი. ითვალისწინებენ შემდეგ საპროექტო მარკებს (F) ყინვამედეგობის მიხედვით ბეტონებისათვის:

მძიმე—F 50; F 75; F 100; F 150.

მსუბუქი—F 25; F 50; F 75; F 100; F 150; F 200; F 300; F 400; F 500.

წვრილმარცვლოვანი და დამძაბავი — F 200; F 300; F 400; F 500.

კონსტრუქციებისათვის, რომელთაც მუშაობა უხდებათ წყლის დაწნევაზე (რეზერვუარები, საწნეო მილები და სხვ.), ძირითადი მოთხოვნაა წყალგაუმტარობა. შესაბამისად ითვალისწინებენ საპროექტო W მარკას წყალგაუმტარობის მიხედვით; იგი გამოხატავს წყლის დაწოლის სიდიდეს (კგძ/სმ²), რომელსაც გაუღწევად უძლებს ბეტონი:

W 2; W 4; W 6; W 8; W 10; W 12.

დაპროექტებისათვის საჭიროა დაიგეგმოს აგრეთვე ბეტონის საშუალო სიმკვრივის გამომხატველი მახასიათებელი (კგ/მ³) D — ბეტონის მარკა საშუალო სიმკვრივის მიხედვით. მსუბუქი ბეტონისათვის სიმკვრივის მიხედვით ითვალისწინებენ შემდეგ მარკებს:

D 800, D 900, D 1000, D 1100, D 1200, D 1300, D 1400, D 1500, D 1600, D 1700, D 1800, D 1900, D 2000.

უჯრედოვანი ბეტონებისათვის—D 500, D 600, D 700, D 800, D 900, D 1000, D 1100, D 1200.

დაფოროვნებული ბეტონებისათვის—D 800, D 900, D 1000, D 1100, D 1200, D 1300, D 1400.

რკინაბეტონის კონსტრუქციებისათვის დაუშვებელია B 7,5-ზე დაბალი კლასის მძიმე და წვრილმარცვლოვანი ბეტონის გამოყენება.

კუმშვაზე მომუშავე ელემენტებისათვის ხელსაყრელია ბეტონის კლასი არანაკლები B 15-ისა. მძიმედ დატვირთული სვეტებისათვის — კლასი B 25 და მეტი.

წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ელემენტების ბეტონის კლასი, რომელშიაც განლაგებულია დაძაბული არმატურა, მიიღება დაძაბული არმატურის სახეობის, კლასის, დიამეტრისა და საანკერო მოწყობილობის შესაბამისად არანაკლები VIII.1 ცხრილში მითითებული მნიშვნელობისა.

III თავი

ფოლადის არმატურა. არმატურის ძირითადი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები

§ 1. არმატურის სახეობები

რკინაბეტონის შედგენილობაში არმატურა ეწოდება ფოლადის ღეროების ერთობლიობასა და ცალკეულ ღეროებსაც; არმატურის ძირითადი დანიშნულებაა ბეტონის გაჭიმული ზონის გაძლიერება, იყენებენ აგრეთვე შეკუმშული ბეტონის გასაძლიერებლად; გარდა ამისა, წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციებში არმატურას იყენებენ ბეტონში წინასწარი ძაბვების შესაქმნელად. ზოგჯერ არმატურას კონსტრუქციის დამზადების პროცესში ეკისრება ყალიბების საყრდენების მოვალეობაც.

ფოლადის არმატურის კვეთის მიხედვით განასხვავებენ მოქნილ — მცირე კვეთის ღეროებისაგან შედგენილ — და ხისტ არმატურას კუთხოვანი, ორ-

ტესებრი და სხვა მძლავრი კვეთის ფასონური ნაგლინისაგან. ხისტ არმატურას შედარებით იშვიათად იყენებენ ფოლადის კონსტრუქციის სახით; იგი შეიძლება მიზანშეწონილი აღმოჩნდეს დიდმალიანი კოჭებისა და მძიმედ დატვირთული სვეტებისათვის.

არმატურას მოეთხოვება: საიმედო კავშირი ბეტონთან (შეჭიდულობა) მუშაობის ყველა სტადიაზე; ეკონომიურობა ფოლადის ხარჯის, ღირებულების, დამზადებისა და მონტაჟის შრომატევადობის მხრივ; საარმატურე ნაწარმის დამზადების ტექნოლოგიურობა და საარმატურე სამუშაოთა ინდუსტრიულობა; არმატურის სიმტკიცისა და პლასტიკური თვისებების გარანტირებული მინიმუმი და სხვ.

მოცემული გარკვეული კონსტრუქციისათვის ამ მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად შესაფერისი არმატურის შერჩევა შეიძლება იმ მრავალი სახეობიდან, რომლებიც შექმნილია ჩატარებული დიდი კვლევითი სამუშაოებისა და პრაქტიკული გამოცდილების საფუძველზე.

რკინაბეტონის კონსტრუქციებში გამოსაყენებელი ფოლადის მოქნილი არმატურის სახეობანი შეიძლება დაიყოს დამზადების ტექნოლოგიის, ღეროების ზედაპირის მდგომარეობის, გამოყენების პირობებისა და დანიშნულების მიხედვით.

დამზადების ტექნოლოგიის მიხედვით განასხვავებენ ცხლად გლინულ ღეროვან არმატურას და ცივჭიმულ მავთულოვან არმატურას. ღეროვანი არმატურა იგლინება 6—40 მმ (90) დიამეტრისა. მავთულოვანი არმატურა მზადდება 2,5—8 მმ დიამეტრისა ცხლად გლინული მცირე დიამეტრის არმატურის მექანიკური დამუშავების გზით — ადიდაში გატარებით ცივ მდგომარეობაში (ნახ. III. 1. ზ). იყენებენ თერმულად და გამოჭიმვით განმტკიცებულ ღეროვან არმატურასაც.

მცირე დიამეტრის მავთულებისაგან (ერთმანეთთან შეგრეხით) მზადდება ბაგირები. მავთულები და ბაგირები შეიძლება შეიკრას კონებად.

ზედაპირის მდგომარეობის მიხედვით განასხვავებენ გლუვზედაპირიანს და პერიოდული პროფილის არმატურას. პერიოდული პროფილის არმატურის ზედაპირზე ღეროს სიგრძეზე, თანაბარ მანძილებზე (პერიოდულად) განლაგებულია ნაწიბურები ან ღარები, რაც უზრუნველყოფს უკეთეს შეჭიდულობას ბეტონთან.

III.1. ნახაზზე ნაჩვენებია არმატურის სახეობები.

გამოყენების პირობების მიხედვით განასხვავებენ წინასწარ დაუძაბავ და დაძაბულ არმატურას.

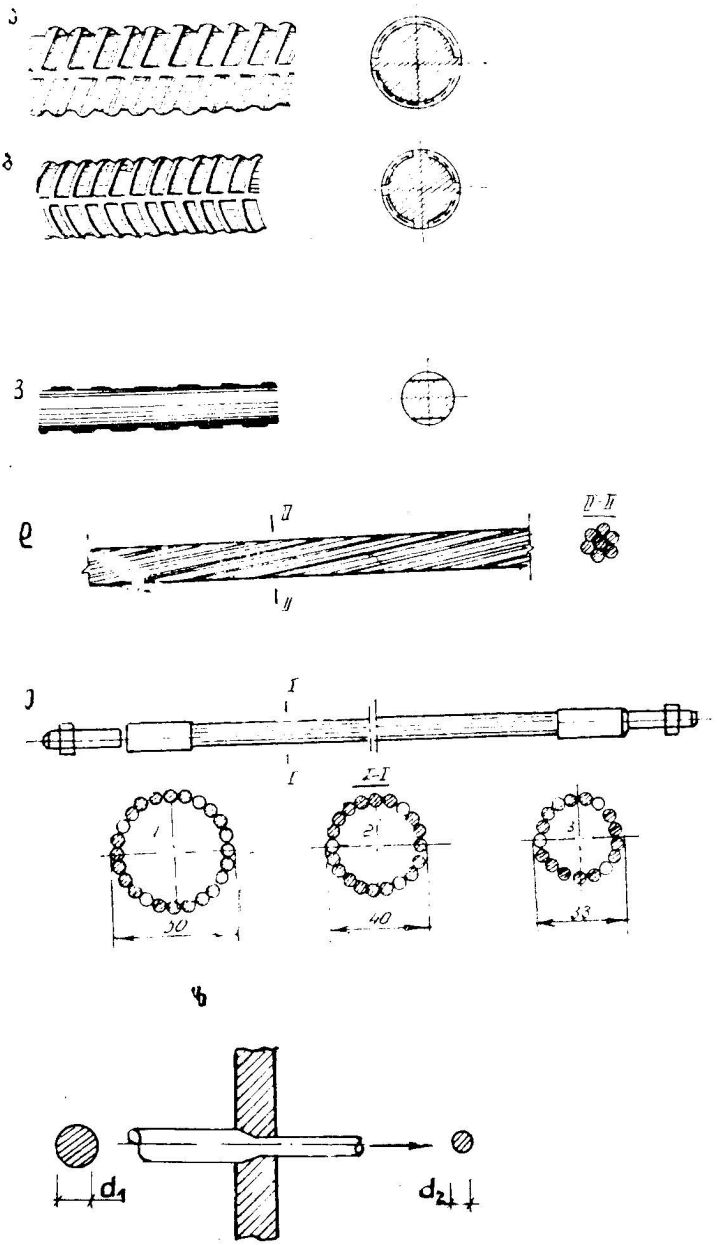
დანიშნულების მიხედვით განასხვავებენ: გრძივ მუშა, დახრილ, განივ, სამონტაჟო და მანაწილებელ არმატურას (ნახ. III. 2).

გრძივი მუშა არმატურა ეწყობა რკინაბეტონის ელემენტების ნორმალური კვეთების სიმტკიცის პირობით — ნორმალური გამჭიმი ან ნორმალური მკუმშავი ძაბვების ასატანად.

განივი არმატურა ჩვეულებრივ განლაგდება ელემენტის გრძივი ღერძის მართობულად ელემენტის გრძივი ღერძისადმი დახრილი კვეთების სიმტკიცის პირობით — მთავარი გამჭიმი ძაბვების ასატანად. გარდა ამისა, განივ არმატურას იყენებენ კონსტრუქციული მოსაზრებებითაც — გრძივი მუშა არმა-

ტურის მდგრადობისა და საპროექტო მდებარეობის უზრუნველყოფის ან ელემენტის კვეთებში გაჭიმული და შეკუმშული ბეტონის ერთმანეთთან დაკავშირების მიზნით.

დახრილი (აღუნული) არმატურა განლაგდება ელემენტის გრძივი ღერძი-

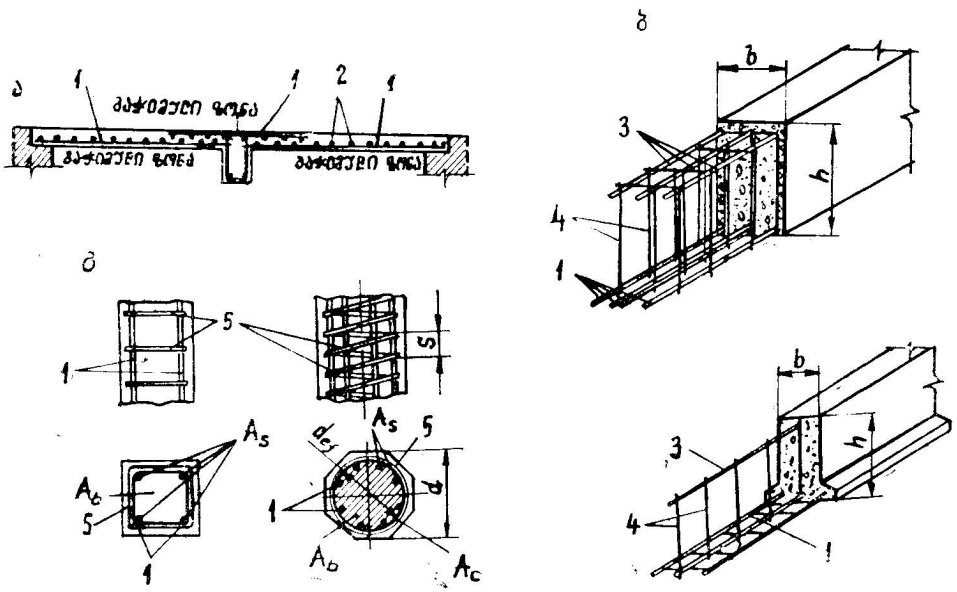


ნახ. III. 1. არმატურის სახეობები: ა, ბ—ღეროვანი, პერიოდული პროფილის, ცხლად გლინული; გ—მავთულოვანი, პერიოდული პროფილის; დ—ბაგირი; ე—კონა; ზ—ადიდვა.

სადმი დაბრილად. მთავარი გამჭიმი ძაბვების ასატანად — დახრილი კვეთების სიმტკიცის პირობით; გარდა ამისა, აღუნვა ხდება კონსტრუქციული მოსაზრებითაც — გრძივი მუშა არმატურის გადასაყვანად ერთი გაჭიმული ზონიდან მეორეში.

მანაწილებელი არმატურა ეწყობა გრძივი მუშა არმატურის თანაბრად განაწილების მიზნით, მათი საპროექტო მდებარეობის უზრუნველსაყოფად მცირე სიქისა და მნიშვნელოვანი სიგანის ელემენტებში, კერძოდ, ფილებში.

კაონგარიშებებით საჭირო არმატურას მუშა არმატურა ეწოდება, ტექნოლოგიური და კონსტრუქციული მოსაზრებებით გამოყენებულ არმატურას — სამონტაჟო.



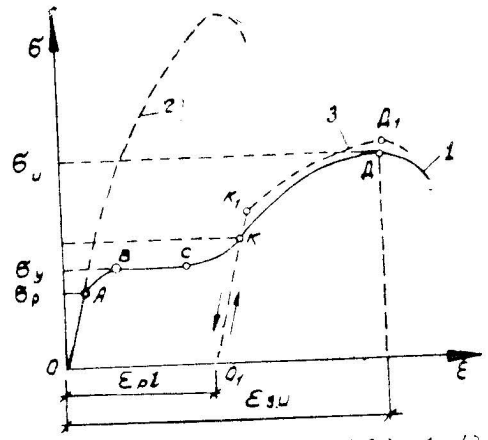
ნახ. III.2. არმატურის სახეობები დანიშნულების მიხედვით: 1—გრძივი მუშა არმატურა; 2—მანაწილებელი არმატურა; 3—სამონტაჟო არმატურა; 4—განივი არმატურა (განივი ღეროები); 5—განივი არმატურა (საკიდები); 6—აღუნული (დახრილი) არმატურა.

სხვადასხვა დანიშნულების არმატურის ღეროები დაკავშირებული უნდა იყოს ერთმანეთთან გადაკვეთის ადგილას. დაკავშირება შეიძლება შემკრავი მავთულებით ან შედუღებით. შესაბამისად იქმნება შეკრული ბადეები და კარკასები ან შენადუღი ბადეები და კარკასები. ამის მიხედვით განასხვავებენ დაარმატურების ორ ხერხს: 1. ცალკეული ღეროებით დაარმატურება (შეკრული ბადე, შეკრული კარკასი), 2. შენადუღი ბადეებითა და შენადუღი კარკასებით დაარმატურება. ეს უკანასკნელი უფრო ინდუსტრიულია. ცალკეული ღეროებით დაარმატურებისას შესაკრავად იყენებენ რბილი ფოლადის მცირე დიამეტრის მავთულს. შენადუღი ბადეებისა და შედუღებული კარკასების შემადგენელი, სხვადასხვა დანიშნულების არმატურის ღეროების დაკავშირება ურთიერთგადაკვეთის ადგილებში ხდება კონტაქტური წერტილოვანი ელექტროშედუღების გზით.

§ 2. საარმატურე ფოლადის ძირითადი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები

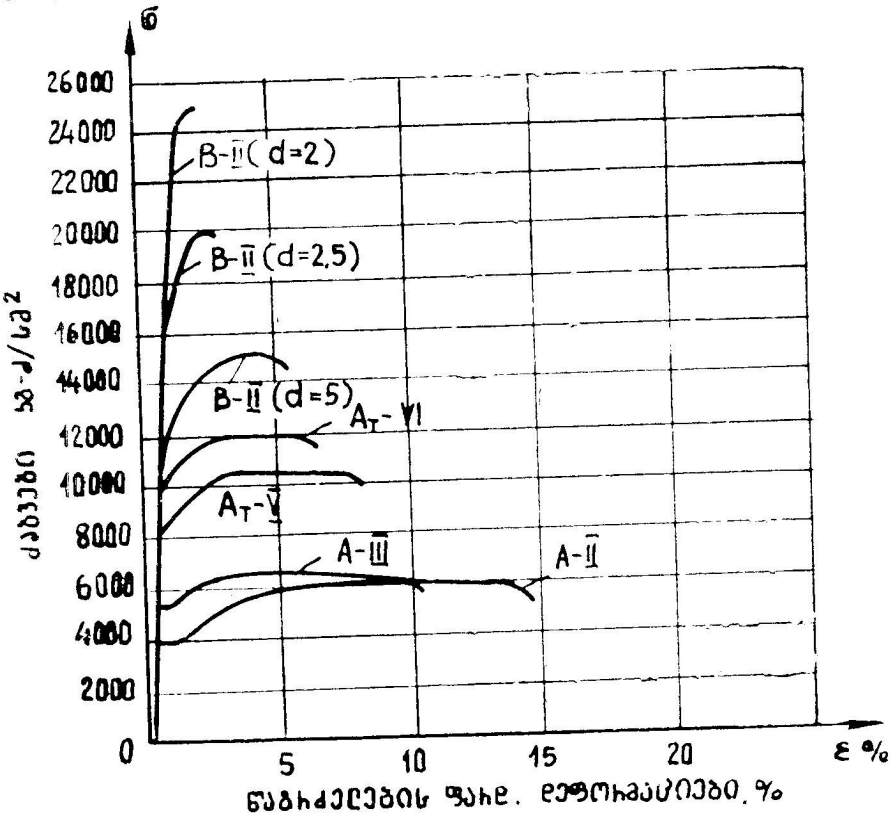
არმატურის თვისებები დამოკიდებულია ფოლადის ქიმიურ შედგენილობასა (ძირითადი ფაქტორი) და დამზადების წესზე.

საარმატურე ფოლადის სიმტკიცისა და დეფორმაციის თვისებების დასახასიათებლად იყენებენ ჯაჭიმვის დიაგრამას, რომელიც აიგება ფოლადის გამოცდის დროს გაჭიმვაზე დატვირთვის თანდათანობით გადიდებით გაწყვეტამდე (ნახ. III. 3).



ნახ. III. 3. ფოლადის გაჭიმვის დიაგრამები: 1—რბილი ნახშირბადმცირე; 2—მაღალი სიმტკიცის; 3—გამოჭიმვით განმტკიცებული არმატურისათვის.

ფოლადის ძირითადი მეკანიკური მახასიათებლებია: სიმტკიცის ზღვარი, დენადობის ზღვარი და პლასტიკურობა; ეს მაჩვენებლები სხვადასხვა ქიმიური შედგენი-



ნახ. III. 3.ა. სხვადასხვა კლასის ფოლადის არმატურის გაჭიმვის დიაგრამები.

ლობის ფოლადებისათვის განსხვავებულია. ქიმიური შედგენილობისა და ფოლადის მექანიკური მახასიათებლის მიხედვით სამშენებლო ფოლადები იყოფა მარკებად.

არმატურისათვის იყენებენ ე. წ. რბილ ნახშირბადმცირე ფოლადებს, რომელთა შედგენილობაში მხოლოდ ძირითადი კომპონენტებია—Fe, C, Si, Mn, S, P—შემდეგი შემცველობით: ნახშირბადი (C) 0,1—0,22%; მანგანუმი (Mn) 0,7%; სილიციუმი (Si) 0,35%; გოგირდი (S) და ფოსფორი (P) მავნე მინარევებია და მათი შემცველობა ძალზე შეზღუდულია. რბილი ნახშირბადმცირე ფოლადებიდან არმატურისათვის იყენებენ ст. 3 და ст. 5 მარკებს.

ფოლადის შედგენილობაში სპეციალური მინარევების — ქრომის, ტიტანისა და სხვ. შეტანით და მანგანუმისა და სილიციუმის შემცველობის გადიდებით — ლეგირებით მაღლდება ფოლადის სიმტკიცე და კოროზიამედეგობა. ლეგირება ზრდის ფოლადის ღირებულებას, ამიტომ **არმატურისათვის იხმარება** მცირედ ლეგირებული ფოლადები დანამატებისა და სპეციალური მინარევების შედარებით მცირე — 0,6—2% — შემცველობით.

მალეგირებელი მასალების პირობითი აღნიშვნა ხდება რუსული ალფაბეტის დიდი ასოებით: С—სილიციუმი, Г—მანგანუმი, Х—ქრომი, Т—ტიტანი, Ц—ცირკონიუმი. მცირედ ლეგირებული ფოლადებიდან არმატურისათვის იყენებენ შემდეგი მარკის ფოლადებს: 18Г2С, 10ГТ; 35ГС, 25Г2С; 80С, 20ХГ2С; 23Х2Г2Т. მარკის გამოსახულებაში საწყისი რიცხვი წარმოადგენს ნახშირბადის შემცველობას მეასედი პროცენტობით, ხოლო მინარევის აღნიშვნის შემდგომი ციფრი—მის შემცველობას პროცენტობით.

ფოლადში ნახშირბადის შემცველობის გადიდებით იზრდება სიმტკიცე, მაგრამ დაბლდება პლასტიკურობის მახასიათებელი. ნაღალი სიმტკიცის მავთულოვანი არმატურა მზადდება ფოლადებისაგან, რომლებშიც ნახშირბადის შემცველობა აღწევს 0,8% (**ნახშირბადოვანი ფოლადი**).

გარკვეული ქიმიური შედგენილობის ფოლადის ცხლად გლინული არმატურის შემდგომი დამუშავებით შეიძლება მისი სიმტკიცის მახასიათებლების გაუმჯობესება. იყენებენ მექანიკურ (ცივად) და თერმულ დამუშავებას — განმტკიცებას.

მექანიკური, ცივად დამუშავება მდგომარეობს ფოლადის პლასტიკურ დეფორმირებაში: წინასწარი გამოჭიმვა; ადიდაში გატარება დიამეტრის თანდათანობით შემცირებით — ადიდვა; გაგლინვა; ერთი ან ორი ურთიერთპერპენდიკულარული მიმართულებით განივი ჩაჭყლეტა — ღარვა. მექანიკური განმტკიცება ემყარება ფოლადის ცივჭედვის თვისებას.

თერმული დამუშავება მდგომარეობს 800—900°C-მდე ფოლადის გახურებასა და შემდგომ სწრაფ გაცივებაში წყალში ან ზეთში. თერმული დამუშავების რეჟიმის მიხედვით ფოლადის სტრუქტურა იცვლება, რაც გავლენას ახდენს სიმტკიცეზე — ადიდებს მას.

ცხლად გლინული ღეროვანი არმატურის განმტკიცება ხდება როგორც მექანიკურად, ასევე თერმულად, მავთულოვანი არმატურისა — მექანიკურად (ცივად), ადიდაში გატარების გზით.

დამზადებისა და მომდევნო დამუშავების მიხედვით განასხვავებენ: 1. ცხლად გლინულ ღეროვან არმატურას, ცხლად გლინულ ღეროვან არმატურას

განმტკიცებულს გამოჭიმვით, ცხლად გლინულ ღეროვან არმატურას მცირედ ლეგირებულს, ცხლად გლინულ ღეროვან არმატურას თერმულად დამუშავებულს; 2. ცივნაჭიმ მავთულოვან არმატურას (ჩვეულებრივს და მაღალი სიმტკიცის); 3. ბაგირებს.

ცხლად გლინულ ნახშირბადმცირე ფოლადების გაჭიმვის დიაგრამა — σ—ε მრუდი ხასიათდება დენადობის უბნით, რომლის დაბოლოებაზე წაგრძელება შეადგენს 0,5—2%. გაწყვეტის შემდეგ მათი საერთო წაგრძელება მნიშვნელოვანია, აღწევს 25%. დენადობა არ ახასიათებს ცივჭიმულ მავთულოვან არმატურას და მაღალი სიმტკიცის თერმულად დამუშავებულ ღეროვან არმატურას. მათი დეფორმაციები გაწყვეტისას შედარებით დაბალია. საარმატურე ფოლადებს, რომელთაც σ—ε დიაგრამაზე დენადობის უბანი არ გააჩნიათ, მ ა გ ა რ ფ ო ლ ა დ ე ბ ს უწოდებენ; ფოლადებს, რომლებიც ხასიათდებიან დენადობით — რ ბ ი ლ ს.

ისეთი ფოლადებისათვის, რომელთაც ფიზიკური დენადობის თვისება არ გააჩნიათ, შემოღებულია პირობითი, ანუ ტექნიკური დენადობის ზღვრის ცნება და აღინიშნება $\sigma_{0,2}$-ით; იგი წარმოადგენს იმ ძაბვების სიდიდეს, რომლის შესაბამისი ნარჩენი დეფორმაცია 0,2%-ის ტოლია.

მაღალი სიმტკიცის არმატურის დროებითი წინაღობა მნიშვნელოვნად აღემატება რბილი ნახშირბადმცირე ფოლადებისას, მაგრამ გაწყვეტის დროს ხასიათდება დაბალი წაგრძელებით. მავთულოვანი, მაღალი სიმტკიცის არმატურის დროებითი წინაღობა ტოლია 1000—2000 MPa, ხოლო წაგრძელება გაწყვეტის დროს — 4—6%.

საარმატურე ფოლადების დრეკადობის მოდული საკმაოდ თანაბარი სიდიდისაა, იცვლება $2{,}1\times10^5$—$1{,}8\times10^5$ *MPa* ფარგლებში.

ფოლადის არმატურის პლასტიკურ თვისებებს დიდი მნიშვნელობა აქვს რკინაბეტონის კონსტრუქციების მუშაობისას დატვირთვების ქვეშ, საარმატურე სამუშაოთა მექანიზაციასა და წინასწარ დაძაბულ კონსტრუქციებში არმატურის დაჭიმვისათვის. პლასტიკურობის სიმცირემ შეიძლება გამოიწვიოს არმატურის მყიფე რღვევა კონსტრუქციის მუშაობის დროს დატვირთვების ქვეშ ან დამზადებისას, გადატეხა არმატურის გადაღუნვის ადგილებში, დაჭიმული არმატურის გადატეხა დამჭერ მოწყობილობებში ჩამაგრებისას და ანკერების მოწყობისას. ფოლადის არმატურის პლასტიკური თვისებები გამოიხატება ფარდობითი წაგრძელების სიდიდით გაწყვეტის შემდეგ და არმატურის გადაღუნვის შესაძლებლობით (ღეროვანი არმატურისათვის ერთჯერად, მავთულოვანი არმატურისთვის— მრავალჯერად გადაღუნვაზე).

დაბალი პლასტიკურობის შემთხვევაში ფოლადის შედუღების უნარი უარესდება.

ფოლადის შედუღების უნარში იგულისხმება იმის შესაძლებლობა, რომ შეიქმნას კარგი ხარისხის მტკიცე კავშირი, რომელსაც არ გააჩნია ბზარები შედუღების ნაკერში და ძირითადი ფოლადის მეზობელ ნაწილებში. კარგად დუღდება ნახშირბადმცირე და მცირედი ლეგირებული ღეროვანი არმატურა. ნახშირბადის 0,5%-ზე მაღალი შემცველობისას შედუღება უარესდება. თერმულად განმტკიცებული ღეროვანი არმატურის და მაღალი სიმტკიცის მავთულოვანი არმატურის შედუღება დაუშვებელია, რადგან შედუღებისას გან-

ვითარებული ტემპერატურა ერთ შემთხვევაში აქრობს განმტკიცების ეფექტს, ხოლო მეორე შემთხვევაში აქვეითებს სიმტკიცის მახასიათებლებს.

ფოლადის გახურება იწვევს სტრუქტურულ ცვლილებებს, ქვეითდება სიმტკიცე. გახურებისა და შემდგომი გაცივებისას ცხლად გლინული არმატურის სიმტკიცე მთლიანად აღდგება, მავთულოვანი არმატურისა — მხოლოდ ნაწილობრივ.

მაღალი ტემპერატურისა (350°C-ზე მეტი) და გარე დატვირთვის მოქმედებისას ფოლადი ხასიათდება ცოცვადობის თვისებით. ამ თვისებასთან კავშირი აქვს რელაქსაციას — ძაბვების შემცირებას დეფორმაციის უცვლელი სიდიდისას. რელაქსაცია მნიშვნელოვანია მაღალი სიმტკიცის არმატურისთვის. რელაქსაცია ინტენსიურად ვითარდება დატვირთვის მოდების პირველ საათებში და შეიძლება დიდხანს გაგრძელდეს.

§ 3. არმატურის კლასიფიკაცია

საარმატურე ფოლადის მექანიკური მახასიათებლების, დამზადებისა და მომდევნო დამუშავების წესის მიხედვით არმატურის სხვადასხვა სახეობანი დაყოფილია კლასებად:

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

თერმულად დამუშავებული ღეროვანი არმატურა: *A*т—IV, *A*т—V, *A*т—VI;

ჩვეულებრივი საარმატურე ცივნაჭიმი მავთული: *B*—I, *B*р—I;

მაღალი სიმტკიცის მავთულოვანი არმატურა: *B*—II, *B*р—II;

ბავირები (სამმავთულიანი, შვიდმავთულიანი, ცხრამეტმავთულიანი): *K*—3, *K*—7, *K*—19.

ყოველ კლასში გაერთიანებულია ერთნაირი მექანიკური თვისებების მქონე ფოლადები (შეიძლება სხვადასხვა მარკისაც).

ყველა სახეობის ფოლადის არმატურის შესახებ ძირითადი მონაცემები და მათი გამოყენების არე რკინაბეტონის კონსტრუქციებში შეტანილია ცხრილში. იხ. დანართი 1, СНиП 2.03.01—84.

A—I, *B*—I, *B*—II კლასის არმატურა გლუვზედაპირიანია, დანარჩენი კლასების არმატურა კი—პერიოდული პროფილისა.

რაც უფრო მაღალი სიმტკიცის მაჩვენებლები გააჩნია არმატურას, მით უფრო მაღალი კლასით გამოიხატება. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ცივნაჭიმი მავთულოვანი არმატურის დიამეტრის გადიდებასთან ერთად სიმტკიცე ქვეითდება.

დაუძაბავი რკინაბეტონის კონსტრუქციებში იხმარება *A*—I, *A*—II, *A*—III, *B*—I, *Bp*—I კლასის არმატურა. *A*—IV და უფრო მაღალი კლასის ღეროვან არმატურას, *B*—II და *Bp*—II კლასის მაღალი სიმტკიცის მავთულოვან არმატურასა და ბავირებს იყენებენ წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციებში.

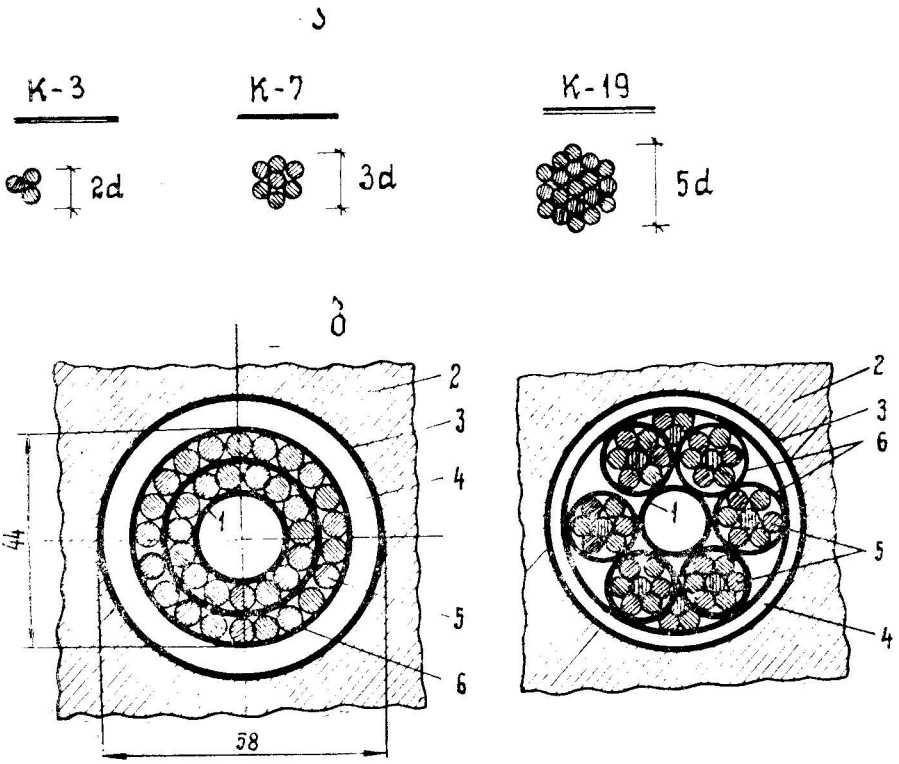
§ 4. საარმატურე ნაწარმი

მაღალი სიმტკიცის მავთულოვანი არმატურის გამოყენებისას რკინაბეტონის კონსტრუქციებში საჭიროა მავთულების დიდი რაოდენობა, რაც აძნე-

ლებს კონსტრუქციის დამზადებას და დაკავშირებულია სხვა გართულებებთანაც. ამიტომ მავთულებისგან ამზადებენ ბაგირებსა და კონებს.

ბაგირი შედგება რამდენიმე მავთულისაგან, რომლებიც შეგრეხილი არიან ისე, რომ ბაგირი არ დაიშალოს. არსებობს 3, 7 და 19-მავთულიანი ბაგირები. ამათგან გავრცელებულია 7-მავთულიანი.

7-მავთულიანი ბაგირი მზადდება 1,5÷5 მმ, K-19—1÷3 მმ დიამეტრის მავთულებისაგან.



ნახ. III. 4. ა, ბ—ბაგირებისა და კონების სახეობები.

კონა შედგება ურთიერთპარალელურად განლაგებული მავთულების ან ბაგირებისაგან. კონებში მავთულების რაოდენობა 100 ცალსაც აღწევს.

III. 4. ნახაზზე ნაჩვენებია ბაგირებისა და კონების კვეთები.

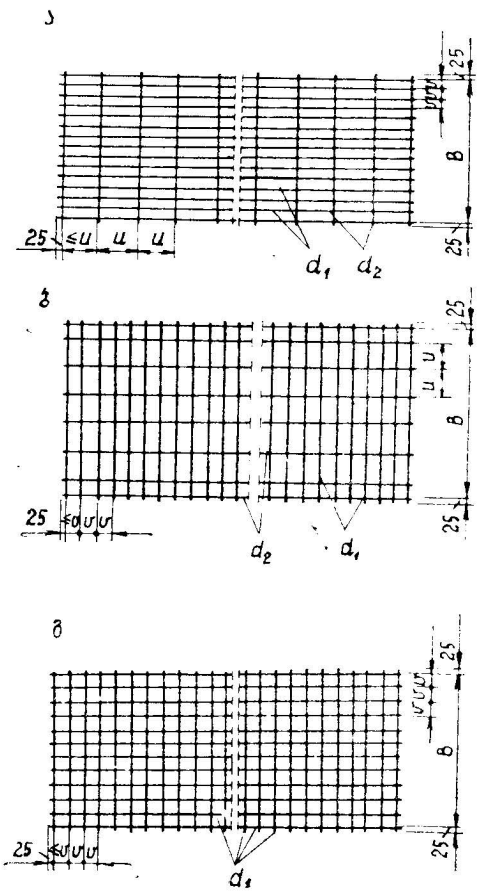
მეტალურგიული მრეწველობა უშვებს ღეროვან და მავთულოვან არმატურასა და ბაგირებს. კონების დამზადება ხდება სამშენებლო ინდუსტრიის საწარმოებში.

ქარხნები ამზადებს სტანდარტული დიამეტრისა და გარკვეული სიგრძის არმატურას. არმატურის სორტამენტი მოცემულია ცნობარებში (იხ. დანართი 32). 6—10 მმ დიამეტრის ღეროვანი არმატურა, ე. წ. გლინულა და მავთულოვანი არმატურა იგზავნება ქარხნიდან ხვეულების (გორგლების) სახით ათეული მეტრობით სიგრძისა, 10 მმ-ზე დიდი დიამეტრისა კი — ნაჭრებად,

საშენებლო პორტალი
MSHENEBLOBA.INFO

ჩვეულებრივ 14 მ-მდე სიგრძის. ქარხნული ნაწარმის სიგრძის შეზღუდულობის გამო საჭირო ხდება ღეროების გადაბმა — პირაპირების მოწყობა (პირაპირები, იხ. § 3).

რკინაბეტონის კონსტრუქციებში სხვადასხვა დანიშნულების არმატურის ღეროები ურთიერთკავშირში ქმნიან ბადეებსა და კარკასებს. კავშირის საშუალებების მიხედვით განასხვავებენ დაარმატურების ორ ხერხს: 1) შეკრული ბადეებით და შეკრული კარკასებით დაარმატურება, ე. წ. ცალკეული ღეროებით დაარმატურება, 2) შენადუღი ბადეებით და შენადუღი კარკასებით დაარმატურება.



ნახ. III. 5. ა, ბ, გ—შენადუღი ბადეების სახეობები.

დაარმატურების მეორე ხერხის გამოყენებისას საარმატურე სამუშაოთა ინდუსტრიალიზაციის საშუალებას იძლევა შენადუღი ბადეებისა და კარკასების ქარხნული დამზადება შემდუღებელი მანქანების გამოყენებით.

ლითონის ნაწარმის მრეწველობა უშვებს სტანდარტულ შენადუღ ბადეებს: ბადეების სორტამენტი მოცემულია ცნობარებში.

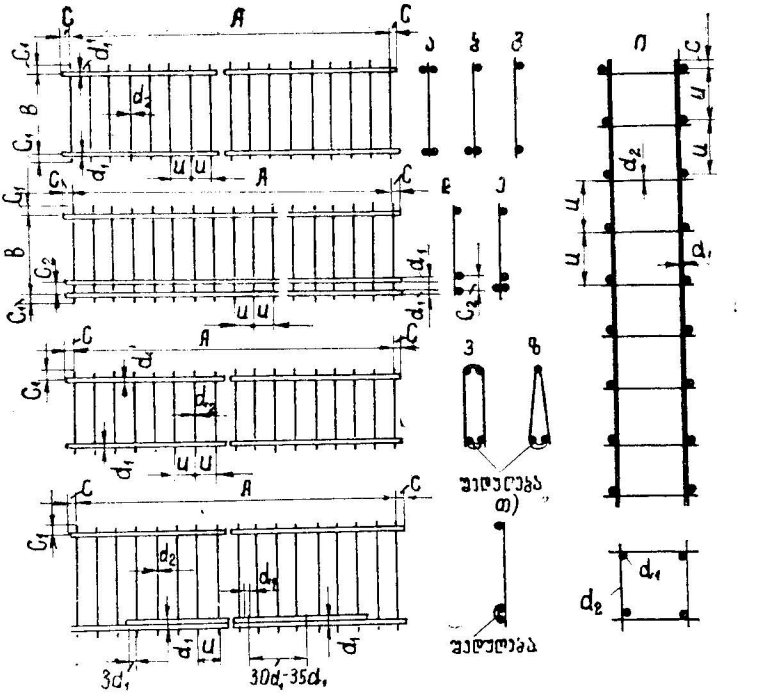
ბადეები მზადდება 3—5 მმ დიამეტრის *B*—I და *Bp*—I კლასის ჩვეულებრივი საარმატურე მავთულისაგან, იყენებენ *A*—III კლასის არმატურასაც, დიამეტრით 9 მმ-მდე.

ბადეში ღეროები ჩვეულებრივ ლაგდება ორი ურთიერთპერპენდიკულარული მიმართულებით. მუშა არმატურის მდებარეობის მიხედვით განასხვავებენ ბადეებს გრძივ მუშა არმატურით, განივი მუშა არმატურითა და ჯვარედინი მუშა არმატურით (ნახ. III. 5. ა, ბ, გ შესაბამისად).

ქარხნიდან ბადეები იგზავნება ხვეულებად (რულონების) ან ბრტყელ ნაჭრებად. ხვეული ბადის წონა აღწევს 0,5 ტონას, სიგანე 3,5 მეტრს. ბრტყელი ბადის სიგანე 2,5 მეტრამდეა, სიგრძე — 9 მეტრამდე.

ხვეულ ბადეში გრძივი არმატურის დიამეტრი არ უნდა აღემატებოდეს 5 მმ-ს.

შენადუღი კარკასები ჩვეულებრივ შედგება ურთიერთპერპენდიკულარულად განლაგებული ღეროებისგან. კარკასები შეიძლება იყოს ბრტყელი (ნახ. III.6. ა, ბ, გ, დ, ე, ვ, ზ, თ) და სივრცითი (ი). სივრცული კარკასი იკრიბება ბრტყელი კარკასებისაგან შემაერთებელი ღეროების დახმარებით, რომლებიც მიედუღებიან ბრტყელ კარკასებს (კონტაქტური წერტილოვანი შედუღება შემდუღებელი მარწუხებით) ან შემდუღებელი მოწყობილობის უქონლობისას შეიკვრება. სივრცითი კარკასები შეიძლება მთლიანად დამზადდეს სპეციალურ შემდუღებელ მანქანებზე ქარხნული წესით (ნახ. III. 6). (ამჟამად ბრტყელ კარკასს ხშირად უწოდებენ. დასახელება „კარკასი“ გამოიყენება სივრცითი კარკასის აღსანიშნავად).



ნახ. III. 6. შენადუღი კარკასების სახეობები:
ა, ბ, გ, დ, ე, ვ, ზ, თ—ბრტყელი, ი—სივრცითი.

ბრტყელი კარკასები მზადდება გრძივი არმატურის ცალმხრივი (ნახ. III. 6, გ, დ, ე, თ,) და ორმხრივი (ნახ. III. 6. ა, ბ, ვ) მდებარეობით განივი არმატურის მიმართ, ერთრიგა და ორრიგა (ცერძოდ, შეწყვილებული) განლაგებით და რიგთაშორისი შედუღებით (ნახ. III. 7, თ).

კარკასებში შედუღების მაღალი ხარისხისათვის საჭიროა გრძივი და განივი ღეროების დიამეტრების გარკვეული თანაფარდობის დაცვა. განივი არ-

მატურის დიამეტრი მიიღება არანაკლები გრძივი არმატურის დიამეტრის მესამედისა.

დაარმატურების ხერხის არჩევა — ცალკეული ღეროებით თუ შენადნული ბადეებითა და კარკასებით — დამოკიდებულია წარმოების პირობებზე, დატვირთვის ხასიათსა და ელემენტის წინაღობის სახეობაზე.

ასაწყობი რკინაბეტონის კონსტრუქციებში მიმართავენ დაარმატურებას შენადნული ბადეებით და შენადნული კარკასებით. ვიბრაციული დატვირთვების მოქმედებისას უპირატესობა ენიჭება ცალკეული ღეროებით დაარმატურებას. ღერძულ ძალებზე ელემენტების მუშაობის შემთხვევაში შეკრული ან შენადნული კარკასების გამოყენება გავლენას არ ახდენს მათ მუშაობაზე, ხოლო როდესაც რკინაბეტონის ელემენტებში აღიძვრება გადამჭრელი ძალები, შენადნული კარკასების გამოყენება აუმჯობესებს მათს მუშაობას.

როგორც ცალკეული ღეროების, ასევე ბადეებისა და კარკასების ზომების შეზღუდულობა იწვევს პირაპირების მოწყობის საჭიროებას.

§ 5. არმატურის პირაპირები და დაანკერება

არმატურის ღეროების, ბადეებისა და კარკასების სიგრძის შეზღუდულობის გამო საჭირო ხდება მათი საპროექტო ზომებამდე დაგრძელება (ან გაგანიერება) — პირაპირების მოწყობა.

ღეროების პირაპირები ეწყობა შეკრული ან შედუღებული (ნახ. III. 7).

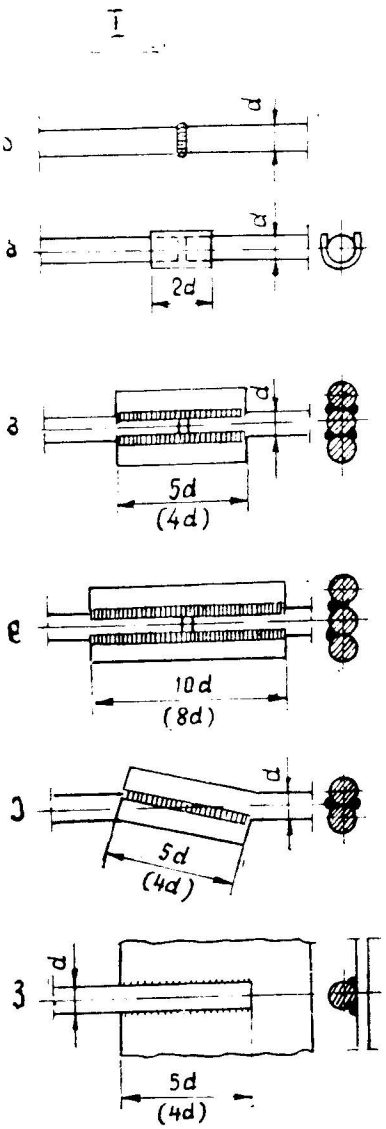
ღეროების პირაპირები შეიძლება იყოს ქარხნული, როდესაც კონსტრუქციები მზადდება ქარხანაში, და სამონტაჟო, როდესაც დამზადება წარმოებს სამშენებლო მოედანზე.

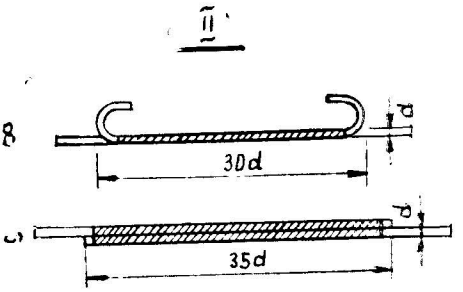
ქარხნული შედუღებული პირაპირების მოწყობა მიზანშეწონილია კონტაქტური ელექტროშედუღების გზით (ნახ. III. 7, I, ა). შესაფერისი სპეციალური მოწყობილობების უქონლობისას ქარხნულ პირაპირებს აწყობენ აბაზანური ელექტროკალური შედუღებით (ნახ. III. 7, I, ბ).

სამონტაჟო პირაპირების მოწყობა ჩვეულებრივ ხდება აბაზანური — პირდაპირულად ან ფლანგური ელექტროკალური შედუღებით (III. 7, I. გ, დ, ე). როდესაც შესაფერისი შემდუღებელი მოწყობილობა არ გააჩნიათ, აწყობენ შეკრულ პირაპირებს (ნახ. III. 7, II. ვ, ზ).

შეკრულ პირაპირებში ძალვები არმატურის ყოველი ღეროდან ფაქტობრივად გადაეცემა ბეტონს. გაჭიმულ პირაპირებში ეს ხელს უწყობს ბზარების წარმოქმნას ბეტონში. ამიტომ პირაპირების განლაგება უმჯობესია შეკუმშულ ზონაში ან დაბალი გამჭიმი ძაბვების მოქმედების ადგილას. შეკრული პირაპირების სიგრძე გაჭიმულ ზონაში მიიღება $(25 \div 45)\ d$ არმატურის ჩამაგრების პირობით ბეტონში. მაგრამ არანაკლებ 200 მმ. შეკუმშულ ზონაში პირაპირის

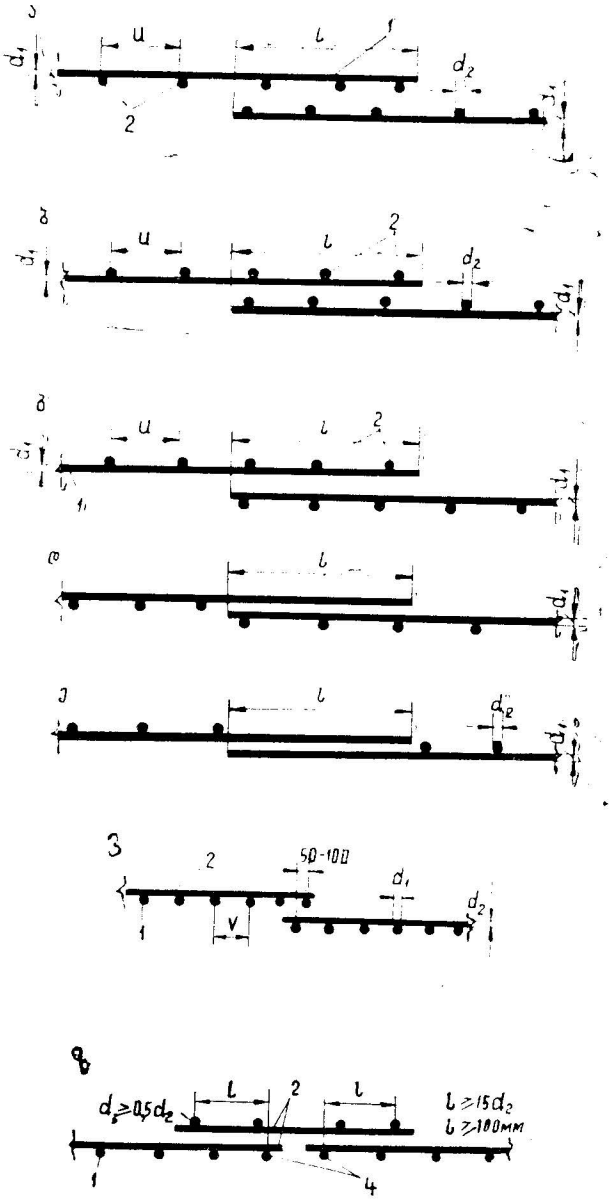
სიგრძე შეიძლება შემცირდეს 10 d-მდე, მაგრამ 200 მმ-ზე ნაკლები, არ უნდა იყოს (*d* არმატურის დიამეტრია).





ნახ. III. 7. ღეროების პირაპირების ძირითადი სახეობები: I. ა, ბ, გ, დ, ე, ვ—შედუღებული; II. ზ, თ—შეკრული

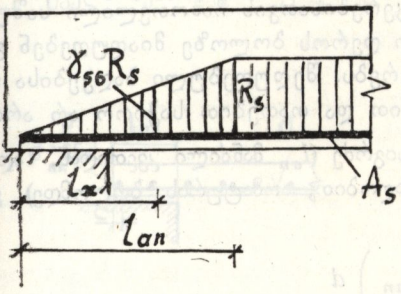
შენადუღი ბადეებისა და კარკასების პირაპირები ჩვეულებრივ ეწყობა პირგადადებით ან მუშა არმატურის მიმართულებით დამატებითი ბადე (კარკასი) — ზესადების გამოყენებით (ნახ.III.8).



ნახ. III.8. ბადეების პირაპირები: ა, ბ, გ, დ, ე—მუშა არმატურის მიმართულებით; ვ, ზ—მანაწილებელი არმატურის მიმართულებით.

არმატურის დაანკერება. რკინაბეტონის, როგორც მონოლითური მასალის, შედგენილობაში ბეტონისა და არმატურის ერთობლივ მუშაობას განაპირობებს შეჭიდულობის ძალები, რომლებიც წარმოიქმნება ბეტონისა და არმატურის შეხების ზედაპირზე.

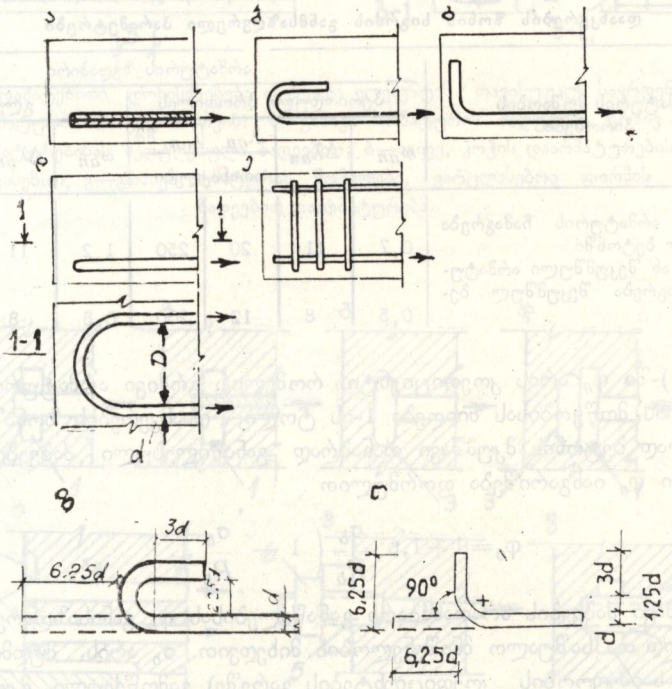
კვეთიდან, სადაც არმატურას ითვალისწინებენ სრული საანგარიშო წინაღობით, მის ბოლომდე მანძილი წარმოადგენს ჩამაგრებისათვის საჭირო ზონას, რომლის სიგრძე დამოკიდებულია არმატურის დიამეტრსა და პროფილზე და საანგარიშო წინაღობაზე, ბეტონის სახეობასა და სიმტკიცეზე, დაძაბულ მდგომარეობაზე და სხვ. (ნახ. III. 9).



ნახ. III. 9. არმატურის ჩამაგრების ზონის განსაზღვრისათვის.

დაუძაბავი არმატურის დაანკერება ხორციელდება სწორი დაბოლოებიანი ღეროების შეჭიდულობით ბეტონთან, კაუჭების, თათებისა და მარყუჟების დაბოლოებით, განივი არმატურის მიდუღებით დასაანკერებელი გრძივი ღეროს ბოლოზე ან სპეციალური მუდმივი ანკერებით (ნახ. III. 10).

სწორი დაბოლოება ჩამაგრებისათვის დასაშვებია მხოლოდ პერიოდული პროფილის არმატურისათვის. გლუვი არმატურა ბოლოვდება კაუჭებით, თათი შეიძლება გაუკეთდეს პერიოდული პროფილის არმატურას (ნახ. III. 10, ბ, გ).



ნახ. III. 10. გრძივი მუშა არმატურის დაანკერება ბეტონში: ა—ღეროს სწორი ბოლოს შეჭიდულობით ბეტონთან; ბ—კაუჭების დაბოლოებით; გ—თათების დაბოლოებით; დ—მარყუჟით; ე—განივი ღეროების შედუღებით; ზ—კაუჭი; თ—თათი.

მარყუჟით დაანკერება შესაძლოა როგორც პერიოდული პროფილის, ასევე გლუვზედაპირიანი არმატურისა. მარყუჟის დიამეტრი განისაზღვრება ბეტო-

ნის თელვის პირობით (ფორმულებით ან ცხრილებით) და მიიღება ბეტონისა და არმატურის კლასის მიხედვით (5—20) d ფარგლებში. $20d$-ზე დიდი დიამეტრის მარყუჟების მოწყობა მიზანშეწონილი არ არის (d ჩასამაგრებელი არმატურის დიამეტრია).

როდესაც ცალკეული ღეროების დაანკერებისათვის ჩაითვლილი საშუალებები საკმარისი არ არის, ჩასამაგრებელი ღეროს ბოლოზე მიადუღებენ განივ ღეროებს ან აწყობენ სპეციალურ ანკერებს. შედუღებული ბადეებისა და კარკასების ღეროების დაბოლოება კაუჭებით და თათებით საჭირო არ არის.

გრძივი არმატურის ჩამაგრების ზონის სიგრძე (l_{an} მანძილი კვეთიდან, სადაც მათ ითვალისწინებენ სრული საანგარიშო წინაღობით, არმატურის ბოლომდე) განისაზღვრება ფორმულით

$$l_{an}=\frac{\left(\omega_{an}\frac{R_s}{R_b}+\Delta\lambda_{an}\right)d}{\varphi_0} \qquad \text{(III.1)}$$

და მიიღება არანაკლები $l_{an}=\lambda_{an}\,d$,
სადაც ω_{an}, $\Delta\lambda_{an}$, λ_{an} მიიღება III.1 ცხრილიდან, არმატურის მუშაობის პირობების მიხედვით.

ცხრილი III.1

დაანკერების ზონის სიგრძის განმსაზღვრელი პარამეტრები

არმატურის მუშაობის პირობები	არმატურის ზედაპირი							
	პერიოდული პროფილის				გლუვი			
	ω_{an}	$\Delta\lambda_{an}$	λ_{an} არანაკლები	l_{an}, მმ არანაკლები	ω_{an}	$\Delta\lambda_{an}$	λ_{an} არანაკლები	l_{an}, მმ არანაკლები
გაჭიმული არმატურის ჩამაგრება გაჭიმულ ბეტონში	0,7	11	20	250	1,2	11	20	250
გაჭიმული ან შეკუმშული არმატურის ჩამაგრება შეკუმშულ ბეტონში	0,5	8	12	200	0,8	8	15	200

(III.1)-ში φ_0 არის კოეფიციენტი, რომელიც გრძივი არმატურის ჩამაგრების ან პირაპირის მოწყობისას მიიღება 1-ის ტოლი; დაანკერების ზონაში არმატურის მართობულად ბეტონის მკუმშავი თანაბრად განაწილებული ძაბვების მოქმედების შემთხვევაში φ_0 იანგარიშება ფორმულით

$$\varphi_0=1+1{,}6\,\frac{\sigma_b}{R_b}\left(1-\frac{\sigma_b}{R_b}\right). \qquad \text{(III.2)}$$

მკუმშავი ძაბვების არათანაბარი განაწილებისას φ_0 განისაზღვრება $\sigma_{b,\max}$ და $\sigma_{b,\min}$ სიდიდეთა საშუალო მნიშვნელობის მიხედვით. σ_b არის მუდმივი დატვირთვებით (γ_f საიმედოობის კოეფიციენტების გარეშე) გამოწვეული მკუმშავი ძაბვების სიდიდე ბეტონში, განისაზღვრება როგორც დრეკადი მასალისათვის.

თუ დაანკერება ზემოთ აღნიშნული (III. 1) პირობის შესაბამისად შეუძლებელია, ეწყობა: ა) დამატებითი განივი არმატურა, გრძივ არმატურაზე შემოვლებული გობისებრი ან განივი შედუღებული ბადეები· (ნახ. III. 11); ბ) სპეციალური მოწყობილობები არმატურის ბოლოზე მიდუღებული ფირფი-

IV თავი

რკინაბეტონის ძირითადი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები

§ 1. საერთო ცნობები

ბეტონისა და ფოლადის არმატურის თვისებები მკვეთრად განსხვავდება ერთმანეთისაგან. ამ მასალების თვისებებისაგან დამოკიდებულებით იქმნება რკინაბეტონის განსაკუთრებული თვისებები.

რკინაბეტონის არსის მიხედვით ფოლადის არმატურა გამოიყენება ბეტონის, როგორც საკონსტრუქციო მასალის თვისებების შევსების საშუალება. ეს, პირველ რიგში, დამოკიდებულია არმატურის რაოდენობასა და მის განლაგებაზე ბეტონში. მის შემცველობაზე კი დამოკიდებულია რკინაბეტონის ზიდვის უნარი და რღვევის მექანიზმიც. არმატურის შემცველობა ბეტონის კვეთში იზომება დაარმატურების პროცენტით (კოეფიციენტით) $\mu = \frac{A_s}{A} 100\ \%$ (გრძივი მუშა არმატურის განივკვეთის A_s ფართობის ფარდობა საანგარიშო კვეთის ბეტონის A ფართობთან არის დაარმატურების კოეფიციენტი). რკინაბეტონის კონსტრუქციებში მუშა არმატურის შემცველობა ბეტონში ჩვეულებრივ აღწევს 3%.

რკინაბეტონის სიმკვრივე — მოცულობითი მასა იანგარიშება როგორც ბეტონისა და არმატურის მასების ჯამი ელემენტის მოცულობის ერთეულში (კგ/მ³).

3%-მდე არმატურის შემცველობისათვის მძიმე რკინაბეტონის საშუალო სიმკვრივე ბეტონის ვიბრირებით დამზადების შემთხვევაში მიიღება 2500 კგ/მ³ ტოლი, ხოლო ვიბრაციის გარეშე — 2400 კგ/მ³.

რკინაბეტონის შედგენილობაში ბეტონისა და ფოლადის არმატურის ერთობლივ მუშაობას განაპირობებს: შეჭიდულობა, ბეტონისა და ფოლადის არმატურის თითქმის თანაბარი ტემპერატურული წაგრძელების კოეფიციენტი და ბეტონის უნარი დაიცვას ფოლადი კოროზიისაგან.

§ 2. შეჭიდულობა ბეტონსა და არმატურას შორის

ბეტონსა და არმატურას შორის შეჭიდულობის განმსაზღვრელი ფაქტორებია: შეწებება (ცემენტის შეწებების უნარის გამო) არმატურასა და ბეტონს შორის; ხახუნის ძალები, რომლებიც აღიძვრება ბეტონის გამყარებისას შეკლების გამო; გამყარებული ბეტონის წინაღობა ჭრისადმი არმატურის ზედაპირის ხორკლებსა და ნაშვერებს შორის.

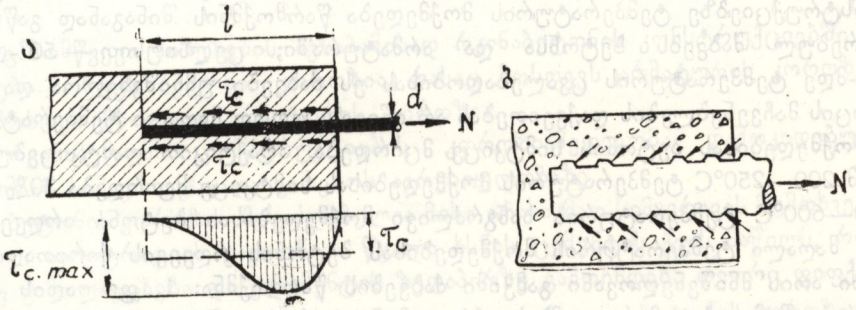
ბეტონისა და არმატურის შეჭიდულობის სიმტკიცეს განსაზღვრავენ ექსპერიმენტულად — ბეტონში ჩამაგრებული არმატურის ამოგლეჯით (ან ჩაწნევით) (ნახ.IV.1) ან რკინაბეტონის კოჭების გამოცდით ღუნვაზე.

შეჭიდულობის სიმტკიცე არმატურის ჩაწნევისას ბეტონში უფრო მაღალია, ვიდრე ამოგლეჯის დროს (ბეტონის წინაღობის გამო არმატურის განივი გაფართოებისადმი).

გლუვი არმატურის ამოგლეჯის წინაღობა ბეტონიდან 2—3-ჯერ ნაკლებია, ვიდრე პერიოდული პროფილის არმატურისა.

შეჭიდულობის ძაბვების განაწილება ბეტონში ჩამაგრების უბანზე და მაქსიმალური ძაბვა $\tau_{c.\,max}$ დამოკიდებული არ არის ჩამაგრების სიგრძეზე.

შეჭიდულობის ძირითად კრიტერიუმად მიიღება შეჭიდულობის პირობითი საშუალო ძაბვა და ძალა, რომელიც იწვევს არმატურის ძვრას ბეტონში ან მის გაწყვეტას.



ნახ. IV.1. შეჭიდულობის განსაზღვრისათვის: ა—შეჭიდულობის ძაბვების ეპიურა; ბ—პერიოდული პროფილის არმატურის წინაღობა ბეტონიდან ამოგლეჯაზე.

საშუალო ძაბვა $\tau_{c.m}$ იანგარიშება როგორც ჩამაგრების მრღვევი დატვირთვის ფარდობა არმატურის პირობითი ცილინდრული ზედაპირის ფართობთან დაანკერების უბანზე

$$\tau_{c.m} = \frac{N}{ul_{an}} = \frac{\sigma_s A_s}{\pi d_m l_{an}}, \qquad \text{(IV.1)}$$

სადაც N არის დაანკერებული არმატურის მრღვევი ძალვა;

u—არმატურის პერიმეტრი;

l_{an}—დაანკერების ზონის სიგრძე;

σ_s—ძაბვები არმატურაში ამოგლეჯის დროს;

A_s—დაანკერებული არმატურის განივკვეთის ფართობი;

d_m—დაანკერებული არმატურის საშუალო დიამეტრი.

გამყარებული ბეტონიდან არმატურის ამოგლეჯაზე ჩატარებული ცდებით დადგენილია, რომ $\tau_{c.m} = 2{,}5 \div 4{,}0\ MPa$ საშუალო მარკის ბეტონებში გლუვ-ზედაპირიანი არმატურის გამოყენებისას, რაც ახლოა ჭრაზე ბეტონის სიმტკიცესთან.

შეჭიდულობის სიმტკიცე მით უფრო მაღალია, რაც უფრო მაღალია ბეტონის კლასი და დაბალი წყალცემენტის ფაქტორი. იგი იზრდება ბეტონის ასაკის მატებისას.

რკინაბეტონის ელემენტის კუმშვისას არმატურის დიამეტრის და ძაბვების გადიდება ზრდის შეჭიდულობის სიმტკიცეს, გაჭიმვისას — ადაბლებს. აქე-

დან, ბეტონისა და არმატურის უკეთესი შეჭიდულობისათვის გაჭიმული არმატურის დიამეტრი უნდა შეიზღუდოს.

არმატურიდან ძალების საიმედო გადაცემა ბეტონზე უზრუნველყოფილი უნდა იყოს შეჭიდულობის ძალებით (არმატურის დაბოლოების ჩამაგრებისათვის საკმარისი სიგრძით) ან სპეციალური ანკერებით.

§ 3. ტემპერატურის გავლენა რკინაბეტონზე

არმატურის, შემვსებების მარცვლებისა და ცემენტის ქვის განსხვავებული წრფივი ტემპერატურული დეფორმაციის უნარის გამო რკინაბეტონის კონსტრუქციებზე ტემპერატურის მოქმედება წარმოქმნის შინაგანად გაწონასწორებულ ძაბვებს ბეტონსა და არმატურაში; ცელსიუსით — 50°-დან + 50°-მდე ტემპერატურის ცვალებადობისას ეს ძაბვები უმნიშვნელოა და სიმტკიცის მაჩვენებლების დაქვეითებას არ იწვევს; უფრო მაღალი ტემპერატურის ზემოქმედებისას ბეტონის სიმტკიცე მცირდება. პრაქტიკით დამტკიცებულია, რომ 200—250°C ტემპერატურის მოქმედებისას სიმტკიცე მცირდება 30%-მდე, 500—600°C ტემპერატურის ხანგრძლივი მოქმედებისას ბეტონი ირღვევა.

მაღალი ტემპერატურის მოქმედებისას ბეტონის რღვევის ძირითადი მიზეზი არის მნიშვნელოვანი გამჭიმი ძაბვების წარმოქმნა: 1. ფოლადის არმატურის, შემვსების მარცვლებისა და ცემენტის ქვის განსხვავებული ტემპერატურული დეფორმაციების გამო და 2. ცემენტის მინერალების დეჰიდრატაციის ქიმიური რეაქციის შედეგად გამოყოფილი თავისუფალი კირის ჩაქრობის გამო ჰაერის ტენით, რომელიც იზრდება მოცულობაში და გაარღვევს ბეტონს.

განასხვავებენ მაღალი ტემპერატურის ხანმოკლე მოქმედებას ხანძრის დროს და ხანგრძლივ ტექნოლოგიურ მოქმედებას (საკვამლე მილებში, ბრძმედის საძირკვლებზე და სხვ.).

მაღალი ტემპერატურის ხანგრძლივი ტექნოლოგიური მოქმედების დროს საექსპლუატაციო პირობებში, უფრო დაბალი ტემპერატურისთვისაც, ვიდრე ხანძრისას, საჭიროა ელემენტის დაცვა სპეციალური იზოლაციით, მაგრამ ეს ძვირია და ყოველთვის შესაძლებელი არ არის. ამიტომ იყენებენ სპეციალურ მხურვალმედეგ ბეტონებს.

ბეტონი და რკინაბეტონი ცეცხლგამძლე მასალად ითვლება. ცეცხლგამძლეობა რკინაბეტონისათვის ფასდება დროით, რომლის განმავლობაშიაც იგი უძლებს ხანძრის ტემპერატურის (1000—1100°C) მოქმედებას ზიდვის უნარის დაუკარგავად, ან ისეთი ნიშნების წარმოქმნის გარეშე, რომლებიც ცეცხლგამძლეობის ზღვრად ითვლება.

ცეცხლგამძლეობის ზღვარი ხასიათდება შემდეგი ნიშნებით:

1. კონსტრუქციაში ისეთი ბზარების გახსნა, რომელშიაც შესაძლოა ცეცხლის გაღწევა და მეზობელ სათავსში ხანძრის გაჩენა;

2. იმ ზედაპირის 150°C-ზე მეტად გახურება, რომელიც ცეცხლის უკუმხარეს მდებარეობს;

3. ზიდვის უნარის დაკარგვა.

ცეცხლგამძლეობის ზღვარი კონსტრუქციებისათვის დადგინდება შენობის ცეცხლგამძლეობის ხარისხის მიხედვით.

ცეცხლის ზემოქმედებისადმი წინაღობა დამოკიდებულია ელემენტის ზომებზე, კონსტრუქციულ სქემაზე, არმატურის სახეობასა და დაარმატურების ხერხზე.

დიდი სიგრძის რკინაბეტონის კონსტრუქციებში ჰაერის წლიური ტემპერატურის ცვალებადობით აღძრული დამატებითი ძალვებიც შეიძლება აღმოჩნდეს მნიშვნელოვანი სიდიდის, ამიტომ აწყობენ ტემპერატურულ ნაკერებს (შენობას ყოფენ ბლოკებად), რომლებიც უთავსდება შეკლების ნაკერებს (დანართი XXII).

§ 4. რკინაბეტონის კოროზია

გამომწვევი მიზეზების შესაბამისად რკინაბეტონის კონსტრუქციებში შეიძლება მოხდეს ბეტონის კოროზია, რასაც მოსდევს არმატურის კოროზიაც, ან მოხდეს მხოლოდ არმატურის კოროზია.

რკინაბეტონის კონსტრუქციების კოროზიამედეგობა დამოკიდებულია ბეტონის სიმკვრივესა და გარემოს აგრესიულობაზე.

ბეტონის კოროზია შესაძლებელია მისი არასაკმაო სიმკვრივის შემთხვევაში წყლის ფილტრაციის გავლენით. წყალი ხსნის ცემენტის ქვის ნაწილს, რომელიც გამოირეცხება და ელემენტის ზედაპირზე გამოჩნდება თეთრი ფიფქების ან ნაჟურის სახით. ყველაზე აგრესიულია რბილი წყალი. ბეტონის კოროზია შეიძლება მოხდეს აგრესიულ ნივთიერებასა და ცემენტის ქვას შორის განვითარებული ქიმიური რეაქციის გამოც. ზოგჯერ ქიმიური რეაქციის შედეგად გახსნილი პროდუქტები გამოირეცხება (კონსტრუქციის ზედაპირს აჩნდება თეთრი ნაჟური), ან ქიმიური ურთიერთქმედების პროდუქტები კრისტალდებიან, თანდათან ავსებენ ბეტონის ფორებსა და კაპილარებს; კრისტალების ზრდა არღვევს ცემენტის ქვის კედლებს, რასაც მოჰყვება ბეტონის დაშლა. ბეტონისათვის ყველაზე მავნეა მთელი რიგი მჟავათა მარილები, განსაკუთრებით გოგირდმჟავას; აგრესიულია გრუნტის წყლები, მაგნეზიისა და ამიაკის მარილებიანი წყლები. ზღვის წყლის სისტემატური ზემოქმედება მავნეა ბეტონისათვის.

არმატურის კოროზია მოსდევს ბეტონის კოროზიას, მაგრამ ბეტონისაგან დამოუკიდებლად არმატურის კოროზია შეიძლება გამოიწვიოს აგრესიულმა გარემომ არამკვრივი ბეტონების გამოყენების ან ზომაზე დიდი ბზარების გახსნისას. არმატურის კოროზიის პროდუქტის მოცულობა აღემატება არმატურის საწყის მოცულობას, ქმნის განმბჯენს და იწვევს ბეტონის დამცველი შრის ახლეჩას; არმატურის გაშიშვლებით ირღვევა შეჭიდულობა ბეტონსა და არმატურას შორის.

კოროზიისაგან რკინაბეტონის დასაცავად მიმართავენ მკვრივი ბეტონების გამოყენებას, ზედაპირის დაცვას მჟავამედეგი ხსნარით შელესვით, კერამიკულ მოპირკეთებას და სხვ. არსებობს სპეციალური მჟავამედეგი ბეტონები.

§ 5. დამცველი ბეტონის შრე

ბეტონის დამცველი შრე საჭიროა რკინაბეტონის კონსტრუქციებში არმატურის დასაცავად გარემოს ზემოქმედებისაგან — აგრესიული გარემოს, ტემპერატურის — და ბეტონისა და არმატურის შეჭიდულობისათვის მათი ერთობლივი მუშაობის უზრუნველსაყოფად.

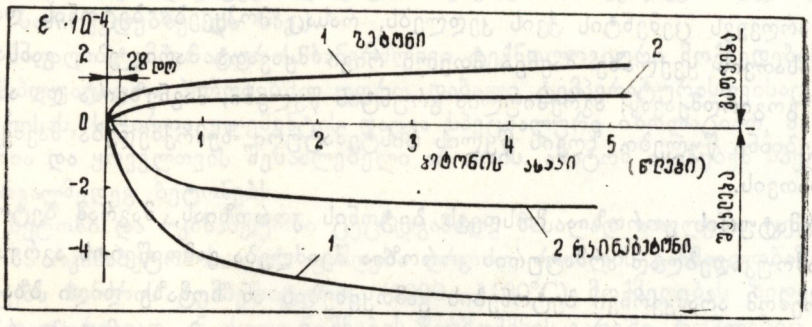
ბეტონის დამცველი შრის სისქე მიიღება რკინაბეტონის კონსტრუქციების ექსპლუატაციის გამოცდილების საფუძველზე არმატურის სახეობისა და დიამეტრის, ელემენტის განივკვეთის ზომების, ბეტონის სახეობისა და საპროექტო მარკის, კონსტრუქციის მუშაობის პირობებისა და სხვათა მიხედვით.

დამცველი ბეტონის შრის სისქე გრძივი მუშა არმატურისთვის ნაკლები არ უნდა იყოს, ვიდრე არმატურის დიამეტრი და 20—25 მმ კოჭების, 10 მმ ფილების, 30 მმ ასაწყობი რკინაბეტონის საძირკვლების 30 მმ სვეტებისათვის.

განივი არმატურის დამცველი შრის სისქე ნაკლები არ უნდა იყოს 15 მმ-ზე, როდესაც ელემენტის კვეთის სიმაღლე მეტია 25 სმ, და ნაკლები არ უნდა იყოს 10 მმ-ზე, როდესაც კვეთის h სიმაღლე ნაკლებია 25 სმ-ზე.

§ 6. რკინაბეტონის შეკლება და გაჯირჯვება

ბეტონის გამყარების პროცესში არმატურა აბრკოლებს ბეტონის თავისუფალ დეფორმაციას. იგი გვევლინება როგორც შინაგანი ბმა. რკინაბეტონის შეკლებისა და გაფუების დეფორმაციები ორჯერ და მეტად ნაკლებია, ვიდრე სუფთა ბეტონისა, რაც ნათლად ჩანს ბეტონისა და რკინაბეტონის ნიმუშებზე ჩატარებული მრავალწლიანი დაკვირვებების მიხედვით აგებულ შეკლებისა და გაფუების წრფივი დეფორმაციების გრაფიკებზე (ნახ. IV. 2).



ნახ. IV. 2. ბეტონისა და რკინაბეტონის შეკლებისა და გაჯირჯვების დიაგრამები:
1—ბეტონის; 2—რკინაბეტონის ნიმუშებისათვის.

რკინაბეტონის კონსტრუქციებისათვის მნიშვნელოვანია შეკლების მოვლენა — ამ დროს არმატურაში ვითარდება კუმშვის ძაბვები, ხოლო არმატურა, ეწინააღმდეგება რა ბეტონის შეკლებას, იწვევს ბეტონის გაჭიმვას. გარე დატვირთვის მოქმედების გარეშე შეკლების დროს ბეტონი და არმატურა ქმნის თვითგაწონასწორებულ სისტემას, არმატურის მკუმშავი ძალა ტოლია

ბეტონის გამჭიმი ძალისა. დაარმატურების პროცენტის გადიდებით ძაბვები არმატურაში მცირდება, მაგრამ ბეტონის გამჭიმი ძაბვები იზრდება. რკინაბეტონის ელემენტის კვეთში არმატურის მნიშვნელოვანი შემცველობისას ბეტონის გამჭიმი ძაბვები აღწევენ სიმტკიცის ზღვარს გაჭიმვაზე და ბეტონი შეიძლება დაიბზაროს გარე დატვირთვების მოდებამდე.

რკინაბეტონის შეკლება $\varepsilon_{s,sl}$ ტოლია არმატურის დამოკლების დეფორმაციისა და ნაკლებია ბეტონის ასეთივე ელემენტის შეკლების $\varepsilon_{b,sl}$ დეფორმაციაზე (ნახ. IV.3). ბეტონის გაჭიმვის დეფორმაცია რკინაბეტონის შეკლების გამო

$$\varepsilon_{bt,sl} = \varepsilon_{b,sl} - \varepsilon_{s,sl}. \tag{IV.2}$$

რკინაბეტონის შეკლებით გამოწვეული გამჭიმი ძაბვები ბეტონში

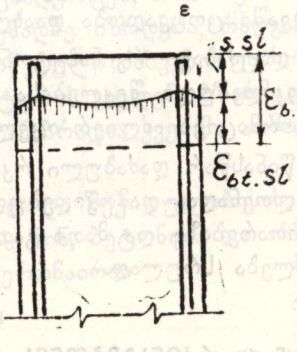
$$\sigma_{bt,sl} = \varepsilon_{bt,sl} E'_{bt} = \varepsilon_{bt,sl} \nu_t E_b \tag{IV.3}$$

ხოლო არმატურის მკუმშავი ძაბვების სიდიდე

$$\sigma_{s,sl} = \varepsilon_{s,sl} E_s. \tag{IV.4}$$

შეკლებით გამოწვეული საწყისი გამჭიმი ძაბვები ბეტონში ხელს უწყობს ბზარების ნაადრევ გაჩენას რკინაბეტონის ელემენტების იმ ზონაში, რომელიც განიცდის გაჭიმვას გარე დატვირთვების მოქმედების დროს; მაგრამ ბზარის გაჩენის შემდეგ შეკლების გავლენა მცირდება, ხოლო რღვევის სტადიაზე შეკლება გავლენას არ ახდენს სტატიკურად რკვევადი ელემენტების ზიდვის უნარზე. სტატიკურად ურკვევ რკინაბეტონის კონსტრუქციებში ზედმეტი ბმები აძნელებს შეკლებას— წარმოიქმნება დამატებითი ძალვები.

რკინაბეტონის კონსტრუქციებში შეკლების ძალვების განსაზღვრა ხდება სამშენებლო მექანიკის მეთოდებით ისე, როგორც ეკვივალენტური ტემპერატურის დაწევისას. ჩვეულებრივ, შეკლების გრძივი დეფორმაციების სიდიდე მძიმე ბეტონებისათვის მიიღება 0,00015, რაც ტემპერატურული წრფივი გაფართოების 0,00001 კოეფიციენტისათვის შეესაბამება ტემპერატურის დაწევას 15°-ით.



ნახ. IV.3. რკინაბეტონის შეკლების შედეგების განსაზღვრისათვის.

შეკლების მავნე გავლენის შესამცირებლად მნიშვნელოვანი სიგრძის კონსტრუქციებში აწყობენ ნაკერებს. შეკლების ნაკერები უთავსდება ტემპერატურულს.

§ 7. რკინაბეტონის ცოცვადობა

ბეტონის ცოცვადობა იწვევს რკინაბეტონის ცოცვადობას, მაგრამ ისევე, როგორც შეკლების შემთხვევაში, არმატურა აბრკოლებს ბეტონის თავისუფალ დეფორმაციას და რკინაბეტონის ცოცვადობის სიდიდე დაახლოებით 2-ჯერ ნაკლებია, ვიდრე ბეტონისა.

რკინაბეტონის ელემენტის ხანგრძლივი დატვირთვის დროს ბეტონის ცოცვადობის შეზღუდულობა (არმატურის გამო) იწვევს ძალვების გადანაწილებას ბეტონსა და არმატურას შორის. გადანაწილების პროცესი მიმდინარეობს ხანგრძლივი დროის განმავლობაში, განსაკუთრებით ინტენსიურად — დატვირთვის დასაწყისში, შემდეგ თანდათან ნელდება და ქრება.

ცოცვადობის შედეგად რკინაბეტონის მოკლე შეკუმშულ ელემენტებში ძაბვები ბეტონში მცირდება, ხოლო არმატურაში მატულობს, რაც უზრუნველყოფს ბეტონისა და არმატურის სიმტკიცის სრულად გამოყენებას; მოქნილ შეკუმშულ ელემენტებში ცოცვადობა იწვევს ექსცენტრისიტეტის ზრდას, რასაც მოჰყვება ზიდვის უნარის შემცირება.

ცოცვადობა უარყოფითად მოქმედებს ღუნვად ელემენტებზე — დროთა განმავლობაში ჩაღუნვები იზრდება.

რკინაბეტონის ცოცვადობა და შეკლება მიმდინარეობს ერთდროულად და კონსტრუქციის მუშაობაზე ერთდროულად ახდენს გავლენას.

შეკუმშულ ელემენტებში შეკლება და ცოცვადობა ვითარდება ერთი და იგივე მიმართულებით — მცირდება ძაბვები ბეტონში, იიდდება — არმატურაში; ღუნვად ელემენტებში შეკლება და ცოცვადობა ახდენენ საწინააღმდეგო გავლენას — შეკლება იწვევს შეკუმშული ზონის ბეტონში ძაბვების ზრდას, გაჭიმული ზონის არმატურაში — შემცირებას; ცოცვადობა — პირიქით. ყველა შემთხვევაში ცოცვადობა ამცირებს შეკლების ძაბვებს. ეს შემცირება მით უფრო მნიშვნელოვანია, რაც უფრო მაღალია ბეტონის ცოცვადობის მახასიათებელი. როგორც ექსპერიმენტული კვლევების შედეგები გვიჩვენებს, დაარმატურების მაღალი პროცენტის ან დაბალი კლასის ბეტონის გამოყენების შემთხვევაში ცოცვადობა დაახლოებით ორჯერ ამცირებს შეკლების ძაბვებს.

დაუძაბავი რკინაბეტონის კონსტრუქციების სიმტკიცე უმნიშვნელოდაა დამოკიდებული შეკლებისა და ცოცვადობისაგან, მაგრამ ბზარმედეგობა და დეფორმაციები ძლიერ იცვლება დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედებისას.

წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციების ეფექტიანობა მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული შეკლებისა და ცოცვადობის დეფორმაციების განვითარებაზე და მათი გათვალისწინება უნდა მოხდეს გაანგარიშებით, რაც შეიძლება სრულად.

§ 8. რკინაბეტონის წინალოგის თეორიის ექსპერიმენტული საფუძვლები

ბეტონისა და რკინაბეტონის თეორია შეადგენს დეფორმირებადი ტანების მექანიკის ერთ-ერთ განყოფილებას, რომელიც შეისწავლის რთული მასალის — ბეტონის თვისებებს ცალკე ან ფოლადის არმატურასთან ერთად.

მრავალი გამოკვლევის მიუხედავად დღემდე ჩამოყალიბებული არ არის მკაცრი თეორიული დამოკიდებულება ბეტონის დეფორმაციისა და სიმტკიცის თვისებებისა მისი აგებულებისაგან (სტრუქტურისგან). ეს ამოცანა რთულია ბეტონის აგებულების არაერთგვაროვნობის და მისი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების უამრავი ფაქტორისაგან დამოკიდებულების გამო.

კიდევ უფრო რთულია ეს დამოკიდებულება რკინაბეტონში, რომელიც შედგება ბეტონისა და არმატურისაგან. ამიტომ რკინაბეტონის თეორია ძირითადად ემყარება ექსპერიმენტულ მონაცემებს.

ექსპერიმენტების საფუძველზე გადაწყვეტილია მთავარი ამოცანა — ბეტონისა და რკინაბეტონის წინაღობის საკითხი კუმშვის, გაჭიმვის, ღუნვის, არაცენტრალური კუმშვისა და გაჭიმვის, გრეხისა და გრეხა-ღუნვის დროს, აგრეთვე მზარმედეგობისა და დეფორმირებადობის საკითხები.

რკინაბეტონის წინაღობის თეორია, ემყარება რა ექსპერიმენტების მონაცემებს, ჩამოყალიბებულია მექანიკის კანონების მიხედვით და ითვალისწინებს ელემენტის ნამდვილ დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობას დატვირთვის სხვადასხვა სტადიაზე; აქვე უნდა აღინიშნოს რკინაბეტონის თავისებურება — დაიბზაროს დატვირთვებისა და სხვა ფაქტორების ზემოქმედებით, რაც მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ბეტონის დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობაზე.

რკინაბეტონის კონსტრუქციებში ბზარები შეიძლება გაჩნდეს ბეტონის გამყარებისას (შეკლების ბზარები), ტემპერატურის ზემოქმედებით, საყრდენების ჯდომით, გადამეტძაბვით გარე დატვირთვების მოქმედებისას.

გადამეტძაბვის ბზარები გაჭიმული ზონის ბეტონში ჩნდება სრულიად უზადოდ დამზადებულ კონსტრუქციებშიც კი, რაც გამოწვეულია ბეტონის დაბალი ჭიმვადობით, რომელსაც არ ძალუძს განიცადოს ისეთივე დეფორმაცია, როგორც არმატურას მაღალი გამჭიმი მუშა ძაბვების მოქმედებისას.

რკინაბეტონის ელემენტების გაჭიმულ ზონაში არმატურის არსებობა არ გამორიცხავს ბეტონში ბზარების გაჩენის შესაძლებლობას გარე დატვირთვების მოქმედებისას. ექსპერიმენტული კვლევები ცხადყოფენ, რომ რკინაბეტონის შედგენილობაში ბეტონის ჭიმვადობა რამდენადმე იზრდება, რადგან ბეტონის სტრუქტურის არაერთგვაროვნობით გამოწვეული ძაბვები უფრო თანაბრად ნაწილდება არმატურის წყალობით. არმატურის გავლენა ბზარმედეგობაზე მით უფრო მნიშვნელოვანია, რაც უფრო თანაბრადაა კვეთში არმატურა განაწილებული (გაჯერებული).

ბეტონსა და არმატურას შორის საკმაოდ მაღალი შეჭიდულობისას, გარე დატვირთვით გაჭიმულ ზონაში ბზარების გაჩენის წინ, ბეტონისა და არმატურის დეფორმაციები მათი კონტაქტის დონეზე ერთნაირია

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{bt,u} \cong 1{,}5 \cdot 10^{-4}$$

და ძაბვები არმატურაში (ჰუკის კანონის თანახმად) ბზარების წარმოქმნისას

$$\sigma_s = \varepsilon_s E_s = 1{,}5 \cdot 10^{-4} \times 2 \cdot 10^5 \cong 30 MPa.$$

ხილული ბზარები ჩნდება საექსპლუატაციოზე დაბალი დატვირთვისას და დატვირთვის მატებით თანდათან იხსნება არმატურაში ძაბვების ზრდასთან ერთად.

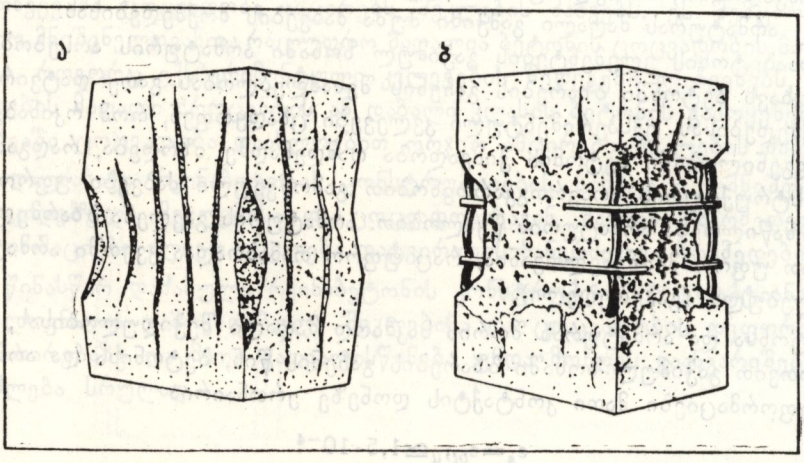
გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ გაჭიმულ ზონაში ბზარების გახსნა მათი შეზღუდული სიდიდის შემთხვევაში საშიში არ არის და არ არღვევს რკინაბეტონის საერთო მონოლითურობას. ბზარების გახსნის სიგანე მეტი 0,2 მმ-ზე ღია კონსტრუქციებში და 0,3 მმ-ზე დახურულ შენობებში ქმნის არმატურის კოროზიის საშიშროებას. ბზარების ზღვრული გახსნის სიდიდის მიხედვით

დაუძაბავ რკინაბეტონში შეიძლება მიზანშეწონილად იქნეს გამოყენებული *A*—I, *A*—II, *A*—III და *B*—I, *Bp*—I კლასის არმატურა. უფრო მაღალი კლასის არმატურის გამოყენება ხელსაყრელია წინასწარ დაძაბულ რკინაბეტონში, სადაც ბზარების გაჩენის მომენტი ახლოა რღვევის სტადიასთან.

ჩვეულებრივი (დაუძაბავი) რკინაბეტონის წინაღობის ექსპერიმენტული საფუძვლები განვიხილოთ ცენტრალურად შეკუმშული, გაჭიმული და ღუნვადი ელემენტების გამოცდის შედეგების მიხედვით.

1. ძაბვა-დეფორმაციათა დამოკიდებულება კუმშვის დროს

რკინაბეტონის პრიზმის ცენტრალური კუმშვის დროს, როდესაც იგი დაარმატურებულია გრძივი არმატურით, რომლის ცალკეული ღეროები განივი მიმართულებით დაკავშირებული არიან საკიდებით, მოქმედ ძალას წინააღმდეგობას უწევს ბეტონი და გრძივი არმატურა. ჩვეულებრივი განივი არმატურა ეწყობა კონსტრუქციული მოსაზრებებით. საკიდები ხელს უშლის გრძივი არმატურის გამობურცვას მრღვევი დატვირთვების მოახლოებისას. IV.4 ნახაზზე გამოსახულია შეკუმშული რკინაბეტონის ელემენტების რღვევის შემთხვევები: ა) ელემენტისა განივი არმატურის გარეშე და ბ) განივი არმატურით.



ნახ. IV. 4. რკინაბეტონის პრიზმის რღვევა: ა—განივი არმატურის გარეშე; ბ—განივი არმატურით.

ექსპერიმენტული კვლევის შედეგად დაზუსტდა განივი არმატურის მნიშვნელობა შეკუმშული რკინაბეტონის ელემენტებისათვის. პრიზმა განივი არმატურის გარეშე ირღვევა თითქმის მთელ სიმაღლეზე განვითარებულ გრძივ ბზარებზე დანაწევრების გამო. საკიდები აბრკოლებს ბეტონის განივ დეფორმაციას.

რკინაბეტონის პრიზმული ნიმუშების ღერძულ კუმშვაზე გამოცდამ ცხადყო, რომ ბეტონისა და არმატურის შეჭიდულობა არ ისპობა თვით რღვევამდე. შეკუმშული კვეთის ზღვრული მდგომარეობა დგება, როდესაც გადაილახება

ბეტონისა და არმატურის სიმტკიცე, მაგრამ ბეტონისა და არმატურის რღვევა შეიძლება ერთდროულად არ მოხდეს. ზოგ შემთხვევაში ჯერ არმატურაში აღწევს ძაბვების სიდიდე ზღვრულ მნიშვნელობას, რის შემდეგ ირღვევა ბეტონი; სხვა შემთხვევებში — პირველად ირღვევა ბეტონი.

რკინაბეტონის პრიზმის კუმშვისას კვეთის დაძაბული მდგომარეობა ნაჩვენებია IV.5 ნახაზზე. ძაბვები ბეტონსა და არმატურაში შესაბამისად აღნიშნულია σ_b და σ_s, ფარდობითი დეფორმაციები—ε_b და ε_s. ელემენტის კვეთში შეკუმშული ბეტონს ფართობი აღინიშნება A_b, ხოლო გრძივი მუშა არმატურის ფართობი A_s-ით.

ბეტონისა და არმატურის დეფორმაციები თანაბარია რღვევამდე

$$\varepsilon_b = \varepsilon_s.$$

არმატურის მკუმშავი ძაბვები ჰუკის კანონის თანახმად

$$\sigma_s = \varepsilon_s E_s,$$

ე. ი.
$$\sigma_s = \varepsilon_b E_s.$$

როგორც ბეტონის ძაბვა-დეფორმაციათა დამოკიდებულების კანონებით ცნობილია

$$\varepsilon_b = \frac{\sigma_b}{E_b'};$$

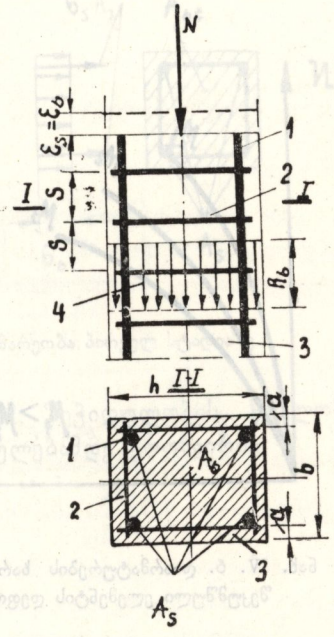
მაშინ ჩასმის შემდეგ მივიღებთ

$$\sigma_s = \frac{\sigma_b}{E_b'} E_s = \frac{\sigma_b}{\nu E_b} E_s$$

და აღნიშვნით

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b}$$

საბოლოოდ მივიღებთ



ნახ. IV. 5. რკინაბეტონის პრიზმის კუმშვის შედეგად განვითარებული ძაბვები და დეფორმაციები.

$$\sigma_s = \frac{\alpha}{\nu} \sigma_b. \qquad \text{(IV.5)}$$

შიგა მკუმშავი ძალა წარმოადგენს ბეტონისა და გრძივი არმატურის ძალვების ჯამს

$$N = \sigma_b A_b + \sigma_s A_s = \sigma_b A_b + \frac{\alpha}{\nu} \sigma_b A_s; \qquad \text{(IV.6)}$$

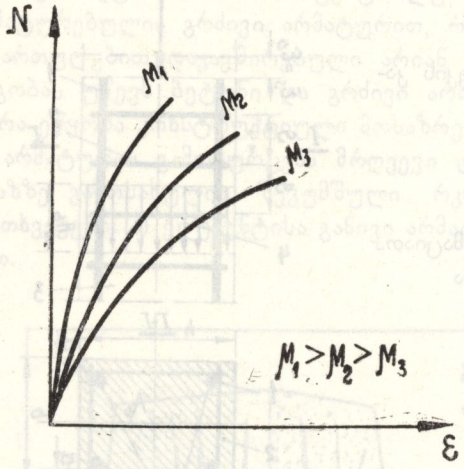
$$N = \sigma_b A_b \left(1 + \frac{\alpha}{\nu} \mu\right), \qquad \text{(IV.6, ა)}$$

სადაც $\mu = \frac{A_s}{A_b}$ არის დაარმატურების კოეფიციენტი.

შიგა ძალებსა და დეფორმაციებს შორის კავშირი შეიძლება დავადგინოთ $\sigma_b = \varepsilon_b E'_b = \nu \varepsilon_b E_b$-ის N-ის გამოსახულებაში ჩასმით

$$N = \varepsilon_b E_b A_b (\nu + \alpha\mu).$$

ν-ს სიდიდე ბეტონის ძაბვებისაგან დამოკიდებულია არახაზოვნად (ბეტონის ცოცვადობის გამო), ამიტომ შიგა ძალთა ჯამის ფორმულა ძალვებსა და დეფორმაციებს შორის კავშირს გამოხატავს არახაზოვნად; დაარმატურების კოეფიციენტის გადიდებით ცოცვადობის გავლენა მცირდება (ნახ. IV. 6).



ნახ. IV. 6. დაარმატურების ხარისხის გავლენა შეკუმშული ელემენტის დეფორმაციაზე.

დატვირთვის მატებისას ძაბვები ბეტონში მიაღწევს სიმტკიცის ზღვარს კუმშვაზე $\sigma_b = R_b$, ხოლო ძაბვები არმატურაში ამ დროს

$$\sigma_s = \frac{\alpha}{\nu} R_b. \qquad \text{(IV.7)}$$

ექსპერიმენტების მონაცემებით რღვევის დროს $\nu = 0{,}2—0{,}3$, მაშინ რღვევის სტადიაზე

$$\sigma_s = (3 \div 5)\, \alpha R_b \simeq 4\alpha R_b, \quad \text{(IV.7, ა)}$$

ე. ი. შეკუმშული არმატურის ძაბვები მრღვევი დატვირთვების მოქმედებისას არ აღემატება საშუალოდ 450 MPa. როგორც ჩანს, ბეტონის შეკუმშულ ზონაში განლაგებული შეკუმშული არმატურის ფოლადის წინაღობის სრულად გამოყენება შეუძლებელია, როდესაც მისი დენადობის ზღვარი აღემატება 450 MPa.

ცდებით დადასტურებულია, რომ ძაბვები არმატურაში აღწევენ დენადობის ზღვარს პრიზმის შენელებული დატვირთვისას ან სწრაფი დატვირთვის შემდეგ ხანგრძლივი დაყოვნების დროს ბეტონის ცოცვადობის განვითარების შედეგად.

როდესაც არმატურაში ძაბვები აღწევენ σ_y დენადობის ზღვარს, ხოლო ბეტონის კუმშვის ძაბვები—R_b სიმტკიცის ზღვარს, N_u მრღვევი ძალვა რკინაბეტონის პრიზმის ცენტრალური კუმშვის დროს ტოლია

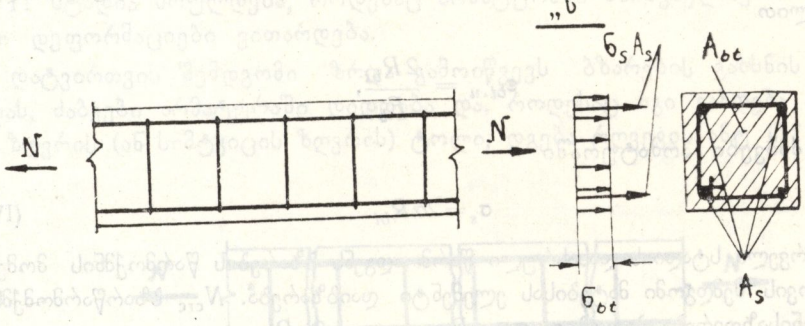
$$N_u = R_b A_b + \sigma_y A_s. \qquad \text{(IV.8)}$$

2. ძაბვა-დეფორმაციათა დამოკიდებულება გაჭიმვის დროს

რკინაბეტონის პრიზმის ცენტრალური გაჭიმვის დროს ძაბვა-დეფორმაციათა დამოკიდებულება დატვირთვის თანდათანობით მატებისას, ვიდრე რღვევის დაწყებამდე, სხვადასხვაგვარია. დადგენილია დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის სამი დამახასიათებელი სტადია:

I. ბზარების წარმოქმნამდე; გამჭიმ ძალას წინააღმდეგობას უწევს ბეტონი და გრძივი არმატურა. ბეტონში აღიძვრება გამჭიმი σ_{bt} ძაბვები, არმატურაში—σ_s; ფარდობითი დეფორმაციები ε_{bt} გაჭიმული ბეტონისა ტოლია ε_s არმატურის დეფორმაციების.

IV.7 ნახაზზე მოცემულია გაჭიმული პრიზის დაძაბული მდგომარეობის დამახასიათებელი სქემა I სტადიაზე.



ნახ. IV. 7. გაჭიმული პრიზმის დაძაბული მდგომარეობა პირველ სტადიაზე.

ბეტონსა და არმატურას შორის არსებული შეჭიდულობის წყალობით მათი დეფორმაციები პირველი სტადიის დასრულებამდე ერთნაირია.

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{bt}.$$

როგორც ცნობილია,

$$\varepsilon_{bt} = \frac{\sigma_{bt}}{E'_{bt}} = \frac{\sigma_{bt}}{\nu_t E_b},$$

ხოლო ძაბვები არმატურაში ჰუკის კანონის თანახმად,

$$\sigma_s = \varepsilon_s E_s,$$

რომელიც $\varepsilon_s = \varepsilon_{bt}$ მნიშვნელობის ჩასმის შემდეგ დაიწერება ასე

$$\sigma_s = \varepsilon_{bt} E_s = \frac{\sigma_{bt}}{\nu_t E_b} E_s.$$

ფარდობა მოდულებისა აღნიშნულია როგორც $\alpha = \frac{E_s}{E_b}$, მას დაყვანის კოეფიციენტი ეწოდება. მივიღებთ

$$\sigma_s = \frac{\alpha}{\nu_{bt}} \sigma_{bt}. \qquad (IV.9)$$

გამჭიმი ძალა პირველი სტადიის დამთავრებამდე ნაწილდება გაჭიმულ ბეტონსა და არმატურას შორის და ძალვების ჯამი

$$N = \sigma_{bt} A_{bt} + \sigma_s A_s.$$

ჩასმის შემდეგ ფორმულა დაიწერება შემდეგი სახით

$$N = \sigma_{bt} A_{bt} + \frac{\alpha}{\nu_t} \sigma_{bt} A_s = \sigma_{bt} \left(A_{bt} + \frac{\alpha}{\nu_t} A_s \right).$$

დაძაბული მდგომარეობის I სტადიის დასასრულს ბეტონის გამჭიმი ძაბვები აღწევს სიმტკიცის ზღვარს $\sigma_{bt} = R_{bt}$. ცდებით დადგენილია, რომ ამ დროს ბეტონის დრეკადი დეფორმაციების კოეფიციენტი $\nu_t = 0{,}5$, მაშინ ბეტონის ფარდობითი დეფორმაციები ბზარების წარმოქმნის დროს—ბეტონის ჭიმვადობა—განისაზღვრება ფორმულით

$$\varepsilon_{bt.u} = \frac{2R_{bt}}{E_b},$$

ხოლო ძაბვები არმატურაში

$$\sigma_s = 2\alpha R_{bt}. \qquad \text{(IV.10)}$$

პირველი სტადიის დასასრული წარმოადგენს ბზარების წარმოქმნის მომენტს. დატვირთვის შემდგომი მატებისას ელემენტი დაიბზარება. N_{crc} ბზარწარმომქმნელი ძალა განისაზღვრება პირობით $\sigma_{bt} = R_{bt}$ და $\sigma_s = 2\alpha R_{bt}$:

$$N_{crc} = R_{bt} A_{bt} + 2\alpha R_{bt} A_s = R_{bt} (A_{bt} + 2\alpha A_s), \qquad \text{(IV.11)}$$

ე. ი.

$$N_{crc} = R_{bt} A_{bt} (1 + 2\alpha\mu),$$

სადაც μ წარმოადგენს დაარმატურების კოეფიციენტს, ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტისათვის $\mu = \frac{A_s}{A_{bt}}$.

დაძაბული მდგომარეობის დამახასიათებელი II სტადია დგება დატვირთვის მატებისას ბზარების გახსნის შემდეგ: ბზარიან კვეთში ბეტონი მუშაობიდან გამოირთვება და მთელი გამჭიმი ძალა გადაეცემა არმატურას. არმატურის გამჭიმი ძაბვები ბზარიან კვეთში

$$\sigma_s = \frac{N}{A_s}.$$

ბზართა შორის გაჭიმვას ეწინააღმდეგება ბეტონიცა და არმატურაც. დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის დამახასიათებელი სქემა II სტადიაზე მოცემულია IV.8 ნახაზზე.

არმატურის ძაბვები და დეფორმაციები ბზარიან კვეთში

$$\sigma_s = \frac{N}{A_s}, \quad \varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s}.$$

არმატურის საშუალო ძაბვები და საშუალო დეფორმაციები ბზართა შორის

$$\sigma_{sm} = \psi_s \sigma_s, \qquad \text{(IV.12)}$$

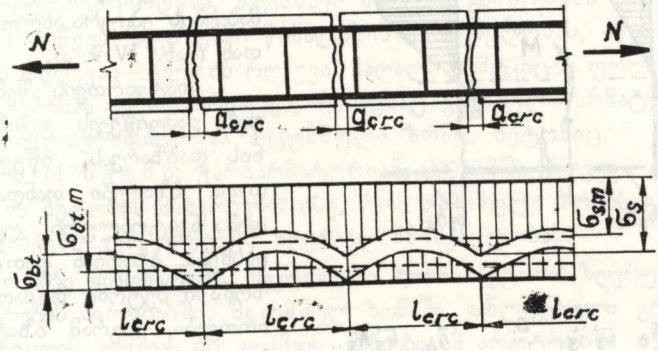
$$\varepsilon_{sm} = \psi_s \varepsilon_s = \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s}, \qquad \text{(IV.13)}$$

სადაც ψ_s კოეფიციენტი ითვალისწინებს გაჭიმული ბეტონის მონაწილეობას მუშაობაში ბზართა შორის; $\psi_s=\frac{\varepsilon_{sm}}{\varepsilon_s}=\frac{\sigma_{sm}}{\sigma_s}$, იგი არ მიიღება 1-ზე მეტი.

ბზარიან კვეთში ძაბვები ბეტონში ნულის ტოლია. ბზარის კიდიდან ძაბვები თანდათან მატულობს და ბზართა შუა ბეტონის გამჭიმი ძაბვები σ_{bt} უდიდესია.

II სტადია სრულდება, როდესაც არმატურაში მნიშვნელოვანი არაძრეკადი დეფორმაციები ვითარდება.

დატვირთვის შემდგომი ზრდა გამოიწვევს ბზარების გახსნის სიგანის ზრდას, ძაბვები არმატურაში დიდდება და, როდესაც იგი გახდება დენადობის ზღვრის (ან სიმტკიცის ზღვრის) ტოლი, დგება ღრეჩოს ანუ III სტადია.



ნახ. IV. 8. გაჭიმული რკინაბეტონის პრიზმის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა ბზარების გახსნის შემდეგ.

მრღვევი ძალის სიდიდე ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტისათვის განისაზღვრება:

რბილი ფოლადის არმატურის გამოყენებისას

$$N_u=\sigma_y A_s; \tag{IV.14}$$

მაღალი სიმტკიცის არმატურის გამოყენებისას

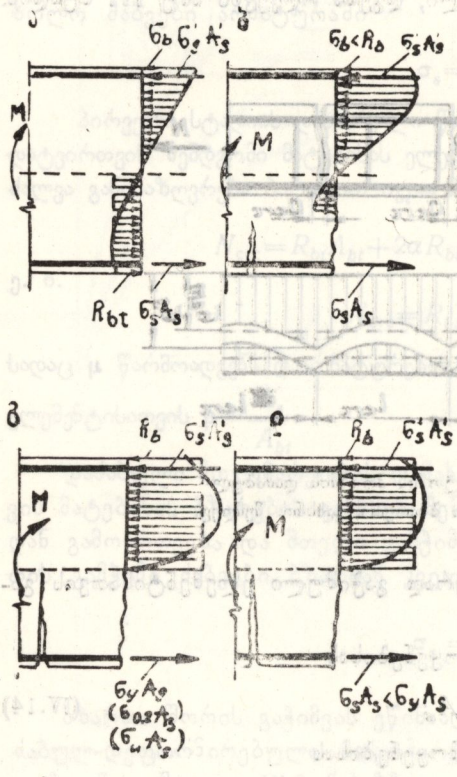
$$N_u=\sigma_u A_s, \tag{IV.15}$$

სადაც σ_y არის დენადობის ზღვრის მნიშვნელობა, ხოლო σ_u—სიმტკიცის ზღვარი ფოლადისათვის.

8. ღუნვადი ელემენტის დაძაბული მდგომარეობის სტადიები

რკინაბეტონის კოჭებზე ჩატარებული მრავალრიცხოვანი ცდებიდან ჩანს, რომ დატვირთვის თანდათანობით გადიდებისას აღინიშნება დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის დამახასიათებელი სამი სტადია (ნახ. IV.9).

I სტადია: დასაწყისში, ვიდრე დატვირთვა მცირეა, ბეტონის დეფორმაციებიც მცირეა და თითქმის დრეკადი ხასიათისაა, დამოკიდებულება ძაბვებსა და დეფორმაციებს შორის თითქმის წრფივია და ნორმალური ძაბვების ეპიურა, როგორც შეკუმშულ, ასევე გაჭიმულ ზონაში ჩაითვლება სამკუთხად. დატვირთვების ზრდა იწვევს ძაბვების მატებას; გაჭიმულ ბეტონში ძაბვები უფრო ნელა დიდდება, ვიდრე დეფორმაციები; ვითარდება პლასტიკური დეფორმაციები და ბეტონის გამჭიმი ძაბვების ეპიურას ეძლევა მრუდის სახე და, როდესაც მათი სიდიდე აღწევს ბეტონის სიმტკიცის ზღვარს გაჭიმვაზე — $\sigma_{bt}=R_{bt}$, დგება I სტადიის დასასრული. შეკუმშული ზონის ბეტონი ამ დროს ძირითადად დრეკად დეფორმაციას განიცდის და კუმშვის ძაბვების ეპიურა ახლოა სამკუთხედთან (ნახ. IV.9. ა).



ნახ. IV.9. დაძაბული მდგომარეობის სტადიები ღუნვადი ელემენტის ნორმალური კვეთებისათვის.

დატვირთვის შემდგომი გადიდება გამოიწვევს გაჭიმული ბეტონის დაბზარვას, იწყება II სტადია. ბზარები თანდათან ვითარდება ნეიტრალური ღერძისაკენ და იხსნება. ბზარიან კვეთში გაჭიმულ ზონაში ბეტონი მუშაობიდან გამოირთვება, მაგრამ ბზართა შორის ბეტონისა და არმატურის შეჭიდულობა დარღვეული არ არის და ბეტონი გაჭიმვაზე მუშაობაში ეხმარება არმატურას. დატვირთვის გადიდებას მოსდევს შეკუმშულ ზონაში ბეტონის პლასტიკური დეფორმაციების აშკარა გამოვლინება და ბეტონის კუმშვის ძაბვების ეპიურაც მრუდხაზოვანი ხდება; ვიდრე ბეტონის კუმშვის ძაბვების სიდიდე ნაკლებია დროებით წინაღობაზე და გაჭიმულ არმატურაში ძაბვები ნაკლებია ზღვრულ სიდიდეზე, ადგილი აქვს II სტადიას, მაგრამ, როდესაც გაჭიმული ზონის არმატურაში ვითარდება მნიშვნელოვანი არადრეკადი დეფორმაციები, სრულდება II სტადია (ნახ.IV.9.ბ).

II სტადიიდან რღვევის სტადიაზე გადასვლა დამოკიდებულია გაჭიმულ ზონაში განლაგებულ გრძივი მუშა არმატურის შემცველობაზე ელემენტის

მუშა კვეთში. II სტადიის შემდეგ დატვირთვის ზრდა ყველა შემთხვევაში გამოიწვევს ძაბვების გადიდებას როგორც შეკუმშული ზონის ბეტონში, ასევე გაჭიმული ზონის გრძივ მუშა არმატურაში.

რღვევა შეიძლება მოხდეს ორგვარად: 1. რღვევა იწყება გაჭიმულ არმატურაში ზღვრული წინაღობის ტოლი ძაბვების განვითარების შედეგად; 2. რღვევა იწყება შეკუმშული ზონის ბეტონში ზღვრული წინაღობის ტოლი ძაბვების განვითარების შედეგად. რღვევის პირველი სქემა დამახასიათებელია სიმტკიცის პირობით საჭირო კვეთის გრძივი მუშა არმატურის გამოყენების (ნორმალურად დაარმატურების) პირობებისათვის, ხოლო მეორე სქემა — ჭარბარმატურიანი კვეთებისათვის.

რ ღ ვ ე ვ ი ს I ს ქ ე მ ა: როდესაც გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა არმატურის ძაბვები უტოლდება ზღვრულ სიდიდეს, დატვირთვის შემდგომი გადიდებისას, რბილი ფოლადის არმატურის დენადობის პირობებში, გაჭიმულ ზონაში გახსნილი ბზარი თანდათან გაიხსნება და გაღრმავდება, შეკუმშული ბეტონის სიმაღლე შემცირდება, მკუმშავი ძაბვები გაიზრდება და, როდესაც მათი სიდიდე მიაღწევს ზღვრული წინაღობის მნიშვნელობას, იწყება შეკუმშული ბეტონის რღვევა — კვეთის რღვევა. მაღალი სიმტკიცის ფოლადის არმატურის გამოყენებისას კვეთი ირღვევა, როდესაც გაჭიმული არმატურა წყდება და ერთდროულად იმსხვრევა შეკუმშული ზონის ბეტონიც.

რ ღ ვ ე ვ ი ს II ს ქ ე მ ა: ჭარბარმატურიან კვეთებში რღვევა იწყება შეკუმშული ზონის ბეტონის მსხვრევით ისე, რომ გაჭიმული ზონის გრძივ მუშა არმატურაში ძაბვები ვერ აღწევენ ზღვრულ მნიშვნელობას.

რღვევის ორივე შემთხვევაში, შეკუმშული ზონის ბეტონის ზღვრული კუმშვადობის განვითარების პირობებში, შეკუმშულ ზონაში განლაგებული გრძივი მუშა არმატურა განიცდის კუმშვას და კუმშვის ძაბვები ამ არმატურაში $\sigma_{sc}=\varepsilon_{bu}E_s\simeq$ $\simeq 400 MPa$, ე. ი. რღვევის სტადიაზე შეკუმშული ზონის არმატურაში ძაბვები მიაღწევს დენადობის ზღვარს, რომელსაც ამ არმატურისათვის გამოყენებული ფოლადის დენადობის ზღვარი ნაკლებია 400—500 *MPa*-ზე (ε_{bu} სიდიდისაგან დამოკიდებულებით, რაც თავის მხრივ განპირობებულია ბეტონის თვისებებით).

ღუნვადი ელემენტის სიგრძეზე სხვადასხვა კვეთი განიცდის განსხვავებულ დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობას (განსხვავებული სიდიდის ძალვების მოქმედების პირობებში) — ერთდროულად იარსებებს დაძაბული მდგომარეობის როგორც I, ასევე II და III სტადია.

V თავი

რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების საფუძვლები

§ 1. ზოგადი ცნობები

განვითარების სხვადასხვა ეტაპზე საბჭოთა კავშირში მიღებული იყო რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების მეთოდები დასაშვები ძაბვების, მრღვევი ძალვებისა და ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით.

დასაშვები ძაბვების მიხედვით გაანგარიშების მეთოდი (ე. წ. კლასიკური მეთოდი) ძალაში შევიდა XIX ს. დასასრულს.

1938 წლიდან საბჭოთა კავშირში პირველად დაწესდა რკინაბეტონის სამშენებლო კონსტრუქციების გაანგარიშების ახალი მეთოდი — გაანგარიშება მრღვევი ძალვების მიხედვით.

1955 წლიდან საბჭოთა კავშირში ყოველგვარი სამშენებლო კონსტრუქციებისათვის შემოღებულია გაანგარიშების ერთიანი მეთოდი — ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშება, რომელშიაც განვითარება პოვა მრღვევი ძალვების მეთოდის პროგრესულმა იდეებმა, როგორიცაა მასალის პლასტიკური თვისებების გათვალისწინება სიმტკიცეზე გაანგარიშებებში რღვევის სტადიის მიხედვით, ხოლო ერთიანი მარაგის კოეფიციენტი შეიცვალა კოეფიციენტების სისტემით — საიმედოობის, მუშაობის პირობების, რომლებიც ითვალისწინებენ აგებისა და ექსპლუატაციის კონკრეტულ პირობებსა და გარე დატვირთვის ხასიათს ცალ-ცალკე. შეიქმნა კონსტრუქციების საიმედოობის სწორად შეფასების და, ზოგ შემთხვევაში, უფრო ეკონომიური კონსტრუქციების დაპროექტების შესაძლებლობა.

ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშების მეთოდი თანდათან დაიხვეწა, ზოგი დებულება დაზუსტდა და 1970—72 წლებში სამშენებლო ნორმებისა და წესების მორიგი გადასინჯვისას ჩამოყალიბდა მისი ახალი რედაქციის პროექტი, რომლის შესაბამისად 1975 წ. საბჭოთა კავშირში მშენებლობის საქმეთა სახელმწიფო კომიტეტმა დაამტკიცა ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტების ნორმები და წესები (СНиП II—21—75), რომელიც მოქმედებდა 1985 წლის ბოლომდე; 1984 წ. დამტკიცებულია და 1986 წ. 1 იანვრიდან ძალაში შევიდა ახალი ნორმები და წესები (СНиП 2.03.01—84).

§ 2. ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშების არსი. ზღვრულ მდგომარეობათა ორი ჯგუფი

ზღვრულად ითვლება მდგომარეობა, როდესაც კონსტრუქცია აღარ აკმაყოფილებს დადგენილ საექსპლუატაციო მოთხოვნებს ან მოთხოვნებს, რომლებიც წაეყენება მას აგების დროს.

ექსპლუატაციის საიმედოობის დაკარგვა არ არის დაკავშირებული მხოლოდ კონსტრუქციის რღვევასთან; იგი შეიძლება განპირობებული იყოს ნაგებობის გამოყენების გაძნელებით, რასაც მოსდევს შეკეთების, გაძლიერების ან კონსტრუქციის შეცვლის აუცილებლობა; ამიტომ საიმედოობის ანალიზში მნიშვნელოვანია ისეთი ფაქტორების შეფასება, როგორიცაა ექსპლუატაციის პირობები და მისი ხანგრძლივობა, ნაგებობის მნიშვნელობა — ზღვრულ მდგომარეობათა დადგომის შედეგების სიმძიმე, ეკონომიკური მოთხოვნები და სხვ. ამგვარად, გაანგარიშების დროს ზღვრული მდგომარეობის, როგორც ნაგებობის ექსპლუატაციის შესაძლებლობის ზღვრის ცნების გამოყენებისას, უფრო დასაბუთებულად შეიძლება იმ პირობების დადგენა, რომლებიც უზრუნველყოფენ მზიდი კონსტრუქციების საიმედოობას.

საიმედოობა წარმოგვიდგება როგორც შენობებისა და ნაგებობების, აგრეთვე მათი მზიდი და შემომფარგლავი კონსტრუქციების უნარი, შეუფერხებლად შეასრულოს დაკისრებული ფუნქციები ექსპლუატაციის პერიოდში და აგრეთვე მშენებლობისას.

თანამედროვე სამშენებლო ნორმები და წესები განასხვავებენ ზღვრულ მდგომარეობათა ორ ჯგუფს:

I — ზიდვის უნარის დაკარგვის ან ექსპლუატაციისათვის უვარგისობის მიხედვით; II — ნორმალური ექსპლუატაციისათვის უვარგისობის მიხედვით.

ზღვრულ მდგომარეობათა I ჯგუფს მიეკუთვნება:

ფორმის მდგრადობის დაკარგვა; მდებარეობის მდგრადობის დაკარგვა; რღვევა (ხისტი, ბლანტი, დაღლილობისა ან სხვა ხასიათის); რღვევა გამოწვეული ძალური ფაქტორების და გარემო პირობების არახელსაყრელი გავლენის ერთობლივი მოქმედებით; კონსტრუქციის მოხაზულობის ხარისხობრივი ცვლილება; რეზონანსული რხევები ან სხვა მდგომარეობები, რომელთა დადგომისას აუცილებელია ექსპლუატაციის შეწყვეტა (მასალის დენადობის, შეერთებებში წარმოშობილი ძვრების, ცოცვადობის ან ბზარების ზომაზე დიდად გახსნის შედეგად).

ზღვრულ მდგომარეობათა II ჯგუფს მიეკუთვნება ისეთი მდგომარეობები, რომლებიც აძნელებენ კონსტრუქციების ნორმალურ ექსპლუატაციას ან ადაბლებენ მათ ხანგამძლეობას დაუშვებელი სიდიდის გადაადგილებების (ჩაღუნვა, ჯდომა, მობრუნების კუთხე), რხევების და ბზარების განვითარების გამო.

ექსპლუატაცია ნორმალურად ითვლება მაშინ, როდესაც იგი შეუზღუდავად მიმდინარეობს ნორმებით ან საპროექტო მოცემულობით დაგეგმილი ტექნოლოგიური ან საყოფაცხოვრებო პირობების შესაბამისად.

ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშების მიზანია არ იქნეს დაშვებული ნაგებობის ზღვრული მდგომარეობის დადგომა ექსპლუატაციის (სამსახურის სრული დასახული ვადის განმავლობაში) და აგრეთვე აგების დროს.

§ 3. კონსტრუქციების გაანგარიშების ძირითადი ფაქტორები

გაანგარიშების უმნიშვნელოვანეს ფაქტორებს წარმოადგენს დატვირთვები (და სხვა ზემოქმედებები), აგრეთვე მასალის მექანიკური და სხვ. თვისებები; გარდა ამისა, საექსპლუატაციო მოთხოვნები და კონსტრუქციის მუშაობის პირობები.

1. დატვირთვები და ზემოქმედებები

ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშებებში განასხვავებენ ნორმატიულსა და საანგარიშო დატვირთვებს.

დატვირთვების ძირითადი საზომი არის მათი ნორმატიული მნიშვნელობა, რომელიც დადგინდება დაპროექტების ნორმებით და მიიღება:

— მუდმივი დატვირთვებისათვის — კონსტრუქციის გეომეტრიული და კონსტრუქციული პარამეტრების საპროექტო მნიშვნელობების და მასალის საშუალო სიმკვრივეების მიხედვით;

— ტექნოლოგიური (მოწყობილობების, საწყობში მოთავსებული მასალების, ავეჯის, ადამიანებისა და სხვ.) და სამონტაჟო დატვირთვებისათვის — ნორმალური ექსპლუატაციის ან მშენებლობის აღებულ პირობებში მათი უდიდესი მნიშვნელობის მიხედვით;

— ატმოსფერული დატვირთვებისა და ზემოქმედებისათვის — ყველაზე არახელსაყრელი ყოველწლიური მნიშვნელობის საშუალო სიდიდის მიხედვით, ან იმ არახელსაყრელი ზემოქმედების მნიშვნელობის მიხედვით, რომელიც შეესაბამება განმეორების ან გადამეტების გარკვეულ პერიოდს;

— მანქანური დინამიკური დატვირთვებისათვის — პარამეტრების საშუალო სტატისტიკური მნიშვნელობის მიხედვით, რომელთა შესაბამისად განისაზღვრება დინამიკური დატვირთვა.

ექსპლუატაციის ნორმალური პირობების შემთხვევითი დარღვევის გამო, ან დატვირთვის ცვალებადობასთან დაკავშირებით ნორმატიული მნიშვნელობიდან დატვირვების არახელსაყრელი გადახრა (გადიდება ან შემცირება) გათვალისწინებულია საიმედოობის კოეფიციენტის (γ_f) საშუალებით, რომელიც დადგენილია შენობის დანიშნულებისა და ექსპლუატაციის პირობების გათვალისწინებით.

საანგარიშო F დატვირთვა წარმოადგენს დატვირთვას, რომელიც მიიღება კონსტრუქციების ან ფუძეების გაანგარიშებებში, და რომელიც უდრის ნორმატიული დატვირთვის ნამრავლს შესაბამის საიმედოობის კოეფიციენტზე დატვირთვების მიხედვით. საანგარიშო დატვირთვა აღინიშნება F-ით, ნორმატიული დატვირთვა— F_n-ით, საიმედოობის კოეფიციენტი დატვირთვის მიხედვით—γ_f-ით

$$F=\gamma_f F_n. \qquad (V.1)$$

γ_f კოეფიციენტები მიიღება დაპროექტების ნორმების ან დატვირთვების ნორმების მიხედვით: დროებითი დატვირთვებისათვის $\gamma_f>1$, მუდმივი დატვირთვებისათვის იგი შეიძლება იყოს ერთზე მეტი ან ნაკლები.

ნაგებობებზე მოქმედებს მუდმივი და დროებითი დატვირთვები.

კონსტრუქციების გაანგარიშებისას ითვალისწინებენ მუდმივი და დროებითი დატვირთვების ერთობლივ მოქმედებას. მუდმივისაგან განსხვავებით, დროებითი დატვირთვების გათვალისწინება გაანგარიშებით საჭიროა მხოლოდ ისეთ შემთხვევაში, როდესაც მათი მოქმედება არახელსაყრელია.

მუდმივ დატვირთვებში შედის: შენობებისა და ნაგებობათა უძრავი ნაწილების წონა, გრუნტის წონა და დაწოლა, ქანების დაწოლა, წინასწარი დაძაბვის ზემოქმედება.

დროებითი დატვირთვებიდან, მათი უდიდესი მნიშვნელობის მოქმედების სიხშირისა და ხანგრძლივობის მიხედვით, განასხვავებენ: ხანგრძლივ მოქმედ, ხანმოკლე და განსაკუთრებულ დატვირთვებს.

დროებით ხანგრძლივმოქმედ დატვირთვებს მიეკუთვნება: ნაგებობათა იმ ნაწილების წონა, რომელთა მდებარეობაც ექსპლუატაციის პერიოდში იშვიათად იცვლება (მაგალითად, დროებითი ტიხრების) სტაციონარული დანადგარების ხანგრძლივი ზემოქმედება; აირის ან სითხის დაწოლა საცავებსა (სატევებში) და მილსადენებში; საწყობების, წიგნთსაცავების, ბიბლიოთეკებისა და მსგავსი სათავსების გადახურვებზე დატვირთვა; ტექნიკური სართუ-

ლების, გამოთვლითი ტექნიკის სადგურების და სხვა სპეციალური სათავსების გადახურვების დატვირთვა; ზეგავლენა ფუძის არათანაბარი დეფორმაციისაგან (გრუნტის სტრუქტურის ძირეული ცვლილებების გარეშე); წყლის წონის მოქმედება წყლისსაფარიან სახურავებზე, საწარმოო მტვრის ნალექის დატვირთვა; შეკლებისა და ცოცვადობის გავლენა.

ხანმოკლე დროებითი დატვირთვებია: თოვლის, ქარის, ყინვის დატვირთვა; ადამიანების, მსუბუქი მოწყობილობების დატვირთვა საცხოვრებელ და სამოქალაქო შენობებში; ამწის დატვირთვები, ტემპერატურის ზემოქმედება და სხვ.

განსაკუთრებული დატვირთვებია: სეისმური და აფეთქების მოქმედება; დატვირთვები და ზემოქმედება ტექნოლოგიური პროცესის მკვეთრი დარღვევის გამო, დანადგარების გაუმართავი მოქმედებისას (ბაგირების გაწყვეტა), დარტყმები ამწის ჩიხის მისაბჯენზე; ფუძის არათანაბარი დეფორმაცია, რომელსაც ერთვის გრუნტის სტრუქტურის ძირეული ცვლილება.

მუდმივი და დროებითი დატვირთვების მოქმედებისას გაანგარიშებაში ითვალისწინებენ მათ ყველაზე არახელსაყრელ შეხამებას. განასხვავებენ დატვირთვების ძირითად და განსაკუთრებულ შეხამებას.

ძირითად შეხამებას განეკუთვნება: მუდმივი დატვირთვა, დროებითი ხანგრძლივი და დროებითი ხანმოკლე დატვირთვა. ორი ან მეტი სახეობის ხანმოკლე დატვირთვის გათვალისწინებისას მიიღება 0,9 ტოლი შეხამების კოეფიციენტი, რომელზედაც მრავლდება ხანმოკლე დატვირთვები ან ხანმოკლე დატვირთვებით გამოწვეული ძალვები.

განსაკუთრებულ შეხამებას განეკუთვნება: მუდმივი, დროებითი ხანგრძლივი, ხანმოკლე და ერთი განსაკუთრებული დატვირთვა. აქ ხანმოკლე დატვირთვა გაანგარიშებაში შედის შეხამების 0,8 ტოლი კოეფიციენტებით.

2. საშენი მასალების ფიზიკურობა

განასხვავებენ ძალური ზემოქმედებისადმი მასალების ნორმატიულ და საანგარიშო წინაღობას.

ძალური ზემოქმედებისადმი მასალის წინაღობის ძირითად საზომს წარმოადგენს ნორმატიული წინაღობა; იგი განისაზღვრება ლაბორატორიულ პირობებში ნიმუშების გამოცდით სახელმწიფო სტანდარტების შესაბამისად, მასალის წინაღობის სტატისტიკური ცვალებადობისა და კონტროლის პირობების გათვალისწინებით.

ა) ბ ე ტ ო ნ ი ს ნ ო რ მ ა ტ ი უ ლ ი წ ი ნ ა ღ ო ბ ა. ბეტონის ეტალონური კუბური ნიმუშების სახელმწიფო სტანდარტების მიხედვით გამოცდით დადგინდება დროებითი წინაღობა კუმშვაზე (კუბური სიმტკიცე) R, MPa, ნიმუშების n რაოდენობისათვის. ექსპერიმენტების შედეგად მიღებული ბეტონის სიმტკიცის განაწილების მრუდი ნაჩვენებია V. 1. ნახაზზე.

თუ n არის გამოცდილი კუბების საერთო რიცხვი;

n_1—კუბების რიცხვი R_1 სიმტკიცით;

n_2—კუბების რიცხვი R_2 სიმტკიცით;

. . . . . .

მაშინ საშუალო კუბური $\overline{R}$ სიმტკიცე (საშუალო დროებითი წინაღობა) განისაზღვრება ფორმულით

$$\overline{R} = \frac{n_1R_1+n_2R_2+\cdots}{n}. \qquad (V.2)$$

გადახრა საშუალოდან n_1 კუბისათვის $\Delta_1=R_1-\overline{R}$,

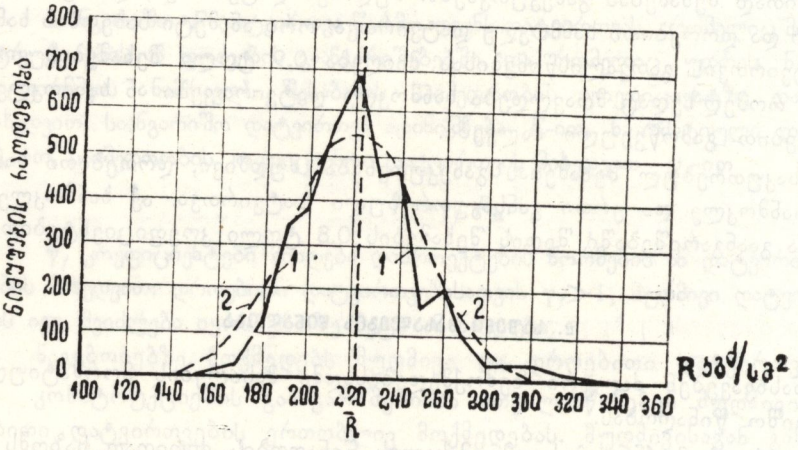
n_2 კუბისათვის $\Delta_2=R_2-\overline{R}$,

. . . . . .

საშუალო კვადრატული გადახრა, ე. წ. სტანდარტი

$$\sigma = \sqrt{\frac{n_1\Delta_1^2+n_2\Delta_2^2+\cdots+n_k\Delta_k^2}{n-1}}. \qquad (V.3)$$

ბეტონის ნორმატიულ წინაღობას წარმოადგენს დროებითი წინაღობის უდაბლესი საკონტროლო სიდიდე, რომელიც მიიღება საშუალო დროებითი წინაღობის $\overline{R}$ მნიშვნელობიდან $\varkappa\sigma$ მანძილზე დაშორებით (წინაღობის განაწილების მრუდის შესაბამისად) წინაღობის დაბალი ნიშნულობების მხარეს.



ნახ. V. 1. ბეტონის სიმტკიცის განაწილების მრუდი.

კუბური სიმტკიცის უდაბლეს საკონტროლო სიდიდეს შეესაბამება ბეტონის B კლასი, ე. ი. ბეტონის კლასი სიმტკიცის მიხედვით კუმშვაზე არის ნორმატიული კუბური წინაღობა

ან
$$B=R_n=\overline{R}-\varkappa\sigma \qquad (V.4)$$

$$B=R_n=\overline{R}(1-\varkappa v), \qquad (V.4, ა)$$

სადაც $v=\frac{\sigma}{\overline{R}}$ არის სიმტკიცის ვარიაციის კოეფიციენტი; დაპროექტების ნორმების მითითებებით მძიმე ბეტონებისათვის მიიღება $v=0,135$;

$\varkappa$ —სტანდარტების რიცხვი, მიიღება $\varkappa=1,64$.

ამ სიდიდეთა გათვალისწინებით ბეტონის კუბური ნორმატიული წინაღობა გამოითვლება ფორმულით

$$R_n = \bar{R}(1 - 1{,}64\, v) = 0{,}778\, \bar{R}, \qquad (V.5)$$

ანუ კლასი

$$B = R_n = 0{,}778\, \bar{R}. \qquad (V.6)$$

ნორმატიული პრიზმული წინაღობა მძიმე და მსუბუქი ბეტონებისთვის განისაზღვრება კუბური წინაღობისაგან დამოკიდებულებით, ფორმულით

$$R_{bn} = B\,(0{,}77 - 0{,}00125\, B) \qquad (V.7)$$

და მიიღება არანაკლები $0{,}72\, R_n$-ისა

$$R_{bn} \geqslant 0{,}72\, R_n.$$

კუბური სიმტკიცის მიხედვით შეიძლება დადგინდეს ბეტონის ნორმატიული წინაღობა ღერძულ გაჭიმვაზე

$$R_{bt.n} = k \cdot 0{,}5 \sqrt[3]{B^2}, \qquad (V.8)$$

აქ $k = 0{,}8$, როდესაც ბეტონის კლასი $B35$ და ნაკლებია,
$k = 0{,}7$—B 40 და მაღალი კლასებისათვის.

როდესაც ბეტონის კლასი განისაზღვრება სიმტკიცის მიხედვით ღერძულ გაჭიმვაზე, ღერძულ კუმშვაზე წინაღობის განსაზღვრის ანალოგიურად მიიღება

$$B_t = R_{bt.n} = 0{,}778\, \bar{R}_{bt}, \qquad (V.9)$$

სადაც $\bar{R}_{bt}$ არის ბეტონის საშუალო დროებითი წინაღობის სიდიდე გაჭიმვაზე. $\bar{R}$-ის მსგავსად, იგი განისაზღვრება ფორმულით

$$\bar{R}_{bt} = \frac{n_1 R_{1t} + n_2 R_{2t} + \cdots}{n - 1}.$$

ბეტონის კლასების შესაბამისად, ნორმატიული წინაღობები ღერძულ კუმშვასა და გაჭიმვაზე— R_{bn}, $R_{bt.n}$ —(დამრგვალებულად) მოცემულია СНиП 2.03.01—84-ის 12-ე და 13-ე ცხრილებში (და VII დანართში).

ბ) არმატურის ნორმატიული წინაღობაც ისაზღვრება ლაბორატორიულ პირობებში ნიმუშების გაჭიმვაზე გამოცდის (სახელმწიფო სტანდარტების მიხედვით) შედეგად.

არმატურის ნორმატიული R_{sn} წინაღობა წარმოადგენს დენადობის ზღვრის უდაბლეს საკონტროლო მნიშვნელობას. არმატურის ნორმატიულ წინაღობათა (დამრგვალებული) სიდიდე არმატურის სახეობისა და კლასების მიხედვით მოცემულია დაპროექტების ნორმების (СНиП 2.03.01—84) მე-19 ცხრილში ღეროვანი არმატურისთვის და მე-20 ცხრილში მავთულოვანი არმატურისთვის (აგრეთვე VIII და IX დანართებში).

მასალის მექანიკური თვისებების ცვლადობის გამო და იმ მიზეზითაც, რომ მათი წარმოებაში შეტანისას ხდება მხოლოდ შერჩევითი საკონტროლო გამოცდა, გამორიცხული არ არის, რომ კონსტრუქცია (ან მისი რომელიმე უბა-

ნი, კვეთი) დამზადდება ნორმატიულთან შედარებით დაქვეითებული წინაღობის მასალით. გარდა ამისა, კონსტრუქციებში გამოყენებული მასალის წინაღობა შეიძლება განსხვავდებოდეს ნორმატიულისაგან მასშტაბურობის ფაქტორის გამოც (ნორმატიული წინაღობა ისაზღვრება სტანდარტული ნიმუშების გამოცდით), კონსტრუქციაში მასალის მუშაობის პირობების განსხვავების გამო ნიმუშში მუშაობის პირობებისაგან და სხვა მთელი რიგი არასტატიკური გარემოებების გამო.

კონსტრუქციაში მასალის წინაღობის შესაძლო დაქვეითებას ნორმატიულთან შედარებით ითვალისწინებენ საიმედოობის კოეფიციენტის საშუალებით. ნორმატიული წინაღობის ფარდობა საიმედოობის კოეფიციენტთან მასალის მიხედვით, წარმოგვიდგება როგორც საანგარიშო წინაღობა

$$R = \frac{R_n}{\gamma}, \tag{V.10}$$

საანგარიშო წინაღობები ბეტონისათვის ღერძულ კუმშვაზე

$$R_b = \frac{R_{bn}}{\gamma_{bc}};$$

ღერძულ გაჭიმვაზე

$$R_{bt} = \frac{R_{bt.n}}{\gamma_{bt}};$$

საანგარიშო წინაღობა არმატურისათვის

$$R_s = \frac{R_{sn}}{\gamma_s},$$

სადაც γ არის საიმედოობის კოეფიციენტი მასალის მიხედვით: γ_{bc}—ბეტონისათვის კუმშვაზე, γ_{bt}—ბეტონისათვის გაჭიმვისას, γ_s—არმატურისათვის. პირველი ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშებებში მიიღება $\gamma > 1$; მეორე ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშებებში, გარდა მცირე გამონაკლისისა, მიიღება $\gamma = 1$.

СНиП 2.03.01—84-ის 11-ე ცხრილში ბეტონისათვის და 21-ე ცხრილში არმატურისათვის მოცემულია საიმედოობის კოეფიციენტების მნიშვნელობები მასალის მიხედვით (აგრეთვე V დანართში).

3. მუშაობის პირობების კოეფიციენტები

მუშაობის პირობების კოეფიციენტის საშუალებით ითვალისწინებენ მასალების ან კონსტრუქციის მუშაობაზე ისეთი ფაქტორების (ხელსაყრელ ან არახელსაყრელ) გავლენას, რაც გაანგარიშებით პირდაპირი გზით გათვალისწინებული არ არის: გარემოს (ტემპერატურა, ტენიანობა, აგრესიულობა); დატვირთვისა და სხვადასხვა ზემოქმედების ხანგრძლივობასა და განმეორებადობას; საანგარიშო სქემებისა და წინაპირობების მიახლოებითობას (განსხვავება სინამდვილისაგან); ძალური ფაქტორებისა და დეფორმაციების განაწილებას;

მუშაობის პირობების კოეფიციენტები დადგენილია ნაგებობათა ექსპლუატაციის პირობების ანალიზისა და დატვირთვის ქვეშ მასალების, შეერთების, ელემენტებისა და კონსტრუქციების ნამდვილი ქცევის მიხედვით. იგი შეიძლება იყოს ერთზე მეტიც და ნაკლებიც, აღინიშნება: ბეტონისათვის γ_{bi}, არმატურისათვის—γ_{si}.

საანგარიშო წინაღობები მცირდება (ან დიდდება) მასალებისათვის დადგენილი მუშაობის პირობების კოეფიციენტებზე გადამრავლების გზით.

ბეტონისა და არმატურის მუშაობის პირობების კოეფიციენტები მოცემულია დაპროექტების ნორმების ცხრილებში: 15, 16, 17—γ_{bi}; და 24, 25, 26, 27—γ_{si} (და X, XV დანართებში).

საანგარიშო წინაღობათა ცხრილები შედგენილია მუშაობის პირობების ზოგიერთი კოეფიციენტის გათვალისწინებით.

ბეტონის საანგარიშო R_b და R_{bt} წინაღობები ბეტონის სახეობისა და კლასების შესაბამისად მოცემულია СНиП 2.03.01—84-ის მე-13, 14 ცხრილში პირველი ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშებისათვის; ბეტონის $R_{b,ser}$ და $R_{bt,ser}$ წინაღობები მეორე ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშებისათვის—იმავე ნორმების მე—11 ცხრილში (და შესაბამისად VIII, VII დანართებში).

არმატურის საანგარიშო R_s, R_{sc}, R_{sw} წინაღობები არმატურის კლასების შესაბამისად მოცემულია СНиП 2.03.01—84-ის 22-ე ცხრილში, ღეროვანი არმატურისათვის და 23-ე ცხრილში, მავთულოვანი არმატურისთვის პირველი ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშებისათვის. მეორე ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშებისათვის არმატურის საანგარიშო წინაღობა (აღინიშნება $R_{s,ser}$) კლასისა და სახეობის მიხედვით მოცემულია ნორმების მე-19 და მე-20 ცხრილში (დანართები XII; XIII; XIV; XV).

ნაგებობებზე კაპიტალურობისა და პასუხისმგებლობის ხარისხი, აგრეთვე ამა თუ იმ ზღვრული მდგომარეობის დადგომის შედეგების სიმძიმე, აუცილებელ შემთხვევებში უნდა იქნეს გათვალისწინებული γ_n საიმედოობის კოეფიციენტის საშუალებით. ეს კოეფიციენტი შეჰყავთ გაანგარიშებაში აგრეთვე მაშინ, როდესაც განსახილველი კონსტრუქციის ნამდვილი მუშაობა და ზღვრული მდგომარეობები საკმაოდ შესწავლილი არ არის (იხ. დანართი XXXVI).

პირველი ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშებისას მასალების სიმტკიცის თვისებების ყველაზე სრულად გამოყენება შესაძლო ხდება, როდესაც როგორც გარე დატვირთვებით გამოწვეული ძალები, აგრეთვე კვეთის ზიდვის უნარი განსაზღვრულია მასალების არადრეკადი თვისებების გათვალისწინებით. რადგან პლასტიკური დეფორმაციების გათვალისწინებით ძალების განსაზღვრის მეთოდები საყოველთაოდ დამუშავებული არ არის, ზოგ შემთხვევაში სტატიკურად ურკვევი სისტემის ძალების განსაზღვრა ხდება კონსტრუქციის დრეკადი მუშაობის პირობით.

რკინაბეტონისა და ქვის კონსტრუქციების დაპროექტების ნორმებში პლასტიკური დეფორმაციების გათვალისწინების საკითხი კვეთების ზიდვის უნარის განსაზღვრაში ყველაზე უკეთაა გადაწყვეტილი.

§ 4. საანგარიშო პირობები ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით

ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშება კონსტრუქციებისათვის საერთოდ და მისი ცალკეული ელემენტებისთვისაც, როგორც წესი, უნდა ჩატარდეს ყველა ეტაპზე — დამზადების, ტრანსპორტირების, აგებისა და ექსპლუატაციის.

რკინაბეტონის კონსტრუქციები იანგარიშება როგორც ექსპლუატაციის შესაძლებლობის მიხედვით — პირველი ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით, ასევე ნორმალური ექსპლუატაციისათვის ვარგისიანობის მიხედვით — მეორე ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით.

პირველი ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშებებში — ზიდვის უნარის მიხედვით გაანგარიშებაში — შედის:

1. სიმტკიცეზე გაანგარიშება (აუცილებელ შემთხვევაში ჩაღუნვის გათვალისწინებით რღვევის წინ);

2. მდგრადობაზე (ფორმის, მდებარეობის) გაანგარიშება;

3. გამძლეობაზე გაანგარიშება მრავალჯერ განმეორებადი, მოძრავი ან პულსაციური დატვირთვების მოქმედებისას.

მეორე ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშებებში — ნორმალური ექსპლუატაციისათვის ვარგისიანობის მიხედვით გაანგარიშებებში შედის:

1. ბზარმედეგობაზე გაანგარიშება (ბზარების წარმოქმნის, დახურვის ან გახსნის მიხედვით);

2. დეფორმაციების (ჩაღუნვები, მობრუნების კუთხეები, გადახრის კუთხეები და რხევები) მიხედვით გაანგარიშებები.

ზიდვის უნარის მიხედვით გაანგარიშება მთავარია და სავალდებულოა ყოველგვარი მზიდი ელემენტისათვის.

ბზარების გახსნისა და დეფორმაციების მიხედვით გაანგარიშებები შეიძლება არ ჩატარდეს, თუ პრაქტიკით ან საცდელი შემოწმებით დადგენილია, რომ ბზარების გახსნის სიგანე ნაკლებია ზღვრულზე და კონსტრუქციის სიხისტე აკმაყოფილებს ნორმალური ექსპლუატაციის მოთხოვნებს.

კონსტრუქციების ბზარმედეგობას წაეყენება გარკვეული კატეგორიის მოთხოვნები მათი მუშაობის პირობებისა და გამოყენებული არმატურის სახეობის მიხედვით:

პირველი კატეგორიის მოთხოვნა — ბზარების გაჩენა დაუშვებელია;

მეორე კატეგორიის მოთხოვნა — დასაშვებია ხანმოკლე, შეზღუდული სიგანის ბზარების გახსნა, თუ დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედებისას ისინი საიმედოდ დაიხურებიან;

მესამე კატეგორიის მოთხოვნა — შეზღუდული სიგანის ბზარების გახსნა დასაშვებია როგორც ხანმოკლე, ასევე ხანგრძლივი დატვირთვების მოქმედებისას.

ბზარმედეგობის მოთხოვნებს უნდა აკმაყოფილებდეს რკინაბეტონის ელემენტების როგორც ნორმალური, ასევე დახრილი კვეთები.

რკინაბეტონის ელემენტების ბზარმედეგობის მოთხოვნათა დაყოფა კატეგორიებად მუშაობის პირობებისა და გამოყენებული არმატურის სახეობის შესაბამისად, აგრეთვე ბზარის გახსნის ზღვრული მნიშვნელობები ისეთი ელე-

მენტებისათვის, რომელთაც მუშაობა უხდებათ არააგრესიულ გარემოში, მოცემულია მე-2 ცხრილში СНиП 2.03.01—84.

რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშება წარმოგვიდგება როგორც გარკვეული საანგარიშო პირობების შესრულება.

ძირითადი მოთხოვნა მდგომარეობს იმაში, რომ ძალვების, ძაბვების, დეფორმაციების, ბზარების გახსნისა და სხვა საანგარიშო სიდიდე გამოწვეული დატვირთვებისა და ზემოქმედებებისაგან არ აღემატებოდეს ზღვრულ მნიშვნელობას, დადგენილს სხვადასხვას დანიშნულების ელემენტებისათვის დაპროექტების ნორმებით, ზღვრულ მდგომარეობათა შესაბამისად.

საანგარიშო პირობები ჩაიწერება შემდეგი სახით:

სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას:

$$N \leqslant \Phi; \tag{V.11}$$

ბზარების წარმოქმნის მიხედვით გაანგარიშებისას

$$N \leqslant N_{crc}; \tag{V.12}$$

ბზარების გახსნის მიხედვით გაანგარიშებისას

$$a_{crc} \leqslant [a_{crc}]_{lim}; \tag{V.13}$$

დეფორმაციათა (ჩაღუნვების) მიხედვით გაანგარიშებისას

$$f \leqslant f_{lim}, \tag{V.14}$$

სადაც N არის საანგარიშო ძალვა, ე. ი. ძალვა აღძრული საანგარიშო დატვირთვების მოქმედებით; Φ—მრღვევი დატვირთვების მოქმედებით აღძრული ზღვრული ძალვა; N_{crc}—ძალვა ბზარების წარმოქმნის დროს (როდესაც გაჭიმული ზონის ბეტონში ძაბვები აღწევენ სიმტკიცის ზღვარს გაჭიმვაზე); a_{crc}—ბზარის გახსნის სიდიდე ელემენტის მუშაობის გარკვეულ ეტაპზე; f—დეფორმაციის (ჩაღუნვის) სიდიდე, გამოწვეული გარე დატვირთვების მოქმედებით: $[a_{crc}]_{lim}$, f_{lim}—საანგარიშო ელემენტის დანიშნულების მიხედვით დაპროექტების ნორმებით დადგენილი ზღვრული ბზარის გახსნის სიგანე და ზღვრული დეფორმაციის სიდიდე შესაბამისად.

მოთხოვნები, რომლებიც წაეყენებათ რკინაბეტონის კონსტრუქციებს ხიდვის უნარისა და ნორმალური ექსპლუატაციისათვის ვარგისიანობის მიხედვით, უნდა იქნეს დაკმაყოფილებული. მაშინ შესაბამისად უზრუნველყოფილი იქნება კონსტრუქციის სიმტკიცე, მდგრადობა, გამძლეობა, ბზარმედეგობა და სიხისტე.

VI თავი

რკინაბეტონის ელემენტების გაანგარიშება პირველი ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით—გაანგარიშება ხიდვის უნარის მიხედვით

§ 1. ხიდვის უნარის მიხედვით გაანგარიშების არსი

რკინაბეტონის ელემენტების გაანგარიშება ხიდვის უნარის მიხედვით მოიცავს გაანგარიშებებს სიმტკიცეზე, მდგრადობასა და გამძლეობაზე.

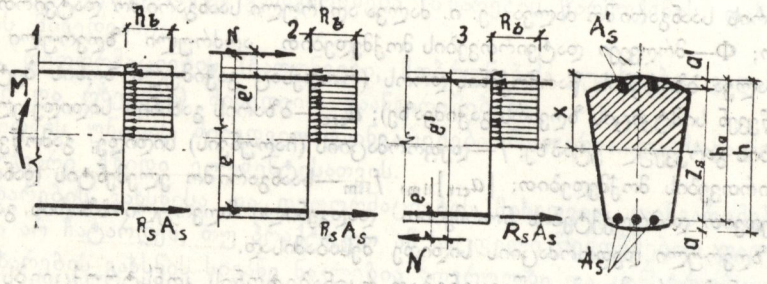
სიმტკიცეზე გაანგარიშება წარმოებს ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური და დახრილი კვეთებისა. მგრეხი მომენტის მოქმედებისას სიმტ-

კიცეზე გაანგარიშება ხდება სივრცითი კვეთისათვის, რომელიც გაჭიმულ ზონაში შემოფარგლულია ყველაზე საშიში მიმართულების სპირალური ზედაპირით.

სიმტკიცეზე გაანგარიშება, გარდა ამისა, საჭიროა ადგილობრივი დატვირთვისას (თელვა, ჩატეხვა, გაწყვეტა).

რკინაბეტონის ელემენტის გაანგარიშება სიმტკიცეზე წინაღობის ყოველი სახეობისათვის (კუმშვა, გაჭიმვა, ღუნვა თუ სხვ.) ხდება საერთო მეთოდით, შემდეგი წინაპირობების საფუძველზე: კვეთის დაძაბული მდგომარეობა შეესაბამება რღვევის სტადიას; დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა მიიღება გამარტივებულად — შეკუმშული ზონის ბეტონის მკუმშავი ნორმალური ძაბვების ეპიურა არის მართკუთხა, ხოლო თვით ძაბვების სიდიდე ტოლია R_b საანგარიშო წინაღობისა ღერძული კუმშვის დროს; რღვევის სტადიის შესაბამისად, გაჭიმული ზონის ბეტონი ბზარიან კვეთში მუშაობიდან გამორთულია და გაანგარიშებისას მისი მონაწილეობა მხედველობაში არ მიიღება; გაჭიმული და შეკუმშული ზონის S და S' გრძივი მუშა არმატურის ძაბვების სიდიდე ტოლია შესაბამისი R_s და R_{sc} საანგარიშო წინაღობისა.

რკინაბეტონის ელემენტების გრძივი ღერძისადმი ნორმალური კვეთების ძალვების სქემები და ძაბვების ეპიურები სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას გამოსახულია VI.1. ნახაზზე.



ნახ. VI.1. რკინაბეტონის ელემენტების გრძივი ღერძისადმი ნორმალური კვეთების ძალვების სქემები და ძაბვების ეპიურები სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას: 1—ღუნვადი, 2—არაცენტრალურად შეკუმშული, 3—არაცენტრალურად გაჭიმული ელემენტები.

სიმტკიცეზე გაანგარიშებას საფუძვლად უდევს პირობა, რომ რღვევის სტადიაზე კვეთი წონასწორობაშია და, მაშასადამე, მართებულია წონასწორობის პირობები ბრტყელი სისტემებისათვის $\sum X=0$, $\sum Y=0$, $\sum M=0$.

წონასწორობის პირობების მიხედვით დადგინდება ზღვრული ძალვა, მაშინ სიმტკიცის პირობა რკინაბეტონის ნებისმიერი ელემენტისათვის წარმოგვიდგება შემდეგი სახით:

$$\sum N_n \gamma_f \gamma_n C \leqslant f(R_b \gamma_{bi};\ R_s \gamma_{si};\ S). \qquad \text{(VI.1)}$$

ფორმულის მარცხენა მხარე წარმოადგენს საანგარიშო ძალვას, ხოლო მარჯვენა, ზღვრული ძალვის სიდიდეა.

N_n—არის ნორმატიული დატვირთვებით გამოწვეული ძალვის სიდიდე;

γ_f—საიმედოობის კოეფიციენტი დატვირთვის მიხედვით;

C—დატვირთვათა შეხამების, დატვირთვის დინამიკურობის და სხვა ფაქტორების გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი;

R_b—ბეტონის საანგარიშო წინაღობა, $R_b = \frac{R_{bn}}{\gamma_b}$;

R_s—არმატურის საანგარიშო წინაღობა, $R_s = \frac{R_{sn}}{\gamma_s}$,

S—განივკვეთის ზომების გამომხატველი სიდიდე (ფართობი, წინაღობის მომენტი ან სხვ.);

γ_n—საიმედოობის კოეფიციენტი კონსტრუქციის (შენობის) დანიშნულების მიხედვით;

γ_{bi}, γ_{si}—მუშაობის პირობების კოეფიციენტები ბეტონის და არმატურისათვის შესაბამისად, რომელზეც გადამრავლების გზით ვითვალისწინებთ გარკვეულ პირობებში საანგარიშო წინაღობების შემცირებას (ზოგჯერ გადიდებასაც).

სიმტკიცეზე გაანგარიშების არსი მდგომარეობს პირობის შესრულებაში, რომ დატვირთვების ყველაზე არახელსაყრელი შეხამების დროს საანგარიშო ძალვის უდიდესი მნიშვნელობა უნდა იყოს ნაკლები ან ტოლი ზღვრული ძალვისა, რომელიც დადგინდება მასალის უდაბლესი მექანიკური მახასიათებლების არსებობის შემთხვევაში (ე. ი. მინიმალური ზღვრული ძალვისა).

განვიხილოთ რკინაბეტონის კონსტრუქციების ღუნვადი, კუმშვადი და გაჭიმვაზე მომუშავე ელემენტები, გავეცნოთ ამ ელემენტების კონსტრუირებისა და სიმტკიცეზე გაანგარიშების საფუძვლებს.

§ 2. ღუნვადი ელემენტები

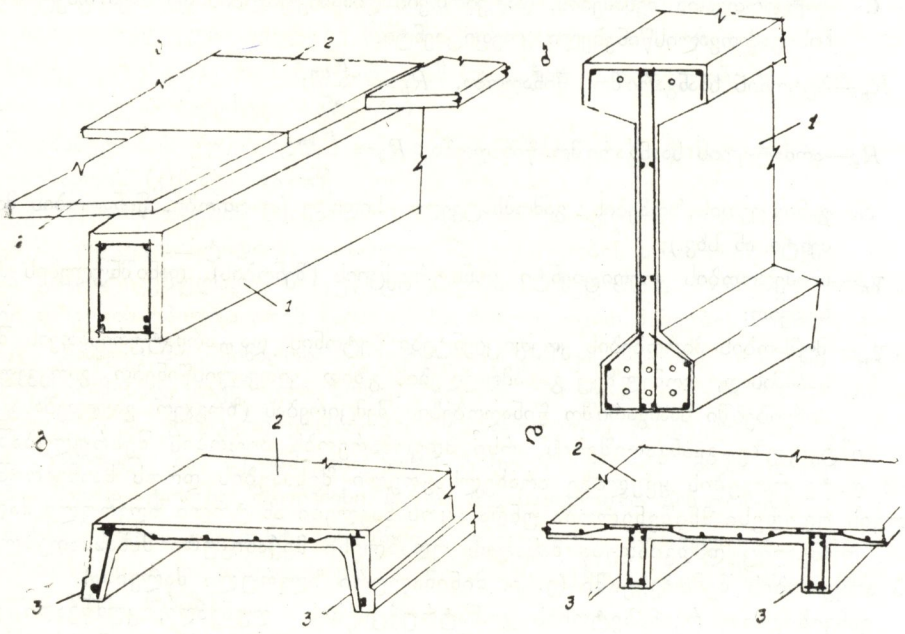
1. საერთო ცნობები კონსტრუქციებზე

რკინაბეტონის კონსტრუქციებში ღუნვადი ელემენტების ფართოდ გავრცელებული სახეობებია კოჭები და ფილები. კოჭები ღეროვანი ელემენტებია, რომელთა სიგრძე განივკვეთის ზომებთან შედარებით მნიშვნელოვანია; ფილები ბრტყელი ელემენტებია, რომელთა სისქეც სიგრძესა და სიგანესთან შედარებით უმნიშვნელოა. როგორც კოჭები, ასევე ფილები გვხვდება ცალკეული (დამოუკიდებელი) ელემენტების ან რთული კონსტრუქციების შემადგენელი ნაწილების სახით (ნახ.VI.2).

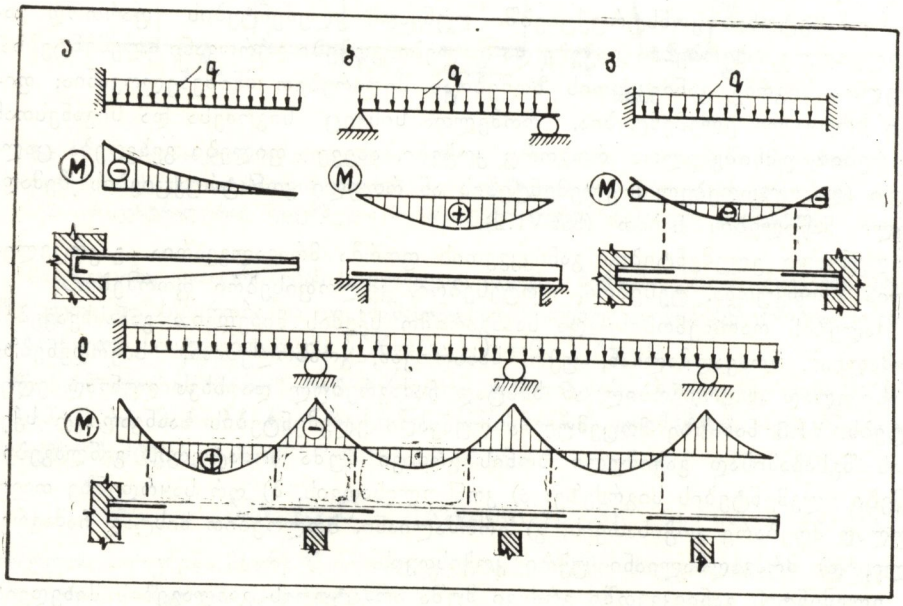
ღუნვადი ელემენტების განივკვეთის ფორმა მრავალგვარია. გავრცელებულია მართკუთხა, ტესებრი, ორტესებრი, კოლოფისებრი ფორმები.

მალების რაოდენობისა და საანგარიშო სქემის მიხედვით განასხვავებენ ერთმალიან, მრავალმალიან, უჭრ, საბსროვან, კონსოლებიან, საყრდენებზე თავისუფლად დაყრდნობილ ან ხისტად ჩამაგრებულ და სხვა ღუნვად ელემენტებს. VI.3 ნახაზზე მოცემულია ღუნვადი ელემენტების საანგარიშო სქემების შესაბამისად გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა არმატურის განლაგების სქემები ელემენტების სიგრძეზე: ა) კონსოლისათვის, ბ) ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე კოჭისათვის, გ) ერთმალიანი, ბოლოებით ხისტად ჩამაგრებული, დ) მრავალმალიანი უჭრი კოჭისთვის.

ელემენტის განივკვეთში გრძივი მუშა არმატურის განლაგების მიხედვით განასხვავებენ ცალფა და ორფაარმატურიან კვეთებს (ნახ.VI.4). კვეთს ეწოდება ცალფაარმატურიანი, როდესაც გრძივი მუშა არმატურა მდებარეობს



ნახ. VI.2. რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტების სახეობები: ა—ასაწყობი გადახურვის ელემენტები; ბ—ცალკეული კოჭი; გ—წიბოვანი პანელი; დ—მონოლითური წიბოვანი გადახურვა.



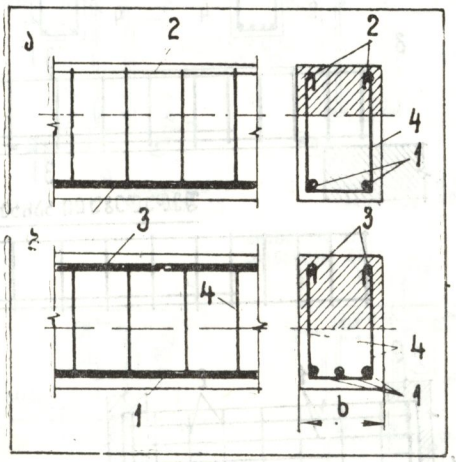
ნახ. VI.3. გრძივი მუშა არმატურის განლაგების სქემები ღუნვადი ელემენტების გაჭიმულ ზონაში.

დატვირთვების მოქმედების სიბრტყის მართობულ ერთ-ერთ წახნაგთან (მხოლოდ გაჭიმულ ზონაში) და ორფაარმატურიანი, როდესაც გრძივი მუშა არმატურა განლაგებულია დატვირთვების მოქმედების სიბრტყის მართობულ ორივე წახნაგთან.

გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა არმატურა აღინიშნება S-ით, ხოლო შეკუმშული ზონის გრძივი მუშა არმატურა S'-ით.

კოჭების განივკვეთის ზომები სიმტკიცისა და სიხისტის მოთხოვნებისა და კონსტრუქციული მოსაზრებების გათვალისწინებით მიიღება: სიმაღლე 5 სმ-ის ჯერადი, ელემენტებისათვის კი, რომელთა სიმაღლე $h \geqslant 60$ სმ-ის — 10 სმ-ის ჯერადი; სიგანე $b = 10, 12, 15, 18, 20, 22, 25$ სმ და შემდეგ 5 სმ-ის **ჯერადი.**

ღუნვადი ელემენტების დაარმატურება წარმოებს დანიშნულების მიხედვით საჭირო შემდეგი სახეობების არმატურით: გრძივი მუშა არმატურით, განივი, სამონტაჟო, აღუნული და მანაწილებელი. ამ უკანასკნელს იყენებენ ფილებში. სხვადასხვა დანიშნულების არმატურის ღეროები ერთმანეთს უკავშირდება გადაკვეთის ადგილას. დაკავშირება ხდება შემკრავი მავთულებით — იქმნება შეკრული კარკასები და ბადეები, დაარმატურების ამ ხერხს ეწოდება

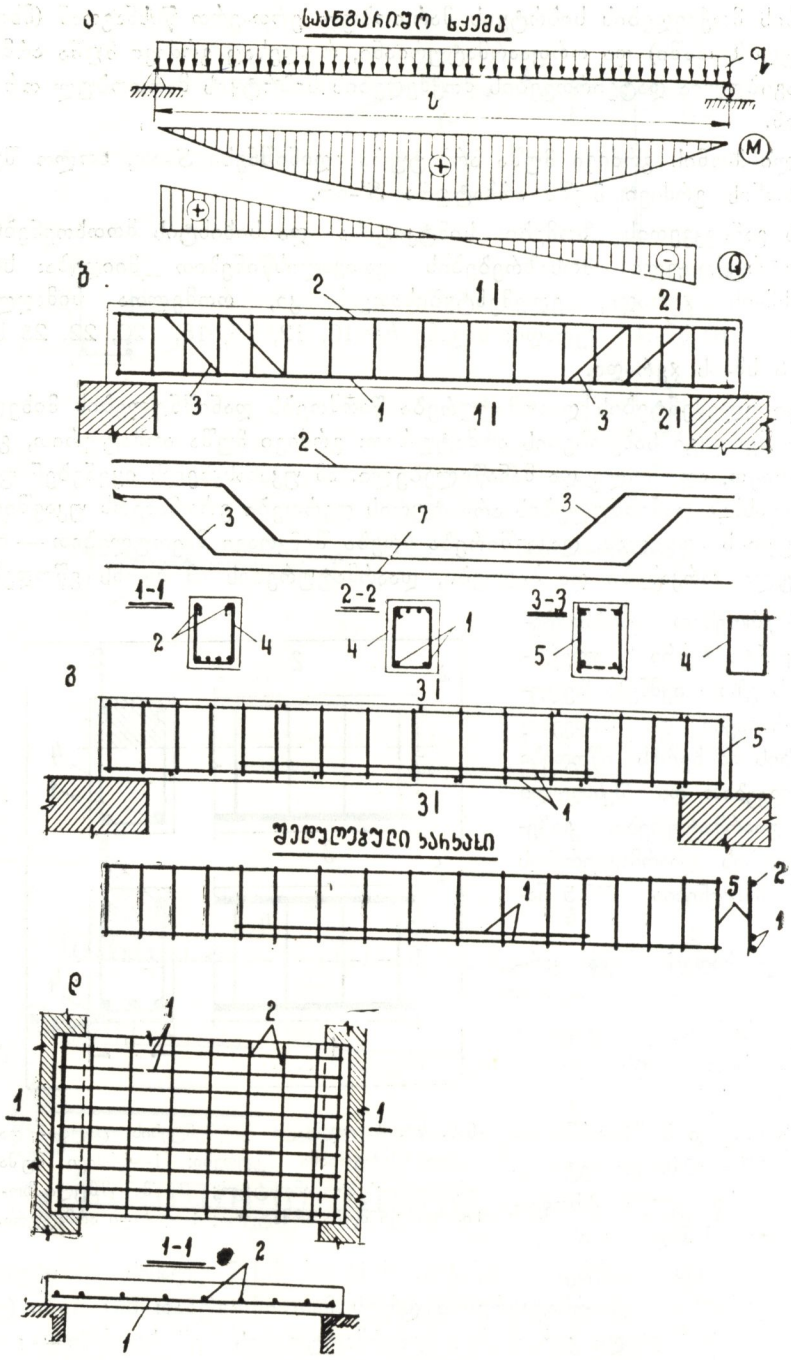


ნახ. VI. 4. ღუნვადი ელემენტების ცალფა- და ორფაარმატურიანი კვეთები: 1—გრძივი მუშა არმატურა; 2—სამონტაჟო; 3—შეკუმშული ზონის გრძივი მუშა არმატურა; 4—განივი არმატურა.

ცალკეული ღეროებით დაარმატურება, ან კონტაქტური ელექტროშედუღების გზით იქმნება შედუღებული კარკასები და ბადეები; დაარმატურების ამ ხერხს ეწოდება შენადუღი ბადეებით და შენადუღი კარკასებით დაარმატურება. კოჭებისა და ფილების დაარმატურების შემთხვევები ნაჩვენებია VI.5 ნახაზზე.

შენადუღი ბადეებით და კარკასებით დაარმატურება უფრო პროგრესული ხერხია, ვიდრე ცალკეული ღეროებით (შეკრული ბადეებით და კარკასებით).

კოჭების გრძივი მუშა არმატურა მიიღება 12—32 მმ დიამეტრის, უპირატესად პერიოდული პროფილისა A-II და A-III კლასის. განივი არმატურისათვის იყენებენ A-I, B-I, A-II და A-III კლასის არმატურას; ცალკეული ღეროებით დაარმატურების დროს მათ ეწოდებათ საკიდები (ღია ან დახურული), შენადუღი კარკასებით დაარმატურების შემთხვევაში — განივი ღეროები. განივი არმატურის დიამეტრი მიიღება 3—16 მმ. გრძივი მუშა არმატურა კვეთში უნდა განლაგდეს ისე, რომ მისი საერთო სიმძიმის ცენტრი გარკვეულ ზონაში რაც შეიძლება ახლო იყოს ელემენტის კიდესთან, ამასთანავე დამცველი ბეტონის შრის სისქე და ღეროებს შორის მანძილი არ უნდა იყოს ნაკლები გრძივი მუშა არმატურის დიამეტრზე და 25—30მმ; განი-

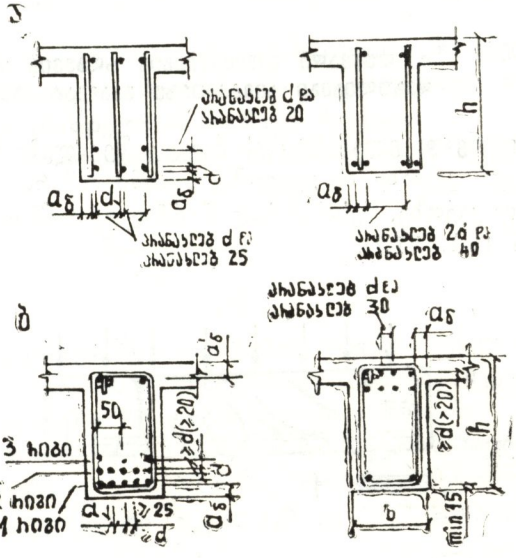


ნახ. VI.5. ღუნვადი ელემენტის დაარმატურების სქემები: ა—ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე კოჭის საანგარიშო სქემა; ბ—კოჭის დაარმატურება ცალკეული ღეროებით; გ—კოჭის დაარმატურება შეღუნებული კარკასებით; 1—გრძივი მუშა არმატურა; 2—სამონტაჟო არმატურა; 3—აღუნული არმატურა; 4—საკიდი; 5—განივი ღეროები; დ—ფილის დაარმატურება: 1—გრძივი მუშა არმატურა; 2—მანაწილებელი არმატურა.

ვი არმატურის დამცველი შრის სისქე მიიღება 15 მმ და მეტი. ბრტყელი კარკასების უმცირესი რაოდენობა კვეთში მიიღება: ერთი ცალი, როდესაც $b \leqslant$ 15 სმ; არანაკლები ორი ცალისა, როდესაც $b > 15$ სმ; არანაკლები 3 ცალისა, როდესაც $b > 30$ სმ. ბრტყელ კარკასებს ერთმანეთთან აკავშირებენ შემაერთებელი ღეროებით, რომლებიც კოჭის გასწვრივ ეწყობა არაუმორეს 1—1,5 მ-ისა. VI.6 ნახაზზე ნაჩვენებია კვეთში არმატურის განლაგების მაგალითები.

გრძივი მუშა არმატურის განლაგება ელემენტის სიგრძეზე და კვეთში, აგრეთვე მისი რაოდენობა კვეთში, დამოკიდებულია მღუნავი მომენტების განვითარების კანონზე ელემენტის გასწვრივ, მღუნავი მომენტების ნიშანზე; ეპიურის ყოველ ერთნიშნა უბანზე გრძივი მუშა არმატურა შეირჩევა ნორმალური კვეთების სიმტკიცის პირობით, შესაბამისი უბნის უდიდესი მღუნავი მომენტის მიხედვით.

განივი და დახრილი არმატურის განლაგება ელემენტის გასწვრივ, მათი რაოდენობა და კვეთი დამოკიდებულია ძირითადად განივ ძალებზე; განივი არმატურის დიამეტრი, ბიჯი და ტოტების რაოდენობა კოჭის კვეთში შეირჩევა დახრილი კვეთების გაანგარიშებით სიმტკიცეზე და კონსტრუქციული მოსაზრებების გათვალისწინებით. შენადუღი კარკასებით დაარმატურების დროს კარკასების შემადგენლობაში ერთიანდება გრძივი მუშა, სამონტაჟო და განივი არმატურა, ხოლო დახრილ არმატურას ჩვეულებრივ არ იყენებენ კონსტრუქციული გართულებების თავიდან ასაცილებლად. ცალკეული ღეროებით დაარმატურების შემთხვევაში დახრილი არმატურა ჩვეულებრივ ეწყობა გრძივი არმატურის აღუნვის გზით. სამშენებლო კონსტრუქციებში იშვიათად იყენებენ სპეციალურ დახრილ არმატურას. კოჭების გრძივი ღერძის მიმართ არმატურის დახრა ეწყობა ჩვეულებრივ 45°-ით; მაღალ კოჭებში ($h > 80$ სმ) დახრის კუთხე შეიძლება გადიდდეს 60°-მდე, დაბალ კოჭებში შეიძლება შემცირდეს, მაგრამ მიიღება არანაკლები 30°-ისა. დახრილი არმატურა ბოლოვდება ელემენტის ღერძის გასწვრივი სწორი მონაკვეთით, რომლის სიგრძე მიიღება არანაკლები 10 d შეკუმშულ ზონაში დაბოლოებისას ან 20 d — გაჭიმულ ზონაში (d ღეროს დიამეტრია). განივი არმატურის განლაგება კოჭის გასწვრივ



ნახ. VI. 6. არმატურის განლაგება ღუნვადი ელემენტების განივკვეთში: ა—ცალკეული ღეროებით დაარმატურება; ბ—შედუღებული კარკასებით დაარმატურება.

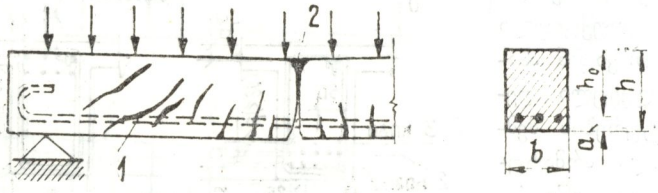
ხდება ბიჯით $s \leqslant \frac{3}{4}h$ და არაუმეტეს 50 სმ. სამონტაჟო არმატურისათვის იყენებენ, როგორც წესი, A—I კლასის 10—18 მმ დიამეტრის ღეროებს. როდესაც $h \geqslant 70$ სმ კვეთში, გვერდით ზედაპირებზე თავსდება დამატებითი გრძივი ღეროები — სამონტაჟო არმატურა — (რომელთა შორის მანძილი კვეთის სიმაღლეზე არ უნდა აღემატებოდეს 40 სმ) შეკლების ბზარების განვითარების საწინააღმდეგოდ.

ფილების სისქე მონოლითურ კონსტრუქციებში მიიღება 50—100 მმ, ასაწყობ კონსტრუქციებში — ნაკლები. ფილების დაარმატურება ხდება ბადეებით — შეკრული ან შენადუღი; ფილაში გრძივი მუშა არმატურა იდება საანგარიშო მალის გასწვრივ; ბადეში გრძივი მუშა არმატურის მდებარეობის მიხედვით იყენებენ შენადუღ ბადეებს გრძივი მუშა არმატურით, განივი მუშა არმატურით ან ჯვარედინი მუშა არმატურით.

მუშა არმატურისათვის ფილებში იყენებენ 3—10 მმ ღეროებს, რომელთა შორის მანძილი მიიღება 70—200 მმ. დამცველი ბეტონის შრის სისქე ფილისათვის მიიღება არანაკლები 10 მმ, სქელი ფილებისათვის ($h > 100$ მმ) — არანაკლები 15 მმ-ისა.

2. ღუნვადი ელემენტების რღვევის შემთხვევები; ძირითადი დებულებები სიმტკიცეზე გაანგარიშებებისათვის

ღუნვადი ელემენტების რღვევა შეიძლება მოხდეს ყველაზე დაძაბულ ნორმალურ კვეთზე ან ყველაზე საშიში მიმართულების გრძივი ღერძისადმი დახრილ კვეთზე, შესაბამისად ნორმალური ან დახრილი ბზარების გახსნის ადგილას (ნახ. VI.7).



ნახ. VI. 7. რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტების გრძივი ღერძისადმი ნორმალურ კვეთზე რღვევის შემთხვევის განსაზღვრისათვის: 1—გრძივი მუშა არმატურა; 2—დარღვეული კვეთი.

სიმტკიცის პირობით გაანგარიშება საჭიროა როგორც ნორმალური, ასევე დახრილი კვეთებისა. ნორმალური კვეთების სიმტკიცისათვის იყენებენ გრძივ მუშა არმატურას, დახრილი კვეთებისათვის — განივ და დახრილ არმატურას.

ნორმალურ კვეთზე რღვევის ხასიათი დამოკიდებულია გრძივი მუშა არმატურის რაოდენობაზე, არმატურის მექანიკურ თვისებებზე და გაჭიმული და შეკუმშული ზონების დაძაბვის ხარისხზე.

ღუნვადი ელემენტის რღვევა ნორმალურ კვეთზე შესაძლოა მოხდეს ორგვარად:

I. ნორმალურად დაარმატურებულ კვეთებში რღვევა იწყება გაჭიმული არმატურიდან — ჯერ გაჭიმულ არმატურაში ძაბვების მნიშვნელობა აღწევს ზღვრულ სიდიდეს, შემდეგ ხდება შეკუმშული ბეტონის რღვევა ან გაჭიმული არმატურა და შეკუმშული ბეტონი ერთდროულად ირღვევა (მაღალი სიმტკიცის არმატურის გამოყენებისას);

II. ჭარბად დაარმატურებულ კვეთებში რღვევა იწყება შეკუმშული ზონის ბეტონში; კვეთი ირღვევა ისე, რომ გაჭიმული ზონის არმატურის ძაბვები ვერ აღწევს ზღვრული წინაღობის სიდიდეს, ე. ი. არმატურის სიმტკიცე სრულად არ იქნება გამოყენებული.

რღვევის შემთხვევების შესაბამისად განასხვავებენ რკინაბეტონის ელემენტების გრძივი ღერძისადმი ნორმალური კვეთის სიმტკიცეზე გაანგარიშების ორ შემთხვევას:

I შემთხვევა ხასიათდება პირობით $\xi \leqslant \xi_R$,

II შემთხვევა— $\xi > \xi_R$;

აქ ξ არის შეკუმშული ზონის ბეტონის ფარდობითი სიმაღლე $\xi = \frac{x}{h_0}$;

ξ_R—შეკუმშული ზონის ბეტონის ფარდობითი სიმაღლის სასაზღვრო მნიშვნელობა, როდესაც ელემენტის ზღვრული მდგომარეობა დგება გაჭიმულ არმატურაში ძაბვების ზღვრული მნიშვნელობის მიღწევის შედეგად.

შეკუმშული ზონის ბეტონის ფარდობითი სიმაღლის სასაზღვრო მნიშვნელობა ξ_R გამოითვლება ფორმულით

$$\xi_R = \frac{\omega}{1 + \frac{\sigma_{sR}}{\sigma_{sc,u}} \left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)}, \qquad \text{(IV.2)}$$

სადაც σ_{sR} არის გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა არმატურის ძაბვები რღვევის სტადიაზე; დაუძაბავი რკინაბეტონის ელემენტებისათვის მიიღება $\sigma_{sR} = R_s$, აქ R_s არმატურის საანგარიშო წინაღობის სიდიდეა გაჭიმვისას;

$\sigma_{sc,u}$ —ძაბვები შეკუმშული ზონის გრძივ არმატურაში ბეტონის ზღვრული შეკუმშვის დროს. მიიღება $\sigma_{sc,u} = 500\ MPa$, როდესაც ბეტონის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი $\gamma_{b2} < 1,0$ და $\sigma_{sc,u} = 400\ MPa$, როდესაც $\gamma_{b2} \geqslant 1$;

ω წარმოადგენს ბეტონის დეფორმაციის თვისებების მახასიათებელს, დადგენილია ცდებით და გამოითვლება ემპირიული ფორმულით:

მძიმე ბეტონისათვის

$$\omega = 0,85 - 0,008\, R_b; \qquad \text{(VI.3)}$$

მსუბუქი ბეტონისათვის

$$\omega = 0,80 - 0,008\, R_b. \qquad \text{(VI.3, ა)}$$

R_b არის ბეტონის საანგარიშო წინაღობა ღერძულ კუმშვაზე, MPa.

რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტების დაარმატურება მიზანშეწონილია კვეთის მუშაობის I შემთხვევის შესაბამისად—ნორმალურად დაარმატურების პირობით, ე. ი. როდესაც $\xi \leqslant \xi_R$. ჭარბარმატურიანი კვეთი არაეკონომიურია (როდესაც $\xi > \xi_R$).

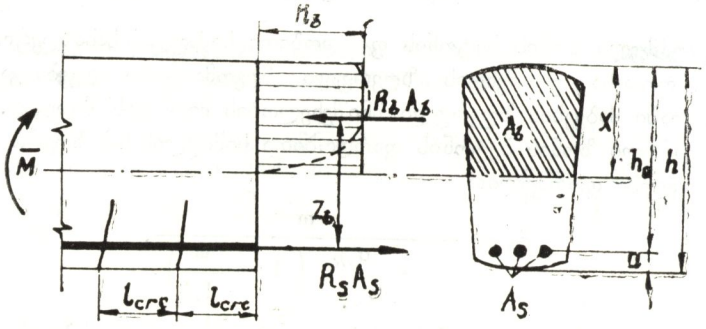
3. ღუნვადი ელემენტების ნორმალური კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცეზე

ა) ცალფაარმატურიანი კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცეზე

ხელსაყრელად დაარმატურებული კვეთების გაანგარიშებას საფუძვლად უნდა დაედოს პირობა

$$\xi \leqslant \xi_R. \tag{VI.4}$$

ნებისმიერი სიმეტრიული პროფილის ღუნვადი ელემენტების ცალფაარმატურიანი კვეთის დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა წარმოდგენილია VI.8 ნახაზზე, რომელიც შედგენილია გაანგარიშების საერთო მეთოდში მიღებული წინაპირობების შესაბამისად: ბეტონის მკუმშავი ძაბვების ეპიურა მიიღება მართკუთხა, ძაბვების სიდიდე ტოლია ბეტონის საანგარიშო R_b წინაღობისა ღერძული კუმშვის დროს; ბზარიან კვეთში გაჭიმული ბეტონი მუშაობიდან გამორთულია, გაჭიმვაზე მუშაობს მხოლოდ გრძივი მუშა არმატურა, რომელშიაც გამჭიმი ძაბვები ტოლია R_s არმატურის საანგარიშო წინაღობისა გაჭიმვაზე.



ნახ. VI. 8. ნებისმიერი სიმეტრიული პროფილის ღუნვადი ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური ცალფაარმატურიანი კვეთის ძალვების სქემა და ძაბვების ეპიურა სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას.

ღუნვადი ელემენტის ნორმალური კვეთის სიმტკიცის პირობა გამოისახება შემდეგნაირად

$$M \leqslant \overline{M}, \tag{VI.5}$$

სადაც M არის საანგარიშო დატვირთვებით გამოწვეული უდიდესი მღუნავი მომენტი განსახილველ კვეთში;

$\overline{M}$—ზღვრული მომენტი, რომელიც იწვევს რღვევის სტადიის შესაბამის დაძაბულ მდგომარეობას კვეთში.

სიმტკიცეზე გაანგარიშება წარმოგვიდგება, როგორც ზღვრული (მრღვევი) მომენტის განსაზღვრა საანგარიშო სქემის მიხედვით და შედარება საანგარიშო მღუნავ მომენტთან.

ზღვრული მომენტი იანგარიშება წონასწორობის პირობების მიხედვით.

წონასწორობის I პირობის თანახმად ($\sum x=0$), პირობით, რომ კვეთზე მოქმედი ძალების გეგმილების ჯამი ელემენტის გრძივ ღერძზე ნულის ტოლია, ვღებულობთ

$$R_bA_b—R_sA_s=0, \tag{VI.6}$$

ე. ი.

$$R_bA_b=R_sA_s,$$

სადაც A_b არის შეკუმშული ზონის ბეტონის კვეთის ფართობი;

A_s—გრძივი მუშა არმატურის განივკვეთის ფართობი;

R_b—ბეტონის საანგარიშო წინაღობა ღერძულ კუმშვაზე;

R_s—არმატურის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე.

R_bA_b არის შიგა მკუმშავი ძალა; R_sA_s—შიგა გამჭიმი ძალა. როგორც წონასწორობის პირველი პირობიდან გამოდის, შიგა ძალები ქმნიან წყვილძალას. მიღებული საანგარიშო ფორმულიდან ჩვეულებრივ განისაზღვრება შეკუმშული ზონის x სიმაღლე, როდესაც განგარიშება წარმოებს გარკვეული, კონკრეტული კვეთისათვის, რომლის შეკუმშული ბეტონის ფართობი შეიძლება გამოისახოს x-ის მეშვეობით.

წონასწორობის მეორე პირობის თანახმად ($\sum M=O$) — პირობით, რომ კვეთზე მოქმედი ძალების მომენტების ჯამი ნებისმიერ წერტილზე გამავალი ღერძის მიმართ ნულის ტოლია, მივიღებთ ზღვრული მომენტის მნიშვნელობას

$$\overline{M}=R_bA_bz_b, \tag{VI.7}$$

ან

$$\overline{M}=R_sA_sz_b, \tag{VI.8}$$

სადაც z_b არის მანძილი გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა არმატურის კვეთის სიმძიმის ცენტრიდან შეკუმშული ბეტონის კვეთის სიმძიმის ცენტრამდე (ცალფაარმატურიანი კვეთის შიგა ძალთა მხარი).

სიმტკიცის პირობა $\overline{M}$-ის მნიშვნელობის ჩასმის შემდეგ დაიწერება

$$M \leqslant R_bA_bz_b, \tag{VI.9}$$

ან

$$M \leqslant R_sA_sz_b. \tag{VI.10}$$

გრძივი მუშა არმატურის კვეთის საჭირო ფართობი შეიძლება განისაზღვროს სიმტკიცის პირობიდან (VI.10)

$$A_s=\frac{M}{R_sz_b}, \tag{VI.11}$$

ან VI.6-დან

$$A_s=A_bR_b/R_s. \tag{VI.11.ა}$$

ნებისმიერი სიმეტრიული პროფილის ღუნვადი ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური კვეთის სიმტკიცის პირობით ჩამოყალიბებული საანგარი-

შო ფორმულები მართებულია ყოველგვარი განივკვეთის ფორმის, კერძოდ, მართკუთხა კვეთის ელემენტებისათვის, რომლის დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა მოცემულია VI.9 ნახაზზე.

მართკუთხა კვეთის გეომეტრიული მახასიათებლების

$$A_b = bx \tag{VI.12}$$

და

$$z_b = h_0 - \frac{x}{2} \tag{VI.13}$$

მიხედვით წონასწორობის I პირობის თანახმად შედგენილი VI.6 ფორმულა ჩაიწერება შემდეგი სახით

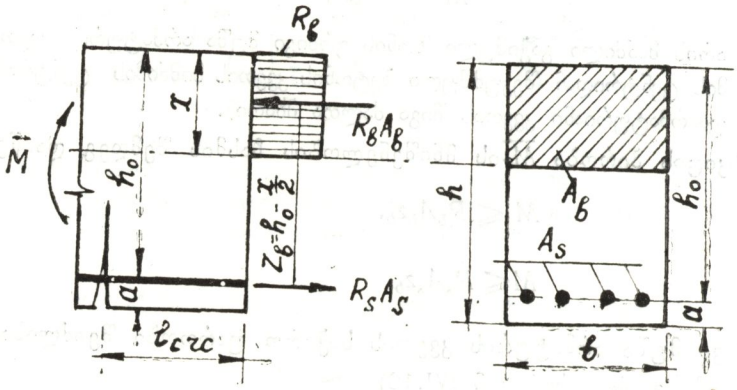
$$R_b bx = R_s A_s. \tag{VI.14}$$

აქედან განისაზღვრება შეკუმშული ზონის x სიმაღლე

$$x = \frac{R_s A_s}{R_b b}. \tag{VI.15}$$

იმავე ფორმულიდან შეიძლება გრძივი მუშა არმატურის განივკვეთის საჭირო ფართობის გამოთვლა

$$A_s = \frac{R_b}{R_s} bx. \tag{VI.16}$$



ნახ. VI. 9. ცალფაარმატურიანი მართკუთხა კვეთის ძალვების სქემა და ძაბვების ეპიურა სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას.

h_0-ით აღნიშნულია მანძილი გაჭიმული ზონის გრძივი არმატურის განივკვეთის ფართობის სიმძიმის ცენტრიდან კვეთის შეკუმშულ კიდემდე და მას მუშა (სასარგებლო) სიმაღლე ეწოდება.

თუ x-ის გამოსახულების ორივე მხარე გაიყოფა მუშა h_0 სიმაღლეზე და მათ ფარდობას აღვნიშნავთ $\xi = \frac{x}{h_0}$, მივიღებთ

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{R_s}{R_b} \frac{A_s}{bh_0}. \tag{VI.17}$$

ξ წარმოადგენს შეკუმშული ზონის ბეტონის ფარდობით სიმაღლეს. $\mu = \frac{A_s}{bh_0}$ აღნიშვნით ξ-ს გამოსახულება შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგნაირად

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \mu \frac{R_s}{R_b}. \tag{VI.18}$$

აქ

$$\mu = \frac{A_s}{bh_0}, \tag{VI.19}$$

μ არის არმატურის შემცველობა მუშა კვეთში, რომელსაც ეწოდება დაარმატურების კოეფიციენტი. იგი ნაკლებია ერთზე; არმატურის შემცველობა მუშა კვეთში შეიძლება გამოითვალოს პროცენტობით, მაშინ მას დაარმატურების პროცენტი ეწოდება და უდრის დაარმატურების კოეფიციენტის ნამრავლს 100-ზე

$$\mu\% = \frac{A_s}{bh_0} 100. \tag{VI.20}$$

VI.18 გამოსახულებიდან შეიძლება განვსაზღვროთ μ, როდესაც ცნობილია ξ

$$\mu = \xi \frac{R_b}{R_s}, \tag{VI.21}$$

და დავადგინოთ ნორმალურად დაარმატურებული ღუნვადი ელემენტების უდიდესი დაარმატურების პროცენტი პირობით $\xi = \xi_{max}$, ე. ი. $\xi = \xi_R$:

$$\mu_{max} = \xi_R \frac{R_b}{R_s} 100\%. \tag{VI.22}$$

კოჭების ხელსაყრელი დაარმატურების პროცენტი ჩვეულებრივ 1—2% შეადგენს, ფილებისათვის კი 0,3—0,6%-ს.

მართკუთხა კვეთის ელემენტის სიმტკიცის ფორმულა კვეთის $A_b = bx$ და $z_b = h_0 - \frac{x}{2}$ გეომეტრიული მახასიათებლების ჩასმის შემდეგ მიიღებს სახეს

$$M \leqslant R_b bx \left(h_0 - \frac{x}{2}\right) \tag{VI.23}$$

და

$$M \leqslant R_s A_s \left(h_0 - \frac{x}{2}\right); \tag{VI.24}$$

აქედან გრძივი მუშა არმატურის კვეთის საჭირო ფართობი

$$A_s = \frac{M}{R_s(h_0 - 0{,}5\,x)}. \qquad \text{(VI.25)}$$

ნორმალური კვეთის სიმტკიცის პირობით ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება მოიცავს სხვადასხვა სახის ამოცანას;

I. ელემენტის განივკვეთის ზომების შერჩევა, II. გრძივი მუშა არმატურის კვეთის შერჩევა, III. ნორმალური კვეთის შემოწმება სიმტკიცის პირობით.

ამოცანა I. ელემენტის განივკვეთის ზომების შერჩევისათვის მოცემული უნდა იყოს საანგარიშო ელემენტის სახეობა (კოჭი, ფილა, რა პირობებში ვიყენებთ, ასაწყობია თუ მონოლითური რკინაბეტონის, განივკვეთის საორიენტაციო ზომები), საანგარიშო მღუნავი მომენტის M სიდიდე და ბეტონისა და არმატურის კლასები, ე. ი. საანგარიშო R_b და R_s წინაღობები.

გაანგარიშება წარმოებს სიმტკიცის პირობით (VI.23), საიდანაც განისაზღვრება h_0, თუ დავუშვებთ ელემენტის b სიგანეს და დაარმატურების μ პროცენტს.

შეკუმშული ზონის ბეტონის სიმაღლე, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით $x = \frac{R_s A_s}{R_b b}$, $A_s = \mu b h_0$-ის ჩასმის შემდეგ გამოისახება

$$x = \mu h_0 \frac{R_s}{R_b}.$$

შევიტანოთ სიმტკიცის (VI—23) ფორმულაში x-ის მნიშვნელობა, უტოლობის ნაცვლად გამოვიყენოთ ტოლობის პირობა, მივიღებთ

$$M = R_b b \mu h_0 \frac{R_s}{R_b}\left(h_0 - 0{,}5\,\mu h_0 \frac{R_s}{R_b}\right) = R_s b \mu h_0^2 \left(1 - 0{,}5\,\mu \frac{R_s}{R_b}\right),$$

საიდანაც განისაზღვრება მუშა სიმაღლე

$$h_0 = \sqrt{\frac{M}{R_s b \mu \left(1 - 0{,}5\,\mu \frac{R_s}{R_b}\right)}}. \qquad \text{(VI.26)}$$

მთლიანი სიმაღლე იანგარიშება ფორმულით

$$h = h_0 + a. \qquad \text{(VI.27)}$$

გაანგარიშებით დადგენილი საჭირო ზომის და კონსტრუქციული მოსაზრებების გათვალისწინებით ინიშნება კვეთის სიმაღლე ისე, რომ დაცული იყოს ხელსაყრელი $\frac{h}{b}$ თანაფარდობა და დანიშნული სიმაღლე მკვეთრად არ განსხვავდებოდეს საორიენტაციოდ, წინასწარ დაშვებული ზომისაგან. თუ ეს პირობები დარღვეულია, გაანგარიშება შესრულდება განმეორებით უკვე შესწორებული სიდიდეების მიხედვით და ა. შ., ე. ი. განივკვეთის ზომები გა-

ნისაზღვრება თანდათანობითი მიახლოების წესით, ვიდრე წინასწარ დაშვებულ ზომებსა და სიმტკიცის პირობით ნაანგარიშევს შორის სხვაობა მინიმალური არ გახდება.

საბოლოოდ განივკვეთის ზომები შეირჩევა კონსტრუქციული მოსაზრებების გათვალისწინებით. კონსტრუქციული მოსაზრებებით ფილის სისქე მიიღება მთელი სანტიმეტრის ჯერადი (გრადაცია 1 სმ-ში), ხოლო კოჭის სიმაღლე 5 სმ ჯერადი (80 სმ-ზე მაღალი კოჭებისათვის 10 სმ-ის ჯერადი).

ამოცანა II. გრძივი მუშა არმატურის კვეთის შერჩევა, როდესაც მოცემულია: M—საანგარიშო მღუნავი მომენტი, R_b და R_s—ბეტონისა და არმატურის საანგარიშო წინაღობები (მასალების კლასების მიხედვით); b და h—ელემენტის განივკვეთის ზომები.

არმატურის საჭირო ფართობის განსაზღვრისათვის ჯერ უნდა დავადგინოთ შეკუმშული ზონის x სიმაღლე. თუ სიმტკიცის ფორმულაში გავითვალისწინებთ ტოლობის პირობას და ჩავატარებთ მარტივ ალგებრულ გარდაქმნებს, მივიღებთ

$$M = R_b b x (h_0 - 0{,}5\,x);$$

$$x^2 - 2h_0 x + \frac{2M}{R_b b} = 0;$$

აქედან

$$x = h_0 - \sqrt{h_0^2 - \frac{2M}{R_b b}}.$$

თუ $x \leqslant \xi_R h_0$, გრძივი მუშა არმატურის საჭირო ფართობი იანგარიშება ფორმულით

$$A_s = bx \frac{R_b}{R_s}, \qquad \text{(VI.28)}$$

ან

$$A_s = \frac{M}{R_s(h_0 - 0{,}5\,x)}. \qquad \text{(VI.29)}$$

საჭირო ფართობის მიხედვით დაინიშნება ღეროების რიცხვი და დიამეტრი ისე, რომ დანიშნული არმატურის ფართობი ტოლი იყოს (ან მეტი) საჭირო ფართობისა; ეკონომიკური მოსაზრებებით ხელსაყრელი არ არის, რომ განსხვავება 10%-ს ჭარბობდეს. არმატურის კვეთი შეიძლება შეირჩეს ისე, რომ დანიშნული ფართობი ნაკლები იყოს, ვიდრე საჭირო, თუ განსხვავება დანიშნული და საჭირო ფართობებისა არ აღემატება 5%-ს.

ამოცანა III. კვეთის შემოწმება სიმტკიცის პირობით, როდესაც მოცემულია: M, R_b, R_s, b, h, A_s და არმატურის განლაგება კვეთში.

მოცემული სიდიდეების მიხედვით ჯერ განისაზღვრება შეკუმშული ზონის ბეტონის სიმაღლე.

$$x = \frac{A_s}{bh_0}\frac{R_s}{R_b}, \qquad \text{აქ} \qquad h_0 = h - a.$$

თუ $x \leqslant \xi_R h_0$, მაშინ სიმტკიცე მოწმდება ფორმულით

$$M \leqslant R_b b x (h_0 - 0{,}5 x)$$

ან

$$M \leqslant R_s A_s (h_0 - 0{,}5 x).$$

როდესაც ეს პირობები დარღვეულია, კვეთი სიმტკიცის მოთხოვნებს არ აკმაყოფილებს და საჭიროა პირველ რიგში განივკვეთის ზომების გადიდება, გარდა ამისა, შეიძლება ბეტონის კლასის გაზრდაც (რაც ნაკლებეფექტურია, აგრეთვე, მოითხოვს სპეციალურ დასაბუთებას და ნებართვას).

ღუნვადი ელემენტების ნორმალური კვეთების სიმტკიცეზე გაანგარიშების გამარტივების მიზნით იყენებენ ცხრილებს, რისთვისაც ჩატარებულია საანგარიშო ფორმულების გარდაქმნები. გარდაქმნის საფუძველს წარმოადგენს შეკუმშული ზონის ფარდობითი სიმაღლის ξ სიდიდე, რომელიც გამოისახება ასე (VI.17, VI.18 ფორმულები)

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{A_s}{b h_0} \frac{R_s}{R_b} = \mu \frac{R_s}{R_b}.$$

სიმტკიცის (VI.23) ფორმულა გარდაიქმნება შემდეგნაირად

$$M \leqslant R_b b x (h_0 - 0{,}5 x) = R_b b x h_0 \left(1 - 0{,}5 \frac{x}{h_0}\right) \times \frac{h_0}{h_0} = R_b b h_0^2 \frac{x}{h_0} \left(1 - 0{,}5 \frac{x}{h_0}\right). \quad \text{(VI.30)}$$

აღვნიშნოთ

$$A_0 = \frac{x}{h_0} \left(1 - 0{,}5 \frac{x}{h_0}\right) = \xi(1 - 0{,}5\,\xi);$$

მაშინ სიმტკიცის ფორმულა მიიღებს სახეს

$$M \leqslant R_b b h_0^2 A_0. \quad \text{(VI.31)}$$

სიმტკიცის (VI.24) პირობა გარდაიქმნება შემდეგნაირად

$$M \leqslant R_s A_s (h_0 - 0{,}5 x) = R_s A_s h_0 \left(1 - 0{,}5 \frac{x}{h_0}\right); \quad \text{(VI.32)}$$

აღვნიშნოთ $\eta = 1 - 0{,}5 \frac{x}{h_0} = 1 - 0{,}5\,\xi$. მივიღებთ გარდაქმნილ სიმტკიცის ფორმულას გაჭიმული ზონის მიხედვით

$$M \leqslant R_s A_s \eta h_0. \quad \text{(VI.33)}$$

ξ-ს სხვადასხვა სიდიდის შესაბამისად (ყოველი 0,01 ცვალებადობისას) გამოთვლილია A_0 და η და შედგენილია ცხრილი (ცხრ. VI.1).

ცალფაარმატურიანი მართკუთხა კვეთის ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშების ყოველი ამოცანა შეიძლება შედარებით მარტივად გადაწყდეს ცხრილების დახმარებით, როდესაც ვიყენებთ გარდაქმნილ ფორმულებს. (VI.31)-დან განისაზღვრება მუშა სიმაღლე

$$h_0 = \sqrt{\frac{M}{R_b b A_0}}. \quad \text{(VI.34)}$$

(VI. 33)-დან გრძივი მუშა არმატურის კვეთის საჭირო ფართობი

$$A_s = \frac{M}{R_s \eta h_0}, \qquad \text{(VI.35)}$$

ან შეკუმშული ზონის ბეტონის ფარდობითი სიმაღლის მიხედვით $\xi = \frac{A_s}{bh_0} \frac{R_s}{R_b}$,

გრძივი მუშა არმატურის კვეთის საჭირო ფართობი იანგარიშება ფორმულით

$$A_s = \xi b h_0 \frac{R_b}{R_s}. \qquad \text{(VI.35,ა)}$$

ცხრილი VI.1

ცალფაარმატურიანი მართკუთხა კვეთის ღუნვადი ელემენტების სიმტკიცეზე საანგარიშო კოეფიციენტების ცხრილი

$\xi = \frac{x}{h_0}$	$\eta = \frac{z_b}{h_0} = 1 - 0{,}5\,\xi$	$A_0 = \xi(1 - 0{,}5\xi)$
0,01	0,995	0,01
0,02	0,99	0,02
0,03	0,985	0,03
0,04	0,98	0,039
0,05	0,975	0,048
0,06	0,97	0,058
0,07	0,965	0,067
0,08	0,96	0,077
0,09	0,955	0,085
0,1	0,95	0,095
0,11	0,945	0,104
0,12	0,94	0,113
0,13	0,935	0,121
0,14	0,93	0,13
0,15	0,925	0,139
0,16	0,92	0,147
0,17	0,915	0,155
0,18	0,91	0,164
0,19	0,905	0,172
0,2	0,9	0,18
0,21	0,895	0,188
0,22	0,89	0,196
0,23	0,885	0,203
0,24	0,88	0,211
0,25	0,875	0,219
0,26	0,87	0,226
0,27	0,865	0,436
0,28	0,86	0,241
0,29	0,855	0,248
0,3	0,85	0,255
0,31	0,845	0,262
0,32	0,84	0,269
0,33	0,835	0,275
0,34	0,832	0,282
0,35	0,825	0,289
0,36	0,82	0,295
0,37	0,815	0,301
0,38	0,81	0,309
0,39	0,805	0,314
0,4	0,8	0,32
0,41	0,795	0,326
0,42	0,79	0,332
0,43	0,785	0,337
0,44	0,78	0,343
0,45	0,775	0,349
0,46	0,77	0,354
0,47	0,765	0,359
0,48	0,76	0,365
0,49	0,755	0,37
0,5	0,75	0,375
0,51	0,745	0,38
0,52	0,74	0,385
0,53	0,735	0,39
0,54	0,73	0,394
0,55	0,725	0,399
0,56	0,72	0,403
0,57	0,715	0,408
0,58	0,71	0,412
0,59	0,705	0,416
0,6	0,7	0,42
0,61	0,695	0,424
0,62	0,69	0,428
0,63	0,685	0,432
0,64	0,68	0,435
0,65	0,675	0,439
0,66	0,672	0,442
0,675	0,665	0,446
0,68	0,66	0,449
0,69	0,655	0,452
0,7	0,65	0,455

ცხრილის დახმარებით ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშებები სიმტკიცის პირობით

ამოცანა I. ელემენტის განივკვეთის ზომების შერჩევა.

მოცემულია: M, R_b, R_s. I მიახლოებით დაიშვება ელემენტის b სიგანე (ტოლი საორიენტაციოდ მიღებული ზომისა) და დაარმატურების μ პროცენტი (μ-ის ნაცვლად შეიძლება დავუშვათ ξ-ს სიდიდე ან A_0). გამოითვლება

$$\xi = \mu \frac{R_s}{R_b};$$

VI.1 ცხრილიდან დავადგენთ შესაბამის A_0-ს, მაშინ მუშა სიმაღლე იანგარიშება ფორმულით

$$h_0 = \sqrt{\frac{M}{R_b b A_0}}.$$

ვპოულობთ მთლიან სიმაღლეს

$$h = h_0 + a$$

და კონსტრუქციული მოსაზრებების გათვალისწინებით ვნიშნავთ საბოლოო ზომებს.

ამოცანა II. გრძივი მუშა არმატურის კვეთის შერჩევა.

მოცემულია: M, R_b, R_s, $b \times h$.

(VI.31) ფორმულიდან იანგარიშება

$$A_0 = \frac{M}{R_b b h_0^2};$$

აქ $h_0 = h - a$, a-ს სიდიდე მიიღება კონსტრუქციული მოსაზრებებით. ცხრილიდან დავადგენთ A_0-ის შესაბამის ξ ან η-ს, და თუ $\xi \leqslant \xi_R$, განვსაზღვრავთ გრძივი მუშა არმატურის საჭირო ფართობს ფორმულით

$$A_s = \xi b h_0 \frac{R_b}{R_s}$$

ან

$$A_s = \frac{M}{R_s \eta h_0}.$$

ინიშნება ღეროების რიცხვი და დიამეტრი. დანიშნული არმატურის განივკვეთის ფართობი მიიღება ტოლი ან მეტი, ვიდრე საჭირო, გამოთვლილი სიმტკიცის პირობის მიხედვით (ეკონომიურობის გათვალისწინებით არაუმეტეს 10%-ით სხვაობით).

ამოცანა III. კვეთის შემოწმება სიმტკიცის პირობით.

მოცემულია: M, R_b, R_s, b, h, A_s.

ჯერ განისაზღვრება შეკუმშული ზონის ფარდობითი ξ სიმაღლე ან შეკუმშული ზონის x სიმაღლე

$$\xi = \frac{A_s}{b h_0} \frac{R_s}{R_b} \quad \text{ან} \quad x = \frac{A_s}{b} \frac{R_s}{R_b}, \quad \text{სადაც} \quad h_0 = h - a.$$

განისაზღვრება შეკუმშული ზონის ფარდობითი სიმაღლის სასაზღვრო ξ_R სიდიდე (VI.2) ფორმულით და მოწმდება პირობა

$$\xi \leqslant \xi_R.$$

თუ $\xi \leqslant \xi_R$, VI.1 ცხრილიდან დადგინდება ξ-ის შესაბამისი A_0 ან η და შემოწმდება კვეთის სიმტკიცე ფორმულით

$$M \leqslant R_b b h_0^2 A_0 \quad \text{ან} \quad M \leqslant R_s A_s \eta h_0,$$

უფრო მოსახერხებელია უკანასკნელით.

როდესაც გრძივი მუშა არმატურის კვეთი (შერჩეული კონსტრუქციული მოსაზრებებით ან მეორე ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით) მეტია, ვიდრე ნორმალურად დაარმატურებისათვის საჭირო, ე. ი. როდესაც $\xi > \xi_R$, სიმტკიცეზე შემოწმება უნდა ჩატარდეს ზოგადი შემთხვევისათვის დადგენილი ფორმულებით: მუხლი 3.28, СНиП 2.03.01—84. ამ დროს ძაბვები გაჭიმული ზონის გრძივ მუშა არმატურაში ნაკლებია საანგარიშო წინაღობაზე და მიიღება

$$\sigma_s = \frac{0{,}2+\xi_R}{0{,}2+\xi} R_s. \tag{VI.36}$$

როდესაც საანგარიშო ელემენტისათვის გამოყენებულია $B30$ და დაბალი კლასების ბეტონი, დასაშვებია სიმტკიცეზე შემოწმება ნორმალურად დაარმატურებული კვეთებისათვის ($\xi \leqslant \xi_R$) შედგენილი სიმტკიცის ფორმულებით, სადაც დაიშვება, რომ $\xi=\xi_R$, ე. ი. $A_0=A_R=\xi_R(1-0{,}5\,\xi_R)$. მაშინ სიმტკიცის პირობები მიიღებს სახეს

$$M \leqslant R_b b h_0^2 A_R \quad \text{და} \quad M \leqslant R_s A_s (1-0{,}5\,\xi_R)\, h_0. \tag{VI.37}$$

გაანგარიშების I შემთხვევაში, ე. ი. როდესაც ძალაშია პირობა $\xi \leqslant \xi_R$, ზღვრული მომენტის უდიდესი მნიშვნელობა შეესაბამება შეკუმშული ზონის ფარდობითი სიმაღლის მნიშვნელობას $\xi=\xi_R$ ანუ $A_0=A_R$-ს და გამოისახება ფორმულით

$$\overline{M}_{\max} = R_b b h_0^2 A_R. \tag{VI.38}$$

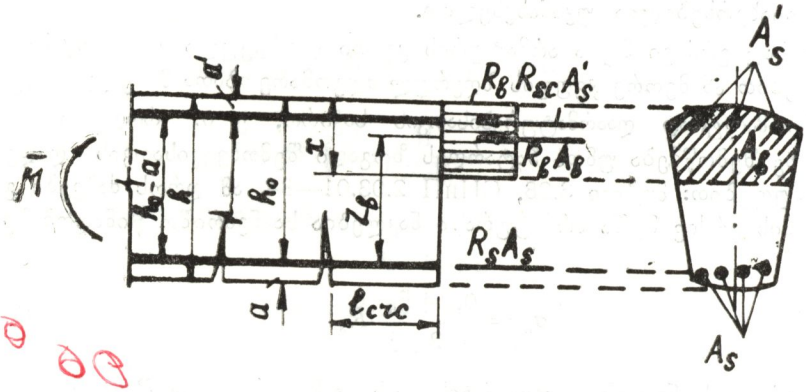
ბეტონისა და არმატურის კლასის მიხედვით შედგენილია ξ_R და A_R სიდიდეთა ცხრილი.

ბ) ორფაარმატურიანი კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცეზე

ღუნვადი ელემენტების კვეთს ეწოდება ორფაარმატურიანი, როდესაც გრძივი მუშა არმატურა განლაგებულია მღუნავი მომენტის მოქმედების სიბრტყის მართობულ ორივე წახნაგთან.

ორფა დაარმატურებას აწარმოებენ კვეთში ცვლადი ნიშნის მღუნავი მომენტების მოქმედებისას, კონსტრუქციული მოსაზრებებით ან განივკვეთის ზომების გაუდიდებლად კვეთის ზიდვის უნარის გადიდების მიზნით, როდესაც არმატურით, გარდა გაჭიმული ზონისა, ძლიერდება შეკუმშული ზონაც.

ორფაარმატურიან კვეთში, ყველა შემთხვევაში, შეკუმშული ზონის S' არმატურაში აღძრული ძაბვები უნდა აღწევდნენ საანგარიშო წინაღობის R_{sc} სიდიდეს. გაჭიმული ზონის S გრძივი მუშა არმატურის ძაბვები ტოლია საანგარიშო R_s წინაღობისა, როდესაც მართებულია პირობა $\xi \leqslant \xi_R$. ამ შემთხვევაში ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური ორფაარმატურიანი კვეთის დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა ნებისმიერი სიმეტრიული პროფილის ელემენტებისათვის ნაჩვენებია VI.10 ნახაზზე.



ნახ. VI.10. ნებისმიერი სიმეტრიული პროფილის ღუნვადი ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური ორფაარმატურიანი კვეთის ძალვების სქემა და ძაბვების ეპიურა სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას.

შეკუმშული ზონის გრძივი მუშა არმატურის განივკვეთის ფართობი აღინიშნება A'_s-ით, ხოლო მანძილი შეკუმშული და გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა არმატურის კვეთების სიმძიმის ცენტრებს შორის ტოლია $h_0 - a'$. შეკუმშული არმატურის ძაბვები მიიღება R_{sc} საანგარიშო წინაღობის ტოლი, გაჭიმული არმატურისა—R_s საანგარიშო წინაღობისა.

სიმტკიცეზე გაანგარიშებისათვის ვიყენებთ საერთო მეთოდს (VI. § 1):

წონასწორობის I პირობის მიხედვით ($\sum X = 0$) $R_s A_s - R_{sc} A'_s - R_b A_b = 0$, მივიღებთ

$$R_s A_s - R_{sc} A'_s = R_b A_b, \qquad \text{(VI.39)}$$

საიდანაც კონკრეტული პროფილის კვეთისათვის განისაზღვრება ნულოვანი ხაზის მდებარეობა — შეკუმშული ზონის ბეტონის x სიმაღლე.

წონასწორობის მეორე პირობის თანახმად — პირობით, რომ კვეთში მოქმედი ძალების მომენტების ჯამი გაჭიმული არმატურის სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ღერძის მიმართ ნულის ტოლია, მივიღებთ, რომ ზღვრული (მრღვევი) მომენტი ორი წევრის ჯამია და უდრის

$$\bar{M} = R_b A_b z_b + R_{sc} A'_s (h_0 - a'); \qquad \text{(VI.40)}$$

მაშინ სიმტკიცის პირობით $M \leqslant \bar{M}$ მივიღებთ ფორმულას

$$M \leqslant R_b A_b z_b + R_{sc} A'_s (h_0 - a'). \qquad \text{(VI.41)}$$

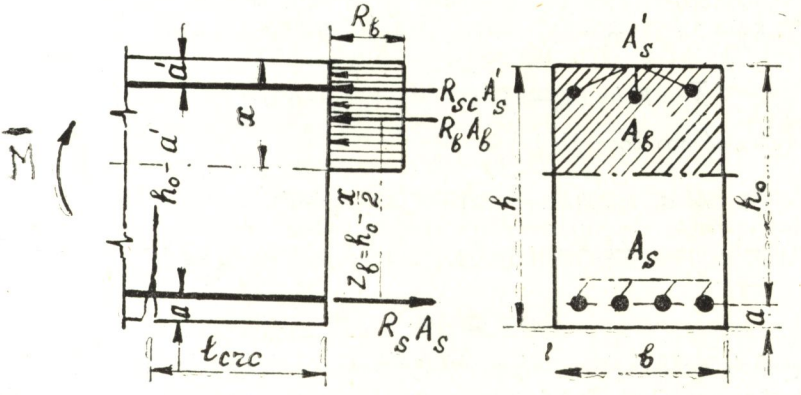
ორფაარმატურიანი კვეთის შეკუმშული ზონის არმატურის სიმტკიცის სრულად გამოყენებისათვის საჭიროა, რომ შეკუმშული ზონის სიმაღლის მინიმუმი აკმაყოფილებდეს პირობას

$$z_b \leqslant h_0 - a'. \tag{VI.42}$$

მართკუთხა ორფაარმატურიანი კვეთის გაანგარიშება სიმტკიცეზე ხდება დაძაბული მდგომარეობის VI.11 ნახაზზე მოცემული საანგარიშო სქემის შესაბამისად.

მართკუთხა კვეთის გეომეტრიული მახასიათებლების შესაბამისად—შეკუმშული ბეტონის კვეთის ფართობი $A_b = bx$ და გაჭიმული არმატურის კვეთის სიმძიმის ცენტრიდან შეკუმშული ბეტონის სიმძიმის ცენტრამდე მანძილი $z_b = h_0 - \frac{x}{2}$ — საანგარიშო ფორმულები მიიღებს სახეს

$$R_s A_s - R_{sc} A'_s = R_b b x, \tag{VI.43}$$



ნახ. VI.11. ორფაარმატურიანი მართკუთხა კვეთის დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა.

საიდანაც განისაზღვრება შეკუმშული ზონის ბეტონის x სიმაღლე

$$x = \frac{R_s A_s}{R_b b} - \frac{R_{sc} A'_s}{R_b b}, \tag{VI.44}$$

და შეკუმშული ბეტონის ფარდობითი სიმაღლე განისაზღვრება ფორმულით

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{R_s A_s}{R_b b h_0} - \frac{R_{sc} A'_s}{R_b b h_0}. \tag{VI.45}$$

აღვნიშნოთ

$$\mu = \frac{A_s}{b h_0} \tag{VI.46}$$

და

$$\mu' = \frac{A'_s}{b h_0}, \tag{VI.47}$$

მაშინ

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \mu \frac{R_s}{R_b} - \mu' \frac{R_{sc}}{R_b}. \qquad \text{(VI.48)}$$

აქ μ არის გაჭიმული ზონის S გრძივი მუშა არმატურით დაარმატურების კოეფიციენტი, ხოლო μ'—შეკუმშული ზონის S' გრძივი მუშა არმატურით დაარმატურების კოეფიციენტი.

ორფაარმატურიანი კვეთის გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა არმატურის შემცველობა უფრო მაღალია, ვიდრე ცალფაარმატურიანი კვეთისა.

როდესაც შეკუმშული და გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა არმატურის საანგარიშო წინაღობები ერთნაირია, ე. ი. $R_{sc}=R_s$, შეკუმშული ზონის ფარდობითი სიმაღლე

$$\frac{x}{h_0} = \frac{R_s}{R_b} (\mu - \mu'). \qquad \text{(VI.48,ა)}$$

წონასწორობის II პირობის თანახმად ($\sum M=0$), მრღვევი (ზღვრული) მომენტის მნიშვნელობა მართკუთხა ორფაარმატურიანი კვეთისთვის ტოლია

$$\overline{M} = R_b bx\,(h_0 - 0{,}5\,x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'), \qquad \text{(VI.49)}$$

და სიმტკიცის პირობა მიიღებს სახეს

$$M \leqslant R_b bx(h_0 - 0{,}5x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'). \qquad \text{(VI.50)}$$

მართკუთხა ორფაარმატურიანი კვეთისთვის პირობა $z_b \leqslant h_0 - a'$ ჩაიწერება როგორც

$$x \geqslant 2a'. \qquad \text{(VI.51)}$$

ცხრილების დახმარებით ორფაარმატურიანი მართკუთხა კვეთების სიმტკიცის პირობით გაანგარიშებისთვის გარდაქმნილი ფორმულები დაიწერება შემდეგი სახით:

$$R_s A_s - R_{sc} A'_s = R_b \xi b h_0, \qquad \text{(VI.52)}$$

$$M \leqslant R_b b h_0^2 A_0 + R_{sc} A'_s (h_0 - a'). \qquad \text{(VI.53)}$$

ორფაარმატურიანი კვეთების სიმტკიცის პირობით გაანგარიშების დროს გვხვდება ორი სახის ამოცანა: 1. გრძივი მუშა არმატურის კვეთის შერჩევა, II. შემოწმება სიმტკიცეზე.

გრძივი მუშა არმატურის კვეთის შერჩევა შეიძლება ჩატარდეს ორი გზით: პირველი — დაიშვება, რომ შეკუმშული ზონის სიმაღლე სასაზღვრო სიდიდის ტოლია, ე. ი. $\xi = \xi_R$ და საანგარიშო მონაცემების შესაბამისად განისაზღვრება გრძივი მუშა არმატურის საჭირო ფართობები როგორც შეკუმშულ, ისე გაჭიმულ ზონაში; მეორე გზა — შეკუმშული ზონის გრძივი არმატურის A'_s ფართობი მოცემულია (ან ვუშვებთ კონსტრუქციული მოსაზრებებით) და განისაზღვრება გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა არმატურის საჭირო ფართობი. პირველი გზით გაანგარიშებისას ფოლადის ხარჯი ნაკლებია, მაგრამ იგი ყოველთვის მართებული არ არის.

გრძივი მუშა არმატურის კვეთის შერჩევისათვის მოცემული უნდა იყოს M, R_b, R_s, R_{sc}, $b\times h$. გაანგარიშება იწყება დაშვებით, რომ $\xi=\xi_R$, ე. ი. $A_0=A_R$. მაშინ სიმტკიცის ფორმულიდან განისაზღვრება შეკუმშული ზონის გრძივი მუშა არმატურის საჭირო ფართობი

$$A'_s=\frac{M-R_b b h_0^2 A_R}{R_{sc}(h_0-a')}; \qquad \text{(VI.54)}$$

შემდეგ (VI.52) ფორმულიდან განისაზღვრება გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა არმატურის საჭირო ფართობი, რომელშიაც დაშვების თანახმად ჩაისმება $\xi=\xi_R$:

$$A_s=\xi_R b h_0 \frac{R_b}{R_s}+A'_s\frac{R_{sc}}{R_s}. \qquad \text{(VI.55)}$$

არმატურის საჭირო ფართობის მიხედვით ინიშნება ღეროების რიცხვი და დიამეტრი.

როდესაც პირველი დაშვების ($\xi=\xi_R$) მიხედვით V.54-დან გამოთვლილი შეკუმშული არმატურის საჭირო ფართობი $A'_s<0$ ან დადებითია, მაგრამ მინიმალურზე მცირე სიდიდისაა, დაშვება $\xi=\xi_R$ მართებული არ არის. მაშინ A'_s ინიშნება კონსტრუქციული მოსაზრებებით და იანგარიშება გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა არმატურის A_s საჭირო ფართობი. შეკუმშული ზონის გრძივი მუშა არმატურის ფართობი შეიძლება წინასწარ ცნობილი იყოს გარკვეული საანგარიშო ან კონსტრუქციული მოსაზრებებით. როდესაც ცნობილია A'_s ან ინიშნება იგი კონსტრუქციული მოსაზრებებით, გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა არმატურის საჭირო ფართობის განსაზღვრისათვის სიმტკიცის პირობიდან (VI.53) ჯერ გამოითვლება A_0:

$$A_0=\frac{M-R_{sc}A'_s(h_0-a')}{R_b b h_0^2},$$

A_0-ის მიხედვით ცხრილიდან (ცხრ. VI.1) დადგინდება შესაბამისი ξ და გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა არმატურის საჭირო ფართობი (V.52)-დან განისაზღვრება ფორმულით

$$A_s=\xi b h_0 \frac{R_b}{R_s}+A'_s\frac{R_{sc}}{R_s}. \qquad \text{(VI.55,ა)}$$

გ) ტესებრი კვეთის გაანგარიშება სიმტკიცეზე

ტესებრი კვეთი შედგება თაროსა და წიბოსაგან (ნახ. VI.12). შეკუმშულ ზონაში მდებარე თაროს ზომები აღინიშნება b'_f, h'_f-ით, გაჭიმულ ზონაში მდებარე თაროსთვის შესაბამისად—b_f, h_f.

ტესებრი კვეთის ღუნვად ელემენტებს ვხვდებით ცალკეული კოჭების და სხვა უფრო რთული კონსტრუქციების ნაწილების სახით (მაგალითად, მონოლითური რკინაბეტონის სართულშუა გადახურვის კოჭების). ტესებრი პროფილის გამოყენება ღუნვად ელემენტებში საშუალებას იძლევა შემცირდეს ბეტონის ხარჯი გაჭიმული ზონის ბეტონის კვეთის შემცირების გზით.

საიდანაც განისაზღვრება შეკუმშული ზონის ბეტონის სიმაღლე

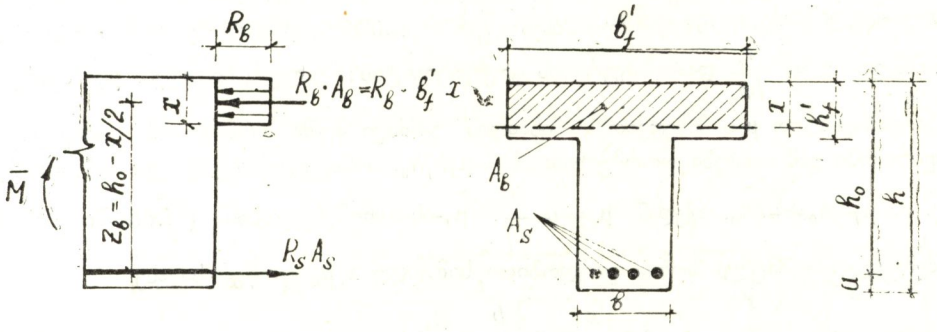
$$x = \frac{R_s A_s}{R_b b_f'}. \tag{VI.59}$$

სიმტკიცის პირობები (წონასწორობის პირობის $\sum M = O$ შესაბამისად) გამოისახება

$$M \leqslant R_b b_f' x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right), \tag{VI.60}$$

$$M \leqslant R_s A_s \left(h_0 - \frac{x}{2} \right). \tag{VI.61}$$

როგორც ვხედავთ, საანგარიშო ფორმულები იწერება ისე, როგორც მართკუთხა კვეთი ათვის ზომებით $b_f' \times h$.



ნახ. VI.13. ტესებრი პროფილის ღუნვადი ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური ცალფაარმატურიანი კვეთის ძალვების სქემა და ძაბვების ეპიურა სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას, როდესაც ნულოვანი ხაზი გადის თაროზე.

გრძივი მუშა არმატურის საჭირო ფართობი სიმტკიცის პირობის მიხედვით იანგარიშება ფორმულით

$$A_s = \frac{M}{R_s(h_0 - 0{,}5\, x)}. \tag{VI.62}$$

არმატურის საჭირო ფართობი შეიძლება ვიანგარიშოთ მიახლოებით, როდესაც $h_f' < 0{,}2\, h$, თუ უგულებელვყოფთ განსხვავებას შეკუმშული ზონის სიმაღლესა და თაროს სისქეს შორის და დავუშვებთ, რომ $x = h_f'$; მაშინ გრძივი მუშა არმატურის ფართობი მიახლოებით იანგარიშება ფორმულით

$$A_s = \frac{M}{R_s(h_0 - 0{,}5\, h_f')}. \tag{VI.63}$$

ტესებრი კვეთის სიმტკიცეზე გაანგარიშების პირველ შემთხვევაში ($x \leqslant h_f'$) ვხვდებით ორგვარ ამოცანას: 1. გრძივი მუშა არმატურის კვეთის შერჩევა და II. შემოწმება სიმტკიცეზე.

ისევე, როგორც მართკუთხა პროფილის ელემენტებისათვის საანგარიშო ფორმულები შეიძლება გარდავქმნათ ცხრილების გამოყენების მიზნით.

შეკუმშული ზონის ბეტონის ფარდობითი სიმაღლე $\frac{x}{h_0}$ აღნიშვნის შესაბამისად, როდესაც დაარმატურების კოეფიციენტი

$$\mu_f = \frac{A_s}{b_f h_0}, \tag{VI.64}$$

ჩაიწერება, როგორც

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{A_s}{b'_f h_0} \frac{R_s}{R_b} = \mu_f \frac{R_s}{R_b}. \tag{VI.65}$$

აქ μ_f წარმოადგენს $b'_f \times h$ განივკვეთის ზომების მართკუთხა კვეთის დაარმატურების კოეფიციენტს; ივი არ არის რეალური სიდიდე ტესებრი კვეთისათვის, რადგან მუშა $b'_f \times h_0$ კვეთი არ არსებობს. ტესებრი პროფილის ელემენტებისათვის დაარმატურების კოეფიციენტს ადგენენ წიბოს კვეთის მიხედვით. მაშინ, თუ აღვნიშნავთ $\mu = \frac{A_s}{bh_0}$ დაარმატურების კოეფიციენტის რეალურ სიდიდეს, μ_f შეიძლება გამოვსახოთ μ-ს მიხედვით. ამისათვის გრძივი მუშა არმატურის განივკვეთის ფართობი გამოისახება ფორმულით $A_s = \mu_f b'_f h_0$; არმატურის იგივე კვეთი $A_s = \mu b h_0$, ე. ი. $\mu_f b'_f h_0 = \mu b h_0$, აქედან $\mu_f = \mu \frac{b}{b'_f}$. μ_f-ის მნიშვნელობის (VI.65)-ში ჩასმის შემდეგ შეკუმშული ზონის ფარდობითი სიმაღლე x/h_0 დაიწერება ასე

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \mu \frac{b}{b'_f} \frac{R_s}{R_b}. \tag{VI.66}$$

გარდაქმნილი სიმტკიცის ფორმულები წარმოგვიდგება შემდეგი სახით

$$M \leqslant R_b b_f h_0^2 A_0 \tag{VI.67}$$

და

$$M \leqslant R_s A_s \eta h_0, \tag{VI.68}$$

სადაც $A_0 = \xi(1 - 0{,}5\,\xi)$, ხოლო $\eta = 1 - 0{,}5\,\xi$.

ცხრილების გამოყენებით გაანგარიშება იწარმოებს ისე, როგორც მართკუთხა კვეთისათვის $b'_f \times h$ ზომებით.

ტესებრი კვეთის გაანგარიშების II შემთხვევა.

ამ დროს იკუმშება თაროო მთლიანად და წიბოს ნაწილიც, ე. ი. $x > h'_f$.

კვეთის დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა ნაჩვენებია VI.14 ნახაზზე.

შეკუმშული ბეტონის ფართობი

$$A_b = bx + (b'_f - b)\, h'_f. \tag{VI.69}$$

ცალფაარმატურიანი კვეთის შიგა მკუმშავი $R_b A_b$ ძალა შესაბამისად შეიძლება წარმოვიდგინოთ ორი წევრის ჯამის—წიბოს მკუმშავი $R_b bx$ ძალისა და თაროს შვერილების მკუმშავი $R_b(b'_f - b)\, h'_f$ ძალის სახით.

$$R_b A_b = R_b bx + R_b (b'_f - b)\, h'_f. \qquad \text{(VI.70)}$$

წონასწორობის პირობის ($\sum x = 0$) თანახმად მივიღებთ

$$R_b A_b - R_s A_s = 0, \qquad \text{(VI.71)}$$

ე. ი.

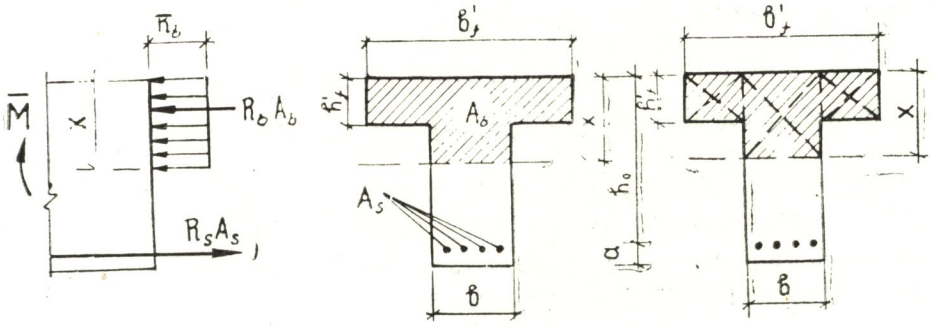
$$R_b bx + R_b (b'_f - b)\, h'_f = R_s A_s. \qquad \text{(VI.71, ა)}$$

აქედან იანგარიშება შეკუმშული ზონის ბეტონის x სიმაღლე

$$x = \frac{R_s A_s}{R_b b} - \frac{(b'_f - b)\, h'_f}{b}. \qquad \text{(VI.72)}$$

სიმტკიცის პირობა $M \leqslant \overline{M}$, როდესაც წონასწორობის პირობის თანახმად ($\sum M = 0$) მოქმედი ძალების მომენტების ჯამი განისაზღვრება გაჭიმული არმატურის ცენტრზე გამავალი ღერძის მიმართ, ხოლო შიგა შკუმშავი ძალა წარმოდგენილი გვაქვს როგორც ორი ძალის ჯამი (წიბოს მკუმშავი ძალისა, რომელიც მოდებულია 0,5 x მანძილზე შეკუმშული კიდიდან, და თაროს შვერილების მკუმშავი ძალის, რომელიც მოდებულია თაროს სიმაღლის ნახევარზე), დაიწერება შემდეგი სახით

$$M \leqslant R_b bx\,(h_0 - 0{,}5\,x) + R_b\,(b'_f - b)\, h'_f\,(h_0 - 0{,}5\,h'_f). \qquad \text{(VI.73)}$$



ნახ. VI.14. ტესებრი პროფილის ღუნვადი ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური ცალფაარმატურიანი კვეთის ძალვების სქემა და ძაბვების ეპიურა სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას, როდესაც ნულოვანი ხაზი ჰკვეთს წიბოს.

ღუნვადი ელემენტის ტესებრი ფორმის ნორმალური კვეთის სიმტკიცეზე გაანგარიშების ამ შემთხვევაში, როდესაც $x > h'_f$ (ისევე, როგორც პირველში) ეხვდებით ორგვარ ამოცანას: გრძივი მუშა არმატურის კვეთის შერჩევა და შემოწმება სიმტკიცის პირობით.

გრძივი მუშა არმატურის კვეთის შერჩევის დროს უმჯობესია, ანგარიშის გაადვილების მიზნით, ვისარგებლოთ ξ, A_0, η-ის ცხრილებით (VI.1) და საანგარიშო ფორმულები ჩავწეროთ შესაბამისად გარდაქმნილი სახით:

$$R_s A_s = R_b \xi b h_0 + R_b\,(b'_f - b)\, h'_f; \qquad \text{(VI.74)}$$

$$M \leqslant R_b b h_0^2 A_0 + R_b\,(b'_f - b)\, h'_f\,(h_0 - 0{,}5\,h'_f). \qquad \text{(VI.75)}$$

გრძივი მუშა არმატურის კვეთის შერჩევის ამოცანის გადასაწყვეტად მოცემული უნდა იყოს M, R_b, R_s, R_{sc}, b, h, b'_f, h'_f. ამ მონაცემების მიხედვით სიმტკიცის ფორმულიდან განისაზღვრება

$$A_0 = \frac{M - R_b (b'_f - b) h'_f (h_0 - 0{,}5 h'_f)}{R_b b h_0^2}; \qquad \text{(VI.76)}$$

VI.1 ცხრილიდან დადგინდება შესაბამისი ξ და გრძივი მუშა არმატურის საჭირო ფართობი იანგარიშება VI.74-დან ფორმულით

$$A_s = \xi b h_0 \frac{R_b}{R_s} + (b'_f - b) h'_f \frac{R_b}{R_s}; \qquad \text{(VI.77)}$$

არმატურის საჭირო ფართობის მიხედვით დაინიშნება ღეროების რიცხვი და დიამეტრი.

კვეთის შემოწმება სიმტკიცეზე ხდება M, R_b, R_s, b, h, b'_f, h'_f, A_s მონაცემების მიხედვით:

შეკუმშული ზონის სიმაღლე განისაზღვრება ფორმულით

$$x = \frac{R_s A_s}{R_b b} - \frac{(b'_f - b) h'_f}{b}; \quad \text{როდესაც } x \leqslant \xi_R h_0,$$

სიმტკიცის პირობა მოწმდება ფორმულით

$$M \leqslant R_b b x (h_0 - 0{,}5 x) + R_b (b'_f - b) h'_f (h_0 - 0{,}5 h'_f).$$

როდესაც ძალაშია ეს ფორმულა, კვეთი აკმაყოფილებს სიმტკიცის პირობას და პირიქით.

ტესებრი კვეთების გაანგარიშების ნებისმიერი ამოცანის გადასაჭრელად საჭიროა, პირველ რიგში, გაანგარიშების შემთხვევის დადგენა, ე. ი. ნულოვანი ხაზის მდებარეობის დადგენა — გადის იგი თაროზე (I შემთხვევა), თუ კვეთს წიბოს (II შემთხვევა). გაანგარიშების I და II შემთხვევების საზღვარს მიგვითითებს ნულოვანი ხაზის მდებარეობა თაროს კიდეზე, ე. ი. როდესაც

$$x = h'_f.$$

ამ სასაზღვრო პირობისთვის დამახასიათებელია: შიგა მკუმშავი ძალა ცალფაარმატურიანი კვეთისათვის უდრის $R_b b'_f h'_f$ და ზღვრული მომენტი კი $\overline{M}_{x=h_f'} = R_b b'_f h'_f (h_0 - 0{,}5 h'_f)$.

კვეთის შემოწმებისათვის სიმტკიცის პირობით, როდესაც მოცემულია გრძივი მუშა არმატურის A_s ფართობი, გაანგარიშების შემთხვევის დასადგენად შეიძლება ვისარგებლოთ პირობით

$$R_s A_s \leqslant R_s b'_f h'_f; \qquad \text{(VI.78)}$$

როდესაც პირობა დაკმაყოფილებულია, ნულოვანი ხაზი გადის თაროზე (გაანგარიშების I შემთხვევა), ხოლო თუ აღნიშნული პირობა დარღვეულია, ნულოვანი ხაზი გადის წიბოზე (გაანგარიშების II შემთხვევა).

გრძივი მუშა არმატურის კვეთის შერჩევის ამოცანის გადაწყვეტისთვის (როდესაც A_s უცნობია) გაანგარიშების შემთხვევის დასადგენად უნდა ვისარგებლოთ პირობით

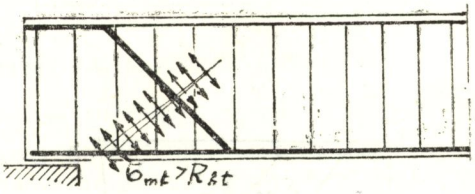
$$M \leqslant R_b b'_f h'_f \ (h_0 - 0{,}5\ h'_f). \qquad (VI.79)$$

თუ ეს პირობა დაკმაყოფილებულია, ნულოვანი ხაზი გადის თაროზე (გაანგარიშების I შემთხვევა). თუ პირობა დარღვეულია, ნულოვანი ხაზი გადის წიბოზე, ე. ი. გვაქვს გაანგარიშების II შემთხვევა.

4. ღუნვადი ელემენტების გრძივი ღერძისადმი დახრილი კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცეზე

4.1. ზოგადი ცნობები

ღუნვად ელემენტებში, გარდა მღუნავი მომენტებისა, ჩვეულებრივ, მოქმედებენ განივი ძალებიც. მათი ერთობლივი გავლენით წარმოიქმნება მთავარი ძაბვები. დახრილ კვეთებში, ღუნვადი ელემენტის იმ უბანზე, სადაც დახრილი კვეთების მთავარი გამჭიმი ძაბვების სიდიდე აღემატება ბეტონის წინაღობას გაჭიმვაზე — $\sigma_{mt} > R_{bt}$ — ჩნდება დახრილი ბზარები (ნახ. VI.15).



ნახ. VI.15. დახრილი ბზარის განვითარების სავარაუდო კვეთი.

ელემენტის რღვევა გრძივი ღერძისადმი დახრილ კვეთზე ისევე სავარაუდოა, როგორც ნორმალურ კვეთზე. მაშასადამე, საჭიროა დახრილი კვეთების სიმტკიცის უზრუნველყოფა გაანგარიშებით.

დახრილი ბზარების წარმოქმნით კოჭი იკვეთება ნაწილებად, რომელთა ურთიერთკავშირი ხორციელდება შეკუმშული ზონის ბეტონის და გაჭიმულ ზონაში განლაგებული არმატურის მეშვეობით, რომელიც კვეთს დახრილ ბზარს.

დახრილი კვეთის სიმტკიცის უზრუნველსაყოფად, გრძივი მუშა არმატურის გარდა, შეიძლება გამოყენებულ იქნეს განივი და დახრილი არმატურა.

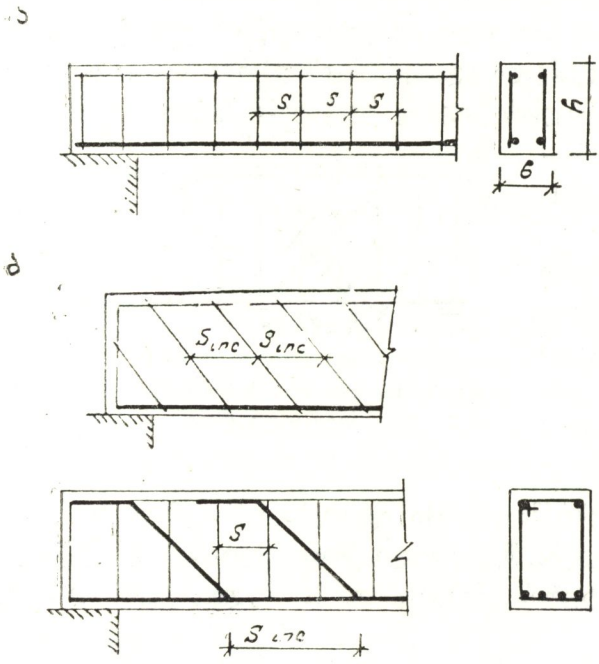
განივი არმატურა ეწყობა ელემენტის გრძივი ღერძისადმი მართობულად. ცალკეული ღეროებით დაარმატურების შემთხვევაში მათ „საკიდი“ ეწოდება, ხოლო შედუღებული კარკასით დაარმატურებისას — „განივი ღეროებ ი“.

ელემენტის გრძივი ღერძისადმი დახრილი არმატურა, ცალკეული ღეროებით დაარმატურების შემთხვევაში, ჩვეულებრივ, ეწყობა გრძივი მუშა არ-

მატურის აღუნვის გზით. მას **აღუნულ არმატურას** უწოდებენ. შედუღებული კარკასებით დაარმატურებისას დახრილ არმატურას იყენებენ განივი არმატურის დანიშნულებით, ე. ი. კარკასის შემადგენლობაში იქნება გრძივი ღეროები და მათდამი დახრილად განლაგებული ღეროები. ერთდროულად გრძივი, განივი და დახრილი არმატურის გამოყენება შედუღებულ კარკასში მიზანშეწონილი არ არის კონსტრუქციული გართულებების გამო.

დახრილი კვეთების სიმტკიცის უზრუნველსაყოფად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს (გრძივ არმატურასთან ერთად) მხოლოდ განივი, დახრილი, ან განივი და დახრილი (აღუნული) არმატურა (ე. წ. კომბინირებული დაარმატურება) (ნახ. VI. 16).

დახრილი არმატურა ჩვეულებრივ ეწყობა ელემენტის გრძივი ღერძის მიმართ 45° კუთხით. მნიშვნელოვანი სიმაღლის კოჭებისათვის აღუნვა შეიძლება უფრო დიდი კუთხით, მაგრამ არაუმეტეს 60°-ისა. მთლიან ფილებში, როდესაც აღუნული არმატურა დახრილი კვეთების სიმტკიცის პირობით საჭირო არ არის, აღუნვა შეიძლება 30° კუთხით.

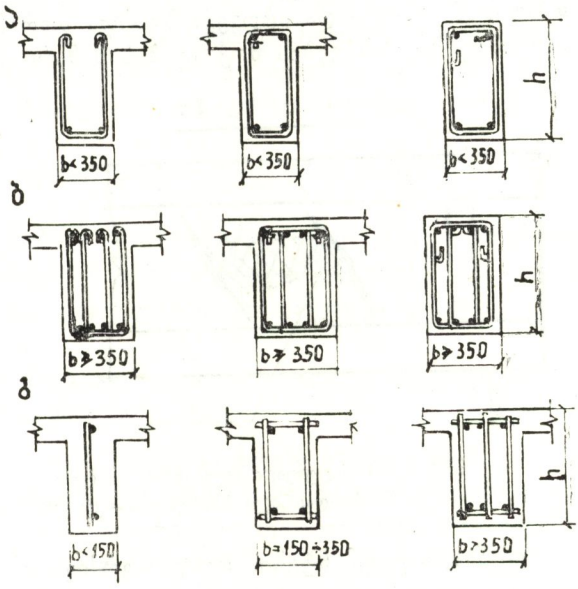


ნახ. VI.16. დახრილი კვეთების დაარმატურება. ა—განივი; ბ—დახრილი; გ—განივი და აღუნული არმატურით.

განივი არმატურისათვის იყენებენ რბილ, ნახშირბადმცირე ფოლადის *A*-I, *A*-II, *A*-III, *B*-I, *Bp*-I კლასის არმატურას. საკიდების დიამეტრი მიიღება არანაკლები გრძივი მუშა არმატურის დიამეტრის მეოთხედისა, განივი ღეროების დიამეტრი—შედუღების პირობების მიხედვით არანაკლები გრძივი მუშა არმატურის დიამეტრის მესამედისა. განივი არმატურის *s* ბიჯი ინიშნება 5÷50 სმ-ის ფარგლებში.

ცალკეული ღეროებით დაარმატურებისას ღუნვადი ელემენტის განივკვეთში ორტოტა ერთი საკიდი გარს ევლება გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა არმატურის ღეროების არაუმეტეს 5 ცალს (შეკუმშული ზონის ღეროების არაუმეტეს სამ ცალს). კოჭების სიგანისა და გაჭიმულ ზონაში გრძივ ღეროთა რაოდენობის მიხედვით ეწყობა ოთხჭრადი და ექვსჭრადი საკიდებიც (ნახ. VI.17). განივი არმატურის ღეროების ერთი ტოტის ფართობი აღინიშნება $A_{sw.1}$-ით, ხოლო ელემენტის განივკვეთში განივი ღეროების სრული ფართობი აღინიშნება A_{sw}-თი.

შედუღებული კარკასებით დაარმატურებისას ელემენტის განივკვეთში განივი ღეროების რაოდენობა მიიღება არანაკლები 1 ცალისა, როდესაც კოჭის (წიბოს) სიგანე b არ აღემატება 15 სმ; 2 ცალი, როდესაც $b = 15 \div 30$ სმ და 3 ცალი, როდესაც $b > 30$ სმ. აღუნული ღეროების სრული ფართობი აღუნვის ერთ სიბრტყეში აღინიშნება $A_{s,inc}$-ით, აღუნვის კვეთებს შორის მანძილი გრძივი ღერძის გასწვრივ—s_{inc}-ით.



ნახ. VI.17. განივი არმატურის განლაგება ელემენტების კვეთში: ა, ბ—საკიდები; გ—განივი ღეროები.

4.2. დახრილი კვეთების სიმტკიცეზე გაანგარიშების საფუძვლები

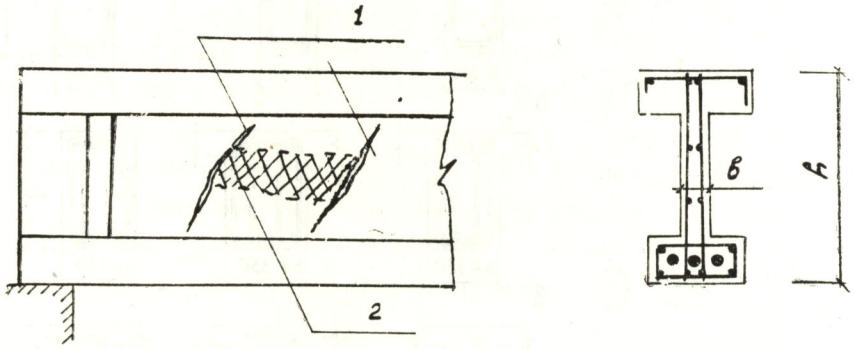
რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტების დახრილი კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცის პირობით საჭიროა, როდესაც განსახილველ კვეთზე სავარაუდოა დახრილი ბზარის განვითარება. დახრილი ბზარები ჩნდება, როდესაც მღუნავი მომენტისა და განივი ძალის ერთობლივი მოქმედებით წარმოქმნილი მთავარი გამჭიმი ძაბვების ატანა ბეტონს არ შეუძლია.

დახრილი ბზარების გაჩენის ადგილი, გრძივი ღერძისადმი დახრილობა, დახრილი ბზარის პროექციის სიგრძე ელემენტის გრძივ ღერძზე, ბზარის გახსნის სიგანე და განვითარება კვეთის სიმაღლეზე დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე: დატვირთვების სახეობაზე, ღუნვადი ელემენტების განივკვეთის ფორმაზე, დაარმატურების ხერხებზე (ცალკეული ღეროებით, თუ შედუღებული კარკასებით), მღუნავი მომენტისა და განივი ძალების თანაფარდობაზე — $\left(\frac{M}{Q}\right)$ და სხვ.

დახრილი ბზარი შეიძლება წარმოიქმნას ელემენტის გაჭიმულ კიდეზე (ზოგჯერ ჩაისახოს როგორც ნორმალური ბზარი) და განვითარდეს შეკუმშული ზონისაკენ, ან გაჩნდეს გაჭიმულსა და შეკუმშულ სარტყლებს შორის.

დახრილი ბზარების გახსნის შემდეგ დატვირთვის გადიდებას შეიძლება მოყვეს რღვევა ყველაზე საშიშ გაბზარულ კვეთზე ან ბზართაშორის მოქცეული შეკუმშული ბეტონის ზოლისა.

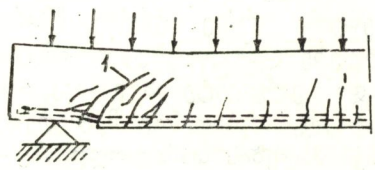
ტესებრი, ორტესებრი, კოლოფისებრი განივკვეთის ფორმის ღუნვად ელემენტებში გრძივი ღერძისადმი დახრილი ბზარები წარმოიქმნება მცირე სიგანის კედლის სიმაღლის შუა ზოლში. დატვირთვების გადიდებისას ბზარები თანდათან იხსნება და ირღვევა ბზართა შორის კედლის ბეტონის ზოლი მთავარი მკუმშავი ძაბვების მოქმედების მიმართულებით (ნახ. VI.18).



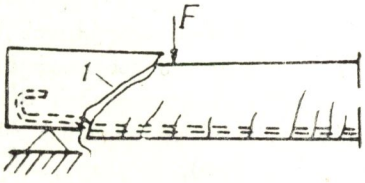
ნახ. VI. 18. ღუნვადი ელემენტის კედლის რღვევა დახრილ ბზართა შიგრის.
1—დახრილი ბზარები; 2—კედლის შეკუმშული ზოლი.

ღუნვადი ელემენტების რღვევა გრძივი ღერძისადმი დახრილ ბზარზე შეიძლება მოხდეს ერთ-ერთი ქვემოთ აღწერილი სქემით:

I. დახრილი საშიში ბზარის (1) გადაკვეთაზე განლაგებული არმატურის გამჭიმი ძაბვები აღწევს დენადობის ზღვარს და ბზარის ნაპირები ბრუნდება შეკუმშული ზონის ძალვების ტოლქმედის მოდების წერტილზე გამავალი ღერძის მიმართ. ბზარი თანდათან იხსნება, არმატურა მიედინება ან სუსტად ჩამაგრების შემთხვევაში ამოიგლიჯება ბეტონიდან, ხოლო შეკუმშული ზონის სიმაღლე თანდათან მცირდება და, როდესაც გადაილახება ბეტონის წინაღობა, იგი ირღვევა (ნახ. VI.19).



ნახ. VI. 19. დახრილ ბზარზე რღვევის I სქემა.



ნახ. VI. 20. დახრილ ბზარზე რღვევის II სქემა.

დახრილ კვეთზე რღვევის ეს სქემა მსგავსია ნორმალურ კვეთზე რღვევისა.

II. როდესაც საშიში დახრილი ბზარების (1) გადაკვეთაზე განლაგებული არმატურა მძლავრია და კარგად ჩამაგრებულია ბეტონში, ბზარის ნაპირების ურთიერთმობრუნება არ ხდება. მკუმშავი და გადამჭრელი ძალვების ერთობლივი მოქმედებით ირღვევა შეკუმშული ზონის ბეტონი, ბზარის ნაპირები განიცდიან ურთიერთ ძვრას (ნახ. VI.20).

ღუნვადი ელემენტის გრძივი ღერძისადმი დახრილი კვეთების სიმტკიცეს უზრუნველყოფს შეკუმშული ზონის ბეტონის წინაღობა და გაჭიმული ზონის დახრილი ბზარის გადაკვეთაზე განლაგებული არმატურა — გრძივი, განივი, დახრილი.

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

რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტის დახრილი კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცეზე წარმოებს:

განივი ძალის მიხედვით დახრილ ბზართაშორისი შეკუმშული ზოლისა;

განივი ძალის მიხედვით დახრილ ბზარზე გამავალი კვეთისა;

მღუნავი მომენტის მიხედვით დახრილ ბზარზე გამავალი კვეთისა.

4.3. დახრილ ბზართა შორის დახრილი შეკუმშული ზოლის გაანგარიშება განივი ძალის მიხედვით

ღუნვადი ელემენტის გრძივი ღერძისადმი დახრილ ბზართა შორის მოქცეული ბეტონის ზოლი მცირე სიგანის კედელში შეიძლება დაირღვეს მთავარი მკუმშავი ძაბვების გავლენით. რღვევის ადგილი კედლის სიმაღლის შუაში ელემენტის გრძივი ღერძის დონეზე მდებარეობს, სადაც მთავარი მკუმშავი ძაბვები მაქსიმალურია.

დაპროექტების ნორმების მითითებების თანახმად (მუხლი 3.30, СНиП 2.03.01-84) ბზართაშორისი ზოლის გაანგარიშება სიმტკიცეზე განივი ძალების მიხედვით წარმოებს პირობით

$$Q \leqslant 0{,}3\varphi_{w1}\varphi_{b1}R_b bh_0. \qquad \text{(VI.80)}$$

სადაც Q არის საანგარიშო განივი ძალის უდიდესი მნიშვნელობა დახრილ ბზართა განვითარების უბანზე;

φ_{w1}—კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს განივი არმატურის გავლენას ბეტონის სიმტკიცეზე და განისაზღვრება ფორმულით

$$\varphi_{w1}=1+5\alpha\mu_w;$$

φ_{w1} მიიღება არაუმეტეს 1,3.

აქ $\alpha=\dfrac{E_s}{E_b}$, $\mu_w=\dfrac{A_{sw}}{bs}$ (μ_w—განივი არმატურით გაჯერების კოეფიციენტია).

φ_{b1}—კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ბეტონის სახეობას; იანგარიშება ფორმულით

$$\varphi_{b1}=1-\beta R_b,$$

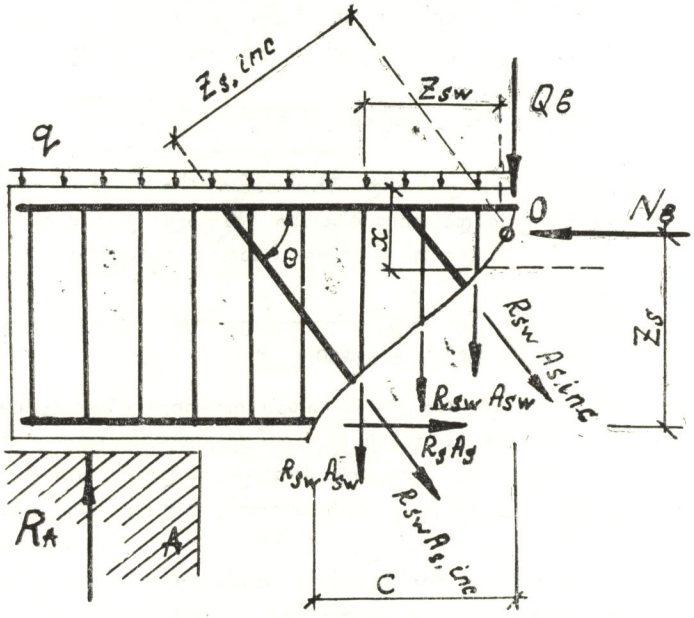
სადაც $\beta=0{,}01$ მძიმე, წვრილმარცვლოვანი და უჯრედოვანი ბეტონებისათვის;

$\beta=0{,}02$ მსუბუქი ბეტონისათვის;

R_b—ბეტონის საანგარიშო წინაღობა ღერძულ კუმშვაზე, *MPa*-ში.

როდესაც საანგარიშო პირობა VI.80 დარღვეულია, ელემენტის კედლის სიმტკიცის უზრუნველყოფა არ ხდება. საჭიროა გაიზარდოს განივკვეთის ზომები, გაძლიერდეს განივი არმატურა ან გადიდდეს ბეტონის კლასი.

ღუნვადი ელემენტის გრძივი ღერძისადმი დახრილი კვეთის საანგარიშო სქემა, როდესაც სიმტკიცის უზრუნველსაყოფად გამოყენებულია განივი და დახრილი არმატურა, წარმოდგენილია VI.21 ნახაზზე.



ნახ. VI. 21. ელემენტის გრძივი ღერძისადმი დახრილი კვეთების ძალების სქემა სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას.

სიმტკიცეზე რკინაბეტონის ელემენტების ნორმალური და დახრილი კვეთების გაანგარიშების საერთო მეთოდის მიხედვით საანგარიშო პირობები მიიღება წონასწორობის პირობების შესაბამისად. წონასწორობის პირობების თანახმად ($\sum Y = 0$), რომ კვეთზე მოქმედი ძალების გეგმილების ჯამი ელემენტის გრძივი ღერძის ნორმალზე ნულის ტოლია, მიიღება დახრილი კვეთის სიმტკიცის პირობა განივი ძალების მიხედვით; წონასწორობის პირობის თანახმად, რომ კვეთზე მოქმედი ძალების მომენტის ჯამი შეკუმშული ზონის მკუმშავი ძალვის მოდების წერტილზე გამავალი ღერძის მიმართ ნულის ტოლია, მიიღება დახრილი კვეთის სიმტკიცის პირობა მღუნავი მომენტის მიხედვით.

წონასწორობის პირობის თანახმად, რომ საანგარიშო კვეთზე მოქმედი ძალების გეგმილების ჯამი ელემენტის გრძივ ღერძზე ($\sum X = 0$) ნულის ტოლია, დადგინდება შეკუმშული ზონის x სიმაღლე.

ღუნვადი ელემენტის გრძივი ღერძისადმი დახრილი კვეთის საანგარიშო სიმტკიცის პირობები გამოისახება წონასწორობის პირობების შესაბამისად:

I. $Q \leqslant Q_b + Q_{sw} + Q_{s,\,inc}$—განივი ძალების მიხედვით; (VI.81)

II. $M \leqslant M_s + M_{sw} + M_{s,\,inc}$—მღუნავი მომენტის მიხედვით. (VI.82)

განივი ძალის მიხედვით დახრილი კვეთის სიმტკიცის (VI.81) პირობაში Q არის საანგარიშო განივი ძალა — დახრილი კვეთის ერთ მხარეს მდებარე გარე ძალების გეგმილების ჯამი ელემენტის გრძივი ღერძის ნორმალზე;

Q_b—განივი ძალა, რომელსაც იტანს შეკუმშული ზონის ბეტონი; იგი იანგარიშება ემპირიული ფორმულით

$$Q_b = \frac{\varphi_{b2}(1+\varphi_f)\, R_{bt} b h_0^2}{c} \qquad \text{(VI.83)}$$

და მიიღება არანაკლები $\varphi_{b3}(1+\varphi_f)\, R_{bt} b h_0$-ისა;

Q_{sw}—დახრილი ბზარის გადამკვეთი განივი არმატურის ზღვრული ძალვების გეგმილების ჯამი ელემენტის გრძივი ღერძის ნორმალზე

$$Q_{sw} = \sum R_{sw} A_{sw}; \qquad \text{(VI.84)}$$

$Q_{s,\,\mathrm{inc}}$—დახრილი ბზარის გადამკვეთი აღუნული არმატურის ზღვრული ძალვების გეგმილების ჯამი ელემენტის გრძივი ღერძის ნორმალზე

$$Q_{s,\,\mathrm{inc}} = \sum R_{sw} A_{s,\mathrm{inc}} \sin\theta; \qquad \text{(VI.85)}$$

c—საშიში დახრილი კვეთის პროექციის სიგრძე ელემენტის გრძივ ღერძზე;

R_{sw}—განივი და დახრილი არმატურის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე დახრილი კვეთების გაანგარიშებისას სიმტკიცეზე განივი ძალების მიხედვით. იგი დადგენილია დახრილ კვეთში შეკუმშული ზონის სიმძიმის ცენტრიდან სხვადასხვა მანძილზე განლაგებული განივი და აღუნული არმატურის არათანაბარი წინაღობის გათვალისწინებით და მიიღება R_s-თან შედარებით დაქვეითებული, მუშაობის პირობების კოეფიციენტზე გადამრავლების გზით

$$R_{sw} = \gamma_{s1} R_s;$$

ყოველგვარი არმატურისათვის $\gamma_{s1} = 0{,}8$;

A_{sw}—დახრილი კვეთის ფარგლებში თანაბრად განაწილებული განივი არმატურის ყველა ტოტის განივკვეთის ფართობი ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალურ კვეთში; თუ საკიდის ერთი ტოტის განივკვეთის ფართობს აღვნიშნავთ $A_{sw\cdot1}$-ით, ხოლო n-ით განივი არმატურის ტოტების რაოდენობას ელემენტის ერთ განივკვეთში, მაშინ

$$A_{sw} = n A_{sw\cdot1};$$

$A_{s,\mathrm{inc}}$— დახრილი ღეროების განივკვეთის ჯამური ფართობი აღუნვის ერთ სიბრტყეში;

φ_{b3}—კოეფიციენტი, რომელიც ბეტონის სახეობის მიხედვით მიიღება 0,6—0,4 ფარგლებში (მუხლი 3.31, СНиП 2.03.01—84); მაგალითად, მძიმე ბეტონისათვის $\varphi_{b3} = 0{,}6$; წვრილმარცვლოვანისა—$\varphi_{b3} = 0{,}5$; მსუბუქი ბეტონისა, რომლის სიმკვრივეა D 1800 და ნაკლები—$\varphi_{b3} = 0{,}4$;

φ_{b2}—კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ბეტონის სახეობის გავლენას დახრილი კვეთის სიმტკიცეზე; φ_{b2} მიიღება ტოლი:

მძიმე და უჯრედოვანი ბეტონებისათვის —2,0;

წვრილმარცვლოვანი ბეტონებისათვის —1,7;

მსუბუქი ბეტონებისათვის: რომელთა მარკა სიმკვრივის მიხედვით
არის D 1900 და მეტი —1,9;
D 1800 და ნაკლები, მკვრივ წვრილ შემვსებზე —1,75;
ფოროვან შემვსებზე —1,5;

φ_f—კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ტესებრი და ორტესებრი კვეთების ელემენტების შეკუმშული თაროების გავლენას დახრილი კვეთის სიმტკიცეზე, თუ განივი არმატურა ჩამაგრებულია თაროში; იგი განისაზღვრება ფორმულით

$$\varphi_f = 0{,}75\,\frac{(b'_f - b)\,h'_f}{bh_0}.$$

φ_f არ აღემატება 0,5-ს. შეკუმშული თაროს გაანგარიშებაში გათვალისწინებული სიგანე მიიღება არაუმეტეს $(b+3h'_f)$-ისა.

როგორც დახრილი კვეთების სიმტკიცის პირობა გვიჩვენებს, აღუნული არმატურა გაანგარიშებით საჭირო არ არის ღუნვადი ელემენტის იმ უბანზე, სადაც $Q \leqslant Q_b + Q_{sw}$, ხოლო, როდესაც $Q \leqslant Q_b$, სიმტკიცის პირობით საჭირო არ არის არც განივი არმატურა. ასეთ შემთხვევაში განივი და დახრილი არმატურა შეიძლება მოეწყოს კონსტრუქციული მოსაზრებებით.

განივი არმატურის ბიჯის ფარგლებში (ასევე აღუნვათა შორის და აღუნვიდან საყრდენამდე) დახრილი ბზარის მოსალოდნელი განვითარების გამო, სიმტკიცე ამ უბნის დახრილი კვეთისა უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს მხოლოდ შეკუმშული ბეტონის მეშვეობით, პირობით $Q \leqslant Q_b$:

$$Q \leqslant \frac{B}{c} = \frac{B}{s_{max}};$$

ე. ი.

$$s_{max} \leqslant \frac{B}{Q}.$$

განივი არმატურის განლაგების მოსალოდნელი უზუსტობის გათვალისწინებით (0,75-ზე გადამრავლების გზით) და $B = \varphi_{b2}\,(1+\varphi_f)\,R_{bt}bh_0^2$ მნიშვნელობის ჩასმის შემდეგ, სიმტკიცის პირობით საჭირო განივი არმატურის უდიდესი ბიჯი განისაზღვრება ფორმულით

$$s_{max} = \frac{0{,}75\,\varphi_{b2}\,(1+\varphi_f)\,R_{bt}bh_0^2}{Q}. \qquad \text{(VI.86)}$$

მთლიან ფილებში (სიმაღლის მიუხედავად), 30 სმ-ზე ნაკლები სიმაღლის ღრუტანიან ფილებში და 15 სმ-ზე ნაკლები სიმაღლის კოჭებში განივი არმატურა შეიძლება არ მოეწყოს. მაშინ საშიშ დახრილ ბზარზე გამავალი ელემენტის გრძივი ღერძისადმი დახრილი კვეთის სიმტკიცე განივი ძალების მიხედვით უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს პირობით

$$Q \leqslant \frac{\varphi_{b4}R_{bt}bh_0^2}{c}. \qquad \text{(VI.87)}$$

პირობის მარჯვენა მხარე მიიღება არაუმეტეს 2,5 $R_{bt}bh_0$-ისა და არანაკლები $\varphi_{b3}R_{bt}bh_0$. საანგარიშო პირობაში φ_{b4} კოეფიციენტი მიიღება:

მძიმე და უჯრედოვანი ბეტონისათვის —1,5;
წვრილმარცვლოვანი ბეტონისათვის —1,2;
მსუბუქი ბეტონისათვის, რომლის საშუალო სიმკვრივეა
D 1900 და მეტი —1,2;
D 1800 და ნაკლები —1,0.

კოჭებში, რომელთა სიმაღლე აღემატება 15 სმ-ს, აგრეთვე 30 სმ-ზე მეტი სიმაღლის ღრუტანიან ფილებში განივი არმატურა უნდა მოეწყოს. განივი არმატურა განლაგდება საყრდენებთან მიმდებარე უბნებში მალის მეოთხედამდე მაინც. გაანგარიშებით საჭირო განივი არმატურის ბიჯი კონსტრუქციული მოსაზრებით მიიღება ელემენტის კვეთის h სიმაღლის მიხედვით: არაუმეტეს $h/2$ და 15 სმ-ისა, როდესაც $h \leqslant 45$ სმ, და არაუმეტეს $h/3$ და 50 სმ-ისა, როდესაც $h \geqslant 45$ სმ-ზე. ღუნვადი ელემენტის მალის დანარჩენ ნაწილზე განივი არმატურა შეიძლება განლაგდეს უფრო იშვიათად, მაგრამ ბიჯით არაუმეტეს $3/4h$ და 50სმ-ისა.

მღუნავი მომენტის მიხედვით დახრილი კვეთის (VI.82) სიმტკიცის პირობაში:

M არის განსახილველი დახრილი კვეთის ცალ მხარეს მდებარე გარე დატვირთვების მომენტების ჯამი შეკუმშული ზონის ბეტონის მკუმშავი შიგა ძალის მოდების წერტილზე გამავალი ღერძის მიმართ;

M_s, M_{sw}, $M_{s,\,inc}$—მომენტების ჯამი იმავე ღერძის მიმართ შესაბამისად გრძივი, განივი და დახრილი არმატურის ძალვებისა:

$M_s = R_s A_s z_s$; $M_{sw} = \sum R_{sw} A_{sw} z_{sw}$; $M_{s,inc} = \sum R_{sw} A_{s,inc} z_{s,inc}$;

z_s, z_{sw}, $z_{s,\,inc}$—შესაბამისად გრძივი, განივი და დახრილი არმატურის გამჭიმი ძალვებიდან მანძილი შეკუმშული ზონის მკუმშავი ძალის მოდების წერტილზე გამავალ ღერძამდე (სამომენტო „0“ წერტილამდე).

დახრილი კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცეზე მღუნავი მომენტის მიხედვით წარმოებს გრძივი მუშა არმატურის შეწყვეტისა და აღუნვის ადგილას, აგრეთვე კოჭების საყრდენების მახლობელ ზონაში და ელემენტის სიგრძეზე კვეთის ფორმის მკვეთრი ცვლილების (მაგალითად, შეჭრის) ადგილას. ამ გაანგარიშებებს სიმტკიცის პირობის შემოწმების დანიშნულება აქვს.

გაანგარიშება განივი ძალის მიხედვით ორგვარი ამოცანის გადაწყვეტას ემსახურება: პირველი — დახრილი კვეთების შემოწმება სიმტკიცეზე განივი ძალების მიხედვით და მეორე — დახრილი კვეთების სიმტკიცის პირობის მიხედვით განივი არმატურის კვეთის შერჩევა (განივი არმატურის გაანგარიშება).

უცვლელი სიმაღლის ღუნვადი ელემენტებისათვის დახრილი კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცეზე მღუნავი მომენტის მიხედვით შეიძლება ჩვეულებრივ არ ჩატარდეს, როდესაც სიმტკიცის უზრუნველყოფა შესაძლოა კონსტრუქციული ღონისძიებებით — ჩამაგრება, არმატურის აღუნვისა და შეწყვეტის ადგილის შერჩევა და სხვ. განივი ძალის მიხედვით დახრილი კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცეზე ყოველთვის საჭიროა ღუნვადი ელემენტის იმ უბანზე, სადაც დახრილი ბზარის გახსნა სავარაუდოა, ე. ი. როდესაც $\sigma_{mt} > R_{bt}$. ამ პირობის პრაქტიკული გაანგარიშებისათვის მისაღები, მარტივი გამოსახულებაა

$$Q > \varphi_{b3} R_{bt} b h_0. \qquad \text{(VI.88)}$$

ქვემოთ განხილული იქნება დახრილი კვეთების გაანგარიშების ამოცანები სიმტკიცეზე განივი ძალის მიხედვით და საჭირო კონსტრუქციული ღონისძიებები დახრილი კვეთების სიმტკიცის უზრუნველსაყოფად მღუნავი მომენტის მიხედვით.

4.5. დახრილი კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცეზე განივი ძალის მიხედვით

როგორც აღნიშნული იყო, დახრილი კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცეზე საჭიროა ღუნვადი ელემენტის იმ უბანზე, რომელზეც დახრილი ბზარები წარმოიქმნება. დახრილი ბზარით გაკვეთილი ელემენტის ნაპირები ბზარიან კვეთში ერთმანეთს უკავშირდება შეკუმშული ზონის ბეტონისა და გაჭიმულ ზონაში ბზარის გადაკვეთაზე განლაგებული არმატურის მეშვეობით.

როდესაც გამოყენებულია ელემენტის გრძივი ღერძისადმი მართობულად განლაგებული განივი არმატურა (რომელსაც გაანგარიშებებში დაარმატურების წესის მიუხედავად ვუწოდებთ „საკიდს"), სიმტკიცის პირობა (VI.81) წარმოგვიდგება როგორც

$$Q \leqslant Q_b + Q_{sw}, \tag{VI.89}$$

ხოლო, როდესაც გარდა საკიდებისა გამოყენებულია აღუნული არმატურაც, სიმტკიცის პირობას განივი ძალების მიხედვით აქვს შემდეგი სახე:

$$Q \leqslant Q_b + Q_{sw} + Q_{s,\text{inc}}.$$

ა) განვიხილოთ ღუნვადი ელემენტი გრძივი ღერძისადმი მართობულად, განსახილველი დახრილი კვეთის ფარგლებში მუდმივი ბიჯით განლაგებული საკიდებით (ნახ. VI.22) (დახრილი არმატურის გარეშე). დახრილი კვეთის სიმტკიცის პირობა, როდესაც დახრილი კვეთის განსახილველ უბანზე გარე დატვირთვები მოდებული არ არის, $B = \varphi_{b4}(1+\varphi_f)\, R_{bt} b h_0^2$, $q_{sw} = \dfrac{R_{sw} A_{sw}}{s}$ აღნიშვნების მიხედვით ჩაიწერება შემდეგნაირად

$$Q \leqslant \frac{B}{c} + q_{sw} c. \tag{VI.90}$$

შეკუმშული ზონის ბეტონისა და საკიდების ჯამური ზიდვის უნარის—მინიმალური ზღვრული განივი ძალის სიდიდის შესაბამისი დახრილი კვეთის მდებარეობა, რომლის პროექცია ელემენტის გრძივ ღერძზე აღინიშნება c_0-ით, განისაზღვრება $(Q_b + Q_{sw})$-ს გამოსახულების c-თი გაწარმოების გზით

$$\frac{d}{dc}\left(\frac{B}{c} + q_{sw} c\right) = -\frac{B}{c^2} + q_{sw}.$$

გავუტოლოთ იგი ნულს და გამოვთვალოთ c_0

$$-\frac{B}{c_0^2} + q_{sw} = 0;$$

$$c_0 = \sqrt{\frac{B}{q_{sw}}}. \tag{VI.91}$$

მაშინ განივი არმატურის ძალვა საშიშ დახრილ კვეთში

$$Q_{sw} = q_{sw} c_0 = \sqrt{q_{sw} B}, \tag{VI.92}$$

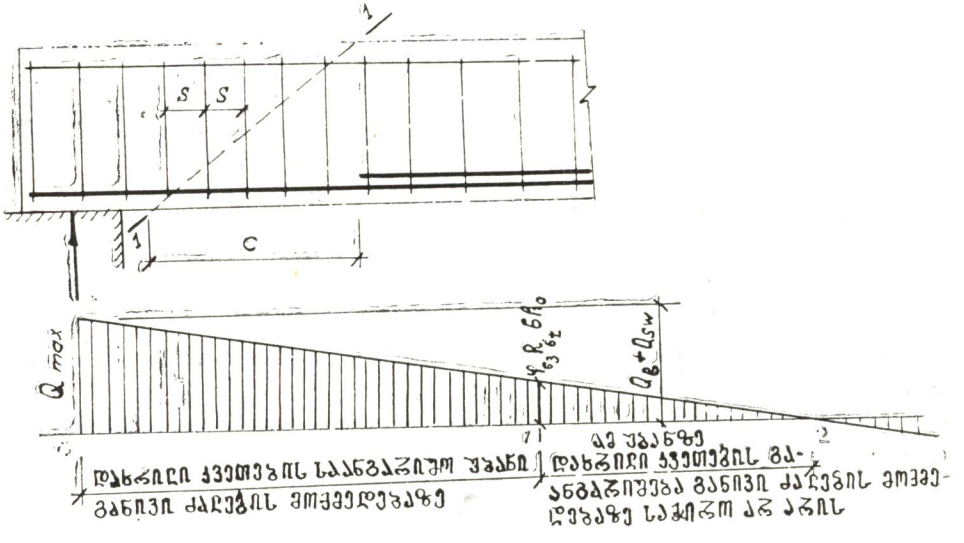
ხოლო შეკუმშული ბეტონის ზღვრული განივი ძალა

$$Q_b = \frac{B}{c_0} = \sqrt{q_{sw} B}. \tag{VI.93}$$

შეკუმშული ზონის ბეტონისა და განივი არმატურის ერთობლივი წინაღობის შედეგად საშიში დახრილი კვეთის ზღვრული განივი ძალის მინიმუმი

$$(Q_b + Q_{sw})_{\min} = 2\sqrt{q_{sw} B}.$$

ტესებრი ან ორტესებრი განივკვეთის ფორმის ღუნვადი ელემენტის დახრილი კვეთების სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული შეკუმშული თაროს ბეტონის წინაღობა, როდესაც განივი არმატურა დაანკერებულია შეკუმშულ თაროში.



ნახ. VI. 22. დახრილი კვეთების სიმტკიცისათვის განივი არმატურის გამოყენების შემთხვევა.

დახრილი კვეთის სიმტკიცეზე განივი ძალის მიხედვით გაანგარიშებისას შეკუმშული თაროს გავლენას ითვალისწინებენ φ_f კოეფიციენტის მეშვეობით, რომელიც შედის Q_b-ს მუდმივას—B-ს გამოსახულებაში

$$B = \varphi_{b2}\ (1 + \varphi_f)\ R_{bt}\ b h_0^2.$$

მაშინ c_0 მიიღებს სახეს

$$c_0 = \sqrt{\frac{B}{q_{sw}}} = \sqrt{\frac{\varphi_{b2}(1+\varphi_f)\, R_{bt} b h_0^2}{q_{sw}}}. \qquad \text{(VI.94)}$$

როგორც დახრილი კვეთის სიმტკიცის პირობა განივი ძალის მიხედვით გვიჩვენებს, დახრილ ბზარზე გამავალი დახრილი კვეთის სიმტკიცის უზრუნველსაყოფად გამოყენებული განივი არმატურისა და შეკუმშული ზონის ბეტონის წინაღობა თანაბარია საშიში დახრილი კვეთის ფარგლებში

$$Q_b = Q_{sw}.$$

მაგრამ საშიში დახრილი კვეთის მდებარეობის შესაბამისი ზღვრული განივი ძალის $(Q_b + Q_{sw})_{\min}$ განსაზღვრისას მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული შემდეგი მოსაზრებები: c_0-ის საანგარიშო მნიშვნელობა განსხვავდება დახრილ ბზარზე რღვევის რეალური გავრცელების უბნის პროექციისაგან: როდესაც $c_0 > 2h_0$, განივი არმატურა, განლაგებული ბზარის გახსნის საწყისიდან $2h_0$-ზე უშორეს მონაკვეთში, დაჩრილი კვეთის სიმტკიცეზე გავლენას არ ახდენს; როდესაც $c_0 < h_0$, შეკუმშული ზონის ბეტონის რეალური წინაღობა არ აღემატება Q_b-ს სიდიდეს, დადგენილს დახრილი კვეთისათვის, რომლის $c = h_0$.

როდესაც ღუნვადი ელემენტის დატვირთვა წარმოადგენს შეყურსულ ძალებს, დახრილი ბზარი ჩვეულებრივ იხსნება საყრდენსა და საყრდენიდან უახლოეს შეყურსულ ძალას შორის. თუ ამ დროს გაანგარიშებით დადგენილი c_0 აღემატება ჭრის a მალს (მანძილს საყრდენიდან პირველ შეყურსულ ძალამდე), შეკუმშული ზონის ბეტონის ზიდვის უნარი განისაზღვრება, როგორც $\frac{B}{a}$—რეალური რღვევის სურათის შესაბამისად.

როგორც ექსპერიმენტები ცხადყოფს, საშიში დახრილი კვეთის c_0 პროექციის ფარგლებში განლაგებული განივი არმატურისა და შეკუმშული ბეტონის წინაღობა ფაქტობრივად ერთნაირი წილისა არ არის. საჭიროა c_0-ის დაზუსტება დატვირთვის სქემისა და სხვა საანგარიშო პარამეტრების მიხედვით.

პირობით, რომ $c_{0\cdot\max} = 2h_0$, განისაზღვრება განივი არმატურის ძალვის ინტენსივობის მინიმუმი ფორმულიდან $Q_{sw} = q_{sw}\, c$:

$$q_{sw} = \frac{Q_{sw}}{c}.$$

როდესაც Q_{sw} მინიმალურია (ე. ი. როდესაც $c = c_0$ და, მაშასადამე, $Q_{sw\cdot\min} = Q_{b\cdot\min}$)

$$q_{sw\cdot\min} = \frac{Q_{sw,\min}}{c_0} = \frac{Q_{b,\min}}{2h_0} = \frac{\varphi_{b3}(1+\varphi_f)\, R_{bt} b h_0}{2h_0};$$

$$q_{sw,\min} = \frac{\varphi_{b3}(1+\varphi_f)\, R_{bt} b}{2},$$

ე. ი. განივი არმატურის ძალვის ინტენსივობა, რომელიც ისაზღვრება განივი არმატურის კვეთისა და ბიჯის მიხედვით, უნდა იყოს მეტი ან ტოლი $q_{sw,\min}$-ზე

$$q_{sw} = \frac{R_{sw} A_{sw}}{s} \geqslant \frac{\varphi_{b3}(1+\varphi_f) R_{bt} b}{2}. \qquad (VI.95)$$

დაარმატურებული ელემენტების დახრილი კვეთების სიმტკიცეზე შემოწმებისას განივი ძალის მიხედვით, თუ ეს (VI.93) მოთხოვნა დარღვეულია, უნდა შეიცვალოს განივი დაარმატურება — გაძლიერდეს განივი არმატურა საანგარიშო უბანზე.

დახრილი კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცეზე განივი ძალის მიხედვით მოიცავს ორგვარ ამოცანას: 1. შემოწმება სიმტკიცის პირობით, როდესაც ღუნვადი ელემენტის კონსტრუირება შესრულებულია და 2. განივი არმატურის გაანგარიშება (შერჩევა) სიმტკიცის პირობით.

ამოცანა პირველი: მოცემულია ელემენტის საანგარიშო სქემა და ძალვები (M, Q სიდიდე) ეპიურებით, ბეტონისა და არმატურის სახეობა და სიმტკიცის მახასიათებლები, ელემენტის გეომეტრიული პარამეტრები; შერჩეულია გრძივი და განივი არმატურა, მოცემულია მათი განლაგება კვეთში და ელემენტის სიგრძეზე დაარმატურების ხერხის შესაბამისად.

უნდა ჩატარდეს საშიში დახრილი კვეთების შემოწმება სიმტკიცეზე განივი ძალის მიხედვით, ფორმულით

$$Q \leqslant Q_b + Q_{sw},$$

ანუ

$$Q \leqslant \frac{B}{c} + q_{sw} c.$$

ელემენტის სიგრძეზე ჯერ უნდა დადგინდეს დახრილი ბზარის სავარაუდო გახსნის ადგილი. ამისათვის მოწმდება პირობა

$$Q \leqslant \varphi_{b3}(1+\varphi_f) R_{bt} b h_0.$$

განსახილველი ელემენტის სიგრძის იმ მონაკვეთზე, სადაც ეს პირობა დაკმაყოფილებულია, დახრილი ბზარი არ წარმოიქმნება და არც სიმტკიცის პირობით დახრილი კვეთების გაანგარიშება არის საჭირო (უბანი 1—2, ნახ. VI.22). დახრილი ბზარების წარმოქმნა სავარაუდოა და განივი ძალის მიხედვით დახრილი კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცეზე საჭიროა ღუნვადი ელემენტის იმ უბანზე (უბანი 0—1, ნახ.VI.22), სადაც

$$Q > \varphi_{b3}(1+\varphi_f) R_{bt} b h_0.$$

საანგარიშო უბნისათვის განისაზღვრება განივი არმატურის ძალვების ინტენსივობა ფორმულით

$$q_{sw} = \frac{R_{sw} A_{sw}}{s},$$

რომელიც არ უნდა იყოს ნაკლები, ვიდრე $\frac{\varphi_{b3}(1+\varphi_f) R_{bt} b}{2}$. თუ ეს მოთხოვნა

არ სრულდება, უნდა შეიცვალოს განივი დაარმატურება—გაძლიერდეს განივი არმატურა.

როდესაც $\frac{R_{sw}A_{sw}}{s} \geqslant \frac{\varphi_{b3}(1+\varphi_f)\,R_{bt}b}{2}$, გაანგარიშება გრძელდება; განისაზღვრება საშიში დახრილი კვეთის პროექცია ელემენტის გრძივ ღერძზე, ფორმულით

$$c_0 = \sqrt{\frac{B}{q_{sw}}} = \sqrt{\frac{\varphi_{b2}(1+\varphi_f)\,R_{bt}bh_0^2}{q_{sw}}},$$

რომელიც მიიღება არანაკლები $\frac{\varphi_{b3}(1+\varphi_f)\,R_{bt}bh_0}{q_{sw}}$ სიდიდისა. c_0-ის მიხედვით გამოთვლილი უნდა იქნეს Q_b და Q_{sw} და მათი ჯამი. ამ გამოთვლებში მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული c_0-ის ფორმულის მართებულობის ფარგლები: განივი არმატურის ძალვა Q_{sw} იანგარიშება იმ c_0-ის მიხედვით, რომელიც არ აღემატება $2h_0$-ს, რადგან ღუნვადი ელემენტის საშიში დახრილი კვეთის იმ მონაკვეთზე განლაგებული განივი არმატურა, რომლის სიგრძე აღემატება $2h_0$-ს, დახრილი კვეთის სიმტკიცეზე გავლენას არ ახდენს, ხოლო, როდესაც $c_0 > a$, შეკუმშული ბეტონის ძალვა უნდა განისაზღვროს პირობით $c_0 = a$.

ბეტონისა და განივი არმატურის ძალვები იანგარიშება ფორმულებით:

როდესაც $c_0 > 2h_0$, მავრამ ნაკლებია $c_{\max} = \frac{\varphi_{b2}}{\varphi_{b3}}\,h_0$-ზე

$$Q_b = \frac{\varphi_{b2}(1+\varphi_f)\,R_{bt}bh_0^2}{c_0}$$

და

$$Q_{sw} = q_{sw}2h_0.$$

როდესაც $c_0 < 2h_0$,

$$Q_b = \frac{\varphi_{b2}(1+\varphi_f)\,R_{bt}bh_0^2}{c_0} \quad \text{და} \quad Q_{sw} = q_{sw}c_0,$$

როდესაც $a < c_0$, მაგრამ $c_0 < 2h_0$, $Q_b = \frac{\varphi_{b2}(1+\varphi_f)R_{bt}bh_0^2}{a}$ და $Q_{sw} = q_{sw}a$,

მაგრამ პირობით, რომ $a > h_0$.

განისაზღვრება რა Q_b და Q_{sw}, მოწმდება სიმტკიცის პირობა

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

როდესაც სიმტკიცის პირობა დარღვეულია, უნდა გაძლიერდეს განივი არმატურა, ან შეიცვალოს განივკვეთის გეომეტრიული პარამეტრები, ან გადიდდეს ბეტონის კლასი.

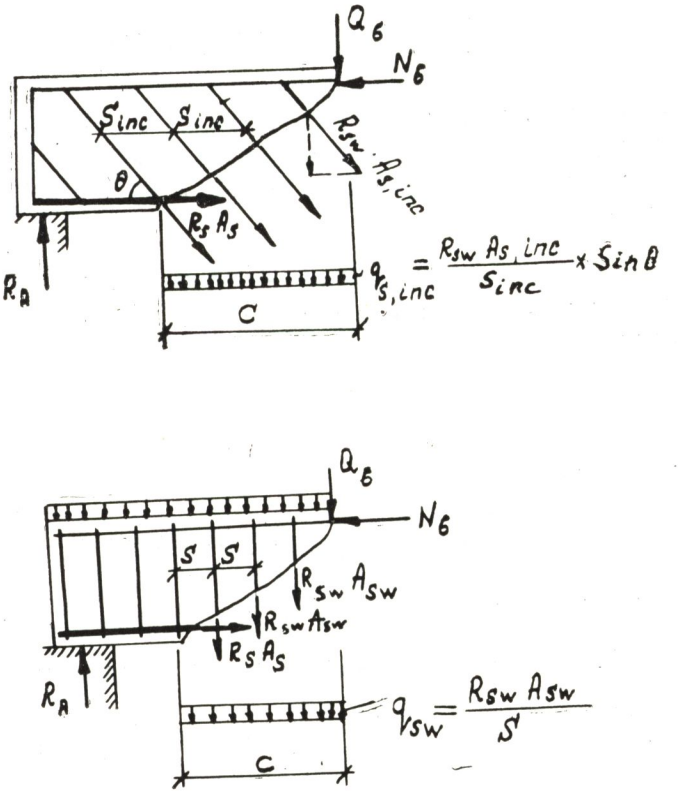
დახრილი ბზარების განვითარების უბანზე, გარდა დახრილი კვეთის შემოწმებისა სიმტკიცეზე განივი ძალის მიხედვით, უნდა ჩატარდეს დახრილ ბზართა შორის მოქცეული ბეტონის ზოლის შემოწმება სიმტკიცეზე განივი ძალის მიხედვით პირობით

$$Q \leqslant 0{,}3\,\varphi_{w1}\,\varphi_{b1}\,R_{bt}bh_0.$$

და როდესაც იგი დარღვეულია, უნდა გადიდდეს ელემენტის განივკვეთის ზომები, ან ბეტონის კლასი.

ამოცანა მეორე. განივი არმატურის გაანგარიშება დახრილი კვეთის სიმტკიცის პირობით განივი ძალის მიხედვით. საანგარიშო მონაცემები: ელემენტის საანგარიშო სქემა და საანგარიშო ძალვები (M, Q); ბეტონისა და არმატურის სახეობები და მათი სიმტკიცის მახასიათებლები; ელემენტის გეომეტრიული მახასიათებლები; ნორმალური კვეთის სიმტკიცის პირობით შერჩეული გრძივი მუშა არმატურის კვეთი და მისი განლაგება. ჯერ განისაზღვრება დახრილი ბზარების წარმოქმნის სავარაუდო უბანი ელემენტის სიგრძეზე — მოწმდება პირობა

$$Q \leqslant \varphi_{b3}\,(1+\varphi_f)\,R_{bt}\,bh_0.$$



ნახ. VI. 23. განივი და დახრილი არმატურის ძალვები დახრილი კვეთების გაანგარიშებისას სიმტკიცეზე.

ღუნვადი ელემენტის იმ უბანზე, სადაც $Q > \varphi_{b3}\,(1+\varphi_f)\,R_{bt}\,bh_0$, მოსალოდნელია დახრილი ბზარების განვითარება და საჭიროა დახრილი კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცის პირობით.

საანგარიშო მონაკვეთზე განისაზღვრება საშიში დახრილი კვეთის პროექცია c_0 პირობის თანახმად, რომ დახრილ კვეთში მინიმალური ზღვრული ჯამობრივი განივი ძალა შეკუმშული ზონის ბეტონისა და განივი არმატურის თანაბარი მონაწილეობით იქმნება და $Q_b = Q_{sw}$, ხოლო სიმტკიცის პირობიდან $Q \leqslant Q_b + Q_{sw}$—დავადგენთ, რომ

$Q_b = \frac{Q}{2}$. მაშინ ფორმულიდან $Q_b = \frac{B}{c} = \frac{\varphi_{b2}(1+\varphi_f) R_{bt} b h_0^2}{c_0}$, $Q_b = \frac{Q}{2}$ სიდიდის ჩასმის შემდეგ გამოითვლება ყველაზე საშიში დახრილი კვეთის პროექციის მნიშვნელობა ელემენტის გრძივ ღერძზე

$$c_0 = \frac{\varphi_{b2}(1+\varphi_f) R_{bt} b h_0^2}{0{,}5\, Q}.$$

c_0-ის გამოთვლილი მნიშვნელობის მიხედვით, $h_0 \div 2h_0$-ის საზღვრებში, დახრილი კვეთის პროექციის გარკვეული სიდიდის განსახილველი უბნისათვის გამოითვლება შეკუმშული ზონის ბეტონის ზღვრული განივი ძალა

$$Q_b = \frac{B}{c} = \frac{\varphi_{b2}(1+\varphi_f) R_{bt} b h_0^2}{c}.$$

თუ $Q \leqslant Q_b$, განივი არმატურა გაანგარიშებით საჭირო არ არის, იგი შეიძლება მოეწყოს კონსტრუქციული მოსაზრებებით. როდესაც $Q > Q_b$, განივი არმატურა გაანგარიშებით საჭიროა. მაშინ სიმტკიცის პირობიდან ($Q \leqslant Q_b + Q_{sw}$) გამოითვლება განივი არმატურის ძალა

$$Q_{sw} = Q - Q_b$$

და განისაზღვრება განივი არმატურის ძალვის დაყვანილი სიდიდე ღუნვადი ელემენტის სიგრძის ერთეულისათვის (q_{sw}) ფორმულით

$$q_{sw} = \frac{Q_{sw}}{c} = \frac{Q - Q_b}{c}.$$

მოწმდება პირობა

$$q_{sw} \geqslant q_{sw,\min} = \frac{\varphi_{b3}(1+\varphi_f) R_{bt} b}{2}.$$

(q_{sw} მიიღება არანაკლები $q_{sw,\min}$-ისა). q_{sw}-ს საჭირო მნიშვნელობის შესაბამისად, ფორმულიდან $q_{sw} = \frac{R_{sw} A_{sw}}{s}$, განისაზღვრება განივი არმატურის საჭირო განივკვეთის A_{sw} ფართობი, თუ დავუშვებთ ბიჯის s სიდიდეს, ან განისაზღვრება განივი არმატურის ბიჯი, თუ დავუშვებთ A_{sw}-ს: პირველ შემთხვევაში

$$A_{sw} = \frac{q_{sw} s}{R_{sw}}$$

და დაინიშნება განივი ღეროების დიამეტრი და ტოტების რაოდენობა ელემენტის კვეთში;

იმ შემთხვევაში, თუ დავუშვებთ განივი არმატურის კვეთს, განისაზღვრება ბიჯი

$$s = \frac{R_{sw} A_{sw}}{q_{sw}}$$

და დაინიშნება საკიდების ბიჯი კონსტრუქციული მოსაზრებების გათვალისწინებით, მაგრამ ყველა შემთხვევაში არაუმეტეს საანგარიშო სიდიდისა და s_{max}-ისა (ფორმუ-

ლა VI.86). s_{max} განსაზღვრულია შემდეგი მოსაზრებით: გაანგარიშებით საჭირო განივი არმატურის ბიჯი უნდა დაინიშნოს ისე, რომ ბიჯის ფარგლებში დახრილი ბზარის წარმოქმნის შემდეგ განივი ძალის ატანა შეეძლოს შეკუმშული ზონის ბეტონს, ე. ი. პირობით, რომ $Q=Q_b$; მაშინ

$$Q=Q_b=\frac{B}{c}=\frac{B}{s_{max}},$$

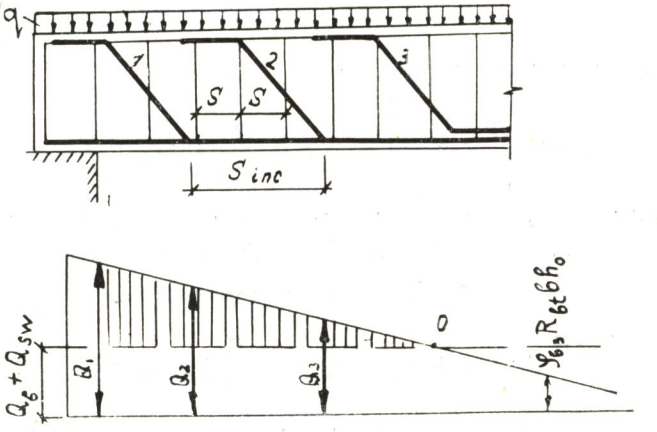
საიდანაც

$$s_{max}=\frac{0{,}75\,\varphi_{b2}(1+\varphi_f)\,R_{bt}bh_0^2}{Q};$$

აქ 0,75 ითვალისწინებს უზუსტობას განივი არმატურის განლაგებაში.

დახრილი კვეთის სიმტკიცის პირობით საჭირო განივი არმატურა განლაგდება საყრდენიდან მალის მეოთხედამდე მაინც.

ელემენტის იმ უბანზე, სადაც განივი არმატურა გაანგარიშებით საჭირო არ არის, s ბიჯი მიიღება არაუმეტეს $3/4h$-ისა და 50 სმ-ის.



ნახ. VI.24. კომბინირებული დაარმატურება დახრილი კვეთების სიმტკიცისათვის.

ბ) დახრილი კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცეზე განივი ძალის მიხედვით განივი და დახრილი არმატურის გამოყენებისას: დახრილი კვეთების კომბინირებული დაარმატურება სამშენებლო კონსტრუქციებში ჩვეულებრივ ეწყობა განივი და იშვიათად განლაგებული დახრილი არმატურით, როდესაც მათი ბიჯი ელემენტის გრძივი ღერძის მიმართულებით $s_{inc} \geqslant \frac{h_0}{2}$ (ნახ. VI.24).

დახრილი კვეთის სიმტკიცის პირობა განივი ძალის მიხედვით კომბინირებული დაარმატურების შემთხვევაში

$$Q \leqslant Q_b+Q_{sw}+Q_{s,\,inc}.$$

გამოვსახოთ განივი არმატურის ძალვის ინტენსივობა $q_s = \frac{R_{sw}A_{sw}}{s}$, აღუნული არმატურის ძალვის ინტენსივობა

$$q_{s,\text{inc}} = \frac{R_{sw}A_{s,\text{inc}}}{s_{\text{inc}}} \sin\theta.$$

განივი არმატურის ძალვა

$$Q_{sw} = \sum R_{sw}A_{sw} = q_{sw}c;$$

დახრილი არმატურის ძალვის შემდგენი ელემენტის გრძივი ღერძის ნორმალზე

$$Q_{s,\text{inc}} = \sum R_{sw}A_{s,\text{inc}} \sin\theta = q_{s,\text{inc}}\, c, \qquad \text{(VI.96)}$$

სადაც c არის განსახილველი დახრილი კვეთის პროექცია ელემენტის გრძივ ღერძზე.

აღნიშვნის მიხედვით — $B = \varphi_{b2}(1+\varphi_f) R_{bt} b h_0^2$ — ბზარიანი კვეთის შეკუმშული ბეტონის ზღვრული განივი ძალა

$$Q_b = \frac{\varphi_{b2}(1+\varphi_f)R_{bt}bh_0^2}{c} = \frac{B}{c}$$

და სიმტკიცის პირობა მიიღებს სახეს

$$Q \leqslant \frac{B}{c} + q_{sw}c + q_{s,\text{inc}}\, c = \frac{B}{c} + (q_{sw} + q_{s,\text{inc}})\, c. \qquad \text{(VI.97)}$$

საშიში დახრილი კვეთის c_0 პროექციის დასადგენად შეკუმშული ბეტონისა და ბზარის გადაკვეთაზე განლაგებული არმატურის ძალვების ჯამის გამოსახულების პირველი წარმოებული c-თი გავუტოლოთ ნულს.

$$\frac{d}{dc}\left(\frac{B}{c} + q_{sw}c + q_{s,\text{inc}}\, c\right) = -\frac{B}{c^2} + q_{sw} + q_{s,\text{inc}} = 0. \qquad \text{(VI.98)}$$

აქედან საშიში დახრილი კვეთის პროექცია ელემენტის გრძივ ღერძზე იანგარიშება ფორმულით

$$c_0 = \sqrt{\frac{B}{q_{sw}+q_{s,\text{inc}}}} = \sqrt{\frac{\varphi_{b2}(1+\varphi_f)\, R_{bt}bh_0^2}{q_{sw}+q_{s,\text{inc}}}}.$$

დაკმაყოფილებული უნდა იყოს პირობა

$$c_0 \geqslant \frac{\varphi_{b3}(1+\varphi_f)\, R_{bt}bh_0}{q_{sw}+q_{s,\text{inc}}}. \qquad \text{(VI.99)}$$

c_0-ის მიხედვით განისაზღვრება Q_b, Q_{sw}, $Q_{s,\text{inc}}$. მივიღებთ, რომ ყველაზე საშიშ დახრილ კვეთში

$$Q_b = Q_{sw} + Q_{s,\text{inc}}, \qquad \text{(VI.100)}$$

მაშასადამე, დახრილი კვეთის სიმტკიცეს თანაბარწილად უზრუნველყოფს შეკუმშული ბეტონი და დახრილი ბზარის გადამკვეთი არმატურა — განივი და დახრილი.

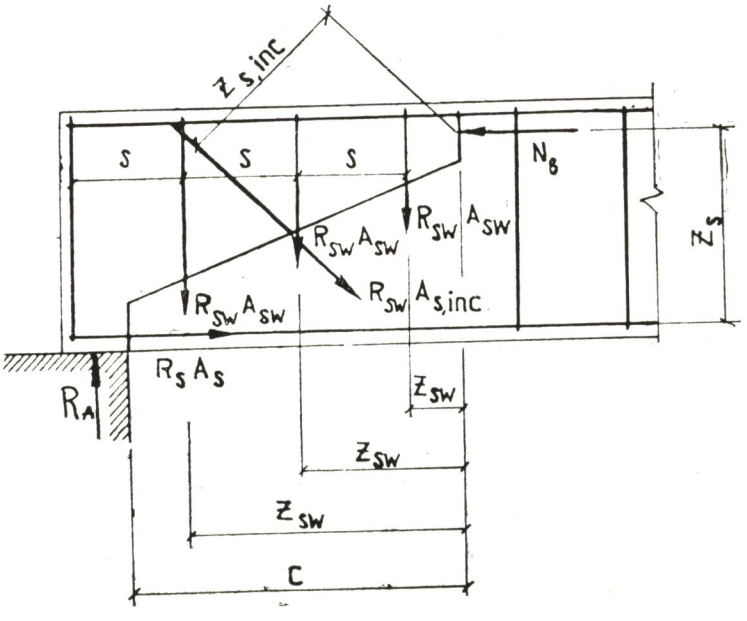
საკიდებისა და განივი არმატურის ძალები მხედველობაში მიიღება დახრილი კვეთის პრექციის მხოლოდ იმ მონაკვეთზე, რომლის სიგრძე არ აღემატება $2h_0$, ე. ი. მონაკვეთზე $c_0 \leqslant 2h_0$.

დახრილი კვეთის სიმტკიცის უზრუნველსაყოფად განივი და დახრილი არმატურის გამოყენებისას, ისევე როგორც წინა (ა) შემთხვევაში (დახრილი არმატურის გარეშე) განივი ძალების მიხედვით გაანგარიშება გვესახება ორგვარი ამოცანით: დახრილი კვეთების შემოწმება სიმტკიცეზე და განივი არმატურის გაანგარიშება. ეს უკანასკნელი, ჩვეულებრივ, წყდება როგორც დახრილი არმატურის კვეთის შერჩევა სიმტკიცის პირობით, როდესაც განივი არმატურის კვეთი და ბიჯი დანიშნულია კონსტრუქციული მოსაზრებებით.

4. 6. დახრილი კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცეზე მღუნავი მომენტის მიხედვით

რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტების გრძივი ღერძისადმი დახრილი კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცეზე მღუნავი მომენტების მიხედვით წარმოებს დახრილი კვეთის დაძაბული მდგომარეობის VI.25 ნახაზზე მოცემული საანგარიშო სქემის შესაბამისად, პირობით

$$M = \sum R_s A_s z_s + \sum R_{sw} A_{sw} z_{sw} + \sum R_{sw} A_{s.\,inc} z_{s.\,inc}. \qquad \text{(VI.101)}$$



ნახ. VI. 25. დახრილი კვეთის ძალვების სქემა სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას მღუნავი მომენტის მოქმედებაზე.

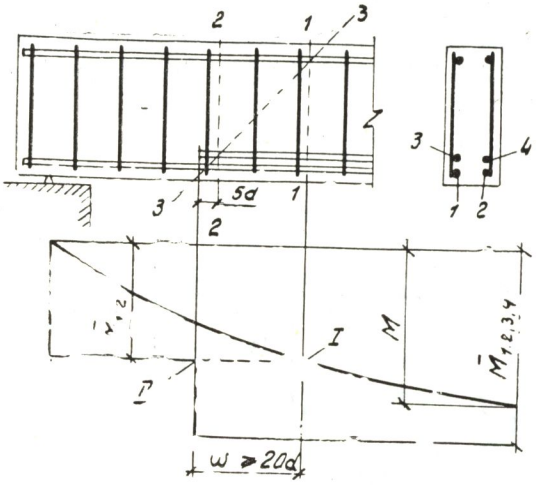
საყრდენის ზონაში შემოწმებისას, როდესაც გრძივი მუშა არმატურა გამოყენებულია ანკერების გარეშე, არმატურის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე მიიღება დაქვეითებული — ითვალისწინებენ მუშაობის პირობების γ_{s5} კოეფიციენტს 24-ე ცხრილიდან СНиП 2. 03. 01—84, რომელზედაც მრავლდება R_s.

დახრილი კვეთის შეკუმშული ზონის x სიმაღლე იზომება ელემენტების ღერძის ნორმალზე და იანგარიშება წონასწორობის პირობით (რომ დახრილ კვეთში ყველა ძალის გეგმილების ჯამი ელემენტის გრძივ ღერძზე ნულის ტოლია):

$$R_b A_b = R_s A_s - R_{sc} A'_s + R_{sw} A_{s,\,\text{inc}} \cos\theta, \qquad \text{(VI.102)}$$

სადაც A_b არის შეკუმშული ზონის ბეტონის ფართობი; მოცემული განივკვეთის ფორმის ელემენტისათვის იგი გამოისახება x-ის მეშვეობით.

დახრილი კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცეზე მღუნავი მომენტის მიხედვით საჭიროა გრძივი მუშა არმატურის შეწყვეტის ან აღუნვის ადგილას, კოჭების საყრდენების ზონაში და კონსოლების თავისუფალ ბოლოზე, გარდა ამისა, ღუნვადი ელემენტის სიგრძეზე განივკვეთის ფორმის მკვეთრი ცვლილების (მაგალითად, შეჭრის) ადგილას. მღუნავი მომენტის მიხედვით დახრილი კვეთის სიმტკიცეზე გაანგარიშების შედეგად მიღებულია გრძივი მუშა არმატურის თეორიული და პრაქტიკული წყვეტის ადგილებს შორის W მანძილის საანგარიშო ფორმულები:



ნახ. VI. 26. გრძივი არმატურის წყვეტის ადგილის განსაზღვრისათვის: 1—1. თეორიული წყვეტის კვეთი; 2—2. პრაქტიკული წყვეტის კვეთი; 3—3. საანგარიშო დახრილი კვეთი მღუნავი მომენტის მიხედვით გაანგარიშებისათვის.

$$W = \frac{Q - R_{sw} A_{s,\,\text{inc}} \sin\theta}{2q_{sw}} + 5d \qquad \text{(VI.103)}$$

აღუნული არმატურის გამოყენებისას;

$$W = \frac{Q}{2q_{sw}} + 5d \qquad \text{(VI.104)}$$

აღუნვის გარეშე დაარმატურებისას;

სადაც Q არის გრძივი მუშა არმატურის თეორიული წყვეტის კვეთში მოქმედი საანგარიშო განივი ძალის სიდიდე;

q_{sw}—საკიდების ზღვრული ძალის ინტენსივობა ელემენტის სიგრძის ერთეულზე გრძივი მუშა არმატურის თეორიული და პრაქტიკული წყვეტის კვეთებს შორის მოქცეულ (w) უბანზე: q_{sw} იანგარიშება ფორმულით $q_{sw} = \frac{R_{sw} A_{sw}}{s}$.

d —შეწყვეტილი გრძივი ღეროს დიამეტრი.

გრძივი მუშა არმატურის თეორიული წყვეტის ადგილი შეესაბამება კოჭის იმ კვეთს, სადაც საანგარიშო მღუნავი მომენტის სიდიდის ტოლია ღეროების შეწყვეტის შემდეგ კვეთში დარჩენილი გრძივი მუშა არმატურის მიხედვით დადგენილი ზღვრული მომენტი (ნახ. VI. 26) — მომენტი, რომლის ატანაც შეუძლია მოცემულ კვეთს.

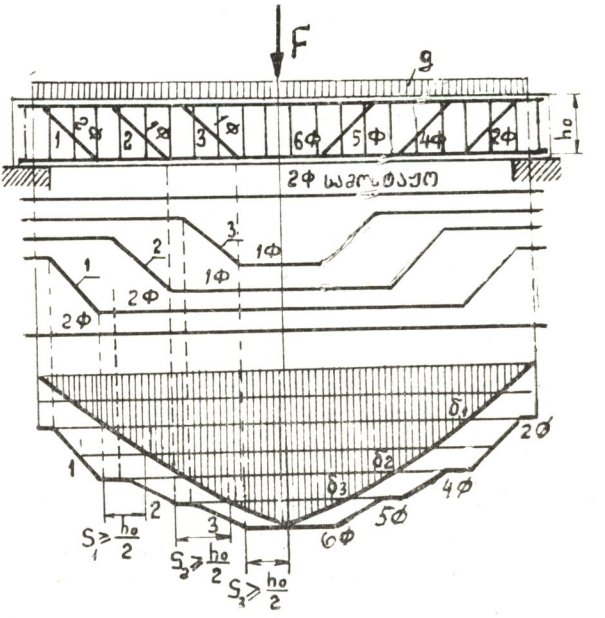
5. მასალის ეპიურა (არმატურის ეპიურა)

გრძივი მუშა არმატურის კვეთი ღუნვად ელემენტებში შეირჩევა ერთნაირად მღუნავი მომენტების ეპიურის ყოველ უბანზე, უდიდესი მღუნავი მომენტის მიხედვით, ნორმალური კვეთის სიმტკიცის პირობით. უდიდესი მღუნავი მომენტების მოქმედების კვეთებს შორის, ელემენტის გასწვრივ გრძივი მუშა არმატურის კვეთს ცვლიან ფოლადის ეკონომიური ხარჯვის მიზნით, მაგრამ ეს ცვალებადობა მნიშვნელოვან კონსტრუქციულ გართულებებს არ უნდა იწვევდეს. გრძივი მუშა არმატურის კვეთის ცვლა ხორციელდება ღეროების ნაწილის შეწყვეტის ან აღუნვის გზით; აღუნვით აღწევენ როგორც დახრილი კვეთების განმტკიცებას, აგრეთვე მუშა არმატურის გადაყვანას ერთი გაჭიმული ზონიდან მეორეში, მათი ეკონომიურად გამოყენების მიზნით ნორმალური კვეთების სიმტკიცის პირობით (მაგალითად, უჭრი კოჭის მალიდან შუალედ საყრდენებზე აღუნვა).

ღუნვადი ელემენტების სიგრძეზე გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა არმატურის კვეთის ცვალებადობისას (აღუნვის ან შეწყვეტის გზით) აგებენ მასალის ეპიურას — ზღვრული მომენტების ეპიურას — საანგარიშო მღუნავი მომენტების ეპიურასთან ერთად. ზღვრული მომენტების სიდიდე განისაზღვრება გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა არმატურის იმ კვეთის შესაბამისად, რომელიც განლაგებულია ელემენტის გარკვეულ უბანზე, ფორმულით

$$\overline{M} = R_s A_s z. \qquad \text{(VI.105)}$$

ერთი და იგივე ნულოვანი ხაზიდან, ერთი და იგივე მასშტაბით იგება საანგარიშო მღუნავი მომენტებისა და მასალის ეპიურა; სიმტკიცის პირობა ნორმალური კვეთებისათვის $M < \overline{M}$ მოწმდება გრაფიკულად.



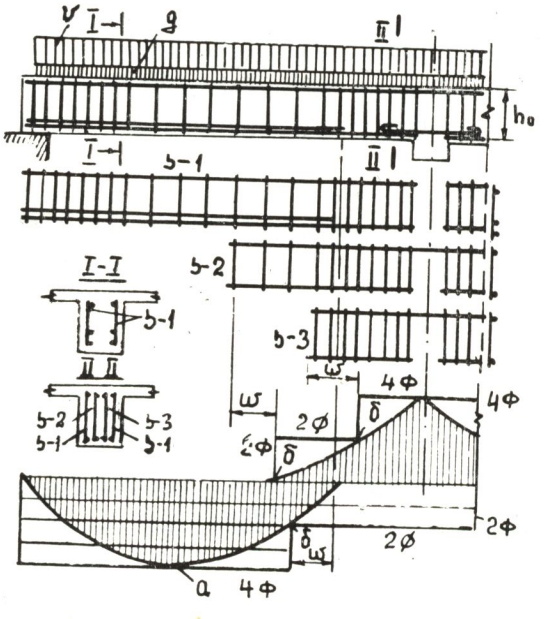
ნახ. VI. 27. მასალის ეპიურა ცალკეული ღეროებით დაარმატურებული კოჭისათვის.

VI. 27 და VI. 28 ნახაზებზე შესაბამისად გამოსახულია მასალის ეპიურები ცალკეული ღეროებით და შედუღებული კარკასებით დაარმატურებული ელემენტებისათვის.

აღუნვის ფარგლებში მასალის ეპიურის ორდინატები იცვლება თანდათან, წრფივად და ეპიურაზე გამოისახება დახრილი 1, 2, 3 ხაზებით. გრძივი მუშა არმატურიდან ღეროების აღუნვა შეიძლება იწყებოდეს არანაკლები მუშა სი-

მაღლის ნახევრის ტოლ ($h_0/2$) მანძილზე იმ კვეთიდან, სადაც ეს ღეროები სიმტკიცეზე გაანგარიშებით საჭიროა (ნახ. VI.27).

ღეროების წყვეტის ადგილას მასალის ეპიურაზე (ნახ. VI.28) ჩნდება საფეხურები — ზღვრული მომენტის სიდიდე მკვეთრად იცვლება არმატურის ფართობის მკვეთრი ცვლილების გამო. არმატურის თეორიული წყვეტის ადგილას საანგარიშო მღუნავი მომენტი ტოლია ზღვრულის — იმ მომენტის, რომლის ატანაც შეუძლია კვეთს ღეროების ნაწილის შეწყვეტის შემდეგ; ღეროების თეორიული წყვეტის ადგილიდან მათი პრაქტიკული წყვეტის ადგილამდე მდებარეობს ჩამაგრების ზონა, რომლის სიგრძე—W მანძილი—იანგარიშება ფორმულით:



ნახ. VI. 28. მასალის ეპიურა შენადუღი კარკასებით დაარმატურებული კოჭისათვის. გრძივი მუშა არმატურის თეორიული წყვეტის ადგილები.

განივი და აღუნული არმატურის გამოყენებისას

$$W = \frac{Q - Q_{inc}}{2q_{sw}} + 5d,$$

ან აღუნვის გარეშე

$$W = \frac{Q}{2q_{sw}} + 5d,$$

და მიიღება არანაკლები $20d$.

მასალის ეპიურის აგებით მოწმდება: ნორმალური კვეთების სიმტკიცის პირობა ელემენტის სიგრძეზე ყოველი კვეთისთვის, გრძივი მუშა არმატურის აღუნვის ან შეწყვეტის ადგილის მიზანშეწონილობა სიმტკიცის პირობით და არმატურისათვის ფოლადის ხარჯვის ეკონომიურობა.

მასალის ეპიურის შეჭრა საანგარიშო მღუნავი მომენტების ეპიურის ფარგლებში გვიჩვენებს, რომ დარღვეულია სიმტკიცის პირობა და საჭიროა მოისპოს გამომწვევი მიზეზი — შეიცვალოს ღეროს შეწყვეტის ან აღუნვის ადგილი.

არმატურის ფოლადის ხარჯი მით უფრო ეკონომიურია, რაც უფრო ახლოა მასალის ეპიურა საანგარიშო მღუნავი მომენტების ეპიურასთან.

§ 3. შეკუმშული ელემენტები

1. საერთო ცნობები

რკინაბეტონის კუმშვაზე მომუშავე ელემენტებიდან აღსანიშნავია სვეტები, ჩარჩოების დგარები, წამწეების სარტყლები, გისოსის ელემენტები და სხვ. ყველაზე გავრცელებული და პასუხსაგები შეკუმშული ელემენტებია სვეტები.

საანგარიშო დატვირთვებით გამოწვეული ძალვების მიხედვით განასხვავებენ კუმშვას კვეთის ცენტრზე მოდებული ძალით, ე. წ. ცენტრალურ კუმშვას, და ცენტრის გარეთ მოქმედი ძალით — არაცენტრალური კუმშვას. არაცენტრალურ კუმშვას მიეკუთვნება დეფორმაცია მღუნავი მომენტებისა და გრძივი ძალის ერთობლივი მოქმედებისას.

რკინაბეტონის შეკუმშული ელემენტების ფაქტობრივი ზომების გადახრა პროექტით მიღებულისაგან, რკინაბეტონის არაერთგვაროვნება და სხვა მიზეზები განაპირობებს შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტის განვითარებას, რაც იწვევს მისი გათვალისწინების აუცილებლობას შეკუმშული ელემენტების ზიდვის უნარის მიხედვით გაანგარიშებებში.

შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტის e_a სიდიდე მიიღება

$$e_a \geqslant \frac{l}{600}; \quad \frac{h}{30}, \tag{VI.106}$$

სადაც l არის ელემენტის სიგრძე ან იმ კვეთებს შორის მანძილი, სადაც განხორციელებულია გადაადგილების საწინააღმდეგო გამაგრება;

h—კვეთის სიმაღლე.

სტატიკურად რკვევად სისტემებში e_0 ექსცენტრისიტეტი წარმოადგენს ჯამს შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტისა კონსტრუქციის სტატიკური გაანგარიშების მიხედვით დადგენილ ექსცენტრისიტეტთან.

$$e_0 = \frac{M}{N} + e_a. \tag{VI.107}$$

სტატიკურად ურკვევ სისტემებში გრძივი ძალის ექსცენტრისიტეტი ტოლია სტატიკური გაანგარიშების მიხედვით გამოთვლილი სიდიდისა $e_0 = \frac{M}{N}$-ის, მაგრამ მიიღება არანაკლები შემთხვევითი e_a ექსცენტრისიტეტისა.

მხოლოდ შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტის პირობებში მომუშავე შეკუმშული ელემენტების განივკვეთის ფორმა ხელსაყრელია კვადრატული, წრიული, მრავალკუთხა მთავარი ღერძების მიმართ თანაბარი ინერციის მომენტების მისაღწევად. ეს მოთხოვნა შეესაბამება ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების მდგრადობის პირობებს.

ხელსაყრელია არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების განივკვეთის ფორმა: მართკუთხა, ორტესებრი და სხვ.

რკინაბეტონის შეკუმშული ელემენტების დაარმატურება ხდება გრძივი და განივი არმატურით. დაარმატურების საერთო წესების თანახმად იყენებენ ცალკეული ღეროებით (შეკრული კარკასებით) და შედუღებული კარკასებით დაარმატურების ხერხს.

დაარმატურება წარმოებს სიმტკიცეზე გაანგარიშების შესაბამისად. ზიდვის უნარი შეკუმშულ ბეტონთან ერთად იქმნება გრძივი მუშა არმატურის მეშვეობით და ზოგ შემთხვევაში განივი არმატურის წინაღობითაც. განასხვავებენ ორგვარ კონსტრუქციულ გადაწყვეტას: 1. დაარმატურებას გრძივი მუშა არმატურით და ჩვეულებრივი განივი არმატურით და 2. დაარმატურებას გრძივი და განივი მუშა არმატურით (ე. წ. არაპირდაპირი დაარმატურება), როდესაც განივი არმატურა წარმოადგენს გრძივ არმატურაზე დახვეულ სპირალს ან უწყვეტ რგოლებს ან ბადეებს (ნახ. VI.29), რომლებსაც შესწევთ უნარი ბეტონის განივი გაფართოებისადმი წინაღობის.

რკინაბეტონის შეკუმშულ ელემენტებში განსაკუთრებული ადგილი უკავია სვეტებს. სვეტების გრძივი მუშა არმატურის დიამეტრი არ მიიღება 12 მმ-ზე ნაკლები. მართკუთხა პროფილის სვეტებისათვის გრძივ ღეროთა რაოდენობა არ უნდა იყოს ოთხ ცალზე ნაკლები. გრძივ ღეროთა მდგრადობის პირობით ინიშნება ჩვეულებრივი განივი არმატურის ბიჯი $s \leqslant 15d$ ცალკეული ღეროებით და $s \leqslant 20d$ შედუღებული კარკასებით დაარმატურების შემთხვევაში, მაგრამ ყოველთვის არაუმეტეს 50 სმ-ისა (აქ d გრძივი მუშა არმატურის დიამეტრი იგულისხმება). კონსტრუქციული განივი არმატურის დიამეტრი ინიშნება არანაკლები d/3 — შედუღებული და d/4 — შეკრული კარკასებისათვის.

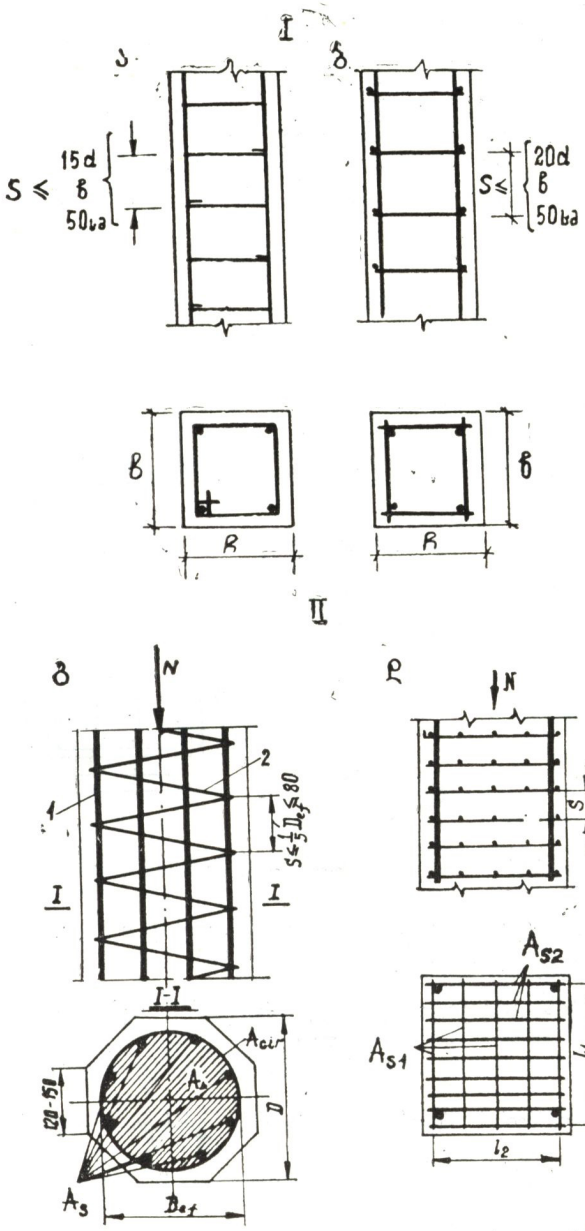
მძიმედ დატვირთული სვეტებისათვის იყენებენ მაღალი კლასის ბეტონებს.

როდესაც საჭიროა სვეტის ზიდვის უნარის გადიდება ელემენტის განივკვეთის ზომების გაუდიდებლად, მიმართავენ არაპირდაპირ დაარმატურებას — გრძივ არმატურასთან ერთად ბეტონის გასაძლიერებლად იყენებენ მუშა განივ არმატურასაც სპირალების, რგოლების ან შედუღებული ბადეების სახით, რომელთაც ძალუძთ წინააღმდეგობა გაუწიონ შეკუმშული ელემენტის ბეტონის განივ გაფართოებას. არაპირდაპირი დაარმატურება მიუღებელია მოქნილი სვეტებისათვის, კერძოდ, როდესაც $l_0/i_{ef} > 55$—ბადეებით დაარმატურებისას და $l_0/i_{ef} > 35$—სპირალური განივი არმატურით დაარმატურებისას. აქ i_{ef} არის კვეთის იმ ნაწილის ინერციის რადიუსი, რომელიც გაანგარიშებით ითვლება მუშა ნაწილად (კვეთის ბირთვი—ფართობი მოქცეული გრძივი მუშა არმატურის არეში, გარსშემოვლებული განივი არმატურით).

არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების განივი კვეთი, როდესაც მკუმშავი ძალა მოქმედებს კვეთის სიმეტრიის ღერძზე გამავალ სიბრტყეში, უნდა განვითარდეს მომენტის მოქმედების სიბრტყეში: კვეთის დიდი გვერდებით (კვეთის სიმაღლე) მღუნავი მომენტის მოქმედების სიბრტყის გასწვრივ, კვეთის მცირე გვერდებით (სიგანე) — ამ სიბრტყის მართობულად.

ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტის კვეთში გრძივ მუშა არმატურას განალაგებენ პერიმეტრზე თანაბრად, არაცენტრალურად შეკუმშულ ელემენ-

ტებში, როდესაც მკუმშავი ძალა მოქმედებს კვეთის სიმეტრიის ღერძზე გამავალ სიბრტყეში — ამ სიბრტყის მართობულ წახნაგებთან (კვეთის მოკლე გვერდებზე). დაარმატურება ეწყობა სიმეტრიულად ან არასიმეტრიულად.



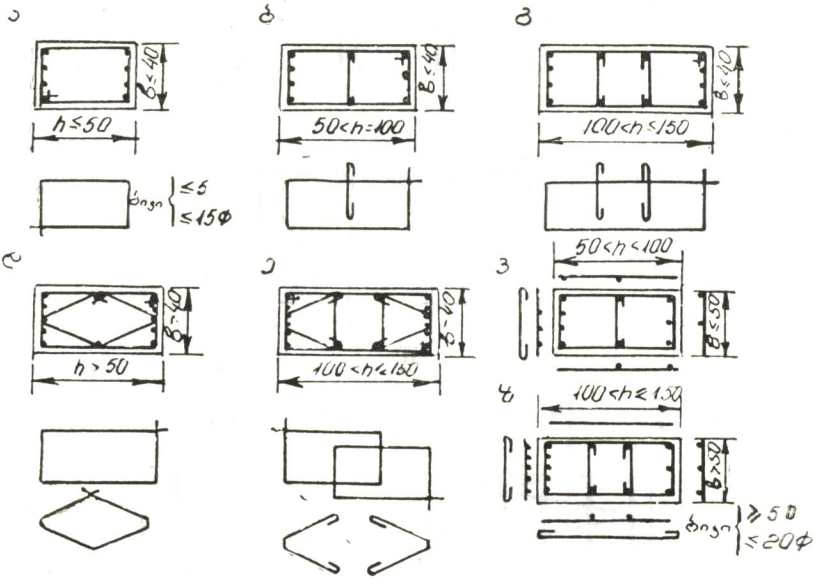
ნახ. VI.29. შეკუმშული ელემენტების დაარმატურების კონსტრუქციული სქემები: I—დაარმატურება გრძივი მუშა არმატურით და ჩვეულებრივი განივი არმატურით; II—არაპირდაპირი დაარმატურება; ა—ცალკეული ღეროებით დაარმატურება; ბ—შედუღებული კარკასებით დაარმატურება; გ—სპირალური განივი არმატურის გამოყენების შემთხვევა; დ—შედუღებული ბადეები არაპირდაპირი დაარმატურებისას; 1—გრძივი მუშა არმატურა; 2—განივი არმატურა.

საბჭოთა ბორბალი
MSHENEBLOBA.INFO

იყენებენ დაარმატურების ორივე წესს — ცალკეული ღეროებით და შენადული კარკასებით შეიარაღებას. VI.30 ნახაზზე მოცემულია არმატურის განლაგება კვეთში.

კვეთში გრძივ ღეროებს შორის მანძილი მიიღება არანაკლებ 5 სმ-ისა და არაუმეტეს 40 სმ-ის. ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტებისათვის არმატურის შემცველობა კვეთში მიიღება არანაკლებ 0,3%-ისა — მოკლე და 0,4%-ისა — მოქნილი ელემენტებისათვის.

არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტებისათვის კვეთის როგორც შეკუმშულ, ასევე გაჭიმულ კიდეზე განლაგებული გრძივი არმატურის ფართობი ჩვეულებრივ ინიშნება მუშა კვეთის ფართობის არანაკლებ 0,2%-ისა.



ნახ. VI.30. არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების კვეთების დაარმატურება.

შეკუმშული ელემენტების კვეთში არმატურის შემცველობა 3%-ზე მეტი ხელსაყრელი არ არის. ხელსაყრელია $\mu = 1—2\%$.

დაარმატურების კოეფიციენტი ცენტრალური კუმშვისას

$$\mu = \frac{\sum A_s}{A}; \qquad \text{(VI.108)}$$

არაცენტრალური კუმშვისას შეკუმშული ზონის გრძივი არმატურის შემცველობა $\mu' = \frac{A'_s}{A}$, ხოლო გაჭიმული ზონის არმატურისა — $\mu = \frac{A_s}{A}$.

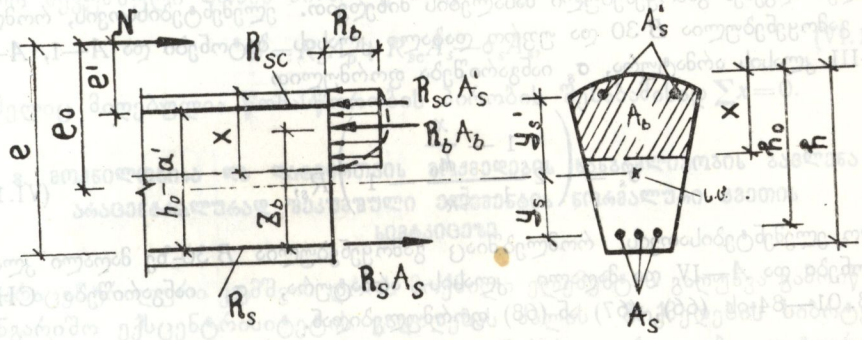
2. არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების გაანგარიშება სიმტკიცეზე

როდესაც გრძივი ძალა მოქმედებს კვეთის სიმეტრიის ღერძზე გამავალ სიბრტყეში და გრძივი არმატურა განლაგებულია კვეთის მოკლე გვერდებზე, გაანგარიშება სიმტკიცეზე წარმოებს კვეთის დაძაბული მდგომარეობის—ξ და ξ_R სიდიდეთა

თანაფარდობის—მიხედვით, შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტისა და მოქნილი ელემენტების შესაძლო გაღუნვის გათვალისწინებით.

განასხვავებენ გაანგარიშების ორ შემთხვევას: I. $\xi \leqslant \xi_R$—დიდი ექსცენტრისიტეტის შემთხვევა და II. $\xi > \xi_R$—მცირე ექსცენტრისიტეტის შემთხვევა.

I. $\xi < \xi_R$—დიდი ექსცენტრისიტეტის შემთხვევა. VI.31 ნახაზზე მოცემულია დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა. მანძილი მკუმშავი N ძალიდან კვეთის უშორეს კიდეზე განლაგებული S გრძივი არმატურის სიმძიმის ცენტრამდე $e=e_0+y_s$.



ნახ. VI.31. ნებისმიერი სიმეტრიული პროფილის არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური კვეთის ძალვების სქემა და ძაბვების ეპიურა სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას, დიდი ექსცენტრისიტეტის შემთხვევაში.

დიდი ექსცენტრისიტეტის შემთხვევაში, როდესაც ძალაშია პირობა $\xi \leqslant \xi_R$, კვეთის ნაწილი მკუმშავი ძალიდან უშორეს წახნაგთან გაჭიმულია, ხოლო ნაწილი N ძალიდან უახლოეს წახნაგთან—შეკუმშული. შეკუმშული ზონის ბეტონის ფარგლებში განლაგებული S' გრძივი არმატურის ძაბვები საანგარიშო R_{sc} წინაღობის ტოლია, ბეტონის მკუმშავი ნორმალური ძაბვების სიდიდე კი ტოლია საანგარიშო R_b წინაღობისა ღერძული კუმშვის დროს; გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა S არმატურის ძაბვები ტოლია საანგარიშო R_s წინაღობისა, ხოლო გაჭიმული ზონის გაბზარული ბეტონის წინაღობა მხედველობაში არ მიიღება, ითვლება, რომ ნეიტრალურ ღერძამდე კვეთი გაბზარულია და ბეტონი მუშაობიდან გამორთულია.

წონასწორობის პირველი პირობის თანახმად, პირობით, რომ კვეთზე მოქმედი ძალების გეგმილების ჯამი ელემენტის გრძივ ღერძზე ნულის ტოლია, მივიღებთ

$$N=R_bA_b+R_{sc}A'_s-R_sA_s, \qquad \text{(VI.109)}$$

საიდანაც განისაზღვრება შეკუმშული ზონის სიმაღლე მოცემული კონკრეტული კვეთისთვის.

წონასწორობის მეორე პირობის თანახმად, პირობით, რომ კვეთზე მოქმედი ძალების მომენტების ჯამი გაჭიმული არმატურის კვეთის სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ღერძის მიმართ ნულის ტოლია, მივიღებთ სიმტკიცის ფორმულას

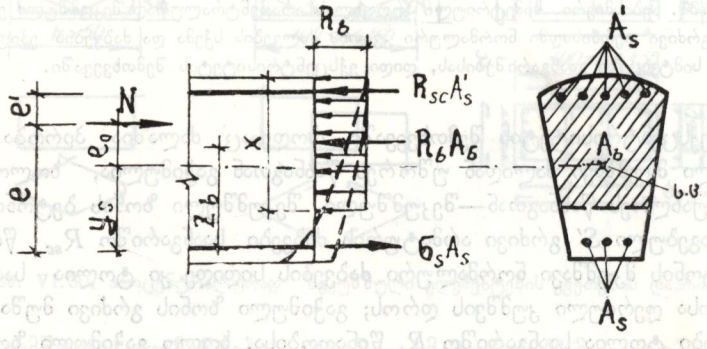
$$Ne \leqslant R_b A_b z_b + R_{sc} A'_s (h_0 - a'). \qquad \text{(VI.110)}$$

II. $\xi > \xi_R$—მცირე ექსცენტრისიტეტის შემთხვევა. VI.32 ნახაზზე მოცემულია კვეთის დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა. ამ დროს $e = e_0 + y_s$.

მცირე ექსცენტრისიტეტის პირობებში არაცენტრალური კუმშვისას შეკუმშულია კვეთის უდიდესი ნაწილი ან მთელი კვეთი. მკუმშავი N ძალიდან უშორესი კიდე შეიძლება იყოს გაჭიმული ან შეკუმშული, მაგრამ ივი ნაკლებ დაძაბულია, ვიდრე უახლოესი კიდე. ნაკლებ დაძაბულ კიდეზე განლაგებულ არმატურაში ძაბვების σ_s სიდიდე უფრო დაბალია, ვიდრე არმატურის საანგარიშო წინაღობა. σ_s-ის სიდიდეს ადგენენ გამოყენებული მასალების მიხედვით. ელემენტებისათვის, რომლებშიც გამოყენებულია B 30 და უფრო დაბალი კლასის ბეტონები და A—I, A—II, A—III კლასის არმატურა, σ_s იანგარიშება ფორმულით

$$\sigma_s = \left(2 \frac{1 - \dfrac{x}{h_0}}{1 - \xi_R} - 1 \right) R_s, \qquad \text{(VI.111)}$$

ხოლო ელემენტებისათვის, რომლებშიაც გამოყენებულია B 30-ზე მაღალი კლასის ბეტონები და A—IV და მაღალი კლასის არმატურა, σ_s იანგარიშება СНиП 2. 03. 01—84-ის (66), (67) ან (68) ფორმულებიდან.



ნახ. VI.32. ნებისმიერი სიმეტრიული პროფილის არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური კვეთის ძალვების სქემა და ძაბვების ეპიურა სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას, მცირე ექსცენტრისიტეტის შემთხვევაში.

გაანგარიშებებში, აღნიშვნების ერთგვაროვნობის მიზნით, მკუმშავი N ძალიდან უშორეს წახნაგთან მდებარე გრძივ არმატურას და ზონას, რომელშიაც ივი განლაგებულია, პირობითად ეწოდება „გაჭიმული“. აქ არმატურა აღინიშნება S-ით და არმატურის ფართობი A_s-ით (მიუხედავად იმისა გაჭიმულია, თუ შეკუმშული ნაკლებ დაძაბული ზონა არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტისა მცირე ექსცენტრისიტეტის პირობებში).

მცირე ექსცენტრისიტეტის შემთხვევაში შეკუმშული ელემენტების გაანგარიშება სიმტკიცეზე წარმოებს იმავე ფორმულით, როგორც დიდი ექსცენტრისიტეტისას (წონასწორობის $\sum M=0$ პირობის შესაბამისად):

$$Ne \leqslant R_b A_b z_b + R_{sc} A'_s (h_0 - a'); \qquad \text{(VI.112)}$$

აქ

$$e = e_0 + y_s \quad \text{და} \quad e_0 = \frac{M}{N},$$

ხოლო შეკუმშული ზონის სიმაღლე იანგარიშება ფორმულიდან

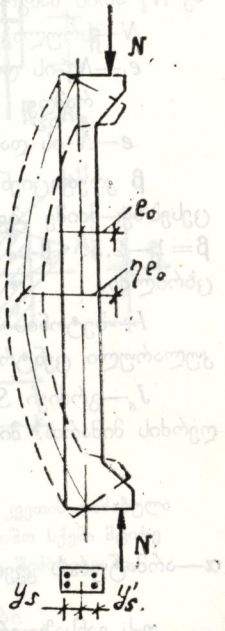
$$N = R_b A_b + R_{sc} A'_s - \sigma_s A_s, \qquad \text{(VI.113)}$$

რომელიც მიღებულია წონასწორობის პირობის შესაბამისად $\sum x=0$.

3. მოქნილობისა და დატვირთვის მოქმედების ხანგრძლივობის გავლენა არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტის ნორმალური კვეთის სიმტკიცეზე

არაცენტრალური კუმშვის დროს მოქნილი ელემენტის გაღუნვა გამოიწვევს საანგარიშო ექსცენტრისიტეტის გადიდებას ძალის მოქმედების სიბრტყეში (ნახ. VI.33), რასაც მოჰყვება ზიდვის უნარის დაქვეითება. დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედებისას იზრდება მოქნილი ელემენტის გაღუნვა.

გაღუნვის გავლენა ზიდვის უნარზე მხედველობაში მიიღება, როდესაც მოქნილობა $\lambda = \frac{l_0}{i} > 14$, ანუ $\frac{l_0}{h} > 4$.



ნახ. VI.33. მოქნილობის გათვალისწინებისათვის.

მოქნილი არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების გაანგარიშება წარმოებს გადიდებული ექსცენტრისიტეტის მიხედვით, რომელიც მიიღება საწყისი ექსცენტრისიტეტის e_0-ის გამრავლებით η კოეფიციენტზე (რომელიც ერთზე მეტია); სიმტკიცის პირობაში e მანძილი გრძივი ძალიდან გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა არმატურის სიმძიმის ცენტრამდე დადგინდება ფორმულით $e=e_0\eta+y_s$. მოქნილი ელემენტების გაღუნვის გამათვალისწინებელი η კოეფიციენტი იანგარიშება ფორმულით

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr}}}, \qquad \text{(VI.114)}$$

სადაც N არის საანგარიშო გრძივი ძალა;

N_{cr}—პირობითი კრიტიკული გრძივი ძალა; იგი გამოითვლება ფორმულით

$$N_{cr} = \frac{6{,}4\, E_b}{l_0^2} \left[\frac{J}{\varphi_l} \left(\frac{0{,}11}{0{,}1 + \delta_e} + 0{,}1 \right) + \alpha J_s \right], \qquad \text{(VI.115)}$$

სადაც l_0 ელემენტის საანგარიშო სიგრძეა და მიიღება ნორმების СНиП 2.03.01—84 3.25 მუხლის მიხედვით (იხ. აგრეთვე XXVII, XXVIII, XXXV დანართები).

δ_e არის ფარდობითი ექსცენტრისიტეტი; $\delta_e = \frac{e_0}{h}$; მიიღება არანაკლები

$$\delta_{e,\min} = 0{,}5 - 0{,}01 \frac{l_0}{h} - 0{,}01 R_b, \qquad \text{(VI.116)}$$

აქ R_b—MPa-შია.

φ_l—მოქნილ ელემენტზე დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედების გამო გაღუნვის გადიდების გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი

$$\varphi_l = 1 + \beta \frac{M_l}{M}. \qquad \text{(VI.117)}$$

აქ M_l და M შესაბამისად ხანგრძლივი და მთლიანი დატვირთვის მოქმედებით გამოწვეული მომენტებია მკუმშავი გრძივი ძალიდან კვეთის უშორეს კიდეზე განლაგებული S გრძივი მუშა არმატურის სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ღერძის მიმართ

$$M_l = N_l e_l, \quad M = Ne. \qquad \text{(VI.118)}$$

აქ N_l არის ხანგრძლივი დატვირთვით გამოწვეული გრძივი ძალა;

N—სრული დატვირთვით გამოწვეული გრძივი ძალა;

e_l—N_l-ის დაშორება S არმატურის განივკვეთის ფართობის სიმძიმის ცენტრამდე;

e—N-ის დაშორება იმავე წერტილამდე.

β კოეფიციენტი ითვალისწინებს ბეტონის სახეობის გავლენას ხანგრძლივ პროცესებზე; მძიმე ბეტონებისთვის მიიღება $\beta = 1$; სხვა სახეობის ბეტონებისთვის $\beta = 1—2{,}5$. β-ს მნიშვნელობა მითითებულია დაპროექტების ნორმების 30-ე ცხრილში.

I—ბეტონის მთელი კვეთის ინერციის მომენტი სიმეტრიის ღერძის პერპენდიკულარული ცენტრალური ღერძის მიმართ;

J_s—გრძივი S და S' არმატურის კვეთის ჯამური ინერციის მომენტი იმავე ღერძის მიმართ. მიიღება მცირედი უზუსტობით, როგორც

$$I_s = A_s y_s^2 + A_s'(y_s')^2.$$

α—არმატურის კვეთის ბეტონზე დაყვანის კოეფიციენტი, $\alpha = \frac{E_s}{E_b}$.

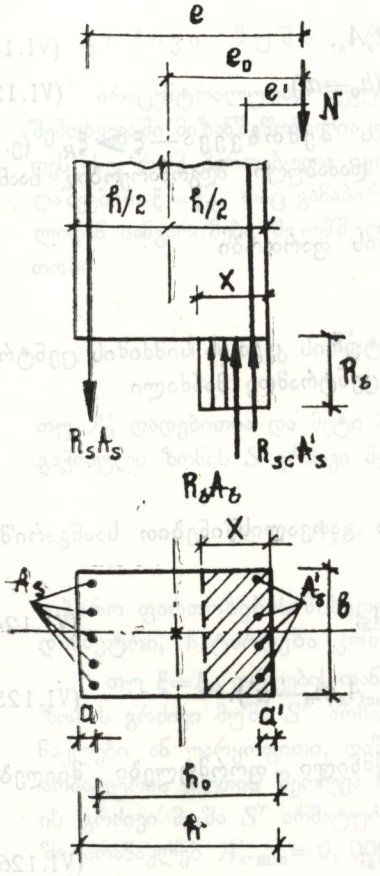
η-ს განსაზღვრის შემდეგ სიმტკიცის ფორმულაში გასათვალისწინებელი e მანძილი N გრძივი ძალიდან გაჭიმული არმატურის სიმძიმის ცენტრამდე, გამოითვლება ფორმულით

$$e = e_0 \eta + y_s. \qquad \text{(VI.119)}$$

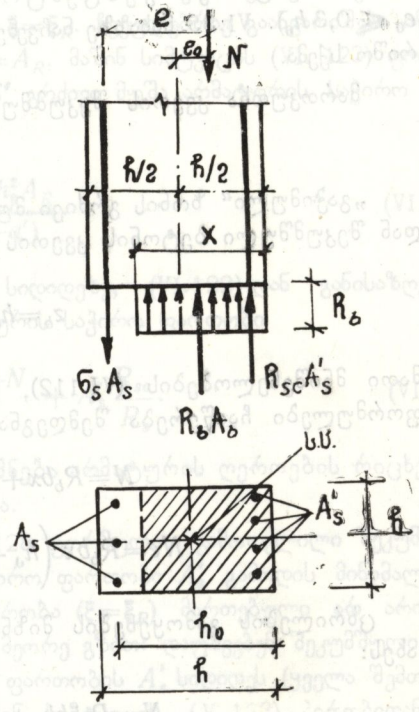
4. მართკუთხა პროფილის არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების გაანგარიშება სიმტკიცეზე

მართკუთხა პროფილის ელემენტებისათვის სიმტკიცეზე გაანგარიშების შემთხვევის დამახასიათებელი პირობები $\xi \leqslant \xi_R$ და $\xi > \xi_R$ შეიძლება გამოვსახოთ პრაქტიკული მოსაზრებებით მარტივად: I—$e_0 > 0{,}3\,h_0$; II—$e_0 < 0{,}3\,h_0$.

I. დიდი ექსცენტრისიტეტის შემთხვევა — $\xi \leqslant \xi_R$ (ე. ი. $e_0 > 0{,}3\,h_0$). დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა მოცემულია VI.34 ნახაზზე.



ნახ. VI.34. მართკუთხა კვეთის დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა დიდი ექსცენტრისიტეტის შემთხვევაში.



ნახ. VI.35. მართკუთხა კვეთის დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა მცირე ექსცენტრისიტეტის შემთხვევაში.

მართკუთხა კვეთისათვის შეკუმშული ბეტონის ფართობი

$$A_b = bx.$$

მანძილი გაჭიმული არმატურის კვეთის სიმძიმის ცენტრიდან შეკუმშული ბეტონის კვეთის სიმძიმის ცენტრამდე

$$z_b = h_0 - \frac{x}{2}.$$

A_b და z_b მნიშვნელობების (VI.109, VI.110)-ში ჩასმის შემდეგ საანგარიშო ფორმულები გამოისახება შემდეგნაირად

$$N = R_b bx + R_{sc}A'_s - R_s A_s; \tag{VI.120}$$

$$Ne \leqslant R_b bx\left(h_0 - \frac{x}{2}\right) + R_{sc}A'_s(h_0 - a'). \tag{VI.121}$$

ცხრილების გამოყენების მიზნით ეს ფორმულები შეიძლება გარდაიქმნას და ჩაიწეროს ასეთი სახით:

$$N = R_b \xi bh_0 + R_{sc}A'_s - R_s A_s, \tag{VI.122}$$

$$Ne \leqslant R_b bh_0^2 A_0 + R_{sc}A'_s(h_0 - a'). \tag{VI.123}$$

II. მცირე ექსცენტრისიტეტის შემთხვევა — $\xi > \xi_R$ (ე. ი. $e_0 \leqslant 0{,}3\,h_0$). VI.35 ნახაზზე ნაჩვენებია კვეთის დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა.

მართკუთხა კვეთის შეკუმშული ბეტონის ფართობი

$$A_b = bx.$$

„გაჭიმული“ ზონის გრძივი მუშა **S** არმატურის კვეთის სიმძიმის ცენტრიდან შეკუმშული ბეტონის კვეთის სიმძიმის ცენტრამდე მანძილი

$$z_b = h_0 - \frac{x}{2}.$$

მათი მნიშვნელობების (VI.112), (VI.113)-ში გათვალისწინებით საანგარიშო ფორმულები ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$N = R_b bx + R_{sc}A'_s - \sigma_s A_s; \tag{VI.124}$$

$$Ne = R_b bx\left(h_0 - \frac{x}{2}\right) + R_{sc}A'_s(h_0 - a'). \tag{VI.125}$$

ცხრილების გამოყენების მიზნით გარდაქმნილი ფორმულები მიიღებს სახეს:

$$N = R_b \xi bh_0 + R_{sc}A'_s - \sigma_s A_s; \tag{VI.126}$$

$$Ne \leqslant R_b bh_0^2 A_0 + R_{sc}A'_s(h_0 - a'). \tag{VI.127}$$

5. არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების გაანგარიშების ამოცანები

არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების გაანგარიშებისას ვხვდებით ორგვარ ამოცანას: 1. გრძივი მუშა არმატურის კვეთის შერჩევა (როდესაც მოცემულია N, l_0, R_b, R_s, R_{sc}, b, h) და 2. კვეთის შემოწმება სიმტკიცის პირობით (როდესაც, გარდა ზემოხსენებულისა, მოცემულია S და S' გრძივი მუშა არმატურის ფართობებიც — A_s და A'_s).

გრძივი მუშა არმატურის კვეთის შერჩევის დროს მიზანშეწონილია ξ, η, A_0-ს ცხრილის (VI.1 ცხრილი) და შესაბამისად გარდაქმნილი საანგარიშო ფორმულების გამოყენება.

როდესაც არმატურის კვეთის შერჩევისას აღმოჩნდება, რომ ჯამური დაარმატურების კოეფიციენტი მეტია 0,035-ზე (3,5%-ზე), საჭიროა განივკვეთის ზომების გადიდება ან ბეტონისა და (ან) არმატურის კლასის შეცვლა. თუ დაარმატურების პროცენტი მცირეა — მინიმალურზე ნაკლები — ელემენტის განივკვეთის ზომები აღებულია საჭიროზე მეტი.

გრძივი მუშა არმატურის კვეთის შერჩევა

არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტებისათვის დიდი ექსცენტრისიტეტის შემთხვევაში მიზანშეწონილია ფოლადის ეკონომიის მოსაზრებით გაანგარიშება ჩატარდეს ისე, რომ მართებული იყოს პირობა $\xi=\xi_R$. ჩვეულებრივ გაანგარიშება იწყება დაშვებით $\xi=\xi_R$, რაც განაპირობებს $A_0=A_R$. მაშინ სიმტკიცის (VI. 123) ფორმულიდან იანგარიშება შეკუმშული ზონის S' გრძივი მუშა არმატურის საჭირო ფართობი

$$A'_s = \frac{Ne - R_b b h_0^2 A_R}{R_{sc}(h_0 - a')}. \qquad \text{(VI.128)}$$

თუ A'_s დადებითია და მეტი მინიმალურ სიდიდეზე, (VI.122)-დან განისაზღვრება გაჭიმული ზონის S გრძივი მუშა არმატურის საჭირო ფართობი

$$A_s = \frac{R_b \xi_R b h_0 - N}{R_s} + A'_s \frac{R_{sc}}{R_s}. \qquad \text{(VI.129)}$$

საჭირო ფართობების მიხედვით დაინიშნება არმატურის ღეროების რიცხვი და დიამეტრი, ჩატარდება კონსტრუირება.

თუ $\xi=\xi_R$ დაშვების თანახმად VI. 128 ფორმულით გამოთვლილი შეკუმშული ზონის გრძივი მუშა S' არმატურის საჭირო ფართობი A'_s გამოდის მინიმალურზე ნაკლები ან უარყოფითი, დაშვებული პირობა ($\xi=\xi_R$) მართებული არ არის და არმატურის კვეთის შერჩევა ჩატარდება მეორე გზით: დაუშვებენ შეკუმშული ზონის გრძივი მუშა S' არმატურის საჭირო ფართობის A'_s სიდიდეს (ყველა შემთხვევაში არანაკლებ $A'_{s\cdot\min}=0,002\ bh_0$), მაშინ სიმტკიცის (V.123) პირობიდან განისაზღვრება

$$A_0 = \frac{Ne - R_{sc} A'_s (h_0 - a')}{R_b b h_0^2};$$

VI.1 ცხრილიდან დადგინდება A_0-ის შესაბამისი ξ (ან განისაზღვრება ფორმულით $\xi=1-\sqrt{1-2A_0}$) და გამოითვლება გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა S არმატურის საჭირო ფართობი (VI.122)-დან

$$A_s = \frac{R_b \xi b h_0 - N}{R_s} + A'_s \frac{R_{sc}}{R_s}. \qquad \text{(VI.130)}$$

სიმეტრიული დაარმატურების შემთხვევაში, როდესაც $A_s = A'_s$ და $R_s = R_{sc}$, გრძივი მუშა არმატურის საჭირო ფართობის გაანგარიშება იწარმოებს შემდეგი თანამიმდევრობით: ჯერ იანგარიშება შეკუმშული ზონის x სიმაღლე (VI.120) ფორმულიდან

$$x = \frac{N}{R_b b}. \qquad \text{(VI.131)}$$

(VI.121)-დან გამოითვლება არმატურის საჭირო ფართობი

$$A_s = A'_s = \frac{N\left(e - h_0 + \frac{N}{2R_b b}\right)}{R_s(h_0 - a')}. \qquad \text{(VI.132)}$$

VI.1 ცხრილის დახმარებით გაანგარიშებისას (VI.122) ფორმულიდან გამოითვლება

$$\xi = \frac{N}{R_b b h_0},$$

ξ, η, A_0 კოეფიციენტების VI.1 ცხრილიდან იღება შესაბამისი A_0 და (VI .123)-დან განისაზღვრება გრძივი მუშა არმატურის საჭირო ფართობი

$$A_s = A'_s = \frac{Ne - R_b b h_0^2 A_0}{R_s(h_0 - a')}. \qquad \text{(VI.133)}$$

ელემენტებისათვის, რომელთა გაანგარიშების დროს საჭიროა მოქნილობის და დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედების გათვალისწინება (როდესაც $\lambda > 14$), არმატურის კვეთის შერჩევა ხდება თანდათანობითი მიახლოების წესით, რადგან საანგარიშო გაღუნვის დროს ექსცენტრისიტეტის გადიდების გამათვალისწინებელი η კოეფიციენტი უნდა განისაზღვროს არმატურის განივკვეთის ფართობის წინასწარ, მიახლოებით დაშვებული სიდიდის მიხედვით. თუ η-ის განსაზღვრისათვის დადგენილი N_{cr} კრიტიკული ძალა ნაკლები აღმოჩნდა, ვიდრე N საანგარიშო გრძივი ძალა, ელემენტის განივკვეთის ზომები უნდა გადიდდეს.

მცირე ექსცენტრისიტეტის შემთხვევაში, როდესაც $\xi > \xi_R$ (ე. ი. $e_0 < 0{,}3\,h_0$) ელემენტებისათვის, რომელთა ბეტონი $B30$ და დაბალი კლასისაა, პირველი მიახლოებით დაიშვება $\xi = \xi_R$ და შეკუმშული ზონის გრძივი მუშა არმატურის საჭირო ფართობი იანგარიშება სიმტკიცის (VI.127) პირობიდან ფორმულით

$$A'_s = \frac{Ne - R_b b h_0^2 A_R}{R_{sc}(h_0 - a')}. \qquad \text{(VI.134)}$$

მაშინ, თუ A'_s აღმოჩნდება დადებითი და მინიმალურზე მეტი სიდიდის, „გაჭიმული“ ზონის არმატურის საჭირო ფართობი იანგარიშება (VI.126)-დან, სადაც ჩაისმება $\sigma_s = R_s$, მივიღებთ

$$A_s = \frac{R_b \xi_R b h_0 - N}{R_s} + A'_s \frac{R_{sc}}{R_s}. \qquad \text{(VI.135)}$$

როდესაც (VI.134)-დან გამოთვლილი A'_s აღმოჩნდება უარყოფითი ან ნაკლები მინიმალურზე, შეკუმშული და „გაჭიმული“ ზონის გრძივი მუშა არმატურის ფართობი შეიძლება დაინიშნოს კონსტრუქციული მოსაზრებებით, მაგრამ ყოველ შემთხვევაში არანაკლები დასაშვები მინიმუმისა: $A_s=A'_s \geqslant 0{,}002\, bh_0$.

არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტის შემოწმება სიმტკიცეზე

არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების სიმტკიცეზე შემოწმებისათვის საჭიროა გაანგარიშების შემთხვევის ($\xi \leqslant \xi_R$ თუ $\xi > \xi_R$) დადგენა. ამისათვის დაიშვება, რომ $\xi=\xi_R$ და განისაზღვრება შეკუმშული ზონის x სიმაღლე დიდი ექსცენტრისიტეტის შემთხვევაში მიღებული ფორმულიდან $N=R_b bx+R_{sc}A'_s-R_sA_s$

$$x=\frac{N-R_{sc}A'_s+R_sA_s}{R_b b}. \qquad \text{(VI. 136)}$$

შეკუმშული ზონის ბეტონის ფარდობითი სიმაღლის საზღვრითი მნიშვნელობა გამოითვლება ფორმულით

$$\xi_R=\frac{\omega}{1+\dfrac{\sigma_{sR}}{\sigma_{sc,\,u}}\left(1-\dfrac{\omega}{1{,}1}\right)}.$$

როდესაც დაკმაყოფილებულია პირობა

$$x \leqslant \xi_R h_0$$

ადგილი აქვს დიდი ექსცენტრისიტეტის შემთხვევას და სიმტკიცე მოწმდება ფორმულით

$$Ne \leqslant R_b bx\left(h_0-\frac{x}{2}\right)+R_{sc}A'_s(h_0-a').$$

თუ აღმოჩნდა, რომ (VI.136)-დან ნაანგარიშევი $x > \xi_R h_0$, მაშინ უნდა განისაზღვროს შეკუმშული ზონის სიმაღლე მცირე ექსცენტრისიტეტის შემთხვევისათვის დამახასიათებელი (VI.126) ფორმულიდან

$$N=R_b bx+R_{sc}A'_s-\sigma_s A_s,$$

სადაც B 30-მდე კლასის ბეტონებისათვის ჩაისმება $\sigma_s=\left(\dfrac{1-\dfrac{x}{h_0}}{2\,\dfrac{1}{1-\xi_R}-1}\right)R_s$.

x-ის გამოთვლილი სიდიდის მიხედვით წარმოებს სიმტკიცის პირობის შემოწმება, რომელიც გამოისახება ისევე, როგორც დიდი ექსცენტრისიტეტის შემთხვევაში

$$Ne \leqslant R_b bx\left(h_0-\frac{x}{2}\right)+R_{sc}A'_s(h_0-a').$$

ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების წინაღობა შედგება ბეტონისა და გრძივი მუშა არმატურის წინაღობათა ჯამისაგან. ზღვრულ მდგომარეობაში ბეტონის მკუმშავი ძაბვები აღწევენ საანგარიშო წინაღობის სიდიდეს ღერძული კუმშვისას, ხოლო არმატურის ძაბვები — საანგარიშო წინაღობის R_{sc} სიდიდეს (რომელიც ტოლია საანგარიშო წინაღობისა გაჭიმვაზე არმატურის A-I, A-II, A-III კლასებისათვის). კვეთის საანგარიშო სქემა მოცემულია VI.36 ნახაზზე.

შეკუმშული ელემენტის ზიდვის უნარზე გავლენას ახდენს მოქნილობა და დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედება. მოქნილი ელემენტის გრძივი ღუნვა აქვეითებს ზიდვის უნარს, ხოლო მოქნილ ელემენტზე დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედებისას დიდდება გაღუნვა, ე. ი. მცირდება ზიდვის უნარი.

ზიდვის უნარის დადაბლება გაანგარიშებით უნდა იქნეს გათვალისწინებული შეკუმშული ელემენტებისათვის, რომელთა მოქნილობა $\lambda=\frac{l_0}{i}>14$, ან $\frac{l_0}{b}>4$. აქ l_0 არის საანგარიშო სიგრძე, ხოლო i—ინერციის რადიუსი; b—ელემენტის განივკვეთის უმცირესი გვერდის ზომა.

l_0 საანგარიშო სიგრძე დამოკიდებულია ელემენტის ბოლოების ჩამაგრების პირობებზე და შეიძლება დადგინდეს XXVII, XXVIII, XXXV დანართების ცხრილის მიხედვით.

შეკუმშული ელემენტები, რომელთა სტატიკური გაანგარიშებით დადგენილია, რომ მოქმედებს მხოლოდ გრძივი N ძალა (ექსცენტრისიტეტი ნულის ტოლია) — ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტები სიმტკიცეზე უნდა იქნენ გაანგარიშებული შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტის წარმოქმნის გათვალისწინებით, ე. ი. როგორც არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტები, რომელთა ექსცენტრისიტეტი ტოლია შემთხვევითი ექსცეხტრისიტეტის, ე. ი. $e_0=e_a$.

მართკუთხა განივკვეთის ფორმის ელემენტები, რომელთა ექსცენტრისიტეტი მიიღება შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტის ტოლი და რომელთა საანგარიშო სიგრძე $l_0\leqslant 20\,h$, სიმტკიცეზე შეიძლება გაანგარიშებულ იქნენ როგორც ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტები (რომელთა დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა მოცემულია VI.36 ნახაზზე) ფორმულით

$$N\leqslant m\varphi\,[R_bA_b+R_{sc}(A_s+A'_s)], \qquad \text{(VI.137)}$$

სადაც φ არის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს მოქნილობისა და დატვირთვის ხანგრძლივობის გავლენას ელემენტის ზიდვის უნარზე; იგი ტოლია 1-ის, როდესაც $\lambda\leqslant 14\left(\frac{l_0}{h}\leqslant 4\right)$. φ ნაკლებია ერთზე, როდესაც $\lambda>14$ ($l_0/h>4$) და ითვალისწინება ფორმულით

$$\varphi=\varphi_b+2\,(\varphi_r-\varphi_b)\,\frac{R_{sc}(A_s+A'_s)}{R_bA_b}, \qquad \text{(VI.138)}$$

მაგრამ მიიღება არაუმეტეს φ_r-ისა.

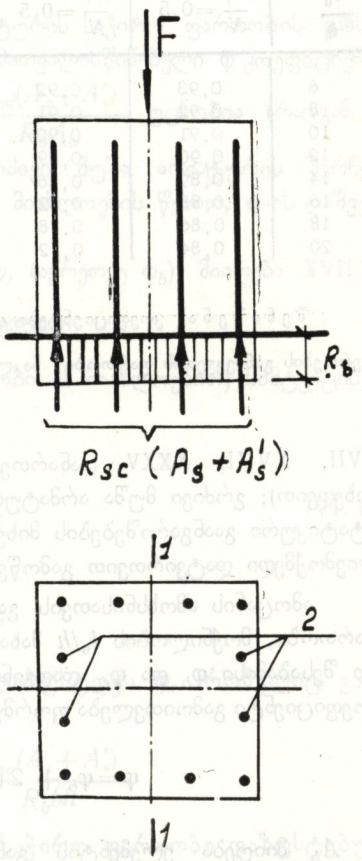
A_s, A'_s—გრძივი მუშა არმატურის განივკვეთის ფართობი კვეთის საანგარიშო ღერძიდან მოპირდაპირე წახნაგებთან. ეს აღნიშვნა პირობითია, რადგან, მიუხედავად კვეთში განლაგებისა, ყველა ღერო თანაბრად შეკუმშული იქნება (ნახ. VI.36);

φ_b, φ_r—გრძივი ღუნვის გამათვალისწინებელი კოეფიციენტები სუფთა ბეტონის და რკინაბეტონის ელემენტებისათვის, დატვირთვის მოქმედების ხანგრძლივობისაგან დამოკიდებულებით. მოცემულია მათი სიდიდე $\frac{l_0}{h}$ და $\frac{N_l}{N}$-ის მიხედვით XVII დანართის 1, 2 ცხრილში.

m—რკინაბეტონის შეკუმშული ელემენტის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი, რომელიც აღწერს დაბეტონების წარმოების მიზეზით ხარისხის გაუარესებას, როდესაც განივკვეთის ზომები ნაკლებია 20 სმ-ზე. მიიღება, რომ $m=1$, როდესაც კვეთის მცირე ზომა $b \geqslant 20$ სმ, ხოლო $m=0{,}9$, როდესაც $b < 20$ სმ;

A_b—ელემენტის განივკვეთის ფართობი არმატურის გამოკლებით, ე. ი. შეკუმშული ბეტონის ფართობი

$$A_b = A - (A_s + A'_s).$$



ნახ. VI.36. ცენტრალურად შეკუმშული მართკუთხა პროფილის ელემენტის ნორმალური კვეთის დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა. 1—1—განსახილველი სიბრტყე; 2—შუალედური ღეროები.

როდესაც დაარმატურების პროცენტი $\mu = \frac{A_s + A'_s}{A} 100 < 3\%$, შეიძლება დავუშვათ, რომ $A_b = A = bh$. როდესაც

$$\frac{R_{sc}(A_s + A'_s)}{R_b A_b} > 0{,}5,$$

შეიძლება დავუშვათ, რომ $\varphi = \varphi_r$.

ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტის ნორმალური მართკუთხა კვეთის გაანგარიშებები სიმტკიცის პირობით მოიცავს შემოწმების, განივკვეთის ზომებისა და გრძივი მუშა არმატურის კვეთის შერჩევის ამოცანებს.

სიმტკიცის პირობით შემოწმება წარმოგვიდგება, როგორც საანგარიშო გრძივი ძალის შედარება ზღვრულთან. ამოცანის ამოხსნისათვის მოცემული უნდა იყოს: ბეტონისა და გრძივი მუშა არმატურის საანგარიშო წინაღობები —R_b, R_{sc}; ელემენტის განივკვეთის $b \times h$ ზომები და l სიგრძე მისი ბოლოების ჩამაგრების პირობებით (საანგარიშო l_0 სიგრძე დადგინდება ჩამაგრების პირობების შესაბამისად

ფარდობა $\frac{l_0}{h}$	φ_b კოეფიციენტები, როდესაც $\frac{N_l}{N}=0{,}5$	$\frac{N_l}{N}=0{,}5$	$\frac{N_l}{N}=1$	φ_r კოეფიციენტები, როდესაც $\frac{N_l}{N}=0$	$\frac{N_l}{N}=0{,}5$	$\frac{N_l}{N}=1$
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	0,90	0,89	0,91	0,91	0,90
12	0,90	0,89	0,86	0,90	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

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: კოეფიციენტები φ_r აქ მოცემულია იმ შემთხვევისათვის, როდესაც შუალედო ღეროების განივკვეთის ფართობი ნაკლებია $\frac{1}{3}(A_s+A_s')$.

XVII, XVIII, XXXV დანართების და СНиП 2.03.01—84-ის 3.25 მუხლის მიხედვით); გრძივი მუშა არმატურის განლაგება კვეთში და მისი A_s, A_s' ფართობი. სტატიკური გაანგარიშებების მიხედვით მოცემული უნდა იყოს სრული და ხანგრძლივმოქმედი დატვირთვით გამოწვეული საანგარიშო გრძივი N და N_l ძალა.

ამოცანის ამოხსნისათვის განისაზღვრება ელემენტის განივკვეთის $A=b\times h$ ფართობი, მოქნილობის l_0/h მახასიათებელი, გრძივი ძალების N_l/N ფარდობა. მათი შესაბამისი φ_b და φ_r დადგინდება XVII დანართის 1 და 2 ცხრილიდან და φ კოეფიციენტი გამოითვლება ფორმულით

$$\varphi=\varphi_b+2(\varphi_r-\varphi_b)\frac{R_{sc}(A_s+A_s')}{R_bA_b};$$

აქ A_b მიიღება ელემენტის განივკვეთის ფართობის ტოლი, როდესაც $\mu=\frac{A_s+A_s'}{A}\leqslant 0{,}035$ ან, თუ ეს პირობა დარღვეულია, $A_b=A-(A_s+A_s')$.

კვეთის შემოწმება სიმტკიცეზე ხდება პირობით

$$N\leqslant m\varphi[R_bA_b+R_{sc}(A_s+A_s')].$$

როდესაც საანგარიშო პირობა დაკმაყოფილებულია, სიმტკიცე უზრუნველყოფილია; წინააღმდეგ შემთხვევაში (როდესაც სიმტკიცის პირობა დარღვეულია) უნდა გადიდდეს ელემენტის განივკვეთის ზომები ან ბეტონის კლასი. საანგარიშო პირობის დარღვევისას, თუ სხვაობა საანგარიშო და ზღვრულ ძალებს შორის მცირეა (არ აღემატება 5%-ს), შეიძლება ჩაითვალოს, რომ სიმტკიცე უზრუნველყოფილია.

გ რ ძ ი ვ ი მ უ შ ა ა რ მ ა ტ უ რ ი ს კ ვ ე თ ი ს შ ე რ ჩ ე ვ ი ს ამოცანა გვხვდება კონსტრუქციების დაპროექტებისას და წყდება შემდეგი მონაცემების მიხედვით: სტატიკური გაანგარიშების შედეგად მიღებული სრული და ხანგრძლივი დატვირთვით გამოწვეული საანგარიშო გრძივი N და N_l ძალები; ელემენტის სიგრძე და ბოლოების

დაყრდნობის პირობების შესაბამისი საანგარიშო l_0 სიგრძე; ბეტონის და გრძივი მუშა არმატურის კლასი შესაბამისი საანგარიშო R_b, R_{sc} წინაღობებით; ელემენტის განივკვეთის $b \times h$ ზომები.

სიმტკიცის პირობიდან გრძივი მუშა არმატურის საჭირო ფართობის განსაზღვრისათვის უნდა დადგინდეს გრძივი ღუნვის გამათვალისწინებელი φ კოეფიციენტი, რომლის გამოთვლისათვის საჭირო სიდიდე $\frac{R_{sc}(A_s+A'_s)}{R_bA_b}$ უცნობია (რადგან A_s, A'_s არმატურის კვეთი უცნობია). ამის გამო გრძივი მუშა არმატურის შერჩევის ამოცანის გადაწყვეტა ტარდება თანდათანობითი მიახლოების წესით, φ-ის დაშვების გზით.

I მიახლოებით დაიშვება: $\varphi=\varphi_r$, სადაც φ_r (აგრეთვე φ_b) მიიღება XVII დანართის ცხრილიდან $\frac{l_0}{h}$ და $\frac{N_l}{N}$ სიდიდეთა მიხედვით.

გრძივი მუშა არმატურის საჭირო ფართობი (I მიახლებით) სიმტკიცის პირობიდან განისაზღვრება ფორმულით

$$(A_s+A'_s)=\frac{\frac{N}{m\varphi}-R_bbh}{R_{sc}}. \qquad \text{(VI.139)}$$

გამოითვლება სიდიდე

$$\frac{R_{sc}(A_s+A'_s)}{R_bbh};$$

თუ იგი აღმოჩნდა 0,5-ზე ნაკლები, უნდა დაზუსტდეს φ, რომელიც გამოითვლება ფორმულით

$$\varphi=\varphi_b+2(\varphi_r-\varphi_b)\frac{R_{sc}(A_s+A'_s)}{R_bbh}$$

და განისაზღვრება გრძივი მუშა არმატურის საჭირო ფართობი დაზუსტებული φ-ს შესაბამისად (VI.139) ფორმულით.

თუ პირველი მიახლოებით და დაზუსტების შემდეგ გამოთვლილ არმატურის ფართობებს შორის სხვაობა უმნიშვნელოა, გაანგარიშება შეიძლება ჩაითვალოს დასრულებულად და საჭირო ფართობის მიხედვით დაინიშნება ღეროების რიცხვი და დიამეტრი, ჩატარდება კონსტრუირება. წინააღმდეგ შემთხვევაში გაანგარიშება განმეორდება ახალი დაშვების მიხედვით, როდესაც შემდეგი მიახლოებით დაინიშნება φ, და ა. შ.

როდესაც სიმტკიცის პირობით საჭირო გრძივი მუშა არმატურის ფართობი უარყოფითი გამოდის, იგი გაანგარიშებით საჭირო არ არის და დაინიშნება კონსტრუქციული მოსაზრებებით. ყველა შემთხვევაში არმატურის შემცველობა ელემენტის კვეთში მიიღება არანაკლები 0,3%, როდესაც მოქნილობა არ აღემატება 35-ს, და არანაკლები 0,4%, როდესაც მოქნილობა $\frac{l_0}{i}>35$.

როდესაც არმატურის შემცველობა კვეთში აღემატება 3,5%-ს, ელემენტის განივკვეთის ზომები მცირეა და საჭიროებს გაზრდას. შეკუმშული ელემენტისათვის ხელსაყრელად ითვლება დაარმატურების 1—2%.

§ 4. გაჭიმული ელემენტები

1. საერთო ცნობები

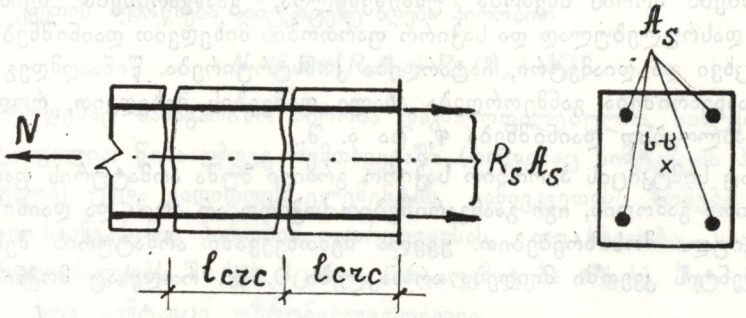
რკინაბეტონის კონსტრუქციებში გაჭიმულ ელემენტებს ვხვდებით ფერმის სარტყლების, ირიბნების, საკიდების, თაღების შემკვრელების, რეზერვუარების კედლებისა და სხვათა სახით.

წინაღობის სახეობის მიხედვით განასხვავებენ ცენტრალურად გაჭიმულსა და არაცენტრალურად გაჭიმულ ელემენტებს. მაგალითად, ცენტრალურად გაჭიმულია სახურავის სანივნივე ირიბნებიანი წამწეების ქვედა სარტყლის ელემენტები, თაღის შემკვრელები, ცილინდრული რეზერვუარის კედლები და სხვ.; არაცენტრალურად გაჭიმულია უირიბნო წამწეების ქვედა სარტყლები, მართკუთხა რეზერვუარების კედლები და სხვ.

ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების განივკვეთის ფორმა შეიძლება იყოს ნებისმიერი, ძირითადად მიიღება კონსტრუქციული მოსაზრებებით. არაცენტრალურად გაჭიმული ელემენტებისათვის, როდესაც გამჭიმი ძალა მოქმედებს კვეთის სიმეტრიის ღერძზე გამავალ სიბრტყეში, კვეთის ფორმა შეირჩევა იმავე პრინციპებით, როგორც არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტებისათვის — კვეთი ვითარდება მღუნავი მომენტის მოქმედების სიბრტყეში. S''და S' გრძივი მუშა არმატურა განლაგდება კვეთის მოკლე გვერდებზე და აღნიშვნის ერთგვაროვნებისათვის მიიღება მათი ფართობების აღნიშვნა A_s და A'_s (ნახ. VI.1).

2. ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების გაანგარიშება სიმტკიცეზე

ასეთი ელემენტების გრძივი მუშა არმატურა კვეთში ლაგდება თანაბრად, პირობით, რომ შიგა ძალების ტოლქმედი დაემთხვეს კვეთის ცენტრს. სიმტკიცეზე გაანგარიშების დროს გაჭიმული კვეთის ბეტონის მონაწილეობა მუშაობაში მხედველობაში არ მიიღება—რღვევის სტადიაზე ბეტონი კვეთის მთელ სიმაღლეზე გაბზარულია და მუშაობიდან გამორთულია. ბზარიან კვეთში მუშაობს მხოლოდ გრძივი არმატურა, რომელშიაც ძაბვების სიდიდე რღვევის სტადიაზე აღწევს R_s საანგარიშო წინაღობას.



ნახ. VI.37. ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური კვეთის ძალვების სქემა სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას.

ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტის ნორმალური კვეთის დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა რღვევის სტადიაზე წარმოდგენილია VI.37 ნახაზზე.

საანგარიშო ფორმულა სიმტკიცეზე წონასწორობის პირობის შესაბამისად— ($\sum x=0$) დაიწერება შემდეგი სახით

$$N \leqslant R_s A_s, \qquad \text{(VI.140)}$$

სადაც N არის საანგარიშო გამჭიმი გრძივი ძალა;

R_s—არმატურის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე;

A_s—გრძივი მუშა არმატურის განივკვეთის ფართობი.

სიმტკიცის პირობიდან ადვილად იანგარიშება გრძივი მუშა არმატურის საჭირო ფართობი ფორმულით

$$A_s = \frac{N}{R_s}. \qquad \text{(VI. 141)}$$

3. არაცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების გაანგარიშება სიმტკიცეზე

არაცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას, როდესაც გამჭიმი N ძალა მოდებულია კვეთის სიმეტრიის ღერძზე გამავალ სიბრტყეში, განასხვავებენ ორ შემთხვევას: 1. გამჭიმი საანგარიშო ძალა მოდებულია კვეთის მოკლე გვერდებზე განლაგებული გრძივი მუშა S და S' არმატურის სიმძიმის ცენტრებს შორის; 2. გამჭიმი N ძალა მოდებულია მოკლე გვერდებზე განლაგებული გრძივი არმატურის სიმძიმის ცენტრებს შორისი არის გარეთ. პირველ შემთხვევაში ელემენტის მთელი კვეთი გაჭიმულია; მეორეში — ნაწილი გაჭიმული, ნაწილი შეკუმშული; გაანგარიშების ეს შემთხვევები შესაბამისად შეიძლება დავახასიათოთ როგორც მცირე (I) და დიდი (II) ექსცენტრისიტეტების შემთხვევა.

გაანგარიშების პირველი შემთხვევა $e_0 < y_s$ (მცირე ექსცენტრისიტეტი). პირველ შემთხვევაში, როდესაც გამჭიმი ძალა მოდებულია არმატურის სიმძიმის ცენტრებს შორის, ელემენტის მთელი კვეთი გაჭიმულია; ბეტონი მთელ სიმაღლეზე გაბზარულია, ბზარიან კვეთში იგი მუშაობაში არ მონაწილეობს და გამჭიმი ძალა გადაეცემა მხოლოდ გრძივ მუშა არმატურას. ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური კვეთის საანგარიშო სქემა სიმტკიცეზე წარმოდგენილია VI.38 ნახაზზე.

გამჭიმი ძალის მოქმედების სიბრტყის პერპენდიკულარულ წახნაგებზე განლაგებული გრძივი მუშა არმატურა იჭიმება, რომელთა ძაბვები რღვევის სტადიაზე აღწევს საანგარიშო წინაღობის სიდიდეს; მათი განივკვეთის ფართობები, ჩაწერის მოხერხებულობისთვის, აღინიშნება: A_s გამჭიმი ძალიდან უახლოეს წახნაგთან და A'_s—უშორეს წახნაგთან მდებარე არმატურისა.

სიმტკიცის პირობის ჩასაწერად გამოყენებულია წონასწორობის პირობა $\sum M=0$; შესაბამისად გაანგარიშება წარმოებს ფორმულებით

$$Ne \leqslant R_s A'_s(h_0 - a'); \qquad \text{(VI.142)}$$

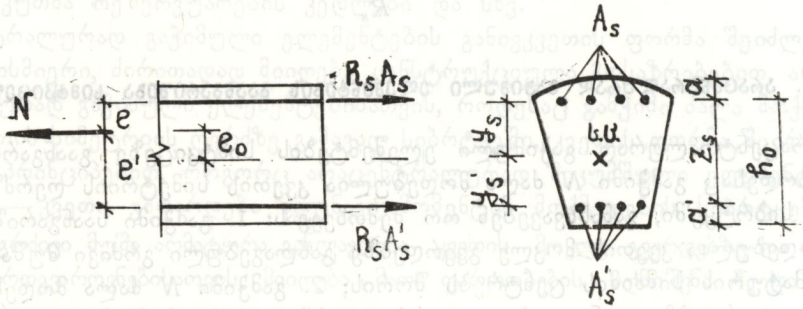
$$Ne' \leqslant R_s A_s(h_0 - a'), \qquad \text{(VI.143)}$$

საიდანაც შეიძლება განისაზღვროს გრძივი მუშა არმატურის საჭირო ფართობები კვეთის ორივე წახნაგზე:

$$A_s = \frac{Ne'}{R_s(h_0 - a')}; \qquad \text{(VI. 144)}$$

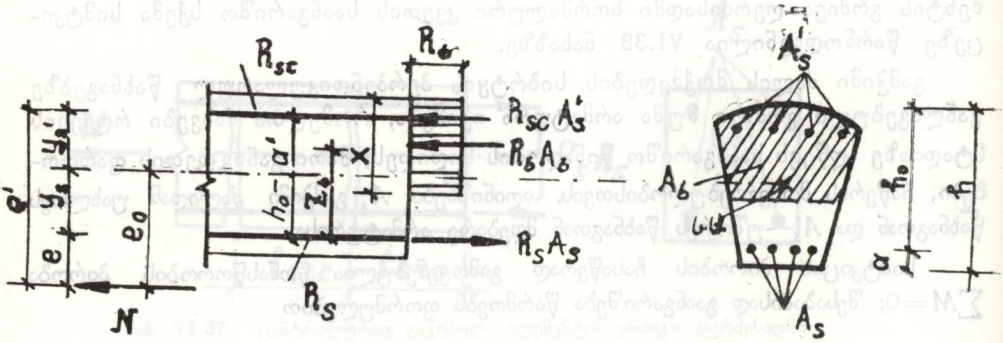
$$A'_s = \frac{Ne}{R_s(h_0 - a')}. \qquad \text{(VI. 145)}$$

მეორე შემთხვევაში, როდესაც გამჭიმი ძალა მოდებულია გრძივი მუშა არმატურის სიმძიმის ცენტრებსშორისი არის



ნახ. VI. 38. ნებისმიერი სიმეტრიული პროფილის არაცენტრალურად გაჭიმული ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური კვეთის ძალვების სქემა სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას, როდესაც გრძივი ძალა მოდებულია S და S' არმატურების ძალვებსშორისი მანძილის ფარგლებში.

ფარგლებს გარეთ (დიდი ექსცენტრისიტეტის შემთხვევაში), დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა ნებისმიერი სიმეტრიული პროფილის ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური კვეთისათვის წარმოდგენილია VI.39 ნახაზზე.



ნახ. VI. 39. ნებისმიერი სიმეტრიული პროფილის არაცენტრალურად გაჭიმული ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური კვეთის ძალვების სქემა და ძაბვების ეპიურა სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას, როდესაც გრძივი ძალა მოდებულია S და S' არმატურების ძალვებსშორისი მანძილის ფარგლებს გარეთ.

ამ დროს კვეთის ნაწილი შეკუმშულია, ნაწილი გაჭიმული; გაჭიმულია N ძალიდან უახლოესი კიდე.

როდესაც $\xi \leqslant \xi_R$, საანგარიშო ფორმულები წონასწორობის პირობების შესაბამისად ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$N = R_s A_s - R_{sc} A'_s - R_b A_b; \qquad \text{(VI.146)}$$

$$Ne \leqslant R_b A_b z_b + R_{sc} A'_s (h_0 - a'). \qquad \text{(VI.147)}$$

შეკუმშული ზონის გრძივი მუშა არმატურის სიმტკიცის სრულად გამოყენების მიზნით დაკმაყოფილებული უნდა იყოს პირობა.

$$z_b \leqslant (h_0 - a').$$

როდესაც ეს პირობა არ სრულდება, შეკუმშული ზონის გრძივ მუშა არმატურაში ძაბვებმა შეიძლება არ მიაღწიოს საანგარიშო წინაღობის სიდიდეს და მაშინ სიმტკიცეზე გაანგარიშება იწარმოებს ფორმულით.

$$Ne' \leqslant R_s A_s (h_0 - a'). \qquad \text{(VI.148)}$$

როდესაც $\xi > \xi_R$, არაცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების გაანგარიშებისას მიიღება დაშვება, რომ $\xi = \xi_R$.

როგორც შედარება გვიჩვენებს, არაცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების გაანგარიშების მეორე შემთხვევაში სიმტკიცის ფორმულა დაიწერა მსგავსად არაცენტრალური კუმშვის დიდი ექსცენტრისიტეტის შემთხვევისა; მსგავსია დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემებიც. განსხვავებულია მხოლოდ გრძივი ძალის მიმართულება და მდებარეობა გაჭიმული კიდის მიმართ. აქ უნდა აღინიშნოს, რომ არაცენტრალურად გაჭიმულ ელემენტებში საარმატურე ფოლადის ხარჯი მეტია, ვიდრე არაცენტრალურად შეკუმშულში.

მართკუთხა კვეთის არაცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების გაანგარიშება სიმტკიცეზე

არაცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშების პირველი (მცირე ექსცენტრისიტეტის) შემთხვევა მართკუთხა კვეთისათვის შეიძლება დავახასიათოთ პირობით $e_0 \leqslant \dfrac{h_0 - a'}{2}$, ხოლო მეორე შემთხვევა (დიდი ექსცენტრისიტეტის) — პირობით $e_0 > \dfrac{h_0 - a'}{2}$.

გაანგარიშების პირველ შემთხვევაში (დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა იხ. VI.40 ნახაზზე) სიმტკიცის ფორმულები არ ითვალისწინებს განივკვეთის ფორმას, მართკუთხა კვეთისა და ნებისმიერი სიმეტრიული პროფილისათვის იწერება ერთნაირად:

$$Ne \leqslant R_s A'_s (h_0 - a'),$$

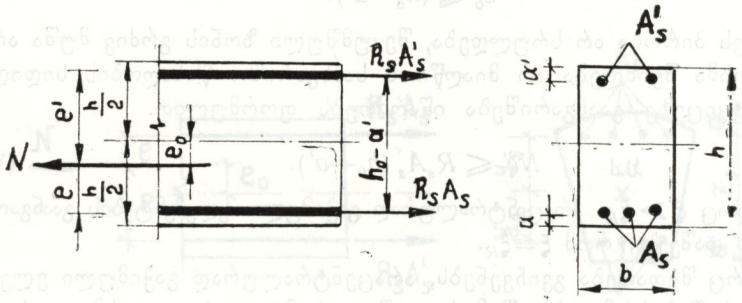
$$Ne' \leqslant R_s A_s (h_0 - a').$$

აქ მართკუთხა კვეთისთვის დამახასიათებელია $e' = e_0 + \dfrac{h}{2}$ და $e = \dfrac{h}{2} - e_0$.

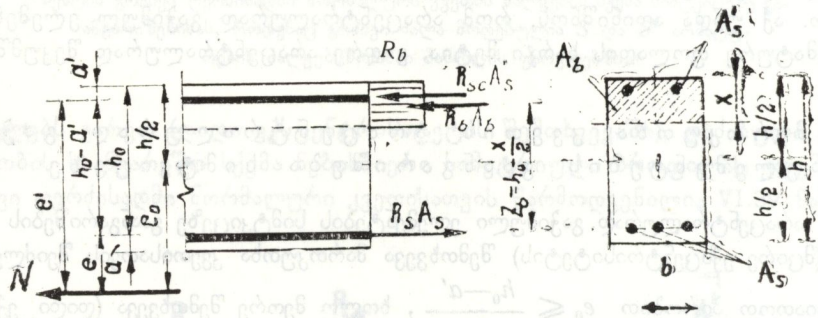
გაანგარიშების მეორე შემთხვევაში (დიდი ექსცენტრისიტეტის) მართკუთხა კვეთის არაცენტრალურად გაჭიმული ელემენტის საანგარიშო სქემა წარმოდგენილია VI.41 ნახაზზე. პირობისათვის $\xi \leqslant \xi_R$, მართკუთხა კვეთის გეომეტრიული მახასიათებლების $\left(A_b = bx \text{ და } z_b = h_0 - \frac{x}{2}\right)$ გათვალისწინებით საანგარიშო ფორმულები მიიღებს სახეს

$$N = R_s A_s - R_{sc} A'_s - R_b bx; \tag{VI.149}$$

$$Ne \leqslant R_b bx\left(h_0 - \frac{x}{2}\right) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'). \tag{VI.150}$$



ნახ. VI.40. მართკუთხა კვეთის არაცენტრალურად გაჭიმული ელემენტის დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა, როდესაც $e_0 < \frac{h_0 - a'}{2}$.



ნახ. VI. 41. არაცენტრალურად გაჭიმული მართკუთხა პროფილის ელემენტის ნორმალური კვეთის დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა, როდესაც $e_0 > \frac{h_0 - a'}{2}$.

შეკუმშული ზონის ბეტონის სიმაღლე იანგარიშება (VI.149)-დან ფორმულით

$$x = \frac{R_s A_s - R_{sc} A'_s - N}{R_b b}. \tag{VI.151}$$

არმატურის კვეთის შესარჩევად, ცხრილების გამოყენების მიზნით საანგარიშო ფორმულები იწერება გარდაქმნილი სახით

$$N = R_s A_s - R_{sc} A'_s - R_b \xi b h_0; \tag{VI.152}$$

$$Ne \leqslant R_b b h_0^2 A_0 + R_{sc} A_s' (h_0 - a'). \qquad \text{(VI.153)}$$

არმატურის კვეთის შერჩევა მიზანშეწონილია დაშვების გზით

$$\xi = \xi_R,$$

ამ დროს $A_0 = A_R$; სიმტკიცის (VI.153) ფორმულიდან განისაზღვრება შეკუმშული ზონის გრძივი მუშა არმატურის საჭირო ფართობი

$$A_s' = \frac{Ne - R_b b h_0^2 A_R}{R_{sc}(h_0 - a')}. \qquad \text{(VI.154)}$$

მაშინ, თუ A_s' აღმოჩნდება დადებითი და მინიმალურზე მეტი, (VI.152)-დან განისაზღვრება გაჭიმული არმატურის საჭირო ფართობი

$$A_s = \frac{R_b \xi_R b h_0 + N}{R_s} + A_s' \frac{R_{sc}}{R_s}. \qquad \text{(VI. 155)}$$

თუ ზემოთ მოყვანილი (VI.154) ფორმულიდან $A_s' < 0$ (ან დადებითია, მაგრამ მინიმალურ სიდიდეზე ნაკლები), მიღებული $\xi = \xi_R$ პირობა მართებული არ არის. მაშინ შეკუმშული არმატურის კვეთს დანიშნავენ კონსტრუქციული ან სხვა მოსაზრებებით, მაგრამ ყველა შემთხვევაში არანაკლები მინიმალურად დასაშვები შემცველობისა — $A_{s.\,min}' = 0{,}002\, b h_0$.

სიმტკიცის პირობიდან (VI.153) განისაზღვრება A_0 ფორმულით

$$A_0 = \frac{Ne - R_{sc} A_s' (h_0 - a')}{R_b b h_0^2}$$

და ცხრილიდან აღებული A_0-ის შესაბამისი ξ-ს მიხედვით განსაზღვრავენ გაჭიმული არმატურის საჭირო ფართობს (VI.152)-დან ფორმულით

$$A_s = \frac{R_b \xi b h_0 + N}{R_s} + \frac{R_{sc}}{R_s} A_s'. \qquad \text{(VI. 156)}$$

გრძივი მუშა არმატურის საჭირო ფართობების მიხედვით დაინიშნება ღეროების რიცხვი და დიამეტრი და განლაგდება კვეთში.

§ 5. გრეხაზე მომუშავე ელემენტები. გრეხა ღუნვით

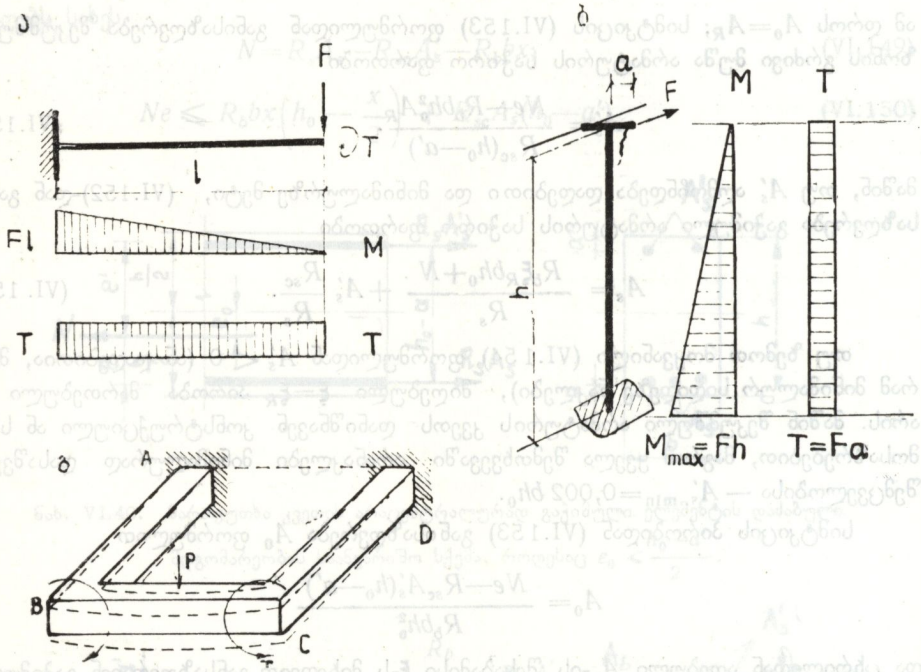
1. საერთო ცნობები

რკინაბეტონის კონსტრუქციების გრეხა დამოუკიდებელი სახით თითქმის არ არსებობს, მაგრამ ხშირად ვლინდება ღუნვასთან ერთად; მაგალითად, კონსოლები, ანძა სადენების ცალმხრივი დაჭიმვისას; გეგმაში მრუდი ან ტეხილი მოხაზულობის ღუნვადი ელემენტები გრძივი ღერძიდან დაშორებული განივი დატვირთვებით (ნახ.VI.42).

გრეხის გავლენა ხშირად ძალზე უმნიშვნელოა და მას მხედველობაში არ იღებენ, ზოგჯერ საკმარისია მხოლოდ კონსტრუქციული ღონისძიებების მიღება. რკინაბეტონის ზოგ ელემენტზე მგრეხი მომენტის მოქმედება იწვევს

სხვა ზეგავლენით გამოწვეული ძალვების გადანაწილებას, რაც გარკვეული სახით უნდა იქნეს გათვალისწინებული სტატიკური გაანგარიშებებისას.

გრეხასთან ერთად ღუნვის შემთხვევაში იქმნება გრეხის გათვალისწინების საჭიროება გაანგარიშებებში.



ნახ. VI.42. რკინაბეტონის ელემენტები, რომლებიც მუშაობენ გრეხასა და ღუნვაზე: ა—კონსოლი ელემენტის ღერძის სიბრტყეში მოქმედი შეყურსული ძალით და ღერძის განივად მოდებული წყვილძალით, რომლის მომენტი (კონსოლის მგრეხი მომენტი) T-ს ტოლია; ბ—ანძა, ღერძიდან ცალმხრივ e მანძილზე განივად მოდებული ძალით; გ—კოჭი ცალმხრივი დატვირთვით, რომელიც მოდებულია ელემენტის ღერძზე გამავალი სიბრტყის გარეთ.

რკინაბეტონის პრიზმულ და ცილინდრულ ელემენტებზე (ნიმუშებზე) ჩატარებული ცდებით დადგინდა, რომ გრეხის შედეგად მათ ზედაპირზე ჩნდება გრძივი ღერძისადმი 45°-ით დახრილი ბზარები (ნახ. VI.43). ბზარები წარმოიქმნება მთავარი გაჭიმვის ძაბვების განვითარების შედეგად საკმაოდ დაბალი დატვირთვებისას და განლაგდება ხრახნულ ხაზებზე.

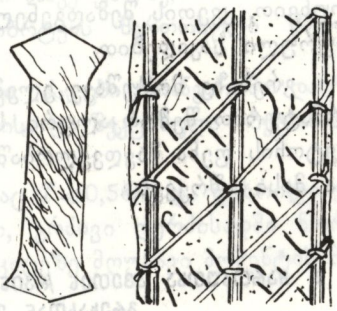
გრეხისადმი რკინაბეტონის ელემენტის წინაღობას შეადგენს შეკუმშული ბეტონის და გაჭიმული არმატურის წინაღობათა ჯამი; ელემენტის წინაღობა ისპობა, როდესაც არმატურას უვითარდება არადრეკადი დეფორმაციები — ძაბვები არმატურაში აღწევს დენადობის ზღვარს, ირღვევა შეჭიდულობა ბეტონსა და არმატურას შორის.

გრეხაზე წინაღობის ყველაზე ეფექტური საშუალება არის ელემენტის კვეთის შემორკალვა გრძივი ღერძისადმი დახრილი სპირალური არმატურით ერთნაშნა მგრეხი მომენტის მოქმედებისას. როდესაც მგრეხი მომენტი ნი-

შანცვლადია, ურთიერთშემხვედრი სპირალების მოწყობა ძნელდება. გარდა ამისა, სამუშაოთა წარმოების მოხერხებულობისათვის უმჯობესია ელემენტის გრძივი ღერძისადმი მართობული, მცირე ბიჯით, კვეთის კონტურთან რაც შეიძლება ახლო განლაგებული საკიდების გამოყენება.

მხოლოდ მგრეხი მომენტების მოქმედებისას გრძივი არმატურის წინაღობა, განივ არმატურასთან შედარებით, უმნიშვნელოა და განივ არმატურას ამ დროს ძირითადად კონსტრუქციული დანიშნულება აქვს.

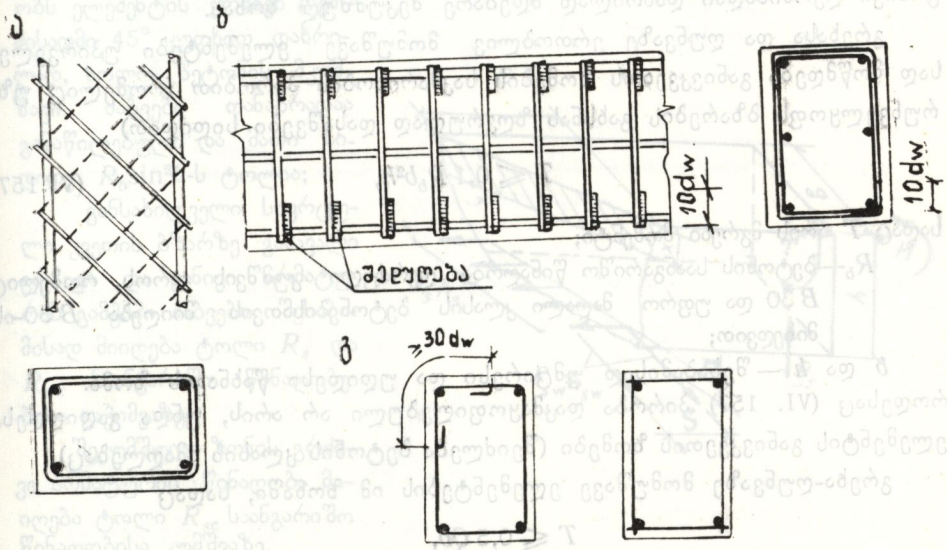
რკინაბეტონის ელემენტები, რომელთაც მუშაობა უხდებათ ერთობლივ გრეხასა და ღუნვაზე, აღიჭურვება არმატურით მღუნავი მომენტების, მგრეხი მომენტებისა და განივი ძალების ზემოქმედებაზე.



ნახ. VI.43. რკინაბეტონის პრიზმის რღვევა გრეხაზე გამოცდისას.

დაარმატურება შეიძლება მოეწყოს შეკრული (ცალკეული ღეროებით) ან შედუღებული კარკასებით (ნახ. VI. 44).

განივი არმატურა ღუნვის სიბრტყის პარალელურ წახნაგებზე განლაგდება ისე, როგორც ღუნვად ელემენტებში, ხოლო მართობულ წახნაგებზე — ბიჯით არაუმეტეს კვეთის სიგანისა (2b-მდე, როდესაც განივი არმატურა გაანგარიშებით საჭირო არ არის).



ნახ. VI.44. გრეხა-ღუნვაზე მომუშავე ელემენტების დაარმატურება;
ა—ცალკეული ღეროებით; ბ—შედუღებული კარკასებით;
გ—განივი არმატურის განლაგება ელემენტის კვეთში.

შეკრული კარკასებით დაარმატურებისას საკიდების ბოლოები ერთმანეთზე გადადებული უნდა იყოს 30 d_w-ს ტოლ მანძილზე; შედუღებულ კარ-

კასებში ყოველი განივი ღერო შედუღებული უნდა იქნეს კუთხის გრძივ ღეროებთან ან საკიდის ბოლოები ერთმანეთთან შედუღდეს ნაკერით, რომლის სიგრძე მიიღება $10d_w$-ზე მეტი. აქ d_w არის საკიდის დიამეტრი.

რთული კვეთის ელემენტებში, რომელთაც მუშაობა უხდებათ გრეხაზე ღუნვით, კვეთის შემადგენელი ყოველი ნაწილი ცალ-ცალკე აღიჭურვება დახურული საკიდებით.

გრეხაზე მომუშავე ელემენტის სასარგებლო ნაწილს წარმოადგენს განივი არმატურით შემორკალური, სალტეში მოქცეული კვეთი — ბირთვი. დამცველი ბეტონის ფენა მხედველობაში არ მიიღება, რადგან რღვევის სტადიაზე ხდება მისი აშრევება.

2. მართკუთხა კვეთის რკინაბეტონის ელემენტების გაანგარიშება სიმტკიცეზე გრეხასთან ერთად ღუნვის შემთხვევაში

გრეხა ღუნვით წინაღობის რთული სახეობაა; გაანგარიშება სიმტკიცეზე დამოკიდებულია T, M, Q ძალვების თანაფარდობის შესაბამის რღვევის სურათზე და ძირითადად დაფუძნებულია ექსპერიმენტების შედეგად ჩამოყალიბებულ სავარაუდო მოსაზრებებზე. ძალვათა თანაფარდობის მიხედვით მართკუთხა კვეთის ელემენტის რღვევა შეიძლება ვიხილოთ სივრცით ბზარიან კვეთზე. გაბზარული სივრცითი კვეთი გადის სამ გაჭიმულ წახნაგზე, ბზარის მოპირდაპირე ბოლოები ებჯინება კვეთის მეოთხე შეკუმშულ წახნაგთან გრძივი ღერძისადმი დახრილად მდებარე შეკუმშულ ზონას.

გრეხასა და ღუნვაზე ერთობლივ მოქმედ ელემენტები უპირველესად მოწმდება განივკვეთის ზომების საკმარისობის პირობით (რომელიც უზრუნველყოფს ბზარების გახსნას ზღვრულად დასაშვები სიდიდით)

$$T \leqslant 0{,}1\, R_b b^2 h, \tag{VI.157}$$

სადაც T არის მგრეხი მომენტი;

R_b — ბეტონის საანგარიშო წინაღობა ღერძული კუმშვის დროს, რომელიც $B30$ და უფრო მაღალი კლასის ბეტონებისათვის მიიღება $B30$-ის მიხედვით;

b და h — შესაბამისად უმცირესი და უდიდესი წახნაგის ზომა.

როდესაც (VI. 157) პირობა დაკმაყოფილებული არ არის, უნდა გადიდდეს ელემენტის განივკვეთის ზომები (შეიძლება ბეტონის კლასის ამაღლებაც).

გრეხა-ღუნვაზე მომუშავე ელემენტების იმ ზონაში, სადაც

$$T \leqslant 0{,}5\, Qb,$$

უნდა ჩატარდეს დახრილი კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცეზე განივი ძალებისა და მგრეხი მომენტების მიხედვით, რადგან მგრეხი მომენტი, წარმოქმნის რა მთავარ გამჭიმ ძაბვებს, ამცირებს ზღვრულ განივ ძალას.

დახრილი კვეთების გაანგარიშება Q განივი ძალისა და T მგრეხი მომენტის მოქმედებაზე ჩატარდება პირობით

$$Q \leqslant Q_{sw} + Q_b - \frac{3T}{b}, \qquad \text{(VI. 158)}$$

სადაც Q არის უდიდესი საანგარიშო განივი ძალა განსახილველი უბნისთვის;

T—უდიდესი საანგარიშო მგრეხი მომენტი ამავე უბანზე;

b—მღუნავი მომენტის მოქმედების სიბრტყის მართობული წახნაგის სიგანე;

Q_b და Q_{sw}—ღუნვადი ელემენტის ზღვრული განივი ძალები საანგარიშო დახრილ კვეთში შესაბამისად განივი არმატურისა და შეკუმშული ბეტონისათვის (იხ. VI.83, VI.84 ფორმულები).

ზემოხსენებულ შემთხვევაში, ე. ი. როდესაც $T \leqslant 0{,}5Qb$ და დახრილი კვეთები იანგარიშება VI.158 პირობის მიხედვით, გრძივი ღერძისადმი ნორმალური და დახრილი კვეთები იანგარიშება სიმტკიცეზე მღუნავი მომენტის მოქმედებაზე მგრეხის გაუთვალისწინებლად.

რკინაბეტონის ელემენტებისათვის, რომლებიც განიცდიან ერთდროულად გრეხას და ღუნვას, სიმტკიცეზე გაანგარიშების ზოგად ამოცანას წარმოადგენს სივრცითი კვეთის გაანგარიშება, რაც პირველ რიგში უნდა შესრულდეს იმ უბანზე, სადაც $T > 0{,}5\,Qb$.

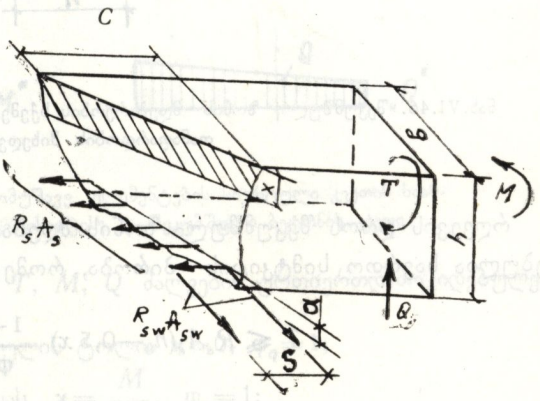
ღუნვასთან ერთად გრეხზე მომუშავე ელემენტების სივრცული კვეთის გაანგარიშებას სიმტკიცეზე საფუძვლად უდევს შემდეგი წინაპირობები:

ბეტონის წინაღობა გაჭიმვაზე ნულის ტოლია;

სივრცული კვეთის შეკუმშული ზონის სავარაუდო სიბრტყე მდებარეობს ელემენტის გრძივი ღერძისადმი 45° კუთხით დახრილად, ხოლო ბეტონის მკუმშავი ძაბვები თანაბრადაა განაწილებული და მათი სიდიდე $R_b \sin^2\theta$-ს ტოლია;

განსახილველი სივრცული კვეთის ბზარზე გამავალი გრძივი და განივი არმატურის გამჭიმი ძაბვები შესაბამისად მიიღება ტოლი R_s და R_{sw} საანგარიშო წინაღობებისა გაჭიმვაზე;

შეკუმშული ზონის გრძივი არმატურის წინაღობა მიიღება ტოლი R_{sc} საანგარიშო წინაღობისა კუმშვაზე.



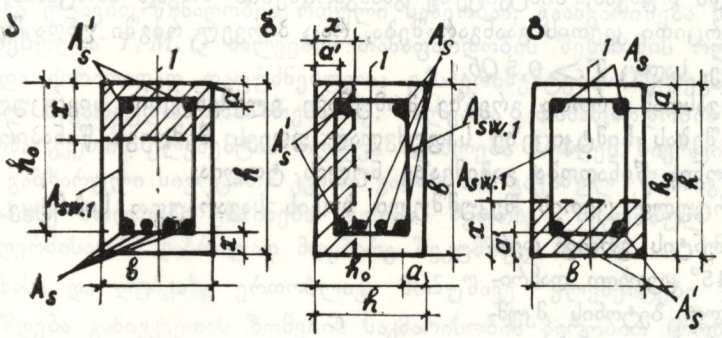
ნახ. VI.45. სივრცული კვეთის ძალვების სქემა სიმტკიცეზე გაანგარიშებისათვის.

სივრცული კვეთის ძალვების სქემა სიმტკიცეზე გაანგარიშებისათვის მოცემულია VI.45 ნახაზზე.

სივრცით კვეთზე რღვევის დროს შეკუმშული ზონის მდებარეობა სხვადასხვაგვარი შეიძლება იყოს მღუნავი და მგრეხი მომენტების თანაფარდობი-

სა და განივი ძალის სიდიდის შესაბამისად. განასხვავებენ სქემებს: ა. შეკუმშული ზონა მდებარეობს მღუნავი მომენტის მოქმედებით შეკუმშულ წახნაგთან; ბ. შუკემშული ზონა მდებარეობს მღუნავი მომენტის მოქმედების სიბრტყის პარალელურ ერთ-ერთ წახნაგთან; გ. შეკუმშული ზონა მდებარეობს მღუნავი მომენტის მოქმედებისაგან გაჭიმულ წახნაგთან (ნახ.VI.46).

შეკუმშული ზონის მდებარეობის სქემებიდან პირველი მოსალოდნელია, როდესაც მღუნავი მომენტის გავლენა უფრო მნიშვნელოვანია, ვიდრე მგრეხი მომენტისა და განივი ძალა ნულოვანი ან უმნიშვნელოა. მეორე სქემა მოსალოდნელია, როდესაც მღუნავი მომენტი უმნიშვნელო ან ნულოვანია; აქ განივი ძალისა და მგრეხი მომენტის ერთობლივი მოქმედება მნიშვნელოვნად ამცირებს დახრილი კვეთების ზღვრულ განივ ძალას. მესამე სქემის მიხედვით რღვევა შესაძლოა მგრეხ მომენტთან შედარებით მცირე მღუნავი მომენტის მოქმედებისას, როდესაც გაჭიმულ ზონაში მოხვედრილი არმატურა უფრო სუსტია, ვიდრე შეკუმშული ზონის არმატურა.



ნახ.VI.46. შეკუმშული ზონის მდებარეობის სქემები ნორმალურ კვეთში ძალვების თანაფარდობის მიხედვით.

რღვევის დროს შეკუმშული ზონის მდებარეობის საპირველ სქემისათვის მიღებულია საერთო სიმტკიცის პირობა, რომელიც გამოისახება ფორმულით

$$T \leqslant R_s A_s (h_0 - 0{,}5\,x)\,\frac{1+\varphi_w \delta \lambda^2}{\varphi_q \lambda + \varkappa}, \qquad \text{(VI. 159)}$$

ხოლო შეკუმშული ზონის სიმაღლე, წონასწორობის პირობის თანახმად, განისაზღვრება განტოლებიდან

$$R_s A_s - R_{sc} A'_s = R_b b x. \qquad \text{(VI.160)}$$

საანგარიშო ძალვები — T მგრეხი მომენტი, M მღუნავი მომენტი და Q განივი ძალა — მიიღება ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური კვეთისათვის, რომელიც გადის სივრცული კვეთის შეკუმშული ზონის სიმძიმის ცენტრზე (ნახ. VI.47). (VI.159) და (V.160) ფორმულებში.

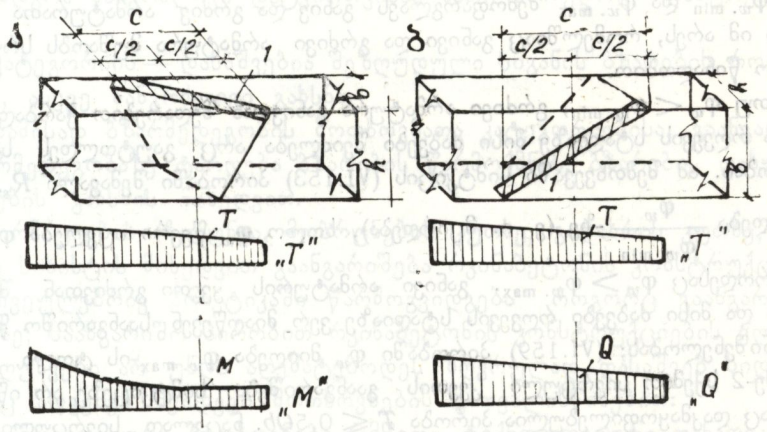
A_s და A'_s არის (შეკუმშული ზონის მდებარეობის მიხედვით საანგარიშო სქემაში) შესაბამისად გაჭიმული და შეკუმშული ზონის გრძივი არმატურის განივკვეთის ფართობი;

b, h—შეკუმშული ზონის საზღვრის ხაზის (ნულოვანი ხაზის) პარალელური და მართობული წახნაგების ზომები;

$$\delta = \frac{b}{2h+b}; \tag{VI. 161}$$

$$= \frac{c}{b}; \tag{VI. 162}$$

აქ c არის შეკუმშული ზონის საზღვრის ხაზის პროექცია ელემენტის გრძივ ღერძზე. სივრცული კვეთის სიმტკიცეზე გაანგარიშება ხდება c-ს ყველაზე საშიში მნიშვნელობისათვის, რომელიც დადგინდება თანდათანობითი მიახლოებით, მაგრამ მიიღება არაუმეტეს $2h+b$.



ნახ. VI.47. გრეხა-ღუნვაზე მომუშავე ელემენტების სივრცული კვეთის საანგარიშო ძალვების განსაზღვრისათვის: 1—შეკუმშული ბეტონის კვეთი.

$\varkappa$ და φ_q ახასიათებს მოქმედი T, M, Q ძალვების ურთიერთდამოკიდებულებას და მიიღება:

როდესაც მღუნავი მომენტი ნულის ტოლია $\varkappa=0$, $\varphi_q=1$;

1-ლი სქემით გაანგარიშებისას $\varkappa = \frac{M}{T}$, $\varphi_q=1$;

მე-2 სქემით გაანგარიშებისას $\varkappa=0$, $\varphi_q=1+\frac{Qh}{2T}$;

მე-3 სქემით გაანგარიშებისას $\varkappa = \frac{M}{T}$, $\varphi_q=1$.

φ_w კოეფიციენტით ხასიათდება განივ და გრძივ არმატურათა თანაფარდობა. φ_w განისაზღვრება ფორმულით

$$\varphi_w = \frac{R_{sw}A_{sw}}{R_sA_s}\,\frac{b}{s}, \tag{VI. 163}$$

სადაც A_{sw} არის განსახილველ საანგარიშო სქემაში გაჭიმულ წახნაგთან მდებარე განივი არმატურის (საკიდის) ერთი ღეროს განივკვეთის ფართობი:

s—საკიდების ბიჯი.

φ_w არ უნდა იყოს ნაკლები, ვიდრე

$$\varphi_{w.\,min}=\frac{0{,}5}{1-\frac{M}{M_u}}, \qquad \text{(VI. 164)}$$

და მეტი, ვიდრე

$$\varphi_{w.\,max}=\frac{1{,}5}{1-\frac{M}{M_u}}; \qquad \text{(VI. 165)}$$

აქ M არის საანგარიშო მღუნავი მომენტი, რომელიც რღვევის მე-2 სქემაში მიიღება ნულის ტოლად, ხოლო მე-3 სქემაში—უარყოფითი ნიშნით.

M_u—ელემენტის ნორმალური კვეთის ზღვრული მომენტი.

$\varphi_{w.\,min}$ და $\varphi_{w.\,max}$ შემოფარგლავს განივ და გრძივ არმატურათა თანაფარდობის იმ არეს, რომელშიაც განივი და გრძივი არმატურა მუშაობს სრული საანგარიშო წინაღობით.

თუ $\varphi_w < \varphi_{w.\,min}$, გრძივი არმატურა განივთან შედარებით ჭარბადაა აღებული და რღვევის სტადიაზე მისი ძაბვები შეიძლება არც გაუტოლდეს საანგარიშო წინაღობას. ამ შემთხვევაში სიმტკიცის (VI.153) პირობაში შემავალი R_sA_s წევრი მრავლდება $\frac{\varphi_w}{\varphi_{w.\,min}}$-ზე (ე. ი. მცირდება), ხოლო φ_w წევრი იცვლება $\varphi_{w.\,min}$-ით.

როდესაც $\varphi_w > \varphi_{w.\,max}$, განივი არმატურის კვეთი გრძივთან შედარებით ჭარბია და მისი ძაბვები რღვევის სტადიაზე ვერ მიაღწევენ საანგარიშო წინაღობის R_{sw} მნიშვნელობას; (VI.159) პირობაში φ_w მიიღება $\varphi_{w.\,max}$-ის ტოლი.

მე-2 სქემით სივრცული კვეთის გაანგარიშება სიმტკიცეზე არ იწარმოებს, როდესაც დაკმაყოფილებულია პირობა $T \leqslant 0{,}5Qb$. ნაცვლად სივრცული კვეთისა, ჩატარდება დახრილი კვეთის გაანგარიშება (VI. 158) პირობით ვანივი ძალისა და მგრეხი მომენტის მოქმედებაზე.

მე-3 სქემით სივრცული კვეთის გაანგარიშება შეიძლება არ ჩატარდეს, როდესაც $M > \frac{T}{2}\sqrt{b}$.

VII თავი

რკინაბეტონის ელემენტების გაანგარიშება მეორე ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით

§ 1. მეორე ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშების არსი

რკინაბეტონის კონსტრუქციები უნდა აკმაყოფილებდეს საანგარიშო მოთხოვნებს როგორც ზიდვის უნარის (პირველი ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა), ასევე ნორმალური ექსპლუატაციისათვის ვარგისიანობის მიხედვით — მეორე ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით.

თუ ზიდვის უნარის მიხედვით გაანგარიშება სავალდებულოა ყოველგვარი მზიდი კონსტრუქციისათვის, მეორე ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით საჭიროა მხოლოდ ისეთი კონსტრუქციების გაანგარიშება, რომელთა ნორმალური ექსპლუატაციის პირობები შეიძლება დაირღვეს ზღვრული მდგომარეობის დადგომის გამო. ექსპლუატაცია ნორმალურად ითვლება მაშინ, როდესაც იგი შეუზღუდავად მიმდინარეობს ნორმებით ან საპროექტო მოცემულობით გათვალისწინებული ტექნოლოგიური ან საყოფაცხოვრებო პირობების შესაბამისად. II ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშებები ტარდება კონსტრუქციის ბზარმედეგობისა და სიხისტის უზრუნველყოფისათვის.

განასხვავებენ ბზარმედეგობის მოთხოვნათა სამ კატეგორიას, კონსტრუქციის მუშაობის პირობებისა და გამოყენებული არმატურის სახეობის მიხედვით:

I კატეგორიის მოთხოვნა — ბზარების გახსნა დაუშვებელია;

II კატეგორიის — დასაშვებია შეზღუდული სიგანის ბზარების ხანმოკლე გახსნა შემდგომ ხანგრძლივი დატვირთვისას მათი საიმედოდ დახურვის პირობით;

III კატეგორიის — დასაშვებია შეზღუდული სიგანის ბზარების როგორც ხანმოკლე, ასევე ხანგრძლივი გახსნა.

შესაბამისად ბზარმედეგობის მოთხოვნათა კატეგორიებისა, გაანგარიშებები ბზარმედეგობაზე ტარდება ბზარების წარმოქმნის, ბზარების დახურვის და ბზარების გახსნის მიხედვით.

დეფორმაციების (ჩაღუნვა, მობრუნების კუთხე, გადახრის კუთხე, რხევები) ანუ სიხისტის მიხედვით გაანგარიშება რკინაბეტონის კონსტრუქციებისათვის, ჩვეულებრივ პრაქტიკაში წარმოგვიდგება როგორც გაანგარიშება ჩაღუნვებზე; საანგარიშო პირობით რკინაბეტონის კონსტრუქციების ელემენტების ჩაღუნვები არ უნდა აღემატებოდეს ზღვრულად დასაშვებ სიდიდეს, რომელსაც ადგენენ შემდეგი მოთხოვნების გათვალისწინებით:

ა) ტექნოლოგიური მოთხოვნები (ამწეთა, ტექნოლოგიური დანადგარებისა და ა. შ. ნორმალური მუშაობის პირობით);

ბ) კონსტრუქციული მოთხოვნები (დეფორმაციების შემზღუდავი გავლენა მეზობელი ელემენტების მხრივ; მოცემული ქანობების შენარჩუნება და ა. შ.);

გ) ესთეტიკური მოთხოვნები (ადამიანების შთაბეჭდილება კონსტრუქციის ვარგისიანობის შესახებ).

ელემენტებისათვის, რომელთაც მუშაობა უხდებათ არააგრესიულ გარემოში, ბზარის გახსნის ზღვრულად დასაშვები სიდიდეები, მუშაობის პირობებისა და გამოყენებული არმატურის სახეობის მიხედვით, ბზარმედეგობის მოთხოვნათა კატეგორიის შესაბამისად, მოცემულია სამშენებლო ნორმებისა და წესების СНиП 2.03.01—84 1 და 2 ცხრილში (ავრეთვე II დანართში).

ზღვრულად დასაშვები ჩაღუნვების სიდიდე კი, კონსტრუქციის დანიშნულებისა და საანგარიშო ელემენტის მალის მიხედვით მოცემულია იმავე ნორმების მე-4 ცხრილში (მუხლი 1. 21-ის შესაბამისად) და IV დანართში.

საანგარიშო პირობების ზოგადი გამოსახულება II ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშებისას:

ბზარების წარმოქმნის მიხედვით

$$N \leqslant N_{crc}; \tag{VII.1}$$

ბზარების გახსნის მიხედვით

$$a_{crc} \leqslant [a_{crc}]_{lim}; \tag{VII. 2}$$

ჩაღუნვების მიხედვით

$$f \leqslant f_{lim}, \tag{VII. 3}$$

სადაც N, a_{crc}, f არის შესაბამისად მოქმედი დატვირთვებით აღძრული ძალვის, ბზარის გახსნისა და ჩაღუნვის სიდიდე; N_{crc}—ძალვის სიდიდე, რომელსაც აიტანს კვეთი ბზარების წარმოქმნის დროს; $[a_{crc}]_{lim}$, f_{lim}—შესაბამისად ზღვრულად დასაშვები ბზარის გახსნისა და ჩაღუნვის სიდიდე.

§. 2. რკინაბეტონის ელემენტების ბზარმედეგობა. ბზარწარმომქმნელი ძალვები

1. რკინაბეტონის ელემენტების დაბზარვის მიზეზები; ბზარების განვითარების პროცესი

რკინაბეტონის თავისებურებას წარმოადგენს დაბზარვის თვისება. რკინაბეტონის დაბზარვას იწვევს: ბეტონის გამყარების პროცესი (კერძოდ, შეკლება) და გადატვირთვის, საყრდენების არათანაბარი დაჯდომის ან ტემპერატურის ზემოქმედებით გამოწვეული გადაძაბვა.

შევეხებით ბზარების განვითარებას გადატვირთვის მიზეზით.

ბზარები გადატვირთვისაგან უფრო ხშირად ჩნდება გაჭიმულ ზონაში, ვიდრე შეკუმშულში.

შეკუმშული ბეტონის დაბზარვა მიგვითითებს ელემენტის განივკვეთის ზომების შეუსაბამობაზე მკუმშავი ძაბვისადმი — ასეთი ბზარები კონსტრუქციისათვის საშიშია. დაგეგმარება უნდა ჩატარდეს ისე, რომ შეკუმშული ბეტონის ზომები აკმაყოფილებდეს სიმტკიცის პირობას.

დაუძაბავი რკინაბეტონის კონსტრუქციებში გაჭიმული ზონის ბეტონი საექსპლუატაციო დატვირთვების მოქმედებისას იბზარება სრულიად უნაკლოდ აგების შემთხვევაშიაც. გაჭიმული ბეტონის დაბზარვის მიზეზია მისი დაბალი ჭიმვადობა, რომელსაც არ ძალუძს გაიჭიმოს ისევე, როგორც ფოლადის არმატურას, ამ უკანასკნელში მაღალი მუშა ძაბვების მოქმედებისას; ასეთი ბზარების არსებობა, როდესაც მათი გახსნის სიგანე დასაშვებ სიდიდეს არ აღემატება. ჩვეულებრივ არ არღვევს რკინაბეტონის საერთო მონოლითურობას და კონსტრუქციის სიმტკიცისათვის საშიში არ არის, მაგრამ რკინაბეტონის ელემენტების გაჭიმული ბეტონის დაბზარვა ადაბლებს კონსტრუქციის სიხისტეს, ადიდებს არმატურის კოროზიის საშიშროებას, რასაც შეუძლია გამოიწვიოს მათი სამსახურის ვადის შემცირება.

ბზარების განვითარების პროცესში განასხვავებენ სამ ეტაპს: 1. ბზარების წარმოქმნა, როდესაც ისინი ჯერ არ შეიმჩნევა შეუიარაღებელი თვალით, 2. ბზარების გაჩენა, როდესაც ისინი შეიმჩნევა შეუიარაღებელი თვალით (ბზარის გახსნის სიდიდე არ აღემატება 0,005 მმ), 3. ბზარების გახსნა.

რკინაბეტონის ელემენტებისათვის, რომელთა დაარმატურების პროცენტი შეადგენს 1—2%-ს, პირველი და მეორე ეტაპი ჩვეულებრივ თანხვდენილია და ბზარების განვითარების პროცესი წარმოგვიდგება ორ ეტაპად: ბზარების წარმოქმნა და გახსნა.

ბზარმედეგობის მოთხოვნათა კატეგორიის შესაბამისად განასხვავებენ ბზარმედეგობაზე გაანგარიშების სამ შემთხვევას: 1. გაანგარიშება ბზარების წარმოქმნის მიხედვით; 2. გაანგარიშება ბზარების დახურვის მიხედვით; 3. გაანგარიშება ბზარების გახსნის მიხედვით.

ბზარების წარმოქმნის მიხედვით იანგარიშება კონსტრუქციები, რომელთა ნორმალური ექსპლუატაციის მოთხოვნათა შესაბამისად ბზარების გაჩენა დაუშვებელია (I კატეგორიის მოთხოვნა). ბზარების წარმოქმნის მიხედვით გაიანგარიშება ჩვეულებრივ, წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციები.

ბზარების გახსნის მიხედვით იანგარიშება კონსტრუქციები, რომელთა ნორმალური ექსპლუატაციის პირობით შეზღუდული სიგანის ბზარების გახსნა დასაშვებია როგორც ხანმოკლე, ასევე ხანგრძლივი დატვირთვისას (III კატეგორიის მოთხოვნა). ესაა ჩვეულებრივი (დაუძაბავი) რკინაბეტონის კონსტრუქციები და წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციების ზოგი სახეობა.

ბზარების დახურვის მიხედვით იანგარიშება რკინაბეტონის ელემენტები, როდესაც ნორმალური ექსპლუატაციის პირობით შეზღუდული სიდიდის ბზარების ხანმოკლე გახსნა დასაშვებია, თუ ხანგრძლივი დატვირთვისას ისინი საიმედოდ იხურებიან (II კატეგორიის მოთხოვნა). ასეთი კატეგორიის მოთხოვნისას ჩვეულებრივ მიმართავენ კონსტრუქციების წინასწარ დაძაბვას.

ბზარები შეიძლება განლაგდნენ ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალურად და დახრილადაც, ამიტომ ბზარმედეგობაზე იანგარიშება რკინაბეტონის ელემენტების როგორც ნორმალური, ასევე დახრილი კვეთები.

2. ბზარების წარმოქმნის მიხედვით გაანგარიშება რკინაბეტონის ელემენტების გრძივი ღერძისადმი ნორმალური კვეთებისათვის

ძალვა, რომელსაც აიტანს ნორმალური კვეთი ბზარების წარმოქმნისას — ბზარწარმომქმნელი ძალვა — განისაზღვრება კვეთის დაძაბული მდგომარეობის I სტადიის დასასრულისათვის დამახასიათებელი საანგარიშო სქემის შესაბამისად შემდეგი დებულებების მიხედვით:

კვეთები ელემენტის დეფორმაციის შემდეგაც რჩება ბრტყელი;

— გაჭიმული ზონის ბეტონის ნორმალური გამჭიმი ძაბვები თანაბრადაა განაწილებული კვეთის სიმაღლეზე და სიდიდით ტოლია $R_{bt.ser}$—ბეტონის საანგარიშო წინაღობისა გაჭიმვაზე, რომელიც კონსტრუქციის ნორმალური ექსპლუატაციის პირობების შესაბამისად მიიღება ბეტონის კლასის მიხედვით;

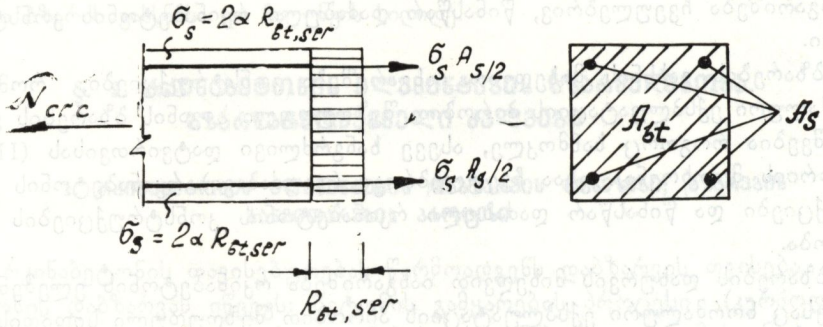
—შეკუმშული ზონის ბეტონის მკუმშავი σ_b ნორმალური ძაბვები ისაზღვრება ბეტონის დრეკადი მუშაობის გათვალისწინებით (მაღალი დონის ძაბვების მახასიათებლის—$\sigma_b/R_b \geqslant 0{,}7$—შემთხვევაში არადრეკადი დეფორმაციების გათვალისწინებითაც);

— გაჭიმული ზონის ბეტონის კიდურა ბოჭკოს გაჭიმვის ფარდობითი დეფორმაცია $2R_{bt.ser}/E_b$-ს ტოლია.

ა) ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების გაანგარიშება ბზარების წარმოქმნის მიხედვით ჩატარდება პირობით

$$N \leqslant N_{crc}, \qquad \text{(VII.4)}$$

სადაც N არის გამჭიმი ნორმალური ძალის სიდიდე საანგარიშო სტადიაზე, ხოლო N_{crc} — ბზარწარმომქმნელი გამჭიმი ძალა, რომელიც განისაზღვრება კვეთის დაძაბული მდგომარეობის I სტადიის დაბოლოებისათვის მიღებული საანგარიშო სქემის მიხედვით (ნახ.VII.1).



ნახ.VII.1. ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტის ნორმალური კვეთის დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა ბზარების წარმოქმნისას.

აღვნიშნოთ: A_s—გრძივი მუშა არმატურის ჯამური ფართობი კვეთში; A_{bt}—გაჭიმული ბეტონის ფართობი, რომელიც შეიძლება მივიღოთ მთელი კვეთის ფართობის ტოლი.

ბზარების წარმოქმნისას—I სტადიის ბოლოს—ძაბვები გაჭიმულ არმატურაში $\sigma_s = 2\alpha R_{bt,ser}$; ბზარწარმომქმნელი გამჭიმი ძალა წონასწორობის პირობის თანახმად ტოლია

$$N_{crc} = R_{bt,ser} A_{bt} + \sigma_s A_s = R_{bt,ser} A_{bt} + 2\alpha R_{bt,ser} A_s = R_{bt,ser}(A_{bt} + 2\alpha A_s). \qquad \text{(VII.5)}$$

საანგარიშო ფორმულა ბზარების წარმოქმნის მიხედვით დაიწერება შემდეგი სახით

$$N \leqslant R_{bt,ser}(A_{bt} + 2\alpha A_s). \qquad \text{(VII.6)}$$

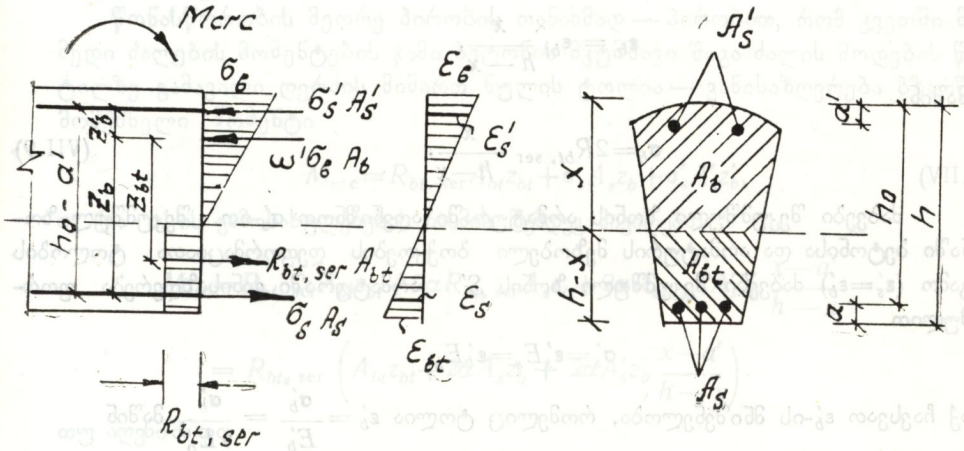
როდესაც VII.6 პირობა დაკმაყოფილებულია, ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტი არ დაიბზარება.

ბ) ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება გრძივი ღერძისადმი ნორმალური ბზარების წარმოქმნის მიხედვით ჩატარდება პირობით

$$M \leqslant M_{crc}, \qquad \text{(VII.7)}$$

სადაც M არის გარე დატვირთვით გამოწვეული მღუნავი მომენტის სიდიდე საანგარიშო კვეთში, ხოლო M_{crc} — ბზარწარმომქმნელი მომენტი (ე. ი. მღუნავი მომენტი, რომელსაც იტანს კვეთი ბზარების წარმოქმნისას); იგი იანგარიშება კვეთის დაძაბული მდგომარეობის I სტადიის დასასრულის დამახასიათებელი საანგარიშო სქემის მიხედვით (ნახ. VII.2). აქ მიღებულია შეკუმშული ზონის ბეტონის ძაბვების სამკუთხა ეპიურა, ე. ი. ბეტონის დრეკადი დეფორმაციების გათვალისწინებით განისაზღვრება ბზარწარმომქმნელი მომენტი.

წინაპირობებით მიღებული ბრტყელი კვეთების ჰიპოთეზის თანახმად, ბეტონის ფარდობითი დეფორმაციები კვეთის სიმაღლეზე ვითარდება სწორხაზოვნად.



ნახ. VII.2. ღუნვადი ელემენტის ნორმალური კვეთის დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა ბზარების წარმოქმნისას.

პირველ სტადიაზე ღუნვადი ელემენტის შეკუმშულ ზონაში ძაბვები და დეფორმაციები ვითარდება ისევე, როგორც ცენტრალურად შეკუმშულ ელემენტში, ხოლო გაჭიმულ ზონაში ისე, როგორც ცენტრალურად გაჭიმულ ელემენტში (იხ. თავი IV, § 8).

ბზარების წარმოქმნამდე გაჭიმულ ზონაში ბეტონისა და არმატურის მეზობელი ბოჭკოების ფარდობითი დეფორმაციები თანაბარია

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{bt},$$

აქ ε_s გაჭიმული ზონის არმატურის ფარდობითი დეფორმაციის სიდიდეა, ხოლო ε_{bt} — გაჭიმული ბეტონის მეზობელი ბოჭკოს ფარდობითი დეფორმაციის სიდიდე.

პირველ სტადიაზე

$$\varepsilon_{bt} = \frac{\sigma_{bt}}{E'_{bt}} = \frac{\sigma_{bt}}{\nu_t E_b},$$

ხოლო პირველი სტადიის ბოლოს, როდესაც $\sigma_{bt} = R_{bt,ser}$, $\nu_t = 0{,}5$ და გაჭიმული ბეტონის დეფორმაცია კვეთის კიდეზე ტოლი იქნება

$$\varepsilon_{bt} = \frac{2R_{bt,ser}}{E_b}.$$

თუ უგულებელვყოფთ სხვაობას დეფორმაციებს შორის გაჭიმულ კიდესა და არმატურის სიმძიმის ცენტრის დონეზე, ძაბვები გაჭიმულ არმატურაში პირველი სტადიის ბოლოს ტოლი იქნება

$$\sigma_s = 2\alpha R_{bt,\,ser}, \tag{VII.8}$$

სადაც $\alpha = \dfrac{E_s}{E_b}$ (რომელსაც დაყვანის კოეფიციენტი წოდა).

შეკუმშული ზონის ბეტონის ძაბვები კვეთის კიდეზე (აღვნიშნოთ σ_b-თი)

$$\sigma_b = \varepsilon_b E'_b = \varepsilon_b \nu E_b.$$

კვეთის დაძაბული მდგომარეობის I სტადიის დასასრულს $\nu = 1$. დეფორმაციათა სამკუთხა ეპიურების მსგავსების პირობით (ნახ.VII.2)

$$\varepsilon_b = \varepsilon_{bt} \frac{x}{h - x},$$

მაშინ

$$\sigma_b = 2R_{bt,\,ser} \frac{x}{h-x}. \tag{VII.9}$$

ძაბვები შეკუმშული ზონის არმატურაში აღვნიშნოთ σ'_s-ით. შეკუმშულ ზონაში ბეტონისა და არმატურის მეზობელი ბოჭკოების დეფორმაციათა ტოლობის გამო ($\varepsilon'_s = \varepsilon'_b$) ძაბვები შეკუმშული ზონის S' არმატურაში განისაზღვრება ფორმულით

$$\sigma'_s = \varepsilon'_s E_s = \varepsilon'_b E_s.$$

აქ ჩავსვათ ε'_b-ის მნიშვნელობა, რომელიც ტოლია $\varepsilon'_b = \dfrac{\sigma'_b}{E'_b} = \dfrac{\sigma'_b}{\nu E_b}$, მაშინ

$$\sigma'_s = \frac{\sigma'_b}{\nu E_b} E_s = \frac{\alpha}{\nu} \sigma'_b. \tag{VII.10}$$

რადგანაც დაძაბული მდგომარეობის პირველ სტადიაზე შეკუმშული ბეტონის დრეკადი დეფორმაციის **კოეფიციენტი $\nu = 1$, მივიღებთ**

$$\sigma'_s = \alpha \sigma'_b, \tag{VII.11}$$

სადაც σ'_b აღნიშნავს ძაბვების სიდიდეს ბეტონში შეკუმშული არმატურის სიმძიმის ცენტრის დონეზე. პირველი სტადიის დასასრულს იგი ტოლია

$$\sigma'_b = 2R_{bt,\,ser} \frac{x - a'}{h - x}; \tag{VII.12}$$

VII.11-ში ჩასმის შემდეგ მივიღებთ შეკუმშული ზონის გრძივი მუშა არმატურის ძაბვების გამოსახულებას პირველი სტადიის დასასრულისთვის

$$\sigma'_s = 2\alpha R_{bt,\,ser} \frac{x - a'}{h - x}. \tag{VII.13}$$

ბზარების წარმოქმნისას ნეიტრალური ღერძის მდებარეობა განისაზღვრება წონასწორობის პირობიდან (ძალთა გეგმილების ჯამი ელემენტის გრძივ ღერძზე ნულის ტოლია)

$$\sigma'_s A'_s + \omega' \sigma_b A_b - R_{bt,\,ser} A_{bt} - \sigma_s A_s = 0, \qquad \text{(VII.14)}$$

აქ ω' არის ბეტონის კუმშვის ძაბვების ეპიურის სისრულის კოეფიციენტი, $\omega' \leqslant 1$ $\left(\text{მართკუთხა კვეთებისათვის ძაბვების სამკუთხა ეპიურის დროს } \omega' = \frac{1}{2}\right)$; σ_s, σ'_s, σ_b-ს მნიშვნელობების ჩასმის (რომლებიც გამოისახა $R_{bt,\,ser}$-ის მიხედვით) და $R_{bt,\,ser}$-ზე შეკვეცის შემდეგ, ფორმულიდან

$$2\alpha A'_s \frac{x - a'}{h - x} + 2w' A_b \frac{x}{h - x} - A_{bt} - 2\alpha A_s = 0 \qquad \text{(VII.15)}$$

ამოიხსნება შეკუმშული ზონის სიმაღლის x მნიშვნელობა მოცემული კონკრეტული კვეთისათვის.

წონასწორობის მეორე პირობის თანახმად — პირობით, რომ კვეთში მოქმედი ძალების მომენტების ჯამი ბეტონის მკუმშავი შიგა ძალის მოდების წერტილზე გამავალი ღერძის მიმართ ნულის ტოლია — განისაზღვრება ბზარწარმომქმნელი მომენტი

$$M_{crc} = R_{bt,\,ser} A_{bt} z_{bt} + \sigma_s A_s z_b + \sigma'_s A'_s z'_b. \qquad \text{(VII.16)}$$

σ_s და σ'_s-ის გამოსახულებების ჩასმის შემდეგ მივიღებთ

$$M_{crc} = R_{bt,\,scr} A_{bt} z_{bt} + 2\alpha R_{bt,\,scr} A_s z_b + 2\alpha R_{bt,\,scr} A'_s z'_b \frac{x - a'}{h - x} =$$

$$= R_{bt,\,ser} \left(A_{bt} z_{bt} + 2\alpha A_s z_b + 2\alpha A'_s z'_b \frac{x - a'}{h - x} \right).$$

თუ აღვნიშნავთ

$$W_{pl} = A_{bt} z_{bt} + 2\alpha A_s z_b + 2\alpha A'_s z'_b \frac{x - a'}{h - x}, \qquad \text{(VII.17)}$$

მივიღებთ

$$M_{crc} = R_{bt,\,scr} W_{pl}. \qquad \text{(VII.18)}$$

W_{pl}-ს ეწოდება რკინაბეტონის კვეთის დრეკად-პლასტიკური წინაღობის მომენტი ბზარების წარმოქმნისას გაჭიმული კიდის მიმართ (წინაღობის მომენტი გაჭიმული კიდის მიმართ ბეტონის არადრეკადი თვისებების გათვალისწინებით).

ბეტონის (უარმატურო) კვეთისათვის ბზარწარმომქმნელი მომენტი განისაზღვრება რკინაბეტონის ელემენტისათვის დაწერილი ზემომოყვანილი ფორმულიდან პირობით, რომ $A_s = A'_s = 0$. თუ აღვნიშნავთ ბზარწარმომქმნელ მომენტს ბეტონის კვეთისათვის $M_{b,crc}$-ით, ხოლო ბეტონის კვეთის დრეკად-პლასტიკური წინაღობის მომენტს $W_{b,pl}$-ით, მივიღებთ

$$M_{b,\,crc} = R_{bt,ser} A_{bt} z_{bt} = R_{bt,ser} W_{b,pl}, \qquad \text{(VII.19)}$$

სადაც

$$W_{b\cdot pl} = A_{bt} z_{bt}. \qquad \text{(VII.20)}$$

ნულოვანი ხაზის მდებარეობა კვეთში — შეკუმშული ზონის x სიმაღლე იანგარიშება VII.15 ფორმულიდან მიღებული განტოლებით

$$2\omega' \frac{x}{h-x} A_b - A_{bt} = 0,$$

სადაც მოცემული განივკვეთის შეკუმშული ბეტონის A_b ფართობი გამოსახულია x-გან დამოკიდებულებით.

ღუნვადი ელემენტების ბზარწარმომქმნელი მომენტის განსაზღვრისათვის საჭიროა ყოველი მოცემული პროფილის კვეთისათვის დადგინდეს დრეკად-პლასტიკური წინაღობის W_{pl} მომენტი ბზარების წარმოქმნის დროს.

3. W_{pl} დრეკად-პლასტიკური წინაღობის მომენტი

ღუნვადი ელემენტების განივკვეთის გავრცელებული ფორმებიდან (მართკუთხა, ტესებრი, ორტესებრი) ორტესებრი კვეთი განიხილება როგორც ზოგადი ფორმა (ნახ. VII.3) საანგარიშო ფორმულების განზოგადებისათვის. მიიღება აღნიშვნები: A_f—შეკუმშული ზონის თაროების შვერილების ფართობი, A_{ft}—გაჭიმული ზონის თაროების შვერილების ფართობი.

როგორც აღინიშნა, ბზარების წარმოქმნისას, I სტადიის დასასრულს, გაჭიმულ ზონაში ბეტონის გამჭიმი ნორმალური ძაბვების ეპიურა მიიღება მართკუთხა ($\nu_t = 0{,}5$); შეკუმშულ ზონაში ბეტონის მკუმშავი ნორმალური ძაბვების ეპიურა მიიღება სამკუთხა ($\nu = 1$), როდესაც შეკუმშული ბეტონის ძაბვები განისაზღვრება დრეკადი დეფორმაციების გათვალისწინებით, ხოლო როდესაც ბეტონის მკუმშავი ძაბვების დონე მაღალია — $K = \frac{\sigma_b}{R_{b,\,ser}} > 0{,}7$ — არადრეკადი დეფორმაციების გათვალისწინებით მიიღება მრუდხაზოვანი ეპიურა. $K = \frac{\sigma_b}{R_{b,ser}}$

ფარდობის ზღვრული მნიშვნელობა დამოკიდებულია ბეტონის სახეობაზე, დატვირთვის ხანგრძლივობასა და სხვა ფაქტორებზე. შეკუმშული ბეტონის დრეკადი დეფორმაციების გათვალისწინებით, ღუნვადი ელემენტის ორტესებრი ნორმალური კვეთის დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა I სტადიის დასასრულს მოცემულია VII. 3. ნახაზზე. ამ შემთხვევისათვის გაჭიმული ბეტონის ფარდობითი დეფორმაციების სიდიდე ელემენტის გაჭიმულ კიდეზე

$$\varepsilon_{bt} = \frac{2R_{bt,ser}}{E_b}; \qquad \text{(VII.21)}$$

შეკუმშული ბეტონის ფარდობითი დეფორმაციის სიდიდე ელემენტის კიდეზე დეფორმაციების ეპიურის სამკუთხედების მსგავსების თანახმად

$$\varepsilon_b = \varepsilon_{bt} \frac{x}{h-x} = \frac{2R_{bt,\,ser}}{E_b} \frac{x}{h-x}.$$

ბეტონის მკუმშავი ძაბვები ელემენტის კიდურა ბოჭკოებში

$$\sigma_b = \varepsilon_b E_b' = \varepsilon_b \nu E_b = 2R_{bt,ser} \frac{x}{h-x}. \qquad \text{(VII.22)}$$

ბეტონის მკუმშავი ძაბვები თაროს შვერილების სიმძიმის ცენტრის დონეზე

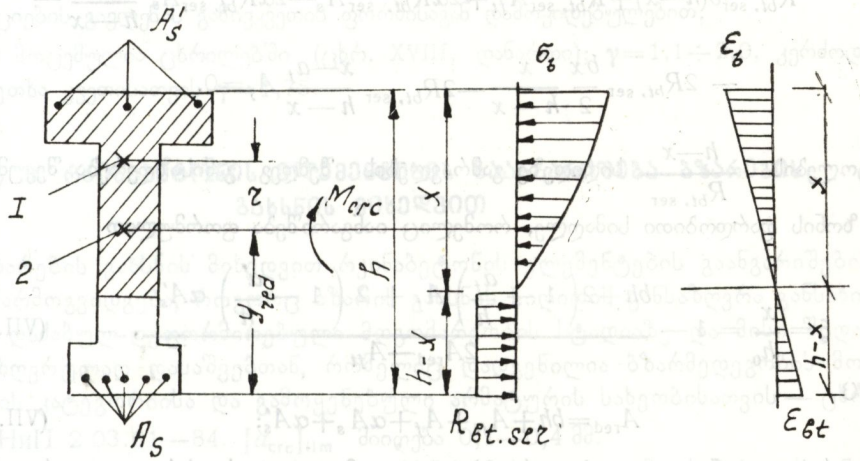
$$\sigma_{bf} = 2R_{bt,\,ser}\,\frac{x-a_f}{h-x}. \qquad \text{(VII.23)}$$

ძაბვები გაჭიმული ზონის არმატურაში, როგორც უკვე დავადგინეთ

$$\sigma_s = 2\alpha R_{bt,\,ser}. \qquad \text{(VII.24)}$$

ძაბვები შეკუმშული ზონის არმატურაში

$$\sigma'_s = 2\alpha R_{bt,\,ser}\,\frac{x-a'}{h-x}. \qquad \text{(VII.25)}$$



ნახ. VII.3. ორტესებრი პროფილის ღუნვადი ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური კვეთის ძალვების სქემა და ძაბვების ეპიურა ბზარების წარმოქმნისას.

წიბოში ბეტონის მკუმშავი შიგა ძალა N_{br} მოდებულია კვეთის კიდიდან $\frac{x}{3}$-ის ტოლ მანძილზე. ბზარწარმომქმნელი მომენტის სიდიდის და დრეკად-პლასტიკური წინაღობის მომენტის W_{pl}-ის დასადგენად, წონასწორობის პირობით ($\sum M=0$) კვეთზე მოქმედი ძალების მომენტების ჯამი იწერება ღერძის მიმართ, რომელიც გადის წიბოს მკუმშავი შიგა ძალის მოდების წერტილზე; მივიღებთ, რომ ბზარწარმომქმნელი მომენტი

$$M_{crc} = R_{bt,\,ser}\left[b(h-x)\left(\frac{h}{2}+\frac{x}{6}\right)+A_{ft}\left(h-a_{ft}-\frac{x}{3}\right)+\right.$$

$$\left.+2A_f\,\frac{x-a_f}{h-x}\left(\frac{x}{3}-a_f\right)+2\alpha A_s\left(h_0-\frac{x}{3}\right)+2\alpha A'_s\,\frac{x-a'}{h-x}\left(\frac{x}{3}-a'\right)\right];$$

$$M_{crc} = R_{bt,\,ser}W_{pl}, \qquad \text{(VII.26)}$$

სადაც W_{pl} დრეკად-პლასტიკური წინაღობის მომენტი (გაჭიმული ზონის მიხედვით) ბზარების წარმოქმნისას ტოლია

$$W_{pl}=b(h-x)\left(\frac{h}{2}+\frac{x}{6}\right)+A_{ft}\left(h-a_{ft}-\frac{x}{3}\right)+2A_f\frac{x-a_f}{h-x}\left(\frac{x}{3}-a_f\right)+$$

$$+2\alpha A_s\left(h_0-\frac{x}{3}\right)+2\alpha A'_s\frac{x-a'}{h-x}\left(\frac{x}{3}-a'\right). \qquad \text{(VII.27)}$$

შეკუმშული ზონის x სიმაღლე ბზარების წარმოქმნისას განისაზღვრება წონასწორობის პირობის თანახმად ($\sum X=0$ — ძალთა გეგმილების ჯამი ელემენტის გრძივ ღერძზე ნულის ტოლია)

$$R_{bt.\,ser}b(h-x)+R_{bt.\,ser}A_{ft}+2\alpha R_{bt.\,ser}A_s-2\alpha R_{bt.\,ser}A'_s\frac{x-a'}{h-x}-$$

$$-2R_{bt.\,ser}\frac{bx}{2}\frac{x}{h-x}-2R_{bt.\,ser}\frac{x-a_f}{h-x}A_f=0.$$

განტოლების $\dfrac{h-x}{R_{bt.\,ser}}$ სიდიდეზე გამრავლების შემდეგ განისაზღვრება შეკუმშული ზონის ფარდობითი სიმაღლე, რომელიც იანგარიშება ფორმულით

$$\xi=\frac{x}{h_0}=1-\frac{bh+2\left(1-\dfrac{a_f}{h}\right)A_f+2\left(1-\dfrac{a'}{h}\right)\alpha A'_s}{2A_{red}-A_{ft}}, \qquad \text{(VII.28)}$$

სადაც

$$A_{red}=bh+A_{ft}+A_f+\alpha A_s+\alpha A'_s; \qquad \text{(VII.29)}$$

A_{red} არის დაყვანილი კვეთის ფართობი. იგი ჯამია კვეთის სრული ფართობისა არმატურის გამოკლებით (ე. ი. ბეტონის ფართობისა) და ბეტონზე დაყვანილი გრძივი მუშა არმატურის ფართობის. თაროების შვერილების A_{ft} და A_f ფართობი შესაბამისად გაჭიმული და შეკუმშული ზონისათვის

$$A_{ft}=(b_f-b)\,h_f \quad \text{და} \quad A_f=(b'_f-b)\,h'_f.$$

ეს ფორმულები საერთოა განივკვეთის სხვადასხვა ფორმებისათვის—მართკუთხა, ტესებრი და ორტესებრი. ტესებრი კვეთებისათვის შეკუმშული თაროთი— $A_{ft}=0$; ტესებრი კვეთებისათვის გაჭიმული თაროთი $-A_f=0$; მართკუთხა კვეთებისათვის $A_{ft}=A_f=0$.

რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტის ცალფაარმატურიანი მართკუთხა კვეთის დრეკად-პლასტიკური წინაღობის მომენტი ბზარების წარმოქმნისას

$$W_{pl}=b(h-x)(h/2+x/6)+2\alpha A_s(h_0-x/3); \qquad \text{(VII.30)}$$

$$\xi=\frac{x}{h_0}=1-\frac{bh}{2(bh+\alpha A_s)}=1-\frac{1}{2(1+\alpha\mu_1)}, \qquad \text{(VII.31)}$$

სადაც $\mu_1=\dfrac{A_s}{bh}$.

ბეტონის უარმატურო მართკუთხა კვეთისათვის დრეკად-პლასტიკური წინაღობის მომენტი განისაზღვრება საერთო ფორმულიდან, სადაც $A_s = A'_s = 0$:

$$\xi_b = \xi = \frac{1}{2}; \quad W_{b.pl} = \frac{7}{24} bh^2,$$

რაც $\frac{7}{4}$-ჯერ მეტია, ვიდრე დრეკადი მასალის კვეთის წინაღობის მომენტი.

W_{pl} შეიძლება მიახლოებით განისაზღვროს დრეკადი მასალის კვეთის წინაღობის W_0 მომენტის მიხედვით ფორმულით

$$W_{pl} = \gamma W_0; \qquad \text{(VII.32)}$$

γ კოეფიციენტი ითვალისწინებს ბეტონის გაჭიმული ზონის არადრეკადი დეფორმაციების გავლენას განივკვეთის ფორმისაგან დამოკიდებულებით.

γ მოცემულია ცხრილებში (ცხრ. XVIII, დანართი); $\gamma = 1{,}1 \div 2{,}0$, კერძოდ, მართკუთხა კვეთისათვის $\gamma = 1{,}75$.

§ 3. რკინაბეტონის ელემენტების გაანგარიშება ბზარების გახსნის მიხედვით

ბზარების გახსნის მიხედვით რკინაბეტონის ელემენტების გაანგარიშების არსი წარმოგვიდგება, როგორც ბზარის გახსნის სიდიდის განსაზღვრა განსახილველ დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის სტადიაზე და მისი შედარება ზღვრულად დასაშვებთან, რომელიც დადგენილია ბზარმედეგობის მოთხოვნის კატეგორიისა და გამოყენებული არმატურის სახეობისათვის — ცხრ. 1,2, СНиП 2.03.01—84. $[a_{crc}]_{lim}$ მიიღება 0,1—0,4 მმ.

საანგარიშო პირობა ბზარების გახსნის მიხედვით გამოისახება ასეთნაირად:

$$a_{crc} \leqslant [a_{crc}]_{lim}. \qquad \text{(VII.33)}$$

ბზარების გახსნის სიგანის განსასაზღვრავად სხვადასხვა ავტორების მიერ წამოყენებულია მრავალი წინადადება. არც ჩვენში, არც საზღვარგარეთ საბოლოოდ არ არის ჩამოყალიბებული ერთობლივი შეხედულება ბზარის გახსნის სიდიდის საანგარიშო თეორიულ წანამძღვრებსა და იმ ძირითადი პარამეტრების მნიშვნელობაზე, რომლებიც გათვალისწინებული უნდა იქნეს გაანგარიშებით.

ჩვენში **ფართო გავრცელება** პოვა პროფ. ვ. მურაშოვის თეორიამ, რომელიც საფუძვლად ედო 1975 წლამდე მოქმედ რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტების ნორმებით (СНиП В — II.1—62) რეკომენდებულ ბზარების გახსნის სიგანის საანგარიშო ფორმულებს. ეს თეორია გამოყენებული იყო ჰიდროტექნიკური ნაგებობების დაპროექტებისა და ზოგიერთ სხვა ქვეყანაში მოქმედ (რუმინეთის, გერმანიის ფედერაციული რესპუბლიკის) რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტების ნორმებში.

ბზარის გახსნის სიგანის განსაზღვრისათვის ხიდების დაპროექტების ნორმატიულ დოკუმენტებში (СН 365—67) გამოყენებული იყო პროფ. ო. ბერ-

გის მეთოდი, რომელიც პრინციპულად განსხვავდება მურაშოვის მეთოდისაგან.

როგორც ანალიზი გვიჩვენებს, ამ ორი მეთოდით გაანგარიშებული ბზარის გახსნის სიდიდე შეიძლება მნიშვნელოვნად განსხვავდებოდეს ერთმანეთისაგან.

ფართო ექსპერიმენტული და თეორიული კვლევების საფუძველზე შემუშავდა ბზარის გახსნის სიდიდის საანგარიშო ფორმულები, რომლებიც მითითებულია რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტების ახალ ნორმებში СНиП 2.03.01—84, მუხლი 4.13—4.17, ფორმულები (144—152).

რკინაბეტონის ელემენტების ბზარის გახსნის სიგანე განისაზღვრება ნორმატიული დატვირთვების მოქმედებაზე კვეთის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის II სტადიის მიხედვით.

1. ღუნვადი ელემენტების ნორმალური კვეთის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა II სტადიაზე

გაჭიმულ ზონაში ბზარების გაჩენამდე, ელემენტის სიგრძეზე ყოველ კვეთში მუშაობაში მონაწილეობს როგორც ბეტონი, ასევე არმატურაც. ბზარების გაჩენისთანავე ბზარიან კვეთში გაჭიმულ ზონაში ბეტონი მუშაობიდან გამოირთვება, გამჭიმი ძალა მთლიანად გადაეცემა არმატურას, რომელშიც ძაბვები ერთბაშად იზრდება, ამის გამო არმატურის წაგრძელება შესამჩნევად მატულობს.

გაჭიმული ზონის ბეტონის გარღვევის გამო შიგა ძალთა წონასწორობა ირღვევა, ჩნდება ძვრის ძალები, კვეთის სიმაღლეზე დეფორმაციები იცვლება არახაზოვნად და კვეთიც მრუდდება. ელემენტის გასწვრივ როგორც გაჭიმული, ისე შეკუმშული ზონის ბეტონისა და არმატურის დეფორმაციები ცვლადია და ნეიტრალური ღერძი ტალღოვანი ფორმის ხდება (ნახ. VII. 4).

ბზართაშუა მდებარე კვეთებისათვის შეიძლება მიღებულ იქნეს ბრტყელი კვეთების ჰიპოთეზა და საშუალო დეფორმაციების ეპიურის წრფივი განვითარების კანონი კვეთის სიმაღლეზე (ნახ. VII. 4).

შეკუმშული ბეტონის საშუალო დეფორმაციები

$$\varepsilon_{bm} = \psi_b \varepsilon_b;$$

გაჭიმული არმატურის საშუალო დეფორმაციები

$$\varepsilon_{sm} = \psi_s \varepsilon_s,$$

სადაც ψ_b არის ელემენტის შეკუმშულ კიდეზე გრძივი ღერძის გასწვრივ ბეტონის დეფორმაციების ცვალებადობის გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი;

ψ_s—კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს გაჭიმული ბეტონის მონაწილეობას მუშაობაში ბზართა შორის.

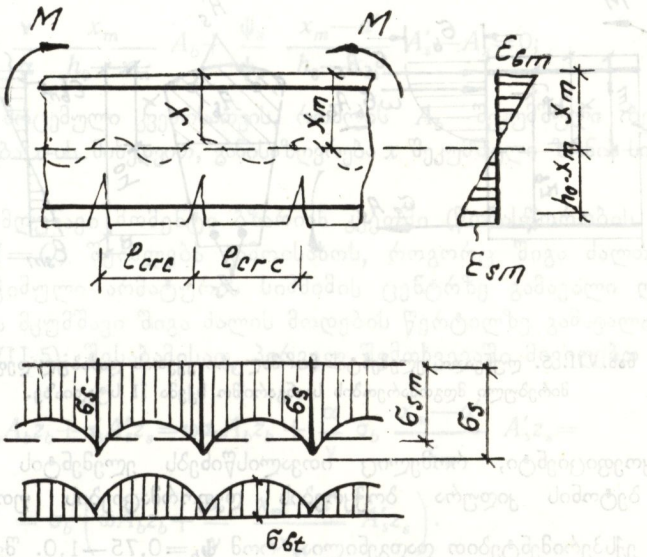
საშუალო დეფორმაციების მიხედვით შეიძლება განისაზღვროს ნეიტრალური ღერძის საშუალო მდებარეობა, ე. ი. შეკუმშული ზონის ბეტონის საშუალო სიმაღლე

$$x_m = \frac{\varepsilon_{bm}}{\varepsilon_{bm} + \varepsilon_{sm}} h_0. \qquad \text{(VII.34)}$$

შეკუმშული ზონის ბეტონის მინიმალური და საშუალო სიმაღლეთა თანაფარდობა ემპირიული ფორმულით გამოისახება სიდიდით

$$\varphi = \frac{x}{x_m} = 1 - \frac{0{,}7}{100\,\mu + 1}, \qquad \text{(VII.35)}$$

სადაც x არის შეკუმშული ზონის სიმაღლე ბზარიან კვეთში; x_m—შეკუმშული ზონის საშუალო სიმაღლე, ხოლო $\mu = \frac{A_s}{A}$—დაარმატურების კოეფიციენტი.



ნახ. VII.4. ღუნვადი ელემენტის ძაბვების და დეფორმაციების განვითარების კანონი დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის II სტადიაზე.

ბზარიან კვეთში, რომლის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა II სტადიაზე მოცემულია VII.5 ნახაზზე, ძაბვებისა და დეფორმაციების დამოკიდებულება შემდეგნაირად გამოისახება (გავიხსენოთ, რომ $\psi_s = \frac{\varepsilon_{sm}}{\varepsilon_s} = \frac{\sigma_{sm}}{\sigma_s}$ და $\psi_b = \frac{\varepsilon_{bm}}{\varepsilon_b}$):

ძაბვები გაჭიმულ არმატურაში

$$\sigma_s = \varepsilon_s E_s = \frac{\varepsilon_{sm}}{\psi_s} E_s; \qquad \text{(VII.36)}$$

ძაბვები შეკუმშული ბეტონის კიდურა ბოჭკოში

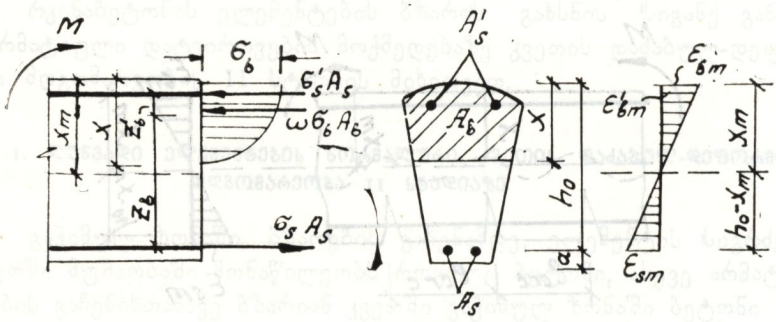
$$\sigma_b = \varepsilon_b E_b' = \frac{\varepsilon_{bm}}{\psi_b} \nu E_b = \varepsilon_{sm} \frac{x_m}{h_0 - x_m} \frac{\nu}{\psi_b} E_b;$$

$\varepsilon_{sm} = \psi_s \varepsilon_s = \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s}$ სიდიდის ჩასმის შემდეგ მივიღებთ

$$\sigma_b = \frac{\psi_s}{\psi_b}\,\frac{\nu}{\alpha}\,\frac{x_m}{h_0 - x_m}\,\sigma_s, \qquad \text{(VII.37)}$$

სადაც ψ_s არის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ბზართაშუა გაჭიმული ბეტონის მონაწილეობას მუშაობაში გაჭიმულ არმატურასთან ერთად

$$\psi_s = \frac{\varepsilon_{sm}}{\varepsilon_s} = \frac{\sigma_{sm}}{\sigma_s}.$$



ნახ. VII. 5. ღუნვადი ელემენტის ნორმალური კვეთის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა II სტადიაზე.

ψ_b არის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ელემენტის სიგრძეზე შეკუმშული ბეტონის კიდურა ბოჭკოების დეფორმაციების უთანაბრობას და $\psi_b = \frac{\varepsilon_{bm}}{\varepsilon_b}$; ექსპერიმენტებით დადგენილია, რომ $\psi_b = 0{,}75 - 1{,}0$. შეკუმშული ზონის გრძივი მუშა არმატურის ძაბვა, ჰუკის კანონის თანახმად, ამ არმატურის ε'_s ფარდობითი დეფორმაციისაგან დამოკიდებულებით განისაზღვრება ფორმულით

$$\sigma'_s = \varepsilon'_s E_s = \varepsilon'_b E_s = \frac{\varepsilon'_{bm}}{\psi_b} E_s = \varepsilon_{sm}\,\frac{x_m - a'}{h_0 - x_m}\,\frac{E_s}{\psi_b}.$$

$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s}\,\psi_s$ და ჩასმის შემდეგ მივიღებთ

$$\sigma'_s = \frac{x_m - a'}{h_0 - x_m}\,\frac{\psi_s}{\psi_b}\,\sigma_s, \qquad \text{(VII.38)}$$

ან

$$\sigma'_s = \frac{\alpha}{\nu}\,\frac{x_m - a'}{x_m}\,\sigma_b. \qquad \text{(VII.39)}$$

ბზარიან კვეთში შეკუმშული ზონის სიმაღლე იანგარიშება წონასწორობის პირობით ($\sum x = 0$—ძალვების გეგმილების ჯამი ელემენტის გრძივ ღერძზე ნულის ტოლია) მიღებული განტოლებიდან

$$\omega\sigma_b A_b + \sigma'_s A'_s - \sigma_s A_s = 0,$$

სადაც ω კუმშვის ძაბვების ეპიურის სისრულის კოეფიციენტია, რომელიც მიისწრაფვის 1-ისაკენ შეკუმშული ზონის ბეტონში პლასტიკური დეფორმაციების განვითარებასთან ერთად.

σ_b და σ'_s-ის მნიშვნელობების ჩასმის შემდეგ, რომლებიც გამოსახული იქნებიან σ_s-ის საშუალებით, მივიღებთ

$$\omega \frac{\psi_s}{\psi_b} \frac{\nu}{\alpha} \frac{x_m}{h_0 - x_m} \sigma_s A_b + \frac{\psi_s}{\psi_b} \frac{x_m - a'}{h_0 - x_m} \sigma_s A'_s - \sigma_s A_s = 0;$$

σ_s-ზე შეკვეცით მივიღებთ განტოლებას

$$\omega \frac{\psi_s}{\psi_b} \frac{\nu}{\alpha} \frac{x_m}{h_0 - x_m} A_b + \frac{\psi_s}{\psi_b} \frac{x_m - a'}{h_0 - x_m} A'_s - A_s = 0;$$

აქედან, გარკვეული მოცემული კვეთისათვის, რომლის A_b—შეკუმშული ბეტონის ფართობი გამოისახება x-ის მიხედვით, განისაზღვრება x შეკუმშული ზონის სიმაღლე ბზარიან კვეთში.

II სტადიაზე მღუნავი მომენტი ბზარიან კვეთში (წონასწორობის პირობის თანახმად $\sum M = O$) შეიძლება გამოისახოს, როგორც შიგა ძალთა მომენტების ჯამი გაჭიმული არმატურის სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ღერძის მიმართ ან ბეტონის მკუმშავი შიგა ძალის მოდების წერტილზე გამავალი ღერძის მიმართ (ნახ. VII.5); შესაბამისად, პირველ შემთხვევაში მივიღებთ

$$M = \omega \sigma_b A_b z_b + \sigma'_s A'_s z_s = \omega \sigma_b A_b z_b + \frac{\alpha}{\nu} \sigma_b \frac{x_m - a'}{x_m} A'_s z_s =$$

$$= \sigma_b \left(\omega A_b z_b + \frac{\alpha}{\nu} \frac{x_m - a'}{x_m} A'_s z_s \right).$$

აღვნიშნოთ

$$W_c = \omega A_b z_b + \frac{\alpha}{\nu} \frac{x_m - a'}{x_m} A'_s z_s; \qquad \text{(VII.40)}$$

მივიღებთ

$$M = \sigma_b W_c. \qquad \text{(VII.41)}$$

მეორე შემთხვევაში, მომენტების ჯამი შეკუმშული ზონის ბეტონის კვეთის სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ღერძის მიმართ ტოლია

$$M = \sigma_s A_s z_b + \sigma'_s A'_s z'_b = \sigma_s A_s z_b + \frac{\psi_s}{\psi_b} \frac{x_m - a'}{h_0 - x_m} \sigma_s A'_s z'_b =$$

$$= \sigma_s \left(A_s z_b + \frac{\psi_s}{\psi_b} \frac{x_m - a'}{h_0 - x_m} A'_s z'_b \right).$$

აღვნიშნოთ

$$W_s = A_s z_b + \frac{\psi_s}{\psi_b} \frac{x_m - a'}{h_0 - x_m} A'_s z'_b, \qquad \text{(VII.42)}$$

მივიღებთ

$$M = \sigma_s W_s. \qquad \text{(VII.43)}$$

W_s და W_c წარმოადგენენ რკინაბეტონის კვეთის დრეკად-პლასტიკურ წინაღობის მომენტებს ბზარების გახსნის შემდეგ შესაბამისად გაჭიმული და შეკუმშული ზონის მიხედვით.

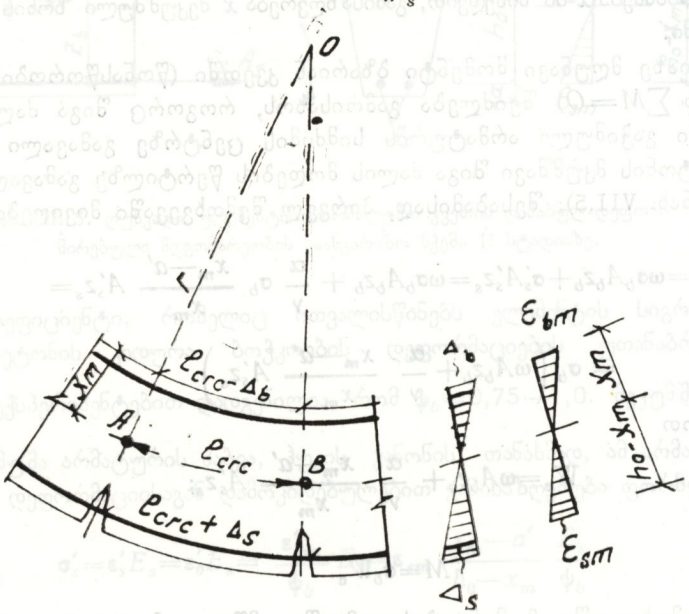
ძაბვები ბეტონსა და არმატურაში შეიძლება გამოვსახოთ მღუნავი მომენტებისა და დრეკად-პლასტიკური წინაღობის მომენტებისაგან დამოკიდებულებით:

შეკუმშული ზონის ბეტონში ძაბვები

$$\sigma_b = \frac{M}{W_c}; \tag{VII.44}$$

გაჭიმული ზონის არმატურაში ძაბვები

$$\sigma_s = \frac{M}{W_s}. \tag{VII.45}$$



ნახ. VII. 6. სიმრუდის განსაზღვრისათვის.

II სტადიაზე ნეიტრალური ღერძის საშუალო სიმრუდე VII.6 ნახაზის მიხედვით გამოიხატება, როგორც შეკუმშული ბეტონისა და გაჭიმული არმატურის საშუალო ფარდობითი დეფორმაციების სხვაობის შეფარდება მუშა სიმაღლესთან: VII.6 ნახაზზე OAB და საშუალო დეფორმაციების ეპიურის სამკუთხედების მსგავსების გამო დაიწერება:

$$\frac{l_{crc}}{r} = \frac{(\varepsilon_{sm}+\varepsilon_{bm})\,l_{crc}}{h_0} = \frac{\varepsilon_{bm}l_{crc}}{x_m} = \frac{\varepsilon_{sm}l_{crc}}{h_0-x_m},$$

გავითვალისწინებთ რა $AB=l_{crc}$, მივიღებთ

$$\frac{1}{r} = \frac{\varepsilon_{sm}+\varepsilon_{bm}}{h_0}. \tag{VII.46}$$

სამშენებლო ჯორბალი
MSHENEBLOBA.INFO

თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ საშუალო დეფორმაციები გამოისახება ბზარიანი კვეთის დეფორმაციების მეშვეობით

$$\varepsilon_{bm}=\frac{\psi_b\sigma_b}{E_b} \quad \text{და} \quad \varepsilon_{sm}=\frac{\psi_s\sigma_s}{E_s}; \qquad \text{VII.46-ში}$$

ჩასმის შემდეგ მივიღებთ

$$\frac{1}{r}=\frac{1}{h_0}\left(\frac{\psi_s\sigma_s}{E_s}+\frac{\psi_b\sigma_b}{E_b}\right).$$

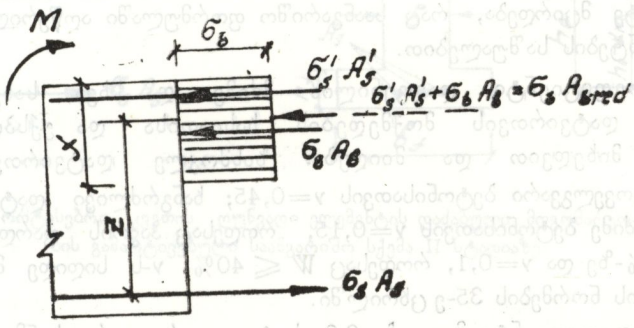
ბზარიანი კვეთის შეკუმშული ბეტონისა და გაჭიმული არმატურის ძაბვების მნიშვნელობის $\left(\sigma_b=\frac{M}{W_c},\ \sigma_s=\frac{M}{W_s}\right)$ გათვალისწინებით სიმრუდე გამოისახება ფორმულით

$$\frac{1}{r}=\frac{M}{h_0}\left(\frac{\psi_s}{E_sW_s}+\frac{\psi_b}{E_b'W_c}\right). \qquad \text{(VII.47)}$$

რადგან $\frac{1}{r}=\frac{M}{B}$ დრეკადი ტანებისათვის მიღებული დამოკიდებულება გარკვეული მიახლოებით შეიძლება რკინაბეტონზეც გავავრცელოთ—დაბზარული ღუნვადი ელემენტის სიხისტის მნიშვნელობა რკინაბეტონის ელემენტებისათვის II სტადიაზე გამოისახება ფორმულით

$$B=\frac{h_0}{\frac{\psi_s}{E_sW_s}+\frac{\psi_b}{E_b'W_c}}, \qquad \text{(VII.48)}$$

ღუნვადი ელემენტების სიხისტისა და სიმრუდის განსაზღვრა შეიძლება II სტადიაზე კვეთის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის გამარტივებული საანგარიშო სქემის მიხედვით, როდესაც შეკუმშული ზონის ბეტონის მკუმშავი ძაბვების ეპიურა მიიღება მართკუთხა (ნახ. VII.7).



ნახ. VII. 7. ღუნვადი ელემენტის ნორმალური კვეთის დაძაბული მდგომარეობის გამარტივებული საანგარიშო სქემა II სტადიისათვის.

ამ შემთხვევაში შეკუმშულ ზონაში შიგა მკუმშავი ძალების ჯამი

$$\sigma_s' A_s' + \sigma_b A_b = \frac{\alpha}{\nu} \sigma_b A_s' + \sigma_b A_b = \sigma_b \left(\frac{\alpha}{\nu} A_s' + A_b \right) = \sigma_b A_{b,\text{red}},$$

სადაც $A_{b,\text{red}}$-ით აღნიშნულია შეკუმშული ზონის დაყვანილი კვეთის ფართობი, რომელიც ტოლია

$$A_{b,\text{red}} = A_b + \frac{\alpha}{\nu} A_s'. \qquad \text{(VII.49)}$$

წონასწორობის $\sum M = 0$ პირობის შესაბამისად

$$M = \sigma_b A_{b,\text{red}} z \quad \text{ან} \quad M = \sigma_s A_s z,$$

სადაც z არის შიგა ძალთა მხარი, ხოლო დრეკად-პლასტიკური წინაღობის მომენტები ბზარის გახსნის შემდეგ ტოლი იქნება

$$W_s = A_s z, \qquad \text{(VII.50)}$$

$$W_c = A_{b,\text{red}} z. \qquad \text{(VII.51)}$$

სიხისტისა და სიმრუდის ფორმულაში W_s და W_c-ის მნიშვნელობების ჩასმის შემდეგ სიხისტე ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$B = \frac{h_0 z}{\dfrac{\psi_s}{E_s A_s} + \dfrac{\psi_b}{\nu E_b A_{b,\text{red}}}}, \qquad \text{(VII.52)}$$

ხოლო სიმრუდე გამოისახება ფორმულით

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{h_0 z} \left(\frac{\psi_s}{E_s A_s} + \frac{\psi_b}{\nu E_b A_{b,\text{red}}} \right). \qquad \text{(VII.53)}$$

რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტების სიხისტე დამოკიდებულია როგორც გეომეტრიულ პარამეტრებზე, აგრეთვე ბეტონისა და არმატურის დრეკად-პლასტიკურ თვისებებზე; სიხისტე (სიმრუდე), ბეტონის ცოცვადობისა და გაჭიმულ ზონაში ბზარების გახსნის გამო, დროთა განმავლობაში იცვლება. სიხისტე მცირდება, რაც საანგარიშო ფორმულაში აღწერილია ν, ψ_s და ψ_b კოეფიციენტების საშუალებით.

ν კოეფიციენტი დადგენილია მძიმე და სხვა სახეობის ბეტონებისათვის დატვირთვის მოქმედების ხასიათისა და ექსპლუატაციის პირობების მიხედვით და მიიღება: ხანმოკლე დატვირთვების მოქმედებისას ყოველგვარი ბეტონისათვის $\nu = 0{,}45$; ხანგრძლივი დატვირთვების მოქმედებისას მძიმე ბეტონისათვის $\nu = 0{,}15$, როდესაც ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა $W > 40\%$-ზე და $\nu = 0{,}1$, როდესაც $W \leqslant 40\%$. ν-ს სიდიდე მითითებულია დაპროექტების ნორმების 35-ე ცხრილში.

ψ_b კოეფიციენტი მიიღება 0,9-ის ტოლი, როგორც ხანმოკლე, ისე ხანგრძლივი დატვირთვისას მძიმე, წვრილმარცვლოვანი და მსუბუქი ბეტონებისათვის, რომელთა კლასი B 7,5-ს აღემატება. სხვა შემთხვევებისთვის ψ_b მოცემულია დაპროექტების ნორმების 4.27 მუხლში.

ψ_s კოეფიციენტი — ბზართა შორის მუშაობაში გაჭიმული ბეტონის მონაწილეობის გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი — იანგარიშება ნორმებით რეკომენდებული ემპირიული (VI.54) ფორმულით, მაგრამ მიიღება არაუმეტეს ერთისა

$$\psi_s = 1{,}25 - \varphi_{ls}\varphi_m, \qquad \text{(VII.54)}$$

სადაც φ_{ls} არის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს დატვირთვის მოქმედების ხანგრძლივობის და არმატურის პროფილის გავლენას; ხანმოკლე დატვირთვის შემთხვევაში გლუვზედაპირიანი ღეროვანი არმატურის და მავთულოვანი არმატურის გამოყენებისას $\varphi_{ls}=1$, ხოლო პერიოდული პროფილის ღეროვანი არმატურისა— $\varphi_{ls}=1{,}1$; ხანგრძლივი დატვირთვების მოქმედებისას, არმატურის სახეობისაგან დამოუკიდებლად მიიღება $\varphi_{ls}=0{,}8$;

φ_m არის კოეფიციენტი, რომელიც იანგარიშება ფორმულით

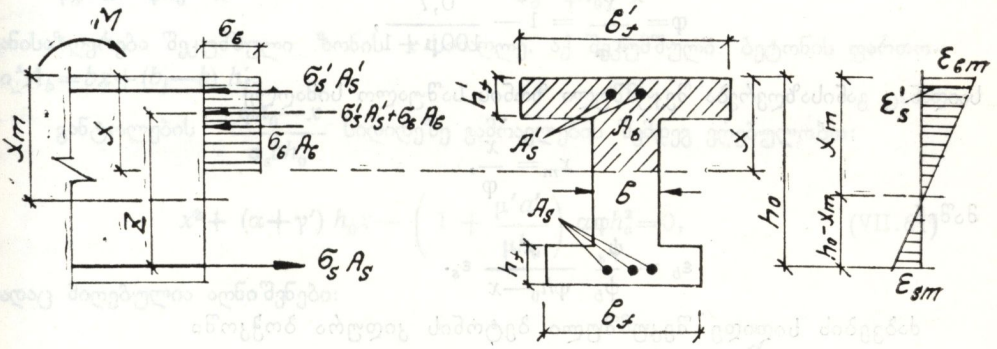
$$\varphi_m = \frac{M_{crc}}{M} = \frac{R_{bt,ser}W_{pl}}{M}, \qquad \text{(VII.55)}$$

და მიიღება არაუმეტეს 1-ისა.

M — ნორმატიული დატვირთვებით გამოწვეული მღუნავი მომენტის მნიშვნელობა.

2. სიხისტისა და სიმრუდის გარდაქმნილი ფორმულები ორტესებრი კვეთის ღუნვაზე მომუშავე ელემენტებისათვის

საანგარიშო ელემენტების განივკვეთის პროფილთა უმრავლესობა წარმოგვიდგება მართკუთხა, ტესებრი და ორტესებრი კვეთების სახით; ამათგან



ნახ. VII.8. ორტესებრი კვეთის ღუნვადი ელემენტის დაძაბული მდგომარეობის გამარტივებული საანგარიშო სქემა II სტადიაზე.

ორტესებრი ფორმა წარმოგვიდგება როგორც საერთო შემთხვევა და ორტესებრი კვეთისათვის განისაზღვრება სიმრუდისა და სიხისტის ფორმულები II სტადიის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის გამარტივებული სქემის მიხედვით (ნახ. VII.8) გაანგარიშებების გასამარტივებლად მიღებულია შე-

კუმშული ზონის ბეტონის მკუმშავი ძაბვების მართკუთხა ეპიურა, როგორც აღნიშნული იყო ნებისმიერი სიმეტრიული პროფილის ელემენტის გაანგარიშებისას.

ბზარიან კვეთში ძაბვები შეკუმშული ზონის ბეტონში ისევ აღვნიშნოთ σ_b-თი, ხოლო ფარდობითი დეფორმაციები ε_b-თი, რომელიც ტოლია

$$\varepsilon_b = \frac{\varepsilon_{bm}}{\psi_b}.$$

ბზართაშორისი კვეთისათვის მიღებული საშუალო დეფორმაციების წრფივი ეპიურის სამკუთხედთა მსგავსების თანახმად $\varepsilon_b = \varepsilon_{bt} \frac{x_m}{h_0 - x_m}$, რისი ჩასმის შემდეგ მივიღებთ

$$\varepsilon_{bm} = \varepsilon_{sm} \frac{x_m}{h_0 - x_m} \frac{1}{\psi_b}.$$

გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა არმატურის საშუალო ფარდობითი დეფორმაცია

$$\varepsilon_{sm} = \psi_s \varepsilon_s;$$

მაშინ, ჩასმის შემდეგ მივიღებთ

$$\varepsilon_b = \frac{\psi_s}{\psi_b} \frac{x_m}{h_0 - x_m} \varepsilon_s.$$

ბზარიანი კვეთის შეკუმშული ბეტონის სიმაღლის ფარდობა მის საშუალო სიმაღლესთან ბზართა შორის, შეიძლება განისაზღვროს ემპირიული ფორმულით

$$\varphi = \frac{x}{x_m} = 1 - \frac{0{,}7}{100\mu + 1},$$

საიდანაც განისაზღვრება შეკუმშული ზონის საშუალო სიმაღლე

$$x_m = \frac{x}{\varphi},$$

მაშინ

$$\varepsilon_b = \frac{\psi_s}{\psi_b} \frac{x}{\varphi h_0 - x} \varepsilon_s.$$

ძაბვების სიდიდე შეკუმშული ბეტონის კიდურა ბოჭკოში

$$\sigma_b = \varepsilon_b E'_b = \varepsilon_b \nu E_b = \varepsilon_{sm} \frac{x_m}{h_0 - x_m} \frac{1}{\psi_b} \nu E_b = \varepsilon_{sm} \frac{x}{\varphi h_0 - x} \frac{\nu E_b}{\psi_b}. \qquad \text{(VII.56)}$$

გამოვსახოთ შეკუმშული ზონის ბეტონისა და არმატურის ძაბვები გაჭიმულ არმატურაში მოქმედი ძაბვების მეშვეობით:

ძაბვები ბზარიანი კვეთის შეკუმშული ზონის ბეტონში

$$\sigma_b = \frac{\psi_s}{\psi_b} \frac{\nu}{\alpha} \frac{x}{\varphi h_0 - x} \sigma_s. \qquad \text{(VII.57)}$$

$$\sigma'_s = \varepsilon'_s E_s = \varepsilon'_b E_s = \frac{\varepsilon'_{bm}}{\psi_b} E_s = \varepsilon_{sm} \frac{x_m - a'}{x_m} \frac{E_s}{\psi_b} = \psi_b \varepsilon_b \frac{x_m - a'}{x_m} \frac{E_s}{\psi_b} =$$

$$= \frac{\sigma_b}{E'_b} \frac{x_m - a'}{x_m} E_s = \frac{\alpha}{\nu} \frac{x_m - a'}{x_m} \sigma_b;$$

$$\sigma'_s = \frac{\alpha}{\nu} \frac{x - \varphi a'}{x} \sigma_b, \qquad \text{(VII.58)}$$

ან სხვაგვარად

$$\sigma'_s = \varepsilon'_s E_s = \varepsilon'_b E_s = \frac{\varepsilon'_{bm}}{\psi_b} E_s = \varepsilon_{sm} \frac{x_m - a'}{h_0 - x_m} \frac{E_s}{\psi_b} = \psi_s \varepsilon_s \frac{x_m - a'}{h_0 - x_m} \frac{E_s}{\psi_b},$$

$$\sigma'_s = \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} \frac{x_m - a'}{h_0 - x_m} \frac{E_s}{\psi_b} = \frac{\psi_s}{\psi_b} \frac{x_m - a'}{h_0 - x_m} \sigma_s;$$

$$\sigma'_s = \frac{\psi_s}{\psi_b} \frac{x - \varphi a'}{\varphi h_0 - x} \sigma_s. \qquad \text{(VII.59)}$$

ბზარიან კვეთში შეკუმშული ზონის x სიმაღლის განსაზღვრისათვის ვიყენებთ წონასწორობის I პირობას ($\sum X = 0$—მოქმედ ძალთა გეგმილების ჯამი ელემენტის გრძივ ღერძზე ნულის ტოლია):

$$\omega \sigma_b A_b + \sigma'_s A'_s - \sigma_s A_s = 0; \qquad \text{(VII.60)}$$

σ_b, σ'_s და A_b-ის მნიშვნელობების ჩასმის შემდეგ ფორმულიდან

$$\frac{\psi_s}{\psi_b} \frac{\nu}{\alpha} \frac{x}{\varphi h_0 - x} \sigma_s [bx + (b'_f - b) h'_f] + \frac{\psi_s}{\psi_b} \frac{x - \varphi \alpha'}{\varphi h_0 - x} \sigma_s A'_s - \sigma_s A_s = 0$$

განისაზღვრება შეკუმშული ზონის x სიმაღლე. აქ შეკუმშული ბეტონის ფართობი $A_b = bx + (b'_f - b) h'_f$.

განტოლების $\frac{\varphi h_0 - x}{\sigma_s b h_0}$ სიდიდეზე გამრავლების შემდეგ ვღებულობთ:

$$x^2 + (\alpha + \gamma') h_0 x - \left(1 + \frac{\mu' a'}{\mu h_0}\right) \alpha \varphi h_0^2 = 0, \qquad \text{(VII.61)}$$

სადაც მიღებულია აღნიშვნები:

$$\varkappa = \frac{\mu \alpha \psi_b}{\omega \nu \psi_s}, \quad \mu' = \frac{A'_s}{b h_0}, \quad \mu = \frac{A_s}{b h_0}, \quad \varphi_f = \frac{(b'_f - b) h'_f + \frac{\alpha}{\nu} A'_s}{b h_0}.$$

თუ განტოლებას გავყოფთ h_0^2-ზე და უგულებელვყოფთ $\frac{\mu' a'}{\mu h_0}$ მცირე სიდიდეს (1-თან შედარებით), მივიღებთ შეკუმშული ზონის ბეტონის ფარდობითი სიმაღლის საანგარიშო განტოლებას

$$\xi^2+(\varkappa+\varphi_f)\,\xi-\varkappa\varphi=0, \qquad \text{(VII.62)}$$

საიდანაც განისაზღვრება შეკუმშული ზონის ბეტონის ფარდობითი სიმაღლე ფორმულით

$$\xi=\frac{x}{h_0}=-\frac{\varkappa+\varphi_f}{2}+\sqrt{\frac{(\varkappa+\varphi_f)^2}{4}+\varkappa\varphi}. \qquad \text{(VII.63)}$$

როდესაც შეკუმშული ზონის სიმაღლე h_f'-ზე ნაკლებია, გაანგარიშება ჩატარდება განმეორებით ისე, როგორც b_f' სიგანის მართკუთხა კვეთისათვის.

ხანგრძლივი დატვირთვის მოქმედებისას შეკუმშული ზონის სიმაღლე იზრდება, მაგრამ, ნორმების მიხედვით, ბზარიანი კვეთის შეკუმშული ბეტონის სიმაღლე ხანმოკლე და ხანგრძლივი დატვირთვების მოქმედებისას მიიღება ერთნაირი და იანგარიშება ფორმულით (მიიღება არაუმეტეს 1-ისა);

$$\xi=\frac{x}{h_0}=\frac{1}{\beta+\dfrac{1+5(\delta+\lambda)}{10\,\mu\alpha}}, \qquad \text{(VII.64)}$$

სადაც აღნიშნულია

$$\lambda=\varphi_f\left(1-\frac{h_f'}{2h_0}\right), \qquad \text{(VII.65)}$$

$$\delta=\frac{M}{bh_0^2R_{b,\mathrm{ser}}},\quad \mu=\frac{A_s}{bh_0},\quad \alpha=\frac{E_s}{E_b}. \qquad \text{(VII.66)}$$

ბზარიანი კვეთის შეკუმშული ბეტონის სიმაღლის ასეთი გაანგარიშება მიახლოებითია, მაგრამ ბზარების გახსნის, სიმრუდისა და ჩაღუნვის სიდიდის გაანგარიშების შედეგებზე უმრავლეს შემთხვევაში ეს არსებით გავლენას არ ახდენს.

შიგა ძალთა z მხარი განისაზღვრება პირობიდან, რომ შეკუმშული ზონის დაყვანილი კვეთის სიმძიმის ცენტრის დაშორება გაჭიმული არმატურის სიმძიმის ცენტრიდან უდრის შეკუმშული ზონის დაყვანილი კვეთის ფართობის სტატიკური მომენტის (გაჭიმული არმატურის სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ღერძის მიმართ) შეფარდებას შეკუმშული ზონის დაყვანილი კვეთის ფართობთან

$$z=\frac{S_{b,\,\mathrm{red}}}{A_{b,\,\mathrm{red}}}. \qquad \text{(VII.67)}$$

შეკუმშული ზონის დაყვანილი კვეთის ფართობი

$$A_{b,\,\mathrm{red}}=A_b+\frac{\alpha}{\nu}A_s'=bx+(b_f'-b)\,h_f'+\frac{\alpha}{\nu}A_s'=$$

$$=\left[\frac{x}{h_0}+\frac{(b_f'-b)\,h_f'+\dfrac{\alpha}{\nu}A_s'}{bh_0}\right]bh_0;$$

$$A_{b,\,\mathrm{red}}=(\xi+\varphi_f)\,bh_0. \qquad \text{(VII.68)}$$

შეკუმშული ზონის დაყვანილი კვეთის ფართობის სტატიკური მომენტი გაჭიმული არმატურის სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ღერძის მიმართ

$$S_{b,\,red}=S_b+\frac{\alpha}{\nu}A'_s(h_0-a')=bx\left(h_0-\frac{x}{2}\right)+$$

$$+(b'_f-b)\,h'_f\left(h_0-\frac{h'_f}{2}\right)+\frac{\alpha}{\nu}A'_s(h_0-a'). \qquad \text{(VII.69)}$$

გარდაქმნების შემდეგ შიგა ძალთა მხარი გამოისახება ფორმულით

$$z=h_0\left[1-\frac{\frac{h'_f}{h_0}\varphi_f+\xi^2}{2(\varphi_f+\xi)}\right]. \qquad \text{(VII.70)}$$

ღუნვადი ელემენტის დაძაბული მდგომარეობის მეორე სტადიაზე დაბზარული ელემენტის სიხისტისა და სიმრუდის ფორმულები, მიღებული გარდაქმნების შესაბამისად, დაიწერება შემდეგი სახით

$$B=\frac{h_0z}{\frac{\psi_s}{E_sA_s}+\frac{\psi_b}{\nu E_b(\varphi_f+\xi)\,bh_0}}, \qquad \text{(VII.71)}$$

$$\frac{1}{r}=\frac{M}{h_0z}\left[\frac{\psi_s}{E_sA_s}+\frac{\psi_b}{\nu E_b(\varphi_f+\xi)\,bh_0}\right]. \qquad \text{(VII.72)}$$

3. გაჭიმული ბეტონის მონაწილეობა მუშაობაში გზართა შორის; ψ_s კოეფიციენტი

როგორც აღინიშნა, დაძაბული მდგომარეობის II სტადიაზე, გზართა შორის გაჭიმული ბეტონის მონაწილეობას მუშაობაში ითვალისწინებს ψ_s კოეფიციენტი, რომელიც განისაზღვრება ფარდობის სახით $\psi_s=\frac{\sigma_{sm}}{\sigma_s}$.

გრაფიკულად ψ_s შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც არმატურის გამჭიმი ძაბვების ორი ეპიურის ფართობების თანაფარდობა A_1/A_2 გზართა შორის (ნახ. VII.9): „1“ მრუდით გამოხატული ეპიურისა (A_1 ფართობით), რომელიც აგებულია არმატურასთან ერთად მუშაობაში გაჭიმული ბეტონის მონაწილეობის გათვალისწინებით, და ძაბვების ეპიურისა „2“ (A_2 ფართობით), რომელიც აგებულია გზარიან კვეთში არმატურაში აღძრული ძაბვების მიხედვით (ბეტონის მონაწილეობის გარეშე წარმოდგენილი სრული ეპიურისა), ე. ი.

$$\psi_s=\frac{A_1}{A_2},$$

სადაც

$$A_1=\sigma_s l_{crc}-w_t\sigma_{s2}l_{crc}$$

და

$$A_2=\sigma_s l_{crc}.$$

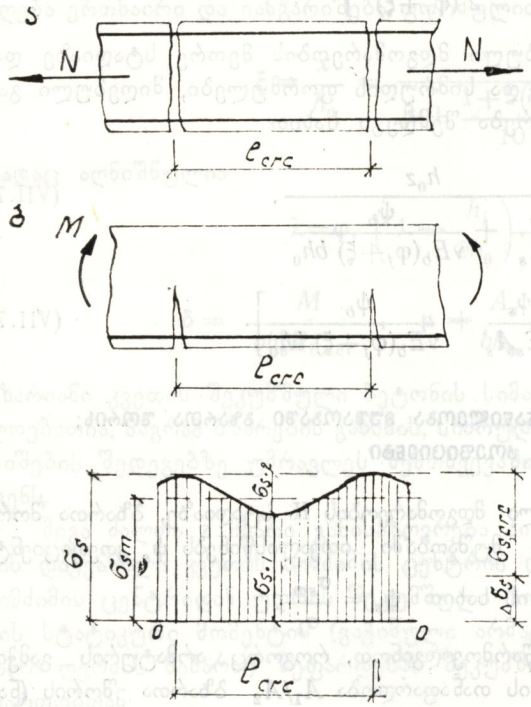
ჩასმის შემდეგ მივიღებთ

$$\psi_s = \frac{\sigma_s l_{crc} - w_t \sigma_{s2} l_{crc}}{\sigma_s l_{crc}},$$

რაც მარტივი გარდაქმნების შემდეგ დაიწერება ასე

$$\psi_s = 1 - w_t \frac{\sigma_{s2}}{\sigma_s}. \qquad \text{(VII.73)}$$

აქ σ_{s2} არის ბზართაშუა არმატურაში ძაბვების შემცირების სიდიდე, შედარებით ბზარიანი კვეთის არმატურის ძაბვებთან; ბზართა შორის არსებული შეჭიდულობა გაჭიმული ზონის არმატურასა და ბეტონს შორის აიძულებს ბეტონს აიტანოს გამჭიმი ძალის ნაწილი;



ნახ. VII. 9. არმატურის გამჭიმი ძაბვების ეპიურა ცენტრალურად გაჭიმული (ა) და ღუნვადი (ბ) ელემენტებისათვის.

w_t—არმატურის გამჭიმი ძაბვების ეპიურის სისრულის კოეფიციენტი;

σ_s —არმატურის გამჭიმი ძაბვები ბზარიან კვეთში.

პირობით, რომ არმატურის გამჭიმი ძალა ბზარიან კვეთში და ბზართა შორის ერთნაირი სიდიდისაა (ან მღუნავი მომენტი ბზარიან კვეთში და ბზართა შორის თანაბარია), შეიძლება დავწეროთ

$$\sigma_s A_s = \sigma_{s1} A_s + \sigma_{bt} A_{bt};$$

მაშინ

$$\sigma_s A_s - \sigma_{s1} A_s = \sigma_{bt} A_{bt},$$

$$A_s(\sigma_s - \sigma_{s1}) = \sigma_{bt} A_{bt}.$$

თავის მხრივ, $\sigma_s - \sigma_{s1} = \sigma_{s2}$ და ჩასმის შემდეგ მივიღებთ

$$A_s \sigma_{s2} = \sigma_{bt} A_{bt},$$

საიდანაც

$$\sigma_{s2} = \frac{A_{bt}}{A_s} \sigma_{bt}. \qquad \text{(VII.74)}$$

თუ ჩავთვლით, რომ გაჭიმული ბეტონი ბზართა შორის თავის თავზე იღებს $\varkappa N_{b,\,crc}$-ის ტოლ გამჭიმი ძალის ნაწილს ან $\varkappa M_{b,\,crc}$-ის ტოლ მღუნავი მომენტის ნაწილს, მივიღებთ ღუნვადი და გაჭიმული ელემენტებისათვის ψ_s კოეფიციენტის

მნიშვნელობას ქვემოთ მოყვანილი მსჯელობის მიხედვით (აქვე აღვნიშნოთ, რომ $N_{b,\,crc}=R_{bt,\,ser}A_{bt}$, $M_{b,\,crc}=R_{bt,\,ser}W_{b,\,pl}$):

ა) ცდებით დადგენილია, რომ ღუნვადი ელემენტებისათვის ძაბვები ბეტონში ბზარებს შუა შეიძლება განისაზღვროს პირობიდან

$$\varkappa=\frac{\sigma_{bt}}{R_{bt,\,ser}}=\frac{\sigma_{s,\,crc}}{\sigma_s}=\frac{M_{crc}}{M}, \qquad \text{(VII.75)}$$

სადაც $\sigma_{s,\,crc}$ არის ძაბვების სიდიდე ბზარიანი კვეთის არმატურაში ბზარის გაჩენისთანავე, ხოლო σ_s—იგივე, ბზარების სრულად გახსნის შემდეგ (აქ უნდა აღვნიშნოთ, რომ უგულებელყოფილია ნეიტრალური ღერძის მდებარეობის ცვალებადობა ბზართა შორის).

$$\sigma_{s2}=\varkappa R_{bt,ser}\frac{A_{bt}}{A_s}=\varkappa R_{bt,\,ser}\frac{A-A_b}{A_s}=\varkappa R_{bt,\,ser}\frac{1}{\mu}\left(1-\frac{A_b}{A}\right). \qquad \text{(VII.76)}$$

თუ დავუშვებთ, რომ $\omega_t=\frac{2}{3}$ და ჩავსვამთ ψ_s-ის გამოსახულებაში σ_{s2}-ის სიდიდეს, მივიღებთ

$$\psi_s=1-\frac{2}{3}\frac{R_{bt,\,ser}\varkappa}{\sigma_s\mu}\left(1-\frac{A_b}{A}\right).$$

რადგან $\frac{\sigma_{s2}}{\sigma_s}=\frac{\varkappa M_{b,\,crc}}{M}$, ψ_s-ს გამოსახულება ჩაიწერება ასე

$$\psi_s=1-\omega_t\varkappa\frac{M_{b,\,crc}}{M}. \qquad \text{(VII.77)}$$

ბ) ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტებისათვის:

$$\sigma_sA_s=\sigma_{s1}A_s+\varkappa N_{b,\,crc};$$

$$A_s(\sigma_s-\sigma_{s1})=\varkappa N_{b,\,crc};$$

$$\sigma_{s2}A_s=\varkappa N_{b,crc};$$

$$\sigma_{s2}=\frac{\varkappa N_{b,crc}}{A_s}. \qquad \text{(VII.78)}$$

VII.73-ში σ_{s2}-ის ჩასმის შემდეგ მივიღებთ

$$\psi_s=1-\omega_t\varkappa\frac{N_{b,crc}}{N}. \qquad \text{(VII.79)}$$

ცდებით დადგენილია, რომ ხანმოკლე დატვირთვებისას $\varkappa\omega_t=0{,}7$, ხოლო ხანგრძლივი დატვირთვებისას $\varkappa\omega_t=0{,}35$. მაშინ ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტებისათვის მივიღებთ:

$$\psi_s=1-0{,}7\frac{N_{b,\,crc}}{N},\quad \text{ხანმოკლე დატვირთვებისას} \qquad \text{(VII.80)}$$

და

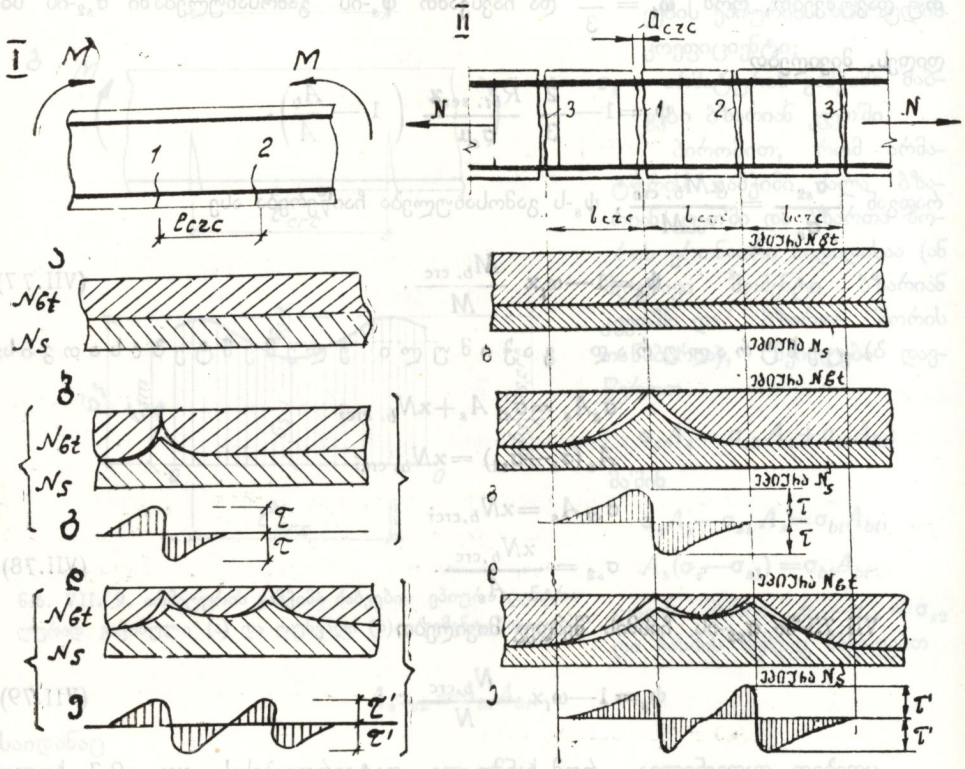
$$\psi_s=1-0{,}35\frac{N_{b,\,crc}}{N},\quad \text{ხანგრძლივი დატვირთვებისას.} \qquad \text{(VII.81)}$$

4. ნორმალური ბზარების გახსნის სიგანის განსაზღვრა ღუნვადი ელემენტებისათვის პ. მურაშოვის მეთოდით

ბზარები ვითარდება გარკვეული თანამიმდევრობით და საბოლოოდ ღუნვადი ელემენტის სიგრძეზე, თანაბარი მღუნავი მომენტების მოქმედების უბანზე, დაახლოებით თანაბრად განლაგდება.

პირველი ბზარი ბეტონის არაერთგვაროვნების გამო ჩნდება ყველაზე სუსტ ადგილას, სადაც ბზარის გაჩენისთანავე ბეტონისა და არმატურის დაძაბული მდგომარეობა იცვლება: ბზარიან კვეთში ძაბვა გაჭიმულ ბეტონში ნულამდე ეცემა, ხოლო ძაბვა გაჭიმულ არმატურაში იზრდება და ბზარის გაჩენისთანავე $\sigma_{s,\,crc}$-ს აღწევს.

ბზარის კიდიდან დაშორების კვალობაზე ძაბვები ბეტონში თანდათან მატულობს და იქ, სადაც ძაბვები მიაღწევს $R_{bt,\,ser}$—ბეტონის საანგარიშო წინაღობის მნიშვნელობას გაჭიმვაზე—უნდა გაჩნდეს კიდეც მეზობელი ბზარი. ასეთ კვეთში ძაბვები გაჭიმულ არმატურაში $\sigma_s = 2\alpha R_{bt,\,ser}$.



ნახ. VII.10. ბზარების განვითარების პროცესში გაჭიმული ზონის ბეტონისა და არმატურის შიგა ძალების ეპიურები: I—ღუნვადი ელემენტის; II—გაჭიმული ელემენტის.

ბზარების განვითარების პროცესში, უდიდესი მღუნავი მომენტის მოქმედების უბანზე, გაჭიმული ზონის ბეტონისა და არმატურის ძალვების და შეჭიდულობის ძაბვების ეპიურები ნაჩვენებია VII.10 ნახაზზე.

პირველი ბზარის გაჩენის ადგილიდან შემდეგი ბზარის მოსალოდნელი გაჩენის ადგილამდე ძალვების სხვაობა არმატურაში წონასწორდება შეჭიდუ-

ლობის ძალებით ბეტონსა და არმატურას შორის (ძალვების გადაცემა არმატურიდან ბეტონზე განპირობებულია შეჭიდულობის ძალებით), რაც გამოისახება პირობით

$$\sigma_{s,\,crc}A_s - 2\alpha R_{bt,\,ser}A_s = \omega'\tau_c s l_{crc}, \qquad \text{(VII.82)}$$

სადაც $\sigma_{s,\,crc}$ არის ძაბვები არმატურაში პირველი ბზარის გაჩენის ადგილას; τ_c—შეჭიდულობის ძაბვების უდიდესი მნიშვნელობა; l_{crc}—მანძილი პირველი ბზარის გაჩენის ადგილიდან მეზობელი ბზარის მოსალოდნელი გაჩენის ადგილამდე; s—არმატურის პერიმეტრი; A_s—გაჭიმული არმატურის ფართობი; ω'—შეჭიდულობის ძაბვების ეპიურის სისრულის კოეფიციენტი.

$\sigma_{s,\,crc}$ მნიშვნელობა დადგინდება მოსაზრებიდან, რომ დაძაბული მდგომარეობის პირველი სტადიის დასასრულს მომენტის სიდიდე საანგარიშო კვეთში ტოლია მღუნავი მომენტისა II სტადიის დასაწყისში (I ბზარის გაჩენისთანავე)

$$M_{crc} = M, \quad \text{ე. ი.} \quad R_{bt,\,ser}W_{pl} = \sigma_{s,\,crc}W_s;$$

აქედან

$$\sigma_{s,\,crc} = \frac{R_{bt,\,ser}W_{pl}}{W_s}. \qquad \text{(VII.83)}$$

(VII.82)-ში $\sigma_{s,\,crc}$ მნიშვნელობის ჩასმის შემდეგ მივიღებთ

$$\frac{R_{bt,\,ser}W_{pl}}{W_s}A_s - 2\alpha R_{bt,\,ser}A_s = \omega'\tau_c s l_{crc},$$

აქედან ბზართა შორის მანძილი განისაზღვრება ფორმულით

$$l_{crc} = k_1\alpha u\eta, \qquad \text{(VII.84)}$$

სადაც

$$k_1 = \frac{W_{crc}}{\alpha W_s} - 2; \quad \alpha = \frac{E_s}{E_b}; \quad u = \frac{A_s}{s}; \quad \eta = \frac{R_{bt,\,ser}}{\tau_c\omega'}.$$

ბეტონიდან არმატურის ამოგლეჯაზე ჩატარებული ცდებით დადგენილია, რომ $\eta = 0{,}7$—პერიოდული პროფილის არმატურის გამოყენების შემთხვევაში; $\eta = 1{,}0$—გლუვზედაპირიანი ღეროვანი არმატურის და $\eta = 1{,}25$—ციცჭიმული მავთულის გამოყენებისას შენადუღი ბადეებისა და კარკასებისათვის.

წრიული კვეთის არმატურის ფართობი $A_s = \frac{\pi d^2}{4}n$ (ღეროთა რაოდენობა —n), ხოლო პერიმეტრი $s = \pi dn$, მაშინ $u = \frac{d}{4}$.

როგორც l_{crc}-ის ფორმულა (VII.84) გვიჩვენებს, ბზართა შორის მანძილი პირდაპირ პროპორციულია არმატურის დიამეტრის და უკუპროპორციული ბეტონის კლასისა (მოდულის).

ბზარის გახსნის სიგანე იანგარიშება პირობიდან, რომ ბზართა შორის არმატურის წაგრძელება ტოლია ბეტონის წაგრძელებისა და ბზარის გახსნის

სიგანეთა ჯამის (ღუნვადი ელემენტის დაბზარული უბანი გამოსახულია VII.11 ნახაზზე).

$$\varepsilon_{sm} l_{crc} = \varepsilon_{bm} l_{crc} + a_{crc}; \qquad \text{(VII.85)}$$

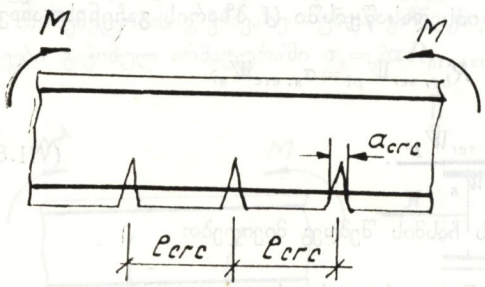
a_{crc}-ით აღნიშნულია ბზარის გახსნის სიგანე ელემენტის ღერძის გასწვრივ არმატურის სიმძიმის ცენტრის დონეზე.

ამ პირობიდან იანგარიშება ბზარის გახსნის სიგანე

$$a_{crc} = \varepsilon_{sm} l_{crc} - \varepsilon_{bm} l_{crc} = (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{bm})\, l_{crc}.$$

ბეტონის წაგრძელების უმნიშვნელო სიდიდე შეიძლება უგულებელყოფილ იქნეს არმატურის წაგრძელებასთან შედარებით, მაშინ მივიღებთ

$$a_{crc} = \varepsilon_{sm} l_{crc}.$$



ნახ. VII. 11. ბზარის გახსნის სიგანის განსაზღვრისათვის.

როგორც ზემოთ იყო დადგენილი, $\varepsilon_{sm} = \psi_s \varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s} \psi_s$. ამ სიდიდის ჩასმის შემდეგ ბზარის გახსნის სიგანის საანგარიშო ფორმულა გამოისახება ასე

$$a_{crc} = \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s}\, l_{crc}. \qquad \text{(VII.86)}$$

ბზარის გახსნის სიდიდეზე ძნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ძაბვების სიდიდე არმატურაში ბზარიან კვეთში, შეჭიდულობის ძალა ბეტონსა და არმატურას შორის და ბზართა შორის გაჭიმული ბეტონის მონაწილეობა მუშაობაში, გამოსახული ψ_s კოეფიციენტით.

რაც უფრო მაღალია მუშა ძაბვები არმატურაში, მით უფრო დიდია ბზარების გახსნის სიგანე; პერიოდული პროფილის არმატურის გამოყენებისას ბზართა შორის მანძილი და მათი გახსნის სიგანეც ნაკლებია, ვიდრე გლუვზედაპირიანი არმატურით დაარმატურების შემთხვევაში. რაც მეტია გრძივი მუშა არმატურის დიამეტრი, მით უფრო დიდია ბზარის გახსნის სიგანე (ამიტომ გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა არმატურის დიამეტრი იზღუდება).

5. ნორმალური ბზარების გახსნის სიგანის განსაზღვრა ვ. მურაშოვის მეთოდით ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტებისათვის

როგორც აღვნიშნეთ, ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების ნორმალური კვეთების დაძაბული მდგომარეობის მეორე სტადიაზე (საანგარიშო სქემა, ნახ. VII.12) ელემენტის მთელ კვეთში ბზარის გახსნის ადგილას ბეტონი მუშაობიდან გამორთულია და მუშაობს მხოლოდ არმატურა.

ბზარები დაახლოებით თანაბარ მანძილზე განლაგდება ელემენტის გრძივი ღერძის ნორმალურად. ბზართა შორის შეჭიდულობა ბეტონსა და არმატურას შორის დარღვეული არ არის და ბეტონი იღებს გამჭიმი ძალის ნაწილს.

ბზარიან კვეთში არმატურის ძაბვები და დეფორმაციები განისაზღვრება ფორმულებით

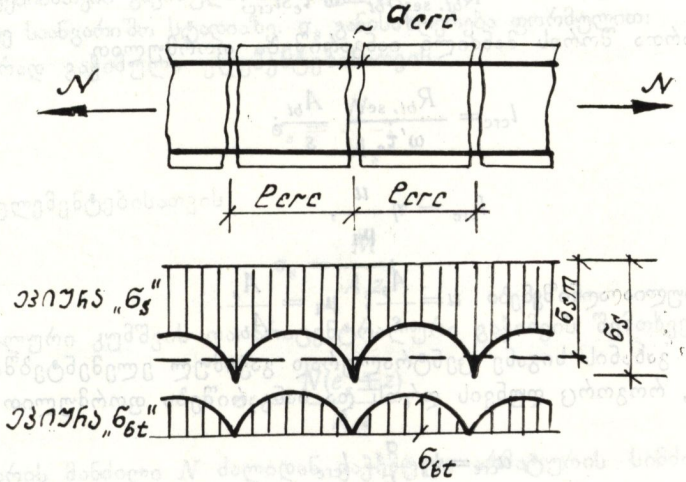
$$\sigma_s = \frac{N}{A_s};$$

$$\varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s}.$$

ბზართაშუა საშუალო ძაბვები და დეფორმაციები გამოისახება ფორმულებით

$$\sigma_{sm} = \psi_s \sigma_s,$$

$$\varepsilon_{sm} = \psi_s \varepsilon_s,$$



ნახ. VII 12. ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტის გაანგარიშებისათვის ბზარების გახსნის მიხედვით.

სადაც ψ_s კოეფიციენტი ითვალისწინებს ბზართა შორის გაჭიმული ბეტონის მონაწილეობას მუშაობაში

$$\psi_s = \frac{\sigma_{sm}}{\sigma_s} = \frac{\varepsilon_{sm}}{\varepsilon_s} \text{ და მიიღება } \psi_s \leqslant 1.$$

ბზართა შორის მანძილი დადგინდება იმავე პირობის მიხედვით, როგორც ღუნვად ელემენტებში: პირველი ბზარის გახსნისა და მეზობელი ბზარის შესაძლო გახსნის ადგილს შორის შეჭიდულობის ძალებით წონასწორდება არმატურის გამჭიმი ძალების სხვაობა.

$$\sigma_{s.\,crc} A_s - \sigma_s A_s = \omega' \tau_c s l_{crc}. \qquad \text{(VII.87)}$$

$$\sigma_{s.\,crc} A_s - 2\alpha R_{bt.\,ser} A_s = \omega' \tau_c s l_{crc}. \qquad \text{(VII.88)}$$

$\sigma_s = 2\alpha R_{bt,\,ser}$ იმ კვეთში, სადაც $\sigma_{bt} = R_{bt\ ser}$. $\sigma_{s.\,crc}$-ის დასადგენად ვიყენებთ მოსაზრებას, რომ პირველი სტადიის დასასრულს და მეორე სტადიის დასაწყისში გამჭიმი ძალები ერთი და იგივე სიდიდისაა პირველი ბზარის გაჩენის ადგილას, ე. ი. აქ $N_{crc} = N$, მაშინ

$$R_{bt,\,ser} A_{bt} + 2\alpha R_{bt,\,ser} A_s = \sigma_{s,\,crc} A_s,$$

საიდანაც განისაზღვრება ძაბვები არმატურაში პირველი ბზარის გახსნის ადგილას

$$\sigma_{s,\,crc} = \frac{R_{bt,\,ser} A_{bt} + 2\alpha R_{bt,\,ser} A_s}{A_s}, \qquad \text{(VII.89)}$$

რომლის ჩაწერის შემდეგ საანგარიშო პირობაში მივიღებთ

$$R_{bt,\,ser} A_{bt} = \omega' \tau_c s l_{crc};$$

აქედან ბზართა შორის მანძილი იანგარიშება ფორმულით

$$l_{crc} = \frac{R_{bt,\,ser}}{\omega' \tau_c} \frac{A_{bt}}{s};$$

$$l_{crc} = \eta \frac{u}{\mu_1}, \qquad \text{(VII.90)}$$

სადაც მიღებულია აღნიშვნები $u = \frac{A_s}{s}$, $\mu_1 = \frac{A_s}{A_{bt}}$.

ბზარის გახსნის სიგანე ცენტრალურად გაჭიმულ ელემენტებში დადგინდება ისევე, როგორც ღუნვის დროს და იანგარიშება ფორმულით

$$a_{crc} = \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} l_{crc}. \qquad \text{(VII.91)}$$

როგორც ჩანს, ბზარის გახსნის სიგანე მით უფრო მნიშვნელოვანია, რაც უფრო მაღალია გრძივ მუშა არმატურაში მოქმედი ძაბვები, რაც უფრო დიდი დიამეტრისაა არმატურა; პერიოდული პროფილის არმატურის გამოყენებისას ბზარის გახსნის სიდიდე ნაკლებია, ვიდრე გლუვზედაპირიანისა.

6. ბზარის გახსნის სიგანის განსაზღვრა დაპროექტების ნორმების მიხედვით

ა) ნორმალური ბზარების გახსნის სიგანე

ნორმების მითითებების თანახმად, ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური ბზარის გახსნის სიგანე გაჭიმული არმატურის (ყველაზე დაძაბულ რიგში) სიმძიმის ცენტრის დონეზე განისაზღვრება ფორმულით

$$a_{crc} = \delta \varphi_l \eta \frac{\sigma_s}{E_s} 20\,(3{,}5 - 100\,\mu)\sqrt[3]{d}, \qquad \text{(VII.92)}$$

სადაც δ არის წინაღობის სახეობის გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი.

ღუნვადი და არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტებისათვის $\delta = 1$, გაჭიმული ელემენტებისათვის $\delta = 1{,}2$; φ_l—დატვირთვის ხანგრძლივობის გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი; ხანმოკლე დატვირთვისას $\varphi_l = 1{,}0$; ხანგრძლივი დატვირთვისას — ბეტონის სახეობის მიხედვით — $\varphi_l = 1{,}5 - 2{,}5$ (მუხლი 4.14 СНиП 2.03.01—84); η კოეფიციენტი ითვალისწინებს არმატურის სახეობის გავლენას და მიიღება: ღეროვანი პერიოდული პროფილის არმატურისათვის $\eta = 1, 0$; ღეროვანი გლუვზედაპირიანი არმატურისათვის $\eta = 1{,}3$; მავთულოვანი პერიოდული პროფილის არმატურისა და ბაგირებისათვის $\eta = 1{,}2$; მავთულოვანი გლუვზედაპირიანი არმატურისათვის $\eta = 1{,}4$; μ არის დაარმატურების კოეფიციენტი $\mu = \frac{A_s}{bh_0 + (b_f' - b)(h_f' - a')}$; იგი ფორმულაში ჩაისმება არაუმეტეს 0,02-ისა. d—გაჭიმული გრძივი მუშა არმატურის დიამეტრი (მმ-ით); σ_s—დაუძაბავი რკინაბეტონის ელემენტებისათვის გაჭიმული ზონის კიდურა რიგში არმატურის გამჭიმი ძაბვების სიდიდე საანგარიშო სტადიაზე. σ_s განისაზღვრება ფორმულით:

ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტებისათვის

$$\sigma_s = \frac{N}{A_s}; \tag{VII.93}$$

ღუნვადი ელემენტებისათვის

$$\sigma_s = \frac{M}{A_s z}; \tag{VII.94}$$

არაცენტრალური კუმშვის და არაცენტრალური გაჭიმვის შემთხვევაში

$$\sigma_s = \frac{N(e_s \pm z)}{A_s z}; \tag{VII.95}$$

სადაც e_s არის მანძილი N ძალიდან გაჭიმული არმატურის სიმძიმის ცენტრამდე; z — შიგა ძალთა მხარი — მანძილი გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა არმატურის სიმძიმის ცენტრიდან შეკუმშული ზონის ძალვების ტოლქმედის მოდების წერტილამდე.

ნიშანი „პლუსი" σ_s-ის (VII. 95) გამოსახულებაში მიიღება არაცენტრალური გაჭიმვისას.

ხანმოკლე და ხანგრძლივი დატვირთვების ერთობლივი მოქმედებისას ბზარის გახსნის ჯამური სიგანე — ბზარის ხანმოკლე გახსნის სიგანის მნიშვნელობა — იანგარიშება ფორმულით

$$a_{crc} = a_{бз.\,1} - a_{бз.\,2} + a_{бз.\,3}, \tag{VII.96}$$

სადაც $a_{бз.\,1}$ არის ბზარის გახსნის სიგანე მთელი დატვირთვის ხანმოკლე მოქმედებისას; $a_{бз.\,2}$—ბზარის გახსნის საწყისი სიგანე ხანგრძლივი დატვირთვის მოქმედებისას (ხანგრძლივი დატვირთვის არახანგრძლივი მოქმედებით); $a_{бз.\,3}$—ბზარის გახსნის სიგანე ხანგრძლივი დატვირთვის მოქმედებით (ხანგრძლივობის გათვალისწინებით).

ბ) დახრილი ბზარების გახსნის სიგანე

ელემენტის გრძივი ღერძისადმი დახრილი ბზარების გახსნის სიგანე, როდესაც გამოყენებულია ელემენტის გრძივი ღერძისადმი მართობულად განლა-

გებული განივი არმატურა, იანგარიშება ნორმებით რეკომენდებული ემპირიული ფორმულით

$$a_{crc}=\varphi_l \frac{0{,}6\,\sigma_{sw}d_w\eta}{E_s\frac{d_w}{h_0}+0{,}15\,E_b\,(1+2\alpha\mu_w)}, \qquad \text{(VII.97)}$$

სადაც φ_l არის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს დატვირთვის ხანგრძლივობის გავლენას ბზარის გახსნის სიდიდეზე ბეტონის სახეობისაგან დამოკიდებულებით; ხანმოკლე დატვირთვისას $\varphi_l=1$, ხანგრძლივი დატვირთვისას $\varphi_l=1{,}2$—$1{,}75$ (მუხლი 4.17, СНиП 2.03.01—84); d_w—განივი არმატურის დიამეტრი, მმ; μ_w—განივი არმატურით გაჯერების კოეფიციენტი; $\mu_w=\frac{A_{sw}}{bs}$, სადაც A_{sw} არის ელემენტის კვეთში განივი არმატურის ყველა ტოტის განივკვეთის ფართობი მუდმივი ბიჯით დაარმატურების უბანზე, s—განივი არმატურის ბიჯი, ხოლო b—ელემენტის სიგანე; σ_{sw}—ძაბვები საკიდებში, იანგარიშება ფორმულით

$$\sigma_{sw}=\frac{Q-Q_{b1}}{A_{sw}h_0}\,s, \qquad \text{(VII.98)}$$

რაც არ უნდა აღემატებოდეს $R_{s,\,ser}$.

აქ Q_{b1}-ს იგივე მნიშვნელობა აქვს, რაც დახრილი კვეთების სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას, მაგრამ R_{bt}-ს ნაცვლად შესაბამის ფორმულაში გამოყენებული იქნება $R_{bt,\,ser}$ და φ_{b4} კოეფიციენტი მრავლდება 0,8-ზე, ე. ი.

$$Q_{b1}=\frac{0{,}8\,\varphi_{b4}\,R_{bt,\,ser}bh_0^2}{c}. \qquad \text{(VII.99)}$$

Q არის უდიდესი განივი ძალა განსახილველ უბანზე განივი არმატურით გაჯერების მუდმივი კოეფიციენტის შემთხვევაში.

გაანგარიშებისას განიხილავენ დახრილ კვეთებს, რომლებიც საყრდენის კიდიდან დაშორებული არიან არანაკლებ h_0 მანძილისა.

ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვების ერთობლივი მოქმედებით გამოწვეული დახრილი ბზარის გახსნის ჯამური სიგანე იანგარიშება ისევე, როგორც ნორმალური ბზარებისათვის, ფორმულით

$$a_{crc}=a_{\text{ხ}.1}-a_{\text{ხ}.2}+a_{\text{ხ}.3}. \qquad \text{(VII.100)}$$

§ 4. ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება დეფორმაციათა მიხედვით; ჩაღუნვები

1. საანგარიშო პირობა ჩაღუნვაზე გაანგარიშებისათვის

დეფორმაციების მიხედვით რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშება ჩვეულებრივ წარმოებს ჩაღუნვებზე, პირობით

$$f\leqslant f_{lim}, \qquad \text{(VII.101)}$$

სადაც f არის გარე დატვირთვებით გამოწვეული ჩაღუნვა, f_{lim} კი ზღვრულად

დასაშვები ჩაღუნვის სიდიდე, რომელიც დადგინდება დაპროექტების ნორმებით და მოცემულია მე-4 ცხრილში СНиП 2.03.01—84 (ავრეთვე IV დანართში), კონსტრუქციის დანიშნულებისა და მალისაგან დამოკიდებულებით. მუდმივი, დროებითი ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვების მოქმედებისას კოჭების ან ფილების ჩაღუნვები ყოველ შემთხვევაში არ უნდა აღემატებოდეს მალის 1/150 და კონსოლის შვერის 1/75-ს.

ჩაღუნვა ძირითადად მღუნავი მომენტის მოქმედებითაა გაპირობებული, ზოგ შემთხვევაში ითვალისწინებენ ძვრის ძალების გავლენასაც. ჩაღუნვები განისაზღვრება მასალათა გამძლეობის ფორმულებით დატვირთვების არახელსაყრელი შეხამებისას სიმრუდის $\frac{1}{r}$ ან სიხისტის მიხედვით, რომელიც რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტებისათვის აღინიშნება B-თი.

სიხისტე (სიმრუდე) მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული გაჭიმული ზონის ბეტონში ბზარების არსებობაზე. რკინაბეტონის ელემენტების იმ უბანზე, სადაც გაჭიმულ ზონაში ბზარები არ წარმოიქმნება ან საიმედოდაა დახურული, სიმრუდე იანგარიშება როგორც მთლიანი ტანისათვის; დაბზარულ უბანზე სიმრუდე იანგარიშება როგორც შეკუმშული ბეტონის კიდურა საშუალო დეფორმაციებისა და გაჭიმული არმატურის საშუალო დეფორმაციების სხვაობის შეფარდება მუშა სიმაღლესთან $\frac{1}{r} = \frac{\varepsilon_{bm} + \varepsilon_{sm}}{h_0}$.

დაუბზარავად ითვლება ელემენტის გაჭიმული ზონა იმ უბანზე, სადაც ბზარები არ წარმოიქმნება მუდმივი, დროებითი ხანგრძლივი და დროებითი ხანმოკლე დატვირთვის ერთობლივი მოქმედებისას.

2. სიმრუდის განსაზღვრა დაუბზარავი და დაბზარული ელემენტებისათვის

ელემენტის იმ მონაკვეთზე, რომლის გაჭიმულ ზონაში ნორმალური ბზარები არ ჩნდება, სიმრუდე იანგარიშება ფორმულით:

განპირობებული ხანმოკლე დატვირთვით

$$\left(\frac{1}{r}\right)_1 = \frac{M}{\varphi_{b1} E_b I_{red}}; \qquad \text{(VII.102)}$$

ხანგრძლივი დატვირთვით

$$\left(\frac{1}{r}\right)_2 = \frac{M\varphi_{b2}}{\varphi_{b1} E_b I_{red}}, \qquad \text{(VII.103)}$$

ხოლო ხანმოკლე სიხისტე

$$B = \varphi_{b1} E_b I_{red}; \qquad \text{(VII.104)}$$

სადაც φ_{b2} არის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ბეტონის ხანგრძლივი ცოცვადობის გავლენას დეფორმაციის სიდიდეზე და მიიღება ნორმების СНиП 2.03.01—84 34-ე ცხრილით; ხანმოკლე დატვირთვების მოქმედე-

ბისას იგი მიიღება 1-ის ტოლი; ხანგრძლივი დატვირთვებისას — $\varphi_{b2}=2{,}0\div 4{,}5$ ბეტონის სახეობისა და ჰაერის ტენიანობის მიხედვით; φ_{b1} — კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ბეტონის ხანმოკლე ცოცვადობას; მძიმე, წვრილმარცვლოვანი და მკვრივ წვრილ შემვსებებზე დამზადებული მსუბუქი ბეტონებისათვის $\varphi_{b1}=0{,}85$; მსხვილ და წვრილ ფოროვან შემვსებებზე დამზადებული მსუბუქი ბეტონებისათვის $\varphi_{b1}=0{,}7$.

E_b — ბეტონის დრეკადობის საწყისი მოდული; I_{red} — დაყვანილი კვეთის ინერციის მომენტი დაყვანილი კვეთის ცენტრალური ღერძის მიმართ.

ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვების ერთობლივი მოქმედებით განპირობებული სიმრუდე დაუბზარავი ელემენტებისათვის იანგარიშება ფორმულით

$$\frac{1}{r}=\left(\frac{1}{r}\right)_1+\left(\frac{1}{r}\right)_2. \qquad \text{(VII.105)}$$

$\left(\frac{1}{r}\right)_2$ არის ხანგრძლივი დატვირთვებით განპირობებული სიმრუდე;

$\left(\frac{1}{r}\right)_1$ — ხანმოკლე დატვირთვებით განპირობებული სიმრუდე.

ელემენტის დაბზარულ მონაკვეთზე სიმრუდე იანგარიშება ფორმულით

$$\left(\text{პირობიდან } \frac{1}{r}=\frac{\varepsilon_{sm}+\varepsilon_{bm}}{h_0},\ \text{ფორმულა VII.72}\right)$$

$$\frac{1}{r}=\frac{M}{h_0 z}\left[\frac{\psi_s}{E_s A_s}+\frac{\psi_b}{\nu E_b(\varphi_f+\xi)\,bh_0}\right], \qquad \text{(VII.106)}$$

ხოლო სიხისტე

$$B=\frac{h_0 z}{\dfrac{\psi_s}{E_s A_s}+\dfrac{\psi_b}{\nu E_b(\varphi_f+\xi)\,bh_0}}. \qquad \text{(VII.107)}$$

ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვების ერთობლივი მოქმედებით გაპირობებული სრული სიმრუდე იანგარიშება ფორმულით

$$\frac{1}{r}=\left(\frac{1}{r}\right)_1-\left(\frac{1}{r}\right)_2+\left(\frac{1}{r}\right)_3, \qquad \text{(VII.108)}$$

სადაც $\left(\frac{1}{r}\right)_1$ არის სიმრუდე გამოწვეული მთელი დატვირთვის ხანმოკლე მოქმედებით; $\left(\frac{1}{r}\right)_2$ — საწყისი სიმრუდე მუდმივი და ხანგრძლივი დროებითი დატვირთვის არახანგრძლივი მოქმედებისგან; $\left(\frac{1}{r}\right)_3$ — სიმრუდე გამოწვეული მუდმივი და ხანგრძლივი დროებითი დატვირთვების მოქმედებით, ხანგრძლივობის გათვალისწინებით.

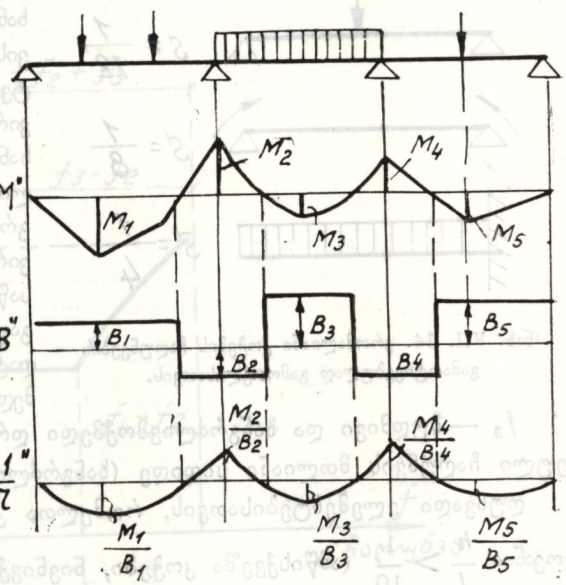
ღუნვით განპირობებული ჩაღუნვის დეფორმაცია იანგარიშება ფორმულით

$$f = \int_0^l \overline{M}_x \left(\frac{1}{r}\right)_x dx, \qquad \text{(VII.109)}$$

სადაც $\overline{M}_x$ არის მღუნავი მომენტი x კვეთში, რომელიც გამოწვეულია გადაადგილების მიმართულებით საანგარიშო კვეთში მოდებული ერთეულოვანი ძალით; $\left(\frac{1}{r}\right)_x$ — x კვეთში სიმრუდის მთლიანი სიდიდე, გამოწვეული სრული გარე დატვირთვით.

სიმრუდე იანგარიშება გარკვეული უბნისათვის იმის მიხედვით, დაბზარულია თუ არა ელემენტი ამ უბანზე. სიმრუდის ნიშანი მიიღება სიმრუდის ეპიურის შესაბამისად.

მუდმივკვეთიანი დაბზარული ღუნვადი ელემენტის ყოველი ერთნიშნა მომენტების ეპიურის უბანზე დასაშვებია სიხისტის განსაზღვრა ყველაზე დაძაბული კვეთისათვის (უდიდესი მღუნავი მომენტის მოქმედების, ანუ ყველაზე მცირე სიხისტის კვეთისათვის), ხოლო უბნის დანარჩენ კვეთებში სიმრუდე მიიღება მღუნავი მომენტების სიდიდის პროპორციულად — პირობით $\frac{1}{r} = \frac{M}{B}$. ასეთი დაშვებით გაანგარიშება იძლევა ჩაღუნვის გადიდებულ მნიშვნელობას, მაგრამ პრაქტიკული მიზნებისათვის გაანგარიშების საფუძვლად მისი მიღება შესაძლებელია.



ნახ. VII. 13. სიმრუდის განსაზღვრისათვის.

სიხისტისა და სიმრუდის განსაზღვრის ეს გზა ღუნვადი ელემენტებისათვის გამოსახულია VII. 13 ნახაზზე.

ერთმალიანი კოჭების გავრცელებული დატვირთვებისა და საანგარიშო სქემების პირობებში ჩაღუნვა იანგარიშება გამარტივებული ფორმულებით

$$f = sl^2 \frac{1}{r}, \quad \text{ანუ} \quad f = sl^2 \frac{M}{B}, \qquad \text{(VII.110)}$$

სადაც s არის კოეფიციენტი, დამოკიდებული დატვირთვის სახეობასა და ელემენტის საანგარიშო სქემაზე და მოცემულია ცხრილებში (XIX დანართი). მაგალითად, კოჭების უმარტივესი სქემებისათვის მითითებულია VII.14 ნახაზზე.

ჩაღუნვის ფორმულებში (VII.110)

l არის კოჭის საანგარიშო მალი;

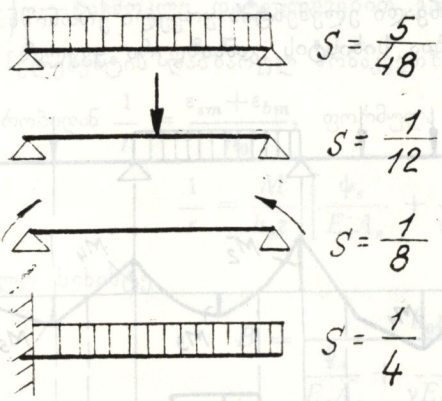
$\frac{1}{r}$ — სიმრუდე ჩაღუნვის საანგარიშო კვეთში;

M — მღუნავი მომენტი ჩაღუნვის საანგარიშო კვეთში;

B — სიხისტე საანგარიშო უბნის უდიდესი მღუნავი მომენტის მოქმედების კვეთში.

დაბზარული ღუნვადი ელემენტის ჩაღუნვების სიდიდის განსაზღვრის გრაფიკული გამოსახულება მოცემულია VII.15 ნახაზზე; ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვების ერთობლივი მოქმედებისას ჯამური ჩაღუნვა შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$f = f_1 - f_2 + f_3. \qquad \text{(VII.111)}$$



ნახ. VII. 14. ერთმალიანი კოჭების ჩაღუნვების გამარტივებულად გამოთვლისათვის.

გრაფიკზე მითითებული $P_{ხვ}$ არის ხანგრძლივმოქმედი დატვირთვის სიდიდე; $P_ხ$ — ხანმოკლე დატვირთვა; f_1 — მთელი დატვირთვის $(P_{ხვ}+P_ხ)$ ერთდროული ხანმოკლე მოქმედებით გამოწვეული ჩაღუნვა; f_2 — მუდმივი და ხანგრძლივმოქმედი დროებითი დატვირთვით გამოწვეული ჩაღუნვის საწყისი სიდიდე (ხანგრძლივობის გაუთვალისწინებლად, ე. ი. ამ დატვირთვის არახანგრძლივი მოქმედებით გამოწვეული ჩაღუნვა);

f_3 — მუდმივი და ხანგრძლივმოქმედი დროებითი დატვირთვით გამოწვეული ჩაღუნვის მთლიანი სიდიდე (ხანგრძლივობის გათვალისწინებით).

ღუნვადი ელემენტებისათვის, რომელთა კვეთების სიმაღლე მნიშვნელოვანია $\frac{h}{l} > \frac{1}{10}$ (ამწისქვეშა კოჭები, ნივნივქვეშა კოჭები), აუცილებელია ჩაღუნვებზე განივი ძალების გავლენის გათვალისწინება. ასეთ შემთხვევაში მთლიანი ჩაღუნვა იანგარიშება როგორც ღუნვით და ძვრით განპირობებული ჩაღუნვების ჯამი.

$$f = f_m + f_q, \qquad \text{(VII.112)}$$

სადაც f_m არის ღუნვით განპირობებული დეფორმაციის სიდიდე; f_q — ძვრით განპირობებული ჩაღუნვა.

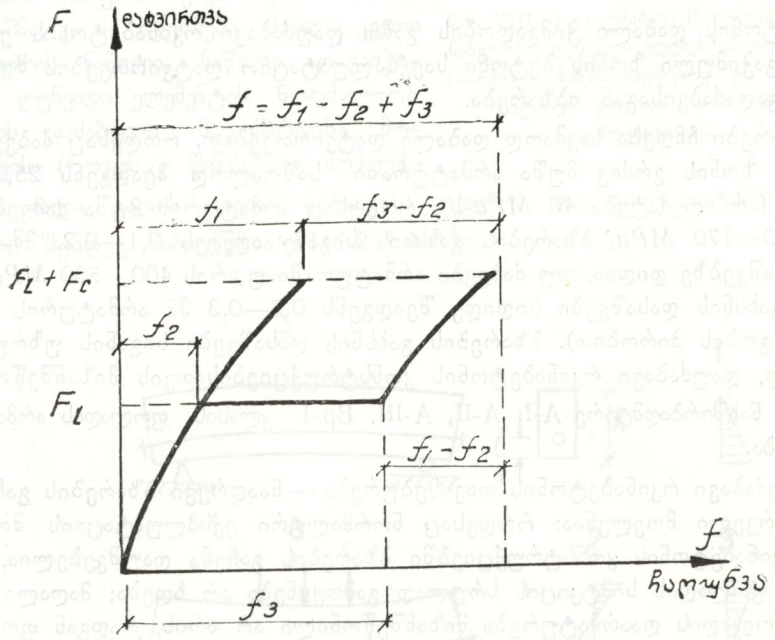
ძვრით გამოწვეული ჩაღუნვა იანგარიშება ფორმულით

$$f_q = \int_0^l \overline{Q}_x \gamma_x \, dx, \qquad \text{(VII.113)}$$

სადაც $\overline{Q}_x$ არის ჩაღუნვის მიმართულებით საანგარიშო კვეთში მოდებული ერთეულოვანი ძალით გამოწვეული განივი ძალის სიდიდე x კვეთში; γ_x — ძვრის დეფორმაცია, რომელიც იანგარიშება ფორმულით

$$\gamma_x = \frac{1{,}5\, Q_x \varphi_{b2}}{Gbh} \varphi_{crc}, \qquad \text{(VII.114)}$$

აქ Q_x არის გარე დატვირთვით გამოწვეული განივი ძალის სიდიდე x კვეთში; G—ბეტონის ძვრის მოდული, რომელიც ტოლია $G=0{,}4E_b$; b, h—ელემენტის განივკვეთის ზომები წიბოს მიხედვით; φ_{b2}— კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ბეტონის ხანგრძლივ ცოცვადობას (ნორმების 34-ე ცხრილი); იცვლება დატვირთ-



ნახ. VII. 15. ჯამური ჩაღუნვა ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვების ერთობლივი მოქმედებით.

ვების მოქმედების ხანგრძლივობისა და ბეტონის სახეობის მიხედვით 1—4,5 ფარგლებში. ხანმოკლე დატვირთვისას $\varphi_{b2}=1$; φ_{crc}— კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ბზარების გავლენას ძვრის დეფორმაციებზე და მიიღება: $\varphi_{crc}=1$, როდესაც ელემენტის განსახილველ უბანზე ბზარები (არც ნორმალური, არც დახრი-

ლი) არ ჩნდება; $\varphi_{crc} = 4{,}8$, როდესაც განსახილველ უბანზე წარმოქმნილია დახრილი ბზარები; იმ უბანზე კი, სადაც წარმოქმნილია მხოლოდ ნორმალური ბზარები ან ნორმალურიცა და დახრილიც, φ_{crc} იანგარიშება ფორმულით

$$\varphi_{crc} = \frac{3E_b I_{red}}{M_x}\left(\frac{1}{r}\right)_x; \qquad \text{(VII.115)}$$

აქ M_x და $\left(\frac{1}{r}\right)_x$, შესაბამისად, არის მღუნავი მომენტისა და სრული სიმრუდის მნიშვნელობა x კვეთში, იმ დატვირთვისაგან, რომლის მოქმედებაზეც იანგარიშება ჩაღუნვა.

VIII თავი

წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონი

§ 1. წინასწარი დაძაბვის არსი

ბეტონის დაბალი ჭიმვადობის გამო დაუძაბავი რკინაბეტონის ელემენტების გაჭიმული ზონის ბეტონი საექსპლუატაციო დატვირთვების მოქმედებისას გადაძაბვისაგან იბზარება.

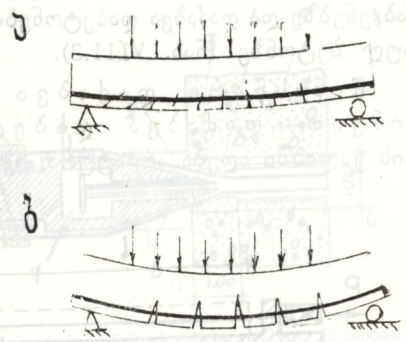
ბზარები ჩნდება საკმაოდ დაბალი დატვირთვებით, როდესაც ძაბვები გაჭიმული ზონის გრძივ მუშა არმატურაში საშუალოდ შეადგენს 25,0—30,0 *MPa*-ს (არ აღემატება 40 *MPa*-ს); როდესაც არმატურის მუშა ძაბვები ტოლია 150—170 *MPa*, ბზარების გახსნის სიგანე აღწევს 0,1—0,2, მმ-ს, მაგრამ დასაშვებზე დიდია, თუ ძაბვები არმატურაში უდრის 400—500 *MPa* (ბზარების გახსნის დასაშვები სიდიდე შეადგენს 0,2—0,3 მმ არმატურის კოროზიამედეგობის პირობით). ბზარების გახსნის დასაშვები სიგანის უზრუნველსაყოფად, დაუძაბავი რკინაბეტონის კონსტრუქციებისათვის მიზანშეწონილია მხოლოდ ნახშირბადმცირე A-I, A-II, A-III, Bp-1 კლასის ფოლადის არმატურის გამოყენება.

დაუძაბავი რკინაბეტონის თავისებურება — ნაადრევი ბზარების გაჩენა — არასასურველი მოვლენაა: როდესაც ნორმალური ექსპლუატაციის მოთხოვნებთ რკინაბეტონის კონსტრუქციებში ბზარების გაჩენა დაუშვებელია, საარმატურე ფოლადის სიმტკიცის სრულად გამოყენება არ ხდება; მაღალი სიმტკიცის ფოლადის დაარმატურება მიზანშეწონილი არ არის, რადგან ფოლადის წინაღობის შესაბამისი მაღალი ძაბვების განვითარებისას გაიხსნება დაუშვებელი სიგანის ნაპრალისებრი ბზარები და ელემენტის ექსპლუატაცია შეუძლებელი გახდება (ნახ. VIII.1).

წინასწარი დაძაბვის იდეა მომდინარეობს მისწრაფებიდან — შეიქმნას რკინაბეტონი, რომელსაც ნაადრევი ბზარები არ უჩნდება.

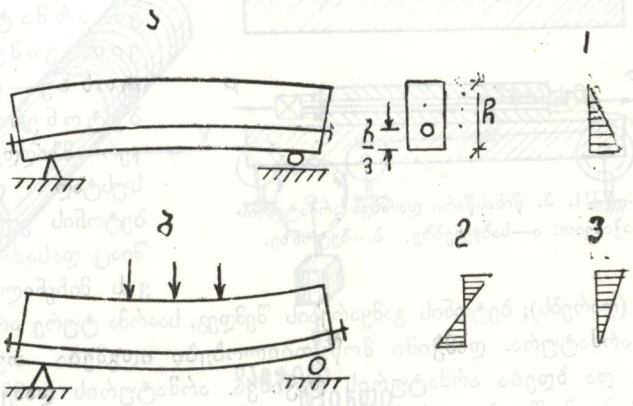
რკინაბეტონის წინასწარი დაძაბვა წარმოგვიდგება როგორც ბეტონის კუმშვა წინასწარ, საექსპლუატაციო დატვირთვების მოდებამდე. იკუმშება ელემენტის მთელი კვეთი ან მხოლოდ გარე დატვირთვების გავლენით გაჭიმული

ზონა. წინასწარ დაძაბულ ელემენტზე გარე დატვირთვის მოდების შემდეგ, წინასწარი და გარე დატვირთვით გამოწვეული ძაბვები ჯამდება. გარე დატვირთვის თანდათანობით გადიდებისას ჯერ ჩაქრება კუმშვის წინასწარი ძაბვები, შემდეგ იწყება ბეტონის გაჭიმვა. საექსპლუატაციო დატვირთვის მოქმედებით ბზარები არ წარმოიქმნება ან იხსნება უფრო გვიან, ვიდრე დაუძაბავი რკინაბეტონის ელემენტებში და მათი გახსნის სიგანეც შედარებით მცირეა. ყოველ შემთხვევაში წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ბზარმედეგობა უფრო მაღალია, ვიდრე ჩვეულებრივისა.



ნახ. VIII. 1. დაუძაბავი (ჩვეულებრივი) რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტის დეფორმაცია: ა—რბილი, ნახშირბადმცირე და ბ) მაღალი სიმტკიცის ფოლადის არმატურის გამოყენებისას.

ბეტონის წინასწარ კუმშვას მოკუმშვას უწოდებენ. წინასწარი მოკუმშვა წარმოებს ცენტრალურად ან არაცენტრალურად (უმრავლეს შემთხვევებში არაცენტრალურად). მომკუმშავი ძალის ექსცენტრისიტეტის შესაბამისად წინასწარი ძაბვების ეპიურა იქნება ერთნიშნა ან ორნიშნა, ე. ი. იკუმშება მთელი კვეთი ან კვეთის ნაწილი, ნაწილი კი გაიჭიმება. ღუნვადი ელემენტის ნორმალური კვეთის დაძაბული მდგომარეობა მოკუმშვისა (როდესაც წინასწარი მომკუმშავი ძალა გადის კვეთის ბირთვის კიდეზე) და გარე დატვირთვის მოდების შემდეგ ნაჩვენებია VIII.2 ნახაზზე.

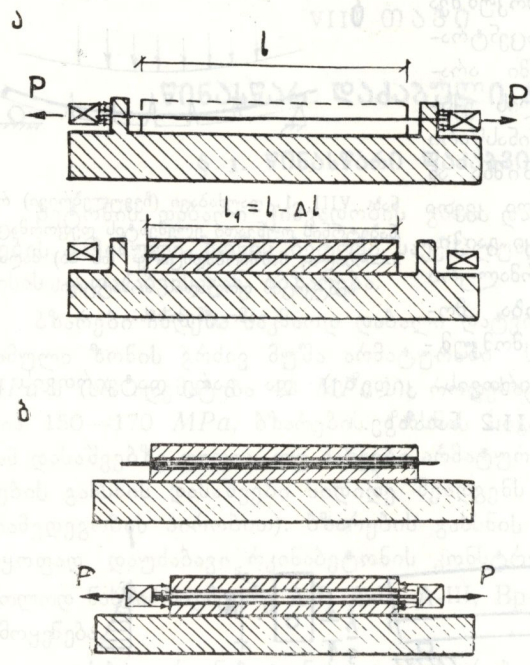


ნახ. VIII.2. წინასწარ დაძაბული ღუნვადი ელემენტის დეფორმაცია და გრძივი ღერძისადმი ნორმალური კვეთის დაძაბული მდგომარეობა: ა—დაძაბული უწონო კოჭი მხოლოდ მომკუმშავი ძალის მოქმედებისას, რომელიც გადის კვეთის ბირთვის კიდეზე; ბ—წინასწარ დაძაბული კოჭი გარე დატვირთვით. 1—წინასწარი მომკუმშავი ძაბვების ეპიურა; 2—დაუძაბავი კოჭის ნორმალური ძაბვების ეპიურა გამოწვეული გარე დატვირთვით; 3—წინასწარ დაძაბული დატვირთული კოჭის ნორმალური ძაბვების ეპიურა.

წინასწარი დაძაბვა ხდება სხვადასხვა მეთოდით: არმატურის დაჭიმვით, ძაბვადი ბეტონის გამოყენებით (ე. წ. თვითდაძაბვა), წინასწარ დაძაბული ელემენტების გამოყენებით არმატურის ნაცვლად.

მშენებლობის პრაქტიკაში დამკვიდრდა წინასწარი დაძაბვის პირველი მეთოდი — დაძაბვა არმატურის დაჭიმვის გზით. აქ განასხვავებენ დაძაბვის ორ ხერხს: დაძაბვა დაბეტონებამდე — არმატურის დაჭიმვით სპეციალურ საბჯენებზე და დაძაბვა დაბეტონების შემდეგ — არმატურის დაჭიმვით გამყარებულ ბეტონზე (ნახ. VIII.3).

წინასწარი დაძაბვა საბჯენებზე არმატურის დაჭიმვით — დაძაბვა დაბეტონებამდე: დასამზადებელი ელემენტის ყალიბში იდება არმატურა, იჭიმება და ჩამაგრდება განსაკუთრებულ საბჯენებზე (სტენდის, ფორმის კედლებზე). შემდეგ წარმოებს დაბეტონება. როდესაც ბეტონი საკმარისად გამყარდება — განმტკიცდება, არმატურა თავისუფლდება დამჭერი მოწყობილობებისაგან, არმატურა ცდილობს დაუბრუნდეს საწყის მდგომარეობას, მოკლდება, ბეტონის გამყარების პროცესში განვითარებული შეჭიდულობის გამო თან წარიტანს ბეტონს და კუმშავს მას.



ნახ. VIII. 3. წინასწარი დაძაბვა არმატურის დაჭიმვით: ა—საბჯენებზე, ბ—ბეტონზე.

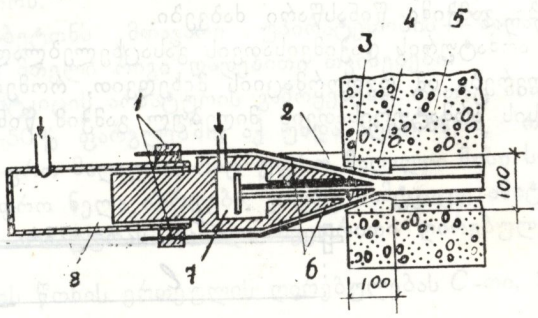
წინასწარი დაძაბვა არმატურის დაჭიმვით გამყარებულ ბეტონზე — დაძაბვა დაბეტონების შემდეგ: ჯერ მზადდება ბეტონის ან სუსტად დაარმატურებული ბეტონის ელემენტი, რომელშიაც დასაძაბი არმატურისათვის მიჩენილ ადგილას ტოვებენ არხებს (ღარებს); ბეტონის გამყარების შემდეგ, საარმატურე არხებში (ღარებში) თავსდება არმატურა. დამჭიმი მოწყობილობები იდგმება თვით ელემენტის ბოლოებზე და ხდება არმატურის დაჭიმვა. არმატურის დამჭიმი ძალის რეაქცია დამჭიმი მოწყობილობებიდან გადაეცემა ბეტონს და კუმშავს მას. ბეტონის კუმშვის შესანარჩუნებლად — წინასწარი ძაბვების შესანარჩუნებლად, ეწყობა სპეციალური ჩასამაგრებელი მოწყობილობები — ანკერები, რომელთა მეშვეობითაც მოხდება არმატურის ჩამაგრება. ბეტონისა და არმატურის შეჭიდულობის შესაქმნელად და არმატურის დასაცავად კოროზიისაგან არხები ივსება ხსნარით წნევის ქვეშ — ხდება ხსნარის ინექცია. ხსნარის შეშვება არხში

წარმოებს ხვრელებიდან, რომლებიც დატანებული აქვს ანკერს და არხსაც ელემენტის სიგრძის განსაზღვრულ ადგილებში (დაახლოებით ყოველ 10 მეტრში).

არმატურის დაჭიმვა გამოყენებული საშუალებების მიხედვით შეიძლება განხორციელდეს მექანიკურად — დომკრატებით, დამხვევი მანქანებით და სხვ. (ნახ VIII. 4, VIII.5), ელექტროთერმული ხერხით (ნახ. VIII.6) ან ელექტროთერმომექანიკურად.

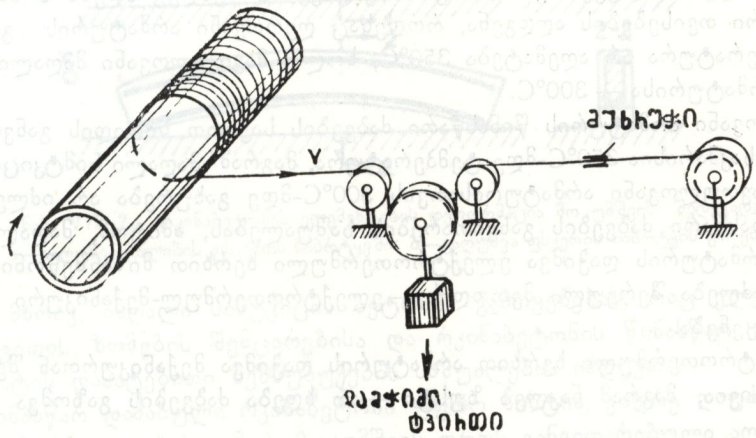
მექანიკურად არმატურის დაჭიმვისათვის, ჩვეულებრივ, იყენებენ ჰიდრავლიკურ ერთმაგი ან ორმაგი ქმედების დომკრატებს.

ერთმაგი ქმედების დომკრატები ასრულებენ ერთ ოპერაციას—ჭიმავენ არმატურას, ორმაგი ქმედებისა—ორ ოპერაციას— არმატურას ჭიმავენ და ჩაამაგრებენ კიდეც.



ნახ. VIII. 4. არმატურის დაჭიმვის სქემა ორმაგი ქმედების დომკრატით: 1—მავთულების ჩამჭერი; 2—საბჯენი; 3—საანკერე საცობი; 4—გარსაკრი; 5—დასაძაბი კონსტრუქცია; 6—დასაჭიმი მავთულები; 7—სიღრუე, რომელიც შეივსება ანკერის საცობის ჩაწნევით; 8—დომკრატის სიღრუე.

არმატურის დაჭიმვის ძალის კონტროლი წარმოებს ჰიდრავლიკური დომკრატების სამართავ სატუმბ მოწყობილობებს თანდართული მანომეტრების საშუალებით და არმატურის გაჭიმვის დეფორმაციის ფაქტობრივი სიდიდის მიხედვით.

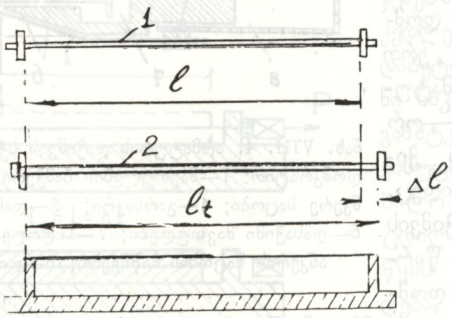


ნახ. VIII. 5. მავთულის დაჭიმვა დამხვევი მანქანით უწყვეტი დაარმატურებისას.

ელექტროთერმული დაჭიმვის ხერხი ფართოდ გავრცელდა განსაკუთრებული სიმარტივის გამო. ელექტროთერმული ხერხით დაჭიმვისას საარმატუ-

რე ნამზადს (ნახ. VIII. 6), რომელსაც ბოლოებზე დართული აქვს ანკერები (ანკერებს შორის მანძილი ნაკლებია, ვიდრე საბჯენების გარე წახნაგებს შორის), აცხელებენ ელექტრული დენის გატარებით საჭირო ზომით წაგრძელებამდე. ამ მდგომარეობაში არმატურას ჩაამაგრებენ ხისტ საბჯენებში. გაცივებისას, საბჯენები არმატურას არ აძლევენ თავისუფლად დამოკლების საშუალებას, იგი ვერ უბრუნდება საწყის მდგომარეობას და არმატურაში აღიძვრება გამჭიმი წინასწარი ძაბვები.

არმატურის დაჭიმვისათვის გასაცხელებლად საჭირო ტემპერატურა განისაზღვრება იმ დეფორმაციის მიხედვით, რომელიც შეესაბამება გარკვეული კლასის არმატურისათვის მიღებულ გამჭიმ წინასწარ ძაბვებს.



ნახ. VIII 6. არმატურის ელექტროთერმული დაჭიმვის პრინციპული სქემა.

არმატურის მაღალ ტემპერატურაზე გახურება იწვევს მისი მექანიკური მახასიათებლების დაქვეითებას, მაგრამ გაცივების შემდეგ ხდება არმატურის მექანიკური თვისებების აღდგენა, როდესაც ღეროვანი არმატურის გახურების ტემპერატურა არ აღემატება 350°C, ხოლო მავთულოვანი მაღალი სიმტკიცის არმატურისა — 300°C.

ღეროვანი არმატურის წინასწარი ძაბვების საჭირო სიდიდის განვითარებისათვის საკმარისია 350°C-მდე ტემპერატურა, მაგრამ მაღალი სიმტკიცის ფოლადის მავთულოვანი არმატურისათვის 300°C-მდე გახურება არ იძლევა მაღალი წინასწარი ძაბვების განვითარების საშუალებას, ამიტომ, მაღალი სიმტკიცის არმატურის დაჭიმვა ელექტროთერმული ხერხით მიზანშეწონილი არ არის, შეიძლება შერეული მეთოდის — ელექტროთერმულ-მექანიკური დაჭიმვის გამოყენება.

ელექტროთერმული ხერხით არმატურის დაჭიმვა მექანიკურთან შედარებით მარტივია, მაგრამ ნაკლებ ზუსტი — არ ხდება ძაბვების გაზომვა დაჭიმვისას.

საბჯენებზე არმატურის დაჭიმვა წარმოებს მექანიკურად, ელექტროთერმული და ელექტროთერმულ-მექანიკური ხერხით, ბეტონზე არმატურის დაჭიმვა კი — მხოლოდ მექანიკურად.

მაღალი ბზარმედეგობის მოთხოვნის შესაბამისად წინასწარი დაძაბვა ხელსაყრელია ისეთი ელემენტებისა, რომელთაც საექსპლუატაციო დატვირთვის მოქმედებისას გააჩნიათ გაჭიმული ზონა. ესაა ცენტრალურად და არაცენტრალუ-

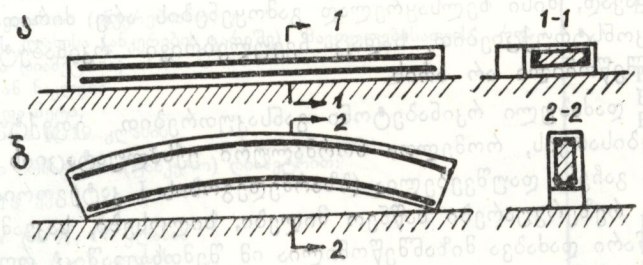
რად გაჭიმული, არაცენტრალურად შეკუმშული (დიდი ექსცენტრისიტეტით), ღუნვადი ელემენტები, ე. ი. პრაქტიკულად რკინაბეტონის ელემენტების უმრავლესობა.

ცალკეულ შემთხვევებში შეიძლება მიზანშეწონილი აღმოჩნდეს კუმშვადი ელემენტების წინასწარი დაძაბვაც. მაგალითად, დიდი მოქნილობის სვეტების, ხიმინჯების, რომელთა ბზარმედეგობა უზრუნველყოფილი უნდა იყოს გადაზიდვისა და მონტაჟის დროს.

წინასწარ დაძაბულ რკინაბეტონს მთავარი უპირატესობის — მაღალი ბზარმედეგობის გარდა გააჩნია მთელი რიგი დადებითი თვისებები:

შესაძლებელია მაღალი სიმტკიცის არმატურის გამოყენება, რითაც მიიღწევა ფოლადის ეკონომია 30—50% ფარგლებში; აქ უნდა აღინიშნოს, რომ ფოლადის ღირებულება მით უფრო მაღალია, რაც უფრო მაღალია მისი სიმტკიცე, მაგრამ ღირებულება უფრო ნელა იზრდება, ვიდრე სიმტკიცე, ამიტომ მაღალი სიმტკიცის ფოლადის არმატურას დაბალი ხვედრითი ღირებულება აქვს (თუ აღვნიშნავთ ფოლადის წონის ერთეულის ღირებულებას C-თი, ხოლო წინაღობას R-ით, ხვედრითი ღირებულება $K = \frac{C}{R}$), ე. ი. ფოლადის ეკონომიასთან ერთად ფულადი ეკონომიაც მიიღწევა, ვიდრე შედარებით დაბალი სიმტკიცის ფოლადების გამოყენებისას. ფოლადის ხარჯის შემცირებას მოსდევს წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციის შემსუბუქება.

მაღალი სიმტკიცის ფოლადის არმატურის გამოყენება შესაძლებელს ხდის.



ნახ. VIII.7. რკინაბეტონის ელემენტების დეფორმაცია მოკუმშვის შედეგად:
ა—გაღუნვა ყალიბის ფსკერის სიბრტყეში; ბ—გაღუნვა ფსკერის სიბრტყის გარეთ.

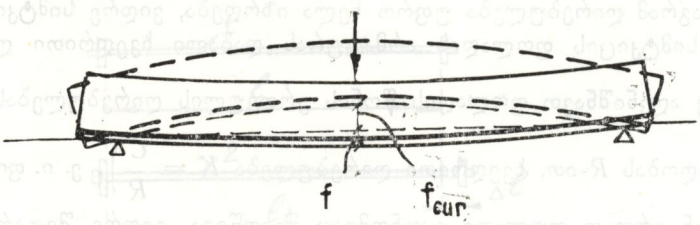
თავის მხრივ, მაღალი სიმტკიცის ბეტონის გამოყენებას, რაც ელემენტების განივკვეთის ზომების შემცირებისა და რკინაბეტონის წინასწარ დაძაბული ელემენტის დამატებითი შემსუბუქების საშუალებას იძლევა.

წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონი უფრო ხისტია, ვიდრე დაუძაბავი (მაღალი ბზარმედეგობის გამო). მოკუმშვის დროს განვითარებული აღუნვაც ამცირებს გარე დატვირთვებით გამოწვეულ ჩაღუნვას (მოკუმშვის შედეგად დეფორმირებული ელემენტები იხ. VIII.7 ნახაზზე). შესაბამისად, შესაძლოა სიხისტის პირობით განივკვეთის ზომების დამატებითი შემცირება და კონსტრუქციის შემსუბუქება. დატვირთული წინასწარ დაძაბული ელემენტის გამოსახულება ნაჩვენებია VIII.8 ნახაზზე.

წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციების შედარებითი სიმსუბუქისა და სიხისტის გამო შესაძლოა მნიშვნელოვანი მალების გადახურვა.

წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციები ხასიათდება მეტი ხანგამძლეობით (ბზარმედეგობის გამო არმატურის კოროზიის საშიშროება ნაკლებია) და მაღალი გამძლეობით, რაც განპირობებულია დაძაბული არმატურის ძაბვების მცირე ფარგლებში ცვალებადობით მრავალჯერ განმეორებადი დატვირთვების მოქმედებისას.

წინასწარ დაძაბულ რკინაბეტონს გააჩნია ნაკლოვანებებიც. ძირითადია დამზადების სირთულე, გარდა ამისა, მნიშვნელოვანი შრომატევადობა, სპეციალური მოწყობილობებისა და მაღალკვალიფიციური მუშახელის საჭიროება, შედარებით მაღალი ღირებულება და სხვ.



ნახ. VIII.8. წინასწარ დაძაბული კოჭის ჩაღუნვა გარე დატვირთვის მოქმედების შედეგად.

წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის მნიშვნელოვანი დადებითი თვისებების მიუხედავად, მისი ხელსაყრელად გამოყენების არე ძირითადად შემოიფარგლება კონსტრუქციებით, სადაც ჩვეულებრივი რკინაბეტონის გამოყენება მიზანშეწონილი არ არის.

წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონი განსაკუთრებით ეფექტურია ისეთი კონსტრუქციებისათვის, რომელთა ნორმალური ექსპლუატაციის მოთხოვნებით ბზარების გაჩენა დაუშვებელია (ბზარმედეგობის I კატეგორიის მოთხოვნებისას). ესაა რეზერვუარები საწნეო მილები, სილოსები, საკვამლე მილები და სხვ. წინასწარი დაძაბვა მიზანშეწონილია იმ შემთხვევაშიც, როდესაც ბზარების გახსნა დასაშვებია — კონსტრუქციის სიხისტის გადიდების მიზნით, ან როდესაც ბზარების გახსნის სიდიდე ძალზე შეზღუდულია ნორმალური ექსპლუატაციის მოთხოვნებით.

§ 2. ბეტონი და არმატურა წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონისათვის

წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონისათვის მიზანშეწონილია მაღალი სიმტკიცის (*B*15—*B*60) ბეტონების გამოყენება. ბეტონის გამყარების დასაჩქარებლად იყენებენ ხისტ ნარევებს, სწრაფშემკვრად ცემენტს, თბურ დამუშავებას.

VIII.1 ცხრილში მითითებულია წინასწარ დაძაბული ელემენტებისათვის გამოყენებული ბეტონის უდაბლესი დასაშვები კლასი დაძაბული არმატურის სახეობისა და დაანკერების პირობების მიხედვით.

ბეტონის კუბური სიმტკიცე მოკუმშვის სტადიაზე — R_{bp} — არ უნდა იყოს ნაკლები საპროექტო კლასის 50%-ისა და 11,0 *MPa*-ის. საარმატურე არხებში ჩასაწნევი წვრილმარცვლოვანი ბეტონის კლასი მიიღება არანაკლები *B* 25-ისა.

დასაძაბავად იყენებენ *B*—II და *Bp* — II კლასის (დიამეტრით 2,5—8 მმ) მაღალი სიმტკიცის ფოლადის მავთულოვან არმატურას, რომლის სიმტკიცის ზღვარი 1000,0 *MPa*-ს აღემატება; *A*-IV და უფრო მაღალი კლასების ცხლად გლინულ ღეროვან არმატურას (თერმულად დამუშავებული ღეროვანი არმატურის ჩათვლით *A*т-IV, *A*т-V, *A*т-VI კლასის) და გამოჭიმვით განმტკიცებულ *A*-IIIв კლასის ღეროვან არმატურას. მცირე დიამეტრის მავთულოვანი არმატურის გამოყენებისას ღეროთა რაოდენობა შეიძლება აღმოჩნდეს ძალზე დიდი, რაც ართულებს სამუშაოთა წარმოებას და საჭიროებს ელემენტის კვეთის მნიშვნელოვან ფართობს არმატურის განლაგებისათვის. ამიტომ, მაღალი სიმტკიცის მავთულებისაგან იქმნება ბაგირები და კონები. ამზადებენ სამ-, შვიდ- და ცხრამეტმავთულიან ბაგირებს (*K*—3, *K*—7, *K*—19). კონად იკვრება მავთულები ან ბაგირები. კონაში მავთულების რაოდენობა 100 ცალსაც აღწევს. წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციებისათვის გამოყენებული არმატურის ზოგი სახეობა გამოსახულია VIII. 9 ნახაზზე.

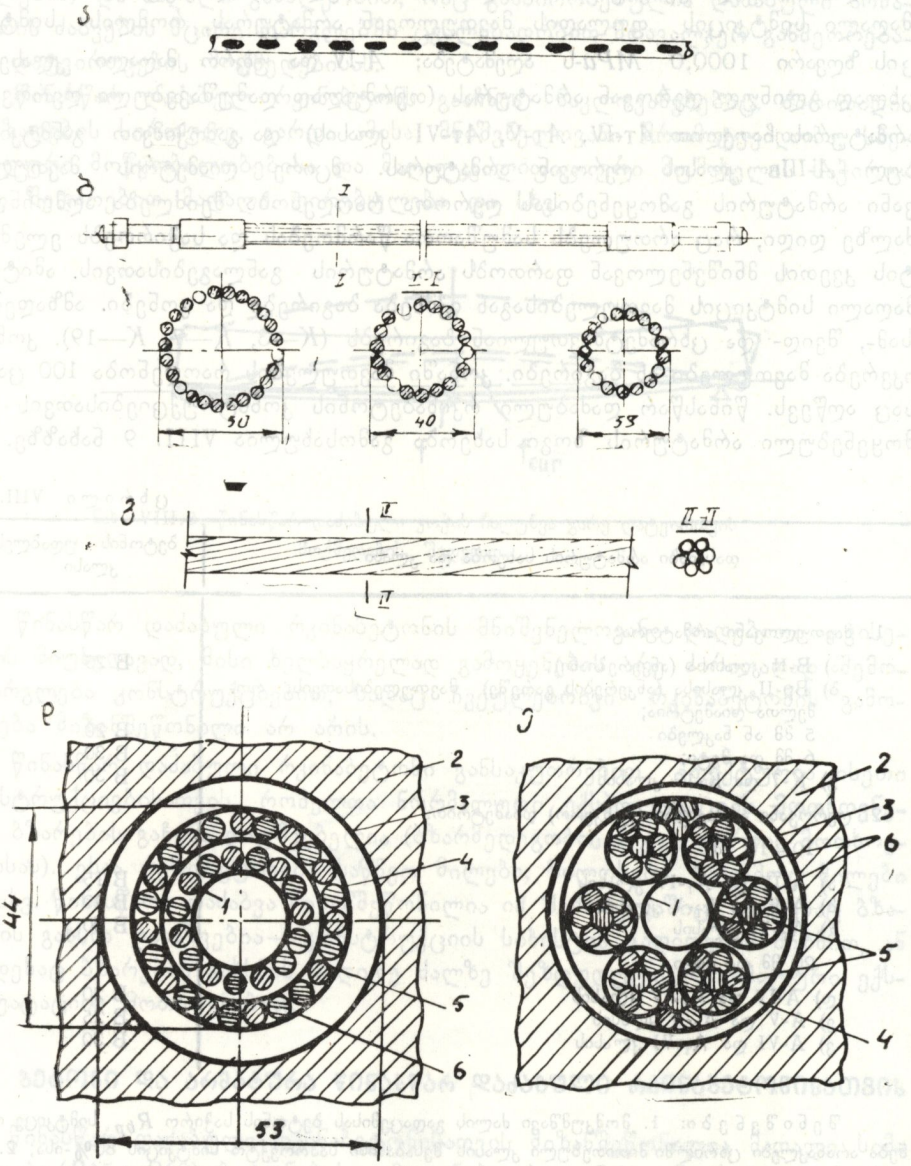
ცხრილი VIII.1

დასაძაბი არმატურის სახეობა და კლასი	ბეტონის უდაბლესი კლასი
1. მავთულოვანი არმატურა:	
ა) B-II კლასისა (ანკერებიანი);	B 20
ბ) Bp-II კლასისა (ანკერების გარეშე) მავთულებისათვის, რომელთა დიამეტრია;	
5 მმ ან ნაკლები	B 20
6 მმ და მეტი;	B 30
გ) K-7 და K-19 კლასის	B 30
2. ღეროვანი არმატურა (უანკერო) დიამეტრით:	
10—18 მმ	
ა) A-IV და A_T-IV კლასის	B 15
ბ) A-V და A_T-V კლასის	B 20
გ) A_T-VI კლასის	B 30
20 მმ და მეტი	
დ) A-IV და A_T-IV კლასის	B 20
ე) A-V და A_T-V კლასის	B 25
ვ) A-VI და A_T-VI კლასის	B 30

შენიშვნები: 1. მომკუმშავი ძალის გადაცემისას ბეტონის საჭირო R_{bp} სიმტკიცე ინიშნება არანაკლები ცხრილში მითითებული კლასის შესაბამისი საპროექტო სიმტკიცის 80%-ისა; 2. თუ საპროექტო კლასი აღებულია ცხრილში აღნიშნულზე უფრო მაღალი, R_{bp} საპროექტო სიმტკიცის 50%-ზე ნაკლები არ უნდა იყოს.

არხებში ჩაწნევის დროს ხსნარის შეღწევის გასაადვილებლად კონის ცალკეულ ნავთულებს შორის ეწყობა ღრეჩოები მავთულების მოკლე ნაჭრების, სპირალური გულარისა და სხვ. დატანების გზით.

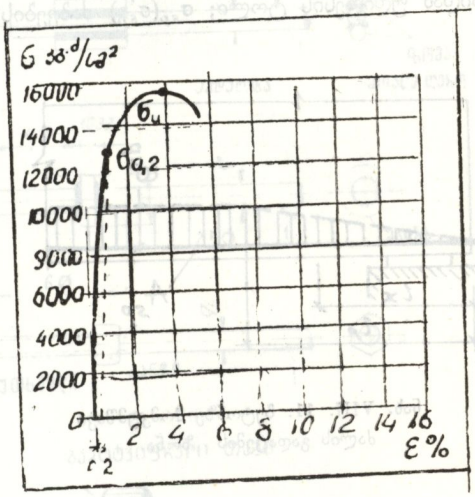
ნახშირბადმცირე ფოლადის ცხლად გლინული ღეროვანი დაძაბული არმატურის გამოყენება წინასწარ დაძაბულ რკინაბეტონში არ იძლევა ფოლადის მნიშვნელოვან ეკონომიას, მაგრამ ამ დროს სამუშაოთა წარმოება უფრო მარტივია, დაძაბული ელემენტების კვეთები კომპაქტური, პერიოდული პროფი-



ნახ. VIII. 9. წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაჭიმული არმატურის სახეობები: ა—პერიოდული პროფილის (დაღარული) მავთულოვანი არმატურა; ბ—მავთულების კონა; გ—შვიდმავთულიანი ბაგირი; დ—ორრიგა მავთულების კონა; ე—ბაგირების კონა: 1—სპირალური მავთულის გულარი; 2—დასაძაბი ელემენტი; 3—არხის ზედაპირი—საბურავლე ფოლადის მილი, სისქით δ=0,4 მმ; 4—არხის სივრცე, რომელიც ივსება ხსნარით; 5—დასაჭიმი მავთულები; 6—შემკრავი მავთული, დიამეტრით 1,6 მმ.

ლის არმატურის ღეროები სპეციალურ დაანკერებას არ მოითხოვს. მიჩნეულია, რომ დაძაბული ღეროვანი არმატურის გამოყენება მიზანშეწონილია 18 მ-მდე მალის რკინაბეტონის ელემენტებისათვის.

წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონისათვის ყველაზე ხელსაყრელია მაღალი სიმტკიცის ფოლადის არმატურა. ასეთი ფოლადის მავთულოვანი არმატურის დრეკადობის მოდული $E_s = 2{,}0 \times 10^5$ *MPa*, ბაგირების $E_s = 1{,}8 \times 10^5$ *MPa*. ღეროვანი არმატურის (*A*-IV, *A*-V, *A*-VI) $E_s = 1{,}9 \times 10^5$ *MPa*. როგორც მაღალი სიმტკიცის (*B*-II კლასის $d = 5$ მმ) მავთულოვანი არმატურის გაჭიმვის დიაგრამა გვიჩვენებს (ნახ. VIII.10), მას ფიზიკური დენადობა არ ახასიათებს; დენადობის ზღვრად ითვლება $\sigma_{0.2}$ ძაბვა, რომლის შესაბამისი ნარჩენი დეფორმაცია შეადგენს 0,2%. $\sigma_{0.2}$-ს უწოდებენ პირობითი, ანუ ტექნიკური დენადობის ზღვარს. იგი შეადგენს სიმტკიცის ზღვარის 70—85%-ს.



ნახ. VIII. 10. მაღალი სიმტკიცის ფოლადის გაჭიმვის დიაგრამა.

საარმატურე ფოლადების გაჭიმვის დიაგრამები იხ. III.3 ნახაზზე.

დასაძაბი არმატურისათვის საბჯენებზე დაჭიმვისას იყენებენ ღეროვან არმატურას, მაღალი სიმტკიცის მავთულებს პაკეტების (შეწყვილებული მავთულების) სახით და ბაგირებს.

§ 3. დაძაბული არმატურის დაანკერება

დაჭიმული არმატურიდან ბეტონზე ძალის საიმედო გადაცემას უზრუნველყოფენ შეჭიდულობის ძალები ან სპეციალური ჩასამაგრებელი მოწყობილობები — ანკერები.

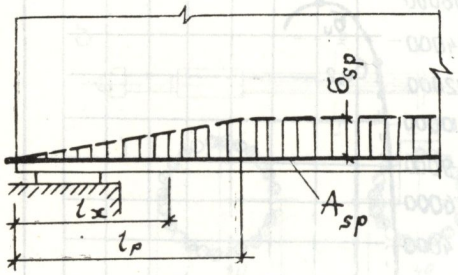
საბჯენებზე არმატურის დაჭიმვის შემთხვევაში მუდმივი ანკერების მოწყობა საჭირო არ არის მაღალი სიმტკიცის პერიოდული პროფილის მავთულოვანი არმატურისათვის, ერთმაგი შეგრეხის ბაგირებისა და ღეროვანი პერიოდული პროფილის დაძაბული არმატურისათვის.

უანკერო დაძაბული არმატურიდან წინასწარ მომკუმშავი ძალის ბეტონზე გადაცემის ზონის l_p სიგრძე, ე. ი. არმატურისა და ბეტონის შეჭიდულო-

ბით განპირობებული არმატურის თვითდაანკერების ზონის სიგრძე (ნახ. VIII.11) განისაზღვრება ფორმულით

$$l_p = \left(\omega_p \frac{\sigma_s}{R_{bp}} + \Delta\lambda_p\right) d,$$

სადაც σ_s არის ძაბვა არმატურაში, რომელიც მიიღება R_s და $\sigma_{sp}(\sigma'_{sp})$ მნიშვნელობებიდან უდიდესის ტოლი; $\sigma_{sp}(\sigma'_{sp})$ ძაბვების სიდიდე განისაზღვრება პირველი დანაკარგების გათვალისწინებით, გარდა სწრაფმდინარი ცოცვადობით გამოწვეული დანაკარგისა; R_{bp}—ბეტონის სიმტკიცე მომკუმშავი ძალის გადაცემისას; ω_p და $\Delta\lambda_p$—კოეფიციენტები, მიიღება VIII.2 ცხრილიდან მძიმე, A ჯგუფის წვრილმარცვლოვანი ბეტონისა და მსუბუქი ბეტონისაგან დამზადებული ელემენტებისათვის. ღეროვანი არმატურისთვის $\omega_p = 0{,}3$, $\Delta\lambda_p = 10$; მავთულოვანი არმატურისა და ბაგირებისთვის $\omega_p = 1{,}25 \div 1{,}8$, $\Delta\lambda_p = 25—60$. Б ჯგუფის წვრილმარცვლოვანი და ფოროვან წვრილ შემვსებებზე შედგენილი მსუბუქი ბეტონებისაგან დამზადებული ელემენტებისათვის ცხრილის მონაცემები მრავლდება 1,2-ზე.



ნახ. VIII. 11. ბეტონზე მომკუმშავი ძალის გადაცემის ზონა.

ცხრილი VIII. 2

დაანკერების ზონის სიგრძის განსასაზღვრავი პარამეტრები დაძაბული არმატურისათვის მუდმივი ანკერების გარეშე

არმატურის სახეობა და კლასი	d, მმ	ω_p	$\Delta\lambda_p$
პერიოდული პროფილის ღეროვანი არმატურა კლასისაგან დამოუკიდებლად	ყოველგვარი დიამეტრის	0,25	10
B_p-II კლასის მაღალი სიმტკიცის პერიოდული პროფილის მავთულოვანი არმატურა	5 4 3	1,4 1,4 1,4	40 50 60
ბაგირები K-7	15 12 9	1,0 1,1 1,25	25 25 30
ბაგირები K-19	7,5...4,5 14	1,40 1,00	40 25

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: B 7,5...B 12,5 კლასის მსუბუქ ბეტონზე დამზადებული ელემენტებისათვის ცხრილის ω_p და $\Delta\lambda_p$ მნიშვნელობებს აღიდებენ 1,4-ჯერ.

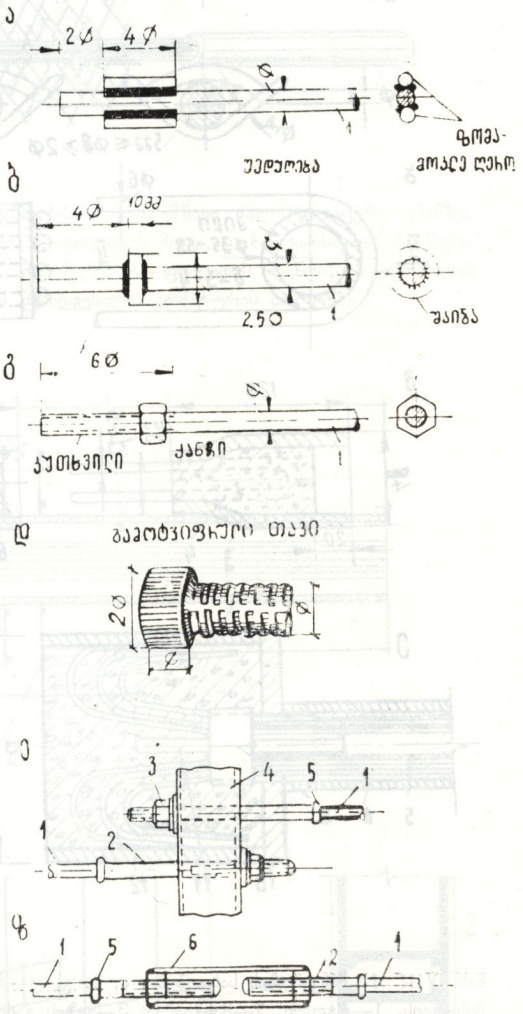
პერიოდული პროფილის ღეროვანი დაძაბული არმატურის ჩამაგრების ზონის სიგრძე $15d$-ზე ნაკლები არ მიიღება.

მომკუმშავი ძალა ბეტონს შეიძლება გადაეცეს თანდათანობით ან მთლიანად, მყისად. მყისი გადაცემა დაუშვებელია როდესაც გამოყენებულია 18 მმ და მეტი დიამეტრის ღეროვანი დაძაბული არმატურა.

მომკუმშავი ძალის მყისი გადაცემის შემთხვევაში ω_p და $\Delta\lambda_p$ მიიღება ცხრილიდან დადგენილი მნიშვნელობების გადამრავლებით 1,25-ზე.

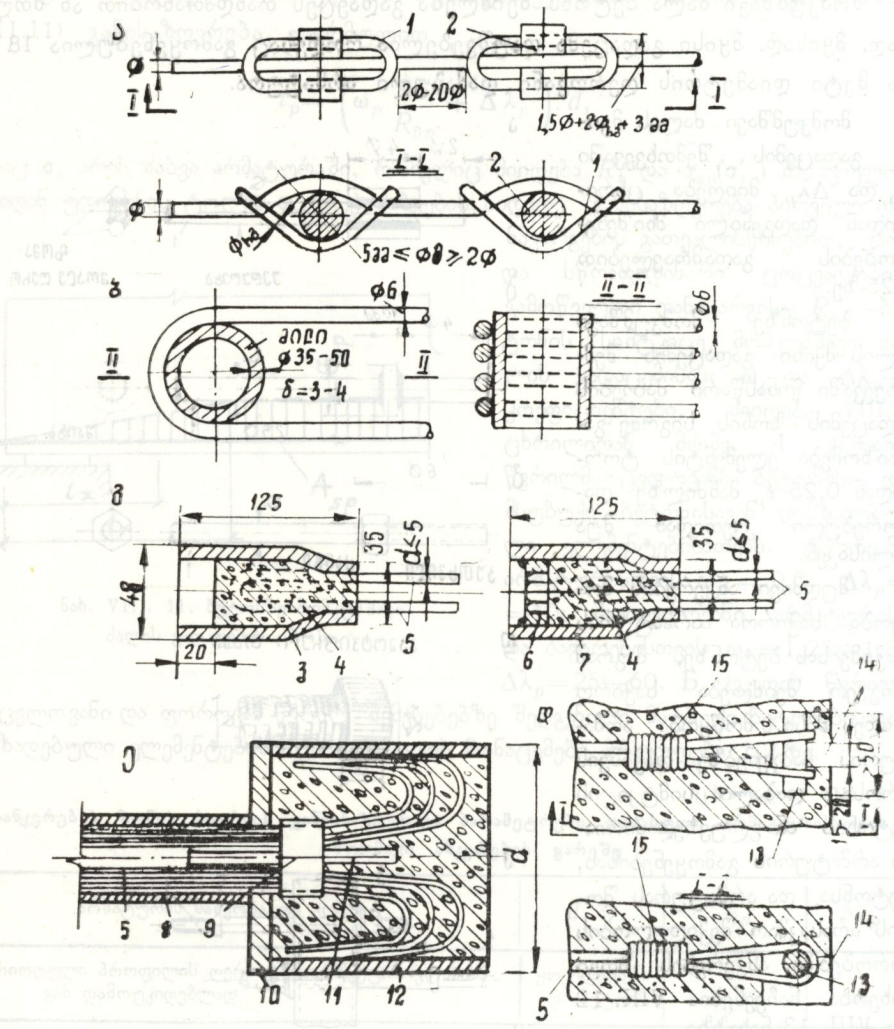
ბეტონზე მომკუმშავი ძალის მყისი გადაცემის შემთხვევაში წინასწარი ძაბვების გადაცემის ზონის სიგრძე გადაიზომება ელემენტის ტორსიდან 0,25 l_p მანძილზე დაშორებული კვეთიდან შუა მალისაკენ.

მუდმივი ანკერების მოწყობა საჭიროა არმატურის დაჭიმვისას ბეტონზე, მაგრამ ზოგჯერ შეიძლება საჭირო გახდეს მისი მოწყობა არმატურის საბჯენებზე დაჭიმვის დროსაც დაბალი სიმტკიცის ბეტონის ან გლუვზედაპირიანი არმატურის გამოყენებისას, ბეტონსა და არმატურას შორის არასაკმაო შეჭიდულობის პირობებში. ანკერების ზოგი სახეობა ნაჩვენებია VIII. 12 და VIII. 13 ნახაზზე.



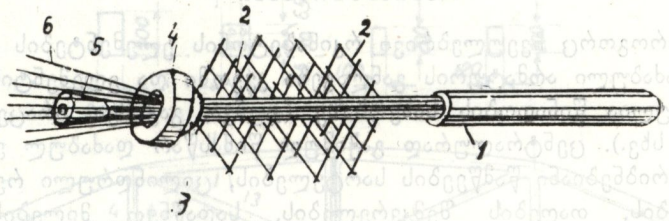
ნახ. VIII. 12. ანკერების სახეობები ღეროვანი არმატურისათვის: 1—ღეროვანი არმატურა; 2—კუთხვილიანი ზომამოკლე ღერო; 3—ქანჩი; 4—შველერი; 5—დასაჭიმი არმატურის შედუღება ზომამოკლე ღეროსთან; 6—დამჭიმი ჭურო.

წინასწარ დაძაბული კონსტრუქციების ელემენტებზე გრძივი მომკუმშავი ძალის მოქმედებისას დაანკერების ზონაში წარმოიქმნება განივი გამჭიმი ძაბვები, რაც აუარესებს დაძაბული არმატურის დაანკერებას — ქმნის გრძივი ბზარების გაჩენის საშიშროებას. ამიტომ ელემენტის ბოლოზე, წინასწარი მომკუმშავი ძალის გადაცემის ზონაში, განივი გაფართოებისადმი ბეტონის წინაღობის უნარის გადიდების მიზნით, აწყობენ არაპირდაპირ დაარმატურებას შედუღებული ბადეების, დაძაბულ გრძივ ღეროებზე დახვეული სპირალური არმატურისა და სხვ. სახით (ნახ.VIII.14).

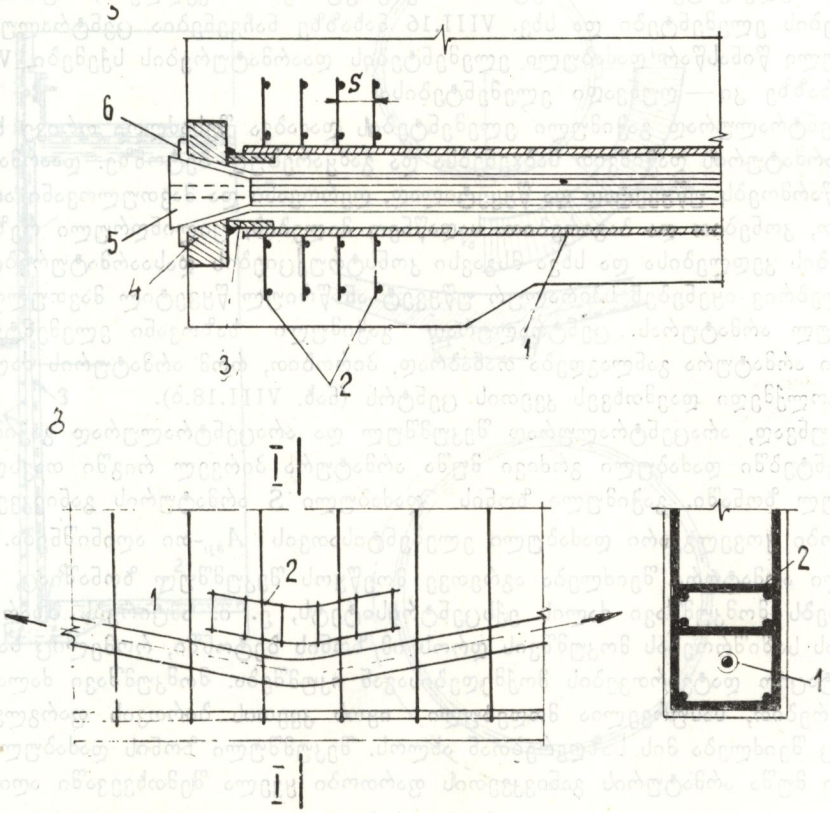


ნახ. VIII. 13. ანკერების სახეობები: ა, ბ, გ, დ—მავთულოვანი არმატურის; ე—კონებისათვის. 1—რგოლი; 2—მანჭვალი; 3—გაზის გაძლიერებული მილი ერთი დაჭყლეტილი თავით და შიგა კუთხვიღით მეორე ბოლოში; 4—ხსნარი არანაკლები 300 მარკის; 5—არმატურის კონა; 6—ქანჩი; 7—გაზის ნირმალური მილი ერთი დაჭყლეტილი ბოლოთი და მეორე ბოლოზე მიდუღებული ქანჩით; 8—თუნუქის მილი (δ=0,4 მმ); 9—რგოლი; 10—ფოლადის ფირფიტა; 11—ფოლადის კონუსური ღერო; 12—ფოლადის ფირფიტასთან (10) მიდუღებული ჭიქა (ფოლადის მილისაგან); 13—საანკერე მანჭვალი, დიამეტრით 12—16 მმ; 14—ფანჯარა დამჭიმი კაკვისათვის; 15—შემოწნული მავთული.

მომკუმშავი ძალის თანაბრად განაწილებისათვის მიზანშეწონილია ანკერების ქვეშ ფოლადის ან რკინაბეტონის ფილის მოწყობა (ნახ.VIII.15,ა). დაძაბული არმატურის გადაღუნვის ადგილას ბეტონი შეიძლება აღიჭურვოს შედუღებული ბადით (ნახ.VIII.15.ბ).



ნახ. VIII. 14. კონის ჩამაგრების სქემა მომკუმშავი ძალის გადაცემის უბანზე, დასაძაბი ელემენტის ბოლოზე: 1—ფოლადის მილი, კონის გარსაკრი; 2—შენადუღი ბადეები; 3—ფოლადის მილყელი; 4—ფოლადის ხუნდი; 5—ფოლადის საცობი; 6—კონის შემადგენელი არმატურის ბოლოები.



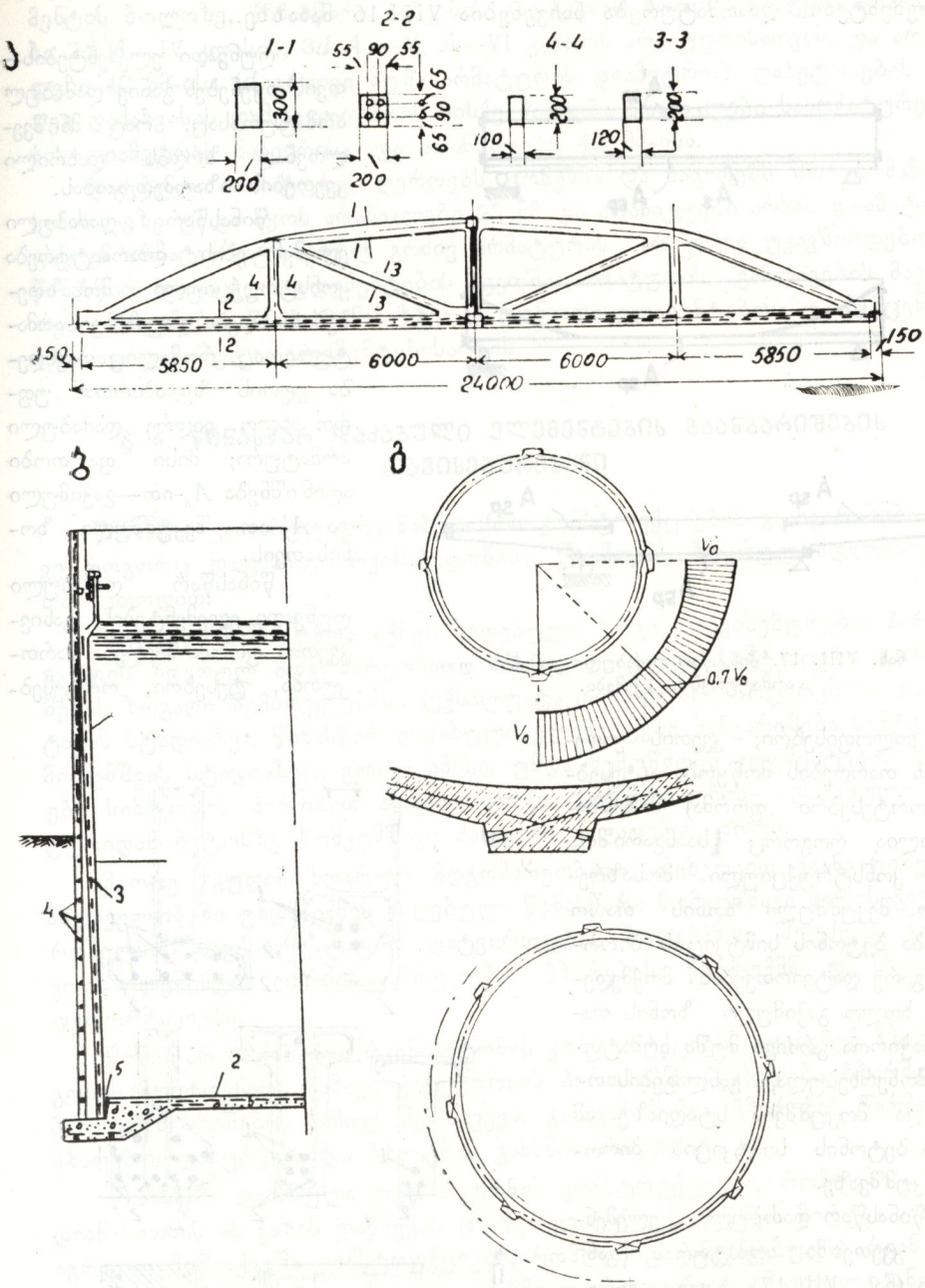
ნახ. VIII.15. ა—ბეტონის გაძლიერება ადგილობრივი დატვირთვის—მომკუმშავი ძალის გამანაწილებელი ტორზული ფილით; 1—კონის გარსაკრი; 2—ბადეებით გაძლიერება; 3—მილყელი; 4—ფოლადის (ან რკინაბეტონის) ფილა; 5—კონუსური საცობი; 6—კონის არმატურა. ბ—ბეტონის გაძლიერება მავთულოვანი ბადით დაძაბული არმატურის გადაღუნვის არეში.

§ 4. წინასწარ დაძაბული ელემენტების კონსტრუირების თავისებურებანი

ისევე, როგორც ჩვეულებრივი რკინაბეტონის ელემენტების კონსტრუირებისას, დაძაბული არმატურის განლაგება კვეთში და ელემენტის სიგრძეზე დამოკიდებულია წინაღობის სახეობაზე (ღუნვა, გაჭიმვა, არაცენტრალური კუმშვა და სხვ.). ცენტრალურად გაჭიმულ წინასწარ დაძაბულ ელემენტებს ვხვდებით ირიბნებიანი წამწეების სარტყლების, ცილინდრული რეზერვუარების კედლების, თაღების შემკვრელების, სადაწნეო მილებისა და სხვ. სახით; ღუნვადი ელემენტებიდან აღსანიშნავია სახურავის, სართულშუა გადახურვებისა და სხვა კონსტრუქციებში ყოველგვარი კოჭები და ფილები; ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტები — დიდი მოქნილობის სვეტები და ჰიმინჯები; არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტები — სვეტები, უირიბნო წამწეების ელემენტები, ჩარჩოს დგარები და სხვ.; არაცენტრალურად გაჭიმული ელემენტები — მართკუთხა რეზერვუარების კედლები, უირიბნო წამწეების ელემენტები და სხვ. VIII.16 ნახაზზე ნაჩვენებია ცენტრალურად გაჭიმული წინასწარ დაძაბული ელემენტების დაარმატურების სქემები, VIII. 17 ნახაზზე კი — ღუნვადი ელემენტებისა.

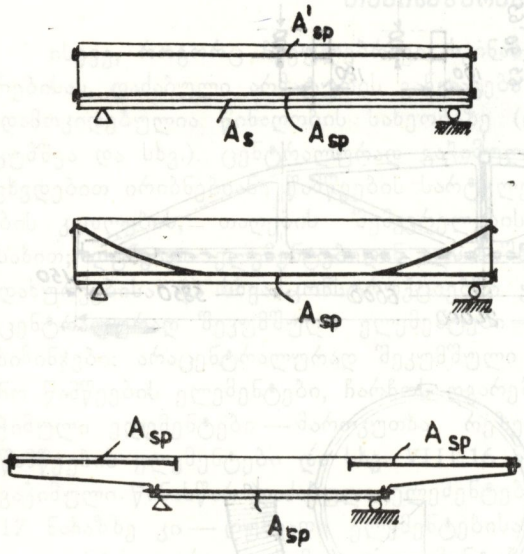
ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების დაძაბვა შესაძლოა ორივე ხერხით: არმატურის დაჭიმვით საბჯენებსა და გამყარებულ ბეტონზე. დაარმატურება წარმოებს უწყვეტად და წყვეტილად, ღეროვანი და მავთულოვანი არმატურით, კონებით და ბაგირებით. სადაწნეო მილების, ცილინდრული რეზერვუარების კედლებისა და სხვა მსგავსი კონსტრუქციების დასაარმატურებლად ჩვეულებრივ იყენებენ სპირალურ უწყვეტ ან წრიულ წყვეტილ მავთულოვან დაძაბულ არმატურას. ცენტრალურად გაჭიმული ხაზოვანი ელემენტების კვეთში არმატურა განლაგდება თანაბრად, პირობით, რომ არმატურის ძალვების ტოლქმედი დაემთხვეს კვეთის ცენტრს (ნახ. VIII.18.ბ).

ღუნვად, არაცენტრალურად შეკუმშულ და არაცენტრალურად გაჭიმულ ელემენტებში დაძაბული გრძივი მუშა არმატურა პირველ რიგში თავსდება გაჭიმულ ზონაში. გაჭიმული ზონის დაძაბული S არმატურის განივკვეთის ფართობი ყოველგვარი დაძაბული ელემენტისათვის A_{sp}-თი აღინიშნება. დაძაბული არმატურა შეიძლება აგრეთვე მოეწყოს შეკუმშულ ზონაშიაც, რაც ამცირებს მომკუმშავი ძალის ექსცენტრისიტეტს, ე. ი. ამცირებს ბზარების გაჩენის საშიშროებას მოკუმშვის დროს იმ ზონის ბეტონში, რომელიც საექსპლუატაციო დატვირთვების მოქმედებისაგან იკუმშება. მომკუმშავი ძალა, ამ მოსაზრებით, სასურველია მოდებული იყოს კვეთის ბირთვის ფარგლებში ან რაც შეიძლება მის საზღვრებთან ახლოს. შეკუმშული ზონის დაძაბული S' გრძივი მუშა არმატურის განივკვეთის ფართობი ყველა შემთხვევაში აღინიშნება A_{sp}-ით და მიიღება $A'_{sp}=\left(\frac{1}{3}\div\frac{1}{5}\right)A_{sp}$. კონებით დაარმატურების შემთხვევაში შეკუმშულ ზონაში დაძაბულ არმატურას არ აწყობენ — მიღებულია გაჭიმული ზონის დაძაბული არმატურის აღუნვა. კონებისა და ბაგირების გადაღუნვის რადიუსი მიიღება 4—6 მეტრი, ხოლო ღეროვანი არმატურისა — 15—20 მეტრი, გადაღუნვის ადგილებში არხის ზედაპირთან არმატურის ხა-



ნახ. VIII. 16. ცენტრალურად გაჭიმული წინასწარ დაძაბული ელემენტების დაარმატურების სქემები: ა—წამწის ქვედა სარტყლის; ბ—ცილინდრული რეზერვუარის კედლის; 1—რეზერვუარის კედელი; 2—ფსკერი; 3—ვერტიკალური არმატურა; 4—წრიული დაძაბული არმატურა; 5—კედლის პირაპირი ფსკერთან (შევსებული მასტიკით). გ—ცილინდრული რეზერვუარის კედლის მოკუმშვა ცალკეული წრიული ღეროებით, რომელთა სიგრძე მიიღება წრის სიგრძის მეოთხედის ტოლი ან ნაკლები (მცირე მონაკვეთების შემთხვევაში მიიღწევა თანაბარი წინასწარი დაძაბვა).

ზენით გემოწვეული ძაბვების დანაკარგების შეზღუდვის მიზნით. ღუნვადი ელემენტების დაარმატურება ნაჩვენებია VIII.16 ნახაზზე.



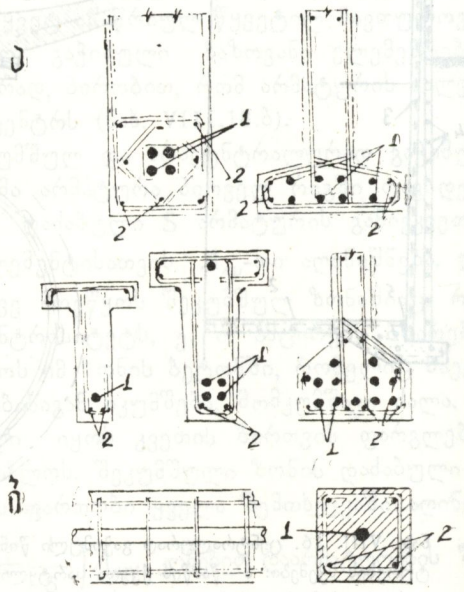
ნახ. VIII. 17. წინასწარ დაძაბული კოჭების დაარმატურების სქემები.

ღუნვადი ელემენტებისათვის იყენებენ განივ დაძაბულ არმატურასაც, რაც მნიშვნელოვნად ზრდის დახრილი კვეთების ბზარმედეგობას.

წინასწარ დაძაბული ელემენტების დაარმატურება კონსტრუქციული მოსაზრებებით ხდება დაუძაბავი არმატურითაც, რომელიც თავსდება კვეთის ზედაპირთან უფრო ახლო, ვიდრე დაძაბული არმატურა; მისი ფართობი აღინიშნება A_s-ით—გაჭიმული და A'_s-ით—შეკუმშული ზონისათვის.

წინასწარ დაძაბული ღუნვადი ელემენტების განივ კვეთის ფორმა მიიღება მართკუთხა, ტესებრი, ორტესებრი, კოლოფისებრი; კვეთის კიდეებთან თაროების მოწყობა (ტესებრი, ორტესებრი ფორმა) მიზანშეწონილია როგორც საანგარიშო, ისევე კონსტრუქციული მოსაზრებებით. შეკუმშული ზონის თარო ეწყობა ბეტონის სიმტკიცის პირობით გარე დატვირთვების მოქმედებაზე, ხოლო გაჭიმული ზონის თარო საჭიროა გრძივი მუშა არმატურის მოხერხებულად განლაგებისათვის და მოკუმშვის სტადიაზე ამ ზონის ბეტონის სიმტკიცის პირობით კუმშვაზე.

წინასწარ დაძაბული ელემენტების კვეთებში არმატურის განლაგება (ნახ. VIII.17) ხდება ძირითადად იმავე მოთხოვნების მიხედვით, როგორც დაუძაბავი რკინაბეტონისათვის. ზოგი თავისებურება მდგომარეობს შემდეგში: დაბეტონებამდე დაძაბვის შემთხვევაში უანკერო, პერიოდული პროფილის ღეროები გამოიყენება მხოლოდ ისეთ ელემენტებში, რომლებიც ბეტონის სიმტკიცის 80%-ის მიღწევამდე არ განიცდიან ექსპლუატაციის დატვირთვებს.



ნახ. VIII. 18. არმატურის განლაგების სქემები წინასწარ დაძაბული ელემენტების კვეთებში: ა—ღუნვადი ელემენტების; ბ—ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების. 1—დაძაბული გრძივი არმატურა; 2—დაუძაბავი გრძივი არმატურა.

როვანი დაძაბული არმატურის გამოყენებისას, დამცველი შრის სისქე ელემენტის ბოლოზე, წინასწარი ძაბვების გადაცემის ზონაში, მიიღება არანაკლები $2d$ *A*—IV კლასის, $3d$ *A* — V, *A*—VI კლასის არმატურისათვის, და არანაკლები 40 მმ-ისა (*d* გრძივი მუშა არმატურის დიამეტრია). დაბეტონების შემდეგ დაძაბვისას დამცველი შრის სისქე მიიღება არანაკლები საარმატურე არხის დიამეტრის ნახევრისა და არანაკლები 40 მმ-ისა.

დაძაბული არმატურის ღეროებს, კონებსა და ბაგირებს შორის მანძილი სინათლეზე უნდა იყოს არანაკლები 25 მმ და არანაკლები არხის დიამეტრისა. განივი არმატურა დაძაბულ გრძივ არმატურას არ უნდა უკავშირდებოდეს. წინასწარ დაძაბული ელემენტების კვეთში არმატურის განლაგების მაგალითები ნაჩვენებია VIII.18 ნახაზზე: ა) ღუნვადი ელემენტებისა და ბ) ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტებისათვის.

§ 5. წინასწარ დაძაბული ელემენტების გაანგარიშების თავისებურებანი

წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშება, ისევე როგორც დაუძაბავი რკინაბეტონისა, წარმოებს ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდით.

მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული ზოგი თავისებურება: პირველი ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით, გარდა სიმტკიცეზე გაანგარიშების ზოგადი შემთხვევებისა (ექსპლუატაციის, ტრანსპორტირებისა და მონტაჟის სტადიაზე), წინასწარ დაძაბული ელემენტები იანგარიშება სიმტკიცეზე მოკუმშვის სტადიაზეც. გარდა ამისა, უნდა შემოწმდეს ელემენტების ბოლოები სიმტკიცის პირობით ადგილობრივი დატვირთვების — დაძაბული არმატურიდან ბეტონზე მომკუმშავი ძალების გადაცემის დროს.

მეორე ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშებებში მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული წინასწარი მომკუმშავი ძალის გავლენა, რომელსაც საექსპლუატაციო დატვირთვების მოდებამდე შეუძლია გამოიწვიოს ელემენტის ღერძის გამრუდება, ბზარების წარმოქმნა და სხვა სახის დეფორმაციები.

წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციებს იყენებენ ბზარმედეგობის მოთხოვნათა სამივე კატეგორიის პირობებში. გვხვდება ბზარმედეგობაზე გაანგარიშების სამივე შემთხვევა: გაანგარიშება ბზარების წარმოქმნის, ბზარების დახურვისა და ბზარების გახსნის მიხედვით.

წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციები, რომლებიც განიცდიან სითხის ან გაზის დაწნევას (რეზერვუარები, სადაწნეო მილები და სხვ.), აგრეთვე მიწისქვეშა კონსტრუქციები, რომლებიც განლაგებული არიან გრუნტის წყლების დონეზე დაბლა და გააჩნიათ ღეროვანი და მავთულოვანი არმატურით შეიარაღებული მთლიანად გაჭიმული კვეთი, უნდა აკმაყოფილებდეს ბზარმედეგობის პირველი კატეგორიის მოთხოვნებს.

წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ელემენტების ბოლოებზე, არმატურიდან ბეტონზე ძალის გადაცემის ზონაში, დაუშვებელია ბზარების გაჩენა ყველა დატვირთვის (გარდა განსაკუთრებულისა) ერთობლივი მოქმედებისას,

რომლებიც გაანგარიშებაში მიიღება $\gamma_f = 1$ საიმედოობის კოეფიციენტით. ეს შეზღუდვა გამოწვეულია იმით, რომ ელემენტების ბოლოებზე ბეტონის დაბზარვას შეიძლება მოჰყვეს არმატურის ამოგლეჯა და რღვევა.

დამზადებისა და მონტაჟის პროცესში ბზარების გაჩენა იმ ზონაში, რომ ბზარმედეგობის დაქვეითებას (ბარწარმომქმნელი ძალვის შემცირებას), ბზარების გახსნისა და ჩაღუნვის სიდიდის ზრდას საექსპლუატაციო დატვირთვების მელიც საექსპლუატაციო დატვირთვის მოქმედებისას შეკუმშულია, იწვევს მოქმედებისას; ეს გარემოება მეორე ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშებებში უნდა იქნეს გათვალისწინებული. ასეთი ბზარების გაჩენა დაუშვებელია წინასწარ დაძაბულ ელემენტებში, რომლებსაც უხდებათ მრავალჯერ განმეორებადი დატვირთვების ატანა (ე. ი. როდესაც საჭიროა გამძლეობაზე გაანგარიშება).

წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციებში საჭირო ხდება ძაბვების დადგენა ბეტონსა და არმატურაში დამზადებისა და ექსპლუატაციის სხვადასხვა სტადიაზე.

წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ელემენტების ბეტონსა და არმატურაში აღძრული ძაბვები ექსპლუატაციის სტადიაზე იანგარიშება როგორც ჯამი წინასწარი და საექსპლუატაციო დატვირთვებით გამოწვეული ძაბვებისა. ძაბვები განისაზღვრება მასალის დრეკადი მუშაობის პირობით, დაყვანილი კვეთებისათვის, მიუხედავად იმისა, რომ, როგორც ექსპლუატაციის, ასევე მოკუმშვის სტადიაზე ბეტონში ვითარდება არადრეკადი დეფორმაციებიც.

§ 6. ძაბვები წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ელემენტების არმატურასა და ბეტონში

1. წინასწარი ძაბვები დაჭიმულ არმატურაში; დანაკარგები

წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ელემენტების ბზარმედეგობა დამოკიდებულია დაძაბული არმატურის დაჭიმვის ძალის სიდიდესა და წინასწარი ძაბვების სიდიდეზე.

დაჭიმული არმატურის წინასწარი ძაბვების სიდიდე ინიშნება შემდეგი მოსაზრების გათვალისწინებით: ბზარმედეგობის მისაღწევად საჭიროა მაღალი წინასწარი ძაბვების განვითარება; მაგრამ მაღალი წინასწარი ძაბვებით იქმნება არმატურის გაწყვეტის საშიშროება მაღალი სიმტკიცის მავთულოვანი არმატურის გამოყენებისას, ან მნიშვნელოვანი ნარჩენი დეფორმაციების განვითარების საშიშროება ცხლადგლინული ღეროვანი არმატურის გამოყენებისას, ხოლო დაბალი წინასწარი ძაბვების განვითარების შემთხვევაში არ მიიღწევა სასურველი ბზარმედეგობა და, გარდა ამისა, ძაბვების დანაკარგების განვითარების გამო დაძაბვის ეფექტიც ქრება.

წინასწარი ძაბვების ზღვრული სიდიდე S და S' დაძაბულ არმატურაში (აღინიშნება σ_{sp}, σ'_{sp}-ით) უნდა დაინიშნოს დასაშვები გადახრის გათვალისწინებით ისე, რომ შესრულდეს პირობები:

$$\sigma_{sp} + p \leqslant R_{s,\,ser}; \qquad \text{(VIII.1)}$$

$$\sigma_{sp} - p \geqslant 0{,}3\, R_{s,\,ser}, \qquad \text{(VIII.2)}$$

სადაც p არის წინასწარი ძაბვების დასაშვები გადახრა, *MPa*; არმატურის მექანიკური დაჭიმვისას მიიღება

$$p = 0{,}05\,\sigma_{sp}; \qquad \text{(VIII.3)}$$

ელექტროთერმული ხერხით დაჭიმვისას p იანგარიშება ფორმულით

$$p = 30{,}0 + \frac{360{,}0}{l}, \qquad \text{(VIII.4)}$$

სადაც l არის დასაჭიმი არმატურის სიგრძე — საბჯენების გარე წახნაგთა შორის მანძილი, მეტრობით.

დაჭიმული არმატურის წინასწარი ძაბვების საწყისი სიდიდე დროთა ვითარებაში უცვლელი არ რჩება, არამედ მცირდება მთელი რიგი მიზეზების გავლენით, ამ მოვლენას ძაბვების კარგვა ეწოდება.

იმ ფაქტორებს შორის, რომლებიც იწვევენ არმატურის წინასწარი ძაბვების შემცირებას — ძაბვების კარგვას — აღსანიშნავია: არმატურის ძაბვების რელაქსაცია; ბეტონის შეკლება და ცოცვადობა; ანკერებისა და დამჭერ მოწყობილობათა დეფორმირებადობა; არმატურის ხახუნი არხის კედლებთან, ელემენტების ზედაპირთან და გადაღუნვის ადგილებში; ბეტონის თელვა არმატურის ხვეულების ქვეშ; ტემპერატურის სხვაობა არმატურასა და დამჭერ მოწყობილობებს შორის თბოდამუშავებით ბეტონის გამყარების დროს; ფოლადის ყალიბების დეფორმირებადობა; შედგენილი ელემენტების ბლოკებს შორისი ნაკერების კუმშვა.

სხვადასხვა ხერხით დაძაბვისას (არმატურის დაჭიმვით საბჯენებზე თუ ბეტონზე) წინასწარი ძაბვების კარგვა განსხვავებულად გამოვლინდება. დანაკარგები ვითარდება სხვადასხვა თანამიმდევრობით, განსხვავებულია გამომწვევი მიზეზები და დანაკარგების სიდიდე ერთი და იგივე მიზეზისათვისაც; გარდა ამისა, არც ერთ შემთხვევაში ყველა დანაკარგის ერთდროული განვითარება არ ხდება.

წინასწარი ძაბვების კარგვების გამოვლინების დროის მიხედვით განასხვავებენ დანაკარგების ორ ჯგუფს: პირველი დანაკარგები (აღინიშნება $\sigma_{los,1}$)—ძაბვების კარგვა, რომელიც ვითარდება მოკუმშვის დამთავრებამდე და მეორე დანაკარგები (აღინიშნება $\sigma_{los,2}$) —კარგვა, განვითარებული მოკუმშვის შემდეგ. არმატურის წინასწარი ძაბვების კარგვა მთლიანად (აღინიშნება σ_{los}) შეადგენს პირველი და მეორე ჯგუფის კარგვების ჯამს

$$\sigma_{los} = \sigma_{los.1} + \sigma_{los.2}, \qquad \text{(VIII.5)}$$

რომლის სიდიდე არ მიიღება 100,0 *MPa*-ზე ნაკლები.

ძაბვების დანაკარგების აღნიშვნები:

I. პირველი ჯგუფის დანაკარგები ($\sigma_{los.1}$):

σ_1—არმატურის ძაბვების რელაქსაციით (საბჯენებზე დაჭიმვის შემთხვევაში); σ_2—ტემპერატურის სხვაობით დაძაბულ არმატურასა და დამჭერ მოწყობილობათა შორის; σ_3—ანკერების (საბრჯენებთან განლაგებული) დეფორმირებადობით; σ_4—არმატურის ხახუნით არხებში, კონსტრუქციის ზედაპირზე, გადამღუნავ მოწყობი-

ლობებზე; σ_5—ფოლადის ყალიბების დეფორმირებადობით; σ_6—ბეტონის სწრაფ-მდინარი ცოცვადობით.

II. მეორე ჯგუფის დანაკარგები ($\sigma_{los.\,2}$):

σ_7—არმატურის ძაბვების რელაქსაციით (ბეტონზე დაჭიმვის შემთხვევაში); σ_8—ბეტონის შეკლებით; σ_9—ბეტონის ცოცვადობით; σ_{10}—ბეტონის თელვით არმატურის ხვეულების ქვეშ; σ_{11}—შედგენილი ელემენტების ბლოკებშორისი პირაპირების უმშვით.

ძაბვის ხერხის შესაბამისად პირველი და მეორე ჯგუფის დანაკარგების შედგენილობა არმატურის დაჭიმვისას სპეციალურ საბჯენებზე

$$\sigma_{los,1} = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4 + \sigma_5 + \sigma_6; \qquad \text{(VIII.6)}$$

$$\sigma_{los\,2} = \sigma_8 + \sigma_9. \qquad \text{(VIII.7)}$$

არმატურის დაჭიმვისას გამყარებულ ბეტონზე

$$\sigma_{los,1} = \sigma_3 + \sigma_4; \qquad \text{(VIII.8)}$$

$$\sigma_{los,2} = \sigma_7 + \sigma_8 + \sigma_9 + \sigma_{10} + \sigma_{11}. \qquad \text{(VIII.9)}$$

არმატურის წინასწარი ძაბვების დანაკარგების სიდიდე გამომწვევი მიზეზების შესაბამისად განისაზღვრება ან სპეციალური ექსპერიმენტების მიხედვით, ან დაპროექტების ნორმებით რეკომენდებული ფორმულებით. ძაბვების დანაკარგების საანგარიშო ფორმულები განხილულია ქვემოთ (თავმოყრილია ცხრილში, დანართი XX):

ძაბვების კარგვა რელაქსაციის გამო. რელაქსაცია (ლათინურიდან — შემცირება, შესუსტება) — არმატურის წინასწარი ძაბვების თანდათანობითი დაქვეითება მუდმივი დეფორმაციის პირობებში, შეიძლება განვითარდეს მაღალი ძაბვების მოქმედების შემთხვევაში. რელაქსაცია მიმდინარეობს ინტენსიურად დაჭიმვიდან უახლოესი დროის (პირველი საათები, პირველი დღეები) განმავლობაში, შემდეგ თანდათან ნელდება და წყდება. საბჯენებზე არმატურის დაჭიმვისას რელაქსაციით გამოწვეული კარგვა აღინიშნება σ_1-ით და იანგარიშება ფორმულით

მავთულოვანი არმატურისათვის:

$\sigma_1 = \left(0{,}22 \frac{\sigma_{sp}}{R_{s.\,ser}} - 0{,}1\right)\sigma_{sp}$ მექანიკურად დაჭიმვისას;

$\sigma_1 = 0{,}05\,\sigma_{sp}$ ელექტროთერმული და ელექტროთერმომექანიკური ხერხით დაჭიმვისას.

ღეროვანი არმატურისათვის:

$\sigma_1 = 0{,}1\,\sigma_{sp}$—20,0 მექანიკურად დაჭიმვისას;

$\sigma_1 = 0{,}03\,\sigma_{sp}$ ელექტროთერმული და ელექტროთერმომექანიკური ხერხით დაჭიმვისას.

A-III და *A*-III$_B$ კლასის არმატურის ძაბვების კარგვა რელაქსაციის მიზეზით ძალზე უმნიშვნელოა და მხედველობაში არ მიიღება.

საანგარიშო ფორმულებში σ_{sp} არის წინასწარი ძაბვების საწყისი სიდიდე (დანაკარგების გარეშე), *MPa*-ში, ხოლო $R_{s,\,ser}$—დაძაბული არმატურის საანგარიშო წინაღობა II ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშებებში; უარყოფითი σ_1 მიიღება ნულის ტოლად.

ბეტონზე არმატურის დაჭიმვის შემთხვევაში რელაქსაციით გამოწვეული დანაკარგები (აღინიშნება σ_7-ით) ვითარდება მოკუმშვის შემდეგ, ე. ი. განეკუთვნება მეორე ჯგუფის დანაკარგებს. არმატურის მექანიკურად დაჭიმვისას (ბეტონზე არმატურის დაჭიმვისას ელექტროთერმულ ხერხს არ იყენებენ) რელაქსაციის დანაკარგებს განსაზღვრავენ იგივე ფორმულებით, როგორც საბჯენებზე არმატურის დაჭიმვის შემთხვევაში მექანიკურად:

$$\sigma_7 = \left(0{,}22 - \frac{\sigma_{sp}}{R_{s,\,ser}} - 0{,}1\right)\sigma_{sp}, \qquad \text{მავთულოვანი არმატურისათვის;}$$

$$\sigma_7 = 0{,}1\,\sigma_{sp} - 20, \qquad \text{ღეროვანი არმატურისათვის.}$$

ძაბვების კარგვა ტემპერატურათა სხვაობის გამო დაჭიმულ არმატურასა და დამჭიმი ძალის მიმღებ მოწყობილობათა შორის შეიძლება მოხდეს საბჯენებზე არმატურის დაჭიმვისას წინასწარ დაძაბული ელემენტების ორთქლში გამოყვანის ან თბოდამუშავების პირობებში; ამ დროს ბეტონი მყარდება საფარქვეშ, დაჭიმვის მიმღები მოწყობილობები კი იმყოფება საამქროს ჩვეულებრივ ტემპერატურულ გარემოში. ტემპერატურათა სხვაობის გამო დაძაბული არმატურისა და დაჭიმვის მიმღებ მოწყობილობათა ტემპერატურული დეფორმაციები განსხვავებულია და წინასწარი ძაბვების გარკვეული ნაწილი იკარგება. დანაკარგი აღინიშნება σ_2-ით და იანგარიშება ფორმულით:

$\sigma_2 = 1{,}25\,\Delta t$ — $B\,15$—$B\,40$ კლასის ბეტონების გამოყენებისას;

$\sigma_2 = 1{,}0\,\Delta t$ — $B\,45$ და უფრო მაღალი კლასის ბეტონებისათვის,

სადაც Δt არის სხვაობა დაჭიმული არმატურისა და საბჯენების გარემოს ტემპერატურათა შორის, °C; Δt-ს სიდიდე მიიღება 65°C-ის ტოლი, როდესაც ტემპერატურული რეჟიმის შესახებ ზუსტი მონაცემები არ გაგვაჩნია.

ძაბვების კარგვა დამჭიმ მოწყობილობებთან მდებარე ანკერების დეფორმაციის გამო (შაიბების მოკუმშვის, ღეროების გამოტვიფრული თავების თელვის, მომჭერებსა და სატაცებში ღეროების გადაადგილების შედეგად) მხედველობაში მიიღება მხოლოდ მექანიკურად არმატურის დაჭიმვის შემთხვევაში, რადგან ელექტროთერმული გზით დაჭიმვისას ანკერების დეფორმირებადობა მხედველობაში მიიღება არმატურის მთლიანი წაგრძელების სიდიდის განსაზღვრისას.

ძაბვების აღნიშნული კარგვა ვლინდება როგორც საბჯენებზე, ასევე ბეტონზე არმატურის დაჭიმვისას, რომელიც აღინიშნება σ_3-ით და იანგარიშება ფორმულით (ჰუკის კანონის თანახმად):

ა) საბჯენებზე არმატურის დაჭიმვის შემთხვევაში

$$\sigma_3 = \frac{\Delta l}{l} E_s,$$

სადაც Δl არის დაწნეხილი საყელურების მოკუმშვა, არმატურის გამოტვიფრული თავების თელვა (მიიღება 2 მმ-ის ტოლი) და ღეროების გადაადგილება საინვენტარო ჩამჭერებში, რომელიც იანგარიშება ფორმულით $\Delta l = 1{,}25 + 0{,}15\,d$ (აქ d მმ-ით ღეროს დიამეტრია); l—დასაძაბი არმატურის სიგრძე, მმ, საბჯენების გარე წახნაგებს შორის მანძილი; E_s—არმატურის დრეკადობის მოდული.

ბ) ბეტონზე არმატურის დაჭიმვის შემთხვევაში

$$\sigma_3 = \frac{\Delta l_1 + \Delta l_2}{l} E_s,$$

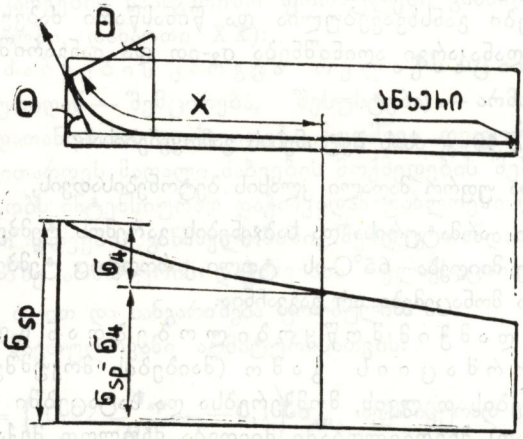
სადაც Δl_1 არის ელემენტის ბეტონის ზედაპირსა და ანკერებს შორის მოქცეული საყელურებისა და შუასადების მოკუმშვა, რომელიც მიიღება 1 მმ-ის ტოლი; Δl_2—ჭიქისებრი ანკერების, საცობიანი ხუნდების, საანკერე ჭანჩებისა და სატაცების დეფორმაციის სიდიდე, რომელიც მიიღება 1 მმ-ის ტოლი; l—დასაძაბი არმატურის (ელემენტის) სიგრძე, მმ.

ძაბვების კარგვა არმატურის ხახუნის გამო არხების კედლებთან, კონსტრუქციის ბეტონის ზედაპირთან ან გადაღუნვის მოწყობილობებთან ვითაარდება ორივე ხერხით დაძაბვის შემთხვევაში. დანაკარგი აღინიშნება σ_4-ით.

საბჯენებზე არმატურის დაჭიმვისას ძაბვების კარგვა, რომელსაც იწვევს არმატურის ხახუნი გადაღუნვის (მომვლებ) მოწყობილობებთან, იანგარიშება ფორმულით

$$\sigma_4 = \sigma_{sp}\left(1 - \frac{1}{e^{\delta\theta}}\right),$$

სადაც σ_{sp} არის არმატურის წინასწარი ძაბვების სიდიდე დანაკარგების გარეშე; e—ნატურალური ლოგარითმების ფუძე; δ—კოეფიციენტი, რომელიც მიიღება 0,25-ის ტოლი; θ—არმატურის ღერძის მობრუნების კუთხე რადიანებში.



ნახ. VIII. 19. არხის ან კონსტრუქციის ზედაპირთან დაძაბული არმატურის ხახუნის გამო წინასწარი ძაბვების დანაკარგების განსაზღვრისათვის.

ბეტონზე არმატურის დაჭიმვის შემთხვევაში σ_4 წარმოადგენს დაჭიმულ არმატურაში წინასწარი ძაბვების კარგვას, გამოწვეულს არმატურის ხახუნით არხის ან კონსტრუქციის ბეტონის ზედაპირთან (ნახ. VIII. 19). მისი სიდიდე განისაზღვრება ფორმულით

$$\sigma_4 = \sigma_{sp}\left(1 - \frac{1}{e^{\omega x + \delta\theta}}\right),$$

სადაც ω და δ არის კოეფიციენტები და მიიღება VIII.3 ცხრილიდან (დაპროექტე-

ბის ნორმების მე-6 ცხრილი); x—უბნის სიგრძე დამჭიმი მოწყობილობიდან საანგარიშო კვეთამდე, მ; θ—არმატურის ღერძის მობრუნების კუთხეთა ჯამი (რადიანებში), როდესაც საანგარიშო უბანზე რამდენიმე გადაღუნვაა.

ცხრილი VIII.3

არხი ან ზედაპირი ბეტონზე არმატურის დაჭიმვის შემთხვევაში	არმატურის ხახუნით გამოწვეული კარგვის განსასაზღვრავი ω და δ კოეფიციენტები		
	ω	δ არმატურის შემდეგი სახეობებისათვის	
		კონები, ბაგირები	პერიოდული პროფილის ღეროები
ა) არხი ლითონის ზედაპირით	0,003	0,35	0,4
ბ) არხი ბეტონის ზედაპირით, შექმნილი ხისტი არხწარმომქმნელით ან ბეტონის ზედაპირი	—	0,55	0,65
გ) არხი ბეტონის ზედაპირით, შექმნილი მოქნილი არხწარმომქმნელით	0,0015	0,55	0,65

ძაბვების კარგვა ფოლადის ყალიბის დეფორმაციის გამო — σ_5— ვითარდება არმატურის არაერთდროული დაჭიმვისას საბჯენებზე, როდესაც საბჯენებად გამოყენებულია ყალიბის კედლები. ძაბვების კარგვა ყალიბის დეფორმირებადობის გამო იანგარიშება ჰუკის კანონის შესაბამისად საბჯენების ერთმანეთთან დაახლოების სიდიდის მიხედვით ფორმულით

$$\sigma_5 = \eta \frac{\Delta l}{l} E_s,$$

სადაც l არის მანძილი საბჯენების გარე წახნაგებს შორის; Δl—საბჯენების ერთმანეთთან დაახლოება დამჭიმი ძალის მოქმედების ხაზზე, რომელიც განისაზღვრება ყალიბის გაანგარიშებით დეფორმაციაზე; η—კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია არმატურის დაჭიმვის ხერხსა და საშუალებებზე და განისაზღვრება ფორმულით დომკრატებით არმატურის დაჭიმვისას

$$\eta = \frac{n-1}{2n},$$

ელექტროთერმომექანიკური ხერხით დამხვევი მანქანით არმატურის დაჭიმვისას, როდესაც ძალვის 50% იქმნება ტვირთით

$$\eta = \frac{n-1}{4n},$$

სადაც n არის ღეროების ჯგუფთა რაოდენობა, რომელთა დაჭიმვა არაერთდროულად წარმოებს.

ფოლადის ყალიბის დეფორმაციისაგან არმატურის წინასწარი ძაბვების კარგვა მიიღება $\sigma_3 = 30{,}0\ MPa$ ტოლი, როდესაც გაანგარიშებისას ყალიბის კონსტრუქციისა და დამზადების ტექნოლოგიის შესახებ მონაცემები არ არსებობს.

ელექტროთერმული ხერხით არმატურის დაჭიმვისას ფოლადის ყალიბის დეფორმაციით ძაბვების კარგვა მხედველობაში არ მიიღება, რადგან იგი გათვალისწინებულია არმატურის მთლიანი წაგრძელების განსაზღვრისას.

საბჯენებზე არმატურის დაჭიმვის შემთხვევისათვის დამახასიათებელია დაჭიმული არმატურის წინასწარი ძაბვების კარგვა ბეტონის სწრაფმდინარი ცოცვადობისაგან (აღინიშნება σ_6-ით), რომელიც ვითარდება მოკუმშვის დროს და მოკუმშვიდან 2—3 საათის განმავლობაში. σ_6 დამოკიდებულია ბეტონის გამყარების პირობებზე, ბეტონის კლასსა და ძაბვების დონეზე მოკუმშვისას.

გამყარების ბუნებრივ პირობებში, როდესაც $\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} \leqslant \alpha$, მიიღება

$$\sigma_6 = 40 \frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}},$$

ხოლო, როდესაც $\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} > \alpha$, მაშინ

$$\sigma_6 = 40\alpha + 85\beta \left(\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} - \alpha \right),$$

სადაც α და β კოეფიციენტებია, მიიღება:

$\alpha = 0{,}25 + 0{,}025\, R_{bp}$, მაგრამ არაუმეტეს 0,8-ისა;

$\beta = 5{,}25 - 0{,}185\, R_{bp}$, მაგრამ არაუმეტეს 2,5 და არანაკლები 1,1.

σ_{bp}—დაძაბული არმატურის სიმძიმის ცენტრის დონეზე ბეტონის წინასწარი მოკუმშვის ძაბვების სიდიდე პირველი 5 დანაკარგის გათვალისწინებით; R_{bp}—ბეტონის კუბური სიმტკიცე მოკუმშვის დროს.

ბეტონის გამაგრების დასაჩქარებლად თბოდამუშავების გამოყენებისას σ_6 იანგარიშება იმავე ფორმულებით, როგორც ბუნებრივი გამყარების პირობებში, მხოლოდ შედეგების 0,85-ზე გადამრავლებით.

მოკუმშვის შემდგომ დანაკარგებს (მეორე კარგვები) მიეკუთვნება ძაბვების კარგვა შეკლებისა და ცოცვადობის გამო, რომელიც ვლინდება ორივე ხერხით დაძაბვისას, როგორც საბჯენებზე, ასევე ბეტონზე არმატურის დაჭიმვისას.

ბეტონის შეკლების დეფორმაციები იწვევს არმატურის კუმშვას, რაც ამცირებს არმატურის წინასწარი (გამჭიმი) ძაბვების სიდიდეს.

არმატურის წინასწარი ძაბვების კარგვა ბეტონის შეკლების გამო (σ_8) დამოკიდებულია ბეტონის გამყარების პირობებზე, ბეტონის კლასსა და დაძაბვის მეთოდებზე. ამ მონაცემების შესაბამისად შეკლების დანაკარგების სიდიდე σ_8 *MPa*-ში, მოცემულია XX დანართის ცხრილში (მე-8 პოზიცია).

გამყარების პირობებისაგან დამოუკიდებლად, გამყარებულ ბეტონზე არმატურის დაჭიმვისას ბეტონის შეკლება ნაკლებ ინტენსიურად მიმდინარეობს, შესაბამისად, σ_8 შედარებით დაბალია, ვიდრე საბჯენებზე არმატურის დაჭიმვის შემთხვევა-

ში. საბჯენებზე არმატურის დაჭიმვისას $\sigma_s = 40—70\ MPa$, ბეტონზე—$\sigma_s = 30—50\ MPa$.

რაც უფრო მაღალია ბეტონის კლასი, მით უფრო მნიშვნელოვანია შეკლების დანაკარგები.

ბეტონის ხანგრძლივი ცოცვადობა მოკუმშვის შემდეგ, ისევე როგორც შეკლება, ამცირებს დაჭიმული არმატურის დეფორმაციას, ე. ი. წინასწარ ძაბვებს მასში. დაჭიმულ არმატურაში ძაბვების კარგვა ბეტონის ცოცვადობისაგან დამახასიათებელია ორივე მეთოდით დამზადებული კონსტრუქციებისათვის. σ_9-ით აღინიშნება მოკუმშვის შემდეგ ბეტონის ცოცვადობის შედეგად დაჭიმულ არმატურაში წინასწარი ძაბვების კარგვის სიდიდე. იგი განისაზღვრება ემპირიული ფორმულებით.

მძიმე და მსუბუქი ბეტონების (მკვრივ წვრილ შემვსებებზე) გამოყენებისას

$$\sigma_9 = 150\,\alpha\,\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}},\quad \text{როდესაც}\quad \frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} \leqslant 0{,}75;$$

$$\sigma_9 = 300\,\alpha\left(\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} - 0{,}375\right),\quad \text{როდესაც}\quad \frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} > 0{,}75,$$

სადაც α კოეფიციენტი მიიღება: 1,0 ბუნებრივი გამყარების ბეტონისათვის, ხოლო თბური დამუშავებით გამყარებისას $\alpha = 0{,}85$; წვრილმარცვლოვანი ბეტონის გამოყენებისას σ_9 იანგარიშება იგივე ფორმულებით, მაგრამ შედეგები მრავლდება: A ჯგუფის—1,3-ზე, Б ჯგუფისა—1,5-ზე და В ჯგუფისათვის—0,85-ზე.

ფოროვან წვრილ შემვსებებზე დამზადებული მსუბუქი ბეტონებისათვის σ_9 იანგარიშება იგივე ფორმულებით, მხოლოდ მიღებული შედეგები მრავლდება 1,2-ზე.

მოკუმშვის შემდგომ დანაკარგებს მიეკუთვნება წრიული განივკვეთის ფორმის ელემენტების სპირალური ან წრიული დაძაბული არმატურის ქვეშ ბეტონის თელვით გამოწვეული ძაბვების კარგვა გამყარებულ ბეტონზე დაჭიმულ არმატურაში, რომელიც აღინიშნება σ_{10}-ით. ამ დანაკარგებს ითვალისწინებენ, როდესაც კონსტრუქციის დიამეტრი 3 მ არ აღემატება. σ_{10} განისაზღვრება ფორმულით

$$\sigma_{10} = 70—0{,}22\,d_{ext},$$

სადაც d_{ext} არის კონსტრუქციის გარე დიამეტრი, სმ.

გამყარებულ ბეტონზე არმატურის დაჭიმვის შემთხვევაში მეორე კარგვებს აგრეთვე მიეკუთვნება σ_{11}—სიგრძეზე ბლოკებისაგან შედგენილი კონსტრუქციებისათვის არმატურის წინასწარი ძაბვების კარგვა პირაპირების მოკუმშვის გამო ბლოკებს შორის.

ისევე, როგორც გამყარებული ბეტონის წრიული კვეთის ელემენტზე შემოკრული დაძაბული არმატურის ქვეშ ბეტონის თელვა, სიგრძივ შედგენილი ელემენტების ბლოკებს შორის ნაკერის მოკუმშვა იწვევს დაძაბული არმატურის გაჭიმვის დეფორმაციების შემცირებას და, მაშასადამე, ძაბვების შემცირებასაც.

σ_{11} — ძაბვების კარგვა დაჭიმულ არმატურაში ბლოკებს შორის პირაპირების მოკუმშვის გამო, განისაზღვრება ჰუკის კანონის მიხედვით (როდესაც შესაძლებელია დეფორმაციის სიდიდის დადგენა) ფორმულით

$$\sigma_{11} = \frac{n\Delta l}{l} E_s,$$

სადაც n არის დასაჭიმი არმატურის სიგრძეზე კონსტრუქციაში არსებული ნაკერების რაოდენობა; Δl—პირაპირების მოკუმშვის სიდიდე, რომელიც მიიღება ტოლი: 0,3 მმ—ბეტონით შევსებული პირაპირებისათვის; 0,5 მმ—მშრალი პირაპირების მოწყობის შემთხვევაში; l—დასაძაბი არმატურის სიგრძე, მმ.

ბეტონის შეკლებითა და ცოცვადობით არმატურის წინასწარი ძაბვების კარგვის განსაზღვრისას მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული შემდეგი:

ა) კონსტრუქციებისათვის, რომელთა ექსპლუატაცია განზრახულია გარემოს ჰაერის 40%-ზე ნაკლები ტენიანობის პირობებში, ძაბვების კარგვა — σ_8 და σ_9 — გამოთვლილი ზემოაღნიშნული ფორმულებით, უნდა გაიზიდეს 25%-ით (გარდა IV *A* კლიმატურ ქვერაიონში ექსპლუატაციისათვის განკუთვნილი კონსტრუქციებისა, რომელთათვის აღნიშნული დანაკარგები დიდდება 50%-ით);

ბ) თუ წინასწარ ცნობილია კონსტრუქციის დატვირთვის ვადა (მაგალითად, ქარხნული საკონტროლო გამოცდისას) შეკლებისა და ცოცვადობით გამოწვეული σ_8 და σ_9 კარგვები უნდა დაზუსტდეს φ_l კოეფიციენტზე გადამრავლების გზით, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით

$$\varphi_l = \frac{4t}{100 + 3t},$$

და არ მიიღება 1-ზე მეტი.

ფორმულაში t არის დრო დღეღამეთა რაოდენობით, რომელიც აითვლება მოკუმშვის დღიდან, თუ ისაზღვრება დანაკარგები ცოცვადობისაგან და დაბეტონების დღიდან — შეკლების დანაკარგების განსასაზღვრავად.

2. არმატურის დაჭიმვის სიზუსტის კოეფიციენტი, საკონტროლო ძაბვები

გარდა დანაკარგებისა (ზემომოყვანილი მიზეზების გამო), უნდა აღინიშნოს არმატურის წინასწარი ძაბვების გადახრა დაგეგმილი სიდიდისაგან წარმოების მიზეზებით, რასაც გაანგარიშებებში ითვალისწინებენ დაჭიმვის სიზუსტის კოეფიციენტის γ_{sp}-ს საშუალებით, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით

$$\gamma_{sp} = 1 \pm \Delta\gamma_{sp}, \qquad \text{(VIII.10)}$$

და წინასწარი ძაბვების სიდიდე გაანგარიშებაში შედის დაჭიმვის სიზუსტის კოეფიციენტზე გამრავლებული.

ნიშანი „პლუსი“ ფორმულის მეორე წევრის წინ მიიღება წინასწარი დაძაბვის არახელსაყრელი გავლენისას (ე. ი. როდესაც კონსტრუქციის მუშაობის მოცემულ სტადიაზე გარკვეულ უბანზე წინასწარი დაძაბვებისაგან ქვეით-

დება ზიდვის უნარი, უარესდება ბზარმედეგობა და სხვ.), ნიშანი „მინუსი“ — ხელსაყრელი გავლენისას.

$\Delta\gamma_{sp}$-ის მნიშვნელობა მიიღება 0,1-ის ტოლი არმატურის მექანიკური დაჭიმვის დროს, ხოლო ელექტროთერმული დაჭიმვისას იანგარიშება ფორმულით

$$\Delta\gamma_{sp} = 0{,}5\,\frac{p}{\sigma_{sp}}\left(1+\frac{1}{\sqrt{n_p}}\right), \qquad \text{(VIII.11)}$$

აქ σ_{sp} და p, შესაბამისად, წარმოადგენს წინასწარი ძაბვების საწყის სიდიდესა და მის შესაძლო გადახრას; n_p არის ელემენტის კვეთში დაძაბული არმატურის ღეროების რაოდენობა. $\Delta\gamma_{sp}$ მიიღება არანაკლებ 0,1-ისა.

არმატურის წინასწარი ძაბვების დანაკარგების განსაზღვრისას, ბზარების გახსნის მიხედვით და დეფორმაციებზე გაანგარიშებისას $\Delta\gamma_{sp}$ შეიძლება მიღებულ იქნეს ნულის ტოლი.

არმატურის დაჭიმვის შემდეგ ხდება წინასწარი ძაბვების კონტროლი სპეციალური საზომი ხელსაწყოებით. საკონტროლო ძაბვები არმატურაში აღინიშნება σ_{con}, σ'_{con}, შესაბამისად გაჭიმული და შეკუმშული ზონის S და S' არმატურისათვის.

საკონტროლო ძაბვების სიდიდე არმატურის დაჭიმვის დროს საბჯენებზე $\sigma_{con.1}$ და $\sigma'_{con.1}$ განისაზღვრება ფორმულით

$$\left.\begin{aligned}\sigma_{con.1} &= \sigma_{sp} - \sigma_3 - \sigma_4;\\ \sigma'_{con.1} &= \sigma'_{sp} - \sigma'_3 - \sigma'_4.\end{aligned}\right\} \qquad \text{(VIII.12)}$$

არმატურის დაჭიმვის დროს ბეტონზე (ძაბვის II ხერხი) არმატურის დაჭიმვა და ელემენტის მოკუმშვა მიმდინარეობს ერთდროულად. საკონტროლო ძაბვების დადგენა შესაძლოა მოკუმშვის დამთავრების შემდეგ, როდესაც ელემენტი დამოკლდა და არმატურის წინასწარი ძაბვების საწყისი სიდიდე შემცირდა; მაშინ საკონტროლო ძაბვები იანგარიშება ფორმულით

$$\left.\begin{aligned}\sigma_{con.2} &= \sigma_{sp} - \alpha\sigma_{bp},\\ \sigma'_{con.2} &= \sigma'_{sp} - \alpha\sigma'_{bp}.\end{aligned}\right\} \qquad \text{(VIII.13)}$$

VIII.12 ფორმულაში σ_3 (σ'_3) და σ_4 (σ'_4) წინასწარი ძაბვების დანაკარგებია ანკერების დეფორმაციისა და გადასაღუნავ მოწყობილობაზე ხახუნის გამო არმატურის დაჭიმვისას საბჯენებზე.

VIII.13 ფორმულაში σ_{bp} არის მოკუმშვის დროს წინასწარი ძაბვების სიდიდე ბეტონში დაძაბული არმატურის სიმძიმის ცენტრის დონეზე, ხოლო α—დაყვანის კოეფიციენტი—არმატურისა და ბეტონის დრეკადობის მოდულების თანაფარდობა, $\alpha = \frac{E_s}{E_b}$.

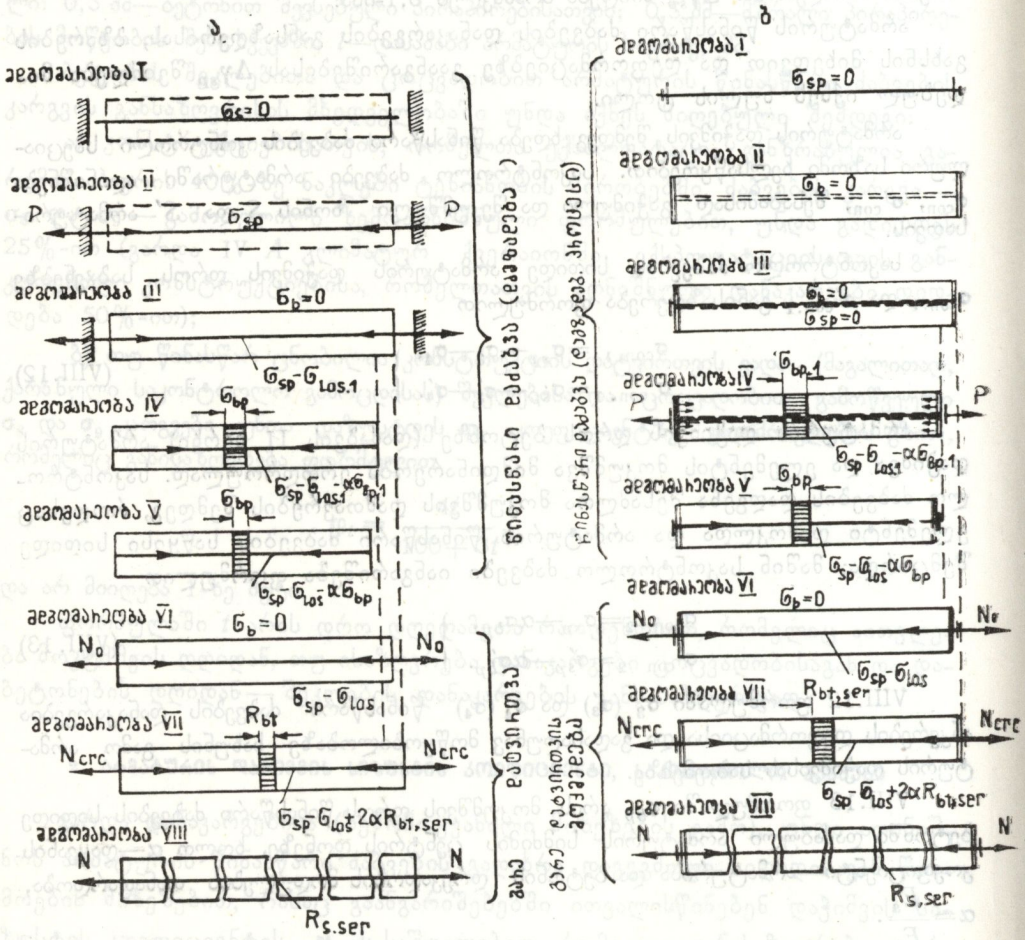
3. რკინაბეტონის ელემენტების დაძაბული მდგომარეობის ცვალებადობა წინასწარი დაძაბვისა და გარე დატვირთვების მოქმედებისას

განვიხილოთ საექსპლუატაციო დატვირთვით ცენტრალურ გაჭიმვასა და ღუნვაზე მოშუშავე წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ელემენტები.

დამზადებისა და ექსპლუატაციის სხვადასხვა სტადიაზე წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტის დაძაბულ მდგო-

მარეობათა ცვალებადობა დაძაბვის ორივე ხერხისათვის (დაძაბვა დაბეტონებამდე და დაბეტონების შემდეგ) წარმოდგენილია VIII.20 ნახაზზე, ხოლო ღუნვადი ელემენტისათვის VIII.21 ნახაზზე.

ცენტრალურ გაჭიმვაზე მომუშავე ელემენტის წინასწარი დაძაბვის პირველ შემთხვევაში — საბრჯენებზე არმატურის დაჭიმვის შემთხვევაში — ჯერ დასაძაბ არმატურას ათავსებენ ელემენტის ფორმაში (I მდგომარეობა), შემდეგ დაჭიმავენ საწყის საკონტროლო ძაბვებამდე (II მდგომარეობა) და ელემენტს ბეტონებენ. ბეტონის გამყარების პროცესში არმატურის ძაბვები მცირდება პირველადი დანაკარგების (ფოლადის რელაქსაცია, დამჭერ მოწყობი-



ნახ. VIII.20. რკინაბეტონის წინასწარ დაძაბულ ცენტრალურ გაჭიმვაზე მომუშავე ელემენტების დაძაბული მდგომარეობების ცვალებადობა თანამიმდევრობით, დამზადებისა და გარე დატვირთვის მოქმედებისას: ა—არმატურის დაჭიმვა საბჯენებზე; ბ—არმატურის დაჭიმვა ბეტონზე.

ლობათა დეფორმირებადობა, ტემპერატურათა სხვაობა) გაწოვლინების გამო — $\sigma_{los.1}$ სიდიდით (III მდგომარეობა); როდესაც ბეტონი შეიძენს საკმარის სიმტკიცეს, არმატურას ხსნიან (აუშვებენ) საბჯენებიდან; იგი ცდილობს დაუბ-

რუნდეს თავის საწყის მდგომარეობას, მოკლდება და ბეტონთან საკმარისი შეჭიდულობის ძალების წყალობით კუმშავს ელემენტს (IV მდგომარეობა).

მოკუმშვის შემდეგ, დროთა განმავლობაში, ბეტონის შეკლებისა და ცოცვადობის გამო არმატურის წინასწარი ძაბვები შემცირდება — გამოვლინდება მოკუმშვის შემდგომი დანაკარგებიც $\sigma_{los.2}$, ე. ი. სრული დანაკარგები გახდება ტოლი $\sigma_{los}=\sigma_{los.1}+\sigma_{los.2}$; შემცირდება მომკუმშავი ძალა და ბეტონის კუმშვის ძაბვებიც რამდენადმე დაიკლებს; საბოლოოდ დამყარდება წინასწარი ძაბვების გარკვეული სიდიდე ბეტონსა და არმატურაში (V მდგომარეობა): σ_{bp}—ბეტონში, σ_{sp}—σ_{los}—$\alpha\sigma_{bp}$—არმატურაში.

წინასწარი დაძაბვის (დამზადების) პროცესის დამთავრების შემდეგ ელემენტს შეიძლება გადაეცეს გარე დატვირთვა. დატვირთვის თანდათანობით მატებისას, გამჭიმი ძალის ზრდასთან ერთად ბეტონის კუმშვის ძაბვები თანდათან მცირდება, ხოლო არმატურის გამჭიმი ძალები იზრდება და, როდესაც ბეტონის მოკუმშვის ძაბვები ჩაქრება (VI მდგომარეობა), ძაბვები არმატურაში გაუტოლდება (σ_{sp}—σ_{los})-ს.

დატვირთვის შემდგომი მატებისას ბეტონში გაჩნდება გამჭიმი ძაბვები, რომლებიც თანდათან იზრდება და, როდესაც მათი სიდიდე მიაღწევს ბეტონის ზღვრულ წინაღობას გაჭიმვაზე (VII მდგომარეობა), არმატურაში მოქმედი ძაბვები წინა მდგომარეობასთან შედარებით გაიზრდება $2\alpha R_{bt.ser}$ სიდიდით (რომელიც საშუალოდ შეადგენს 30,0 *MPa*-ს) და გაუტოლდება $\sigma_{sp}-\sigma_{los}+2\alpha R_{bt.ser}$.

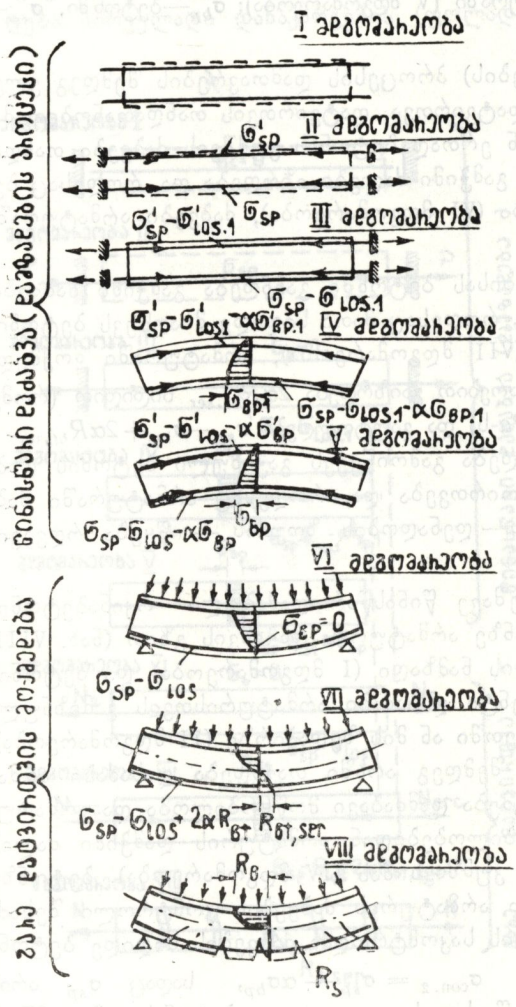
დატვირთვის შემდგომი გადიდება გამოიწვევს გაჭიმული ბეტონის დაბზარვას, ბეტონი მუშაობიდან გამოირთვება და, როდესაც არმატურაში ძაბვები მიაღწევს ზღვრულ სიდიდეს— დენადობის ზღვარს, — იწყება რღვევის სტადია (VIII მდგომარეობა).

ცენტრალურ გაჭიმვაზე მომუშავე წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ელემენტის დასამზადებლად ბეტონზე არმატურის დაჭიმვის გზით (ნახ. VIII. 20, ბ) იქმნება დასაძაბი არმატურის ნამზადი (I მდგომარეობა) და ბეტონის სუსტად დაარმატურებული ელემენტი დასაძაბი არმატურისთვის გამიზნული არხებით (ღარებით) ელემენტის კვეთში ან მის ზედაპირზე (II მდგომარეობა). ბეტონის საკმარისად გამაგრების შემდეგ არხში თავსდება დასაძაბი არმატურა, ელემენტის ბოლოებზე იდგმება დამძაბავი მოწყობილობა და არმატურა დაიჭიმება. დამძაბავი მოწყობილობებიდან არმატურის დაჭიმი ძალის რეაქცია გადაეცემა ელემენტს და კუმშავს მას (IV მდგომარეობა). ბეტონზე არმატურის დაჭიმვის შემთხვევაში არმატურის ძაბვების კონტროლი შესაძლოა მოკუმშვის შემდეგ. არმატურის საკონტროლო ძაბვების სიდიდე ბეტონზე არმატურის დაჭიმვის დროს $\sigma_{con.2}=\sigma_{sp}-\alpha\sigma_{bp}$, სადაც σ_{sp} არის არმატურის წინასწარი ძაბვების საწყისი სიდიდე; σ_{bp}— ბეტონის მოკუმშვის ძაბვები, ხოლო $\alpha=\frac{E_s}{E_b}$. $\alpha\sigma_{bp}$ — ბეტონის მოკუმშვით გამოწვეული ძაბვები დაჭიმულ არმატურაში, ფაქტობრივად წინასწარი ძაბვების დანაკარგია არმატურაში ბეტონის მოკუმშვის დრეკადი დეფორმაციის შედეგად.

დაძაბული მდგომარეობის შემდგომი ცვალებადობა მიმდინარეობს ისე, როგორც არმატურის დაჭიმვის შემთხვევაში საბჯენებზე.

რკინაბეტონის წინასწარ დაძაბული ღუნვადი ელემენტის დაძაბული მდგომარეობის ცვალებადობა დამზადებისა და გარე დატვირთვის მოქმედების სხვადასხვა სტადიაზე საბჯენებზე, არმატურის დაჭიმვის შემთხვევაში ნაჩვენებია VIII.21 ნახაზზე.

ღუნვადი ელემენტის არმატურის საბჯენებზე დაჭიმვის შემთხვევაში — ისევე, როგორც ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტისათვის — ჯერ დასაძაბ არმატურას ათავსებენ ელემენტის ფორმაში (I მდგომარეობა), შემდეგ დაჭიმავენ საკონტროლო ძაბვებამდე (II მდგომარეობა) და ელემენტს აბეტონებენ, ბეტონის გამყარების პროცესში არმატურის გამჭიმი წინასწარი ძაბვები მცირდება პირველადი დანაკარგების (ფოლადის რელაქსაცია, დამჭერ მოწყობილობათა დეფორმაცია, დაძაბული არმატურისა და უძრავ საბჯენებს შორის ტემპერატურათა სხვაობის გამო)—$\sigma_{los.1}$ სიდიდით (III მდგომარეობა). როდესაც ბეტონი შეიძენს საკმარის სიმტკიცეს, არმატურას ხსნიან (აუშვებენ) საბჯენებიდან; იგი ცდილობს დაუბრუნდეს თავის საწყის მდგომარეობას, მოკლდება და ბეტონთან საკმარისი შეჭიდულობის ძალების განვითარების შედეგად თან წარიტანს და კუმშავს ბეტონს (IV მდგომარეობა). მოკუმშვა ხდება არაცენტრალურად და ელემენტი ღებულობს საწყის სიმრუდეს—აიღუნება გარე დატვირთვის მოქმედების საწინააღმდეგო მიმართულებით. მოკუმშვის შემდეგ დროთა განმავლობაში, ბეტონის შეკლებისა და ცოცვადობის გამო, არმატურის წინასწარ ძაბვები მცირდება—გამოვლინდება მოკუმშვის შემდგომი $\sigma_{los.2}$ დანაკარგები და გაბვების კარგვის სრული სიდიდე გაუტოლდება $\sigma_{los}=\sigma_{los.1}+\sigma_{los.2}$. ბეტონის მკუმშავი ძაბვე-



ნახ. VIII. 21. რკინაბეტონის წინასწარ დაძაბულ ღუნვაზე მომუშავე ელემენტის დაძაბული მდგომარეობების ცვალებადობა თანამიმდევრობით, დამზადებისა (არმატურის დაჭიმვა საბჯენებზე) და გარე დატვირთვების მოქმედებისას.

ბიც რამდენადმე დაიკლებს, საბოლოოდ დამყარდება წინასწარი ძაბვების გარკვეული სიდიდე ბეტონსა და არმატურაში (V მდგომარეობა): ბეტონში σ_{bp}, არმატურაში $\sigma_{sp}-\sigma_{los}-\alpha\sigma_{bp}$.

წინასწარი დაძაბვის პროცესის დამთავრების შემდეგ ელემენტი შეიძლება დაიტვირთოს. გარე დატვირთვის თანდათანობით ზრდასთან ერთად ბეტონის კუმშვის ძაბვები S არმატურის ზონაში თანდათან შემცირდება და, როდესაც გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა არმატურის დონეზე ბეტონის წინასწარი ძაბვები ჩაქრება, დაძაბულ არმატურაში ძაბვები ($\sigma_{sp}-\sigma_{los}$) სიდიდეს გაუტოლდება (VI მდგომარეობა).

დატვირთვის შემდგომი გადიდებისას S დაძაბული არმატურის სიმძიმის ცენტრის დონეზე ბეტონი იწყებს გაჭიმვას, ყალიბდება გაჭიმული ზონა და, როდესაც ამ ზონაში ბეტონის გამჭიმი ძაბვების სიდიდე მიაღწევს $R_{bt.\,ser}$ საანგარიშო წინაღობის მნიშვნელობას გაჭიმვაზე (VII მდგომარეობა), დაძაბულ არმატურაში ძაბვები წინა მდგომარეობასთან შედარებით იმატებს $2\alpha R_{bt.\,ser}$ სიდიდით და გაუტოლდება $\sigma_{sp}-\sigma_{los}+2\alpha R_{bt.\,ser}$, ე. ი. ბზარების გაჩენის წინ გაჭიმული ზონის დაძაბულ არმატურაში მოქმედი ძაბვები აღემატება ჩვეულებრივი რკინაბეტონის გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა არმატურის ძაბვებს ბზარების წარმოქმნის დროს $\sigma_{sp}-\sigma_{los}$ სიდიდით (რაც წარმოადგენს წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის მთავარ ნიშანს). ეს განსხვავება მით უფრო მნიშვნელოვანია, რაც უფრო მაღალი სიმტკიცისაა დაძაბული არმატურა.

დატვირთვის შემდგომი გადიდებისას ბეტონის გაჭიმულ ზონაში გაჩნდება ბზარები, ელემენტი სწრაფად გაივლის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობს II სტადიას და, როდესაც გაჭიმული ზონის არმატურაში ძაბვები მიაღწევს დენადობის ზღვარს, ხოლო შეკუმშულ ბეტონში — სიმტკიცის ზღვარს კუმშვაზე, დგება რღვევის სტადია (VIII მდგომარეობა).

ღუნვადი ელემენტებისათვის, ისევე, როგორც ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტებისათვის, არმატურის დაჭიმვის დროს ბეტონზე დაძაბული მდგომარეობები იცვლება საბჯენებზე არმატურის დაჭიმვის ანალოგიურად, განსხვავებულია მხოლოდ დამზადების პროცესში I, II, III მდგომარეობა და საკონტროლო ძაბვების სიდიდე: არმატურის დაჭიმვის დროს საბჯენებზე გაჭიმული ზონის დაძაბული არმატურის საკონტროლო ძაბვები ტოლია $\sigma_{con.1}=\sigma_{sp}-\sigma_3-\sigma_4$, შეკუმშული ზონის S' დაძაბული არმატურისა—$\sigma'_{con.1}=\sigma'_{sp}-\sigma'_3-\sigma'_4$; ხოლო არმატურის დაჭიმვის დროს ბეტონზე, საკონტროლო ძაბვები ტოლია:

გაჭიმული ზონის დაძაბული S არმატურისათვის $\sigma_{con.2}=\sigma_{sp}-\alpha\sigma_{bp}$;

შეკუმშული ზონის დაძაბული S' არმატურისათვის—$\sigma'_{con.2}=\sigma'_{sp}-\alpha\sigma'_{bp}$.

როგორც დაძაბულ მდგომარეობათა ცვალებადობის სქემები გვიჩვენებს, წინასწარ დაძაბული ელემენტები გარე დატვირთვის მოქმედებისას გადიან დაძაბული მდგომარეობის სამივე სტადიას, მაგრამ ბეტონის მკუმშავი წინასწარი ძაბვების არსებობის გამო ბზარები ჩნდება გვიან, ინტერვალი I და III სტადიებს შორის მცირეა; მაღალია ბზარწარმომქმნელი ძალვა, იგი მრღვევი ძალვის 70—80% შეადგენს:

ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტებისათვის

$$N_n < N_{crc} < N_u; \qquad \text{(VIII.14)}$$

ღუნვადი ელემენტებისათვის

$$M_n < M_{crc} < M_u, \qquad \text{(VIII.15)}$$

სადაც N_n, M_n არის ნორმატიული დატვირთვით გამოწვეული ძალვები; N_{crc}, M_{crc}—ბზარწარმომქმნელი ძალვები; N_u, M_u—მრღვევი (ზღვრული) ძალვები.

წინასწარი დაძაბვის ძირითადი ნიშან-თვისება არის მაღალი ძაბვები გაჭიმულ არმატურაში ბზარების გაჩენის დროს, რომელიც ტოლია σ_{sp}—$\sigma_{los}+2\alpha R_{bt,ser}$ და აღემატება დაუძაბავი რკინაბეტონის ელემენტების გაჭიმულ არმატურაში აღძრულ ძაბვებს ($2\alpha R_{bt,ser}$-ს) ბზარების გაჩენის დროს σ_{sp}—σ_{los} სიდიდის მაღალი ძაბვებით.

როდესაც წინასწარ დაძაბული ელემენტი დაარმატურებულია დაუძაბავი არმატურითაც, ბეტონის შეკლება და ცოცვადობა გამოიწვევს მის დამოკლებას; ამ მიზეზით აღძრული მკუმშავი ძაბვების სიდიდე დაუძაბავ არმატურაში $\sigma_s(\sigma'_s)$ ტოლია:

მოკუმშვის სტადიაზე—სწრაფმდინარი ცოცვადობით გამოწვეული დანაკარგებისა σ_6;

ექსპლუატაციის სტადიაზე—შეკლებით და ცოცვადობით გამოწვეული დანაკარგების ჯამისა $\sigma_6+\sigma_8+\sigma_9$.

ბზარების წარმოქმნისას—კვეთის დაძაბული მდგომარეობის პირველი სტადიის დასასრულს, როდესაც ბეტონის გამჭიმი ძაბვები უტოლდება საანგარიშო წინაღობას $R_{bt,ser}$-ს, დაუძაბავ არმატურაში ძაბვები აღემატება მოკუმშვის ჩაქრობის მომენტში დამყარებულ $\sigma_s=\sigma_8+\sigma_9$ მკუმშავ ძაბვებს $2\alpha R_{bt,ser}$ სიდიდით. ამგვარად, ბზარების წარმოქმნისას დაუძაბავ არმატურაში ძაბვები გაუტოლდება $2\alpha R_{bt,ser}$—σ_s, *MPa*.

4. ძაბვები წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ელემენტების ბეტონსა და არმატურაში. წინასწარი მოკუმშვის ძალვები

წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ელემენტების კვეთებში ძაბვები იანგარიშება დრეკადი მასალების წინაღობის თეორიის მიხედვით. შესაბამისად კვეთის გეომეტრიულ მახასიათებლებს ადგენენ დაყვანილი კვეთისათვის. დაყვანილი კვეთი წარმოადგენს რკინაბეტონის ელემენტის მთელი კვეთის ბეტონისა და ბეტონზე დაყვანილი არმატურის განივი კვეთის ფართობების ჯამს. არმატურისა და ბეტონის დრეკადობის მოდულების თანაფარდობა $\alpha=\frac{E_s}{E_b}$ არის დაყვანის კოეფიციენტი.

დაყვანილი კვეთის ფართობი

$$A_{red}=A+\sum\alpha A_s, \qquad \text{(VIII.16)}$$

სადაც A არის მთელი კვეთის ფართობი არმატურის გამოკლებით, ე. ი. კვეთში ბეტონის სრული ფართობი; A_s—გრძივი მუშა არმატურის (დაძაბული, დაუძაბავი, შეკუმშული, გაჭიმული) განივკვეთის ფართობი; α—გრძივი მუშა არმატურის ბეტონზე დაყვანის კოეფიციენტი, რომელიც ტოლია $\alpha=\frac{E_s}{E_b}$.

დაყვანილი კვეთის სიმძიმის ცენტრის მდებარეობა განისაზღვრება ფორმულით

$$y_{red}=\frac{S_{red}}{A_{red}}, \qquad \text{(VIII.17)}$$

სადაც S_{red} არის დაყვანილი კვეთის ფართობის სტატიკური მომენტი რომელიმე ღერძის მიმართ (ჩვეულებრივ, კვეთის გაჭიმულ კიდეზე გამავალი ღერძის მიმართ), რომლისგან დაყვანილი კვეთის სიმძიმის ცენტრის დაშორებასაც წარმოადგენს y_{red} მანძილი,

$$S_{red}=S+\sum\alpha S_s, \tag{VIII.18}$$

სადაც S არის მთელი კვეთის ფართობის (არმატურის გამოკლებით) სტატიკური მომენტი არჩეული ღერძის მიმართ; S_s—ყოველგვარი გრძივი არმატურის განივკვეთის ფართობის სტატიკური მომენტი იმავე ღერძის მიმართ.

დაყვანილი კვეთის ინერციის მომენტი საკუთარი ცენტრალური ღერძის მიმართ

$$I_{red}=I+\sum\alpha I_s, \tag{VIII.19}$$

სადაც I არის მთელი კვეთის ფართობის (არმატურის გამოკლებით) ინერციის მომენტი დაყვანილი კვეთის სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ღერძის მიმართ; I_s—არმატურის განივკვეთის ფართობის ინერციის მომენტი იმავე ღერძის მიმართ $I_s=I_0+A_s y_s^2$; იგი შეიძლება გამოითვალოს არმატურის საკუთარი ცენტრალური ღერძის მიმართ ინერციის I_0 მომენტის გაუთვალისწინებლად; უგულებელყოფენ რა I_0-ს, როგორც შედარებით მცირე სიდიდეს, I_s გამარტივებულად ანგარიშობენ ფორმულით

$$I_s=A_s y_s^2; \tag{VIII.20}$$

y_s მანძილია შესაბამისი არმატურის კვეთის სიმძიმის ცენტრიდან ელემენტის დაყვანილი კვეთის სიმძიმის ცენტრზე გამავალ ღერძამდე.

მოკუმშვის სტადიაზე წინასწარ დაძაბული ელემენტის ნორმალური კვეთის დაძაბული მდგომარეობის მიხედვით (ნახ.VIII.22) წინასწარი მომკუმშავი P ძალის სიდიდე განისაზღვრება როგორც დაძაბული და დაუძაბავი არმატურის ძალვების ტოლქმედი ფორმულით

$$P=\sigma_{sp}A_{sp}+\sigma'_{sp}A'_{sp}-\sigma_s A_s-\sigma'_s A'_s. \tag{VIII.21}$$

მომკუმშავი ძალის დაშორება დაყვანილი კვეთის სიმძიმის ცენტრიდან — ექსცენტრისიტეტი — იანგარიშება ფორმულით

$$e_{0p}=\frac{\sigma_{sp}A_{sp}y_{sp}+\sigma'_s A'_s y'_s-\sigma'_{sp}A'_{sp}y'_{sp}-\sigma_s A_s y_s}{P}, \tag{VIII.22}$$

სად ც σ_{sp}, σ'_{sp} არის წინასწარი ძაბვების სიდიდე დაჭიმულ S და S' არმატურაში, შესაბამის სტადიაზე, გამოვლინებული წინასწარი ძაბვის დანაკარგების გათვალისწინებით; σ_s, σ'_s—ძაბვები დაუჭიმავ S და S' არმატურაში; y_{sp}, y'_{sp}, y_s, y'_s—მანძილები დაყვანილი კვეთის სიმძიმის ცენტრიდან შესაბამისი არმატურის განივკვეთის ფართობის სიმძიმის ცენტრამდე.

მრუდხაზოვანი დაძაბული არმატურისათვის σ_{sp} და σ'_{sp} მნიშვნელობები (VIII.21) და (VIII.22) ფორმულებში ჩაისმება შესაბამისად $\cos\alpha$ და $\cos\alpha'$-ზე გადამრავლებული, სადაც α და α' არის არმატურის ღერძის დახრა ელემენტის გრძივ ღერძთან განსახილველ კვეთში.

σ_{sp} და σ'_{sp} მიიღება:

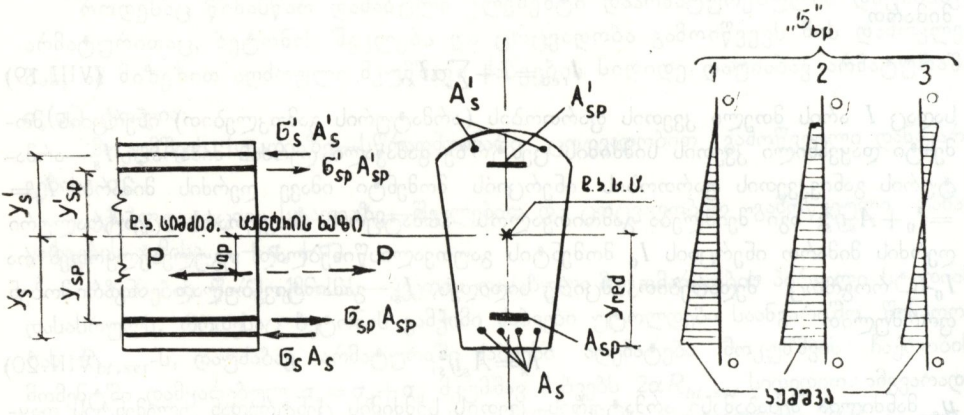
— მოკუმშვის სტადიაზე პირველი ჯგუფის დანაკარგების გათვალისწინებით;

— ელემენტის ექსპლუატაციის სტადიაზე — სრული დანაკარგების გათვალისწინებით.

σ_s და σ'_s მიიღება:

— მოკუმშვის სტადიაზე სწრაფმდინარი ცოცვადობით გამოწვეული დანაკარგების სიდიდის ტოლი;

— ელემენტის ექსპლუატაციის სტადიაზე შეკლებით და ცოცვადობით გამოწვეული დანაკარგების ჯამური სიდიდის ტოლი.



ნახ. VIII. 22. რკინაბეტონის ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური კვეთის წინასწარი მოკუმშვის ძაბვების ეპიურა, როდესაც: 1—წინასწარი მომკუმშავი ძალა მოდებულია კვეთის ბირთვის კიდეზე; 2—წინასწარი მომკუმშავი ძალა მოდებულია კვეთის ბირთვის ფარგლებში; 3—წინასწარი მომკუმშავი ძალა მოდებულია კვეთის ბირთვის გარეთ.

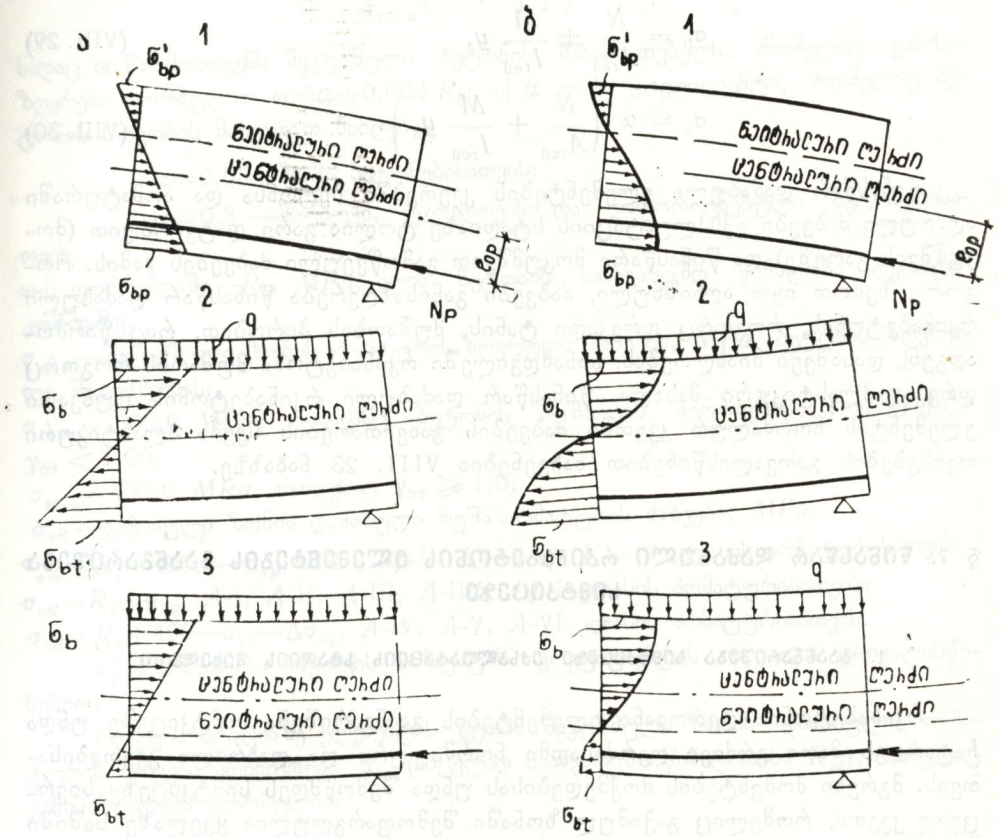
არაცენტრალურად მოკუმშვის შემთხვევაში წინასწარი მოკუმშვის ძაბვები ბეტონში იანგარიშება ფორმულით

$$\sigma_{bp} = \frac{P}{A_{red}} \pm \frac{Pe_{op}}{I_{red}}\, y. \qquad \text{(VIII. 23)}$$

ბეტონის კუმშვის σ_{pb} ძაბვები წინასწარი მოკუმშვის სტადიაზე არ უნდა აღემატებოდეს (0,30—0,95) R_{bp}-ს, СНиП 2.03.01—84-ის მე-7 ცხრილის შესაბამისად, რომელშიაც მოცემულია σ_{bp}/R_{bp} სიდიდე დაძაბული მდგომარეობის, არმატურის დაჭიმვის ხერხის, გარემო პირობებისა და მოკუმშვის დროს წინაღობის სახეობის (ცენტრალური ან არაცენტრალური კუმშვა) მიხედვით. ბეტონის მკუმშავი წინასწარი ძაბვები კვეთის კიდეზე განისაზღვრება პირველი (1—5) დანაკარგების (დანართი XX, 1—5 პოზიცია) გათვალისწინებით, როცა არმატურის დაჭიმვის სიზუსტის კოეფიციენტი $\gamma_{sp}=1$. მოკუმშვის შემდეგ დაძაბულ არმატურაში დამყარებული ძაბვები

$$\left.\begin{aligned}\sigma_{sp}&=\sigma_{sp2}-\alpha\left(\frac{P}{A_{\text{red}}}+\frac{Pe_{\text{op}}}{I_{\text{red}}}\,y_{sp}\right);\\ \sigma'_{sp}&=\sigma'_{sp2}-\alpha\left(\frac{P}{A_{\text{red}}}-\frac{Pe_{\text{op}}}{I_{\text{red}}}\,y'_{sp}\right).\end{aligned}\right\}\qquad\text{(VIII.24)}$$

სადაც $\sigma_{sp.2}$ და $\sigma'_{sp.2}$ არის წინასწარი ძაბვების სიდიდე დაძაბულ არმატურაში ყველა დანაკარგის გამოვლინების შემდეგ.



ნახ. VIII. 23. ღუნვადი ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური კვეთის ძაბვების ეპიურები: ა—მასალის დრეკადი თვისებების გათვალისწინებით; ბ—ბეტონის არადრეკადი თვისებების გათვალისწინებით: 1—მოკუმშვის სტადიაზე; 2—გარე დატვირთვის ქმედებისას წინასწარი დაძაბვის გარეშე; 3—წინასწარ დაძაბულ ელემენტზე გარე დატვირთვის ქმედებისას (1 და 2 ეპიურების ჯამი.)

გარე დატვირთვით გამოწვეული ძაბვების სიდიდე (წინასწარი ძაბვების გაუთვალისწინებლად) ბეტონსა და არმატურაში:

ღუნვადი ელემენტებისათვის

$$\sigma_b=\frac{M}{I_{\text{red}}}\,y;\qquad\text{(VIII.25)}$$

$$\sigma_s=\alpha\,\frac{M}{I_{\text{red}}}\,y_s.\qquad\text{(VIII.26)}$$

არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტებისათვის

$$\sigma_b = \frac{N}{A_{\text{red}}} \pm \frac{M\eta}{I_{\text{red}}}\, y; \qquad \text{(VIII.27)}$$

$$\sigma_s = \alpha \left(\frac{N}{A_{\text{red}}} \pm \frac{M\eta}{I_{\text{red}}}\, y \right). \qquad \text{(VIII.28)}$$

არაცენტრალურად გაჭიმული ელემენტებისათვის

$$\sigma_b = \frac{N}{A_{\text{red}}} \pm \frac{M}{I_{\text{red}}}\, y, \qquad \text{(VIII. 29)}$$

$$\sigma_s = \alpha \left(\frac{N}{A_{\text{red}}} + \frac{M}{I_{\text{red}}}\, y_s \right). \qquad \text{(VIII. 30)}$$

წინასწარ დაძაბული ელემენტების კვეთებში ბეტონსა და არმატურაში აღძრული ძაბვები ექსპლუატაციის სტადიაზე ტოლია გარე დატვირთვით (მოკუმშვის გარეშე) და წინასწარი მოკუმშვით გამოწვეული ძაბვების ჯამის. როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ძაბვები განისაზღვრება წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის, როგორც დრეკადი ტანის, მუშაობის პირობით, რაც წარმოადგენს დასაშვებ მიახლოებას. სინამდვილეში რკინაბეტონი მუშაობს როგორც დრეკად-პლასტიკური მასალა. წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტის ნორმალურ კვეთში ძაბვების განვითარების სქემა პლასტიკური თვისებების გათვალისწინებით ნაჩვენებია VIII. 23 ნახაზზე.

§ 7. წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ელემენტების გაანგარიშება სიმტკიცეზე

1. გაანგარიშება სიმტკიცეზე ექსპლუატაციის სტადიის მიხედვით

რკინაბეტონის ღეროვანი ელემენტების გაანგარიშება სიმტკიცეზე უნდა ჩატარდეს მათი გრძივი ღერძისადმი ნორმალური და დახრილი კვეთებისათვის. მგრეხი მომენტების მოქმედებისას უნდა შემოწმდეს სიმტკიცეზე სივრცითი კვეთი, რომელიც გაჭიმულ ზონაში შემოფარგლულია ყველაზე საშიში მიმართულების სპირალური ბზარით. გარდა ამისა, უნდა ჩატარდეს გაანგარიშება სიმტკიცეზე ადგილობრივი დატვირთვების მოქმედებისას (თელვა, ჩამტვრევა, აგლეჯა). წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ელემენტების ნორმალური კვეთების სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას საჭიროა რიგი თავისებურებების გათვალისწინება.

ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცეზე, როდესაც მღუნავი მომენტი მოქმედებს კვეთის სიმეტრიის ღერძზე გამავალ სიბრტყეში და გრძივი მუშა არმატურა განლაგებულია ამ სიბრტყის პერპენდიკულარულ წახნაგებზე, უნდა ჩატარდეს შეკუმშული ზონის ფარდობითი სიმაღლის $\left(\xi = \frac{x}{h_0}\right)$ მისი სასაზღვრო მნიშვნელობისაგან (ξ_R) დამოკიდებულების მიხედვით; ξ_R არის შეკუმშული ზონის ფარდობითი სიმაღლე

ზღვრულ ძდგომარეობაში, რომელიც დგება გაჭიმულ არმატურასა და შეკუმშულ ბეტონში შესაბამისი საანგარიშო წინაღობის ტოლი ძაბვების ერთდროული მიღწევის გამო.

ბეტონის შეკუმშული ზონის ფარდობითი სიმაღლის სასაზღვრო მნიშვნელობა გამოითვლება ფორმულით

$$\xi_R=\frac{\omega}{1+\frac{\sigma_{sR}}{\sigma_{sc,u}}\left(1-\frac{\omega}{1.1}\right)}, \qquad \text{(VIII. 31)}$$

სადაც ω წარმოადგენს შეკუმშული ბეტონის მახასიათებელს, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით $\omega=\alpha-0{,}008\,R_b$; აქ α არის კოეფიციენტი, რომელიც ბეტონის სახეობის მიხედვით მიიღება:

$\alpha=0{,}85$—მძიმე ბეტონებისათვის;

$\alpha=0{,}8$ —მსუბუქი, უჯრედოვანი და დაფოროვნებული ბეტონებისათვის.

ω-ს ფორმულაში R_b, *MPa*, არის ბეტონის საანგარიშო წინაღობა ღერძულ კუმშვაზე.

$\sigma_{sc,u}$—შეკუმშული ზონის არმატურის ზღვრული ძაბვები, *MPa*, ბეტონის ზღვრული შეკუმშვისას;

$\sigma_{sc,u}=500{,}0$ *MPa*, როდესაც ბეტონის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი $\gamma_{b2}<1{,}00$;

$\sigma_{sc.u}=400{,}0$ *MRa*, როდესაც $\gamma_{b2}\geqslant 1{,}0$;

σ_{sR} —გაჭიმული ზონის დაძაბული მუშა არმატურის ძაბვები, *MPa*:

$\sigma_{sR}=R_s+400{,}0-\sigma_{sp}$, *B*-II, *Bp*-II, *K*—7 და *K*—19 კლასის არმატურისათვის;

$\sigma_{sR}=R_s-\sigma_{sp}$, *A*-I, *A*-II, *A*-III, *A*-III*b*, *Bp*-I კლასის არმატურისათვის;

$\sigma_{sR}=R_s+400-\sigma_{sp}-\Delta\sigma_{sp}$, *A*-IV, *A*-V, *A*-VI კლასის არმატურისათვის.

აქ σ_{sp} მიიღება დაჭიმვის სიზუსტის კოეფიციენტის $\gamma_{sp}<1$ გათვალისწინებით.

რღვევის სტადიაზე ელემენტის კვეთის შეკუმშული ზონის დაძაბული არმატურის ძაბვები აღინიშნება σ_{sc} (ნაცვლად საანგარიშო წინაღობისა R_{sc}), რომელიც განისაზღვრება ფორმულით

$$\sigma_{sc}=\sigma_{sc,u}-\sigma'_{sp}. \qquad \text{(VIII.32)}$$

აქ σ'_{sp} მიიღება დაჭიმვის სიზუსტის კოეფიციენტის გათვალისწინებით, როდესაც $\gamma_{sp}>1$; σ_{sc} არ უნდა აღემატებოდეს R_{sc}-ს. σ_{sc} შეიძლება იყოს დადებითი, უარყოფითი და ნულის ტოლიც. შეკუმშული ზონის დაძაბულ არმატურაში უარყოფითი (გამჭიმი) ძაბვების განვითარების შემთხვევაში იგი რამდენადმე შეამცირებს ნორმალური კვეთის ზიდვის უნარს.

მაღალი სიმტკიცის ფოლადით დაარმატურებული რკინაბეტონის ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას, როდესაც დაკმაყოფილებულია პირობა $\xi\leqslant\xi_R$, ე. ი. ნორმალურად დაარმატურებული ელემენტებისათვის, არმატურის საანგარიშო წინაღობა უნდა გამრავლდეს მუშაობის პირობების γ_{s6} კოეფიციენტზე, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით

$$\gamma_{s6}=\eta-(\eta-1)\left(2\,\frac{\xi}{\xi_R}-1\right)\leqslant\eta; \qquad \text{(VIII. 33)}$$

სადაც η არის კოეფიციენტი, დამოკიდებული არმატურის სახეობაზე და მიიღება:

A-IV კლასის არმატურისათვის	1,20;
A-V, B-II, Bp-II, K—7, K—19 კლასის არმატურისათვის	1,15;
A-VI კლასის არმატურისათვის	1,10.

შეკუმშული ზონის x სიმაღლის განსაზღვრისას არმატურის საანგარიშო R_s წინაღობის სიდიდე შეიძლება გამოყენებულ იქნეს γ_{s6}-ის გაუთვალისწინებლად.

გაჭიმვაზე მომუშავე ელემენტებისათვის, რომელთა კვეთი მთლიანად გაჭიმულია, γ_{s6} ინიშნება η-ას ტოლი.

γ_{s6} კოეფიციენტი მხედველობაში არ მიიღება შემდეგი სახის ელემენტებისათვის:

რომელთა გაანგარიშება წარმოებს მრავალჯერგანმეორებად დატვირთვაზე;

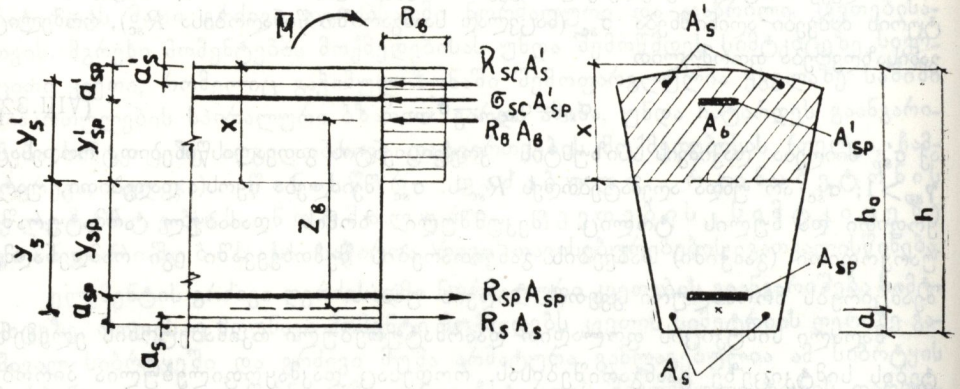
მაღალი სიმტკიცის მავთულოვანი არმატურის გამოყენებისას, როდესაც მავთულთა შორის ღრეჩოები არ ეწყობა;

აგრესიულ გარემოში მომუშავე ელემენტებისათვის.

ელემენტებში, რომელთაც გააჩნიათ 0,9 $M_{\max}$-ის ზონაში განლაგებული გრძივი მუშა არმატურის შედუღებული პირაპირები, A-IV და A-V კლასის არმატურისათვის γ_{s6}-ის მნიშვნელობა 1,1-ზე მეტი არ მიიღება, ხოლო A-VI კლასის არმატურისათვის—არაუმეტეს 1,05-ისა. $M_{\max}$ უდიდესი საანგარიშო მღუნავი მომენტია.

ა) ნებისმიერი სიმეტრიული პროფილის ღუნვადი ელემენტების გრძივი ღერძისადმი ნორმალური კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცეზე

საანგარიშო პირობით $\xi\leqslant\xi_R$ ღუნვადი ელემენტის ნორმალური კვეთის დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა მოცემულია VIII.24 ნახაზზე.



ნახ. VIII.24. წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ნებისმიერი სიმეტრიული პროფილის ღუნვადი ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური კვეთის ძალვების სქემა და ძაბვების ეპიურა სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას.

სიმტკიცის პირობა, ისევე, როგორც დაუძაბავი რკინაბეტონის ელემენტებისათვის, გამოისახება $M \leqslant \overline{M}$, სადაც $\overline{M}$—ზღვრული (მრღვევი) მომენტი განისაზღვრება წონასწორობის პირობის ($\sum M=0$) შესაბამისად ფორმულით

$$\overline{M}=R_bA_bz_b+R_{sc}A'_s(h_0-a'_s)+\sigma_{sc}A'_{sp}(h_0-a'_{sp}) \qquad \text{(VIII.34)}$$

და სიმტკიცის პირობა მიიღებს სახეს

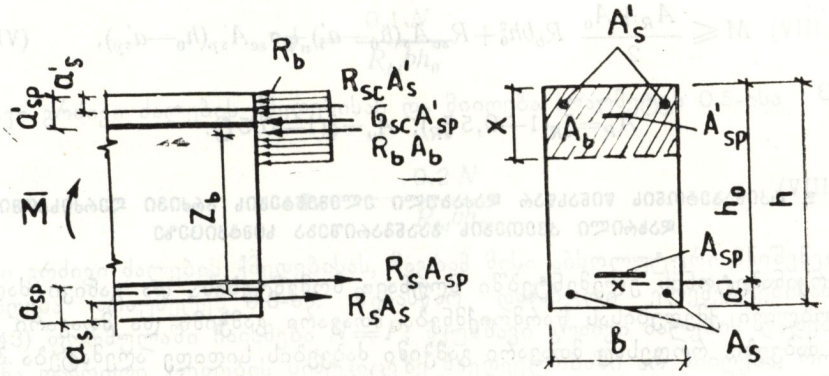
$$M \leqslant R_bA_bz_b+R_{sc}A'_s(h_0-a'_s)+\sigma_{sc}A'_{sp}(h_0-a'_{sp}). \qquad \text{(VIII.35)}$$

როდესაც σ_{sc} უარყოფითია (გამჭიმი), შეკუმშული ზონის დაძაბული არმატურა კვეთის ზიდვის უნარს რამდენადმე შეამცირებს.

ბ) მართკუთხა პროფილის ღუნვადი ელემენტების ნორმალური კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცეზე

დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემის (ნახ. VIII.25) მიხედვით ან ნებისმიერი სიმეტრიული კვეთისათვის შედგენილ საანგარიშო პირობებში (VIII.35) გეომეტრიული მახასიათებლების—$A_b=bx$ და $z_b=h_0-\frac{x}{2}$—ჩასმის შემდეგ მივიღებთ მართკუთხა კვეთის სიმტკიცის პირობას

$$M \leqslant R_bbx(h_0-0,5\,x)+R_{sc}A'_s(h_0-a'_s)+\sigma_{sc}A'_{sp}(h_0-a'_{sp}), \qquad \text{(VIII.36)}$$



ნახ. VIII. 25. წინასწარ დაძაბული მართკუთხა პროფილის ღუნვადი ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური კვეთის ძალვების სქემა და ძაბვების ეპიურა სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას საექსპლუატაციო დატვირთვის მოქმედებაზე.

რომელიც ცხრილების გამოყენების მიზნით გარდაქმნილი სახით წარმოგვიდგება ფორმულით

$$M \leqslant R_bA_0bh_0^2+R_{sc}A'_s(h_0-a'_s)+\sigma_{sc}A'_{sp}(h_0-a'_{sp}). \qquad \text{(VIII.37)}$$

წონასწორობის I პირობის ($\sum x=0$) თანახმად მივიღებთ

$$R_sA_s+R_sA_{sp}=R_bbx+R_{sc}A'_s+\sigma_{sc}A'_{sp},$$

საიდანაც განისაზღვრება ბეტონის შეკუმშული ზონის სიმაღლე

$$x=\frac{R_sA_s+R_sA_{sp}-R_{sc}A'_s-\sigma_{sc}A'_{sp}}{R_bb}; \qquad \text{(VIII.38)}$$

ბეტონის შეკუმშული ზონის დაყვანილი სიმაღლე — $\xi=\frac{x}{h_0}$ — გაიანგარიშება ფორმულით

$$\xi=\frac{R_sA_s+R_sA_{sp}-R_{sc}A'_s-\sigma_{sc}A'_{sp}}{R_bbh_0}. \qquad \text{(VIII.39)}$$

პირობის $\xi\leqslant\xi_R$ შემოწმების დროს ξ-ს ფორმულაში შეიძლება არ იქნეს გათვალისწინებული მაღალი სიმტკიცის არმატურის მუშაობის პირობების γ_{s6} კოეფიციენტი.

როდესაც ბეტონის შეკუმშული ზონის სიმაღლე ზემოთ მოყვანილი ფორმულიდან მიიღება ნულზე ნაკლები, კვეთის სიმტკიცე მოწმდება პირობით

$$M\leqslant(R_sA_s+R_sA_{sp})(h_0-a'). \qquad \text{(VIII.40)}$$

ღუნვადი ელემენტები უნდა დაგეგმარდეს ისე, რომ შესრულდეს $\xi\leqslant\xi_R$ პირობა. შებრუნებული შემთხვევა შეიძლება დაშვებულ იქნეს, როდესაც გრძივი მუშა არმატურის კვეთი შერჩეულია მეორე ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედით გაანგარიშებით ან კონსტრუქციული მოსაზრებებით.

როდესაც $\xi>\xi_R$, სიმტკიცეზე გაანგარიშება იწარმოებს ფორმულით

$$M\leqslant\frac{A_R+A_0}{2}R_bbh_0^2+R_{sc}A'_s(h_0-a'_s)+\sigma_{sc}A'_{sp}(h_0-a'_{sp}), \qquad \text{(VIII.41)}$$

სადაც

$$A_R=\xi_R(1-0{,}5\xi_R),\quad A_0=\xi(1-0{,}5\xi).$$

2. რკინაბეტონის წინასწარ დაძაბული ელემენტების გრძივი ღერძისადმი დახრილი კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცეზე

რკინაბეტონის ელემენტებში მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების ერთობლივი ქმედებისას წარმოიქმნება მთავარი გამჭიმი და მთავარი მკუმშავი ძაბვები. როდესაც მთავარი გამჭიმი ძაბვების სიდიდე აღემატება ბეტონის წინაღობას გაჭიმვაზე ($\sigma_{mt}>R_{bt}$), ვითარდება დახრილი ბზარები, ხოლო როდესაც მთავარი მკუმშავი ძაბვების სიდიდე აღემატება ბეტონის წინაღობას კუმშვაზე ($\sigma_{mc}>R_b$), ელემენტი ირღვევა.

მთავარი მკუმშავი ძაბვების გავლენით რღვევა მოსალოდნელია ღუნვად ელემენტებში თხელი კედლით (ტესებრი, ორტესებრი, კოლოფისებრი კვეთის) ან მოკლე კონსოლებში. მთავარი გამჭიმი ძაბვების ქმედების შედეგად დახრილი ბზარების განვითარება ხდება საანგარიშოზე დაბალი დატვირთვისას, ბეტონის დაბალი წინაღობის გამო გაჭიმვაზე.

როგორც მრავალრიცხოვანი გამოკვლევები ცხადყოფს, რკინაბეტონის ელემენტების გრძივი ღერძისადმი დახრილი კვეთების ზიდვის უნარი დამოკიდებულია გრძივი ძალების გავლენაზეც. მკუმშავი გრძივი ძალების ქმედები-

სას დახრილი კვეთის ზიდვის უნარი უფრო მაღალია, ხოლო გამჭიმი გრძივი ძალის ქმედებისას უფრო დაბალი, ვიდრე მხოლოდ მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების განვითარების შემთხვევაში.

წინასწარი მომკუმშავი ძალის გავლენა, ისევე, როგორც გარე დატვირთვით გამოწვეული საანგარიშო გრძივი ძალებისა, დახრილი კვეთების ზიდვის უნარზე სიმტკიცის საანგარიშო ფორმულებში აღწერილია φ_n კოეფიციენტით.

წინასწარ დაძაბული ელემენტების გაანგარიშება დახრილი კვეთების სიმტკიცეებზე წარმოებს იგივე დებულებებისა და საანგარიშო ფორმულების საფუძველზე, როგორც დაუძაბავი რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტებისათვის (იხ. თავი VI, § 2.4), მაგრამ წინასწარი მომკუმშავი ძალის გავლენის გათვალისწინებით. ამიტომ, ქვემოთ განხილულია ზოგადი მოსაზრებები და ძირითადი საანგარიშო ფორმულები მხოლოდ იმ თავისებურების — φ_n კოეფიციენტის სახით — გათვალისწინებით, რასაც იწვევს გრძივი ძალის, მღუნავი მომენტისა და განივი ძალის ერთობლივი მოქმედება.

წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ელემენტების გრძივი ღერძისადმი დახრილი კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცეზე შეიძლება არ ჩატარდეს, როდესაც $\sigma_{mt} < R_{bt}$, რაც გამოისახება უფრო მარტივი პირობით

$$Q \leqslant \varphi_{b3}(1+\varphi_n)\, R_{bt} b h_0, \qquad \text{(VIII.42)}$$

სადაც φ_n არის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს გრძივი ძალების გავლენას (კერძოდ, წინასწარი მომკუმშავი ძალის) დახრილი კვეთის ზიდვის უნარზე. განისაზღვრება იგი ფორმულებით:

$$\varphi_n = \frac{0{,}1\, N}{R_{bt} b h_0} \qquad \text{(VIII. 43)}$$

მკუმშავი გრძივი ძალების ქმედებისას და მიიღება არაუმეტეს 0,5-ისა და

$$\varphi_n = -\frac{0{,}2\, N}{R_{bt} b h_0} \qquad \text{(VIII.44)}$$

გამჭიმი გრძივი ძალების ქმედებისას, მაგრამ მისი აბსოლუტური მნიშვნელობა მიიღება არაუმეტეს 0,8-სა. წინასწარ დაძაბული ელემენტებისათვის (VIII.43) ფორმულაში ჩაისმება $N = P$; მკუმშავი გრძივი ძალების დადებითი გავლენა დახრილი კვეთების სიმტკიცეზე მხედველობაში არ მიიღება, როდესაც განსახილავ კვეთში მათ მიერ წარმოქმნილი მღუნავი მომენტისა და განივი დატვირთვით გამოწვეული მღუნავი მომენტების ნიშანი ერთნაირია.

როდესაც $Q > \varphi_{b3}(1+\varphi_n)\, R_{bt} b h_0$, რკინაბეტონის ელემენტების გრძივი ღერძისადმი დახრილი კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცეზე უნდა ჩატარდეს: 1. განივი ძალების მოქმედებაზე დახრილ ბზართა შორის კედლის შეკუმშული დახრილი ზოლისა: 2. განივი ძალის მოქმედებაზე დახრილ ბზარზე გამავალი კვეთისა; 3. მღუნავი მომენტის მოქმედებაზე დახრილ ბზარზე გამავალი კვეთისა.

დახრილ ბზართა შორის კედლის შეკუმშული ზოლის სიმტკიცე განივი ძალის მოქმედებაზე მოწმდება ფორმულით

$$Q \leqslant 0{,}3\, \varphi_{w1} \varphi_{b1} R_b b h_0. \qquad \text{(VIII.45)}$$

საანგარიშო პირობა მართებულია ელემენტებისათვის, რომელთა შეიარაღება განივი არმატურით მიღებულია გაანგარიშებით.

თუ დახრილ ბზარზე გამავალი კვეთის სიმტკიცისათვის გამოყენებულია განივი და დახრილი (აღუნული) არმატურა, განივი ძალის მოქმედებაზე გაანგარიშება წარმოებს ფორმულით

$$Q \leqslant Q_b + Q_{sw} + Q_{s,\text{inc}}, \tag{VIII.46}$$

სადაც Q_b არის განივი ძალა, რომელსაც იტანს შეკუმშული ზონის ბეტონი; განისაზღვრება ფორმულით

$$Q_b = \frac{\varphi_{b2}(1+\varphi_f+\varphi_n)\, R_{bt} b h_0^2}{c}. \tag{VIII.47}$$

Q_b-ს მნიშვნელობა მიიღება არანაკლები $\varphi_{b3}(1+\varphi_f+\varphi_n)\, R_{bt} b h_0$-ისა, ხოლო $(1+\varphi_f+\varphi_n)$—არაუმეტეს 1,5-ის.

Q_{sw}—საშიში დახრილი კვეთის ფარგლებში განლაგებული განივი არმატურის ძალვა;

$$Q_{sw} = \sum R_{sw} A_{sw} = q_{sw} c,$$

აქ $q_{sw} = \dfrac{R_{sw} A_{sw}}{s}$ არის განივი არმატურის ძალვა დაყვანილი ელემენტის სიგრძის ერთეულზე; $Q_{s,\text{inc}}$—დახრილი კვეთის ფარგლებში განლაგებული დახრილი (აღუნული) არმატურის ძალვა

$$Q_{s,\text{inc}} = \sum R_{sw} A_{s,\text{inc}} \sin\theta = q_{s,\text{inc}} c,$$

აქ $q_{s,\text{inc}} = \dfrac{R_{sw} A_{sw}}{s_{\text{inc}}} \sin\theta$ არის აღუნული არმატურის ძალვა, დაყვანილი ელემენტის სიგრძის ერთეულზე.

ელემენტებისათვის, რომელთა დახრილი კვეთების სიმტკიცის პირობით გამოყენებულია განივი არმატურა, საშიში დახრილი კვეთის პროექცია გრძივ ღერძზე განისაზღვრება ფორმულით

$$c_0 = \sqrt{\frac{\varphi_{b2}(1+\varphi_f+\varphi_n)\, R_{bt} b h_1^2}{q_{sw}}}; \tag{VIII.48}$$

q_{sw} სიდიდე უნდა აკმაყოფილებდეს მოთხოვნას

$$q_{sw} \geqslant \frac{\varphi_{b3}(1+\varphi_f+\varphi_n)\, R_{bt} b}{2}. \tag{VIII.49}$$

დახრილი კვეთის სიმტკიცის პირობით განივი და დახრილი არმატურის გამოყენების შემთხვევაში საშიში დახრილი კვეთის პროექციის მნიშვნელობა განისაზღვრება ფორმულით

$$c_0 = \sqrt{\frac{\varphi_{b2}(1+\varphi_f+\varphi_n)\, R_{bt} b h_0^2}{q_{sw}+q_{s,\text{inc}}}}, \tag{VIII.50}$$

მაგრამ დაკმაყოფილებული უნდა იყოს მოთხოვნა, რომ

$$c_0 \geqslant \frac{\varphi_{b3}(1+\varphi_f+\varphi_n)\, R_{bt} b h_0}{q_{sw}+q_{s,\text{inc}}}. \tag{VIII.51}$$

დახრილი კვეთების გაანგარიშებისას მღუნავი მომენტების ქმედებაზე, დახრილი კვეთის სიმტკიცის პირობაში გრძივი ძალების დადებითი (ან უარყოფითი) გავლენა აშკარად არ აისახება

$$M \leqslant M_s + M_{sw} + M_{s,\text{inc}}. \qquad \text{(VIII.52)}$$

რკინაბეტონის ელემენტები, რომელთაც განივი (და დახრილიც) არმატურა არ გააჩნიათ დახრილ ბზარზე გამავალი დახრილი კვეთების სიმტკიცის უზრუნველსაყოფად, იანგარიშება პირობით

$$Q \leqslant \frac{\varphi_{b4}(1+\varphi_n)\, R_{bt} b h_0^2}{c}, \qquad \text{(VIII.53)}$$

სადაც პირობის მარჯვენა მხარე არ უნდა იყოს მეტი, ვიდრე $2{,}5\, R_{bt} b h_0$ და ნაკლები, ვიდრე $\varphi_{b3}(1+\varphi_n)\, R_{bt} b h_0$.

3. ღუნვადი ელემენტების ნორმალური კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცეზე წინასწარი მოკუმშვის ხტადიაზე

ბეტონზე მომკუმშავი ძალის გადაცემისას შეიძლება შეიქმნეს რღვევის ან მდგრადობის დაკარგვის საშიშროება ელემენტის არასაკმარისი სიხისტისა და განივკვეთის ზომების უკმარისობის ან ბეტონის დაბალი სიმტკიცის გამო.

წინასწარი მოკუმშვის დროს სიმტკიცეზე გაანგარიშებაში დაძაბული არმატურის ძალვა წარმოდგენილია, როგორც გარე დატვირთვა. ეს მომკუმშავი ძალა განისაზღვრება შემდეგნაირად:

ა) საბჯენებზე დაჭიმვის დროს

$$N_{sp} = (\sigma_{sp} - 330{,}0)\, A'_{sp}, \qquad \text{(VIII.54)}$$

სადაც A'_{sp} არის დამზადების პროცესში უფრო მეტად შეკუმშული ზონის დაძაბული არმატურის განივკვეთის ფართობი; σ_{sp}—წინასწარი ძაბვები არმატურაში პირველი დანაკარგებისა და დაჭიმვის სიზუსტის კოეფიციენტის—$\gamma_{sp} > 1$—გათვალისწინებით.

ბ) ბეტონზე დაჭიმვის დროს N_{sp} იანგარიშება მთელი დაძაბული არმატურის მიხედვით

$$N_{sp} = \sigma_{\text{con}\cdot 2} A_{sp}. \qquad \text{(VIII.55)}$$

თუ არმატურის დაჭიმვა ხდება ჯგუფ-ჯგუფად, რიგრიგობით, ძაბვის სიდიდე დაძაბულ არმატურაში მიიღება σ_{sp}—σ_{los} ტოლი, სადაც σ_{los} არის დაძაბული არმატურის წინასწარი ძაბვების დანაკარგები, რომლის სიდიდე იანგარიშება VIII.55, ა ფორმულით და მიიღება არაუმეტეს 280,0 *MPa*:

$$\sigma_{\text{los}} = \frac{A_1}{A_2} \cdot \frac{A_{sp} - A_{sp.\text{უძ}}}{A_{sp}}\, 330, \qquad \text{(VIII.55, ა)}$$

სადაც A_1, A_2 არის შესაბამისად მოსაკუმში ელემენტის უმცირესი და უდიდესი განივკვეთის ფართობი; A_{sp}, $A_{sp\cdot\text{უძ}}$—შესაბამისად დაძაბული არმატურის ყველა ჯგუფის საერთო და უკანასკნელი დასაძაბი ჯგუფის ფართობი.

330 *MPa*—ითვალისწინებს არმატურის წინასწარი ძაბვების დამატებით შემცირებას იმის გამო, რომ სწრაფი მოკუმშვისას ბეტონის პლასტიკური დეფორმა-

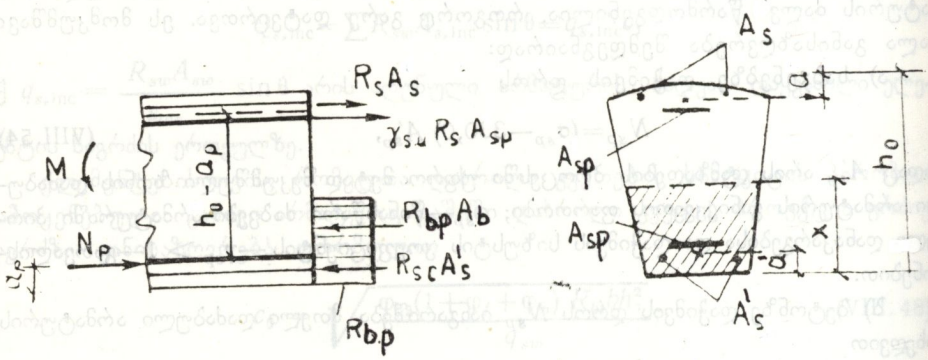
ციები შეიძლება სრულად არ განვითარდეს და ε_b აღმოჩნდეს ჩვეულებრივ მიღებულ სიდიდეზე—0,002-ზე ნაკლები.

მოკუმშვის დროს სიმტკიცეზე გაანგარიშება ხდება ბეტონის საანგარიშო R_{bp} წინაღობის მიხედვით, რომელიც შეესაბამება ბეტონის ასაკს მოკუმშვის სტადიაზე. იგი გაანგარიშებაში შედის მუშაობის პირობების γ_{bs} კოეფიციენტის გათვალისწინებით; მუშაობის პირობების γ_{bs} კოეფიციენტი მოცემულია დაპროექტების ნორმების მე-15 ცხრილში (და X დანართში), დამოკიდებულია ბეტონისა და არმატურის სახეობაზე; მისი სიდიდე იცვლება 1,1÷1,25-ის ფარგლებში.

არაცენტრალური მოკუმშვის დროს მომკუმშავი ძალა განისაზღვრება მხოლოდ იმ ძალვის მიხედვით, რომელიც ელემენტის კვეთის მეტად დაძაბულ კიდეზე განლაგებულ არმატურაში მოქმედებს.

საბჯენებზე არმატურის დაჭიმვის შემთხვევაში სიმტკიცეზე გაანგარიშება ცენტრალურად მოკუმშვის დროს შეიძლება არ ჩატარდეს.

არაცენტრალური მოკუმშვისას, როდესაც მომკუმშავი ძალები განლაგებულია კვეთის სიმეტრიის ღერძზე გამავალ სიბრტყეში, გაღუნვის გავლენა მხედველობაში არ მიიღება არმატურის დაჭიმვის შემთხვევაში საბჯენებზე (და ბეტონზე დაჭიმვის დროსაც, თუ არმატურა დახურულ არხებშია განლაგებული და განივკვეთში ძვრის საშუალება არ გააჩნია).



ნახ. VIII. 26. წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური კვეთის ძალვების სქემა და ძაბვების ეპიურა მოკუმშვის სტადიაზე სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას.

დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა არაცენტრალურად მოკუმშვისას მოცემულია VIII.26 ნახაზზე.

საბჯენებზე არმატურის დაჭიმვისას სიმტკიცის პირობით ნორმალური კვეთის გაანგარიშება მომკუმშავი ძალის მოქმედებაზე წარმოებს ბეტონის შეკუმშული ზონის სიმაღლის მიხედვით, რომელიც განისაზღვრება წონასწორობის პირობის ($\sum x = 0$) მიხედვით, ფორმულიდან

$$N_{sp} = R_s A'_s + R_s A'_{sp} - R_{sc} A_s - R_b A_{bp}. \qquad \text{(VIII.56)}$$

აქედან გამოთვლილი შეკუმშული ზონის სიმაღლის შესაბამისად, როდესაც $\xi > \xi_R$, სიმტკიცეზე გაანგარიშება წარმოებს ფორმულით

$$N_{sp}e \leqslant S_{bp}A_{bp}z_{bp}+R_{sc}A'_s(h_0-a'_s); \qquad \text{(VIII.57)}$$

როდესაც $\xi > \xi_R$, სიმტკიცეზე შემოწმება იწარმოებს ფორმულით

$$N_{sp}e \leqslant R_{bp}\,(A_{bp}z_{bp})_{max}+R_{sc}A'_s(h_0-a'_s), \qquad \text{(VIII.58)}$$

სადაც A_{bp} არის წინასწარი მოკუმშვის სტადიაზე შეკუმშული ზონის ბეტონის ფართობი; z_{bp}—მოკუმშვის სტადიაზე შეკუმშული ბეტონის ფართობის სიმძიმის ცენტრიდან გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა არმატურის (დაძაბული და დაუძაბავიც) განივკვეთის სიმძიმის ცენტრამდე მანძილი.

§ 8. წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ელემენტების გაანგარიშება ბზარმედეგობაზე

1. გაანგარიშება ბზარების წარმოქმნის მიხედვით

გაანგარიშება ბზარების წარმოქმნის მიხედვით წარმოებს ელემენტების გრძივი ღერძისადმი ნორმალური და დახრილი კვეთებისათვის და მიზნად ისახავს:

1. დაკმაყოფილებულ იქნეს ბზარმედეგობის მოთხოვნები, ე. ი. არ გაუჩნდეს ბზარები ელემენტებს, რომელთაც წაეყენებათ ბზარმედეგობის პირველი კატეგორიის მოთხოვნები; არ გაუჩნდეს ბზარები ისეთ ელემენტებს, რომელთაც წაეყენებათ მეორე კატეგორიის მოთხოვნები, თუ ბზარების საიმედოდ დახურვა ხანგრძლივი დატვირთვისას შეუძლებელია; არ გაუჩნდეთ ბზარები ელემენტებს იმ უბანზე, სადაც ხდება არმატურიდან წინასწარი ძაბვების გადაცემა ბეტონზე (უანკერო დაძაბული არმატურის გამოყენებისას);

2. ბზარების გახსნის მიხედვით გაანგარიშების აუცილებლობის დადგენას;

3. დეფორმაციათა მიხედვით გაანგარიშების შეშთხვევის — ბზარების წარმოქმნის შესაძლებლობის — დადგენას.

ბზარწარმომქმნელი ძალვა რკინაბეტონის ელემენტების გრძივი ღერძისადმი ნორმალური კვეთებისათვის განისაზღვრება შემდეგი წინაპირობების გათვალისწინებით:

ელემენტის დეფორმაციის შემდეგ კვეთები რჩება ბრტყელი;

გაჭიმული ზონის ბეტონში ნორმალური ძაბვები განაწილებულია თანაბრად და მათი სიდიდე უდრის ბეტონის საანგარიშო წინაღობას გაჭიმვაზე $R_{bt,ser}$-ს;

ბეტონის კიდურა გაჭიმული ბოჭკოს უდიდესი ფარდობითი დეფორმაცია ტოლია $\frac{2R_{bt,ser}}{E_b}$;

შეკუმშული ზონის ბეტონის ძაბვები (თუ ასეთი ზონა კვეთს გააჩნია) განისაზღვრება დრეკადი დეფორმაციების მიხედვით. არაცენტრალურად შეკუმშული და ღუნვადი ელემენტებისათვის გარკვეულ პირობებში იქმნება არადრეკადი დეფორმაციების გათვალისწინების საჭიროებაც.

ბზარწარმომქმნელი ძალვა იწვევს დაძაბულ მდგომარეობას, რომელიც დამახასიათებელია I სტადიის დასასრულისათვის; ამ დროს დაუძაბავ არმატურაში ძაბვები ტოლია ბეტონის შეკლებითა და ცოცვადობით გამოწვეუ-

ლი ძაბვების დანაკარგებისა ($-\sigma_s=-\sigma_6-\sigma_8-\sigma_9$) და მოკუმშვის ჩაქრობიდან ბზარების წარმოქმნამდე არმატურის გარშემო მდებარე ბეტონის დეფორმაციების ნაზრდის შესაბამისი ძაბვების ($2\alpha R_{bt,ser}$) ალგებრული ჯამის

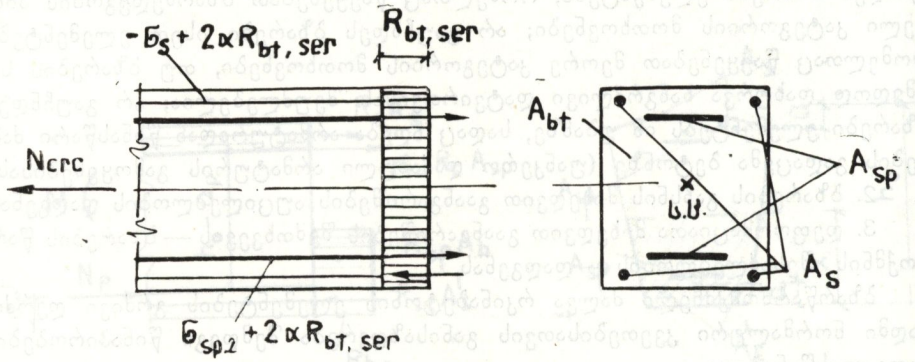
$$-\sigma_s+2\alpha R_{bt,ser}=-(\sigma_6+\sigma_8+\sigma_9)+2\alpha R_{bt,ser}.$$

დაძაბულ არმატურაში ძაბვები ტოლია არმატურის წინასწარი ძაბვებისა (სრული დანაკარგების გათვალისწინებით) და მოკუმშვის ჩაქრობიდან ბზარების წარმოქმნამდე ბეტონის დეფორმაციათა ნაზრდის შესაბამისი არმატურის ძაბვების ნაზრდის ალგებრული ჯამის

$$\sigma_{sp}-\sigma_{los}+2\alpha R_{bt,ser}=\sigma_{sp.2}+2\alpha R_{bt,ser}.$$

ა) ცენტრალურად გაჭიმული წინასწარ დაძაბული ელემენტების გაანგარიშება ბზარების წარმოქმნის მიხედვით ექსპლუატაციის სტადიაზე

ცენტრალურ გაჭიმვაზე მომუშავე ელემენტის წინასწარი მოკუმშვა ხდება ცენტრალურადვე. ასეთი ელემენტის დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა ბზარების წარმოქმნისას, I სტადიის დასასრულს, ნაჩვენებია VIII.27 ნახაზზე.



ნახ. VIII. 27. წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური კვეთის ძალვების სქემა და ძაბვების ეპიურა გარე დატვირთვით გაჭიმულ ზონაში გრძივი ღერძისადმი ნორმალური ბზარების წარმოქმნის მიხედვით გაანგარიშებისას.

გაანგარიშება ბზარების წარმოქმნის მიხედვით წარმოებს პირობით

$$N \leqslant N_{crc}, \qquad \text{(VIII.59)}$$

სადაც N არის საანგარიშო დატვირთვებით გამოწვეული გამჭიმი ძალის სიდიდე (როდესაც საიმედოობის კოეფიციენტი დატვირთვის მიხედვით $\gamma_f > 1$); N_{crc}—ბზარწარმომქმნელი ძალა—გამჭიმი ძალა, რომელსაც იტანს კვეთი ბზარების წარმოქმნისას.

დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემის მიხედვით, წონასწორობის პირობის ($\sum x=O$) შესაბამისად, ბზარწარმომქმნელი გრძივი ძალა იანგარიშება ფორმულით

$$N_{crc}=R_{bt,ser}\,(A+2\alpha A_s+2\alpha A_{sp})+P, \qquad \text{(VIII.60)}$$

სადაც A_{sp} არის მთელი დაძაბული არმატურის განივკვეთის ფართობი; A_s—მთელი დაუძაბავი არმატურის განივკვეთის ფართობი: σ_{sp}—დაძაბული გრძივი არმატურის წინასწარი ძაბვები საანგარიშო სტადიაზე მომხდარი დანაკარგების გათვალისწინებით; σ_s—ძაბვები დაუძაბავ არმატურაში მოკუმშვის ჩაჩრობის სტადიაზე; ეს ძაბვები მკუმშავია და სიდიდით ტოლია ბეტონის შეკლებითა და ცოცვადობით გამოწვეული წინასწარი ძაბვების დანაკარგების ჯამის $\sigma_s=\sigma_6+\sigma_8+\sigma_9$; P—მომკუმშავი ძალის სიდიდე, რომელიც ტოლია

$$P=\sigma_{sE}A_{sp}-\sigma_sA_s. \qquad \text{(VIII.61)}$$

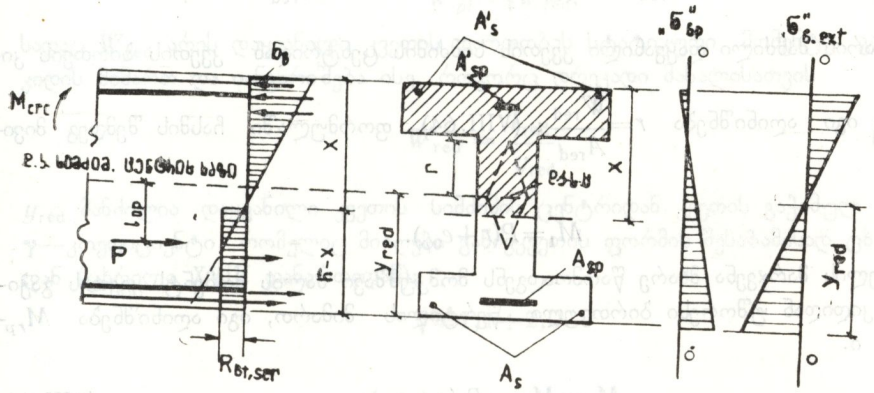
დაუძაბავი არმატურა რამდენადმე აქვეითებს კვეთის ბზარმედეგობას.

ბ) ღუნვადი წინასწარ დაძაბული ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური კვეთის გაანგარიშება ბზარების წარმოქმნის მიხედვით ექსპლუატაციის სტადიაზე

გაანგარიშება წარმოებს პირობის მიხედვით

$$M\leqslant M_{crc}, \qquad \text{(VIII.62)}$$

სადაც M არის საანგარიშო მღუნავი მომენტის მნიშვნელობა (როდესაც $\gamma_f>1$); M_{crc}—ბზარწარმომქმნელი მომენტი—მღუნავი მომენტი, რომელსაც იტანს კვეთი ბზარების წარმოქმნის დროს.



ნახ. VIII. 28. წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური კვეთის ძალვების სქემა და ძაბვების ეპიურა გარე დატვირთვით გაჭიმულ, წინასწარი მომკუმშავი ძალით შეკუმშულ ზონაში ნორმალური ბზარების წარმოქმნის მიხედვით გაანგარიშებისას.

წინასწარ დაძაბული ღუნვადი ელემენტის ნორმალური კვეთის დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა ბზარების წარმოქმნის დროს საექსპლუატაციო დატვირთვების მოქმედებისას მოცემულია VIII.28 ნახაზზე.

ბზარწარმომქმნელი მომენტი შეიძლება განისაზღვროს დაპროექტების ნორმებით რეკომენდებული მიახლოებითი მეთოდით — ბირთვული მომენტების მიხედვით. ბზარწარმომქმნელი მომენტი წარმოვიდგინოთ ორი წევრის ჯამის სახით

$$M_{\text{crc}} = M_1 + M_2, \tag{VIII.63}$$

M_1 ბზარწარმომქმნელი მომენტის ნაწილია, რომლის ტოლი მღუნავი მომენტის მოქმედებისას ჩაქრება წინასწარი მოკუმშვის ძაბვები კვეთის გაჭიმულ კიდეზე, ხოლო M_2—მომენტის ნაზრდი მოკუმშვის ჩაქრობიდან დაძაბული მდგომარეობის პირველი სტადიის დასრულებამდე, ე. ი. როდესაც ბეტონის ძაბვები ნულიდან მიაღწევს $R_{bt,\text{ser}}$ საანგარიშო წინაღობის სიდიდეს გაჭიმვაზე.

$$M_1 = \sigma_{bp} W_{\text{red}}; \tag{VIII.64}$$

$$M_2 = R_{bt,\text{ser}} W_{pl}; \tag{VIII.65}$$

სადაც σ_{bp} არის მოკუმშვის ძაბვების სიდიდის ტოლი გამჭიმი ძაბვები, გამოწვეული საექსპლუატაციო დატვირთვის იმ ნაწილისაგან, რომელიც კვეთში აღძრავს M_1-ის ტოლ მღუნავ მომენტს. $R_{bt,\text{ser}}$— ბეტონის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე მეორე ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშებისას; W_{red}—რკინაბეტონის ელემენტის დაყვანილი კვეთის წინაღობის მომენტი გაჭიმული კიდის მიმართ; W_{pl}—რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტის ნორმალური კვეთის დრეკად-პლასტიკური წინაღობის მომენტი ბზარების წარმოქმნისას.

$$\sigma_{bp} W_{\text{red}} = \left(\frac{P}{A_{\text{red}}} + \frac{P e_{0p}}{I_{\text{red}}} y_{\text{red}} \right) W_{\text{red}} = P \left(\frac{W_{\text{red}}}{A_{\text{red}}} + e_{op} \right);$$

$\frac{W_{\text{red}}}{A_{\text{red}}}$ არის მანძილი დაყვანილი კვეთის სიმძიმის ცენტრიდან კვეთის ბირთვის კიდემდე; იგი აღინიშნება $r = \frac{W_{\text{red}}}{A_{\text{red}}}$; (VIII.64) ფორმულაში ჩასმის შემდეგ მივიღებთ

$$M_1 = P(r + e_{0p}).$$

ფორმულის მარჯვენა მხარე წარმოადგენს მომკუმშავი ძალის მომენტს კვეთის გაჭიმული კიდიდან უშორესი ბირთვული წერტილის მიმართ, იგი აღინიშნება M_{rp}-ით, ე. ი.

$$M_1 = M_{rp} = P(r + e_{0p}) \tag{VIII.66}$$

და მივიღებთ, რომ ბზარწარმომქმნელი მომენტი იანგარიშება ფორმულით

$$M_{\text{crc}} = R_{bt,\text{ser}} W_{pl} + M_{rp}. \tag{VIII.67}$$

დაპროექტების გამოცდილების შესაბამისად, წინასწარ დაძაბული ღუნვადი ელემენტებისათვის r მიიღება ტოლი

$$r = \varphi \frac{W_0}{A_{\text{red}}}; \quad \text{აქ } \varphi = 1{,}6 - \frac{\sigma_b}{R_{b.\text{ser}}} \left.\begin{matrix} \\ \\ \end{matrix}\right\} \begin{matrix} \geqslant 0{,}7, \\ \leqslant 1{,}0. \end{matrix}$$

W_{pl} დრეკად-პლასტიკური წინაღობის მომენტი ბზარების წარმოქმნისას იანგარიშება ფორმულით

$$W_{pl} = \frac{2(I_{b0}+\alpha I_{s0}+\alpha I'_{s0})}{h-x} + S_{bt.0}, \qquad \text{(VIII.68)}$$

ხოლო ნულოვანი ხაზის მდებარეობა პირობით, რომ კვეთის ფართობის სტატიკური მომენტი ნეიტრალური ღერძის მიმართ ნულის ტოლია, იანგარიშება ფორმულიდან

$$S_{b0} + \alpha S'_{s0} - \alpha S_{s0} = \frac{(h-x)\,A_{bt}}{2}, \qquad \text{(VIII.69)}$$

სადაც I_{b0} არის შეკუმშული ზონის ბეტონის ფართობის ინერციის მომენტი ნულოვანი ხაზის მიმართ;

I_{s0} და I'_{s0}—შესაბამისად გაჭიმულ და შეკუმშულ ზონაში განლაგებული S და S' გრძივი მუშა არმატურის ფართობების ინერციის მომენტები ნულოვანი ხაზის მიმართ;

$S_{bt.0}$ და S_{b0}—შესაბამისად გაჭიმული და შეკუმშული ზონის ბეტონის ფართობების სტატიკური მომენტები ნულოვანი ხაზის მიმართ;

A_{bt}—გაჭიმული ზონის ბეტონის ფართობი;

S_{s0} და S'_{s0}—შესაბამისად გაჭიმული და შეკუმშული ზონის გრძივი მუშა არმატურის ფართობების სტატიკური მომენტები ნულოვანი ღერძის მიმართ.

რკინაბეტონის ელემენტის ნორმალური კვეთის დრეკად-პლასტიკური W_{pl} წინაღობის მომენტის სიდიდე შეიძლება ვიანგარიშოთ მიახლოებით, ფორმულით

$$W_{pl} = \gamma W_{red}, \qquad \text{(VIII.70)}$$

სადაც W_{red} არის დაყვანილი კვეთის ფართობის სტატიკური მომენტი გაჭიმული კიდის მიმართ და იანგარიშება ისე, როგორც დრეკადი მასალისათვის

$$W_{red} = \frac{I_{red}}{y_{red}}; \qquad \text{(VIII.71)}$$

y_{red} მანძილია დაყვანილი კვეთის სიმძიმის ცენტრიდან კვეთის გაჭიმულ კიდემდე; γ—კოეფიციენტი, რომელიც მიიღება განივკვეთის ფორმის შესაბამისად ცხრილებიდან (ცხრილი XVIII დანართიდან);

$$\gamma = 1{,}1 \div 2{,}0.$$

გ) წინასწარ დაძაბული ღუნვადი ელემენტების გრძივი ღერძისადმი დახრილი კვეთების გაანგარიშება ბზარების წარმოქმნის მიხედვით

ღუნვად წინასწარ დაძაბულ რკინაბეტონის ელემენტს დახრილი ბზარები არ გაუჩნდება, როდესაც დაკმაყოფილებულია პირობა

$$\sigma_{mt} \leqslant \gamma_{b4} R_{bt,ser}, \qquad \text{(VIII.72)}$$

სადაც σ_{mt} არის ბეტონის მთავარი გამჭიმი ძაბვა; γ_{b4}—ბეტონის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი, რომელიც იანგარიშება ფორმულით

$$\gamma_{b4}=\frac{1-\sigma_{mc}/R_{b,\text{ser}}}{0{,}2+\alpha B}\leqslant 1, \qquad \text{(VIII. 73)}$$

აქ α არის კოეფიციენტი, რომელიც ბეტონის სახეობის შესაბამისად მიიღება ტოლი

$\alpha=0{,}01$ მძიმე ბეტონებისათვის,

$\alpha=0{,}02$ წვრილმარცვლოვანი და მსუბუქი ბეტონებისათვის;

B ბეტონის კლასია სიმტკიცის მიხედვით კუმშვაზე, MPa; αB სიდიდე მიიღება არანაკლები 0,3-ისა.

ბზარმედეგობის შემოწმება კვეთის სიმაღლეზე ხდება ნულოვანი ხაზის დონეზე და სიგანის მკვეთრი ცვლის ადგილას.

ბეტონის მთავარი გამჭიმი და მთავარი მკუმშავი ძაბვები იანგარიშება ფორმულით

$$\sigma_{\substack{mt\\mc}}=\frac{\sigma_x+\sigma_y}{2}\pm\sqrt{\frac{(\sigma_x-\sigma_y)^2}{4}+\tau_{xy}^2}, \qquad \text{(VIII.74)}$$

სადაც σ_x არის ნორმალური ძაბვები ბეტონში, ელემენტის გრძივი ღერძისადმი მართობულ კვეთში, გამოწვეული გარე დატვირთვებითა და წინასწარი მოკუმშვის P ძალით; σ_y—ნორმალური ძაბვები ბეტონში, ელემენტის გრძივი ღერძისადმი პარალელურ ფართობზე, ადგილობრივი დატვირთვებისა (რეაქცია, შეყურსული გარე ძალა, განაწილებული დატვირთვა) და დაძაბული განივი და დახრილი არმატურის წინასწარი მომკუმშავი ძალით; τ_{xy}—მხები ძაბვები ბეტონში, გამოწვეული გარე დატვირთვითა და აღუნული არმატურის წინასწარი დაძაბვით.

σ_x და σ_y ჩაისმება (VIII.74) ფორმულაში „პლუს“ ნიშნით, როდესაც იგი გამჭიმია და „მინუს“ ნიშნით, როდესაც მკუმშავია; ძაბვები განისაზღვრება როგორც დრეკადი ტანისათვის, ფორმულით

$$\sigma_x=\sigma_{bp}\pm\frac{M}{I_{\text{red}}}y=-\frac{P}{A_{\text{red}}}\pm\frac{Pe_{0p}}{I_{\text{red}}}\pm\frac{M}{I_{\text{red}}}y, \qquad \text{(VIII.75)}$$

$$\sigma_y=\sigma_{yp}+\sigma_{y.\text{loc}}, \qquad \text{(VIII.76)}$$

სადაც σ_{yp} არის საკიდებისა და აღუნული არმატურის წინასწარი დაძაბვით გამოწვეული მკუმშავი ძაბვები ბეტონში

$$\sigma_{yp}=-\frac{\sigma_{sp.w}A_{sp.w}}{sb}-\frac{\sigma_{sp.\text{inc}}A_{sp.\text{inc}}}{s_{\text{inc}}b}\sin\gamma, \qquad \text{(VIII.77)}$$

აქ $A_{sp.w}$ არის ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალურ ერთ კვეთში განლაგებული დაძაბული საკიდების განივკვეთის ფართობი;

$A_{sp.\text{inc}}$—იმ დაძაბული აღუნული არმატურის განივკვეთის ფართობი, რომელიც მთავრდება $s_{\text{inc}}=\frac{h}{2}$ სიგრძის უბანზე და განლაგებულია საანგარიშო 0—0 კვეთის მიმართ სიმეტრიულად. საანგარიშო აღუნული არმატურის განლაგება მოცემულია VIII.29 ნახაზზე.

$\sigma_{sp.w}$ და $\sigma_{sp.\text{inc}}$—წინასწარი ძაბვების სიდიდე ყველა დანაკარგის გამოვლინების შემდეგ შესაბამისად საკიდებსა და აღუნულ არმატურაში;

s—საკიდების ბიჯი;

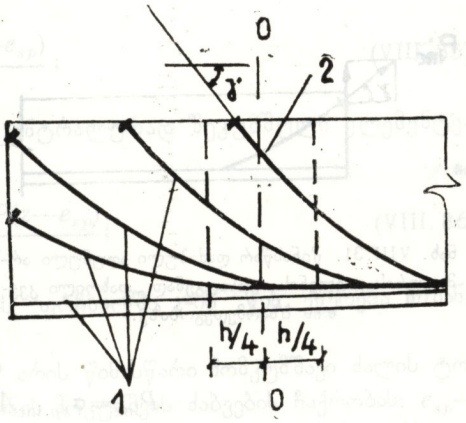
s_{inc}—აღუნული არმატურის ბიჯი.

ადგილობრივი ძაბვები გარე დატვირთვებისაგან (ნახ. VIII.30) იანგარიშება როგორც დრეკადი ტანისათვის, ფორმულით

$$\sigma_{y.loc} = \frac{F_{loc}}{bh} \frac{\beta^3}{1.57} \times$$

$$\times \left[\frac{3-2\beta}{(1+\alpha^2)^2} - \frac{\beta}{(\alpha^2+\beta^2)^2} \right], \quad \text{(VIII.78)}$$

სადაც $\alpha = \frac{x}{h}$, $\beta = \frac{y}{h}$.



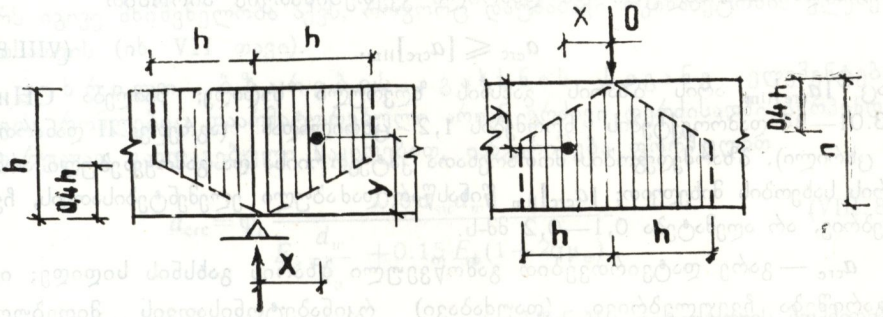
ნახ. VIII.29. მთავარი ძაბვების გაანგარიშებით გასათვალისწინებელი დაძაბული აღუნული არმატურა.

$\sigma_{y.loc}$ შეიძლება ვაანგარიშოთ გამარტივებული ფორმულითაც ცხრილების გამოყენებით

$$\sigma_{y.loc} = k_y \frac{F_{loc}}{bh}, \quad \text{(VIII.78, ა)}$$

სადაც k_y კოეფიციენტი მიიღება სპეციალური ცხრილიდან [49].

ადგილობრივი ძაბვების გათვალისწინება ხდება შეყურსული ძალის მოდების ადგილიდან $x=0,7y$ სიგრძის უბანზე ძალის ორივე მხრიდან (ნახ.VIII.30).



ნახ. VIII. 30. ადგილობრივი დატვირთვის გავლენის ზონა.

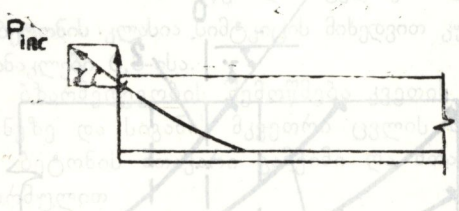
მხები ძაბვები იანგარიშება ფორმულით

$$\tau_{xy} = \frac{Q S_{red}}{b I_{red}}, \quad \text{(VIII.79)}$$

სადაც S_{red} არის კვეთის განსახილველი ბოჭკოს ზემოთ მდებარე ნაწილის დაყვანილი ფართობის სტატიკური მომენტი დაყვანილი კვეთის ცენტრალური ღერძის მიმართ; b—ელემენტის კვეთის სიგანე საანგარიშო ბოჭკოს

დონეზე; Q—განსახილველ კვეთში განივი ძალის სიდიდე გარე დატვირთვისა და მოკუმშვის ძალისაგან იმ ელემენტებში, რომელთაც დაძაბული დახრილი ან მრუდხაზოვანი არმატურა გააჩნიათ (ნახ. VIII.26); Q გამოითვლება ფორმულით

$$Q = Q_{ext} - \sum P_{inc} \sin \gamma, \quad \text{(VIII.80)}$$



ნახ. VIII.31. წინასწარ დაძაბული აღუწული არმატურის გავლენის დასადგენად დახრილი კვეთის ბზარმედეგობაზე.

სადაც Q_{ext} არის განივი ძალა გარე დატვირთვისაგან, როდესაც $\gamma_f > 1$; P_{inc}—ძალვა დაჭიმულ აღუნულ ღეროში, რომელიც მთავრდება საყრდენზე ან იმ უბანზე, რომელიც მდებარეობს საყრდენსა და საანგარიშო 0—0 კვეთს შორის საანგარიშო კვეთიდან სიმაღლის მეოთხედის ტოლ ან ნაკლებ მანძილზე (ნახ. VIII.31), იანგარიშება ფორმულით

$$P_{inc} = \sigma_{sp.inc} A_{sp.inc}. \quad \text{(VIII.81)}$$

როდესაც დახრილი კვეთების ბზარმედეგობის საანგარიშო (VIII.72) პირობა დაკმაყოფილებული არ არის, უნდა მოეწყოს განივი ან დახრილი არმატურის დაძაბვა, და თუ დაძაბვა არსებობდა — გაძლიერდეს.

2. გაანგარიშება ბზარების გახსნის მიხედვით

ბზარების გახსნის მიხედვით გაანგარიშება წარმოებს ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური და დახრილი კვეთებისათვის პირობით

$$a_{crc} \leqslant [a_{crc}]_{lim}, \quad \text{(VIII.82)}$$

სადაც $[a_{crc}]_{lim}$ არის ბზარის გახსნის ზღვრული სიდიდე; მიიღება СНиП 2.03.01—84 დაპროექტების ნორმების 1,2 ცხრილიდან (აგრეთვე II დანართის 1,2 ცხრილი), ბზარმედეგობის მოთხოვნათა კატეგორიისა და გამოყენებული არმატურის სახეობის მიხედვით; $[a_{crc}]_{lim}$ წინასწარ დაძაბული ელემენტებისათვის, ჩვეულებრივ, არ აღემატება 0,1—0,2 მმ-ს.

a_{crc} — გარე დატვირთვებით გამოწვეული ბზარის გახსნის სიდიდე; იგი იანგარიშება ჩვეულებრივი (დაუძაბავი) რკინაბეტონისათვის მიღებული ფორმულებით

ნორმალური ბზარის გახსნის სიგანე იანგარიშება ფორმულით

$$a_{crc} = \delta \varphi_l \eta \frac{\sigma_s}{E_s} 20(3.5 - 100\mu) \sqrt[3]{d}. \quad \text{(VIII.83)}$$

ფორმულის ყოველ წევრს, გარდა σ_s-ისა, იგივე მნიშვნელობა აქვს, როგორც დაუძაბავი რკინაბეტონის ელემენტებისათვის. წინასწარი დაძაბვის შემთხვევაში σ_s არის კვეთის ვაჭიმული ზონის კიდურა რიგში მდებარე არმატურის ძაბვების ნაზრდი ბეტონის მოკუმშვის ჩაქრობიდან განსახილველ სტადიამდე. σ_s იანგარიშება ფორმულებით:

ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტებისათვის

$$\sigma_s = \frac{N-P}{A_s}; \qquad \text{(VIII.84)}$$

ღუნვადი ელემენტებისათვის

$$\sigma_s = \frac{M-P(z-e_{sp})}{A_s z}; \qquad \text{(VIII.85)}$$

არაცენტრალურად გაჭიმული და არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტებისათვის

$$\sigma_s = \frac{N(e_s \pm z)-P(z-e_{sp})}{A_s z}; \qquad \text{(VIII.86)}$$

ამ ფორმულის მრიცხველის პირველ წევრს ფრჩხილში z-ის წინ ეწერება ნიშანი „პლუსი“ არაცენტრალური გაჭიმვისას.

σ_s-ის საანგარიშო ფორმულებში P არის წინასწარი მომკუმშავი ძალის ტოლი გრძივი ძალა, რომელიც იწვევს ბეტონის მოკუმშვის ძაბვების ჩაქრობას; e_{sp}—მანძილი მომკუმშავი ძალიდან გაჭიმული არმატურის სიმძიმის ცენტრამდე; N—გარე დატვირთვებით გამოწვეული გრძივი ძალა (მკუმშავი ან გამჭიმი); e_s—მანძილი გრძივი ძალიდან გაჭიმული არმატურის სიმძიმის ცენტრამდე; A_s—გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა არმატურის (როგორც დაძაბული, ისე დაუძაბავი) ჯამური ფართობი; z—შიგა ძალთა მხარი; M—გარე დატვირთვით გამოწვეული მღუნავი მომენტი განსახილველ სტადიაზე.

ბზარების გახსნის სიდიდის გამოსახულებაში σ_s-ს გარდა ყველა სხვა წევრს იგივე მნიშვნელობა აქვს, როგორც დაუძაბავი რკინაბეტონის ელემენტებისათვის (იხ. VII თავი).

დახრილი ბზარების გახსნის სიგანე ელემენტებისათვის, რომლებიც დაარმატურებული არიან გრძივი ღერძისადმი პერპენდიკულარულად განლაგებული საკიდებით, იანგარიშება ფორმულით

$$a_{crc} = \varphi_l \frac{0{,}6\,\sigma_{sw} d_w \eta}{E_s \frac{d_w}{h_0} + 0.15\,E_b(1+2\alpha\mu_w)}, \qquad \text{(VIII.87)}$$

სადაც φ_l არის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს დატვირთვის მოქმედების ხანგრძლივობას. იგი მიიღება დატვირთვის მოქმედების ხასიათის, გარემოსა და ბეტონის სახეობისაგან დამოკიდებულებით. ხანმოკლე დატვირთვისას $\varphi_l = 1$; ხანგრძლივი და მრავალჯერგანმეორებადი დატვირთვებისას $\varphi_l = 1{,}2 \div 1{,}75$ (მუხლი 4.17, СНиП 2.03.01—84);

η-ს იგივე მნიშვნელობა აქვს, როგორც ნორმალური ბზარების გახსნის სიგანის საანგარიშო ფორმულაში; d_w საკიდების დიამეტრია; A_{sw}—საკიდების (ელემენტის განივკვეთში) ყველა ტოტის ფართობი; $\mu_w = \frac{A_{sw}}{bs}$ — განივი არმატურით გაჯერების კოეფიციენტი; s—საკიდების ბიჯი ელემენტის სიგრძივ; σ_{sw}—ძაბვები საკიდებში, რომელიც იანგარიშება ფორმულით

$$\sigma_{sw} = \frac{Q - Q_{b1}}{A_{sw} h_0} \; s \leqslant R_{s,ser}; \qquad \text{(VIII.88)}$$

Q—უდიდესი განივი ძალა განივი არმატურით მუდმივი გაჯერების უბანზე, გამოწვეული ნორმატიული დატვირთვით ($\gamma_f = 1$ პირობით); Q_{b1}—განივი ძალის სიდიდე, რომლის ატანა შეუძლია დახრილბზარიანი კვეთის შეკუმშულ ბეტონს განივი არმატურის გამოუყენებლად

$$Q_{b1} = \frac{0{,}8\, \varphi_{b4} R_{bt.ser} b h_0^2}{c};$$

φ_{b4}—კოეფიციენტი, რომელიც ბეტონის სახეობის მიხედვით მიიღება 1,0÷1,5 ფარგლებში შესაბამისად დაპროექტების ნორმების (СНиП 2.03.01—84) 3.32 მუხლისა.

ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვების ერთობლივი მოქმედებისას ჯამური ბზარის გახსნის სიგანე — ხანმოკლე გახსნა — იანგარიშება ფორმულით

$$a_{crc} = a_{ბზ.1} - a_{ბზ.2} + a_{ბზ.3}, \qquad \text{(VIII.89)}$$

სადაც $a_{ბზ.1}$ არის ბზარის გახსნის სიგანე მთელი დატვირთვის ხანმოკლე მოქმედებისას; $a_{ბზ.2}$—ბზარის გახსნის სიგანე მუდმივი და დროებითი ხანგრძლივი დატვირთვების არახანგრძლივი მოქმედებისას; $a_{ბზ.3}$—ბზარის გახსნის სრული სიგანე მუდმივი და დროებითი ხანგრძლივი დატვირთვებისაგან (მოქმედების ხანგრძლივობის გათვალისწინებით).

3. გაანგარიშება ბზარების დახურვის მიხედვით

ბზარების დახურვის მიხედვით იანგარიშება რკინაბეტონის ელემენტების ზონები, რომელთაც წაეყენებათ ბზარმედეგობის მე-2 კატეგორიის მოთხოვნები მაშინ, თუ მუდმივი, დროებითი ხანგრძლივი და დროებითი ხანმოკლე დატვირთვების მოქმედებისას (საიმედოობის კოეფიციენტით $\gamma_f > 1$) ბზარები ჩნდება.

რკინაბეტონის ელემენტები იანგარიშება როგორც **გრძივი ღერძისადმი** ნორმალური, ასევე დახრილი ბზარების დახურვის მიხედვით.

ელემენტების გრძივი ღერძისადმი ნორმალური ბზარების დახურვაზე გაანგარიშება

წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ელემენტების გრძივი ღერძისადმი ნორმალური ბზარების საიმედოდ დახურვისათვის მუდმივი და ხანგრძლივი დროებითი დატვირთვების მოქმედებისას დაკმაყოფილებული უნდა იყოს შემდეგი პირობები:

ა) საანგარიშო კვეთში მთელი დატვირთვების მოქმედებით გაჭიმული და გაბზარული კიდე მხოლოდ მუდმივი და ხანგრძლივი დროებითი დატვირთვების მოქმედებისას უნდა რჩებოდეს მოკუმშული იმდენად, რომ აქ ბეტონის კუმშვის σ_b ძაბვები იყოს არანაკლები 0,5 MPa; ამ დროს ნორმალური σ_b ძაბვები ბეტონში

იანგარიშება ისე, როგორც დრეკადი ტანისათვის გარე დატვირთვებისა და P მომკუმშავი ძალის (ყველა დანაკარგის გამოვლინების შემდეგ) მოქმედებაზე. ეს მოთხოვნა შესრულდება, როდესაც დაკმაყოფილებულია პირობა

$$M_r \leqslant M_{crc}, \tag{VIII.90}$$

სადაც M_{crc} არის მომენტი, რომელსაც აიტანს ნორმალური კვეთი ბზარების დახურვის დროს და იანგარიშება ფორმულით

$$M_{crc} = P(e_{op} + r) - 0{,}5\, W_{red} \tag{VIII.91}$$

M_r—გარე ძალების მომენტი გაჭიმული კიდიდან უშორეს ბირთვულ წერტილზე გამავალი ღერძის მიმართ, რომელიც იანგარიშება ფორმულით:

$M_r = M$ ღუნვადი ელემენტებისათვის; (VIII.92)

$M_r = N(e_0 - r)$ არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტებისათვის; (VIII.93)

$M_r = N(e_0 + r)$ არაცენტრალურად გაჭიმული ელემენტებისათვის. (VIII.94)

r — მანძილი დაყვანილი კვეთის სიმძიმის ცენტრიდან გაჭიმული ზონის უშორეს ბირთვულ წერტილამდე

$$r = \frac{W_{red}}{A_{red}}. \tag{VIII.95}$$

0,5 MPa — კუმშვის ძაბვების საჭირო სიდიდე მუდმივი და ხანგრძლივი დროებითი დატვირთვების მოქმედებისას კვეთის იმ კიდეზე, რომელიც სრული გარე დატვირთვების მოქმედებისას გაჭიმული და დაბზარულია;

W_{red}—დაყვანილი კვეთის წინაღობის მომენტი; A_{red}—დაყვანილი კვეთის ფართობი; P—მომკუმშავი ძალის სიდიდე ყველა დანაკარგის გამოვლინების შემდეგ.

ბ) მთელი დატვირთვის ერთობლივი მოქმედებისას, როდესაც γ_f 1, გაჭიმული ზონის დაძაბულ S არმატურაში არ უნდა გაჩნდეს შეუქცევი დეფორმაციები. ეს მოთხოვნა შესრულდება, როდესაც დაკმაყოფილებულია პირობა

$$\sigma_{sp} + \sigma_s \leqslant 0{.}8\, R_{s,ser}, \tag{VIII.96}$$

სადაც σ_{sp} არის წინასწარი ძაბვების სიდიდე დაჭიმულ არმატურაში დანაკარგების (სრული) გათვალისწინებით;

σ_s — გაჭიმული ზონის დაძაბული არმატურის ძაბვების ნაზრდი მოკუმშვის ჩაქრობიდან საანგარიშო სტადიამდე, რომელიც განისაზღვრება მსგავსად ბზარების გახსნაზე გაანგარიშებისა (ფორმულები VIII.84, 85, 86).

ბ) გაანგარიშება გრძივი ღერძისადმი დახრილი ბზარების დახურვის მიხედვით

დახრილი ბზარების საიმედოდ დახურვისათვის მთავარი ძაბვები მუდმივი და ხანგრძლივი დროებითი დატვირთვების მოქმედებისას უნდა იყოს მკუმშავი და სიდიდით არანაკლები 0,5 MPa. ეს პირობა უნდა შემოწმდეს

დაყვანილი კვეთის სიმძიმის ცენტრის დონეზე და სიგანის მკვეთრი ცვლილების ადგილას (მაგალითად, ტესებრი კვეთის შეკუმშული თაროს შეერთების ადგილი წიბოსთან).

ამ მოთხოვნის უზრუნველყოფა ხდება განივი არმატურის წინასწარი დაძაბვის გზით.

§ 9. რკინაბეტონის წინასწარ დაძაბული ელემენტების გაანგარიშება დეფორმაციათა მიხედვით

დეფორმაციათა მიხედვით გაანგარიშება რკინაბეტონის ელემენტებისათვის ჩვეულებრივ შემოიფარგლება ჩაღუნვაზე გაანგარიშებით, რომელიც წარმოგვიდგება როგორც პირობის შემოწმება

$$f \leqslant f_{\text{lim}}. \tag{VIII.97}$$

რკინაბეტონის ელემენტების ჩაღუნვები განისაზღვრება სამშენებლო მექანიკის ცნობილი ფორმულებით სიმრუდის ან სიხისტისაგან დამოკიდებულებით.

ელემენტების დეფორმაციების ათვლა ხდება საწყისი მდგომარეობიდან, ე. ი. მდგომარეობიდან წინასწარი მოკუმშვის განხორციელებამდე.

სიმრუდე განისაზღვრება გაჭიმული ზონის ბეტონის დაბზარვის გათვალისწინებით:

ელემენტის იმ უბანზე, სადაც გაჭიმულ ზონაში ნორმალური ბზარები არ ჩნდება, სიმრუდე იანგარიშება როგორც მთლიანი ტანისათვის.

ელემენტის იმ უბნებზე, სადაც გაჭიმულ ზონაში გრძივი ღერძისადმი ნორმალური ბზარები გახსნილია, სიმრუდე განისაზღვრება როგორც ფარდობა შეკუმშული ზონის ბეტონის კიდურა ბოჭკოსა და გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა არმატურის საშუალო დეფორმაციების სხვაობისა მუშა სიმაღლესთან.

ელემენტის გაჭიმული ზონა დაუბზარავია, თუ მუდმივი დატვირთვისა და ხანგრძლივი და ხანმოკლე დროებითი დატვირთვის ერთობლივი მოქმედებისას ბზარები არ ჩნდება, ან მუდმივი და ხანგრძლივი დროებითი დატვირთვის მოქმედებისას ისინი დახურულია. გაანგარიშებებში დატვირთვებისათვის გათვალისწინებულია საიმედოობის კოეფიციენტის $\gamma_f = 1$ სიდიდე.

1. წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ელემენტების სიმრუდე

რკინაბეტონის ელემენტის დაუბზარავ უბანზე (სადაც ნორმალური ბზარები გაჭიმულ ზონაში არ ჩნდება) სიმრუდის მთლიანი სიდიდე ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვების ერთობლივი მოქმედებით ღუნვადი, არაცენტრალურად შეკუმშული და არაცენტრალურად გაჭიმული ელემენტებისათვის განისაზღვრება ფორმულით

$$\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 + \left(\frac{1}{r}\right)_2 - \left(\frac{1}{r}\right)_3 - \left(\frac{1}{r}\right)_4, \tag{VIII.98}$$

სადაც $\left(\frac{1}{r}\right)_1$ და $\left(\frac{1}{r}\right)_2$ არის სიმრუდე გაპირობებული შესაბამისად ხანმოკლე

და ხანგრძლივი დატვირთვის მოქმედებით, წინასწარი მოკუმშვის გაუთვალისწინებლად, რომლებიც იანგარიშება ფორმულებით

$$\left(\frac{1}{r}\right)_1 = \frac{M}{\varphi_{b1} E_b I_{red}}; \qquad \text{(VIII. 99)}$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_2 = \frac{M\varphi_{b2}}{\varphi_{b1} E_b I_{red}}, \qquad \text{(VIII.100)}$$

სადაც M არის გარე დატვირთვების—ხანმოკლე, ხანგრძლივი—მომენტი დაყვანილი კვეთის სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ღერძის მიმართ, რომელიც მღუნავი მომენტის მოქმედების სიბრტყის მართობულია; φ_{b1}—კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს სიხისტის შემცირებას ბეტონის ხანმოკლე ცოცვადობის შედეგად. ბეტონის სახეობის შესაბამისად მიიღება: $\varphi_{b1}=0{,}85$ ყოველგვარი ბეტონისათვის, გარდა ფოროვან წვრილ შემვსებებზე დამზადებული მსუბუქი ბეტონისა, რომლისთვისაც $\varphi_{b1}=0{,}7$; φ_{b2}—კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ბეტონის ხანგრძლივი ცოცვადობის გავლენას ელემენტის უბზარო უბნის დეფორმაციაზე. ხანმოკლე დატვირთვისას $\varphi_{b2}=1$, ხანგრძლივი დატვირთვისას იგი მიიღება $2\div4{,}5$ ფარგლებში (ცხრ. 34, ნორმები ან XXI დანართი); $\left(\frac{1}{r}\right)_3$—წინასწარი მომკუმშავი ძალის არახანგრძლივი მოქმედებით გაპირობებული აღუნვის შესაბამისი სიმრუდე; იგი იანგარიშება ფორმულით

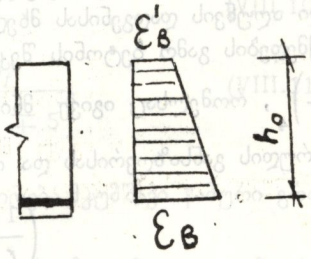
$$\left(\frac{1}{r}\right)_3 = \frac{Pe_{0p}}{\varphi_{b1} E_b I_{red}}; \qquad \text{(VIII.101)}$$

$\left(\frac{1}{r}\right)_4$—წინასწარი მოკუმშვით გამოწვეული აღუნვისას ბეტონის ცოცვადობითა და შეკლებით გაპირობებული სიმრუდე მომკუმშავი ძალის ხანგრძლივი მოქმედების გამო; იგი განისაზღვრება VIII.32 ნახაზზე გამოსახული სქემის მიხედვით, ფორმულით

$$\left(\frac{1}{r}\right)_4 = \frac{\varepsilon_b - \varepsilon'_b}{h_0}, \qquad \text{(VIII.102)}$$

სადაც ε_b და ε'_b არის წინასწარი მოკუმშვისას, ბეტონის შეკლებისა და ცოცვადობის შედეგად განვითარებული ფარდობითი დეფორმაციები გაჭიმული არმატურის სიმძიმის ცენტრისა და შეკუმშული ბეტონის კიდურა ბოჭკოს დონეზე, მათი სიდიდე შესაბამისად იანგარიშება ფორმულით

$$\varepsilon_b = \frac{\sigma_b}{E_s} \text{ და } \varepsilon'_b = \frac{\sigma'_b}{E_s}; \qquad \text{(VIII.103)}$$



ნახ. VIII. 32. წინასწარი მოკუმშვით გაპირობებული აღუნვისას ბეტონის შეკლებისა და ცოცვადობის ფარდობითი დეფორმაციების ეპიურა წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ელემენტის გრძივი ღერძასიღმი ნორმალურ კვეთში.

აქ σ_b და σ'_b შესაბამისად მიიღება ტოლი გაჭიმული და შეკუმშული ზონის დაძაბული არმატურის (უკანასკნელი რომ მდებარეობდეს ბეტონის კიდურა შეკუმშული ბოჭკოს დონეზე) წინასწარი ძაბვების დანაკარგების ჯა-

მისა ბეტონის შეკლებისა და ცოცვადობისაგან წინასწარი მომკუმშავი ძალის ხანგრძლივი ზემოქმედებისას (სინამდვილეში მომკუმშავი ძალა წარმოადგენს მუდმივ დატვირთვას):

$$\sigma_b = \sigma_6 + \sigma_8 + \sigma_9,$$

$$\sigma'_b = \sigma'_6 + \sigma'_8 + \sigma'_9.$$

$\left(\frac{1}{r}\right)_3 + \left(\frac{1}{r}\right)_4$ მიიღება არანაკლები სიდიდისა $\frac{Pe_{0p}\varphi_{b2}}{\varphi_{b1}E_bI_{red}}$.

რკინაბეტონის წინასწარ დაძაბული ელემენტების სიმრუდე დაბზარულ უბანზე, რომლის გაჭიმულ ზონაში გახსნილია გრძივი ღერძისადმი ნორმალური ბზარები, ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვების ერთობლივი მოქმედებისას იანგარიშება ფორმულით

$$\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 - \left(\frac{1}{r}\right)_2 + \left(\frac{1}{r}\right)_3 - \left(\frac{1}{r}\right)_4, \qquad \text{(VIII.104)}$$

სადაც $\left(\frac{1}{r}\right)_1$ არის მთელი დატვირთვის ხანმოკლე მოქმედებით გაპირობებული სიმრუდე; $\left(\frac{1}{r}\right)_2$ — მუდმივი და დროებითი ხანგრძლივი დატვირთვის არახანგრძლივი მოქმედებით გაპირობებული სიმრუდე; $\left(\frac{1}{r}\right)_3$ — მუდმივი და დროებითი ხანგრძლივი დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედებით გაპირობებული სიმრუდე.

წინასწარი მომკუმშავი ძალა წარმოადგენს მუდმივ დატვირთვას წინასწარ დაძაბული ელემენტებისათვის; ამიტომ სიმრუდეები $\left(\frac{1}{r}\right)_1$, $\left(\frac{1}{r}\right)_2$, $\left(\frac{1}{r}\right)_3$ განისაზღვრება მოკუმშვის გავლენის გათვალისწინებით. მომკუმშავი ძალით გამოწვეული აღუნვის დადგენისას მხედველობაში მიიღება მომკუმშავი ძალის ხანგრძლივი მოქმედების გამო ბეტონის შეკლებითა და ცოცვადობით გაპირობებული სიმრუდეც $\left(\frac{1}{r}\right)_4$, რომელსაც ივიე მნიშვნელობა აქვს, როგორც დაუბზარავი ელემენტის სიმრუდის განსაზღვრისას და იანგარიშება იმავე ფორმულით

$$\left(\frac{1}{r}\right)_4 = \frac{\varepsilon_b - \varepsilon'_b}{h_0}.$$

წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ელემენტების დაბზარული უბნის სიმრუდე, გაპირობებული გარე დატვირთვისა და მომკუმშავი ძალის ერთობლივი ხანგრძლივი ან არახანგრძლივი მოქმედებით, იანგარიშება ფორმულით

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{h_0 z}\left[\frac{\psi_b}{E_s A_s} - \frac{\psi_b}{(\varphi_f + \xi)\, bh_0 \nu E_b}\right] - \frac{N_{tot}}{h_0}\,\frac{\psi_s}{E_s A_s}, \qquad \text{(VIII.105)}$$

სადაც M არის საანგარიშო კვეთის ცალ მხარეს მდებარე გარე ძალებისა და წინასწარი მომკუმშავი ძალის მომენტების ჯამი მომენტის მოქმედების სიბრტყის მარ-

თობული, გაჭიმული არმატურის სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ღერძის მიმართ; ღუნვადი ელემენტებისათვის იანგარიშება ფორმულით

$$M = \pm M \pm P e_{sp}; \qquad \text{(VIII.106)}$$

არაცენტრალურად შეკუმშული და არაცენტრალურად გაჭიმული ელემენტებისათვის

$$M = \pm N e_s \pm P e_{sp}; \qquad \text{(VIII.107)}$$

დადებითად ითვლება მომენტი, რომელიც იწვევს გაჭიმული ზონის S არმატურის გაჭიმვას.

e_{sp} არის მანძილი წინასწარი მომკუმშავი ძალიდან გაჭიმული არმატურის სიმძიმის ცენტრამდე; e_s—მანძილი გარე დატვირთვის მოქმედების შედეგად წარმოქმნილი გრძივი ძალიდან იმავე S არმატურის სიმძიმის ცენტრამდე; N_{tot}—გარე დატვირთვით გამოწვეული გრძივი ძალისა და წინასწარი მომკუმშავი ძალების ჯამი

$$N_{tot} = P \pm N; \qquad \text{(VIII.108)}$$

აქ N ძალის ნიშანი მიიღება დადებითი, როდესაც იგი მკუმშავია; z—ბზარიან კვეთში გაჭიმული არმატურის სიმძიმის ცენტრიდან შეკუმშული ზონის ძალვების ტოლქმედამდე მანძილი—შიგა ძალთა მხარი; ψ_s—კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს გაჭიმული ზონის ბეტონის მონაწილეობას მუშაობაში ბზართა შორის; ψ_b—ბზარებიან უბანზე ელემენტის შეკუმშული ზონის კიდეზე ბეტონის დეფორმაციების არათანაბრად განვითარების გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი; $\xi = \frac{x}{h_0}$ — შეკუმშული ზონის ბეტონის ფარდობითი სიმაღლე.

სიმრუდის გამოსახულებაში (VIII.105 ფორმულა) შემავალი წევრებიდან ჩვეულებრივი რკინაბეტონისაგან განსხვავებულად გამოითვლება φ_f და ξ; წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ელემენტებისათვის

$$\varphi_f = \frac{(b'_f - b)\, h'_f + \frac{\alpha}{2\nu} A'_s}{b h_0}; \qquad \text{(VIII.109)}$$

$$\xi = \frac{1}{\beta + \frac{1 + 5(\delta + \lambda)}{10 \mu\alpha}} \pm \frac{1{,}5 + \varphi_f}{11{,}5 \frac{e_{s.tot}}{h_0} \mp 5}; \qquad \text{(VIII.110)}$$

VIII.110 ფორმულის მეორე წევრის ზედა ნიშნები მიიღება მკუმშავი ჯამური გრძივი N_{tot} ძალისათვის.

β კოეფიციენტი მძიმე და მსუბუქი ბეტონებისათვის მიიღება ტოლი $\beta = 1{,}8$; წვრილმარცვლოვანი ბეტონებისათვის $\beta = 1{,}6$. როგორც დაუძაბავი, ჩვეულებრივი რკინაბეტონისათვის გამოისახება δ, λ და $\mu\alpha$:

$$\delta = \frac{M}{b h_0^2 R_{b,ser}}; \quad \lambda = \varphi_f \left(1 - \frac{h'_f}{2 h_0}\right); \quad \mu\alpha = \frac{\alpha A_s}{b h_0} = \frac{\alpha A_s + \alpha A_{sp}}{b h_0}.$$

A_s წარმოგვიდგება როგორც დაძაბული და დაუძაბავი გრძივი მუშა არმატურის ფართობების ჯამი.

VIII.110 ფორმულაში $e_{s.tot}$ არის N_{tot} ჯამური ძალის ექსცენტრისიტეტი გაჭიმული არმატურის სიმძიმის ცენტრის მიმართ (აბსოლუტური სიდიდე), რომელიც ღუნვადი და არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტებისათვის მიიღება არანაკლები $0{,}5h_0$-ისა და გამოისახება როგორც

$$e_{s.tot} = \left|\frac{M}{N_{tot}}\right|. \qquad \text{(VIII.111)}$$

შიგა ძალთა მხარი იანგარიშება ისევე, როგორც ჩვეულებრივი რკინაბეტონის ელემენტებისათვის, ფორმულით

$$z = h_0\left[1 - \frac{(h_f'/h_0)\varphi_f + \xi^2}{2(\varphi_f + \xi)}\right]. \qquad \text{(VIII.112)}$$

არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტებისათვის z-ის მნიშვნელობა მიიღება არაუმეტეს $0{,}97\,e_{s,tot}$.

ν კოეფიციენტი დამოკიდებულია დატვირთვის მოქმედების ხანგრძლივობისა და გარემოს ტენიანობის პირობებზე და მიიღება:

$\nu = 0{,}45$ ხანმოკლე დატვირთვების მოქმედებისას; $\nu = 0{,}07 \div 0{,}2$ ხანგრძლივი დატვირთვისას, როდესაც ტენიანობა $W > 40\%$. $\nu = 0{,}04 \div 0{,}10$ ხანგრძლივი დატვირთვისას, როდესაც ტენიანობა $W \leqslant 40\%$.

ψ_b კოეფიციენტი ბეტონის სახეობის მიხედვით მიიღება $0{,}7 \div 1{,}0$-ის ტოლი;

ψ_s კოეფიციენტი მიიღება არაუმეტეს 1-ისა და იანგარიშება ფორმულით

$$\psi_s = 1{,}25 - \varphi_{ls}\varphi_m - \frac{1 - \varphi_m^2}{(3{,}5 - 1{,}8\varphi_m)e_{s.tot}/h_0}, \qquad \text{(VIII.113)}$$

სადაც φ_{ls} არის დატვირთვის ხანგრძლივობისა და არმატურის სახეობის გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი, რომელიც $B7{,}5$-ზე მაღალი კლასის ბეტონის გამოყენებისას მიიღება: ხანმოკლე დატვირთვისას, როდესაც გამოყენებულია პერიოდული პროფილის ღეროვანი არმატურა $\varphi_{ls} = 1{,}1$; გლუვზედაპირიანი ღეროვანი არმატურისა და მავთულოვანი არმატურის გამოყენების შემთხვევაში $\varphi_{ls} = 1{,}0$; ხანგრძლივი დატვირთვისას, არმატურის სახეობისაგან დამოუკიდებლად, $\varphi_{ls} = 0{,}8$.

φ_m კოეფიციენტი იანგარიშება ფორმულით

$$\varphi_m = \frac{R_{bt,ser} \cdot W_{pl}}{|\pm M_r \mp M_{rp}|}, \qquad \text{(VIII.114)}$$

სადაც M_r არის გარე ძალებით გამოწვეული მღუნავი მომენტი ბირთვულ წერტილზე გამავალი ღერძის მიმართ—გარე ძალების ბირთვული მომენტი; M_{rp}—მომკუმშავი ძალის მომენტი ბირთვულ წერტილზე გამავალი ღერძის მიმართ—მომკუმშავი ძალის ბირთვული მომენტი.

φ_m მიიღება არაუმეტეს 1-ისა.

ბირთვული მომენტების ნიშანი (VIII.114) ფორმულაში აიღება დადებითი, როდესაც ისინი იწვევენ გამჭიმ ძაბვებს ექსპლუატაციის სტადიაზე გაჭიმულ ზონაში განლაგებულ S არმატურაში.

წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ელემენტების ჩაღუნვები იანგარიშება ისევე, როგორც დაუძაბავი რკინაბეტონისა სიმრუდის (სიხისტის) შესაბამისად. მღუნავი მომენტებით გაპირობებული ჩაღუნვა იანგარიშება ფორმულით

$$f_m = \int_0^l \overline{M}_x \left(\frac{1}{r}\right) x dx; \qquad \text{(VIII.115)}$$

ერთმალიანი ღუნვადი ელემენტებისათვის შეიძლება მარტივი ფორმულის გამოყენება

$$f_m = sl^2 \frac{1}{r} = sl^2 \frac{M}{B}. \qquad \text{(VIII.116)}$$

f_m-ის გამოსახულებაში შემავალი წევრების განმარტება მოცემულია VII თავში. წინასწარ დაძაბული ელემენტების სიმრუდე კი განისაზღვრა ზემოთ (მუხლი 1).

წინასწარ დაძაბული ღუნვადი ელემენტებისათვის, რომელთა გაჭიმულ ზონაში გახსნილია ნორმალური ბზარები, ჩაღუნვების სიდიდე ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვების ერთობლივი მოქმედებისას შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$f = f_1 - f_2 + f_3 - f_4, \qquad \text{(VIII.117)}$$

სადაც f_1 არის მთელი დატვირთვის ხანმოკლე მოქმედებით გამოწვეული ჩაღუნვა; f_2—მუდმივი და ხანგრძლივი დროებითი დატვირთვის არახანგრძლივი მოქმედებით გამოწვეული ჩაღუნვა; f_3—მუდმივი და ხანგრძლივი დროებითი დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედებით გამოწვეული ჩაღუნვა; f_4—მომკუმშავი ძალის ხანგრძლივი მოქმედებისას განვითარებული ბეტონის შეკლებისა და ცოცვადობით გაპირობებული აღუნვა.

IX თავი

რკინაბეტონის წინაღობა დინამიკური ზემოქმედებისადმი

§ 1. დინამიკური დატვირთვები. დინამიკური გაანგარიშების მიზანი

რკინაბეტონის კონსტრუქციებზე, გარდა სტატიკური დატვირთვებისა, შეიძლება მოქმედებდეს დინამიკური დატვირთვებიც.

სტატიკური დატვირთვები ნულიდან საანგარიშო მნიშვნელობამდე იცვლება იმდენად ნელა, რომ ნაგებობის ელემენტების აჩქარება შეუმჩნეველია და მათ უგულებელყოფენ.

დატვირთვებს ეწოდება დ ი ნ ა მ ი კ უ რ ი, როდესაც მათი სიდიდე ან მდებარეობა იცვლება დროის განმავლობაში სწრაფად. ასეთი დატვირთვების მოქმედება იწვევს ნაგებობის ან მისი ცალკეული ელემენტების რხევას. რ ხ ე ვ ა

ეწოდება მოძაობას, როდესაც მოძრავი წერტილი მონაცვლეობით შორდება და უახლოვდება საწყის მდგომარეობას, რხევის დროს იცვლება მოძრავი მასების სიჩქარისა და აჩქარების სიდიდეც და ნიშანიც. აჩქარების არსებობის შედეგად წარმოიქმნება ინერციის ძალები, რომლებიც ნიუტონის მეორე კანონის შესაბამისად მერხევი მასისა და აჩქარების პროპორციულია.

დინამიკური დატვირთვით გამოწვეული ძაბვების მნიშვნელობა კონსტრუქციის ელემენტებში შეიძლება მრავალჯერ აღემატებოდეს სტატიკური დატვირთვებით გამოწვეულ ძაბვებს.

დროსა და სივრცეში ცვალებადობის კანონის მიხედვით განასხვავებენ პერიოდულ, იმპულსურ, შემთხვევით და მოძრავ დინამიკურ დატვირთვებს.

დინამიკური დატვირთვები წარმოიქმნება შენობაში (ნაგებობაზე) დადგმული მანქანებისა და დანადგარების მასების ბრუნვით, წინსვლით-უკუქცევითი და სხვ. მსგავსი მოძრაობისას მათი, როგორც ნორმალური მუშაობის, გაშვება-გაჩერების, ასევე ავარიის პირობებში.

დინამიკური დატვირთვები წარმოიქმნება კონსტრუქციაზე სწრაფად, მთელი თავისი სიდიდით მოდებული ძალებით (მაგალითად, ამწის ბაგირის გაწყვეტის, ელექტრომანქანის მოკლე ჩართვის გამო), თავისუფლად ვარდნილი სხეულის დაცემის, აფეთქების დარტყმითი ტალღის ზემოქმედებით. ხანმოკლე დინამიკურ ძალებსა და დარტყმებს იმპულსური დატვირთვა ეწოდება. ხანმოკლე დატვირთვის მოქმედება გრძელდება წამის მცირე ნაწილიდან რამდენიმე წუთამდე, მცირე ან დიდი ინტენსიურობით. საექსპლუატაციო იმპულსური დატვირთვები მცირე ინტენსიურობისაა — ისეთი, რომელსაც არ ძალუძს ნაგებობის ელემენტებში მაკროპლასტიკური დეფორმაციების განვითარება. დიდი ინტენსიურობის იმპულსური დატვირთვის მოქმედებისას რიგ შემთხვევებში შეიძლება დასაშვებად ჩაითვალოს მნიშვნელოვანი პლასტიკური დეფორმაციების განვითარება.

სამრეწველო შენობებისა და ნაგებობების კონსტრუქციების დინამიკური დატვირთვა შეიძლება გაჩნდეს მათი ფუძის რხევით, რასაც იწვევს დინამიკური დატვირთვების ალმძრავი მანქანა-დანადგარების საძირკვლებიდან გავრცელებული ჰარმონიული ტალღები.

მოძრავი შემადგენლობის დატვირთვა ხიდზე, ხიდური ამწის მოძრავი დატვირთვა ამწისქვეშა კოჭზე და სხვ. მსგავსი დატვირთვა დინამიკურია, მრავალჯერ განმეორებადი. მოძრავი შემადგენლობა სავალ გზაზე თვლების მოძრაობისას იწვევს რელსის პირაპირებში დარტყმებსა და ბიძგებს.

ჰაერის მოძრაობა ატმოსფეროში, გარდა მცირე სისქის მიწისზედა ფენისა, ყოველთვის ტურბულენტურია. ჰაერის მასების ასეთი მოძრაობა ატმოსფეროს ქვედა ფენებში არის ქარი. იგი ხასიათდება სიჩქარის არარეგულარული და უწესრიგო ცვლილებით დროთა განმავლობაში. ქარის დაწნევა შენობებსა და ნაგებობებზე ქმნის დინამიკურ დატვირთვებს.

მიწისძვრის დროს გრუნტის რხევა იწვევს შენობის საძირკვლისა და თვით შენობის რხევას. რხევის პროცესში შენობის ნაწილების მასები განიცდიან აჩქარებას და წარმოიქმნება ინერციის ძალები, რომლებსაც სეისმური ძალები ეწოდება. სეისმური ძალები ნაგებობებისათვის წარმოადგენს დინამიკურ დატვირთვას — მათი სიდიდე და მიმართულება გამუდმებით იცვლება დროთა განმავლობაში.

დროთა განმავლობაში დინამიკური დატვირთვის ცვალებადობის კანონი შეიძლება ძალზე რთული ხასიათისა იყოს. დატვირთვა შეიძლება იცვლებოდეს პერიოდულად, განმეორებით, როდესაც დროის ერთსა და იმავე მონაკვეთში დატვირთვის მაქსიმუმი მეორდება. ასეთ დატვირთვებს დამყარებული რეჟიმის ანუ პერიოდულ-განმეორებითი ეწოდება. არის შემთხვევები, როდესაც დროთა განმავლობაში დატვირთვის ცვალებადობას არა აქვს დამყარებული ხასიათი. მაგალითად, დატვირთვები ქარის დაწნევისაგან შენობაზე, ანძაზე. ეს არის დაუმყარებელი რეჟიმის განმეორებადი დატვირთვები. ასეთი დატვირთვები წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეებს, რომელთა შესწავლა შესაძლოა შემთხვევითი პროცესების თეორიაზე დამყარებული სტატისტიკის მეთოდების გამოყენებით.

დინამიკური დატვირთვების მრავალი სახეობიდან ყველაზე ხშირად სამრეწველო და სამოქალაქო შენობაზე მოქმედებენ მრავალჯერგანმეორებადი დატვირთვები. ამ ზეგავლენას რკინაბეტონის კონსტრუქციებისათვის ითვალისწინებენ, როდესაც ბეტონსა და არმატურაში ძაბვების მერყეობის ფარგლები მნიშვნელოვანია და განმეორებადობაც მაღალი (მილიონობითი ციკლი).

მრავალჯერგანმეორებად დატვირთვებზე მუშაობს ამწისქვეშა კოჭები, გადახურვები დატვირთული ისეთი მანქანებით, რომელთაც გააჩნიათ გაუწონასწორებელი ნაწილები (მანქანები ვენტილატორებით, ცენტრიფუგებით).

კონსტრუქციებს განსაკუთრებულ საშიშროებას უქმნის ვიბრაციული დატვირთვები. ვიბრაციას შეუძლია გამოიწვიოს კონსტრუქციების ან მათი ელემენტების რღვევა. იგი მავნედ მოქმედებს ადამიანის ორგანიზმზე (შეიძლება გამოიწვიოს შრომის უნარის დაქვეითება, ვიბრაციული დაავადება), არღვევს ტექნოლოგიური მოწყობილობების ნორმალურ მუშაობას.

შენობებისა და ნაგებობების დაპროექტება შეუძლებელია დინამიკური დატვირთვების გაუთვალისწინებლად. გაიზარდა დინამიკური დატვირთვები; ფართოდაა გამოყენებული ვიბრაცია, დარტყმები და საწარმოო აფეთქებები ტექნოლოგიურ პროცესებში. გაჩნდა მოქნილი კიდული ნაგებობები, რომელთათვის აუცილებელია ქარის დინამიკური ზემოქმედების გათვალისწინება; განვითარდა ზუსტი ტექნოლოგიური ხელსაწყოები, რომელთა ნორმალური მუშაობის უზრუნველსაყოფად საჭიროა ვიბრაციის დონის შეზღუდვა და სხვ.

სამშენებლო მექნიკის დარგი, ნაგებობათა დინამიკა, რომელიც ადგენს შენობების დინამიკური გაანგარიშებების საფუძვლებს, გამუქებულია მრავალრიცხოვან შრომებში. დინამიკური გაანგარიშებების ჩასატარებლად დამპროექტებლების დასახმარებლად შედგენილია რიგი ინსტრუქციებისა და საცნობარო ლიტერატურა.

დინამიკური გაანგარიშებები უფრო რთულია, ვიდრე სტატიკური. სიძნელე, ერთი მხრივ, მდგომარეობს დინამიკური დატვირთვების შემთხვევაში კონსტრუქციის ელემენტების ძალვებისა და ძაბვების განსაზღვრის მეთოდების სირთულეში, და, მეორე მხრივ — დინამიკური დატვირთვების დროს მასალის შეცვლილი მექანიკური თვისებების დადგენის მეთოდების სირთულეში.

დინამიკური დატვირთვების ზემოქმედებისას იცვლება მასალის სიმტკიცისა და დეფორმაციის თვისებები. მაგალითად, სტატიკური დატვირთვების მოქმედების შემთხვევაში პლასტიკური მასალები დარტყმითი დატვირთვებისას

მსხვრევადი ხდებიან; მრავალჯერგანმეორებადი დატვირთვების მოქმედებით მასალების სიმტკიცე ქვეითდება. დიდი სიჩქარით დეფორმაციის დროს მაღლდება ფოლადის დენადობისა და ბეტონის სიმტკიცის ზღვარი.

დინამიკური გაანგარიშებების მიზანია:

1. კონსტრუქციების სიმტკიცისა და გამძლეობის, ცალკეულ შემთხვევებში დინამიკური მდგრადობის შემოწმება;

2. ვიბრაციის დონის შემოწმება ადამიანზე მისი დასაშვები ზემოქმედების პირობით;

3. ვიბრაციის შემოწმება ტექნოლოგიური პროცესების ნორმალური მსვლელობის პირობით;

4. კონსტრუქციის დინამიკური სიხისტის შემოწმება, რაც განისაზღვრება რხევების ზღვრულად დასაშვები ამპლიტუდით მოცემული სიხშირის შემთხვევაში.

მაღალი და მოქნილი ნაგებობების ქარის დატვირთვაზე გაანგარიშების, ყოველგვარი ნაგებობის სეისმურ დატვირთვებზე და აფეთქების ზეგავლენაზე გაანგარიშებისას მთავარია სიმტკიცის მოთხოვნა. შენობების კარკასებისა და სართულშორისი გადახურვების გაანგარიშებებში ტექნოლოგიური მოთხოვნებით და სანიტარულ-ჰიგიენური ნორმებით უფრო მკაცრად იზღუდება რხევები, ვიდრე სიმტკიცის პირობით.

როდესაც შემოწმება გვიჩვენებს, რომ ტექნოლოგიური და სანიტარულ-ჰიგიენური მოთხოვნები დაკმაყოფილებული არ არის, საჭიროა სპეციალური ღონისძიებების გამოყენება ვიბრაციის დონის დასაქვეითებლად; როდესაც დაკმაყოფილებული არ არის სიმტკიცის მოთხოვნები, მიღებული უნდა იქნეს ზომები კონსტრუქციის ელემენტებში განვითარებული დინამიკური ძალების შესამცირებლად ან თვით კონსტრუქციის გასაძლიერებლად.

დინამიკური გაანგარიშებების მთავარ ამოცანას წარმოადგენს თავისუფალი რხევების სიხშირისა და ფორმის განსაზღვრა, რომელთა მიხედვითაც გამოითვლება დინამიკური ძალები და გადაადგილების ამპლიტუდა.

აქ უნდა აღინიშნოს, რომ სტატიკური გაანგარიშებებისაგან განსხვავებით, დინამიკურ გაანგარიშებებში როგორც ძალები, ასევე გადაადგილებები დამოკიდებულია ელემენტების სიხისტეთა არა მარტო თანაფარდობაზე, არამედ მათ აბსოლუტურ სიდიდეზეც; გაანგარიშების შედეგებზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს კონსტრუქციის მასის სიდიდე და განაწილების კანონიც. კონსტრუქციის სიხისტესა და მასაზე დამოკიდებულია რხევების სიხშირე, საკუთარი და იძულებითი რხევების თანაფარდობა კი ერთ-ერთი ძირითადი პარამეტრია, რომელზედაც დამოკიდებულია დინამიკური გაანგარიშების შედეგები.

დინამიკური გაანგარიშებისას ჯერ განისაზღვრება კონსტრუქციის თავისუფალი რხევის სიხშირე, შემდეგ დინამიკური გადაადგილებები და ძალები.

§ 2. რკინაბეტონის ელემენტების რხევა

1. რხევა თავისუფლების ერთი ხარისხის მქონე სისტემისათვის

რხევას, რომელსაც განიცდის სისტემა თავისთავად გარე ძალური ზემოქმედებისაგან განთავისუფლების შემდეგ, თ ა ვ ი ს უ ფ ა ლ ი (ს ა კ უ თ ა რ ი) რ ხ ე ვ ა ეწოდება.

საკუთარი რხევები გრძელდება მანამ, ვიდრე რხევის დასაწყისში სისტემისადმი მინიჭებული ენერგია არ გამოილევა (თეორიულად თავისუფალი რხევა მილევადი არ არის). ენერგია იხარჯება გარე და შიგა წინაღობაზე.

რხევას ეწოდება იძულებითი, როდესაც იგი გამოწვეულია ცვლადი გარე ძალების მოქმედებით.

როდესაც მექანიკურ სისტემას გააჩნია თავისუფლების ერთი ხარისხი და განზოგადებული კოორდინატის ცვალებადობის კანონი დროში შეიძლება გამოისახოს როგორც

$$y(t)=y(kT+t),$$

(სადაც k ნებისმიერი მთელი რიცხვია), მოძრაობას პერიოდული ეწოდება, ხოლო T სიდიდე არის რხევის პერიოდი. მას დროის განზომილება აქვს.

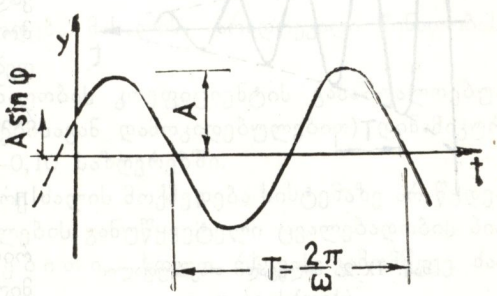
სამშენებლო კონსტრუქციებში, სისტემებისათვის თავისუფლების ერთი ხარისხით, რხევების კანონი საკმარისი სიზუსტით შეიძლება გამოისახოს განტოლებით

$$y=A\sin(\omega t+\varepsilon), \qquad (XI.1)$$

სადაც A არის რხევის ამპლიტუდა—უდიდესი გადახრა წონასწორობის მდგომარეობიდან; ω—რხევების კუთხური სიხშირე (რხევების რაოდენობა 2π წამში);

$$\omega=\frac{2\pi}{T}=2\pi n;$$

T—რხევის პერიოდი—დროის ის მონაკვეთი, როდესაც რხეული მასა უბრუნდება საწყის მდგომარეობას; n—რხევების რაოდენობა წამში, $n=\frac{1}{T}$, Hz (ტექნიკური სიხშირე ეწოდება რხევათა რაოდენობას წუთში $n=\frac{60}{T}$); ε—რხევის საწყისი ფაზა, ე. ი. ფაზის მნიშვნელობა დროის საწყის მომენტში ($t=0$); $\omega t+\varepsilon$—რხევის ფაზა.



ნახ. IX.1. თავისუფალი რხევების გრაფიკი.

დროის საწყის მომენტში გადაადგილება

$$y=A\sin\varepsilon.$$

IX.1 ფორმულა არის ჰარმონიული რხევის განტოლება.

თავისუფალი რხევების გრაფიკი მოცემულია IX.1 ნახაზზე.

როგორც აღვნიშნეთ, გარე და შიგა წინაღობების გამო თავისუფალი რხევები დროთა განმავლობაში თანდათანობით ქრება.

გარე წინააღობებს მიეკუთვნება გარემოს (ჰაერი, წყალი) ხახუნის ძალები, ხახუნი სისტემის საყრდენ ბმებში.

შიგა წინაღობებს ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციებისათვის განაპირობებს ძირითადად ბეტონის სტრუქტურა და არადრეკადი დეფორმაციები.

რკინაბეტონის კონსტრუქციებისათვის გარე წინაღობები შეცირება შიგა წინაღობებთან შედარებით.

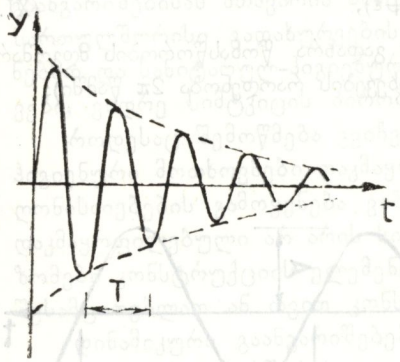
თუ მივიღებთ, რომ წინაღობის ძალა მოძრაობის სიჩქარის პროპორციულია, რაც მცირე სიჩქარეებისას დასაშვებია, რხევების განტოლების შედგენისას გარე ძალებში უნდა ჩაითვალოს წინაღობის ძალა. მაშინ IX.1-ის ნაცვლად მიიღება განტოლება, რომელიც გამოსახავს მილევად რხევებს

$$y = Ae^{-\frac{\delta t}{T}} \sin(\omega t + \varepsilon), \tag{XI. 2}$$

სადაც $e^{-\frac{\delta t}{T}}$ არის მილევადი დროის ფუნქცია; δ — რხევების მილევადობის საზომი.

მილევადი თავისუფალი რხევების გრაფიკი მოცემულია IX.2 ნახაზზე.

თავისუფალი რხევების მილევის პროცესის არსი მდგომარეობს საწყისი ენერგიის გარკვეული ნაწილის შეუქცევად კარგვაში რხევის ყოველ ციკლზე, სისტემაში გარე და შიგა წინაღობების— $R(t)$ — გადასაძლახვად. ენერგია გაიბნევა გარემოში სითბოს სახით.



ნახ. IX.2. მილევადი თავისუფალი რხევების გრაფიკი.

სამშენებლო კონსტრუქციებში ხშირად გვხვდება შემთხვევები, როდესაც მილევადი თავისუფალი რხევების ერთმანეთის მომდევნო ციკლების ამპლიტუდები მცირდება გეომეტრიული პროგრესიით, ე. ი. როდესაც თანაფარდობა $\frac{A_i}{A_{i+1}}$ მუდმივია.

$\ln \frac{A_i}{A_{i+1}}$ სიდიდეს ეწოდება მილევის ლოგარითმული დეკრემენტი. იგი წარმოადგენს მილევადობის საზომს და აღინიშნება δ-თი

$$\delta = \ln \frac{A_t}{A_{i+1}}. \tag{IX.3}$$

რკინაბეტონის კონსტრუქციებისათვის $\delta = 0{,}08—0{,}21$. იგი ახასიათებს რხევების მილევის სიჩქარეს. როდესაც $\delta \to 0$, თავისუფალი რხევები ხდება არამილევადი.

ენერგია, რომელიც შეუქცევად შთაინთქმება რხევის ერთ ციკლზე, შეიძლება განისაზღვროს F გარე ძალასა და y გადაადგილებებს შორის დამოკიდებულების მიხედვით, რომელიც დადგინდება ცდების შედეგად რხევის ერთი ციკლისათვის. ეს არის მუშაობის დიაგრამა, რომელსაც შიგა წინაღობების გათვალისწინებით მარყუჟის სახე აქვს და ეწოდება ჰისტერეზისის მარყუჟი. როდესაც წინაღობა არ არსებობს, მუშაობის დიაგრამა წრფივია, მარყუჟის ტოტები დატვირთვისა და განტვირთვის დროს შეთავსებული (ნახ.IX.3).

ჰისტერიზისის მარყუჟის ფართობი ტოლია ΔW მუშაობის, რომელსაც ასრულებს არადრეკადი წინაღობის ძალები ერთ ციკლში. IX.3 ნახაზზე

დაშტრიხული სამკუთხედის ფართობი არის დრეკადი დეფორმაციების ენერგიის მნიშვნელობა (W) ციკლის დასაწყისში, რომელიც ტოლია დრეკადი ძალების მუშაობისა ციკლის მეოთხედში.

ენერგიის შთანთქმის კოეფიციენტი რხევის ერთი ციკლისათვის არის ფარდობა ციკლზე დრეკადი ენერგიის დანაკარგისა ციკლის დასაწყისში არსებულ დრეკად ენერგიასთან

$$\psi = \frac{\Delta W}{W}. \qquad \text{(IX.4)}$$

ψ ენერგიის შთანთქმის კოეფიციენტი გამოდგება მილევადობის საზომადაც. იგი დამოკიდებულია მილევის ლოგარითმულ დეკრემენტზე

$$\psi = 2\delta. \qquad \text{(IX.5)}$$

$R(t)$ არადრეკადი წინაღობის ძალების ამპლიტუდისა და დრეკადი ძალების ამპლიტუდის დამოკიდებულების პროპორციულობის შესახებ ე. სოროკინის ჰიპოთეზის შესაბამისად, რკინაბეტონის არადრეკადი წინაღობის გათვალისწინება რხევების განსაზღვრისას შეიძლება მოხდეს

$$\gamma = \frac{\psi}{2\pi} = \frac{\delta}{\pi} \qquad \text{(IX.6)}$$

სიდიდის მიხედვით, რომელსაც ეწოდება მასალის არადრეკადი წინაღობის კოეფიციენტი.

რკინაბეტონის არადრეკადი წინაღობის კოეფიციენტის გასაშუალოებული მნიშვნელობა (ინერციული ძალებისაგან დამოკიდებულებით) დინამიკურ გაანგარიშებებში მიიღება $\gamma = 0{,}05—0{,}10$ საზღვრებში.

როდესაც რხევის გამომწვევი გარე ძალის მოქმედება სისტემაზე არ წყდება და რხევა მიმდინარეობს გარე ძალების განუწყვეტელი ცვალებადობის პირობებში, რხევას ეწოდება **იძულებითი**, ხოლო რხევის გამომწვევ ძალებს — **ამგზნები** ძალები.

იძულებითი რხევის დროს თავისუფლების ერთი ხარისხის მქონე სისტემის დინამიკური გადაადგილება გამოწვეული იქნება მასის ინერციის ძალით — $m\left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)$ და ამგზნები ძალით. გადაადგილება გამოისახება განტოლებით

$$y = —\delta_{11} m \frac{d^2y}{dt^2} + \delta_{11} F(t).$$

სისტემაზე ამგზნები ძალის პერიოდული კანონით ცვალებადობის შემთხვევაში, როდესაც $F(t) = F \sin \theta t$ იძულებითი რხევების განტოლება დაიწერება ასე

$$y = A(\sin \theta t — \sin \omega t), \qquad \text{(IX.7)}$$

სადაც θ არის ამგზნები ძალის სიხშირე; A — იძულებითი რხევის ამპლიტუდა, რომელიც გამოითვლება ფორმულით

$$A = \frac{F}{m(\omega^2 — \theta^2)}. \qquad \text{(IX.8)}$$

მერხევი მასის $m=\frac{1}{\omega^2\delta_{11}}$ მნიშვნელობის (IX.8)-ში ჩასმის შემდეგ მივიღებთ ამპლიტუდის გარდაქმნილ გამოსახულებას

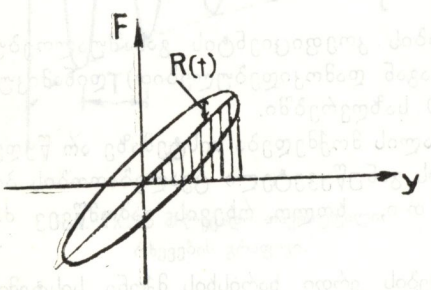
$$A=\frac{\omega^2\delta_{11}F}{\omega^2-\theta^2}=\frac{y_0}{1-\frac{\theta^2}{\omega^2}}=\beta y_0, \qquad (IX.9)$$

სადაც δ_{11} არის ერთეული გადაადგილება, ხოლო $y_0=\delta_{11}F$—გადაადგილება F ძალით;

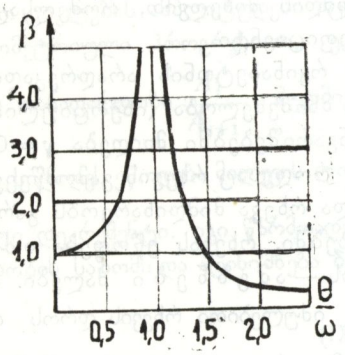
β არის დინამიკურობის კოეფიციენტი, რომელიც ახასიათებს დინამიკური გადაადგილების ფარდობას სტატიკურთან

$$\beta=\frac{1}{1-\frac{\theta^2}{\omega^2}}. \qquad (IX.10)$$

β უჩვენებს რამდენჯერ აღემატება იძულებითი რხევის ამპლიტუდა სტატიკურ გადაადგილებას, გამოწვეულს უდიდესი ამგზნები ძალით, იგი რომ სტატიკურად მოქმედებდეს; IX.4 ნახაზზე ნაჩვენებია დინამიკური კოეფიციენტის აბსოლუტური მნიშვნელობების გრაფიკი.



ნახ. IX. 3. ჰისტერეზისის მარყუჟი.



ნახ. IX.4. დინამიკური კოეფიციენტის აბსოლუტური მნიშვნელობების გრაფიკი.

როგორც IX.9 ფორმულიდან ჩანს, დინამიკური გაანგარიშება შეიძლება შეიცვალოს სტატიკურით, თუ ცნობილია β. მაგალითად, კოჭის გაღუნული ღერძის იმავე ფორმის შენარჩუნების პირობებში, დინამიკური დატვირთვის ზემოქმედებით გამოწვეული გადაადგილების მნიშვნელობას, რომელიც β-ჯერ აღემატება სტატიკური დატვირთვით გამოწვეულ ჩაღუნვას, შეესაბამება ამდენჯერვე გადიდებული სტატიკური ძალების ტოლი დინამიკური ძალები.

დინამიკური კოეფიციენტი რხევების მილევის პირობით

$$\beta=\sqrt{\left(1-\frac{\theta^2}{\omega^2}\right)+\gamma^2}. \qquad (IX.11)$$

იძულებითი რხევების საწყისი ფაზა მილევის გათვალისწინებით განისაზღვრება ფორმულით

$$\operatorname{tg}\varepsilon=\frac{\gamma}{1-\frac{\theta^2}{\omega^2}}. \qquad \text{(IX.12)}$$

როდესაც ამგზნები ძალის სიხშირე ემთხვევა სისტემის თავისუფალი რხევების სიხშირეს, იძულებითი რხევების ამპლიტუდა მაქსიმალურია. ამ მდგომარეობას რ ე ზ ო ნ ა ნ ს ი ეწოდება.

რადგან ამპლიტუდის გადიდებას თან ახლავს შესაბამისად ძაბვების გადიდება მერხევ ელემენტებში, ნათელია, რომ კონსტრუქციების გაანგარიშებისათვის რეზონანსის საკითხს უდიდესი მნიშვნელობა აქვს. ნაგებობათა ავარიების ანალიზიდან ირკვევა, რომ რხევების ამპლიტუდის გადიდება რეზონანსის გამო ხშირად არის ავარიის მიზეზი.

იდეალურად დრეკადი სისტემისათვის რეზონანსის მოვლენა დაუშვებელია, რადგან, როდესაც $\frac{\theta}{\omega}=1$, დინამიკურობის კოეფიციენტი $\beta\to\infty$ უსასრულოდ დიდდება.

მასალების არადრეკადი წინაღობის წყალობით იძულებითი რხევის ამპლიტუდა შეზღუდულია, მით უფრო, რაც უფრო დიდია ენერგიის შთანთქმის ψ კოეფიციენტი.

ენერგიის შეუქცევი შთანთქმის უნარის გამო რკინაბეტონის კონსტრუქციების რხევის ამპლიტუდა რეზონანსის ზონაშიაც (იდეალურად დრეკადი სისტემისაგან განსხვავებით) სასრული სიდიდისაა. რკინაბეტონის არადრეკადი წინაღობის კოეფიციენტის მნიშვნელობების შესაბამისად, როდესაც $\gamma=0{,}05-0{,}1$, დინამიკური კოეფიციენტი რეზონანსის პირობებში შეადგენს

$$\beta=\frac{1}{\gamma}=20\div10. \qquad \text{(IX.13)}$$

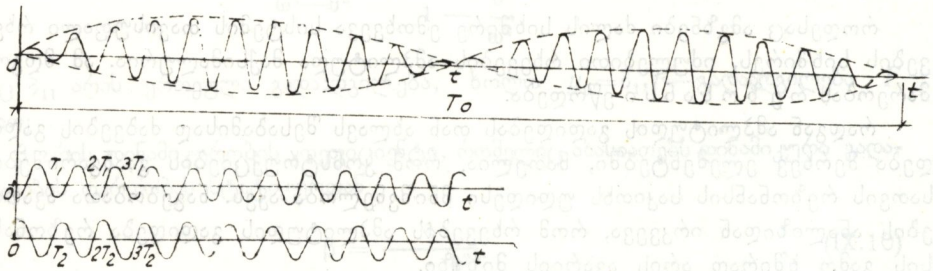
არადრეკადი წინაღობის კოეფიციენტის გადიდებისას დინამიკური კოეფიციენტი მცირდება.

დინამიკური დატვირთვების მოქმედების შემთხვევაში რკინაბეტონის კონსტრუქციების გამოყენების ხელსაყრელი პირობები არსებობს. მათგან აქ აღსანიშნავია, რომ რკინაბეტონის კონსტრუქციების ექსპლუატაცია რეზონანსის პირობებში შესაძლოა.

იმ შემთხვევაში, როდესაც θ და ω რხევების სიხშირის თანაფარდობა მიუთითებს რეზონანსის საშიშროებაზე, კონსტრუქციული ღონისძიებებით საჭიროა გადიდდეს მათ შორის სხვაობა. ამ დროს ხელსაყრელია $\frac{\theta}{\omega}$ ფარდობის გადიდება, რაც გამოიწვევს β დინამიკური კოეფიციენტის შემცირებას. ამ შედეგის მიღწევა შეიძლება კონსტრუქციის სიხისტის შეცვლითაც.

უნდა აღინიშნოს, რომ ხანმოკლე რეზონანსის მდგომარეობა, როგორც წესი, საშიში არ არის — რხევების ამპლიტუდა მოკლე დროის განმავლობაში ვერ ასწრებს დიდი მნიშვნელობის მიღწევას.

ერთი ამგზნები ძალის მოქმედების გარდა იძულებითი რხევა შეიძლება მოხდეს სხვადასხვა სიხშირის რამდენიმე დინამიკური დატვირთვით. მაშინ ვიბროგრამა უფრო რთულია. იგი გამოხატავს სხვადასხვა ამგზნები ძალით გამოწვეულ რხევებს ერთდროულად (ნახ. IX.5).



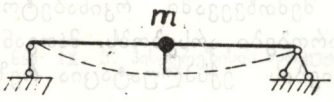
ნახ. IX. 5. ვიბროგრამა სხვადასხვა სიხშირის რამდენიმე დინამიკური დატვირთვის მოქმედებისას.

2. რხევა რამდენიმე თავისუფლების ხარისხის სისტემისათვის

თავისუფლების ხარისხი, ე. ი. სისტემის მდებარეობის განმსაზღვრელი პარამეტრების რაოდენობა დამოკიდებულია საანგარიშო სქემაზე.

კონსტრუქციების თავისუფალი რხევების სიხშირე განისაზღვრება რხევაში შესული ყველა ელემენტის მასისა და კონსტრუქციასთან ხისტად დაკავშირებული ყველა სასარგებლო დატვირთვის გათვალისწინებით.

რკინაბეტონის კონსტრუქციები, ჩვეულებრივ, სტატიკურად ურკვევი სივრცული სისტემებია, რომელთა მუშაობის დაწვრილებით აღწერა შეუძლებელია. ამიტომ გაანგარიშებებში კონსტრუქციას წარმოიდგენენ დანაწევრებულს ცალკეულ ელემენტებად (დაახლოებით ისე, როგორც სტატიკური გაანგარიშებისას სართულშორისი გადახურვა ნაწილდება კოჭებისა და ფილების სისტემად).



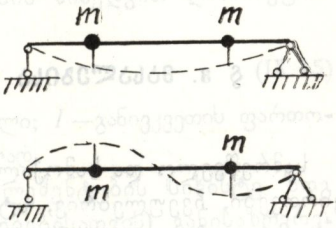
ნახ. IX.6. თავისუფლების ერთი ხარისხის მქონე კოჭის საკუთარი რხევის ფორმა.

სისტემის უმარტივეს მაგალითს თავისუფლების ერთი ხარისხის შემთხვევაში წარმოადგენს უწონო, თავისუფლად დაყრდნობილი კოჭი, რომლის მალის შუაში მოქმედებს შეყურსული m მასა. კოჭის, როგორც თავისუფლების ერთი ხარისხის მქონე სისტემის, საკუთარი რხევის ფორმა მოცემულია IX.6 ნახაზზე.

თავისუფლების ორი ხარისხიანი სისტემის მაგალითად გამოდგება უწონო, ერთმალიანი თავისუფლად დაყრდნობილი კოჭი ორი შეყურსული მასით მალში; აგრეთვე უწონო (რუსული ალფაბეტის ასო П-სებრი მოხაზულობის) ჩარჩო ერთი შეყურსული მასით რიგელის ფარგლებში, როდესაც ამ ტვირთის

რხევა უნდა იქნეს განსაზღვრული ვერტიკალური და ჰორიზონტალური მიმართულებით ერთობლივ. როდესაც უწონო კოჭზე მოქმედებს ორი შეყურსული მასა, ყოველ მათგანს ახასიათებს თავისი სიხშირე და კოჭის დრეკადი ღერძის ფორმა. რხევის ორი ფორმიდან პირველი შეესაბამება კოჭის დრეკადი ხაზის სიმეტრიულ, ხოლო მეორე — ირიბად სიმეტრიულ ფორმას (ნახ. IX.7).

უწონო კოჭთან დაკავშირებული n შეყურსული მასის შემთხვევაში n რაოდენობის თავისუფლების ხარისხის მქონე სისტემას თავისუფალი რხევების სიხშირისა და ფორმების ამდენივე n რაოდენობა ექნება.



ნახ. IX. 7. თავისუფლების ორი ხარისხის მქონე კოჭის საკუთარი რხევის ფორმა.

თავისუფლების n ხარისხის სისტემის ყოველი k ტონის, როდესაც $k=1, 2, 3, \ldots, n$, დამახასიათებელი დამოუკიდებელი თავისუფალი რხევა გამოისახება განტოლებით

$$y_k = A_k e^{-\frac{\delta t}{T}} \sin(\omega_k t + \varepsilon_k), \qquad \text{(IX.14)}$$

სადაც ω_k არის k ტონის თავისუფალი რხევის სიხშირე; A_k—k ტონის რხევის საწყისი ($t=0$ დროის) ამპლიტუდა; ε_k—k ტონის რხევის საწყისი ფაზა; δ—ყველა ტონისათვის ერთნაირი მილევის ლოგარითმული დეკრემენტი.

სისტემის ყოველი რხევის სიხშირეს შეესაბამება თავისუფალი რხევის თავისი ერთადერთი ფორმა.

თავისუფალი რხევების k ტონის ω_k სიხშირე ერთნაირია სისტემებისათვის მილევადობის შემთხვევაში და მილევადობის გარეშე.

იძულებითი რხევის შემთხვევაში მილევა მნიშვნელოვანია რეზონანსის არეში.

დინამიკური კოეფიციენტი მრავალი თავისუფლების ხარისხიანი სისტემებისათვის დადგინდება თავისუფალი რხევის იმ ω_k სიხშირისათვის, რომელიც ახლოა ამგზნები ძალის θ სიხშირესთან, ხოლო გადაადგილება (ჩაღუნვა) გამოითვლება რხევის ფორმისათვის საანგარიშო სქემაში ამგზნები ძალის მდებარეობის მიხედვით.

ნაგებობების დინამიკურ გაანგარიშებებში თავისუფლების ხარისხის მნიშვნელობის მიხედვით განასხვავებენ საანგარიშო სქემებს სისტემების სასრული და უსასრულოდ დიდი თავისუფლების ხარისხით.

ნაგებობები დისკრეტულად განაწილებული მასებით განიხილება, როგორც სისტემები სასრული $\mathbf{n}$ რაოდენობის თავისუფლების ხარისხით. ასეთ საანგარიშო სქემას იყენებენ კარკასული შენობების, მაღალი ანძის ან კოშკის ტიპის ნაგებობების, სამრეწველო შენობის სახურავის წამწეების და სხვა კონსტრუქციებისა და ნაგებობების დინამიკური გაანგარიშებისათვის.

რეალური შენობებისა და ნაგებობების კონსტრუქციები, როგორც წესი, განაწილებული და შეყურსული ძალებითაა დატვირთული. მიუხედავად იმისა, რომ ასეთი კონსტრუქციები უსასრულოდ დიდი თავისუფლების ხარისხის მქონე სისტემებია, დინამიკური გაანგარიშებისათვის საანგარიშო სქემას რიგ

შემთხვევებში წარმოიდგენენ, როგორც სისტემის სასრული რაოდენობის თავისუფლების ხარისხით.

მიახლოებითი დინამიკური გაანგარიშებებისათვის განაწილებული მასის კონსტრუქციებს ხშირად განიხილავენ როგორც სასრული რაოდენობის თავისუფლების ხარისხის მქონე სისტემებს, რადგან გაანგარიშებები ამ დროს მარტივდება, ზოგჯერ კი ასეთი დაშვება ერთადერთ პრაქტიკულ შესაძლებლობას წარმოადგენს.

§ 3. მასალებისა და კონსტრუქციების დინამიკური მახასიათებლები

სამრეწველო და სამოქალაქო შენობის საექსპლუატაციო დინამიკური დატვირთვები, ჩვეულებრივ, სტატიკურ დატვირთვებთან შედარებით დიდი არ არის. მასალებისა და კონსტრუქციების დინამიკური მახასიათებლებიც ქვემოთ განხილულია დინამიკური დეფორმაციებისა და სიჩქარეთა ზომიერი დონისათვის.

დეფორმეციის პროცესის მაღალი სიჩქარის შემთხვევებისათვის, მძლავრი ერთჯერადი იმპულსების (აფეთქება), სეისმური დატვირთვების, დარტყმითი დატვირთვების ზემოქმედებაზე არსებობს სპეციალური ლიტერატურა.

ქვემოთ განხილულია ციკლური დეფორმაციის პროცესში დინამიკური სიხისტე და გამძლეობა (ანუ დინამიკური სიმტკიცე).

1. დინამიკური სიხისტე

განასხვავებენ სამშენებლო კონსტრუქციების „სტატიკური“ და „დინამიკური“ სიხისტის ცნებებს. ცნება „სტატიკურის“ ქვეშ იგულისხმება სიხისტე კონსტრუქციის დეფორმაციის ნელი პროცესის პირობებში, რომელსაც იყენებენ ნაგებობის სტატიკური გაანგარიშებისათვის. „დინამიკური“ ეწოდება სიხისტეს, რომელიც განისაზღვრება კონსტრუქციის დეფორმაციის პროცესის სწრაფი მიმდინარეობის შემთხვევაში და იყენებენ ნაგებობის დინამიკური გაანგარიშებისას.

სტატიკური სიხისტე დამოკიდებულია დატვირთვის მოქმედების ხანგრძლივობაზე; ცოცვადობის დეფორმაციების და ძაბვების რელაქსაციის გამო გამოითვლება დატვირთვის დასაწყისიდან განვლილი დროის მონაკვეთის მიხედვით. დინამიკური სიხისტე დამოკიდებულია რხევის პერიოდზე, მაგრამ რკინაბეტონის კონსტრუქციების პერიოდული დატვირთვის ჩვეულებრივი სიხშირის პირობებში ახლოა ხანმოკლე დატვირთვის დროს დაბალი ძაბვების დონეზე ცდებით დადგენილ სტატიკურ სიხისტესთან.

სამშენებლო კონსტრუქციების დინამიკურ გაანგარიშებებში სიხისტე განისაზღვრება მასალის მუშაობის დრეკადი სტადიის მიხედვით (გამონაკლისს შეადგენს გაანგარიშება დარტყმით და იმპულსურ მძლავრ დატვირთვებზე, როდესაც პლასტიკური დეფორმაციების გაჩენა სავარაუდოა), როგორც დრეკადობის დინამიკური მოდულის ნამრავლი განივკვეთის შესაბამის მახასიათებელზე.

რკინაბეტონის კარკასის ღუნვადი ელემენტების, მონოლითური რკინაბეტონის გადახურვებისა და სახურავის ელემენტების, დრეკად ფუძეზე მდებარე ფილებისა და კოჭების, რეზერვუარების ფსკერისა და კედლების დინამიკური სიხისტე შეიძლება მივიღოთ ბეტონის მთლიანი კვეთის სიხისტის ტოლი (არმატურის გაუთვალისწინებლად); ამ დროს ბეტონის დრეკადობის დინამიკური მოდული მიიღება E_b საწყისი დრეკადობის მოდულის ტოლი. რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტების ნორმების მიხედვით დინამიკური სიხისტე ღუნვადი ელემენტებისათვის მიიღება

$$B_d = E_b I, \tag{IX.15}$$

სადაც E_b არის ბეტონის საწყისი დრეკადობის მოდული; I —განივკვეთის ფართობის ინერციის მომენტი არმატურის გაუთვალისწინებლად.

რკინაბეტონის კონსტრუქციების ღუნვადი ელემენტების სიხისტე ზოგ შემთხვევაში (განსაკუთრებით პასუხსაგები ნაგებობებისათვის) განისაზღვრება გაჭიმულ ზონაში ბზარების გახსნის გათვალისწინებით.

აქ მხედველობაში მიიღება რა ის გარემოება, რომ დროთა ვითარებაში გაჭიმული ზონის ბეტონი მუშაობიდან გამოირთვება, ხოლო შეკუმშული ბეტონი იძენს დრეკად თვისებებს, დაბზარული ელემენტის სიხისტის განსაზღვრისას გაჭიმული ბეტონის მონაწილეობის გამათვალისწინებელი ψ_s კოეფიციენტი და შეკუმშული ბეტონის წრფივი ფარდობითი დეფორმაციების უთანაბრობის ψ_b კოეფიციენტები მიიღება ერთის ტოლი.

2. დინამიკური სიმტკიცე, ანუ გამძლეობა

კონსტრუქციაზე სტატიკური და დინამიკური დატვირთვების მოქმედებისას განასხვავებენ სიმტკიცის შეფასების ორ ძირითად შემთხვევას: პირველი შეესაბამება ნაკეთობის ექსპლუატაციის ხანგრძლივი დროის განმავლობაში მოქმედი პერიოდული დატვირთვების გათვალისწინებას, მეორე — როდესაც გათვალისწინებული უნდა იქნეს ეპიზოდური, მცირე განმეორებადობის, შედარებით არახანგრძლივი დინამიკური დატვირთვა. პირველ შემთხვევაში სიმტკიცეზე გავლენას ახდენს მასალის წინაღობის უნარი დაღლილობისადმი, უნარი დაურღვევლად აიტანოს გარკვეული დონის ციკლური ძაბვები ციკლების მოცემული რაოდენობისას.

მასალის დაღლილობა არის მდგომარეობა, რომელიც ხასიათდება ლოკალური რღვევის კერების წარმოქმნით (დაღლილობის ბზარები) აღებული სახეობის ცვლადი ციკლური ძაბვების ხანგრძლივი ზემოქმედების შედეგად. ძაბვების აბსოლუტური სიდიდე ამ დროს შეიძლება გაცილებით ნაკლები იყოს მასალის სტატიკურ სიმტკიცეზე. ამიტომ კონსტრუქციის შემოწმება დაღლილობაზე აუცილებელია, როდესაც ციკლური ძაბვების სისტემატური მოქმედებისას მათი ამპლიტუდა ძალიან მცირე არ არის სტატიკურ ძაბვებთან შედარებით.

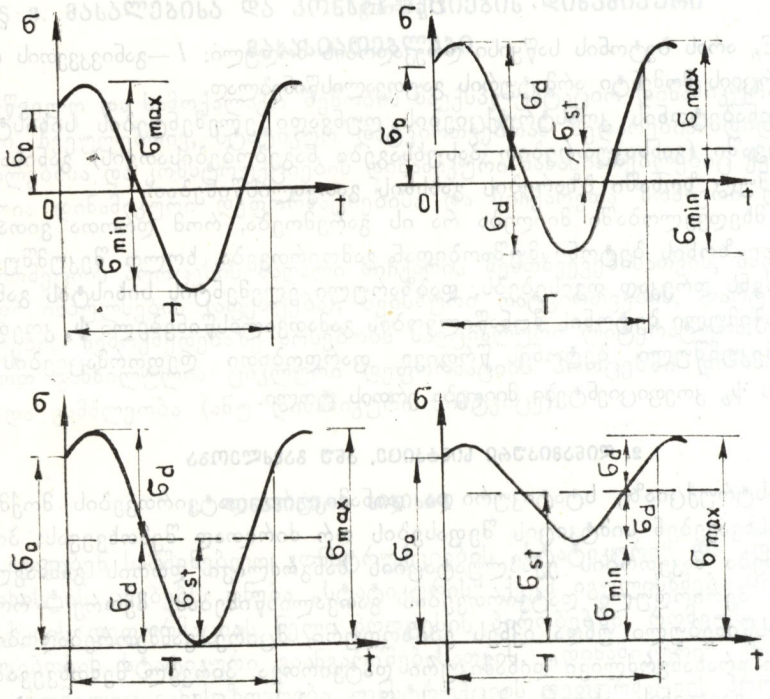
ციკლურ დატვირთვაში იგულისხმება ჰარმონიული დატვირთვა (ძაბვების ციკლები იხ. IX.8 ნახაზზე). ძაბვების ციკლი წარმოადგენს ძაბვების ცვლილების პერიოდს, რომლის მიმდინარეობისას მასალის ძაბვები იღებს საწყის სიდიდეს, შემდგომში კი ძაბვები ღებულობს უდიდეს და უმცირეს მნიშვნელობას.

ციკლის მაქსიმალური და მინიმალური ძაბვები გამოიხატება მუდმივი (სტატიკური) და ცვლადი (დინამიკური) ძაბვების მიხედვით

$$\left.\begin{aligned}\sigma_{max}&=\sigma_{st}+\sigma_d,\\ \sigma_{min}&=\sigma_{st}-\sigma_d.\end{aligned}\right\} \qquad \text{(IX.16)}$$

ან

$$\sigma_{st}=\frac{\sigma_{max}+\sigma_{min}}{2};\quad \sigma_d=\frac{\sigma_{max}-\sigma_{min}}{2}.$$



ნახ. IX. 8. ძაბვების ციკლი.

ძაბვების ციკლის S დინამიკურობის მახასიათებელი არის ციკლური σ_d (დინამიკური) ძაბვის ფარდობა ციკლის σ_{st} საშუალო (სტატიკურ) ძაბვებთან, რომლის მიმართაც იცვლება ციკლური ძაბვა და რომელიც ყოველთვის დადებითად ითვლება

$$S=\frac{\sigma_d}{\sigma_{st}}.$$

ძაბვების ციკლის დინამიკურობის მახასიათებლის ნაცვლად იყენებენ ძაბვების ციკლის ასიმეტრიულობის კოეფიციენტს

$$\rho=\frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}, \qquad \text{(IX.17)}$$

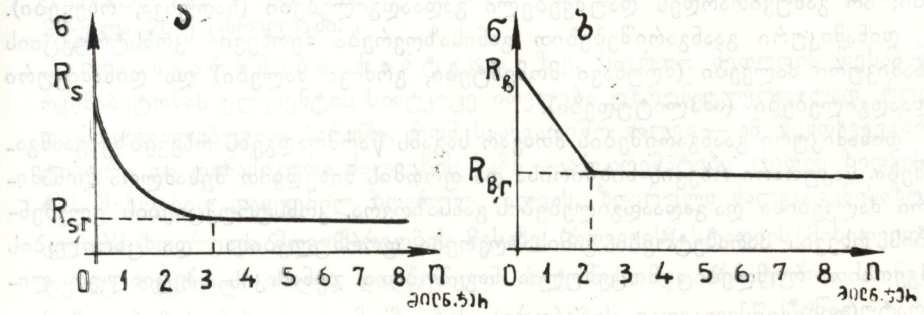
რომლის საზღვრებია $-1 \leqslant \rho \leqslant 1$.

$S=0$ ან $\rho=1$ მნიშვნელობებს შეესაბამება მხოლოდ სტატიკური ძაბვები; $S=\infty$ ან $\rho=-1$—მხოლოდ დინამიკური ძაბვები, ანუ სიმეტრიული ციკლი; $S=1$ ან $\rho=0$—ე. წ. პულსაციური, ანუ ცალმხრივი ციკლი; $0<S<1$ ან $0<\rho<1$ მნიშვნელობების შესაბამისია არასიმეტრიული ციკლი, ხოლო $1<S<\infty$ ან $-1<\rho<0$—ცვლადნიშნა არასიმეტრიული ციკლი (ნახ. IX.8).

მასალის გამძლეობის ზღვარი ეწოდება ციკლური ძაბვების უდიდეს აბსოლუტურ სიდიდეს, რომლის ატანა დაუსრულებლად შეუძლია მასალას ნებისმიერი უდიდესი რაოდენობის განმეორებითი დატვირთვების მოქმედების შემთხვევაში (პრაქტიკულად განმეორებადობის რაოდენობისათვის $2\div5.10^6$).

მასალის გამძლეობის ზღვარი დამოკიდებულია წინაღობის სახეობაზე (კუმშვა, გაჭიმვა ღუნვა ან სხვ.), მასალის წინაღობის უნარზე დატვირთვის შესაბამისი სახეობისადმი, ძაბვების ციკლის მახასიათებელზე და სხვ.

ბეტონისა და არმატურის გამძლეობის ზღვრის დამოკიდებულება დატვირთვის განმეორებათა რაოდენობაზე ნაჩვენებია IX.9 ნახაზზე.



ნახ. IX. 9. გამძლეობის ზღვარი დატვირთვის განმეორებათა რაოდენობის მიხედვით: ა—არმატურის; ბ—ბეტონის.

დატვირთვა-განტვირთვის მრავალჯერადი განმეორება ბეტონის ნიმუშის კუმშვის დროს იწვევს არადრეკადი დეფორმაციების თანდათანობით დაგროვებას. გამძლეობის ზღვარზე დაბალი მკუმშავი საწყისი ძაბვების წარმოქმნის შემდგომი დატვირთვის ყოველი ციკლით ნარჩენი დეფორმაციების დაგროვება თანდათან ნელდება, ძაბვა-დეფორმაციათა დამოკიდებულების $\sigma-\varepsilon$ მრუდი სწორდება და იქცევა დრეკადი დეფორმაციების წრფივად. ბეტონის ძაბვების ისეთი სიდიდისათვის, რომელიც აღემატება გამძლეობის ზღვარს, დატვირთვა-განტვირთვა ხანმოკლე დროით ჯერ გამოიწვევს $\sigma-\varepsilon$ მრუდის გაწრფივებას ხოლო შემდგომ იგი ისევ მრუდდება, მაგრამ ჩაზნექილია დეფორმაციათა ღერძისაკენ და ამ მრუდის მხების მიერ აბსცისასთან შედგენილი კუთხე თანდათან მცირდება (იხ. თავი II, ნახ. 13), არადრეკადი დეფორმაციების ზრდა მიმდინარეობს შეუზღუდავად, რასაც მოსდევს ბეტონის რღვევა.

ექსპერიმენტებით დადასტურდა, რომ ბეტონის გამძლეობის ზღვარი შეიძლება ორჯერ ნაკლები იყოს დროებით წინაღობასთან შედარებით.

ფოლადის დაღლილობის დამახასიათებელი ნიშანია მყიფე რღვევა ნიმუშის გრძივი ღერძისადმი ნორმალურ კვეთზე (უმნიშვნელო დეფორმაციები-

სას). დატვირთვების ციკლთა რაოდენობის გადიდება იწვევს სიმტკიცის შემცირებას. 3.10^6 ციკლის შემდეგ σ—ε მრუდი იქცევა დეფორმაციის ღერძისადმი პარალელურ სწორ ხაზად, რომელიც ახასიათებს ფოლადის გამძლეობის აბსოლუტურ ზღვარს.

§ 4. დინამიკურ დატვირთვაზე რკინაბეტონის კონსტრუქციების ელემენტების გაანგარიშების თავისებურებები

რკინაბეტონის კონსტრუქციები, რომლებიც განიცდიან სტატიკური და დინამიკური დატვირთვის ერთობლივ ზემოქმედებას, უნდა აკმაყოფილებდეს საანგარიშო მოთხოვნებს ზიდვის უნარისა და ნორმალური ექსპლუატაციისათვის ვარგისიანობის მიხედვით.

პირველი ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშებით უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს კონსტრუქციის სიმტკიცე, მდგრადობა და გამძლეობა, ხოლო მეორე ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით — ბზარმედეგობა და სიხისტე: არ უნდა წარმოიქმნას ან გაიხსნას ზომაზე დიდად ბზარები; არ განუვითარდეს დაუშვებელი გადაადგილებები (ჩაღუნვა, რხევები).

დინამიკური გაანგარიშებებით განისაზღვრება მერხევი კონსტრუქციის დინამიკური ძალები (მღუნავი მომენტები, გრძივი ძალები) და დინამიკური გადაადგილებები (ამპლიტუდები).

დინამიკური გაანგარიშების მთავარ საგანს წარმოადგენს რხევებზე გაანგარიშება. საკუთარი რხევის სიხშირისა და ფორმის მიხედვით შესაძლოა დინამიკური ძალებისა და გადაადგილებების განსაზღვრა. კონსტრუქციების ელემენტების რხევის პარამეტრები განისაზღვრება ფორმულებისა და ცხრილების მეშვეობით, რომლებიც მოცემულია ნაგებობათა დინამიკის სპეციალურ ლიტერატურაში*.

დინამიკური ძალები განისაზღვრება საანგარიშო დინამიკური დატვირთვების მიხედვით; დინამიკური გადაადგილებები (ამპლიტურა) განისაზღვრება დინამიკური დატვირთვების ნორმატიული მნიშვნელობის მიხედვით. საანგარიშო დინამიკური დატვირთვა გამოითვლება ნორმატიული დინამიკური დატვირთვის გადამრავლებით საიმედოობის γ_f კოეფიციენტზე დატვირთვის მიხედვით, რომელიც დამოკიდებულია დინამიკური დატვირთვის სახეობაზე (მოცემულია ნორმატიულ ლიტერატურაში), იცვლება $1 \div 4$.

გადატვირთვა (რომელსაც ითვალისწინებს γ_f საიმედოობის კოეფიციენტი დატვირთვის მიხედვით), ჩვეულებრივ, ხანგრძლივი ხასიათისაა და გამძლეობაზე გაანგარიშებისას მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული საანგარიშო დატვირთვა. როდესაც გადატვირთვა ხდება მუშაობის რეჟიმის დარღვევის ერთეული შემთხვევების სახით, იგი მხედველობაში მიიღება მხოლოდ დამჭერი საყრდენი კონსტრუქციების სიმტკიცეზე შემოწმებისას.

---

* Инструкция по расчету несущих конструкций промышленных зданий и сооружений на динамические нагрузки. ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко Госстроя СССР. Стройиздат, М., 1970.

Справочник по динамике сооружений. Под редакцией Б. Г. Коренева и И. М. Рабиновича. Стройиздат, М., 1972.

ღუნვადი ელემენტების ვერტიკალური გადაადგილებები და მღუნავი მომენტები განისაზღვრება მხოლოდ ვერტიკალურ სიბრტყეში მოქმედი ძალებისა და მომენტების მიხედვით. დგარებისა და კედლების ჰორიზონტალური დინამიკური გადაადგილების გაანგარიშებებისას მხედველობაში მიიღება მხოლოდ ჰორიზონტალურ სიბრტყეში მოქმედი ძალები და მომენტები.

კონსტრუქციაზე სტატიკური და დინამიკური დატვირთვების ერთობლივი მოქმედების დროს მასალის საანგარიშო წინაღობა მიიღება სტატიკური საანგარიშო წინაღობის გადამრავლებით მუშაობის პირობების კოეფიციენტზე.

მრავალჯერგანმეორებადი დინამიკური დატვირთვის მოქმედებისას მუშაობის პირობების კოეფიციენტი დამოკიდებულია ძაბვების ციკლის ასიმეტრიულობის ρ კოეფიციენტის მნიშვნელობაზე. იგი ითვალისწინებს მასალის წინაღობის დაქვეითებას მრავალჯერგანმეორებადი დატვირთვის მიერ. γ_{b1} ბეტონის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი ρ_b ასიმეტრიულობის ციკლის შესაბამისად მოცემულია ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტების ნორმების (СНиП 2.03.01—84) მე-16 ცხრილში, ხოლო γ_{s3} და γ_{s4} არმატურის მუშაობის პირობების კოეფიციენტები ρ_s ასიმეტრიულობის ციკლის შესაბამისად—დაპროექტების ნორმების 25-ე და 26-ე ცხრილებში.

გ ა ა ნ გ ა რ ი შ ე ბ ა ს ი მ ტ კ ი ც ე ზ ე. საერთო მეთოდის შესაბამისად, რკინაბეტონის ელემენტის სიმტკიცე ითვლება უზრუნველყოფილად, როდესაც დაკმაყოფილებულია პირობა, რომ საანგარიშო ძალვა — ამ შემთხვევაში სტატიკური და დინამიკური ძალვების ჯამი — არ აღემატება კვეთის ზიდვის უნარის მიხედვით დადგენილ ზღვრულ ძალვას. ზღვრული ძალვა განისაზღვრება კვეთის ზღვრული მდგომარეობის მესამე (რღვევის) სტადიის მიხედვით (როდესაც ზღვრული ძალვა დადგენილია ბეტონისა და არმატურის საანგარიშო წინაღობების მიხედვით, მუშაობის პირობების გათვალისწინებით).

კერძოდ, ღუნვადი ელემენტის ნორმალური კვეთი სიმტკიცეზე იანგარიშება პირობით

$$M_{st}+M_d \leqslant M_{per}, \qquad (IX.18)$$

სადაც M_{st} არის საანგარიშო სტატიკური დატვირთვებით გამოწვეული მღუნავი მომენტი; M_d—დინამიკური საანგარიშო დატვირთვებით გამოწვეული მღუნავი მომენტი; M_{per}—ზღვრული მომენტის სიდიდე, რომელსაც იტანს კვეთი. რიგ შემთხვევებში $M_{st}+M_d$ ჯამური მომენტი განისაზღვრება დინამიკურობის β კოეფიციენტზე გადამრავლებული სტატიკური დატვირთვების მიხედვით (β მიიღება IX.11 ფორმულის ან დაპროექტების ნორმებით).

გ ა ა ნ გ ა რ ი შ ე ბ ა გ ა მ ძ ლ ე ო ბ ა ზ ე წარმოგვიდგება, როგორც შედარება ბეტონისა და არმატურის ძაბვებისა შესაბამისი საანგარიშო წინაღობასთან მუშაობის პირობების კოეფიციენტების (γ_{b1}, γ_{s3}, γ_{s4}) გათვალისწინებით.

გაანგარიშება ხდება ბრტყელი კვეთების ჰიპოთეზის შესაბამისად, ე. ი. ბეტონის ძაბვების ცვალებადობის კანონი კვეთის სიმაღლეზე მიიღება წრფივი.

ბეტონისა და არმატურის ძაბვები გამოითვლება როგორც დრეკადი ტანისათვის დაყვანილი კვეთის მიხედვით, მაგრამ შეკუმშული ზონის ბეტონში არადრეკადი დეფორმაციების გათვალისწინება მაინც ხდება ბეტონზე არმატურის დაყვანის

α' კოეფიციენტის მეშვეობით: $\alpha' = \frac{E_s}{\nu E_b}$, რომელიც ბეტონის კლასის მიხედვით მიიღება $\alpha' = 10$, 15, 20, 25, შესაბამისად $B40$ და მეტი, $B30$, $B25$, $B15$ კლასებისათვის.

როდესაც ბეტონის გამჭიმი ნორმალური ძაბვები აღემატება საანგარიშო წინაღობას—$\sigma_{bt} > R_{bt}\gamma_{b1}$—დაყვანილი კვეთის ფართობი განისაზღვრება გაჭიმული ზონის ბეტონის გაუთვალისწინებლად.

ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური კვეთის გაანგარიშება გამძლეობაზე უნდა ჩატარდეს პირობით:

შეკუმშული ბეტონისათვის

$$\sigma_{b.\max} \leqslant R_b \cdot \gamma_{b1}; \tag{IX.19}$$

გაჭიმული გრძივი არმატურისათვის

$$\sigma_{s.\max} \leqslant R_s \cdot \gamma_{s3} \cdot \gamma_{s4}. \tag{IX.20}$$

არმატურის შედუღებით შეერთებების შემთხვევაში ითვალისწინებენ γ_{s4} მუშაობის პირობების კოეფიციენტს.

შეკუმშული ზონის გრძივი არმატურა გამძლეობაზე არ მოწმდება, მრავალჯერგანმეორებადი დატვირთვები არ უნდა იწვევდეს შეკუმშული ზონის ბეტონის გაჭიმვას.

ელემენტის გრძივი ღერძისადმი დახრილი კვეთების გაანგარიშება გამძლეობაზე ხდება პირობით, რომ დაყვანილი კვეთის სიმძიმის ცენტრის დონეზე მოქმედი მთავარი გამჭიმი ძაბვების ატანა მთლიანად უნდა შეეძლოს განივ არმატურას (რომლის საანგარიშო წინაღობა, მუშაობის პირობების კოეფიციენტების გათვალისწინებით, მიიღება $R_s\gamma_{s3}\gamma_{s4}$):

$$\sigma_{mt,\max} sb \leqslant A_{sw} R_s \gamma_{s3} \gamma_{s4}, \tag{IX.21}$$

სადაც s და b შესაბამისად არის განივი არმატურის ბიჯი და ელემენტის სიგანე დაყვანილი კვეთის სიმძიმის ცენტრის დონეზე; A_{sw}—განივი არმატურის ყველა ღეროს განივკვეთის ფართობი ერთ სიბრტყეში; $\sigma_{mt.\max}$—მთავარი გამჭიმი ძაბვა დაყვანილი კვეთის სიმძიმის ცენტრის დონეზე.

γ_{s3} და γ_{s4} დადგინდება ციკლის მახასიათებლის მიხედვით (ცხრ. 25 და 26, СНиП 2.03.01—84-დან)

$$\rho_b = \frac{\sigma_{mt.\min}}{\sigma_{mt.\max}}.$$

ელემენტები რომელთაც განივი არმატურა არ გააჩნიათ, დახრილი კვეთების გამძლეობაზე იანგარიშება ისე, როგორც ბზარების წარმოქმნის მიხედვით (ე. ი. დახრილი ბზარები არ უნდა იხსნებოდეს), მაგრამ საანგარიშო წინაღობის შესაბამისად, სიმტკიცის მიხედვით გაჭიმვაზე მუშაობის პირობების კოეფიციენტის გათვალისწინებით, პირობით

$$\sigma_{mt} \leqslant \gamma_{b4} R_{bt} \gamma_{b1}, \tag{IX.22}$$

სადაც γ_{b4} არის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ბეტონის სიმტკიცეზე რთული დაძაბული მდგომარეობის „კუმშვა-გაჭიმვა“ გავლენას; განისაზღვრება γ_{b4} ფორმულით

$$\gamma_{b4} = \frac{1 - \frac{\sigma_{mc}}{R_b \gamma_{b1}}}{0{,}2 + \alpha B} \qquad \text{(IX.23)}$$

და არ მიიღება ერთზე მეტი. აქ α არის კოეფიციენტი, რომელიც მძიმე ბეტონისათვის ტოლია 0,01, ხოლო წვრილმარცვლოვანი, მსუბუქი და უჯრედოვანი ბეტონისათვის $\alpha = 0{,}02$; B—ბეტონის კლასი სიმტკიცის მიხედვით კუმშვაზე, MPa; σ_{mc}—მთავარი მკუმშავი ძაბვები.

გაანგარიშება ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური ბზარების წარმოქმნის მიხედვით მრავალჯერგანმეორებადი დატვირთვების მოქმედებისას ხდება პირობით

$$\sigma_{bt} \leqslant R_{bt,\mathrm{ser}} \gamma_{b1}, \qquad \text{(IX.24)}$$

სადაც σ_{bt} არის ბეტონის გამჭიმი უდიდესი ნორმალური ძაბვა, რომელიც განისაზღვრება იმავე წინაპირობებით, როგორც სიმტკიცეზე გაანგარიშების შემთხვევაში; $R_{bt,\mathrm{ser}}$—ბეტონის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე, ნორმალური ექსპლუატაციისათვის ვარგისიანობის მიხედვით გაანგარიშებებში; γ_{b1}—ბეტონის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი მრავალჯერგანმეორებადი დატვირთვისას, ციკლის ρ_b ასიმეტრიულობის მიხედვით.

გაანგარიშება ელემენტის გრძივი ღერძისადმი დახრილი ბზარების წარმოქმნის მიხედვით მრავალჯერგანმეორებად დატვირთვების მოქმედებისას უნდა ჩატარდეს პირობით

$$\sigma_{mt} \leqslant \gamma_{b4} R_{bt,\mathrm{ser}} \gamma_{b1}, \qquad \text{(IX.25)}$$

სადაც σ_{mt} არის მთავარი გამჭიმი ძაბვა დაყვანილი კვეთის სიმძიმის ცენტრის დონეზე; γ_{b4}—მუშაობის პირობების კოეფიციენტი, რომელიც იანგარიშება ფორმულით

$$\gamma_{b4} = \frac{1 - \frac{\sigma_{mc}}{R_{b.\mathrm{ser}} \gamma_{b1}}}{0{,}2 + \alpha B},$$

აქ $R_{b,\mathrm{ser}}$ არის ბეტონის საანგარიშო წინაღობა კუმშვაზე მეორე ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშების შემთხვევაში; αB განისაზღვრება ისევე, როგორც (IX.23) ფორმულის გამოყენებისას და მისი სიდიდე 0,3-ზე მეტი არ მიიღება.

მრავალჯერგანმეორებადი დატვირთვების მოქმედებისას ბზარების გახსნის მიხედვით გაანგარიშება ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური და დახრილი კვეთებისათვის წარმოებს იმავე ფორმულებით, როგორც სტატიკურ დატვირთვებზე, მაგრამ გათვალისწინებული უნდა იქნეს ზოგიერთი თავისებურება, რაც ასახულია დაპროექტების ნორმებში: მაგალითად, ბზარის გახსნის სიგანის საანგარიშო ფორმულებში შემავალი φ_l კოეფიციენტის შერჩევა, საანგარიშო წინაღობების შემამცირებელი მუშაობის პირობების γ_{b1}, γ_{s3}, γ_{s4} კოეფიციენტების და სხვ. გათვალისწინება.

კონსტრუქციის უდიდესი გადაადგილება, სიჩქარე და აჩქარება, გამოწვეული ნორმატიული დინამიკური დატვირთვით, არ უნდა აღემატებოდეს დასაშვებ სიდიდეს, რომელიც განისაზღვრება ადამიანებისა და რხევისადმი მგრძნობიარე მოწყობილობების ნორმალური მუშაობის პირობით; აქედან კონსტრუქციის უდიდესი გადაადგილება შეიზღუდება პირობით

$$A \leqslant a_0,$$

აქ a_0 არის რხევის ამპლიტუდის ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობა;

გადაადგილების, სიჩქარისა და აჩქარების დასაშვები სიდიდე მიიღება სანიტარულ-ჰიგიენური ნორმებისა და ტექნოლოგიური მოთხოვნების მიხედვით.

საწარმოო შენობების სამუშაო ადგილზე ჰარმონიული რხევების ზღვრულად დასაშვები გადაადგილების a_0 ამპლიტუდა სიხშირის მიხედვით (მოცემულია სპეციალურ ცხრილებში) იცვლება 0,6 მმ-დან 0,003 მმ-მდე (მაგალითად, $a_0 = 0{,}6$—0,4 მმ სიხშირისათვის $n = 3Hz$; $a_0 = 0{,}005$—0,003 მმ სიხშირისათვის $n = 75$—$100\ Hz$).

კონსტრუქციის გადაადგილების დასაშვები ამპლიტუდა ჰარმონიული რხევის შემთხვევაში განისაზღვრება ფორმულით

$$a_0 = \frac{\omega_0}{(2\pi n)^2} \quad \text{ან} \quad a_0 = \frac{v_0}{2\pi n},$$

სადაც ω_0 და a_0 არის აჩქარებისა და სიჩქარის ამპლიტუდის დასაშვები მნიშვნელობა; n—რხევის სიხშირე.

X თავი

რკინაბეტონის კონსტრუქციები შენობებისათვის

§ 1. საერთო ცნობები

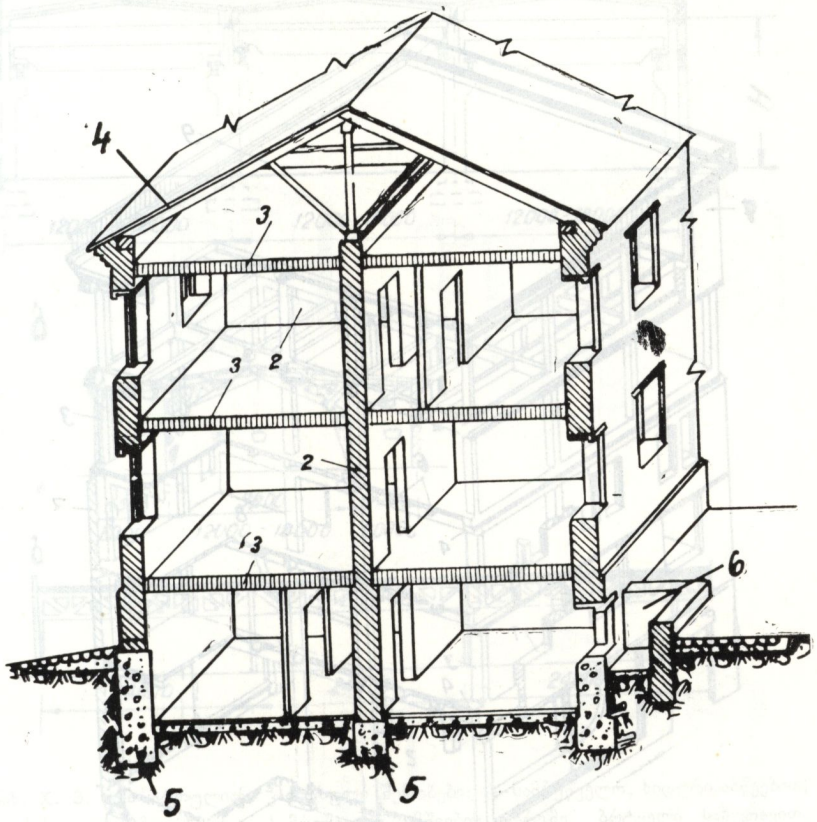
რკინაბეტონის კონსტრუქციებს ფართოდ იყენებენ სამრეწველო, საცხოვრებელ-სამოქალაქო და სასოფლო-სამეურნეო შენობების კონსტრუქციული ელემენტების სახით, როგორიცაა: საძირკვლები, კედლები, სვეტები, სართულშორისი გადახურვები, სახურავები და სხვ. დანიშნულების მიხედვით გამოირჩევა შენობების კონსტრუქციული ელემენტების ორი ჯგუფი: მზიდი და შემომზღუდი კონსტრუქციები.

შენობის მზიდი ელემენტები ურთიერთკავშირში ქმნიან შენობის მზიდ ჩონჩხს, რომელსაც გადაეცემა შენობაზე მოქმედი დატვირთვები, ამავე დროს იგი უზრუნველყოფს შენობის სივრცით სიხისტესა და მდგრადობას.

მზიდი ჩონჩხი შეიძლება იყოს ერთგვაროვანი (შედგენილი მხოლოდ რკინაბეტონის ან სხვა მასალის მზიდი ელემენტებისაგან) და არაერთგვაროვანი (მაგალითად, აგურის კედლები და რკინაბეტონის გადახურვა).

მზიდი ჩონჩხის სახეობის მიხედვით განასხვავებენ შენობათა ორ ძირითად კონსტრუქციულ სისტემას: შენობები მზიდი კედლებით (ნახ. X.1), კარკასული შენობები (ნახ. X.2).

კედლების ძირითადი დანიშნულებაა გამოჰყოს (შემოფარგლოს) შენობა გარე სივრცისაგან ან შიგა სათავსები ერთმანეთისაგან, მაგრამ გარდა ამ ფუნქციისა კედლებს შეიძლება დაეკისროს სახურავისა და გადახურვის ტვირთის ზიდვა. მზიდკედლებიანი შენობის ჩონჩხი წარმოგვიდგება როგორც კოლოფი, რომლის სივრცით სიხისტეს უზრუნველყოფს კედლები და გადახურვები — ხისტი ჰორიზონტალური დიაფრაგმები.

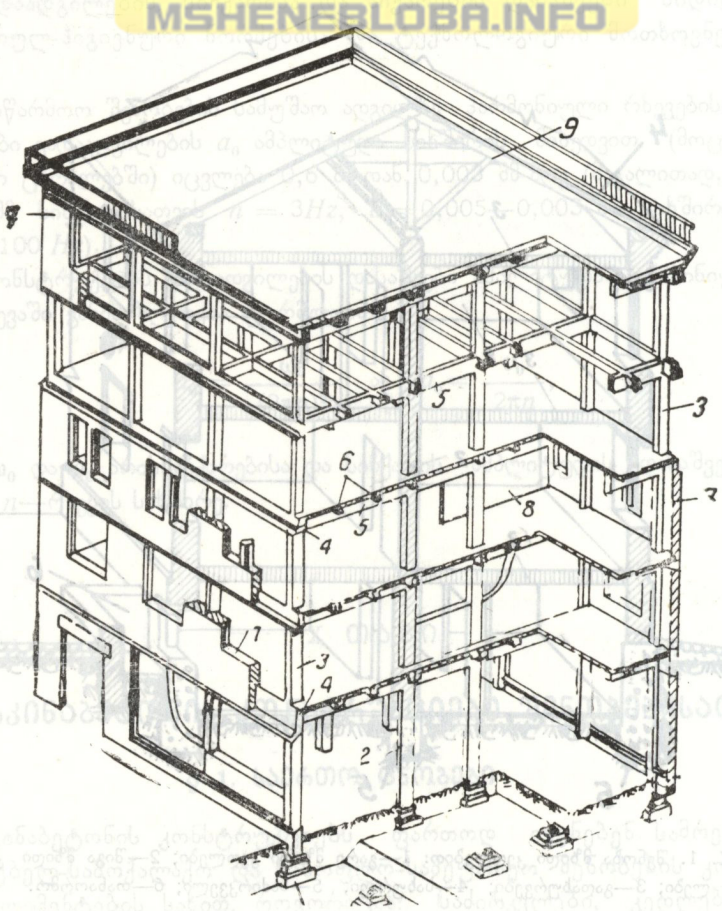


ნახ. X. 1. შენობა მზიდი კედლებით: 1—გარე მზიდი კედლები; 2—შიგა მზიდი კედლები; 3—გადახურვები; 4—სახურავი; 5—საძირკველი; 6—თანაორმო.

როდესაც გადახურვების საყრდენებად გამოყენებულია ცალკეული დგარები — სვეტები, ისინი ჰორიზონტალურ კავშირებთან ერთად ქმნიან სივრცით სისტემას — კარკასს. კარკასი წარმოადგენს შენობის მზიდ კონსტრუქციას. კარკასის დგარები შეიძლება განლაგდეს შენობის მხოლოდ შიგა სივრცეში (მზიდ გარე კედლებს შორის), მაშინ კარკასი არასრულია, ხოლო როდესაც სვეტები გარე კედლების პერიმეტრებზედაც ეწყობა, კარკასი მთლიანია (სრული).

კარკასული შენობის პრინციპული განსხვავება მზიდკედლებიანი შენობისაგან მდგომარეობს შენობის ძირითადი ელემენტების ფუნქციურ დაყოფაში მზიდ და შემომზღუდ კონსტრუქციებად — შენობის მთელი დატვირთვა გადაეცემა კარკასს, კედლები ასრულებს მხოლოდ შემოზღუდვის ფუნქციას. შესაბამისად შესაძლო ხდება საშენი მასალების რაციონალური გამოყენება: მტკიცე მასალები მზიდი კარკასისათვის, მსუბუქი (თბოსაიზოლაციო) — შემომზღუდი კონსტრუქციებისათვის; მცირდება შენობის მასა, შიგა სივრცე ნაკლებად იზღუდება საყრდენებით.

საშენებლო პორტალი
MSHENEBLOBA.INFO

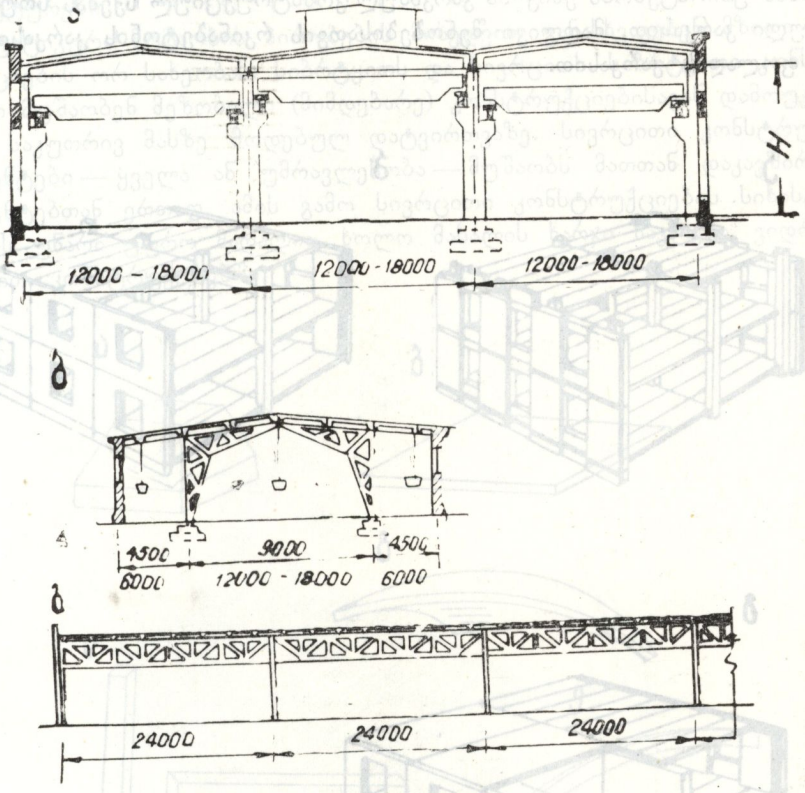


ნახ. X. 2. კარკასული შენობა: 1—საძირკვლები; 2—შიგა სვეტები; 3—გარე სვეტები; 4—კიდურა კოჭი; 5, 6—გადახურვის გრძივი და განივი კოჭები; 7—კედლის შევსება; 8—ტიხარი; 9—ბრტყელი სახურავი.

რკინაბეტონის მზიდელემენტებიანი შენობები კონსტრუქციული გადაწყვეტის მკვეთრად გამოხატული თავისებურებების გამო შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად: ერთსართულიანი სამრეწველო, სამოქალაქო და სასოფლო-სამე-

ურნეო შენობები; მრავალსართულიანი სამრეწველო და სამოქალაქო შენობები.

ერთსართულიანი სამრეწველო და სასოფლო-სამეურნეო შენობები მნიშვნელოვანწილად კარკასულია, ასაწყობი რკინაბეტონის ძირითადი მზიდი ელემენტებით (ნახ. X.3).



ნახ. X. 3. ერთსართულიანი კარკასული შენობები: ა—სამრეწველო, ხიდური ამწეებით; ბ—სასოფლო-სამეურნეო; გ—სამრეწველო, ამწეების გარეშე, ბრტყელი სახურავით.

ერთსართულიანი სამრეწველო შენობების მალი ოშვიათად აღემატება 36 მეტრს. სამოქალაქო მშენებლობაში გვხვდება შენობები — საგამოფენო დარბაზები, დახურული სტადიონები, დახურული ბაზრები და სხვ., რომელთა მალი 100 მეტრამდე და მეტიც შეიძლება იყოს. დიდმალიანი სახურავების განხორციელებისათვის მიმართავენ თხელკედლიან წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციებს (ასაწყობი, ასაწყობ-მონოლითური ან მონოლითური).

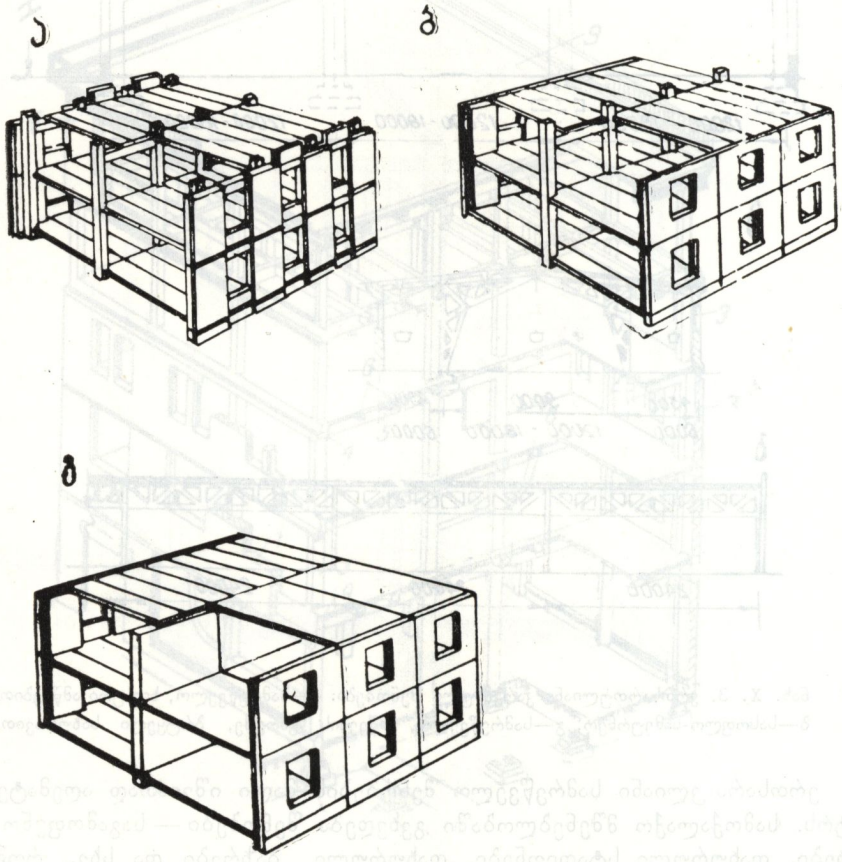
მრავალსართულიანი სამრეწველო შენობების სიმაღლე 5—7 სართულით იფარგლება. მრავალსართულიანი საცხოვრებელ-სამოქალაქო შენობები შეიძლება აიგოს ნამეტსართულიანი და მაღლივიც — 20 სართულზე მეტი.

სამრეწველო შენობების კონსტრუქციული გადაწყვეტა ჩვეულებრივ კარკასულია, უპირატესად ასაწყობი რკინაბეტონისა. მონოლითურ რკინაბეტონს იყენებენ ძირითადად ისეთი შენობებისათვის, რომლებიც ხასიათდებიან

ელემენტების მრავალსახეობით, განსაკუთრებით დიდი სტატიკური ან მნიშვნელოვანი დინამიკური დატვირთვებით.

მრავალსართულიანი საცხოვრებელ-სამოქალაქო შენობებისათვის იყენებენ კარკასულ ან უკარკასო მსხვილპანელურ კონსტრუქციულ სისტემას.

ნამეტსართულიანი (12 სართულზე მეტი) სამოქალაქო შენობების დაგეგმარებისას უპირატესობა ენიჭება კარკასულ კონსტრუქციულ სქემას სრული ან არასრული კარკასით. მაღლივი შენობებისათვის რკინაბეტონის კარკასი იცვლება ფოლადის კარკასით.



ნახ. X. 4. პანელური შენობები: ა—კარკასული სრული კარკასით; ბ—კარკასული არასრული კარკასით; გ—მსხვილპანელური უკარკასო.

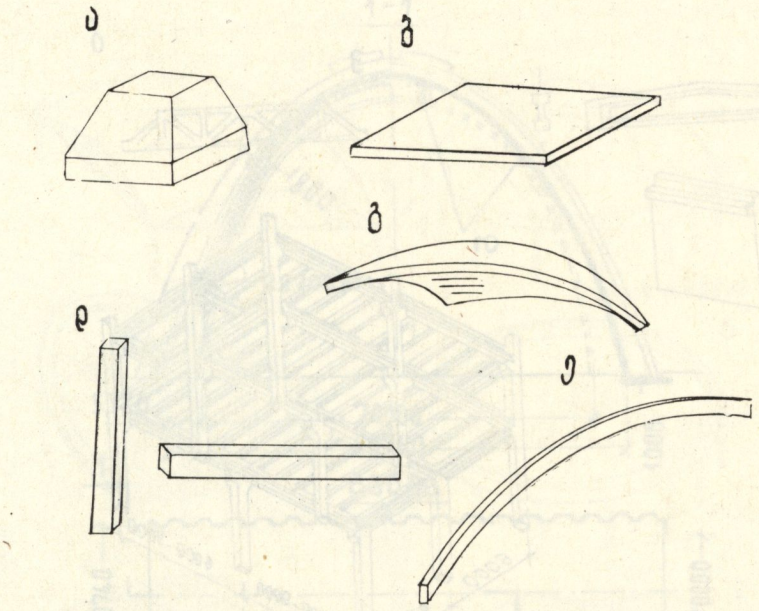
მრავალსართულიანი საცხოვრებელი სახლების ძირითად ტიპს წარმოადგენს პანელური შენობები: უკარკასო მსხვილპანელური ან კარკასულ-პანელური (ნახ. X.4).

შენობების რკინაბეტონის მზიდი კონსტრუქციები შედგება მარტივი ელემენტებისაგან. რკინაბეტონის მზიდი ელემენტების ძირითადი სახეობები —

მასიური, ფირფიტოვანი, მრუდზედაპირიანი თხელი ფილები, ღეროები — გამოსახულია X.5 ნახაზზე.

შენობებში გვხვდება რკინაბეტონის მზიდი კონსტრუქციების შემდეგი ძირითადი სახეობები: კოჭურ-დგარული კონსტრუქციები, თაღოვანი, კოლოფისებრი, კედლისებრი, ერთმაგი და ორმაგი სიმრუდის გარსები, ნაკეცები, სტრუქტურები.

სტატიკური მუშაობის პირობების მიხედვით განასხვავებენ მზიდი კონსტრუქციების ორ სახეობას: სიბრტყითს და სივრცითს. სიბრტყითი კონსტრუქციები მუშაობენ მეზობელი (მიმდებარე) კონსტრუქციებისაგან დამოუკიდებლად, საკუთრივ მასზე მოდებულ დატვირთვაზე. სივრცითი კონსტრუქციის ელემენტები — ყველა ან უმრავლესობა — მუშაობს მათთან დაკავშირებულ ელემენტებთან ერთად. ამის გამო სივრცითი კონსტრუქციების სიხისტე და ზიდვის უნარი უფრო მაღალია, ხოლო მასალის ხარჯი ნაკლები, ვიდრე სიბრტყით კონსტრუქციებში.



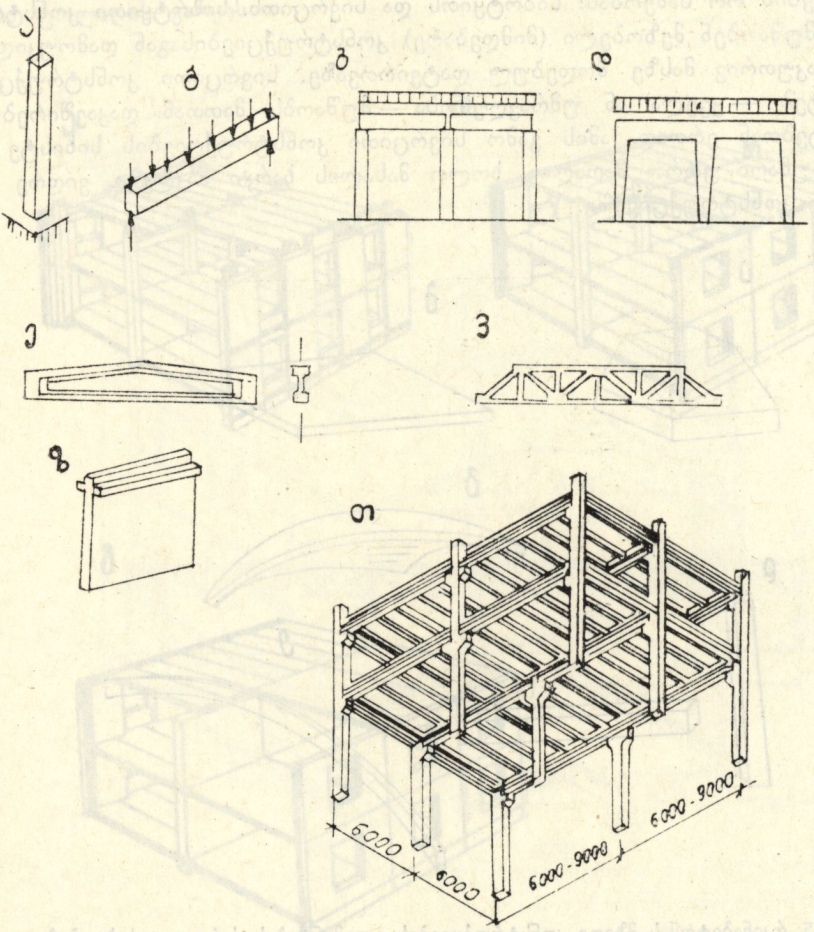
ნახ. X.5. რკინაბეტონის მზიდი კონსტრუქციების ელემენტების ძირითადი სახეობები: ა — მასიური; ბ — ფირფიტები (ბრტყელი); გ — თხელკედლიანი მრუდი ზედაპირიანი ფილები (გარსი), დ — ღეროები (სწორხაზოვანი); ე — ღეროები (მრუდხაზოვანი).

მზიდი კონსტრუქციების ტიპის შერჩევა დამოკიდებულია დასაპროექტებელი ობიექტის დანიშნულებაზე, მალზე, საექსპლუატაციო მოთხოვნებსა და სხვ.

სიბრტყითი კონსტრუქციებიდან კოჭურ-დგარული კონსტრუქციები (ნახ. X.6). ყველაზე მარტივია და გავრცელებული.

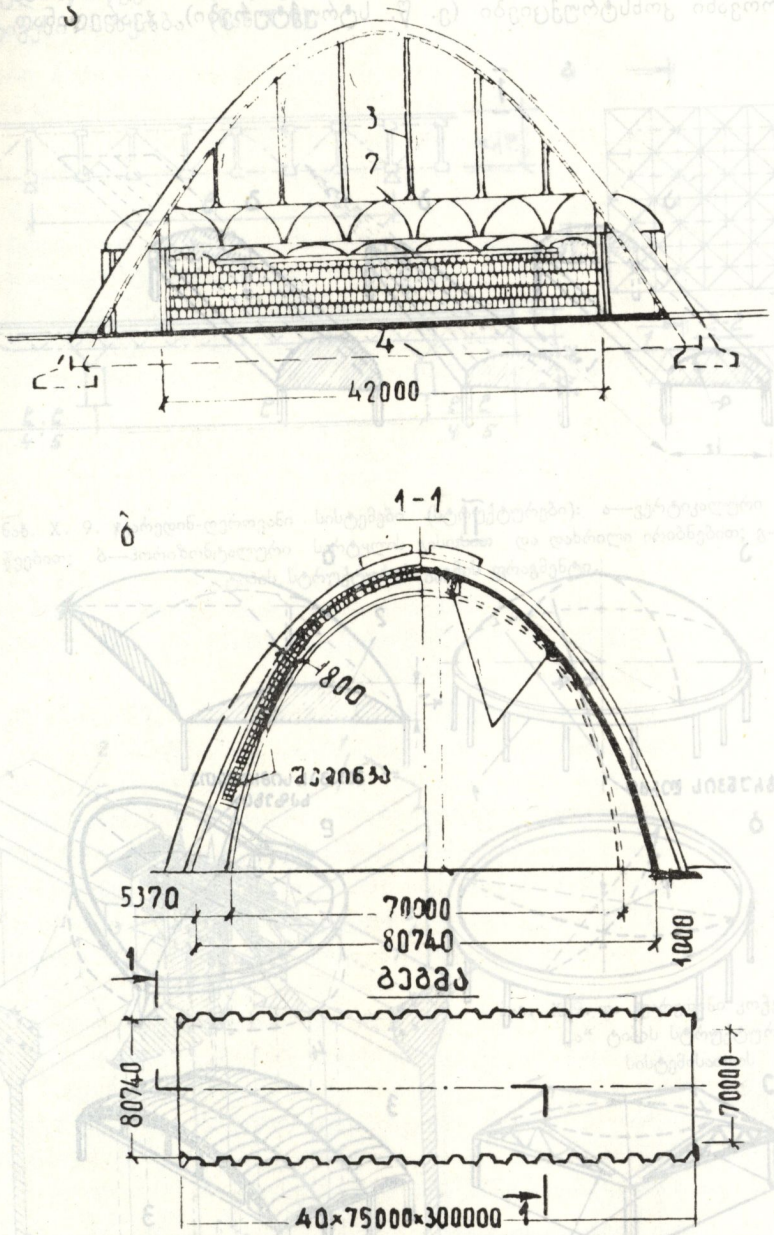
თაღოვანი კონსტრუქციებით (ნახ. X.7) შესაძლოა უფრო მნიშვნელოვანი მალების გადახურვა, ვიდრე კოჭებით. დიდი სიგანის თაღების ერთიანობით

იქმნება ცილინდრული კამარა, რომელიც პრაქტიკულად წარმოადგენს სივრცით კონსტრუქციას, მაგრამ თანაბრად განაწილებული დატვირთვის მოქმედებისას მისი წარმოდგენა შესაძლებელია ბრტყელი კონსტრუქციების — თაღების ერთობლიობის სახით. არსებობს კამარების მრავალი სახეობა, რომელნიც სტატიკური მუშაობის მიხედვით მიეკუთვნებიან სივრცით კონსტრუქციებს.



ნახ. X. 6. შენობების კოჭურ-დგარული კონსტრუქციები: ა — კოჭი; ბ — დგარი; გ, დ — ჩარჩო; ე — სახურავის კოჭი — ნივნივი; ზ — წამწე; თ — კედელი; ი — ჩარჩოვანი სისტემის კარკასი.

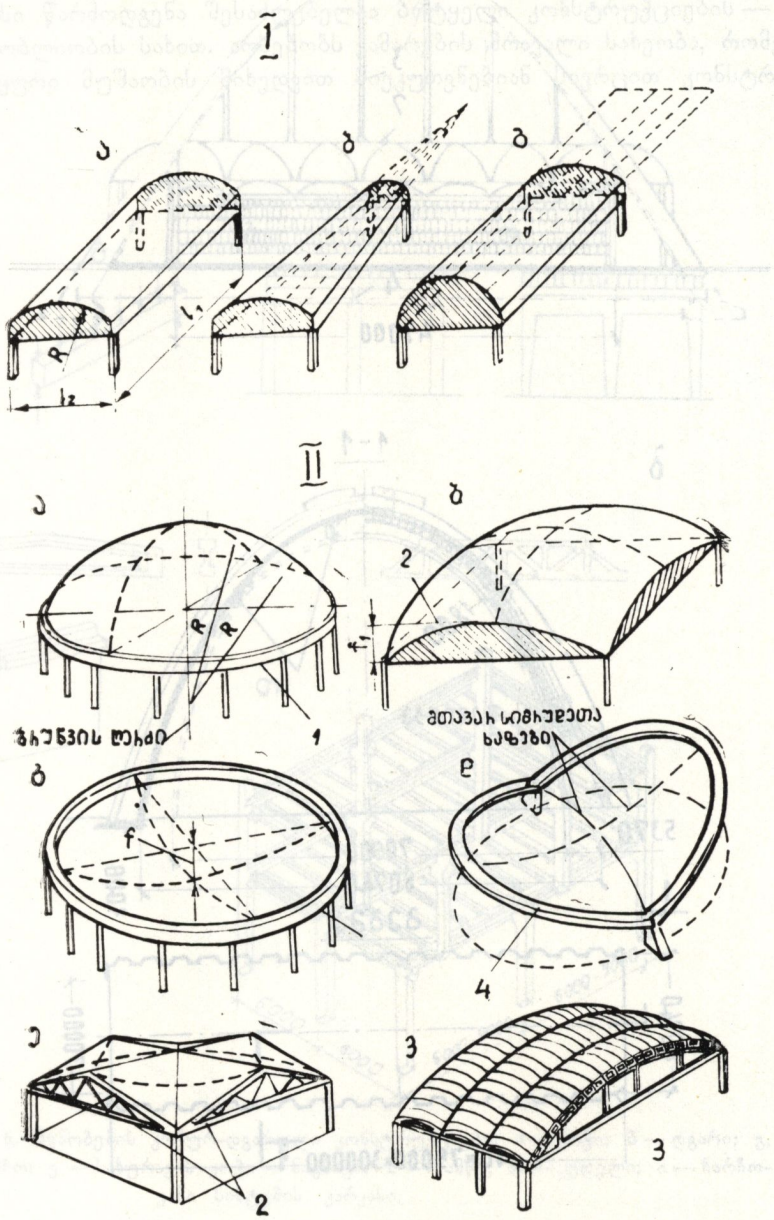
ბრტყელკედლებიანი მზიდი კონსტრუქციები შედგება ბრტყელი ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ელემენტებისაგან; მათგან იქმნება სივრცითი კოლოფი, რომლის ელემენტები ზიდვის მოვალეობის გარდა ასრულებენ შემოზღუდვის ფუნქციასაც. ასეთია საბლოკშენებლობაში გავრცელებული კონსტრუქციული სისტემა — უკარკასო პანელური გადაწყვეტა და შენობების მზიდი კოლოფი მონოლითური რკინაბეტონისაგან.



ნახ. X. 7. რკინაბეტონის თაღები და კამარები; ა—უსახსრო თაღი; ბ—ტალღოვანი კამარა.

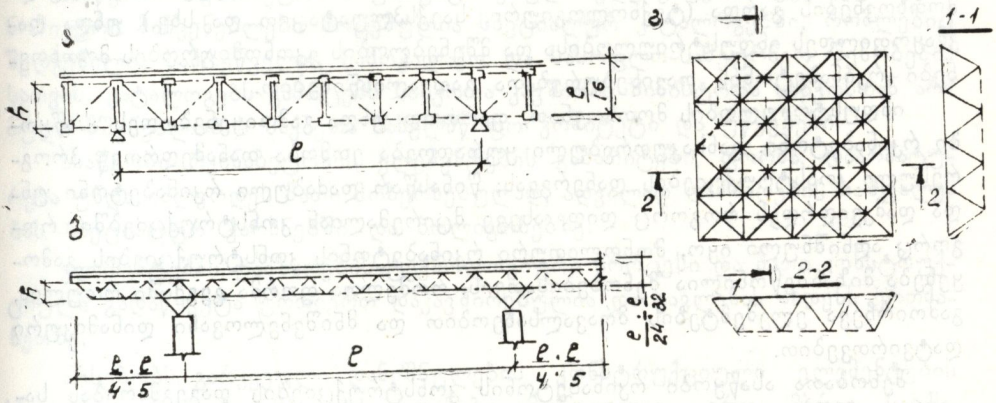
გარსები წარმოადგენენ თხელკედლიან სივრცით კონსტრუქციებს, რომელთა მრავალი სახეობა არსებობს (ნახ. X.8). გარსებით, მცირე სისქის რკინაბეტონის ფილით შესაძლოა გადაიხუროს 100 მ-მდე და უფრო დიდი მალები.

მნიშვნელოვანი მალების გადახურვის საშუალებას იძლევა ავრეთვე ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციები (ე. წ. სტრუქტურები). ჯვარედინად გან-

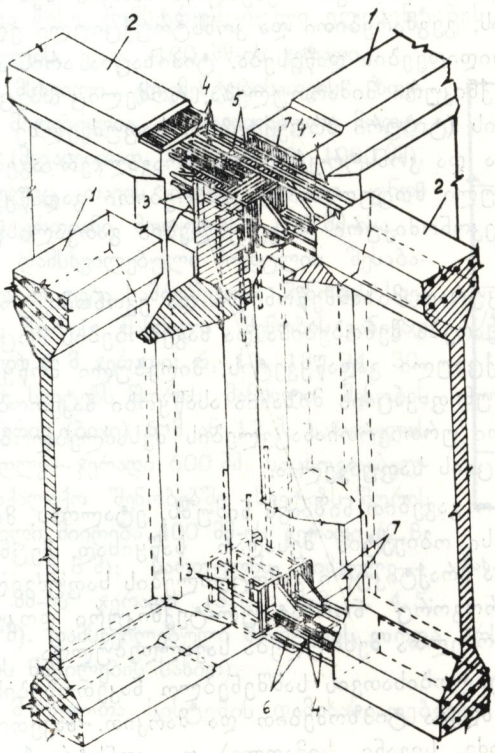


ნახ. X. 8. გარსები: I—ერთმაგი სიმრუდის; ა—ცილინდრული; ბ—კონუსური; გ—კორიდური. II—ორმაგი სიმრუდის; ა—გუმბათი; ბ—აზნექილი გადატანითი დამრეცი გარსი; გ—კიდული სახურავის ჩაზნექილი გარსი; დ—კიდული სახურავის აზნექილ-ჩაზნექილი გარსი; ე—ჰიპერბოლური პარაბოლოიდის ოთხფურცელა გარსი; ვ—ტალღოვანი კამარა. 1—საყრდენი რგოლი; 2—კონტურის დიაფრაგმა; 3—კონტურის რგოლი; 4—საყრდენი კონტური.

ლაგებული წამწეების და კოჭების გამოყენებისას იქმნება სტრუქტურების უმარტივესი სახეობა (ნახ.X.9).



ნახ. X. 9. ჯვარედინ-ღეროვანი სისტემები (სტრუქტურები): ა—ვერტიკალური წამწეებით; ბ—ჰორიზონტალური სარტყლის გასოსით და დახრილი ირიბებით; გ—„ბ“ ტიპის სტრუქტურის გეგმის ფრაგმენტი.



ნახ. X.9.დ. ჯვარედინი კოჭების კვანძი „ა“ ტიპის სტრუქტურული სისტემისათვის

§ 2. რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტების პრინციპები

შენობების რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტებისას ზოგადი მოთხოვნების გარდა (ტექნოლოგიური, საექსპლუატაციო და სხვ.) უნდა დაკმაყოფილდეს ინდუსტრიულობისა და მშენებლობის ეკონომიურობის მოთხოვნები რკინაბეტონის თავისებურებათა გათვალისწინებით.

ინდუსტრიულობის მოთხოვნით, ფართოდ უნდა გამოიყენებოდეს ასაწყობი რკინაბეტონი. განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა თანამედროვე პროგრესული კონსტრუქციების დანერგვას; წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონი უნდა დამკვიდრდეს როგორც დიდ, ასევე მცირემალიან კონსტრუქციებში. როგორც აღნიშნული იყო, მონოლითური რკინაბეტონის კონსტრუქციების გამოყენება მიზანშეწონილია შენობებისათვის, რომელთა ფორმა გეგმაში რთულია, გამოირჩევა ელემენტების მრავალსახეობით და მნიშვნელოვანი დინამიკური დატვირთვებით.

შენობათა ასაწყობი რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაგეგმარებას საფუძვლად უნდა დაედოს ძირითადი პრინციპი — კონსტრუქციული სქემებისა და ელემენტების ტიპობრიობა და უნიფიცირება (ელემენტების ტიპზომების მინიმალური რაოდენობით).

კონსტრუქციული სქემებისა და ელემენტების ტიპიზაცია და უნიფიკაცია მიზანშეწონილია აგრეთვე მონოლითური რკინაბეტონის გამოყენების შემთხვევაშიც; იგი წარმოადგენს ინდუსტრიალიზაციისა და მშენებლობის ღირებულების შემცირების მნიშვნელოვან ფაქტორს.

ტ ი პ ი ზ ა ც ი ა შ ი იგულისხმება მასობრივი მშენებლობისათვის შენობებისა და ნაგებობების პარამეტრების, გეგმარებითი და კონსტრუქციული ელემენტების ზომების ოპტიმალური სიდიდეების დაწესება. ტიპიზაცია არის დაპროექტებისა და მშენებლობის ტექნიკური მიმართულება, რომელიც სპეციალურად დამუშავებული პროექტების (ტიპური პროექტების) საფუძველზე საწარმოთა ნაგებობების, შენობებისა და კონსტრუქციების მრავალჯერ აგების საშუალებას იძლევა, უნიფიცირებული მოცულობით-გეგმარებითი გადაწყვეტისა და პროგრესული ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების გათვალისწინებით.

უ ნ ი ფ ი კ ა ც ი ა არის ტექნიკურად მიზანშეწონილი და ეკონომიკურად ხელსაყრელი ერთგვაროვნების დამყარება შენობებისა და ნაგებობების მოცულობით-გეგმარებითი და კონსტრუქციული გადაწყვეტის, მიღებული მოწყობილობებისა და დეტალებისათვის. უნიფიკაციის მიზანია ასაწყობი ნაკეთობების ტიპზომების შემცირება და მათი ურთიერთჩანაცვლების შესაძლებლობის უზრუნველყოფა. იგი სტანდარტიზაციის საფუძველია.

ს ტ ა ნ დ ა რ ტ ი სიტყვის ფართო გაგებით ნიშნავს ნიმუშს, ეტალონს, მოდელს, რომელიც მიღებულია მსგავსი ობიექტის შესადარ საწყისად. მეცნიერებისა და ტექნიკის მიღწევების და პრაქტიკული გამოცდილების საფუძველზე შემუშავებული სტანდარტები, როგორც ნორმატიულ-ტექნიკური დოკუმენტები, მოიცავს რიგ პირობებს, რომელთა შესრულება სავალდებულოა.

ინდუსტრიული ასაწყობი მშენებლობისათვის სამშენებლო ნაკეთობებისა და კონსტრუქციების დახასიათება ხდება ტიპზომებით და მარკით. ნაკეთობები, რომელთა გაბარიტები (სიგრძე, სიგანე, სიმაღლე) და კონსტრუქცია

ერთნაირია, მიეკუთვნება ერთსა და იმავე ტიპზომას. მარკოთ აღინიშნება ერთი და იმავე ტიპზომის ელემენტები, რომელთა დაარმატურება, სამონტაჟო ან ჩასატანებელი დეტალები განსხვავებულია.

ასაწყობი რკინაბეტონის უნიფიცირებული ელემენტების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები მოცემულია სპეციალურ კატალოგებში, რომლებიც შედგენილია სამრეწველო, სამოქალაქო და სასოფლო-სამეურნეო შენობებისათვის. კატალოგებს გამოცემს საბჭოთა კავშირის მინისტრთა საბჭოსთან არსებული მშენებლობის საქმეთა სახელმწიფო კომიტეტი და უწყებები.

ასაწყობი რკინაბეტონის ელემენტების გაბარიტები, ფორმა, დაარმატურება უნდა იძლეოდეს მათი მოხერხებულად, ადვილად დამზადების საშუალებას სპეციალურ ქარხნებში და პოლიგონებზე.

ელემენტების დამზადების ტექნოლოგიური პროცესი და მათი კონსტრუქციული გადაწყვეტა ურთიერთ დაკავშირებულია და გავლენას ახდენს ერთმანეთზე.

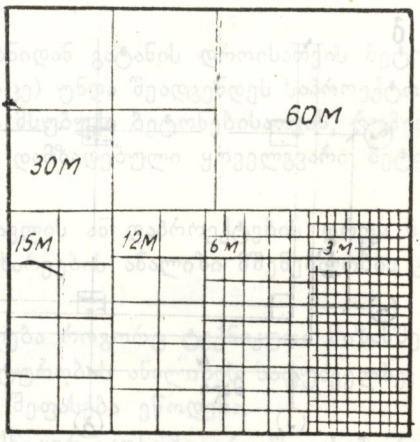
არსებობს გარკვეული დანიშნულების კონსტრუქციული ელემენტების სხვადასხვა სახეობა. მრავალფეროვნება გამოწვეულია, ერთი მხრივ, საექსპლუატაციო მოთხოვნების და მშენებლობის ადგილობრივი პირობების თავისებურებებით, ხოლო, მეორე მხრივ, — სამშენებლო მეცნიერებისა და ტექნიკის განუწყვეტელი განვითარებით.

ტიპიზაციისა და უნიფიკაციის პირობებიდან გამომდინარე, კონსტრუქციული სქემებისა და ცალკეული ელემენტების ზომების დადგენა უნდა ექვემდებარებოდეს ერთიან მოდულთა სისტემას.

მშენებლობაში ერთიან მოდულს წარმოადგენს სიდიდე 100 მმ; შენობისა და მისი კონსტრუქციული ელემენტების ყველა ძირითადი ზომა ინიშნება მოდულის, ე. ი. 100 მმ-ის ჯერადი.

მსხვილი ელემენტებისათვის ზოგჯერ მიღებულია დამსხვილებული მოდული (მაგალითად, 400, 600, 1000 მმ), რომელიც თავის მხრივ ჯერადი უნდა იყოს ერთიანი მოდულის—100 მმ-ისა.

დამსხვილებული მოდულის შესაბამისად მიიღება სამრეწველო შენობის სვეტებს შორის მანძილი შენობის განივად (მალი) 6 მ ჯერადი: 6, 12, 18, 24, 30, 36 მ; სვეტებს შორის მანძილი შენობის გასწვრივ (ბიჯი) 6 მ ან 12 მ; სართულის სიმაღლე—ჯერადი 600 მმ. საცხოვრებელ-სამოქალაქო შენობებში სვეტებს შორის მანძილი მიიღება 400 მმ-ის ჯერადი (2,8; 3,6... 6,8 მ); სართულის სიმაღლე— 300 მმ-ის ჯერადი (3,0; 3,3 ... 4,5; 4,8 მ). დამსხვილებული მოდულის გარდა არსებობს ნაწევრიანი მოდულიც (100 მმ-ის ნაწილების სახით).



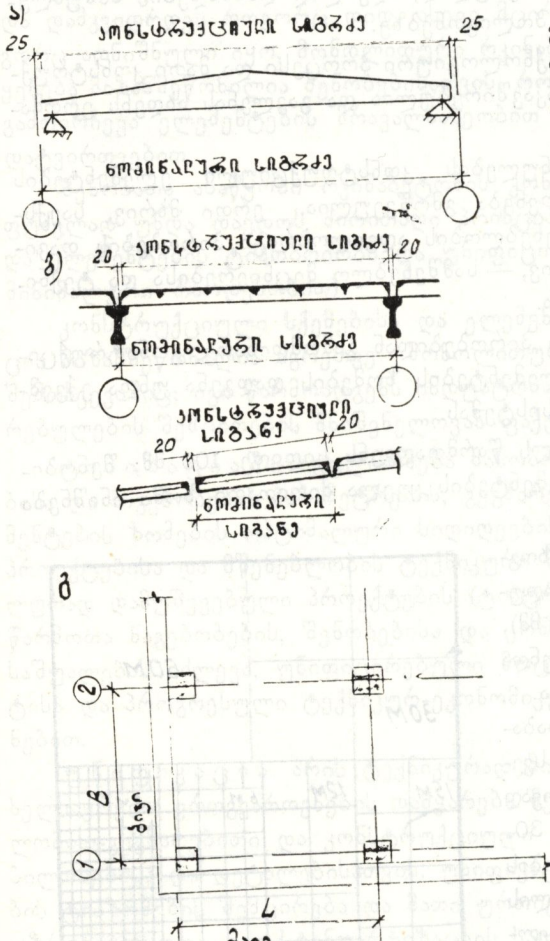
ნახ. X. 10. მოდულური საპროექტო ბადე.

მოდულთა სისტემის დამახასიათებელი სქემები იხ. X.10 ნახაზზე.

ელემენტების ზომების გარდა, უნიფიცირებულია დატვირთვებიც; მაგალითად, შენობების სართულშუა გადახურვების დროებითი დატვირთვების სიდიდე მოცემულია СНиП II—6—74 მე-3 ცხრილში.

მოდულთა სისტემით დაგეგმარების დროს განასხვავებენ ზომების სამ კატეგორიას: ნომინალური, კონსტრუქციული და ნატურული (ნამდვილი, ფაქტობრივი ზომა).

ნომინალური ზომა არის მანძილი დასაკვალავ ღერძებს შორის, კონსტრუქციული ელემენტების პირობითი ზომა ელემენტებსშორისი ღრეჩოებით და ნაკერებითურთ.



ნახ. X.11. ასაწყობი რკინაბეტონის ელემენტების ზომების სახეობები: ა—კოჭი; ბ—გადახურვის პანელი; გ—შენობის ძირითადი პარამეტრები.

კონსტრუქციული ზომა წარმოადგენს ელემენტების საპროექტო ზომას, რომელიც განსხვავდება ნომინალურისაგან ნაკერისათვის ან ღრეჩოსათვის საჭირო სიდიდით (ნახ. X.11).

ნატურული (ნამდვილი) ზომა მიიღება დამზადების პროცესში, იგი შეიძლება საპროექტო ზომაზე ნაკლები ან მეტი იყოს, მაგრამ განსხვავება არ უნდა აღემატებოდეს ზომების დასაშვები გადახრის სიდიდეს (Система допусков. Основные положения. М., 1981).

ასაწყობი რკინაბეტონის ეფექტურობისათვის მიზანშეწონილია რაც შეიძლება მსხვილი ელემენტების გამოყენება; ასაწყობი რკინაბეტონის ნაკეთობათა ზღვრული მასა და გაბარიტები დამოკიდებულია სამონტაჟო მექანიზმების და სატრანსპორტო საშუალებათა ტვირთამწეობაზე. საავტომობილო და რკინიგზის ტრანსპორტით გადაზიდვისას ასაწყობი ელემენტების სიგრძე იზღუდება 24 მეტრით. რაკი ასაწყობი რკინაბეტონის ელემენტების დამსხვილება განპირობებულია მათი ზღვრული წონით, მასის შემცირების მიზნით მიმართავენ განივკვეთის ხელსაყრელი ფორმის, თხელკედლიანი, ღრუტანიანი კონსტრუქციების გამოყენებას. გარდა ამისა, მიზანშეწონილია მაღალი კლასის ბეტონების, მაღალი სიმტკიცის არმატურის, მსუბუქი ბეტონების გამოყენება.

ასაწყობი ელემენტების დამსხვილებისას მცირდება პირაპირების რაოდენობაც, რომელთა განხორციელება ჩვეულებრივ ფოლადის ჩასატანებელი დეტალების შედუღებით ხდება.

ასაწყობი ელემენტების ტრანსპორტირებისა და მონტაჟისათვის გათვალისწინებულ უნდა იქნეს ასაწევი მარყუჟები და ჩაბმისათვის სპეციალური ხვრელები და სხვ.

სამონტაჟო (ასაწევი) მარყუჟებისათვის იყენებენ ცხლად გლინულ ღეროვან არმატურას *A* — II კლასის 10 ГТ მარკის და *A*—I კლასის Вст3пс2 და Вст3сп2 მარკის ფოლადს. იმ შემთხვევაში, როდესაც სავარაუდოა მონტაჟი — 40°C დაბალი ტემპერატურის პირობებში Вст3пс2 მარკის ფოლადის გამოყენება მარყუჟებისთვის დაუშვებელია.

ასაწყობი რკინაბეტონის ელემენტების საანგარიშო სქემა აწევის, ტრანსპორტირებისა და მონტაჟის დროს, ჩვეულებრივ განსხვავდება საპროექტო მდგომარეობაში მათი საანგარიშო სქემისაგან. მიუხედავად იმისა, რომ აწევის, ტრანსპორტირებისა და მონტაჟის დროს ასაწყობი ელემენტი დატვირთულია მხოლოდ საკუთარი წონით, საჭიროა მათი კონსტრუქციული გაანგარიშება შესაბამისი საანგარიშო სქემის მიხედვით. აწევის, ტრანსპორტირებისა და მონტაჟის დროს წარმოქმნილი ძალვების მიხედვით ასაწყობი კონსტრუქციების გაანგარიშებისას საკუთარი წონით დატვირთვას ითვალისწინებენ დინამიკურობის კოეფიციენტით, რომელიც მიიღება ტრანსპორტირების დროს ტოლი 1, 6, ხოლო აწევისა და მონტაჟის შემთხვევაში — 1,4. დინამიკურობის კოეფიციენტების მნიშვნელობა, გარკვეული დასაბუთებით, შეიძლება მიღებულ იქნეს უფრო დაბალი, მაგრამ არანაკლები 1,25-ისა.

ტრანსპორტირებისა და მონტაჟის პირობებში ასაწყობი ელემენტების სიმტკიცის უზრუნველსაყოფად დაპროექტებისას დადგენილი უნდა იქნეს ბეტონის სიმტკიცე მზა ნაწარმის ქარხნიდან გატანის (აგრეთვე მოკუმშვისა და ყალიბიდან ამოღების) დროისათვის.

რკინაბეტონის მზა ნაკეთობის ქარხნიდან გატანის დროისათვის ბეტონის მინიმალური სიმტკიცე (გასაცემი სიმტკიცე) უნდა შეადგენდეს საპროექტო მახასიათებლის არანაკლებ 50% მძიმე და მსუბუქი ბეტონებისათვის, რომელთა კლასი *B*10 და მეტია, ავტოკლავურად დამზადებული ყოველგვარი ბეტონისათვის — 100%.

შენობების კონსტრუქციების შესწავლის ან დაპროექტების დროს საჭიროა მათი დადებითი და უარყოფითი მხარეების ანალიზი მშენებლობის კონკრეტული პირობების შესაბამისად.

კონსტრუქციული გადაწყვეტა მიიღება როგორც ტექნიკური მიზანშეწონილობის, აგრეთვე ეკონომიკური ეფექტურობის ანალიზის საფუძველზე; ამგვარ ანალიზს ტექნიკურ-ეკონომიკური შეფასება ეწოდება.

კონსტრუქციული გადაწყვეტის ტექნიკურ-ეკონომიკური შეფასება ხდება შემდეგი ძირითადი მაჩვენებლების მიხედვით:

რკინაბეტონის კონსტრუქციის შესატყვისობა ტექნიკური, საექსპლუატაციო და არქიტექტურული მოთხოვნებისადმი;

რკინაბეტონის ნაკეთობის ღირებულება;

შრომატევადობა, რომელიც ხასიათდება დამზადების, ტრანსპორტირებისა და მონტაჟისათვის საჭირო სამუშაო დროით (კაც-დღეებში, კაც-საათებში და მანქანა-ცვლაში);

რკინაბეტონის კონსტრუქციის შესაბამისობა მშენებლობის ორგანიზაციის თანამედროვე მეთოდებთან და საწარმოო მოთხოვნებთან. ინდუსტრიულობის ხარისხი, ტრანსპორტირების მოხერხებულობა, სამონტაჟო ტექნოლოგიურობა;

კონსტრუქციის მასა — ერთეულის (ფართობის, მოცულობის ან სიგრძის ერთეულისა) მთლიანი ან ფარდობითი მასა;

სამშენებლო მასალების ხარჯი — ერთ ნაკეთობაზე ან ფარდობითი;

ხანძარმედეგობის თვისებები.

კონსტრუქციული გადაწყვეტილებების პროგრესულობის დამახასიათებელი მაჩვენებელია საერთო ან სასარგებლო ფართობის ერთეულზე მოსული შენობების მასის მცირე სიდიდე, აწყობადობისა და ასაწყობი ელემენტების უნიფიკაციის დონე (ასაწყობი ელემენტების რაოდენობა ობიექტზე ან მისი გადახურვის მ²-ზე; რკინაბეტონის ნაწარმის ტიპზომების და მარკების რაოდენობა).

რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტება წარმოებს დაპროექტების ნორმების საფუძველზე და მიმდინარეობს შემდეგ ეტაპებად:

განისაზღვრება ძალური და არაძალური ზემოქმედებები, მათი სიდიდე და ხარისხი;

დადგინდება მოთხოვნები, რომლებიც წაეყენება კონსტრუქციას მისი ფუნქციის მიხედვით შენობაში;

შეირჩევა განსახილველი კონსტრუქციისა და შენობის სხვა ნაწილების შეერთების ადგილები არსებული ზემოქმედების გათვალისწინებით;

სრულდება კონსტრუქციის გაანგარიშებები — სტატიკური, დინამიკური და კონსტრუქციული — დამზადების, ტრასნსპორტირების, მონტაჟისა და ექსპლუატაციის პირობების შესაბამისად.

დაპროექტება მთავრდება მასალების ხარჯის, სპეციფიკაციებისა და ნახაზების შედგენით და ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების დადგენით.

XI თავი

რკინაბეტონის სართულშორისი გადახურვები

§ 1. რკინაბეტონის სართულშორისი გადახურვების სახეობები

რკინაბეტონის გადახურვები წარმოადგენს სამრეწველო და სამოქალაქო კაპიტალური შენობების გადახურვების ძირითად სახეობას. რკინაბეტონის გადახურვების მთავარი უპირატესობა ცეცხლგამძლეობასა და ხანგამძლეობაში მდგომარეობს.

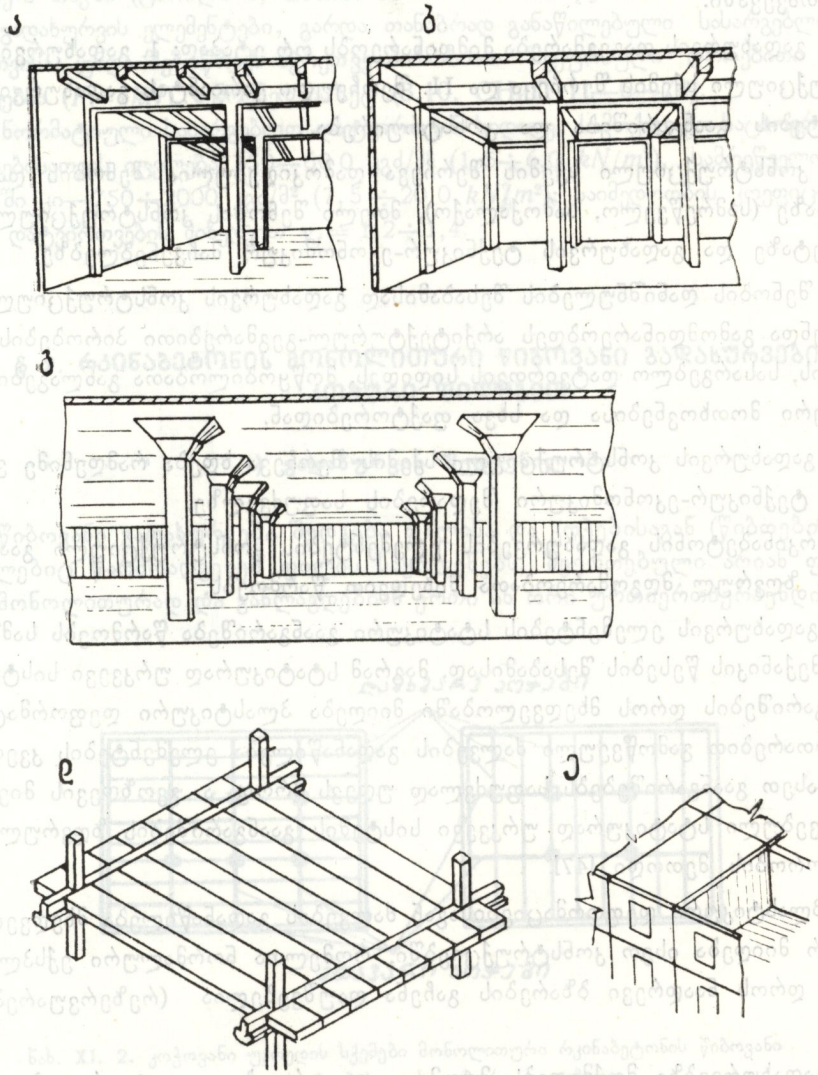
რკინაბეტონის გადახურვები შეიძლება აიგოს მონოლითური, ასაწყობი და ასაწყობ-მონოლითური.

კონსტრუქციული გადაწყვეტის მიხედვით განასხვავებენ რკინაბეტონის გადახურვების ორ ძირითად ჯგუფს: კოჭოვან და უკოჭო გადახურვებს.

მონოლითური გადახურვები იყოფა შემდეგ ძირითად სახეობად: წიბოვანი გადახურვები კოჭური ფილებით; წიბოვანი გადახურვები კონტურზე დაყრდნობილი ფილებით; ხშირწიბოვანი გადახურვები; უკოჭო გადახურვები.

ასაწყობი გადახურვებიდან აღსანიშნავია: ფენილოვანი გადახურვები; კოჭოვან-ბლოკოვანი გადახურვები; პანელოვანი კოჭოვანი გადახურვები; პანელოვანი უკოჭო გადახურვები.

გადახურვათა ზოგიერთი სახეობა ნაჩვენებია XI.1 ნახაზზე.



ნახ. XI.1. რკინაბეტონის სართულშორისი გადახურვების სახეობები: ა—მონოლითური წიბოვანი გადახურვა კოჭური ფილებით; ბ—მონოლითური წიბოვანი გადახურვა კონტურზე დაყრდნობილი ფილებით; გ—მონოლითური უკოჭო გადახურვა; დ—ასაწყობი კოჭოვანი გადახურვა; ე—ასაწყობი გადახურვა მსხვილი პანელებით (ოთახის ზომის).

თანამედროვე ასაწყობი გადახურვები ძირითადად პანელოვანია, კოჭოვანი ან უკოჭო.

ასაწყობი გადახურვების უპირატესობა მათ ინდუსტრიულობაში მდგომარეობს. მონოლითური გადახურვები უფრო ადვილად ესადაგება სხვადასხვა პირობებს — რთული ფორმის გეგმას, შენობის მალებს, დატვირთვებს; მათ ენიჭებათ უპირატესობა აგრეთვე მნიშვნელოვანი დინამიკური დატვირთვების შემთხვევაში.

გადახურვის დაგეგმარება მიმდინარეობს ორ ეტაპად: 1. გადახურვის კონსტრუქციული სქემის შერჩევა და II. შერჩეული ვარიანტის გადახურვის ელემენტების გაანგარიშება და კონსტრუირება.

კონსტრუქციული სქემის შერჩევა დამოკიდებულია შენობის დანიშნულებაზე (სამრეწველო, სამოქალაქო), მთელი შენობის კონსტრუქციულ გადაწყვეტაზე და გადახურვის ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლებზე.

შენობის დანიშნულების შესაბამისად გადახურვის კონსტრუქციული სქემა უნდა გამომდინარეობდეს არქიტექტურულ-გეგმარებითი პირობების, განათების, სასარგებლო დატვირთვის სიდიდის, მოწყობილობათა განლაგების ტექნიკური მოთხოვნებისა და სხვა ფაქტორებიდან.

გადახურვის კონსტრუქციული სქემის შერჩევა ხდება რამდენიმე ვარიანტის ტექნიკურ-ეკონომიკური შედარების საფუძველზე.

რკინაბეტონის გადახურვების ელემენტების კონსტრუქციული გაანგარიშება ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით წარმოებს.

გადახურვის ელემენტების სტატიკური გაანგარიშება წარმოებს სამშენებლო მექანიკის წესების შესაბამისად, მაგრამ სტატიკურად ურკვევი სისტემების გაანგარიშების დროს მხედველობაში მიიღება პლასტიკური დეფორმაციების განვითარებით გამოწვეული ძალების გადანაწილება ელემენტების კვეთებში. [25]. ასეთ გაანგარიშებებს საფუძვლად უდევს პროფ. ა. გვოზდევის მიერ შემუშავებული სტატიკურად ურკვევი სისტემის გაანგარიშების ზღვრული წონასწორობის მეთოდი [47].

პლასტიკური დეფორმაციებისაგან ძალვების გადანაწილება მხედველობაში არ მიიღება ისეთ კონსტრუქციებში, რომელთა ნორმალური ექსპლუატაციის დროს ნაადრევი ბზარების გაჩენა დაუშვებელია (რეზერვუარები და სხვ.).

გადახურვებზე მოქმედებს მუდმივი და დროებითი დატვირთვები. მუდმივ დატვირთვებში შედის გადახურვის ელემენტების, იატაკისა და იმ მოწყობილობათა წონა, რომლებიც მუდმივად, უძრავად იქნებიან დამაგრებული გადახურვაზე. დროებით დატვირთვას წარმოადგენს სასარგებლო დატვირთვა —

მოწყობილობებისა და ადამიანების მასა, რომელმაც შეიძლება შეიცვალოს სიდიდეცა და მდებარეობაც.

სასარგებლო დატვირთვების სიდიდე დამოკიდებულია შენობის ან სათავსის დანიშნულებაზე და მიიღება გადახურვის ფართობზე თანაბრად განაწილებულად. ნორმატიული სასარგებლო დატვირთვის სიდიდე, კგძ/მ² და საიმედოობის კოეფიციენტები დატვირთვების მიხედვით შენობის დანიშნულების შესაბამისად მოცემულია სამშენებლო ნორმებისა და წესების მე-2 ნაწილის მე-6 თავში (ცხრილი 3, СНиП II—6—74. Нагрузки и воздействия).

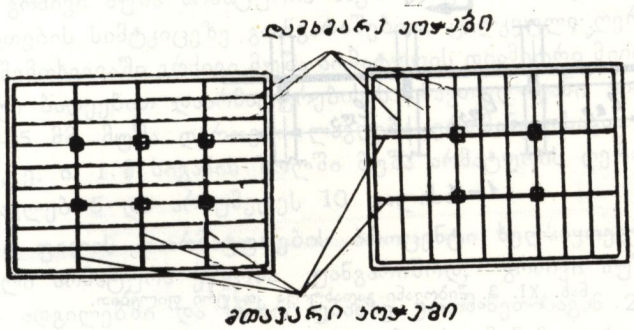
გადახურვის ელემენტები, გარდა თანაბრად განაწილებული სასარგებლო დატვირთვისა, უნდა შემოწმდეს აგრეთვე პირობითი შეყურსული დროებითი დატვირთვების ($F=1kN$) ზემოქმედებაზეც (3.10, СНиП II—6—74).

ნორმატიული სასარგებლო დატვირთვის სიდიდე სამოქალაქო-საცხოვრებელი შენობებისათვის იცვლება 150÷600 კგძ/მ² (1,5÷6,0 kN/m^2), სამრეწველო შენობებში კი—750÷2000 კგძ/მ² (7,5 ÷20,0 kN/m^2); საიმედოობის კოეფიციენტები ამ დატვირთვების მიხედვით $\gamma_f = 1,2 \div 1,4$.

§ 2. რკინაბეტონის მონოლითური წიბოვანი გადახურვები კოჭური ფილებით

ა) გადახურვის შედგენილობა

წიბოვანი გადახურვები შედგება ფილისა და კოჭებისაგან (წიბოებისაგან), რომლებიც წარმოადგენენ ფილის საყრდენებს, შეერთებული არიან ფილასთან მონოლითურად და განლაგდებიან ერთი ან ორი ურთიერთპერპენდიკულა-



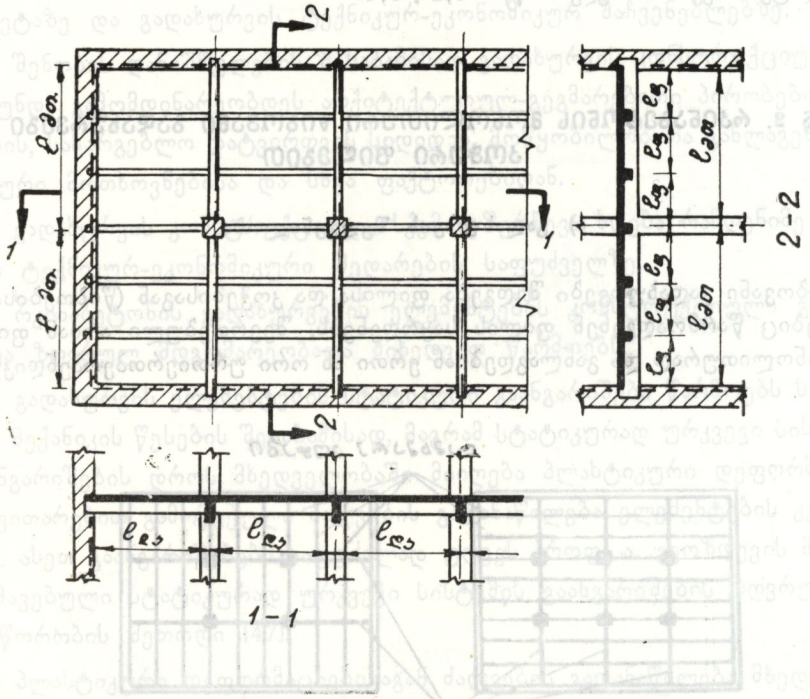
ნახ. XI. 2. კოჭოვანი უჯრედის სქემები მონოლითური რკინაბეტონის წიბოვანი გადახურვებისათვის კოჭური ფილებით.

რული მიმართულებით. როდესაც გადახურვის ზომები გეგმაში მცირეა, კოჭები ეყრდნობა მხოლოდ კედლებს. გადახურვის მნიშვნელოვანი ზომების შემთხვევაში ეწყობა დამატებითი საყრდენები — სვეტები; სვეტები გეგმაში ჩვეულებრივ ლაგდება მართკუთხა ან კვადრატულ ბადეზე (ნახ. XI.2).

ფილა, რომლის დაყრდნობილი გვერდების თანაფარდობაც აღემატება ორს, იანგარიშება როგორც კოჭი, საანგარიშო მალით მოკლე გვერდის მიმართულებით; ასეთ ფილას კ ო ჭ უ რ ი ფ ი ლ ა ეწოდება, ხოლო გადახურვას — წ ი ბ ო ვ ა ნ ი გ ა დ ა ხ უ რ ვ ა კ ო ჭ უ რ ი ფ ი ლ ე ბ ი თ. ფილის საყრდენებად მიიღება მის დიდ გვერდებზე განლაგებული წიბოები, რომელთაც დ ა მ ხ მ ა რ ე კ ო ჭ ე ბ ი ეწოდებათ. დამხმარე კოჭების პერპენდიკულარულად ეწყობა მთავარი კოჭები, რომლებიც წარმოადგენენ დამხმარე კოჭების შუალედურ საყრდენებს. მთავარი კოჭების შუალედურ საყრდენებად გვევლინება სვეტები. მონოლითური გადახურვის ასეთი დანაწევრება შემადგენელ ელემენტებად, რა თქმა უნდა, წარმოსახვითია.

როგორც დამხმარე, ასევე მთავარი კოჭები შეიძლება განლაგდნენ შენობის გასწვრივ ან განივად.

ფილა, დამხმარე და მთავარი კოჭები წარმოადგენენ მრავალმალიან უჭრ კოჭებს. ყოველი ელემენტი ჩვეულებრივ ეწყობა თანაბარმალიანი.



ნახ. XI. 3. წიბოვანი გადახურვა კოჭური ფილებით.

ფილის მალი (დამხმარე კოჭების ღერძებს შორის მანძილი) ეწყობა 1,6—3,0 მ; დამხმარე კოჭის მალი (მთავარი კოჭების ღერძებს შორის მანძილი) შეიძლება იყოს 4—10 მ, უფრო ხშირად 5—6 მეტრის ფარგლებში; მთავარი კოჭის მალი ჩვეულებრივ 5—8 მეტრამდეა (ნახ. XI.3), ხელსაყრელად ითვლება 6—7 მ მალი.

სართულშუა გადახურვის ელემენტების განივკვეთის ზომები მუდმივია. ფილის სისქე მთელ გადახურვაზე თანაბარია და ჩვეულებრივ შეირჩევა სიმ-

ტკიცის პირობაზე გაანგარიშებით, მიიღება 6—10 სმ. ეკონომიკური მოსაზრებებით ფილის სისქე რაც შეიძლება მცირე უნდა იყოს, მაგრამ არანაკლები 4 სმ — სახურავებისათვის, 5 სმ — სამოქალაქო შენობის და 6 სმ — საწარმოო შენობების სართულშუა გადახურვებისათვის.

კოჭების განივკვეთის ზომები მიიღება გრძივი ღერძისადმი ნორმალური კვეთის სიმტკიცეზე გაანგარიშებით. კოჭების განივკვეთის ზომების წინასწარი დანიშვნა ხდება კონსტრუქციული მოსაზრებებით მალისაგან დამოკიდებულებით: სიმაღლე დამხმარე კოჭებისათვის მიიღება $h_{დ.კ} = \left(\frac{1}{12} - \frac{1}{18}\right) l_{დ.კ}$; მთავარი კოჭებისათვის $h_{მთ} = \left(\frac{1}{10} - \frac{1}{15}\right) l_{მთ}$; სიგანე $b = \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{4}\right) h$. დამხმარე კოჭების სიმაღლე ჩვეულებრივ 50 სმ-მდეა, სიგანე—15—25 სმ. მთავარი კოჭების სიმაღლე 50 სმ-ზე მეტია, სიგანე—25÷40 სმ. განივკვეთის ზომები ინიშნება 5 სმ-ის ჯერადი (სიმაღლე 80 სმ და მეტი, მიიღება 10 სმ-ის ჯერადი).

ბ) კოჭური ფილების კონსტრუირება

ფილების დაარმატურება ხდება ცალკეული ღეროებით ან შედუღებული ბადეებით; XI.4 ნახაზზე მოცემულია კოჭური ფილის დაარმატურება.

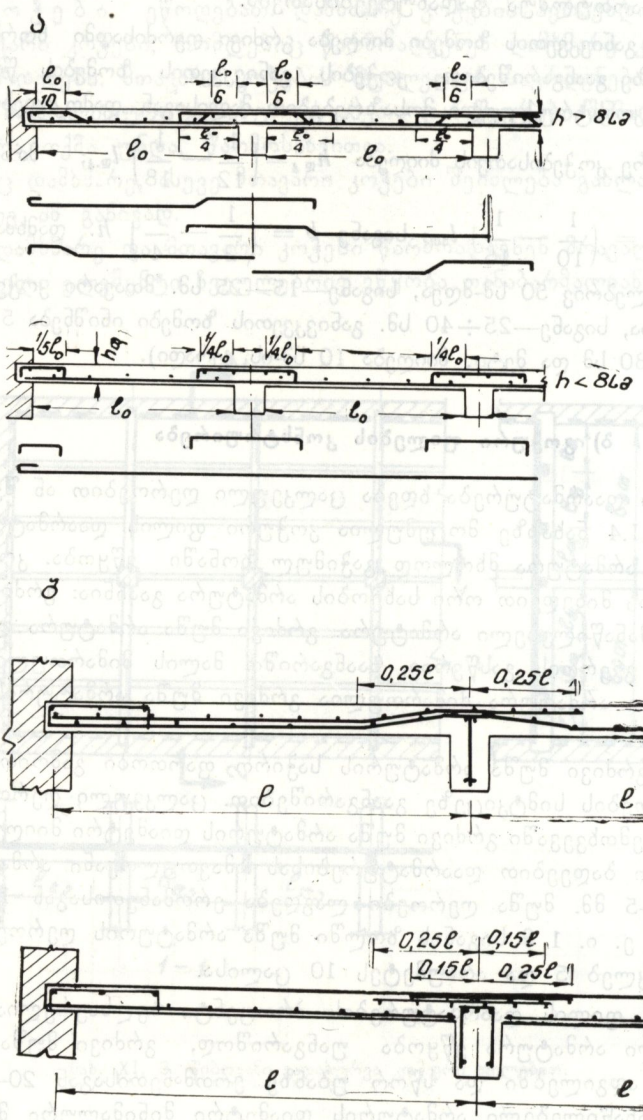
ფილაში არმატურა მხოლოდ გაჭიმულ ზონაში ეწყობა. კოჭურ ფილას დანიშნულების მიხედვით ორი სახეობის არმატურა გააჩნია: გრძივი მუშა არმატურა და მანაწილებელი არმატურა. გრძივი მუშა არმატურა ლაგდება ფილის მოკლე გვერდის გასწვრივ, საანგარიშო მალის მიმართულებით, ხოლო მანაწილებელი არმატურა მიმართულია გრძივი მუშა არმატურის პერპენდიკულარულად.

ფილის გრძივი მუშა არმატურის საჭირო ფართობი გამოითვლება ნორმალური კვეთების სიმტკიცეზე გაანგარიშებით. ცალკეული ღეროებით დაარმატურების შემთხვევაში გრძივი მუშა არმატურის დიამეტრი მიიღება 6—12 მმ, შედუღებული ბადეებით დაარმატურებისას მავთულოვანი არმატურის დიამეტრი — 3—5 მმ. მუშა ღეროები ლაგდება ერთმანეთისაგან 10—20 სმ-ის დაშორებით, ე. ი. 1 მ სიგანის ზოლში მუშა არმატურის ღეროების რაოდენობაა არანაკლებ 5 და არაუმეტეს 10 ცალისა.

კოჭური ფილის დაარმატურების პროცენტი ხელსაყრელია 0,3—0,6%. მანაწილებელი არმატურა ეწყობა უანგარიშოდ, გრძივი მუშა არმატურის გადაღუნვის ადგილებში და სწორ უბანზე ერთმანეთისაგან 20—25 სმ დაშორებით. მანაწილებელი არმატურის დიამეტრი მინიმალური მიიღება.

ფილების დაარმატურება განივი არმატურით არ ხდება, რადგან, როგორც წესი, ფილის დიდი სიგანის გამო მხები ძაბვები უმნიშვნელოა და განივი არმატურა გაანგარიშებით საჭირო არ არის. ფილაში განივი არმატურის მოწყობა მიზანშეწონილი არ არის კონსტრუქციული მოსაზრებებითაც. ფილის როგორც ცალკეული ღეროებით, ასევე შედუღებული ბადეებით დაარმატურების დროს იყენებენ ორ ხერხს: უწყვეტი და დამოუკიდებელი დაარმატურება. უწყვეტი დაარმატურებისას საყრდენებზე საჭირო გრძივი მუშა არმატურა იქმნება მეზობელი მალებიდან აღუნვის გზით, ხოლო დამოუკიდებელი დაარ-

მატურებისას მალისა და საყრდენის არმატურა ეწყობა ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად. უწყვეტი დაარმატურებისას ნაკლები ფოლადი იხარჯება, დამოუკიდებელი დაარმატურება (წარმოება) უფრო მარტივია.



ნახ. XI. 4. კოჭური ფილის დაარმატურება: ა—ცალკეული ღეროებით (აღუნვით და დამოუკიდებელი); ბ—შენადუღი ბადეებით (უწყვეტი და დამოუკიდებელი).

ფილებში იყენებენ *A*—I, *A*—II და *A*—III კლასის ცხლად გლინულ ღეროვან არმატურას და *B*—I, *Bp*—I კლასის ცივჭიმულ მავთულს.

გ) დამხმარე და მთავარი კოჭების კონსტრუირება

კოჭების დაარმატურება ხდება ცალკეული ღეროებით ან შედუღებული კარკასებით. გადახურვის კოჭების დაარმატურებისათვის დანიშნულებისამებრ იყენებენ გრძივ მუშა, განივ, სამონტაჟო და დახრილ (აღუნულ) არმატურას. ეს უკანასკნელი, ჩვეულებრივ, ეწყობა მხოლოდ ცალკეული ღეროებით დაარმატურებისას.

გრძივი მუშა არმატურის კვეთი შეირჩევა გაანგარიშებით — ნორმალური კვეთების სიმტკიცის პირობით, ყოველი მალისა და საყრდენისათვის შესაბამისი ერთნიშნა ეპიურის უდიდესი მღუნავი მომენტის მიხედვით.

განივი და დახრილი არმატურის კვეთი შეირჩევა აგრეთვე გაანგარიშებით დახრილი კვეთების სიმტკიცის პირობით. როდესაც განივი და დახრილი არმატურა გაანგარიშებით საჭირო არ არის, ისინი შეიძლება მოეწყოს კონსტრუქციული მოსაზრებებით.

გადახურვის კოჭების გრძივი მუშა არმატურისათვის იყენებენ ცხლად გლინულ A—II და A—III კლასის ფოლადის ღეროვან არმატურას 10—28 მმ დიამეტრით და განალაგებენ კვეთში ერთ ან ორ რიგად.

სამონტაჟო არმატურა ეწყობა ჩვეულებრივ, *A* — I კლასის 10—16 მმ დიამეტრის ღეროებით.

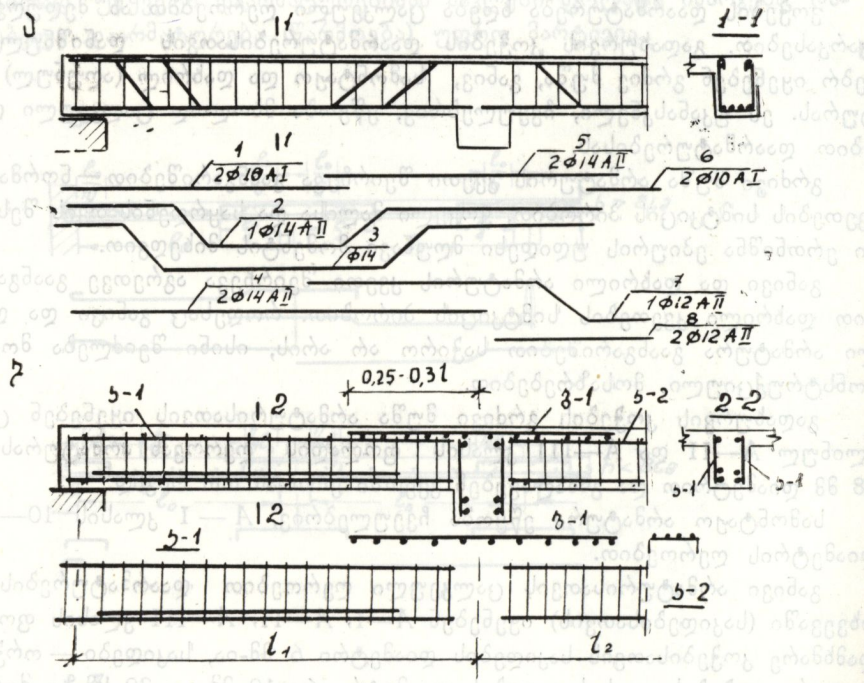
განივი არმატურისათვის ცალკეული ღეროებით დაარმატურების შემთხვევაში (საკიდებისათვის) იყენებენ *A*—I, *A*—II, *A*—III კლასის ფოლადს. დამხმარე კოჭებისათვის საკიდების დიამეტრი 6 მმ-ია, საკიდები — ორჭრადი. მთავარი კოჭებისათვის საკიდების დიამეტრი 6—10 მმ-ია; 30 სმ-ზე მეტი სიგანის წიბოებში, რიგში 5 ცალზე მეტი გაჭიმული ან 3 ცალზე მეტი შეკუმშული გრძივი მუშა არმატურის ღეროთა რაოდენობის შემთხვევაში ეწყობა ოთხჭრადი საკიდები.

შედუღებული კარკასებით დაარმატურებისას განივი არმატურისათვის იყენებენ როგორც ცხლად გლინულ ფოლადის ღეროებს, ასევე ცივჭიმულ ვავთულს. დახრილი კვეთების სიმტკიცის პირობით განივი არმატურის ბიჯი ინიშნება გაანგარიშებით განივი ძალების მიხედვით, მაგრამ არაუმეტეს 15 სმ-ისა 45 სმ-მდე სიმაღლის კოჭებისათვის, ხოლო არაუმეტეს კოჭის სიმაღლის მესამედისა და არაუმეტეს 50 სმ-ისა 45 სმ-ზე მეტი სიმაღლის კოჭებისათვის. იმ უბანზე, სადაც განივი არმატურა გაანგარიშებით საჭირო არ არის, ბიჯი შეიძლება გაიზარდოს, მაგრამ არ უნდა აღემატებოდეს $3/4\ h$ და ყოველ შემთხვევაში არ უნდა იყოს 50 სმ-ზე მეტი.

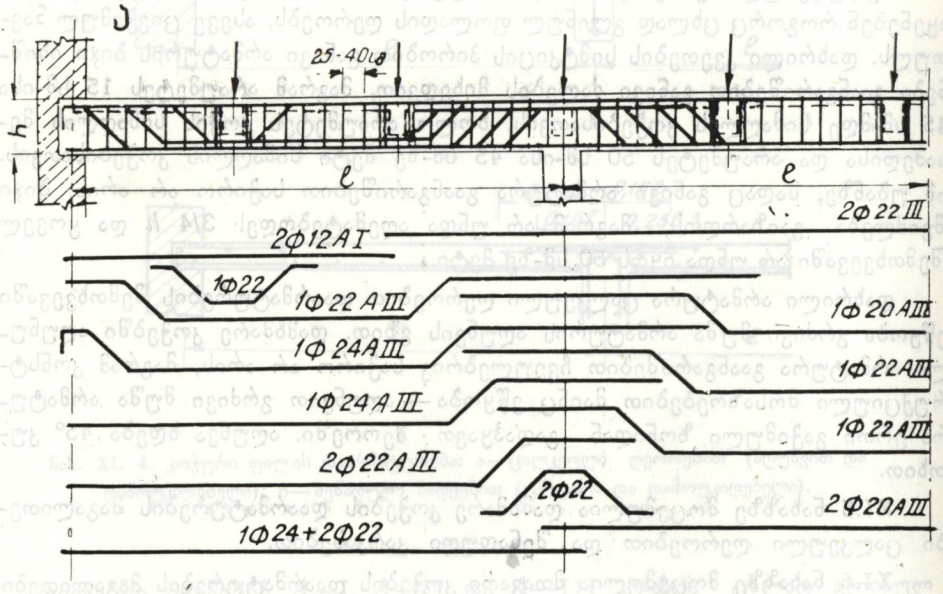
დახრილი არმატურა ცალკეული ღეროებით დაარმატურების შემთხვევაში ეწყობა გრძივი მუშა არმატურის აღუნვის გზით. დამხმარე კოჭებში აღუნული არმატურა გაანგარიშებით ჩვეულებრივ საჭირო არ არის, მაგრამ კონსტრუქციული მოსაზრებებით მაინც ეწყობა — აღუნვით გრძივი მუშა არმატურა ერთი გაჭიმული ზონიდან გადაჰყავთ მეორეში. აღუნვა ხდება 45° კუთხით.

XI.5 ნახაზზე მოცემულია დამხმარე კოჭების დაარმატურების მაგალითები ცალკეული ღეროებით და შენადუღი კარკასებით.

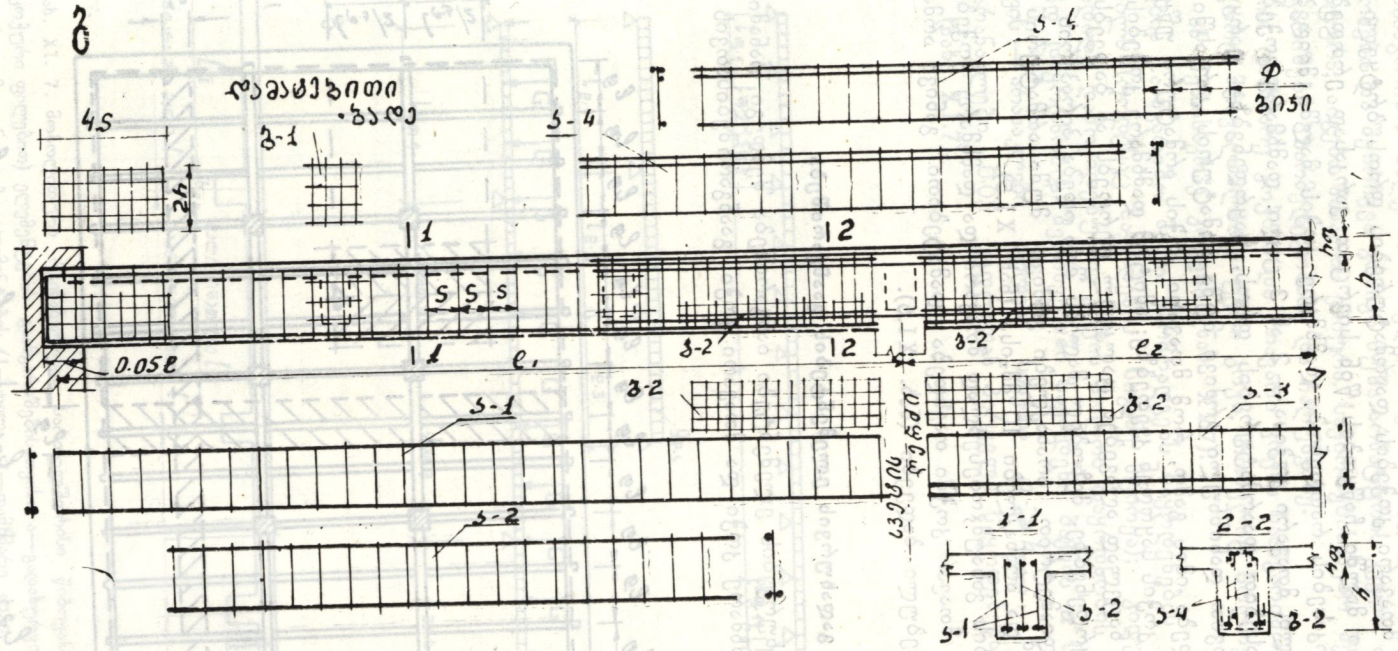
XI.6 ნახაზზე მოცემულია მთავარი კოჭების დაარმატურების მაგალითები ცალკეული ღეროებით და შენადუღი კარკასებით.



ნახ. XI. 5. დამხმარე კოჭების დაარმატურება: ა—ცალკეული ღეროებით; ბ—შენადული კარკასებით.



ხან. XI.6. მთავარი კოჭების დაარმატურება: ა—ცალკეული ღეროებით;



ნახ. XI.6. ბ—შენადნული კარკასებით,

წიბოვანი გადახურვების კოჭების შედუღებული კარკასებით დაარმატურებას ენიჭება უპირატესობა ცალკეული ღეროებით დაარმატურებასთან შედარებით.

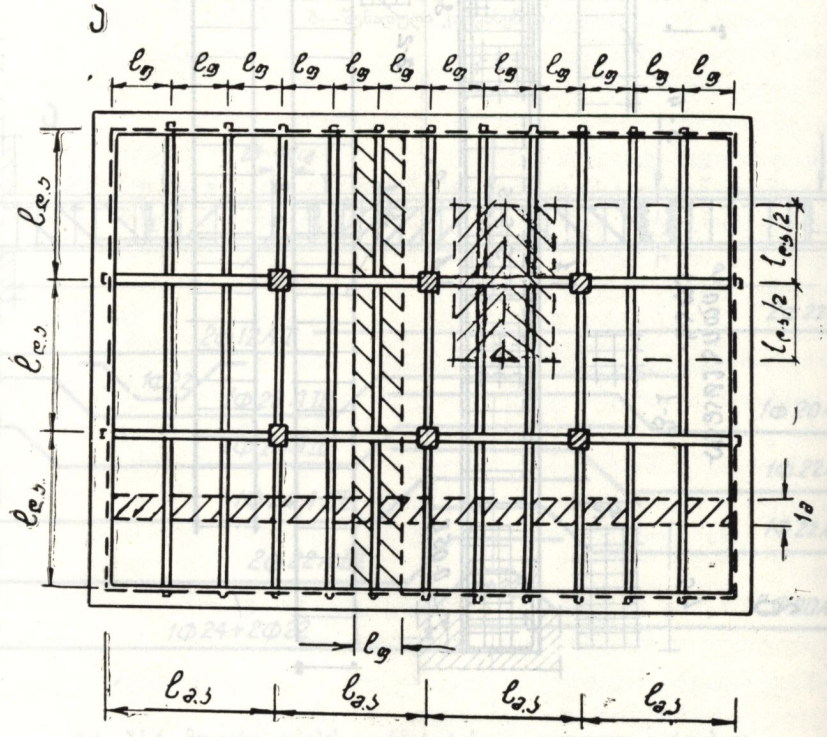
დამხმარე და მთავარი კოჭების დაარმატურების დროს ბრტყელი შედუღებული კარკასები მალში ჩაწყობის წინ სივრცით კარკასად ერთდება.

ბრტყელი კარკასების რაოდენობა დამხმარე კოჭის მალში მიიღება ჩვეულებრივ ორი ცალი, მთავარი კოჭისა — 2 ან 3 ცალი. დამხმარე კოჭების შედუღებული კარკასებით დაარმატურების დროს, საყრდენებზე უარყოფითი მომენტების მიხედვით დანიშნული გრძივი მუშა არმატურის კარკასში გაერთიანება არ ხერხდება იმის გამო, რომ მთავარი კოჭის არმატურა უწყვეტად გადადის დამხმარე კოჭის საყრდენ კვეთებზე; ამიტომ დამხმარე კოჭების საყრდენებზე კარკასის ნაცვლად ალაგებენ ცალკეულ ღეროებს ან ბადეებს; დამხმარე კოჭებში საყრდენებზე, მეზობელ მალებს შუა იდება პირაპირის ღეროები (ორი ცალი) დიამეტრით არანაკლები გრძივი მუშა არმატურის დიამეტრის ნახევრისა და არანაკლები 10 მმ-ისა (ნახ. XI.5).

ჭრაზე მუშაობის გასაუმჯობესებლად მთავარი და დამხმარე კოჭების გადაკვეთის ადგილას მთავარ კოჭში თავსდება დამატებითი განივი არმატურა ან მოკლე შედუღებული ბადეები (ნახ. XI.6).

დ) გადახურვის ელემენტების გაანგარიშება

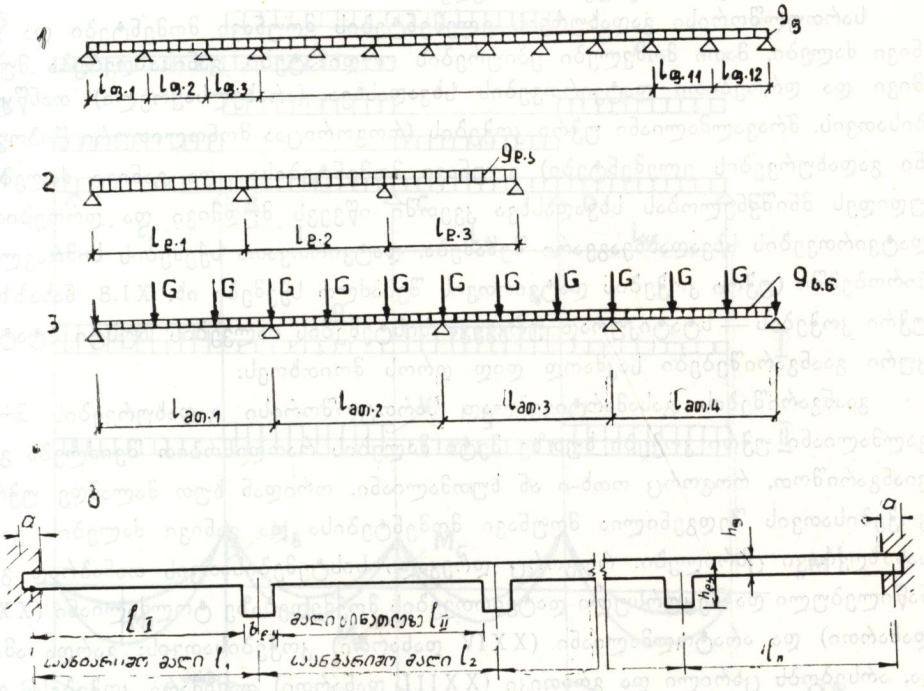
წიბოვანი გადახურვების ელემენტები იანგარიშება შემდეგი თანამიმდევრობით: ფილა, დამხმარე კოჭი და მთავარი კოჭი. გაანგარიშებისათვის საჭი-



როა ელემენტის საანგარიშო სქემის დადგენა, მუდმივი და დროებითი დატვირთვების განსაზღვრა, მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების განსაზღვრა; შემდეგ საანგარიშო ძალვების მიხედვით განისაზღვრება ელემენტის განივკვეთის ზომები და შეირჩევა გრძივი მუშა არმატურის კვეთი, იანგარიშება განივი არმატურა; აიგება მასალის ეპიურა. საჭიროებისამებრ შეიძლება ჩატარდეს გაანგარიშება ბზარმედეგობასა და ჩაღუნვაზე.

ფილის, დამხმარე კოჭისა და მთავარი კოჭის საანგარიშო სქემა მიღებულია როგორც მრავალმალიანი უჭრი კოჭი, რომელიც ბოლოებით ეყრდნობა კედლებს ან შემოსაკრავ კოჭებს (ნახ. XI.7).

კოჭების საანგარიშო მალი წარმოადგენს საყრდენების ცენტრებს შორის მანძილს (როდესაც საყრდენის სიგანე მცირეა); კიდურა საანგარიშო მალის სიდიდე დამოკიდებულია კოჭის ბოლოს დაყრდნობის პირობებზე. თავისუფლად დაყრდნობის შემთხვევაში საყრდენი ბაქნის a სიგრძე მიიღება: ფილისათვის — არანაკლები ფილის სისქისა $a \geqslant h_{\text{ფილ}}$, ხოლო კოჭებისათვის — არანაკლები 0.05 კედლიდან პირველ საყრდენებამდე მანძილისა $a \geqslant 0{,}05l$ (ნახ. XI.7).



ნახ. XI. 7. მონოლითური რკინაბეტონის სართულშორისი წიბოვანი გადახურვების (კოჭური ფილებით) ელემენტების გაანგარიშებისათვის: ა—გადახურვის სქემა და საერთო მოედნები; ბ—ელემენტების (1—ფილა, 2—დამხმარე კოჭი, 3—მთავარი კოჭი) საანგარიშო სქემები; გ—ფილის კონსტრუქციული სქემა.

გადახურვის სასარგებლო დატვირთვა გადაეცემა უშუალოდ ფილას. ფილაზე მოქმედი მუდმივი და დროებითი დატვირთვები ჩვეულებრივ, თანაბრადაა განაწილებული. ფილიდან დატვირთვები გადაეცემა დამხმარე კოჭებს ასევე თანაბრად განაწილებულად (რადგან ფილა უწყვეტად, მონოლითურადაა დაკავშირებული კოჭთან), ხოლო დამხმარე კოჭებიდან მთავარ კოჭებს — შეყურსული ძალების სახით (დამხმარე კოჭების საყრდენი ბაქნების ზომები უმნიშვნელოა მთავარი კოჭების მალთან შედარებით). ფილის, დამხმარე და მთავარი კოჭის საანგარიშო სქემები ნაჩვენებია XI.7 ნახაზზე.

სართულშორისი გადახურვის ელემენტების მუდმივი დატვირთვები განისაზღვრება კონსტრუქციული სქემების მიხედვით; დროებითი სასარგებლო დატვირთვის სიდიდე გადახურვის ერთეული ფართობისათვის მოცემულია შენობის განსახილველი სათავსის დანიშნულების შესაბამისად დაპროექტების ნორმების ცხრილებში (ცხრ. 3.5, СНиП II—6—74), ან მიიღება ტექნოლოგიური პროცესების მიხედვით.

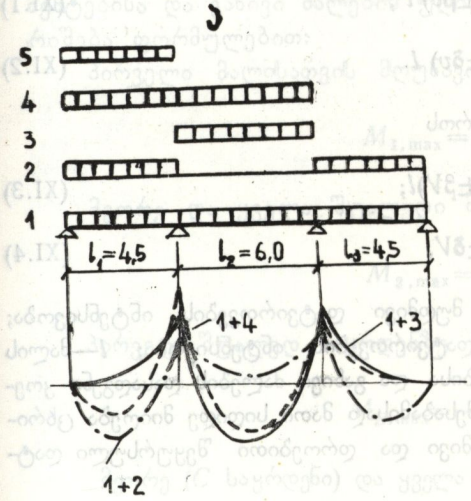
მუდმივი დატვირთვების დასადგენად საჭიროა გადახურვის ელემენტების განივკვეთის ზომების წინასწარ, საორიენტაციოდ, დანიშვნა; საანგარიშო ძალების განსაზღვრის შემდეგ ხდება განივკვეთის ზომების შემოწმება ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალური კვეთების სიმტკიცის პირობით მაქსიმალური მღუნავი მომენტების მიხედვით.

სართულშორისი გადახურვის ელემენტების მღუნავი მომენტები და განივი ძალები, მათი მომვლები ეპიურების ორდინატები, განისაზღვრება მუდმივი და დროებითი დატვირთვების სხვადასხვა (არახელსაყრელი) თანწყობისათვის. მრავალმალიანი უჭრი კოჭების (როგორიცაა მონოლითური წიბოვანი გადახურვების ელემენტები) მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების უდიდეს მნიშვნელობას სხვადასხვა კვეთში იწვევს მუდმივი და დროებითი დატვირთვების სხვადასხვაგვარი შეხამება. დატვირთვათა სქემების სიმრავლის პირობებში (უჭრი კოჭების დატვირთვის შესაძლო სქემები იხ. XI.8. ნახაზზე) უჭრი კოჭების — სტატიკურად ურკვევი სისტემების ძალვების ზუსტი სტატიკური გაანგარიშებები საკმაოდ დიდ დროს მოითხოვს.

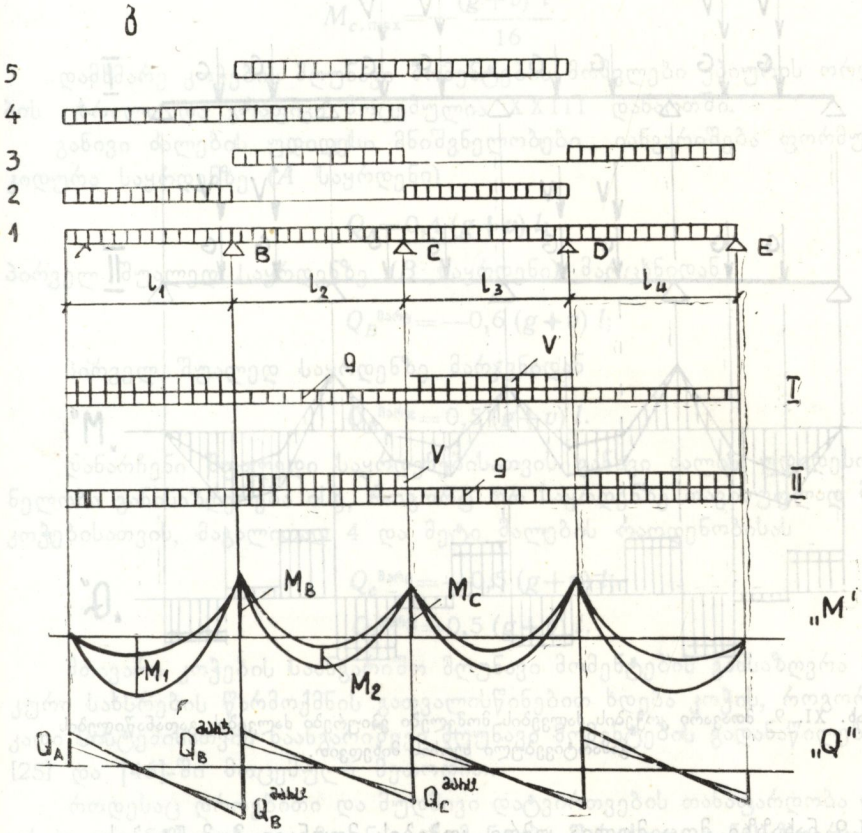
გაანგარიშების გასამარტივებლად სართულშორისი გადახურვების მრავალმალიანი უჭრი კოჭები ხუთზე მეტი მალების რაოდენობით შეიძლება გავიანგარიშოთ, როგორც ოთხ-ი ან ხუთმალიანი. ორიდან ხუთ მალამდე უჭრი კოჭებისათვის შედგენილია მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების განსასაზღვრავი ცხრილები: როგორც დრეკადი სისტემებისათვის თანაბრად განაწილებული და შეყურსული დატვირთვების მოქმედებაზე ტოლმალიანი (XXV დანართი) და არატოლმალიანი (XXIV დანართი) კოჭებისათვის; გარდა ამისა, არსებობს ცხრილი და გრაფიკი (XXIII დანართი) დამხმარე კოჭებისა და ფილების მღუნავი მომენტების მომვლები ეპიურის ორდინატების დასადგენად პლასტიკური დეფორმაციების გათვალისწინებით.

ტოლმალიანი უჭრი კოჭების, როგორც დრეკადი სისტემების მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელო-

ბები დატვირთვის აღებული შეხამებისათვის ცხრილების (XXV დანართი) დახმარებით განისაზღვრება ფორმულებით:



ნახ. XI. 8. სართულშორისი გადახურვების უჭრი კოჭების დატვირთვების არახელსაყრელი მდებარეობის სქემები; მუდმივი და დროებითი დატვირთვების სხვადასხვა შეხამების შესაბამისი ძალვების მომვლები ეპიურები: ა—არატოლმალიანი კოჭი, გაანგარიშებული როგორც დრეკადი სისტემა; ბ—ტოლმალიანი კოჭი, გაანგარიშებული დატვირთვის ორგვარი შეხამებისას I და II, როგორც დრეკადი სისტემა.



თანაბრად განაწილებული დატვირთვების მოქმედებისას

$$M=(\alpha g\pm\beta v)\,l^2; \tag{XI.1}$$

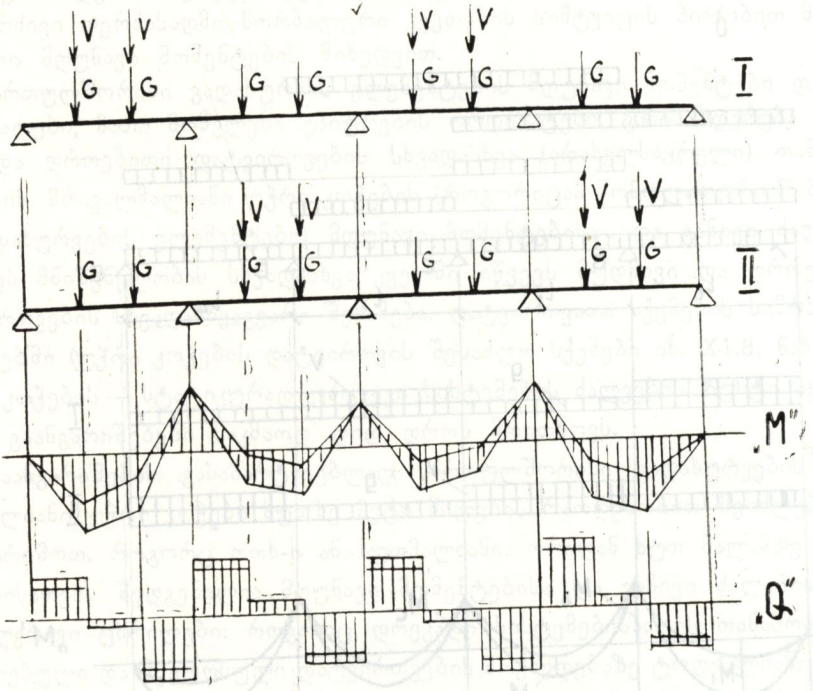
$$Q=(\gamma g\pm\delta v)\,l. \tag{XI.2}$$

შეყურსული ძალების მოქმედების დროს

$$M=(\alpha G\pm\beta V)l; \tag{XI.3}$$

$$Q=\gamma G\pm\delta V, \tag{XI.4}$$

სადაც g არის თანაბრად განაწილებული მუდმივი დატვირთვების ინტენსივობა; v—თანაბრად განაწილებული დროებითი დატვირთვების ინტენსივობა; l—მალის სიდიდე; α, β და γ, δ—მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების დასადგენი კოეფიციენტები; კოჭის საანგარიშო სქემის შესაბამისად მათი სიდიდე მიიღება ცხრილებიდან (XXV დანართი); G და V—მუდმივი და დროებითი შეყურსული დატვირთვები.



ნახ. XI. 9. მთავარი კოჭების ძალვების მომვლები ეპიურები ძალვების გადანაწილების გამარტივებული ხერხის მიხედვით.

XI.9 ნახაზზე მოცემულია უჭრი კოჭების მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების მომვლები ეპიურები: ა) თანაბრად განაწილებული დატვირთვებისა და ბ) შეყურსული ძალების მოქმედების შემთხვევებში.

პლასტიკური სახსრების წარმოქმნის გამო ძალვების გადანაწილების პირობით, დამხმარე კოჭებისა და ფილების საანგარიშო კვეთებში მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების უდიდესი მნიშვნელობები მიახლოებით იანგარიშება ფორმულებით:

პირველი მალისათვის მღუნავი მომენტი.

$$M_{1,\max}=\frac{(g+v)\,l^2}{11}; \tag{XI.5}$$

მეორე და ყველა შუალედი მალისათვის

$$M_{2,\max}=\frac{(g+v)\,l^2}{16}; \tag{XI.6}$$

პირველ შუალედ საყრდენზე (B საყრდენი)

$$M_{B,\max}=-\frac{(g+v)\,l^2}{14}; \tag{XI.7}$$

მეორე (C საყრდენი) და ყველა შუალედ საყრდენზე

$$M_{c,\max}=-\frac{(g+v)\,l^2}{16}. \tag{XI.8}$$

დამხმარე კოჭების მღუნავი მომენტების მომვლები ეპიურის ორდინატების ცხრილი და გრაფიკი ნაცემულია XXIII დანართში.

განივი ძალების უდიდესი მნიშვნელობები იანგარიშება ფორმულებით: კიდურა საყრდენზე (A საყრდენი)

$$Q_A=0{,}4\,(g+v)\,l; \tag{XI.9}$$

პირველ შუალედ საყრდენზე (B საყრდენი) მარცხნიდან

$$Q_B^{\text{მარც}}=-0{,}6\,(g+v)\,l; \tag{XI.10}$$

პირველ შუალედ საყრდენზე მარჯვნიდან

$$Q_B^{\text{მარჯ}}=0{,}5\,(g+v)\,l. \tag{XI.11}$$

დანარჩენი შუალედი საყრდენებისათვის განივი ძალის უდიდესი მნიშვნელობა განისაზღვრება ისე, როგორც ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე კოჭებისათვის, მაგალითად 4 და მეტი მალების რაოდენობისას

$$Q_c^{\text{მარც}}=-0{,}5\,(g+v)\,l; \tag{XI.12}$$

$$Q_c^{\text{მარჯ}}=0{,}5\,(g+v)\,l. \tag{XI.13}$$

მთავარი კოჭების საანგარიშო მღუნავი მომენტების განსაზღვრა პლასტიკური სახსრების წარმოქმნის გათვალისწინებით ხდება კოჭის, როგორც დრეკადი სისტემისათვის ნაანგარიშევი მღუნავი მომენტების გადანაწილების გზით [25] და [46]-ში მოცემული მეთოდით.

როდესაც დროებითი და მუდმივი დატვირთვების თანაფარდობა დიდი არ არის, გადანაწილებული მღუნავი მომენტები შესაძლოა განისაზღვროს გამარტივებულად: გადანაწილებული მღუნავი მომენტების ეპიურად მიიჩნევენ კოჭის, როგორც დრეკადი სისტემის მომვლებ ეპიურას, აგებულს მუდმივი და

დროებითი დატვირთვების მხოლოდ ორი შეხამების მიხედვით: შეხამების I სქემა, როდესაც მუდმივ დატვირთვასთან ერთად (იგი მთელ კოჭზეა განლაგებული) მოქმედებს პირველსა და მესამე მალში მდებარე დროებითი დატვირთვა; II სქემა — მუდმივ დატვირთვასთან ერთად მოქმედებს მეორე და მეოთხე მალებში განლაგებული დროებითი დატვირთვა. თითო მალის გამოშვებით დროებითი დატვირთვის განლაგება წარმოქმნის მღუნავი მომენტების უდიდეს მნიშვნელობას დატვირთულ მალებში — $M_{1.\,max}$, $M_{3.\,max}$ I სქემის და $M_{2.max}$, $M_{4.max}$ — II სქემის შემთხვევაში. საყრდენი მომენტები ამ დროს დაახლოებით 25%-ით მცირეა, ვიდრე დრეკადი სისტემისათვის დადგენილი საყრდენი მომენტის მაქსიმუმი დატვირთვის შესაბამისი შეხამებისათვის. შედეგი ახლოა გადანაწილების ზუსტი მეთოდით განსაზღვრულთან.

გადახურვების ელემენტების კონსტრუქციულ გაანგარიშებებში ფილა განიხილება როგორც ცალფაარმატურიანი მართკუთხა კვეთის ელემენტი, სიგანით ერთი მეტრი და სისქით $h=6$—12 სმ. ფილის კონსტრუქციული გაანგარიშება, ჩვეულებრივ, შედგება მისი სისქისა და გრძივი მუშა არმატურის კვეთის შერჩევისაგან სიმტკიცის პირობით. ფილის მნიშვნელოვანი სიგანის გამო მხები ძაბვები მცირეა და რღვევა დახრილ კვეთებზე მოსალოდნელი არ არის; ამიტომ ფილის დახრილი კვეთების გაანგარიშება განივი ძალის მიხედვით არ წარმოებს (და არც განივი არმატურა ეწყობა). ფილის სისქე იანგარიშება ნორმალური კვეთის სიმტკიცის პირობით უდიდესი მღუნავი მომენტის (პირველი მალის $M_{1.\,max}$-ის) მიხედვით. ფილის დაარმატურების ხელსაყრელი პროცენტი 0,3—0,6%-ის ფარგლებშია, შეკუმშული ზონის დაყვანილი სიმაღლის ხელსაყრელ სიდიდედ ითვლება $\xi=0{,}1$—$0{,}15$. ფილის მუშა სიმაღლე იანგარიშება ფორმულით

$$h_0 = \sqrt{\frac{M_{1.\,max}}{R_b b A_0}},$$

ხოლო სრული სიმაღლე

$$h = h_0 + a.$$

კონსტრუქციული მოსაზრებებით ფილის სისქე ინიშნება მთელი სანტიმეტრის ჯერადი და მიიღება არანაკლები 5 სმ-ისა.

გრძივი მუშა არმატურა შეირჩევა საანგარიშო კვეთების უდიდესი მღუნავი მომენტების მიხედვით სიმტკიცის პირობით საჭირო ფართობის შესაბამისად. საანგარიშო კვეთებია ყოველი მალის უდიდესი მღუნავი მომენტის მოქმედებისა და ყოველი საყრდენის კიდეზე გამავალი კვეთი. გრძივი მუშა არმატურის საჭირო ფართობი იანგარიშება ფორმულით

$$A_s = \frac{M}{R_s z_b} = \frac{M}{R_s \eta h_0}.$$

ფილის გრძივი მუშა არმატურა მიიღება Bp-I და A-III, იშვიათად A-I კლასის.

მთელ კონტურზე საყრდენ წიბოებთან მონოლითურად დაკავშირებული ფილების გრძივი მუშა არმატურის კვეთი, წიბოების განმტვირთავი გავლენის გათვალისწინებით, 25%-ით ნაკლები მიიღება, ვიდრე თავისუფალი დაყრდნობისას.

დამხმარე და მთავარი კოჭების კონსტრუქციული გაანგარიშებები, ჩვეულებრივ, წარმოგვიდგება როგორც ნორმალური და დახრილი კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცის პირობით (მათი გაანგარიშება სიხისტესა და ბზარმედეგობაზე იშვიათად ხდება).

ნორმალური კვეთების სიმტკიცის პირობით შეირჩევა: ელემენტის განივკვეთის ზომები კოჭის უდიდესი მღუნავი მომენტის მიხედვით და გრძივი მუშა არმატურა ყოველი საანგარიშო კვეთისათვის შესაბამისი მღუნავი მომენტის მიხედვით; ამ დროს დამხმარე და მთავარი კოჭების განივკვეთის ფორმა განიხილება როგორც ტესებრი, რომლის თაროს წარმოადგენს ფილა. მალში გრძივი მუშა არმატურის კვეთის შერჩევის დროს დადებითი ნიშნის საანგარიშო მღუნავი მომენტის მიხედვით, შეკუმშული თარო მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული; ტესებრი კვეთის შეკუმშული თაროს საანგარიშო სიგანედ ითვლება: დამხმარე კოჭებისათვის — დამხმარე კოჭების ღერძებს შორის მანძილი, ე. ი. ფილის საანგარიშო მალი; მთავარი კოჭებისათვის — მანძილი არაუმეტეს მთავარი კოჭის მალის ნახევრისა. უარყოფით მღუნავ მომენტებზე გაანგარიშებისას თაროები (გაჭიმულ ზონაშია) მხედველობაში არ მიიღება და კვეთი იანგარიშება როგორც სწორკუთხა, რომლის სიგანე წიბოს სიგანის ტოლია.

დახრილი კვეთების სიმტკიცის პირობით განივი ძალების მიხედვით იანგარიშება განივი და დახრილი (აღუნული) არმატურა. დამხმარე და მთავარი კოჭის კონსტრუქციული გაანგარიშება მთავრდება არმატურის საჭირო და დანიშნული კვეთების შედარებითი სქემის ან ცხრილების შედგენით, გრძივი მუშა არმატურის შეწყვეტისა და აღუნვის ადგილების შემოწმებით — მასალის ეპიურის აგებით. მასალის ეპიურის ორდინატები განისაზღვრება როგორც ზღვრული მომენტები, გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა არმატურის დანიშნული კვეთის მიხედვით ფორმულით

$$\bar{M}=R_s A_s z, \qquad \text{(XI.14)}$$

სადაც A_s არის გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა არმატურის დანიშნული ფართობი განსახილველ კვეთში; z—შიგა ძალთა მხარი. იგი მიახლოებით შეიძლება ჩაითვალოს მუდმივად კოჭის მთელ სიგრძეზე და განისაზღვროს როგორც: $z=0{,}9h_0$ —სწორკუთხა კვეთებისათვის (უარყოფითი მომენტების მოქმედების უბანზე) და $z=h_0$—$0{,}5\,h_{\text{ფილ}}$—ტესებრი კვეთებისათვის (დადებითი მომენტების მოქმედების უბანზე); უფრო ზუსტად $z=h_0-\frac{x}{2}$, სადაც $x=\frac{R_s A_s}{R_b b}$ ან $x=\frac{R_s A_s}{R_b b'_f}$.

მასალის ეპიურა აიგება საანგარიშო მღუნავი მომენტების მომვლებ ეპიურაზე. რაც უფრო ეკონომიურადაა შერჩეული არმატურა, მით უფრო ახლო გაივლის მასალის ეპიურა საანგარიშო მღუნავი მომენტის მომვლები ეპიურისაგან, მაგრამ მასალის ეპიურა არსად არ უნდა შეიჭრას მასში — დაკმაყოფილებული უნდა იყოს სიმტკიცის პირობა $M \leqslant \bar{M}$.

ცალკეული ღეროებით დაარმატურების დროს მასალის ეპიურა აიგება კონსტრუირების შემდეგ, შემოწმების მიზნით, ხოლო შედუღებული კარკასებით დაარმატურებისას მასალის ეპიურის აგება და კონსტრუირება მიმდინარეობს ერთდროულად.

გადახურვის ელემენტების გაანგარიშებისა და კონსტრუირების შემდეგ ხდება სვეტებისა და მათი საძირკვლების გაანგარიშება.

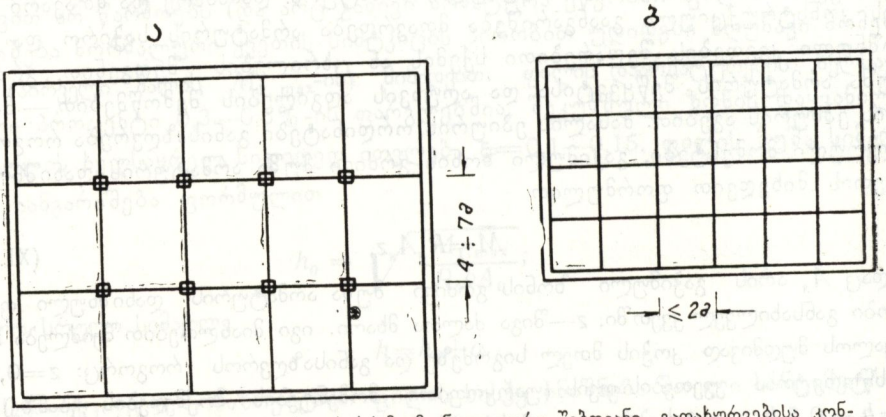
§ 3. წიბოვანი გადახურვები კონტურზე დაყრდნობილი ფილებით

ა) გადახურვის შედგენილობა

მონოლითური რკინაბეტონის წიბოვანი (კოჭოვანი) გადახურვები შედგება ფილისა და წიბოებისაგან (კოჭებისაგან), რომლებიც მონოლითურადაა დაკავშირებული ერთმანეთთან. კოჭები გეგმაში განგალებულია ურთიერთპერპენდიკულარულად. ისინი წარმოადგენენ ფილის საყრდენებს.

როდესაც ფილის დაყრდნობილი გვერდების სიგრძეთა თანაფარდობა მეტია ორზე, მოკლე გვერდებზე განლაგებული წიბოების — საყრდენების — გავლენა უმნიშვნელოა და ფილა იანგარიშება როგორც კოჭი, რომელიც ეყრდნობა მხოლოდ გრძელ გვერდებზე მდებარე საყრდენებს. თუ ფილის დიდი გვერდის ფარდობა მოკლე გვერდთან ორზე ნაკლებია, მოკლე გვერდებზე დაყრდნობის გავლენა მნიშვნელოვანია და მისი უგულებელყოფა არ შეიძლება. ამ შემთხვევაში მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული ყველა საყრდენი, ფილას ანგარიშობენ როგორც კონტურზე დაყრდნობილს და აარმატურებენ ჯვარედინი მუშა არმატურით.

წიბოვან გადახურვებს კონტრუზე დაყრდნობილი ფილებით კ ე ს ო ნ უ რ გ ა დ ა ხ უ რ ვ ე ბ ს ა ც უწოდებენ.



ნახ. XI.10. კოჭოვანი უჯრედის სქემა მონოლითური წიბოვანი გადახურვებისა კონტურზე დაყრდნობილი ფილებით: ა—დიდმალიანი ფილებით; ბ—მცირემალიანი ფილებით (საკუთრივ კესონური გადახურვა).

კოჭურფილებიან წიბოვან გადახურვებთან შედარებით, კესონური გადახურვები საჭიროებს ბეტონისა და არმატურის მეტ ხარჯს, მაგრამ მათ ენიჭებათ უპირატესობა არქიტექტურული მოსაზრებებით. წიბოვანი გადახურვები კონტურზე დაყრდნობილი ფილებით ძირითადად მიღებულია საზოგადოებრივი შენობების, მაღაზიებისა და თეატრებისათვის, საგამოფენო გალერეებისათვის და სხვ.

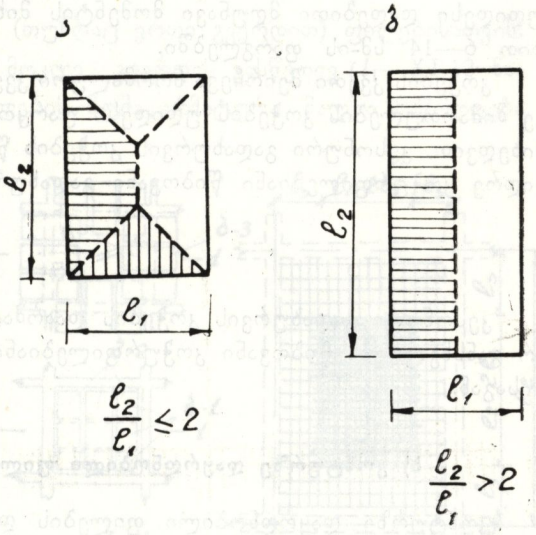
კონტურზე დაყრდნობილფილებიანი წიბოვანი გადახურვების კონსტრუქციული სქემა ორგვარია (ნახ.XI.10):

1. გადახურვები დიდმალიანი (4—7 მ) ფილებით (დიდი კესონებით);

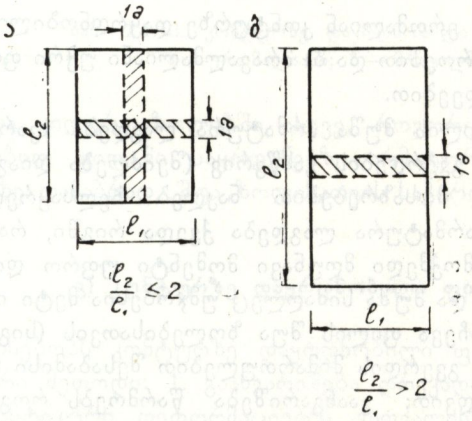
2. გადახურვები მცირემალიანი (არაუმეტეს 2 მ) ფილებით — საკუთრივ კესონური გადახურვები.

პირველი კონსტრუქციული სქემით გადაწყვეტისას კოჭების შუალედ საყრდენებად ეწყობა სვეტები, ხოლო მეორე შემთხვევაში შუალედური საყრდენები სვეტების სახით კოჭებს არ გააჩნიათ. საკუთრივ კესონური გადახურვების ზომები გეგმაში მიიღება: სიგრძე არაუმეტეს 16 მ-ისა, სიგანე არაუმეტეს 9 მ-ისა, სიგრძისა და სიგანის ფარდობა—არაუმეტეს 1,5-ისა.

ფილაზე მოქმედი დატვირთვა ნაწილდება მოკლე და დიდი გვერდის მიმართულებით მათი სიგრძისა და ჩამაგრების პირობების შესაბამისად, რაც ამცირებს მღუნავი მომენტების სიდიდეს ორი გვერდით დაყრდნობილ ფილასთან შედარებით და იძლევა ფილის მალების გაზრდის საშუალებას. XI.11 ნახაზზე ნაჩვენებია კონტურზე დაყრდნობილი ფილიდან დატვირთვათა საყრდენებზე გადაცემა-განაწილების სქემა.



ნახ. XI. 11. კონტურზე დაყრდნობილი ფილის საყრდენების სატვირთო მოედნები: ა—როდესაც $l_2/l_1 \leqslant 2$; ბ—$l_2/l_1 > 2$.



ნახ. XI.12. კონტურზე დაყრდნობილი ფილის საანგარიშო (შუა) ზოლები: ა—როდესაც $l_2/l_1 \leqslant 2$; ბ—$l_2/l_1 > 2$.

კონტურზე დაყრდნობილი ფილის მიახლოებითი გაანგარიშებისა წარმოიდგენენ შუა ორ ჯვარედინ ზოლს—ფილებს, სიგანით 1 მ, რომლებიც მიმართული არიან მოკლე და გრძელი გვერდის გასწვრივ (ნახ. XI.12) და მუშაობენ ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად სრული დატვირთვის ნაწილზე, დაყრდნობის პირობების შესაბამისი საანგარიშო სქემით.

წიბოვანი გადახურვების კონტურზე დაყრდნობილი ფილები იშვიათად ეწყობა ერთი მალით, ჩვეულებრივ ისინი უჭრი და მრავალმალიანია: ა) ერთრიგა, ბ) ორრიგა ან გ) მრავალრიგა (ნახ. XI.15).

კოჭების ბადე ჩვეულებრივ სწორკუთხაა, უფრო ხშირად კვადრატული ან კვადრატთან ახლო. ფილიდან დატვირთვების ორივე მიმართულებით გა-

ნაწილების გამო, გადახურვის ორივე მიმართულების კოჭები მიიღება ერთნაირი განივკვეთის ზომებით, მაგრამ უფრო დაბალი და განიერი, ვიდრე წიბოვანი გადახურვებისათვის კოჭური ფილებით.

კონტურზე დაყრდნობილი ფილების სისქე გადახურვებში შეირჩევა უდიდესი დადებითი მღუნავი მომენტის მიხედვით სიმტკიცეზე გაანგარიშებით 6—14 სმ-ის ფარგლებში.

კოჭების კვეთი შეირჩევა ნორმალური კვეთების სიმტკიცის პირობით ორივე მიმართულების კოჭების უდიდესი უარყოფითი ნიშნის მღუნავი მომენტის მიხედვით. კესონური გადახურვის კოჭების წიბოს სიგანე რამდენადმე მეტია, ვიდრე კოჭურფილებიანი წიბოვანი გადახურვებისათვის და მიიღება

$$b \leqslant \frac{h}{1{,}5}.$$

კესონური გადახურვის კოჭების დაარმატურება პრინციპულად არაფრით არ განსხვავდება წიბოვანი კოჭურფილებიანი გადახურვების დამხმარე კოჭებისაგან.

ბ) კონტურზე დაყრდნობილი ფილების კონსტრუირება

კონტურზე დაყრდნობილი ფილების დაარმატურება შეიძლება ცალკეული ღეროებით ან შედუღებული ბადეებით. ამ უკანასკნელს უპირატესობა ენიჭება განსაკუთრებით მრავალმალიან უჭრ ფილებში. ორივე შემთხვევაში შეიძლება უწყვეტი ან დამოუკიდებელი დაარმატურების წესის გამოყენება. დაარმატურების პროცენტის ხელსაყრელი სიდიდე იცვლება 0,5—0,8%-ის ზღვრებში.

XI.13 ნახაზზე მოცემულია: ა) ერთმალიან კონტურზე დაყრდნობილი ფილის დაარმატურება ცალკეული ღეროებით და ბ) მრავალმალიანი უჭრი ფილის დაარმატურება შედუღებული ბადეებით.

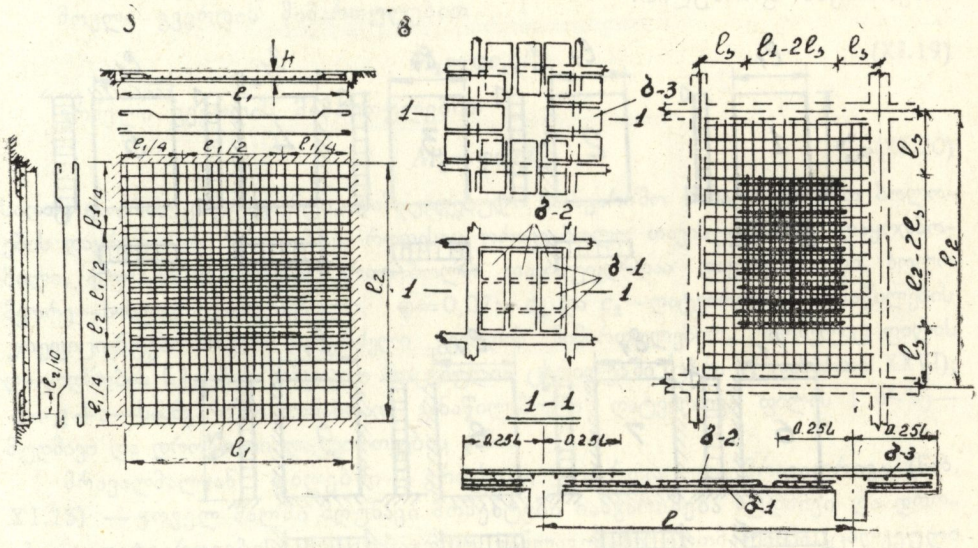
კონტურზე დაყრდნობილი ფილის მუშა არმატურა ლაგდება ჯვარედინად, ჩვეულებრივ, დაყრდნობილი გვერდების გასწვრივ (შეიძლება დიაგონალურადაც, რაც კონსტრუქციული მოსაზრებებით ნაკლებ ხელსაყრელია). მოკლე გვერდის გასწვრივ მუშა არმატურა ლაგდება ქვედა რიგში, რადგან მოკლე გვერდის მიმართულებით მოქმედი მღუნავი მომენტი უფრო დიდია, ვიდრე გრძელი გვერდის გასწვრივ და მუშა სიმაღლეც უმჯობესია მეტი იყოს.

მუშა არმატურის კვეთი შეირჩევა ფილის შუა ზოლებისათვის (სიგანით 1 მ) როგორც გრძელი, ისე მოკლე გვერდის მიმართულებით შესაბამისი საანგარიშო მღუნავი მომენტის მიხედვით; გაანგარიშება წარმოებს როგორც ცალფაარმატურიანი სწორკუთხა კვეთისათვის. რადგან ფილის შუა ზოლიდან კიდისკენ მომენტების სიდიდე მცირდება, შუა ზოლისათვის შერჩეული არმატურის კვეთი შეიძლება შემცირდეს კიდურა ზოლებისათვის. არმატურის კვეთის თანდათანობითი შეცვლა ძნელია, ამიტომ ორივე მიმართულებით ფილის მთელ სიგანეზე გამოიყოფა სამი ზოლი: შუა ზოლში არმატურა ლაგდება გაანგარიშებით საჭირო რაოდენობით, ხოლო კიდურა ზოლებში — შუა ზოლის არმატურის ნახევარი, მაგრამ არანაკლები სამი ღეროსი ერთი მეტრის სიგანეზე.

კიდურა ზოლების სიგანეა:

$\frac{1}{4} l_{\text{მოკლე}}$ — მთელ კონტურზე ჩამაგრებული ფილებისათვის; $\frac{1}{8} l_{\text{მოკლე}}$ — კონტურზე თავისუფლად დაყრდნობილი (თუნდაც ერთი გვერდით) ფილებისათვის.

აქ $l_{\text{მოკლე}}$ არის ფილის მალი მოკლე გვერდის გასწვრივ (l_1—XI.13 ნახაზზე). უჭრი მრავალმალიანი ფილების მუშა არმატურა მალ'ში ნაწილდება



ნახ. XI.13. კონტურზე დაყრდნობილი ფილების დაარმატურება:
ა — ერთმალიანი; ბ — მრავალმალიანი ფილის.

შუა და კიდურა ზოლებში ისევე, როგორც ცალკეულ თავისუფლად დაყრდნობილ ფილაში. საყრდენებზე არმატურა ლაგდება ზედა შრეში მთელ სიგანეზე თანაბრად, შუა ზოლისათვის საჭირო არმატურის ფართობის შესაბამისად.

გ) კონტურზე დაყრდნობილი ფილების გაანგარიშება

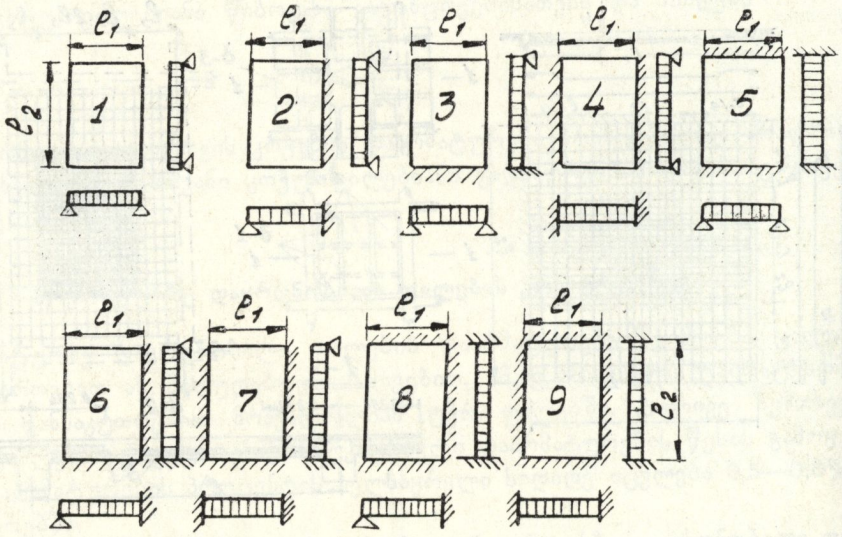
არსებობს კონტურზე დაყრდნობილი ფილების სტატიკური გაანგარიშების ორი მეთოდი: 1. გაანგარიშება დრეკადი დეფორმაციების მიხედვით და 2. პლასტიკური დეფორმაციების გათვალისწინებით.

დრეკადი სტადიის მიხედვით გაანგარიშებისას ჯვარედინამარტტრიან კონტურზე დაყრდნობილ ფილას წარმოიდგენენ როგორც ორი, ჯვარედინი ფილის ერთობლიობას, რომლის ყოველი მიმართულების შემადგენელ ფილას თავისივე, ერთი მიმართულების მუშა არმატურა აქვს. ერთმალიან კონტურზე დაყრდნობილი ფილის ორივე მიმართულების შემადგენელი ფილა იანგარიშება როგორც ორ საყრდენზე მდებარე კოჭი საერთო დატვირთვის ნაწილის მოქმედებაზე. გაანგარიშების ასეთ მეთოდს დრეკადი ბადეების მეთოდი ეწოდება. XI.14 ნახაზზე მოცემულია ერთმალიანი ფილის კონტურზე დაყრდნობის სხვადასხვა შემთხვევისათვის (ცხრა შემთხვევა)

ორი ურთიერთპერპენდიკულარული ზოლის, როგორც ორ საყრდენზე მდებარე კოჭების საანგარიშო სქემები.

ფილების კონტურზე დაყრდნობის პირობებისა და გვერდების ფარდობის მიხედვით შედგენილია ცხრილები, რომელთა საშუალებითაც შეიძლება განისაზღვროს ორივე მიმართულების საანგარიშო ზოლის შესაბამისი დატვირთვის წილი და მღუნავი მომენტები (დანართი XXVI).

დრეკადი ბადეების მეთოდით მღუნავი მომენტები ერთმალიან ფილებში იანგარიშება ფორმულით:



ნახ. XI. 14. ფილების დაყრდნობის სქემები.

მალში მოკლე გვერდის მიმართულებით

$$M_1 = \alpha_{1n} F; \tag{XI.15}$$

მალში გრძელი გვერდის მიმართულებით

$$M_2 = \alpha_{2n} F, \tag{XI.16}$$

საყრდენზე მოკლე გვერდის მიმართულებით

$$M_1^{\text{საყრდ}} = -\beta_{1n} F; \tag{XI.17}$$

საყრდენზე გრძელი გვერდის მიმართულებით

$$M_2^{\text{საყრდ}} = -\beta_{2n} F, \tag{XI.18}$$

სადაც α_{1n}, α_{2n}, β_{1n}, β_{2n} არის კოეფიციენტები, რომლებიც დამოკიდებულია ფილის გვერდების დაყრდნობის პირობებსა და მათ $\frac{l_2}{l_1}$ ფარდობაზე და მოცემულია სპეციალურ ცხრილში. პირველი ინდექსი გვიჩვენებს მომენტის მოქმედების მიმართულებას, მეორე — n — დაყრდნობის პირობების შესაბამისი სქემის ნომერს (ნახ. XI.14; ცხ. 2, დანართი XXVI); $F = (g + v)\, l_1 l_2$ — მთელ ფილაზე მოქმედი თანაბრად განაწილებული საანგარიშო დატვირთვების ჯამური სიდიდე;

g და v—საანგარიშო მუდმივი და დროებითი თანაბრად განაწილებული დატვირთვების ინტენსიურობა (დატვირთვა გადახურვის ერთეულ ფართობზე);

l_1 და l_2—ფილის საანგარიშო მალები მოკლე და გრძელი გვერდის გასწვრივ.

მღუნავი მომენტების უდიდესი მნიშვნელობა მალში, როდესაც თავისუფლად დაყრდნობილი, ერთი ან ორი გვერდით ჩამაგრებული ფილის კუთხეები შეიძლება თავისუფლად აიწიოს ღუნვის გამო (როდესაც ფილა არ არის შეკრული კონტურზე განლაგებული კოჭებით ან მის კიდეებს არ ეყრდნობა ზემოდან კედლები), განისაზღვრება ფორმულებით:

მოკლე გვერდის მიმართულებით

$$M_1=\varphi c_1 q l_1^2; \tag{XI.19}$$

გრძელი გვერდის მიმართულებით

$$M_2=\varphi c_2 q l_2^2, \tag{XI.20}$$

სადაც φ არის კოეფიციენტი, დამოკიდებული საანგარიშო მიმართულებით ბოლოების დაყრდნობის პირობებზე: როდესაც ორივე ბოლო თავისუფლადაა დაყრდნობილი, $\varphi=0{,}125$; როდესაც ერთი ბოლო თავისუფლადაა დაყრდნობილი, ხოლო მეორე—ხისტად ჩამაგრებული, $\varphi=0{,}07$; c_1 და c_2—დატვირთვის განაწილების კოეფიციენტები მოკლე და გრძელი გვერდის მიმართულებით, რომელიც ფილის დაყრდნობის სქემების მიხედვით მოცემულია ცხრილებში (ცხრ. 1, დანართი XXVI); $q=g+v$—საანგარიშო თანაბრად განაწილებული დატვირთვა ფილის 1 მ²-ზე—მუდმივი და დროებითი დატვირთვების ჯამი.

მრავალმალიან ფილებში — ერთრიგა, ორრიგა და მრავალრიგა (ნახ. XI.15) — ყოველ მალში მღუნავი მომენტები იანგარიშება მუდმივი და დროებითი დატვირთვების არახელსაყრელ განლაგებაზე ერთმალიანი ცალკეული ფილების საანგარიშო ცხრილების დახმარებით; უჭრი ფილის ყოველი პანელი განიხილება როგორც ცალკეული ფილა დაყრდნობის შესაბამისი სქემით (ნახ. XI.15). მრავალმალიან კონტურზე დაყრდნობილი ფილების მალებში მღუნავი მომენტების გაანგარიშების დროს ყველაზე არახელსაყრელად ითვლება დროებითი დატვირთვების ჭადრაკული განლაგება (თითო მალის გამოტოვებით), რომელიც მოქმედებს მთელი გადახურვის ფილის ფართობზე თანაბრად განაწილებულ მუდმივ დატვირთვასთან ერთად. ფილის ყოველ რიგში ორი ურთიერთპერპენდიკულარული მიმართულებით განიხილება 1 მ სიგანის შუა ზოლი, როგორც მრავალმალიანი უჭრი კოჭი. მასზე მოქმედ დატვირთვებს წარმოვიდგენთ მთელ სიგრძეზე თანაბრად განაწილებული დატვირთვების ორი სქემის ჯამის სახით. I. დატვირთვა $g+0{,}5v$ და II. $\pm 0{,}5v$, სადაც g მუდმივი დატვირთვის, ხოლო v — დროებითი დატვირთვის ინტენსივობაა.

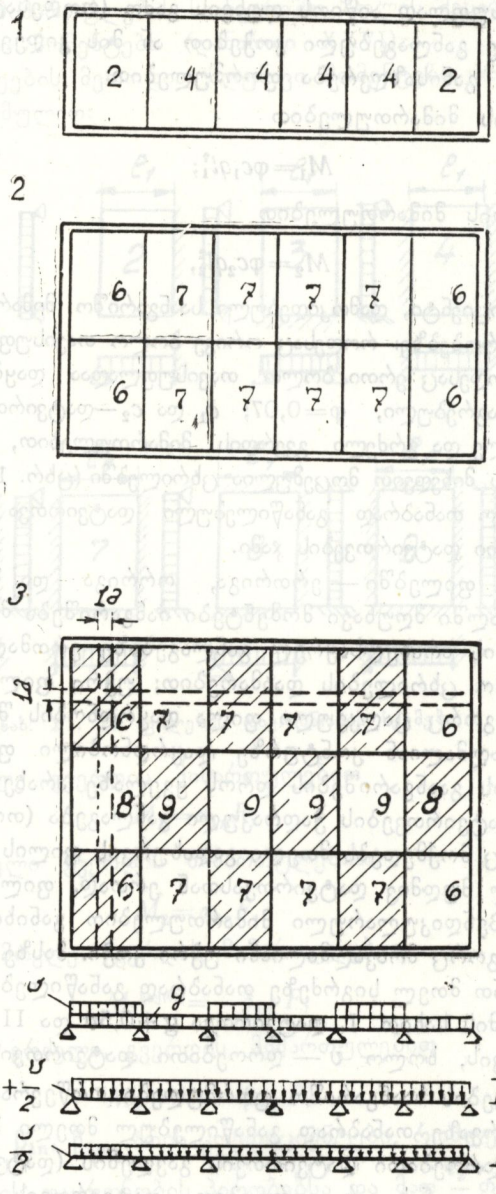
მღუნავი მომენტების საანგარიშო ფორმულები ორწევრაა: პირველი წევრი გამოხატავს გადახურვაზე თანაბრად განაწილებულ მთელი მუდმივი დატვირთვისა და ნახევარ დროებითი დატვირთვის გავლენის (დატვირთვის I სქემა), ხოლო მეორე წევრი — ნახევარი დროებითი დატვირთვის არახელსაყრელად განლაგებას გადახურვის მალებში (II სქემა).

მღუნავი მომენტები მალებში მოკლე გვერდის მიმართულებით იანგარიშება ფორმულით

$$M_1=\alpha_{1n}G_0+\alpha_{11}V_0. \tag{XI.21}$$

მღუნავი მომენტები მალებში გრძელი გვერდის მიმართულებით იანგარიშება ფორმულით

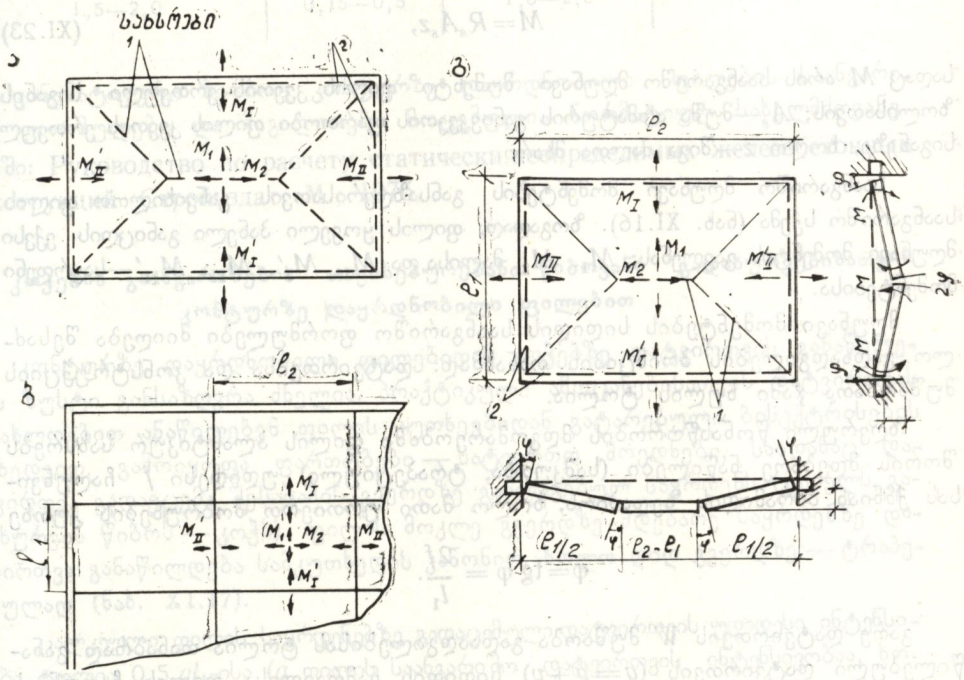
$$M_2=\alpha_{2n}G_0+\alpha_{21}V_0, \qquad \text{(XI.22)}$$



ნახ. XI.15. მონოლითური რკინაბეტონის წიბოვანი გადახურვის კონტურზე დაყრდნობილი უჯრი მრავალმალიანი ფილები: 1—ერთრიგა; 2—ორრიგა; 3—მრავალრიგა (დატვირთის საანგარიშო სქემებით).

სადაც α_{1n}, α_{2n} ისეთივე კოეფიციენტებია, როგორც ერმალიანი ფილებისათვის კონტურზე დაყრდნობის სქემის შესაბამისად; α_{11}, α_{12} — კოეფიციენტები, რომლებიც მოცემულია იმავე ცხრილში კონტურზე თავისუფლად დაყრდნობილი ფილისათვის (სქემა 1, ცხრ. 2, დანართი XXVI); $G_0 = \left(g + \frac{v}{2}\right) l_1 l_2$ — ერთი მალის ფარგლებში ფილაზე მოქმედი მუდმივი და ნახევარი დროებითი დატვირთვის ჯამი; $V_0 = \frac{v}{2} l_1 l_2$ — ერთი მალის ფარგლებში მოქმედი ნახევარი დროებითი დატვირთვა.

უჭრი ფილების საყრდენი მომენტები იანგარიშება როგორც მიმდებარე ცალკეული ფილების საყრდენი მომენტების ნახევარი ჯამი.



ნახ. XI.16. კონტურზე დაყრდნობილი ფილების საანგარიშო მღუნავი მომენტების განსაზღვრისათვის ზღვრული წონასწორობის მდგომარეობის მიხედვით.

კონტურზე დაყრდნობილი ფილების გაანგარიშება პლასტიკური დეფორმაციების გათვალისწინებით იძლევა არმატურის მუშაობის უფრო რაციონალურად გამოყენების საშუალებას, ვიდრე დრეკადი სტადიის მიხედვით. გაანგარიშება უმჯობესია ჩატარდეს ზღვრული წონასწორობის მეთოდით კინემატიკური ხერხით.

გაანგარიშებას საფუძვლად უდევს ზღვრული წონასწორობის მდგომარეობა, რომელიც ხასიათდება რღვევის ხაზების — პლასტიკური სახსრების გაჩენით ფილის ზედა და ქვედა პირეულზე (ნახ. XI.16). სახსრები წარმოიქმნება ფილის კუთხეებიდან გამართულ ბისექტრისებზე. ფილა წარმოგვიდგება რო-

გორც ხისტი ნაწილების სისტემა, რომლებიც ერთმანეთთან დაკავშირებული არიან პლასტიკური სახსრებით. გაანგარიშებისათვის იყენებენ შესაძლო გადაადგილების პრინციპს: იანგარიშება დატვირთვისა და კონსტრუქციის მუშაობა პირობით, რომ მათი ჯამი ნულის ტოლია, განისაზღვრება დატვირთვის სიდიდე ან ძალვები კონსტრუქციაში. მუშაობას პლასტიკურ სახსრებს შორის ასრულებს არმატურა, რომელსაც კვეთს რღვევის ხაზები. მიიღება, რომ რღვევის სტადიაზე არმატურა მუშაობს მუდმივი ძაბვებით, რომელიც უდრის დენადობის ზღვარს.

საანგარიშო მომენტები დამოკიდებულია არმატურის განივკვეთის ფართობზე, რომელიც გადაკვეთილია პლასტიკური სახსრებით და განისაზღვრება ფორმულით

$$M = R_s A_s z, \qquad \text{(XI.23)}$$

სადაც M არის საანგარიშო მღუნავი მომენტი ფილის კვეთის ერთეული სიგანის ზოლისათვის; A_s—მუშა არმატურის განივკვეთის ფართობი ფილის კვეთის ერთეულ სიგანეზე, ხოლო z—შიგა ძალთა მხარი.

საანგარიშო მღუნავი მომენტების განსაზღვრისათვის განვიხილოთ ფილის საანგარიშო სქემა (ნახ. XI.16). ზოგადად, ფილის ყოველი პანელი განიცდის ექვსი მღუნავი მომენტის გავლენას: M_1, M_2 მალისა და M_I, M_I', M_{II}, M_{II}'—საყრდენი მომენტებისა.

მღუნავი მომენტების სიდიდის საანგარიშო ფორმულები მიიღება შესაძლო გადაადგილების პრინციპის თანახმად: დატვირთვისა და კონსტრუქციის მუშაობათა ჯამი ნულის ტოლია.

ზღვრული წონასწორობის მდგომარეობაში ფილის პლასტიკურ სახსრებს შორის მდებარე ნაწილები (სამკუთხა, ტრაპეციული) უდიდესი f ჩაღუნვისას ქმნიან პირამიდის ზედაპირს, ხოლო მათი ურთიერთ მობრუნების კუთხე

$$\varphi = \operatorname{tg}\varphi = \frac{2f}{l_1}.$$

გარე დატვირთვის W მუშაობა გადაადგილებისას ტოლია თანაბრად განაწილებული დატვირთვის ($q = g + v$) სიდიდის ნამრავლისა ფილის ჩაღუნვის შემდეგ წარმოქმნილი ფიგურის V მოცულობაზე

$$W = qV = \frac{qfl_1(3l_2 - l_1)}{6}.$$

შიგა ძალების მუშაობა მღუნავი მომენტების მიხედვით განისაზღვრება როგორც

$$W_i = \sum M\varphi = l_2\,(2\varphi M_1 + \varphi M_I + \varphi M_I') + l_1\,(2\varphi M_2 + \varphi M_{II} + \varphi M_{II}').$$

პირობით, რომ გარე დატვირთვებისა და შიგა ძალების მუშაობათა ჯამი ნულის ტოლია, მივიღებთ

$$\frac{ql_1^2}{12}(3l_2 - l_1) = l_2\,(2M_1 + M_I + M_I') + l_1(2M_2 + M_{II} + M_{II}').$$

საანგარიშო მომენტების თანაფარდობის დაშვების გზით, XI.1. ცხრილის შესაბამისად, უცნობების რაოდენობა დაიყვანება ერთზე და განტოლება ამოიხსნება.

ცხრილი XI.1

კონტურზე დაყრდნობილი ფილებისათვის საანგარიშო მომენტების დასაშვები თანაფარდობები

$\frac{l \text{ გრძელი გვერდის}}{l \text{ მოკლე გვერდის}}$	$\frac{M_2}{M_1}$	$\frac{M_I}{M_1}$ და $\frac{M'_I}{M_1}$	$\frac{M_{II}}{M_1}$ და $\frac{M'_{II}}{M_1}$
1—1,5	0,2—1,0	1,3—2,5	1,3—2,5
1,5—2,0	0,15—0,5	1,0—2,0	0,2—0,75

კინემატიკური ხერხით კონტურზე დაყრდნობილი ფილების საანგარიშო ფორმულები და მაგალითები მოცემულია ნორმატიულ სახელმძღვანელოში: Руководство по расчету статически неопределимых железобетонных конструкций. Стройиздат. М., 1975.

დ) კოჭების გაანგარიშების თავისებურებანი წიბოვანი გადახურვებისათვის კონტურზე დაყრდნობილი ფილებით

კონტურზე დაყრდნობილი ფილებიდან კოჭებზე დატვირთვის განაწილების ზუსტი განსაზღვრა ძნელია. პრაქტიკული ამოცანებისათვის დატვირთვას დაახლოებით ანაწილებენ ფილის კუთხეებიდან გატარებული ბისექტრისების მიხედვით. გამოიყოფა ფართობები — სატვირთო მოედნები, საიდანაც დატვირთვა გადაეცემა შესაბამის გვერდზე განლაგებულ საყრდენს (კედელს, გადახურვის წიბოს — კოჭს). ფილის მოკლე გვერდზე მდებარე საყრდენზე დატვირთვა განაწილდება სამკუთხედის კანონით, ხოლო დიდ გვერდზე — ტრაპეციულად (ნახ. XI.17).

ცალკეული ფილის საყრდენებზე გადაცემული დატვირთვის უდიდესი ინტენსივობა ტოლია 0,5 ql_1-ისა (q ფილის საანგარიშო დატვირთვის ინტენსივობაა, ხოლო l_1—მოკლე გვერდის სიდიდე).

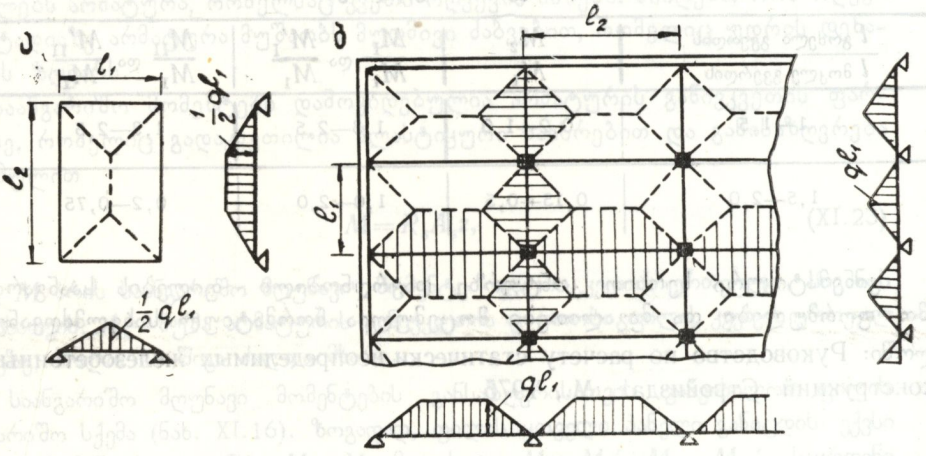
კონტურზე დაყრდნობილი მრავალმალიანი ფილების საყრდენების — კოჭების საანგარიშო სქემა წარმოგვიდგება როგორც მრავალმალიანი უჭრი კოჭი, ფილიდან გადაცემული სამკუთხად ან ტრაპეციულად განაწილებული დატვირთვით (ნახ. XI.17,ბ).

წიბოს საკუთარი წონა თანაბრად განაწილებულია. მრავალმალიანი ფილიდან შუალედ კოჭზე გადაცემული მუდმივი დატვირთვის უდიდესი ინტენსივობა ტოლია $g_{ფილ}l_1$, ხოლო დროებითი დატვირთვისა—$v_{ფილ}l_1$.

ტოლმალიანი უჭრი კოჭების გაანგარიშებისას საყრდენი მომენტები — ზედმეტი უცნობები — შეიძლება განისაზღვროს ცხრილების დახმარებით, ეკვივალენტური თანაბრად განაწილებული დატვირთვის მიხედვით; შემდეგ კი ძალვები კოჭის ყოველ მალში განისაზღვრება სამშენებლო მექანიკის საერთო წესების შესაბამისად, საყრდენი მომენტებისა და არათანაბრად განა-

წილებული გარე დატვირთვის ერთობლივი მოქმედებისას ისე, როგორც ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე კოჭისათვის.

უჭრი კოჭები ფილიდან გადაცემული არათანაბრად განაწილებული დატვირთვით, პლასტიკური დეფორმაციების გათვალისწინებით, შეიძლება გავიანგარიშოთ ფორმულებით:



ნახ. XI.17. კონტურზე დაყრდნობილი ერთი (ა) და მრავალმალიანი ფილების (ბ) დიდ და მოკლე გვერდებზე განლაგებული კოჭების სატვირთო მოედნები და ფილიდან გადაცემული დატვირთვის საანგარიშო სქემები.

მღუნავი მომენტები პირველ მალში და პირველ შუალედ საყრდენზე

$$\left.\begin{aligned} M_1 &= 0{,}7\,M_0 + \frac{g_{\text{ხ.წ}}l^2}{11}, \\ M_B^{\text{საყრდ}} &= -0{,}7\,M_0 - \frac{g_{\text{ხ.წ}}l^2}{14}; \end{aligned}\right\} \qquad \text{(XI.24)}$$

მღუნავი მომენტები შუალედ მალში და შუალედ საყრდენებზე

$$\left.\begin{aligned} M_2 &= 0{,}5\,M_{\text{ი}} + \frac{g_{\text{ხ.წ}}l^2}{16}, \\ M_C^{\text{საყრდ}} &= -0{,}5\,M_0 - \frac{g_{\text{ხ.წ}}l^2}{16}. \end{aligned}\right\} \qquad \text{(XI.25)}$$

უარყოფითი მომენტები მალებში იანგარიშება დროებითი დატვირთვების მეზობელ მალებში და მუდმივი დატვირთვების ყველა მალში განლაგებისათვის. მღუნავი მომენტების სიდიდე საყრდენ კვეთებში უნდა ემთხვეოდეს საანგარიშო მღუნავ მომენტებს, დადგენილს საყრდენი კვეთებისათვის ზემოთ მოყვანილი XI.24, XI.25 ფორმულებით.

განივი ძალები იანგარიშება ფორმულებით:

$$Q_A = 0{,}5\,(R + g_{\text{ხ.წ}}l) - \frac{M_B^{\text{საყრდ}}}{l}; \qquad \text{(XI.26)}$$

$$Q_B^{\text{მარც}} = -0{,}5(R + g_{\text{ს.წ}} l) - \frac{M_B^{\text{საყრდ}}}{l}; \qquad \text{(XI.27)}$$

$$Q_B^{\text{მარჯ}} = 0{,}5\,(R + g_{\text{ს.წ}} l). \qquad \text{(XI.28)}$$

ამ ფორმულებში M_0 არის ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე კოჭის საანგარიშო მღუნავი მომენტი, გამოწვეული არათანაბრად განაწილებული დატვირთვით: სამკუთხა დატვირთვის შემთხვევაში (ფილის მოკლე გვერდზე მდებარე წიბოსათვის—კოჭისათვის)

$$M_0 = \frac{(g + v)\, l_1^2}{12}, \qquad \text{(XI.29)}$$

ხოლო ტრაპეციული დატვირთვის დროს (დიდ გვერდზე მდებარე წიბოსათვის)

$$M_0 = \frac{(g + v)\, l_1 (3l_2^2 - l_1^2)}{24}, \qquad \text{(XI.30)}$$

სადაც g და v არის ფილის მუდმივი და დროებითი თანაბრად განაწილებული საანგარიშო დატვირთვათა სიდიდე გადახურვის ერთეულ ფართობზე; l_1 და l_2—შესაბამისად ფილის მოკლე და გრძელ გვერდზე მდებარე წიბოების—კოჭების—საანგარიშო მალები; $g_{\text{ს.წ}}$—წიბოს სიგრძის ერთეულის საკუთარი წონა; R—არათანაბრად განაწილებული დატვირთვის სრული სიდიდე კოჭის ერთი მალისათვის; სამკუთხა დატვირთვის შემთხვევაში

$$R = \frac{(g + v)\, l_1^2}{2}; \qquad \text{(XI.31)}$$

ტრაპეციული დატვირთვისას

$$R = \frac{(g + v)\, l_1 (2l_2 - l_1)}{2}. \qquad \text{(XI.32)}$$

საკუთრივ კესონური გადახურვების ფილის სტატიკური გაანგარიშება ხდება ისევე, როგორც დიდპანელიანი გადახურვის კონტურზე დაყრდნობილი ფილებისა, ხოლო კოჭების სტატიკური გაანგარიშება ემყარება დრეკადი ბადეების მეთოდს.

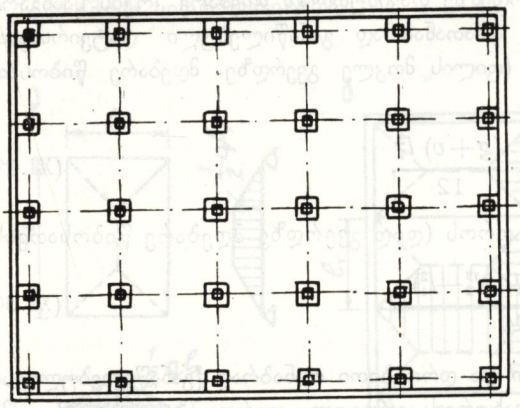
§ 4. უკოჭო გადახურვები

მონოლითური რკინაბეტონის უკოჭო გადახურვა შედგება მხოლოდ ფილისაგან, რომელიც უშუალოდ, კოჭების დახმარების გარეშე ეყრდნობა სვეტებს ან სვეტებსა და მზიდ კედლებს (ნახ. XI.18).

უკოჭო გადახურვების სვეტების ბადე, ჩვეულებრივ, მიიღება კვადრატული, უფრო იშვიათად—სწორკუთხა, გვერდების თანაფარდობით $l_2/l_1 \leqslant 1{,}5$. სვეტებს შორის 7 მ-ზე მეტი მანძილი არ არის ხელსაყრელი.

ფილების უშუალო საყრდენებს წარმოადგენს სვეტები, გაგანიერებული თავით — კაპიტელით, რომელიც ქმნის სვეტებისა და ფილების ხისტ კავშირს, უზრუნველყოფს ფილის სიმტკიცეს ჭრაზე (საყრდენი კვეთის გადიდების გზით) და ამცირებს ფილის საანგარიშო მალს (ნახ. XI.19).

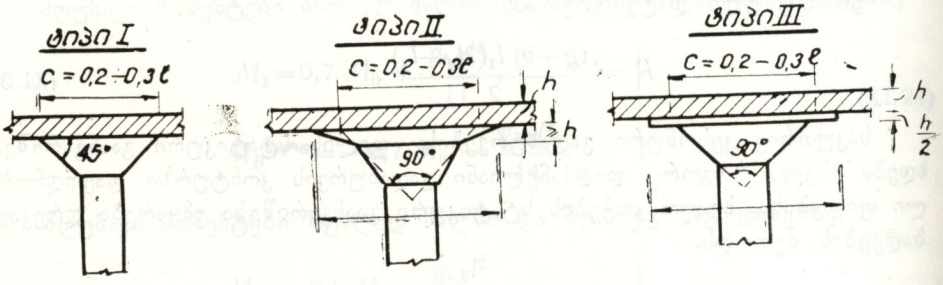
უკოჭო გადახურვების ძირითადი უპირატესობა კოჭურ გადახურვებთან შედარებით მდგომარეობს ბრტყელჭერიანი შენობის მოცულობის უკეთ გამოყენების შესაძლებლობაში. უმჯობესდება განაშუქება და განიავება, ადვილდება არქიტექტურული გაფორმება და სხვ. გარდა ამისა, როდესაც მალები 5—6 მეტრამდეა, უკოჭო გადახურვები უფრო ეკონომიურია მძიმე დატვირთვებიანი შენობებისათვის (სასარგებლო დატვირთვებით 5,0 kN/m^2-ზე მეტი).



ნახ. XI.18. უკოჭო გადახურვის სქემა—სვეტების ბადე.

უკოჭო გადახურვებს უპირატესად იყენებენ მაღალი სანიტარიულ-ჰიგიენური მოთხოვნებისას, მაცივრების, საწყობების, სახელოსნოების, რეზერვუარების, სამრეწველო და სხვა შენობებისათვის.

უკოჭო გადახურვა წარმოადგენს უჭრ ფილას, რომელიც მუშაობს როგორც დრეკადი ფირფიტა; ფილის ყოველ კვეთში მოქმედებენ მხები და ნორმალური ძაბვები. ფილის ნამდვილი მუშაობის მიხედვით არმატურის განაწილება რთული ამოცანაა. მიღებულია დაარმატურება ორი ურთიერთპერპენდიკულარული მიმართულებით.



ნახ. XI.19. კაპიტელების სახეობები.

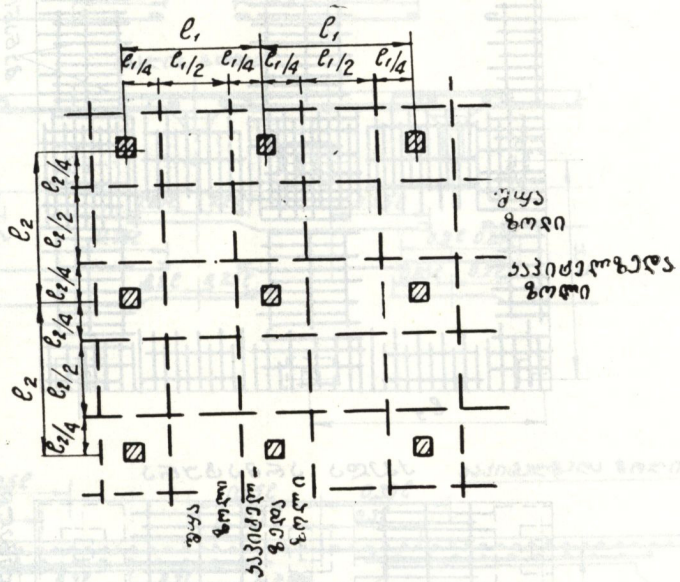
გადახურვის ორივე მიმართულებით ფილას განიხილავენ დაყოფილს ზოლებად — კაპიტელზედა (საყრდენის) და მათ შორის განლაგებულ სამალო, ანუ შუა ზოლებად (ნახ. XI.20).

გადახურვის ორივე მიმართულებით, ყოველი ზოლისათვის (როგორც კაპიტელზედა, აგრეთვე შუა ზოლებისათვის) განისაზღვრება მღუნავი მომენტების მნიშვნელობები შუა მალში და საყრდენებზე და მათ შესაბამისად ხდება მუშა არმატურის კვეთის შერჩევა ფორმულით

$$A_s = \frac{0{,}7\,M}{0{,}9\,h_0 R_s} = \frac{0{,}8\,M}{h_0 R_s}, \qquad \text{(XI.33)}$$

სადაც 0,7 ემპირიული კოეფიციენტია და ითვალისწინებს გაჭიმული ზონის ბეტონის განბჯენის წარმოშობასა და სხვა გავლენას.

შუა ზოლების მალში არმატურა ორივე მიმართულებით ლაგდება ქვედა შრეში, საყრდენზე არმატურა ეწყობა ზედა შრეში. კაპიტელზედა ზოლში მუშა არმატურა მალში ეწყობა საანგარიშო მალის მიმართულებით ფილის ქვედა შრეში, ხოლო საყრდენზე — ზედა შრეში. კაპიტელზედა ზოლი წარ-



ნახ. XI.20. უკოჭო ფილის საანგარიშო ზოლები.

მოადგენს მისი პერპენდიკულარული შუა ზოლის საყრდენს; შესაბამისად, კაპიტელზედა ზოლის მალში არმატურა მოეწყობა ზედა შრეშიაც ქვედა არმატურის პერპენდიკულარული მიმართულებით. ზედა და ქვედა არმატურის განლაგება გეგმაში ნაჩვენებია XI.21 ნახაზზე, უკოჭო ფილის დაარმატურება ცალკეული ღეროებით და შენადუღი ბადეებით — XI.22 ნახაზზე.

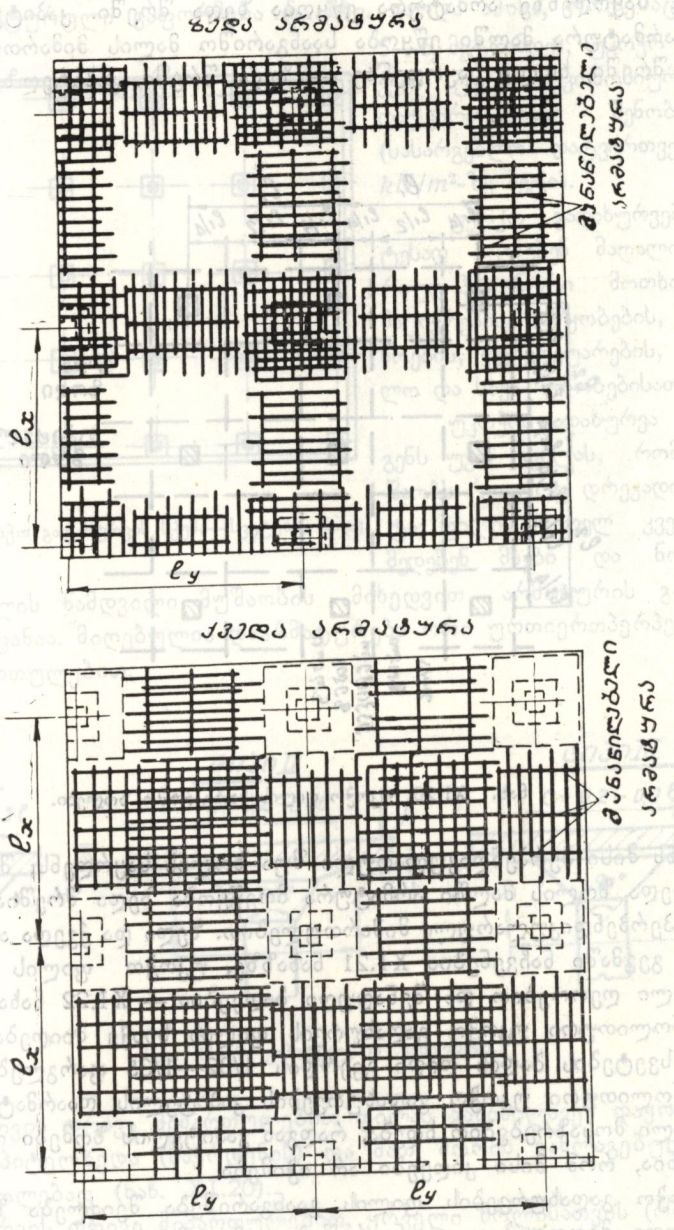
მონოლითური უკოჭო გადახურვის ფილის სისქე მიიღება სიხისტის პირობით სვეტების ბადის დიდი გვერდის 1/32—1/35 ფარგლებში.

მონოლითური უკოჭო გადახურვების კაპიტელის დაარმატურება კონსტრუქციული მოსაზრებებით ხდება, რადგან კაპიტელის ზომები იმდენად მნიშვნელოვანია, რომ მისი კიდეები არ იჭიმება.

უკოჭო გადახურვების ფილის გაანგარიშება შეიძლება ზუსტი და მიახლოებითი მეთოდებით. გაანგარიშება მათემატიკურად ზუსტი დებულებების მიხედვით, როდესაც ფილა განიხილება როგორც სვეტის კაპიტელებზე დაყრდნობილი დრეკადი ფირფიტა, არ იძლევა დაარმატურების ხელსაყრელი მეთოდისათვის ფილის ამტანობის მთლიანად გამოყენების საშუალებას. ზუსტი მეთოდი პრაქტიკულად არ იძლევა ზუსტ შედეგებს, რადგან საფუძვლად დადებული აქვს სინამდვილისაგან განსხვავებული წინაპირობები. გარდა

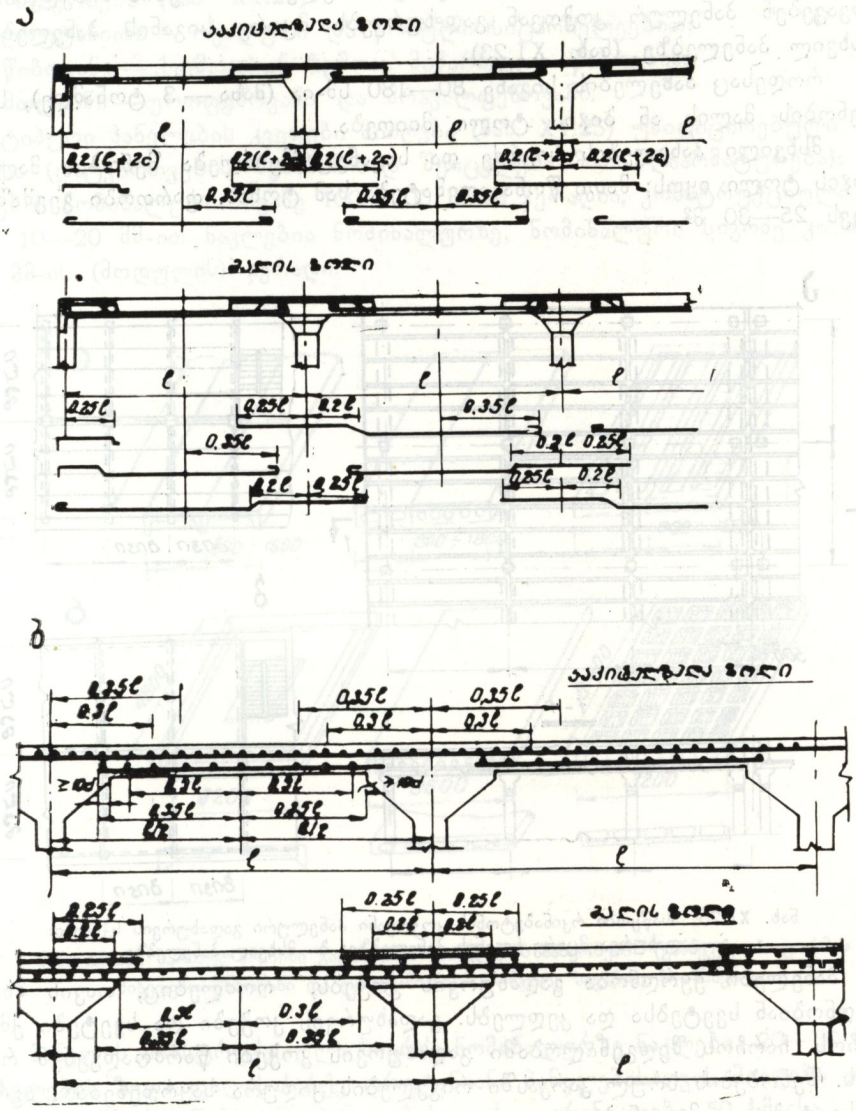
საბჭოთა პორტალი
MSHENEBLOBA.INFO

ამისა, ზუსტი მეთოდით გაანგარიშება (ცხრილების დახმარებითაც კი) რთულია.



ნახ. XI.21. არმატურის განლაგება უკოჭო გადახურვის ფილაში.

პრაქტიკული ამოცანებისათვის იყენებენ მარტივ მიახლოებით, მაგრამ საკმაოდ საიმედო მეთოდებს. ამათგან აღსანიშნავია გაანგარიშება ზღვრული წონასწორობის მეთოდით, რომელიც დამუშავებულია ა. შჩეპოტიევისა და ვ. ბულგაკოვის მიერ ა. გვოზდევის ხელმძღვანელობით.



ნახ. XI.22. უკოჭო გადახურვის ფილის დაარმატურება: ა—ცალკეულ ღეროებით; ბ—შენადული ბადეებით.

§ 5. ასაწყობი კოჭოვანი პანელური გადახურვები

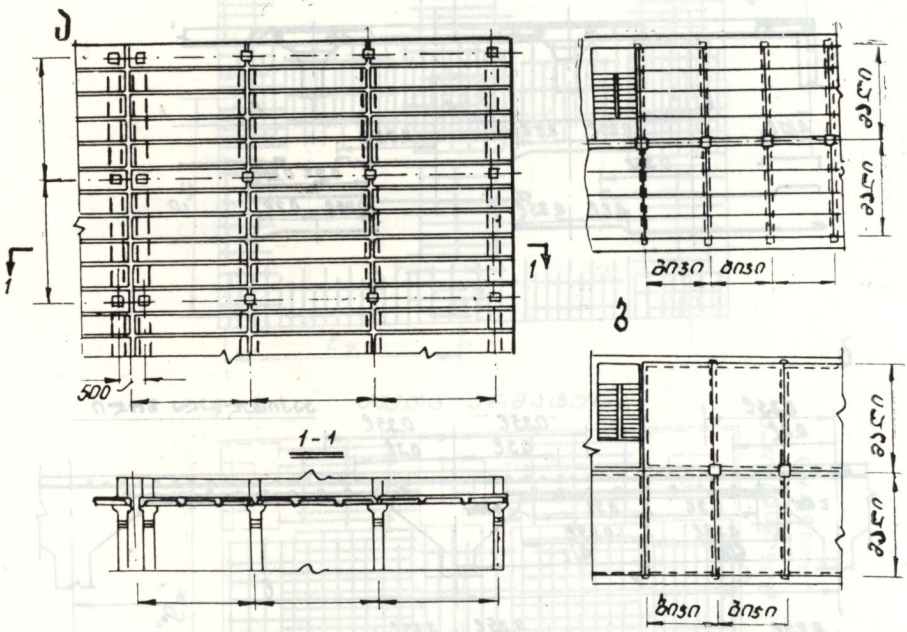
1. გადახურვის შედგენილობა

კოჭოვანი პანელური გადახურვები შედგება პანელებისა და კოჭებისაგან. პანელური გადახურვების კონსტრუქციული სქემა დამოკიდებულია ასაწყობი ელემენტების ზომებზე. რაც უფრო მსხვილია პენელები, მით უფრო ნაკლები რაოდენობის კოჭები და სამონტაჟო პირაპირებია საჭირო. ასაწყობი რკინაბეტონის ნაკეთობათა ზომები დამოკიდებულია დამზადების, ტრანს-

პორტირებისა და მონტაჟის პირობებზე. პანელების ზომების მიხედვით განასხვავებენ პანელურ კოჭოვან გადახურვებს მცირე სიგანის პანელებსა და მსხვილ პანელებზე (ნახ. XI.23).

როდესაც პანელების სიგანე 80—180 სმ-ია (მასა — 3 ტონამდე), სიგრძე შენობის მალის ან ბიჯის ტოლი მიიღება.

მსხვილი პანელების სიგრძე და სიგანეც შეიძლება შენობის მალის ან ბიჯის ტოლი იყოს; მათი წონა აღემატება სამ ტონას, ფართობი გეგმაში აღწევს 25—30 მ².



ნახ. XI.23. ასაწყობი რკინაბეტონის კოჭოვანი პანელური გადახურვის სქემები: ა—გადახურვა მცირე სიგანის პანელებზე; ბ—მსხვილ პანელებზე.

პანელები ეყრდნობა გადახურვის კოჭებს, რომლებიც, თავის მხრივ, ეყრდნობიან სვეტებსა და კედლებს. გადახურვის კოჭები და სვეტები ქმნიან ჩარჩოს. ჩარჩოს შედგენილობაში გადახურვის კოჭები წარმოადგენენ რიგელებს. შენობების სრულ კარკასში რიგელების კიდურა საყრდენებად, აგრეთვე სვეტებია გამოყენებული.

რიგელების განლაგება გეგმაში შესაძლოა შენობის განივად ან გრძივად. განივ განლაგებას უპირატესობა ენიჭება შენობის სივრცითი სიხისტისა და მდგრადობის პირობით. ასაწყობი კარკასის რიგელები შედგება ერთმალიანი კოჭებისაგან, რომლებიც ჩამაგრებულია დგარებში ან ბოლოებით თავისუფლად ერდნობიან მათ. არასრული კარკასის გამოყენებისას რიგელების ბოლოები ეყრდნობა გარე კედლებს თავისუფლად.

მცირე სიგანის პანელები ეყრდნობა მხოლოდ მოკლე გვერდებზე და მუშაობენ ღუნვაზე, როგორც ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე კოჭები.

მსხვილი პანელები შეიძლება დაეყრდნოს ორი, სამი ან ოთხივე გვერდით და იმუშავებენ ღუნვაზე, როგორც ერთმალიანი ელემენტები დაყრდნობის პირობების შესაბამისად.

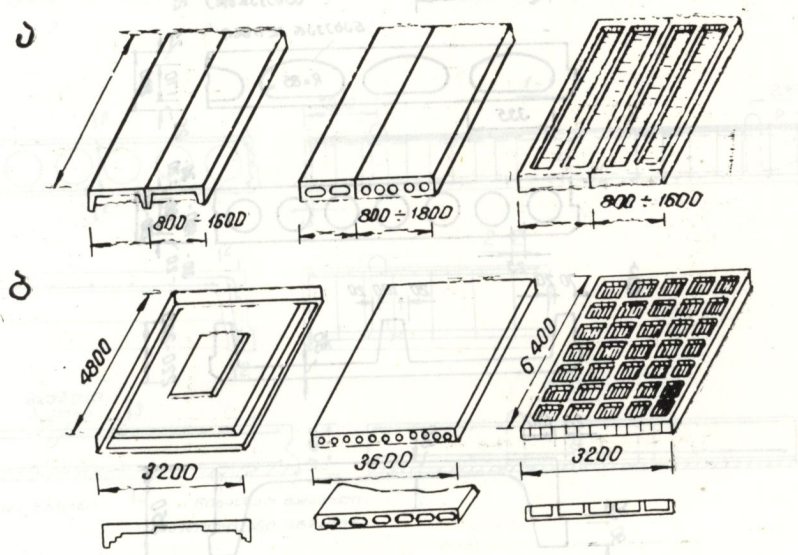
განივკვეთის ფორმის მიხედვით განასხვავებენ პანელების შემდეგ ძირითად სახეობებს (ნახ. XI.24):

ღრუტანიანი — ოვალური და წრიული სიცარიელეებით;

წიბოვანი — ქვემოთ ან ზემოთ მიმართული წიბოებით;

მთლიანი — ერთფენოვანი და მრავალფენოვანი.

ტიპური პანელების კვეთები მიიღება (ნახ. XI.25) უნიფიცირებული ზომებისა (დატვირთვების შესაბამისად შეიცვლება მათი დაარმატურება): პანელების ნომინალური სიგანე 100—200 მმ-ის ჯერადია, კონსტრუქციული სიგანე 10—20 მმ-ით ნაკლებია ნომინალურზე, ნომინალური სიგრძე კი არის 400 მმ-ის (მოდულის) ჯერადი.



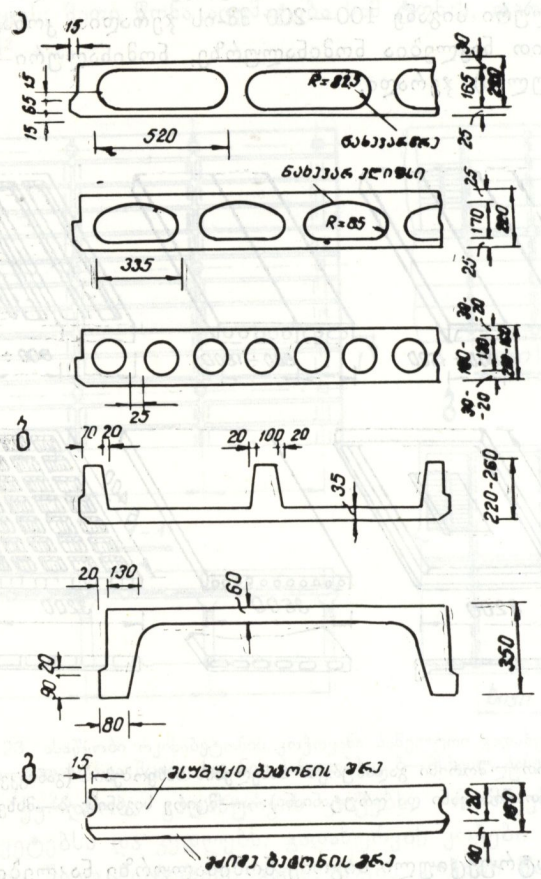
ნახ. XI.24. სართულშორისი გადახურვის პანელების სახეობები (განივკვეთის ფორმის მიხედვით წიბოვანი და ღრუტანიანი): ა—მცირე სიგანის; ბ—მსხვილი.

პანელის კონსტრუქციული სიგრძე ნომინალურზე ნაკლებია 20—30 მმ-ით. პანელების ზედა ფილის სისქე ღრუტანიანი პანელებისათვის მიიღება არანაკლები 25 მმ-ისა, წიბოვანი პანელებისათვის — არანაკლები 50 სმ-ისა.

პანელების სიმაღლე შეადგენს სიგრძის $\frac{1}{20} - \frac{1}{30}$. ასეთი სიმაღლის პანელის სიხისტე ყოველთვის საკმარისი არ არის, ამიტომ პანელები, გარდა სიმტკიცისა, იანგარიშება სიხისტის მიხედვითაც — დეფორმაციის მიხედვით.

რკინაბეტონის გადახურვის მასალების ხარჯის უდიდესი ნაწილი პანელებზე მოდის. ნებისმიერი ფორმის პანელის დაგეგმარების ძირითადი ამოცანა მდგომარეობს იმაში, რომ რაც შეიძლება მეტად შემცირდეს ბეტონის მოცულობა კვეთის გაჭიმული ან ნაკლებდაძაბული ზონის ხარჯზე, მაგრამ ისე, რომ დაცული იყოს სიმტკიცის პირობა და გათვალისწინებული — დამამზადებელი ქარხნის ტექნოლოგიური შესაძლებლობანი.

წიბოვანი პანელები წიბოებით ქვემოთ ჩვეულებრივ იხმარება სამრეწველო შენობებში, ღრუტანიანი პანელები კი სამოქალაქო-საცხოვრებელ სახლებში. პანელების ძირითადი ტიპების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები მოცემულია ასაწყობი რკინაბეტონის უნიფიცირებული ნაკეთობების კატალოგებში.

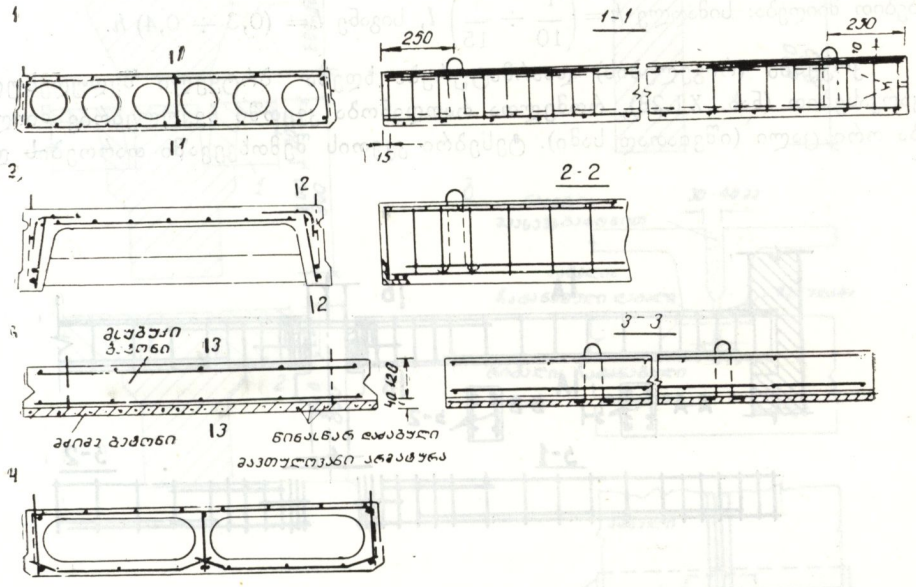


ნახ. XI.25. მცირე სიგანის ტიპური პანელების კვეთები:
ა—ღრუტანიანი; ბ—წიბოვანი; გ—მთლიანი (ორფენოვანი).

2. პანელების კონსტრუირება

გადახურვის პანელები მზადდება დაუძაბავი ან წინასწარ დაძაბული; მათი დაარმატურება წარმოებს შედუღებული ბადეებითა და კარკასებით (ნახ. XI. 26). დაუძაბავი პანელების გრძივი მუშა არმატურა მიიღება ღეროვანი, ხოლო წინასწარ დაძაბული პანელების დასაძაბი არმატურა — როგორც ღეროვანი, ასევე მავთულოვანიც. დაძაბვა წარმოებს არმატურის დაჭიმვით საბჯენებზე.

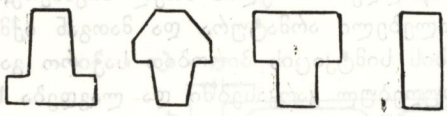
გრძივი მუშა არმატურა შეირჩევა ნორმალური კვეთების სიმტკიცეზე გაანგარიშებით და ლაგდება პანელის ქვედა გაჭიმულ ზონაში საანგარიშო მალის მიმართულებით. წიბოვან პანელებში გრძივი მუშა არმატურა თავსდება გრძივ წიბოებში. დაუძაბავი გრძივი არმატურა კარკასში ერთიანდება განივ არმატურასთან, რომელიც მიიღება განივ ძალაზე გაანგარიშებით; ღრუტანიან პანელებში გრძივი მუშა არმატურა ნაწილდება პანელის მთელ სიგანეზე, მის პერპენდიკულარულად ეწყობა მანაწილებელი არმატურა და მათგან იქმნება ბადე. განივ ძალაზე დახრილი კვეთების სიმტკიცის პირობით საჭირო განივი არმატურა ერთიანდება ბრტყელ შედუღებულ კარკასებში და ლაგდება სიღრუეთა შორის პანელების გრძივ კედლებში: ოვალურსიცარიელეებიანი პანელების ყოველ კედელში, ხოლო წრიულსიცარიელეებიან პანელებში ვერტიკა-



ნახ. XI.26. მცირე სიგანის პანელების დაარმატურება: 1, 4—ღრუტანიანი; 2—წიბოვანი; 3—მთლიანი პანელები.

ლური კარკასები შეიძლება მოეწყოს მხოლოდ კიდეებზე (პანელის გარე გრძივ კედლებში). პანელების თაროებში — ფილებში არმატურა ეწყობა ბადეების სახით. ზედა ბადეების არმატურა წიბოვანი პანელებისათვის მიიღება სიმტკიცეზე გაანგარიშებით, ზედა თაროს როგორც კონტურზე დაყრდნობილი ერთრიგა მრავალმალიანი ფილის ადგილობრივ ღუნვაზე მუშაობის პირობით. ღრუტანიანი პანელებისათვის წრიული სიღრუეებით ზედა ბადე ეწყობა კონსტრუქციული მოსაზრებებით, ოვალურსიღრუეებიანი პანელებისათვის — სიმტკიცეზე გაანგარიშებით, როგორც ორივე ბოლოთი ნაწილობრივ ჩამაგრებული კოჭისათვის, რომლის მალი ტოლია ოვალური სიცარიელის სიგანისა — გრძივ კედლებს შორის მანძილის. გაანგარიშება ტარდება ფილის 1 მეტრი სიგანის ზოლისათვის, მართკუთხა განივკვეთისა ზომებით $1{,}0\ მ \times h_{ფილ}$.

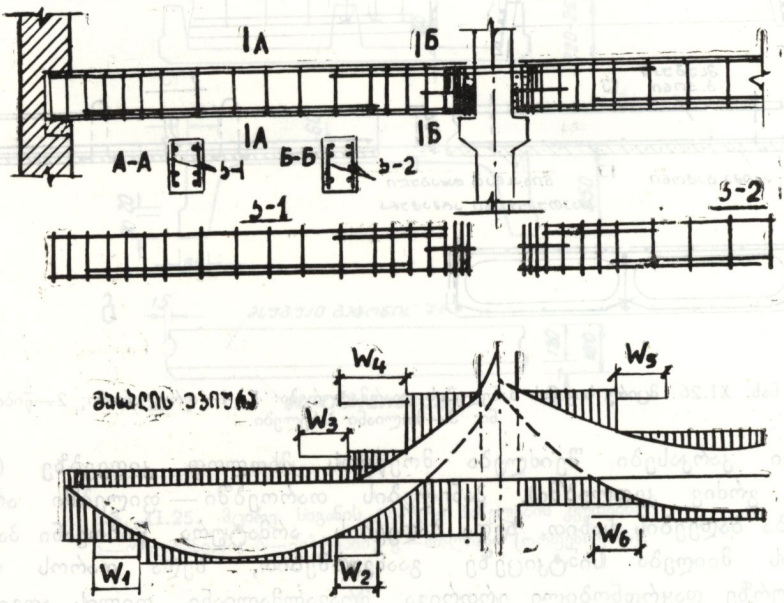
რიგელების განივკვეთის ფორმა შეიძლება იყოს მართკუთხა, ტესებრი — თაროებით ზემოთ ან ქვემოთ (ნახ. XI.27). ტესებრი რიგელების შემთხვევაში თაროებით ქვემოთ გადახურვის სიმაღლე მცირდება, მაგრამ რთულდება სამუშაოთა წარმოება და მნიშვნელოვანი დატვირთვების პირობებშიაც არ არის ხელსაყრელი (ნახ. XI.29).



ნახ. XI.27. რიგელების განივკვეთის ფორმები.

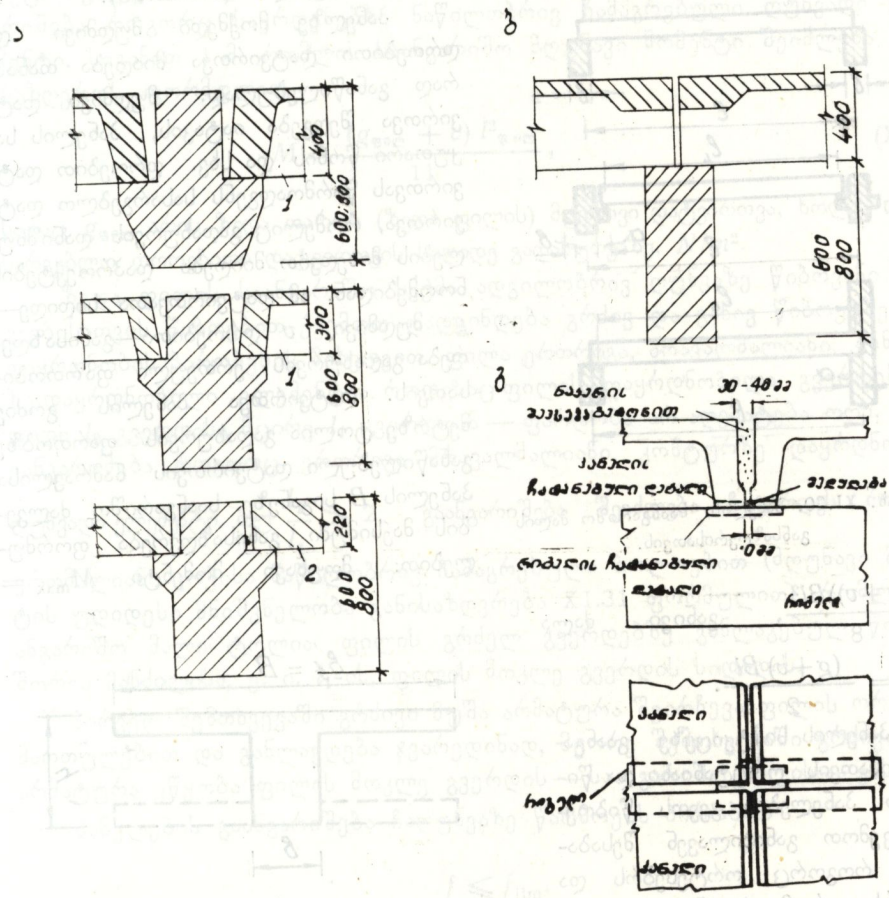
რიგელების განივკვეთის ზომები კონსტრუქციული მოსაზრებებით მიიღება: სიმაღლე $h=\left(\frac{1}{10}\div\frac{1}{15}\right)l$, სიგანე $b=(0{,}3\div 0{,}4)\,h$.

კოჭების (რიგელების) დაარმატურება ხდება ბრტყელი შედუღებული კარკასებით (ნახ. XI.28), რომელთა რაოდენობა კვეთში ჩვეულებრივ მიიღება ორი ცალი (იშვიათად სამი). ტესებრი კვეთის შემთხვევაში თაროების დაარმატურება ხდება დამოუკიდებელი კარკასებით თუ ბადეებით. რიგელების ყოველ მალს მეზობელ მალთან დასაკავშირებლად ბოლოებზე უკეთდება ჩატანებული დეტალები, დაყრდნობის ადგილას — ფოლადის საყრდენი ფურცლები.



ნახ. XI.28. რიგელების დაარმატურების სქემა.

სწორკუთხა კვეთის რიგელის დაარმატურება ბრტყელი შედუღებული კარკასებით მოცემულია XI.28 ნახაზზე. რიგელებზე პანელების დაყრდნობის ადგილას როგორც რიგელებს, აგრეთვე პანელებს უკეთდება ფოლადის ჩატანებული დეტალები; პანელები შედუღების საშუალებით ეკერება რიგელს. პანელების დაყრდნობა რიგელზე ნაჩვენებია XI.29 ნახაზზე. რიგელების წინასწარ დაძაბვას მიმართავენ 6 მ-ზე დიდი მალების შემთხვევაში.



ნახ. XI.29. პანელების დაყრდნობა რიგელებზე.

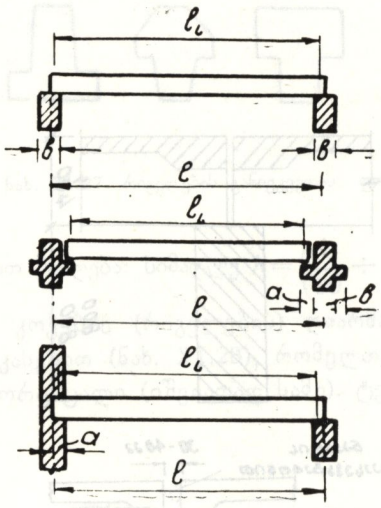
4. გადახურვის ელემენტების გაანგარიშება

კოჭური პანელოვანი ასაწყობი გადახურვების გაანგარიშება სრულდება გარკვეული თანამიმდევრობით: გადახურვის კონსტრუქციული სქემის შერჩევის შემდეგ იანგარიშება პანელები, შემდეგ კი კოჭები (რიგელები).

გაანგარიშება მიმდინარეობს ორ ეტაპად. პირველი: ელემენტების საანგარიში სქემის დადგენა, დატვირთვებისა და საანგარიშო ძალვების განსაზღვრა — სტატიკური გაანგარიშება; მეორე ეტაპზე ტარდება კონსტრუქ-

ციული გაანგარიშება: სიმტკიცეზე, დეფორმაციაზე (პანელებისათვის როგორც წესი), ბზარმედეგობაზე.

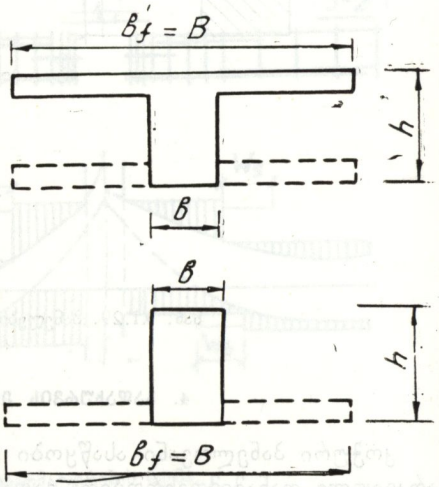
ორი ურთიერთპარალელური გვერდით დაყრდნობილი პანელების გაანგარიშება წარმოებს როგორც ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე კოჭისა, რომლის საანგარიშო მალი საყრდენი მოედნების ცენტრებს შორის მანძილის ტოლია (ნახ. XI.30).



ნახ. XI.30. პანელის საანგარიშო მალის განსაზღვრისათვის.

პანელზე მოქმედი მუდმივი და დროებითი დატვირთვა მიიღება თანაბრად განაწილებულად. მუდმივი დატვირთვა შედგება იატაკის, პანელის საკუთარი წონის და სხვ. დროებით დატვირთვას წარმოადგენს სასარგებლო დატვირთვა, რომელიც გადახურვის დანიშნულების მიხედვით მიიღება დაპროექტების ნორმებიდან. ამ დატვირთვათა სიდიდე—g მუდმივი, v დროებითი—განისაზღვრება გადახურვის ერთეული ფართობისათვის. დატვირთვა პანელის გრძივ მეტრზე ტოლია გადახურვის ფართობზე განაწილებული დატვირთვის ნამრავლისა პანელის B სიგანეზე. საანგარიშო ძალვების მაქსიმუმი განისაზღვრება ფორმულებით: მღუნავი მომენტი $M_{max} = \frac{(g+v)Bl^2}{8}$, განივი ძალა $Q_{max} = \frac{(g+v)Bl}{2}$.

პანელის სიმტკიცეზე გაანგარიშებისათვის ღრუტანიანი და წიბოვანი პანელების კვეთს წიბოებით ქვემოთ განიხილავენ შესაბამისად როგორც ორტესებრს და ტესებრს, რომლის ნეიტრალური ღერძი გადის შეკუმშული თაროს ფარგლებში. წიბოვან პანელებს კი წიბოებით ზემოთ განიხილავენ, როგორც ტესებრი კვეთის ელემენტებს გაჭიმული თაროებით; ივი იანგარიშება გაჭიმული თაროს გაუთვალისწინებლად — როგორც მართკუთხა კვეთი, რომლის სიგანე ტოლია გრძივი წიბოების სიგანეთა ჯამის. შეკუმშული თაროს საანგარიშო b'_f სიგანე ღრუტანიანი და წიბოვანი პანელებისათვის წიბო-



ნახ. XI.31. პანელების საანგარიშო კვეთები სიმტკიცის პირობით გაანგარიშებისას.

ებით ქვემოთ მიიღება პანელის მთლიანი სიგანის ტოლი, წიბოს b სიგანე კი, გრძივი წიბოების (გრძივი კედლების) სიგანეთა ჯამის (ნახ. XI.31). გრძივი მუშა არმატურის კვეთი ღრუტანიანი და წიბოვანი პანელებისათვის წიბოებით ქვემოთ შეირჩევა ისე, როგორც მართკუთხა კვეთისათვის ზომებით $b_i \times h$, ხოლო წიბოვანი პანელებისათვის წიბოებით ზემოთ—ზომებით $b \times h$.

პანელის შეკუმშული ზონის თაროები მუშაობენ ადგილობრივ ღუნვაზეც. ოვალური სიცარიელეებიანი ღრუტანიანი პანელების ზედა ფილა იანგარიშება როგორც საყრდენებზე ნაწილობრივ ჩამაგრებული ღუნვადი ელემენტი, სიგანით 1 მ, რომლის საანგარიშო მღუნავი მომენტი შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$M = \frac{(g_{\text{ფილ}} + v)\, l^2_{\text{ფილ}}}{11}, \qquad \text{(XI.31)}$$

სადაც $g_{\text{ფილ}}$ არის ზედა თაროს (ზედა ფილის) მუდმივი დატვირთვა, ხოლო v—საანგარიშო დროებითი დატვირთვის სიდიდე გადახურვაზე, N/m^2.

ზედა ფილის საანგარიშო სქემა ადგილობრივ ღუნვაზე წიბოვანი პანელებისათვის წიბოებით ქვემოთ დადგინდება გრძივ და განივ წიბოებზე მისი დაყრდნობის პირობების მიხედვით. ფილა ერთრიგა, მრავალმალიანი, კონტურზე დაყრდნობილი ელემენტია. როდესაც ფილის დაყრდნობილი გვერდების — დიდი l_2 გვერდისა მცირე l_1 გვერდთან — ფარდობა არ აღემატება ორს, ფილა იანგარიშება როგორც ერთრიგა მრავალმალიანი, კონტურზე დაყრდნობილი ღუნვადი ელემენტი. თუ $\frac{l_2}{l_1} > 2$, გაანგარიშება შეიძლება ჩატარდეს როგორც ერთმალიანი კოჭისა ნაწილობრივ ჩამაგრებული ბოლოებით (მღუნავი მომენტის უდიდესი მნიშვნელობა განისაზღვრება XI.31 ფორმულით), რომლის საანგარიშო მალი ტოლია ფილის გრძელ გვერდებზე განლაგებულ წიბოებს შორის მანძილისა, ე. ი. l_1-ის, ფილის მოკლე გვერდის სიდიდის.

პირველ შემთხვევაში გრძივი მუშა არმატურა შეირჩევა ფილის ორივე მიმართულებით და განლაგდება ჯვარედინად, მეორე შემთხვევაში გრძივი მუშა არმატურა ეწყობა ფილის მოკლე გვერდის — საანგარიშო მალის — გასწვრივ.

პანელების გაანგარიშება ჩაღუნვაზე წარმოებს პირობით

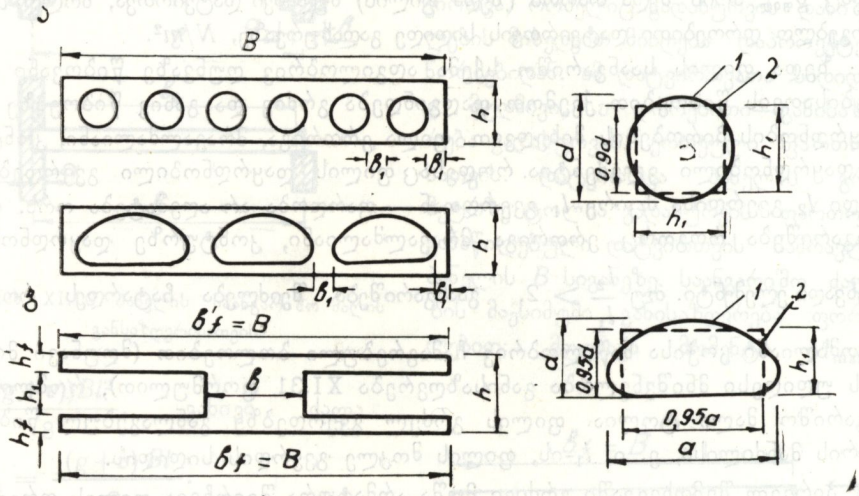
$$f \leqslant f_{\text{lim}}.$$

f_{lim} ზღვრულად დასაშვები ჩაღუნვა გადახურვის ელემენტებისათვის მიიღება ესთეტიკური მოთხოვნების მიხედვით: $f_{\text{lim}} = \frac{l}{200} \div 30$ მმ.

პანელების დეფორმაციაზე გაანგარიშებისათვის გათვალისწინებული უნდა იქნეს გაჭიმულ ზონაში ბზარების არსებობა. სიხისტის (სიმრუდის) დასადგენად ღრუტანიანი პანელების რთული განივკვეთის ფორმა დაიყვანება ეკვივალენტურ ორტესებრ კვეთზე, რომლის ზომები განისაზღვრება პირობით, რომ ეკვივალენტური სიხისტის კვეთის სწორკუთხა სიცარიელეთა ფართობი და ინერციის მომენტი ტოლი უნდა იყოს საანგარიშო პანელის ნამდვილი სიცარიელის — წრიული ან ოვალური — განივკვეთის ფართობისა და ინერციის

მომენტის (ნახ. XI.32). წიბოვანი პანელების განივკვეთის ფორმა მიიღება ტესებრად, რომლის წიბოს სიგანე გრძივი წიბოების სიგანეთა ჯამის ტოლია. კოჭური გადახურვის პანელები ეყრდნობა კოჭებს — რიგელებს.

რიგელების გაანგარიშება წარმოებს, აგრეთვე, ორ ეტაპად: სტატიკური და კონსტრუქციული გაანგარიშებები. პანელის განივკვეთის ფორმის მიხედვით რიგელს დატვირთვა გადაეცემა თანაბრად განაწილებულად (ღრუტანიანი ან მთლიანი კვეთის პანელების დაყრდნობისას) ან შეყურსული ძალების სახით (როდესაც გამოყენებულია წიბოვანი პანელები წიბოებით ქვემოთ). როდესაც რიგელის ერთ მალში შეყურსულ ძალთა რაოდენობა აღემატება ოთხს, დატვირთვა შეიძლება ჩაითვალოს თანაბრად განაწილებულად. რიგელზე მოქმედი მუდმივი და დროებითი დატვირთვები იკრიბება. სატვირთო მოედნიდან, რომლის სიგანე ტოლია მეზობელ რიგელებს შორის მანძილების ნახევარჯამისა.



ნახ.XI.32. ეკვივალენტური სიხისტის განივი კვეთი ღრუტანიანი პანელებისათვის: ა—მოცემული კვეთი; ბ—ეკვივალენტური ორტესებრი კვეთი; 1—მოცემული სიცარიელე; 2—ეკვივალენტური სიცარიელე.

რიგელის g მუდმივი და v დროებითი თანაბრად განაწილებული დატვირთვა

$$g = g_{პან} l + g_{ს.წ}, \ N/m,$$

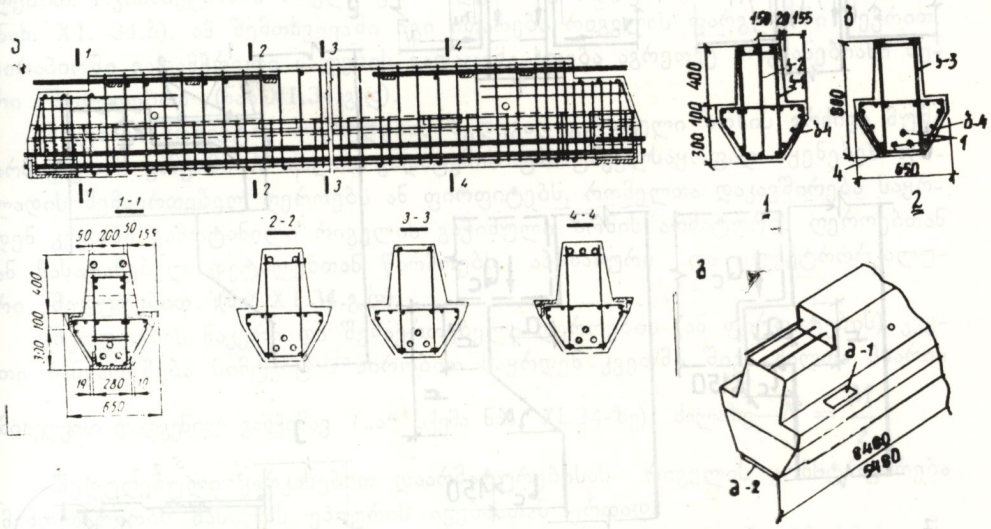
$$v = v_{პან} l, \ N/m,$$

სადაც $g_{პან}$ არის პანელზე მოქმედი მუდმივი დატვირთვა, N/m^2; $v_{პან}$—პანელზე მოქმედი დროებითი დატვირთვა, N/m^2; $g_{ს.წ}$—რიგელის სიგრძის ერთეულის საკუთარი წონა, N/m; l—სატვირთო მოედნის სიგანე.

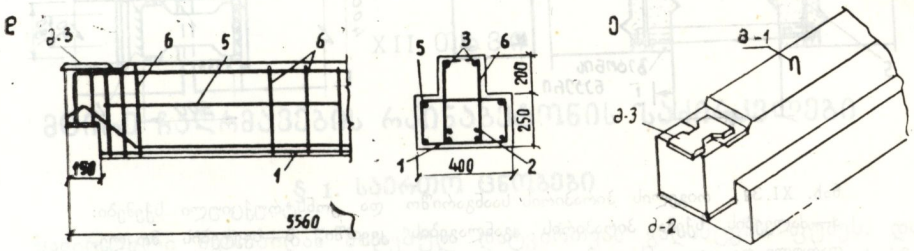
რიგელების მღუნავი მომენტები და განივი ძალები შეიძლება განისაზღვროს ისე, როგორც უჭრი კოჭებისათვის, როდესაც რიგელები ტოლმალიანია, მათი ბოლოები თავისუფლადაა დაყრდნობილი (არასრული კარკასის შემთხვევა) და თუ, გარდა ამისა, სასარგებლო დროებითი დატვირთვა გადახურვაზე

დიდი არ არის. სხვა პირობებში ძალვები განისაზღვრება ისე, როგორც ჩარჩოს ელემენტებისათვის.

რიგელის, როგორც უჭრი კოჭის გაანგარიშება ხდება როგორც მონოლითური წიბოვანი გადახურვების მთავარი კოჭებისა; როგორც ჩარჩოს ელემენტი, იგი იანგარიშება ერთ-ერთი ცნობილი ზუსტი მეთოდით (გამომთვლელი მანქანების დახმარებით) ან მიახლოებით. მიახლოებითი გაანგარიშების არსი გადმოცემულია XV თავის § 4-ში.



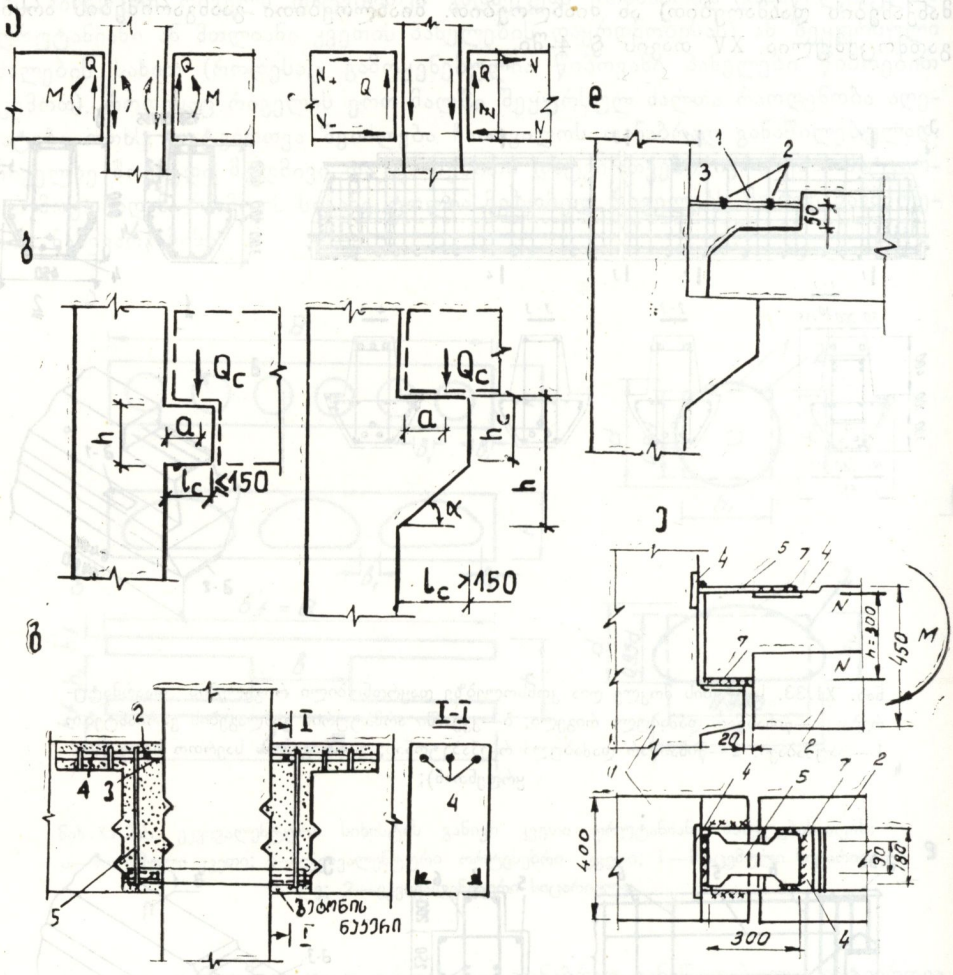
ნახ. XI.33. სვეტების მოკლე ღია კონსოლებზე დაყრდნობილი რიგელების დაარმატურება: ა—წინასწარ დაძაბული რიგელი; ბ—კვეთში არმატურის განლაგების ვარიანტები: 1—დაუძაბავი; 2—წინასწარ დაძაბული რკალპეტონის; გ—რიგელის საერთო ხედი (საყრდენთან);



ნახ. XI.33, ა. (გაგრძელება) დ—სვეტების ფარულ კონსოლებზე დაყრდნობილი რიგელის დაარმატურების სქემა; ე—საერთო ხედი (საყრდენთან).

რიგელების კონსტრუქციული გაანგარიშება წარმოებს როგორც ღუნვადი ელემენტებისათვის და მოიცავს პირველი და მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობების მიხედვით გაანგარიშებებს.

რიგელის განივკვეთის ზომები შეირჩევა (სინამდვილეში დაზუსტდება) უდიდესი მღუნავი მომენტის მიხედვით ნორმალური კვეთის სიმტკიცეზე გაანგარიშებით. გრძივი მუშა არმატურის კვეთი კი შეირჩევა ყველაზე ზოგად შემთხვევაში ოთხ საანგარიშო კვეთში: პირველ და შუალედ მალში შესაბა-



ნახ. XI.34. რიგელის პირაპირის საანგარიშო და კონსტრუქციული სქემები: ა—ძალვების სქემა პირაპირის განლაგების კვეთში; ბ—სვეტების მოკლე, ფარული და ღია კონსოლები; გ—რიგელის პირაპირი სვეტთან უკონსოლოდ; დ—სვეტის მოკლე კონსოლზე დაყრდნობილი რიგელის პირაპირი სვეტთან: 1—ჩანართი; 2—შედუღება; 3—პირაპირის შემაერთებელი ღერო გაჭიმულ ზონაში.

მისი უდიდესი მღუნავი მომენტების მოქმედების — და I და II შუალედ საყრდენებზე საყრდენის კიდეზე გამავალი კვეთების მღუნავი მომენტების მიხედვით. განივი არმატურის კვეთის შერჩევა — გაანგარიშება განივ ძალაზე — ჩატარდება კიდურა საყრდენთან და პირველი შუალედი საყრდენის — საყრ-

დენი „B“- — მარცხნიდან და მარჯვნიდან მიმდებარე უბანზე. რიგელი არმატურდება შედუღებული კარკასებით (ნახ. XI. 33). დაარმატურება უნდა ჩატარდეს პირაპირის (სვეტთან) კონსტრუქციული სქემის გადაწყვეტისა და პირაპირის გაანგარიშების შესაბამისად.

რიგელების პირაპირები, ჩვეულებრივ, ეწყობა სვეტის კიდეზე გამავალ კვეთში. პირაპირში ხდება მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების გადაცემა. განივი ძალები გადაეცემა სვეტს რკინაბეტონის ან ფოლადის მოკლე კონსოლებით. რკინაბეტონის მოკლე კონსოლები შეიძლება იყოს ღია ან ფარული (ნახ. XI. 34.ბ). ამ შემთხვევაში იგი იფარება რიგელის ფარგლებში შეჭრით. პირაპირში გადამჭრელი ძალების გადაცემა ხდება აგრეთვე სოგმანებიანი ბერი შედუღებით (ნახ.XI.34.გ,დ).

მღუნავი მომენტის მოქმედების შედეგად გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა არმატურის გამჭიმი N ძალის გადაცემის უზრუნველსაყოფად იყენებენ ფოლადის შემაერთებელ ღეროებს ან ფირფიტებს, რომელთა დაკავშირება საყრდენ კვეთში გამოტანილი რიგელის გაჭიმული ზონის არმატურის ღეროებთან ან ჩასატანებელ დეტალებთან წარმოებს აბაზანური და ელექტროკალუ-ირი შედუღებით (ნახ.XI.34.გ,დ).

შედუღების ნაკერი და შემაერთებელი ღეროების (ან ფირფიტების) კვეთი იანგარიშება სიმტკიცის პირობით საყრდენ კვეთში შიგა ძალთა მხარის მიხედვით დადგენილ გამჭიმავ („ა“ სქემა ნახ. XI.34-ზე) ძალაზე—$N = \frac{M}{z}$.

შედუღებული კარკასებით დაარმატურებისას რიგელის კონსტრუირება მიმდინარეობს მასალის ეპიურის აგებასთან ერთად.

რიგელების კონსტრუქციული გაანგარიშებები მთავრდება ბზარმედეგობაზე და დეფორმაციაზე შემოწმებებით (საჭიროებისამებრ).

გადახურვის ელემენტების გაანგარიშების შემდეგ შეიძლება ჩატარდეს საყრდენებისა და საძირკვლების გაანგარიშება.

XII თავი

მცირე ჩაღრმავების რკინაბეტონის საძირკვლები

§ 1. საერთო ცნობები

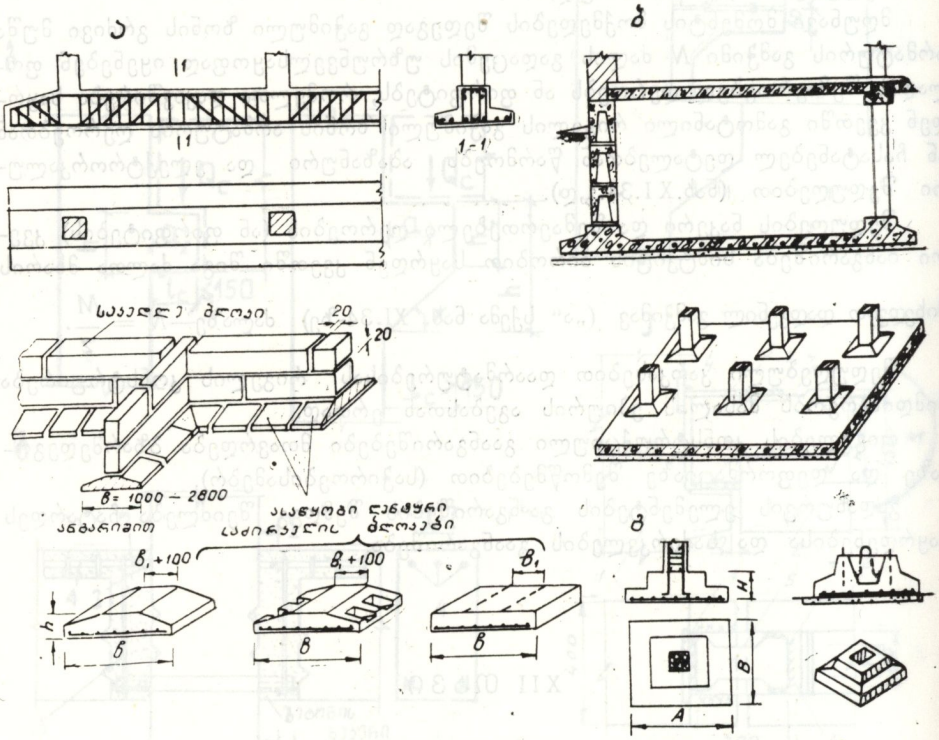
საძირკველი შენობიდან მიღებულ დატვირთვას გადასცემს ფუძეს. დატვირთვა უნდა განაწილდეს ფუძის ფართობზე ისე, რომ საძირკვლის ძირზე ძაბვა არ აღემატებოდეს გრუნტის საანგარიშო წინაღობას.

რკინაბეტონის საძირკვლები გრუნტზე წნევის შემცირების მიზნით შეიძლება მნიშვნელოვნად განვითარდეს გეგმაში და მასიურ საძირკვლებზე გაცილებით მცირე სიმაღლისა იყოს.

მცირე ჩაღრმავების საძირკვლებისათვის, როდესაც მათ საკმაოდ განვითარებული საყრდენი ფართობი გააჩნიათ ფუძეზე, რკინაბეტონი ითვლება ძირითად საშენ მასალად ღუნვაზე მისი მნიშვნელოვანი სიხისტის გამო.

რკინაბეტონის საძირკვლებს იყენებენ ყოველგვარი შენობებისა და საინჟინრო ნაგებობებისათვის, განსაკუთრებით მიზანშეწონილია სუსტი და არაერთგვაროვანი გრუნტების შემთხვევაში და აგრეთვე შეყურსული დატვირთვების გადასაცემად.

განასხვავებენ რკინაბეტონის ცალკეულ (ე. წ. წერტილოვან), ლენტურსა და მთლიან საძირკვლებს (ნახ.XII.1). წერტილოვანი საძირკვლები ეწყობა ყოველი სვეტის ქვეშ დამოუკიდებლად; ლენტური საძირკვლები ეწყობა შენობის კედლების ქვეშ ან აერთიანებს სვეტების რიგს; მთლიანი საძირკველი უწყვეტი ფილის სახით ეწყობა მთელი შენობის ქვეშ.



ნახ.XII.1. რკინაბეტონის საძირკვლები: ა—ლენტური; ბ—მთლიანი; გ—წერტილოვანი.

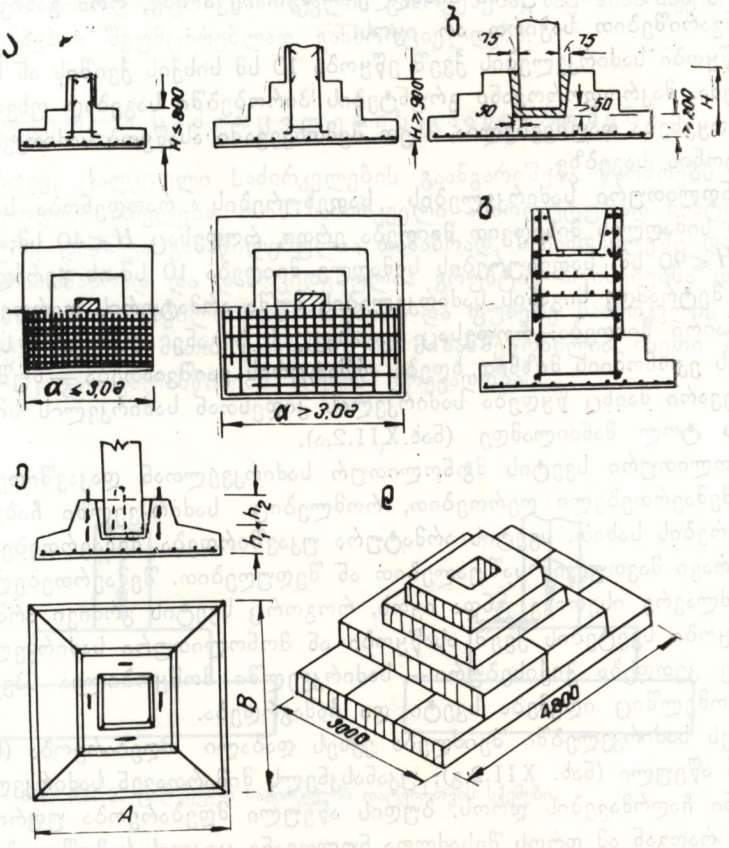
საძირკვლის ტიპის შერჩევა დამოკიდებულია გრუნტის ამტანობაზე, საძირკვლის ჩაღრმავებაზე, შენობის მოხაზულობაზე გეგმაში, დატვირთვის სიდიდეზე და ფუძეზე მისი გადაცემის სქემაზე.

საძირკვლებისათვის რკინაბეტონის გამოყენების დროს გრუნტის ჰიდროგეოლოგიურ კვლევასთან ერთად საჭიროა გრუნტის წყლების ქიმიური ანალიზი მათ აგრესიულობაზე.

ცალკეულ (წერტილოვან) საძირკვლებს დანარჩენ ტიპებზე უფრო ხშირად იყენებენ. ცალკეული საძირკვლები უკეთდება საკმაოდ დაშორებულ სვეტებს, კერძოდ, ერთსართულიან კარკასულ შენობებში.

§ 2. ცალკეული საძირკვლები

რკინაბეტონის ცალკეული (წერტილოვანი) საძირკვლები (ნახ. XII.2) შეიძლება აიგოს ასაწყობი და მონოლითური; მონოლითური სვეტების საძირკვლები აგრეთვე მონოლითურია, ხოლო ასაწყობი სვეტების საძირკვლები შეიძლება იყოს მონოლითურიცა და ასაწყობიც. ცალკეული საძირკვლის ფორმა გეგმაში სწორკუთხა ან კვადრატულია. ცენტრალურად დატვირთული საძირკვლები, როგორც წესი, კვადრატული უნდა იყოს, თუ კვეთის განვითარებას ხელს არ უშლის სხვა ნაგებობა. არაცენტრალურად დატვირთული საძირკვლების ფორმა, ჩვეულებრივ, სწორკუთხაა (მაგრამ რაც შეიძლება ახლო კვადრატულთან), ზომების ფარდობა გეგმაში მიიღება არაუმეტეს 2:1.



ნახ. XII.2. წერტილოვანი საძირკვლები: ა—მონოლითური, საფეხუროვანი; ბ, დ—ასაწყობი, ჭიქისებრი; გ—მონოლითური, აწეული ბუდით.

წერტილოვანი საძირკვლები კონსტრუქციული ფორმის მიხედვით შეიძლება იყოს პირამიდული და საფეხუროვანი; ასაწყობი და მონოლითური რკინაბეტონის საძირკვლები ჩვეულებრივ, კეთდება საფეხუროვანი (და პრინციპულად ერთმანეთისაგან არაფრით არ განსხვავდებიან); პირამიდული ფორმის

საძირკვლები ბეტონის ხარჯის მიხედვით უფრო ეკონომიურია, საფეხუროვანი — დამზადებისათვის უფრო მარტივი.

ცალკეული საძირკვლებისათვის იყენებენ $B15$ კლასის ბეტონს, იშვიათად — B 20 და B 30 კლასის. საძირკვლის გაჭიმულ ზონაში იდება მუშა არმატურა შედუღებული ბადეების სახით, რომელიც მზადდება უპირატესად A—II და A—III კლასის ფოლადისაგან, შეიძლება A—I კლასის ფოლადის გამოყენებაც. მუშა არმატურის ბიჯი მიიღება 10—20 სმ. 10 მმ-ზე ნაკლები დიამეტრის ღეროების გამოყენება მიზანშეწონილი არ არის.

დამცველი შრის სისქე მიიღება 3—8 სმ და დამოკიდებულია გრუნტის სახეობასა და ტენიანობაზე.

ცალკეულ საძირკვლებს განივი არმატურა არ უკეთდება (კონსტრუქციული მოსაზრებებით ხელსაყრელი არ არის). ამიტომ საძირკვლის ზომები — საკუთრივ ქვედა საფეხურის სიმაღლე — შეირჩევა ისე, რომ განივი არმატურა გაანგარიშებით საჭირო არ იყოს.

ასაწყობი საძირკვლების ქვეშ ეწყობა 10 სმ სისქის ქვიშის ან ხრეშის საგები ფენა. მაკროფოროვანი გრუნტების პირობებში საგებად ფხვიერი მასალის გამოყენება დაუშვებელია, ასეთ შემთხვევაში ასაწყობ საძირკვლებს დგამენ ბეტონის საგებზე.

მონოლითური საძირკვლების საფეხურების რაოდენობა საძირკვლის მთლიანი სიმაღლის მიხედვით მიიღება ერთი, როდესაც $H \leqslant 40$ სმ; ორი, როდესაც $H \leqslant 90$ სმ. საფეხურების სიმაღლე მიიღება 10 სმ-ის ჯერადი.

სამ მეტრამდე სიგანის საძირკვლების მუშა არმატურის ღეროების სიგრძე ერთნაირი მიიღება; როდესაც საძირკვლის სიგანე აღემატება სამ მეტრს, ფოლადის ეკონომიის მიზნით ხდება არმატურის გაიშვიათება — მუშა არმატურის ნახევარი მაინც წყდება საძირკვლის კიდესთან საძირკვლის სიგანის მეხუთედის ტოლ მანძილამდე (ნახ.XII.2,ა).

მონოლითური სვეტის მონოლითურ საძირკველთან დაკავშირება ხდება მოკლე შემაერთებელი ღეროებით, რომლებიც საძირკველში ჩაბეტონდება ამონაშვერების სახით. სვეტის არმატურა უკავშირდება შემაერთებელ ღეროებს შემკრავი მავთულის საშუალებით ან შედუღებით. შემაერთებელი ღეროების სიმძლავრე ისეთივე უნდა იყოს, როგორც სვეტის გრძივი არმატურისა.

ასაწყობი სვეტების ქვეშ ასაწყობი ან მონოლითური საძირკვლები ჩვეულებრივ კეთდება ჭიქისებური — საძირკველში მოწყობილია სპეციალური ბუდე, რომელშიც იდგმება სვეტი და ჩამაგრდება.

ბუდეს საძირკვლებში შეიძლება ექნეს დაბალი მდებარეობა (ნახ.XII.2. ბ, დ,), ან აწეული (ნახ. XII.2.გ); უკანასკნელს მიმართავენ საძირკვლის მნიშვნელოვანი ჩაღრმავების დროს. ბუდის აწეული მდებარეობა უფრო მოხერხებულია, რადგან ამ დროს შესაძლოა ნულოვანი ციკლის სამუშაოების მთლიანად დასრულდება — გრუნტის უკუჩაყრა, იატაკქვეშა მომზადების დასრულება.

ბუდის სიღრმე, სვეტის საიმედო ჩამაგრების პირობით, ინიშნება არანაკლები h_{bg} — სვეტის კვეთის უდიდესი ზომისა და არანაკლები 20 d — სვეტის გრძივი არმატურის 20 დიამეტრისა. ჭიქის ძირისა და კედლების სისქე მიიღება არანაკლები 200 მმ. კედლების სისქე, გარდა ამისა, არ უნდა იყოს ნაკლები ზედა საფეხურის სიმაღლის 3/4-ისა.

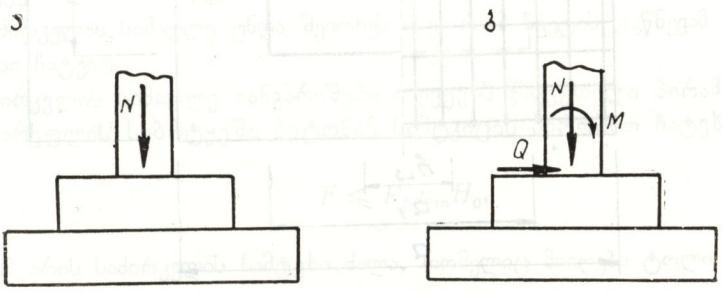
საძირკველში სვეტის ჩაშვებისა და საპროექტო მდგომარეობაში დროებითი დამაგრების შემდეგ (დამაგრება ხდება სოლებით ან სპეციალური კონდუქტორების საშუალებით) ბუდე შეივსება ბეტონით — მოხდება სვეტის საბოლოო ჩამაგრება საძირკველში. გამონოლითებული ნაკერის სისქე 50 მმ-ზე ნაკლები არ უნდა იყოს. ამიტომ ბუდის ზომები გეგმაში უნდა აღემატებოდეს სვეტის განივკვეთის ზომებს 100 მმ-ით ჭიქის ძირთან, ხოლო 150 მმ-ით საძირკვლის ზედაპირზე.

ასაწყობი საძირკვლები მზადდება მთლიანი ან შედგენილი.

როდესაც ასაწყობი საძირკვლის ზომები იმდენად დიდია, რომ მისი ერთი მთლიანი ელემენტის სახით განხორციელება მოუხერხებელია, საძირკველი შეიძლება დამზადდეს შედგენილი რამდენიმე ელემენტისაგან — ჭიქისებრი ბლოკისა და საყრდენი ფილებისაგან. ასეთ შემთხვევაში უნდა დაარმატურდეს საძირკვლის ყოველი ელემენტი, რაც იწვევს ფოლადის გადახარჯვას (ნახ. XII. 2,დ). უმჯობესია მონოლითური საძირკვლის გამოყენება, თუ მისი აგება მშენებლობის ტემპების შეუმცირებლად განხორციელდება.

ცალკეული საძირკვლების გაანგარიშება

ჩვეულებრივ, ცალკეული საძირკვლების გაანგარიშება წარმოებს მიახლოებითი მეთოდით: ითვლება, რომ საძირკველი აბსოლუტურად ხისტია და მისგან გრუნტზე დაწნევა განაწილებულია თანაბრად. სინამდვილეში დაწნევა ნაწილდება არათანაბრად და დამოკიდებულია გრუნტის თვისებებსა და საძირკვლის სიხისტეზე. მსხვილი ნაგებობებისა და ფუძეზე საძირკვლის დიდი ფართობის შემთხვევაში მათი გაანგარიშება მიზანშეწონილია ისეთი მეთოდით, რომელიც გაითვალისწინებს ფუძის დრეკადობას.



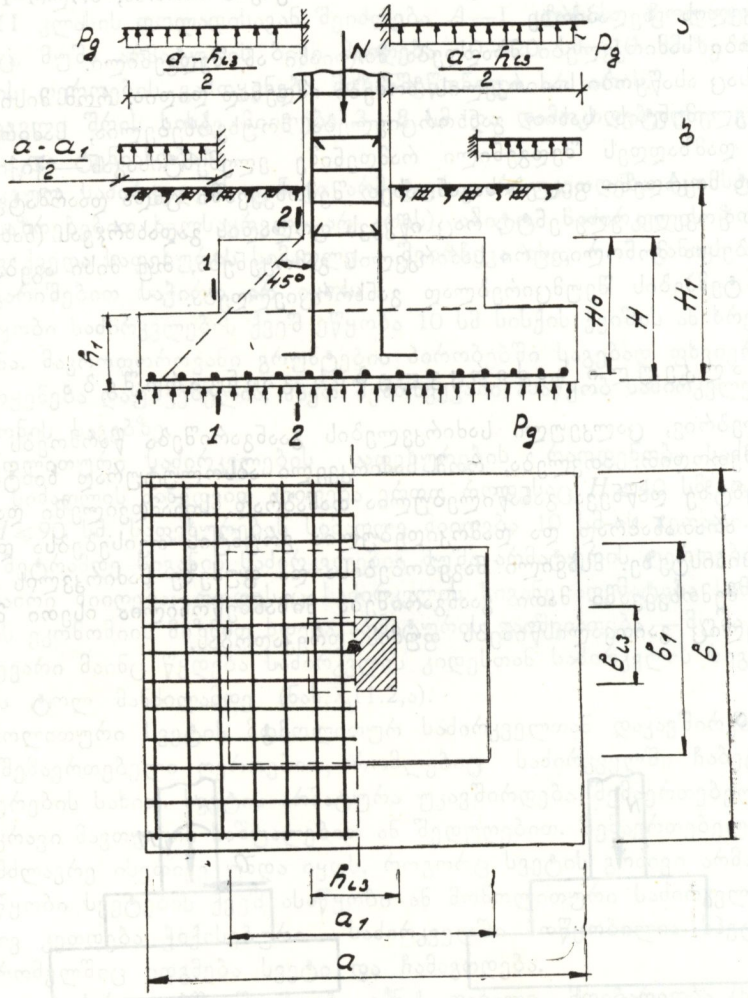
ნახ. XII.3. ცალკეული საძირკვლის დატვირთვის სქემები.

ცალკეული საძირკვლების გაანგარიშების დროს ვხვდებით ორ შემთხვევას: 1. ცენტრალური და 2. არაცენტრალური დატვირთვის (ნახ. XII. 3).

ცალკეული საძირკვლის საანგარიშო სქემა ყველა შემთხვევაში მიიღება კონსოლური ფილის სახით, რომელიც ჩამაგრებულია ხისტად სვეტის კიდეზე გამავალ კვეთში და განიცდის ღუნვას გრუნტის რეაქტიული დაწნევისაგან საძირკვლის როგორც დიდი, ასევე მცირე გვერდის მიმართულებით.

საანგარიშო სქემის შესაბამისად, მუშა არმატურა ლაგდება ჯვარედინად ფუძის მახლობლად (გაჭიმულ ზონაში) 3—8 სმ-ის დაშორებით (ნახ.XII.4).

საძირკვლის გაანგარიშება ტარდება ორ ეტაპად. პირველ ეტაპზე ფუძის ზღვრული დეფორმაციის მიხედვით განისაზღვრება საძირკვლის ზომები



ნახ. XII.4. ცენტრალურად დატვირთული მონოლითური რკინაბეტონის ცალკეული საძირკვლის კონსტრუქციულ-საანგარიშო სქემა.

გეგმაში ფუძეზე და შეირჩევა საძირკვლის ტიპი. მეორე ეტაპზე ხდება გაანგარიშება სიმტკიცის პირობით — ისაზღვრება საძირკვლის ვერტიკალური ზომები და მუშა არმატურის კვეთი.

საძირკვლის ფუძის საჭირო ფართობი იანგარიშება ნორმატიულ დატვირთვებზე, ხოლო ვერტიკალური ზომებისა და არმატურის კვეთის შერჩევა ხდება საანგარიშო დატვირთვების მიხედვით.

ჰიქისებრი საძირკვლებისათვის აწეული ბუდით დამატებით უნდა იქნეს გაანგარიშებული ჰიქის კედლების არმატურა.

ცენტრალურად დატვირთული ცალკეული საძირკვლის გაანგარიშება

XII.4 ნახაზზე მოცემულია ცალკეული საძირკვლის კონსტრუქციულ-საანგარიშო სქემა.

საძირკვლის ფართობი ფუძეზე განისაზღვრება ფორმულით

$$A_{\text{ხაძ}} = \frac{N_n}{R_g - \gamma_m H_1}, \qquad \text{(XII.1)}$$

სადაც N_n არის სვეტიდან საძირკველზე გადაცემული ნორმატიული გრძივი ძალა—დატვირთვა, kN-ში, საძირკვლის თაროს დონეზე; R_g—გრუნტის საანგარიშო წინაღობა, MPa, საძირკვლის ფუძეზე; γ_m—საძირკვლისა და მის საფეხურებზე მდებარე გრუნტის საშუალო მოცულობითი წონა (მიიღება 20—21 kN/m^3); H_1—საძირკვლის ჩაღრმავების სიდიდე მ-ობით (გრუნტის ზედაპირიდან).

საძირკვლის საჭირო ფართობის მიხედვით გამოითვლება ზომები გეგმაში: კვადრატული საძირკვლისათვის $a = b = \sqrt{A_{\text{ხაძ}}}$; სწორკუთხა საძირკვლისათვის $ab = A_{\text{ხაძ}}$ პირობიდან, როდესაც გვერდების თანაფარდობა $(a:b)$ დანიშნულია. ზომები გეგმაში ინიშნება 200 მმ-ის ჯერადი.

სვეტის დაწნევას შეუძლია გამოიწვიოს საძირკვლის ჩატეხა (არასაკმაო სიმაღლის შემთხვევაში). რღვევის ზედაპირი იწყება სვეტის კიდეებთან და ვითარდება ფუძისაკენ დახრილად, დაახლოებით 45° კუთხით — იქმნება რღვევის წაკვეთილი პირამიდა.

საძირკვლის სიმაღლე უნდა შეირჩეს ისე, რომ სვეტის დაწნევამ არ გამოიწვიოს მისი ჩატეხა;

საძირკვლის სიმაღლე იანგარიშება რღვევის წაკვეთილი პირამიდის გვერდითი პირეულის სიბრტყეში ბეტონის სიმტკიცის პირობით ჩატეხაზე

$$F \leqslant R_{bt} u_m H_0, \qquad \text{(XII.2)}$$

სადაც F არის საძირკვლის ჩამტეხი ძალა, რომელიც მიიღება ტოლი

$$F = N - p_g A_1. \qquad \text{(XII.3)}$$

აქ N არის სვეტიდან საძირკველზე გადაცემული საანგარიშო გრძივი ძალა; A_1—ჩატეხის პირამიდის ქვედა ფუძის ფართობი, $A_1 = (b_{\text{ხვ}} + 2H_0)(h_{\text{ხვ}} + 2H_0)$; p_g—გრუნტის რეაქტიული დაწნევა საძირკველზე, რომელიც ტოლია

$$p_g = \frac{N}{A_{\text{ხაძ}}}; \qquad \text{(XII.4)}$$

აქ $A_{სძ}$ საძირკვლის ფართობია ფუძეზე, იგი ტოლია: მართკუთხა საძირკვლისათვის $A_{სძ}=ab$, ხოლო კვადრატული ფორმის შემთხვევაში $A_{სძ}=a^2$, u_m—რღვევის პირამიდის ზედა და ქვედა ფუძეების პერიმეტრის საშუალო სიდიდე

$$u_m=2(b_{სვ}+h_{სვ}+2H_0); \qquad \text{(XII.5)}$$

საძირკვლის მუშა სიმაღლე $H_0=H-(3\div 8)$ სმ; $b_{სვ}$, $h_{სვ}$—სვეტის განივკვეთის ზომები.

სიმტკიცის პირობით მუშა სიმაღლის გაანგარიშების შემდეგ განისაზღვრება სრული სიმაღლე $H=H_0+(3\div 8)$ სმ; ინიშნება საფეხურების რაოდენობა და სიმაღლე.

რადგან ჭიქის ფსკერის სისქე ჩატეხაზე სიმტკიცის პირობით არ მიიღება 20 სმ-ზე ნაკლები, ხოლო ნაკერის სისქე სვეტის ქვეშ 5 სმ-ის ტოლია, ასაწყობი რკინაბეტონის ცალკეული ჭიქისებრი საძირკვლის სიმაღლე

$$H \geqslant h_{სვ}+25 \text{ სმ}.$$

ქვედა საფეხურის სიმაღლე ბეტონის ეკონომიის მიზნით უნდა იქნეს დანიშნული რაც შეიძლება მცირე, მაგრამ არანაკლები 30 სმ და არაუმეტესი 50 სმ. ქვედა საფეხურის სიმაღლე მოწმდება საძირკვლის, როგორც კონსოლური ღუნვადი ელემენტის (ნახ.XI.4,ბ), სიმტკიცის პირობით განივი ძალების მიხედვით. ცალკეული საძირკვლის ფილა მნიშვნელოვან ფართობზე გავრცელებული ელემენტია, განივი არმატურის მოწყობა კონსტრუქციული მოსაზრებებით მიზანშეწონილი არ არის. ამიტომ ქვედა საფეხურის სიმაღლე უნდა შეირჩეს ისე, რომ განივი არმატურა გაანგარიშებითაც საჭირო არ იყოს, განივი ძალა უნდა აიტანოს ბეტონმა. ქვედა საფეხურის სიმაღლის შემოწმება ტარდება ღუნვადი ელემენტის დახრილი კვეთების სიმტკიცის პირობით განივი ძალების მიხედვით, როდესაც გამოყენებული არ არის განივი არმატურა. მძიმე ბეტონისაგან აგებული საძირკვლისათვის

$$Q \leqslant 0{,}6\, R_{bt} b h_0, \qquad \text{(XII.6)}$$

სადაც Q არის საძირკვლის დიდი გვერდის მიმართულებით ქვედა საფეხურის როგორც კონსოლის საანგარიშო განივი ძალა, გამოწვეული გრუნტის რეაქტიული დაწოლით საძირკველზე; როდესაც კონსოლის სიგრძე ტოლია $\frac{a-a_1}{2}$, ხოლო გრუნტის დაწოლის ინტენსიურობა $p_g=N:A_{სძ}$, მაშინ

$$Q=p_g b l_c = p_g b \frac{a-a_1}{2}.$$

საანგარიშო XII.6 პირობის მიხედვით ქვედა საფეხურის მუშა სიმაღლე არ უნდა იყოს ნაკლები, ვიდრე

$$h_{0\cdot\min}=\frac{Q}{0{,}6R_{bt}b}=\frac{p_g b\,\frac{a-a_1}{2}}{0{,}6\,R_{bt}b}=\frac{p_g(a-a_1)}{1{,}2\,R_{bt}}. \qquad \text{(XII.7)}$$

მაშინ ქვედა საფეხურის სიმაღლე არ უნდა იქნეს ნაკლები

$$h=h_{0\cdot\min}+(3\div 8) \text{ სმ};$$

მანძილი მუშა არმატურიდან ფუძემდე მიიღება 3—8 სმ ტოლი; იგი დამოკიდებულია გრუნტის სახეობასა და ტენიანობაზე.

მუშა არმატურის კვეთი შეირჩევა საძირკვლის ორივე გვერდის მიმართულებით. არმატურის საჭირო ფართობი იანგარიშება ფორმულით

$$A_s = \frac{M}{R_s 0{,}9\, H_0}, \qquad \text{(XII.8)}$$

სადაც M არის საანგარიშო მღუნავი მომენტი განსახილველ კვეთში; H_0—საძირკვლის მუშა სიმაღლე შესაბამისი საფეხურის ჩამაგრების კვეთში; R_s—მუშა არმატურის საანგარიშო წინაღობა.

მღუნავი მომენტის სიდიდე სვეტის კიდეზე გამავალ კვეთში იანგარიშება მიახლოებით, ფორმულით:

a გვერდის გასწვრივ (კვეთი II—II)

$$M = \frac{p_g (a - h_{ხვ})^2\, b}{8}, \qquad \text{(XII.9)}$$

b გვერდის გასწვრივ

$$M = \frac{p_g (b - b_{ხვ})^2\, a}{8}. \qquad \text{(XII.10)}$$

არაცენტრალურად დატვირთული ცალკეული საძირკვლის გაანგარიშება

არაცენტრალურად დატვირთული ცალკეული საძირკვლების გაანგარიშება მიმდინარეობს ცენტრალურად დატვირთულის ანალოგიურად, მხოლოდ მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული საძირკვლის ფუძეზე დაწნევის არათანაბარი განაწილება (ნახ. XII.5).

ძაბვები ფუძეზე განისაზღვრება გრუნტში წნევის წრფივად განაწილების ვარაუდით, ფორმულით

$$p_1 = \frac{N_f}{ab}\left(1 \pm \frac{6e}{a}\right), \quad \text{როდესაც} \quad e = \frac{M_f}{N_f} \leqslant \frac{a}{b};$$

$$p_1 = \frac{2N_f}{by} = \frac{2N_f}{3b(0{,}5\,a - e)}, \quad \text{როდესაც} \quad e > \frac{a}{b},$$

სადაც N_f და M_f შესაბამისად არის გრძივი ძალა და მღუნავი მომენტი საძირკვლის ფუძის დონეზე გამავალ კვეთში, როდესაც საიმედოობის კოეფიციენტი დატვირთვის მიხედვით მიღებულია $\gamma_f = 1$ (ნორმატიული დატვირთვებით გამოწვეული ძალვები);

$$N_f = N + \gamma_m H_1 A_{ხვ};$$

$$M_f = M + QH,$$

აქ N, M, Q არის ნორმატიული დატვირთვებით გამოწვეული ძალვები სვეტის კვეთში საძირკვლის თაროს დონეზე.

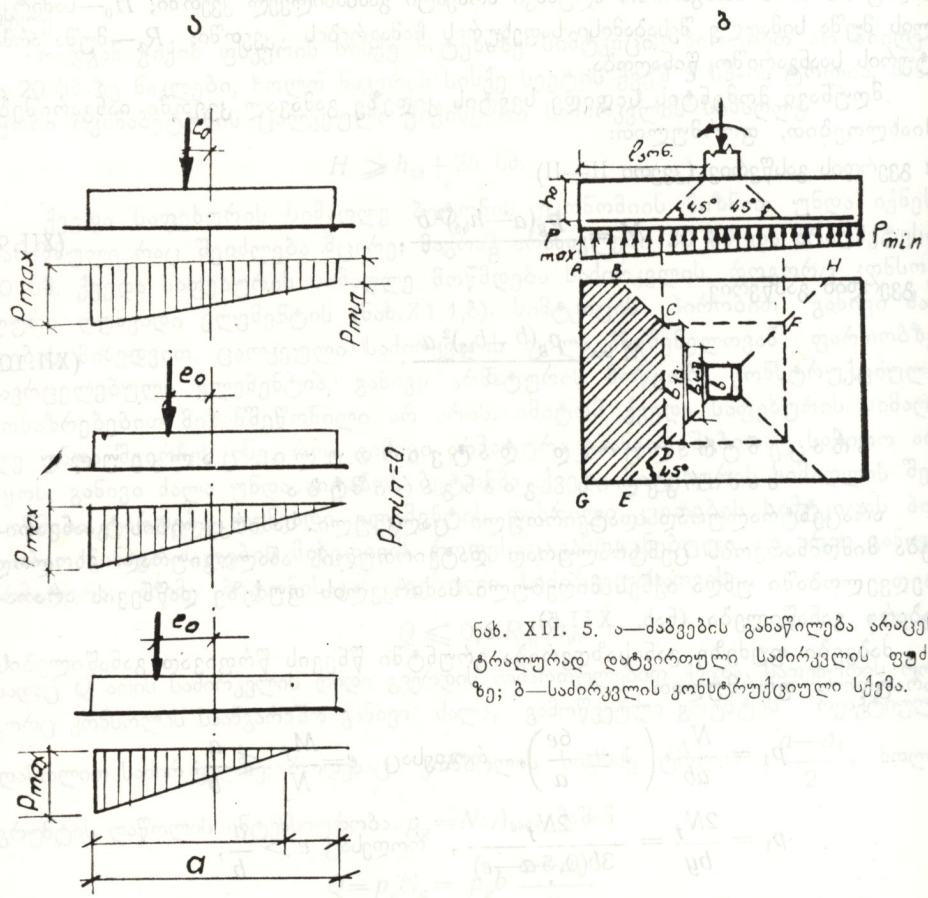
უდიდესი ძაბვა ფუძის კიდეზე არ უნდა აღემატებოდეს $1{,}5\, R_g$-ს

$$P_1 \leqslant 1{,}5\, R_g,$$

ხოლო საშუალო ძაბვა

$$p_m = \frac{N_f}{A_{\text{inf}}} \leqslant R_g.$$

აქ A_{inf} არის საძირკვლის ფართობი ფუძის დონეზე.



ნახ. XII. 5. ა—ძაბვების განაწილება არაცენტრალურად დატვირთული საძირკვლის ფუძეზე; ბ—საძირკვლის კონსტრუქციული სქემა.

ძაბვების ორნიშნა ეპიურა არ დაიშვება ხიდური ამწეებიანი სამრეწველო შენობის საძირკვლებისათვის. შენობებში, რომელთაც ამწეები არ გააჩნიათ, დაიშვება ძაბვების ორნიშნა ეპიურა პირობით, რომ **არ** გამოირთვება საძირკვლის ძირის მეოთხედზე მეტი.

ბოძისებრ საძირკვლებში (ნახ. XII. 2, გ) უნდა იქნეს გაანგარიშებული, აგრეთვე სვეტის ჭუსლის ვერტიკალური და განივი არმატურა. ვერტიკალური არმატურის განივკვეთის ფართობი განისაზღვრება ჭიქის ფსკერის დონეზე.

განივი არმატურა ეწყობა კონსტრუქციული მოსაზრებებით, როდესაც $e_0 = \frac{M}{N} \leqslant \frac{h_c}{6}$, მაგრამ თუ $e_0 > \frac{h_c}{2}$ განივი არმატურის კვეთი განისაზღვრება გაანგარიშებით (h_c სვეტის კვეთის სიმაღლეა).

XIII თავი

სახურავის მზიდი რკინაბეტონის კონსტრუქციები

§ 1. სახურავის კონსტრუქციული სქემები

სახურავი წარმოადგენს შენობის შემომზღუდ კონსტრუქციას, რომელსაც ზიდვის ფუნქციაც გააჩნია. იგი იცავს შენობას ატმოსფერული ნოვლენების ზემოქმედების, სითბოს დაკარგვისა და გადახურებისგან.

სახურავი შედგება ჰიდროსაიზოლაციო საფარის — ბურულის, მოსწორების ფენის, თბოიზოლაციის, ორთქლიზოლაციის და მზიდი კონსტრუქციებისაგან.

სახურავის მზიდ კონსტრუქციებს გადაეცემა თოვლისა და ქარის დატვირთვა, საკუთარი და მასზე დაყრდნობილი ელემენტების წონა, ხანმოკლე საექსპლუატაციო დროებითი დატვირთვები; გარდა ამ ძალური ზემოქმედებისა, ისინი განიცდიან არაძალურ — რადიაციის, გარე ჰაერის ტენის, სითბოსა და ორთქლის ნაკადების ზემოქმედებებსაც.

სახურავის მზიდი ელემენტები შეიძლება განხორციელდეს ხის, ფოლადის ან რკინაბეტონისაგან.

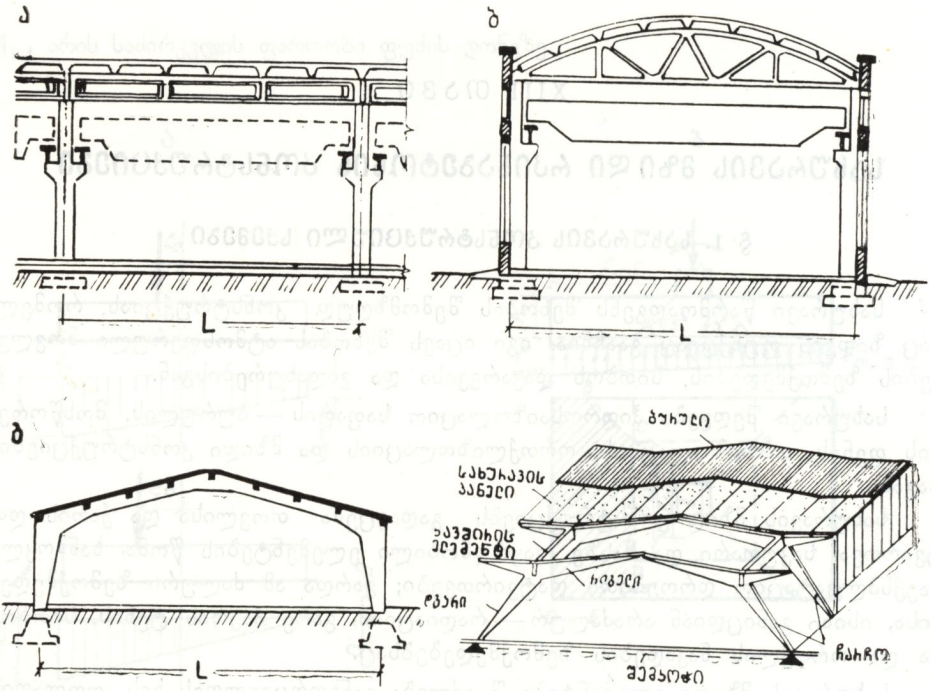
რკინაბეტონის ელემენტებით სახურავის მზიდი კონსტრუქციული სისტემა შეიძლება განხორციელდეს სიბრტყითი და სივრცითი სქემით (ნახ. XIII.1, ნახ. XIII.2).

სიბრტყითი კონსტრუქციული სისტემა წარმოადგენს ბრტყელი კოჭური სქემით მომუშავე ელემენტების ერთობლიობას (ნახ.XIII.1). ასეთი სახურავების მზიდ ელემენტებად გამოყენებულია რკინაბეტონის ფილები, კოჭები, წამწეები, თაღები, ჩარჩოები. კოჭური კონსტრუქციული სისტემის შემადგენელი მზიდი ელემენტები მუშაობენ მიმდებარე კონსტრუქციებისაგან დამოუკიდებლად, საკუთრივ მათზე მოდებულ დატვირთვებზე მხოლოდ ერთი მიმართულებით (საანგარიშო მალის); კონსტრუქციულ ელემენტებზე დატვირთვის გადაცემა მრავალსაფეხუროვანია. მაგალითად, თოვლის დატვირთვა თანამიმდევრობით ბურულიდან გადაეცემა ფენილს, გრძივებს (ან პანელებს), ნივნივებს და ნივნივქვეშა კონსტრუქციებს. მრავალსაფეხუროვანი გადაცემისას მნიშვნელოვნად იზრდება შენობის მოცულობა.

სახურავის სივრცულ კონსტრუქციულ სქემაში ერთიანი სივრცული კონსტრუქცია ასრულებს როგორც ზიდვის, ასევე შემოზღუდვის ფუნქციას. ესაა რკინაბეტონის თხელკედლიანი სივრცული კონსტრუქციები (გარსები, ნაკე-

ცები, გუმბათები და სხვ.), კიდული კონსტრუქციები, სტრუქტურები (ნახ. XIII.2).

რკინაბეტონის თხელკედლიან სივრცულ კონსტრუქციებს იყენებენ, როგორც ჩვეულებრივი (18—36 მ) მალის, ასევე დიდმალიანი შენობის გადა-



ნახ. XIII.1. სიბრტყითი კონსტრუქციული სისტემის სახურავები: ა—კოჭებზე; ბ—წამწეებზე; გ—ჩარჩოებზე; დ—თაღებზე. 1—ასაწყობი რკინაბეტონის თაღის ბლოკი; 2—საყრდენი კვანძის ბლოკი; 3—საკიდი; 4—შემკოჭი; 5—სახურავის ფილა; 6—შენობის კარკასის სვეტი.

ხურვისთვის. მათ გააჩნიათ მთელი რიგი უპირატესობებისა სიბრტყითი კონსტრუქციული სისტემის სახურავებთან შედარებით.

სივრცული კონსტრუქცია მუშაობს შენობის გეგმის ორივე მიმართულებით, რაც იძლევა მასალის უფრო ეკონომიურად გამოყენების საშუალებას; მათ დასამზადებლად საჭიროა 25—40%-ით ნაკლები მასალა, კონსტრუქციის მასა ნაკლებია. სივრცული თხელკედლიანი რკინაბეტონის კონსტრუქციებით შეიძლება გადაიხუროს მნიშვნელოვანი ზომების ფართობები შუალედი საყრდენების გარეშე, მალით 100 მ-მდე და მეტიც. დიდმალიან გადახურვებში უკეთ ხდება საწარმოო ფართობების გამოყენება; მზიდ კონსტრუქციაზე დატვირთვების გადაცემა არ ხდება მრავალსაფეხუროვნად; შეიძლება განხორციელდეს გეგმაში ნებისმიერი ფორმის შენობა და მიიღწევა არქიტექტურული გამომსახველობა, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია საზოგადოებრივი შენობებისათვის.

თხელკედლიანი რკინაბეტონის სივრცული კონსტრუქციების სისქე უმნიშვნელოა სხვა ზომებთან შედარებით, რაც გამორიცხავს მათს მუშაობას განივ ღუნვაზე, ისინი ძირითადად მუშაობენ გრძივ ძალებზე. ამის გამო გარსის ფორმა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ზედაპირის უდიდესი ნაწილის ბეტონი მუშაობდეს კუმშვაზე (გაჭიმულ ნაწილში განლაგებული უნდა იქნეს გაანგარიშებით საჭირო არმატურა).

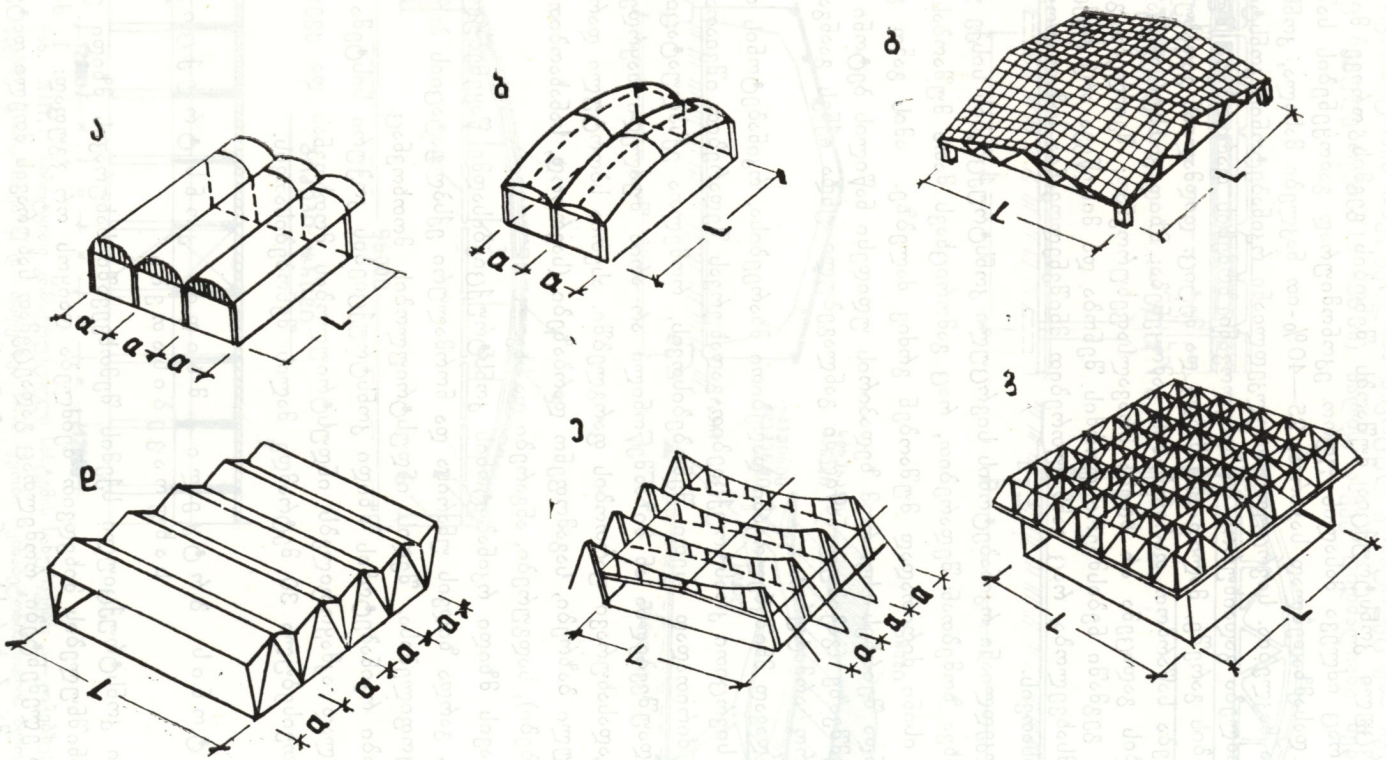
მიუხედავად მნიშვნელოვანი დადებითი მხარეებისა, რკინაბეტონის თხელკედლიანი სივრცითი კონსტრუქციებით გადახურვას შედარებით იშვიათად მიმართავენ, ძირითადად ისეთი შენობებისთვის, რომელთა ექსპლუატაციის პირობებით დაუშვებელია ან მიზანშეწონილი არ არის შუალედი საყრდენების მოწყობა გადასახურავი ფართობის ფარგლებში. ასეთია სპორტული დარბაზები, დახურული ბაზრები, საგამოფენო დარბაზები (საერთოდ, სანახაობითი დაწესებულებები), სადგურები, ანგარები და სხვ.

სახურავის მზიდი რკინაბეტონის კონსტრუქციებისადმი წაყენებულ მოთხოვნებში, გარდა ზიდვის უნარისა და ნორმალური ექსპლუატაციის პირობების დაკმაყოფილებისა, შედის ინდუსტრიულობის მოთხოვნაც.

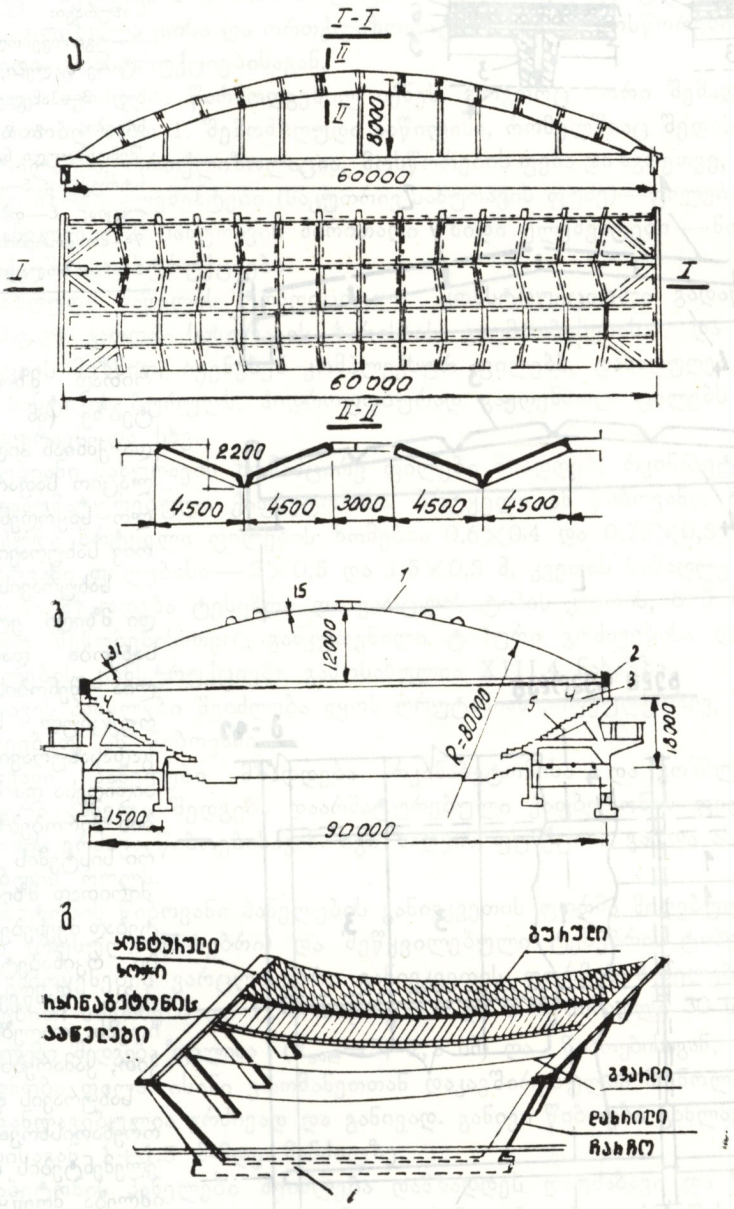
ასაწყობი რკინაბეტონის მზიდი კონსტრუქციების კოჭური სისტემა ყველაზე სრულად აკმაყოფილებს ინდუსტრიულობის მოთხოვნას და ყველაზე კარგადაა ათვისებული 30 მეტრამდე მალის შენობებისათვის.

რკინაბეტონის ბრტყელი მზიდი კონსტრუქციები სახურავებისათვის

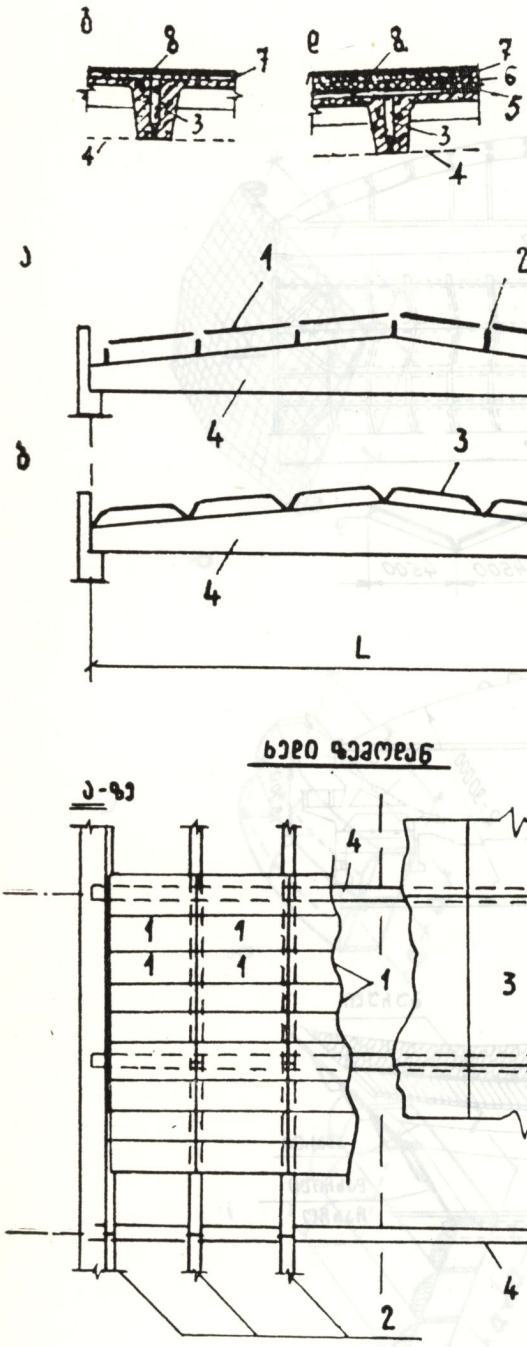
კოჭური კონსტრუქციული სქემის შემთხვევაში სახურავის მზიდი ელემენტები დანიშნულების მიხედვით შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად: 1. ძირითადი მზიდი ელემენტები, რომელთაც გადაეცემათ სახურავის მთელი დატვირთვა და 2. მეორეხარისხოვანი ელემენტები, რომლებიც ლაგდება ძი-



ნახ. XIII.2. სახურავების სივრცული კონსტრუქციული სისტემა: ა — ერთმაგი სიმრუდის გარსი; ბ—ორმაგი სიმრუდის გარსი; გ—ორმაგი სიმრუდის გარსი ჰიპერბოლური პარაბოლოიდის სახით; დ—ნაოჭები; ე—კიდული ვანტური გადახურვა; ზ—ჯვარედინი გადახურვა.



ნახ. XIII.2. (გაგრძელება). სივრცული კონსტრუქციული სისტემის სახურავის კონსტრუქციული სქემები: ა—შემკოჭიანი ნაოჭა კამარა; 1—სახურავის რიგითი პანელი; 2—საყრდენის პანელი; 3—საყრდენი ჭამფუ; 4—შემკოჭი; 5—გრძივი ლავგარდნის ფილები; 6—ტორსის ლავგარდნის ფილები. ბ—გადახურვა გუმბათით: 1—გუმბათი; 2—საყრდენი რგოლი; 3—მოკრავი საყრდენები; 4—ვერტიკალური კავშირები: 5—ტრიბუნების ჩარჩოები.



ნახ. XIII.3. სიბრტყითი კონსტრუქციული სისტემის სახურავი: ა—გრძივებზე; ბ—უგრძივებოდ. 1—ზომამცირე ფილები; 2—გრძივები; 3—პანელები; 4—ნივნივები; გ, დ—სახურავის შემომზღუდი ნაწილის კონსტრუქცია: 5—ორთქლიზოლაცია; 6—თბოიზოლაცია; 7—მოსწორების ფენა; 8—ჰიდროიზოლაციის ფენა.

რითად მზიდ ელემენტებზე (ან კედლებზე) და ქმნიან ჰიდროსაიზოლაციო საფარის უშუალო საყრდენს—საკუთრივ სახურავის ფუძეს.

სახურავის ძირითადი მზიდი ელემენტების სახეობა დამოკიდებულია შენობის კონსტრუქციულ სისტემაზე, გადასახურავი მალის სიდიდესა და მშენებლობის პირობებზე. კოჭური სისტემის სახურავის ძირითად მზიდ ელემენტებად იყენებენ ასაწყობი რკინაბეტონის კოჭებს, წამწეებს, ჩარჩოებს, თაღებს შემკოჭით, კამარებს.

სახურავის ფუძე—მეორეხარისხოვანი მზიდი ელემენტების ფენა—შეიძლება მოეწყოს გრძივებით (ნახ. XIII.3, ა) და უგრძივებოდ (ნახ. XIII.3, ბ). შესაბამისად, სახურავის ასაწყობი რკინაბეტონის მეორეხარისხოვანი მზიდი ელემენტები გამოირჩევა მრავალფეროვნებით. გრძივებზე დაგეგმილი სახურავისათვის იყენებენ მცირე ზომების კოჭებსა და ფილებს, უგრძივებოდ —წიბოვანსა და ღრუტანიან პანელებს. ტექნოლოგიურობის თვალსაზრისით უპირატესობა ენიჭება უგრძივებო გადაწყვეტას.

§ 2. სიგრტყითი კონსტრუქციული სისტემის სახურავის შემომზღუდი ნაწილის მზიდი კონსტრუქციები

სახურავი შედგება ჰიდროსაიზოლაციო საფარის — ბურულის, საჭიროებისამებრ თბოიზოლაციისა და ორთქლიზოლაციის ფენის, მოსწორების ფენისა და მზიდი კონსტრუქციებისაგან.

სახურავი შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს, როგორც ორი შემადგენელი ნაწილის ერთობლიობა: 1. შემომზღუდი ნაწილისა, რომელშიაც შედის ბურული, თბოიზოლაცია, ორთქლიზოლაცია, მოსწორების ფენა და აგრეთვე, მეორეხარისხოვანი მზიდი ელემენტები (საკუთრივ სახურავის ფუძე)—ფილები, გრძივები და პანელები; 2. სახურავის ძირითადი მზიდი ელემენტები — ნივნივები და ნივნივქვეშა კონსტრუქციები.

შემომზღუდი ნაწილის ტრადიციული კონსტრუქციული გადაწყვეტის (ნახ.XIII.3.გ,დ) გარდა, სახურავის ხარისხის გაუმჯობესებისა და ინდუსტრიალიზაციის მიზნით, იყენებენ კომპლექსურ ფილებს, დასადუღებელ რუბეროიდს, მასტიკის ბურულს, ჰიდროფობურად გაჟღენთილ ფილებს — უბურულო სახურავს და სხვ.

გრძივებიანი სახურავის ზომამცირე ფილები მზადდება რკინაბეტონის ან მცირედ დაარმატურებული ქაფბეტონისა, ბრტყელი ან წიბოვანი. რკინაბეტონის ტიპური ბრტყელი ფილების ზომებია 0,6×0,4 და 0,75×0,5 მ, სისქე 40 მმ; წიბოვანი ფილებისა — 3×0,5 და 1,5×0,5 მ, კვეთის სიმაღლე 140 მმ.

გრძივები მზადდება ტესებრი და ვარცლის ტიპის კვეთის, 6 მ სიგრძის; სამრეწველო შენობებისათვის განკუთვნილი ტიპური გრძივებისა და ზომამცირე ფილების კონსტრუქციები გამოსახულია XIII.4 ნახაზზე.

სახურავის პანელები შეიძლება იყოს ღრუტანიანი, ჩვეულებრივ, წრიული სიცარიელეებით, ან წიბოვანი.

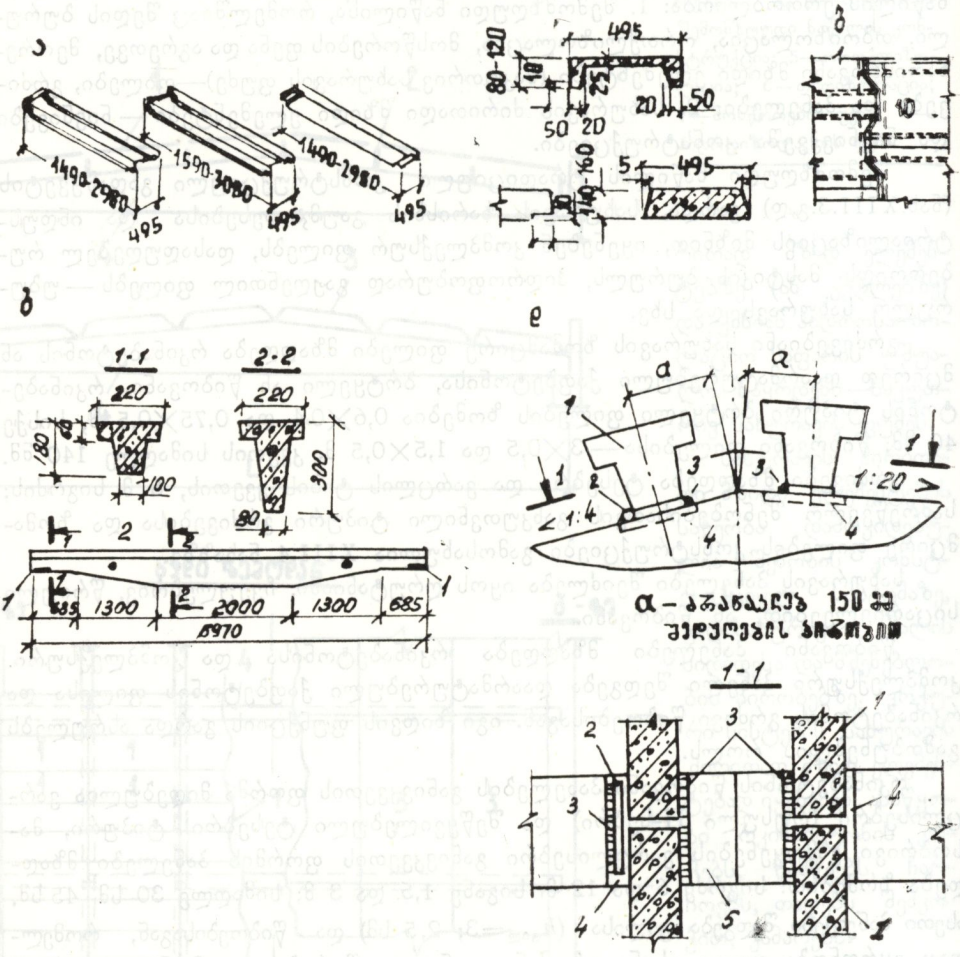
წიბოვანი პანელები მზადდება რკინაბეტონისა და კომპლექსური. კომპლექსური პანელი შედგება დაარმატურებული ქაფბეტონის ფილისა და რკინაბეტონის გრძივი წიბოებისაგან. იგი ზიდვის ფუნქციის გარდა ასრულებს გამთბუნებლის როლს.

რკინაბეტონის წიბოვანი პანელების განივკვეთის ფორმა მიღებულია ვარცლისებრი (რუსული П-სებრი) და შეწყვილებული ტესებრი. ტიპური, მასობრივი გამოყენების ვარცლისებრი განივკვეთის ფორმის პანელები მზადდება ზომებით: სიგრძე 6 და 12 მ, სიგანე 1,5 და 3 მ; სიმაღლე 30 სმ, 45 სმ. ასეთი პანელები შედგება ფილისა ($h_{ფილ}$=3; 2,5 სმ) და წიბოებისაგან, რომელთაც ეყრდნობა ფილა. ისინი ერთმანეთთან დაკავშირებულია მონოლითურად, წიბოები განლაგებულია გრძივად და განივად. განივი წიბოები განლაგებულია ერთმანეთისაგან 1÷1,5 მ-მდე მანძილზე.

რკინაბეტონის პანელები შეიძლება დამზადდეს დაუძაბავი და წინასწარ დაძაბულიც. 12 მ და უფრო დიდი მალის პანელები, როგორც წესი, წინასწარ დაძაბულია. დიდმალიანი (18,24 მ.) ორჭანობიანი და სეგმენტური პანელებით შეიძლება გადაიხუროს შენობის მალიც (იხ.ნახ.XIV.3.გ).

პანელების დაარმატურება ხდება შედუღებული ბადეებით და შედუღებული კარკასებით.

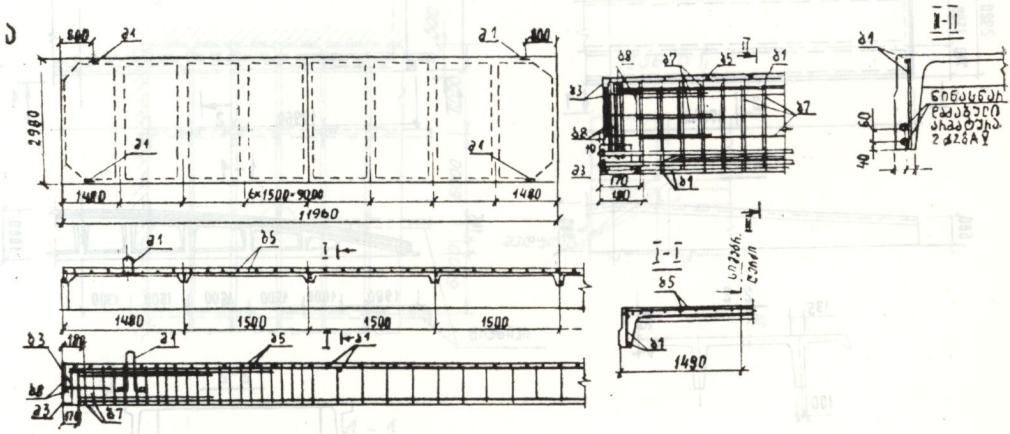
მასობრივი გამოყენების ყოველი ტიპის პანელის ზომები უნიფიცირებულია, დატვირთვის სიდიდის მიხედვით იცვლება მხოლოდ არმატურის კვეთი, შესაბამისად დადგენილია პანელების მარკები. ასაწყობი რკინაბეტონის ნაკეთობათა კატალოგებში დატვირთვის სიდიდის მიხედვით მოცემულია ყველა ტიპისა და მარკის პანელის ძირითადი მახასიათებლები: ბეტონისა და არმატურის კლასი, მასალების ხარჯი და სხვ.

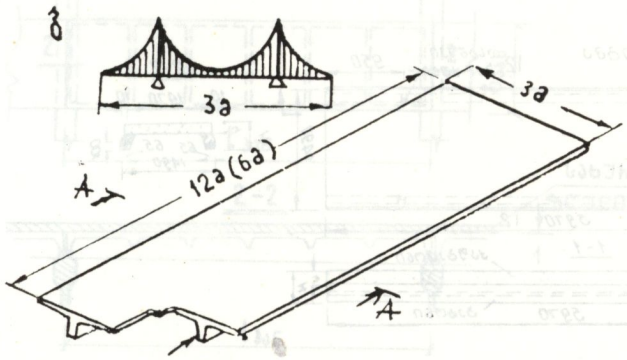


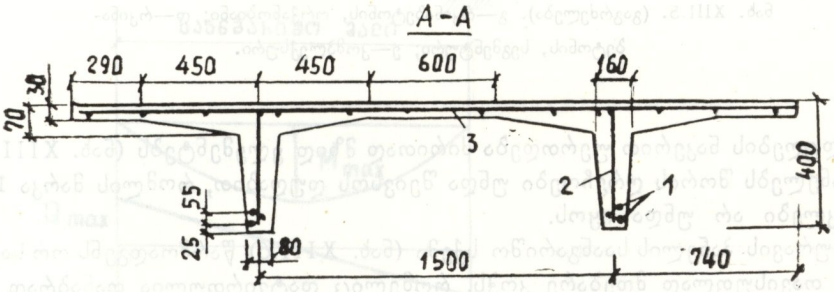
ნახ. XIII.4. სიბრტყითი კონსტრუქციული სისტემის გრძივებიანი სახურავის მეორეხარისხოვანი ზ ზ ი ელემენტები: ა—ზომამცრე (წვრილი) ფილა; ბ—ზომამცრე წიბოვანი ფილა; გ—გრძივი; დ—გრძივების დამაგრება ნივნივებზე: 1—გრძივი; 2—მისაბჯენი გრძივის ძვრის წინააღმდეგ (რდესაც ნივნივის ქანობი $i>1:20$); 3—შედუღების ნაკერი; 4—ნივნივებში ჩასატანებელი დეტალი; 5—ნივნივი; 6—გრძივის ჩასატანებელი საყრდენი დეტალი; 7—ხვრელი.

3 მ სიგანის პანელები 1,5 მ-იანზე უფრო ეკონომიურია (უფრო მსუბუქიც).

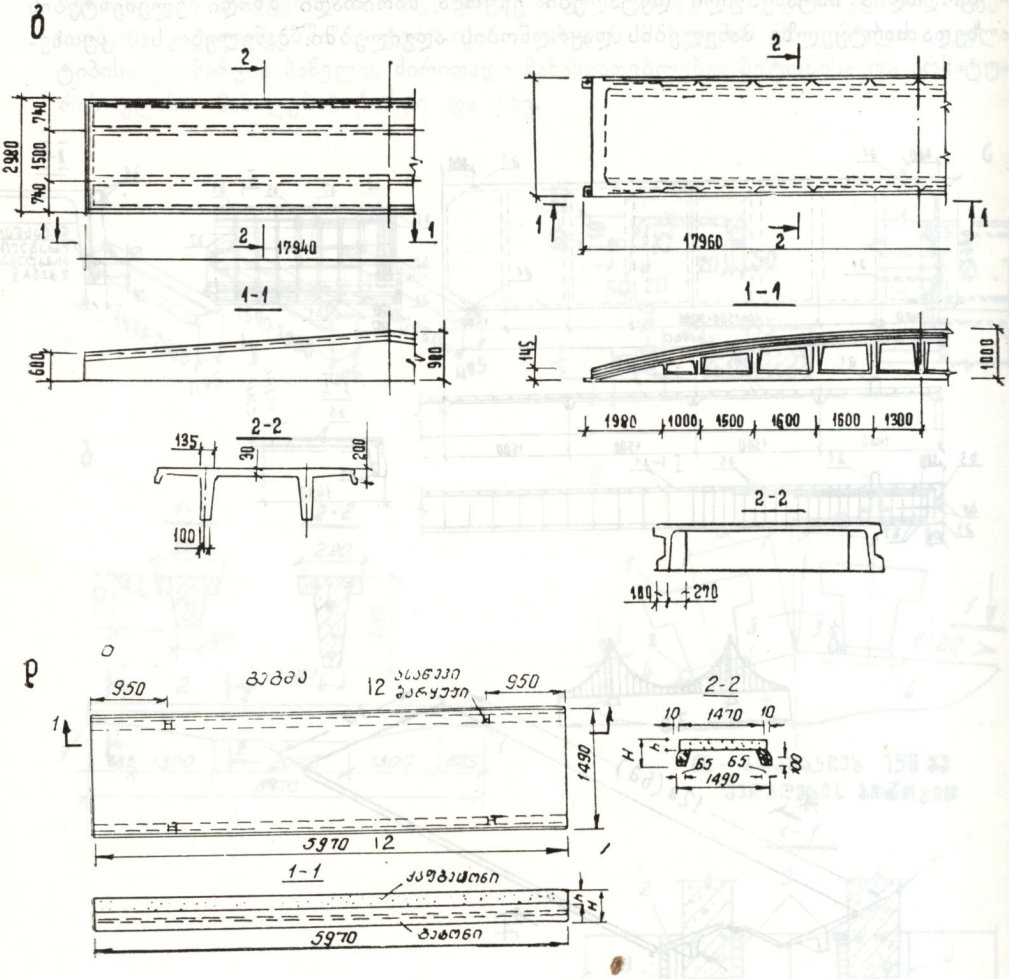
ძირითად მზიდ ელემენტებზე დაყრდნობისა და დამაგრებისათვის პანელებს უკეთდება ფოლადის ჩატანებული საყრდენი დეტალები. თავის მხრივ, ფოლადის ჩატანებული დეტალები ეწყობა ძირითადი მზიდი ელემენტების ზედა სარტყელზე პანელების დაყრდნობის ადგილებში. პანელები სამ კუთხე-







ნახ. XIII.5. სიბრტყითი კონსტრუქციული სისტემის უგრძივებო სახურავის წიბოვანი პანელები: ა—რკინაბეტონის, ვარცლისებრი კვეთის; ბ—შეწუვილებული ტესებრი კვეთის;



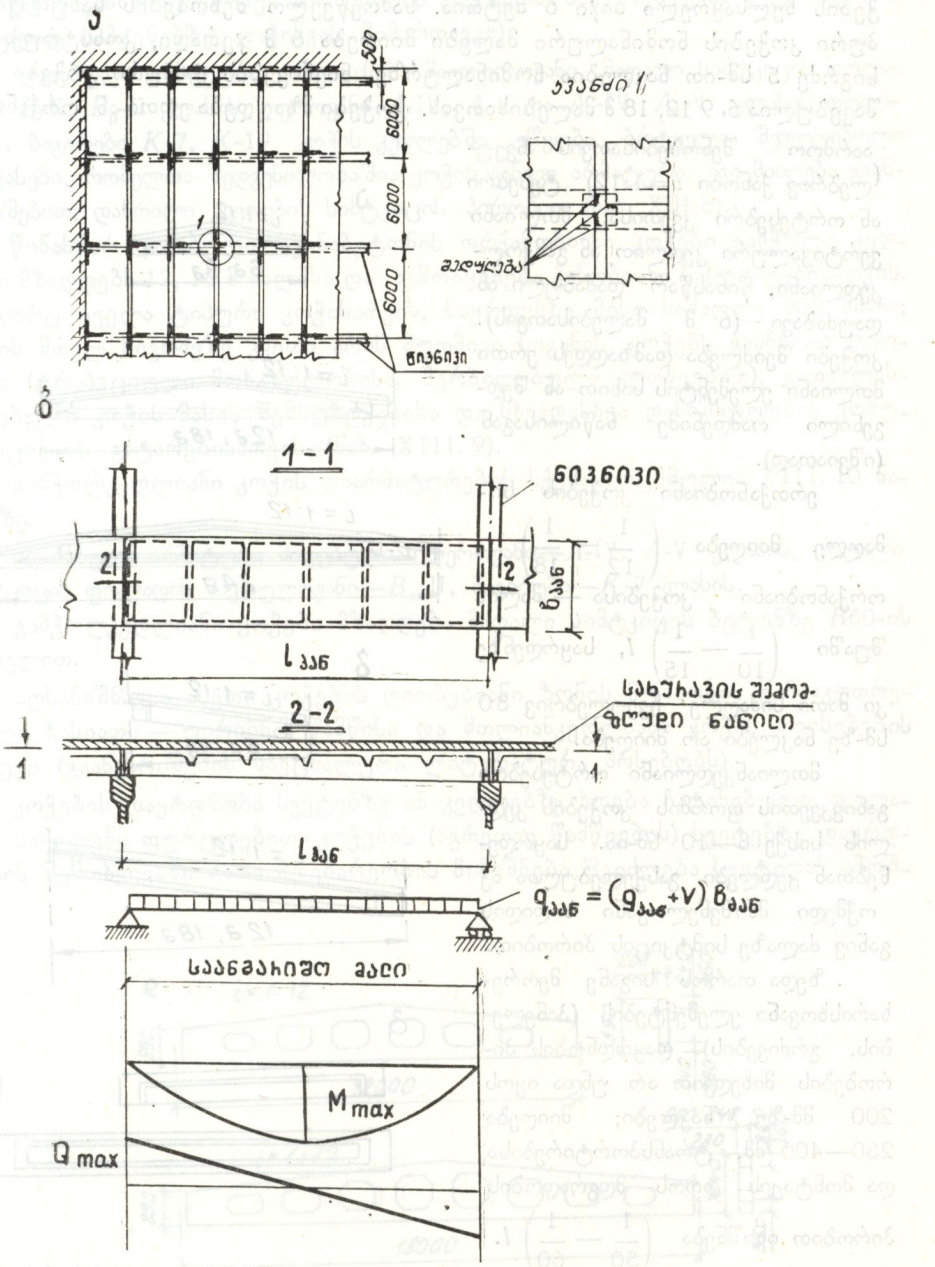
ნახ. XIII.5. (გაგრძელება). გ—რკინაბეტონის, ორქანობიანი; დ—რკინაბეტონის, სეგმენტური; ე—კომპლექსური.

ზე შედუღების ნაკერით უერთდება ძირითად მზიდ ელემენტებს (ნახ. XIII.6).

პანელებს შორის ღრეჩოები უნდა შეივსოს დუღაბით, რომლის მარკა 100-ზე ნაკლები არ უნდა იყოს.

სახურავის პანელის საანგარიშო სქემა (ნახ. XIII.6) წარმოადგენს ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე კოჭს, რომელიც დატვირთულია თანაბრად განაწილებული მუდმივი და დროებითი დატვირთვებით. მუდმივი დატვირთვა არის სახურავის შემომზღუდი ნაწილის წონა, ხოლო დროებითი — თოვლის საფარის წონა. მუდმივი დატვირთვა განისაზღვრება სახურავის კონსტრუქცი-

ული სქემის შესაბამისად, თოვლის დატვირთვა გამოითვლება მშენებლობის რაიონის, შენობის გენერალური ზომებისა და სახურავის პროფილის მიხედვით.



ნახ. XIII.6. ა—წიბოვანი პანელების ნივნივებზე დამაგრების სქემა. ბ—პანელის საანგარიშო სქემები.

§ 3. კოჭები

რკინაბეტონის კოჭებს ნივნივებად იყენებენ ჩვეულებრივ 18 მ-მდე მალებისათვის. საშუალო სიდიდის დატვირთვაზე მთლიანკედლიანი კოჭი შეიძლება ხელსაყრელი აღმოჩნდეს 24 მ მალისთვისაც (ნახ. XIII.7). სახურავის კოჭების ხელსაყრელი ბიჯი 6 მეტრია. სამრეწველო შენობების სახურავის ტიპური კოჭების ნომინალური მალები მიიღება 6 მ ჯერადი, კონსტრუქციული სიგრძე 5 სმ-ით ნაკლებია ნომინალურზე. ნივნივების ტიპური კოჭები დამუშავებულია 6, 9 12, 18 მ მალებისათვის. კოჭები მზადდება ერთი ან ორქანობიანი

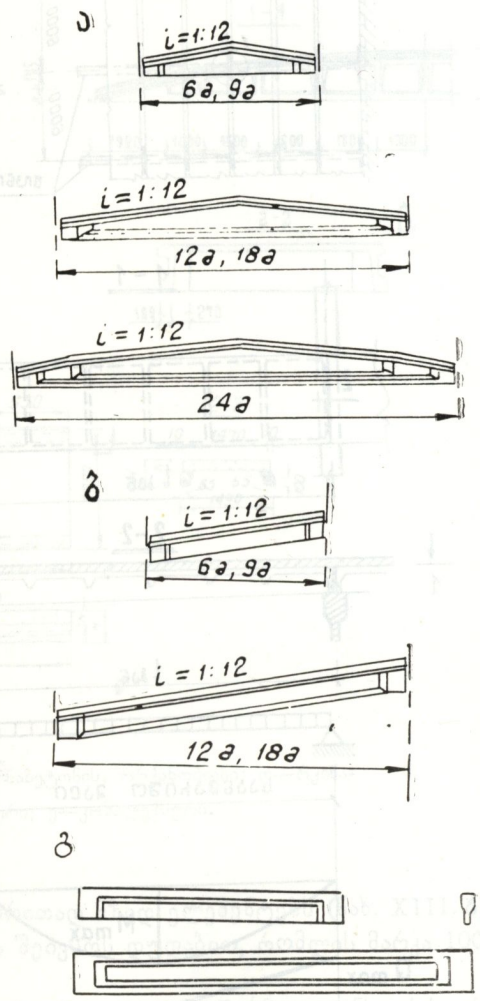
აარმოო შენობებისათვის ჩვეულებრივ ქანობი ($i=1:12$) ტესებრი ან ორტესებრი კვეთისა, მთლიანი ვერტიკალური კედლით ან გამჭოლკედლიანი, წინასწარ დაძაბული ან დაუძაბავი (6 მ მალებისათვის). კოჭები შეიძლება დამზადდეს ერთი მთლიანი ელემენტის სახით ან შედგენილი რამდენიმე ნაწილისაგან (იშვიათად).

ერთქანობიანი კოჭების სიმაღლე მიიღება $\left(\frac{1}{12}-\frac{1}{18}\right)l$, ორქანობიანი კოჭებისა — მალის შუაში $\left(\frac{1}{10}-\frac{1}{15}\right)l$, საყრდენზე კი მათი სიმაღლე ჩვეულებრივ 80 სმ-ზე ნაკლები არ მიიღება.

მთლიანკედლიანი ორტესებრი განივკვეთის ფორმის კოჭების კედლის სისქე 8—10 სმ-ია. საყრდენებთან კედლები გასქელებულია აქ ოქმედი მნიშვნელოვანი სიდიდის განივ ძალაზე სიმტკიცის პირობით.

ზედა თაროს სიგანე მეორეხარისხოვანი ელემენტების (პანელების, გრძივების) დაყრდნობის პირობების მიხედვით არ უნდა იყოს 200 მმ-ზე ნაკლები; მიიღება 250—400 მმ, ტრანსპორტირებისა და მონტაჟის დროს მდგრადობის პირობით ინიშნება $\left(\frac{1}{50}-\frac{1}{60}\right)l$.

ქვედა თაროს სიგანე არმატურის განლაგების პირობით ინიშნება 280—250 მმ.



ნახ. XIII.7. სახურავის ნივნივი—კოჭების სახეობები: ა—მთლიანკედლიანი, ორქანობიანი; ბ—მთლიანკედლიანი, ერთქანობიანი; გ—მთლიანკედლიანი, ბრტყელი (უქანობო).

კოჭების მასა შეადგენს: ≈1,2 ტ—6 მ მალის, 2,2—2,75 ტ—9 მ, 4—5 ტ —12 მ, 8—12 ტ—18 მ მალებისათვის.

სახურავის წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის მთლიანკედლიანი კოჭებისათვის მიღებულია *B*25—*B*40 ბეტონის კლასი. კოჭების წინასწარი დაძაბვა შეიძლება განხორციელდეს არმატურის დაჭიმვით საბჯენებზე ან ბეტონზე (ძირითადად საბჯენებზე დაჭიმვას მიმართავენ).

დაძაბული არმატურა გამოიყენება მავთულოვანი მაღალი სიმტკიცის ფოლადისა *B*-II, B_p-II კლასის, ღეროვანი *A*-IV, *A*-V და $A_т$-IV, $A_т$-V კლასის ფოლადისა, ბაგირები *K*-7, *K*-19. კოჭის კედლებში ეწყობა ბრტყელი შედუღებული კარკასები, რომელთა შედგენილობაშია კოჭის განივი არმატურა; იგი მიიღება გაანგარიშებით, დახრილი კვეთების სიმტკიცის პირობით (ნახ. XIII.8).

წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ორქანობიანი კოჭები გამჭოლი კედლით მზადდება 12, 18 მ მალისა და გამოიყენება ქანობიანი სახურავებისათვის. როგორც ყველა ტიპური კოჭისათვის, საყრდენზე მისი სიმაღლე 900 მმ-ია; კოჭის მთელ სიგრძეზე კვეთი არის მუდმივი სიგანის. კოჭებს გააჩნიათ ღიობები (ტრაპეციული მოხაზულობისა, შერბილებული კუთხეებით), გათვალისწინებული კოჭის მასის შემსუბუქებისა და სხვადასხვა დანიშნულების კომუნიკაციების გატარებისათვის (ნახ. XIII. 9).

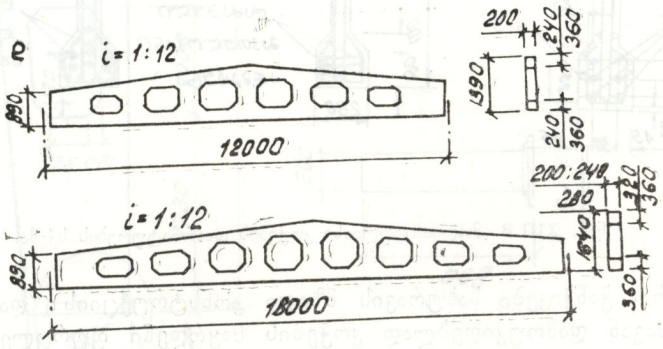
გამჭოლკედლიანი კოჭის დაარმატურების სქემა მოცემულია XIII. 10 ნახაზზე.

დაძაბული არმატურა მიღებულია: ღეროვანი—*A*-IV, *A*-V კლასის, მაღალი სიმტკიცის ფოლადის მავთულოვანი—B_p-II, ბაგირები—*K*-7 კლასის.

გამჭოლკედლიანი კოჭები მზადდება მაღალი სიმტკიცის ბეტონზე *B*60-ის ჩათვლით.

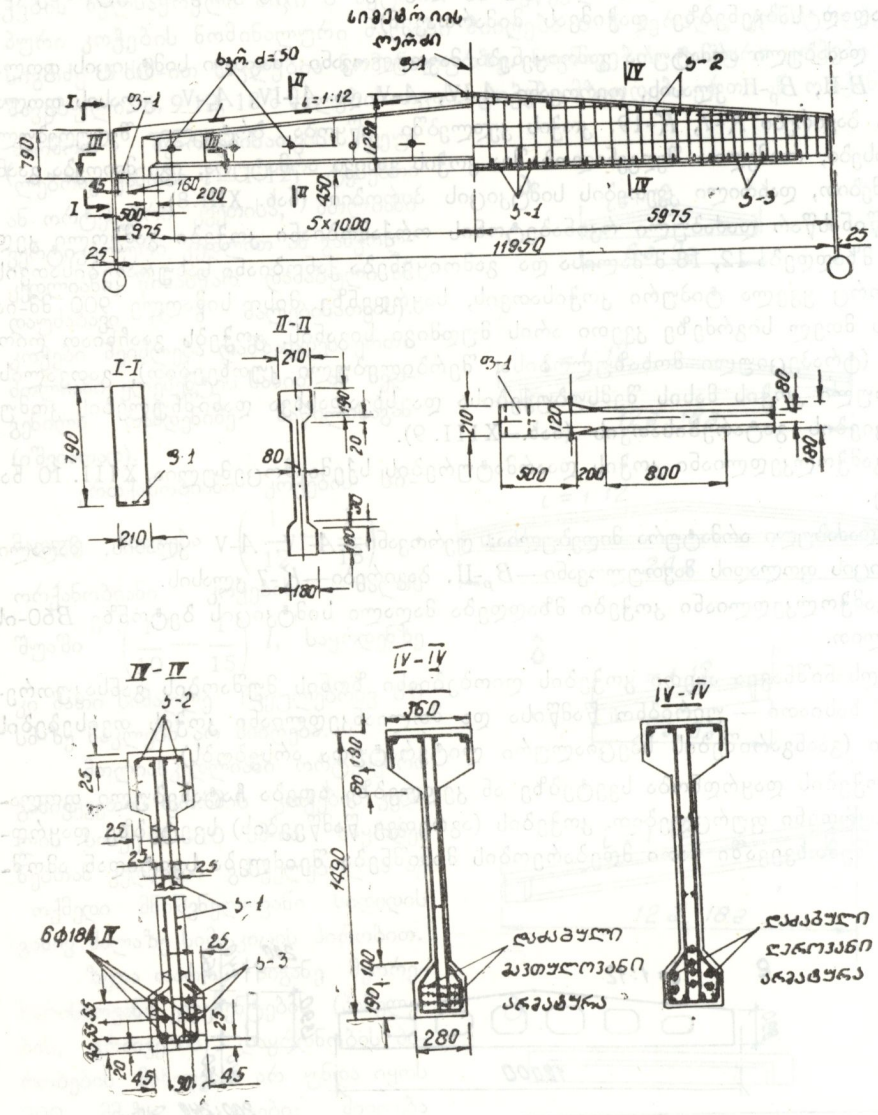
აღსანიშნავია ასეთი კოჭების ღიობებიანი ზონის მუშაობის განსაკუთრებული ხასიათი — უირიბნო წამწისა და მთლიანკედლიანი კოჭის თვისებების ნარევი (გაანგარიშების სპეციალური ლიტერატურა არსებობს).

კოჭების დაყრდნობა სვეტებზე ან კედლებზე ხდება ჩატანებული ფოლადის საყრდენი ფურცლებით. კოჭების (აგრეთვე წამწეების) სვეტებზე დაყრდნობის შემთხვევაში მათი მდებარეობის მინიშნება შეიძლება სვეტიდან ამოშ-



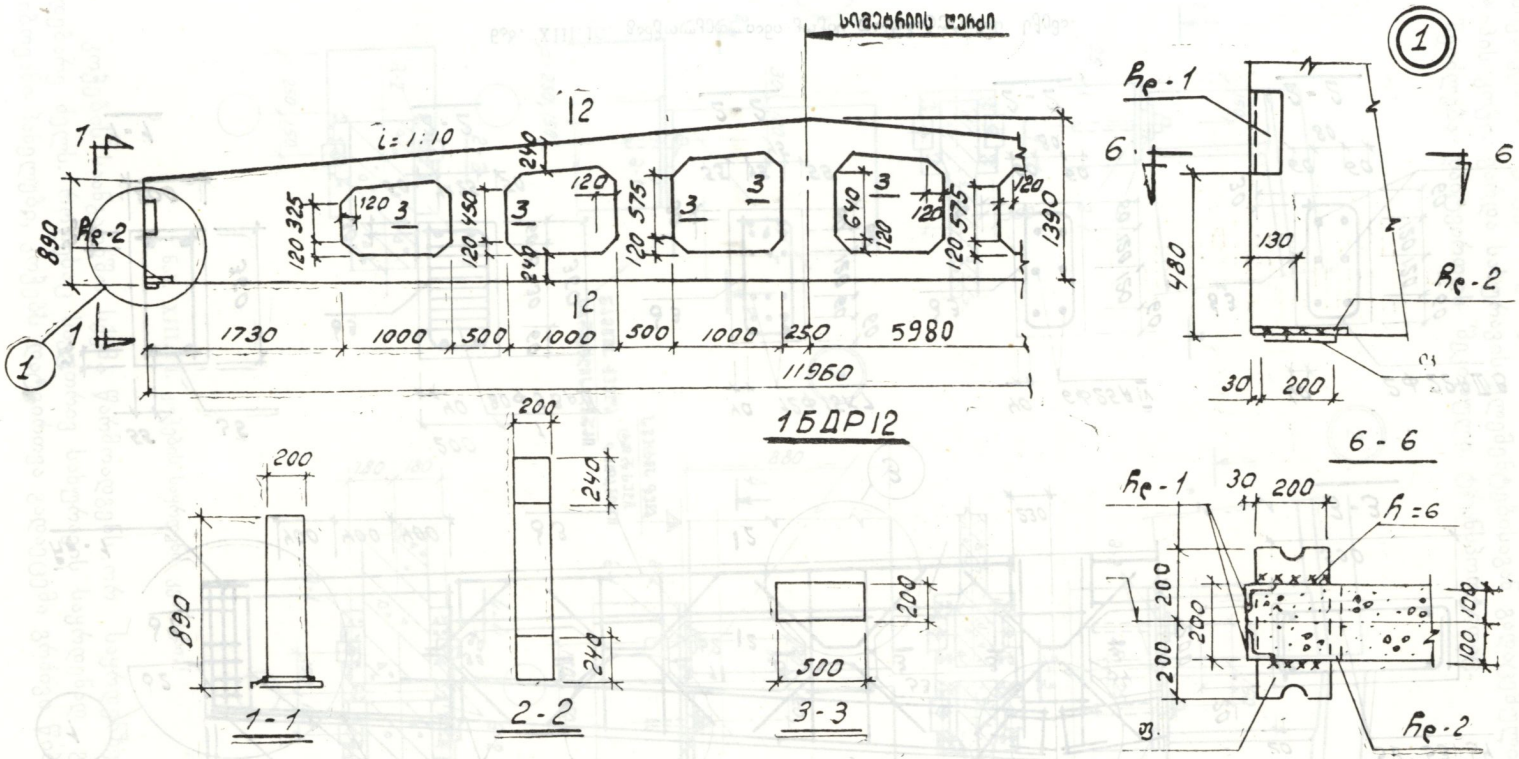
ნახ. XIII.7. დ—გამჭოლკედლიანი.

ვერილი საანკერო ჭანჭიკების საშუალებით. ანკერების განლაგება ერთნაირია ყველა სახის კოჭების, წამწეების ან კამარებისათვის და მიიღება 260 მმ და 360 მმ მანძილებზე. როდესაც კოჭები ეყრდნობა ქვის კედლებს, კედლებზე ეწყობა რკინაბეტონის საყრდენი ბალიშები, რომლებშიც ჩატანებული იქნე-

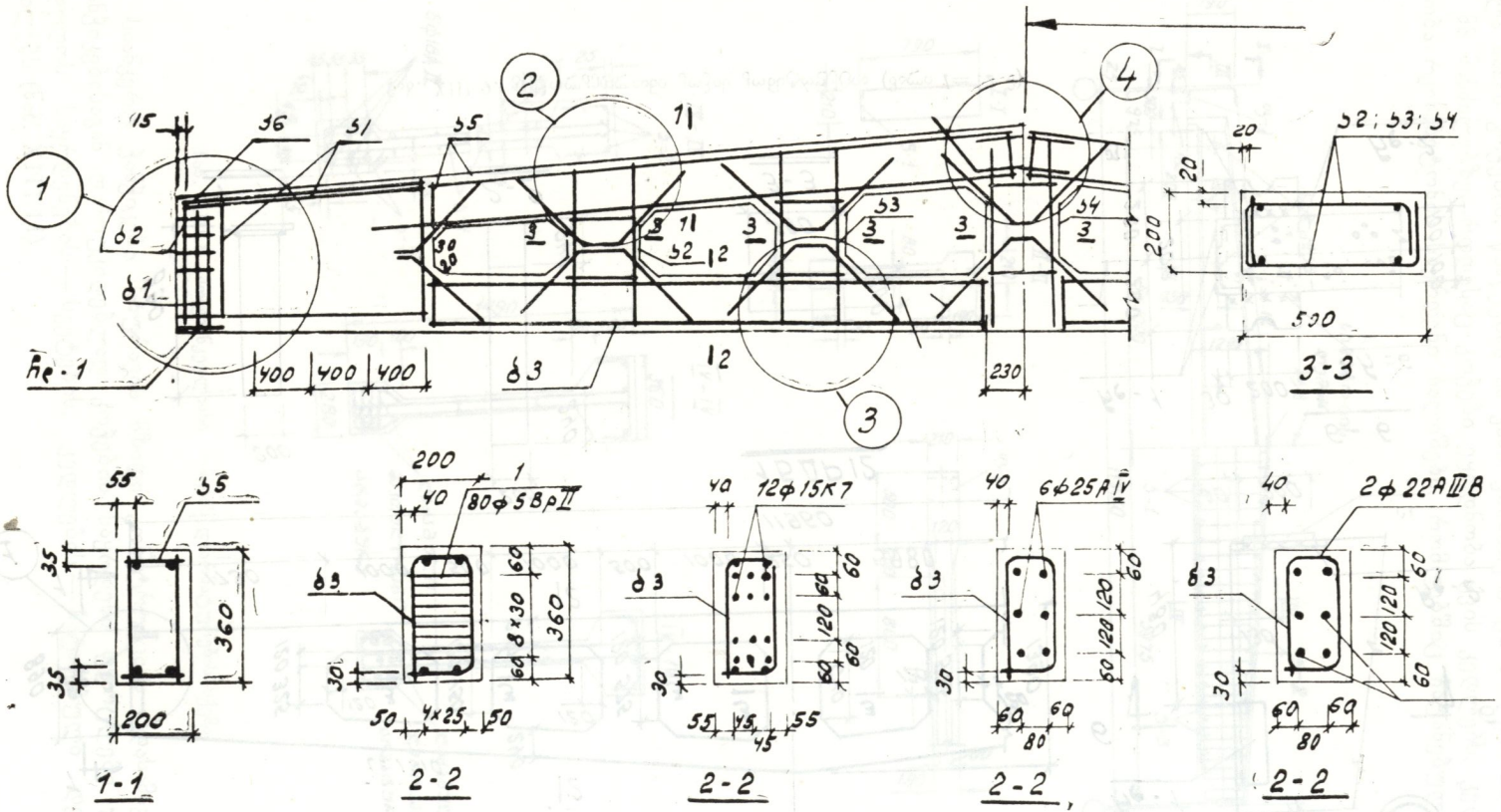


ნახ. XIII.8. მთლიანკედლიანი კოჭების დაარმატურების სქემა.

ბა საანკერო ჭანჭიკები სახურავის მზიდი კონსტრუქციის დასამაგრებლად. ჭანჭიკებისაგან დამოუკიდებლად კოჭების საყრდენი ფურცლები უნდა მიედუღოს საყრდენების — სვეტების, კედლების — ჩატანებული დეტალების ფილებს (ნახ. XIII.11).

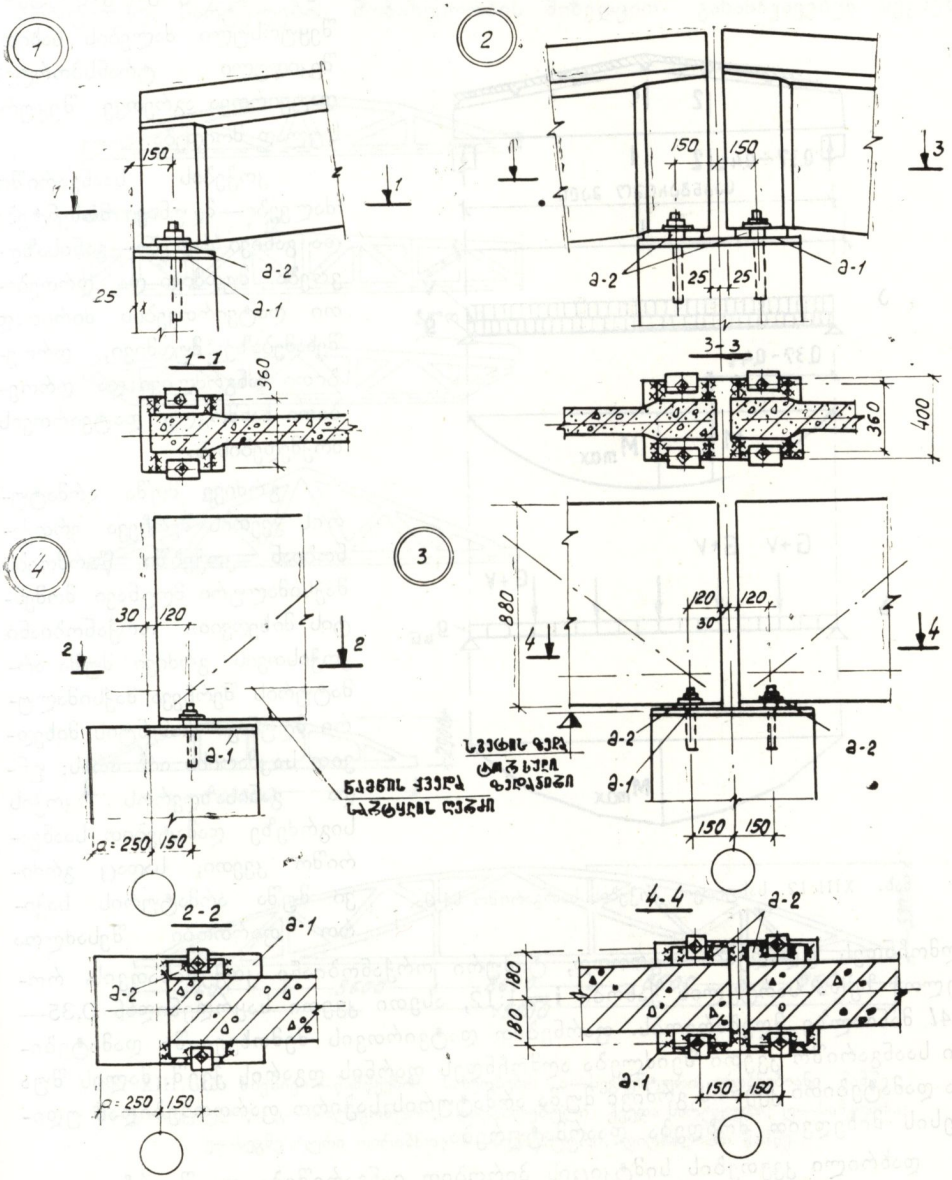


ნახ. XIII.9. გამჭოლკედლიანი კოჭის კონსტრუქცია (მალი l=12 მ).



ნახ. XIII.10. გამჭოლკედლიანი კოშის დაარმატურების სქემა.

ნივნივების — კოჭების გაანგარიშებისას გასათვალისწინებელია, რომ ყველა ტიპის კოჭი, გარდა სახურავის ელემენტებისაგან გადაცემული დატვირთვისა, შეიძლება დაიტვირთოს შეკიდული ტრანსპორტითაც.

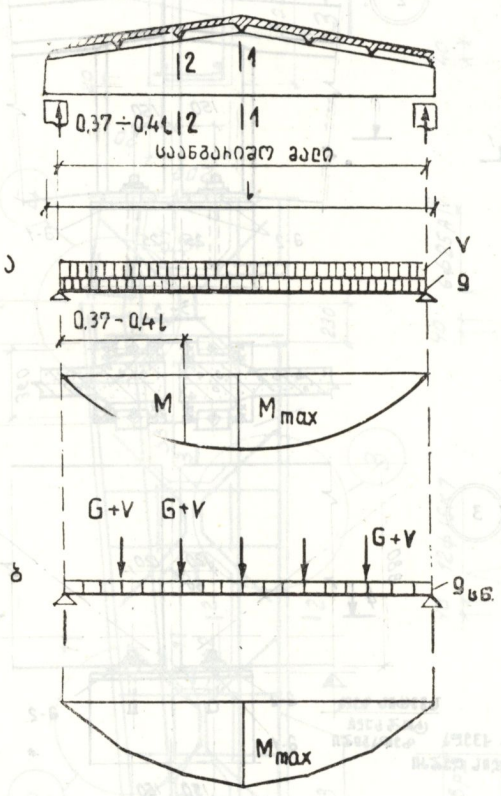


ნახ. XIII.11. კოჭების საყრდენი კვანძები.

კოჭების საანგარიშო სქემა წარმოადგენს ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე ძელს. როდესაც საკუთრივ სახურავის საყრდენად გამოყენებულია წიბოვანი პანელები, კოჭებს დატვირთვა გადაეცემა გრძივი წიბოებისაგან შე-

ყურსული ძალების სახით. თუ ასეთი შეყურსული ძალების რაოდენობა კოჭის მალში აღემატება ხუთს, დატვირთვა შეიძლება მივიჩნიოთ თანაბრად განაწილებულად.

სახურავიდან შენობის ზედა განათებისა და (ან) აერაციის საჭიროებისათვის ფარნის მოწყობის შემთხვევაში, დატვირთვა ფარნიდან კოჭს გადაეცემა შეყურსული ძალების სახით. შეკიდული ტრანსპორტის დატვირთვა აგრეთვე შეყურსულად მოიდება.



ნახ. XIII.12. სახურავის კოჭების საანგარიშო სქემა.

კოჭების საანგარიშო ძალვები — მღუნავი მომენტები და განივი ძალები — განისაზღვრება მუდმივი და დროებითი დატვირთვების ძირითად შეხამებაზე: მუდმივი, დროებითი ხანგრძლივი და დროებითი ხანმოკლე დატვირთვის მოქმედებისას.

გრძივი მუშა არმატურის კვეთის შერჩევა ერთქანობიან კოჭებში წარმოებს მაქსიმალური მღუნავი მომენტის მიხედვით. ორქანობიანი კოჭისთვის გრძივი მუშა არმატურის შერჩევა მაქსიმალური მღუნავი მომენტის მიხედვით საკმარისი არ არის; უნდა განისაზღვროს კოჭის სიგრძეზე დამატებით საანგარიშო კვეთი, სადაც გრძივი მუშა არმატურის საჭირო ფართობი შესაძლოა აღმოჩნდეს უდიდესი. საერთოდ, ტიპური ორქანობიანი კოჭებისათვის, რომელთა ზედა სარტყლის ქანობი $i = 1:12$, ასეთი კვეთი საყრდენიდან $0{,}35—0{,}4l$ მანძილზე მდებარეობს. ფარნებით დატვირთვის შემთხვევაში დამატებითი საანგარიშო კვეთი შეიძლება აღმოჩნდეს ფარნის დგარის ქვეშ. მალის შუა და დამატებითი კვეთის გრძივი მუშა არმატურის საჭირო ფართობებიდან უდიდესის მიხედვით მოხდება დაარმატურება.

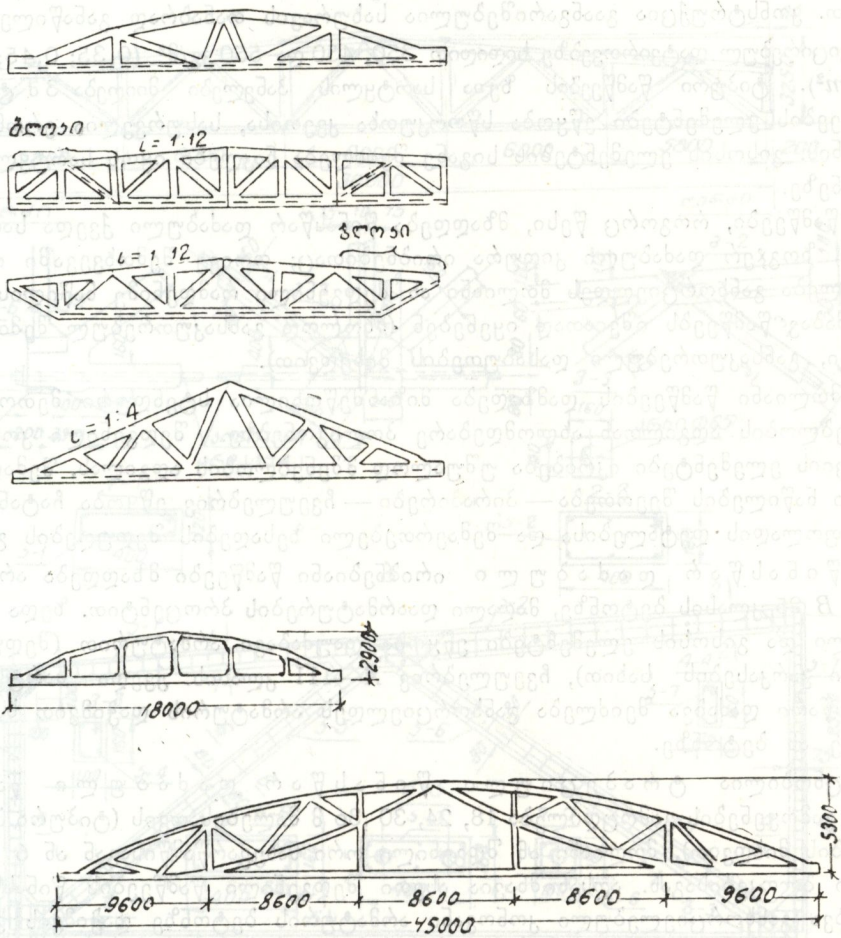
დახრილი კვეთების სიმტკიცის პირობით იანგარიშება და შეირჩევა კოჭის განივი არმატურა, რომელიც შედის ვერტიკალური კარკასების შედგენილობაში.

კონსტრუქციის ბზარმედეგობის მოთხოვნათა კატეგორიის მიხედვით უნდა ჩატარდეს გაანგარიშება ბზარმედეგობასა და დეფორმაციებზე.

§ 4. წამწეები

სახურავის ძირითადი მზიდი ელემენტების სახით წამწეების გამოყენება ხელსაყრელია 18—36 მ მალებისათვის.

რკინაბეტონის წამწეების მოხაზულობა დამოკიდებულია სახურავის პროფილზე. სარტყლების მოხაზულობის მიხედვით განასხვავებენ სეგმენ-



ნახ. XIII. 13. ნივნივი—წამწეების სახეობები: ა—სეგმენტური, ორიბნებიანი წამწე; ბ—ტრაპეციული; გ—პოლიგონური; დადაბლებული ქვედა სარტყლით; დ—სამკუთხა; ე—სეგმენტური ჟირიბნო; ზ—სეგმენტური, დიდმალიანი წამწე.

ტურ, ტრაპეციულ, პარალელურსარტყლებიანსა და სამკუთხა წამწეებს (ნახ. XIII.13). ერთნაირი ბეტონის პირობებში უველაზე მიზანშეწონილია სეგმენტური წამწეები მრუდი ან ტეხილი ზედა სარტყლით. სეგმენტური წამწეების გისოსის ელემენტებში მოქმედებენ უმნიშვნელო სიდიდის ძალვები, სარტყლების პანელებში წარმოქმნილი ძალვები კი თითქმის თანაბარია. სეგმენ-

ტური წამწეების წონა სხვა მოხაზულობის წამწეებთან შედარებით ნაკლებია; სიმაღლე საყრდენებზე მცირეა, ამის გამო მათი გამოყენების დროს საჭიროა შენობის კედლების ნაკლები სიმაღლე. სამრეწველო შენობებისათვის სეგმენტური წამწეები მიღებულია როგორც ტიპური.

წამწეების გისოსი შეიძლება იყოს ირიბნებიანი და უირიბნო.

დამუშავებულია ტიპური ასაწყობი რკინაბეტონის წამწეების სახეობები ირიბნებიანი და უირიბნო გისოსით 18, 24,30 მ მალებისათვის, 6 და 12 მ ბიჯით. კონსტრუქცია გაანგარიშებულია სახურავის თანაბრად განაწილებულ უნიფიცირებულ დატვირთვებზე სიდიდით 350, 450 და 550 კგ/მ² (0,35; 0,45; 0,55 kN/m^2). ტიპური წამწეების ზედა სარტყლის პანელები მიიღება 3 მ ტოლი წამწეების ელემენტები ეწყობა სწორკუთხა კვეთისა, სასურველია ერთნაირი სიგანის. გისოსის ელემენტების სიგანე შეიძლება ნაკლები იყოს სარტყლების სიგანეზე.

წამწეები, როგორც წესი, მზადდება წინასწარ დაძაბული ქვედა სარტყლით, ზოგჯერ დაძაბული კიდურა ირიბნებითაც; ორივე შემთხვევაში ისინი შეიძლება განხორციელდეს მთლიანი ან შედგენილი რამდენიმე ნაწილისაგან. დაუძაბავ წამწეებს იშვიათად იყენებენ (მხოლოდ განსაკუთრებულ შემთხვევებში, განსაკუთრებული დასაბუთების მიხედვით).

მთლიანი წამწეების დამზადება მიზანშეწონილია სტენდური მეთოდით მშენებლობის ადგილთან ახლომდებარე პოლიგონებზე. შედგენილი კონსტრუქციის ელემენტები იკრიბება უშუალოდ მშენებლობის ადგილას. შემადგენელი ნაწილების შეერთება — პირაპირები — ჩვეულებრივ ეწყობა ჩატანებული ფოლადის დეტალებისა და შემაერთებელი ზესადების შედუღების გზით.

წ ი ნ ა ს წ ა რ დ ა ძ ა ბ უ ლ ი ირიბნებიანი წამწეები მზადდება არანაკლებ *B* 25 კლასის ბეტონზე, მაღალი დაარმატურების პროცენტით. ზედა სარტყელი და გისოსის ელემენტები ეწყობა დაუძაბავი არმატურით (შედუღებული კარკასების სახით), ჩვეულებრივ *A*—III კლასის. ქვედა სარტყლის წინასწარი დაძაბვა შეიძლება განხორციელდეს არმატურის დაჭიმვით საბჯენებზე ან ბეტონზე.

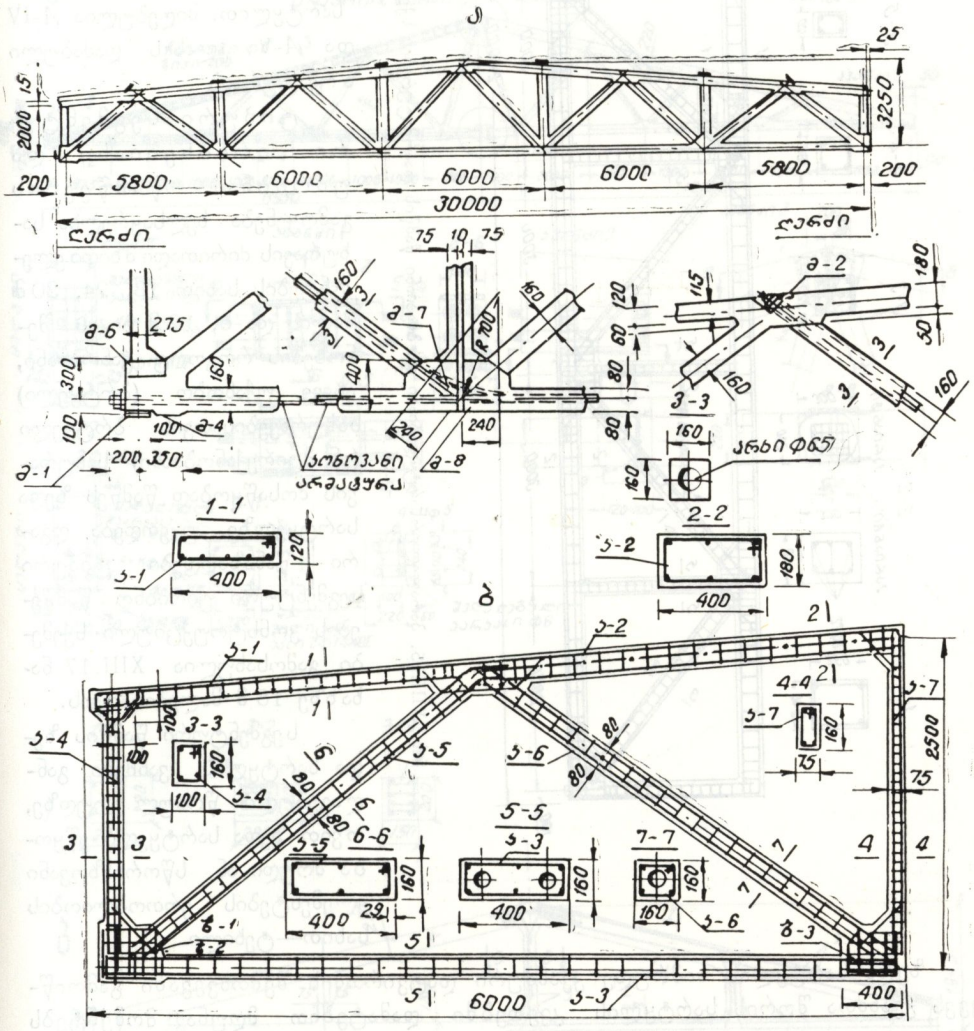
ც ნ ო ბ ი ლ ი ა ტ რ ა პ ე ც ი უ ლ ი წ ი ნ ა ს წ ა რ დ ა ძ ა ბ უ ლ ი წამწეების გამოყენების გამოცდილება 18, 24, 30 ,36 მ მალებისათვის (ტიპური პროექტების მიხედვით), მთლიანი ან შედგენილი ორი ნახევარწამწისაგან ან 6 მეტრიანი ბლოკებისაგან. აღსანიშნავია ასეთი შედგენილი წამწეების წინასწარი დაძაბვა განხორციელებული კონოვანი არმატურის ბეტონზე დაჭიმვის გზით (ნახ.XIII.14).

ტრაპეციული წამწეების ირიბნებიანი გისოსი შესამჩნევად მძლავრია, საჭიროებს მასალების მეტ ხარჯს სხვა ტიპის წამწეებთან შედარებით. კონსტრუქციის გართულებას იწვევს გისოსის ზოგიერთი ელემენტის წინასწარი დაძაბვის საჭიროებაც (მაგალითად, მნიშვნელოვანი გამჭიმი გრძივი ძალების წარმოქმნის გამო საყრდენ დალმავალ ირიბანში).

პ ა რ ა ლ ე ლ უ რ ს ა რ ტ ყ ლ ე ბ ი ა ნ წამწეებს 18—24 მ მალებისათვის, ირიბნებიანი თუ უირიბნო გისოსით, ნივნივებად ძირითადად იყენებენ ბრტყელი სახურავისათვის. წინასწარი დაძაბვა ხდება არმატურის დაჭიმვით საბჯენებზე. იძაბება ქვედა სარტყელი, მაგრამ ირიბნებიან პარალელურსარ-

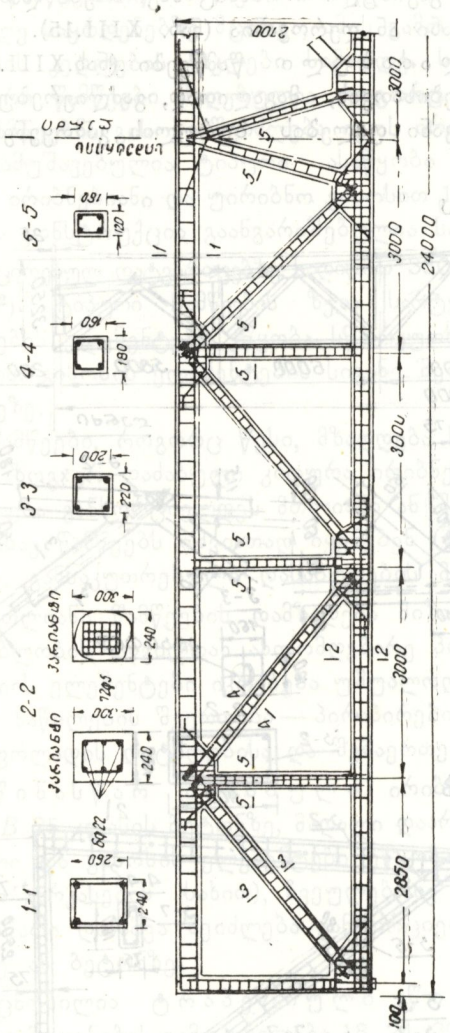
ტყლებიანი წამწის საყრდენი კვანძის გაჭიმული ირიბანაც საჭიროებს დაძაბვას. დაძაბული არმატურა მავთულოვანი ან ღეროვანია (ნახ. XIII.15).

სამკუთხა წინასწარ დაძაბული წამწეები (ნახ.XIII.16) ხელსაყრელია დიდქანობიანი სახურავებისათვის, მაგალითად, გაძლიერებული პროფილის აზბესტცემენტის ტალღოვანი ფილების ბურულის გამოყენების



ნახ. XIII.14. ბლოკებისაგან შედგენილი ტრაპეციული წამწე: ა—კონსტრუქცია; ბ—ბლოკის დაარმატურება.

შემთხვევაში. ზედა სარტყლის ქანობი მიიღება 1:4. დამუშავებულია სამკუთხა უირიბნო ტიპური წამწეების სახეობები მალებისათვის 6, 9, 12, 18, მ; 6 მ მალის სამკუთხა წამწეები დაუძაბავია, 9 მ მალის წამწეების ტიპური პრო-



ნახ. XIII.15. პანელურსარტყლებიანი ირიბნებიანი წამწის დაარმატურების სქემა.

ექტი შედგენილია ორ ვარიანტად—ქვედა სარტყლის წინასწარი დაძაბვით და დაუძაბავად. 12 და 18 მ მალის წამწეები დამუშავებულია წინასწარ დაძაბული ქვედა სარტყლით. მიღებულია A-IV და A-V კლასის დაძაბული არმატურა.

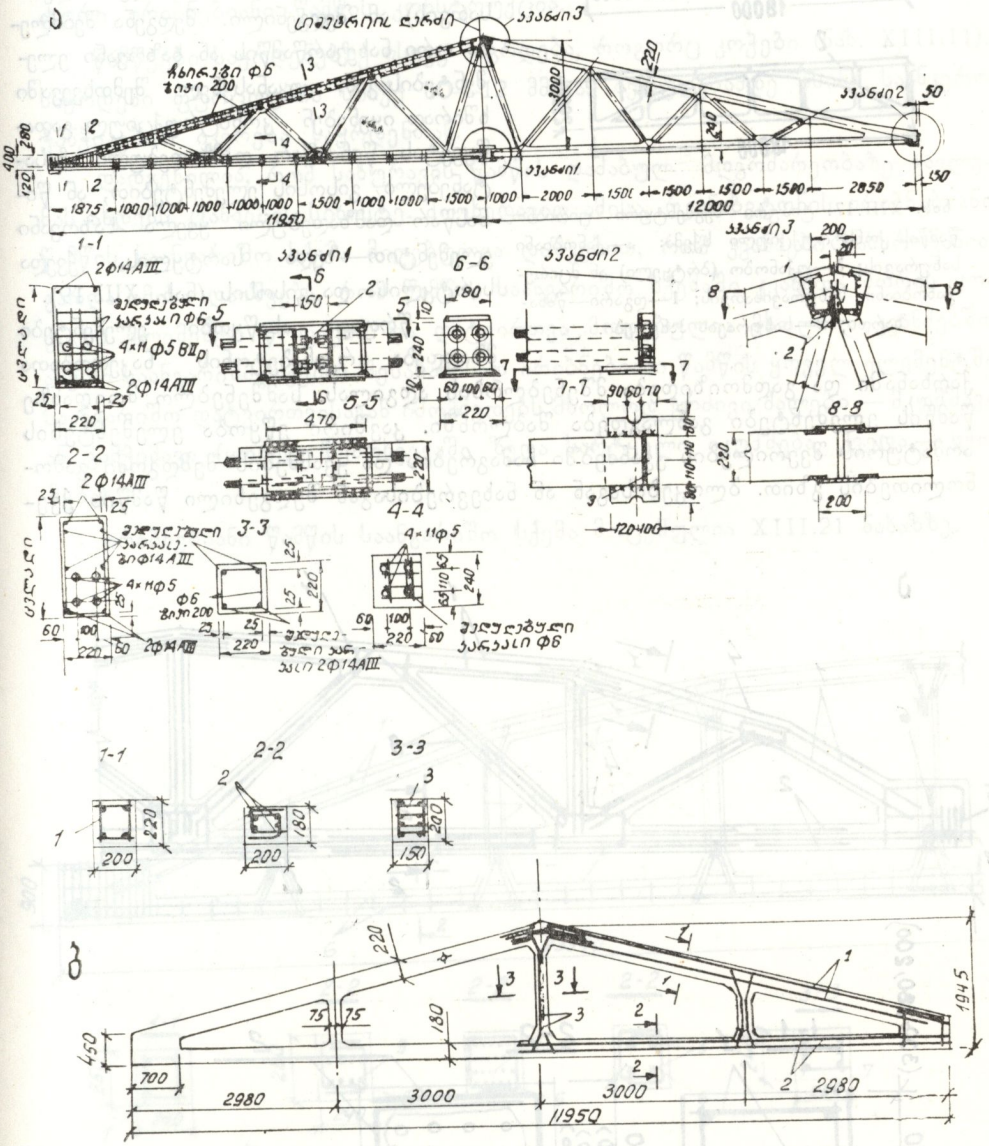
ტიპური სეგმენტური ირიბნებიანი და უირიბნო წამწეების გამოყენება ხელსაყრელია სახურავის ძირითადი მზიდი ელემენტების სახით 18, 24, 30 მ მალის და 6, 12 მ ბიჯის შენობების როგორც ქანობიანი, ასევე უქანობო (ბრტყელი) სახურავებისათვის. ბრტყელი (ან მცირექანობიანი) სახურავის მოსაწყობად წამწეს ზედა სარტყელზე უკეთდება დგარი — წანაზარდები. ტიპური სეგმენტური უირიბნო წამწეების კონსტრუქციული სქემები გამოსახულია XIII.17 ნახაზზე 18 მ მალებისათვის.

სეგმენტური წამწის ზედა სარტყლის კვანძები განლაგებულია წრიულ მრუდზე, თვით ზედა სარტყელი ეწყობა მრუდი ან სწორხაზოვანი ელემენტების ერთობლიობის სახით—ტეხილი.

ზედა სარტყლის სიმრუდე კვანძური დატვირთვის შემთხვევაში გამოიწვევს კვანძთა შორის სარტყლის კვეთებში დამატებით მღუნავ მომენტებს სარტყლის ელემენტების საანგარიშო გრძივი ძალის ექსცენტრულობის გამო.

ტიპური წამწეების ზედა სარტყლის კვანძებს შორის მანძილი მიღებულია 3 მ. ასეთ კონსტრუქციებს დატვირთვა გადაეცემა გრძივებით ან პანელებით, რომელთა ზომები და განლაგება სარტყელზე უნდა ქმნიდეს კვანძურ დატვირთვებს. კვანძთაშორისი დატვირთვა, როგორც ზედა სარტყელზე, ასევე ქვედაზე, მიზანშეწონილი არ არის — იგი იწვევს სარტყლის ელემენტების ადგილობრივ ღუნვას და რთულ წინაღობაზე მუშაობას.

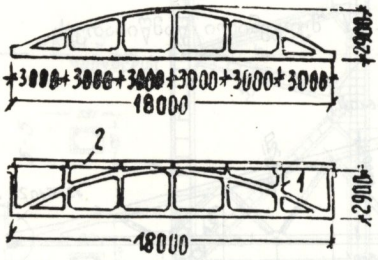
ნივნივების სეგმენტური წამწეების სიმაღლე მალის შუაში მიიღება $\left(\frac{1}{7}-\frac{1}{10}\right)l$-ის ტოლი. ზედა სარტყლის სიგანე მდგრადობის პირობით რეკომენდებულია: ტოლი $\left(\frac{1}{70}-\frac{1}{80}\right)l$ მთლიანი და $\left(\frac{1}{100}-\frac{1}{150}\right)l$ შედგენილი წამწისათვის.



ნახ. XIII.16. სამკუთხა წამწეების დაარმატურების სქემები: ა—ირიბნებიანი, ორი ნახევრისაგან შედგენილი; ბ—უირიბნო წამწე.

სეგმენტური წამწეების ქვედა სარტყლის წინასწარი დაძაბვა ჩვეულებრივ წარმოებს არმატურის დაჭიმვით საბჯენებზე. დასაძაბავად იყენებენ მაღალი სიმტკიცის მავთულოვან და ღეროვან არმატურას, ბაგირებს. არმატუ-

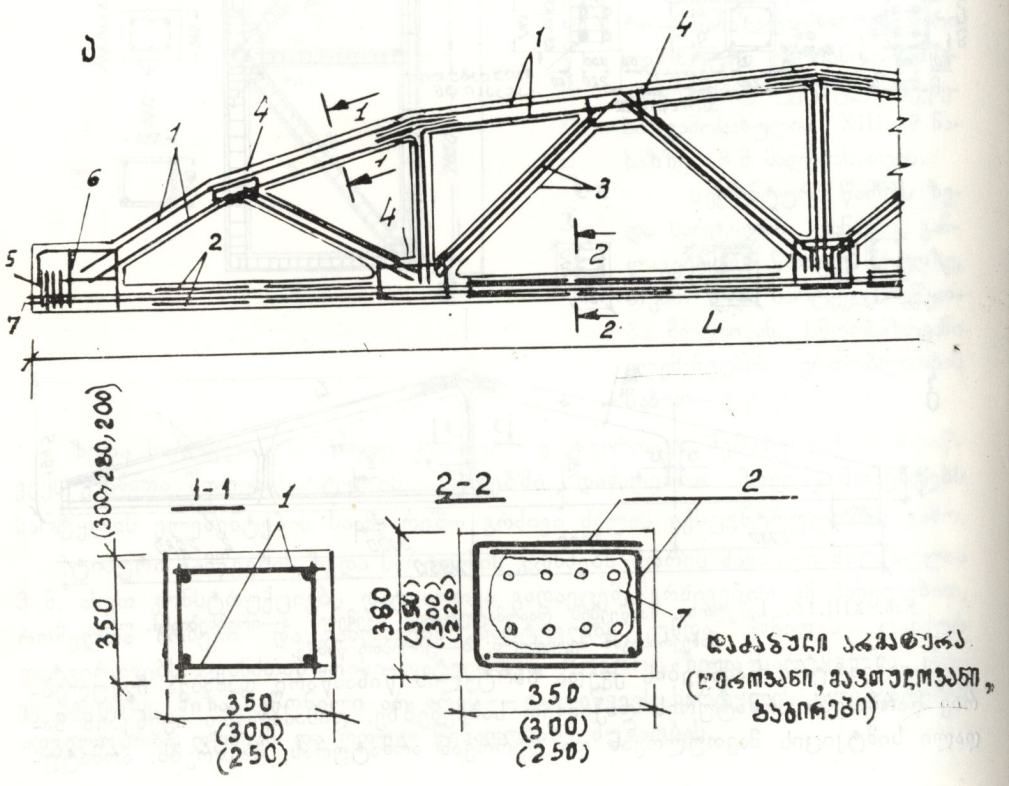
რის დაჭიმვა გათვალისწინებულია მექანიკურად ან ელექტროთერმულად. წინასწარ დაძაბული შეიძლება იყოს უირიბნო წამწის დგარებიც. სეგმენტური წამწეების დაარმატურების სქემები გამოსახულია XIII.18 ნახაზზე.



ნახ. XIII.17. ტიპური სეგმენტური უირიბნო წამწის კონსტრუქციული სქემა: ა—ქანობიანი სახურავის; ბ—უქანობო (ბრტყელი) ან მცირექანობიანი სახურავისათვის; 1—დგარი—წანაზარდი; 2—სახურავის პანელები.

სეგმენტური წამწეები შეიძლება დამზადდეს მთლიანი (24 მ-მდე მალებისათვის) ან შედგენილი. შედგენა შეიძლება ორი ნახევარწამწის ან ხაზოვანი ელემენტებისაგან. უკანასკნელ შემთხვევაში ხშირად იყენებენ კონსტრუქციულ გადაწყვეტას წინასწარ დამზადებული ჩასატანებელი გისოსის ელემენტებით, ან წინასწარ დამზადებული ყველა ხაზოვანი ელემენტით—ზედა სარტყლის, ქვედა სარტყლისა და გისოსის (ნახ. XIII.19).

წრფივი ასაწყობი ელემენტები მზადდება რკინაბეტონის ნაკეთობათა ქარხანაში და გადმოიზიდება მშენებლობის ადგილას. სამშენებლო მოედანზე წამწის ელემენტები განლაგდება შაბლონში. კავშირი ეწყობა ელემენტების არმატურის შვერილების კვანძებში ჩამაგრების და კვანძების შემდგომი გამონოლითების გზით. ბლოკებისაგან ან ნახევრებისაგან შედგენილი წამწის ქვე-



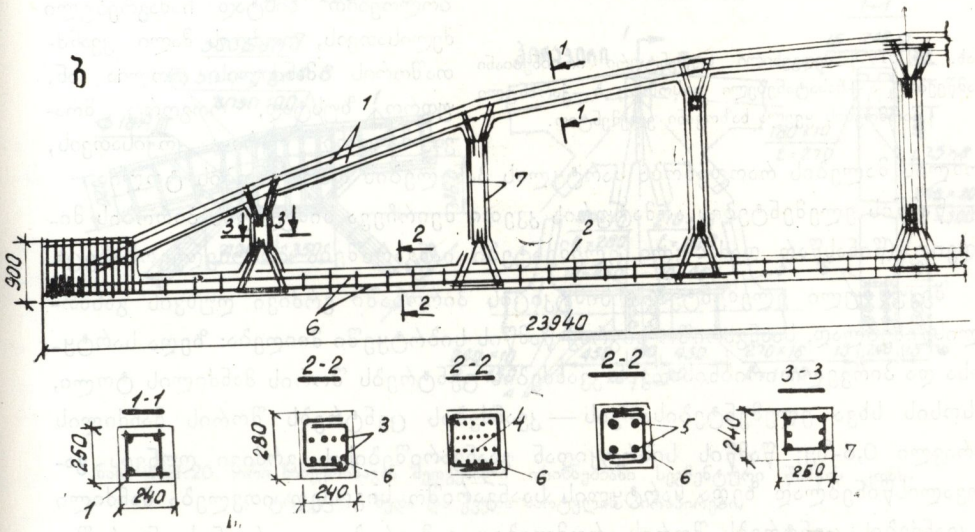
და სარტყლის პირაპირი ეწყობა კვანძებს შორის ან კვანძებში. პირაპირებს აქვს ფოლადის ჩასატანებელი დეტალები, რომელთაც ედუღება შემაერთებელი — საკუთრივ პირაპირის ელემენტები. პირაპირის გამონოლითება ხდება ცემენტის 200 მარკის დუღაბით ან წვრილშემავსებლებიანი ბეტონის ნარევით.

XIII. 20 ნახაზზე გამოსახულია ორი ნახევრისაგან შედგენილი სეგმენტური ირიბნებიანი წამწის კონსტრუქცია.

წამწეები საყრდენებზე ისევე მაგრდება, როგორც კოჭები (ნახ. XIII.11), საყრდენი ფურცლების სისქე 10—12 მმ-ია. შედუღებამდე ისინი საანკეროჭანჭიკებით იკვრება საყრდენთან.

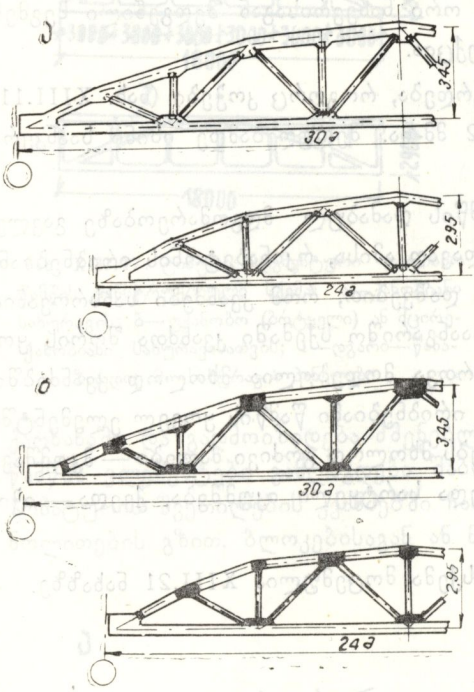
დადგენილია, რომ სახურავის წამწის დაძაბულ მდგომარეობაზე გავლენას ახდენს კვანძების სიხისტე. მიუხედავად ამისა, რკინაბეტონის ირიბნებიანი წამწის საანგარიშო სქემა მიღებულია დაშვებით, რომ კვანძები სახსროვანია. გარდა ამისა დაიშვება, რომ წამწის საანგარიშო სქემაში კვანძთა შორის ყოველი ელემენტი წრფივია და დატვირთვა მოდებულია მხოლოდ კვანძებში. ასეთი საანგარიშო სქემის შესაბამისად ირიბნებიანი წამწის ყოველ ელემენტში საანგარიშო დატვირთვისაგან იმოქმედებს მხოლოდ გრძივი ძალები — მკუმშავი ან გამჭიმავი (ყოველ შემთხვევაში ზედა სარტყელი იკუმშება, ქვედა — იჭიმება).

ირიბნებიანი წამწის საანგარიშო სქემა მოცემულია XIII.21 ნახაზზე.



ნახ. XIII.18. სეგმენტური წამწეების დაარმატურების სქემები: ა—ირიბნებიანი; ბ—უირიბნო წამწე.

წამწის ელემენტებში ძალვები განისაზღვრება მუდმივი და დროებითი კვანძური დატვირთვების მოქმედების ყოველი შესაძლო არახელსაყრელი შემთხვევისათვის ცალ-ცალკე. გაანგარიშება შეიძლება ჩატარდეს სამშენებლო მექანიკაში ცნობილი რომელიმე გრაფიკული ან ანალიზური ხერხით. საანგარიშო ძალვები (N) მიიღება მუდმივი და დროებითი დატვირთვებით გამოწვეული ძალვების შეჯამებით მათი არახელსაყრელი შეხამებისას.

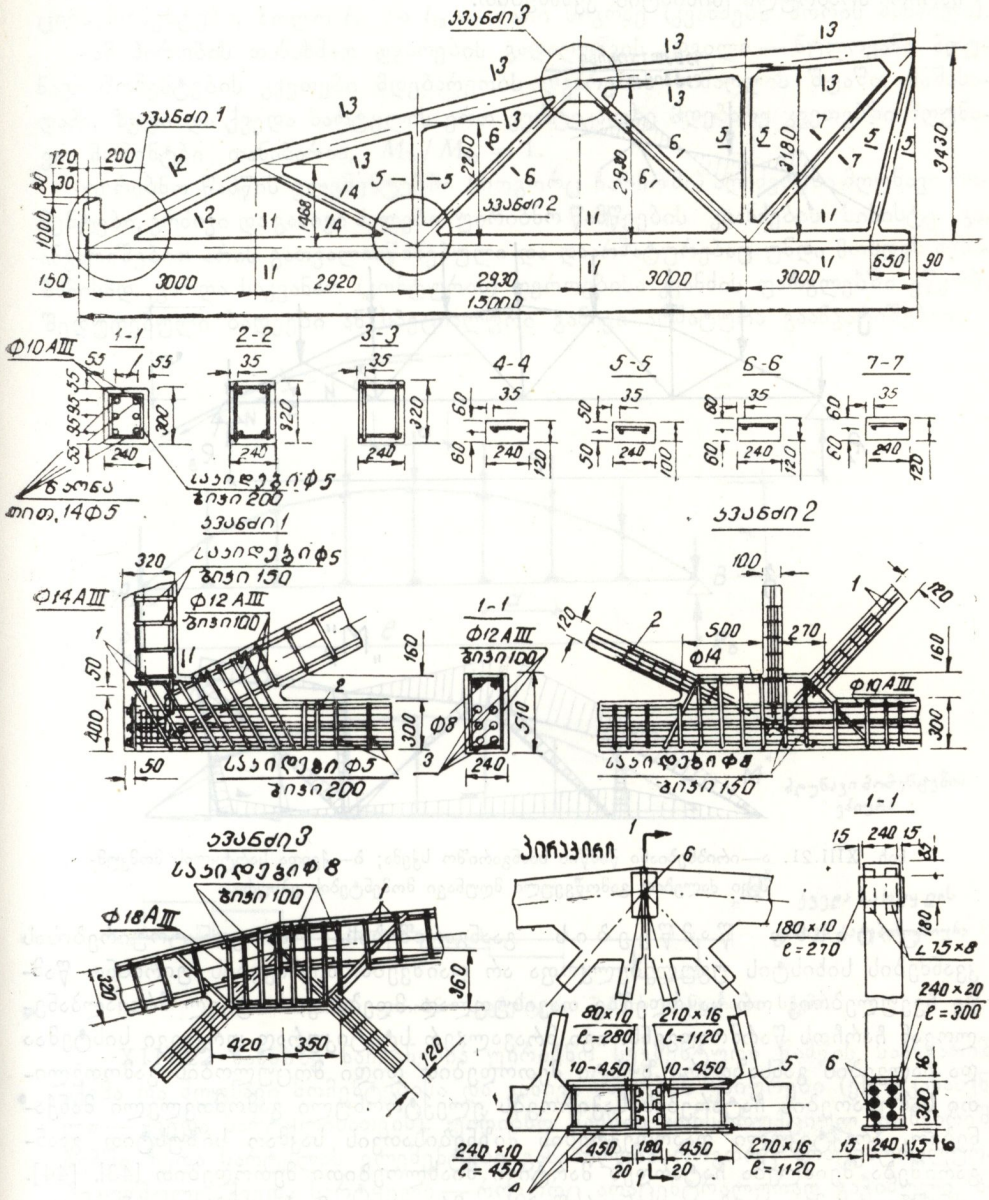


ნახ. XIII.19. შედგენილი სეგმენტური ირიბნებიანი წამწეები: ა—ჩასატანებელი გისოსით; ბ—ქარხნული წარმოების ყველა ხაზოვანი ელემენტით.

კვანძთაშორისი დატვირთვის დროს ირიბნებიანი წამწის სარტყელი, რომელზედაც მოდებულია დატვირთვა, გარდა საანგარიშო ძალვების გავლენისა, განიცდის ადგილობრივ ღუნვას კვანძთაშორის მოდებული დატვირთვისაგან, ე. ი. იმუშავებს რთულ წინაღობაზე: კუმშვა (გაჭიმვა) კვანძური დატვირთვისაგან და ღუნვა. ასეთი ელემენტების მღუნავი მომენტი კვანძთაშორისი დატვირთვისაგან მიახლოებით იანგარიშება როგორც ერთმალიანი, ბოლოებით ხისტად ჩამაგრებული ძელისათვის, რომლის მალი კვანძთაშორის მანძილის ტოლია ან, უფრო ზუსტად, როგორც მრავალმალიანი უჯრი კოჭისათვის, რომლის მალების რაოდენობა სარტყლის პანელების რაოდენობის ტოლია.

წამწის ელემენტების არმატურის კვეთი შეირჩევა სიმტკიცის პირობის მიხედვით (წინასწარ დაძაბული ელემენტები იანგარიშება ბზარმედეგობაზეც).

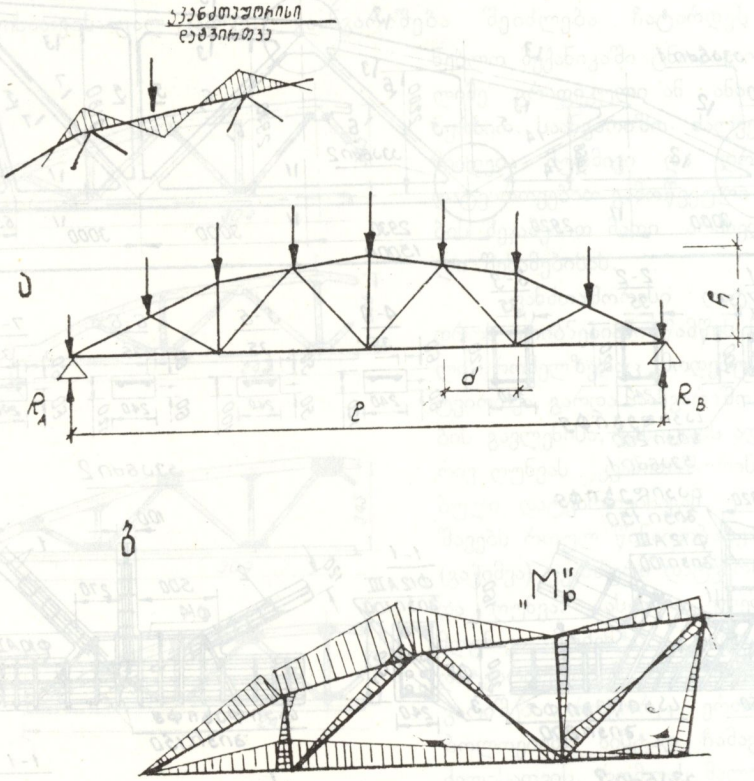
შეკუმშული ელემენტების სიმტკიცის პირობაში გრძივი ღუნვის გასათვალისწინებლად, საანგარიშო სიგრძე წამწის სიბრტყეში მიიღება: ზედა სარტყლისა და პირველი ირიბნისათვის კვანძების ცენტრებს შორის მანძილის ტოლი, გისოსის სხვა ელემენტებისათვის — კვანძების ცენტრებს შორის მანძილის ნამრავლი 0,8-ზე; წამწის სიბრტყიდან გაანგარიშებისას გრძივი ღუნვის გათვალისწინებლად ზედა სარტყლის საანგარიშო სიგრძედ ითვლება მანძილი იმ კვანძების ცენტრებს შორის, რომლებიც გამაგრებული არიან საანგარიშო მიმართულებით და დაცული არიან გადაადგილებისაგან; გისოსის ელემენტების საანგარიშო სიგრძედ კი ითვლება მანძილი კვანძების ცენტრებს შორის. შეკუმშული ელემენტების საანგარიშო სიგრძის დადგენა შეიძლება XXVII დანართის მიხედვით.



ნახ. XIII.20. ორი ნახევრისაგან შედგენილი ირიბნებიანი სეგმენტური წამწის კონსტრუქცია. ზედა და ქვედა სარტყლის პირაპირები.

გარე დატვირთვებზე გაანგარიშებისას ირიბნებიანი წამწის კვანძები მიიღება სახსროვნად, მაგრამ წინასწარი მომკუმშავი ძალების მოქმედებაზე საჭიროა კვანძების სიხისტის გათვალისწინება: სარტყლის მოკუმშვისაგან (კვანძების გარკვეული სიხისტისას) წარმოიქმნება ანგარიშგასაწევი სიდიდის მღუნავი მო-

მენტები (ნახ. XIII.21). ამ დროს ირიბნებიანი წამწე განიხილება, როგორც ჩარჩო არასრული სიხისტის კვანძებით.



ნახ. XIII.21. ა—ირიბნებიანი წამწის საანგარიშო სქემა; ბ—ქვედა სარტყლის მომკუმშავი ძალებით გამოწვეული მღუნავი მომენტების ეპიურა.

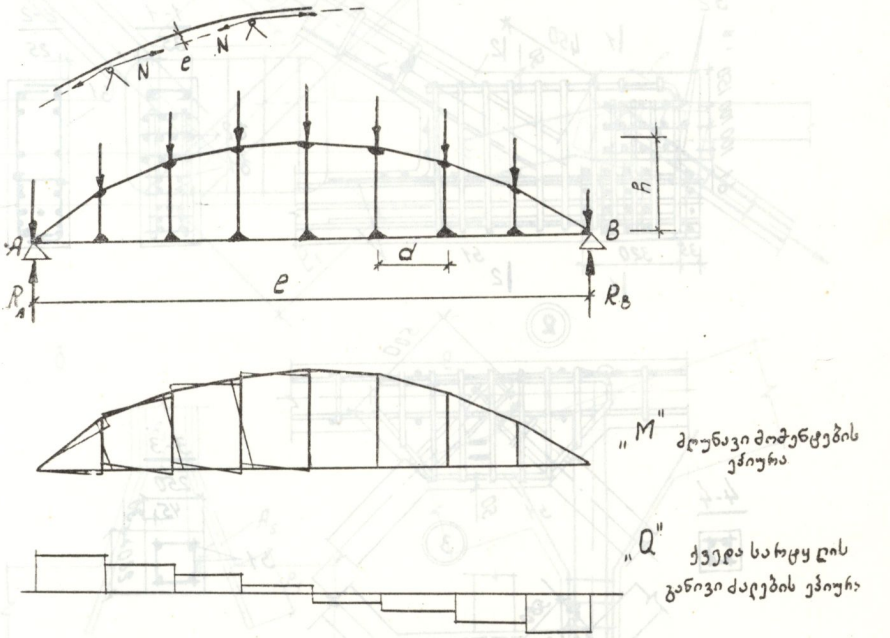
ირიბნო წამწეების გაანგარიშებისა და კონსტრუირებისას კვანძების სიხისტის უგულებელყოფა არ დაიშვება. ნივნივების ირიბნო წამწე ჩვეულებრივ ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე, ბრტყელ მრავალპანელოვან ჩარჩოს წარმოადგენს. იგი მრავალჯერ სტატიკურად ურკვევი სისტემაა და ძალვების განსაზღვრა ზუსტი მეთოდებით დიდი მოცულობის გამოთვლითი სამუშაოების ჩატარებას საჭიროებს ელექტრონული გამომთვლელი მანქანებით. პრაქტიკული დაპროექტების მიზნებისათვის საკმაო სიზუსტით გაანგარიშება შეიძლება ჩატარდეს მარტივი მიახლოებითი მეთოდებით [43], [44]. აღნიშნული მეთოდები გაანგარიშების მრავალი მიახლოებითი მეთოდიდან გამოირჩევა შედარებით მაღალი სიზუსტით და დაშვებული წინაპირობების სიახლოვით სინამდვილესთან. მათ საფუძვლად ედებათ დაშვება, რომ ირიბნო წამწეებზე კვანძური დატვირთვების მოქმედებისას დრეკადი ჰორიზონტალური ღერძი წარმოადგენს სიმეტრიის ღერძს. ამისათვის, ზედა და ქვედა სარტყლის ელემენტების კვეთების ინერციის მომენტების თანაფარდობა ყოველ პანელში ტოლი უნდა იყოს მათი სიგრძეთა თანაფარდობისა, ე. ი.

$$\frac{I_ზ}{I_ქვ} = \frac{l_ზ}{l_ქვ},$$

სადაც $I_ზ$ და $I_ქვ$ შესაბამისად არის ზედა და ქვედა სარტყლის კვეთების ინერციის მომენტები, ხოლო $l_ზ$ და $l_ქვ$ — მათი სიგრძე (კვანძებს შორის მანძილი).

ამ პირობის თანახმად დგარების გადაღუნვის ადგილი — ნულოვანი მღუნავი მომენტების კვეთები მდებარეობს დგარების სიმაღლის შუაში. მაშასადამე, ზედა და ქვედა სარტყლის ერთ ვერტიკალზე მდებარე კვეთებში მღუნავი მომენტები თანაბარია, $M_ზ / M_ქვ = 1$.

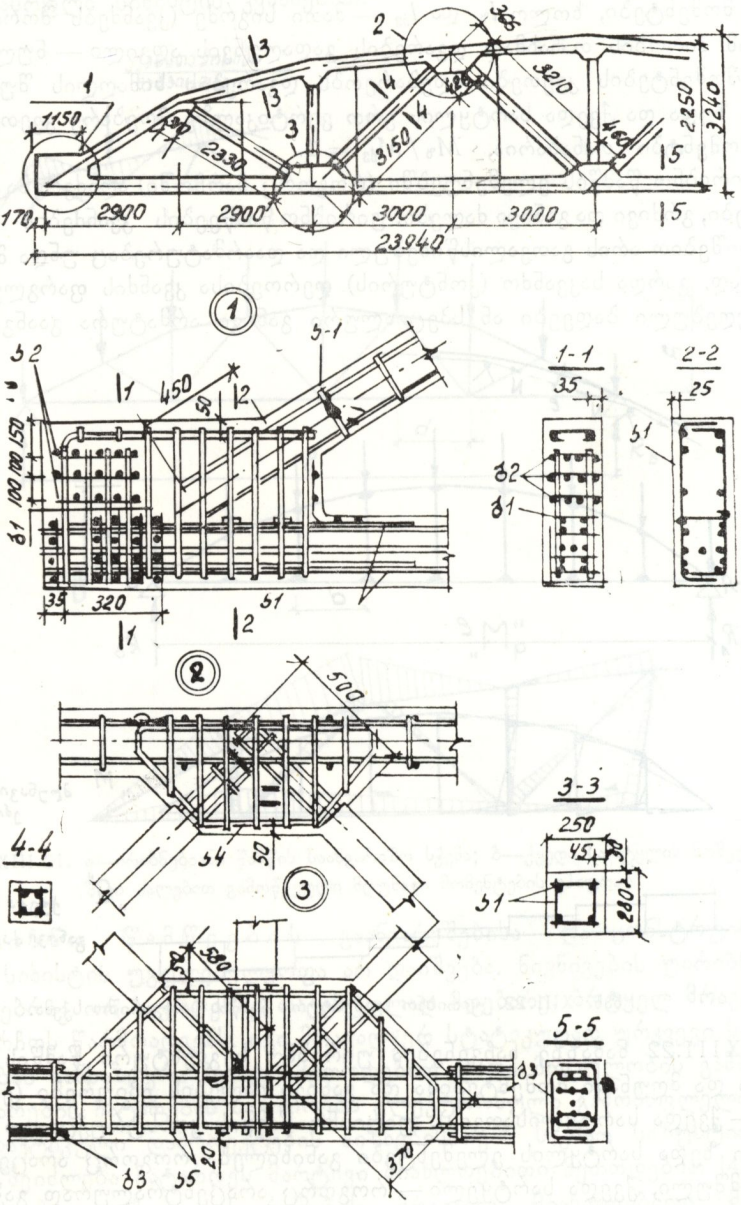
უირიბნო წამწის ელემენტებში (როგორც ჩარჩოში) აღიძვრება მღუნავი მომენტები, გრძივი და განივი ძალები. უირიბნო წამწეების კვანძების სიხისტე გაანგარიშებით არის გათვალისწინებული და დაარმატურებაც უნდა მოხდეს შესაბამისად. გარდა საკვანძო (კონტურის) ღეროებისა კვანძის ფარგლებში ეწყობა შედუღებული ბადეები ან სპეციალური განივი არმატურა გაანგარიშებით.



ნახ. XIII.22. უირიბნო სეგმენტური წამწის საანგარიშო სქემა.

XIII.22 ნახაზზე ნაჩვენებია უირიბნო სეგმენტური წამწის საანგარიშო სქემა და მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების ეპიურები (ეს უკანასკნელი — ქვედა სარტყლისათვის). უირიბნო წამწის კონსტრუქციულ გაანგარიშებებში ზედა სარტყლის ელემენტები განიხილება როგორც არაცენტრალურად შეკუმშული, ქვედა სარტყელი — როგორც არაცენტრალურად გაჭიმული, ხოლო დგარები — როგორც ღუნვადი ელემენტები (ძალვების M, Q, N თანაფარდობის კვალობაზე შეიძლება შეიცვალოს დგარების წინაღობის საანგარიშო სახეობა).

ყოველგვარი წამწისათვის უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს ელემენტების ჩამაგრება კვანძებში. ჩამაგრების საიმედოობა ბევრადაა დამოკიდებული კვანძების დაარმატურებაზე: კვანძებში ელემენტების გრძივი არმატურის დაანკერების გარდა აწყობენ საკვანძო ღეროებსა და განივ არმატურას. (ნახ. XIII.23).

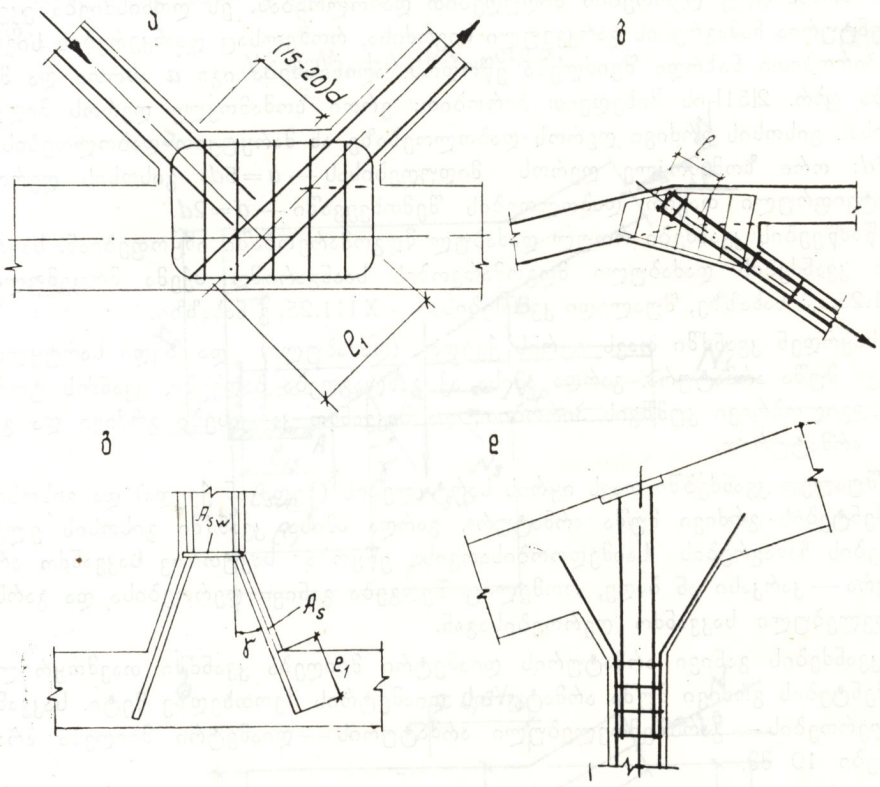


ნახ. XIII.23. ირიბნებიანი წამწის (ჩასატანებელი გისოსით) კვანძების დაარმატურების სქემები.

კვანძებში გადაკვეთილი ელემენტების დანიშნულება, მათი წინაღობის სახეობა და კვანძებში ჩამაგრებისადმი წაყენებული მოთხოვნები, არმატურის დაანკერების ზონის სიგრძე და კონსტრუქციული მოთხოვნები განაპირობებს კვანძების მუშაობისა და დაარმატურების თავისებურებებს. ამ თავისე-

ბურებებისა და კვანძების დაძაბული მდგომარეობის მიხედვით გამოირჩევა საყრდენი და შუალედური კვანძები.

ირიბნებიანი გისოსის შეკუმშული ღეროებისათვის საკმარისია გრძივი მუშა არმატურის (15—20) d მანძილით ჩამაგრება კვანძის გაგანიერების კიდიდან. გაჭიმული ღეროებისათვის საჭიროა გრძივი მუშა არმატურის ჩამაგ-



ნახ. XIII.24. გისოსის ელემენტების გრძივი არმატურის კვანძებში ჩამაგრების სქემები: ა—ირიბნებიანი წამწის, როდესაც $l_1=l_{an}$; ბ—ირიბნებიანი წამწის, როდესაც $l_1 < l_{an}$; გ—უირიბნო წამწის.

რება l_{an} (იხ.ცხრ.III.1) სიგრძით, რომელიც მიიღება (25—45)d-ს ტოლი, მაგრამ არანაკლები 300 მმ-ისა და გადაიზომება სარტყლის კიდიდან (ნახ. XIII.24) კვანძის ცენტრისაკენ, ჩასამაგრებელი ელემენტის ღერძზე.

წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის წამწეების დაძაბული არმატურის თვითდაანკერების სიგრძე, ნორმატიული დოკუმენტების [51] მითითებების თანახმად, დადგენილია: $l_p=150$ სმ ბაგირებისათვის, რომელთა $d=12$—15 მმ; $l_p=120$ სმ ბაგირებისათვის $d=9$ მმ; $l_p=100$ სმ მაღალი სიმტკიცის მავთულოვანი პერიოდული პროფილის არმატურისათვის; $l_p=35\,d$ ღეროვანი A-III$_B$ და A-IV კლასის არმატურისათვის. აქ d ღეროების დიამეტრია.

დაუძაბავი ღეროვანი არმატურის ჩამაგრებისათვის საჭირო სიგრძე ჩვეულებრივ მიიღება $l_{an}=35\,d$.

როდესაც საყრდენ კვანძში ქვედა დაძაბული სარტყლის გრძივი მუშა არმატურის ჩამაგრება საჭირო ზომით არ სრულდება, სიმტკიცის უზრუნველსაყოფად უნდა მოეწყოს განივი და დამატებითი დაუძაბავი გრძივი არმატურა.

როდესაც შუალედ კვანძებში გისოსის ელემენტების ჩამაგრების ფაქტობრივი სიგრძე ნაკლებია საჭირო ზომაზე, აწყობენ მარყუჟებით ან დამატებითი ზომამოკლე ღეროების მიდუღებით დაბოლოებას. ეს ღონისძიება ეკვივალენტურია ჩამაგრების გარკვეული სიგრძისა, რომელსაც დაანკერების სიგრძის პირობითი ნაზრდი შეიძლება ეწოდოს. აღინიშნება იგი a ასოთი და მიიღება ცხრ. 2[51]-ის მიხედვით პირობით: ერთი ზომამოკლე ღეროს მიდუღებისას გისოსის გრძივი ღეროს დაბოლოებაზე ან მარყუჟით დაბოლოებისას $a=3d$; ორი ზომამოკლე ღეროს მიდუღებისას — $a=5d$; გისოსის ღეროს გამოტვიფრული თავით დაბოლოების შემთხვევაში — $a=2d$.

წამწეების კვანძები რთულ დაძაბულ მდგომარეობაში იმყოფებიან. საყრდენი კვანძების დაძაბული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა მოცემულია XIII.25,ა,ბ ნახაზზე, შუალედი კვანძებისა — XIII.25, გ ნახაზზე.

საყრდენ კვანძში თავს იყრის ქვედა (დაძაბული) და ზედა სარტყლის გრძივი მუშა არმატურა. გარდა ამისა აქ განლაგდება ბადეები, კვანძის ტორსის ადგილობრივი კუმშვის პირობით, და საკვანძო კარკასები გრძივი და განივი არმატურით.

შუალედ კვანძებში თავს იყრის სარტყლების (ზედა ან ქვედა) და გისოსის ელემენტების გრძივი მუშა არმატურა. გარდა ამისა, კვანძში გისოსის ელემენტების ჩამაგრების საიმედოობისათვის ეწყობა საკუთრივ საკვანძო არმატურა — კარკასი ან ბადე, რომელიც შედგება განივი ღეროებისა და გარსშემოვლებული საკვანძო ღეროებისაგან.

კვანძების განივი არმატურის დიამეტრი მიიღება კვანძში თავმოყრილი ელემენტების გრძივი მუშა არმატურის დიამეტრის მეოთხედზე მეტი. საკვანძო ღეროების — გარსშემოვლებული არმატურის — დიამეტრი მიიღება არანაკლები 10 მმ.

საკვანძო კარკასების (ბადეების) რაოდენობა მიიღება ორი ცალი. მათ შორის კავშირი შეიძლება მოეწყოს დამატებითი ჩხირებით ან განივი არმატურის ბოლოების გადაღუნვის გზით.

უირიბნო წამწის შუალედ კვანძში (ნახ. XIII. 24 გ) შედის სარტყლისა და დგარის არმატურა. კვანძის სიხისტის მოთხოვნა უირიბნო წამწის დაარმატურებისა და გაანგარიშების თავისებურებებს წარმოქმნის. ეწყობა კვანძის გაგანიერება — ვუტები ქანობით 1:3; დგარის გრძივი მუშა არმატურა კვანძის მოხაზულობის კვალობაზე გადაღუნულია. ამ არმატურის ძალვის ჰორიზონტალური შემდგენი უნდა გადაეცეს სპეციალურ განივ ღეროს, რომლის კვეთი მიიღება გაანგარიშებით.

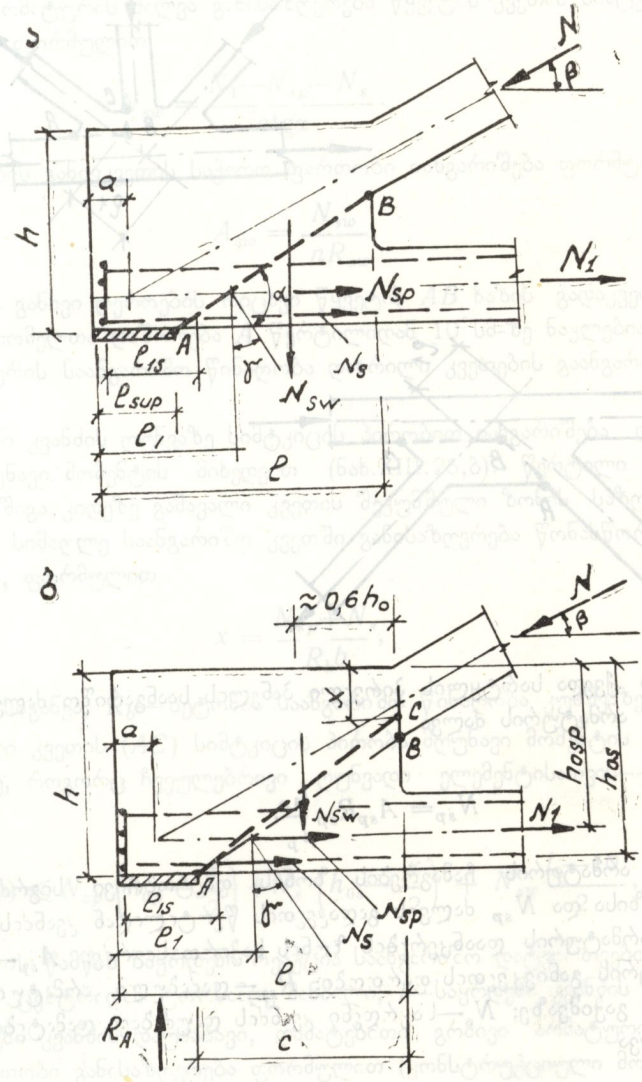
წამწეების კვანძები იანგარიშება ზიდვის უნარის მიხედვით: საყრდენი კვანძები — გაჭიმული სარტყლის გრძივი მუშა არმატურის ჩამაგრებისა და დახრილი კვეთის სიმტკიცის პირობით ღუნვის დროს, ხოლო შუალედი კვანძები — გისოსის ელემენტების ჩამაგრების საიმედოობის პირობით.

საყრდენი კვანძის გაანგარიშება (ნახ. XIII.25,ა): ქვედა სარტყლის გრძივი არმატურის ფაქტობრივი ჩამაგრების ზონა მოიცავს მანძილს კვანძის ტორსიდან ქვედა სარტყლის წყვეტის — *AB* ხაზის — გადაკვეთამდე დაძაბული არმატურის ძალვის დონეზე.

გაჭიმული ქვედა სარტყლის წყვეტის კვეთს ქმნის დახრილი ხაზი საყრდენი ფურცლის კიდიდან (წერტილი *A*) კვანძის შიგა კონტურის ხაზისა და ზედა სარტყლის ქვედა წახნაგის გადაკვეთამდე (წერტილი *B*).

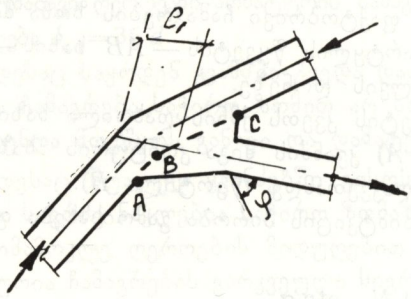
AB დახრილ კვეთზე წყვეტაზე სიმტკიცის პირობა გამოისახება ფორმულით

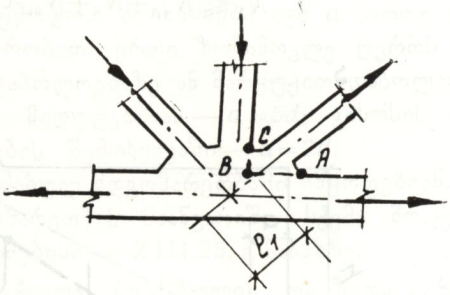
$$N_1 \leqslant N_{sp}+N_s+N_{sw}\operatorname{ctg}\alpha, \qquad \text{(XIII.1)}$$

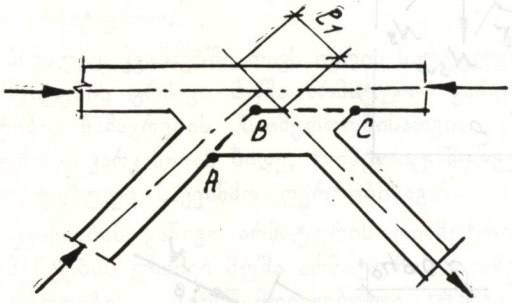


ნახ. XIII.25. წამწის კვანძების საანგარიშო სქემები: ა, ბ—საყრდენი კვანძი; გ—შუალედი კვანძები.

ბ







სადაც N_1 არის ქვედა სარტყლის პირველი პანელის საანგარიშო ძალვა; N_{sp}—დაძაბული გრძივი არმატურის ძალვა

$$N_{sp} = A_{sp} R_{sp} \frac{l_{1p}}{l_p}.$$

l_{1p}—დაძაბული არმატურის ჩამაგრების ზონის ფაქტობრივი სიგრძე, მანძილი წყვეტის AB ხაზისა და N_{sp} ძალვის გადაკვეთის წერტილიდან კვანძის ტორსამდე; l_p—დაძაბული არმატურის დაანკერების ზონის საშუალო სიგრძე; A_{sp}—გრძივი დაძაბული არმატურის განივკვეთის ფართობი; R_{sp}—დაძაბული არმატურის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე; N_s—საყრდენი კვანძის დაუძაბავი დამატებითი გრძივი არმატურის ძალვა

$$N_s = A_s R_s \frac{l_{1s}}{l_{an}};$$

l_{1s}—დაუძაბავი გრძივი საკვანძო არმატურის ჩამაგრების ფაქტობრივი სიგრძე; l_{an}—დაუძაბავი არმატურის დაანკერების სიგრძის მნიშვნელობა, მიიღება $l_{an}=35d$, ხოლო l_{1s}/l_{an} არ უნდა აღემატებოდეს 1-ს. A_s—დაუძაბავი გრძივი საკვანძო არმატურის განივკვეთის ფართობი; R_s — დაუძაბავი გრძივი არმატურის საანგარიშო წინაღობა; N_{sw}—კვანძის რღვევის AB დახრილი კვეთის ფარგლებში განლაგებული განივი არმატურის ძალვების ჯამი. აქ მხედველობაში არ მიიღება განივი არმატურა, რომელიც A წერტილიდან დაშორებულია 10 სმ-ზე ნაკლები მანძილით; α—კუთხე AB წყვეტის ხაზსა და საყრდენი კვანძის ქვედა კონტურის ხაზს შორის; $N_{sw}\mathrm{ctg}\alpha$—განივი არმატურის ძალვის შემდგენი ქვედა სარტყლის გრძივი ღერძის მიმართულებით.

განივი არმატურის ძალვა განისაზღვრება წყვეტის კვეთის სიმტკიცის პირობიდან (XIII.1) ფორმულით

$$N_{sw}=\frac{N_1-N_{sp}-N_s}{\mathrm{ctg}\alpha}. \qquad \text{(XIII.2)}$$

განივი ღეროების განივკვეთის საჭირო ფართობი იანგარიშება ფორმულით

$$A_{sw}=\frac{N_{sw}}{nR_{sw}}, \qquad \text{(XIII.3)}$$

სადაც n არის განივი ღეროების რიცხვი წყვეტის AB ხაზის გადაკვეთაზე (გარდა ღეროებისა, რომელთა დაშორება A წერტილიდან 10 სმ-ზე ნაკლებია); R_{sw}—დახრილი არმატურის საანგარიშო წინაღობა დახრილი კვეთების გაანგარიშებისას სიმტკიცეზე.

საყრდენი კვანძის ღუნვაზე სიმტკიცის პირობით იანგარიშება დახრილი კვეთი (AC) მღუნავი მომენტის მიხედვით (ნახ.XIII.25,ბ). წერტილი C წარმოადგენს კვანძის შიგა კიდეზე გამავალი კვეთის შეკუმშული ზონის საზღვარს. შეკუმშული ზონის სიმაღლე საანგარიშო კვეთში განისაზღვრება წონასწორობის პირობის მიხედვით, ფორმულით

$$x=\frac{N_{sp}+N_s}{R_b b}, \qquad \text{(XIII.4)}$$

აქ b კვანძის სიგანეა, R_b— ბეტონის საანგარიშო წინაღობა კუმშვაზე.

დახრილი კვეთის (AC) სიმტკიცის პირობა მღუნავი მომენტის მიხედვით გამოისახება ისე, როგორც ჩვეულებრივი ღუნვადი ელემენტისათვის—$M\leqslant M_{sp}+M_s+M_{sw}$:

$$Q_A(l-a)\leqslant N_{sp}\left(h_{0p}-\frac{x}{2}\right)+N_s\left(h_{0s}-\frac{x}{2}\right)+N_{sw}\frac{l_2-10}{2}, \qquad \text{(XIII.5)}$$

სადაც Q_A არის წამწის საყრდენი რეაქცია საანგარიშო დატვირთვებისას; a—საყრდენი კვანძის ცენტრიდან ტორსამდე მანძილი; l—საყრდენი კვანძის სიგრძე.

საყრდენი კვანძის დაუძაბავი, დამატებითი გრძივი არმატურის განივკვეთის საჭირო ფართობი განისაზღვრება ფორმულით (კონსტრუქციული მოსაზრებებით)

$$A_s=\frac{0{,}2\,N_1}{R_s}, \qquad \text{(XIII.6)}$$

A_s-ის გამოთვლილი მნიშვნელობის მიხედვით შეირჩევა საყრდენი კვანძის გრძივი დამატებითი ღეროების რაოდენობა და დიამეტრი, ხოლო განივი არმატურის საჭირო ფართობი შეიძლება განისაზღვროს დახრილი კვეთის სიმტკიცის პირობიდან (XIII.5) გამოთვლილი N_{sw}-ს მიხედვით. დახრილი AB და AC კვეთების სიმტკიცის პირობების მიხედვით საჭირო განივი არმატურის A_{sw} ფართობებიდან უდიდესი მნიშვნელობის მიხედვით შეირჩევა განივი ღეროების დიამეტრი და ბიჯი.

შუალედური კვანძების გაანგარიშება წარმოებს გისოსის გაჭიმული ელემენტების ჩამაგრების საიმედოობის მოთხოვნით გაჭიმული ელემენტების წყვეტის ABC ხაზზე სიმტკიცის პირობით (ნახ. XIII.25, გ). წყვეტის კვეთის სიმტკიცის უზრუნველსაყოფად კვანძში ეწყობა განივი არმატურა, როდესაც გისოსის ჩამაგრების ფაქტობრივი l_1 სიგრძე ნაკლებია დაანკერების საჭირო ზომაზე.

სიმტკიცეზე გაანგარიშებით მხედველობაში მიიღება განივი არმატურა, რომელთა ბოლოები საიმედოდაა ჩამაგრებული კვანძში (არანაკლებ 30 d მიღება მანძილი გადაღუნვის ხაზიდან ბოლომდე) და დაშორებულია წყვეტის ხაზის საწყისსა და ბოლოს (A და C წერტილებს) 10 სმ-ით მაინც.

გისოსის გაჭიმული ელემენტის წყვეტის კვეთის სიმტკიცის პირობა გამოისახება

$$N_{sw}\cos\varphi \geqslant N\,\frac{k_2 l_1 + a}{k_1 l_{an}}, \qquad \text{(XIII.7)}$$

სადაც N არის კვანძში ჩასამაგრებელი გაჭიმული ელემენტის საანგარიშო გრძივი ძალა; φ—კუთხე გისოსის გაჭიმული ელემენტის ღერძსა და განივ საკვანძო ღეროებს შორის; l_1—გაჭიმული ელემენტის ჩამაგრების ფაქტობრივი სიგრძე—მანძილი წყვეტის ABC ხაზიდან არმატურის ბოლომდე; კოეფიციენტი $k_1 = \frac{\sigma_s}{R_s} : \sigma_s$ არის ელემენტის საანგარიშო ძალვით გამოწვეული ძაბვა ჩასამაგრებელ გრძივ არმატურაში; k_2—შუალედი კვანძის მუშაობის თავისებურებების გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი, როდესაც კვანძში თავს იყრის გისოსის როგორც გაჭიმული, ასევე შეკუმშული ელემენტები. ზედა სარტყლის კვანძებისათვის მიიღება $k_2=1$; ქვედა სარტყლის კვანძებისათვის, როდესაც კვანძში შემავალი დგარის ან ირიბნის დახრის კუთხე ჰორიზონტთან აღემატება $40°$ $k_2=1{,}1$; დანარჩენ შემთხვევებში $k_2=1{,}05$.

განივი არმატურის ზღვრული ძალვა იანგარიშება სიმტკიცის პირობიდან (XIII.7) ფორმულით

$$N_{sw} = \frac{N}{\cos\varphi}\,\frac{k_2 l_1 + a}{k_1 l_{an}}, \qquad \text{(XIII.8)}$$

რის მიხედვითაც განისაზღვრება განივი ღეროების საჭირო ფართობი

$$A_{sw} = \frac{N_{sw}}{nR_{sw}}, \qquad \text{(XIII.9)}$$

სადაც n არის კვანძის წყვეტაზე საანგარიშო კვეთში განივი ღეროების რიცხვი.

როდესაც კვანძში გადაიკვეთება გისოსის ორი გაჭიმული ელემენტი, მათი წყვეტის კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცეზე წარმოებს ცალ-ცალკე მიმდევრობით, როდესაც ერთ-ერთი ელემენტის წყვეტის კვეთის გაანგარიშებისას მეორე იგულისხმება შეკუმშულ ელემენტად.

შუალედი კვანძის გარსშემოვლებული არმატურა იანგარიშება როგორც გაჭიმული ღეროები პირობითი ძალვის მიხედვით, რომელიც მიიღება ტოლი

$$N_{0s}=0{,}04\,(D_1+0{,}5D_2), \qquad \text{(XIII.10)}$$

სადაც D_1 არის კვანძში თავმოყრილი ირიბნების უდიდესი საანგარიშო ძალვა; D_2—საანგარიშო ძალვა მეორე ირიბანში (როდესაც ივი არ არსებობს, ფორმულაში ჩაისმება $D_2=0$).

საკვანძო (მომვლები) ღეროების რიცხვი ჩვეულებრივ მიიღება ორი ცალი. მათი განივკვეთის საჭირო ფართობი იანგარიშება ფორმულით

$$A_{0s}=\frac{N_{0s}}{nR_{0s}}, \qquad \text{(XIII.11)}$$

სადაც R_{0s} არის საკვანძო ღეროების საანგარიშო წინაღობა, რომელიც ბზარის გახსნის სიდიდის შეზღუდვის მოსაზრებებით (გაჭიმული ელემენტების წყვეტის ხაზზე) მიიღება $R_{0s}=90$ *MPa*-ს ტოლი; n—საკვანძო ღეროების რიცხვი, ჩვეულებრივ $n=2$.

შუალედი კვანძების მომვლები ღეროების დიამეტრი მიიღება 10 მმ და მეტი, ხოლო განივი არმატურის ბიჯი — არაუმეტეს 10 სმ.

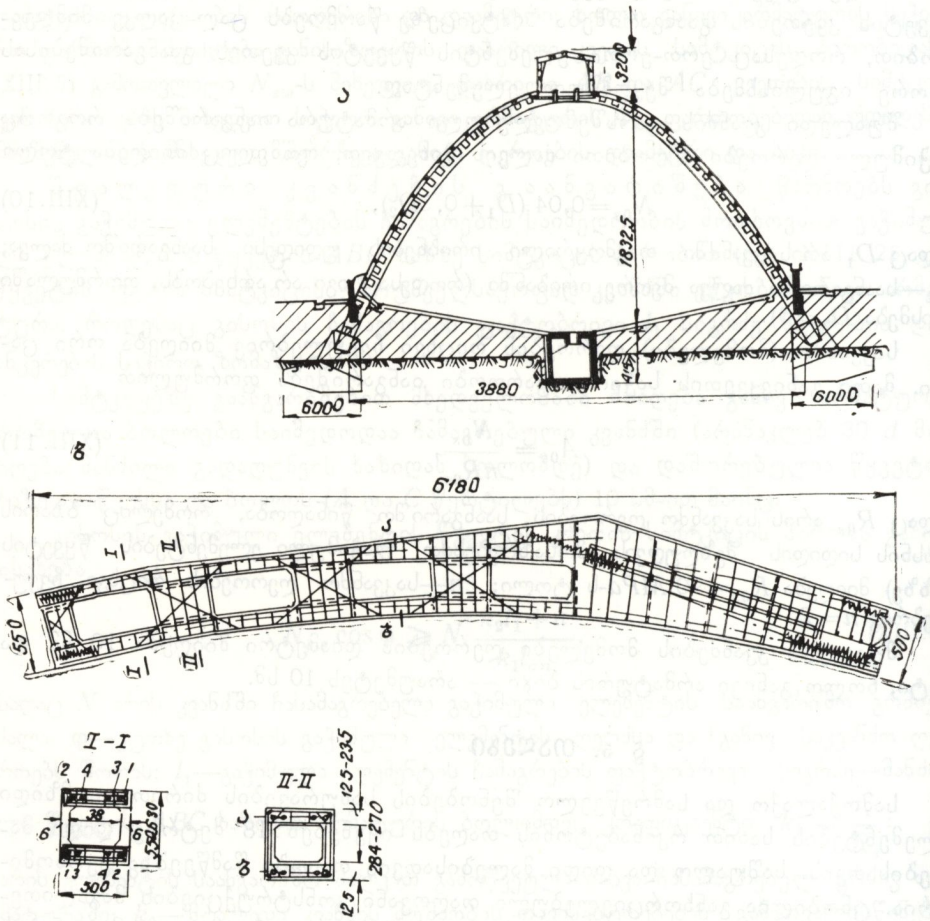
§ 5. თაღები

სამოქალაქო და სამრეწველო შენობების სახურავების ძირითადი მზიდი ელემენტების სახით რკინაბეტონის თაღებს იყენებენ 18 მეტრზე დიდი მალებისათვის. საშუალო და დიდი მალებისათვის თაღები წამწეებზე ეკონომიურია. ცნობილია განხორციელებული თაღოვანი კონსტრუქციების მაგალითები 100 მეტრზე დიდი მალებით, რაც არ წარმოადგენს მათი გამოყენების ზღვარს. თაღოვანი გადახურვის მაგალითები ნაჩვენებია XIII.26 ნახაზზე.

თაღები შეიძლება აიგოს მონოლითური და ასაწყობი რკინაბეტონისა. განასხვავებენ სამსახსრიან, ორსახსრიან და უსახსრო თაღებს (ნახ.XIII.27). თაღის განბჯენი გადაეცემა შემკვრელს (საკოჭს) ან უშუალოდ საძირკველს. ასაწყობი რკინაბეტონის თაღები იგება ორსახსრიანი, ან დიდი მალების შემთხვევაში — სამსახსრიანი, შედგენილი ორი ნახევართაღისაგან. გარსების დიაფრაგმებად გამოყენებული თაღები შეიძლება იყოს ორსახსრიანი ან უსახსრო. სამრეწველო შენობებში გავრცელებულია ორსახსრიანი თაღები შემკვრელით.

თაღის ღერძის მოხაზულობა შეიძლება იყოს წრიული ან პარაბოლური. თაღის მალთან აწევის ისრის ფარდობის მიხედვით განასხვავებენ დამრეც და ციცაბო თაღებს (ნახ. XIII.28).

დამრეცი თაღების $\left(f<\frac{1}{4}\,l\right)$ ღერძის მოხაზულობა მიიღება წრიული, ხოლო ციცაბო $\left(f=\frac{1}{4}\div\frac{1}{2}\,l\right)$ თაღებისა—პარაბოლური. ყველაზე გავრცე-



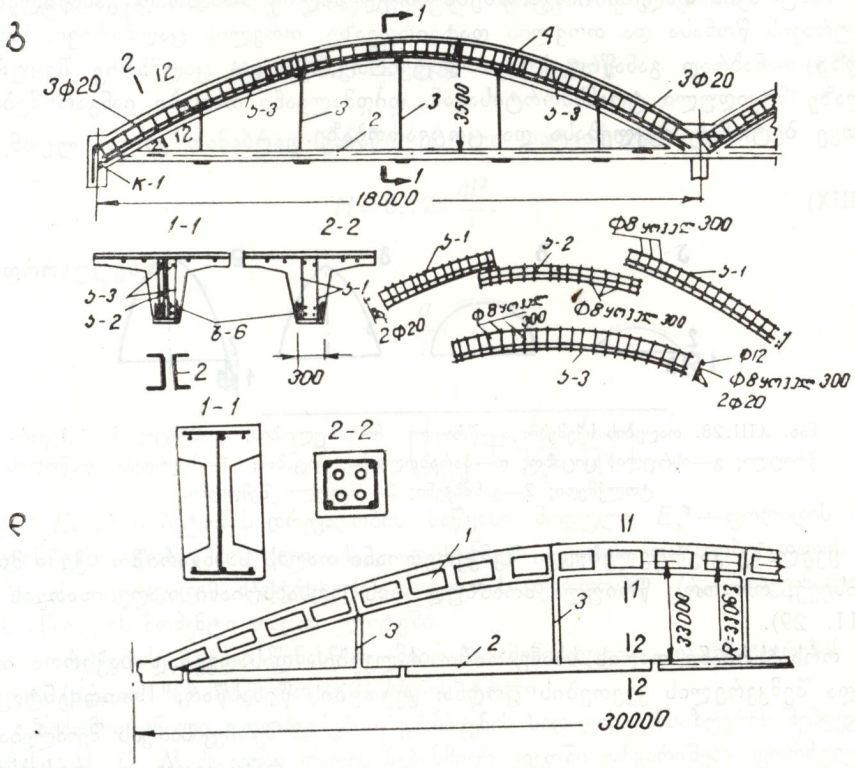
ნახ. XIII.26. რკინაბეტონის თაღები: ა—ასაწყობი, გამშოლკეტლიანი, სამსახსრიანი; ბ—კლიტის ბლოკი; გ—მონოლითური ორსახსრიანი თაღის (შემკოჭით) დაარმატურების სქემა; დ—ასაწყობი თაღი შემკოჭით.

ლებული ორსახსრიანი თაღები ეწყობა დამრეცი, რომლის აწევის ისარი $f = \frac{1}{5} \div \frac{1}{8} l$, მათი ღერძის მოხაზულობა წრფულია (ნახ. XIII.28).

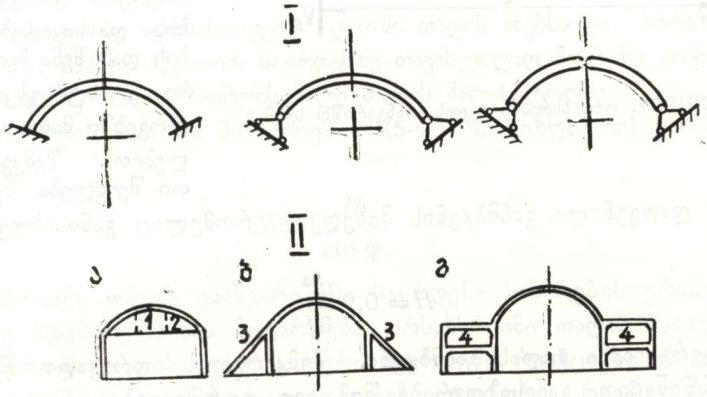
თაღების კონსტრუირება ხდება როგორც არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტებისა. ცვლადი ნიშნის მღუნავი მომენტების მოქმედების გამო უფრო ხშირად მიმართავენ სიმეტრიულ დაარმატურებას. თაღების კვეთები შეიძლება იყოს სწორკუთხა, ტესებრი ან ორტესებრი.

თაღების შემკვრელები შეიძლება იყოს რკინაბეტონის ან ფოლადის. საკიდები ჩვეულებრივ კეთდება მოქნილი ღეროების სახით, რკინაბეტონის ან ფოლადისაგან.

თაღოვანი კონსტრუქციების ინდუსტრიულ სახეობას წარმოადგენს ასაწყობი რკინაბეტონის ორსახსრიანი თაღები შემკვრელით და სამსახსრიანი თა-

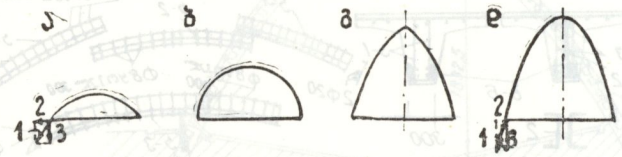


ღები შედგენილი ორი ნახევრისაგან, რომლებიც ძირითადად გვხვდება დიდმალიან გადახურვებში. ასაწყობი სამსახსრიანი დიდმალიანი თაღები შეიძლება მოეწყოს მთლიანი ან გამჭოლი კვეთით.



ნახ. XIII.27. თაღები: I—უსახსრო, ორსახსრიანი, სამსახსრიანი. II—თაღის განმბჯენის გადაცემა: ა—შემკოჭზე; ბ—დახრილ დგარებზე; გ—ჩარჩოზე; 1—შემკოჭი; 2—საკიდი; 3—დახრილი დგარი ან კონტრფორსი; 4—ჩარჩო.

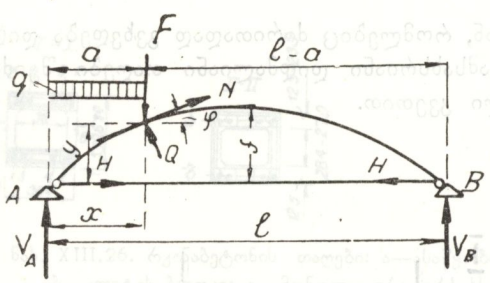
სახურავის თაღები იანგარიშება მთელ მალზე თანაბრად განაწილებული სახურავის წონასა და თოვლის დატვირთვაზე, თოვლის ცალმხრივი, ნახევარ თაღზე თანაბრად განაწილებულ დატვირთვაზე და ცალმხრივ შეყურსულ ძალაზე შეკიდული ტრანსპორტისაგან. დიდმალიანი თაღები იანგარიშება აგრეთვე ბეტონის შეკლებასა და ცოცვადობაზე.



ნახ. XIII.28. თაღების სქემები: ა—წრიული მოხაზულობის, დამრეცი; ბ—ნახევარწრიული; გ—ისრული, ციცაბო; დ—პარაბოლური, ციცაბო; 1—საყრდენი დაწოლის ტოლქმედი; 2—განმბჯენი; 3—შვეული შემდგენი.

ყველაზე გავრცელებული შემკვრელიანი თაღის საანგარიშო სქემა მიიღება ისევე, როგორც წრიული მოხაზულობის ორსახსრიანი თაღებისათვის (ნახ. XIII. 29).

ორსახსრიანი თაღის საანგარიშო ძალვების დასადგენად საჭიროა თაღისა და შემკვრელის კვეთების ცოდნა; კვეთების წინასწარ, საორიენტაციოდ შერჩევისათვის შეიძლება პარაბოლური ორსახსრიანი თაღის საანგარიშო მზა ფორმულების გამოყენება.



ნახ. XIII.29. ორსახსრიანი თაღის საანგარიშო სქემა.

თაღის კვეთის სიმაღლე წინასწარ მიიღება პირობით $h=\frac{1}{30}\div\frac{1}{40}\,l$. თაღის მალის მიხედვით განივკვეთის ზომებისა და საკიდების რაოდენობის დანიშვნა შეიძლება ტიპური კონსტრუქციების კატალოგებში მითითებული ცხრილებით. შემკვრელის კვეთი შეიძლება შეირჩეს მიახლოებით დადგენილი განმბჯენის მიხედვით, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით

$$H=0{,}9\,\frac{ql^2}{8f}. \qquad \text{(XIII.12)}$$

შემკვრელიანი თაღის განმბჯენი, შემკვრელის დრეკადი წავრძელების გათვალისწინებით, განისაზღვრება შემდეგი ფორმულებით:

ცალმხრივი შეყურსული ძალის მოქმედებისას

$$H=0{,}625\,\frac{Fl}{f}\,k(c-2c^2+c^4); \qquad \text{(XIII.13)}$$

ცალმხრივი თანაბრად განაწილებული დატვირთვის დროს

$$H=0{,}0625\,\frac{ql^2}{f}\;k(5c^2-5c^4+2c^5); \qquad \text{(XIII. 14)}$$

მთელ მალზე თანაბრად განაწილებული დატვირთვის დროს

$$H=0{,}125\,\frac{ql^2}{f}. \qquad \text{(XIII. 15)}$$

ამ ფორმულებში

$$c=\frac{a}{l},$$

$$k=\frac{1}{1+\frac{15}{8f^2}\left(\frac{I_{\text{red}}}{A_{\text{red}}}+\frac{E_b}{E_s^{\text{ც}}}\,\frac{I_{\text{red}}}{A^{\text{ც}}}\right)},$$

სადაც E_b არის ბეტონის დრეკადობის საწყისი მოდული; $E_s^{\text{ც}}$—ფოლადის შემკვრელის დრეკადობის მოდული; A_{red}—დაყვანილი კვეთის ფართობი თაღის კლიტეში; $A^{\text{ც}}$—ფოლადის შემკვრელის განივკვეთის ფართობი; I_{red}—დაყვანილი კვეთის ინერციის მომენტი თაღის კლიტეში.

არმატურის კვეთი წინასწარ მიიღება მინიმალური დაარმატურების პროცენტის ($\mu_{\min}=1\%$) მიხედვით 0,01 bh_0-ის ტოლი.

ზემომოყვანილი ფორმულებით განმბჯენის სიდიდის განსაზღვრის შემდეგ, დანარჩენი M, Q, N ძალები თაღის ნებისმიერ კვეთში იანგარიშება ფორმულებით:

მღუნავი მომენტი

$$M_x=M_0-Hy; \qquad \text{(XIII. 16)}$$

გრძივი ძალა

$$N_x=Q_0\sin\varphi+H\cos\varphi; \qquad \text{(XIII. 17)}$$

განივი ძალა

$$Q_x=Q_0\cos\varphi-H\sin\varphi, \qquad \text{(XIII. 18)}$$

სადაც φ არის კუთხე განსახილველ კვეთში თაღის მხებსა და ჰორიზონტალურ ღერძს შორის; M_0 და Q_0—ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე კოჭის მღუნავი მომენტი და განივი ძალა, რომლის მალი თაღის მალის ტოლია.

გრძივი ძალის სიდიდე მიახლოებით (5—10% სიზუსტით) განისაზღვრება ფორმულით

$$N=\frac{H}{\cos\varphi}. \qquad \text{(XIII. 19)}$$

სამსახსრიანი თაღის გაანგარიშება საყრდენი სახსრების ერთსა და იმავე დონეზე მდებარეობისას ჩატარდება ორსახსრიანი თაღის მსგავსად.

სამსახსრიანი თაღის ვერტიკალური საყრდენი რეაქციები ისეთივეა, როგორც ჩვეულებრივი კოჭის, ხოლო ჰორიზონტალური რეაქცია — განმბჯენი განისაზღვრება ფორმულით

$$H=\frac{M_0}{f}, \qquad \text{(XIII. 20)}$$

სადაც M_0 ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე კოჭის მღუნავი მომენტის სიდიდეა მალის შუაში, რომლის მალი თაღის მალას ტოლია; f—თაღის აწევის ისარი.

M, Q, N ძალები დატვირთვის სხვადასხვა შემთხვევაში იანგარიშება იმავე ფორმულებით, როგორც ორსახსრიანი თაღისათვის.

სხვადასხვა დატვირთვებით გამოწვეული ძალების გაანგარიშების (ცხრილის შედგენით) შემდეგ, თაღის კვეთებში განისაზღვრება ჯამური უდიდესი და უმცირესი საანგარიშო ძალები.

თაღის არმატურის კვეთის შერჩევა საანგარიშო ძალების მიხედვით ხდება ისე, როგორც არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტებისათვის; არმატურის შემცველობა არ უნდა აღემატებოდეს 2%-ს.

მდგრადობაზე თაღის გაანგარიშება საჭიროა, როდესაც თაღის კვეთის სიმაღლე $h < \frac{l}{25}$. საანგარიშო სიგრძე მიიღება XXVII დანართის მიხედვით.

§ 6. ჩარჩოები

1. ჩარჩოების სახეობები

სამოქალაქო და სამრეწველო შენობებში, აგრეთვე საინჟინრო ნაგებობებში, ხშირად იყენებენ რკინაბეტონის ჩარჩოებს. ხისტკვანძებიანი ჩარჩოს საშუალებით შეიძლება გადაიხუროს უფრო დიდი მალები, ვიდრე კოჭებით ან წამწეებით; განსაკუთრებით დიდი მალების გადახურვა შეიძლება თაღოვანი ჩარჩოებითა და თაღოვანი კონსტრუქციებით, როდესაც განმბჯენი გადაეცემა შემკვრელს ან უშუალოდ საძირკვლებს.

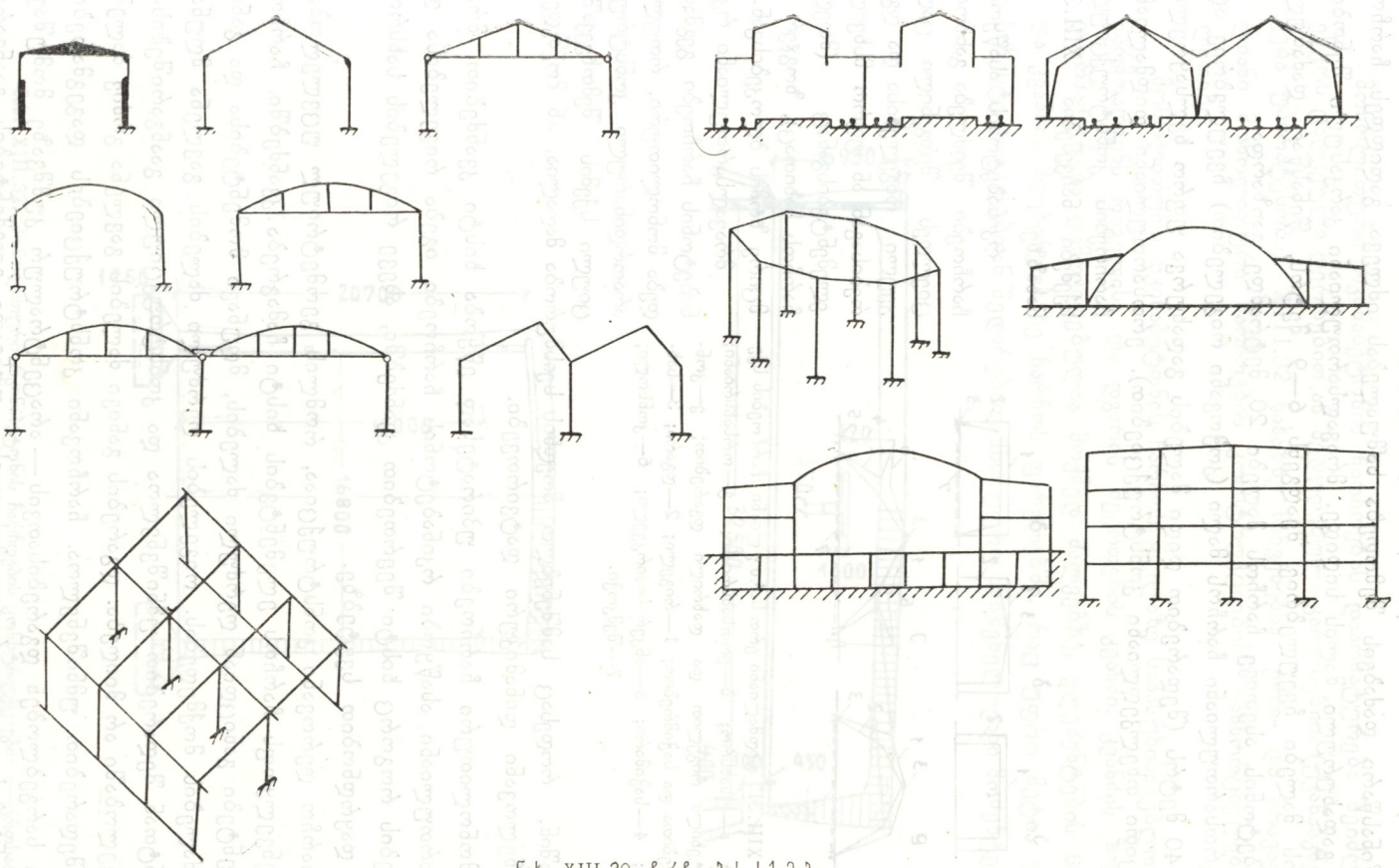
ჩარჩოს სქემის კონსტრუქციული გადაწყვეტა მრავალფეროვნებით ხასიათდება. XIII.30 ნახაზზე მოცემულია ჩარჩოვანი კონსტრუქციების გავრცელებული სქემები.

რკინაბეტონის ჩარჩოებს განასხვავებენ მალების რაოდენობის, სართულიანობის, ელემენტების მოხაზულობის, კვანძების სახეობის, აგების მეთოდებისა და სხვა ნიშნების მიხედვით.

არსებობს ბრტყელი და სივრცითი ჩარჩოები. მაგალითად, შენობის კარკასი სივრცით ჩარჩოვან კონსტრუქციას წარმოადგენს, მაგრამ სხვადასხვა მიმართულებით განსხვავებული სიხისტის შემთხვევაში სივრცითი ჩარჩო მცირე ცდომილებით შეიძლება დაიყოს ბრტყელ ჩარჩოებად, რომელთა შემადგენელი ელემენტები და მათზე მოქმედი დატვირთვები განლაგებულია ერთ სიბრტყეში. სივრცული ჩარჩოს დაყოფა ბრტყელ ჩარჩოებად ყოველთვის არ ხერხდება და მაშინ, მისი გაანგარიშება ჩატარდება როგორც სივრცული სისტემისა.

საძირკვლებთან დგარების შეერთების მიხედვით განასხვავებენ სახსროვან და ხისტად ჩამაგრებულ ჩარჩოებს. ამ ნიშნით ჩარჩოს ტიპის შერჩევა, გარდა ეკონომიკური მოსაზრებებისა, დამოკიდებულია გრუნტებზე. სუსტი, არასაიმედო გრუნტების შემთხვევაში უმჯობესია სახსრული გადაწყვეტა—საძირკვლების არათანაბარი ჯდომა და ტემპერატურული ცვლილებები სახსროვან ჩარჩოზე ნაკლებ გავლენას ახდენს, ვიდრე ხისტად ჩამაგრებულზე.

კონსტრუქციული თავისებურებების გამო განასხვავებენ ერთსართულიან და მრავალსართულიან ჩარჩოებს. როგორც ერთსართულიანი, ასევე მრა-

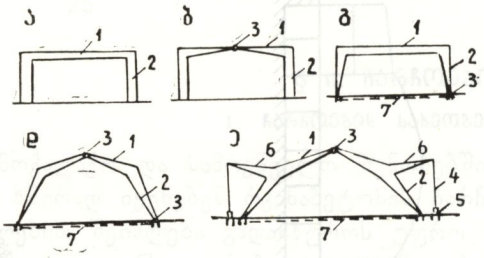


ნახ. XIII.30. ჩარჩოების სქემები.

ვალსართულიანი ჩარჩო შეიძლება აიგოს მონოლითური და ასაწყობი რკინაბეტონისა, მათ შორის წინასწარ დაძაბულიც.

წინასწარი დაძაბვის შემოღება საშუალებას იძლევა გადიდდეს ჩარჩოს მიერ გადახურული მალის სიდიდე. მრავალსართულიანი კარკასული შენობის ჩარჩოს მალები ჩვეულებრივ შეადგენს 6—9 მეტრს, წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ასეთივე ჩარჩოს მალები 20 მეტრამდე გაიზარდა.

ერთსართულიანი ჩარჩოს მალი (კოჭოვანი რიგელებით) ჩვეულებრივ აღწევს 40 მეტრს (შედარებით დიდი მალების გადახურვა უფრო ხელსაყრელია სივრცითი თხელკედლიანი კონსტრუქციებით). ერთსართულიანი დიდმალიანი ჩარჩოების კონსტრუქციული სქემები ნაჩვენებია XIII.31 ნახაზზე.



ნახ. XIII.31. დიდმალიანი ერთ სართულიანი ჩარჩოების სქემები: ა—უსახსრო; ბ—ერთსახსრიანი; გ—ორსახსრიანი; დ—ტეხილი რიგელით და დახრილი დგარებით; ე—კონსოლებითა და საჭიმრებით; 1—რიგელი; 2—დგარი; 3—სახსარი; 4—საჭიმარი; 5—ანკერ-საძირკველი; 6—კონსოლი; 7—შემკოჭი.

რკინაბეტონის ასაწყობი ჩარჩოები შეიძლება განხორციელდეს შედგენილი ცალკეული რიგელებისა და დგარებისაგან ან უფრო მსხვილელემენტებისგანაც (მთელი ჩარჩოს სახითაც), ზოგჯერ კი მცირე ზომის ბლოკებისგან.

მრავალსართულიანი რკინაბეტონის ჩარჩოები გეგმარდება მონოლითური, რთული, არაორდინარული კონსტრუქციული სქემის შემთხვევაში, ან მაშინ, როდესაც სამშენებლო მოედნის სეისმურობა მაღალია, ან მოქმედებს მნიშვნელოვანი დინამიკური დატვირთვები.

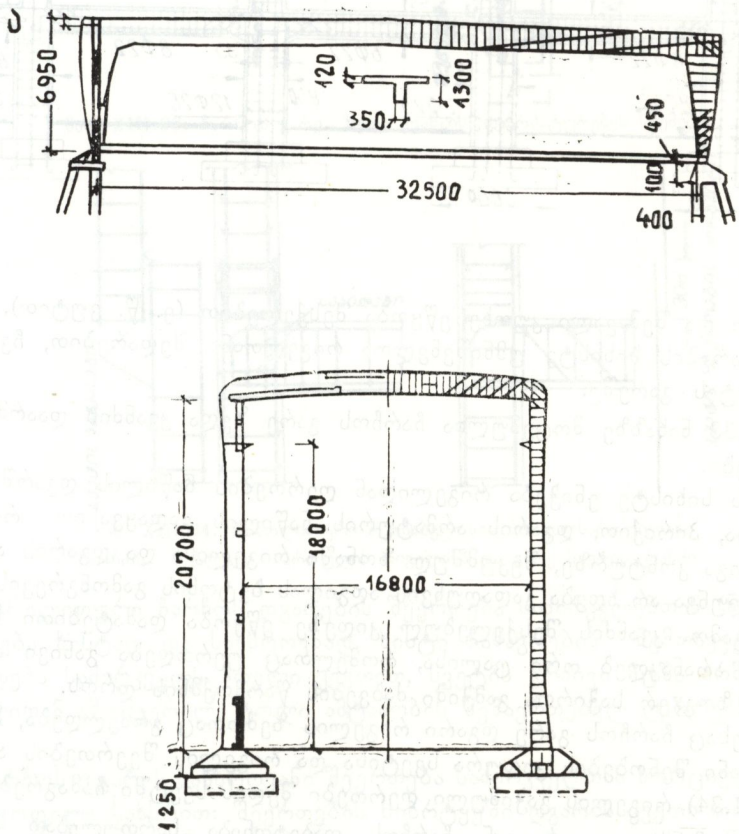
მონოლითური ჩარჩოები უპირატესად ეწყობა ხისტი კვანძებით. მრავალსართულიანი ასაწყობი რკინაბეტონის ჩარჩოები იგება რიგელებისა და დგარების როგორც ხისტი შეერთებით კვანძებში, ასევე რიგელების სახსროვანი დაყრდნობით სვეტებზე.

ჩარჩო ღეროვანი კონსტრუქციაა, რომლის გეომეტრიულ უცვლელობას უზრუნველყოფს ჩარჩოს ელემენტების ხისტი ჩამაგრება კვანძებში. ჩარჩოს ელემენტები განიცდიან ღერძული ძალების, მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების მოქმედებას. რიგელების ღერძული ძალების გავლენა მღუნავ მომენტთან შედარებით უმნიშვნელოა და კონსტრუქციული გაანგარიშებისას მხედველობაში არ მიიღება. დგარების განივი ძალების გავლენა გრძივ ძალებთან შედარებით უმნიშვნელოა. ჩარჩოვანი კონსტრუქციების დაგეგმარების დროს სარგებლობენ დგარებისათვის — არაცენტრალურ კუმშვაზე მომუშავე ელემენტების, ხოლო რიგელებისათვის — ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშებისა და კონსტრუირების საერთო წესებით.

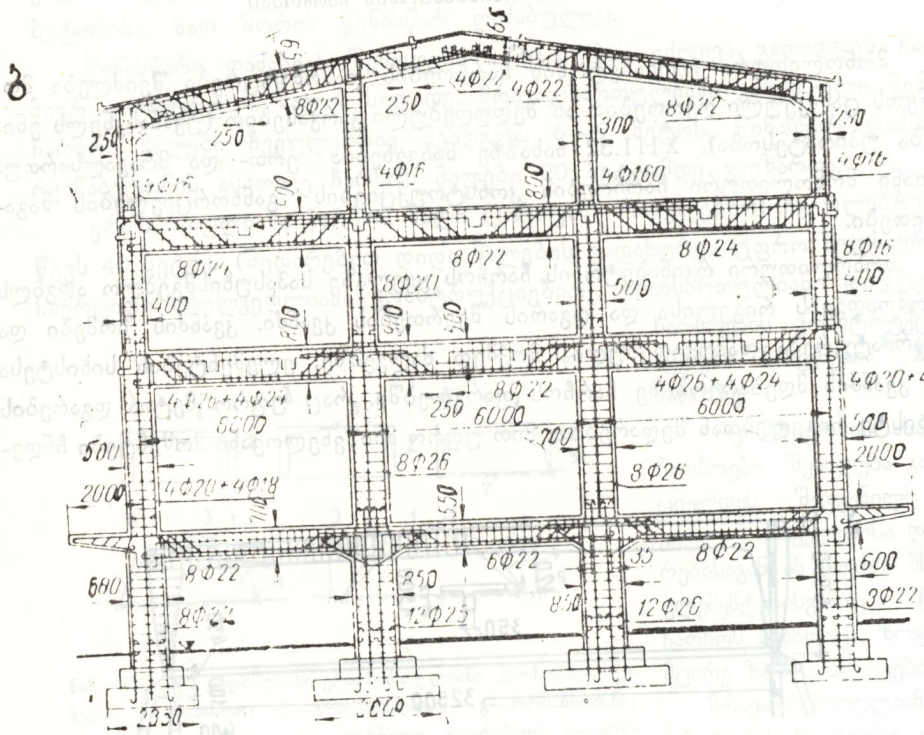
2. მონოლითური რკინაბეტონის ჩარჩოები

მონოლითური რკინაბეტონის ჩარჩოების დაარმატურება შეიძლება მოეწყოს ცალკეული ღეროებით ან შედუღებული კარკასებით (უკანასკნელს ენიჭება უპირატესობა). XIII.32 ნახაზზე ნაჩვენებია ერთ- და მრავალსართულიანი მონოლითური ჩარჩოების კონსტრუქციების განხორციელების ვარიანტები.

მონოლითური რკინაბეტონის ჩარჩოს ყველაზე საპასუხისმგებლო ადგილს წარმოადგენს რიგელისა და დგარის შეერთების კვანძი. კვანძის ზომები და დაარმატურება დამოკიდებულია მოქმედ ძალვებზე, ელემენტების სიხისტესა და კვანძის მდებარეობაზე ჩარჩოს ფარგლებში. რაც უფრო მეტია დგარების სიხისტე რიგელებთან შედარებით, მით უფრო მნიშვნელოვანი მომენტები ჩნდე-



ნახ. XIII.32. მონოლითური რკინაბეტონის ჩარჩოების კონსტრუქციები: ა—ერთსართულიანი ჩარჩოები შინასწარ დაძაბული რიგელებით; ბ—მრავალსართულიანი დაუძაბავი რკინაბეტონის ჩარჩო (ცალკეული ღეროებით დაარმატურების შემთხვევა).



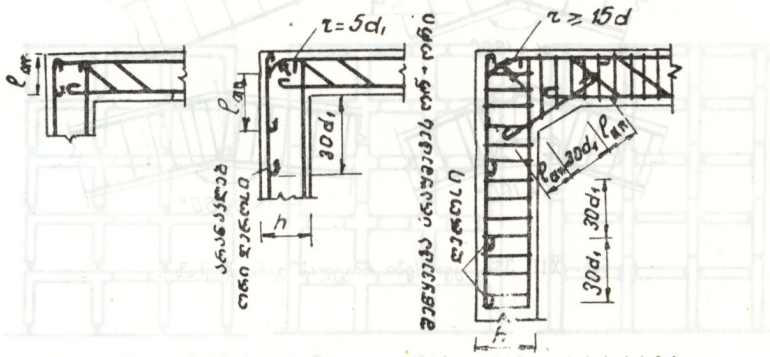
ბა კვანძში და შემავალი კუთხე ეწყობა შესქელებით (ე. წ. ვუტით), ხოლო, როცა დგარების სიხისტე უმნიშვნელოა რიგელთან შედარებით, ჩვეულებრივ — ვუტის გარეშე.

XIII.33 ნახაზზე მოცემულია ჩარჩოს გარე ზედა კვანძის დაარმატურების სქემები.

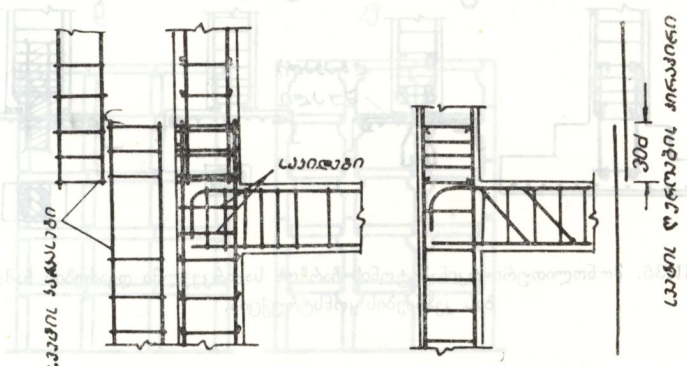
კვანძს სიხისტე ენიჭება რიგელიდან ღეროების ნაწილის დგარში გადაყვანით და, პირიქით, დგარის არმატურის ნაწილის გადაყვანით რიგელში. კვანძის შიგა კონტურზე, შეკუმშულ ზონაში რიგელისა და დგარის არმატურის გადაღუნვა არ ხდება გადაღუნვის ადგილას ბეტონის გამონგრევის საშიშროების გამო. კვანძის შესქელებულ კიდეზე ეწყობა დამატებითი საკვანძე ღეროები, არანაკლებ ორი ცალისა, რომელთაც უერთდება განივი არმატურა. ისინი ზოგჯერ საჭიროა გამჭიმი ძაბვების წარმოქმნის დროს.

როდესაც ჩარჩოს გარე დგარი რიგელის ზემოთაც გრძელდება, მრავალსართულიანი შენობების კიდურა სვეტისა და რიგელის შეერთების ადგილას (ნახ. XIII.34) რიგელის გაჭიმული ღეროები შედის სვეტში ჩამაგრებისათვის საჭირო l_{an} მანძილით. რადგან ჩარჩოს დაბეტონება სართულებად მიმდინარეობს, სვეტის გრძივი არმატურის გადაბმა მოხდება სართულშუა გადახურვის დონეზე ქვედა სართულის გრძივი მუშა არმატურის შვერილებისა და ზედა სართულის გრძივი მუშა არმატურის პირაპირის (შედუღებული ან შეკრული) მოწყობის გზით.

რიგელის გარდატეხის კვანძები (ნახ. XIII.35) უნდა გაძლიერდეს განივი არმატურით. როდესაც კუთხე საკმაოდ ბლაგვია — $\alpha > 160°$ — რიგელის გრძივი მუშა არმატურა შეუწყვეტლივ გაივლის კვანძის როგორც შიგა, ასევე გარე კონტურზე. გარდატეხის კუთხეებისათვის $\alpha < 160°$ კვანძში შემავალი ელემენტებიდან რიგელის არმატურა ერთმანეთს უკავშირდება სპეციალური შემაერთებელი ღეროების შედუღების გზით ან კვანძის წვეროდან ჩამაგრებისათვის საჭირო სიგრძით ერთმანეთზე გადადებით.



ნახ. XIII.33. ჩარჩოს გარე ზედა კვანძის დაარმატურების სქემები.

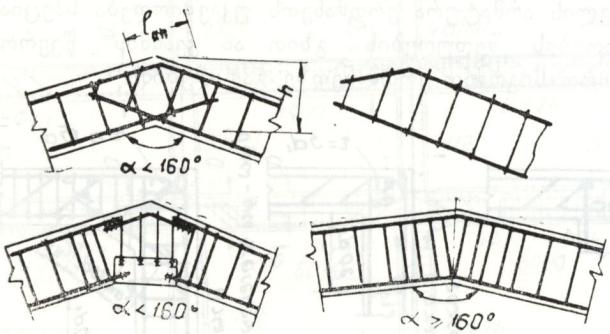


ნახ. XIII.34. მონოლითური რკინაბეტონის მრავალსართულიანი ჩარჩოს შუალედი სართულის რიგელისა და გარე სვეტის კვანძი.

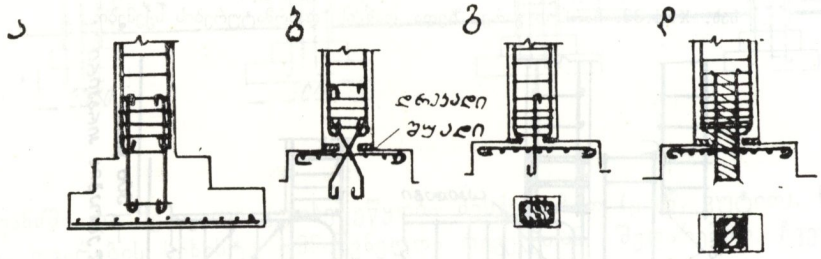
მონოლითური ჩარჩოს დგარების შეერთება საძირკვლებთან (ნახ.XIII.36) შეიძლება ხისტად და სახსროვნად. ხისტი ჩამაგრების შემთხვევაში სვეტი უერთდება საძირკველს მთელი კვეთით, სვეტის გრძივი მუშა არმატურა საძირკვლიდან ამოშვერილ, ტოლი ამტანობის შემაერთებელ ღეროებს უკავშირდება.

ჩარჩოს დგარის სახსროვანი შეერთება საძირკველთან ხორციელდება არასრულყოფილი სახსრით: შეერთების სიბრტყეში დგარის კვეთი თითქმის 2/3-ით მცირდება და მასში ტარდება ვერტიკალური ან გადაჯვარედინებული ღეროები. დიდი დატვირთვების შემთხვევაში შემაერთებელ ღეროებში მოქცეულ ბირთვს აძლიერებენ სპირალით. სახსრის ღრეჩოში დგარსა და საძირკველს შორის ათავსებენ გაფისულ თექას, ძენძს ან ტოლს. სახსარში სვეტის დაწოლა საძირკველს გადაეცემა მცირე ფართობით, ამიტომ დგარების ბოლო და საძირკვლის ზედაპირი ძლიერდება განივი არმატურით ადგილობრივ დატ-

ვირთვაზე სიმტკიცის პირობით. ასეთი სახსარი არ უზრუნველყოფს დგარის თავისუფალ მობრუნებას, მაგრამ მღუნავი მომენტი დგარის ბოლოზე მკვეთრად მცირდება და საანგარიშო სქემაში ჩაითვლება ნულის ტოლად.



ნახ. XIII.35. კვანძები რიგელის გარდატეხაზე.



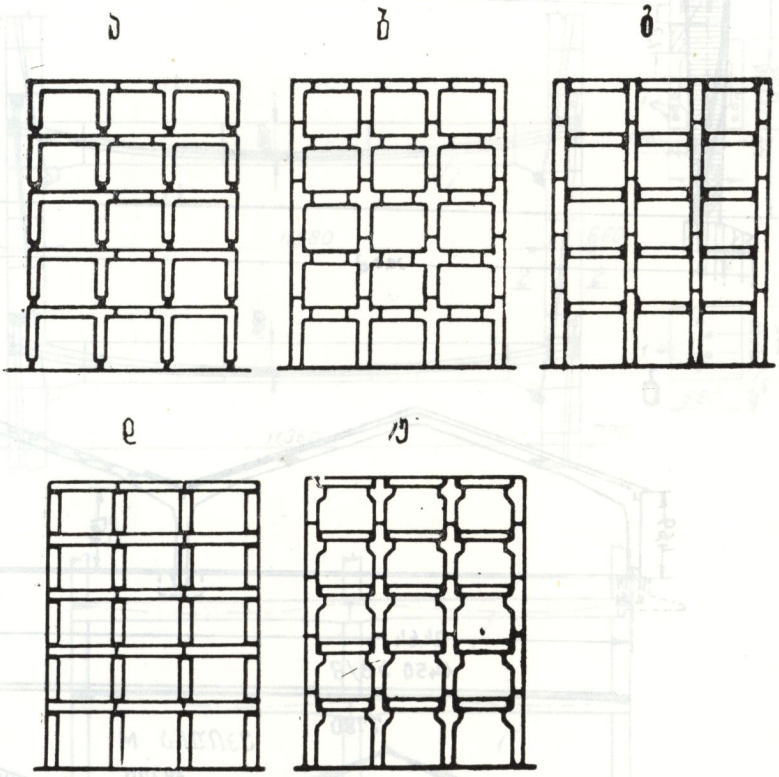
ნახ. XIII.36. მონოლითური რკინაბეტონის ჩარჩოს საძირკველში დგარების ჩამაგრების კვანძების კონსტრუქცია.

3. ასაწყობი რკინაბეტონის ჩარჩოები

შემადგენელ ელემენტებად დაყოფის მიხედვით ასაწყობი რკინაბეტონის ჩარჩოები შეიძლება განხორციელდეს: 1 მარტივი წრფივი ელემენტებისაგან — რიგელებისა და დგარებისაგან და 2. რთული ელემენტებისა (კონსოლებიანი რიგელები, ჯვარედინი და ტესებრი დგარები) და მთელი ჩარჩოებისგანაც კი. პირველი ხერხი უფრო გავრცელებულია; მეორე ხერხი, შემადგენელი ელემენტების ძნელი ტრანსპორტაბელობის (და სხვა გართულებების) გამო გამოდგება მშენებლობის ადგილზე მათი დამზადების შემთხვევაში. ასაწყობი რკინაბეტონის მრავალსართულიანი ჩარჩოს დანაწევრების სქემები მოცემულია XIII.37 ნახაზზე.

XIII.38,ა ნახაზზე მოტანილია ერთსართულიანი ერთმალიანი კარკასული სამრეწველო შენობის წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ასაწყობი არატიპური ჩარჩოს კონსტრუირების მაგალითი. ჩარჩო შედგება სამი ძირითადი წრფივი ელემენტისაგან. წინასწარი დაძაბვის შემთხვევაში რიგელი და დგარე-

ბიც, თავის მხრივ, შეიძლება შედგენილ იქნენ რამდენიმე ბლოკისაგან; ამით ცალკეული ბლოკის მასა მცირდება, მაგრამ მონტაჟი უფრო შრომატევადი ხდება. XIII.38,ბ ნახაზზე ნაჩვენებია ასაწყობი რკინაბეტონის ერთსართულიანი მრავალმალიანი ჩარჩოს კონსტრუქციული სქემა რთული მოხაზულობის ელემენტებად დანაწევრების შემთხვევაში.

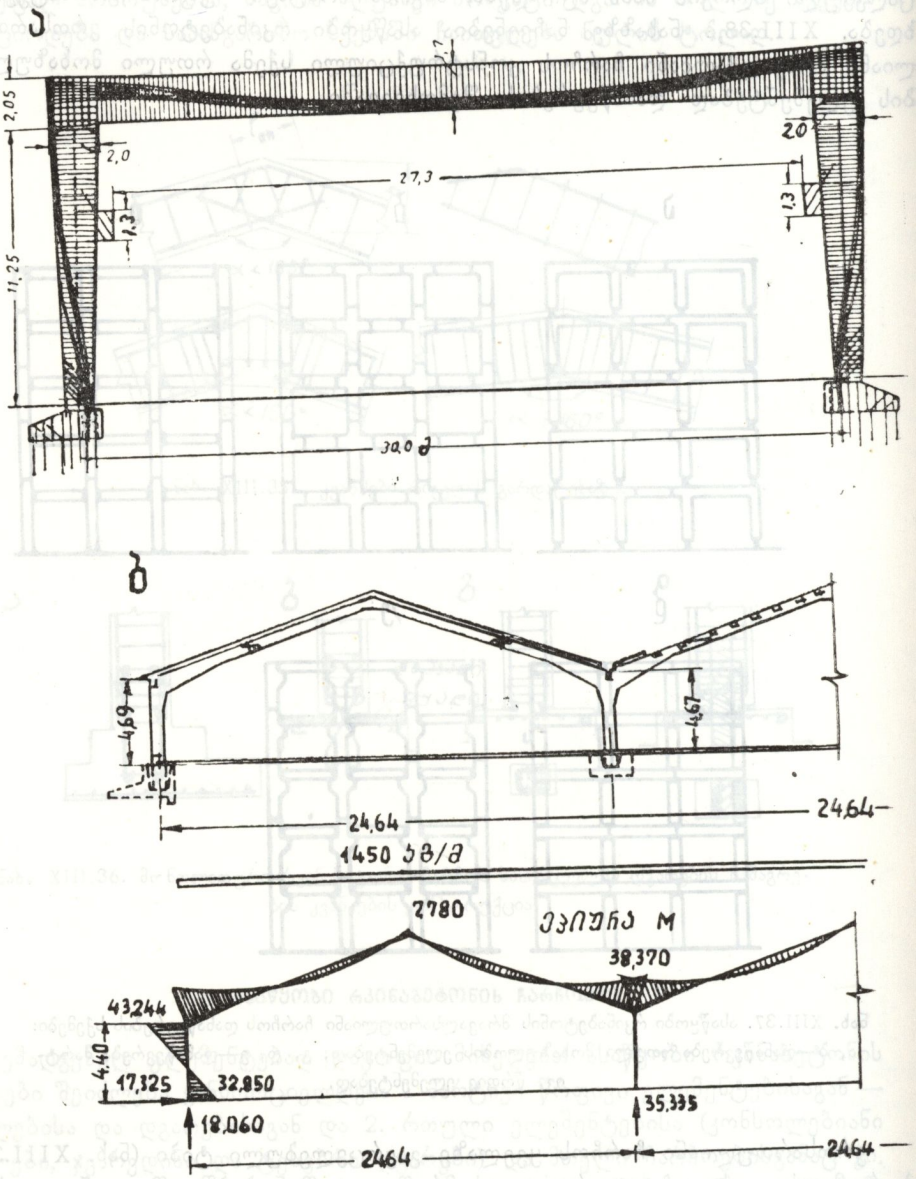


ნახ. XIII.37. ასაწყობი რკინაბეტონის მრავალსართულიანი ჩარჩოს დანაწევრების სქემები: ა, ბ—დანაწევრება რთული მოხაზულობის ელემენტებად; გ, დ, ე—დანაწევრება მართივ, წრფივ ელემენტებად.

ერთსართულიანი ჩარჩოს ყველაზე გავრცელებული ტიპი (ნახ. XIII.38, გ), რომელსაც ვხვდებით კარკასულ სამრეწველო შენობებში, შედგენილია ჭიქისებრ საძირკველში ხისტად ჩამაგრებული დგარებისა და რიგელებისაგან, რომლებიც სახსრულად უერთდებიან დგარებს.

XIII.39 ნახაზზე გამოსახულია სწორხაზოვანი ელემენტებისაგან შედგენილი ასაწყობი რკინაბეტონის მრავალსართულიანი ჩარჩოების განხორციელების მაგალითები, არატიპური კონსტრუქციული გადაწყვეტის შემთხვევაში.

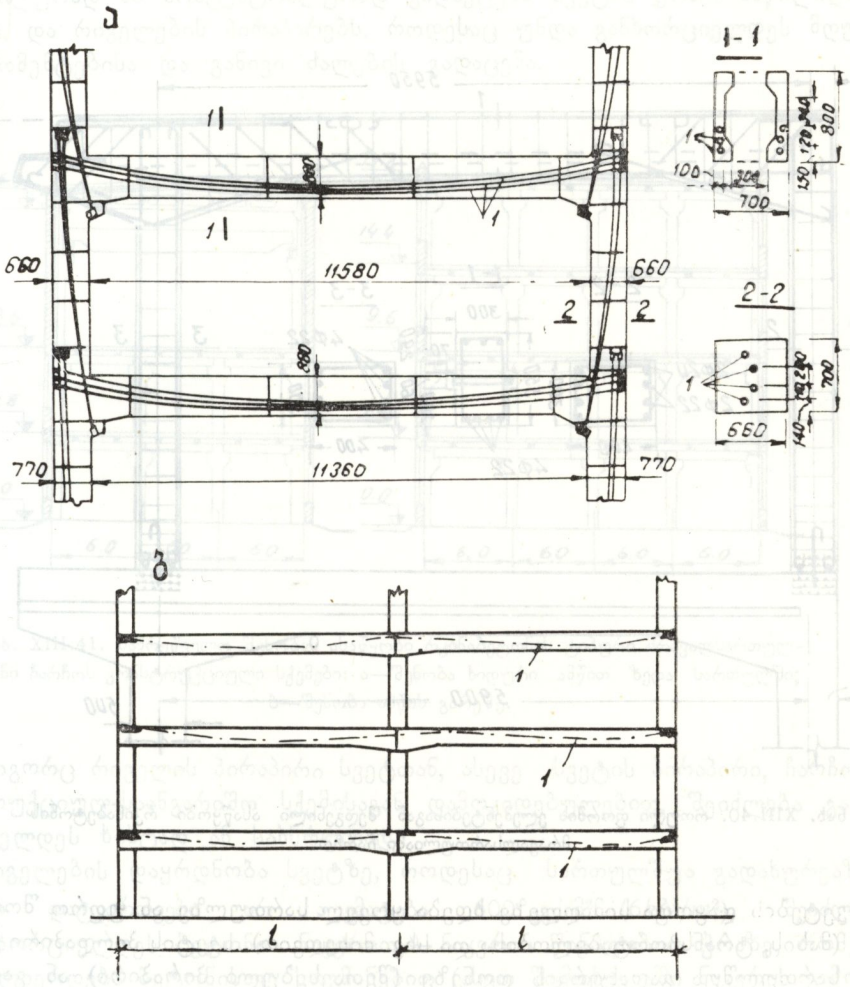
რთული ელემენტებისაგან (სართულის მთელი ჩარჩოს სახით) შედგენილი მრავალსართულიანი ასაწყობი რკინაბეტონის ჩარჩოს კონსტრუქცია ნაჩვენებია XIII.40 ნახაზზე, კარკასული სამრეწველო შენობის წრფივი ელემენ-



ნახ. XIII.38. ასაწყობი რკინაბეტონის ერთსართულიანი ჩარჩოს კონსტრუქციული სქემები: ა—ერთმალიანი ჩარჩო წინასწარ დაძაბული წრფივი ელემენტებისაგან; ბ—მრავალმალიანი ჩარჩო რთული ფორმის ელემენტებისაგან.

ტებისაგან შედგენილი ასაწყობი რკინაბეტონის მრავალსართულიანი ჩარჩოს ტიპური კონსტრუქციული სქემები კი — XIII.41 ნახაზზე.

მრავალსართულიანი ასაწყობი რკინაბეტონის ჩარჩოს რიგელების კვეთი ჩვეულებრივ მიიღება მართკუთხა ან ტესებრი; მართკუთხა კვეთის რიგელს



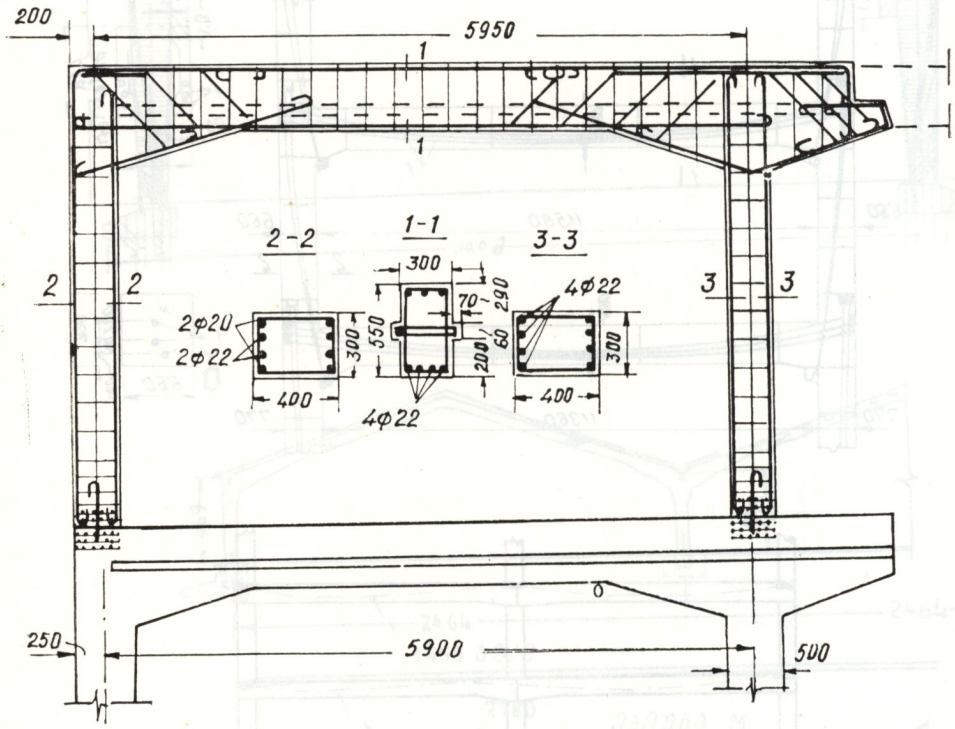
ნახ. XIII.39. ასაწყობი რკინაბეტონის მრავალსართულიანი ჩარჩოს კონსტრუქცია: ა—მცირე ზომის ბლოკებისაგან შედგენილი წინასწარ დაძაბული ელემენტებით; ბ—მალის ზომის წინასწარ დაძაბული რიგელებით.

გადახურვის ფილები ზე̃ოდან ეყრდნობა, ტესებრი კვეთის რიგელს — თაროებზე.

სვეტების კვეთები ჩვეულებრივ მიიღება მართკუთხა. სვეტების დაარმატურება ხდება ისე, როგორც არაცენტრალურ კუმშვაზე მომუშავე ელემენ-

ტებისა. მრავალსართულიანი ჩარჩოს სვეტებს რიგელების დასაყრდენობად უკეთდება მოკლე კონსოლები — რკინაბეტონის ან ფოლადის, ღია ან ფარული.

წრფივი ელემენტებისაგან შედგენილ მრავალსართულიან რკინაბეტონის ჩარჩოებში რიგელების დაყოფა ხდება ყოველ მალში და მათი პირაპირი ეწყობა სვეტის კიდესთან.



ნახ. XIII.40. რთული ფორმის ელემენტებისაგან შედგენილი ასაწყობი რკინაბეტონის მრავალსართულიანი ჩარჩო.

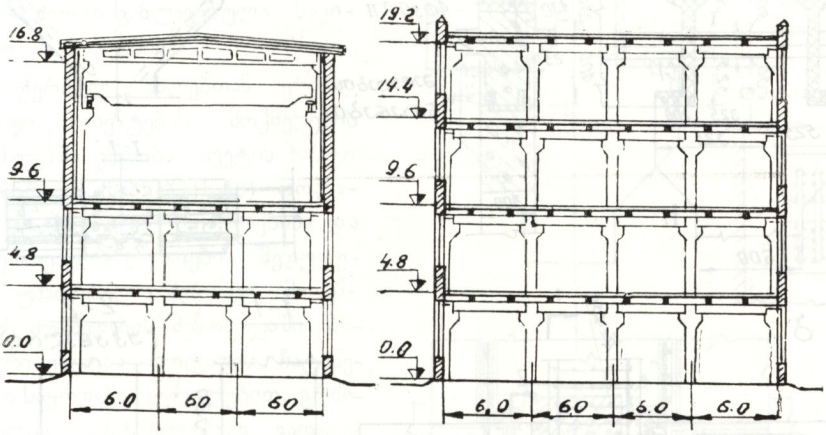
სვეტების დაყოფა სიმაღლეზე ხდება ყოველ სართულზე ან უფრო შორი-შორს (მასის, ტრანსპორტაბელობისა და სხვ. მიხედვით). სვეტის პირდაპირი ეწყობა სართულშუა გადახურვის დონეზე (შეთავსებული პირაპირი) ან გადახურვის ზემოთ, მისგან დაახლოებით 1 მეტრის მანძილზე (გამოტანილი პირაპირი).

ასაწყობი კონსტრუქციების ელემენტების ურთიერთკავშირი ან ელემენტის ერთი ნაწილისა მეორესთან — პირაპირი — ეწყობა ორგვარად: 1. ძალების გადაცემა გრძივ მუშა არმატურასთან დაკავშირებული ჩატანებული ფოლადის დეტალებისა და შემაერთებელი ელემენტების შედუღებისა და ბეტონის საშუალებით; 2. ძალების გადაცემა უშუალოდ ბეტონის ზედაპირებით.

ძალების გადაცემის ხერხის მიუხედავად ასაწყობი რკინაბეტონის კონსტრუქციების პირაპირი უნდა გამონოლითდეს ბეტონის ნარევით (წვრილმარცვლოვანი) ან დუღაბით.

წინაღობის სახეობის მიხედვით განასხვავებენ პირაპირებს, რომელთა საშუალებითაც უნდა მოხდეს გამჭიმი ძალების, მკუმშავი ძალების, ან მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების გადაცემა.

ასაწყობი რკინაბეტონის ჩარჩოებში ვხვდებით ძირითადად ორ უკანასკნელს — სვეტების პირაპირებს, რომელთა საშუალებით მკუმშავი ძალები ცენტრალურად ან არაცენტრალურად გადაეცემა სვეტის ერთი ნაწილიდან მეორეს, და რიგელების პირაპირებს, როდესაც უნდა განხორციელდეს მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების გადაცემა.



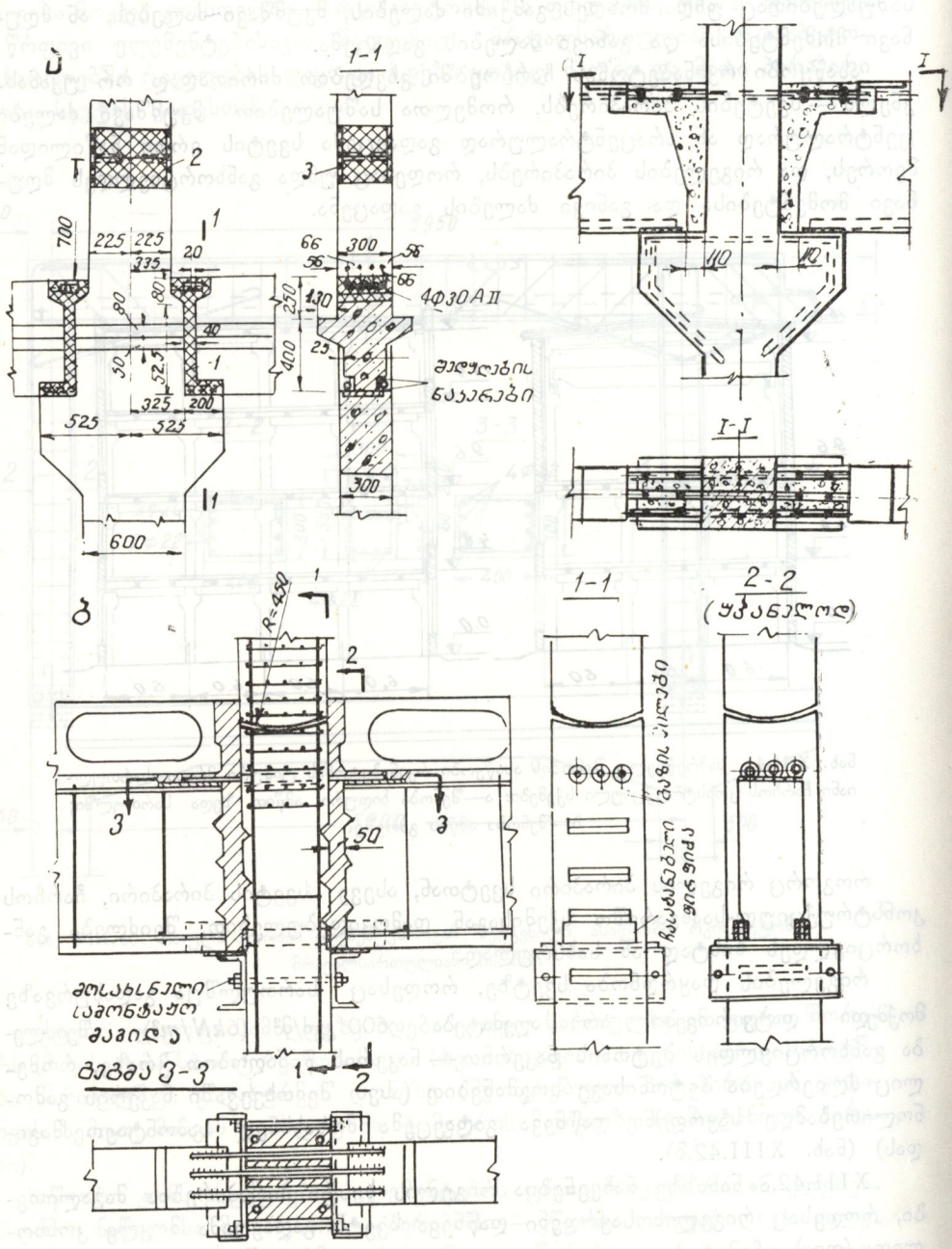
ნახ. XIII.41. სამრეწველო შენობის ასაწყობი რკინაბეტონის ტიპური მრავალსართულიანი ჩარჩოს კონსტრუქციული სქემები: ა—შენობა ხიდური ამწით ზედა სართულში; ბ—შენობა ამწის გარეშე.

როგორც რიგელის პირაპირი სვეტთან, ასევე სვეტის პირაპირი, ჩარჩოს კონსტრუქციულ-საანგარიშო სქემისაგან დამოკიდებულებით, შეიძლება განხორციელდეს ხისტად ან სახსრულად.

რიგელების დაყრდნობა სვეტზე, როდესაც სართულშუა გადახურვაზე მოქმედი დატვირთვები არ აღემატება 600 კგძ/მ² (6kN/m^2), შეიძლება განხორციელდეს ბეტონის ნაკერით — ნაკერის წინაღობით ჭრაზე, რომელიც ძლიერდება ბეტონისავე სოგმანებით (ასეთ შემთხვევაში ნაკერის გამონოლითებამდე საყრდენი დაწნევა გადაეცემა მოსახსნელ სამონტაჟო მაგიდას) (ნახ. XIII.42,ბ).

XIII.42,ა ნახაზზე ნაჩვენებია რიგელის ხისტი პირაპირების მაგალითები, როდესაც რიგელის საყრდენი დაწნევა სვეტს გადაეცემა მოკლე კონსოლით (ღია).

ხისტ პირაპირში გამჭიმი ძალების გადაცემა ხდება შემაერთებელი ღეროების შედუღების გზით გაჭიმული ზონის გრძივ მუშა არმატურასთან ან ფოლადის ჩატანებულ დეტალებთან. მნიშვნელოვანი გრძივი ძალების შემთხვევაში კავშირი შემაერთებელ ღეროებსა და გრძივ მუშა არმატურას შორის აბაზანური შედუღებით ეწყობა.



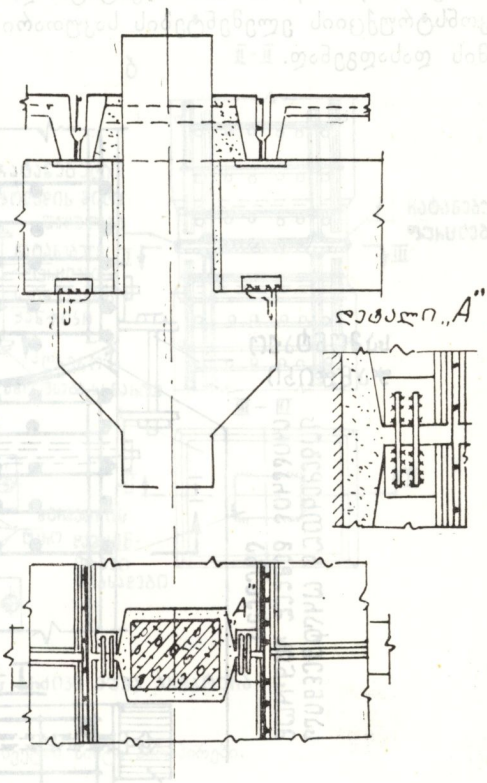
ნახ. XIII.42. რიგელების ხისტი პირაპირები სვეტთან: ა—განივი ძალების გადაცემა სვეტზე რკინაბეტონის მოკლე ღია კონსოლებით; ბ—განივი ძალების გადაცემა ბეტონის ნაკერით.

სვეტზე რიგელის სახსრულად დაყრდნობის შემთხვევაში (ნახ.XIII.43) პირაპირის შემაერთებელი ღეროები ეწყობა კონსტრუქციული მოსაზრებებით.

სვეტების სფერულ სახსრულ ბეტონის ზედაპირების მეშვეობით, ცემა ხდება ფოლადის ჩატანებული

პირაპირებში N გრძივი ძალა გადაიცემა ხისტ პირაპირებში M, N ძალვების გადადეტალებისა და ბეტონის წინაღობით.

სვეტების სახსრული პირაპირები (ნახ. XIII.44) ეწყობა ღერძული მკუმშავი ძალის გადასაცემად ბეტონის სფერული ან ბრტყელი ზედაპირების კონტაქტით. შეერთების ადგილას ადგილობრივ კუმშვაზე სიმტკიცის პირობით ბეტონის კვეთი ძლიერდება განივი არმატურით—ხშირად განლაგებული საკიდებით ან ბადეებით.



ნახ. XIII.43. რიგელის სახსრული პირაპირი სვეტთან.

ღერძულ ძალებთან ერთად მღუნავი მომენტების მოქმედების შემთხვევაში ეწყობა სვეტის ხისტი პირაპირები (ნახ. XIII.45) ფოლადის ჩატანებული დეტალებისა და შემაერთებელი ღეროების შედუღებით: უმნიშვნელო მღუნავი მომენტების მოქმედების შემთხვევაში პირაპირი ეწყობა ფოლადის ჩატანებული საყრდენი ფურცლებით; გრძივი ძალის ცენტრალურად გადაცემას უზრუნველყოფს მაცენტრებელი ფირფიტა, რომელიც მიედუღება ქვედა სვეტის საყრდენ ფურცელს (ნახ. XIII.45,ბ ჩატანებული სათავე ფურცლების კონტურზე შედუღების გარეშე).

ასეთივე პირაპირი, მაგრამ საყრდენი ფურცლების კონტურზე დამატებითი შედუღებით, შეიძლება განხორციელდეს, როდესაც ექსცენტრისიტეტი $e_0 = \frac{M}{N} \leqslant$ $\leqslant 0{,}2h$ (ნახ. XIII.45, ბ).

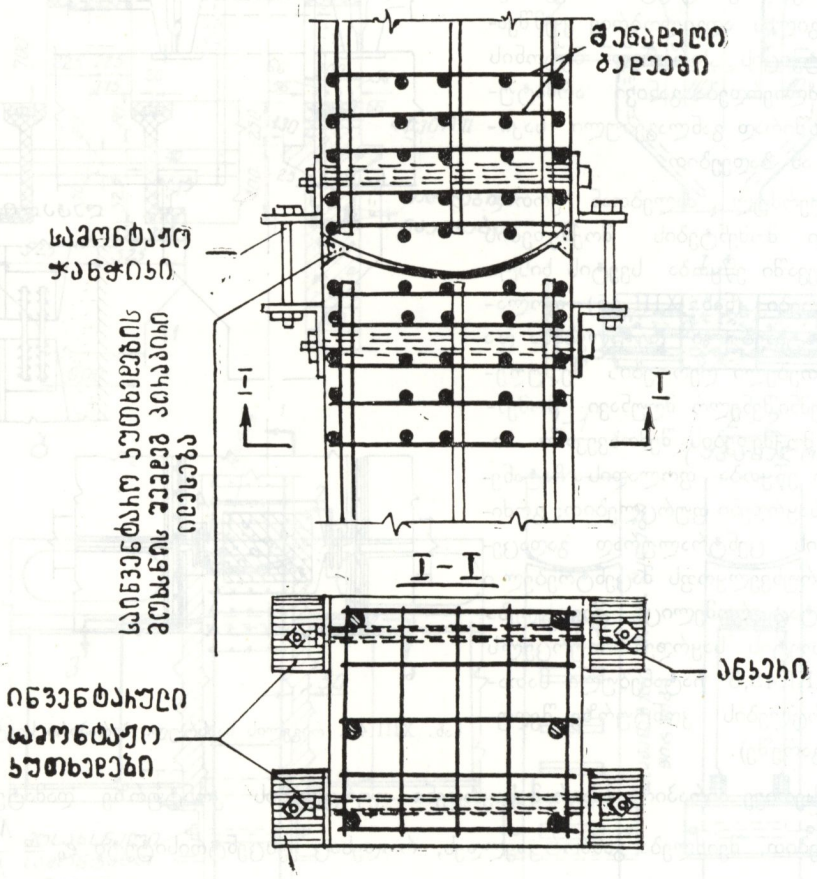
მნიშვნელოვანი ექსცენტრისიტეტების შემთხვევაში სვეტის ხისტი პირაპირი ხორციელდება ფოლადის მძლავრ (კუთხოვან და ზოლოვან) ჩასატანებელ დეტალებზე, რომელთაც შედუღებით უკავშირდება გრძივი მუშა არმატურის ღეროები და პირაპირის ზესადები (ნახ. XIII.45,ა) შემაერთებელი დეტალები.

რიგელისა და სვეტის პირაპირების ელემენტები, შედუღების ნაკერები და საყრდენი კონსოლები იანგარიშება სიმტკიცის პირობით.

ჩარჩოების გაანგარიშება მიმდინარეობს სამ ეტაპად: 1. საანგარიშო სქემის დადგენა, 2. სტატიკური გაანგარიშება, 3. კონსტრუქციული გაანგარიშება.

ჩარჩოვანი კონსტრუქციები სტატიკურად ურკვევ სისტემებს წარმოადგენენ. მათი გაანგარიშებისათვის წინასწარ ცნობილი უნდა იყოს ელემენტების სიხისტე.

გაანგარიშების I ეტაპი იწყება რიგელებისა და დგარების განივკვეთის ზომების წინასწარი (საორიენტაციოდ) დანიშვნით, რაც საჭიროა, აგრეთვე კონსტრუქციის ელემენტების საკუთარი წონისა და ჩარჩოს საანგარიშო სქემის დასადგენად.

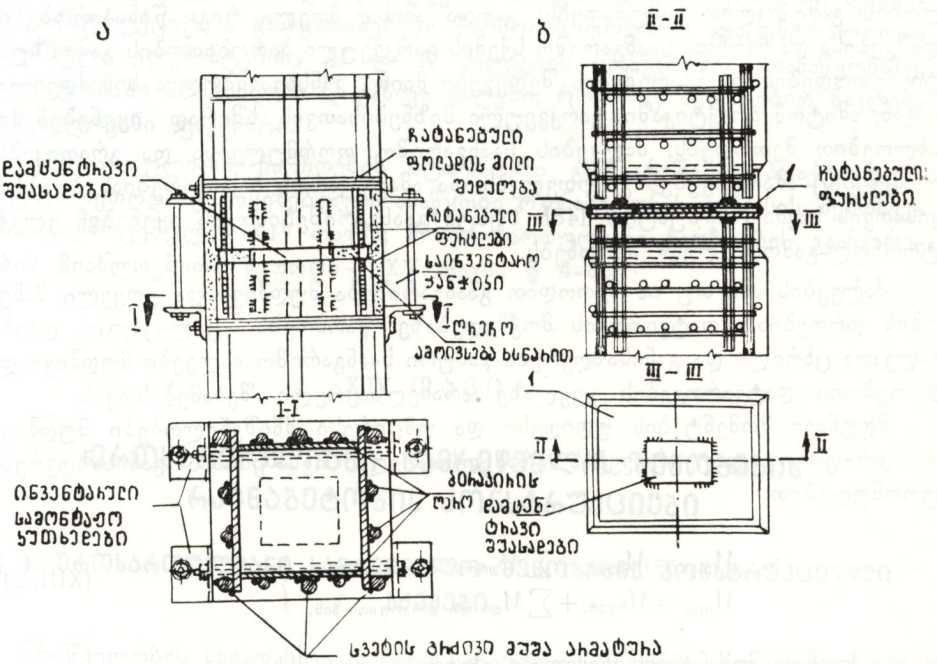


ნახ. XIII.44. სვეტის სახსრული სფერული პირაპირი.

ჩარჩოს ელემენტების განივკვეთის ზომები წინასწარ ინიშნება არსებული მსგავსი კონსტრუქციების პროექტების მიხედვით, ასაწყობი რკინაბეტონის უნიფიცირებული ნაწარმის კატალოგების დახმარებით ან გრაფიკების, ცხრილებისა და ფორმულების საშუალებით, რომლებიც შედგენილია დაპროექტების პრაქტიკის საფუძველზე.

დატვირთვაში საკუთარი მასის გასათვალისწინებლად რიგელების სიმაღლე წინასწარ შეიძლება დაინიშნოს პირობით $h = \frac{1}{10} \div \frac{1}{15} l$, სადაც l რიგელის მალია.

რიგელების წიბოს სიგანე მიიღება 0,3÷0,4 h-ის ტოლი. სვეტების სიგანე კი—არანაკლები რიგელის სიგანისა, არანაკლები 25 სმ-ისა მონოლითური რკინაბეტონის ჩარჩოებისათვის და არანაკლები 30 სმ-ისა—ასაწყობისათვის. სვეტის კვეთის სიმაღლე 1,5 სიგანის ტოლი მიიღება.



ნახ. XIII.45. სვეტის ხისტი პირაპირები.

გაანგარიშების პირველ ეტაპზე მუდმივი და დროებითი ვერტიკალური დატვირთვების (მუდმივი დატვირთვა დადგენილია საორიენტაციო ზომების მიხედვით) ერთდროული მოქმედების შემთხვევისათვის მიახლოებით განისაზღვრება რიგელების უდიდესი მღუნავი M_0 მომენტები ისე, როგორც ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე კოჭებისათვის, და დგარების მკუმშავი N_0 ძალა — როგორც რიგელების საყრდენი რეაქცია თავისუფლად დაყრდნობის შემთხვევაში. შეირჩევა რიგელის განივკვეთის ზომები ნორმალური კვეთის სიმტკიცის პირობით ღუნვის დროს $M=(0{,}6—0{,}8)\,M_0$-ის ტოლი მღუნავი მომენტის მიხედვით: რიგელის სიმაღლე $h_0 = 1{,}8\sqrt{M/R_b b}$; დგარების კვეთები შეირჩევა ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების სიმტკიცის პირობით $N=(0{,}6—0{,}8)\,N_0$-ის ტოლი ღერძული ძალის მიხედვით. სვეტის განივკვეთის ფართობი იანგარიშება ფორმულით $A=(1{,}2 \div 1{,}5)\,N/R_b$; ე. ი. I მიახლოებით დადგინდება ჩარჩოს ელემენტების განივკვეთის ზომები ანგარიშის შედეგებისა და კონსტრუქციული მოსაზრებების გათვალისწინებით.

ამგვარად, მიახლოებით შერჩეული განივკვეთის ზომების მიხედვით დაზუსტდება ჩარჩოს საანგარიშო სქემა, დატვირთვები და განისაზღვრება

ელემენტების სიხისტეები, რაც საფუძვლად ედება ჩარჩოს საბოლოო გაანგარიშებას. იწყება ჩარჩოს გაანგარიშების მეორე ეტაპი.

ჩარჩოს ელემენტებში ძალვების გაანგარიშება შეიძლება ჩატარდეს სამშენებლო მექანიკის ცნობილი მეთოდებით — ძალთა, დეფორმაციათა ან შერეული მეთოდებით. ზუსტი მეთოდებით გაანგარიშება, განსაკუთრებით უცნობთა მნიშვნელოვანი რაოდენობის შემთხვევაში, მოითხოვს დიდი მოცულობის გამოთვლით სამუშაოებს; გარდა ამისა, მთელი რიგი წინაპირობების დაშვებისა და ჩარჩოს საანგარიშო სქემის გარკვეული პირობითობის გამო, ზუსტი მეთოდებით გაანგარიშების შედეგები მაინც განსხვავებულია სინამდვილისაგან. ამიტომ პრაქტიკაში, გარკვეული მიზნებისათვის, ხშირად იყენებენ მიახლოებით მეთოდებს, ძალვების საანგარიშო ფორმულებსა და გრაფიკებს, რომლებიც ამარტივებენ გამოთვლებს და ამავე დროს ხასიათდებიან პრაქტიკისათვის საკმაო სიზუსტით [48]. ზუსტი გაანგარიშებისთვის იყენებენ ელექტრონულ-გამომთვლელ მანქანებს.

ძალვების ამა თუ იმ მეთოდით გაანგარიშება მუდმივი და ყოველი სახეობის დროებითი დატვირთვის მოქმედებაზე წარმოებს ცალ-ცალკე. დგება ძალვათა ცხრილი და განისაზღვრება ჯამური საანგარიშო ძალვები მუდმივი და დროებითი დატვირთვების ყველაზე არახელსაყრელი შეხამებისთვის.

მღუნავი მომენტების უდიდესი და უმცირესი მნიშვნელობები მუდმივი და დროებითი დატვირთვების არახელსაყრელი შეხამებისას განისაზღვრება ფორმულებით:

$$\left.\begin{aligned} M_{\max} &= M_{\text{მუდმ.}} + \sum M_{\text{დროებ. დადებითი ნიშ.}} \\ M_{\min} &= M_{\text{მუდმ.}} + \sum M_{\text{დროებ. უარყოფითი ნიშ.}} \end{aligned}\right\} \qquad \text{(XIII.21)}$$

აიგება მღუნავი მომენტების მომვლები ეპიურები.

იანგარიშება მღუნავი მომენტების $M_{\max}$ და $M_{\min}$ სიდიდეთა გამომწვევი დატვირთვების მოქმედების შესაბამისი ნორმალური და განივი ძალები; დგარებისათვის, გარდა ამისა, იანგარიშება $N_{\max}$ ნორმალური ძალების უდიდესი მნიშვნელობები, გამოწვეული მუდმივი და დროებითი დატვირთვების ერთობლივი მოქმედებით და შესაბამისი მღუნავი მომენტების სიდიდე.

საანგარიშო M, Q, N ძალვები განისაზღვრება დატვირთვების ძირითადი და განსაკუთრებული შეხამებისათვის.

ჩარჩოების გაანგარიშების შემდეგი ეტაპი — კონსტრუქციული გაანგარიშება — მოიცავს ჩარჩოს ელემენტების კვეთების და არმატურის შერჩევის ამოცანებს სიმტკიცის პირობით (ასაწყობი რკინაბეტონის ჩარჩოსთვის უნდა ჩატარდეს აგრეთვე პირაპირების გაანგარიშება), საჭიროებისამებრ ბზარმედეგობაზე და დეფორმაციათა მიხედვით გაანგარიშებას.

ჩარჩოს ელემენტების გრძივი ღერძებისადმი ნორმალურ საანგარიშო კვეთებს წარმოადგენენ: რიგელებისათვის — სვეტის კიდეზე (საყრდენის), მალის შუაში და მეოთხედებში გამავალი კვეთები; დგარებისათვის — ბოლოებზე გამავალი და დამატებით ერთი ან ორი კვეთი ბოლოებს შორის ყოველ სართულზე. თუ საბოლოო გაანგარიშებით შერჩეული ჩარჩოს ელემენტების კვეთების სი-

ზისტე 2—3-ჯერ განსხვავებული აღმოჩნდა წინასწარ, საანგარიშო სქემაში მიღებულისაგან, უნდა ჩატარდეს ჩარჩოს გადაანგარიშება.

რიგელების კონსტრუქციული გაანგარიშებისას ხეღდველობაში არ მიიღება გრძივი ძალების (N) გავლენა, ე. ი. რიგელები იანგარიშება როგორც ღუნვადი ელემენტები M და Q ძალვების საანგარიშო თანწყობებზე. სვეტების კონსტრუქციული გაანგარიშებები წარმოებს როგორც არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტებისა M და N ძალვების საანგარიშო თანაწყობაზე, მხედველობაში არ მიიღება Q განივი ძალები, როგორც შედარებით ნაკლებშნიშვნელოვანი ფაქტორი.

ერთსართულიანი ჩარჩოების სტატიკური გაანგარიშების პრაქტიკული, მარტივი მეთოდი გამოყენებულია ასაწყობი რკინაბეტონის კარკასის შემთხვევაში, გადმოცემულია XIV თავში; მრავალსართულიანი ჩარჩოების გაანგარიშების მიახლოებითი მეთოდი — XV თავის § 4-ში.

XIV თავი

ერთსართულიანი სამრეწველო შენობების რკინაბეტონის კონსტრუქციები

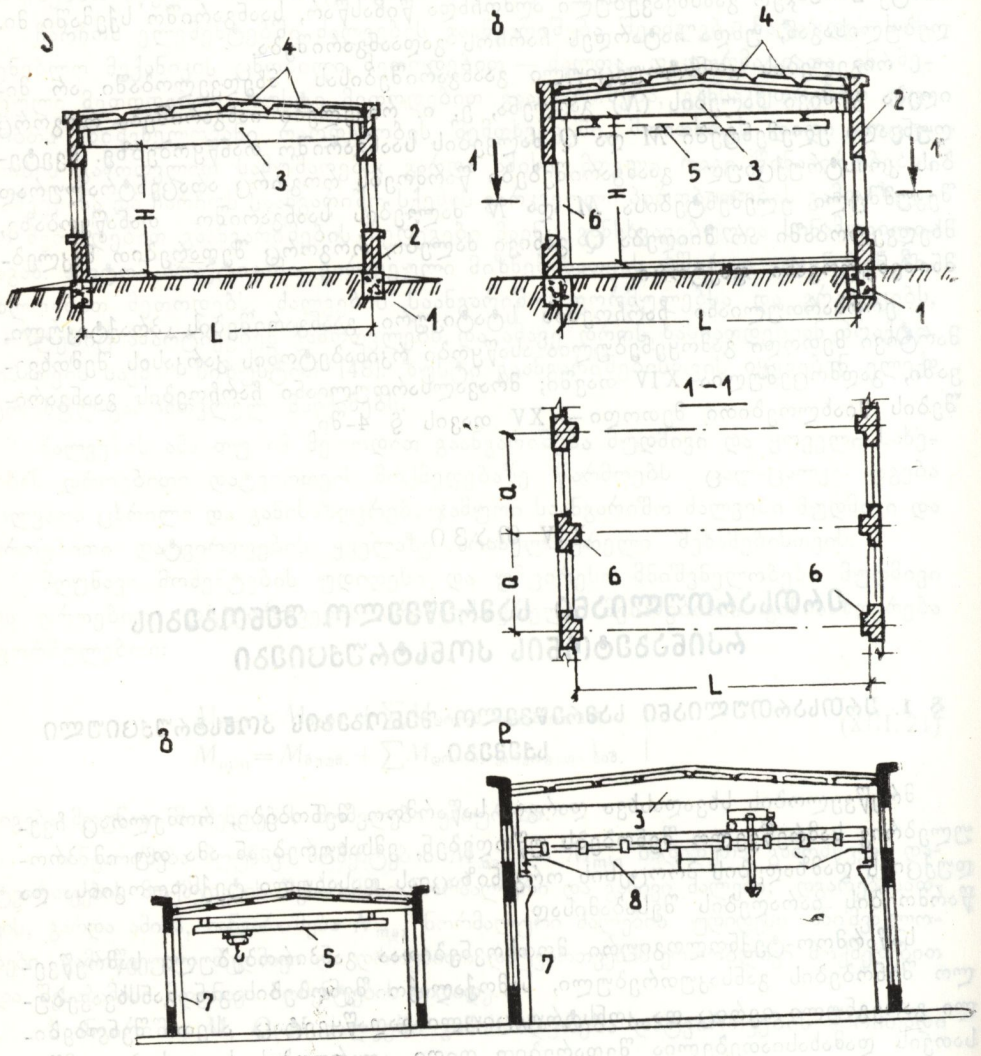
§ 1. ერთსართულიანი სამრეწველო შენობების კონსტრუქციული სქემები

მრეწველობის სხვადასხვა დარგის საწარმოო შენობები, რომელთაც ჩვეულებრივ სამრეწველო შენობებს უწოდებენ, ემსახურებიან ამა თუ იმ პროდუქციის დამზადების პროცესის ორგანიზაციას დასახული ტექნოლოგიისა და წარმოების იარაღების შესაბამისად.

საწარმოო-ტექნოლოგიური მოთხოვნებითაა განპირობებული სამრეწველო შენობების განსაკუთრებული, სამოქალაქო შენობებისაგან განსხვავებული გარეგნული იერიც და კონსტრუქციული გადაწყვეტაც. ასეთი შენობებისათვის დამახასიათებელია შედარებით დიდი ფართობის სათავსები; ამწე-სატრანსპორტო ნაწყობილობების არსებობის პირობებში საჭირო, შესაბამისი კონსტრუქციული ელემენტების გამოყენება; სახურავის ზედნაშენის გამართვა მაშუქა და სააერაციო ფარნების სახით; მაღალი ტენიანობა, სითბოს მნიშვნელოვანი გამოყოფა, ხმაურის მაღალი დონე და სხვ.

კონსტრუქციული გადაწყვეტის თავისებურებების გამო განასხვავებენ სამრეწველო შენობების ორ ძირითად სახეობას: ერთსართულიანს და მრავალსართულიანს. ჭარბობს ერთსართულიანი სამრეწველო შენობები. ერთსართულიანი შენობების აგება მიზანშეწონილია საწარმოებისათვის, რომელთაც უხდებათ დიდი მასისა და გაბარიტების პროდუქციის გამოშვება და რომელთა ძირითადი ტექნოლოგიური პროცესი გამართულია ჰორიზონტალურად.

ერთსართულიანი სამრეწველო შენობების მთავარ უპირატესობას მრავალსართულიანთან შედარებით წარმოადგენს საწარმოო ნაკადების უკეთესი ორგანიზაცია, მძიმე მოწყობილობების უშუალოდ გრუნტზე მოთავსებულ სა-



ნახ. XIV.1. ერთსართულიანი სამრეწველო შენობების ძირითადი ტიპები: ა—შენობა მზიდი კედლებით; ბ—შენობა მზიდი კონტრფორსებიანი კედლებით, აღჭურვილი შეკიდული ამწით; გ—კარკასული შენობა, აღჭურვილი შეკიდული ამწით; დ—კარკასული შენობა, აღჭურვილი ხიდური ამწით.

ძირკვლებზე დაყრდნობის შესაძლებლობა, სატრანსპორტო და ამწე მოწყობილობების ეკონომიური გადაწყვეტა; მაგრამ ერთსართულიანი შენობები საჭიროებს უფრო დიდ ტერიტორიას.

ერთსართულიანი შენობების კონსტრუქციული სისტემა ძირითადად ორგვარია — კარკასული და უკარკასო, მზიდკედლებიანი; სამრეწველო შენობები უპირატესად წყობა კარკასული კონსტრუქციული სისტემის.

ერთსართულიანი სამრეწველო შენობების ძირითადი ტიპები გამოსახულია XIV.1 ნახაზზე.

კარკასული შენობები შედგება კარკასისა და შემომზღუდი კონსტრუქციებისაგან (კედლები, სახურავი), რომელთა საშუალებითაც კარკასს გადაეცემა ატმოსფერული და სხვა დატვირთვები. შემომზღუდი კონსტრუქციები კარკასულ შენობაში ძირითადად თავისუფალია ტვირთზიდვის მოვალეობისაგან და ემსახურებიან პირდაპირ, ფუნქციურ, შემოზღუდვის დანიშნულებას. კარკასული სისტემა მზიდკედლებიანთან შედარებით ნაკლებად ზღუდავს შენობას საყრდენებით, ინდუსტრიულია, იძლევა კედლებისათვის მსუბუქი, ეკონომიური მასალების გამოყენების საშუალებას.

ერთსართულიანი კარკასული შენობების მზიდი კონსტრუქციები შეიძლება იყოს ერთგვაროვანი — ფოლადის, რკინაბეტონის — ან არაერთგვაროვანი (მაგალითად, რკინაბეტონის სვეტები და ფოლადის ნივნივები).

კარკასის მზიდი ელემენტების შესრულება რკინაბეტონისა თუ ფოლადისაგან, დამოკიდებულია ამწის დატვირთვის სიდიდესა და ხასიათზე, შენობის მოცულობით-საგეგმო პარამეტრებზე და შიგა რეჟიმზე (საშენი მასალების ეკონომიურად ხარჯვის ტექნიკური პირობების მოთხოვნათა გათვალისწინებით). ამა თუ იმ მასალის სამშენებლო კონსტრუქციების გამოყენების მიზანშეწონილობა უნდა გადაწყდეს მათი მოხმარების ეფექტურობისა და მშენებლობის რაიონში საწარმოო ბაზებისა და მატერიალური რესურსების არსებობის მიხედვით.

ერთსართულიანი შენობების კარკასი უფრო ხშირად რკინაბეტონისა შენდება.

კარკასები შეიძლება აიგოს მონოლითური ან ასაწყობი რკინაბეტონისაგან. სამრეწველო შენობებისათვის ძირითადად იყენებენ ასაწყობი რკინაბეტონის კარკასებს.

კარკასი იგება ასაწყობი რკინაბეტონისა, როდესაც შენობა II ხარისხის ცეცხლგამძლეობისაა და მას ამწე-სატრანსპორტო საშუალებები არ გააჩნია, როდესაც შენობაში მოქმედებს $Q \leqslant 30$ ტ ტვირთამწეობის საშუალო და მსუბუქი რეჟიმის ამწეები და სვეტების ბიჯი არ აღემატება 12 მ, ხოლო საამქროს მალი 24 მ და სიმაღლე 18 მეტრამდეა (მანძილი იატაკიდან სახურავის მზიდი კონსტრუქციების უდაბლეს წერტილამდე). ასაწყობი რკინაბეტონის ბრტყელი კონსტრუქციების გამოყენება სახურავის ძირითადი მზიდი ელემენტების სახით შეიძლება შენობებისთვისაც, რომელთა მალი 30—36 მ აღწევს.

სამუშაოთა წარმოების ინდუსტრიული მეთოდების გამოყენების პირობით ცალკეულ შემთხვევებში ასეთი შენობების კარკასი შეიძლება აიგოს მონოლითური რკინაბეტონისაც.

კარკასული შენობის საკედლე მასალად გამოდგება აგური და ბეტონის ქვები (ცალობითი მასალა), ბლოკები ან პანელები (ბეტონის, რკინაბეტონის). მუშაობის პირობების მიხედვით კედლები შეიძლება მოეწყოს მზიდი, თვითმზიდი ან კიდული. ცალობითი მასალის კედლები ჩვეულებრივ თვითმზიდი ეწყობა, ხოლო პანელოვანი — კიდული ან თვითმზიდი, უპირატესად კიდული.

ერთსართულიანი სამრეწველო შენობების კონსტრუქციული და ტექნოლოგიური თავისებურება მდგომარეობს იმაში, რომ შენობაში, ჩვეულებრივ, ეწყობა ამწე-სატრანსპორტო საშუალებები (ნახ. XIV.1) — ხიდური, შეკიდული ან იატაკზედა — მასალებისა და ნაკეთობათა გადასაადგილებლად. ხიდური

ამწის სავალი გზა ეყრდნობა კარკასის ძირითად მზიდ ელემენტებს — სვეტებს; შეკიდული ამწეების სავალი გზა მიემაგრება სახურავის მზიდ ელემენტებზე, ხოლო იატაკზედა ამწეების სავალი გზა დაკავშირებული არ არის კარკასთან. ამ შემთხვევაში ადვილია ტექნოლოგიური პროცესების მოდერნიზაცია და შეიძლება მივაღწიოთ შენობის უნივერსალურობას.

განასხვავებენ ერთსართულიან კარკასულ შენობებს მალების რაოდენობის, აგების მეთოდის, სახურავის პროფილისა და კონსტრუქციული სქემის, განათების, ვენტილაციისა და სხვა ნიშნების მიხედვით.

კარკასული სამრეწველო შენობები გეგმარდება ერთ-, ორ- და მრავალმალიანი; მალები განლაგდება ჩვეულებრივ ურთიერთპარალელურად, მაგრამ, გარდა გრძივი მალებისა, შეიძლება შენობას ექნეს განივი მალებიც (ნახ. XIV.2).

გეგმაში მნიშვნელოვანი ზომების შენობები იყოფა სადეფორმაციო ნაკერებით ბლოკებად. ბლოკის სიგრძე მიიღება შენობის კონსტრუქციული გადაწყვეტისა და შიგა გათბობის პირობების მიხედვით (ცხრილი, XXII დანართი) 40÷60 მ-ის ფარგლებში.

სახურავიდან წყლის მოშორება ხდება გარე ან შიგა წყალსარინით. გარე წყალსარინის გამოყენებისას შენობის სიგანე იშვიათად აღემატება 60 მეტრს, რაც გაპირობებულია სახურავის დასაშვები ქანობით. შიგა წყალსარინის მოწყობის შემთხვევაში შენობებს შეიძლება ექნეს მნიშვნელოვანი ზომები გეგმაში. ამ დროს ისინი უფრო ადვილად ნაწილდებიან ბლოკებად. ზოგჯერ მიმართავენ შერეულ გადაწყვეტას, როდესაც შუა მალებში ეწყობა შიგა წყალსარინი, ხოლო გარე მალებში — გარე.

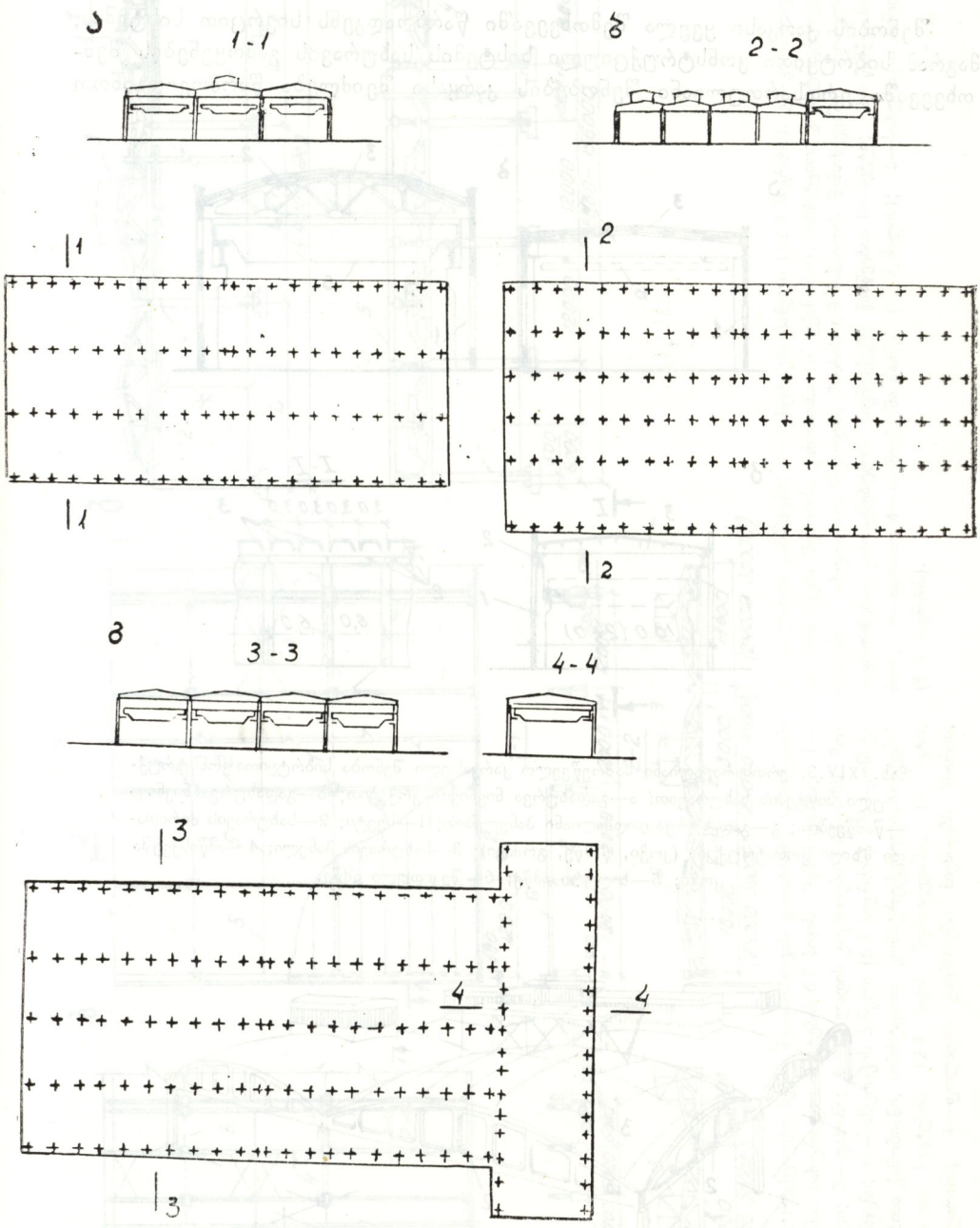
ვიწრო შენობების ბუნებრივი განათებისთვის, ჩვეულებრივ, საკმარისია გვერდითი კედლების შემინვა. განიერი შენობების ბუნებრივი განათებისთვის (როდესაც საამისოდ კედლების შემინვა საკმარისი არ არის) ან აერაციის მიზნით ეწყობა მაშუქა (ფარანი) — გრძივი ან განივი (ზენიტურიც). ჩვეულებრივ გრძივი ფარნის მოწყობა უფრო ხელსაყრელია. განივი ფარანი შეიძლება უმჯობესი აღმოჩნდეს დიდი სიგანის მრავალმალიანი შენობებისათვის. განიერ შენობებში მიმართავენ ხელოვნურ გაშუქებასაც ან შერეულს.

სახურავის პროფილის მიხედვით განასხვავებენ ქანობიან ან ბრტყელ სახურავებს. ყველა მალის სახურავი შეიძლება მდებარეობდეს ერთსა და იმავე ან განსხვავებულ დონეზე.

ახალი ტიპის ერთსართულიანი სამრეწველო შენობებისათვის დამახასიათებელია ბრტყელი სახურავი, ხელოვნური განათება, ჰაერის კონდიცირება, შეკიდული ან იატაკზედა ამწე-სატრანსპორტო მოწყობილობები. ბრტყელი სახურავის გამოყენება მნიშვნელოვნად ამცირებს ასაწყობი კონსტრუქციების ტიპ-ზომების რაოდენობას და შესაბამისად შენობის საერთო ღირებულებას.

შენობის კონსტრუქციული სისტემის განსაზღვრისას მნიშვნელოვან ფაქტორს წარმოადგენს სახურავის კონსტრუქციული სქემა — სახურავის მზიდი კონსტრუქციების სახეობები და დატვირთვების გადაცემის პირობები.

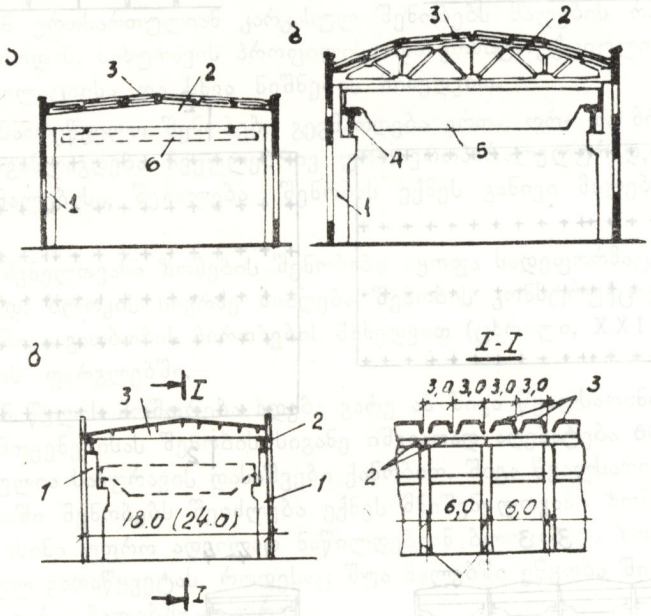
ერთსართულიანი კარკასული სამრეწველო შენობების სახურავის კონსტრუქციული სისტემა ორგვარია: სიბრტყითი, როდესაც სახურავის ზედი კონსტრუქციები წარმოადგენს კოჭური სქემით მომუშავე ხაზოვან ელემენტებს,



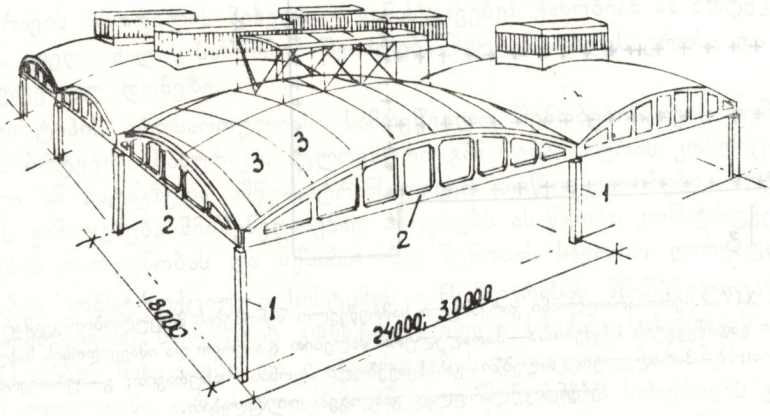
ნახ. XIV.2. ერთსართულიანი კარკასული სამრეწველო შენობების მოცულობით-გეგმარებითი გადაწყვეტის სქემები: ა—პარალელური მალებით და ერთი და იმავე დონის სახურავით; ბ—პარალელურ მალებში განსხვავებული დონის სახურავით; გ—ურთიერთპერპენდიკულარულად განლაგებული მალებით.

და სივრცითი (ნახ.XIV.3 და XIV.4). ფართოდაა გავრცელებული სიბრტყითი სისტემა.

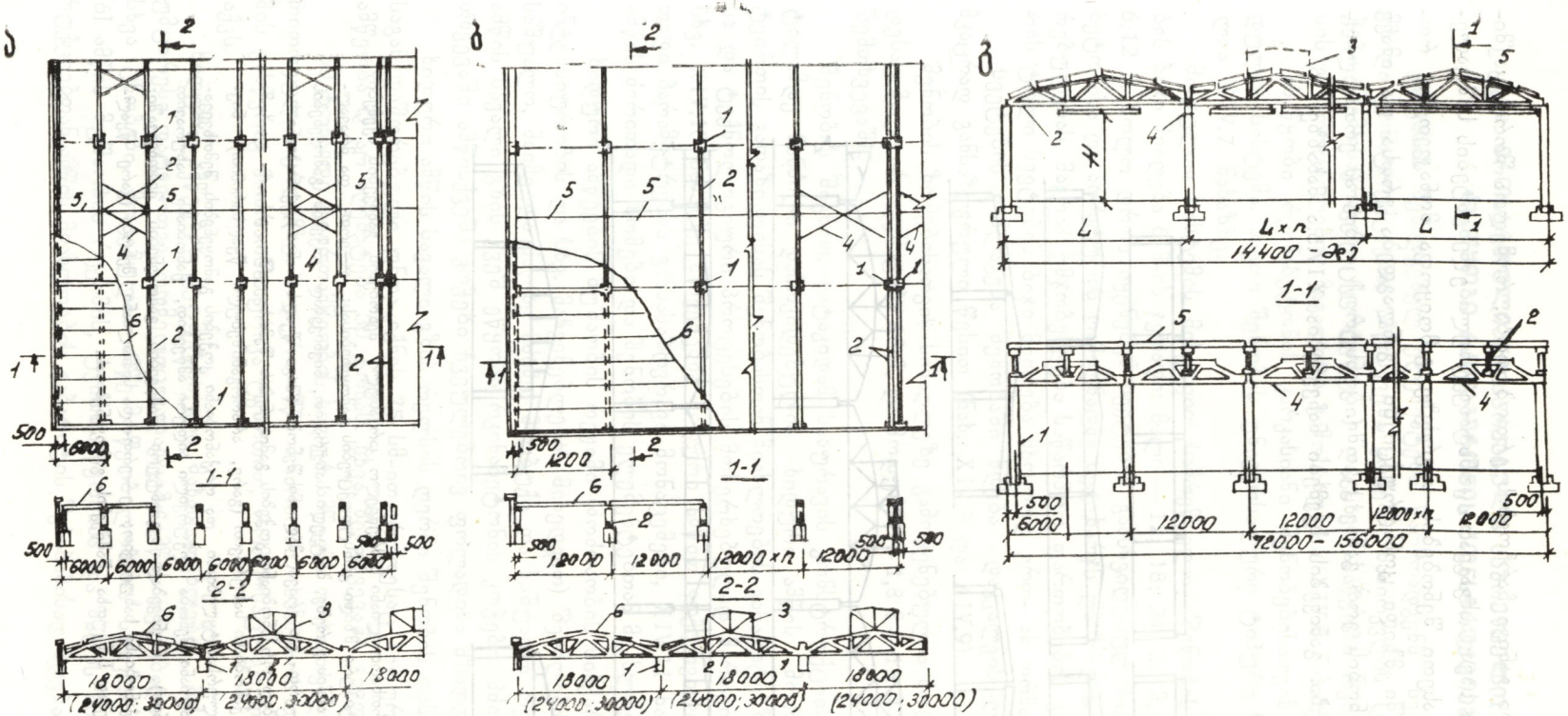
შენობის კარკასი ყველა შემთხვევაში წარმოადგენს სივრცით სისტემას, მაგრამ სიბრტყითი კონსტრუქციული სისტემის სახურავის გამოყენების შემთხვევაში ერთსართულიანი შენობების კარკასი შეიძლება წარმოვიდგინოთ



ნახ. XIV.3. ერთსართულიანი სამრეწველო კარკასული შენობა სიბრტყითი კონსტრუქციული სისტემის სახურავით: ა—გადახურვა ნივნივი—კოჭებით; ბ—გადახურვა ნივნივი—წამწეებით; გ—გადახურვა დიდმალიანი პანელებით; 1—სვეტი; 2—სახურავის ძირითადი მზიდი კონსტრუქცია (კოჭი, წამწე, გრძივი); 3—სახურავის პანელი; 4—ამწისქვეშა კოჭი; 5—ხიდური ამწე; 6—შეკიდული ამწე.

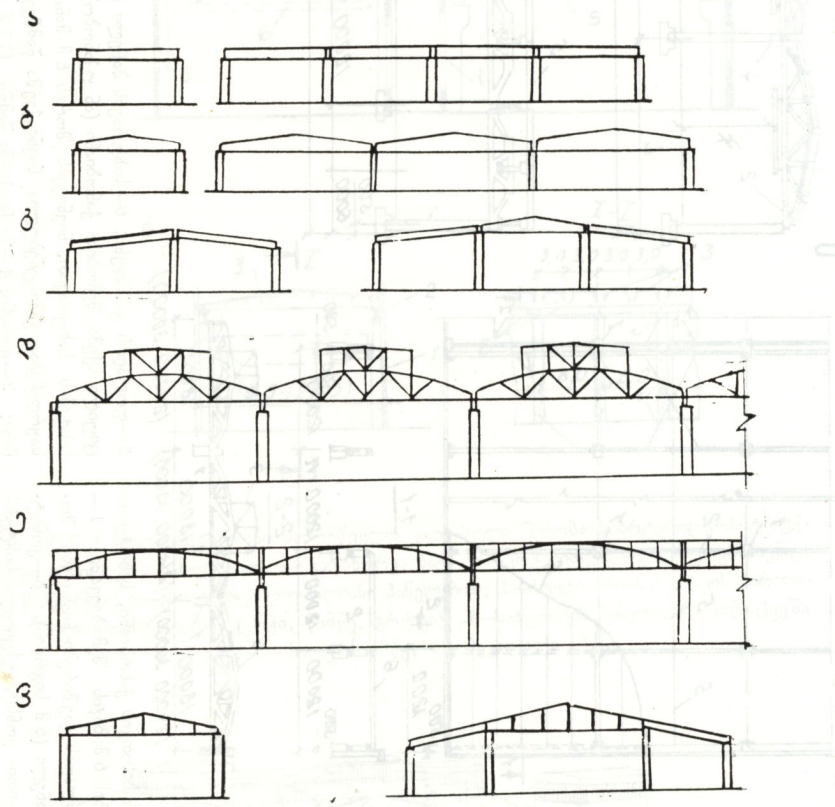


ნახ. XIV.4. ერთსართულიანი კარკასული სამრეწველო შენობა სივრცული კონსტრუქციული სისტემის სახურავით; 1—სვეტები; 2—გარსის კონტურული ელემენტები; 3—სივრცული პანელები.



ნახ. XIV.5. ა—კონსტრუქციული სქემა შენობისათვის ქანობიანი, სიბრტყითი კონსტრუქციული სისტემის სახურავით, სვეტების 6 მ ბიჯის შემთხვევაში; 1—სვეტი; 2—წამწე, ნივნივი; 3—ფარანი; 4—ფოლადის კავშირები ნივნივებს შორის; 5—ფოლადის განმბჯენი; 6—სახურავის პანელი (6 მ სიგრძის). ბ—კონსტრუქციული სქემა შენობისა ქანობიანი, სიბრტყითი კონსტრუქციული სისტემის სახურავით, ნივნივებისა და სვეტების 12 მ ბიჯის შემთხვევაში: 1—სვეტი; 2—წამწე-ნივნივი; 3—ფარანი; 4—ფოლადის კავშირები ნივნივებს შორის; 5—ფოლადის განმბჯენი; 6—სახურავის პანელი (12 მ სიგრძის). გ—კონსტრუქციული სქემა შენობისა ქანობიანი (ან უქანობო), სიბრტყითი კონსტრუქციული სისტემის სახურავით, ნივნივებს შორის 6 მ მანძილის შემთხვევაში, რომელთა საყრდენებად გამოყენებულია ნივნივქვეშა წამწეები: 1—სვეტი; 2—წამწე, ნივნივი; 3—ფარანი; 4—ნივნივქვეშა წამწე (12 მ მალის); 5—სახურავის პანელი (6 მ სიგრძის).

როგორც ბრტყელი განივი ჩარჩოების ერთობლიობა, რომელთა შორის კავშირი ხორციელდება სხვადასხვაგვარი კონსტრუქციული ელემენტების საშუალებით (ნახ.XIV.5). ასეთი შენობების სიგრძეზე გამოიყოფა მონაკვეთები, რომელთა ფარგლებში მზიდი კონსტრუქციები განლაგდება ერთსა და იმავე სიბრტყეში — შენობის ერთ განივ კვეთში. კონსტრუქციების ამ ერთობლიობას განივა ეწოდება. განივების სქემები ნაჩვენებია XIV.5,ა ნახაზზე.



ნახ. XIV. 5ა. ერთსართულიანი სამრეწველო კარკასული შენობების განივების სქემები რკინაბეტონის ტიპური მზიდი კონსტრუქციების გამოყენებისას: ა—ერთ- და მრავალმალიანი შენობა ამწის გარეშე, ბრტყელი სახურავით, ნივნივებად კოჭების გამოყენების შემთხვევაში; ბ—ერთ- და მრავალმალიანი შენობა (შიგა წყალსარინით), ქანობიანი სახურავით ნივნივებად ორქანობიანი კოჭების გამოყენების შემთხვევაში; გ—ორ- და სამმალიანი შენობა ქანობიანი სახურავით (გარე, არაორგანიზებული წყალსარინით), ნივნივებად პარალელურსარტყლებიანი და ორქანობიანი კოჭების გამოყენების შემთხვევაში; დ—მრავალმალიანი შენობა აღჭურვილი ხიდური ამწეებით, ქანობიანი სახურავით (შიგა წყალსარინით), ნივნივებად სეგმენტური წამწეების გამოყენების შემთხვევაში; დ—იგივე, მცირექანობიანი სახურავით; ე—ერთ- და სამმალიანი შენობა (გარე წყალსარინით), ნივნივებად სამკუთხა წამწეების გამოყენებისას.

§ 2. ერთსართულიანი კარკასული სამრეწველო შენობების ასაწყობი რკინაბეტონის კონსტრუქციები

კარკასის შემადგენელ ელემენტებს წარმოადგენს სვეტები, სახურავის მზიდი კონსტრუქციები, ამწისქვეშა კოჭები, საძირკვლის (ქედლისქვეშა) კოჭები, შემოსაკრავები (სარტყლები) და სხვ. ასაწყობი რკინაბეტონის კარკასის განხორციელების მაგალითი გამოსახულია XIV.6 ნახაზზე.

ასაწყობი რკინაბეტონის კარკასიანი შენობებისათვის მიღებულია მოდულთა სისტემა. ასეთი შენობის უნივერსალური ტიპური სექცია გამოსახულია XIV.7 ნახაზზე.

მოდულთა სისტემის მიხედვით სამრეწველო შენობის მალი და სვეტების ბიჯი მიიღება 6 მ-ის ჯერადი: მალი — 12; 18; 24; 30 მ, სვეტების ბიჯი — 6;12 მ. ბოლო დროს იყენებენ სვეტების გამსხვილებულ ბადეს; ეს მოითხოვს ბეტონისა და არმატურის რამდენადმე მეტ ხარჯს და ზრდის მშენებლობის ღირებულებას, მაგრამ უმჯობესდება საწარმოო ფართობების გამოყენება. 6 მეტრის ტოლი სვეტების ბიჯი მიიღება მხოლოდ ერთ- ან ორმალიან შენობებში.

სვეტების განლაგება შენობაში ხდება დაკვალვის ღერძებთან მიბმის მკაცრად განსაზღვრული წესით (ნახ. XIV.8 და XIV.9).

შენობის ზომებისათვის სიმაღლეზე გამოყენებულია მოდული 1,2 მ, როდესაც მალი არ აღემატება 18 მ, და მოდული — 1,8 მ —18 მ-ზე დიდი მალების შემთხვევაში.

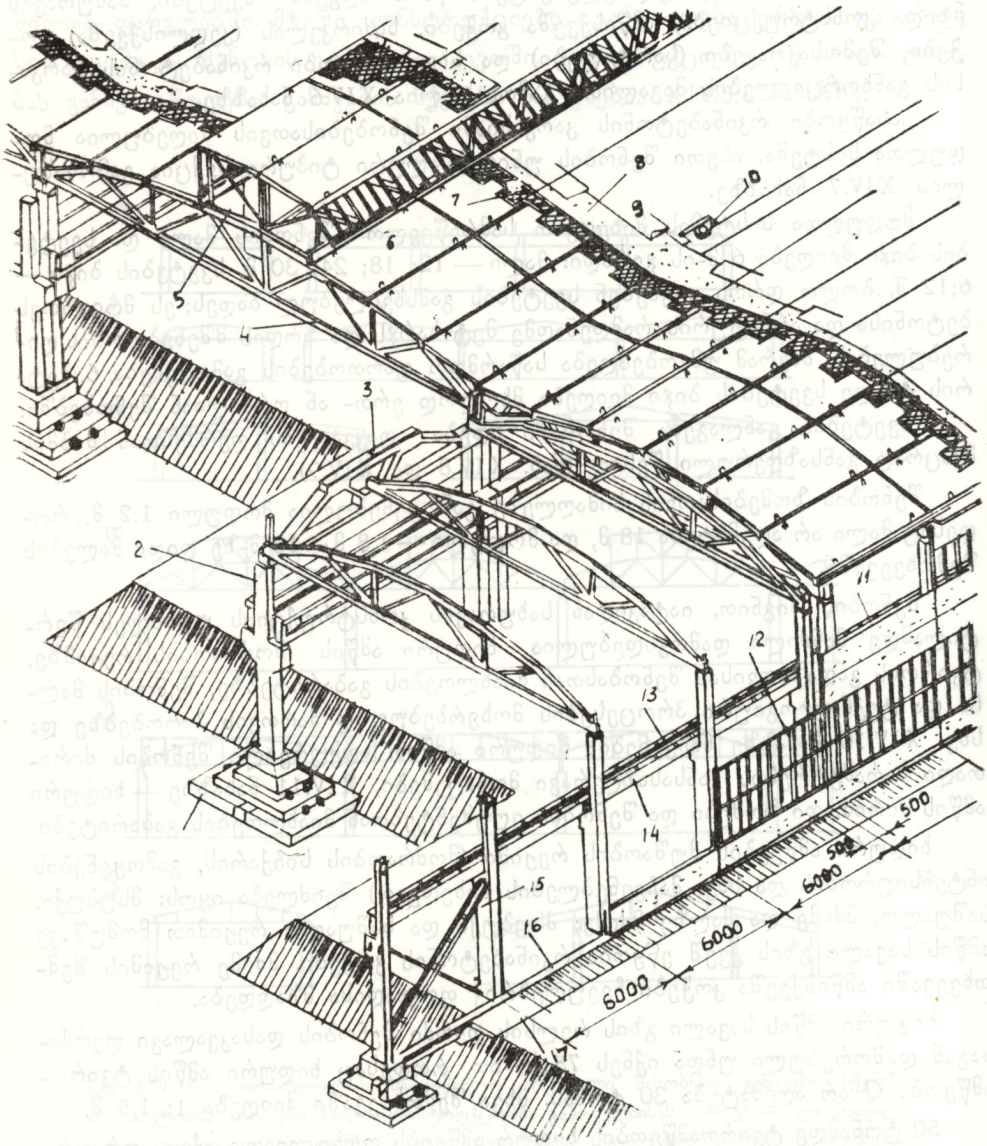
შენობის შიგნით, იატაკიდან სახურავის კონსტრუქციის უდაბლეს წერტილამდე მანძილი დამოკიდებულია ხიდური ამწის მოძრაობის რეჟიმზე, ტვირთის გადაზიდვისას შენობასთან მიახლოების გაბარიტებზე, შენობის მალსა და ტექნოლოგიური პროცესების მოხერხებულად მართვის პირობებზე და სხვ. XIV.10 ნახაზზე ნაჩვენებია ხიდური ამწით აღჭურვილი შენობის ძირითადი პარამეტრების განსასაზღვრავი მონაცემები, XIV.11 ნახაზზე — ხიდური ამწის ძირითადი ზომები და შენობის ელემენტებთან მიახლოების გაბარიტები.

ხიდური ამწეების მუშაობის რეჟიმი (მოძრაობის სიჩქარის, გამოყენების ინტენსიურობის და სხვ. მაჩვენებლების მიხედვით) შეიძლება იყოს: მსუბუქი, საშუალო, მძიმე და ძალზე მძიმე; მსუბუქი და საშუალო რეჟიმით მომუშავე ამწის სავალი გზის ქვეშ ეწყობა რკინაბეტონის კოჭები. მძიმე რეჟიმის შემთხვევაში ამწისქვეშა კოჭები ჩვეულებრივ ფოლადისა მზადდება.

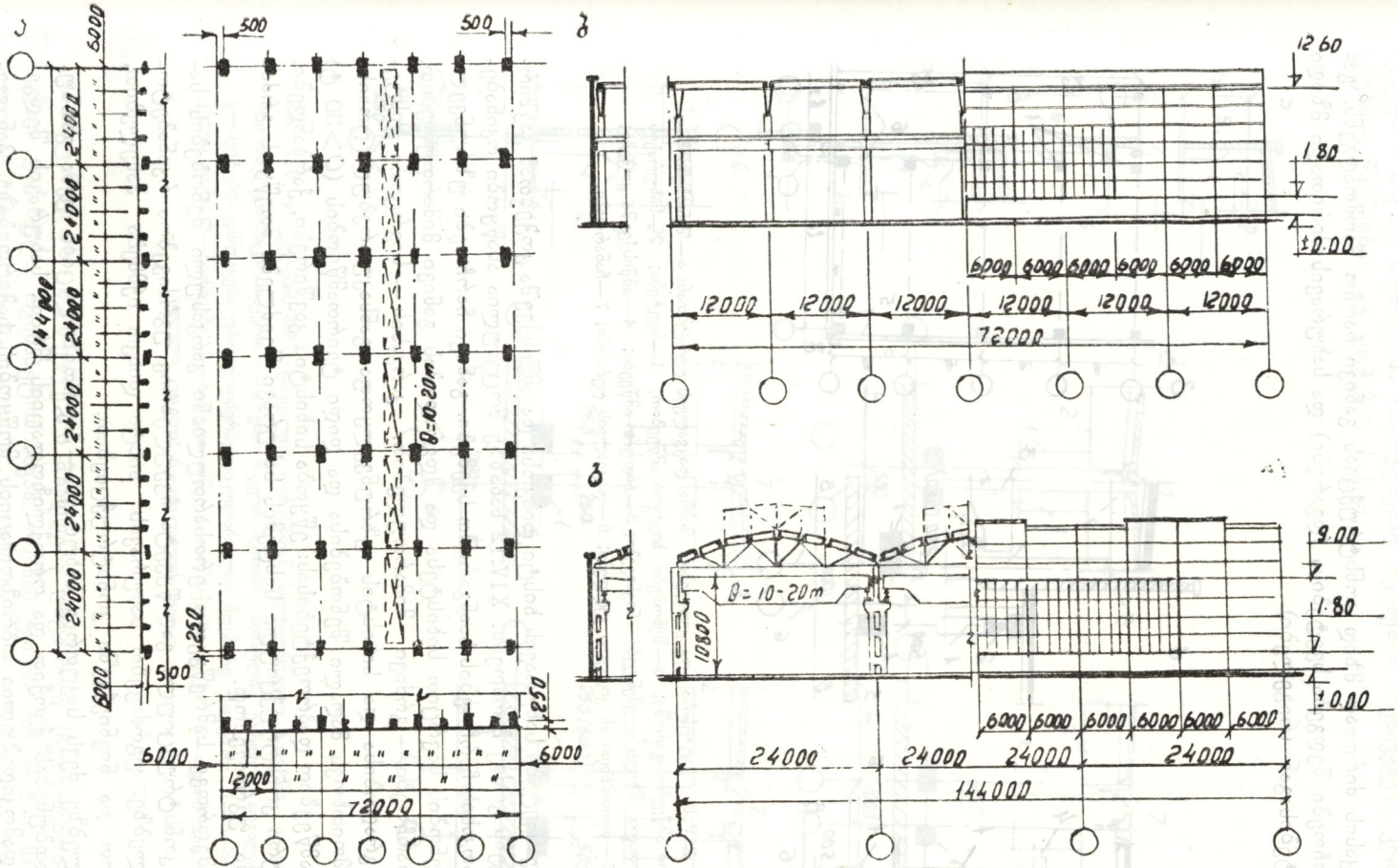
ხიდური ამწის სავალი გზის რელსის ღერძი შენობის დასაკვალავი ღერძისაგან დაშორებული უნდა იქნეს 75 სმ-ით, როდესაც ხიდური ამწის ტვირთამწეობა Q არ აღემატება 30 ტონას. სხვა შემთხვევაში მიიღება 1; 1,5 მ.

50 ტონამდე ტვირთამწეობის ხიდურ ამწეებს ოთხი თვალი აქვთ, ორ-ორი თითოეულ საყრდენზე. ხიდური ამწე მოძრაობს საამქროს გასწვრივ; ხიდზე, მის გასწვრივ მოძრაობს ურიკა ტვირთით, რომელსაც აგრეთვე ოთხი თვალი აქვს.

ხიდური ამწეების გეომეტრიული მახასიათებლები, მასა, უდიდესი და უმცირესი დატვირთვა, რომელიც გადაეცემა ამწის თვლებიდან სავალ გზას და სხვა ცნობები, მოცემულია ამწე-მოწყობილობათა სპეციალურ ცხრილებში [6] ამწის მუშაობის რეჟიმის, ტვირთამწეობისა და მალის მიხედვით. კონსტრუქციებთან ამწის მიახლოების გაბარიტის შესაბამისად ხდება შენობის განივ-



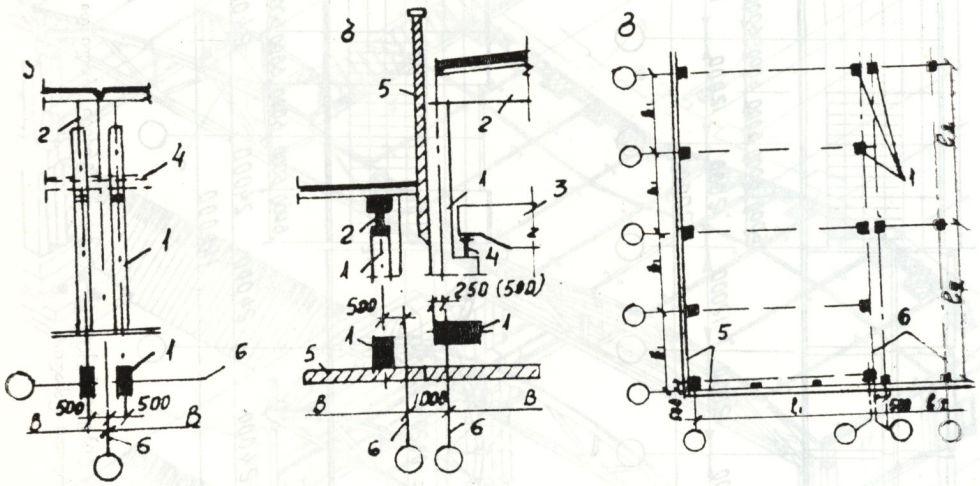
ნახ. XIV. 6. ერთსართულიანი სამრეწველო კარკასული შენობის ელემენტები: 1—საძირკველი; 2—სვეტი; 3—ნივნივქვეშა წამწე; 4—ნივნივების წამწე; 5—შუქ-სააერაციო ფარანი; 6—სახურავის პანელი; 7—მათბუნებელი ორთქლიზოლაციის ფენაზე; 8—მათბუნებლის მოსწორების ქერქი; 9—ბურული; 10—შიგა წყალსარინის ძაბრი; 11—საკედლე პანელი; 12—შემინვა (კედლების); 13—ამწის სავალი გზის რელსი; 14—ამწისქვეშა კოჭი; 15—კავშირები; 16—საძირკვლის კოჭი; 17—შენობის შემოკირწყვლა.



ნახ. XIV. 7. კარკასული სამრეწველო შენობის უნივერსალური ტიპური სექცია: ა—გეგმა; ბ— გრძივი ჭრილი და ფასადი; გ—განივი ჭრილი და გვერდითი ფასადი.

კვეთში კარკასის ელემენტების შერჩევა და განლაგება — კარკასის განსახიერება.

კარკასის ძირითად მზიდ კონსტრუქციას განივი ჩარჩო წარმოადგენს. განივი ჩარჩოები შედგება სვეტებისა (დგარები) და სახურავის ძირითადი მზიდი ელემენტებისაგან (რიგელები).



ნახ. XIV.8. სვეტებისა და კედლების მიბმა დაკვალვის ღერძებთან: ა—შენობები ხიდური ამწეების გარეშე; ბ—შენობები ხიდური ამწეებით; 1—სვეტები; 2—სახურავის ძირითადი მზიდი ელემენტები—ნივნივები; 3—ხიდური ამწეები; 4—ამწისქვეშა კოჭები; 5—თვითმზიდი ან კიდული კედლები; 6—დაკვალვის ღერძები; 7—ჩანართები.

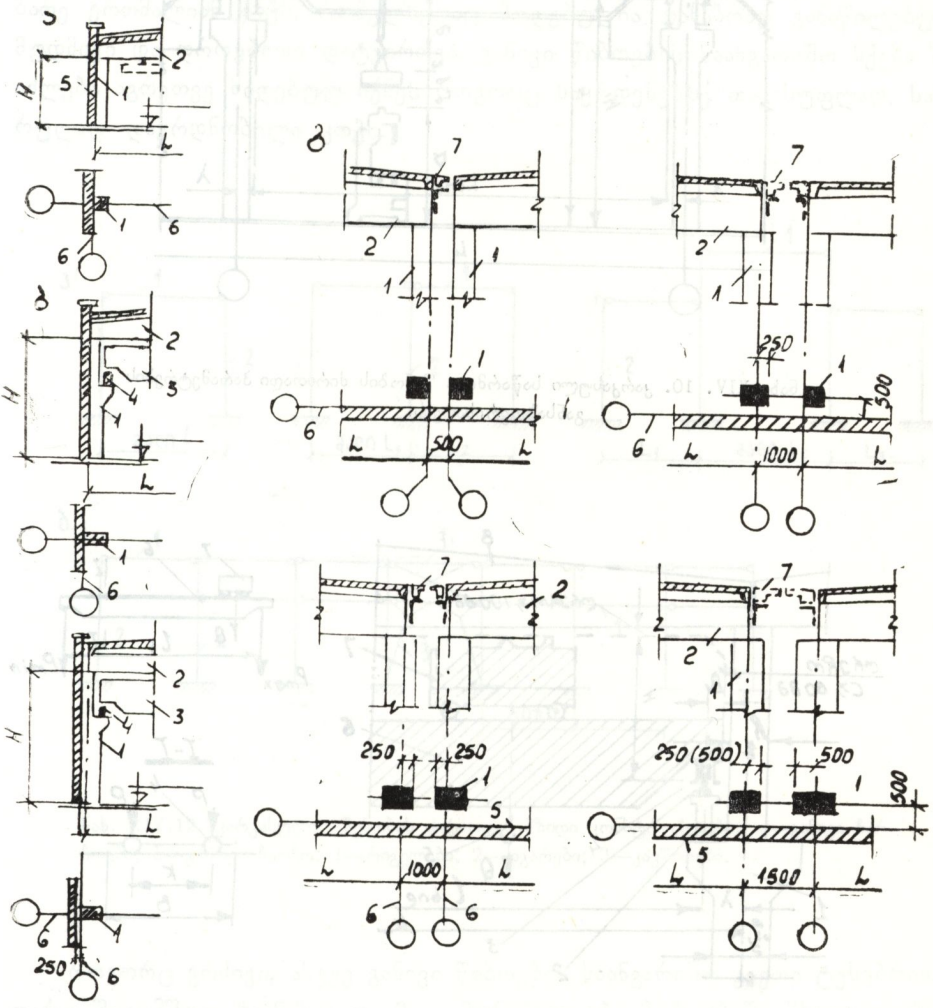
იგივე სვეტები სახურავის ხისტი დისკოსა და ამწისქვეშა კოჭებთან კავშირში შეადგენს გრძივ ჩარჩოებს. XIV.12 ნახაზზე მოცემულია ასაწყობი რკინაბეტონის კარკასის ჩარჩოების საანგარიშო სქემები. განივი ჩარჩოები უზრუნველყოფენ შენობის სივრცით სიხისტესა და მდგრადობას განივი მიმართულებით, გრძივი ჩარჩოები — გრძივი მიმართულებით. კარკასის — სივრცითი სისტემის — მდგრადობისა და სიხისტის უზრუნველყოფა განსაკუთრებულ ღონისძიებებს მოითხოვს მაღალი შენობებისა და დიდი ტვირთამწეობის ($Q>30$ ტ) ხიდური ამწეებით დატვირთვისას: ეწყობა სიხისტის კავშირები, ქარბანდები.

კოჭური კონსტრუქციული სისტემის სახურავი შეიძლება მოეწყოს გრძივებით და უგრძივებოდ.

თანამედროვე სამრეწველო ერთსართულიანი კარკასული შენობების სახურავის კონსტრუქციული გადაწყვეტა ჩვეულებრივ უგრძივებოა რკინაბეტონის პანელებზე. უგრძივებო სახურავის ხისტი დისკო იქმნება პანელებით, ნივნივებით და ნივნივქვეშა კონსტრუქციებით.

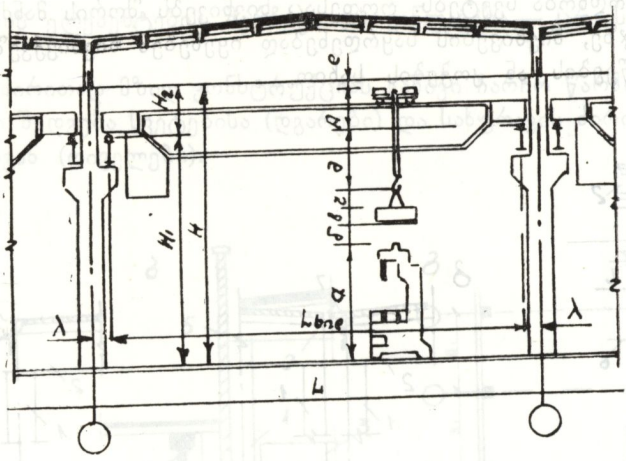
პანელებზე ძევს საკუთრივ სახურავი — ჰიდროიზოლაციის ფენა გათბუნებით, გათბუნების ქერქით და ორთქლიზოლაციის შრით. სახურავის შედგენილობა დამოკიდებულია თბოიზოლაციის მოწყობის საჭიროებაზე. პანელები ეყრდნობა ნივნივებს და, თუ მათ შორის მანძილი სვეტების ბიჯის ტოლია,

ნივნივები ეყრდნობა სვეტებს. როდესაც ნივნივებს შორის მანძილი ნაკლებია სვეტების ბიჯზე, ნივნივების საყრდენებად იყენებენ ნივნივქვეშა კონსტრუქციებს — წამწეების ან კოჭების სახით.

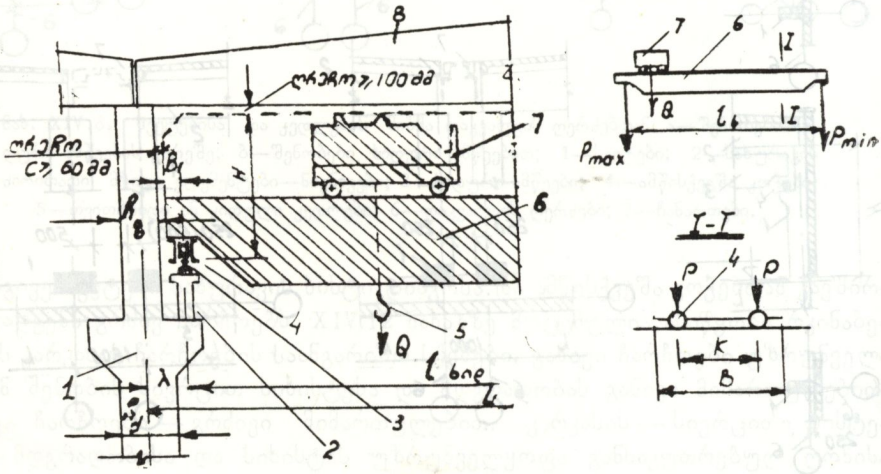


ნახ. XIV. 9. სვეტების მიბმა დაკვალვის ღერძებთან სადეფორმაციო ნაკერში: ა—განივი სადეფორმაციო ნაკერი; ბ—ჯდენის ნაკერი შენობის სიმაღლის ვარდნის ადგილას; გ—სვეტების განლაგება ურთიერთპერპენდიკულარულად მდებარე მალებში: 1—საძირკვლის კოჭი; 2—ნივნივები; 3—ხიდური ამწე; 4—ამწისქვეშა კოჭი; 5—თვითმზიდი ან კიდული კედელი; 6—დაკვალვის ღერძი.

სახურავის პანელები მზადდება დაუძაბავი (ჩვეულებრივი) და წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონისაგან. რკინაბეტონის პანელების მრავალი სახეობიდან პირველ რიგში აღსანიშნავია მასობრივი მოხმარების ტიპური პა-



ნახ. XIV. 10. კარკასული საწარმოო შენობის ძირითადი პარამეტრების განსაზღვრისათვის.



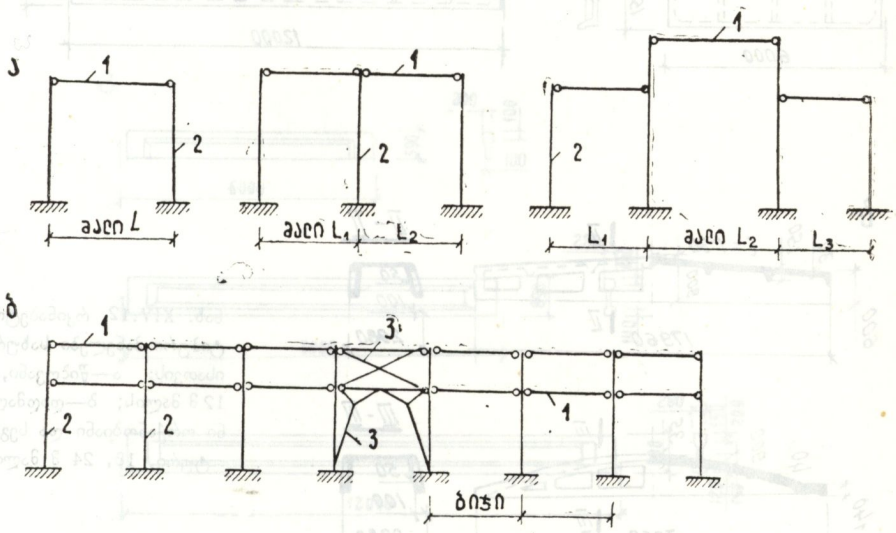
ნახ. XIV.11. ხიდური ამწის ძირითადი ზომები და ნაგებობასთან მიახლოების გაბარიტები ტროლეების გვერდითი მდებარეობისას: 1—სვეტი; 2—ამწისქვეშა კოჭი; 3—ამწის სავალი გზის რელსი; 4—ამწის თვალი; 5—ტვირთის ასაწევი კაკვი; 6—ხიდი; 7—ურიკა; 8—სახურავის კონსტრუქციები.

ნელები, სიგრძით 6 და 12 მეტრი, სიგანით 1,5 და 3 მ, რომელთა განივკვეთის ფორმა ვარცლისებრია, რუსული (П) პესებრი (ნახ. XIV.13).

პანელები მზადდება მძიმე *B*20—*B*45 ან მსუბუქი *B*25—*B*30 კლასის ბეტონზე. დასაძაბავად იყენებენ როგორც ღეროვან, ასევე მავთულოვან არ-

მატურასა და ბაგირებს. ბაგირებით დაარმატურება დაუშვებელია 9-ბალიანი სეისმურობის შენობებში. პანელი შედგება გრძივი და განივი (სიხისტის) წიბოებისა და ფილისაგან.

პანელის საანგარიშო სქემა წარმოადგენს საყრდენებზე თავისუფლად მდებარე ერთმალიან კოჭს, რომელზედაც მოდებულია თანაბრად განაწილებული მუდმივი და დროებითი დატვირთვა. განივი წიბოების საანგარიშო სქემა შეიძლება აგრეთვე მიღებულ იქნეს როგორც საყრდენებზე თავისუფლად, სახსრულად დაყრდნობილი კოჭი.

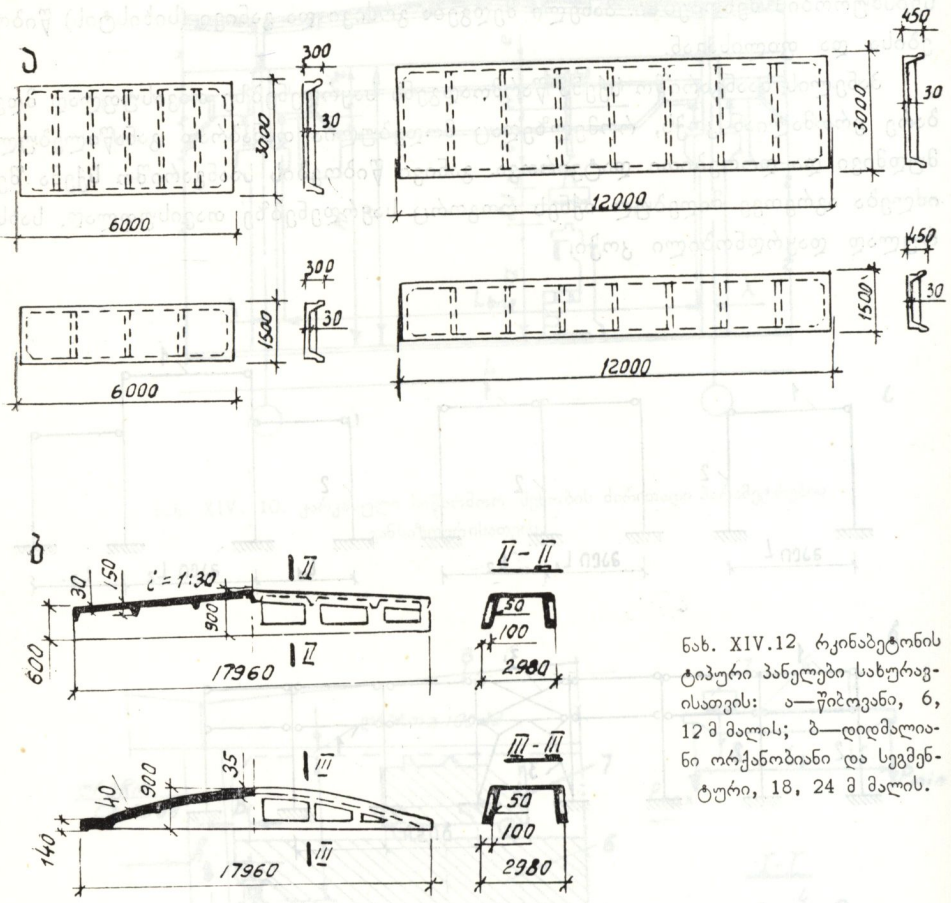


ნახ. XIV.12. კარკასული შენობის ძირითადი მზიდი კონსტრუქციები: ა—განივი ჩარჩოები; ბ—გრძივი ჩარჩო; 1—რიგელები; 2—დგარები; 3—კავშირები.

როგორც გრძივი, ასევე განივი წიბოების საანგარიშო კვეთი ტესებრია — თარო შეკუმშულ ზონაშია და მისი მონაწილეობა მუშაობაში მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული.

პანელებზე მოდის სახურავის, თოვლის, სავენტილაციო და სხვა მოწყობილობების დატვირთვა და პანელიდან საკუთარ წონასთან ერთად, გადაეცემა ნივნივებს.

ნ ი ვ ნ ი ვ ე ბ ი (ს ა ხ უ რ ა ვ ი ს ძ ი რ ი თ ა დ ი მ ზ ი დ ი ე ლ ე მ ე ნ ტ ე ბ ი). ნივნივების კონსტრუქციებად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს კოჭები, წამწეები, შემკრავიანი თაღები. კონსტრუქცია შეირჩევა გადასახურავი მალის, სახურავის პროფილის, დატვირთვის სიდიდის და იმ მასალებისაგან დამოკიდებულებით, რომლისგანაც მზადდება იგი.



ნახ. XIV.12 რკინაბეტონის ტიპური პანელები სახურავისათვის: ა—წიბოვანი, 6, 12 მ მალის; ბ—დიდმალიანი ორქანობიანი და სემენტური, 18, 24 მ მალის.

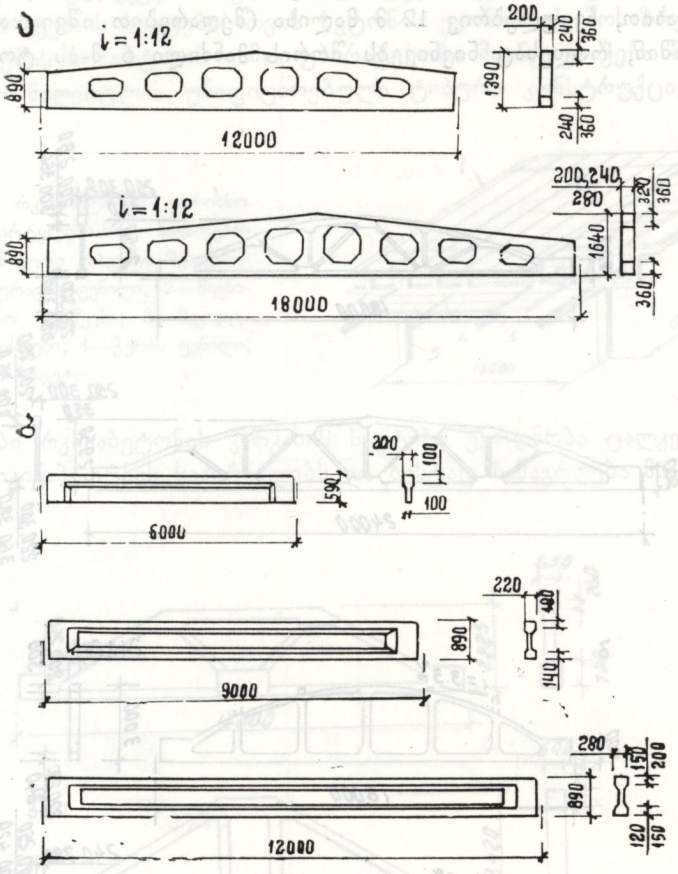
სახურავის პროფილი და ქანობი დამოკიდებულია ბურულის სახეობაზე, ატმოსფერული დატვირთვების სიდიდეზე, წყლის მოშორების პირობებზე სახურავიდან, განათებულობისა და აერაციის საჭიროებაზე და სხვ.

ნივნივებისათვის გამოყენებული რკინაბეტონის კოჭები შეიძლება იყოს ორქანობიანი, პარალელურსარტყლებიანი — უქანობო ან ერთქანობიანი, მთლიან- და გამჭოლკედლებიანი. კოჭებს იყენებენ 12, 18 მ მალების (შედარებით იშვიათად, მცირე დატვირთვებისას 24 მ მალის) გადასახურავად. სახურავის კოჭების სახეობები მოცემულია XIV.14 ნახაზზე.

ერთსართულიანი სამრეწველო შენობების სახურავის კოჭები, როგორც წესი, წინასწარ დაძაბულია. მზადდება *B* 15—*B* 45 კლასის ბეტონისაგან. დასაძაბავად იყენებენ *A*—IV და უფრო მაღალი კლასის ღეროვან და მაღალი სიმტკიცის მავთულოვან არმატურას და ბაგირებს.

ტიპური კოჭების კონსტრუქციები დამუშავებულია მათი 6 მ-ით ურთიერთდაშორების პირობებისათვის.

რკინაბეტონის წამწეებს ნივნივებისათვის ამზადებენ 18, 24, 30, მ მალით. სახურავის წამწეებს განასხვავებენ სარტყლების მოხაზულობის (პა-



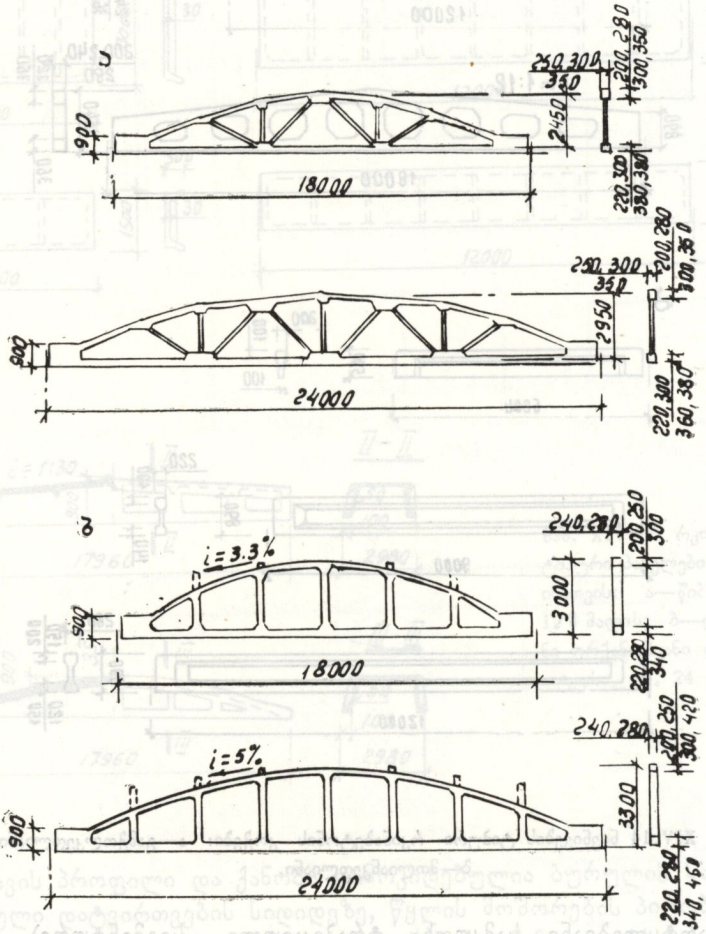
ნახ. XIV.14 ნივნივების ტიპური რკინაბეტონის კოჭები: ა—გამჭოლკედლიანი; ბ—მთლიანკედლიანი.

რალელურსარტყლებიანი, სამკუთხა, ტრაპეციული, სეგმენტური), გისოსის სქემის (ირიბნული და უირიბნო გისოსით), დამზადებისა და გადაზიდვის პირობების (მთლიანი, შედგენილი, ასაწყობი, ასაწყობ-მონოლითური) და სხვა მაჩვენებლების მიხედვით.

XIV.15 ნახაზზე ნაჩვენებია სახურავის წამწეების სახეობები. რკინაბეტონის წამწეები, როგორც წესი, წინასწარ დაძაბული კონსტრუქციებია, დაძაბული ქვედა სარტყლით.

ნივნივების ტიპური წამწეების ყველაზე ფართოდ გავრცელებულ სახეობას წარმოადგენს სეგმენტური წამწეები; უირიბნო წამწეები მზადდება ჭანობიანი და მცირექანობიანი სახურავებისათვის. უკანასკნელ შემთხვევაში ზედა სარტყელს კვანძებში უკეთდება დგარები — წანაზარდები (ნახ.XIV.15,ბ). უირიბნო წამწეების გამოყენება განსაკუთრებით მიზანშეწონილია სხვენების ტექნიკური მიზნებით მოწყობის შემთხვევაში და ნივნივებშორისი სართულის შესაქმნელად (ნახ. XIV.16).

ნივნივქვეშა კონსტრუქციები მზადდება წამწეებისა და კოჭების სახით, ჩვეულებრივ 12 მ მალისა (შედარებით იშვიათად 18 მ) და ეწყობა მაშინ, როდესაც ნივნივებს შორის მანძილი 6 მ-ის ტოლია, ხოლო

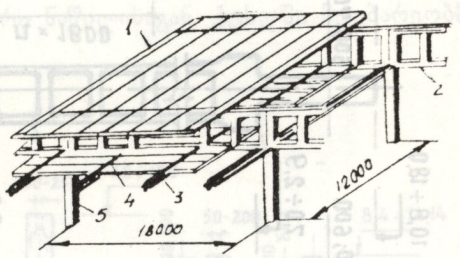


ნახ. XIV.15. რკინაბეტონის ნივნივების ტიპური სეგმენტური წამწეების სახეობები: ა—ირიბნებიანი გისოსით; ბ—უირიბნო.

სვეტების ბიჯი აღმატება 6 მ-ს. წინასწარ დაძაბულ ნივნივქვეშა წამწეებს იყენებენ მცირექანობიან და ქანობიან სახურავებში (ნახ. XIV.17).

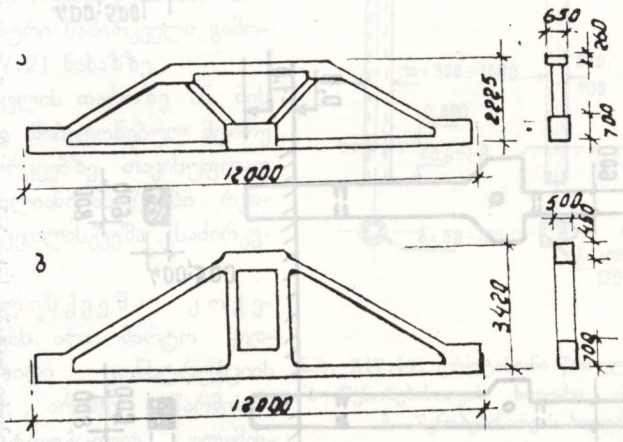
რკინაბეტონის სვეტები, რომელთაც დატვირთვა გადაეცემა სახურავის ძირითადი მზიდი კონსტრუქციებიდან და ამწისქვეშა კოჭებიდან, მზადდება ამ კონსტრუქციების საყრდენი კონსოლებით ან მათ გარეშე. სვეტები მთელ სიმაღლეზე მუდმივკვეთებიანი ან საფეხუროვანია. სვეტების კვეთი შეიძლება იყოს მთლიანი — მართკუთხა ან ორტესებრი განივკვეთის ფორმისა და გამჭოლი — ორტოტა (ნახ. XIV.18). მუშავდება ღრუტანიანი წრიული კვეთის სვეტების კონსტრუქციებიც (ნახ. XIV.19).

ორტესებრი განივკვეთის ფორმა მიზანშეწონილია მნიშვნელოვანი სიგრძის მთლიანი კვეთის სვეტებისათვის ბეტონის ეკონომიის მოსაზრებით, მაგრამ დამზადების სიმარტივის გამო უპირატესობა მაინც ენიჭება მართკუთხა ფორმას. იგი მიღებულია უნიფიცირებული ტიპური კონსტრუქციებისათვის.



ნახ. XIV.16. რკინაბეტონის უირიბნო პარალელურსარტყლებიანი ნივნივების წამწეები ტექნიკური სხვენის შესაქმნელად: 1—სახურავის ფენილი; 2—ნივნივები—უირიბნო წამწეები; 3—შეკიდული ჭერის გრძივები; 4—ჭერის ფენილი; 5—სვეტი.

ასაწყობი რკინაბეტონის კარკასის სვეტები ეყრდნობა ცალკეულ (წერტილოვან) რკინაბეტონის საძირკვლებს და ხისტად ჩამაგრდება მასში. მთლი-



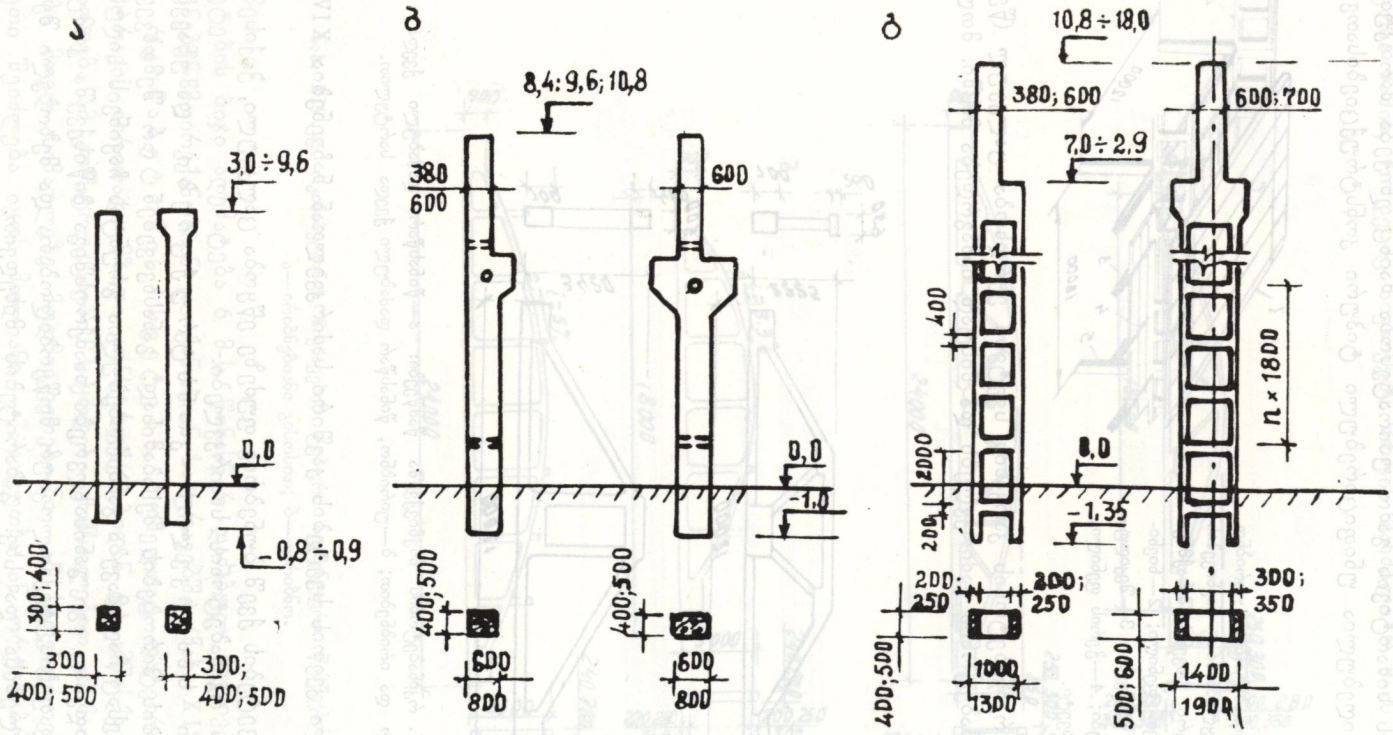
ნახ. XIV.17. რკინაბეტონის ნივნივქვეშა წამწეები: ა—წინასწარ დაძაბული ქვედა სარტყლით და ირიბნებით; ბ—უირიბნო, წინასწარ დაძაბული ქვედა სარტყლით.

ანი და გამჭოლი კვეთის სვეტების კავშირი საძირკველთან ნაჩვენებია XIV.20 ნახაზზე.

ასაწყობი სვეტების ქვეშ ბუნებრივ ფუძეზე ეწყობა ცალკეული, ჭიქისებრი კონსტრუქციის რკინაბეტონის საძირკვლები.

ტ ი პ უ რ ი ს ა ძ ი რ კ ვ ლ ი ს კ ო ნ ს ტ რ უ ქ ც ი ე ბ ი დამუშავებულია ჩაღრმავების პირობების შესაბამისად. განასხვავებენ ორ შემთხვევას: პირველი, როდესაც ჩაღრმავება განპირობებულია გრუნტის ჩაყინვის სიღრმით და მეორე, როდესაც იგი განისაზღვრება საამქროსშიგა მიწისქვეშა კომუნიკაციების, სარდაფების, ტექნოლოგიურ მოწყობილობათა და მეზობელი შენობების საძირკვლებისა და სხვ. გაბარიტების მიხედვით.

მნიშვნელოვანი ჩაღრმავების რკინაბეტონის საძირკვლის კონსტრუქცია გადაწყვეტილია საფეხუროვანი ფილის სახით (დაგრძელებული სვეტის ქვეშ).



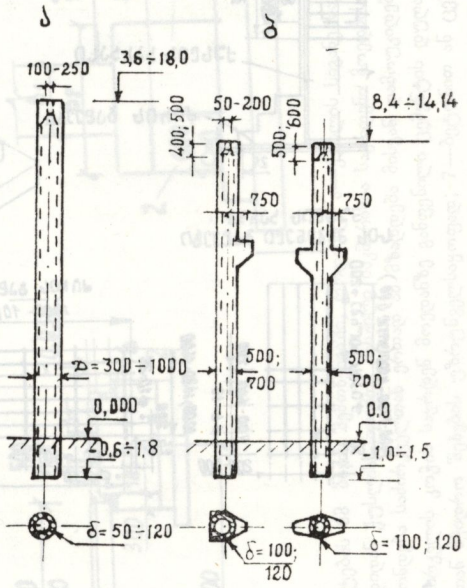
ნახ. XIV.18. რკინაბეტონის ტიპური სვეტების სახეობები: ა—მთლიანი კვეთის; ბ—გამჭოლკვეთიანი.

შედარებით მცირე ჩაღრმავების რკინაბეტონის საძირკვლის კონსტრუქცია დამუშავებულია პირობით, რომ ნულოვანი ციკლის სამუშაოები სრულდება სვეტების მონტაჟამდე. მცირე ჩაღრმავების წერტილოვანი საძირკვლები გადაწყვეტილია, როგორც სვეტოვანი (ბოძისებრი) კონსტრუქცია, რომელიც შედგება სვეტის ქუსლისა და ფილისებრი ნაწილისაგან. ქუსლში მდებარეობს სვეტის ჩასამაგრებელი ბუდე, ქუსლი დგას ფილისებრ ნაწილზე. ფილისებრი ნაწილი საფეხუროვანია, რომელთა რაოდენობა არაუმეტეს სამია. საძირკვლის თაროს (ქუსლის ზედაპირი) მდებარეობს სუფთა იატაკის დონის 15 სმ-ით ქვემოთ.

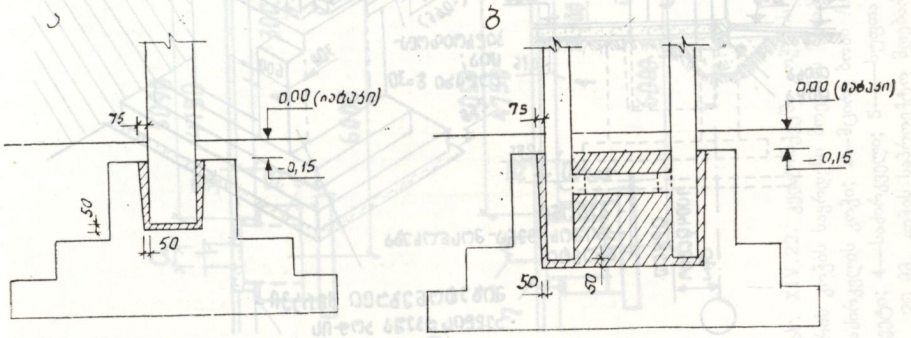
ერთსართულიანი სამრეწველო კარკასული შენობის საძირკვლები სვეტების ქვეშ ჩვეულებრივ იგება მონოლითური რკინაბეტონისა. ბოძისებრი ტიპური საძირკველი გამოსახულია XIV.21 ნახაზზე.

საძირკვლის თაროზე ან მის საფეხურებზე მიბეტონებულ მცირე ბოძებზე—ძირკვებზე თავისუფლად იდება ერთმალიანი ასაწყობი რკინაბეტონის კედლისქვეშა (საძირკვლის) კოჭები.

კედლისქვეშა კოჭები ასრულებს არა მარტო კედლების მზიდი კონსტრუქციის მოვალეობას, არამედ წარმოადგენს კონსტრუქციულ ელემენტსაც, რომელიც გრუნტისაგან გამოჰყოფს კედლის ფოროვან მასალას, რომლის შეხება უშუალოდ გრუნტთან დაუშვებელია სპეციალური ჰიდროსაიზო-



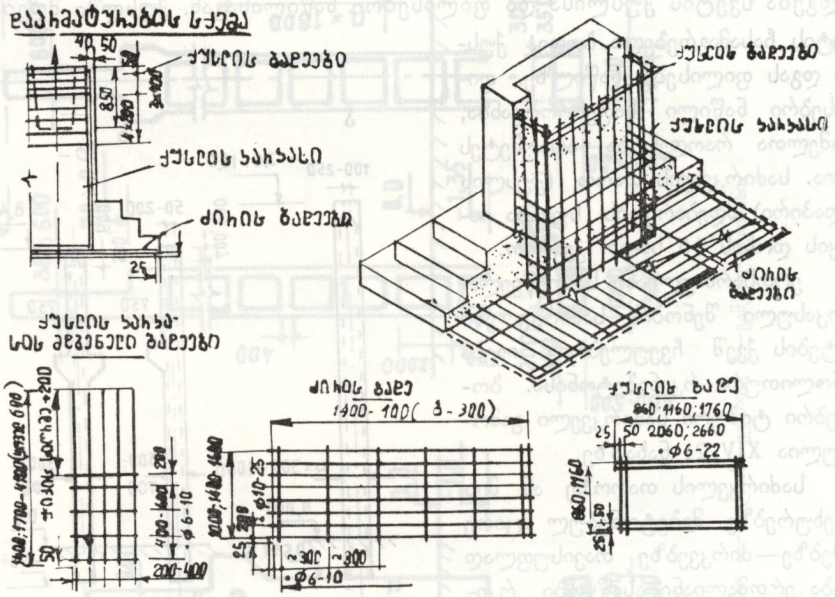
ნახ. XIV.19. ღრუტანიანი წრიული კვეთის სვეტები: ა—შენობებისათვის ხიდური ამწეების გარეშე; ბ—შენობებისათვის ხიდური ამწეებით.



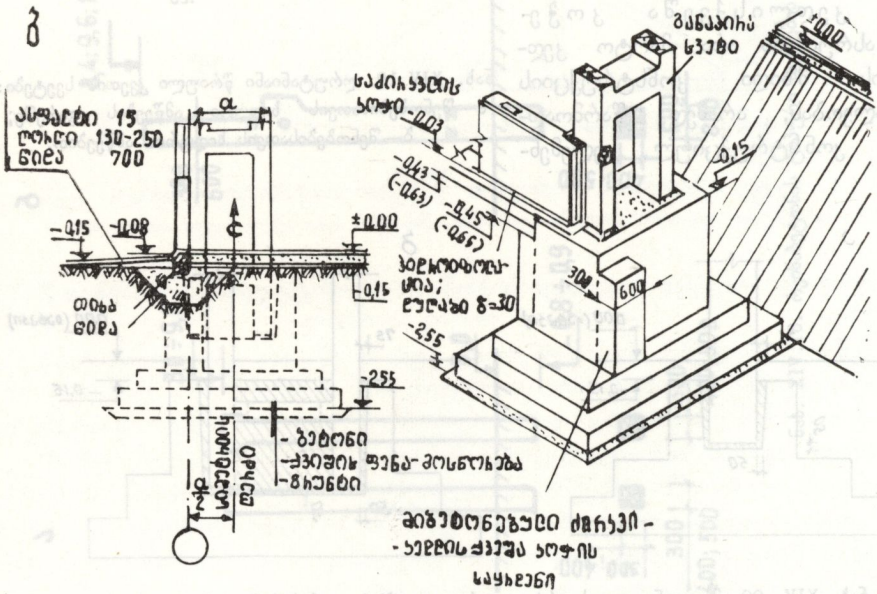
ნახ. XIV. 20. მთლიანი კვეთისა (ა) და ორტოტა (ბ) სვეტების ჩამაგრება საძირკველში.

ლაციო დაცვის მოწყობის გარეშე. სეისმურ რაიონებში საძირკვლებზე დაყრდნობის ადგილას ურთიერთდაკავშირებულ კედლისქვეშა კოჭებს შეუძლიათ

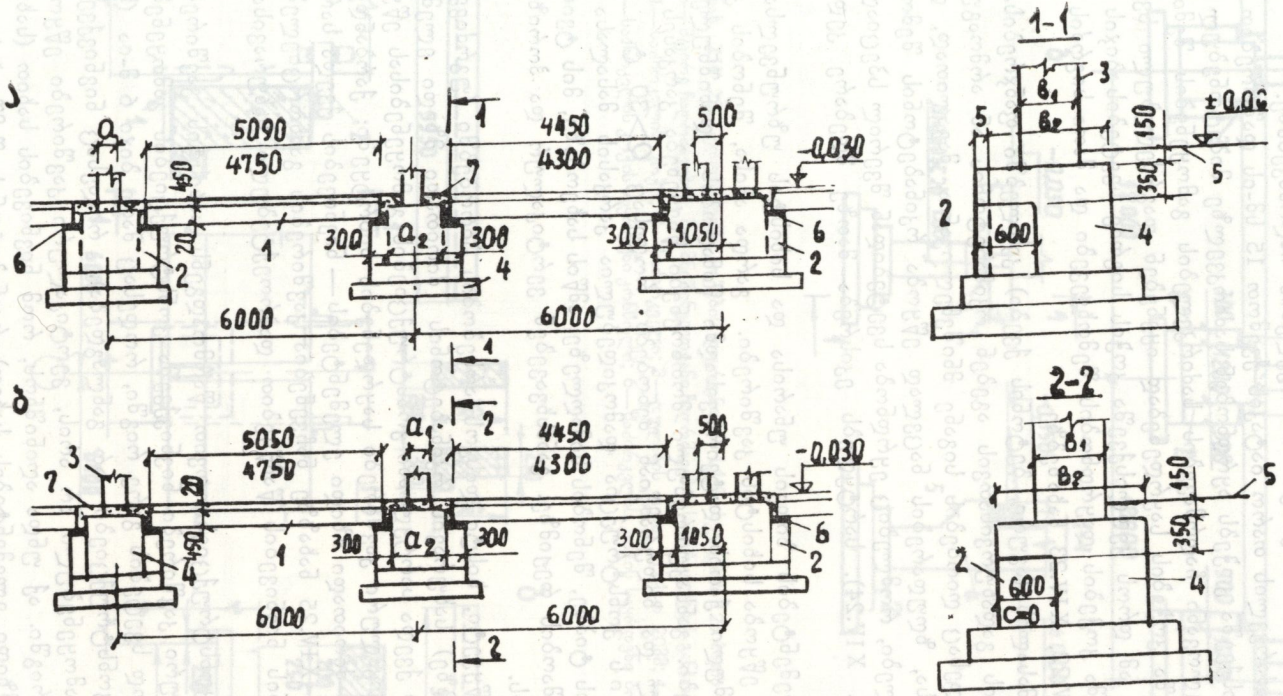
ა



ბ



ნახ. XIV.21. ბოძისებრი ტიპური საძირკველი: ა—შუალედური; ბ—კიდური, ორტოტა სვეტის ქვეშ.



ნახ. XIV.22. კედლისქვეშა კოჭების დაყრდნობის სქემა სვეტების 6მ ბიჯის შემთხვევაში, როდესაც: ა—ქუსლის სიგანე საკმარისი არ არის კოჭის საყრდენი მოედნის შესაქმნელად; ბ—სვეტის კიდიდან ქუსლის კიდემდე მანძილი საკმარისია საყრდენი მოედნისათვის. 1—საძირკვლის კოჭი; 2—მცირე ბოძი /ძირკვი/, რომელიც ბეტონდება საძირკველთან ერთად ან მზადდება მისგან დამოუკიდებლად; 3—სვეტი; 4—საძირკველი; 5——სუფთა იატაკის დონე; 6—საძირკვლის კოჭის საყრდენ მოედანზე განფენილი ცემენტის დუღაბი, სისქით 20 მმ, კოჭის საპროექტო მდებარეობისა და საძირკველთან მჭიდრო შეხების უზრუნველსაყოფად; 7—ბეტონით ან ცემენტის დუღაბით შევსება.

შეასრულონ შემოსაკვრელი სარტყლის როლი, კედლების სიბრტყეში მოქმედი ჰორიზონტალური ძალების ასატანად.

კედლისქვეშა კოჭების განივკვეთის ფორმა მიიღება მართკუთხა, ტრაპეციული, ტესებრი. მათი კონსტრუქციული მალი დამოკიდებულია საძირკვლებზე დაყრდნობის პირობებზე — საძირკვლების ჩაღრმავებაზე.

როდესაც საძირკვლის თარო იატაკის ქვემოთ 15 სმ-ის დაშორებით მდებარეობს, კედლისქვეშა კოჭებს აყრდნობენ საძირკველზე მიბეტონებულ ძირკვებზე. მნიშვნელოვანი ჩაღრმავების საძირკვლების გამოყენების შემთხვევაში კედლისქვეშა კოჭების საყრდენებად იყენებენ დაგრძელებული სვეტების კონსოლებს; ამ დროს კედლისქვეშა კოჭის სიგრძე სვეტების ბიჯის ტოლია. კედლისქვეშა კოჭების დაყრდნობის შემთხვევები და მათი სიგრძის განსაზღვრა იხ. XIV.22, XIV.23 ნახაზებზე.

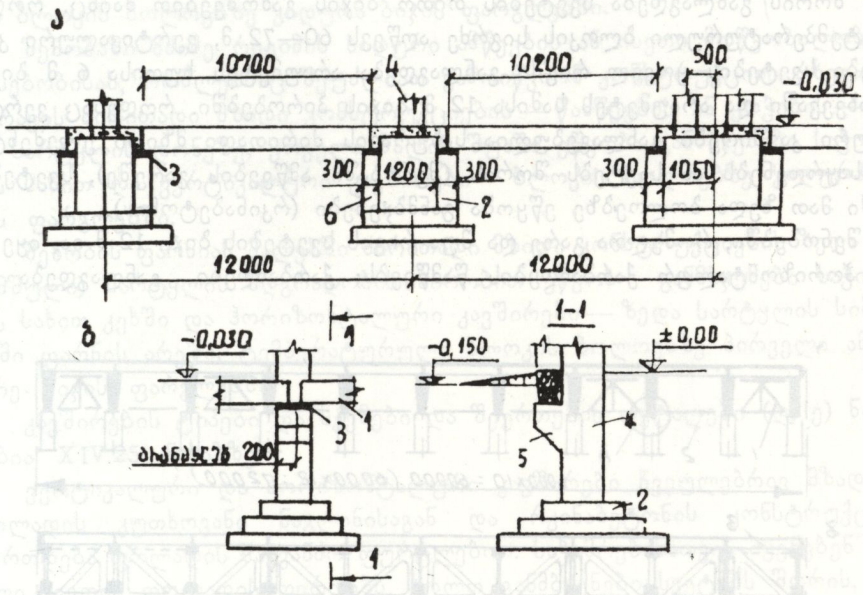
ცალობითი მასალის (აგური, ბეტონის ქვები) კედლებში ფანჯრებისა და კარების ღიობების გადახურვისათვის აგებენ რკინაბეტონის ან არმოაგურის ზღუდარებს. როდესაც ღიობების სიგანე მნიშვნელოვანია, მაგალითად, ლენტური ფანჯრებისა, ზღუდარების ნაცვლად ეწყობა რკინაბეტონის შემოსაკრავები — სარტყლები, რომლებიც ეყრდნობა სვეტებიდან შვერილ სპეციალურ კონსოლებს (ნახ. XIV.24). სარტყლებს ეკისრება მათზე მდებარე კედლის წყობის ზიდვა.

კარკასის ელემენტების ზიდვის უნარისა და სიხისტის უზრუნველსაყოფად მათ შორის ეწყობა სიხისტის კავშირები. გარდა ამისა, შენობის კედლებიდან გადაცემული ქარის დატვირთვისადმი წინაღობის დანიშნულებით ეწყობა ქარბანდები. განსაკუთრებული მოთხოვნები წაეყენება კარკასის სიხისტისადმი მაღალ და ხიდურამწიან შენობებს, როდესაც $Q>30$ ტ.

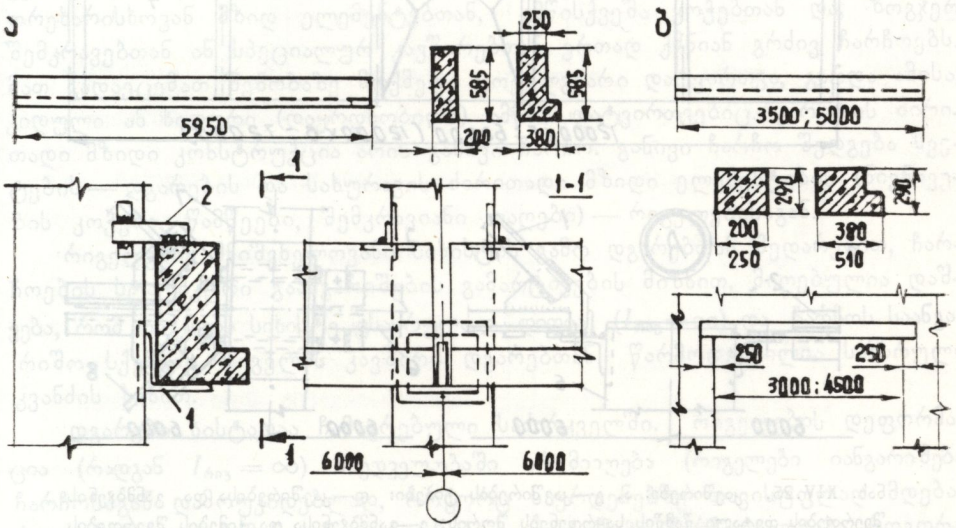
კ ა ვ შ ი რ ე ბ ი ს კონსტრუქცია დამოკიდებულია კარკასის მასალასა და სქემაზე, სახურავის ტიპზე, შენობის სიმაღლეზე, ამწის სახეობაზე, მის ტვირთამწეობასა და მუშაობის რეჟიმზე. განასხვავებენ ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ კავშირებს.

სახურავის უწყვეტი, ხისტი დისკოს არსებობის პირობებში (უგრძივებო სახურავი პანელებზე) სახურავის რკინაბეტონის ძირითადი მზიდი ელემენტებისათვის ხისტი ქვედა სარტყლიანი კონსტრუქციების გამოყენებისას ეწყობა მხოლოდ ვერტიკალური კავშირები საყრდენების სიბრტყეში; ქარბანდები ეწყობა სახურავის ძირითადი მზიდი ელემენტების — ნივნივების ქვედა სარტყლის სიბრტყეში. XIV.25 ნახაზზე ნაჩვენებია კავშირების განხორციელების სქემა რკინაბეტონის ნივნივების წამწეებით დაპროექტებული სახურავისათვის.

ნივნივქვეშა კონსტრუქციები თვით წარმოადგენს სიხისტის კავშირებს, ამიტომ ვერტიკალური კავშირები ნივნივქვეშა კონსტრუქციების გამოყენებისას ეწყობა მხოლოდ სვეტების გარე რიგში, როდესაც მათი ბიჯი 6 მ-ია (სადაც ნივნივქვეშა კონსტრუქციები არ განლაგდება). როდესაც ნივნივქვეშა კონსტრუქციები გამოყენებული არ არის, ვერტიკალური კავშირები ეწყობა სვეტების ყოველ რიგში. აქ უნდა აღინიშნოს, რომ ნივნივების სახით (სახურავის ძირითადი მზიდი ელემენტების სახით) რკინაბეტონის წამწეებისა და კოჭების გამოყენებისას, მათ საყრდენებს შორის ვერტიკალური კავშირები ეწყობა მხოლოდ ბრტყელ სახურავებში.



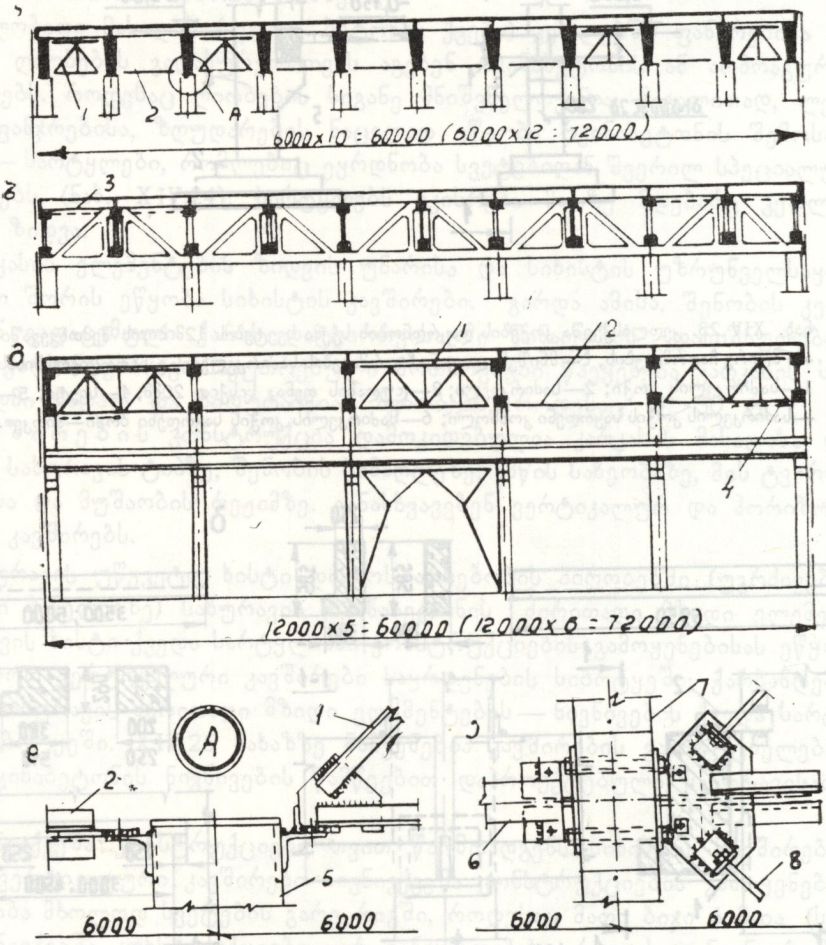
ნახ. XIV.23. კედლისქვეშა კოჭების დაყრდნობის სქემა სვეტების 12მ ბიჯის შემთხვევაში: ა—მცირე ჩაღრმავების, ბ—მნიშვნელოვანი ჩაღრმავების საძირკვლების განხორციელებისას. 1—საძირკვლის კოჭი; 2—საძირკველი; 3—დუღაბის ფენა, სისქით 20მმ; 4—სვეტი; 5—საძირკვლის კოჭის საყრდენი კონსოლი; 6—საძირკვლის კოჭის საყრდენი ბოძი—ძირკვი.



ნახ. XIV.24. შემოსაკრავი კოჭები (სარტყლები) და ზღუდარები: ა—შემოსაკრავი კოჭის საერთო ხედი და სვეტზე დაყრდნობის დეტალი; ბ—ზღუდარის საერთო ხედი და კედლებზე დაყრდნობა; 1—ფოლადის საყრდენი მაგრდა; 2—ფოლადის თმასა.

ვერტიკალური კავშირები ნივნივების (წამწეების და კოჭების) საყრდენებს შორის განლაგდება სვეტების თითო ბიჯის გამოშვებით მაინც. როდესაც ტემპერატურული ბლოკის სიგრძე აღწევს 60—72 მ, ვერტიკალური კავშირები სვეტების ყოველ რიგში განლაგდება არაუმეტეს ხუთისა 6 მ ბიჯის შემთხვევაში და არაუმეტეს სამისა 12 მ ბიჯის პირობებში. როდესაც ვერტიკალური კავშირები განლაგებულია სახურავის ძირითადი მზიდი ელემენტების საყრდენებს ან სვეტებს შორის (შენობაში ამწეების გარეშე), სვეტების რიგში მათ ზედა ბოლოებზე ეწყობა განმბჯენები (რკინაბეტონის).

შენობებში, რომელთა გარე და შუა რიგის სვეტების ბიჯი 12 მ-ია, იყენებენ ჰორიზონტალურ ქარბანდების წამწეებს; ქარბანდები განლაგდება ძი-



ნახ. XIV.25. კავშირები: ა, გ—კავშირების ტიპები: დ—კავშირებისა და განმბჯენის შეერთების დეტალი წამწის საყრდენებს შორის; ე—განმბჯენისა და ჭიმების შეერთების დეტალი წამწესთან ფარნის ფარგლებში; 1—ვერტიკალური კავშირები წამწეების საყრდენებს შორის; 2—განმბჯენები სვეტებს შორის; 3—ჰორიზონტალური განმბჯენები ნივნივქვეშა წამწეებს შორის; 4—ჰორიზონტალური კავშირის წამწეები შენობის ტორსებთან; 5—სვეტი; 6—რკინაბეტონის განმბჯენი; 7—ნივნივების წამწე; 8—ჭიმი.

რითადი მზიდი კონსტრუქციების ქვედა სარტყლის დონეზე ტემპერატურული ბლოკის ბოლოებზე კიდურა ბიჯის ფარგლებში.

შენობაში მძიმე რეჟიმის ხიდური ამწეების ან ისეთი მოწყობილობების არსებობისას, რომლებსაც შეუძლიათ გამოიწვიონ კონსტრუქციის რხევა, სახურავის ძირითადი მზიდი კონსტრუქციების — წამწეების ან კოჭების — ქვედა სარტყლის დონეზე, ყოველი მალის შუაში ეწყობა განმბჯენები საჭიმრების სახით და ვერტიკალური კავშირები — ბლოკის ბოლოებზე კიდურა ბიჯის ფარგლებში.

შენობის ფარნიან მალებში ძირითადი მზიდი კონსტრუქციების ზედა (შეკუმშული) სარტყლის მდგრადობის პირობით ეწყობა განმბჯენები საჭიმრების სახით კეხში და ჰორიზონტალური კავშირები — ზედა სარტყლის სიბრტყეში ფარნის არეში, ტემპერატურული ბლოკის ბოლოებზე პირველი ან მეორე ბიჯის ფარგლებში.

კავშირების ტიპები და სქემები და შეერთების დეტალები (დ, ე) ნაჩვენებია XIV.25 ნახაზზე.

ვერტიკალური და ჰორიზონტალური კავშირები ჩვეულებრივ მზადდება ფოლადის კუთხოვანი ნაგლინისაგან და რკინაბეტონის კონსტრუქციებს უერთდება ფოლადის საკვანძო ფურცლებით. საჭიმრებისათვის იყენებენ წრიული კვეთის ფოლადის ღეროებს, ხოლო განმბჯენები სვეტებს შორის, რომელთაც უხდებათ კუმშვაზე მუშაობა, ეწყობა რკინაბეტონისა.

§ 3. განივი ჩარჩოების გაანგარიშება

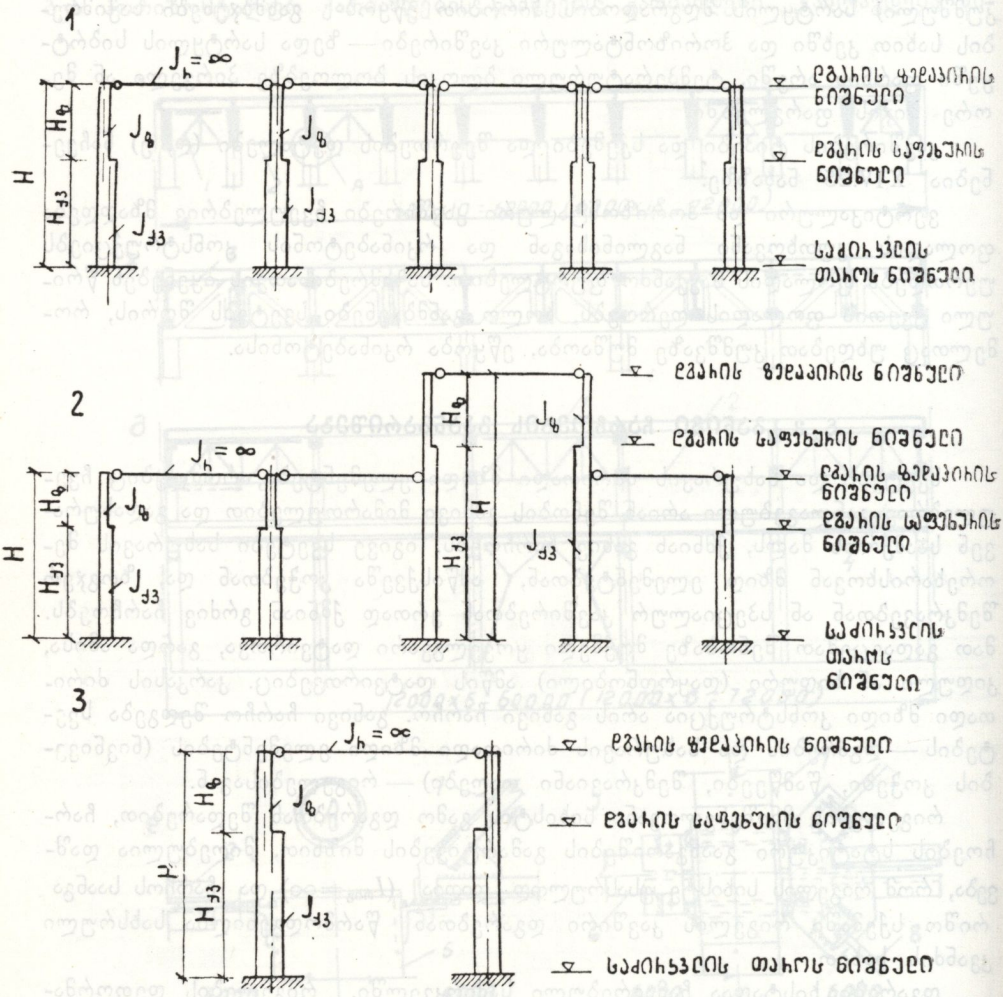
სვეტები და სახურავის ძირითადი მზიდი ელემენტები, რომლებიც ჩვეულებრივ განლაგებული არიან შენობის განივი მიმართულებით და გადახურავენ საამქროს მალს, ქმნიან განივ ჩარჩოებს. იგივე სვეტები სახურავის მეორეხარისხოვან მზიდ ელემენტებთან, ამწისქვეშა კოჭებთან და, ზოგჯერ შემკრავებთან ან სპეციალურ კავშირებთან ერთად ქმნიან გრძივ ჩარჩოებს. მათ გადაეცემათ შენობაზე მოქმედი ყოველგვარი დატვირთვა, გარდა ამისა, კიდული ან ხიდური (დაყრდნობილი) ამწის დატვირთვებიც. კარკასის ძირითადი მზიდი კონსტრუქცია არის განივი ჩარჩო. განივი ჩარჩო შედგება სვეტების — დგარების და სახურავის ძირითადი მზიდი ელემენტების (ნივნივების კოჭები, წამწეები, შემკრავიანი თაღები) — რიგელებისაგან.

რიგელების მნიშვნელოვანი სიხისტის გამო დგარებთან შედარებით, ჩარჩოების სტატიკური გაანგარიშების გამარტივების მიზნით, მიღებულია დაშვება, რომ რიგელის სიხისტე უსასრულოდ დიდია ($I_{რიგ}=\infty$) და ჩარჩოს საანგარიშო სქემაში რიგელის კავშირი დგარებთან წარმოდგენილია სახსრული კვანძის სახით.

დგარები ხისტადაა ჩამაგრებული საძირკველში. რიგელების დეფორმაცია (რადგან $I_{რიგ}=\infty$) მხედველობაში არ მიიღება (რიგელები იანგარიშება ჩარჩოსაგან დამოუკიდებლად, როგორც საყრდენებზე თავისუფლად მდებარე კოჭები) და მაშინ განივი ჩარჩოს გაანგარიშება წარმოგვიდგება როგორც დგარების გაანგარიშება.

ასაწყობი რკინაბეტონის განივი ჩარჩოს საანგარიშო სქემები ნაჩვენებია XIV.26 ნახაზზე.

განივი ჩარჩო სტატიკურად ურკვევი სისტემაა. სტატიკური გაანგარიშება (ძალვების განსაზღვრა) შეიძლება ჩატარდეს ძალთა ან გადაადგილებების მეთოდით. ძალთა მეთოდით გაანგარიშებისას ზედმეტ უცნობებად მიიღება გრძივი ძალები რიგელში, დეფორმაციათა მეთოდით გაანგარიშებისას — რიგელების დონეზე ჩარჩოს ჰორიზონტალური გადაადგილება.



ნახ. XIV.26. განივი ჩარჩოს საანგარიშო სქემები ერთსართულიანი კარკასული საწარმოო შენობებისათვის ხიდური ამწეებით: 1—მრავალმალიანი ჩარჩო რიგელებით ერთსა და იმავე დონეზე; 2—მრავალმალიანი ჩარჩო რიგელებით სხვადასხვა დონეზე; 3—ერთმალიანი ჩარჩო.

გარდა ცნობილი ზუსტი მეთოდებისა ჩარჩოს სტატიკური გაანგარიშების გასამარტივებლად იყენებენ მიახლოებით მეთოდებს, ცხრილებსა და მზა ფორმულებს ზედმეტი უცნობების განსასაზღვრავად*.

ჩარჩოების სტატიკური გაანგარიშება — M, Q, N ძალვების განსაზღვრა ჩარჩოს ელემენტებში — წარმოებს მუდმივი და დროებითი დატვირთვების როგორც ძირითადი, ასევე განსაკუთრებული შეხამებისას. ერთსართულიან სამრეწველო შენობაში მოქმედი მუდმივი და დროებითი დატვირთვები განივ ჩარჩოებს გადაეცემათ სახურავიდან, კედლებიდან, ამწე-სატრანსპორტო მოწყობილობებიდან და სხვ.

მუდმივ დატვირთვებში შედის სახურავის და კარკასის ყველა კონსტრუქციული ელემენტის წონა (სახურავის ძირითადი მზიდი ელემენტებისა და სვეტების, ამწისქვეშა კოჭებისა სავალი გზით, ფარნებისა და კავშირების და სხვ.). დროებით დატვირთვებს წარმოადგენს თოვლის საფარის წონა, ქარის წნევა და ხიდური ან შეკიდული ამწის დაწნევა. თვითმზიდი კედლების წონა კარკასს, იშვიათი გამონაკლისის გარდა, არ გადაეცემა; შეკიდული კედლების წონა შედის მუდმივ დატვირთვებში. ქარის წნევას განიხილავენ შენობის განივი მიმართულებით მოქმედებისას. შენობაზე მოქმედი დატვირთვების საანგარიშო სქემა ნაჩვენებია XIV.27 ნახაზზე.

სადეფორმაციო ნაკერების ფარგლებში განივი ჩარჩოები მუშაობენ ერთობლივი სივრცითი ბლოკის შემადგენლობაში.

ჩარჩოების მუშაობის სივრცითი ხასიათი სხვადასხვა დატვირთვისას სხვადასხვაგვარად გამოვლინდება: ისეთი დატვირთვები, როგორიცაა ელემენტების საკუთარი წონა, თოვლისა და ქარის წნევა, მოქმედებენ ყოველ შუალედურ განივ ჩარჩოზე თითქმის თანაბრად და მაშინ ყოველი განივი ჩარჩო იანგარიშება დამოუკიდებლად, როგორც ბრტყელი სისტემა მასზე მოსული, ჩარჩოს სიბრტყეში მდებარე დატვირთვების მიხედვით. როდესაც დატვირთვები გადაეცემა ბლოკში შემავალ მხოლოდ ერთ ან რამდენიმე განივ ჩარჩოს, მაგალითად, ამწის დატვირთვა, კარკასის სივრცითი მუშაობა გათვალისწინებული უნდა იქნეს. XIV.28 ნახაზზე მოცემულია შენობის ბლოკის გადაადგილების სქემა დატვირთვის არათანაბარი განაწილებისას განივ ჩარჩოებზე. დატვირთული ჩარჩოს დეფორმაციისას დგარების ზედა ბოლოების გადაადგილებას ეწინააღმდეგება დაუტვირთავი ჩარჩოები, ჩარჩოებს შორის სახურავის ხისტი დისკოს მეშვეობით არსებული კავშირის გამო.

ორ- ან სამმალიან განივ ჩარჩოებში კარკასის მუშაობის სივრცითი ხასიათი შედარებით სუსტადაა გამოხატული, ამიტომ ამწის სრულ დატვირთვაზე მრავალმალიანი განივი ჩარჩოები იანგარიშება როგორც ბრტყელი სისტემები.

განივ ჩარჩოზე მოქმედი დატვირთვების საანგარიშო სქემა მოცემულია XIV.29 ნახაზზე, განხილულია ბლოკის შუალედი განივი ჩარჩო.

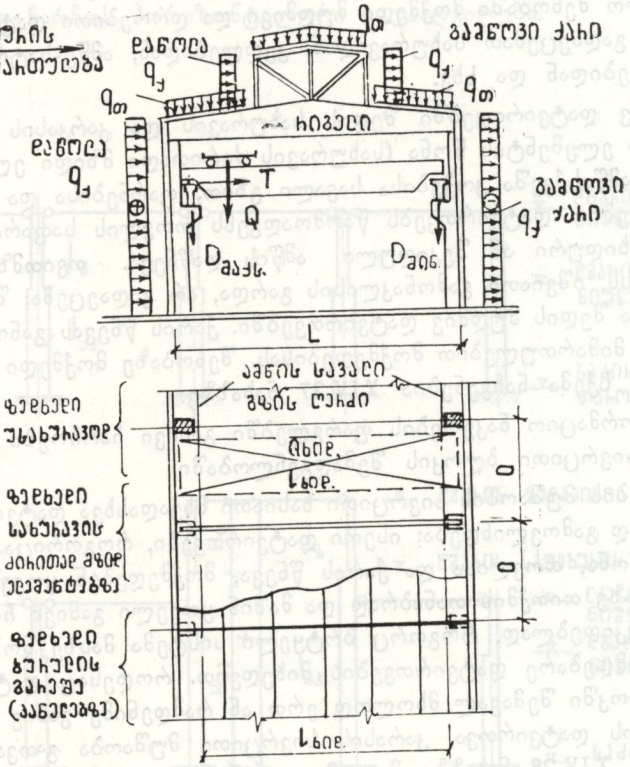
---

* [1] «Формулы и графики для расчета рам», Д. В. Бычков и др. М., 1957.

[2] Справочник проектировщика. Сборные железобетонные конструкции, гл. XXV, Э. Е. Сигалов. Данные для расчета конструкций. М., 1959.

[3] Справочник проектировщика. Расчетно-теоретический, книга I. Под редакцией А. А. Уманского. Стройиздат, М., 1972.

სახურავის დატვირთვები შეყურსული F_r, F_{sn} ძალების სახით გადაეცემა სვეტს ზედა ბოლოზე რიგელის მეშვეობით. F_r არის სახურავისა და რიგელის წონის მოქმედების შედეგად წარმოქმნილი ვერტიკალური ძალა, F_{sn}—თოვლის დატვირთვის.

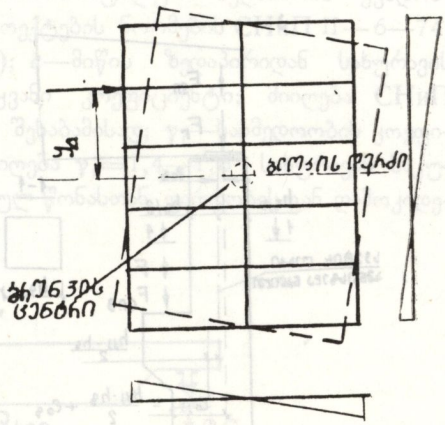


ნახ. XIV.27. შენობაზე მოსული დატვირთვების საანგარიშო სქემა.

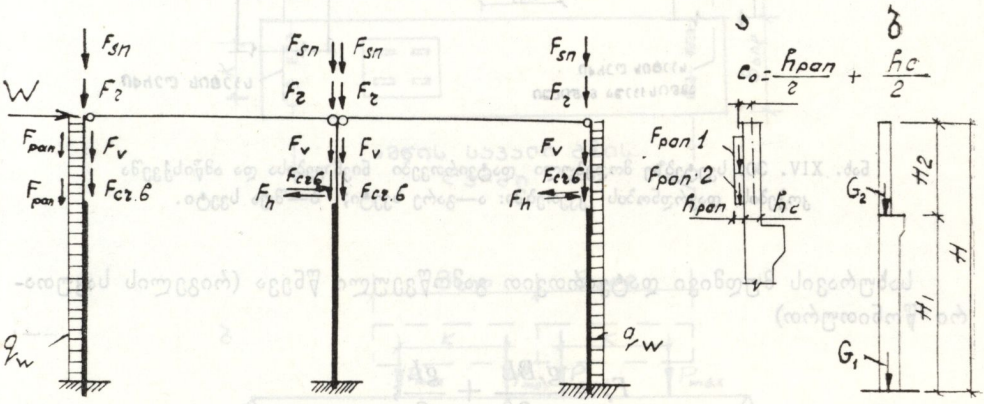
ამწისაგან დატვირთვები გადაეცემა ამწისქვეშა კოჭებს. ამწისქვეშა კოჭებისა და სავალი გზის წონასთან ერთად, ამწის დატვირთვით გამოწვეული დაწნევა გადაეცემა სვეტებს მოკლე კონსოლების (ამწისქვეშა კოჭების საყრდენების) მეშვეობით. ამწისქვეშა კოჭისა და სავალი გზის წონა წარმოქმნის ვერტიკალურ $F_{cr.b}$ ძალას; ამწის დატვირთვა წარმოადგენს მოძრავ ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ (დამუხრუჭების) შეყურსულ ძალთა სისტემას, რომელთა გარკვეული განლაგებისას ამწისქვეშა კოჭებზე, სვეტებს გადაეცემა ვერტიკალური F_v და ჰორიზონტალური — დამუხრუჭების F_h ძალები; ჩვეულებრივ, მხედველობაში მიიღება ურიკის დამუხრუჭების ძალა, რომელიც მიმართულია შენობის განივად. თვით ამწის დამუხრუჭების ძალა მიმართულია შენობის გასწვრივ და გაანგარიშებისას ითვალისწინებენ, როდესაც სვეტების რაოდენობა რიგში ბლოკის ფარგლებში შვიდზე ნაკლებია.

ქარის დატვირთვა ჩარჩოს გადაეცემა კედლებიდან და სახურავიდან. შენობის განივი მიმართულებით ქარის დინებისას, კედლებიდან ქარის წნევა, როგორც განაწილებული ჰორიზონტალური დატვირთვა, მოიდება გარე სვეტების ფარგლებში, რომლის ინტენსიურობა ქარპირა და ზურგის მხარეს აღნიშნულია q_w-თი), შესაბამისად, მიმართულია შენობისაკენ და შენობის გარეთ (ეწოდება აქტიური და პასიური წნევებიც). სახურავზე მოქმედი ქარის დატვირთვა შეყურსული ძალის სახით ჩარჩოს გადაეცემა რიგელის მეშვეობით, მოიდება იგი გარე სვეტის ზედა ბოლოზე და აღინიშნება W ასოთი.

სვეტების F_c წონა წარმოადგენს ვერტიკალურ დატვირთვას; შეკიდული კედლების F_{pan} წონა მოიდება საკედლე პანელების ქვედა წახნაგის დონეზე მათი სიმძიმის ცენტრზე გამავალ ვერტიკალურ სიბრტყეში.



ნახ. XIV.28. შენობის ბლოკის გადაადგილების სქემა.

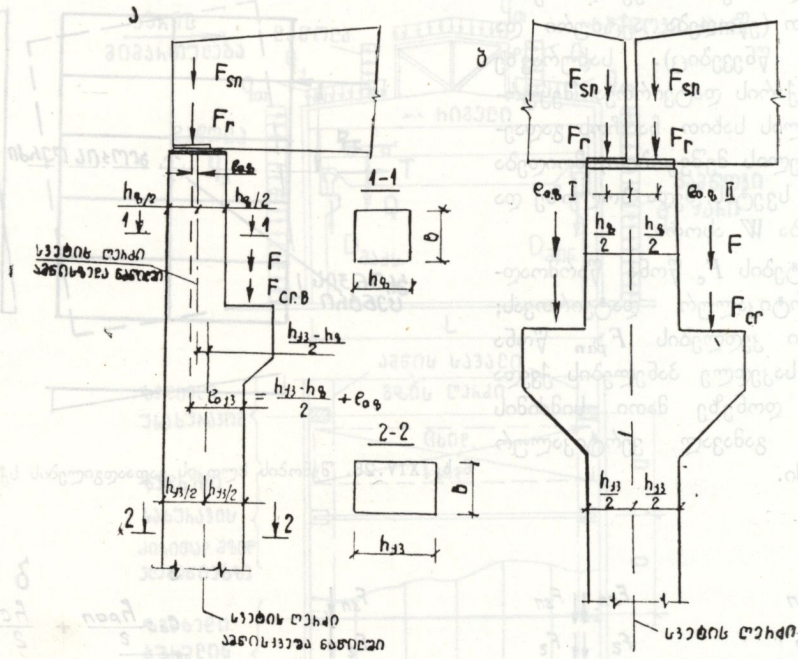


ნახ. XIV.29. განივი ჩარჩოს დატვირთვების საანგარიშო სქემა: ა—კიდული საკედლე პანელების დატვირთვა; ბ—სვეტის საკუთარი წონის განსაზღვრისათვის.

დატვირთვები შუალედურ განივ ჩარჩოზე განისაზღვრება XIV.27—XIV.30 ნახაზებზე მოცემული საანგარიშო სქემების მიხედვით.

რიგელიდან სვეტზე მოსული მუდმივი დატვირთვა შედგება სახურავისა და რიგელის საკუთარი წონისაგან და განისაზღვრება მათი კონსტრუქციული სქემის მიხედვით, ხოლო დროებითი დატვირთვა — თოვლის საფარის წონა იანგარიშება მშენებლობის ადგილისა და სახურავის პროფილის შესაბამისად დაპროექტების ნორმების მიხედვით. თუ სახურავის ერთეული ფართობის

წონას აღვნიშნავთ g_r-ით, რიგელის გრძივი მეტრის წონას—g-თი და თოვლის საფარის წონას ჰორიზონტალური ფართობის მ²-ზე p_{sn}-ით, სვეტის ზედა ბოლოზე რიგელიდან გადაცემული დატვირთვა იანგარიშება როგორც ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე კოჭის საყრდენი რეაქციის სიდიდე:



ნახ. XIV. 30. სვეტებზე მოდებული დატვირთვები ნივნივებისა და ამწისქვეშა კოჭების დაყრდნობას კვეთებში: ა—გარე სვეტი; ბ—შუა სვეტი.

სახურავის მუდმივი დატვირთვით გამოწვეული წნევა (რიგელის საკუთარი წონითურთ)

$$F_r = \frac{g_r BL}{2} + \frac{gL}{2};$$

თოვლისმიერი დატვირთვა

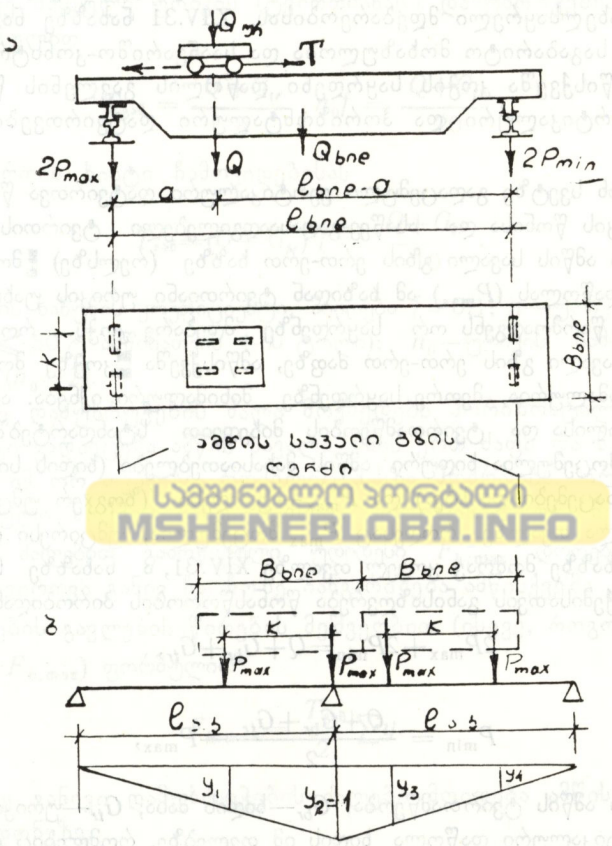
$$F_{sn} = \frac{p_{sn} BL}{2},$$

სადაც g_r არის სახურავის წონა ზედაპირის კვადრატული მეტრისათვის (განისაზღვრება სახურავის კონსტრუქციული სქემის შესაბამისად); B—სვეტების ბიჯი; L—რიგელის მალა; g—რიგელის გრძივი მეტრის წონა, რომელიც მიიღება კონსტრუქციული გადაწყვეტის შესაბამისად უნიფიცირებული ასაწყობი რკინაბეტონის კონსტრუქციების კატალოგებიდან ან მსგავსი კონსტრუქციების ტიპური პროექტებიდან; p_{sn}—თოვლის საანგარიშო დატვირთვა, $p_{sn} = p_n \gamma_f$; p_n—თოვლის ნორმა-

ტიული დატვირთვა სახურავის ზედაპირის ჰორიზონტალური პროექციის კვადრატულ მეტრზე, იანგარიშება ფორმულით

$$p_n = cp_0,$$

p_0—აღებული მშენებლობის რაიონისათვის ჰორიზონტალური ზედაპირის კვადრატულ მეტრზე თოვლის საფარის წონა, დაპროექტების ნორმების СНиП II—6—74, 5.2 მუხლის შესაბამისად (50÷250 კგძ/მ²); c—მიწის ზედაპირიდან სახურავის ზედაპირზე თოვლის საფარის წონის გადასაყვანი კოეფიციენტი; მიიღება СНиП II—6—74, 5.3—5.6 მუხლის მითითებების შესაბამისად; γ_f—საიმედოობის კოეფიციენტი თოვლის დატვირთვის მიხედვით; მიიღება $\gamma_f = 1{,}4 - 1{,}6$ სახურავის საკუთარი წონის თოვლის საფარის p_0 ნორმატიულ წონასთან ფარდობისაგან დამოკიდებულებით (მუხლი 5.7 СНиП II—6—74).



საგანმანათლო პორტალი
MSHENEBLOBA.INFO

ნახ. XIV.31. ამწის დატვირთვით გამოწვეული გავლენის განსაზღვრისათვის: ა—ხიდური ამწის სქემა; ბ—ამწისქვეშა კოჭის საყრდენი რეაქციის გავლენის წირი.

ამწისქვეშა კოჭებიდან სვეტზე გადაცემული დატვირთვები — მუდმივი და დროებითი — იანგარიშება როგორც ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე კოჭების საყრდენი რეაქცია.

სავალი გზისა და ამწისქვეშა კოჭის წონა განისაზღვრება მათი კონსტრუქციული სქემის მიხედვით. სვეტზე დაყრდნობილი მეზობელი ამწისქვეშა კოჭებიდან გადაცემული მუდმივი დატვირთვის სიდიდე იანგარიშება ფორმულით

$$F_{cr\cdot b}=g_{cr\cdot b}B+75\,B,$$

სადაც $g_{cr\cdot b}$ არის ამწისქვეშა კოჭის გრძივი მეტრის საკუთარი წონა; 75 კგძ/მ—სავალი გზის გრძივი მეტრის წონა (0,75 kN/m); B—სვეტების ბიჯი (ამწისქვეშა კოჭების მალი).

ამწისქვეშა კოჭებიდან სვეტზე გადაცემული დროებითი დატვირთვები განისაზღვრება ხიდური ამწეების შეწყვილებული მუშაობის პირობით საამქროს მალში. სვეტზე ამწისქვეშა კოჭიდან გადაცემული უდიდესი დროებითი დატვირთვის მნიშვნელობა განისაზღვრება ამწისქვეშა კოჭების საყრდენი რეაქციის გავლენის წირების მეშვეობით მოძრავ შეყურსულ ძალთა სისტემის ყველაზე არახელსაყრელი მდებარეობისას. XIV.31 ნახაზზე ნაჩვენებია: ა) ხიდური ამწის საგაბარიტო მოხაზულობა და საანგარიშო-კონსტრუქციული სქემა და ბ) ამწისქვეშა კოჭის საყრდენი დაწოლის გავლენის წირები სვეტზე მოსული ვერტიკალური და ჰორიზონტალური დატვირთვების განსასაზღვრავად.

ამწისაგან სვეტზე გადაცემული ვერტიკალური დატვირთვა წარმოიქმნება ხიდისა და ურიკის წონისა და ასაწევ-გადასაადგილებელი ტვირთის წონისაგან. ეს ტვირთი ქმნის ამწის სავალი გზის ერთ-ერთ ხაზზე (რელსზე) მოძრავ თვლებზე მაქსიმალურ დაწოლას (P_{max}) ამ ხაზიდან ტვირთიანი ურიკის უახლოესი მდებარეობისას. ხიდი წარმოადგენს ორ საყრდენზე მდებარე კოჭს. როდესაც ერთ-ერთ საყრდენზე—სავალი გზის ერთ-ერთ ძაფზე, ამწისქვეშა კოჭზე მოძრავ თვლებზე დაწოლა მაქსიმალურია, მეორე საყრდენზე მინიმალური იქნება. ამწის სახეობის, საანგარიშო მალისა და ტვირთამწეობის მიხედვით სტანდარტებში, სპეციალურ ცხრილებში, მოცემულია ხიდური ამწის მახასიათებლები (ხიდის სიგანე, ბაზა, საგაბარიტო მონაცემები და სხვ.) და P_{max}—უდიდესი (ზოგჯერ უმცირესიც) ნორმატიული დაწოლა თვალზე. როდესაც P_{max} მოცემულია, უმცირესი დაწოლა ნაკლებ დატვირთულ ხაზზე მოძრავ ყოველ თვალზე XIV.31, ა ნახაზზე ნაჩვენები ხიდის საანგარიშო სქემისათვის განისაზღვრება წონასწორობის პირობიდან

$$2P_{max}+2P_{min}=Q+G_{br}+G_{tr},$$

საიდანაც

$$P_{min}=\frac{Q+G_{br}+G_{tr}}{2}-P_{max},$$

სადაც Q არის ამწის ტვირთამწეობა; G_{br}—ხიდის მასა; G_{tr}—ურიკის მასა; P_{max}—უდიდესი ვერტიკალური დაწოლა ხიდის იმ თვლებზე, რომლებიც დგას ტვირთიანი ურიკისაგან უახლოეს რელსების ძაფზე. P_{max}-ის საანგარიშო სიდიდე განისაზღვრება მისი ნორმატიული მნიშვნელობის γ_f საიმედოობის კოეფიციენტზე გადამრავლების გზით; γ_f საიმედოობის კოეფიციენტი ხიდური ამწეების დროებითი დატვირთვების მიხედვით მიიღება 1,1 ტოლი.

$F_{v.max}$ უდიდესი ვერტიკალური დატვირთვა სვეტზე ორი ხიდური ამწის შეწყვილებული მუშაობისას გამოითვლება საყრდენი რეაქციის გავლენის

წირების მეშვეობით ამწისქვეშა კოჭზე შეყურსულ ძალთა არახელსაყრელი განლაგების შემთხვევაში:

$$F_{v.\max}=\sum P_{\max} y,$$

როდესაც ორივე შეწყვილებული ამწის თვლებზე დაწნევა ერთნაირია, $P_{1.\max}=P_{2.\max}$,

$$F_{v.\max}=P_{\max}\sum y,$$

სადაც y არის გავლენის წირის ორდინატები შეყურსული ძალების ქვეშ, ხოლო $P_{\max}$—უდიდესი დაწნევა ამწის თვალზე.

ამწის სავალ გზაზე მოსული ურიკის დამუხრუჭების ძალა იანგარიშება თვლების სამუხრუჭო და საერთო რაოდენობისაგან დამოკიდებულებით, როგორც ასაწევი ტვირთისა და ურიკის ჯამური მასის ნამრავლი ხახუნის კოეფიციენტზე. ტვირთის მოქნილი ჩამოკიდების შემთხვევაში ამწის სავალ გზაზე მოსული ურიკის (ტვირთიანად) დამუხრუჭების ძალა იანგარიშება ფორმულით

$$T_{\text{გან}}=\frac{Q+G_{tr}}{n}\ n_0 f=\frac{Q+G_{tr}}{20},$$

ხოლო ტვირთის ხისტი ჩამოკიდებისას

$$T_{\text{გან}}=(Q+G_{tr})\,f=\frac{Q+G_{tr}}{10},$$

სადაც f არის ხახუნის კოეფიციენტი, მიიღება $f=0{,}1$; n—ურიკის თვლების რაოდენობა ($Q\leqslant 50$ ტ ამწისათვის 4-ის ტოლი); n_0—ურიკის სამუხრუჭო თვლების რაოდენობა ($n_0=2$).

ურიკის დამუხრუჭების ძალა მოქმედებს ჰორიზონტალურად, საამქროს განივად. იგი გადაეცემა ამწის სავალი გზის ერთ ძაფს და ნაწილდება თანაბრად ამწის იმ ორ თვალზე, რომელიც მასზე მოძრაობს. ორი ხიდური ამწის შეწყვილებული მოქმედებისას იქმნება ჰორიზონტალურ შეყურსულ ძალთა სისტემა; ამ ძალებით გამოწვეული უდიდესი $F_{h.\max}$ დროებითი ჰორიზონტალური დატვირთვა განივ ჩარჩოზე იანგარიშება ამწისქვეშა კოჭების საყრდენი რეაქციების გავლენის წირების მეშვეობით (ისევე, როგორც ვერტიკალური ძალები $F_{v.\max}$) ფორმულით

$$F_{h.\max}=\frac{T_{\text{გან}}}{2}\sum y.$$

სვეტზე განივი დამუხრუჭების ძალები მოიდება ამწისქვეშა კოჭის ზედაპირის დონეზე.

ამწის დამუხრუჭება მხედველობაში მიიღება, როდესაც შენობის ერთ ბლოკში, რიგში (შენობის გასწვრივ) სვეტების რაოდენობა შვიდზე ნაკლებია. ხიდური ამწის გრძივი დამუხრუჭების ძალა გადაეცემა ამწის სავალი გზის გასწვრივ სვეტების მთელ რიგს.

ხიდური ამწის გრძივი დამუხრუჭებისას ჰორიზონტალური ძალა იანგარიშება პირობით, რომ სავალი გზის ყოველ ხაზზე ამწის ერთი თვალი სამუ-

ხრუჭოა. მაშინ $f=0,1$ ხახუნის კოეფიციენტის გათვალისწინებით გრძივი დამუხრუჭების ძალა

$$T_{\text{გრძ}} = P_{\max} f = 0,1\, P_{\max}.$$

კონსტრუქციების გაანგარიშებებში სიმტკიცეზე ხიდური ამწის როგორც ვერტიკალურ, ასევე ჰორიზონტალურ დროებით დატვირთვებს ითვალისწინებენ საიმედოობის კოეფიციენტით $\gamma_f = 1,1$. ხიდური ამწის დატვირთვების დინამიკურობის გავლენა მხედველობაში მიიღება მხოლოდ ამწისქვეშა კოჭების გაანგარიშებისას.

ქარისმიერი დატვირთვა განისაზღვრება მშენებლობის გეოგრაფიული რაიონის, შენობის ფორმის, სახურავის პროფილის და დატვირთული ზედაპირების მდებარეობის მიხედვით სიმაღლეზე მიწის დონიდან.

ერთსართულიანი შენობების განივი ჩარჩოების გაანგარიშება წარმოებს ქარის წნევის მხოლოდ სტატიკურ შემდგენზე, როდესაც შენობის სიმაღლე არ აღემატება 36 მეტრს. ქარის ნაკადის მიმართულება მიიღება შენობის განივად.

შენობის განივი მიმართულებით ქარის დინებისას წარმოიქმნება ქარის დადებითი და უარყოფითი ჰორიზონტალური დატვირთვა. ქარპირა ზედაპირზე ქარის წნევა დადებით დატვირთვას ქმნის — იგი მიმართულია შენობისაკენ, ხოლო ქარზურგა ზედაპირზე იქმნება უარყოფითი დატვირთვა, რომელიც მიმართულია შენობიდან გარეთ. დადებითი ნიშნის დატვირთვას აქტიურ წნევასაც უწოდებენ, უარყოფითი ნიშნისას — პასიურს.

ქარის წნევა გარე კედლებიდან გადაეცემა გარე სვეტებს სიმაღლეზე განაწილებულად. განივი ჩარჩოს კიდურა დგარებზე მოქმედი ქარის დატვირთვის ინტენსიურობა განისაზღვრება ფორმულით

$$q_w = qB,\ kN/m,$$

სადაც B არის ქარის სატვირთო ზედაპირის სიგანე, აქ იგი სვეტების ბიჯის ტოლია; q—ქარის დატვირთვის სტატიკური შემდგენი, kN/m^2, რომლის ნორმატიული მნიშვნელობა განისაზღვრება ფორმულით

$$q_n = q_0 kc,$$

სადაც q_0 არის ქარის ჩქარული წნევა ვერტიკალური კედლის მ²-ზე; მშენებლობის რაიონის მიხედვით (ცხრ. 6, СНиП II—6—74) იცვლება 27—100 კგძ/მ² ფარგლებში, ანუ $0,27 \div 1,00\ kN/m^2$; k—კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ქარის წნევის სიჩქარის ცვლილებას (გადიდებას) სიმაღლეზე, მიიღება ადგილმდებარეობის ტიპისა და შენობის სიმაღლის შესაბამისად, СНиП II—6—74-ის 6.5 მუხლის მიხედვით; c—აეროდინამიკური კოეფიციენტი, რომელიც შეიძლება იყოს დადებითი, უარყოფითი ან ნულის ტოლი დაქარული ზედაპირის მდებარეობის, სახურავის პროფილისა და ქარის ნაკადის მიმართულების მიხედვით; მიიღება 6.7—6.10 მუხლების მითითებების შესაბამისად СНиП II—6—74-დან.

სვეტების ზემოთ, კედლებზე და სახურავზე მოქმედი ქარის მთლიანი დატვირთვა ქარპირა და ქარზურგა წნევის ზედაპირებიდან წარმოდგენილია როგორც W შეყურსული ძალა:

$$W = (q_{\text{ქარ}} + q_{\text{ქას}})\, h_{\text{სახ}} B.$$

იგი გადაეცემა ჩარჩოს რიგელის მეშვეობით და ჩარჩოს საანგარიშო სქემაში

მოიდება ქარის დინების მიმართულებით სვეტების თავის — რიგელის ღერძის დონეზე. ქარის დატვირთვის საანგარიშო სქემა მოცემულია XIV.29 ნახაზზე.

ქარის საანგარიშო დატვირთვები მიიღება ნორმატიული მნიშვნელობის გადამრავლებით საიმედოობის კოეფიციენტზე დატვირთვის მიხედვით, რომელიც ქარის დატვირთვისათვის მიიღება $\gamma_f = 1{,}2$.

შეკიდული კედლის დატვირთვა განისაზღვრება პანელების მასალისა და ზომების მიხედვით, როგორც ორ საყრდენზე მდებარე კოჭების საყრდენი რეაქციების ჯამი (სვეტთან დაკავშირებული საკედლე პანელების წონისაგან). კედლის დაწოლა სვეტს გადაეცემა შეკიდული პანელის ქვედა წახნაგის დონეზე არაცენტრალურად $e_0 = \frac{h_{სვ}}{2} + \frac{h_{კედ}}{2}$ ექსცენტრისიტეტით (ნახ. XIV. 29, ბ).

სვეტების მუდმივი ბიჯის შემთხვევაში შეკიდული პანელებიდან სვეტზე გადაცემული მუდმივი დატვირთვა

$$F_{პან} = G\gamma_f,$$

სადაც G არის პანელის წონა, რომელიც მიიღება ასაწყობი რკინაბეტონის ნაკეთობების კატალოგებიდან ან განისაზღვრება ფორმულით

$$G = \delta bl\gamma;$$

აქ δ არის საკედლე პანელის სისქე; b —პანელის სიგანე; l—პანელის სიგრძე, რომელიც ჩვეულებრივ ტოლია სვეტების B ბიჯის; γ—მოცულობითი მასის ნორმატიული მნიშვნელობა.

$F_{პან}$-ის საანგარიშო სიდიდე მიიღება მისი ნორმატიული მნიშვნელობის (G-ს) გადამრავლებით საიმედოობის კოეფიციენტზე დატვირთვის მიხედვით $\gamma_f = 1{,}1$.

განივი ჩარჩოს სტატიკური გაანგარიშება გადაადგილებების მეთოდით

ერთსართულიანი კარკასული შენობის რკინაბეტონის განივი ჩარჩოს გაანგარიშება ხიდური ამწის მოქმედებისას საფეხუროვანი სვეტების გამოყენების შემთხვევაში, ყველაზე მოსახერხებელია გადაადგილების მეთოდით, როდესაც ერთადერთ ზედმეტ უცნობად მიიღება დატვირთული ბრტყელი ჩარჩოს Δ ჰორიზონტალური გადაადგილება რიგელის დონეზე.

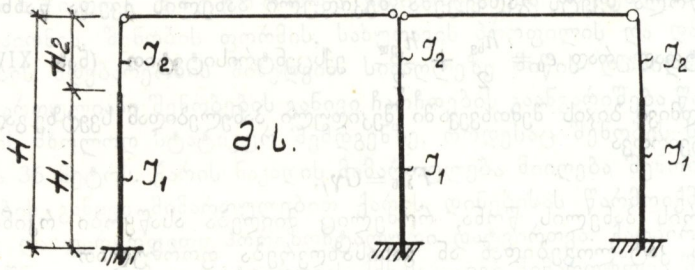
შენობის ბლოკის შუალედური ჩარჩოს მოცემული სისტემა გამოსახულია XIV.32 ნახაზზე.

ძირითადი სისტემა შერჩეულია XIV. 33, ა ნახაზზე მოცემული სქემით: რიგელის დონეზე ეწყობა დამატებითი ბმა — უძრავი სახსროვანი საყრდენი, რომელიც ჩარჩოს უსპობს ჰორიზონტალურად გადაადგილების საშუალებას. ძირითად სისტემას რიგელის დონეზე ანიჭებენ ერთეულოვან $\Delta = 1$ გადაადგილებას და მიმდევრობით ამოქმედებენ ყოველგვარ დატვირთვას. ყოველ ზემოქმედებასა და დატვირთვაზე განისაზღვრება ჩარჩოს დგარების ზედა ბოლოზე R რეაქცია როგორც ერთმალიანი საფეხუროვანი ძელისათვის, რომელთა ქვედა ბოლო ჩამაგრებულია საძირკველში, ხოლო ზედა ბოლო უძრავად სახსრულადაა დაყრდნობილი: XIV.33,ბ ნახაზზე მოცემული სქემისათვის R_Δ და გარე დატვირთვებისათვის დ—ზ სქემების შესაბამისად R_B განისაზღვრება XXIX დანართის ცხრილში მოყვანილი ფორმულებით (ან ცხრ. 8.2.20 [48]). ძირითად

სისტემაში დგარების ზედა ბოლოზე რეაქციების დადგენის შემდეგ განისაზღვრება მღუნავი მომენტები ისე, როგორც კონსოლური ძელებისათვის და აიგება ეპიურები (გ — ზ სქემები, ნახ.XIV.33).

განივი ჩარჩოს დატვირთვის ყოველი სახეობის საანგარიშო სქემისთვის შედგება კანონიკური განტოლება

$$r_{11}\Delta+R_{1p}=0$$



ნახ. XIV.32. განივი ჩარჩოს მოცემული სისტემის საანგარიშო სქემა.

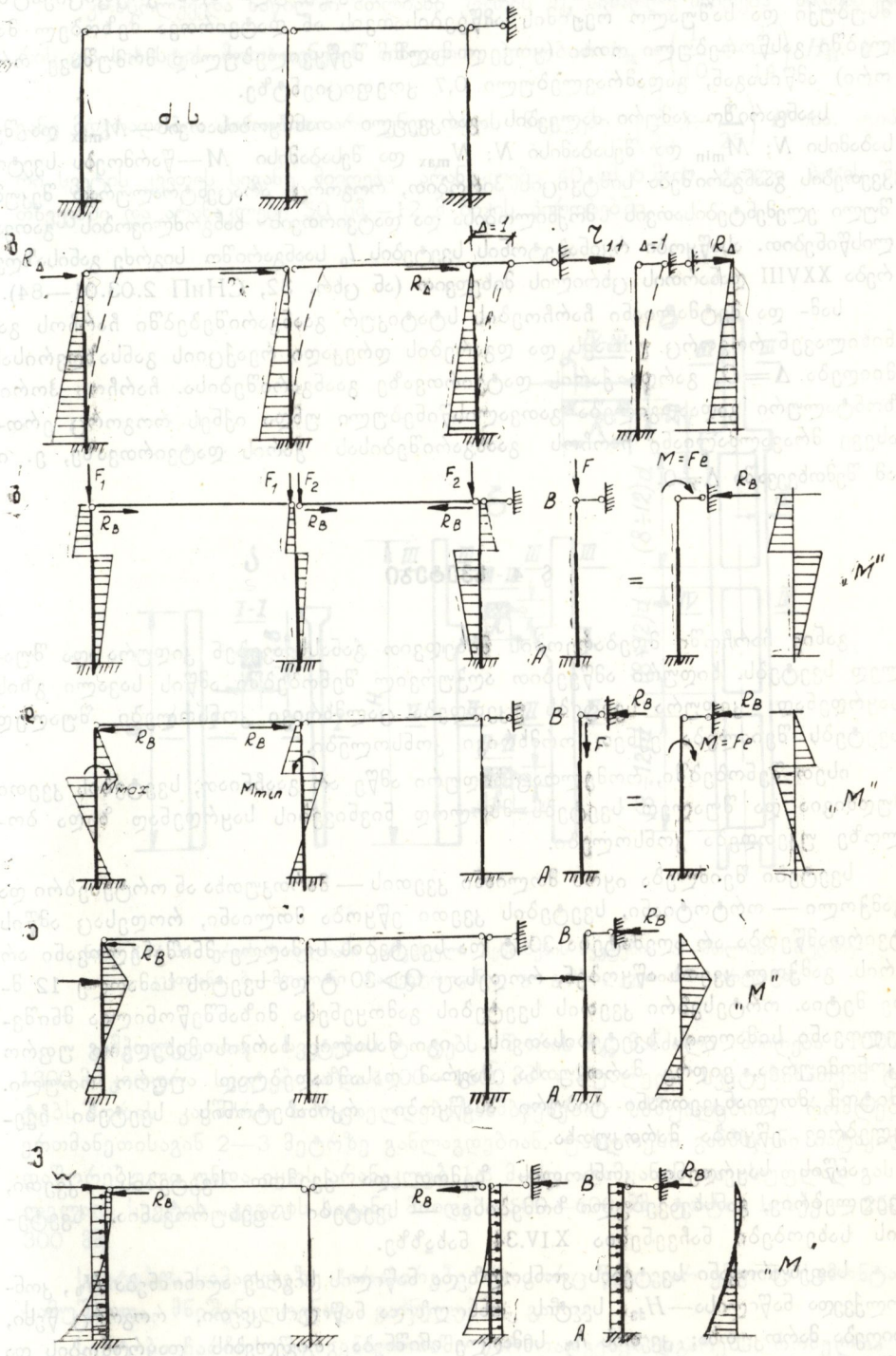
და განისაზღვრება შესაბამისი გადაადგილების Δ-ს მნიშვნელობა, რის შემდეგ დატვირთვის ყოველი სქემისათვის ყოველი დგარის ზედა ბოლოზე დრეკადი რეაქცია განისაზღვრება როგორც

$$R_{B.e}=R_B+\Delta R_\Delta,$$

სადაც r_{11} არის ჩარჩოს ერთეულოვანი გადაადგილების ($\Delta=1$) შესაბამისი რეაქცია ზედმეტ ბმაში; Δ—ბრტყელი დატვირთული ჩარჩოს (დატვირთვის მოცემული სქემისთვის) სრული ჰორიზონტალური გადაადგილება; R_{1p}—დგარების ზედა ბოლოების რეაქციების ჯამი დატვირთვის მოცემული სქემისათვის; R_Δ — ძირითად სისტემაში ჩარჩოს ერთეულოვანი ჰორიზონტალური გადაადგილებისას ($\Delta=1$) დგარების ზედა ბოლოების რეაქცია; R_B— რეაქცია დგარების ზედა ბოლოებზე ძირითადი სისტემის გარე დატვირთვის მოცემული სახეობისათვის.

დადგინდება რა დგარების ზედა ბოლოზე დრეკადი რეაქციის $R_{B.e}$ მნიშვნელობები, დატვირთვის ყოველი სახეობისათვის განისაზღვრება სვეტების მღუნავი მომენტები, გრძივი და განივი ძალები როგორც კონსოლური კოჭისთვის, რომელზედაც მოდებულია გარე დატვირთვა და $R_{B.e}$ დრეკადი რეაქცია. დგება ძალვების ცხრილი, იანგარიშება ჯამური საანგარიშო ძალვები დატვირთვების ძირითადი და განსაკუთრებული შეხამებისას.

ერთსართულიან საწარმოო შენობებზე მოქმედი თოვლის, ქარისა და ამწის დროებითი დატვირთვები ხანმოკლე დატვირთვებს განეკუთვნება. ძირითად შეხამებაში ერთი ხანმოკლე დატვირთვა შედის სრულად, ორი ან მეტი ხანმოკლე დატვირთვა ან მათ მიერ გამოწვეული ძალვები მრავლდება 0,9 შეხამების კოეფიციენტზე. ამ დროს ერთ ხანმოკლე დატვირთვად ითვლება ხიდური ამწეების ერთ სავალ გზაზე მოძრავი, ორი, შეწყვილებულად ნოქმედი



ნახ. XIV.33. განივი ჩარჩოს ძირითადი სისტემა.

ამწეებით გამოწვეული დატვირთვები გადამრავლებული 0,85 კოეფიციენტზე მსუბუქი და საშუალო რეჟიმის ამწეებისათვის ან დატვირთვა მეზობელ მალებში გასწორებული ოთხი (ყოველ მალში შეწყვილებულად მომუშავე ორორი) ამწისაგან, გადამრავლებული 0,7 კოეფიციენტზე.

საანგარიშო ჯამური ძალვების გარკვეული თანწყობისათვის—M_{max} და შესაბამისი N; M_{min} და შესაბამისი N; N_{max} და შესაბამისი M—წარმოებს სვეტის კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცის პირობით, როგორც არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტებისათვის მოქნილობისა და დატვირთვის ხანგრძლივობის გათვალისწინებით. ასაწყობი რკინაბეტონის სვეტების l_0 საანგარიშო სიგრძე განისაზღვრება XXVIII დანართის ცხრილის მიხედვით (ან ცხრ. 32, СНиП 2.03.01—84).

სამ- და მეტმალიანი ჩარჩოების სტატიკურ გაანგარიშებებში ჩარჩოს განიხილავენ როგორც უძრავს და დგარების დრეკადი რეაქციის განსაზღვრისას მიიღება $\Delta = O$, გარდა ქარის დატვირთვაზე გაანგარიშებისა. ჩარჩოს ჰორიზონტალური გადაადგილება გათვალისწინებული უნდა იქნეს როგორც ერთ-, ასევე მრავალმალიანი ჩარჩოს გაანგარიშებისას ქარის დატვირთვაზე, ე. ი. ამ შემთხვევაში $\Delta \neq 0$.

§ 4. სვეტები

განივ ჩარჩოში მდებარეობის მიხედვით განასხვავებენ კიდურა და შუალედ სვეტებს. ხიდური ამწეებით აღჭურვილ შენობებში ამწის სავალი გზის საყრდენად კიდურა სვეტებს უკეთდება ცალმხრივი კონსოლები, შუალედ სვეტებს შეიძლება ექნეთ ორმხრივი კონსოლები.

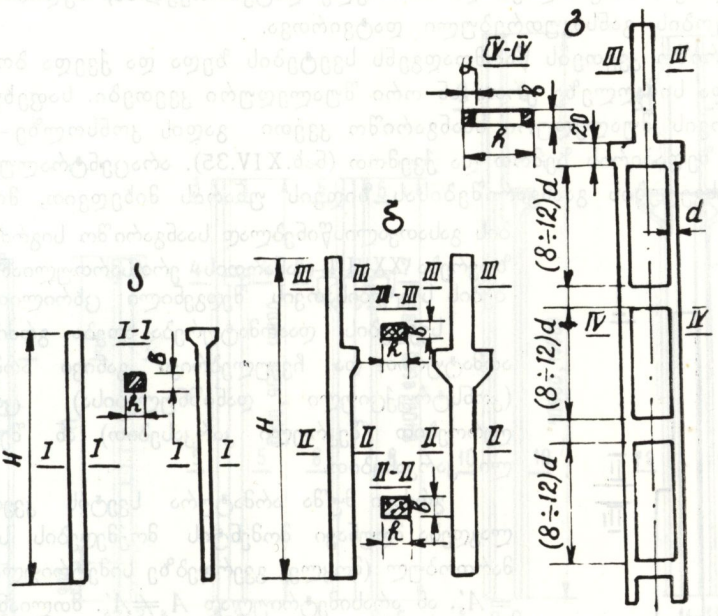
ისეთ შენობებში, რომელთაც ხიდური ამწე არ გააჩნიათ, სვეტების კვეთი მუდმივია და შუალედ სვეტებს მხოლოდ ნივნივების საყრდენად ზედა ბოლოზე უკეთდება კონსოლები.

სვეტები შეიძლება იყოს მთლიანი კვეთის — მართკუთხა ან ორტესებრი და გამჭოლი — ორტოტიანი. სვეტების კვეთი ეწყობა მთლიანი, როდესაც ამწის ტვირთამწეობა არ აღემატება 30 ტ და სვეტების სიმაღლე მნიშვნელოვანი არ არის. გამჭოლ კვეთს აწყობენ, როდესაც $Q > 30$ ტ და სვეტის სიმაღლე 12 მ-ზე მეტია. ორტესებრი კვეთის სვეტების გამოყენება მიზანშეწონილია მნიშვნელოვანი სიმაღლის სვეტებისათვის. იგი მასალის ხარჯის მიხედვით უფრო ეკონომიურია, ვიდრე მართკუთხა, მაგრამ დასამზადებლად უფრო რთული. ამიტომ მთლიანკვეთიანი ტიპური ასაწყობი რკინაბეტონის სვეტები ჩვეულებრივ ეწყობა მართკუთხა.

ამწის საყრდენი კონსოლის ზემოთ და ქვემოთ სვეტების კვეთი, ჩვეულებრივ, განსხვავებული ზომებისაა — სვეტები საფეხუროვანია. სვეტების სახეობები ნაჩვენებია XIV.34 ნახაზზე.

საფეხუროვანი სვეტების კონსოლზედა ნაწილის სიგრძე აღინიშნება $H_ზ$, კონსოლქვედა ნაწილისა—$H_ქვ$. სვეტის კონსოლზედა ნაწილის კვეთი, როგორც წესი, მიიღება მართკუთხა; კვეთის $h_ზ$ სიმაღლე ინიშნება რიგელების დაყრდნობის და ამწის გაბარიტსა და სვეტის კიდეს შორის საჭირო სივრცის შენარჩუნების პირობით (ნახ. XIV.11), მიიღება არანაკლებ 38 სმ.

კონსოლქვედა ნაწილში მთლიანი კვეთის $h_{ქვ}$ სიმაღლე მიიღება ზიდვის უნარის და სიხისტის მოთხოვნების მიხედვით, პირობით $h_{ქვ}=\left(\frac{1}{10}\div\frac{1}{14}\right)H_{ქვ}$. b სიგანე მდგრადობის პირობით არ უნდა იყოს ნაკლები $\left(\frac{1}{20}\div\frac{1}{25}\right)H$-ისა. ტიპური სვეტის კვეთის სიგანე მიიღება არანაკლები 40 სმ 6 მ-ის ტოლი ბიჯის შემთხვევაში და არანაკლები 50 სმ—12 მ ბიჯის პირობებში.



ნახ. XIV.34. ერთსართულიანი კარკასული შენობების სვეტები: ა—მთლიანი მუდმივკვეთიანი: ბ—მთლიანი საფეხუროვანი; გ—გამჭოლკვეთიანი—ორტოტა.

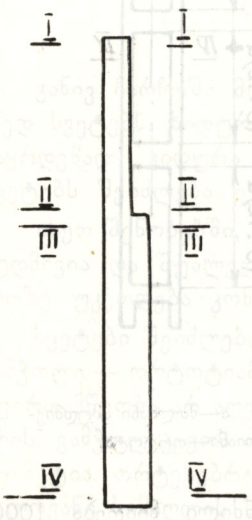
გამჭოლკვეთიანი სვეტების ტოტებს შორის $h_{ქვ}$ მანძილი მიიღება 1000—1300 მმ კიდურა სვეტებისა და 1400—1600 მმ — შუალედი სვეტებისათვის. ტოტებს შორის კავშირი ხორციელდება განმბჯენების საშუალებით, რომლებიც ერთმანეთისაგან 2—3 მეტრზე განლაგდებიან. უახლოესი განმბჯენი იატაკიდან დაშორებული უნდა იყოს არანაკლებ 1,8 მ-ისა ადამიანის თავისუფლად გასავლელად. სვეტის კვეთის სიგანე მიიღება 500—600 მმ, ტოტის სისქე — 250—300 მმ.

სვეტების სიმაღლეზე პირაპირები, როგორც წესი, არ ეწყობა სამონტაჟო სამუშაოთა მნიშვნელოვნად გაძნელების გამო.

სვეტები ჩარჩოს შედგენილობაში წარმოადგენენ დგარებს, რომელთა სანგარიშო კვეთებში აღძრული M, Q, N ძალები დადგინდება ჩარჩოების გაანგარიშების ცნობილი მეთოდებით.

განივი ჩარჩოს დგარებში განივი ძალა უმნიშვნელოა მღუნავ მომენტსა და გრძივ ძალასთან შედარებით და სვეტები განიხილება როგორც არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტები. მღუნავი მომენტებისა და გრძივი ძალების საანგარიშო მნიშვნელობები სვეტების კვეთებში განისაზღვრება დატვირთვების არახელსაყრელი შეხამებისას შემდეგი თანწყობით: M_{max} და შესაბამისი N; M_{min} და შესაბამისი N; N_{max} და შესაბამისი M. საანგარიშო ძალვები განისაზღვრება როგორც ალგებრული ჯამი მუდმივი, ხანგრძლივი დროებითი და ხანმოკლე დროებითი დატვირთვით წარმოქმნილი ძალვებისა (ძირითად შეხამებაში). დატვირთვათა განსაკუთრებულ შეხამებაში, გარდა მუდმივი, ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვებისა, შედის მხოლოდ ერთი სახეობის განსაკუთრებული დატვირთვა.

საანგარიშო კვეთებს წარმოადგენს სვეტების ზედა და ქვედა ბოლოებზე გამავალი და სიმაღლეზე ერთი ან ორი შუალედური კვეთები. საფეხუროვანი სვეტებისათვის შუალედური საანგარიშო კვეთი გადის კონსოლზე — უშუალოდ მისი ზედაპირის ზემოთ და ქვემოთ (ნახ.XIV.35). არაცენტრალურად შეკუმშული სვეტების გაანგარიშებისას ზიდვის უნარის მიხედვით, მოქნილობის გასათვალისწინებლად საანგარიშო სიგრძე განისაზღვრება XXVIII დანართის ერთსართულიანი შენობების სვეტებისათვის შედგენილი ცხრილით.



ნახ. XIV.35. სვეტების საანგარიშო კვეთები.

სვეტების დაარმატურება ხდება გრძივი მუშა არმატურით და ჩვეულებრივი განივი არმატურით (კონსტრუქციული დანიშნულებისა), ცალკეული ღეროებით (შეკრული კარკასებით) ან შედუღებული კარკასებით.

გრძივი მუშა არმატურა სვეტის კვეთში განლაგდება მღუნავი მომენტის მოქმედების სიბრტყის მართობულ (მოკლე) გვერდებზე სიმეტრიულად $A_s = A'_s$, ან არასიმეტრიულად $A_s \neq A'_s$. მთლიანკვეთიანი სვეტების დაარმატურების მაგალითები ნაჩვენებია XIV.36 ნახაზზე.

გამჭოლი კვეთის სვეტები — ორტოტა სვეტები — თვით წარმოადგენს მრავალსართულიან ერთმალიან ჩარჩოებს. განივი ჩარჩოები, რომელთაც გამჭოლკვეთიანი დგარები გააჩნიათ, იანგარიშება ისე, როგორც მთლიანკვეთიანი დგარები, პირობით, რომ დგარის საანგარიშო ღერძი ემთხვევა ორტოტა სვეტის გეომეტრიულ ღერძს. დგარების კვეთების მთლიანობის პირობით დადგენილი ძალვების მიხედვით განისაზღვრება ძალვები გამჭოლკვეთიანი დგარების ტოტებსა და განმბჯენებში მიახლოებითი მეთოდით, რომლის მიხედვით დაშვებულია, რომ სვეტის ორტოტა ჩარჩოვან ნაწილში დგარებისა და ტოტების მღუნავი მომენტების ნულოვანი კვეთები მდებარეობენ შესაბამისი ელემენტის სიგრძის შუაზე. ამ დაშვების თანახმად, ორტოტა დგარის საანგარიშო სქემა წარმოგვიდგება XIV.37 ნახაზზე ნაჩვენები სახით.

ძალვები ტოტებსა და განმბჯენებში იანგარიშება ფორმულებით:

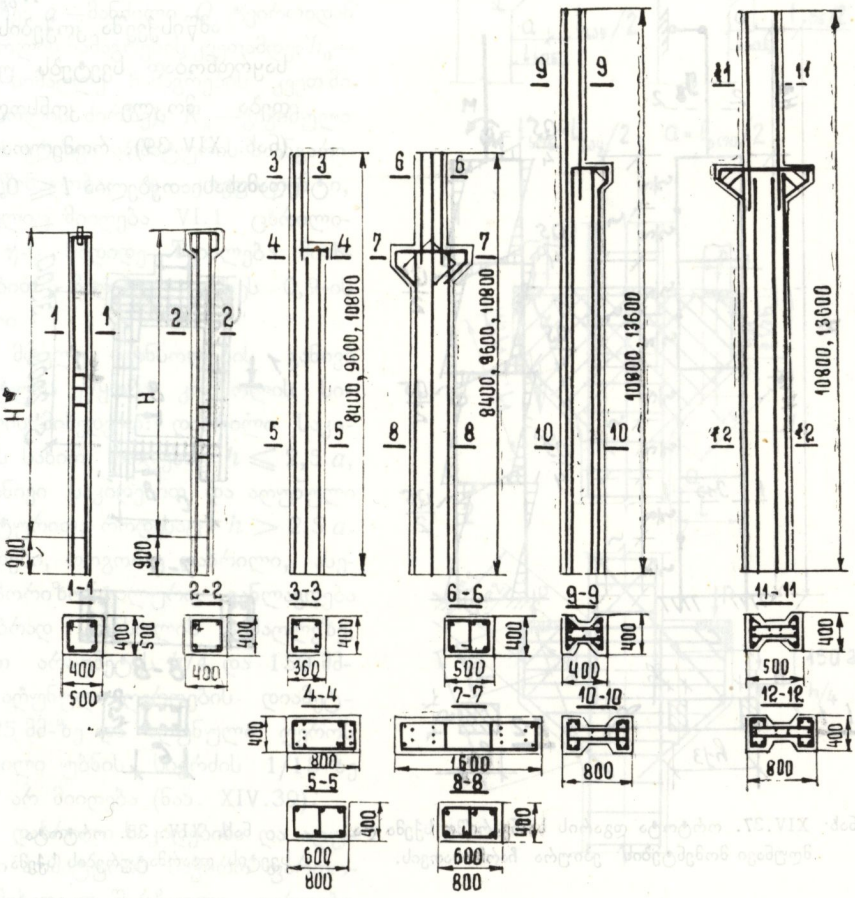
გრძივი ძალები ტოტებში

$$N_{br}=\frac{N}{2}\pm\frac{M\eta}{c};$$

მღუნავი მომენტები ტოტებში

$$M_{br}=\frac{Qs}{4},$$

სადაც M, Q, N საანგარიშო ძალვებია (შესაბამისად მღუნავი მომენტი, განივი ძალა, გრძივი ძალა) მთლიანკვეთიანი სვეტებისათვის; η—ტოტის გრძივი ღუნვის გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი; c—ტოტების ღერძებს შორის მანძილი; s—განმბჯენებს შორის მანძილი.



ნახ. XIV. 36. მთლიანკვეთიანი სვეტების დაარმატურება.

განივი ძალები ტოტებში

$$Q_{br}=\frac{Q}{2};$$

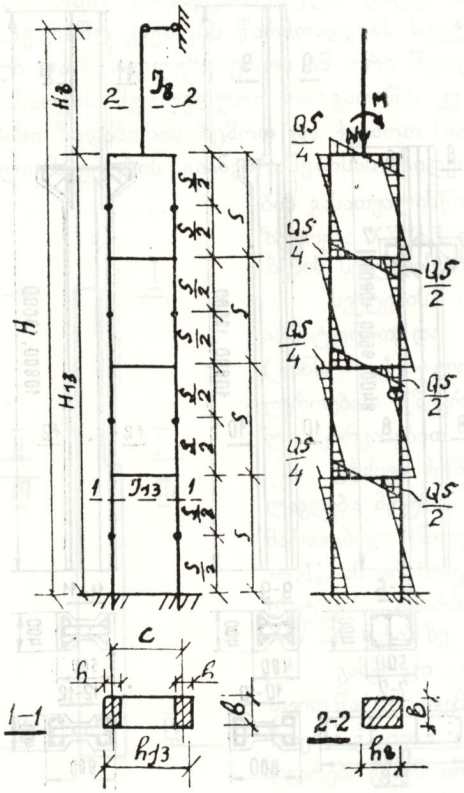
მღუნავი მომენტები განმბჯენებში

$$M_{th}=\frac{Qs}{2};$$

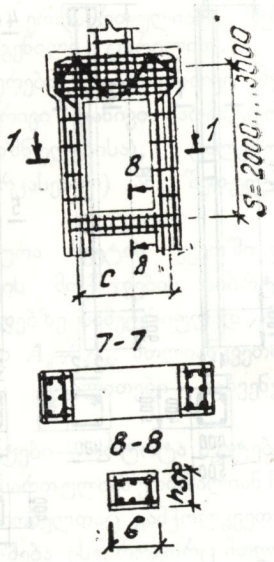
$$Q_{th}=\frac{Qs}{c}.$$

ორტოტა სვეტის დაარმატურების მაგალითი მოცემულია XIV.38 ნახაზზე. ტოტების არმატურა შეირჩევა სიმტკიცის პირობით, როგორც არაცენტრალურ კუმშვაზე მომუშავე ელემენტისა, როდესაც ექსცენტრისიტეტი $e_0=\frac{M_{br}}{N_{br}}$.

ამწისქვეშა კოჭების დასაყრდნობად სვეტებს უკეთდება მოკლე კონსოლები (ნახ. XIV.39), რომელთათვის დამახასიათებელია $l \leqslant 0{,}9h_0$.



ნახ. XIV.37. ორტოტა დგარის საანგარიშო სქემა და მღუნავი მომენტების ეპიურა ჩარჩოსათვის.



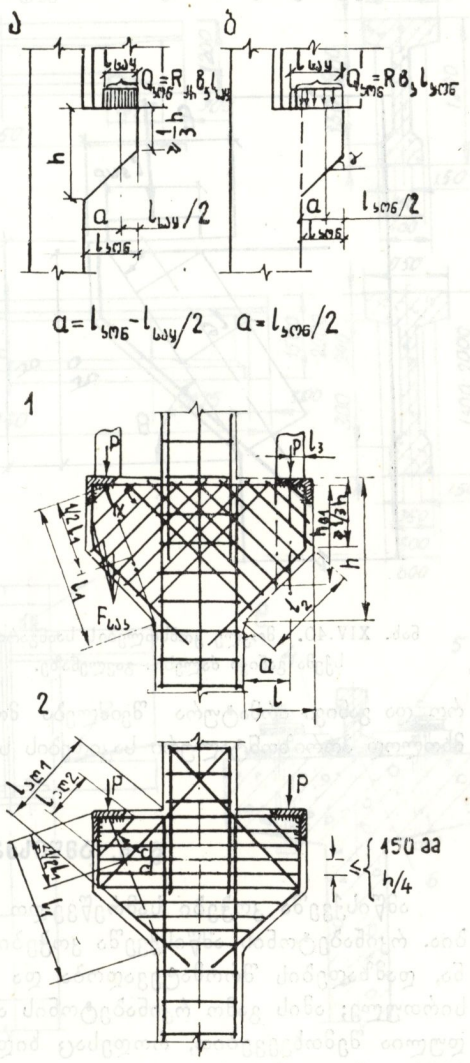
ნახ. XIV. 38. ორტოტა სვეტის დაარმატურების სქემა.

კონსოლის ქვედა კიდის დახრა ჰორიზონტთან ვიიღება 45°. კონსოლის სიმაღლე თავისუფალ ბოლოზე ინიშნება არანაკლები კონსოლის ძირში კვეთის სიმაღლის მესამედისა $h_1 \geqslant \frac{h}{3}$ და არანაკლები 300 მმ, კონსოლის სიგანე — სვეტის სიგანის ტოლი. მოკლე კონსოლები იანგარიშება მღუნავი მომენტისა და განივი ძალის მოქმედებაზე. მღუნავი მომენტების მიხედვით შეირჩევა გაჭიმული ზონის გრძივი არმატურის A_s კვეთი, განივი ძალის მიხედ-

ვით — კონსოლის ზომები და განივი და დახრილი არმატურა. კონსოლის გაჭიმული ზონის გრძივი არმატურის საჭირო ფართობი განისაზღვრება ღუნვადი ელემენტის ნორმალური კვეთის სიმტკიცის პირობიდან 25%-ით გადიდებული უდიდესი საანგარიშო მღუნავი მომენტის მიხედვით, ფორმულით

$$A_s = \frac{1{,}25\,M}{R_s \eta h_0},$$

სადაც M არის საანგარიშო მღუნავი მომენტი კონსოლის ძირზე გამავალ კვეთში; $M = Qa$; Q — ამწისქვეშა კოჭიდან გადაცემული დატვირთვა კონსოლზე; a — მანძილი Q ტვირთიდან კონსოლის ჩამაგრების კვეთამდე; h_0 — მუშა სიმაღლე ჩამაგრების კვეთში (კონსოლის ძირზე); R_s — გაჭიმული ზონის გრძივი არმატურის საანგარიშო წინაღობა; η — კოეფიციენტი, რომელიც მიიღება VI.1 ცხრილიდან; η-ს სიდიდე შეიძლება მიახლოებით მიღებულ იქნეს 0,9-ის ტოლი.



ნახ. VIV.39. სვეტების მოკლე კონსოლების დაარმატურება.

მოკლე კონსოლების განივი არმატურა ეწყობა კონსოლის სიმაღლის მიხედვით: დახრილი საკიდების სახით, როდესაც $h \leqslant 2{,}5\,a$, ან განივი საკიდებით და აღუნული არმატურით, როდესაც $h > 2{,}5\,a$. საკიდები, როგორც დახრილი, ასევე ჰორიზონტალური, განლაგდება თანაბრად კონსოლის სიმაღლეზე, ბიჯით არაუმეტეს $h/4$ და 150 მმ-ისა. აღუნული ღეროების დიამეტრი 25 მმ-ზე და აღუნული ღეროს დახრილი უბნის სიგრძის 1/15-ზე მეტი არ მიიღება (ნახ. XIV.39).

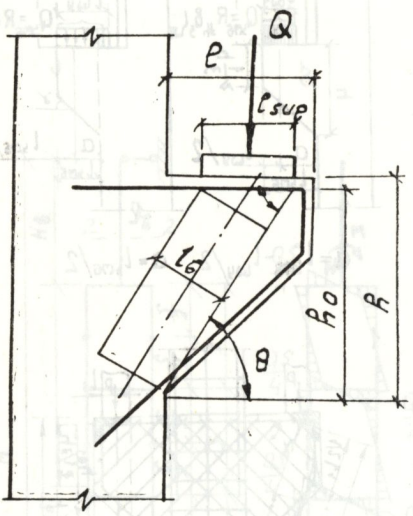
დახრილი საკიდებისა და აღუნული არმატურის საჭირო ფართობის მიხედვით შერჩეული ღეროები უნდა განლაგდნენ კონსოლის ძირსა და ამწისქვეშა კოჭის საყრდენი მოედნის ცენტრს შორის მანძილის ზედა ნახევარში ($l_1/2$). მათი ფართობი უნდა შეადგენდეს არანაკლებ 0,002 bh_0-ისა.

ტვირთსა და მოკლე კონსოლის ძირს შორის მდებარე დახრილი შეკუმშული ზოლის სიმტკიცის უზრუნველსაყოფად განივი ძალის მოქმედებაზე გაანგარიშება ხდება XIV.40 ნახაზზე მოცემული სქემის მიხედვით, ფორმულით

$$Q \leqslant 0{,}8\,\varphi_{w2} R_b b l_b \sin\theta,$$

რომლის მარჯვენა მხარე მიიღება არაუმეტეს $3{,}5\,R_{bt} b h_0$ და არანაკლები $\frac{\varphi_{b4} R_{bt} b h_0^2}{c}$, სადაც θ არის საანგარიშო შეკუმშული ზოლის ჰორიზონტთან დახრის კუთხე; l_b — საანგარიშო შეკუმშული ზოლის სიგანე, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით

$$l_b = l_{\text{sup}} \sin\theta,$$



ნახ. XIV.40. მოკლე კონსოლების საანგარიშო სქემა განივი ძალების გავლენაზე.

აქ l_{sup} არის საყრდენი მოედნის ზომა კონსოლის შვერის გასწვრივ; φ_{w2} — კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს კონსოლის სიმაღლეზე განლაგებული საკიდების გავლენას;

$$\varphi_{w2} = 1 + 5\,\alpha\mu_{w1},$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b}, \quad \mu_{w1} = \frac{A_{sw}}{b s_w},$$

სადაც A_{sw} ერთ სიბრტყეში მდებარე საკიდების განივკვეთის ფართობია; s_w — საკიდებს შორის მანძილი მათ ნორმალზე.

როდესაც მოკლე კონსოლების სიმაღლე $h > 3{,}5\,a$ და $Q \leqslant R_{bt} b h_0$, განივი ძალის მიხედვით გაანგარიშება არ არის საჭირო და განივი არმატურა შეიძლება მოეწყოს კონსტრუქციული მოსაზრებებით მხოლოდ ჰორიზონტალური საკიდების სახით.

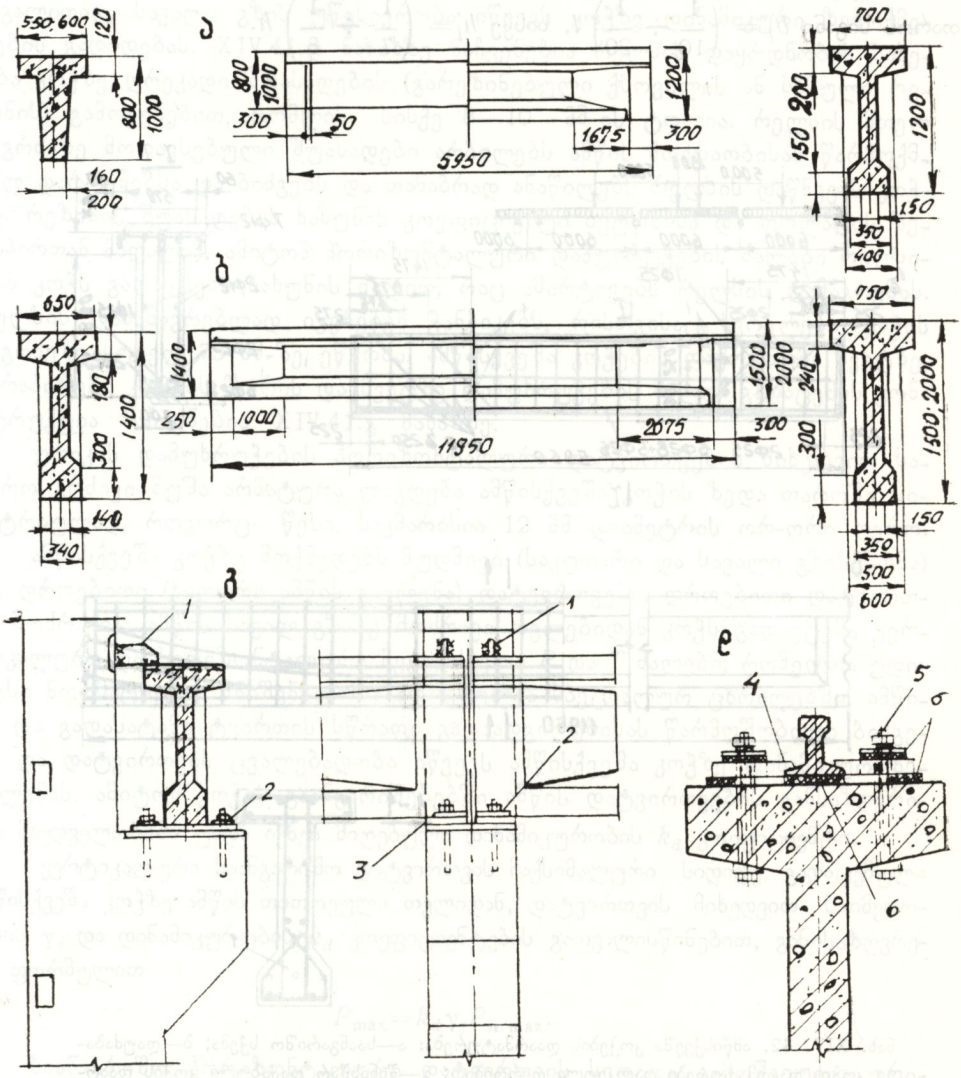
§ 5. ამწისქვეშა კოჭები

ამწისქვეშა კოჭები სამრეწველო შენობის საპასუხისმგებლო ელემენტებია. რკინაბეტონის ამწისქვეშა კოჭების ნაკლოვანებებია დიდი საკუთარი წონა, დამზადების შრომატევადობა და მასზე ამწის სავალი გზის დამაგრების სირთულე; ამის გამო რკინაბეტონის ამწისქვეშა კოჭების გამოყენება შეზღუდულია შემთხვევებით, როდესაც ხიდური ამწის ტვირთამწეობა 30 ტ (300 kN-ს) არ აღემატება.

რკინაბეტონის ამწისქვეშა კოჭები, ჩვეულებრივ, გეგმარდება ასაწყობი, საყრდენებზე თავისუფლად მდებარე კოჭების ერთობლიობის სახით, რომელთა ნომინალური მალები სვეტების ბიჯის ტოლია. ამწისქვეშა კოჭების კონსტრუქციები მოცემულია XIV.41 ნახაზზე.

იყენებენ დაუძაბავსა და წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ამწისქვეშა კოჭებს ღეროვანი და მავთულოვანი არმატურით და ბაგირებით. ბეტონი მიიღება $B25$—$B40$ კლასის.

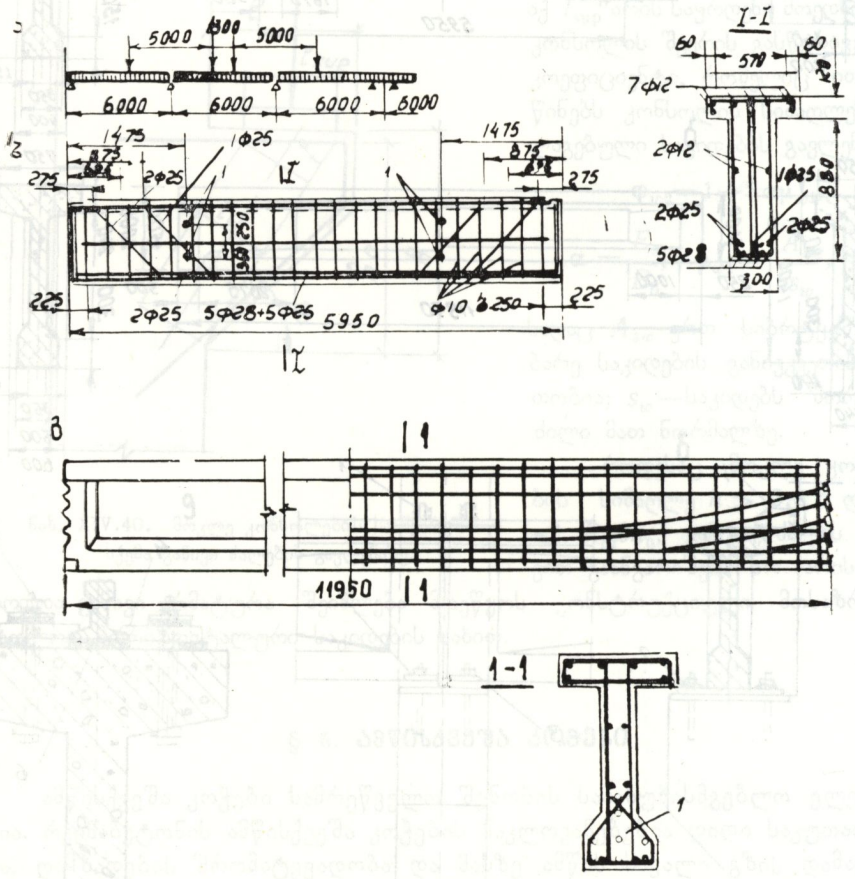
რკინაბეტონის ამწისქვეშა კოჭების ხელსაყრელი განივკვეთის ფორმა ტესებრი ან ორტესებრია. ზედა თაროს საჭიროა სავალი გზის მონტაჟისა და ექსპლუატაციის მოხერხებულობისათვის, გარდა ამისა, იგი ზრდის კოჭის სიხისტეს ურიკის განივი დამუხრუჭების ძალაზე, ექსპლუატაციის დროს ჭმნის შე-



ნახ. XIV.41. ამწისქვეშა კოჭების კონსტრუქციები: ა—მალი 6 მ; ბ—მალი 12მ; გ—ამწისქვეშა კოჭის კავშირი სვეტთან; დ—ამწის სავალი გზის შეერთება კოჭთან; 1—ფოლადის თამასა; 2—საყელური; 3—საყრდენი ფურცელი; 4—ფოლადის თათი; 5—ჭანჭიკი; 6—დრეკადი შუასადები (სისქით 8 მმ).

კუმშული ზონის ბეტონის სიმტკიცის პირობით საჭირო კვეთს. ამწის სავალი გზის დამაგრების მოსაზრებით, ზედა თაროს სიგანე არ უნდა იყოს 50—55 სმ-ზე ნაკლები. ქვედა თაროს განვითარება საჭიროა გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა არმატურის განლაგებისათვის კვეთში და ამ ზონის ბეტონის სიმტკიცის პირობით კუმშვაზე წინასწარი დაძაბვის დროს (მოკუმშვის სტადიაზე).

ამწისქვეშა კოჭების სიმაღლე მიიღება $h = \left(\frac{1}{6} \div \frac{1}{10}\right) l$ (l მალისა); ტიპურ პროექტებში მიღებულია $h = 60 \div 140$ სმ, 20 სმ-ით ცვალებადობისას. ზედა თაროს სიგანე $b_f' = \left(\frac{1}{10} \div \frac{1}{20}\right) l$, სისქე $h_f' = \left(\frac{1}{7} \div \frac{1}{8}\right) h$.



ნახ. XIV. 42. ამწისქვეშა კოჭების დაარმატურება: ა—საანგარიშო სქემა; ბ—დაუძაბავი კოჭის დაარმატურება ცალკეული ღეროებით; გ—წინასწარ დაძაბული კოჭის დაარმატურების სქემა (კონებით დაარმატურება).

ამწისქვეშა კოჭების დაარმატურება შეიძლება როგორც ცალკეული ღეროებით (შეკრული კარკასებით), ასევე შედუღებული კარკასებით. მნიშვნელოვანი დინამიკური დატვირთვების მოქმედებისას უპირატესობა ენიჭება ცალკეული ღეროებით დაარმატურებას. ამწისქვეშა კოჭების კონსტრუქცია და დაარმატურების მაგალითები ნაჩვენებია XIV.42 ნახაზზე.

ამწისქვეშა კოჭის კედელში ეწყობა ხვრელები ტროლების დასამაგრებლად (კოჭის სიგრძეზე ერთმანეთისაგან 3 მ-ის ტოლ მანძილზე), სავალი გზის კოჭთან დასაკავშირებლად ხვრელები უკეთდება თაროებსაც.

განსაკუთრებით საყურადღებოა სავალი გზის დამაგრება ამწისქვეშა კოჭზე, რაზედაც დამოკიდებულია ამწის დატვირთვის გადაცემის საიმედოობა. მაგალითად, სავალი გზის უწესივრობა იწვევს კოჭზე დინამიკური ზემოქმედების გადიდებას. XIV.41,დ ნახაზზე ნაჩვენებია რელსის დაყრდნობის სახეობა კოჭზე დრეკადი შუასადების (გარეზინებული ქსოვილის ან სხმული რეზინის) გამოყენებით, რომლის სისქე 8—10 მმ-ის ტოლია. რელსის მთელ სიგრძეზე მოთავსებული შუასადები არბილებს ამწის მოძრაობისას წარმოქმნილ დარტყმებსა და ბიძგებს და თანაბრად ანაწილებს რელსის დაწნევას კოჭზე. რეზინის შუასადების ხახუნის კოეფიციენტი ბეტონისა და ფოლადის ზედაპირთან მაღალია, ამიტომ ჰორიზონტალური დამუხრუჭების ძალები რელსიდან კოჭს გადაეცემა ხახუნის ძალით, რაც ამარტივებს რელსის დამაგრებას. რელსის დასამაგრებლად იყენებენ ჭანჭიკებს, რისთვისაც ხვრელები კოჭის სიგრძეზე ყოველ 75 სმ-ზე ეწყობა. ამწისქვეშა კოჭების დაყრდნობა სვეტზე, პირაპირები კოჭებს შორის და სვეტზე დამუხრუჭების ძალის გადაცემის კონსტრუქცია ნაჩვენებია XIV.41,გ ნახაზზე.

ურიკის დამუხრუჭების ჰორიზონტალური დატვირთვების მიხედვით საჭირო გრძივი მუშა არმატურა ლაგდება ამწისქვეშა კოჭის ზედა თაროში სიმეტრიულად, როგორც წესი, საკმარისია 12 მმ დიამეტრის ორ-ორი ღერო.

ამწისქვეშა კოჭზე მოქმედებს მუდმივი (საკუთარი და სავალი გზის წონა) და დროებითი (ხიდური ამწის გავლენა) დატვირთვები. დროებითი დატვირთვა მოძრავია; ამწის სავალ გზაზე მოძრავი თვლებიდან კოჭს გადაეცემა ვერტიკალური და ჰორიზონტალური შეყურსული P და T ძალები, რომელთა უდიდესი ნორმატიული მნიშვნელობა მოცემულია სპეციალურ ცხრილებში. ამწისა და გადასატანი ტვირთის სწრაფი გადაადგილებისას წარმოშობილი ბიძგები და დატვირთვის ცვალებადობა იწვევს ამწისქვეშა კოჭზე დინამიკურ ზეგალენას. ამიტომ კოჭის გაანგარიშებებში ამწის დატვირთვების განსაზღვრისას მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული დინამიკურობის k_d კოეფიციენტი.

ვერტიკალური საანგარიშო დატვირთვის მაქსიმალური სიდიდე, გადაცემული ამწისქვეშა კოჭზე ამწის თითოეული თვლიდან, დატვირთვის მიხედვით საიმედოობის γ_f და დინამიკურობის k_d კოეფიციენტების გათვალისწინებით, განისაზღვრება ფორმულით

$$P_{\max}=k_d\gamma_f P_{n.\max}.$$

საანგარიშო ჰორიზონტალური დატვირთვის სიდიდე გამოწვეული ურიკის დამუხრუჭებით, რომელიც მიმართულია საამქროს განივად შენობის გარეთ ან შიგნით, ამწისქვეშა კოჭს გადაეცემა თითოეული სამუხრუჭო თვლიდან (სამუხრუჭო თვლები ორია) სიდიდით

$$T=k_d\gamma_f T_n,$$

სადაც $P_{n.\max}$ და T_n შესაბამისად არის ამწის ვერტიკალური და ჰორიზონტალური შეყურსული ნორმატიული დატვირთვა, რომელიც გადაეცემა კოჭს ამწის ერთი თვლიდან (ოთხთვლიანი ხიდურას ორი თვალი მოძრაობს ერთ ამწისქვეშა კოჭზე);

γ_f—საიმედოობის კოეფიციენტი დატვირთვის მიხედვით, რომელიც მიიღება 1,1-ის ტოლი ხიდური ამწეებისათვის; k_d—დინამიკურობის კოეფიციენტი; $k_d=1,1$—მძიმე რეჟიმის ხიდური ამწისათვის, $k_d=1,0$—მსუბუქი და საშუალო რეჟიმის.

ხიდური ამწის ზომები, წონა, უდიდესი ნორმატიული ვერტიკალური დატვირთვა თვალზე და სხვა პარამეტრები მოცემულია ამწეების კატალოგებში მისი ტვირთამწეობის, მუშაობის რეჟიმისა და მალისაგან დამოკიდებულებით.

ამწის დატვირთვებით გამოწვეული ძალები ამწისქვეშა კოჭის სიმტკიცეზე გაანგარიშებისათვის განისაზღვრება ორი ხიდური ამწის შეწყვილებული მუშაობისას საამქროს თითოეულ მალში. ამ დროს მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული დატვირთვების შეხამების კოეფიციენტიც. კოჭის საანგარიშო სქემა მოცემულია XIV.43 ნახაზზე.

ამწისქვეშა კოჭების საანგარიშო ძალვები განისაზღვრება მუდმივი და დროებითი დატვირთვების ერთობლივი მოქმედებისას. მუდმივ დატვირთვებს წარმოადგენს კოჭის საკუთარი და ამწის სავალი გზის წონა, დროებითი დატვირთვებია ამწის ვერტიკალური და ჰორიზონტალური დაწნევა. მუდმივი დატვირთვები თანაბრადაა განაწილებული კოჭის სიგრძეზე, დროებითი დატვირთვები წარმოადგენს შეყურსულ ძალთა სისტემას (ორი ხიდური ამწის მოქმედებისას, ოთხი და ერთი ხიდური ამწის მოქმედებისას, ორ შეყურსულ ძალას). მუდმივი და დროებითი დატვირთვების ერთობლივი გავლენით წარმოქმნილი ჯამური ძალვები ტოლია:

მღუნავი მომენტები

$$M=M_g+M_v;$$

განივი ძალები

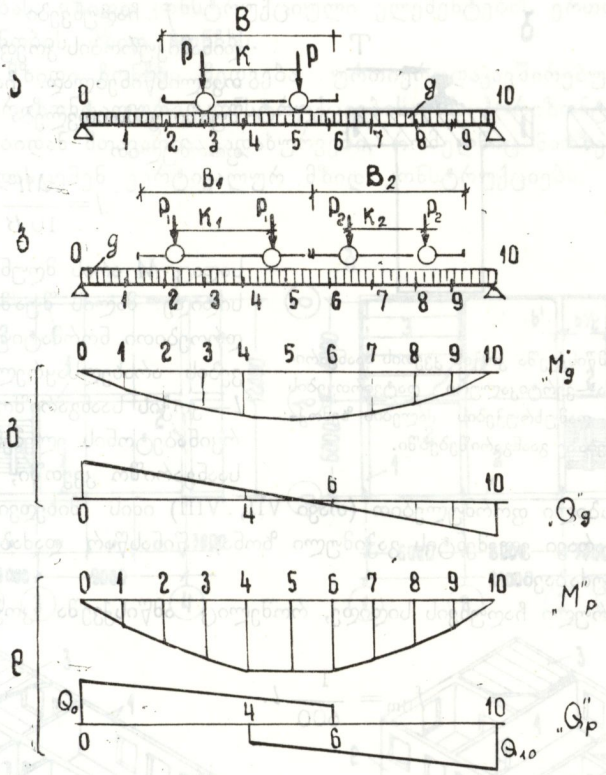
$$Q=Q_g+Q_v.$$

M_g, Q_g მუდმივი დატვირთვებით გამოწვეული ძალვებია, რომლებიც იანგარიშება ჩვეულებრივ, ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე კოჭისათვის g თანაბრად განაწილებული დატვირთვით, როდესაც უდიდესი მღუნავი მომენტი მალის შუაში $M_{max}=\frac{gl^2}{8}$, ხოლო უდიდესი განივი ძალა საყრდენზე $Q_{max}=\frac{gl}{2}$.

M_v, Q_v დროებითი მოძრავი დატვირთვებით გამოწვეული მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების გაანგარიშება უნდა ჩატარდეს გავლენის წირების აგების გზით: კოჭის სიგრძეზე (0,1—0,2) l მანძილზე ერთმანეთისაგან დაშორებული კვეთებისათვის აიგება მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების გავლენის წირები. შეყურსულ ძალთა არახელსაყრელი მდებარეობისათვის გამოითვლება ამ კვეთებში მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების უდიდესი მნიშვნელობები, ხოლო უდიდესი საანგარიშო ძალვების მიხედვით აიგება მომვლები ეპიურები (ნახ. XIV.43). ამწის ვერტიკალური დატვირთვებით გამოწვეული მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების მომვლები ეპიურების აგების გამარტივებისათვის შედგენილია ცხრილები (დანართი XXX), რომელთა გამოყენებისას საანგარიშო კვეთებში მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების უდიდესი მნიშვნელობები (მომვლები ეპიურის ორდინატები) გამოითვლება ფორმულით

$$M_v=\alpha P_{max} l;$$
$$Q_v=\beta P_{max},$$

სადაც α და β შესაბამისად არის მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების მომვლები ეპიურის ორდინატების საანგარიშო კოეფიციენტები ცხრილებიდან (ცხრ. 1÷4, დანართი XXX) შესაბამისი კვეთისათვის; P_{max}—შეყურსული საანგარიშო დროებითი დატვირთვის სიდიდე; l—ამწისქვეშა კოჭის საანგარიშო მალი.



ნახ. XIV. 43. ამწისქვეშა კოჭების საანგარიშო სქემები: ა—ერთი ამწის, ბ—შეწყვილებული ორი ამწის მოქმედება; გ—მუდმივი დატვირთვით გამოწვეული მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების ეპიურა; დ—ამწის დროებითი მოძრავი დატვირთვით გამოწვეული მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების მომვლები ეპიურა.

ძალვების განსაზღვრის შემდეგ ტარდება კონსტრუქციული გაანგარიშებები: სიმტკიცის, გამძლეობის და სიხისტის პირობით.

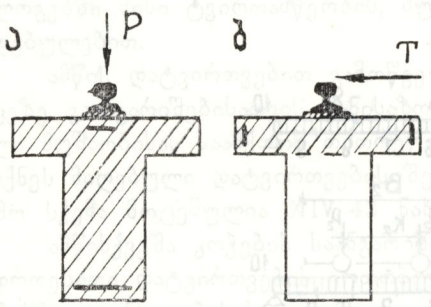
სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას მიიღება, რომ ვერტიკალური დატვირთვების მოქმედებაზე მუშაობაში მონაწილეობს კოჭის მთელი კვეთი, განივი დამუხრუჭების ძალებზე კი—მხოლოდ ზედა თარო. შესაბამისად დაშვებისა, რომ ღუნვას ჰორიზონტალურ სიბრტყეში განიცდის ამწისქვეშა კოჭის მხოლოდ ზედა თარო, ურიკის დამუხრუჭების ძალაზე გაანგარიშებისას კვეთიც განიხილება როგორც მართკუთხა—ზედა თაროს ზომების $b'_f \times h'_f$ (ნახ. XIV.44).

ამწის დატვირთვების მრავალჯერ განმეორებით მოქმედების გამო საჭიროა ამწისქვეშა კოჭის გაანგარიშება გამძლეობაზეც. გამძლეობაზე გაანგარი-

შება იწარმოებს მხოლოდ ერთი ხიდური ამწის დატვირთვაზე და მდგომარეობს ბეტონისა და არმატურის ძაბვების განსაზღვრაში, რომლებიც არ უნდა აღემატებოდნენ შესაბამის საანგარიშო წინაღობებს გამძლეობაზე.

ამწისქვეშა კოჭის გაანგარიშება სიხისტეზე წარმოებს პირობით

$$f \leqslant f_{\text{lim}}.$$



ნახ. XIV.44. ამწისქვეშა კოჭის კვეთის საანგარიშო ნაწილები: ა—ვერტიკალური დატვირთვების და ბ—განივი დამუხრუჭების ძალების ზემოქმედებაზე გაანგარიშებებში.

f ჩაღუნვები განისაზღვრება დინამიკურობის კოეფიციენტის გაუთვალისწინებლად. ჩაღუნვა მალის შუაში გამოითვლება მიახლოებითი ფორმულით

$$f = \frac{Ml^2}{10B},$$

სადაც M არის მღუნავი მომენტის სიდიდე მალის შუაში მუდმივი და დროებითი ნორმატიული დატვირთვების არახელსაყრელი შეხამებისას; l—კოჭის საანგარიშო მალი; B—რკინაბეტონის ელემენტის სიხისტე საანგარიშო კვეთში, რომელიც გამოითვლება ცნობილი ფორმულებით (თავი VII, VIII) იმის მიხედვით, დაბზარულია თუ დაუბზარავი ელემენტის გაჭიმული ზონა, წინასწარ დაძაბულია კონსტრუქცია თუ დაუძაბავი.

f_{lim}—ზღვრული ჩაღუნვის სიდიდე, რომელიც ამწისქვეშა კოჭებისათვის მიიღება

$$f_{\text{lim}} = \frac{1}{600} l.$$

XV თავი

მრავალსართულიანი შენობების რკინაბეტონის კონსტრუქციები

§ 1. მრავალსართულიანი შენობების კონსტრუქციული სქემები

დანიშნულების მიხედვით განასხვავებენ მრავალსართულიანი შენობების ორ ძირითად ჯგუფს: სამრეწველოს და სამოქალაქო-საცხოვრებელ შენობებს.

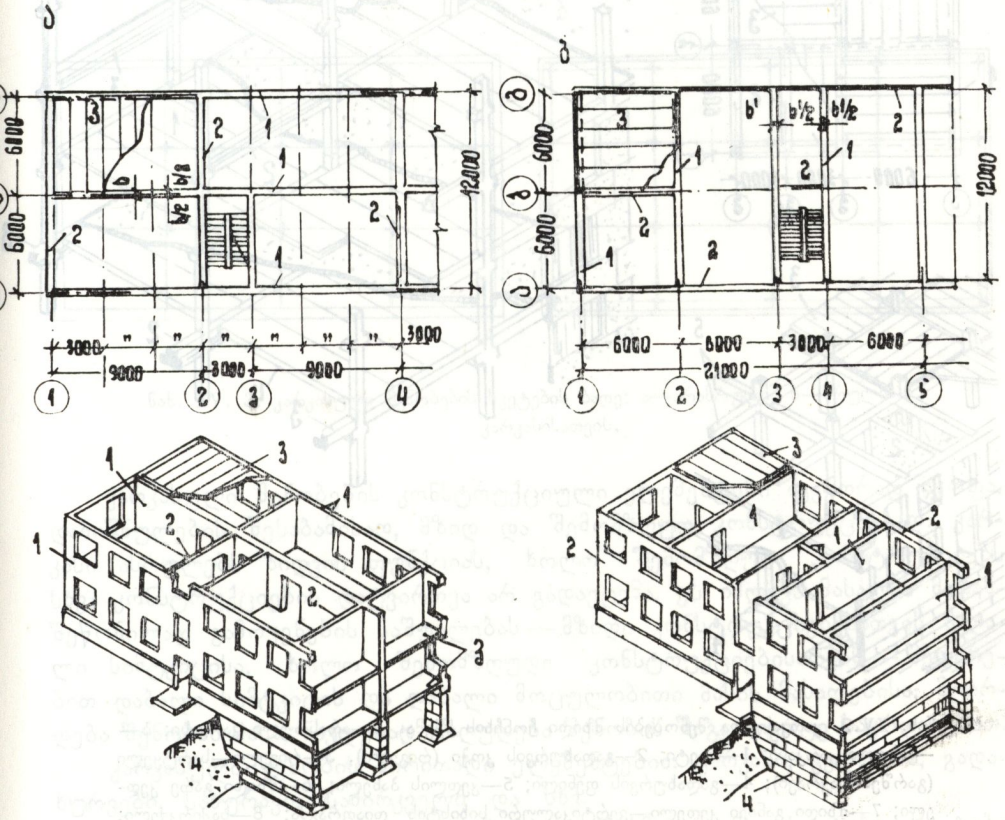
მრავალსართულიან შენობებს გააჩნიათ ძირითადი ერთგვაროვანი კონსტრუქციული ელემენტები: კედლები, საძირკვლები, სახურავი, სართულშორისი გადახურვები, კიბეები, ტიხრები და სხვ.

თავისებურებები, რითაც ხასიათდება სხვადასხვა დანიშნულების შენობების სივრცულ-გეგმარებითი და კონსტრუქციული გადაწყვეტა, გამოწვე-

ულია უმთავრესად ტექნოლოგიური პროცესების და ექსპლუატაციის პირობების თავისებურებებით.

კონსტრუქციული ელემენტები დანიშნულების მიხედვით შეიძლება იყოს მზიდი, შემომზღუდავი ან ასრულებდეს როგორც ზიდვის, ასევე შემოზღუდვის მოვალეობას. მზიდი კონსტრუქციული ელემენტების ერთობლიობა წარმოადგენს შენობის მზიდ ჩონჩხს.

შენობის მზიდი ჩონჩხი შედგება ურთიერთდაკავშირებული ვერტიკალური და ჰორიზონტალური კონსტრუქციებისაგან. ჰორიზონტალური მზიდი კონსტრუქციებიდან მთავარია გადახურვები, რომელნიც მათზე მოსულ დატვირთვებს გადასცემენ ვერტიკალურ მზიდ კონსტრუქციებს. გადახურვები,

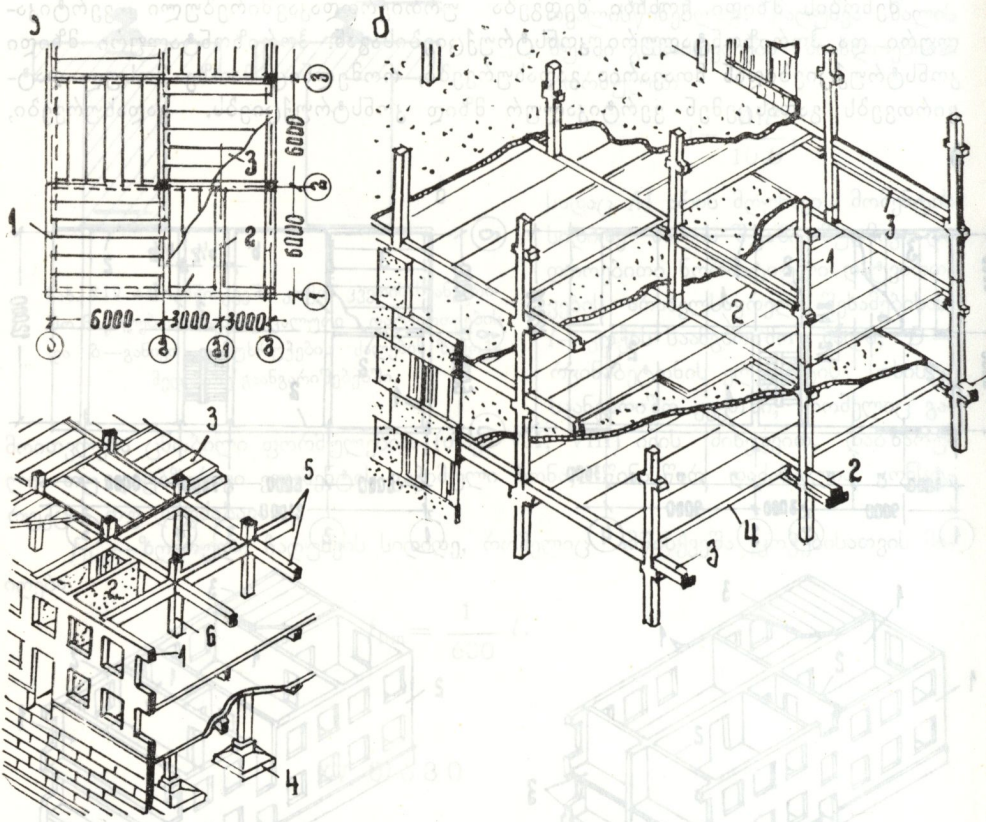


ნახ. XV.1. მზიდკედლებიანი ქვისა და პანელური შენობის მზიდი ჩონჩხის სქემა: ა—გრძივი მზიდი კედლებით; ბ—განივი მზიდი კედლებით; 1—მზიდი კედელი; 2—კედელი—სიხისტის ვერტიკალური დიაფრაგმა; 3—სართულშორისი გადახურვის ფენილი; 4—საძირკველი.

გარდა ამისა, ასრულებს სიხისტის ჰორიზონტალური დიაფრაგმების მოვალეობას და უზრუნველყოფს ვერტიკალური მზიდი კონსტრუქციების ჰორიზონტალურ გადაადგილებათა ერთობლიობას (ამისათვის საჭიროა ჰორიზონტალური და ვერტიკალური კონსტრუქციების საიმედო კავშირი).

ვერტიკალური მზიდი კონსტრუქციები იღებს შენობაზე მოქმედ მთელ დატვირთვას და საძირკვლების მეშვეობით გადასცემს ფუძეს.

მრავალსართულიანი შენობების რკინაბეტონის ჰორიზონტალური კონსტრუქციები — გადახურვები — ერთგვაროვანია. გადახურვის მთავარი ელემენტია ფილა, მონოლითური, ასაწყობი ან ასაწყობ-მონოლითური რკინაბეტონისა, რომელიც შეიძლება მოეწყოს კოჭოვან უჯრედებზე ანუ უკოჭებოდ (კოჭოვანი ან უკოჭო გადახურვა).



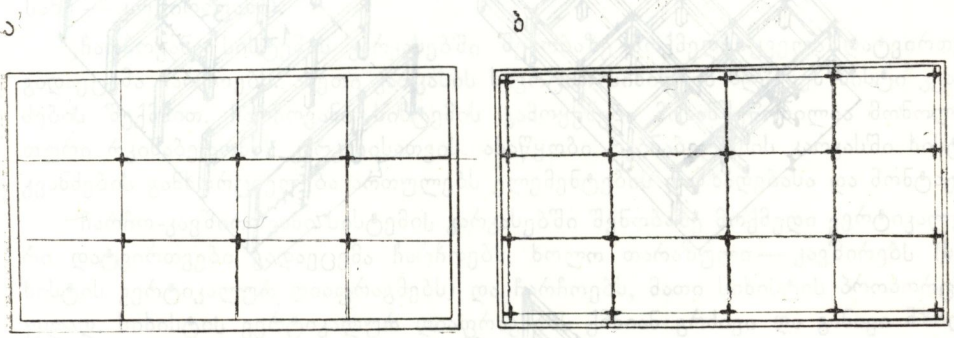
ნახ. XV.2. კარკასული შენობების მზიდი ჩონჩხის სქემა: ა—არასრული კარკასი; ბ—სრული კარკასი; 1—სვეტი; 2—გადახურვის კოჭი (რიგელი), 3—რიგელი—სარტყელი (გარშემოსაკრავი); 4—გადახურვის ფენილი; 5—კედლის პანელი; 6—მზიდი გარე კედელი; 7—მზიდი განივი კედელი—ვერტიკალური სიხისტის დიაფრაგმა; 8—საძირკველი; 9—იატაკი.

ვერტიკალური მზიდი კონსტრუქციები მრავალფეროვნებით ხასიათდება. მათი სახეობა განსაზღვრავს შენობის კონსტრუქციულ სისტემასაც.

განასხვავებენ ვერტიკალური მზიდი კონსტრუქციების შემდეგ სახეობებს: ღეროვანი კონსტრუქციები მთლიანი კვეთის ელემენტებისაგან — კარკასი; ბრტყელი კონსტრუქციები — კედლები; მოცულობითი ბლოკები; მოცულობით-სივრცითი ელემენტები თხელკედლიანი ღეროების სახით ღია ან ჩაკეტილი პროფილისა — ბირთვი, მილი.

მრავალსართულიანი შენობებისათვის ძირითადად მიღებულია მზიდკედლებიანი და კარკასული კონსტრუქციული სისტემები. გარდა ამისა აღსანიშნავია მოცულობით-ბლოკური, მილოვანი, გარსოვანი და კომბინირებული სისტემების გავრცელება სამოქალაქო შენობებში.

სამრეწველო შენობისათვის ჩვეულებრივ მიმართავენ კარკასულ კონსტრუქციულ გადაწყვეტას, ხოლო თანამედროვე სამოქალაქო-საცხოვრებელი შენობებისათვის — როგორც კარკასულ, ასევე მზიდკედლებიან კონსტრუქციულ სისტემებს (ნახ.XV.1, ნახ. XV.2). სახელდობრ, პანელური შენობებიდან აღსანიშნავია პანელური კარკასული და პანელური უკარკასო შენობები.



ნახ. XV. 3. კარკასული შენობების სვეტების ბადე: ა—არასრული, ბ—სრული კარკასისათვის.

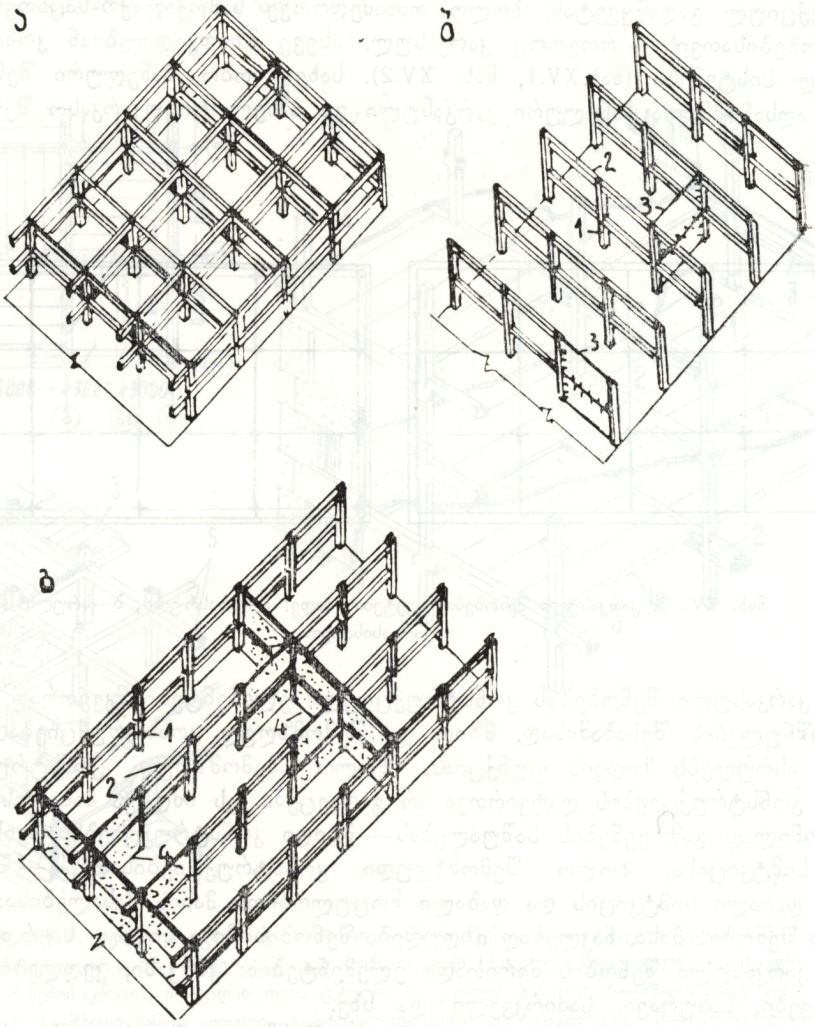
კარკასული შენობების კონსტრუქციული ელემენტები მკვეთრად იყოფა, დანიშნულების შესაბამისად, მზიდ და შემომზღუდ კონსტრუქციებად: კარკასი ასრულებს ზიდვის ფუნქციას, ხოლო შემომზღუდ კონსტრუქციებს სხვა კონსტრუქციების დატვირთვა არ გადაეცემა. ეს იძლევა მასალის მიზანშეწონილად გამოყენების საშუალებას — მზიდი კონსტრუქციებისათვის მაღალი სიმტკიცისა, ხოლო შემომზღუდი კონსტრუქციებისათვის — შედარებით დაბალი სიმტკიცის და დაბალი მოცულობითი მასის მასალებისა; ეცირდება შენობის მასა, ნაკლებად იზღუდება შენობის შიგა სივრცე საყრდენებით.

კარკასული შენობის ძირითადი ელემენტებია: კარკასი, კედლები, გადახურვები, სახურავი, საძირკველი და სხვ.

კარკასის ძირითად მზიდ ელემენტებს წარმოადგენს სვეტები. სვეტები შეიძლება განლაგდეს შენობის შიგნით ისე, რომ გარე კედლები მზიდი იყოს, მაშინ კარკასი არასრულია. როდესაც სვეტები, გარდა შიდა სივრცისა, განლაგებულია გარე კედლების კონტურზედაც და გარე კედლებს ტვირთზიდვის მოვალეობა არ ეკისრება, იქმნება სრული კარკასი; კარკასული შენობის სვეტების ბადე გეგმაში ნაჩვენებია XV.3 ნახაზზე.

მრავალსართულიანი სამრეწველო შენობებისათვის მიღებულია კარკასული კონსტრუქციული სისტემა, ჩვეულებრივ სრული კარკასით. არასრულ კარკასს იშვიათად იყენებენ; მცირე სართულიანობისა (2—3) და გადახურვებზე მცირე დატვირთვების შემთხვევაში ასაწყობი რკინაბეტონის არასრული კარკასის გა-

მოყენებისას შესაძლოა შენობის ღირებულების შემცირება ასაწყობი ელემენტების ტიპზომების რაოდენობის შემცირების და შემომზღუდი კონსტრუქციების უფრო სრულყოფილი გამოყენების ხარჯზე.



ნახ. XV.4. მრავალსართულიანი კარკასული შენობის ბლოკი ჩონჩხის საერთო ხედი: ა—ჩარჩოვანი კონსტრუქციული სისტემის; ბ—ჩარჩო-კავშიროვანი სისტემისა ბრტყელი ვერტიკალური სიხისტის დიაფრაგმებით; გ—იგივე, სივრცული დიაფრაგმებით. 1—სვეტი; 2—რიგელი; 3—ბრტყელი კავშირის ელემენტები; 4—სივრცული კავშირის ელემენტები.

მრავალსართულიანი შენობების კარკასი შეიძლება აიგოს მონოლითური, ასაწყობი და ასაწყობ-მონოლითური რკინაბეტონისა. ფართოდაა გავრცელებული ასაწყობი რკინაბეტონის კარკასები. მონოლითურ რკინაბეტონს იყენებენ ძირითადად ისეთი შენობებისათვის, რომლებიც გამოირჩევიან ელემენტების

ტიპების სიმრავლით, განსაკუთრებით დიდი სტატიკური დატვირთვებითა და მნიშვნელოვანი დინამიკური დატვირთვებით. მონოლითური რკინაბეტონის კარკასებს იყენებენ მაღალი სეისმურობის (8 ბალზე მეტი) რაიონებში მშენებლობისათვის.

მრავალსართულიანი შენობის კარკასი წარმოადგენს სივრცით სისტემას, რომელიც ჩვეულებრივ შეიძლება სქემატიზებულ იქნეს როგორც ბრტყელი ჩარჩოების ერთობლიობა, რომლთა შორის კავშირი სხვადასხვაგვარად ხორციელდება (ნახ.XV.4).

არსებობს რკინაბეტონის კარკასის კონსტრუქციულ-საანგარიშო გადაწყვეტის ორგვარი სისტემა: ჩარჩოვანი და ჩარჩო-კავშიროვანი (და მისი კერძო სახე — კავშიროვანი).

ჩარჩოვანი სისტემის კარკასებში შენობაზე მოქმედი ყველა დატვირთვა გადაეცემა ჩარჩოებს. ასეთი კარკასის სივრცით სიხისტეს აღწევენ ხისტი კვანძების შექმნით. ჩარჩოვანი სისტემის გამოყენება მიზანშეწონილია მონოლითური რკინაბეტონის კარკასისათვის. ასაწყობი რკინაბეტონის კარკასში ხისტი კვანძების განხორციელება ართულებს ელემენტების დამზადებასა და მონტაჟს.

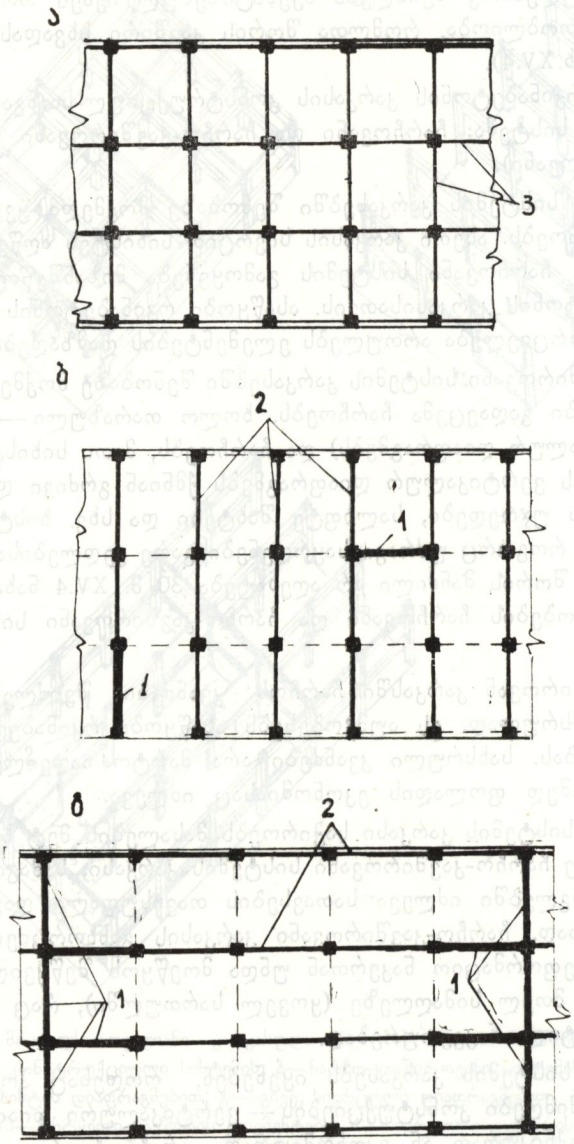
ჩარჩო-კავშიროვანი სისტემის კარკასებში შენობაზე მოქმედი ვერტიკალური დატვირთვები გადაეცემა ჩარჩოებს, ხოლო თარაზული — კავშირებს (სიხისტის ვერტიკალურ დიაფრაგმებს) და ჩარჩოებს, მათი სიხისტის პროპორციულად. სიხისტის ვერტიკალურ დიაფრაგმებს ქმნიან გრძივი და განივი მზიდი კედლები, კიბის უჯრედები, სალიფტე შახტები და სხვ. ხისტი გადახურვები წარმოგვიდგება როგორც უძრავი საყრდენები გარე კედლებისათვის, როდესაც განივ კედლებს შორის მანძილი არ აღემატება 30 მ. XV.4 ნახაზზე ნაჩვენებია კარკასული შენობების ჩარჩოვანი და ჩარჩო-კავშიროვანი სისტემის სქემები გეგმაში.

ჩარჩო-კავშიროვან კარკასში ჩარჩოს კვანძები შეიძლება შესრულდეს მარტივად — სახსრულად. ეს აუმჯობესებს ასაწყობი რკინაბეტონის კარკასის ინდუსტრიულობას. სახსრული კვანძები არა მარტო აადვილებს სამუშაოთა წარმოებას, არამედ ფოლადის ეკონომიასაც იძლევა.

ჩარჩოვანი სისტემის კარკასი საჭიროებს მასალების მეტ ხარჯს და უფრო ძვირიცაა, ვიდრე ჩარჩო-კავშიროვანი სისტემის კარკასი; სამაგიეროდ ყოველი სართულის ფარგლებში იძლევა სათავსების თავისუფალი დაგეგმვის საშუალებას. მაგალითად, ჩარჩო-კავშიროვანი კარკასის განხორციელებისას შენობის ყოველ სადეფორმაციო ნაკერთან უნდა მოეწყოს შეწყვილებული სიხისტის დიაფრაგმა მთელ სიმაღლეზე (ყოველ სართულში), რაც შენობას ყოფს ცალკეულ ჩაკეტილ ნაკვეთურებად.

ჩარჩოვანი სისტემის კარკასებს იყენებენ, როდესაც ჰორიზონტალური დატვირთვების მიმღები კონსტუქციების — ვერტიკალური დიაფრაგმების განხორციელება ტექნიკურად ან ეკონომიურად არახელსაყრელია ან თარაზული დატვირთვების გადაცემა გაძნელებულია გადახურვებში არსებული მნიშვნელოვანი ზომების ხვრეტების არსებობის გამო. ჩარჩოვან სისტემას უპირატესობა ენიჭება სეისმურ რაიონებში, ჩაჯდომადი გრუნტების პირობებში და ქვედასამუშავებელ ტერიტორიაზე მშენებლობისას.

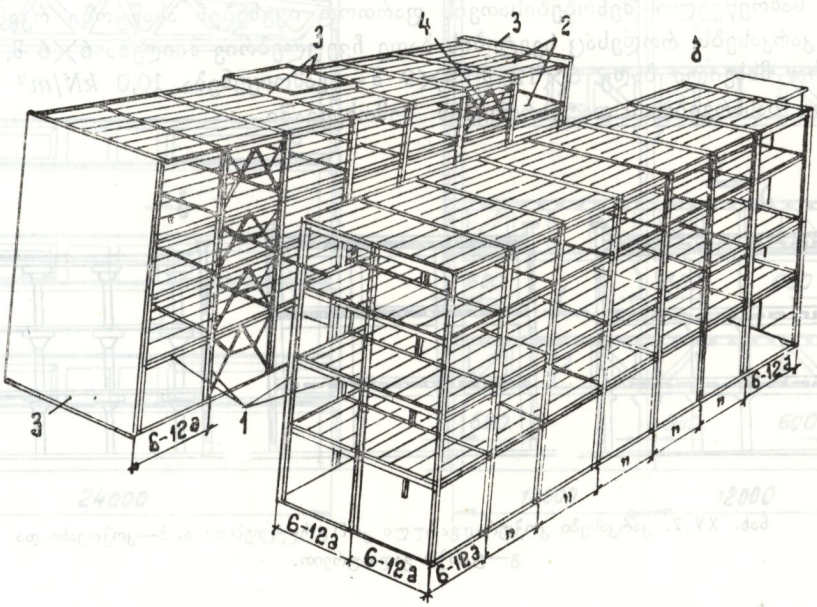
სიხისტის ვერტიკალური დიაფრაგმების მოხაზულობა გეგმაში სხვადასხვაგვარია: რთული (ჩაკეტილი კონტურის კოლოფისებრი, ტესებრი, ორტესებრი და სხვ.) და მარტივი (მართკუთხა ფორმის, ყრუ ან ღიობებიანი).

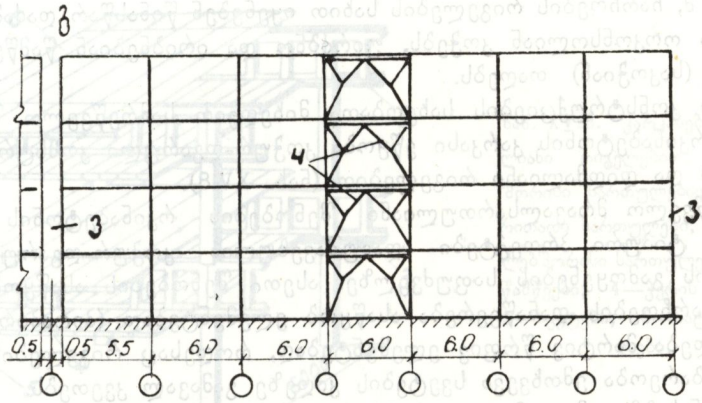


ნახ. XV.5. მრავალსართულიანი კარკასული შენობების კონსტრუქციული სქემები: ა—ჩარჩოვანი სისტემა; ბ—ჩარჩო-კავშიროვანი სისტემა განივი ჩარჩოებით; გ—იგივე, გრძივი ჩარჩოებით; 1—სიხისტის ვერტიკალური დიაფრაგმები; 2—ბრტყელი ჩარჩოები; 3—ჯვარედინი ჩარჩოები.

§ 2. კარკასული სამრეწველო შენობების კონსტრუქციები

მრავალსართულიანი კარკასული შენობები გამოიყენება მსუბუქი მანქანათმშენებლობის, ხელსაწყოთმშენებლობის, ქიმიური და მსუბუქი მრეწ-





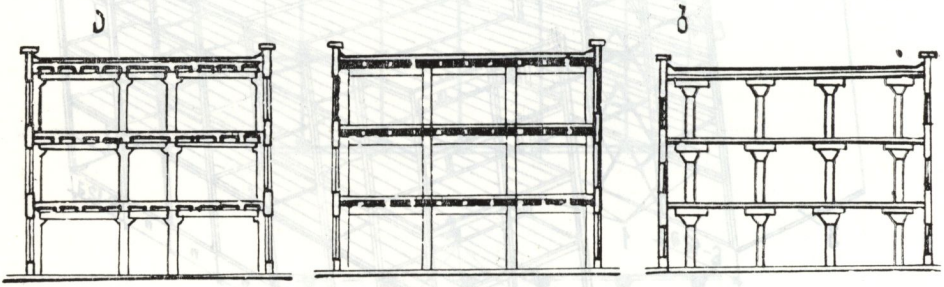
ნახ. XV.6. სამრეწველო კარკასული შენობების კონსტრუქციული სისტემები: ა—ჩარჩო-კავშიროვანი; ბ—ჩარჩოვანი; 1—ჩარჩო; 2—გადახურვა; 3—სახსრის ვერტიკალური დიაფრაგმა; 4—ფოლადის ვერტიკალური გრძივი კავშირები.

ველობის საწარმოებისათვის, ბაზა-საწყობების, გარაჟებისათვის და სხვ. მრავალსართულიანი სამრეწველო კარკასული შენობების გავრცელებული კონსტრუქციული სქემები გამოსახულია XV.6 ნახაზზე.

სამრეწველო შენობებისათვის დამახასიათებელია მნიშვნელოვანი სასარგებლო დატვირთვები სართულშორის გადახურვებზე: 5,0; 7,5; 10,0; 15,0; 20,0 kN/m^2 და მეტიც.

სამრეწველო შენობების სიმაღლე იშვიათადაა 5—7 სართულზე (40 მ) მეტი. ბუნებრივი განათების მქონე შენობების სიგანე მიიღება 36 მეტრამდე.

სამრეწველო შენობებისათვის ფართოდ იყენებენ ასაწყობი რკინაბეტონის კარკასებს, როდესაც სვეტების ბადე ჩვეულებრივ მიიღება 6×6 მ, 6×9 მ; უფრო მსხვილი ბადე 6×12 მ, 9×9 მ — გამოიყენება 10,0 kN/m^2 და ნაკლები სასარგებლო დატვირთვების შემთხვევაში.



ნახ. XV.7. კარკასები კოჭურ-დგარული კონსტრუქციებით: ა, ბ—კოჭოვანი და გ—უკოჭო გადახურვით.

დიდმალიან, უნივერსალურ შენობებში, რომელთა ბიჯი შეადგენს 18, 24, 30, 36 მ, ჩარჩოების რიგელების სახით იყენებენ წინასწარ დაძაბულ ერთმალიან და ორკონსოლიან კოჭებს, უირიბნო და ირიბნებიან წამწეებს, შემკვრელიან (საკოჭიან) თაღებს.

მზიდი კონსტრუქციების სახეობათა მიხედვით სამრეწველო შენობების ასაწყობი რკინაბეტონის კარკასი ეწყობა კოჭურ-დგარული კონსტრუქციებით (ნახ. XV.7) და დიდმალიანი რიგელებით (ნახ. XV.8).

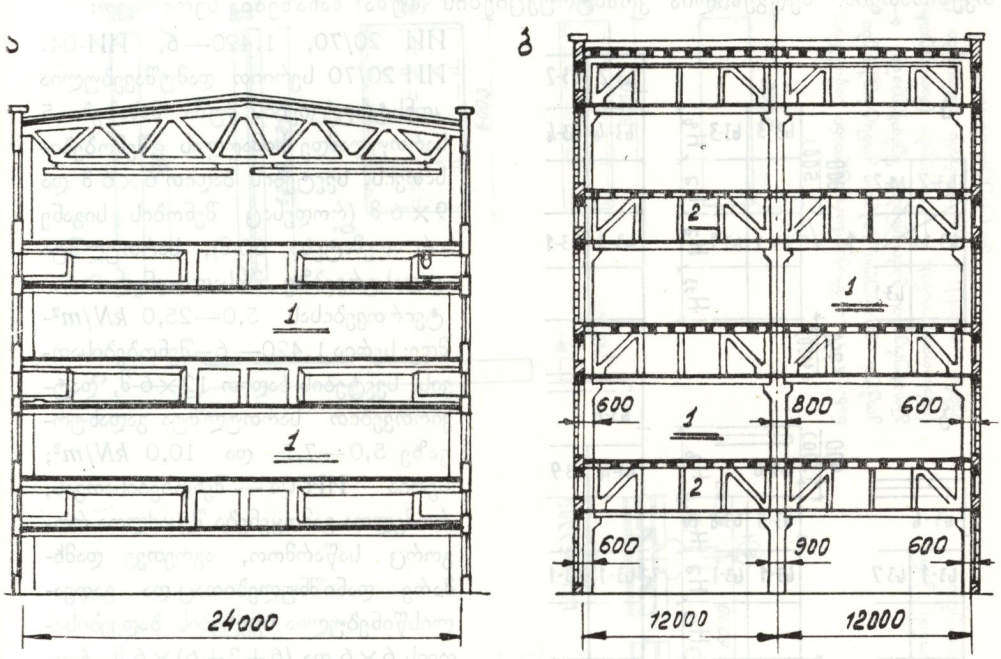
სამრეწველო მრავალსართულიანი შენობების რკინაბეტონის ასაწყობი კარკასების ტიპური პროექტები დამუშავებულია კოჭურ-დგარული კონსტრუქციების გამოყენების საფუძველზე. ასეთი შენობების ასაწყობი რკინაბეტონის ჩარჩოების დანაწევრება ასაწყობ ელემენტებად (პირაპირების განლაგება) ხდება მარტივ წრფივ ელემენტებად, როდესაც რიგელების პირაპირების მდებარეობა ემთხვევა სვეტების კიდეზე გამავალ კვეთებს.

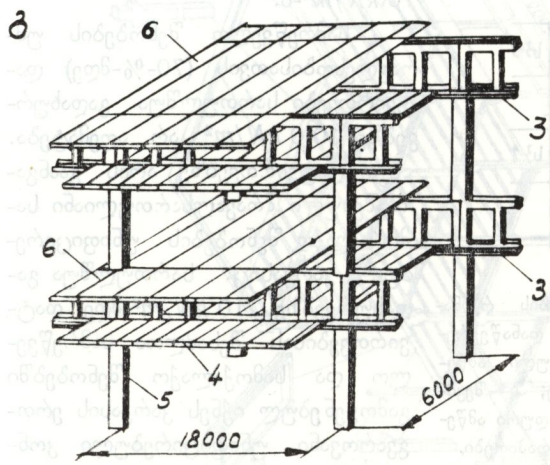
XV.9 ნახაზზე მოცემულია ჩარჩოს დანაწევრების მაგალითები წრფივ ასაწყობ ელემენტებად კოჭურ-დგარული კონსტრუქციის კარკასისათვის. სვეტების პირაპირები შეიძლება მოეწყოს ყოველ სართულზე ან ორი-სამი სართულის გამოშვებით. როგორც სვეტების, ასევე რიგელების პირაპირები შეიძლება განხორციელდეს ხისტად ან სახსრულად.

კარკასული სამრეწველო შენობების სართულშუა გადახურვები შეიძლება განხორციელდეს კოჭოვანი ან უკოჭო კონსტრუქციული სქემით.

ასაწყობი რკინაბეტონის კარკასი კოჭოვანი გადახურვებით (ნახ.XV.10) ეწყობა მსუბუქი, ქიმიური, ელექტროტექ-

ნიკური და ხელსაწყოთმშენებლობის მრეწველობის საწარმოო შენობებისათვის. ასეთ შენობებს გააჩნიათ უნიფიცირებული გაბარიტები (სვეტების ბადე

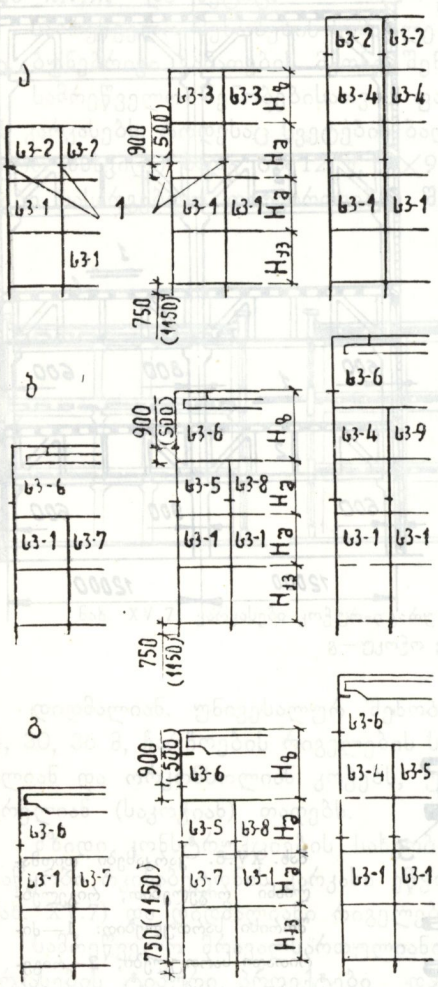




ნახ. XV.8. კარკასები დიდმალიანი რიგელებით, რიგელებშორისი სართულებით: 1—ძირითადი სართულები; 2—რიგელებშორისი სართულები; 3, 4—წამწეები; 4—ჭერის ფილები; 5—სვეტები; 6—იატაკის ფილები.

6×6 და 6×9 მ; სართულების სიმაღლე 3,6; 4,2; 4,8; 6 და 7,2 მ) და სართულშორისი გადახურვების უნიფიცირებულ დატვირთვებზე—1,5÷2,5 ტძ/მ² (15÷25 kN/m^2)—გაანგარიშებული ტიპური კონსტრუქციები.

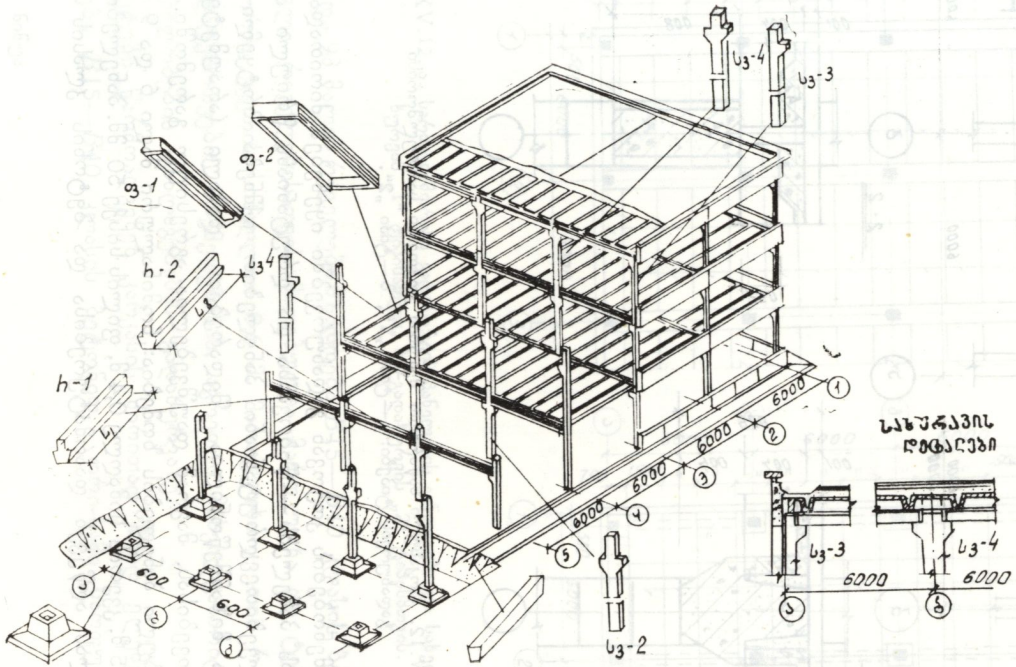
დამუშავებულია უნიფიცირებული კარკასის ტიპური პროექტები მრავალსართულიანი შენობების სხვადასხვა გაბარიტული სქემებისა და დატვირთვებისათვის. შედგენილია კონსტრუქციების მუშა ნახაზები სერიობით: ИИ 20/70, 1.420—6, ИИ-04. ИИ 20/70 სერიით დამუშავებულია კონსტრუქციების მუშა ნახაზები 5 სართულამდე სიმაღლის შენობებისათვის, სვეტების ბადით 6×6 მ და 9×6 მ (რომელსაც შენობის სიგანე არ აღემატება 60 მ), სართულშუა გადახურვებზე მოსალოდნელი დატვირთვებისას 5,0—25,0 kN/m^2-მდე; სერია 1.420—6—შენობებისათვის, სვეტების ბადით 12×6 მ, დატვირთვებით სართულშუა გადახურვაზე 5,0—7,5 და 10,0 kN/m^2; სერია ИИ-04 — შენობებისათვის, რომელთა გამოყენება შესაძლოა როგორც საწარმოო, აგრეთვე დამხმარე დანიშნულებითაც და გათვალისწინებულია სვეტების ბადეებისათვის 6×6 და (6+3+6)×6 მ, როდესაც დატვირთვები სართულშუა გადახურვებზე არ აღემატება 10 kN/m^2-ს.



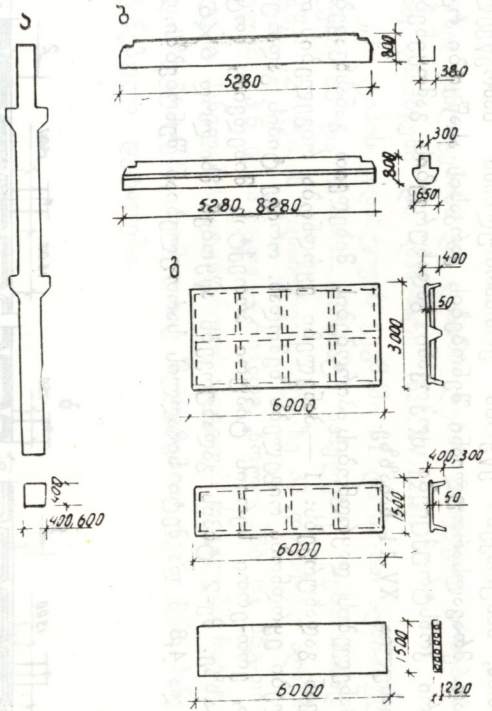
ნახ. XV.9. კარკასული საწარმოო შენობის რკინაბეტონის უნიფიცირებული განივი ჩარჩოს დანაწევრების სქემები: ა—კარკასთან დაკავშირებული ამწე-სატრანსპორტო მოწყობილობების გარეშე; ბ—შეკიდული ამწეებით ზედა სართულში; გ-ხიდური ამწეებით ზედა სართულში. 1—სვეტების პირაპირები.

სამრეწველო შენობების უმრავლესობისათვის (70-%-მდე) დატვირთვები სართულშუა გადახურვებზე 10,0 kN/m^2 არ აღემატება. ასეთ დატვირთვებზე არის გაანგარიშებული მრავალსართულიანი სამოქალაქო შენობების უნიფიცირებული კარკასიც. სართულშუა გადახურვებზე 10 kN/m^2-მდე დატვირთვებისას შესაძლოა სამრეწველო და სამოქალაქო შენობებში გამოყენებულ იქნეს კარკასის ერთგვაროვანი უნიფიცირებული კონსტრუქციები.

მრავალსართულიანი სამრეწველო შენობის ასაწყობი რკინაბეტონის კარკასი კოჭოვანი გადახურვებით შედგება ბრტყელი ჩარჩოების, გადახურვებისა და კავშირის კონსტრუქციებისაგან, საძირკვლების, საძირკვლის კოჭებისა და სხვ. ელემენტებისაგან; საძირკვლები, საძირკვლის კოჭები, სვეტების კავ-



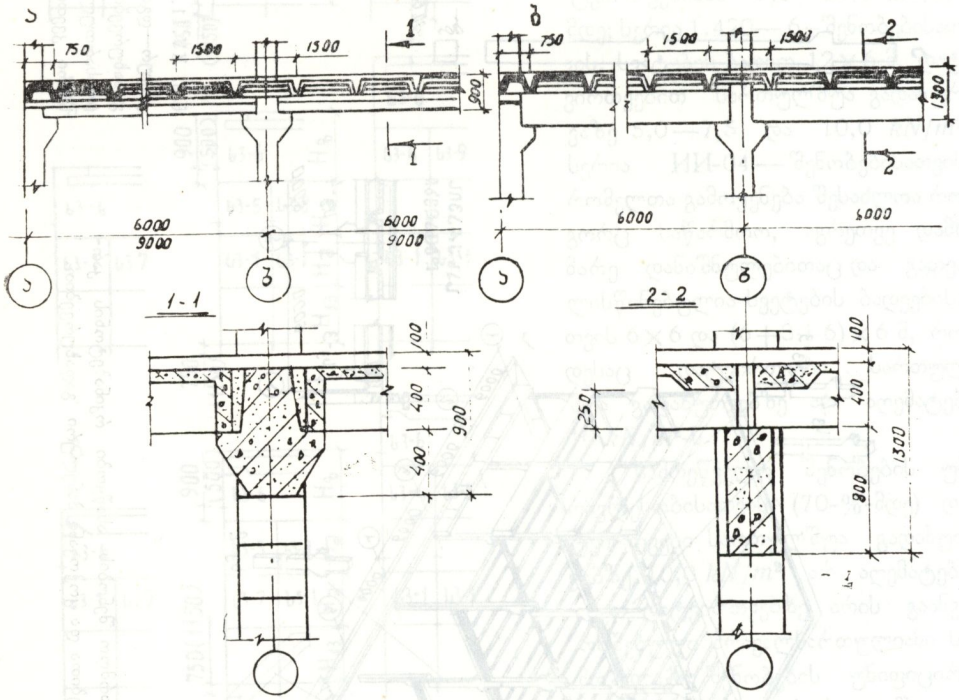
ნახ. XV.10. მრავალსართულიანი საწარმოო შენობის ასაწყობი რკინაბეტონის კარკასი კოჭურ-დგარული კონსტრუქციებითა და კოჭოვანი პანელური გადახურვებით.



ნახ. XV.11. მრავალსართულიანი საწარმოო შენობის კოჭურ—დგარული ტიპური კონსტრუქციები კოჭოვანი გადახურვების გამოყენების შემთხვევაში: ა—სვეტები (ორსართულიანი); ბ—რიგელები (მართკუთხა და ტესებრი კვეთის); გ—გადახურვის პანელები (წიბოვანი და ღრუტანიანი).

შირი საძირკვლებთან, სახურავები ეწყობა ერთსართულიანი სამრეწველო შენობების მსგავსად. მრავალსართულიანი შენობების კარკასის ასაწყობი რკინაბეტონის ტიპური კონსტრუქციები კოჭოვანი გადახურვების გამოყენების შემთხვევაში გამოსახულია XV.11 ნახაზზე.

რიგელებზე პანელების დაყრდნობის პირობების მიხედვით განასხვავებენ ორი ტიპის კოჭოვან გადახურვებს: 1 — პანელები ეყრდნობა რიგელების თაროებს, 2 — პანელები ეყრდნობა რიგელებს ზემოდან. ორივე ტიპის გადახურვის კონსტრუქცია, ერთ-ერთი სერიის ტიპური პროექტის მიხედვით, მოცემულია XV.12 ნახაზზე. მე-2 ტიპის გადახურვებს აწყობენ მხოლოდ 6×6 მ სვეტების ბადისა და 4,8 მ და მეტი სიმაღლის სართულებიან შენობებში.

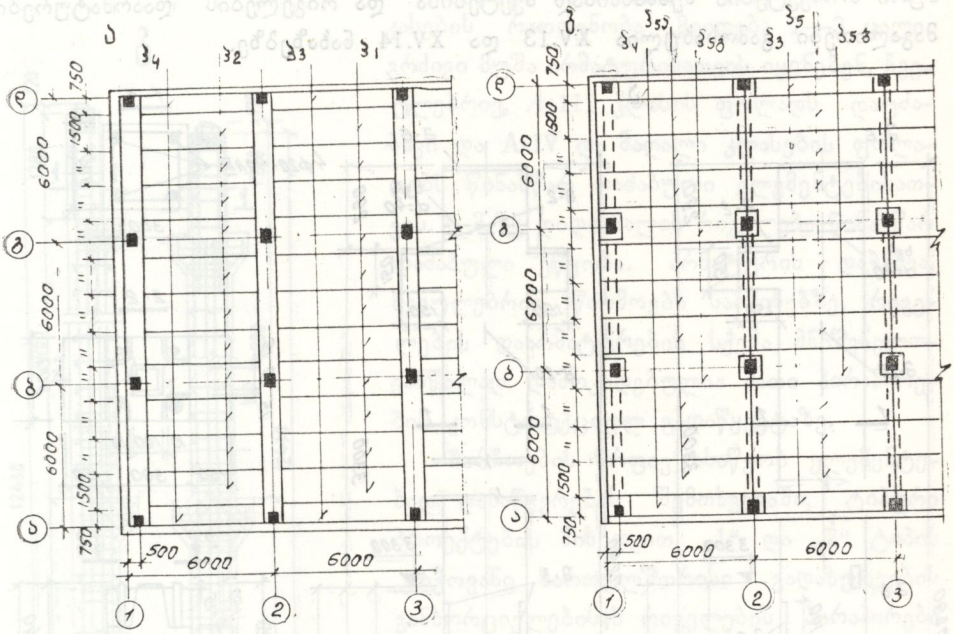


ნახ. XV.12. კარკასული საწარმოო შენობის კოჭოვანი სართულშორისი გადახურვის ტიპები: ა — ტიპი „1“; ბ — ტიპი „2“.

კარკასული შენობების კოჭოვან გადახურვებში იყენებენ ძირითადად ორი სახის გადახურვის პანელებს — წიბოვანსა და ღრუტანიანს წრიული ან სხვა სახის სიცარიელეებით. ღრუტანიანი პანელებით იქმნება ბრტყელი ჭერი. მათი გამოყენება მიზანშეწონილია შედარებით დაბალი (არაუმეტეს 10,0 kN/m^2) დატვირთვებისას, მაგრამ დაუშვებელია აგრესიულ გარემოში. წიბოვანი უნიფიცირებული პანელების ზომებია: ნომინალური მალი 6 და 9 მეტრი, სიგანე 1,5 და 0,75 მ, კვეთის სიმაღლე 0,4 მ, ფილის სისქე 50 მმ. პანელების ზიდვის უნარის ცვლას აღწევენ დაარმატურებისა და ბეტონის კლასის ცვლის

ხარჯზე; განლაგებისა და დანიშნულების მიხედვით არსებობს პანელები რიგითი, განმბჯენი და დანამატი (ნახ.XV.12,ა).

„1“ ტიპის გადახურვის გეგმაში П1 და П2-ით აღნიშნულია რიგითი პანელები, П3 და П4-ით — დანამატი პანელები, შესაბამისად შუა და გარე რიგში. „2“ ტიპის გადახურვის სქემაზე П3 და П4-ით აღნიშნულია დანამატი პანელები, П5 და П5ა-თი — რიგითი, ხოლო П5ბ და П5გ-თი — განმბჯენი პანელები. პანელების დაყრდნობის ადგილას რიგელებს ჩატანებული აქვთ ფოლადის დეტალები, რომელთაც შედუღებით უერთდება პანელების საყრდენი ჩატანებული დეტალები.



ნახ. XV.12, ა. სართულშორისი გადახურვის პანელების განლაგება და სახეობები: ა—გადახურვის „1“ ტიპისათვის, ბ—გადახურვის „2“ ტიპისათვის.

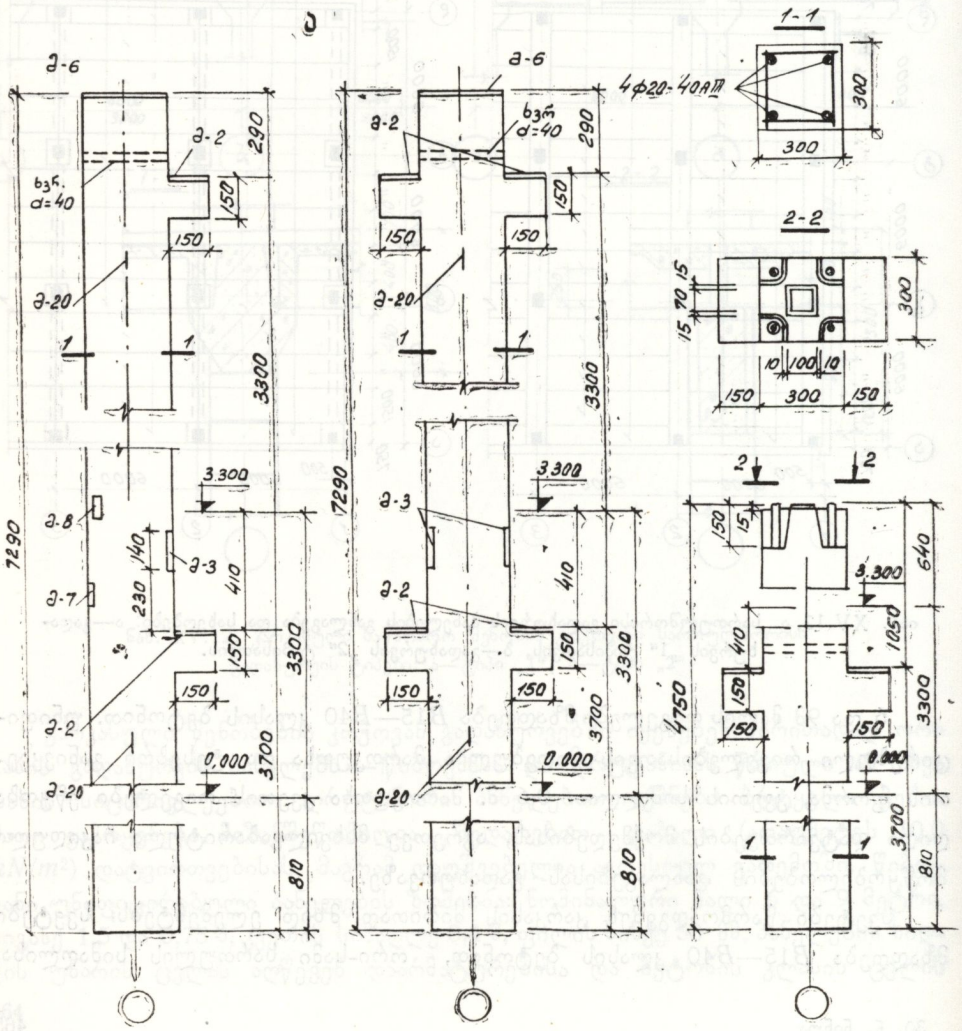
6 და 9მ მალის რიგელები მზადდება *B*15—*B*40 კლასის ბეტონით. უნიფიცირებული რიგელებისათვის მიღებულია მართკუთხა და ტესებრი განივკვეთის ფორმა, კვეთის სიმაღლით 0,6 მ. მართკუთხა კვეთის რიგელები ეწყობა დიდი დატვირთვების მოქმედებისას, აგრეთვე მსხვილგაბარიტული ჩაკიდული მოწყობილობების განლაგებისას გადახურვაზე.

სვეტები წარმოადგენენ კარკასის ძირითად მზიდ ელემენტებს, სვეტები მზადდება *B*15—*B*40 კლასის ბეტონით, ორი-სამი სართულის სიმაღლისა,

რკინაბეტონის მოკლე კონსოლებით (ღია ან ფარული) რიგელების საყრდენებად. ტიპური უნიფიცირებული სვეტების კვეთი გადახურვების 25,0 kN/m^2-მდე დატვირთვებისას მიიღება 0,4×0,4 მ და 0,4×0,6 მ. მათი პირაპირები განლაგდება გადახურვებიდან 0,6—1 მ სიმაღლეზე (გამოტანილი პირაპირები).

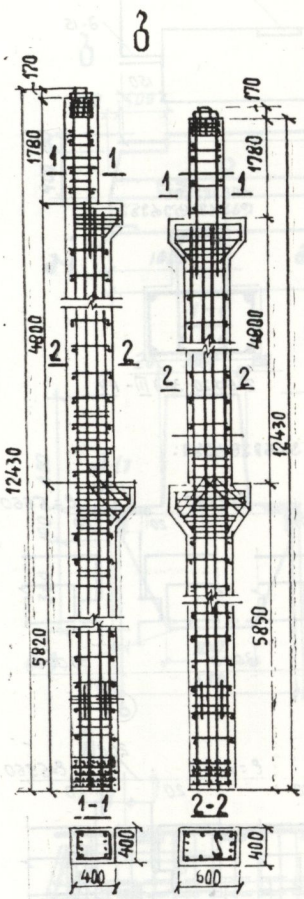
სართულშუა გადახურვებზე 25,0 kN/m^2-ზე მაღალი დატვირთვების მოქმედებისას რიგელების სიმაღლე მიიღება 1 ან 1,2 მ, სვეტების კვეთი 0,4×1,2 მ; წიბოვანი პანელები სიგანით 0,75 მ და სიმაღლით 0,45 მ ან კოლოფისებრი კვეთის ფენილი, სიმაღლით 0,6 მ.

სვეტების დაარმატურება ხდება ისე, როგორც არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტებისა, რიგელების დაარმატურება — როგორც ღუნვადის. ტიპური პროექტების შესაბამისად სვეტებისა და რიგელების დაარმატურების მაგალითები გამოსახულია XV.13 და XV.14 ნახაზებზე.



სვეტებისა და რიგელების დაარმატურება წარმოებს შედუღებული კარკასებით.

სვეტების გრძივი მუშა არმატურა კვეთში განლაგდება სიმეტრიულად ან არასიმეტრიულად (დატვირთვების მოქმედების სიბრტყის მართობულ წახნაგებთან). გამოიყენება საამისოდ *A*-II და *A*-III კლასის ფოლადი. გრძივი მუშა არმატურის შემცველობა კვეთში 3,5%-ზე მეტი ხელსაყრელი არ არის. განივი არმატურა, ჩვეულებრივ კონსტრუქციული დანიშნულებისაა (არაპირდაპირი დაარმატურება შეიძლება მოეწყოს მძიმედ დატვირთული სვეტებისათვის). სვეტების პირაპირები მნიშვნელოვანი სიდიდის მღუნავი მომენტების წარმოქმნის პირობებში ეწყობა ხისტი.



ნახ. XV.13. ორსართულიანი სვეტების დაარმატურება: ა—სვეტები ფარული კონსოლებით: ბ—სვეტები ღია კონსოლებით.

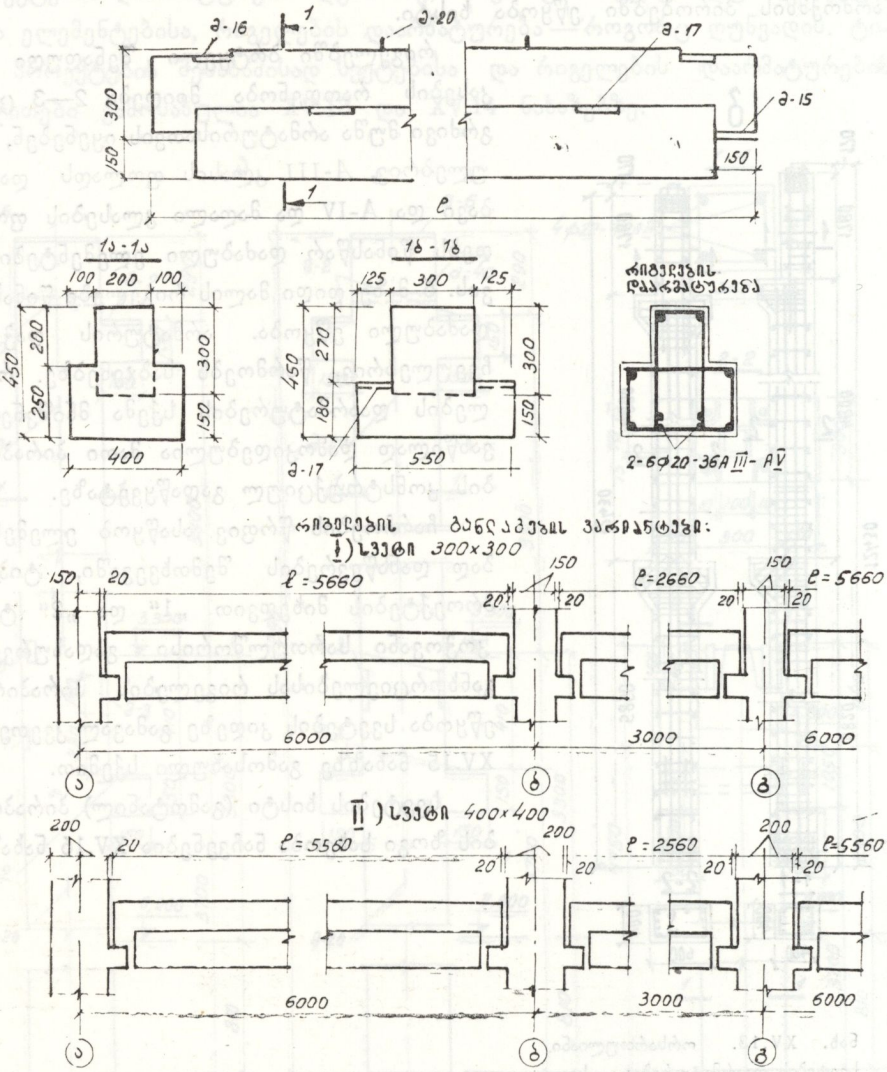
რიგელებში ბრტყელი შენადუღი კარკასების რაოდენობა მიიღება 2—3 ცალი. გრძივი მუშა არმატურისათვის იყენებენ, ჩვეულებრივ, *A*-III კლასის ფოლადს დაუძაბავი და A-IV და მაღალი კლასების ფოლადებს წინასწარ დაძაბული ელემენტებისათვის. 6 მ-ზე დიდი მალის რიგელები წინასწარ დაძაბული ეწყობა. არმატურის დაჭიმვა, ჩვეულებრივ, წარმოებს საბჯენებზე. რიგელების დაარმატურების სქემა მნიშვნელოვანწილად დამოკიდებულია მათი პირაპირების კონსტრუქციულ გადაწყვეტაზე.

ჩარჩოების წრფივ ასაწყობ ელემენტებად დანაწევრების შემთხვევაში, ტიპური პროექტების მიხედვით „1“ და „2“ ტიპის კოჭოვანი სართულშორისი გადახურვების განხორციელებისას რიგელების პირაპირები ეწყობა სვეტების კიდეზე გამავალ კვეთებში, XV.15 ნახაზზე გამოსახული სქემით.

სვეტების ხისტი (გამოტანილ) პირაპირების ზოგი სახეობა ნაჩვენებია XV.16 ნახაზზე.

რიგელებისა და სვეტების პირაპირებს გააჩნიათ ფოლადის ჩასატანებელი დეტალები, რომელთა მეშვეობითაც შემაერთებელ ელემენტებთან (ფოლადის ღეროების, თამასების, ზოლების) შედუღების გზით ეწყობა კავშირი ელემენტებს შორის.

კარკასის მდგრადობა შენობის განივი მიმართულებით უზუნველყოფილია განივი ჩარჩოების სიხისტით. გრძივი მიმართულებით მდგრადობის შენარჩუნება შესაძლებელია ორი ხერხით: ფოლადის ვერტიკალური კავშირების ან ერთმალიანი კავშირ-ჩარჩოების მოწყობით. ამ დროს სვეტების გრძივ რიგში, სართულშუა გადახურვების დონეზე თავსდება რკინაბეტონის გრძივი რიგელები (განმბჯენი პანელების ნაცვლად), რომლებიც ხისტად უკავშირდება



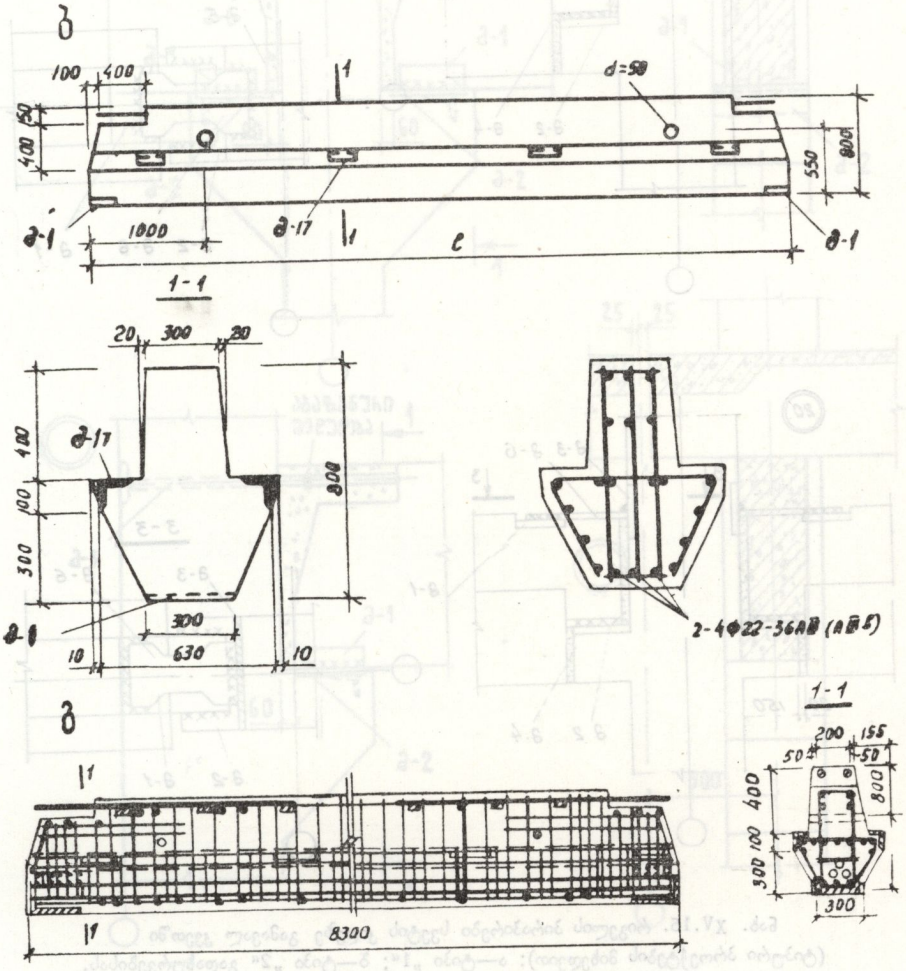
ნახ. XV.14. რიგელების კონსტრუქცია: ა—პირველი („1“) და ბ—მეორე („2“) ტიპის გადახურვების რიგელები; გ—წინასწარ დაძაბული რიგელის დაარმატურება 9 მ მალის ჩარჩოსათვის.

სვეტებს. კავშირ-ჩარჩოების რაოდენობა სვეტების თითოეულ რიგში 1—3 ცალია. გრძივი კავშირების მოწყობა გამოსახულია XV.17 ნახაზზე.

ასაწყობი რკინაბეტონის კარკასი უკოჭო გადახურვებით მიზანშეწონილია კვების მრეწველობის, მაცივრებსა და მსგავს შენობებში, რომელთაც ექსპლუატაციის პირობებით წაეყენებათ მაღალი სანიტარიულ-ჰიგიენური მოთხოვნები. ასეთი შენობის სვეტების ბადე მიღებულია 6×6 მ, სართულის სიმაღლე 4,8 და 6 მ, გადახურვაზე სასარგებლო დატვირთვის სიდიდე 10—12 kN/m^2.

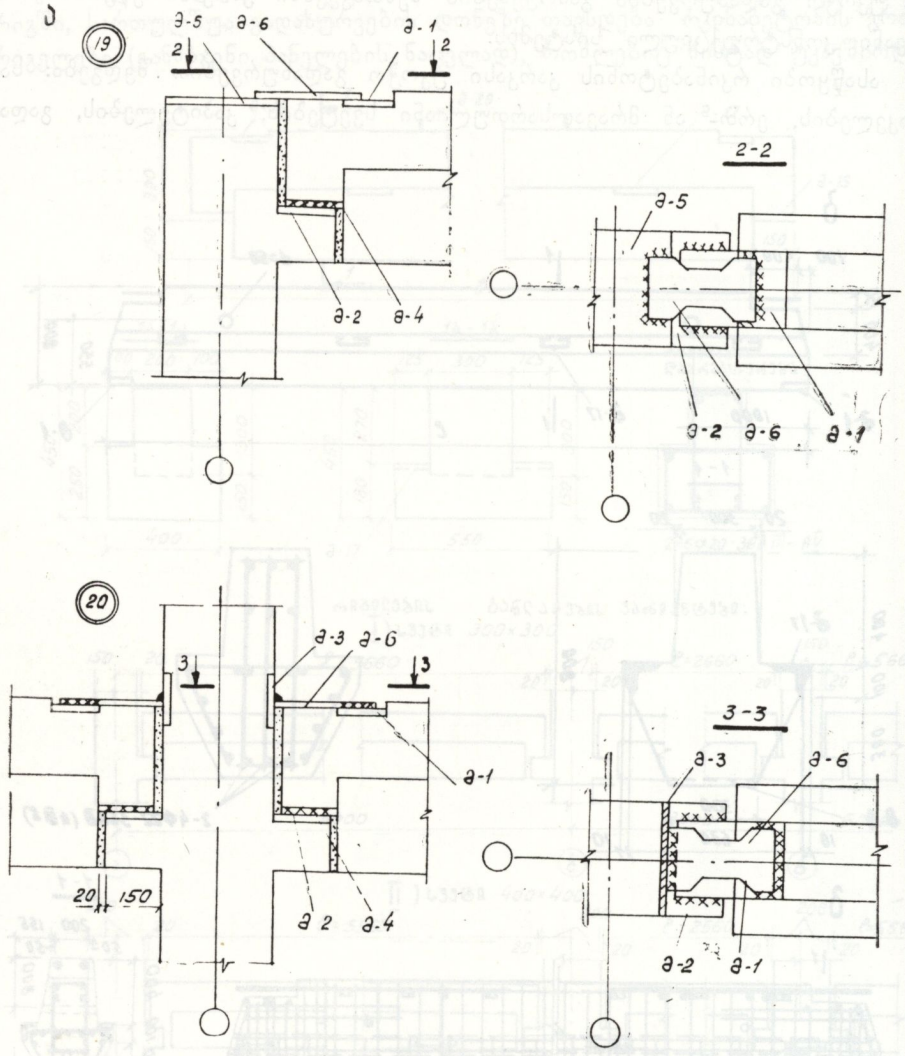
უკოჭო გადახურვების გამოყენების შემთხვევაში კარკასი ეწყობა ჩარჩოვანი კონსტრუქციული სისტემის.

ასაწყობი რკინაბეტონის კარკასი უკოჭო გადახურვებით შედგება: საძირკვლების, ერთ- ან მრავალსართულიანი სვეტების, კაპიტელების, გადა-



ხურვის პანელების და სხვ. ელემენტებისაგან (ნახ.XV.18), კარკასის ყველა ელემენტი მზადდება *B*15—*B*40 კლასის ბეტონით და არმატურდება სივრცითი შენადული კარკასებით და ბადეებით.

უკოჭო გადახურვებზე, კოჭოვანთან შედარებით, რამდენადმე მეტი ბეტონი იხარჯება, მაგრამ მას სხვა ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების მიხედვით ენიჭება უპირატესობა; გარდა ამისა, უკოჭო გადახურვების გამოყენებისას მცირდება კარკასული შენობის სამშენებლო მოცულობა გადახურვების შეda-

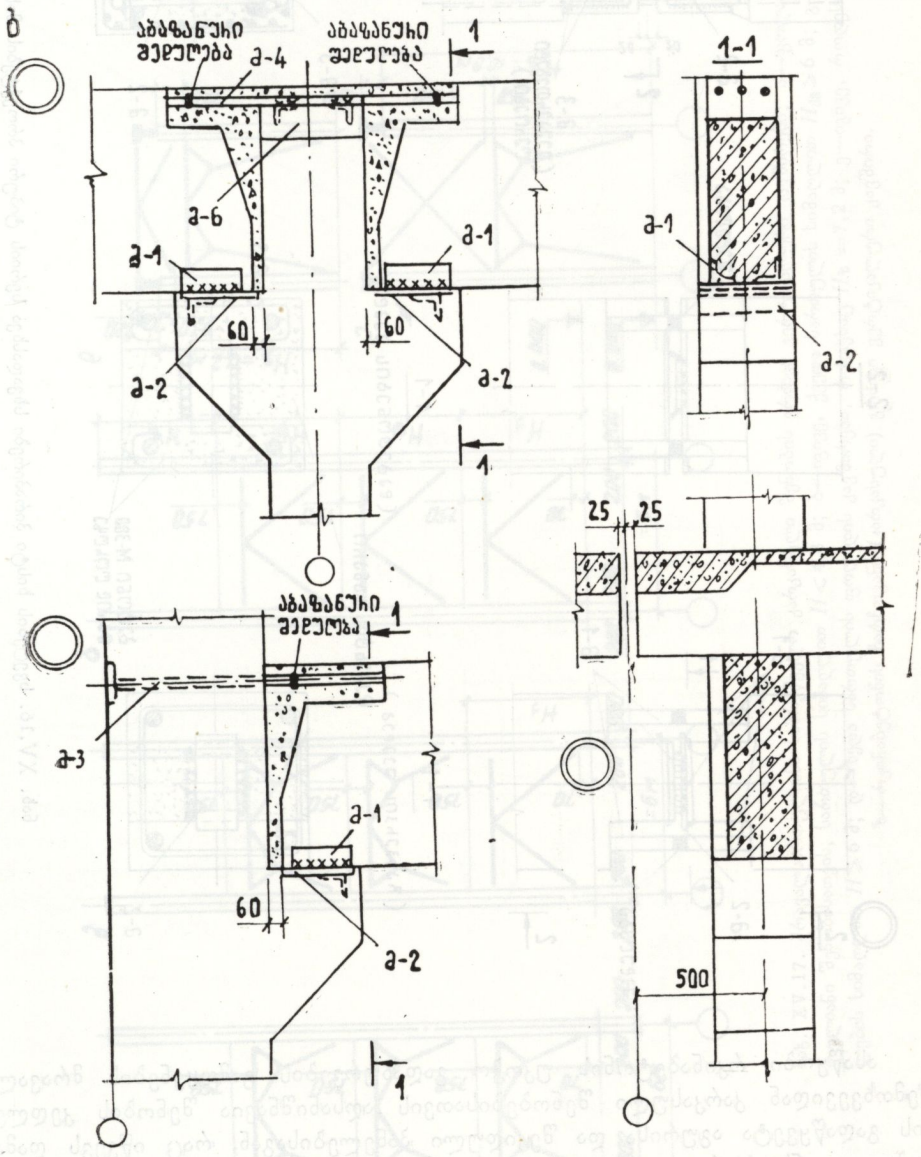


ნახ. XV.15. რიგელის პირაპირები სვეტის კიდეზე გამავალ კვეთში (ტიპური პროექტების მიხედვით): ა—ტიპი „1“; ბ—ტიპი „2“ გადახურვებისას.

რებით მცირე კონსტრუქციული სიმაღლის გამო, ხოლო ჭერის ბრტყელი ზედაპირის პირობებში ადვილდება საინჟინრო კომუნიკაციების გაყვანა და ვენტილაციის მოწყობა.

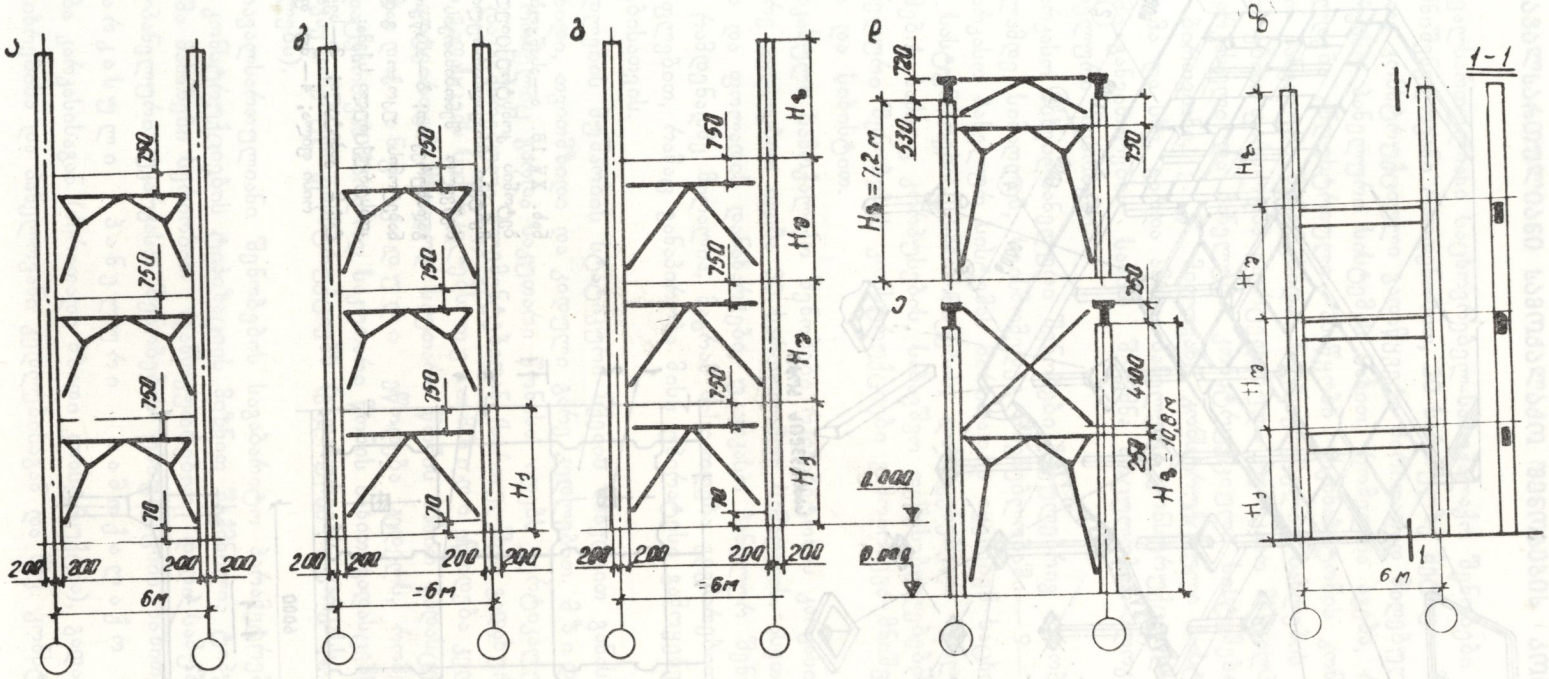
ასაწყობი რკინაბეტონის უკოჭო გადახურვის კონსტრუქციული სქემა გამოსახულია XV.18,ბ ნახაზზე.

უკოჭო გადახურვებიან კარკასულ შენობებში შეიძლება შეიქმნას დამატებითი სართულები, ე. წ. წამწეებსშორისი სართულების სახით.

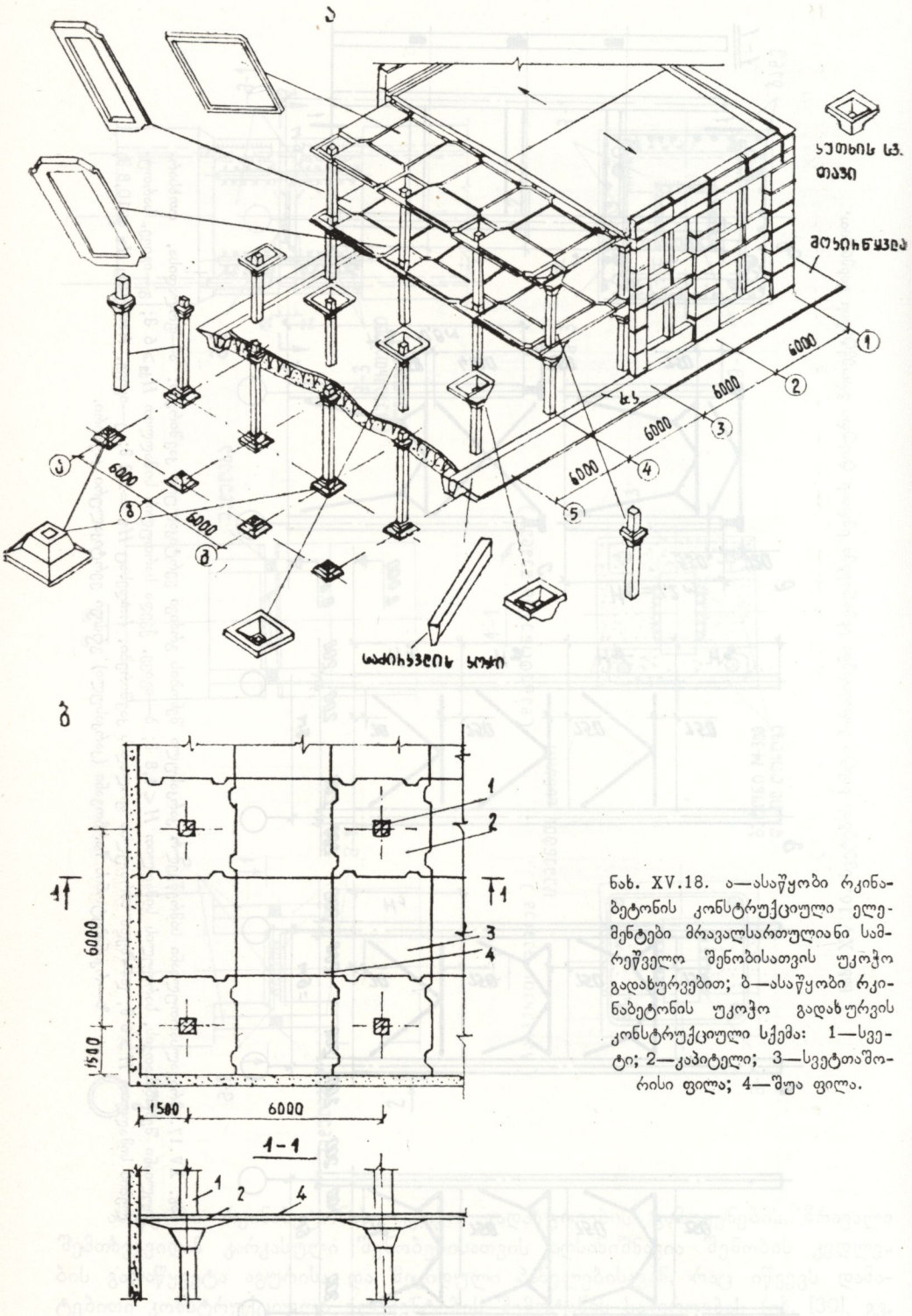


ნახ. XV.16. სვეტების ხისტი პირამიდები სხვადასხვა სერიის ტიპური პროექტების მიხედვით.

ასაწყობი რკინაბეტონის ჯოხჯო გადახურვების გამოყენების მრავალი შემთხვევიდან კარკასული შენობებისათვის აღსანიშნავია შენობის კედლების გადაწყვეტა აგურისა და შეკიდული პანელებისაგან, რაც იწვევს დამატებითი კონსტრუქციული ელემენტების შემოტანის საჭიროებას (იხ. [30], გვ. 325—328).



ნახ. XV.17. მრავალსართულიანი სამრეწველო კარკასული შენობის გრძივი ვერტიკალური კავშირები: ა—ფოლადისა, ოთხსართულიანი შენობისათვის, სართულის სიმაღლით $H \leqslant 4{,}8$ მ; ბ—იგივე, ქვედა სართულის სიმაღლით $H_{ქვ} \geqslant 6$ მ; გ—იგივე, სართულების სიმაღლით $H \geqslant 6$ მ; დ—ზედა სართულის ფოლადის კავშირები, როდესაც $H_ზ = 7{,}2$ მ; ე—იგივე, როდესაც $H_ზ = 10{,}8$ მ; ზ—რკინაბეტონის ჩარჩოვანი (კარკასული) გრძივი ვერტიკალური კავშირი.



ნახ. XV.18. ა—ასაწყობი რკინაბეტონის კონსტრუქციული ელემენტები მრავალსართულიანი სამრეწველო შენობისათვის უკოჭო გადახურვებით; ბ—ასაწყობი რკინაბეტონის უკოჭო გადახურვის კონსტრუქციული სქემა: 1—სვეტი; 2—კაპიტელი; 3—სვეტთაშორისი ფილა; 4—შუა ფილა.

§ 3. მრავალსართულიანი სამოქალაქო შენობების კონსტრუქციები

მრავალსართულიანი საცხოვრებელ-სამოქალაქო შენობები იგება სართულების მნიშვნელოვანი რაოდენობით, 20 სართულზე მეტიც — მაღლივი შენობები. მათი კონსტრუქციული გადაწყვეტა ძირითადად მიღებულია კარკასული და უკარკასო პანელური სისტემის სახით, რომელთა აგება, როგორც წესი, ხორციელდება ინდუსტრიული ასაწყობი რკინაბეტონის კონსტრუქციებით. უკარკასო პანელური შენობებიდან საცხოვრებელი სახლების მშენებლობაში განსაკუთრებით ფართოდაა გავრცელებული უკარკასო მსხვილპანელური სისტემა. კარკასული და პანელური კონსტრუქციული სისტემების ფარგლებში შეიქმნა ბირთვიანი, ე. წ. მილოვანი კონსტრუქციული სისტემა, გარსოვანი სისტემა და სხვ. გარდა ამისა, პანელური კონსტრუქციული გადაწყვეტის შემდგომი განვითარების სახით შეიქმნა მოცულობით-ბლოკური და ბლოკურ-პანელური შენობები.

უკარკასო მსხვილპანელური შენობები ჩვეულებრივ პირობებში იგება 20 სართულამდე სიმაღლის, სეისმომედეგ მშენებლობაში — 9—12 სართულამდე. უკარკასო პანელურ სისტემას ძირითადად იყენებენ საცხოვრებელი სახლების, სასტუმროების პანსიონატების, დასასვენებელი სახლების და სანატორიუმების საძილე კორპუსების, საბავშვო დაწესებულებებისათვის და სხვ.

პანელური შენობების კონსტრუქციები გამოირჩევა მნიშვნელოვანი სიმტკიცით და სიხისტით.

კარკასული სამოქალაქო შენობები რკინაბეტონის კარკასით და პანელოვანი გარე კედლებით იგება 30 სართულამდე სიმაღლის. ასეთ შენობაში ცემენტისა და ფოლადის დანახარჯები, უკარკასო პანელურ შენობებთან შედარებით, რამდენადმე მაღალია, მაგრამ ხასიათდება გეგმარებითი გადაწყვეტის თავისუფლებით, რამაც განაპირობა მისი უპირატესი გამოყენება სამოქალაქო შენობებისათვის.

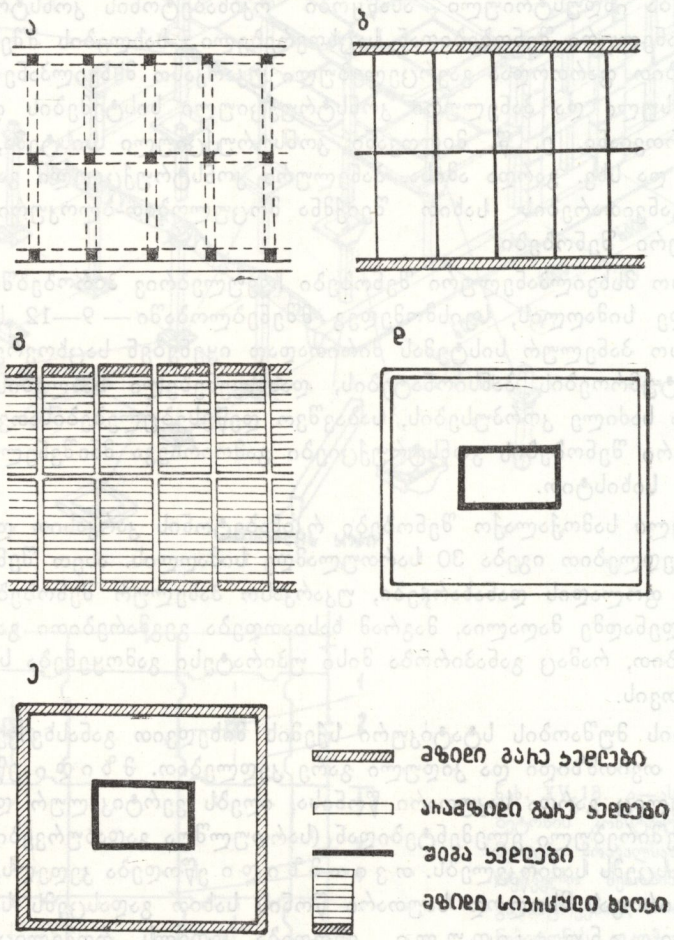
კედლების მუშაობის სტატიკური სქემის მიხედვით განასხვავებენ შენობებს მზიდი, თვითმზიდი და კიდული გარე კედლებით. მ ზ ი დ ი ეწოდება კედელს, რომელიც გარდა საკუთარი წონისა, იღებს ვერტიკალურ დატვირთვას მასთან დაკავშირებული ელემენტებიდან (სართულშუა გადახურვების, სახურავის) და გადასცემს საძირკვლებს. თ ვ ი თ მ ზ ი დ ი ეწოდება კედელს, რომელიც იღებს დატვირთვას მხოლოდ საუთარი წონის სახით გადასცემს საძირკველს. ა რ ა მ ზ ი დ ი, ა ნ უ კ ი დ უ ლ ი ეწოდება კედელს, რომელიც ვერტიკალურ დატვირთვას მხოლოდ საკუთარი წონის სახით გადასცემს მეზობელ, მასთან დაკავშირებულ კონსტრუქციებს (გადახურვებს, კარკასს, მზიდ კედლებს, სართყლებს).

მრავალსართულიანი შენობების საგაბარიტო პარამეტრების უნიფიკაციის და კონსტრუქციების ტიპიზაციის მიზნით შექმნილია ტიპური პროექტები და მუშა ნახაზები სერიობით (განსაკუთრებით დიდი სამუშაოები ჩატარდა მსხვილპანელური უკარკასო შენობების უნიფიკაციის ხაზით).

კ ა რ კ ა ს უ ლ ი პ ა ნ ე ლ უ რ ი ს ა მ ო ქ ა ლ ა ქ ო შ ე ნ ო ბ ე ბ ი შედგება კარკასისაგან (ძირითადი მზიდი კონსტრუქცია), გადახურვის პანელების, ტიხრებისა და პანელოვანი კედლებისაგან და სხვ. კონსტრუქციული თა-

ვისებურებების გამო განასხვავებენ 5 სართულამდე სიმაღლის და 7 და მეტი სართულის შენობებს.

ხუთსართულიანი შენობების კარკასი შეიძლება აიგოს განივი ჩარჩოებით, გრძივი ჩარჩოებით, სრული (სივრცითი ჩარჩო)და არასრული კარკასითაც (როდესაც გარე კედლები მზიდია). 7 სართულზე მაღალი კარკასული შენობები იგება სრული კარკასით (სივრცითი ჩარჩოებით) თვითმზიდი ან კიდული კედ-

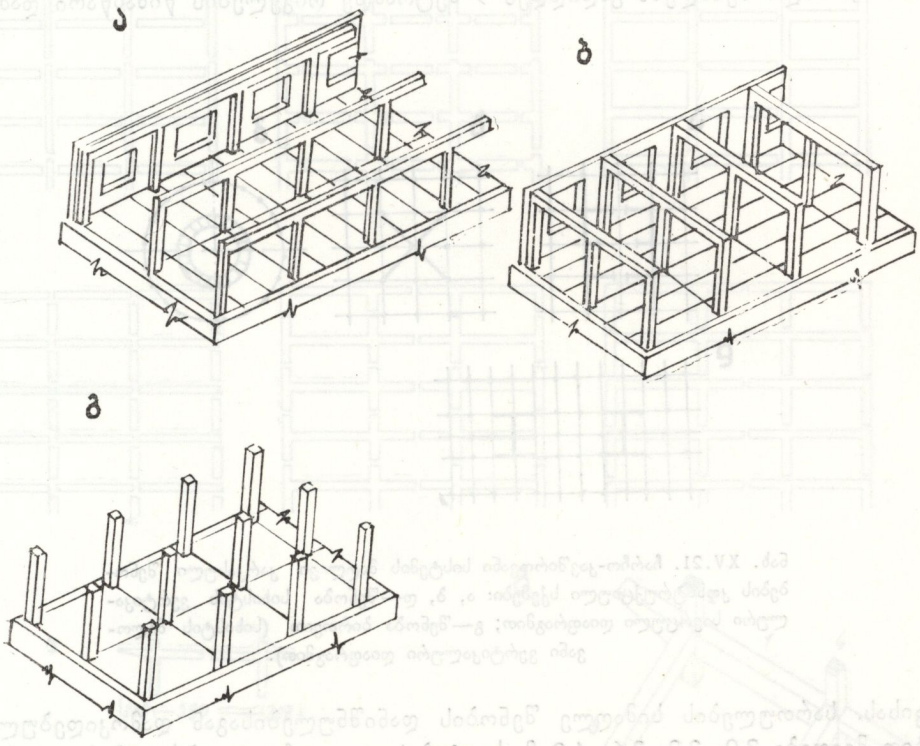


ნახ. XV.19. მრავალსართულიანი სამოქალაქო შენობების კონსტრუქციული სქემები: ა—კარკასული; ბ—პანელური უკარკასო; გ—მოცულობით-ბლოკური; დ—მილოვანი; ე—გარსოვანი.

ლებით. კარკასული შენობების სართულშორისი გადახურვები შეიძლება მოეწყოს კოჭური და უკოჭო კონსტრუქციული სქემით. ჩარჩო-კავშიროვანი სისტემის კარკასული შენობების კონსტრუქციული სქემები მოცემულია XV.20 და XV.21 ნახაზებზე.

კარკასული შენობები განივი ან გრძივი ჩარჩოებით ჩარჩო-კავშიროვანი სქემით ხორციელდება. მათ გააჩნიათ სიხისტის ვერტიკალური დიაფრაგმა გეგმაში მარტივი ფორმისა (ვერტიკალური კედლები) ან რთული ფორმის სივრ-

ციოი კონსტრუქციების სახით (ნახ.XV.21). სივრცითი ვერტიკალური დიაფრაგმის კონსტრუქციას გააჩნია მაღალი სიხისტე და სტატიკური მუშაობის მკვეთრად გამოხატული სახე. ასეთ შემთხვევაში ჩარჩოები მუშაობს ვერტიკალურ დატვირთვებზე, ხოლო ქარის დატვირთვა გადაეცემა სიხისტის ვერტიკალურ დიაფრაგმას მთლიანად.

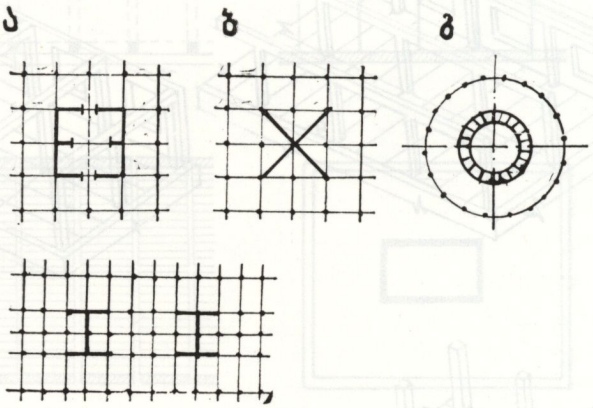


ნახ. XV.20. ჩარჩო-კავშიროვანი სისტემის კარკასული შენობების კონსტრუქციული სქემები: ა—გრძივი ჩარჩოებით; ბ—განივი ჩარჩოებით; გ—უკოჭო გადახურვის შემთხვევაში.

რკინაბეტონის კარკასის დანაწევრება ასაწყობ ელემენტებად ხდება კარკასის საანგარიშო სქემის შესაბამისად. ჩარჩოვანი კარკასისათვის იყენებენ რთული ფორმის ბრტყელ ან სივრცულ ელემენტებს, როდესაც რიგელისა და დგარების პირაპირები მღუნავი მომენტების ნულოვან კვეთებს ემთხვევა. ჩარჩო-კავშიროვანი კარკასის დანაწევრება ხდება მარტივ წრფივ ელემენტებად, როდესაც რიგელის პირაპირი სვეტის კიდეზე გამავალ — დიდი მღუნავი მომენტის მოქმედების კვეთს ემთხვევა.

კარკასის დანაწევრების მაგალითები მოცემულია XV.22 ნახაზზე, შესაბამისად XV.23 ნახაზზე გამოსახულია ასაწყობი რკინაბეტონის სვეტების სახეობები.

კარკასული სამოქალაქო შენობების ტიპური მზიდი კონსტრუქციები დიდად არ განსხვავდება სამრეწველო შენობების შესაბამისი სახეობის კონსტრუქციებისაგან. სამოქალაქო შენობების შედარებით დაბალი დროებითი სასარგებლო დატვირთვების (3,0—4,0 kN/m^2) და ტექნოლოგიური და არქიტექტურული მოთხოვნების მიხედვით იქმნება გარკვეული თავისებურებანი. ტიპური კარკასული შენობების მალი ჩვეულებრივ მიიღება 5,6 და 6 მ შენობის ტიპის შესაბამისად, სვეტების ბიჯი — 3,2; 3,6; 6 მ (დამატებითი ბიჯი 3 და 4.5 მ). მალი შეიძლება გადიდდეს 9 მეტრამდე რიგელების წინასწარი დაძაბ-



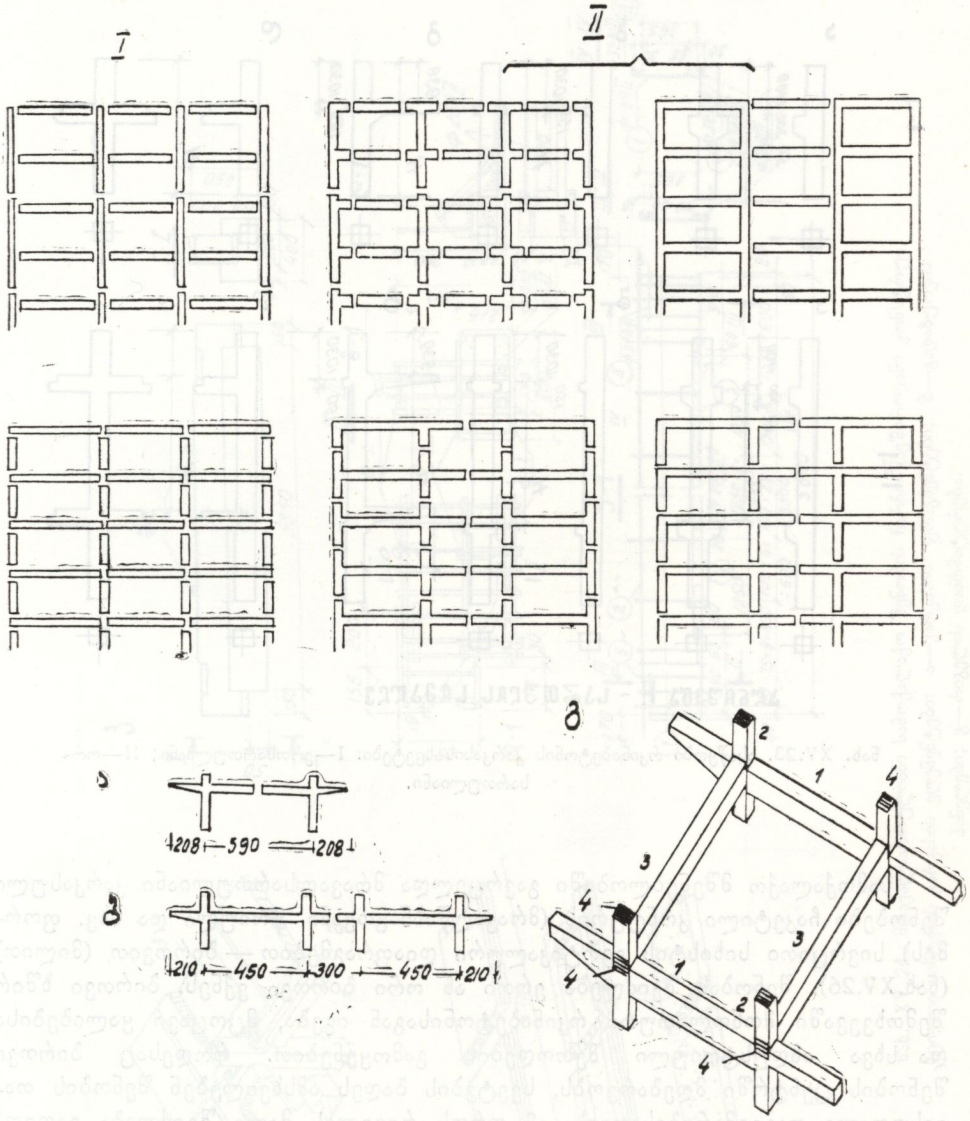
ნახ. XV.21. ჩარჩო-კავშიროვანი სისტემის მაღლივი კარკასული შენობების კონსტრუქციული სქემები: ა, ბ, დ—შენობა სიხისტის ვერტიკალური სივრცული დიაფრაგმით; გ—შენობა ბირთვით (სიხისტის მილოვანი ვერტიკალური დიაფრაგმით).

ვისას. სართულების სიმაღლე შენობის დანიშნულებისაგან დამოკიდებულებით მიიღება 3,0; 3,3; 3,6; 4,2 მ. სვეტების კვეთი ჩვეულებრივ მართკუთხაა, ყველაზე გავრცელებული განივკვეთის ზომებია 30×30 სმ, რომელიც ქვედა სართულებში აღწევს 40×40 სმ. რიგელების განივკვეთის ფორმა მართკუთხა ან ტესებრია ზედა ან ქვედა თაროთი. სვეტების ზიდვის უნარის გადიდების ქვედა სართულებში განივკვეთის ზომების გაუდიდებლად აღწევენ დაარმატურების კოეფიციენტისა და ბეტონის კლასის გაზრდით ან ხისტი არმატურის გამოყენებით.

XV.24 ნახაზზე მოყვანილია მრავალსართულიანი ასაწყობი რკინაბეტონის ჩარჩო-კავშიროვანი სისტემის კარკასის შემადგენელი ელემენტები და მათი პირაპირები.

როგორც რიგელების, ასევე სვეტების პირაპირი შეიძლება განხორციელდეს სახსრული ან ხისტი კავშირის სახით. რიგელის ხისტი პირაპირი სვეტთან ეწყობა უკონსოლოდ, ღია ან ფარულ კონსოლებზე. სვეტების პირაპირები განლაგდება სართულის გამოშვებით, ზოგჯერ უფრო შორიშორ. პირაპირები ეწყობა შემაერთებელი ღეროების აბაზანური შედუღებით და შემდგომი გამო-

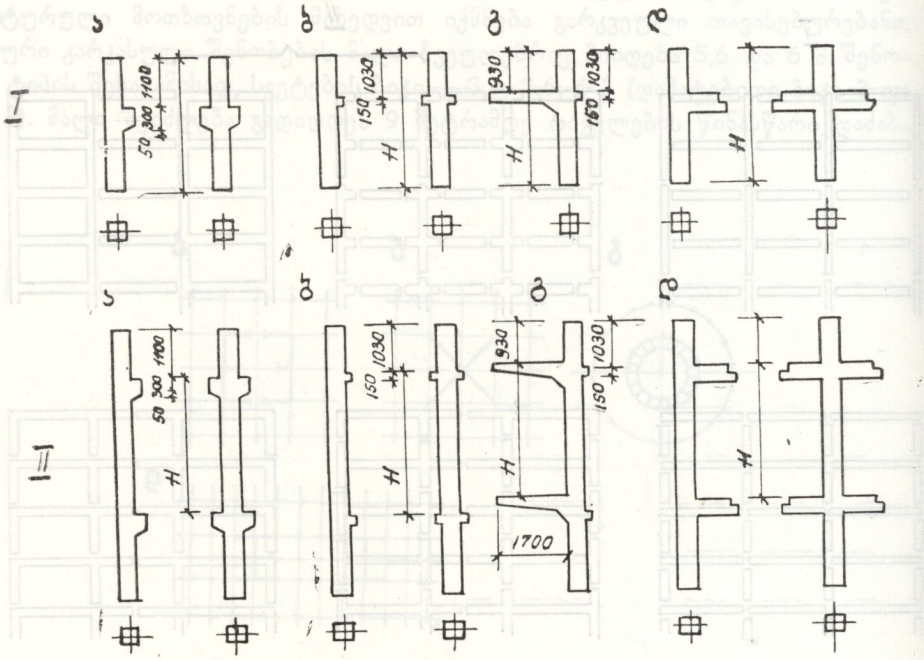
ნოლითებით. გადახურვებისათვის იყენებენ ღრუტანიან ან მთლიანი კვეთის პანელებს როგორც მცირე სიგანისას, ასევე მსხვილს. მცირე სიგანის პანელები ეყრდნობა რიგელებს მცირე გვერდებით, მსხვილი პანელები შეიძლება



ნახ. XV.22. კარკასის დანაწევრება: I—მარტივ, წრფივ ელემენტებად; II—რთულ ელემენტებად. ა—ბრტყელი ორკონსოლიანი ელემენტები; ბ—ბრტყელი ორკონსოლიანი *H*-სებრი ელემენტები; გ—ჩარჩოვანი კარკასის ფრაგმენტი.

ეყრდნობოდეს ორი, სამი ან ოთხივე გვერდით. მსხვილი პანელებით შეიძლება გადაიხუროს მთელი სათავსი (ამ დროს ამბობენ, პანელი ოთახის ზომისაა).

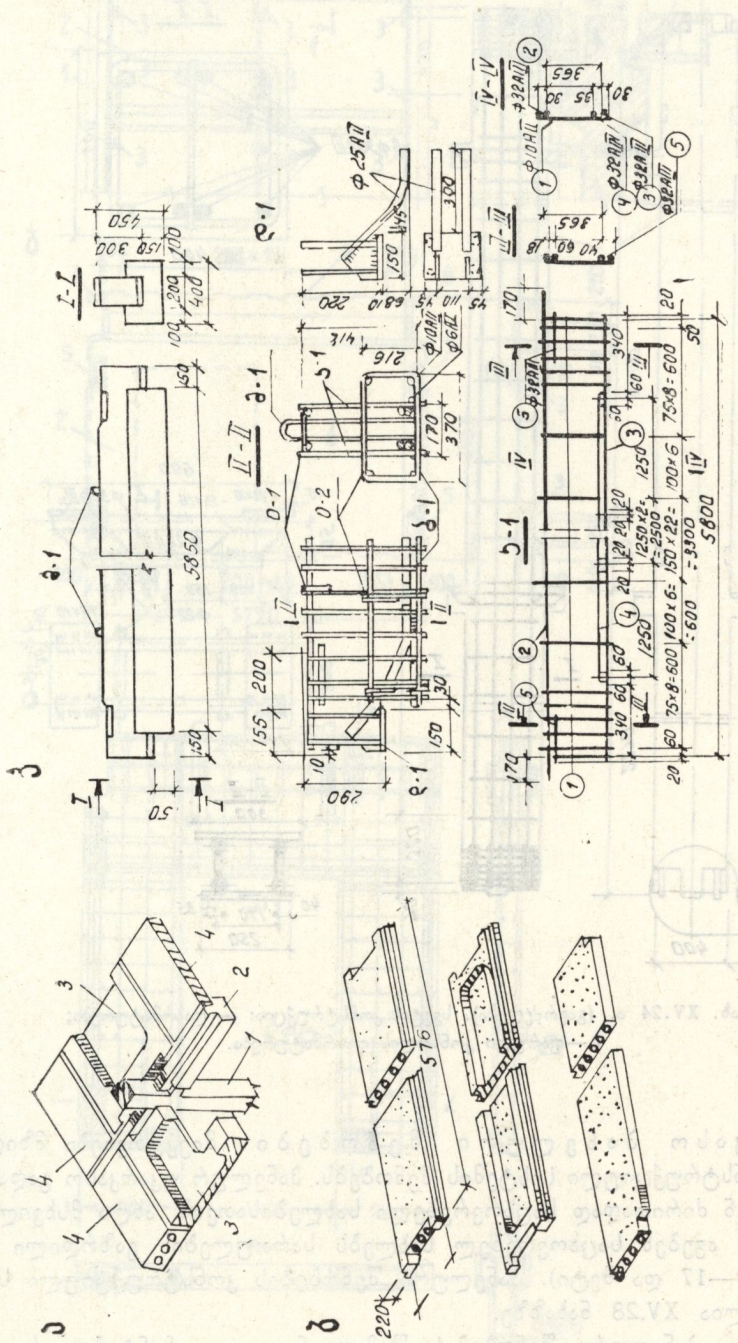
ჩარჩო-კავშიროვანი სისტემის კარკასის სიხისტის ვერტიკალური დიაფრაგმები ეწყობა განივი ან გრძივი მიმართულებით განლაგებული კედლების — კარკასული დიაფრაგმების სახით (ნახ.XV.25).



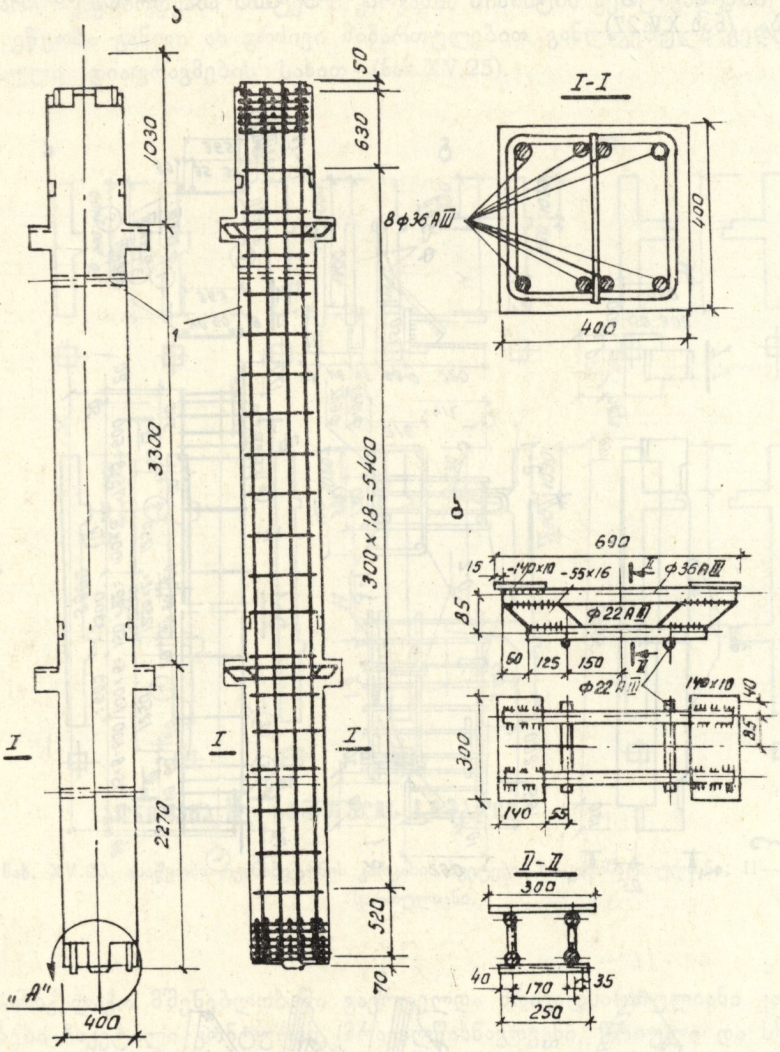
ნახ. XV.23. ასაწყობი რკინაბეტონის კარკასის სვეტები: I—ერთსართულიანი; II—ორსართულიანი.

სამოქალაქო მშენებლობაში გავრცელდა მრავალსართულიანი კარკასული შენობები ჩაკეტილი კონტურის (მრავალწახნაგოვანი, წრიული და სხვ. ფორმის) სივრცითი სიხისტის ვერტიკალური დიაფრაგმებით — ბირთვით (მილით) (ნახ.XV.26). შენობას შეიძლება ერთი ან ორი ბირთვი ექნეს. ბირთვი ხშირ შემთხვევაში მონოლითური რკინაბეტონისაგან იგება, მცოცავი ყალიბებისა და სხვა ინდუსტრიული მეთოდების გამოყენებით. როდესაც ბირთვი შენობის ცენტრში მდებარეობს, სვეტების ბადეს ამსხვილებენ შენობის თავისუფალი დაგეგმარებისათვის. ამ დროს რიგელის მალი შეიძლება გადიდდეს 12—15 მეტრამდე (მათი წინასწარი დაძაბვის პირობით) და რიგელი სახსრულად დაუკავშირდეს სვეტს. ბირთვიანი კარკასული შენობის კონსტრუქციული სქემა მოცემულია XV.26 ნახაზზე. ჩარჩო-კავშიროვანი სისტემის კარკასში წრიული, მრავალკუთხა და სხვ. განივკვეთის ფორმის სივრცითი კონსტრუქციის ბირთვი წარმოადგენს ვერტიკალურ მილს და შესაბამისად ასეთ კარკასულ შენობებს მილოვანსაც უწოდებენ. როდესაც შენობას, გარდა ბირთვისა (მილისა), გარშემოვლებული (გეგმაში) გარე მზიდი კედლებიც ან გარე კედ-

ლების კონტურზე განლაგებული მზიდი სვეტები გააჩნია, იქმნება მზიდი კონსტრუქციების გარსი და შენობის კონსტრუქციულ სისტემას გარსოვანი ეწოდება (ნახ.XV.27).



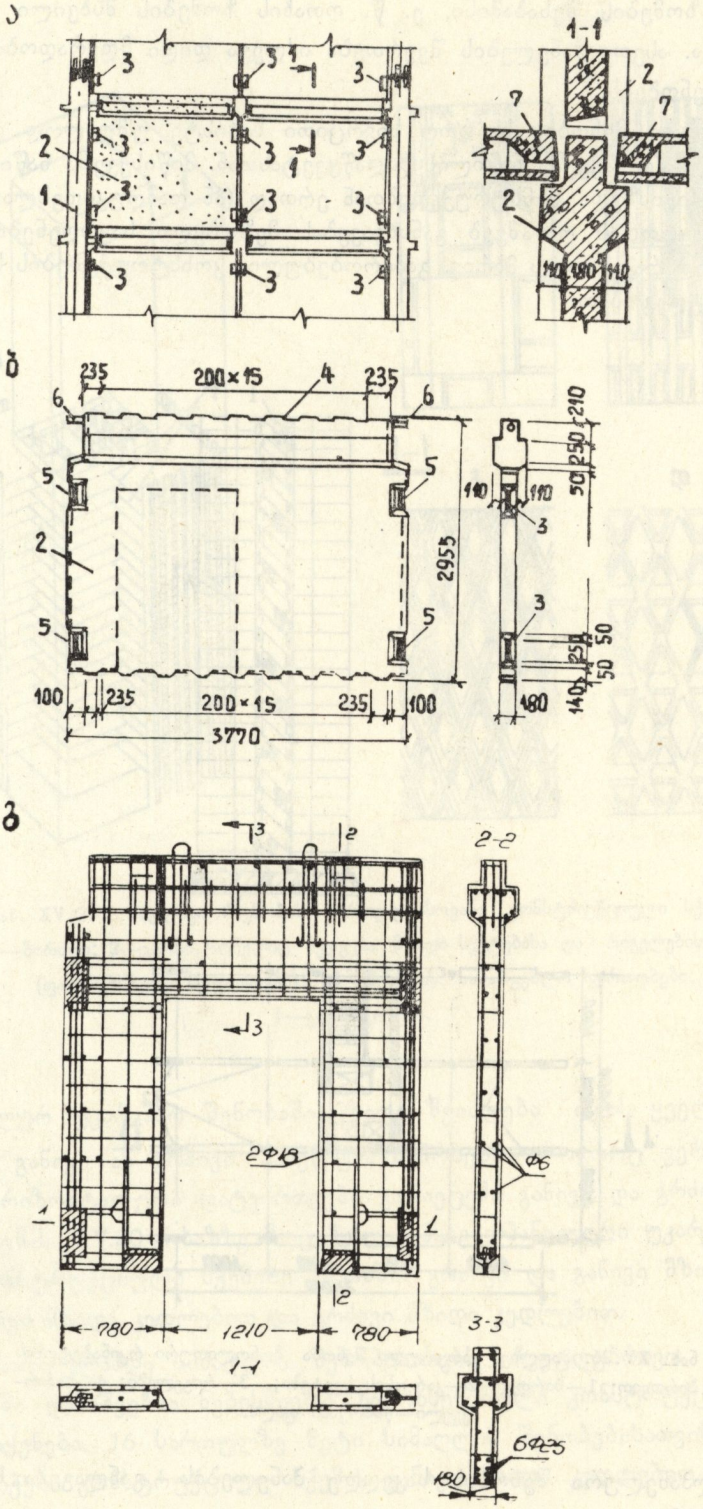
ნახ. XV.24. მრავალსართულიანი სამოქალაქო შენობის ჩარჩო-კედლოვანი კონსტრუქციული სისტემის ელემენტები: ა—კარკასის ფრაგმენტები; ბ—გადახურვის პანელები; გ—რიგელის დაარმატურება.



ნახ. XV.24 ა. (გაგრძელება). სვეტის კონსტრუქცია: ა—დაარმატურება; ბ—ფარული კონსოლის დაარმატურება.

უკარკასო პანელური შენობები მიეკუთვნება მზიდკედლებიანი კონსტრუქციული სისტემის შენობებს. პანელურ უკარკასო გადაწყვეტას იყენებენ ძირითადად საცხოვრებელი სახლებისათვის. ახლა მსხვილი პანელებისაგან აგებენ საცხოვრებელ სახლებს სართულების გაზრდილი რაოდენობით (9—17 და მეტი). პანელური შენობების კონსტრუქციული სქემები მოცემულია XV.28 ნახაზზე.

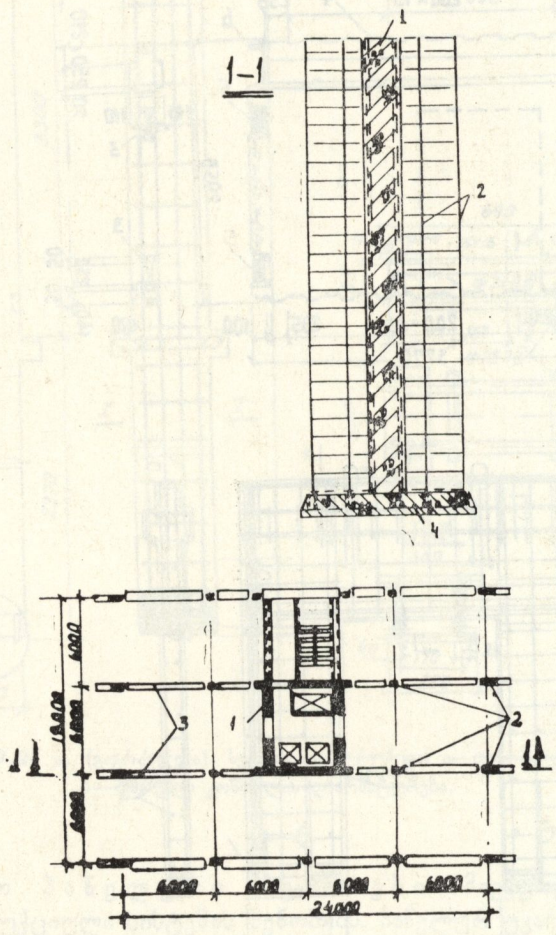
უკარკასო პანელური შენობების შემადგენელი ელემენტებია: საკედლე პანელები, გადახურვის პანელები, ტიხრები, კიბის უჯრედის მოედანი და მარშები, სალიფტე შახტები და სხვ. პანელური შენობებისათვის ხელსაყრელია



ნახ. XV.25. კარკასული დიაფრაგმა: ა—ფრაგმენტი;
ბ—სიხისტის კვეთილი.

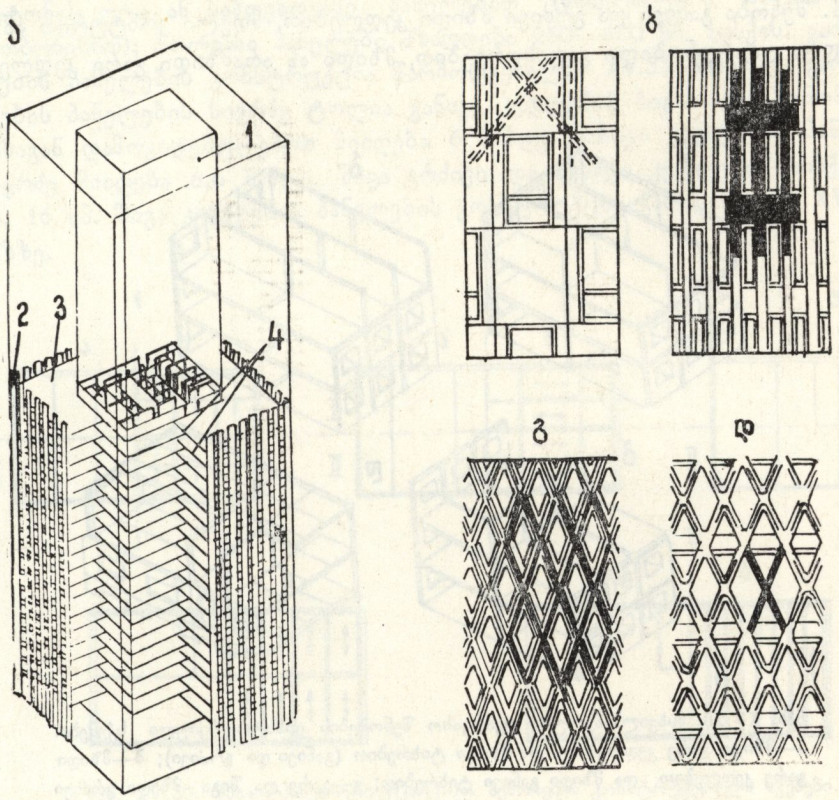
სათავსის ზომების შესაბამისი, ე. წ. ოთახის ზომების მსხვილი პანელების გამოყენება. ასეთი პანელების შეერთება იძლევა დიდი მდგრადობისა და სიხისტის შენობებს.

პანელური შენობის საერთო სივრცითი სიხისტე უშუალოდ დაკავშირებულია მისი მიწისქვეშა ნაწილის გადაწყვეტასთან. მიწისქვეშა ნაწილის კონსტრუქცია მიწისზედა კონსტრუქციებთან ერთად (ან დამოუკიდებლადაც) უნდა უზრუნველყოფდეს დასაშვებ განსხვავებას მეზობელი საყრდენების დაჯდომებს შორის, რაც, თავის მხრივ, გაპირობებულია კონსტრუქციების სიმტკიცით და ბზარმედეგობით.



ნახ. XV.26. მაღლივი კარკასული შენობა მონოლითური რკინაბეტონის ბირთვით: 1—ბირთვი; 2—კარკასის სვეტები; 3—რიგელები; 4—საძირკველი—წიბოვანი ფილა.

მსხვილპანელური შენობის საკედლე პანელების განლაგება ნაჩვენებია XV.29 ნახაზზე.



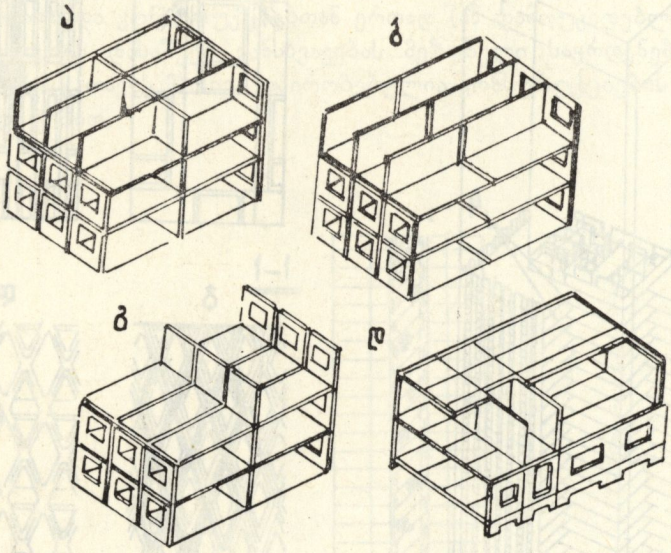
ნახ. XV.27. მაღლივი შენობის ბირთვ-გარსოვანი კონსტრუქციული სქემა: 1—ბირთვი; 2—გარსი, რომელიც შედგება მზიდი სვეტებისა და რიგელებისაგან (ფანჯრებს ზედა ზღუდარები); 3—შენობის სასარგებლო ფართობები; 4—გადახურვები.

პანელურ უკარკასო შენობაში მზიდი შეიძლება იყოს ყველა კედელი, მხოლოდ განივი ან გრძივი. პანელურ შენობებში როგორც ვერტიკალური, ასევე ჰორიზონტალური დატვირთვები გადაეცემა განივი და გრძივი კედლების სისტემას. XV.30 ნახაზზე მოცემულია მსხვილპანელური უკარკასო შენობების კონსტრუქციული სქემები გეგმაში: გრძივი და განივი მზიდი კედლებით; განივი მზიდი კედლებით და გრძივი მზიდი კედლებით.

16 სართულამდე სიმაღლის შენობისათვის ჩვეულებრივი გრუნტების პირობებში დასაშვებია ნებისმიერი ზემოხსენებული კონსტრუქციული სქემის გამოყენება. 16 სართულზე მეტი სიმაღლის შენობებისათვის უპირატესობა ენიჭება კონსტრუქციულ სქემას განივი მზიდი კედლებით.

მასობრივი ბინათმშენებლობის უკარკასო პანელური სახლების დაპროექტება წარმოებს შემდეგი კონსტრუქციული სისტემების საფუძველზე:

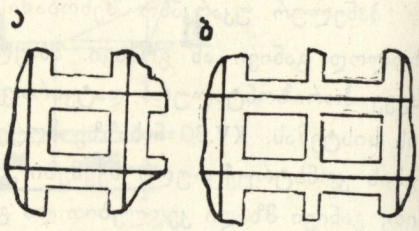
I. შენობა განივი და გრძივი მზიდი კედლებით, მთელი კონტურით ან სამი გვერდით დაყრდნობილი გადახურვებით, მზიდი ან არამზიდი გარე კედლებით;



ნახ. XV.28. მსხვილპანელური უკარკასო შენობების კონსტრუქციული სქემები: ა—მზიდი გარე კედლებითა და მზიდი ტიხრებით (განივი და გრძივი); ბ—მზიდი გარე კედლებით და მზიდი განივი ტიხრებით; გ—გარე და შიგა მზიდი გრძივი კედლებით; დ—მზიდი განივი კედლებით.

II. შენობა განივი მზიდი კედლებით და გრძივი სიხისტის დიაფრაგმებით (როდესაც დიაფრაგმების მოვალეობას ასრულებს კიბის უჯრედის გრძივი კედლები, გარე და შიგა გრძივი კედლების ცალკეული უბნები) და გადახურვებით, რომლებიც ეყრდნობა განივ კედლებზე ორი გვერდით;

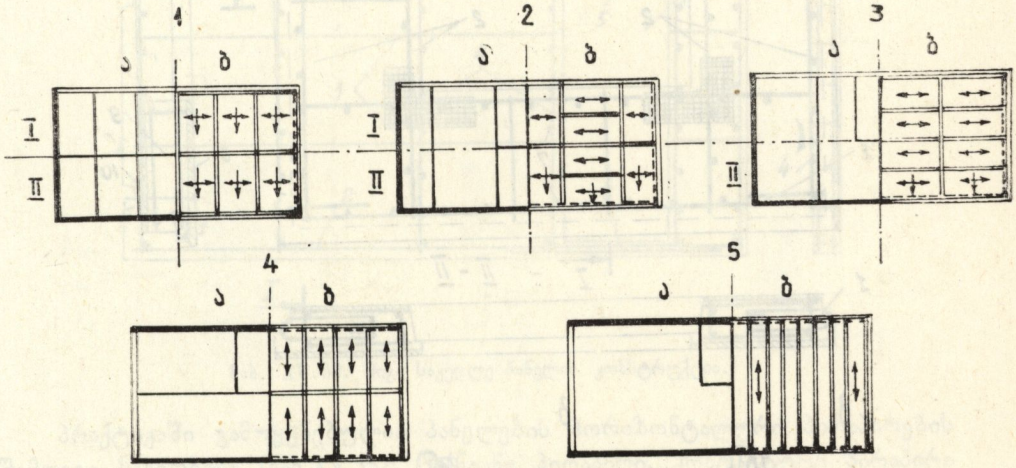
III. შენობა გრძივი მზიდი კედლებით, განივი სიხისტის დიაფრაგმებით (როდესაც დიაფრაგმების მოვალეობას ასრულებს კიბის უჯრედების განივი კედლები, შენობის ტორსული კედლები და სხვ.) და გადახურვებით, რომლებიც გრძივ კედლებს ეყრდნობა ორი გვერდით.



ნახ. XV.29. გარე კედლის დანაწევრება პანელებად: ა—ოთახის ზომაზე; ბ—ორ ოთახზე.

II და III კონსტრუქციული სისტემების შენობების გადახურვის ფილების დაყრდნობა სიხისტის დიაფრაგმის მიმდებარე კედლებზე უმჯობესია დიდი გვერდებით.

პანელური შენობების მზიდი გარე კედლების პანელები მზადდება მსუბუქი ბეტონებისაგან (მთლიანი კვეთისა); თვითმზიდი კედლები იგება რკინაბეტონის ორი ან სამფენოვანი პანელებით (მინერალური ბამბის ან სხვა გათბუნებით); მთლიანი პანელები მზადდება 250—400 მმ სისქის. გარე კედლების პანელების კონსტრუქცია წარმოდგენილია XV.31 ნახაზზე. გარე კედლების პანელების სიგრძე ტოლია განივი კედლების ბიჯისა და შენობის ტიპისაგან დამოკიდებულებით მიიღება 6 მ-მდე. განივი კედლების პანელების სიგრძე მიიღება 6,6 მ-მდე, შიგა გრძივი და განივი კედლების სისქე კი — 14, 16 სმ. შიგა კედლების პანელების კონსტრუქცია გამოსახულია XV.32 ნახაზზე.



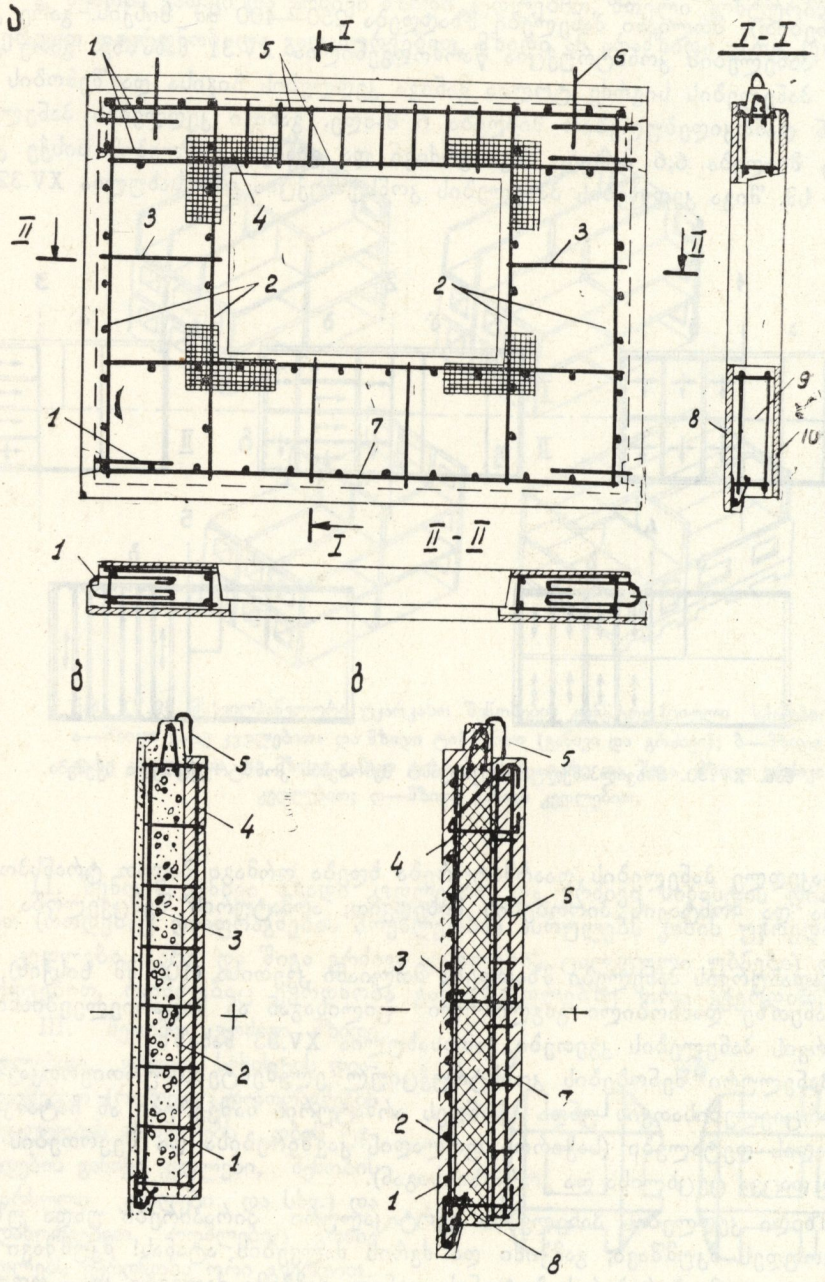
ნახ. XV.30. მსხვილპანელური უკარკასო შენობების კონსტრუქციული სქემები.

საკედლე პანელების დაარმატურება ხდება ორმაგი ბადით ტრანსპორტირებისა და მონტაჟის პირობების მიხედვით; არმატურის შემცველობა დაბალია.

გადახურვის პანელები მზადდება მთლიანი კვეთისა (100 მმ სისქის), ორი ერთმანეთზე დამხობილი გაგლინული ფილისაგან ან სიცარიელეებიანი. გადახურვის პანელების კვეთები გამოსახულია XV.33 ნახაზზე.

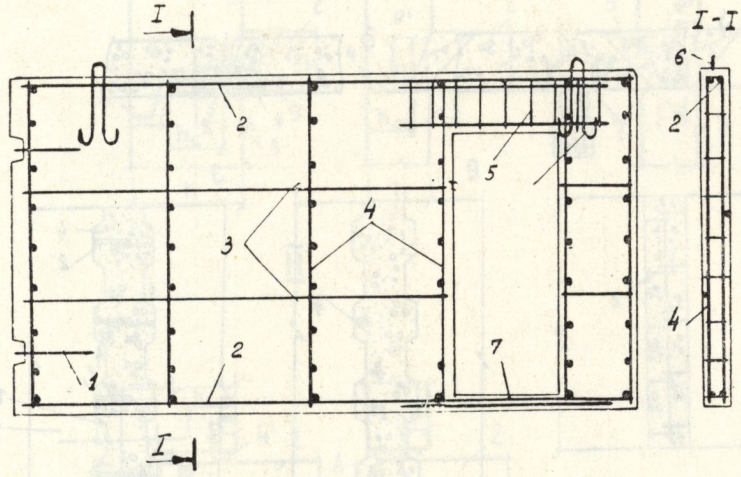
პანელური შენობების კონსტრუქციულ ელემენტებს ურთიერთკავშირის განხორციელებისათვის უნდა ჰქონდეს არმატურის ნაშვერები ან ჩატანებული ფოლადის დეტალები (საჭიროა ფოლადის კავშირებისა და შეერთების კვანძების დაცვა ცეცხლისა და კოროზიისაგან).

მზიდი კედლების პანელების ვერტიკალური პირაპირები უნდა უზრუნველყოფდეს მკუმშავი, გამჭიმი და ძვრის ძალვების ატანას: მკუმშავი ძალვები გადაიცემა პირაპირის ბეტონის ფენით, გამჭიმი ძალვები კი — ფოლადის კავშირებით, არმატურის ნაშვერების ან ჩასატანებელი დეტალების შედუღებით; ძვრის ძალვები ვერტიკალური პარაპირის გასწვრივ გადაეცემა ბეტონის ან რკინაბეტონის სოგმანებს, დასაშვებია ჩატანებული დეტალების შედუღების გამოყენებაც (ნახ.XV.34).



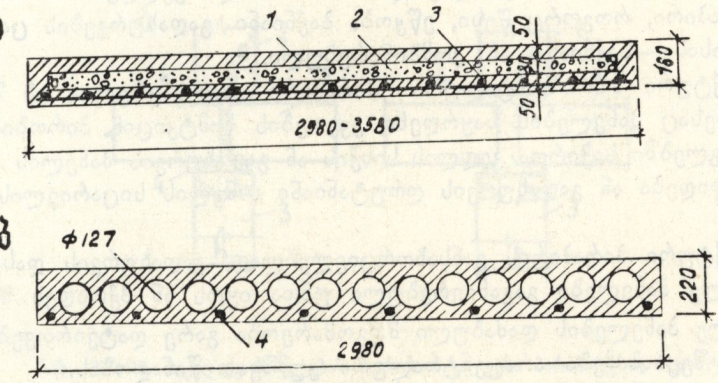
ნახ. XV.31. გარე საკედლე პანელების კონსტრუქცია; ა—ერთფენოვანი; ბ—ორფენოვანი; გ—სამფენოვანი.

მსხვილპანელური უკარასო მრავალსართულიანი შენობების აგების ყველაზე რთული და საპასუხისმგებლო ამოცანაა ჰორიზონტალურ პირაპირებში ვერტიკალური ძალვების გადაცემა საკედლე პანელებს შორის.



ნახ. XV.32. შიგა საკედლე პანელის კონსტრუქცია.

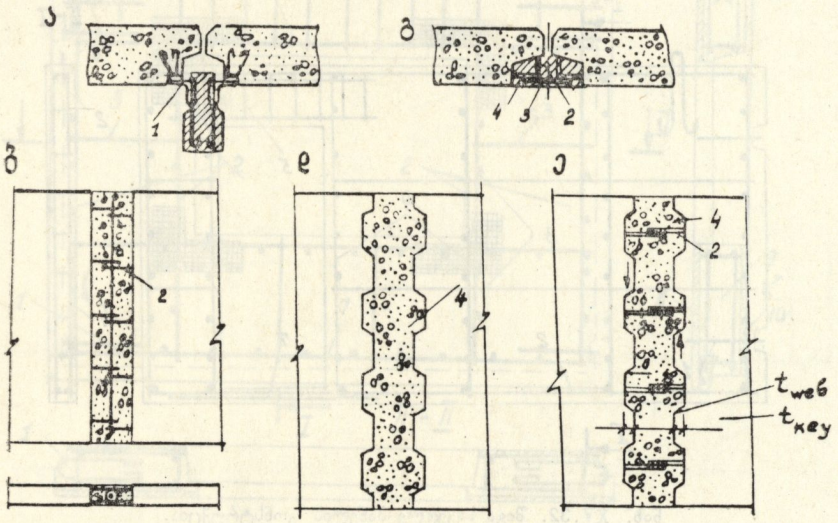
პრაქტიკაში გამოყენებულია პანელების ჰორიზონტალური პირაპირების შემდეგი სახეობები (ნახ.XV.35): ბაქნიანი პირაპირი, კონტაქტური პირაპირი და კომბინირებული.



ნახ. XV.33. გადახურვის პანელები: ა—სამფენოვანი; ბ—ღრუტანიანი; 1—მძიმე ბეტონი; 2—მსუბუქი ბეტონი; 3—არმატურის ბადე; 4—წინასწარ დაძაბული არმატურა.

ჰორიზონტალური პირაპირებით ხდება მკუმშავი დატვირთვის გადაცემა: ბაქნიან პირაპირებში, ძირითადად გადახურვების საყრდენი ბაქნების მეშ-

ვეობით და დუღაბის ორი ფენით (რომელიც მოთავსებულია გადახურვის ზემოდან და ქვემოთ); კონტაქტურ პირაპირებში — ერთი საკედლე პანელიდან უშუალოდ მეორეზე დაყრდნობით დუღაბის ან ბეტონის შრეზე; კომბინირებულ პირაპირებში — გადახურვების საყრდენი ბაქნებითა და საკედლე პანელების საკონტაქტო ზედაპირით.



ნახ. XV.34. საკედლე პანელების ვერტიკალური პირაპირები: ა—არმატურის შვერილების (მარყუჟებიანი) შედუღებით; ბ—ბეტონის სოგმანებით; გ—რკინა-ბეტონის სოგმანებით; დ—ჩასატანებელი დეტალები; ე—გამონოლითებული პირაპირი.

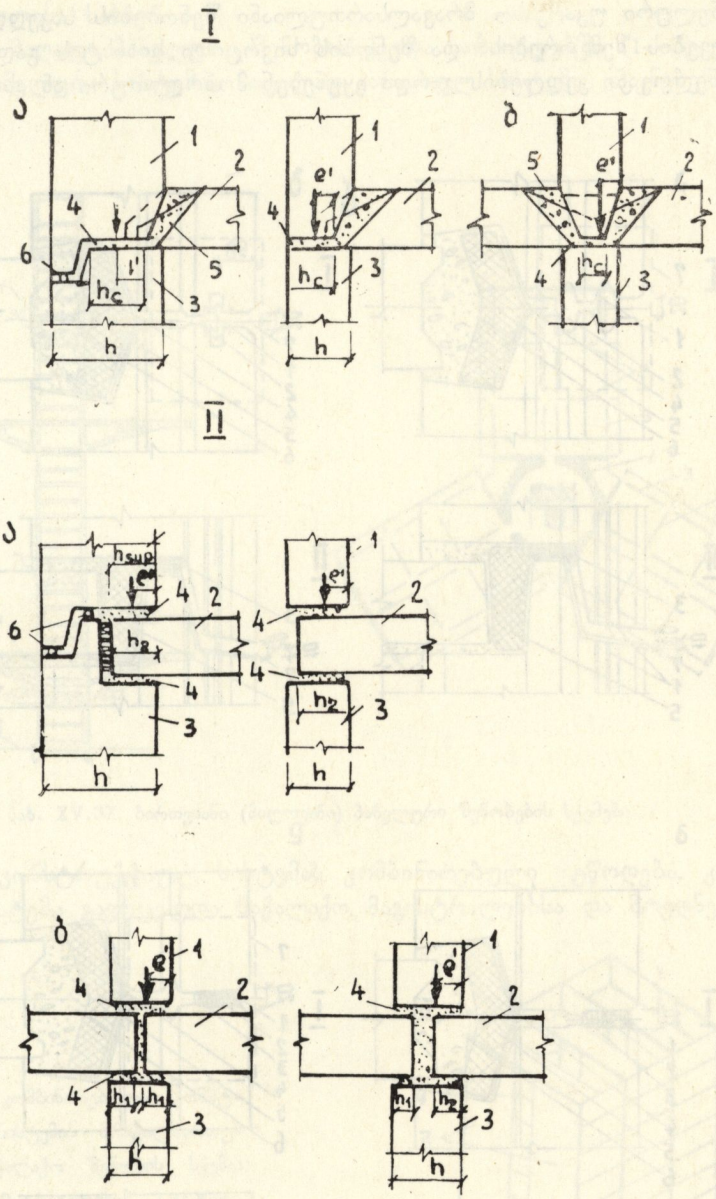
გადახურვების ორმხრივი დაყრდნობისას მზიდი კედლების ჰორიზონტალური პირაპირი, როგორც წესი, ეწყობა ბაქნიანი. გადახურვების ცალმხრივი დაყრდნობისას — ბაქნიანი ან კომბინირებული.

კონტაქტური ჰორიზონტალური პირაპირი ხელსაყრელია იმ შემთხვევაში, როდესაც პანელების საყრდენი კვეთების სიმტკიცის პირობით პირაპირის ფარგლებში საჭიროა კედლის სისქის ან გადახურვის პანელის ბეტონის კლასის გადიდება ან გადახურვის ღრუტანიანი პანელის სიცარიელის შემცირება.

კონტაქტური პირაპირის განსახორციელებლად, გადახურვის დასაყრდნობად საკედლე პანელები გაგანიერებული უნდა იყოს ან ჰქონდეს ბუდეები.

საკედლე პანელების დაძაბული მდგომარეობა გარე დატვირთვების მოქმედებისას შეესაბამება არაცენტრალური კუმშვის წინაღობას.

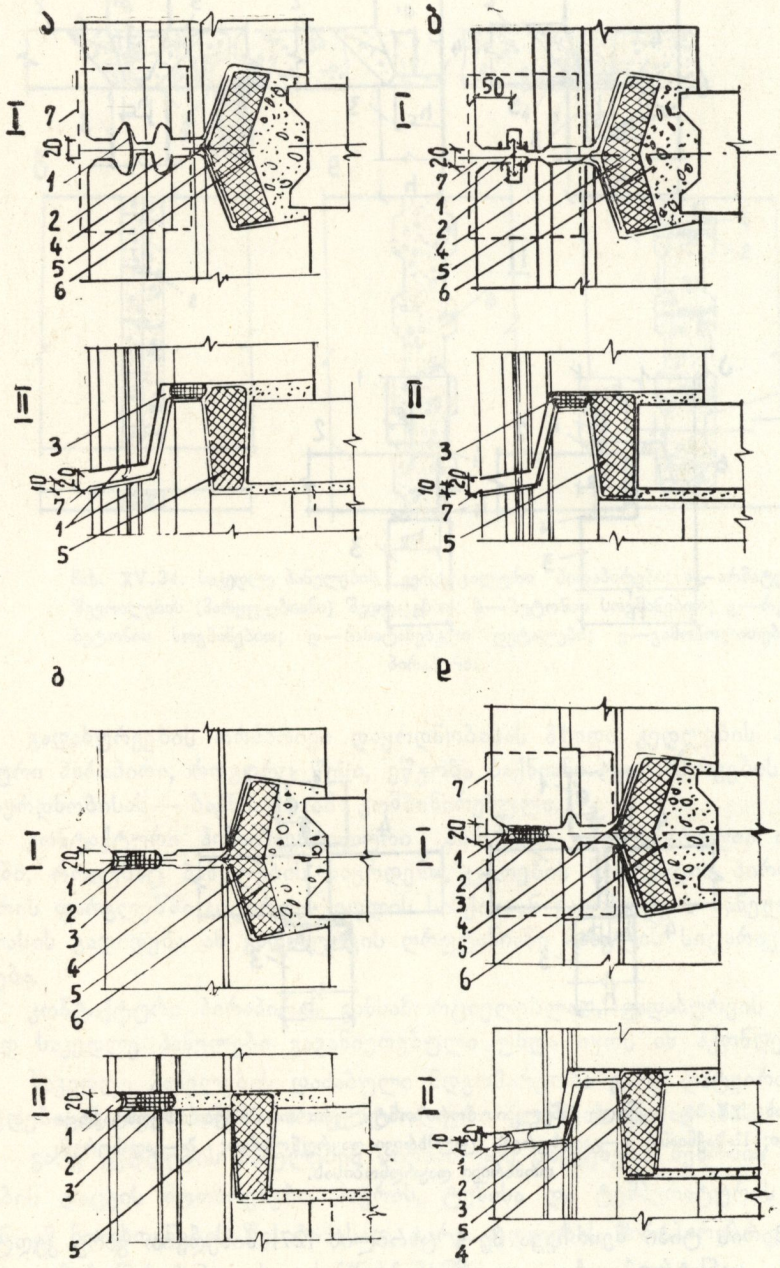
გარე კედლების პანელების პირაპირებს წაეყენება შენობის შიგა სათავსების დაცვის მოთხოვნები, ჰაერის, ტენისა და ტემპერატურის შეღწევისაგან. ამ მოთხოვნების შესაბამისად, გარე კედლების პირაპირები ეწყობა: დახშული, დრენირებული და ღია (ნახ. XV.36).



ნახ. XV.35. საკედლე პანელების ჰორიზონტალური პირაპირები: I-კონტაქტური; II-ბაქნიანი. ა—გადახურვის ცალმხრივი დაყრდნობისას; ბ—გადახურვის ორმხრივი დაყრდნობისას.

პირაპირის ტიპი შეირჩევა მე-4 ცხრილის [27] მიხედვით გარე კედლების პანელების კონსტრუქციისა და მშენებლობის რაიონისაგან დამოკიდებულებით.

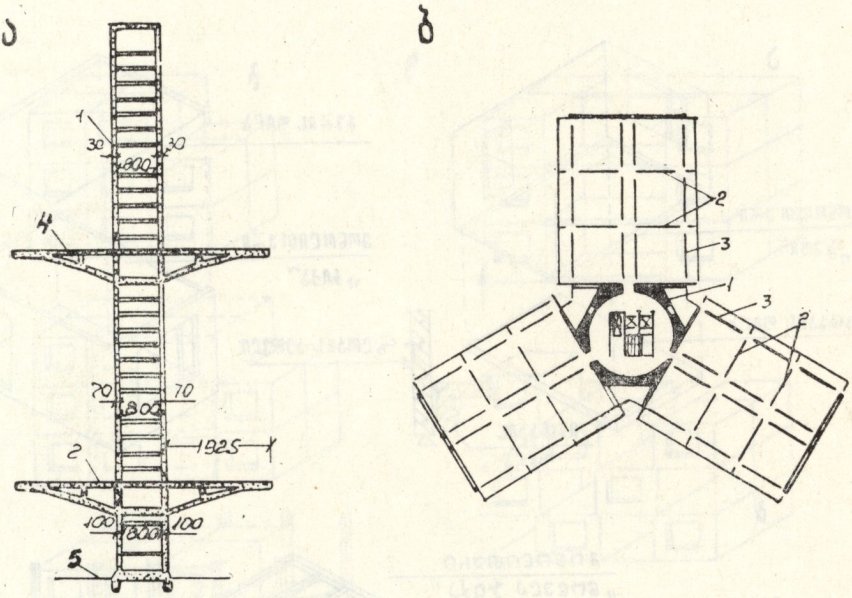
პანელური უკარკასო მრავალსართულიანი შენობების საკედლე პანელებში ძალვების შემცირებისა და შენობის სივრცითი სიხისტის გადიდების მიზნით პანელოვანი კედლების გარდა იყენებენ მონოლითური ან ასაწყობ-მონო-



ნახ. XV.36. გარე კედლების პანელების პირაპირები:
ა—დახშული; ბ—დრენირებული; გ—ღია.

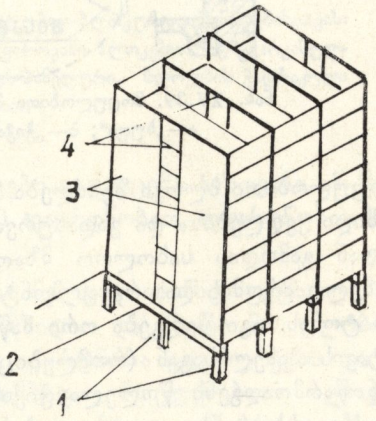
ლითური რკინაბეტონის ვერტიკალური სიხისტის დიაფრაგმებს (ნახ.XV.37) ბირთვის (მილის) სახით.

ზოგჯერ მაღალი პანელური შენობის ქვედა სართულებში (1—3) უკარკასო მსხვილპანელური სისტემის ნაცვლად კარკასულ სისტემას იყენებენ. ასეთი



ნახ. XV.37. ბირთვიანი (მილოვანი) პანელური შენობების სქემები.

შენობების კონსტრუქციულ სისტემას კომბინირებული ეწოდება. კომბინირებული სისტემა გავრცელდა საქალაქო მაგისტრალებისა და მოედნების გა-

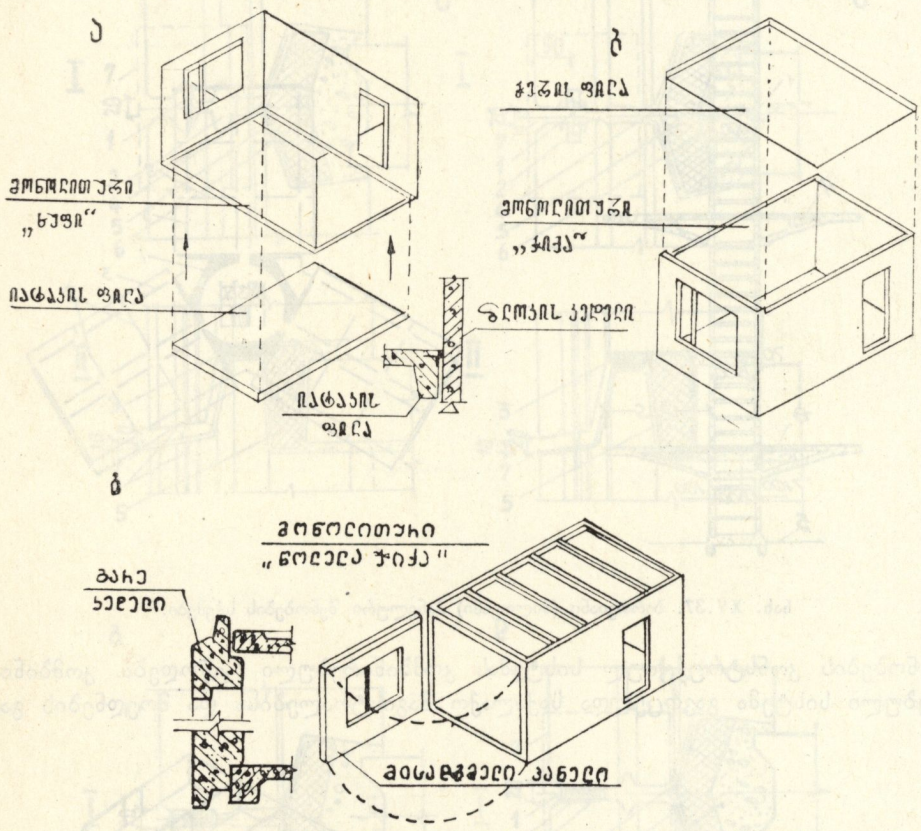


ნახ. XV.38. კომბინირებული კონსტრუქციული სისტემის მრავალსართულიანი სამოქალაქო შენობის სქემა: 1—სვეტები; 2—რიგელები; 3—საკედლე პანელების ზოლები — ბოძები; 4—კავშირი ბოძებს შორის.

ნაშენიანებაში — ქვედა სართულებს იყენებენ სავაჭრო და მომსახურების სფეროს საწარმოთა მოსათავსებლად ან ავტომანქანების სადგომად და გასასვლელებად (ნახ.XV.38).

პანელური შენობების შემდგომ განვითარებას წარმოადგენს შენობები მოცულობითი ბლოკებისაგან.

მოცულობით-ბლოკურ კონსტრუქციულ სისტემას ძირითადად იყენებენ საცხოვრებელი სახლებისა და ზოგი სხვა სახეობის სამოქალაქო შენობებისათვის.

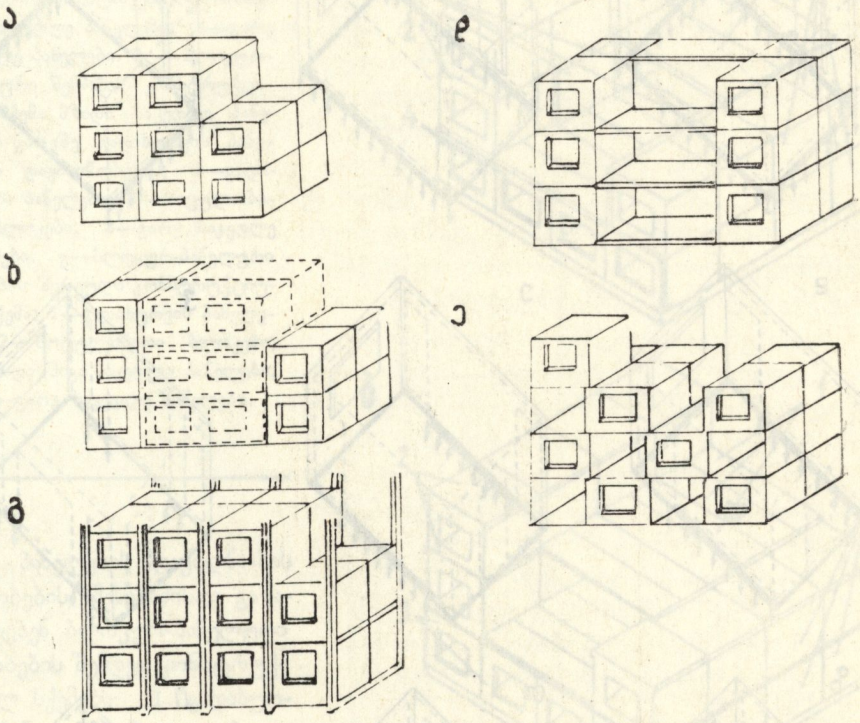


ნახ. XV.39. მოცულობითი ბლოკების ძირითადი სახეობები:
ა—„ხუფი"; ბ—„ჭიქა", გ—„წოლილა ჭიქა".

მოცულობითი ბლოკი შეიძლება წარმოვიდგინოთ როგორც გრძივი და განივი მზიდი კედლებისა და გადახურვის ელემენტების ერთობლიობა. ბლოკები ქარხნიდან გამოდის საბოლოო მზაობით — მოპირკეთებული და საჭიროებს უმნიშვნელო შრომის დახარჯვას მონტაჟზე. მოცულობითი ბლოკის მასა აღწევს 20—25 ტონას. იგი შედგება ორი ნაწილისაგან — ჭიქისა და ჭერის ან ხუფისა და იატაკის პანელისაგან (რომლებიც ქარხანაში ერთიანდება მთლიან ბლოკად) ან წარმოადგენს წოლილა ჭიქას, რომელშიაც მონოლითურადაა შეერთებული გადახურვისა და კედლების ფილები, ხოლო გარე კედლის ტორსული პანელი მზადდება ცალკე და შემდეგ მიედგმება ჭიქას (ნახ. XV.39).

მოცულობით-ბლოკური შენობები, ჩვეულებრივ, იგება უკარკასოდ (როდესაც ბლოკები უშუალოდ ერთმანეთს ეყრდნობა); ზოგჯერ იყენებენ კარკასსაც და მაშინ მოცულობითი ბლოკები წარმოადგენს შევსებას, ხოლო თი-

თოეული ბლოკი განიცდის საკუთარი წონისა და გადახურვების სასარგებლო დატვირთვების ზემოქმედებას. გარდა ბლოკური და ბლოკურ-კარკასულისა, არსებობს მოცულობით-ბლოკური შენობების ბლოკურ-პანელური კონსტრუქციული გადაწყვეტა (ნახ.XV.40).

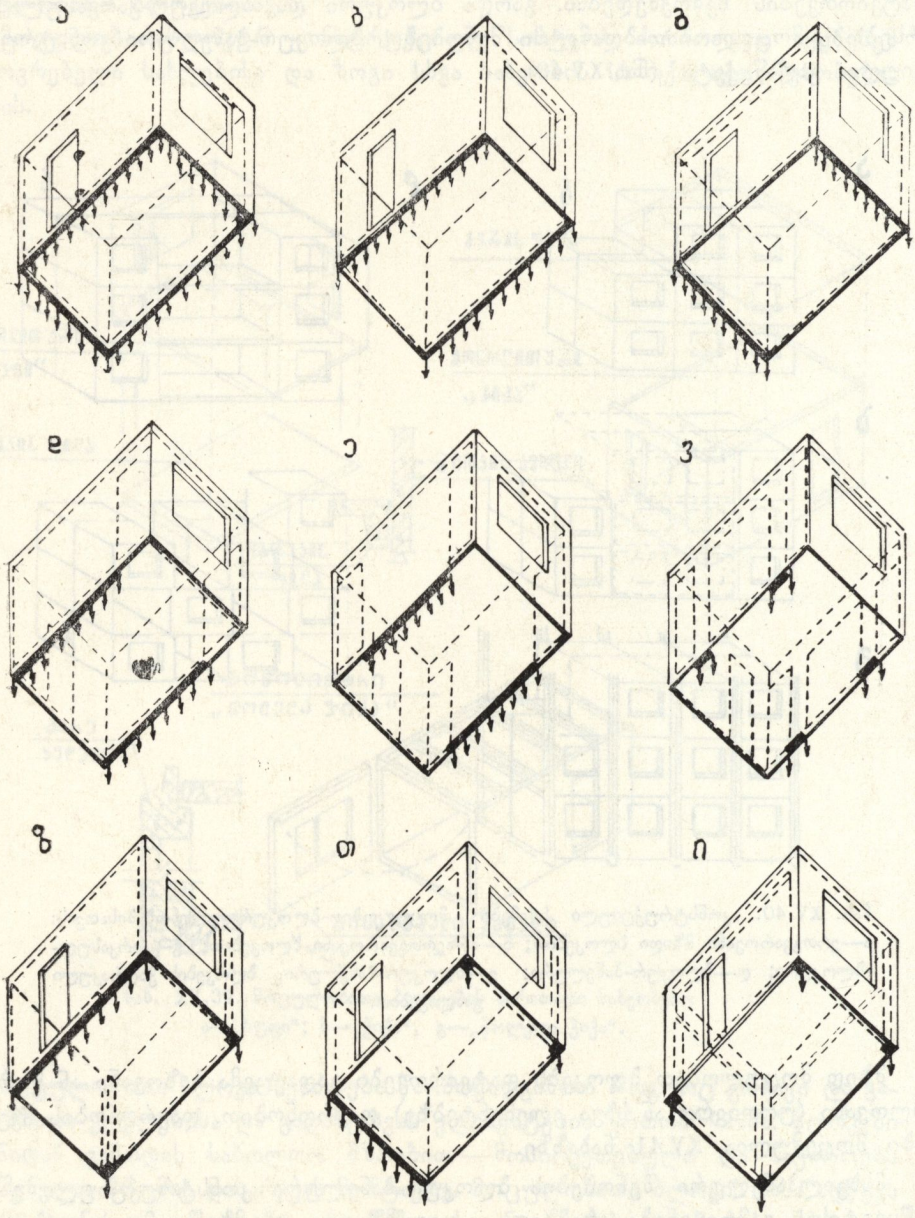


ნახ. XV.40. კონსტრუქციული სქემები მოცულობით-ბლოკური შენობებისთვის: ა—ერთგვაროვანი მზიდი ბლოკებით; ბ—ორგვაროვანი ბლოკებით; გ—კარკასულ-ბლოკური; დ—ბლოკურ-პანელური; ე—ბლოკურ-პანელური, ბლოკების ჰადრაკული განლაგებით.

მზიდ მოცულობით ბლოკებს დატვირთვები გადაეცემა ხაზოვანი ან წერტილოვანი (ურთიერთ ან სხვა ელემენტებზე) დაყრდნობით. დაყრდნობის სქემები მოცემულია XV.41 ნახაზზე.

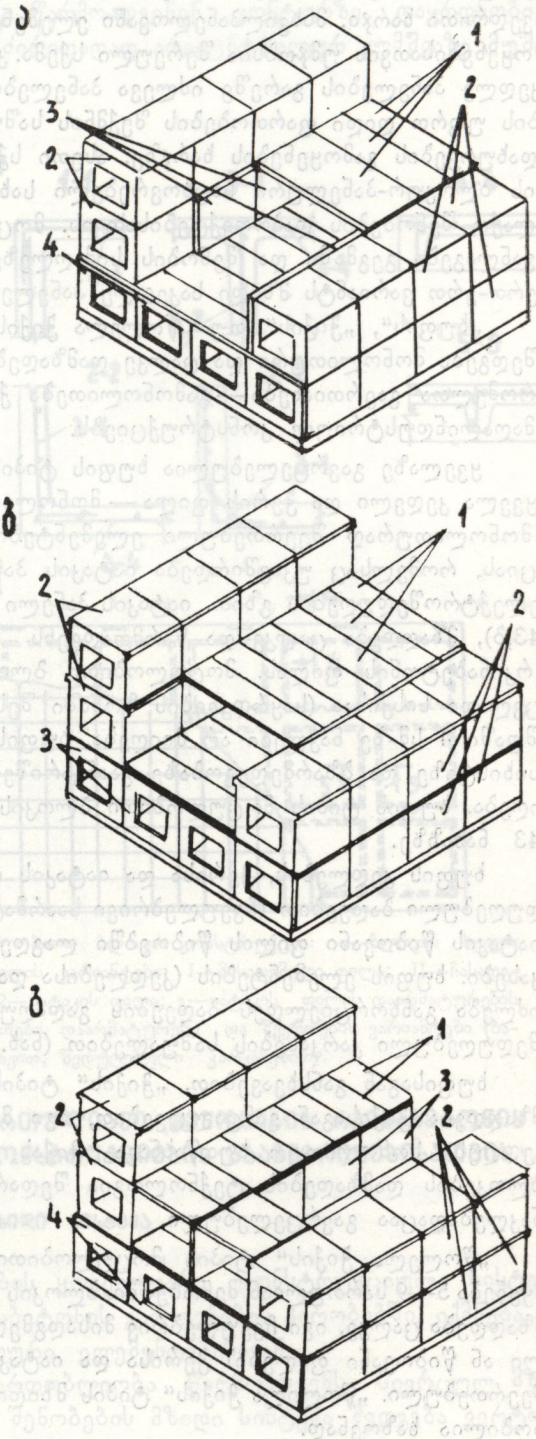
მსხვილპანელური შენობების ბლოკურ-პანელური კონსტრუქციული გადაწყვეტისას გამოიყენება არამზიდი, თვითმზიდი და მზიდი მოცულობითი ბლოკები. არამზიდი მოცულობითი ბლოკები ეყრდნობა გადახურვებს და არ უხდება გარე დატვირთვების ატანა. თვითმზიდი მოცულობითი ბლოკები ეყრდნობა მზიდ კედლებს ან სხვა ვერტიკალურ მზიდ კონსტრუქციებს და მუშაობს საკუთარი წონისა და გადახურვის პანელების სასარგებლო დატვირთვაზე ერთი სართულის ფარგლებში, აგრეთვე მონაწილეობს შენობის სივრცულ მუშაობაში (შენობები თვითმზიდი მოცულობითი ბლოკებით წარმოადგენენ დამოუკიდებელ, რთულ სივრცით კონსტრუქციულ სისტემას). მზიდი მოცუ-

ლობითი ბლოკი ეყრდნობა მის ქვემოთ მდებარე ბლოკს ან საძირკველს და ზიდავს ზედა ბლოკებისა და გადახურვების სრულ დატვირთვას. ბლოკურ-პანელური შენობები მზიდი მოცულობითი ბლოკებით, გამოირჩევა დამოუკი-



ნახ. XV.41. მოცულობითი ბლოკების დაყრდნობის სქემები: ა—დაყრდნობა კონტურზე; ბ—ორ გრძივ კედელზე; გ—ორ განივ კედელზე; დ, ე, ზ—კონსოლური დაყრდნობა; თ, ი—ერთ კედელზე და სვეტებზე დაყრდნობა; კ—კუთხეებზე დაყრდნობა.

დებელი განსაკუთრებული კონსტრუქციული სისტემით. ბლოკურ-პანელურ შენობებში, გარდა პანელებისა და მოცულობითი ბლოკებისა, გამოყენებულია სივრცითი ელემენტი სამზარეულოს, სანიტარიული კვანძების, ლოჯიების, ლიფტებისა და სხვ. სათავსებისათვის.



ნახ. XV.42.ა — ბლოკურ-პანელური შენობის კონსტრუქციული სქემა პანელებისა და ბლოკების დამოუკიდებელი დაყრდნობის შემთხვევაში; 1—გადახურვის პანელები; 2—მოცულობითი ბლოკები; 3—მზიდი შიგა საკედლე პანელები; 4—გარე საკედლე პანელები. ბ — ბლოკურ-პანელური შენობის კონსტრუქციული სქემა მზიდი საკედლე პანელების გარეშე გადახურვის პანელების დაყრდნობისას: 1—გადახურვის პანელები; 2—მოცულობითი ბლოკები; 3—გარე საკედლე პანელები. გ—ბლოკურ-პანელური შენობის შერეული კონსტრუქციული სქემა: 1—გადახურვის პანელები; 2— მოცულობითი ბლოკები; 3—მზიდი შიგა საკედლე პანელები; 4—გარე საკედლე პანელები.

პანელების დაყრდნობის პირობების შესაბამისად განასხვავებენ ბლოკურ-პანელური შენობების შემდეგ კონსტრუქციულ სქემებს: 1. გადახურვის პანელები მოცულობითი ბლოკებისაგან დამოუკიდებლად ეყრდნობა მზიდ საკედლე პანელებს, ხოლო მოცულობით ბლოკებს დატვირთვა გადაეცემა მათ ზემოთ მდებარე ბლოკებისაგან (სქემა განკალკევებულია ანუ დამოუკიდებელი დაყრდნობით); 2. გადახურვის პანელები ეყრდნობა მოცულობით ბლოკებს, მზიდი საკედლე პანელების გარეშე; 3. შერეულია სქემა — გადახურვის პანელები ეყრდნობა მზიდ საკედლე პანელებსა და მოცულობით ბლოკებსაც (ნახ.XV.42.ა,ბ,გ).

დამოუკიდებელი დაყრდნობის სქემა იძლევა ტიპური მსხვილპანელური და მოცულობითი ნაკეთობის გამოყენების საშუალებას (უმნიშვნელო ცვლილებებით), მაგრამ ამ დროს შედარებით მაღალია ძირითადი საშენი მასალის ხვედრითი ხარჯი. მსხვილპანელოვანი ელემენტების სერიული ნაკეთობების გამოყენებისათვის უმჯობესია შერეული სქემა. კონსტრუქციული სქემა მზიდი საკედლე პანელების გარეშე იძლევა პანელებით გადახურვის ზონაში სათავსების უფრო დიდი ფართობების შექმნის საშუალებას გადიდებული მალის გადახურვების გამოყენების ხარჯზე. ასეთი სქემა რაციონალურია ახალი სერიის ბლოკურ-პანელური საცხოვრებელი სახლებისა და ზოგი ტიპის სამოქალაქო შენობების დაპროექტებისათვის. მოცულობითი ბლოკების ჭადრაკული განლაგება გეგმაში და შენობის სიმაღლეზე ქმნის კონსტრუქციული სქემის ერთ-ერთ ვარიანტს მზიდი საკედლე პანელების გარეშე (ნახ. XV.41,დ).

„ხუფის“, „ჭიქის“ თუ „წოლელა ჭიქის“ ტიპის მოცულობითი ბლოკები შედგება მონოლითური და ცალკე დამზადებული მისადგმელი ნაწილებისაგან, რომელთა გაერთიანება — გამონოლითება ქმნის სრული ქარხნული მზაობის მაღალინდუსტრიულ კონსტრუქციებს.

ყველაზე გავრცელებულია ხუფის ტიპის მოცულობითი ბლოკები. ხუფის ყველა კედელი და ჭერის ფილა — მონოლითური რკინაბეტონის ურთიერთ მონოლითურად შეერთებული ელემენტები — ქმნიან სივრცულ კონსტრუქციას, რომელსაც უკავშირდება იატაკის პანელი ჩასატანებელი დეტალების ელექტროშედუღების გზით. იატაკის პანელი მისადგამი ან ჩასადგამია (ნახ.XV. 43,ბ), მზადდება ცალკე და წარმოადგენს ბრტყელ ან წიბოვან (კესონურ) რკინაბეტონის ფილას. მოცულობითი ბლოკის ჭერის ფილა, ჩვეულებრივ, ცვლადი სისქისაა (საყრდენების ზონაში შესქელებით), რომლის სისქე მალის შუაში 4 სმ-ზე ნაკლები არ მიიღება. ხუფის კედლების სისქე განისაზღვრება სიხისტეზე და ბზარმედეგობაზე გაანგარიშებით და 5 სმ-ზე ნაკლები არ მიიღება. ხუფის ტიპის მოცულობითი ბლოკის კონსტრუქცია გამოსახულია XV. 43 ნახაზზე.

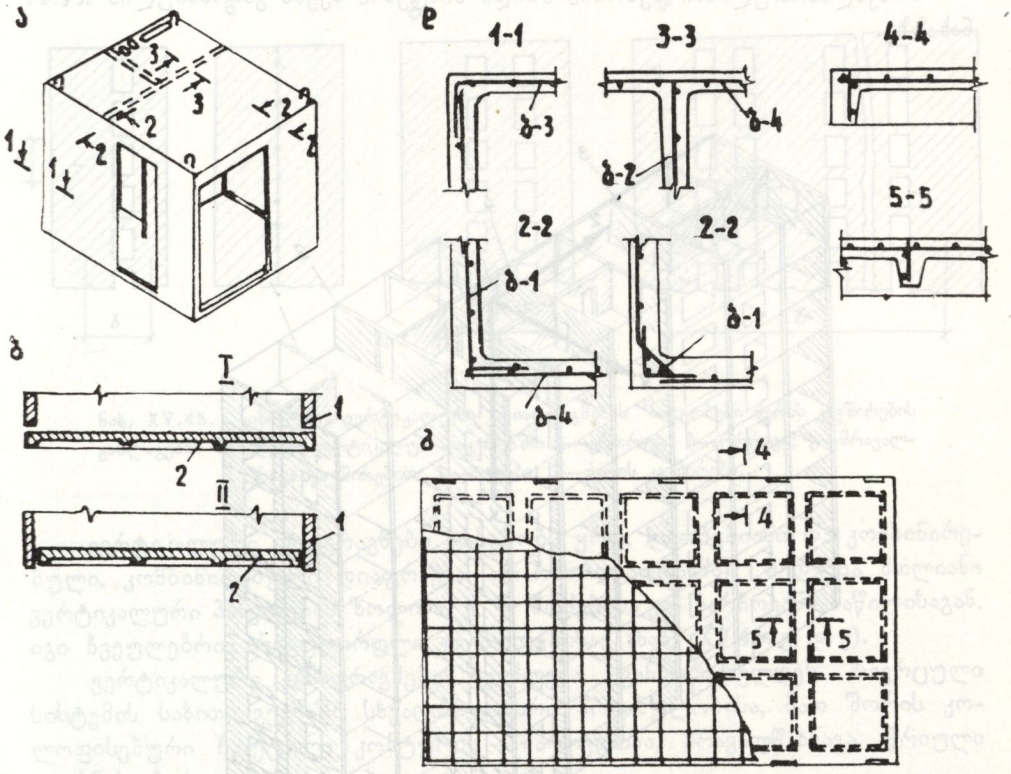
ხუფის კედლების, ჭერისა და იატაკის ფილის დაარმატურება ხდება შედუღებული ბადეებით (ჩვეულებრივი საარმატურე ცივჭიმული მავთულისაგან). იატაკის წიბოვანი ფილის წიბოებში ლაგდება შედუღებული ბრტყელი კარკასები. ხუფის ელემენტების (კედლებისა და ჭერის) არმატურის კავშირი შეიძლება განხორციელდეს ბადეების გადაღუნვის ან დამატებითი კუთხოვანი შედუღებული კარკასების საშუალებით (ნახ. XV. 43, დ).

ხუფისაგან განსხვავებით, „ჭიქის“ ტიპის მოცულობითი ბლოკების ჭერი მზადდება ჭიქისაგან განცალკევებით, იგი მისადგმელია; იატაკის ფილა და კედლები მონოლითურ ხუთწახნაგა ჭიქას ქმნიან (ნახ.XV.41,ბ). ამ ტიპის ბლოკების დამზადების ტექნოლოგია შედარებით რთულია და შესაბამისად ნაკლებადაცაა გავრცელებული.

„წოლელა ჭიქის“ ტიპის მოცულობითი ბლოკები (ნახ.XV.41,გ) გამოიყენება 5—9 სართულიან შენობებში. ბლოკის ერთი — გარე ტორსული კედელი მზადდება ცალკე, იგი ჩვეულებრივ მისადგმელია, დანარჩენი კედლები (ბრტყელი ან წიბოვანი ფილები) ჭერისა და იატაკის ფილებთან მონოლითურადაა შეერთებული. „წოლელა ჭიქის“ ტიპის მზიდი მოცულობითი ბლოკები დაყრდნობილია ხაზოვნად.

მოცულობითი ბლოკების ელემენტები იანგარიშება ექსპლუატაციის, დამზადების, გადაზიდვისა და მონტაჟის სტადიაში ზღვრულ მდგომარეობათა ორივე ჯგუფის მიხედვით.

ჰერისა და იატაკის ფილები წარმოადგენენ კონტურზე დაყრდნობილ ღუნვად ელემენტებს, კედლები ძირითადად არაცენტრალურ კუმშვაზე მუშაობენ.



ნახ. XV.42. „ხუფის“ ტიპის მოცულობითი ბლოკის კონსტრუქცია: ა—ბლოკის ხუფის საერთო ხედი; ბ—ბლოკის იატაკის ფილის ვარიანტები: I—მისადგმელი ფილა; II—ჩასადგმელი ფილა; 1—ბლოკის კედლები; 2—იატაკის ფილა; გ—იატაკის ფილის დაარმატურების სქემა; დ—ბლოკის ელემენტების კვეთები, დაარმატურება და შეერთების ვარიანტები (ბადეების გადაღუნვით, შედუღებული კარკასებით).

§ 4. ცნობები მრავალსართულიანი შენობების რკინაბეტონის ვერტიკალური მზიდი კონსტრუქციების გაანგარიშებისათვის

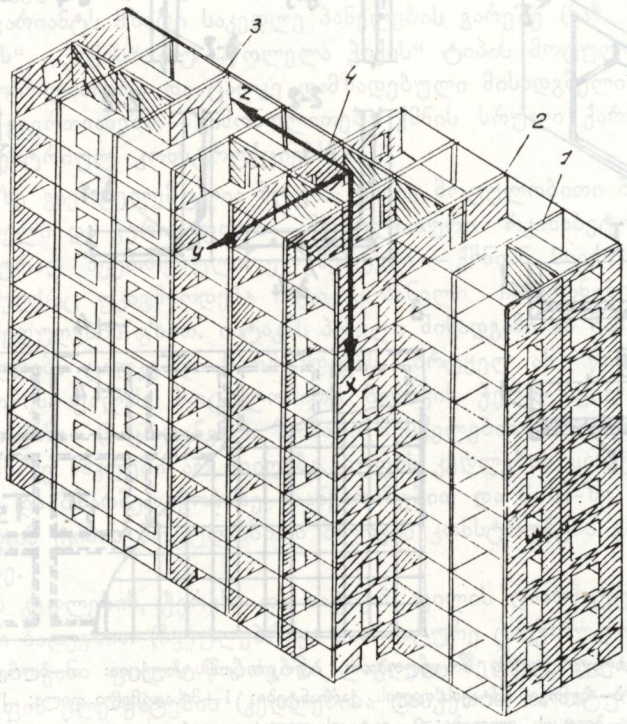
1. მზიდი სისტემა

მრავალსართულიანი შენობის ყოველგვარი კონსტრუქციული სისტემა, საკონსტრუქციო მასალად რკინაბეტონის გამოყენების პირობებში, იქმნება ძირითადად ღეროვანი ან პანელური ელემენტებისაგან.

მზიდი კონსტრუქციების ერთობლიობა წარმოადგენს სივრცულ მზიდ სისტემას. მრავალსართულიანი შენობების მზიდი სისტემა შედგება ვერტიკა-

ლური და ჰორიზონტალური მზიდი კონსტრუქციებისაგან. ჰორიზონტალურ მზიდ კონსტრუქციებად გვევლინება გადახურვები, რომელთა მეშვეობით ვერტიკალური მზიდი კონსტრუქციები ერთიანდება მთლიან სივრცულ სისტემაში (ამისათვის საჭიროა, რომ გაახურვების სიხისტე საკუთარ სიბრტყეში მაღალი იყოს).

მრავალსართულიანი შენობის მზიდი სისტემის სქემა გამოსახულია XV.44 ნახაზზე.



ნახ. XV.44. მრავალსართულიანი შენობის მზიდი სისტემის სქემა. 1—ჩარჩო; 2—დიაფრაგმა; 3—ჩარჩო-დიაფრაგმა; 4—ბირთვი (მილი).

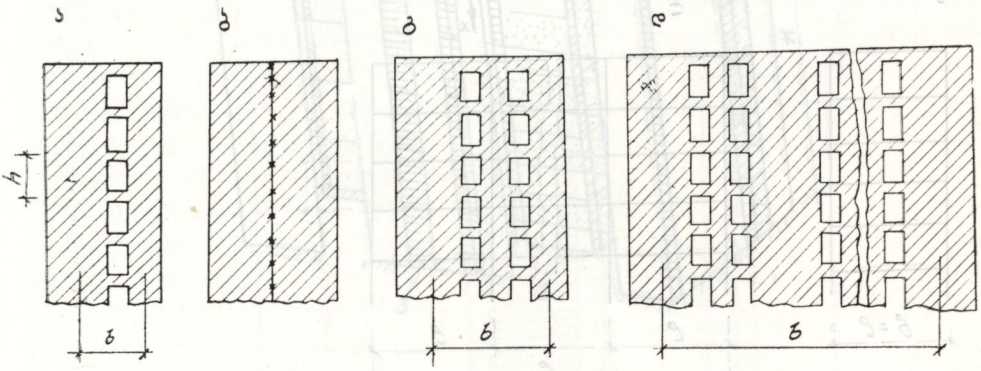
ვერტიკალური მზიდი კონსტრუქციები შენობის სიმაღლეზე, ჩვეულებრივ, მონოტონური აგებულებისაა, ე. ი. შენობის ყოველ სართულში მეორდება ერთი და იმავე დანიშნულებისა და სახეობის (გეომეტრიული) ელემენტი.

ვერტიკალურ მზიდ კონსტრუქციებს შეადგენს ერთმანეთზე დაყრდნობილი მზიდი საკედლე პანელების მთლიანი ვერტიკალური ზოლები, ე. წ. ბოძები, კარკასის სვეტები და მათი ვრტიკალურ ნაკერებში შემაერთებელი ბმები. ბმებს წარმოადგენს: ჩასატანებელი დეტალების ან არმატურის შვერილების შეერთებები შედუღებით; ბეტონის სოგმანები; ჩარჩოს რიგელები; ღიობებიანი პანელების ზოლუდარები (ღიობებსზედა) და სხვ.

საკედლე მზიდი პანელების ბოძებისაგან — ერთი ან რამდენიმე ზოლისაგან შედგენილ ვერტიკალურ მზიდ კონსტრუქციას დ ი ა ფ რ ა გ მ ა ეწოდე-

ბა (ნახ. XV.45). დიაფრაგმაში გაერთიანებული ბოძები — პანელების მთლიანი ზოლები — ვერტიკალურ ნაკერში შეერთებული არიან ძვრაზე მომუშავე კავშირებით.

ბრტყელი მზიდი ვერტიკალური კონსტრუქცია, რომელიც შედგება სვეტებისა და მათთან დაკავშირებული (ჩვეულებრივ ხისტად) რიგელებისაგან, წარმოადგენს ჩარჩოს — ერთმალიანს ამ მრავალმალიანს (ნახ.XV.46.ა,ბ).



ნახ. XV.45. სიხისტის ვერტიკალური დიაფრაგმების სახეობები ძვრის კავშირების განლაგების მიხედვით ვერტიკალურ ნაკერებში: ა—ერთრიგა; ბ—ორრიგა; გ—მრავალრიგა კავშირებით; 1—ბოძები; 2—ძვრის კავშირები.

ვერტიკალური დიაფრაგმები არსებობს ყრუ, ღიობებიანი და კომბინირებული. კომბინირებული დიაფრაგმა (ჩარჩო-დიაფრაგმა) შედგება მთლიანი ვერტიკალური პანელების ზოლისა, ე. წ. ბოძებისა და ჩარჩოვანი ნაწილისაგან. იგი ჩვეულებრივ რეგულარული აგებულებისაა (ნახ. XV.46. გ, დ, ე).

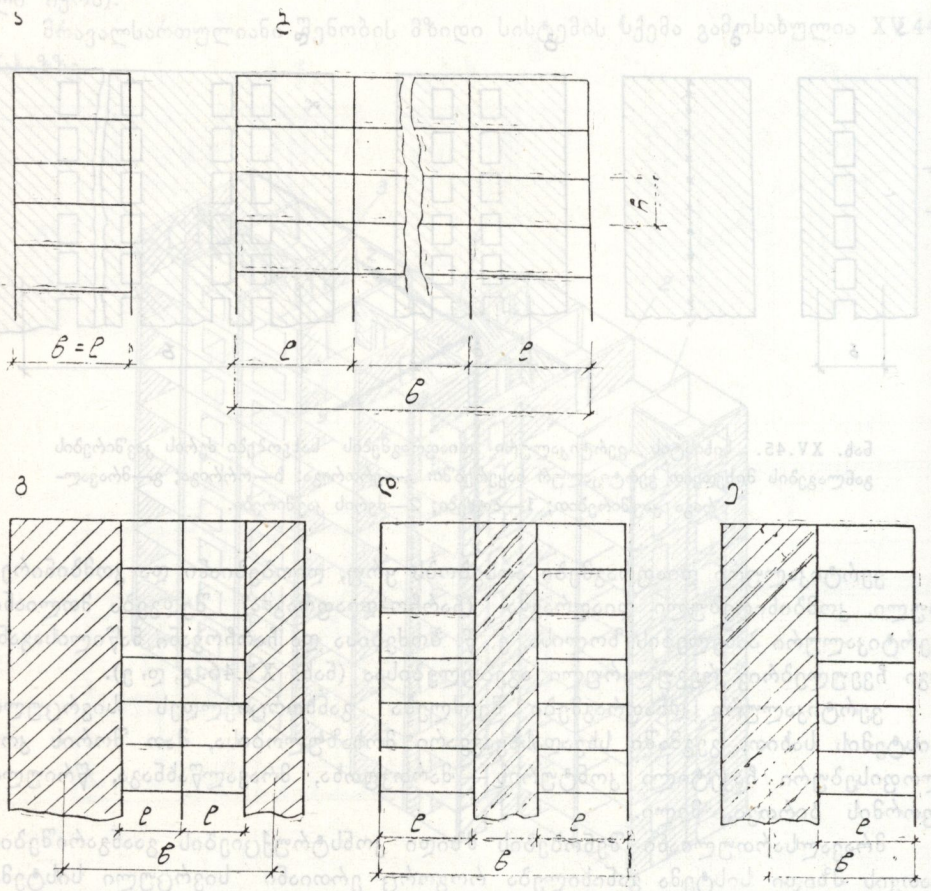
ვერტიკალური დიაფრაგმები შეიძლება განხორციელდეს სივრცული სისტემის სახით, გეგმაში სხვადასხვაგვარი მოხაზულობისა, მათ შორის კოლოფისებური ჩაკეტილი კონტურის — მართკუთხა, მრავალწახნაგა, წრიული ფორმის ბირთვი, მილი.

მრავალსართულიანი შენობების მზიდი კონსტრუქციების გაანგარიშებისათვის მზიდი სისტემა განიხილება როგორც ერთიანი სივრცული სისტემა ან ხდება მისი გამარტივება. ერთიანი სივრცული სისტემის გაანგარიშება საჭიროებს რთული, დიდი მოცულობის გამოთვლების ჩატარებას მძლავრი ელექტრონულ-გამომთვლელი მანქანების დახმარებით. გამარტივებული მეთოდებით გაანგარიშებისას შესაძლოა გამოთვლების შესრულება მცირე მექანიზაციის საშუალებებით.

ყველა შემთხვევაში უნდა მოხდეს მზიდი სისტემის, თუ მზიდი კონსტრუქციის სქემატიზაცია.

არსებობს მრავალსართულიანი შენობის მზიდი სისტემის სქემატიზაციის დისკრეტული, კონტინუალური და დისკრეტულ-კონტინუალური მოდელები; მათგან ყველაზე უნივერსალურად და მოხერხებულად ითვლება დისკრეტულ-კონტინუალური მოდელი (ნახ.XV.47).

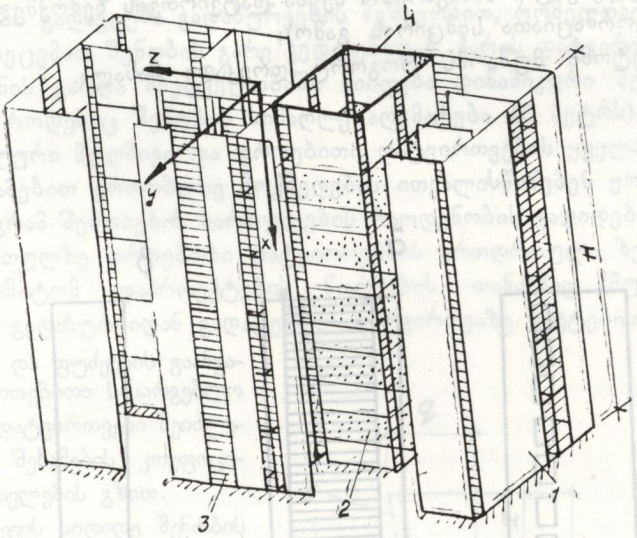
დისკრეტულ-კონტინუალური მოდელის თანახმად, სივრცული მზიდი სისტემა წარმოდგენილია როგორც ცალკეული (დისკრეტული) ვერტიკალური კონსოლური ღეროების (მართკუთხა კვეთისა) კონა, დაკავშირებული ერთმანეთთან ხისტი გადახურვებით და ვერტიკალურ ნაკერებში განლაგებული ძვრა-



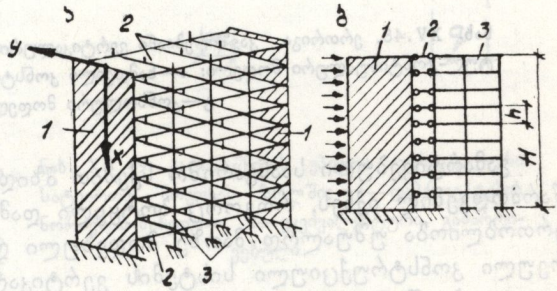
ნახ. XV.46. ბრტყელი ჩარჩოები და ჩარჩო-დიაფრაგმები (კომბინირებული დიაფრაგმები): 1—სვეტი; 2—რიგელი; 3—დიაფრაგმა; ა, ბ—ჩარჩო; გ, დ, ე—ჩარჩო-დიაფრაგმა.

ზე მომუშავე კავშირებით; ღეროების სიმაღლეზე კავშირების განაწილება წარმოდგენილია უწყვეტად (კონტინუალურად). სართულშორისი გადახურვებისა და ძვრის კავშირების უწყვეტად განრიგების პირობა კონსტრუქციის სიმაღლეზე დასაშვებია სართულების მნიშვნელოვანი რაოდენობის შემთხვევაში, როდესაც დისკრეტული კავშირების ზემოქმედება შეიცვლება უწყვეტად განაწილებული კავშირების ზემოქმედებით. ასეთი ვარაუდი გამართლებულია უკვე ხუთსართულიანი შენობებისთვის.

დისკრეტულ-კონტინუალური მოდელის ვერტიკალური კონსოლური ღეროების ჩამაგრება საძირკველში მიიღება ხისტი ან დრეკად-დამყოლი.



ნახ. XV.47. მრავალსართულიანი შენობის მზიდი სისტემის დისკრეტულ-კონტინუალური მოდელი: 1—ვერტიკალური ღერო; 2—გადახურვა; 3—ძვრის კავშირები; 4—ბოძებისაგან შედგენილი ბირთვი.



ნახ. XV.47. ა. (გაგრძელება) ჩარჩო-კავშიროვანი სივრცული კონსტრუქციული სისტემის საანგარიშო სქემა: ა — ბრტყელ-პარალელური გამარტივებული საანგარიშო სქემა; ბ — პირობითად-ბრტყელი სქემა; 1—სიხისტის ვერტიკალური დიაფრაგმა; 2—გადახურვები; 3—ჩარჩოები.

დისკრეტულ-კონტინუალური მოდელის ერთ-ერთი სახესხვაობაა კონსოლური მოდელი, რომელიც ერთრიგა კავშირებიანი კონსტრუქციისათვის გამოსახულია XV.48 ნახაზზე.

დისკრეტულ-კონტინუალური საანგარიშო მოდელის საფუძველზე დამუშავებულია ვერტიკალური მზიდი კონსტრუქციების გაანგარიშების პრაქტიკული, გამარტივებული ხერხები შემდეგი წინაპირობებისა და დაშვებების შემოღების გზით:

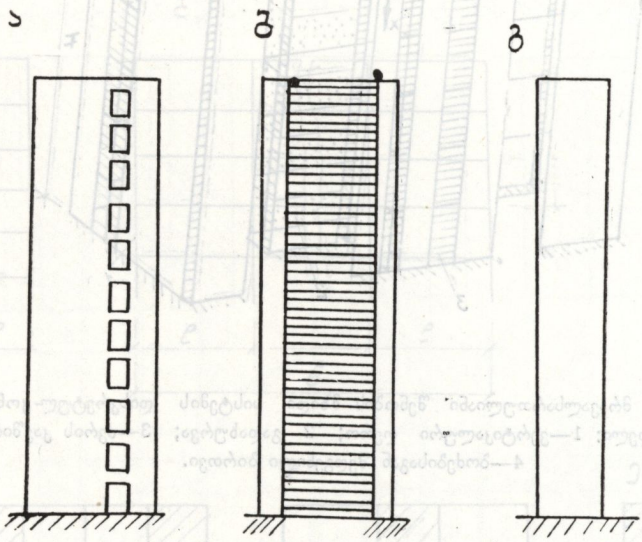
გადახურვები თავის სიბრტყეში სრულიად ხისტია, ხოლო სიბრტყის გარეთ — მოქნილი;

ბოძებისა და სვეტების წინაღობა სუფთა გრეხაზე მხედველობაში არ მიიღება;

ჰორიზონტალური ელემენტების ღერძული (გრძივი) დეფორმაცია შეიძლება უგულებელყოფილ იქნეს;

მზიდი ელემენტის საანგარიშო სქემა დატვირთვის ზემოქმედებით არ იცვლება (დეფორმაციათა სიმცირის გამო);

რკინაბეტონი მუშაობს როგორც დრეკადი მასალა.



ნახ. XV.48. ერთრიგა კავშირებიანი ვერტიკალური მზიდი კონსტრუქციის დისკრეტულ-კონტინუალური მოდელი: ა—ნამდვილი კონსტრუქცია; ბ—საანგარიშო მოდელი; გ—კონსოლური მოდელი.

გამარტივებული საანგარიშო სქემით მზიდი სივრცითი სისტემა შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს, როგორც ბრტყელი დამოუკიდებელი კონსტრუქციების ერთობლიობა უშუალოდ მათზე მოდებული დატვირთვებით. დასაშვებია შერეული კონსტრუქციული სისტემის ვერტიკალური მზიდი კონსტრუქციების დაჯგუფება შენობაში განლაგების მიმართულებების მიხედვით და ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად გაანგარიშება.

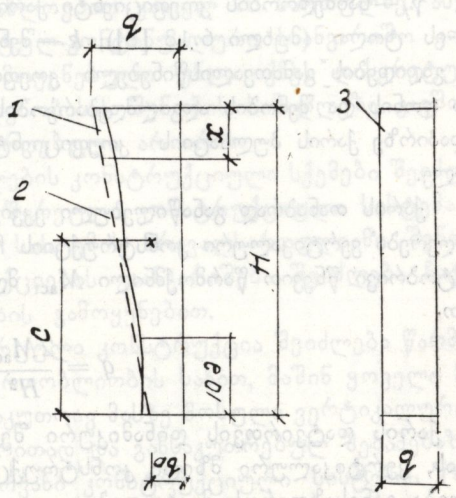
2. დატვირთვები და კონსტრუქციული სქემები

შენობაზე მოქმედი ვერტიკალური დატვირთვები შედგება მუდმივი და დროებითი დატვირთვებისაგან. მუდმივ დატვირთვებს განეკუთვნება კონსტრუქციებისა და მათზე მუდმივად დამაგრებული მოწყობილობების წონა; დროებითი დატვირთვებია თოვლი, სასარგებლო დატვირთვები გადახურვებზე, ამწის დატვირთვა და სხვ.

ჰორიზონტალური დატვირთვებიდან მრავალსართულიანი შენობებისათვის ყველაზე მნიშვნელოვანია ქარის წნევა. ქარის წნევა ვერტიკალურ მზიდ კონსტრუქციებს გადაეცემა გადახურვების მეშვეობით, რომელთაც ქარის დატვირთვა გადაეცემათ შენობის გარე კედლებიდან. ქარის დატვირთვის სტატიკური შემდგენის გარდა მხედველობაში მიიღება დინამიკური შემდენიც (ეს უკანასკნელი, როდესაც შენობის სიმაღლე აღემატება 40 მეტრს).

ვერტიკალური მუდმივი და დროებითი დატვირთვების ყველაზე არახელსაყრელი შეხამებით ერთობლივ მოქმედებას ითვალისწინებენ ყოველი გადახურვიდან. მაგრამ შენობების სართულების რაოდენობის გადიდებით მცირდება ყველა სართულზე დროებითი დატვირთვების ერთდროული ზემოქმედების ალბათობა, ამიტომ დაპროექტების ნორმების თანახმად (მუხლი 3.9[8]), ორი და მეტი გადახურვიდან გადაცემულ დატვირთვაზე სვეტების, კედლების, საძირკვლებისა და ფუძეების გაანგარიშებისას, დროებითი სასარგებლო ნორმატიული დატვირთვები შეიძლება შემცირდეს შეხამების კოეფიციენტზე გადამრავლების გზით.

ქარის წნევის სიდიდე შენობის ვერტიკალური ზედაპირის ერთეულ ფართობზე განისაზღვრება მშენებლობის რაიონის შესაბამისად (იხ. [8], თავი 6). ქარის დატვირთვის სტატიკური შემდგენი განისაზღვრება ფორმულით $q=cq_0$. მიწის ზედაპირიდან 10 მეტრის სიმაღლის ზოლში იგი თანაბრად განაწილებულია, მაგრამ სიმაღლეზე თანდათან მატულობს. ქარის წნევის ეპიურა ნაჩვენებია XV.49 ნახაზზე.



ნახ. XV.49. ქარის წნევის ეპიურა ვერტიკალური სატვირთო მოედნის ზოლში: 1—დაპროექტების ნორმების მიხედვით; 2—ეკვივალენტური, გამარტივებული.

შენობის სიმაღლეზე ქარის წნევის განაწილების კანონი შეიძლება შეიცვალოს გაანგარიშებების გამარტივების მიზნით. ნორმებით მიღებული ეპიურა (1) შეიძლება შეიცვალოს ტრაპეციული (2) ან მართკუთხა ეკვივალენტური ეპიურით. ტრაპეციული ეკვივალენტური ეპიურა მიიღება პირობით, რომ 1 და 2 ეპიურების ფართობები თანაბარია და მათი სიმძიმის ცენტრი ერთსა და იმავე დონეზე ძევს. ტრაპეციული ეკვივალენტური ეპიურის მიხედვით ქარის წნევის ინტენსიურობა შენობის უმაღლეს დონეზე განისაზღვრება ფორმულით

$$q=cq_0k(1+m)\,\gamma_f;$$

მიწის ზედაპირის დონეზე

$$aq=0{,}65\,cq_0\gamma_f;$$

სიმაღლის შუალედ x კვეთში

$$q_x = q\left(1 + \frac{a-1}{H}\, x\right),$$

სადაც q_0 არის ქარის ჩქარული წნევის ნორმატიული სიდიდე მშენებლობის აღებული რაიონისათვის მიწის ზედაპირიდან 10 მეტრის ფარგლებში განლაგებული ვერტიკალური ზედაპირისთვის; c —აეროდინამიკურობის კოეფიციენტი, რომელიც მრავალსართულიანი შენობებისათვის, რომელთა H სიმაღლე ორჯერ მაინც აღემატება შენობის l სიგანეს, მიიღება ტოლი: ქარპირა ზედაპირისთვის $c = +0{,}8$ (დადებითი წნევა), ქარზურგა ზედაპირისთვის $-c = -0{,}6$ (უარყოფითი, ამგლეჯი წნევა).

γ_f —საიმედოობის კოეფიციენტი ქარის დატვირთვის მიხედვით; იგი მიიღება 1,2-ის ტოლი (მუხლი 6.18 [8]); k —შენობის სიმაღლეზე ქარის ჩქარული წნევის გადიდების გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი; მიიღება საანგარიშო ზედაპირის დონის და შენობის ადგილმდებარეობის მიხედვით (ცხრ. 7, [8]); m —შენობის ზედაპირზე ქარის პულსაციის კოეფიციენტი (იხ. ცხრ. 9, [8]); H —შენობის სიმაღლე.

ქარის თანაბრად განაწილებული ეკვივალენტური დატვირთვის სიდიდე განისაზღვრება ვერტიკალური კონსტრუქციის ჩამაგრების (საძირკვლის) დონეზე ქარის ფაქტობრივი წნევით წარმოქმნილი M_{act} მღუნავი მომენტის მიხედვით, ფორმულით

$$q = \frac{2M_{act}}{H^2}.$$

ქარის დატვირთვის დინამიკური შემდგენის გათვალისწინების საჭიროებისას, ვერტიკალური მზიდი კონსტრუქციის საკუთარი რხევის პერიოდი შეიძლება განისაზღვროს მიახლოებით, ფორმულით

$$T \approx 0{,}021\, H,\ s,$$

ვინაიდან T-ს გამოთვლის სიზუსტე ქარის დატვირთვის მნიშვნელობაზე დიდ გავლენას არ ახდენს.

ვერტიკალური მზიდი კოსტრუქციების გაანგარიშება წარმოებს დატვირთვების ძირითად და განსაკუთრებულ შეხამებაზე. განსაკუთრებული დატვირთვებიდან სეისმურად აქტიური რაიონებისათვის პირველ რიგში გასათვალისწინებელია სეისმური ზეგავლენა. სეისმური დატვირთვა ძირითადად გამოიხატება ჰორიზონტალური ინერციის ძალებით (საჭიროა იმ გარემოების გათვალისწინება, რომ ნაგებობის სიხისტის გადიდებით სეისმური დატვირთვა დიდდება).

შენობების კონსტრუქციულ სქემებს ერთმანეთისაგან განასხვავებს ჰორიზონტალური დატვირთვის ზიდვის პირობები:

ჩარჩოვანი კონსტრუქციული სისტემის შენობებში როგორც ვერტიკალური, ასევე ჰორიზონტალური დატვირთვები გადაეცემა ჩარჩოს;

კავშიროვანი კონსტრუქციული სისტემის შენობების ვერტიკალური დატვირთვა გადაეცემა ჩარჩოს და ნაწილობრივ დიაფრაგმებს, ჰორიზონტალური დატვირთვები კი სრულად გადაეცემა დიაფრაგმებს;

ჩარჩო-კავშიროვანი კონსტრუქციული სისტემის შენობების ვერტიკალური დატვირთვა გადაეცემა ჩარჩოებს და დიაფრაგმებს. ჰორიზონტალური დატვირთვა გადაეცემა დიაფრაგმებს (ძირითადად) და ჩარჩოებსაც მათი სიხისტის პროპორციულად. ჩვეულებრივ დიაფრაგმებზე მოდის ჰორიზონტალური დატვირთვის 80—90%;

ბირთვიან შენობებზე მოქმედი ქარის დატვირთვები მთლიანად გადაეცემა ბირთვს. მაგრამ, როდესაც შენობის სართულების რაოდენობა აღემატება 50, ბირთვს არ ძალუძს ქარის დატვირთვის ათანა. ამ დროს ქარის დატვირთვაზე მუშაობისათვის იყენებენ შენობის გარე კონტურზე განლაგებულ სვეტებს, რომელთა დაკავშირება ბირთვთან ხდება როსტვერკების მეშვეობით. როსტვერკები — ჰორიზონტალური ხისტი დიაფრაგმები — განლაგდება შენობის სიმაღლეზე რამდენიმე ადგილას, დაახლოებით ყოველ 20 სართულზე. ასეთი შენობების გაანგარიშებისას დისკრეტულ-კონტინუალური საანგარიშო კონსტრუქციული მოდელის ნაცვლად გამოყენებული უნდა იქნეს დისკრეტული, რადგან როსტვერკების მცირე რაოდენობისას შენობის სიმაღლეზე კავშირების უწყვეტი განაწილების სქემა მართებული არ არის.

შენობების სხვადასხვა მიმართულების კონსტრუქციული სქემები შეიძლება განსხვავებული აღმოჩნდეს, იქმნება შერეული კონსტრუქციული სისტემა.

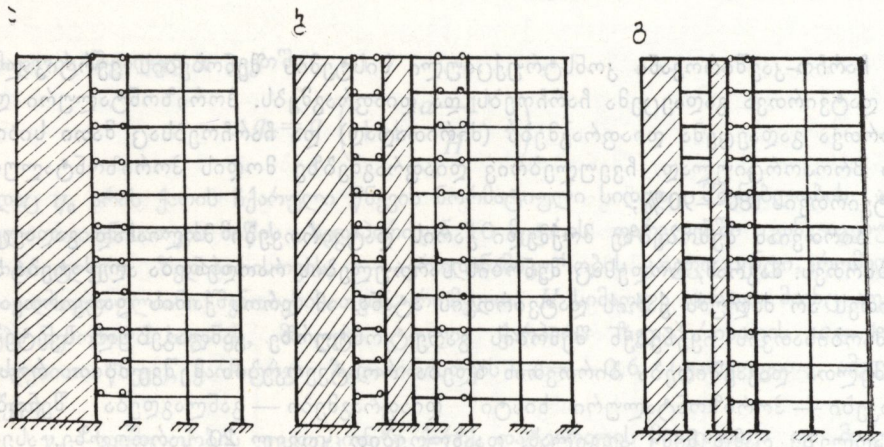
ყოველგვარი კონსტრუქციული სისტემის მრავალსართულიანი შენობების ვერტიკალური მზიდი კონსტრუქციების გაანგარიშება შეიძლება ჩატარდეს გამარტივების სხვადასხვა ხერხის გამოყენებით.

ჩარჩოვანი მზიდი სისტემის სივრცული კონსტრუქცია შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს ბრტყელი ჩარჩოების ერთობლიობის სახით, მაშინ ყოველი ჩარჩო იანგარიშება დამოუკიდებლად, საკუთრივ მასზე მოსული ვერტიკალური და ჰორიზონტალური დატვირთვების ძირითად და განსაკუთრებულ შეხამებაზე.

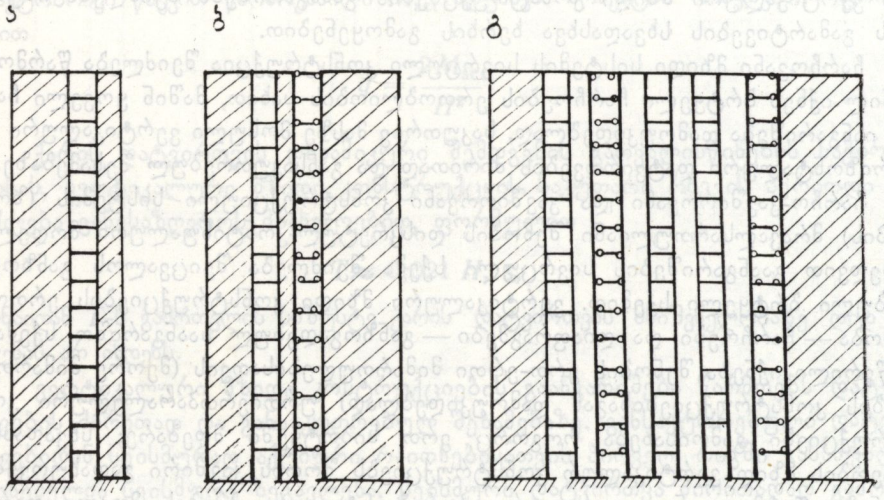
ჩარჩო-კავშიროვანი და კავშიროვანი კონსტრუქციული სისტემის (ზოგი ტიპის) მრავალსართულიანი შენობის დისკრეტულ-კონტინუალური მოდელის მიხედვით გაანგარიშების სივრცული სქემა შეიძლება შეიცვალოს განზოგადებული ბრტყელი სქემით. ვერტიკალური მზიდი კონსტრუქციების ერთობლიობა — ჩარჩოები და დიაფრაგმები — განზოგადებულ საანგარიშო სქემაში აღწერილი იქნება შენობის ერთ-ერთი მიმართულებისათვის (მეორე მიმართულების კონსტრუქციებისაგან დამოუკიდებლად) ურთიერთპარალელური კონსტრუქციები გამოისახება როგორც ერთ სიბრტყეში მდებარე; სხვადასხვა სახეობის მზიდ ვერტიკალურ კონსტრუქციებს შორის კავშირი გადახურვების დონეზე წარმოდგენილია როგორც ჰორიზონტალური ბმების მოკლე ღეროები, დაკავშირებული სახსრულად ვერტიკალურ კონსტრუქციებთან.

ჩარჩო-კავშიროვანი სისტემის ვერტიკალური მზიდი კონსტრუქციის განზოგადებული საანგარიშო სქემა გამოსახულია XV.50 ნახაზზე, ხოლო კავშიროვანი სისტემისა — XV.51 ნახაზზე.

საანგარიშო სქემებისათვის ვერტიკალური დიაფრაგმების სიხისტე მიიღება შენობის ბლოკში ერთი და იმავე მიმართულებით, ურთიერთპარალელურად განლაგებული დიაფრაგმების (ერთი და იმავე სახეობის დიაფრაგმების) ჯამური სიხისტის ტოლი. ჩარჩოს ელემენტების სიხისტე ავრეთვე მიიღება შესაბამისი მიმართულების ჩარჩოების ელემენტების ჯამური სიხისტის ტოლი.



ნახ. XV.50. ჩარჩო-კავშიროვანი სისტემის განზოგადებული საანგარიშო სქემები: ა—მთლიანი (ყრუ), ბ—მთლიანი და კომბინირებული, გ—ღიობებიანი დიაფრაგმების გამოყენებისას.



ნახ. XV.51. კავშიროვანი სისტემის განზოგადებული საანგარიშო სქემები: ა—ღიობებიანი, ბ—ღიობებიანი და მთლიანი, გ—სხვადასხვა ტიპის დიაფრაგმების გამოყენებისას.

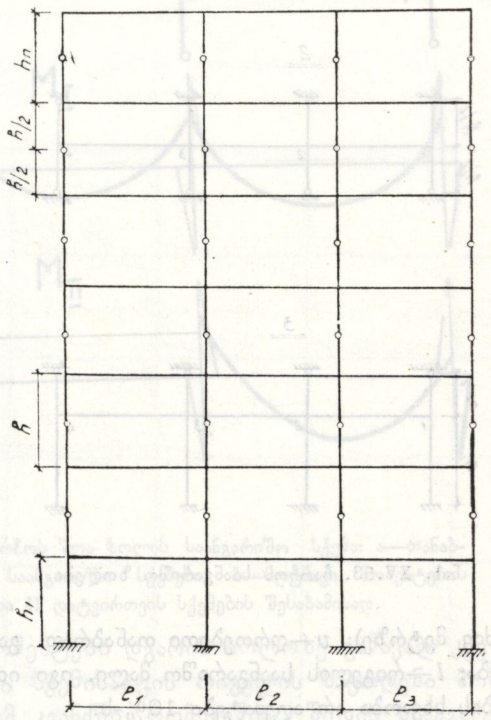
3. მრავალსართულიანი ჩარჩოები

მრავალსართულიანი ჩარჩოების — სტატიკურად ურკვევი სისტემების ზუსტი გაანგარიშება შრომატევადი ამოცანაა და ამჟამად ელექტრონული გამომთვლელი მანქანების დახმარებით სრულდება.

რკინაბეტონის მრავალსართულიანი სიბრტყითი ჩარჩოების გაანგარიშების გამარტივებული, მიახლოებითი (პრაქტიკული მიზნებისათვის საკმაო სიზუსტის) მეთოდებიდან აღსანიშნავია კვანძების მიმდევრობითი გაწონასწორებისა და ნულოვანი სამომენტო წერტილების მეთოდი. ნულოვანი სამომენტო წერტილების მეთოდი გამოირჩევა გაანგარიშების შედარებით ნაკლები შრომატევადობით (შესაძლოა ცხრილების დახმარებით საანგარიშო ძალვების გამოთვლა).

ნულოვანი სამომენტო წერტილების მეთოდით გაანგარიშება მიზანშეწონილია რეგულარული ჩარჩოებისათვის როგორც ვერტიკალური, ასევე ჰორიზონტალური დატვირთვების მოქმედებაზე.

ნულოვანი სამომენტო წერტილების მეთოდი ემყარება ასაწყობი რკინაბეტონის რეგულარული ჩარჩოების შემდეგ თავისებურებებს: ყოველი სართულის რიგელი თანაბარი (ან თითქმის თანაბარი) კვეთისაა; სართულის ფარგლებში დგარების სიხისტე თითქმის თანაბარია; მეზობელი სართულების დგარებისა და რიგელების (შესაბამისი) სიხისტეები ერთნაირი ან უმნიშვნელოდ განსხვავებულია; დროებითი დატვირთვის სიდიდე ყოველ სართულზე თითქმის ერთნაირია.

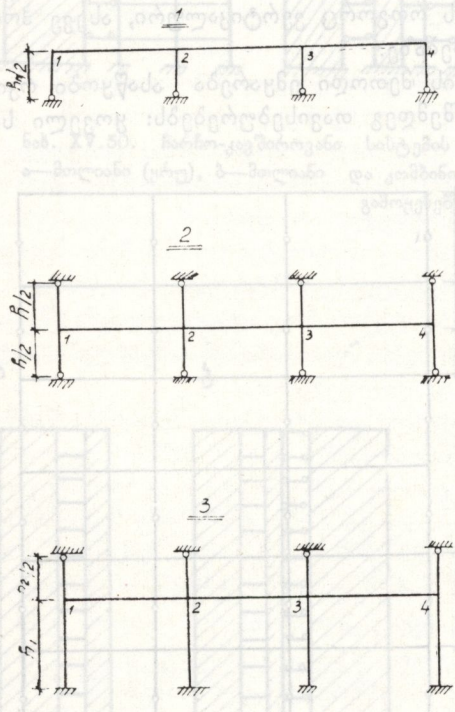


ნახ. XV.52. მრავალსართულიანი ჩარჩოს საანგარიშო სქემა ნულოვანი წერტილების მიხედვით.

შესაბამისად, დატვირთვათა მოქმედება გამოიწვევს ერთ ვერტიკალზე განლაგებული მეზობელი კვანძების მობრუნებას ერთი და იმავე კუთხით, ე. ი. ერთი და იმავე სიდიდის საკვანძო მომენტებს; დეფორმირებული დგარების გადაღუნვა—მღუნავი მომენტების ნიშნის შეცვლა—მოხდება დგარების სიმაღლის შუაზე, გამონაკლისს შეადგენს მხოლოდ ქვედა სართულის დგარები. დგარების მღუნავი მომენტების ნულოვანი წერტილების გარკვეული მდებარეობის შესაბამისად ჩარჩოს საანგარიშო სქემა მიიღება ნულოვანი სამომენტო წერტილებში განლაგებული სახსრებით (ნახ.XV.52).

ვერტიკალური დატვირთვების მოქმედებაზე გაანგარიშება საანგარიშო სქემის მიხედვით შეიძლება ჩატარდეს მრავალსართულიანი ჩარჩოდან გამოყოფილი სამი ტიპის ზოლისათვის: 1 — ზედა სართულის, 2 — შუა სართულის, 3 — ქვედა სართულის (ნახ.XV.53).

ყოველი ზოლის გაანგარიშება შეიძლება ცხრილების დახმარებით (დანართი 31 და ცხრ. 8.2.12—8.2.17,[49]: ორ-, სამ- და ოთხმალიანი ჩარჩოებისათვის დგარების ბოლოების ჩამაგრების პირობებისა და რიგელისა და დგარების გრძივ სიხისტეთა თანაფარდობის მიხედვით შედგენილია ცხრილები დატვირთვების სხვადასხვა სქემისათვის, როდესაც მალში დატვირთვა ძევს საყრდენების მიმართ სიმეტრიულად. ცხრილის კოეფიციენტები შედგენილია რიგელის ყოველი მალის საყრდენ კვეთებში მომენტების განსასაზღვრავად პარამეტრის $n=\frac{i}{i_{col}}$ მიხედვით.



ნახ. XV.53. ჩარჩოს საანგარიშო ზოლები.

i არის რიგელის გრძივი სიხისტე $i=\frac{B}{l}$, ხოლო $i_{col}=\frac{B_{col}}{l_{col}}$ – სვეტის გრძივი სიხისტე. ჩარჩოს ელემენტების სიხისტე შეიძლება განისაზღვროს როგორც ბეტონის ელემენტებისათვის $B=E_bI$, $B_{col}=E_bI_{col}$.

რიგელის საყრდენ კვეთებში მღუნავი მომენტები დატვირთვების არახელსაყრელი განლაგებისას განისაზღვრება ფორმულით

$$M=(\alpha g+\beta v)\,l^2,$$

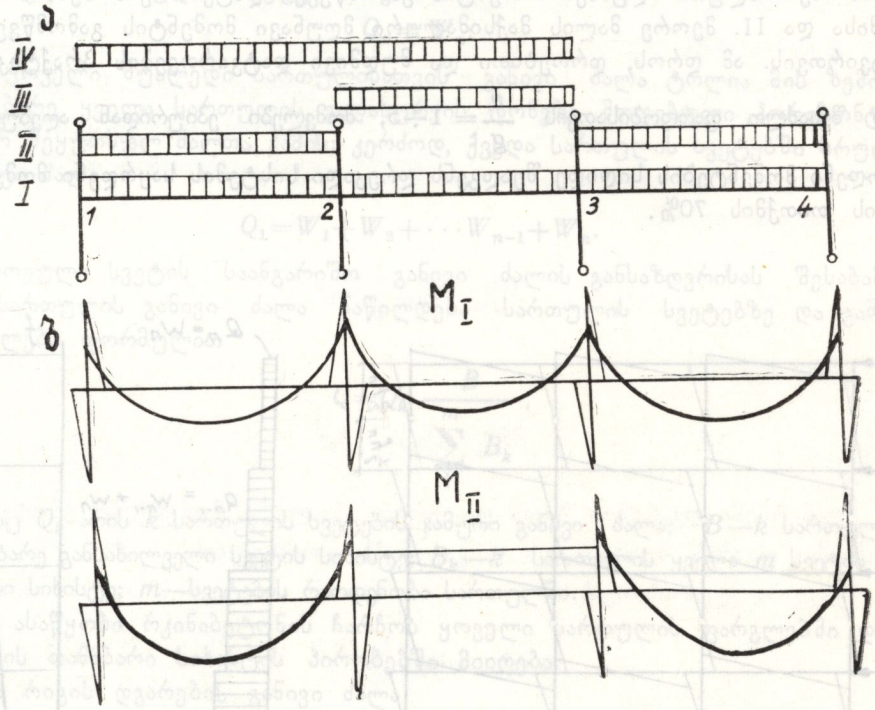
სადაც α არის მუდმივი დატვირთვების საანგარიშო სქემის შესაბამისი ცხრილის კოეფიციენტი განსახილველი კვეთისათვის; β— დროებითი დატვირთვის საანგარიშო სქემის (განსახილველი კვეთისათვის არახელსაყრელი) შესაბამისი ცხრილის კოეფიციენტი; g— მუდმივი თანაბრად განაწილებული დატვირთვის ინტენსიურობა (დატვირთვა გრძივ მეტრზე); v—დროებითი თანაბრად განაწილებული დატვირთვის ინტენსიურობა; l—რიგელის საანგარიშო მალი. იგი ითვლება ტოლმალიანად, როდესაც მალების სხვაობა არ აღემატება 10%-ს.

თანაბრად განაწილებული დატვირთვისათვის შედგენილი ცხრილებით სარგებლობისას სხვა სახის დატვირთვები დაიყვანება ეკვივალენტურ თანაბრად განაწილებულზე (საყრდენი მომენტების მიხედვით).

მრავალმალიანი ჩარჩოები, ოთხი და მეტი მალების რაოდენობით იანგარიშება სამმალიანი ან ოთხმალიანი ჩარჩოს საანგარიშო ცხრილების დახმარებით (ცხრ. 8.2. 17[48]; დანართი XXXI); მრავალმალიანი ჩარჩოს პირველი და ბოლო მალის ძალვები იანგარიშება ისე, როგორც სამ- ან ოთხმალიანი ჩარჩოს პირველი მალისათვის, ხოლო შუალედი მალებისა ისე, როგორც სამ-, ოთხმალიანი ჩარჩოს მეორე მალისათვის.

სამმალიანი ჩარჩოს საანგარიშო სქემები და მღუნავი მომენტის ეპიურები გამოსახულია XV.54 ნახაზზე.

რიგელის საყრდენ კვეთებში მღუნავი მომენტების განსაზღვრის შემდეგ რიგელის ყოველი მალის მღუნავი მომენტები და განივი ძალები იანგარიშება, როგორც საყრდენებზე თავისუფლად მდებარე ერთმალიანი კოჭებისათვის გარე დატვირთვისა და საყრდენი მომენტების ერთობლივ მოქმედებაზე დატვირთვის ყოველი სქემისათვის; აიგება მომვლები ეპიურები.



ნახ. XV.54. მრავალსართულიანი ჩარჩოს შუა ზოლის საანგარიშო სქემა: ა—თანაბრად განაწილებული დატვირთვების საანგარიშო სქემები; ბ—მღუნავი მომენტების ეპიურები (M_I და M_{II}) I და II დატვირთვის სქემების შესაბამისად.

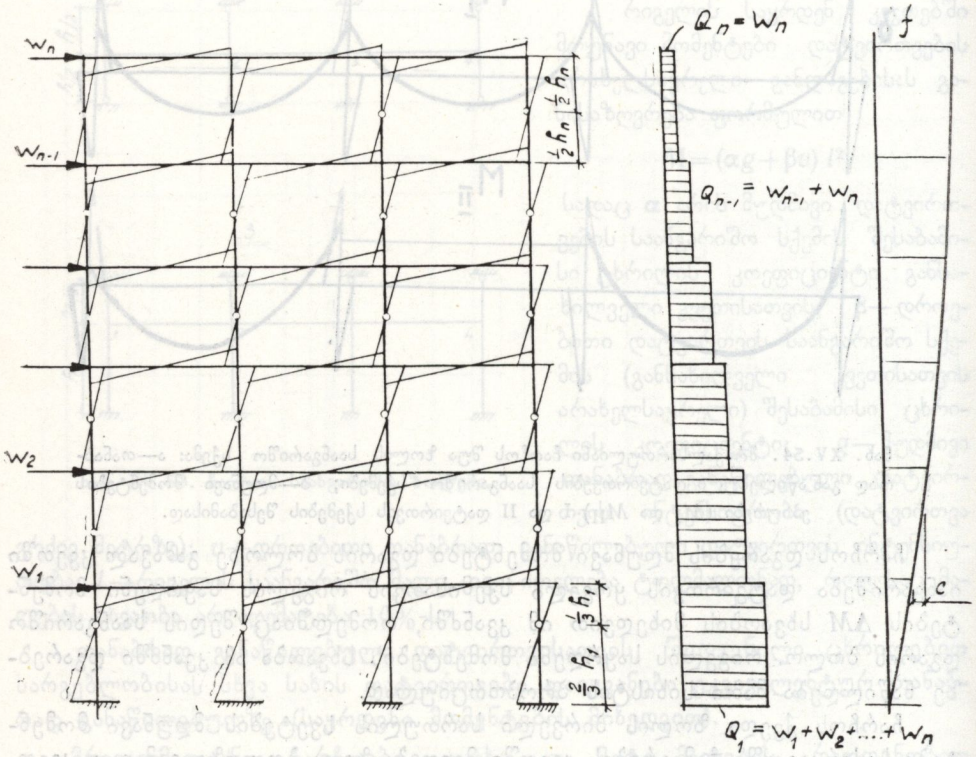
ჩარჩოს დგარების მღუნავი მომენტები დგარის ბოლოზე გამავალ კვეთში იანგარიშება დატვირთვის ყოველი სქემისათვის რიგელის საყრდენი მომენტების ΔM სხვაობის მიხედვით იმ კვანძში, რომელშიაც შედის საანგარიშო დგარის ბოლო. რიგელის საყრდენი მომენტების სხვაობა ამ კვანძში დგარებზე ნაწილდება მათი სიხისტის პროპორციულად.

ჩარჩოს ქვედა ზოლის პირველი სართულის სვეტების მღუნავი მომენტები საძირკველში ჩამაგრების კვეთში მიიღება ზედა ბოლოზე გამავალ კვეთში მოქმედი მომენტის მესამედის ტოლი.

ჩარჩოს ვერტიკალური დატვირთვით გამოწვეული მღუნავი მომენტები ცხრილების მეშვეობით იანგარიშება მასალის დრეკადი მუშაობის პირობით. რკინაბეტონის პლასტიკური დეფორმაციის გათვალისწინებით უნდა მოხდეს ძალების გადანაწილება [46].

ისევე, როგორც მრავალმალიანი კოჭებისათვის თავისუფლად დაყრდნობილი ბოლოებით, მრავალმალიანი ჩარჩოსთვისაც შესაძლოა გადანაწილებული მღუნავი მომენტების ეპიურების გამარტივებულად აგება ცხრილების გამოყენებით.

მღუნავი მომენტების გადანაწილებულ მომვლებ ეპიურად შეიძლება ჩაითვალოს მომვლები ეპიურა დატვირთვის ორი სქემის მიხედვით: I. პირველი მალის მაქსიმალური მღუნავი მომენტის გამომწვევი დატვირთვის შესაბამისი სქემისა და II. მეორე მალის მაქსიმალური მღუნავი მომენტის გამომწვევი დატვირთვის. ამ დროს, დროებითი და მუდმივი დატვირთვების პრაქტიკულად შესაძლო ფარდობისათვის $\frac{v}{g} = 1 \div 5$, მომვლები ეპიურიდან აღებული საყრდენი მომენტების სიდიდე შეადგენს დრეკადი სისტემის საყრდენი მომენტების თითქმის 70%.



ნახ. XV.55. მრავალსართულიანი ჩარჩოს საანგარიშო სქემა ნულოვანი წერტილების მეთოდით ქარის დატვირთვაზე ძალვების განსაზღვრისას.

ქარის ჰორიზონტალურ დატვირთვაზე მრავალსართულიანი ჩარჩოს გაანგარიშება ნულოვანი სამომენტო წერტილების მეთოდით წარმოებს საანგარიშო სქემის მიხედვით, რომელიც გამოსახულია XV.55 ნახაზზე.

ქარის დატვირთვა მოიდება ჩარჩოზე შეყურსული ძალების სახით გადახურვების დონეზე. ქარის დატვირთვა განისაზღვრება როგორც განსახილველ დონეზე ქარის წნევების ჯამი შესაბამისად ქარპირა და ქარზურგა სატვირთო ფართობიდან.

განისაზღვრება ჩარჩოს ყოველ სართულში სვეტების საერთო განივი ძალა, როგორც კონსოლური ვერტიკალური ღეროსათვის:

განივი ძალები:

ზედა სართულის სვეტებისათვის

$$Q_n = W_n;$$

ყოველი შუალედი სართულისათვის განივი ძალა ტოლია მის ზემოთ მდებარე ყველა სართულის გადახურვის დონეზე მოდებული ჰორიზონტალურ შეყურსულ ძალთა ჯამის; კერძოდ, ქვედა სართულის სვეტებში სრული განივი ძალა

$$Q_1 = W_1 + W_2 + \cdots W_{n-1} + W_n.$$

თითოეული სვეტის საანგარიშო განივი ძალის განსაზღვრისას შესაბამისი სართულის განივი ძალა ნაწილდება სართულის სვეტებზე და გამოითვლება ფორმულით

$$Q = Q_k \frac{B}{\sum_1^m B_k},$$

სადაც Q_k არის k სართულის სვეტების ჯამური განივი ძალა; B—k სართულში მდებარე განსახილველი სვეტის სიხისტე; B_k—k სართულის ყველა m სვეტის ჯამური სიხისტე; m—სვეტების რაოდენობა სართულში.

ასაწყობი რკინაბეტონის ჩარჩოს ყოველი სართულის ფარგლებში დგარების თანაბარი სიხისტის პირობებში მიიღება:

შუა რიგის დგარების განივი ძალა

$$Q_{შუა} = \frac{Q_k}{m - 2(1 - \beta)};$$

კიდურა დგარებისა

$$Q_{კიდ} = \beta Q_{შუა},$$

სადაც m არის დგარების რაოდენობა განსახილველი სართულის ფარგლებში; β—კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს კიდურა დგარის უფრო სუსტად ჩამაგრებას შუა დგართან შედარებით, რიგელის ცალმხრივი კავშირის გამო; მიიღება რიგელებისა და რიგელსქვედა დგარის გრძივ სიხისტეთა ფარდობის მიხედვით (ცხრილი XV.4)

ცხრილი XV.4

$\frac{i}{i_{col}}$	ყველა სართულზე, გარდა პირველისა						პირველ სართულზე
	0,25	0,5	1	2	3	4	
β	0,54	0,56	0,62	0,7	0,75	0,79	0,9

განისაზღვრება რა დგარების განივი ძალები, მღუნავი მომენტები დგარების ბოლოზე გამავალ კვეთებში იანგარიშება სამომენტო ნულოვანი წერტილების მდებარეობის შესაბამისად:

პირველი სართულის დგარების ზედა ბოლოზე:

კიდურა დგარში

$$M^{\text{ზ}}_{\text{კიდ}} = Q_{\text{კიდ}} \frac{h_1}{3};$$

შუა დგარში

$$M^{\text{ზ}}_{\text{შუა}} = Q_{\text{შუა}} \frac{h_1}{3}.$$

პირველი სართულის დგარების ქვედა ბოლოზე:

კიდურა დგარში

$$M^{\text{ქვ}}_{\text{კიდ}} = Q_{\text{კიდ}} \frac{2}{3} h_1;$$

შუა დგარში

$$M^{\text{ქვ}}_{\text{შუა}} = Q_{\text{შუა}} \frac{2}{3} h_1;$$

დანარჩენი დგარების ზედა და ქვედა ბოლოზე მომენტები ერთნაირია (სახსარი დგარის შუაზეა) და იანგარიშება ფორმულით:

კიდურა დგარისათვის

$$M_{\text{კიდ}} = Q_{\text{კიდ}} \frac{h_k}{2};$$

შუა დგარისათვის

$$M_{\text{შუა}} = Q_{\text{შუა}} \frac{h_k}{2}.$$

მღუნავი მომენტების სიდიდე რიგელის საყრდენ კვეთებში განისაზღვრება კვანძების წონასწორობის პირობით. რიგელის კიდურა მალის კიდურა დგართან საყრდენ კვეთში მომენტის სიდიდე დგარების მომენტების ჯამის ტოლია. შუალედი კვანძების დგარების მომენტების ჯამი ნაწილდება კვანძში შემავალი რიგელების სიხისტეთა პროპორციულად.

მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების განსაზღვრის შემდეგ გამოითვლება გრძივი ძალები დგარებში. რიგელების კონსტრუქციული გაანგარიშება ჩატარდება როგორც ღუნვადი ელემენტებისათვის, ხოლო დგარებისა — როგორც არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტებისათვის.

ზედა სართულის დონეზე ჩარჩოს გადაადგილება, გამოწვეული ქარის ჰორიზონტალური დატვირთვით, იზღუდება პირობით

$$f \leqslant \frac{H}{1000}.$$

გარდა ამისა, უნდა შემოწმდეს მრავალსართულიანი შენობის რხევების აჩქარება ქარის კვეთებისაგან, აჩქარება მიიღება არაუმეტეს 15 cm/s^2.

ჩარჩოვანი კონსტრუქციული სისტემის მრავალსართულიანი შენობის საანგარიშო სქემა ქარის დატვირთვით გამოწვეული გადაადგილების გაანგარიშებისას მიიღება როგორც ბრტყელი ჩარჩო, რომლის ელემენტების სიხისტე შენობის ბლოკის ფარგლებში მოქცეული ყველა ჩარჩოს შესაბამისი ელემენტების სიხისტეთა ჯამის ტოლია.

საშენებლო პორტალი
MSHENEBLOBA.INFO

დანართები

დანართი I

ძირითადი ასოითი აღნიშვნები

ძალები გარე დატვირთვებისა და ზემოქმედებისაგან ელემენტის განივკვეთში

M — მღუნავი მომენტი;
N — გრძივი ძალა;
Q — განივი ძალა;
T — მგრეხი მომენტი.

წინასწარ დაძაბული ელემენტის მახასიათებლები

P — წინასწარი მოკუმშვის ძალა, ელემენტის მუშაობის განსახილველი სტადიის შესაბამისი წინასწარი ძაბვების კარგვის გათვალისწინებით;

σ_{sp}, σ'_{sp} — წინასწარი ძაბვები S და S' დაძაბულ არმატურაში შესაბამისად, ბეტონის მოკუმშვამდე (საბჯენებზე არმატურის დაჭიმვისას) ან ბეტონის წინასწარი ძაბვების ჩაქრობის დროს ელემენტზე გარე ფაქტობრივი ან პირობითი ძალების ზემოქმედებით. განისაზღვრება ელემენტის მუშაობის განსახილველი სტადიის შესაბამისი წინასწარი ძაბვების კარგვის გათვალისწინებით არმატურაში;

σ_{bp} — ბეტონის მკუმშავი ძაბვები წინასწარი მოკუმშვის სტადიაზე. განისაზღვრება ელემენტის მუშაობის განსახილველი სტადიის შესაბამისი არმატურის წინასწარი ძაბვების კარგვის გათვალისწინებით;

γ_{sp} — არმატურის დაჭიმვის სიზუსტის კოეფიციენტი.

მასალების მახასიათებლები

R_b, $R_{b.ser}$ — ბეტონის საანგარიშო წინაღობა ღერძულ კუმშვაზე შესაბამისად პირველი და მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისათვის;

R_{bt}, $R_{bt.ser}$ — ბეტონის საანგარიშო წინაღობა ღერძულ გაჭიმვაზე შესაბამისად პირველი და მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისათვის;

$R_{b,loc}$ — ბეტონის საანგარიშო წინაღობა თელვაზე;

R_{bp} — ბეტონის სიმტკიცე მომკუმშავი ძალის გადაცემის დროს;

R_s, $R_{s,ser}$ — არმატურის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე შესაბამისად პირველი და მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისათვის;

R_{sw} — განივი არმატურის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე;

R_{sc}—არმატურის საანგარიშო წინაღობა კუმშვაზე პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისათვის;

E_b—ბეტონის საწყისი დრეკადობის მოდული კუმშვისა და გაჭიმვისას;

E_s—არმატურის დრეკადობის მოდული.

გრძივი არმატურის მდებარეობის მახასიათებლები ელემენტის განივკვეთში

S—გრძივი არმატურის აღნიშვნა, რომელიც მდებარეობს:

ა) იმ კვეთების გაჭიმულ ზონაში, რომელთაც გააჩნიათ გარე დატვირთვისაგან შეკუმშული და გაჭიმული ზონა;

ბ) გარე დატვირთვით მთლიანად შეკუმშული კვეთის ნაკლებ შეკუმშულ წახნაგთან;

გ) გარე დატვირთვის მოქმედებით მთლიანად გაჭიმულ კვეთში; არაცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების კვეთის მეტად გაჭიმულ წახნაგთან;

ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების მთელ განივკვეთში.

S'—გრძივი არმატურის აღნიშვნა, რომელიც მდებარეობს:

ა) შეკუმშულ ზონაში, როდესაც გარე დატვირთვის მოქმედებით კვეთს გააჩნია შეკუმშული და გაჭიმული ზონა;

ბ) გარე დატვირთვით მთლიანად შეკუმშული კვეთის უფრო შეკუმშულ წახნაგთან;

გ) კვეთის ნაკლებდაძაბულ გაჭიმულ წახნაგთან, როდესაც არაცენტრალურად გაჭიმული ელემენტის მთელი კვეთი გაჭიმულია.

გეომეტრიული მახასიათებლები

b—მართკუთხა კვეთის სიგანე; ტესებრი და ორტესებრი კვეთის წიბოს სიგანე;

b_f, b'_f—ტესებრი და ორტესებრი კვეთის გაჭიმულ და შეკუმშულ ზონაში მდებარე თაროს სიგანე;

h—კვეთის სიმაღლე;

h_f, h'_f—ტესებრი და ორტესებრი კვეთის გაჭიმულ და შეკუმშულ ზონაში მდებარე თაროს სიმაღლე;

a, a'—შესაბამისად S და S' არმატურის ძალვების ტოლქმედის დაშორება მათი უახლოესი წახნაგიდან;

h_0, h'_0—კვეთის მუშა სიმაღლე, რომელიც შესაბამისად ტოლია $h-a$ და $h-a'$;

x—ბეტონის შეკუმშული ზონის სიმაღლე;

ξ—ბეტონის შეკუმშული ზონის ფარდობითი სიმაღლე, ტოლი $\frac{x}{h_0}$;

s—საკიდებს შორის მანძილი, რომელიც იზომება ელემენტის გრძივად;

e_0—გრძივი N ძალის ექსცენტრისიტეტი დაყვანილი კვეთის სიმძიმის ცენტრის მიმართ;

e_{op}—წინასწარი P მომკუმშავი ძალვის ექსცენტრისიტეტი დაყვანილი კვეთის სიმძიმის ცენტრის მიმართ;

$e_{0.\text{tot}}$—N გრძივი ძალისა და P წინასწარი მომკუმშავი ძალის ტოლქმედის ექსცენტრისიტეტი დაყვანილი კვეთის სიმძიმის ცენტრის მიმართ;

e, e'—მანძილები N გრძივი ძალიდან შესაბამისად S და S' არმატურის ძალვების ტოლქმედებამდე;

e_s, e_{sp}—მანძილები შესაბამისად N გრძივი ძალისა და P წინასწარი მომკუმშავი ძალვის მოდების წერტილიდან S არმატურის განივკვეთის ფართობის სიმძიმის ცენტრამდე;

l—ელემენტის მალი;

l_0—საანგარიშო სიგრძე ელემენტისა, რომელიც განიცდის მკუმშავი გრძივი ძალის მოქმედებას;

i—ელემენტის განივკვეთის ინერციის რადიუსი ელემენტის კვეთის ცენტრალური ღერძის მიმართ;

d—საარმატურე ფოლადის ღეროების ნომინალური დიამეტრი;

A_s, A'_s—შესაბამისად S და S' არმატურის (დაუძაბავის, ან დაუძაბავი და დაძაბულის) კვეთის ფართობები;

A_{sp}, A'_{sp}—დაძაბული S და S' არმატურის კვეთის ფართობები;

A_{sw}—დახრილ კვეთზე გამავალი, ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალურ ერთ სიბრტყეში მდებარე საკიდების კვეთის ფართობი;

$A_{s,\text{inc}}$—დახრილ კვეთზე გამავალი, ელემენტის გრძივი ღერძისადმი დახრილ ერთ სიბრტყეში მდებარე აღუნული ღეროების კვეთის ფართობი;

μ—დაარმატურების კოეფიციენტი. იგი განისაზღვრება, როგორც S არმატურის განივკვეთის ფართობის შეფარდება ელემენტის განივკვეთის ფართობთან (გაჭიმული და შეკუმშული თაროების შვერილების გაუთვალისწინებლად);

A—ელემენტის განივკვეთის მთელი ბეტონის ფართობი;

A_b—ბეტონის შეკუმშული ზონის კვეთის ფართობი;

A_{bt}—ბეტონის გაჭიმული ზონის კვეთის ფართობი;

A_{red}—ელემენტის დაყვანილი კვეთის ფართობი;

$A_{\text{loc.}1}$—ბეტონის თელვის ფართობი;

S_{b0}, S'_{b0}—შესაბამისად გაჭიმული და შეკუმშული ზონის ბეტონის კვეთის ფართობის სტატიკური მომენტი ნულოვანი ხაზის მიმართ;

S_{s0}, S'_{s0}—შესაბამისად S და S' არმატურის კვეთის ფართობების სტატიკური მომენტი ნულოვანი ხაზის მიმართ;

I—ბეტონის კვეთის ინერციის მომენტი ელემენტის კვეთის ცენტრალური ღერძის მიმართ;

I_{red}—ელემენტის დაყვანილი კვეთის ინერციის მომენტი მის სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ღერძის მიმართ;

I_s—არმატურის კვეთის ფართობის ინერციის მომენტი ელემენტის კვეთის ცენტრალური ღერძის მიმართ;

I_{b0}—შეკუმშული ზონის ბეტონის კვეთის ფართობის ინერციის მომენტი ნულოვანი ხაზის მიმართ;

I_{s0}, I'_{s0}—ინერციის მომენტები შესაბამისად S და S' არმატურის კვეთის ფართობებისა ნულოვანი ხაზის მიმართ;

W_{red}—ელემენტის დაყვანილი კვეთის წინაღობის მომენტი გაჭიმული კიდურა ბოჭკოსათვის (განისაზღვრება როგორც დრეკადი მასალისათვის).

ცხრილი 1

კონსტრუქციების მუშაობის პირობები	რკინაბეტონის კონსტრუქციების ბზარმედეგობისადმი წაყენებულ მოთხოვნათა კატეგორია და ზღვრულად დასაშვები ბზარის გახსნის სიგანე $a_{crc\cdot1}$ და $a_{crc\cdot2}$, მმ, როდესაც უზრუნველყოფილია შეუღწევადობა
1. ელემენტები, რომლებიც განიცდიან სითხეებისა და გაზის დაწნევას: მთლიანად გაჭიმული კვეთით	პირველი კატეგორია*
ნაწილობრივ შეკუმშული კვეთით	მესამე კატეგორია: $a_{crc\cdot1}=0,3$; $a_{crc\cdot2}=0,2$.
2. ელემენტები, რომლებიც განიცდიან ფხვიერი მასალის დაწოლას	მესამე კატეგორია: $a_{crc\cdot1}=0,3$; $a_{crc\cdot2}=0,2$.

* ეს კონსტრუქციები უნდა განხორციელდეს წინასწარი დაძაბვით. როდესაც მათი აგება დაშვებულია (სპეციალური დასაბუთებით) დაუძაბავად, ბზარმედეგობის მიხედვით წაყენებათ მესამე კატეგორიის მოთხოვნა.

ცხრილი 2

კონსტრუქციების ექსპლუატაციის პირობები	რკინაბეტონის კონსტრუქციების ბზარმედეგობისადმი წაყენებულ მოთხოვნათა კატეგორია და ზღვრულად დასაშვები ბზარის გახსნის სიგანე $a_{crc\cdot1}$ და $a_{crc\cdot2}$, მმ, როდესაც უზრუნველყოფილია არმატურის უვნებლობა		
	ღეროვანი არმატურისა A—I, A — II, A — III, A—IIIв, A—IV; მავთულოვანი არმატურისა B—I და Bp — I კლასის	ღეროვანი არმატურისა A — V, A — VI კლასის; მავთულოვანი არმატურისა B—II, Bp—II, K—7 და K—19 კლასისა, როდესაც მავთულის დიამეტრი 3,5 მმ და მეტია	მავთულოვანი არმატურისა B — II, Bp — II და K — 7, როდესაც მავთულის დიამეტრი 3 მმ და ნაკლებია
1. დახურულ შენობაში	მე-3 კატეგორია; $a_{crc\cdot1}=0,4$; $a_{crc\cdot2}=0,3$;	მე-3 კატეგორია; $a_{crc\cdot1}=0,3$; $a_{crc\cdot2}=0,2$;	მე-3 კატეგორია; $a_{crc\cdot1}=0,2$; $a_{crc\cdot2}=0,1$
2. ღია ჰაერზე და გრუნტში	მე-3 კატეგორია; $a_{crc\cdot1}=0,4$; $a_{crc\cdot2}=0,3$	მე-3 კატეგორია; $a_{crc\cdot1}=0,2$; $a_{crc\cdot2}=0,1$	2-ე კატეგორია; $a_{crc\cdot1}=0,2$
3. გრუნტში; ცვლადი დონის გრუნტის წყლების არსებობისას	მე-3 კატეგორია; $a_{crc\cdot1}=0,3$; $a_{crc\cdot2}=0,2$	მე-2 კატეგორია; $a_{crc\cdot1}=0,2$	მე-2 კატეგორია; $a_{crc\cdot1}=0,1$

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: ბავირების მავთულების დიამეტრში იგულისხმება გარე ფენის მავთულები.

დანართი III

რკინაბეტონის კონსტრუქციების ბზარმედეგობისადმი წაყენებულ მოთხოვნათა კატეგორია	დატვირთვები და γ_f საიმედოობის კოეფიციენტი ბზარმედეგობაზე გაანგარიშებისათვის:			
	ბზარების წარმოქმნის მიხედვით	ბზარების გახსნის მიხედვით		ბზარების დახურვის მიხედვით
		ხანმოკლე	ხანგრძლივი	
1	მუდმივი, ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვები, როდესაც $\gamma_f > 1$*	—	—	—
2	მუდმივი, ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვები, როდესაც $\gamma_f > 1$* (გაანგარიშება ხდება ბზარების ხანმოკლე გახსნისა და მათი დახურვის მიხედვით შემოწმების საჭიროების დასადგენად)	მუდმივი, ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვები, როდესაც $\gamma_f = 1$	—	მუდმივი და ხანგრძლივი დატვირთვები, როდესაც $\gamma_f = 1$
3	მუდმივი, ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვები, როდესაც $\gamma_f = 1$ (გაანგარიშება ხდება ბზარების გახსნის მიხედვით შემოწმების საჭიროების დასადგენად)	იგივე	მუდმივი და ხანგრძლივი დატვირთვები, როდესაც $\gamma_f = 1$	—

* კოეფიციენტი γ_f მიიღება როგორც სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას.

შ ე ნ ი შ ვ ნ ე ბ ი: 1. ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვები მიიღება СН и П 2.03.01—84 1. 12 მუხლის მიხედვით; 2. ბზარების წარმოქმნის მიხედვით გაანგარიშებისას განსაკუთრებულ დატვირთვებს ითვალისწინებენ მაშინ, როდესაც ბზარების არსებობა იწვევს კატასტროფულ მდგომარეობას (აფეთქება, ხანძარი და სხვ.).

დანართი IV

	კონსტრუქციების ელემენტები	f_{lim} ზღვრულად დასაშვები ჩაღუნვები
1	ამწისქვეშა კოჭები:	
	ა) ხელის ამწეებისათვის	$l/500$
	ბ) ელექტრული ამწეებისათვის	$l/600$
2	გადახურვები ბრტყელი ჭერით და სახურავის ელემენტები (გარდა მე-4 პოზიციაში მითითებულისა), რომელთა მალი	
	ა) $l < 6$ მ;	$l/200$
	ბ) $6 \leqslant l \leqslant 7{,}5$ მ;	3 სმ
	გ) $l > 7{,}5$.	$l/250$
3	გადახურვები წიბოვანი ჭერით და კიბის ელემენტები მალებით:	
	ა) $l < 5$ მ;	$l/200$
	ბ) 5 მ $\leqslant l \leqslant 10$ მ;	2,5 სმ
	გ) $l > 10$ მ.	$l/400$
4	კიდული საკედლე პანელები სიბრტყის გარეთ გაანგარიშებისას, რომელთა მალი	
	ა) $l < 6$ მ;	$l/200$
	ბ) 6 მ $\leqslant l \leqslant 7{,}5$ მ;	3 სმ
	გ) $l > 7{,}5$ მ.	$l/250$
5	საწარმოო დანიშნულების სასოფლო-სამეურნეო შენობების სახურავის ელემენტები მალებით:	
	ა) $l < 6$ მ;	$l/150$
	ბ) $6 \leqslant l \leqslant 7{,}5$ მ;	4 სმ
	გ) $l > 7{,}5$ მ.	$l/200$

ა ღ ნ ი შ ვ ნ ე ბ ი: l — კოჭის ან ფილის მალი; კონსოლებისათვის $l = 2l_1$, სადაც l_1 არის კონსოლის შვერი.

ცხრილი 1

ბეტონის სახეობა	საიმედოობის კოეფიციენტები ბეტონისათვის γ_{bc} კუმშვაზე და γ_{bt} გაჭიმვაზე, კონსტრუქციების გაანგარიშებისას ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით			
	პირველი ჯგუფის			მეორე ჯგუფის
	γ_{bc}	γ_{bt} ბეტონის კლასის დანიშვნისას სიმტკიცის მიხედვით:		γ_{bc} და γ_{bt}
		კუმშვაზე	გაჭიმვაზე	
მძიმე, დამძაბავი, წვრილმარცვლოვანი, მსუბუქი და დაფოროვნებული	1,3	1,5	1,3	1,0
უჯრედოვანი	1,5	2,3	—	1,0

ცხრილი 2

არმატურა, კლასი	γ_s საიმედოობის კოეფიციენტი არმატურისთვის კონსტრუქციების გაანგარიშებისას ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით	
	პირველი ჯგუფის	მეორე ჯგუფის
ღეროვანი:		
A — I, A — II	1,05	1,00
A — III დიამეტრით, მმ:		
6 — 8	1,10	1,00
10 — 40	1,07	1,00
A — IV, A — V	1,15	1,00
A — VI	1,20	1,00
A — III в:		
კონტროლი წაგრძელებისა და ძაბვების მიხედვით	1,10	1,00
კონტროლი მხოლოდ წაგრძელების მიხედვით	1,20	1,00
მავთულოვანი:		
Bp — I	1,10	1,00
B — II, Bp — II	1,20	1,00
K —7, K — 19	1,20	1,00

ბეტონი	$E_b \cdot 10^{-3}$ ბეტონის დრეკადობის საწყისი მოდული							
	B 1	B 1,5	B 2	B 2,5	B 3,5	B 5	B 7,5	B 10
მძიმე:								
გამყარებული ბუნებრივ პირობებში	—	—	—	—	9,5 96,9	13,0 133	16,0 163	18,0 184
თბურად დამუშავებული	—	—	—	—	8,5 86,7	11,5 117	14,5 148	16,0 163
ავტოკლავური გამყარების	—	—	—	—	7,0 71,4	9,8 99,5	12,0 122	13,5 138
მსუბუქი და დაფოროვნებული:								
საშუალო სიმკვრივის D 800	—	—	—	4,0 40,8	4,5 45,9	5,0 51,0	5,5 56,1	—
D 1000	—	—	—	5,0 51,0	5,5 56,1	6,3 64,2	7,2 73,4	8,0 81,6
D 1200	—	—	—	6,0 61,2	6,7 68,3	7,6 77,5	8,7 88,7	9,5 96,9
D 1400	—	—	—	7,0 71,4	7,8 79,5	8,8 89,7	10,0 102	11,0 112
D 1600	—	—	—	—	9,0 91,8	10,0 102	11,5 117	12,5 127
D 1800	—	—	—	—	—	11,2 114	13,0 133	14,0 143
D 2000	—	—	—	—	—	—	14,5 148	16,0 163
წვრილმარცვლოვანი:								
A ჯგუფის—ბუნებრივი გამყარების	—	—	—	—	7,0 71,4	10,0 102	13,5 138	15,5 158
A ჯგუფის—თბური დამუშავების	—	—	—	—	6,5 66,3	9,0 91,8	12,5 127	14,0 143
Б ჯგუფის—ბუნებრივი გამყარების	—	—	—	—	6,5 56,1	9,0 81,6	12,0 117	14,0 133
B ჯგუფის—ავტოკლავური გამყარების								

შ ე ნ ი შ ვ ნ ე ბ ი: 1. ხაზზევითა მნიშვნელობები მოცემულია MPa-ში, ხაზქვევითა — კგძ/სმ²

კუმშვასა და გაჭიმვაზე კლასებისათვის სიმტკიცის მიხედვით კუმშვაზე

B 12,5	B 15	B 20	B 25	B 30	B 35	B 40	B 45	B 50	B 55	B 60
21,0	23,0	27,0	30,0	32,5	34,5	36,0	37,0	39,0	39,5	40,0
214	235	275	306	331	352	367	382	398	403	408
19,0	20,5	24,0	27,0	29,0	31,0	32,5	34,0	35,0	35,5	36,0
194	209	245	275	296	316	332	347	357	362	367
16,0	17,0	20,0	22,5	24,5	26,0	27,0	28,0	29,0	29,5	30,0
163	173	204	230	250	265	275	286	296	301	306
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
85,7										
10,0	10,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
100	107									
11,7	12,5	13,5	14,5	15,5	—	—	—	—	—	—
119	127	138	148	158						
13,2	14,0	15,5	16,5	17,5	18,0	—	—	—	—	—
135	143	158	168	178	184					
14,7	15,5	17,0	18,5	19,5	20,5	21,0	—	—	—	—
150	158	173	189	199	209	214				
17,0	18,0	19,5	21,0	22,0	23,0	23,5	—	—	—	—
173	184	199	214	224	235	240				
17,5	19,5	22,0	24,0	26,0	27,5	28,5	—	—	—	—
178	199	224	245	265	280	291				
15,5	17,0	20,0	21,5	23,0	24,0	24,5	—	—	—	—
158	173	204	219	235	245	250				
15,5	17,0	20,0	21,5	23,0	—	—	—	—	—	—
148	158	178	194	209						
	16,5	18,0	19,5	21,0	22,0	23,0	23,5	24,0	24,5	25,0
—	168	184	199	214	224	235	240	245	250	255

2. დაფროვნებული და მსუბუქი ბეტონების E_b სიმკვრივის საშუალედო სიდიდეებისას მიიღება ინტერპოლაციით.

წინაღობის სახეობა	ბეტონი	ბეტონის ნორმატიული წინაღობები R_{bn} და $R_{bt,n}$; ბეტონის საანგარიშო წინაღობები $R_{b,ser}$ და $R_{bt,ser}$ მეორე ჯგუფის ზღრული მდგომარეობისას შემდეგი კლასებისათვის სიმტკიცის მიხედვით კუმშვაზე																
		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_{bn} და $R_{b,ser}$ ღერძული კუმშვა	მძიმე და წვრილმარცვლოვანი	—	—	—	—	2,7 27,5	3,5 35,7	5,5 56,1	7,5 76,5	9,5 96,9	11,0 112	15,0 153	18,5 189	22,0 224	255,5 260	29,0 296	32,0 326	36,0 367	39,5 403	43,0 438
	მსუბუქი	—	—	—	1,9 19,4	2,7 27,5	3,5 35,7	5,5 56,1	7,5 76,5	9,5 96,9	11,0 112	15,0 153	18,5 189	22,0 224	25,5 260	29,0 294	—	—	—	—
$R_{bt,n}$ და $R_{bt,ser}$ ღერძული გაჭიმვა	მძიმე	—	—	—	—	0,39 4,00	0,55 5,61	0,7 7,14	0,85 8,67	1,00 10,2	1,15 11,7	1,40 14,3	1,60 16,3	1,80 18,4	1,95 19,9	2,10 21,4	2,20 22,4	2,30 23,5	2,40 24,5	2,50 25,5
	წვრილმარცვლოვანი:	—	—	—	—	0,39 4,00	0,55 5,61	0,70 7,14	0,85 8,67	1,00 10,2	1,15 11,7	1,40 14,3	1,60 16,3	1,80 18,4	1,95 19,9	2,10 21,4	—	—	—	—
	A ჯგუფის	—	—	—	—	0,26 2,65	0,40 4,08	0,60 6,12	0,70 7,14	0,85 8,67	0,95 9,69	1,15 11,7	1,35 13,8	1,5 15,3	—	—	—	—	—	—
	Б ჯგუფის	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,15 11,7	1,40 14,3	1,60 16,3	1,80 19,9	1,95 22,4	2,10 23,5	2,20 24,5	2,30 25,5	2,40	2,5
	В ჯგუფის				0,29															
	მსუბუქი:	—	—	—	2,96	0,39 4,00	0,55 5,61	0,70 7,14	0,85 8,67	1,00 10,2	1,15 11,7	1,40 14,3	1,60 16,3	1,80 18,4	1,95 19,9	2,10 21,4	—	—	—	—
	მკვრივი წვრილი შემვსებით				0,29															
	ფოროვანი წვრილი შემვსებით	—	—	—	2,96	0,39 4,00	0,55 5,61	0,70 7,14	0,85 8,67	1,00 10,2	1,10 11,2	1,20 12,2	1,35 13,8	1,50 15,3	1,65 16,8	1,80 18,4	—	—	—	—

შ ე ნ ი შ ვ ნ ე ბ ი: 1. ხაზზევითა მნიშვნელობები მოცემულია MP*a*-ში, ხაზქვევითა —კგძ/სმ².

2. ბეტონის სხვა სახეობებისათვის წინაღობების მნიშვნელობები იხილეთ СНиП 2.03.01—84, ცხრილი 12.

წინაღობის სახეობა	ბეტონი	R_b და R_{bt} ბეტონის საანგარიშო წინაღობები პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობებისას, შემდეგი კლასების ბეტონებისათვის სიმტკიცის მიხედვით კუმშვაზე																	
		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_b ღერძული კუმშვა	მძიმე და წვრილმარცვლოვანი	—	—	—	—	2,1 21,4	2,8 28,5	4,5 45,9	6,0 61,2	7,5 76,5	8,5 86,7	11,5 117	14,5 148	17,0 173	19,5 199	22,0 224	25,0 255	27,5 280	30,0 306	33,0 336
	მსუბუქი	—	—	—	1,5 15,3	2,1 21,4	2,8 28,6	4,5 45,9	6,0 61,2	7,5 76,5	8,5 86,7	11,5 117	14,5 148	17,0 173	19,5 199	22,0 224	—	—	—	—
R_{bt} ღერძული გაჭიმვა	მძიმე	—	—	—	—	0,26 2,65	0,37 3,77	0,48 4,89	0,57 5,81	0,66 6,73	0,75 7,65	0,90 9,18	1,05 10,7	1,20 12,2	1,30 13,3	1,40 14,3	1,45 14,8	1,55 15,8	1,60 16,3	1,65 16,8
	წვრილმარცვლოვანი: A ჯგუფის	—	—	—	—	0,26 2,65	0,37 3,77	0,48 4,89	0,97 5,81	0,66 6,73	0,75 7,65	0,90 9,18	1,05 10,7	1,20 12,2	1,30 13,3	1,40 14,3	—	—	—	—
	Б ჯგუფის	—	—	—	—	0,17 1,73	0,27 2,75	0,40 4,08	0,45 4,59	0,57 5,81	0,64 6,53	0,77 7,85	0,90 9,18	1,00 10,2	—	—	—	—	—	—
	B ჯგუფის	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,75 7,65	0,90 9,18	1,05 10,7	1,20 12,2	1,30 13,3	1,40 14,3	1,45 14,8	1,55 15,8	1,60 16,3	1,65 16,8
	მსუბუქი: მკვრივი წვრილი შემვსებით	—	—	—	0,20 2,04	0,26 2,65	0,37 3,77	0,48 4,89	0,57 5,81	0,66 6,73	0,75 7,65	0,90 9,18	1,05 10,7	1,20 12,2	1,30 13,3	1,40 14,3	—	—	—	—
	ფროვანი შემვსებით	—	—	—	0,20 2,04	0,26 2,65	0,37 3,77	0,48 4,89	0,57 5,81	0,66 6,73	0,74 7,55	0,80 8,16	0,90 9,18	1,00 10,2	1,10 11,2	1,20 12,2	—	—	—	—

შ ე ნ ი შ ვ ნ ე ბ ი: 1. ხაზზევითა წინაღობის მნიშვნელობები მოცემულია MPa-ით, ხაზქვევითა — კგძ/სმ²;
2. ცხრილში მოყვანილი R_b და R_{bt} საჭიროებისამებრ გადამრავლდება მუშაობის პირობების γ_{bi} კოეფიციენტზე;
3. ბეტონის სხვა სახეობებისათვის წინაღობები იხილეთ СН и П 2.03.01 — 84 13-ე ცხრილში.

წინაღობის სახეობა	ბეტონი	საანგარიშო წინაღობა ღერძულ გაჭიმვაზე პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისათვის, როდესაც ბეტონის კლასი სიმტკიცის მიხედვით გაჭიმვაზე არის:						
		B_t 0,8	B_t 1,2	B_t 1,6	B_t 2,0	B_t 2,4	B_t 2,8	B_t 3,2
ღერძული გაჭიმვა R_{bt}	მძიმე, დამძაბავი, წვრილმარცვლოვანი და მსუბუქი	0,62 6,32	0,93 9,49	1,25 12,7	1,55 15,8	1,85 18,9	2,15 21,9	2,45 25,0

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: ხაზზევითა მნიშვნელობები გამოსახულია *MPa*, ხაზქვევითა—კგძ/სმ².

ბეტონის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი

№	ფაქტორები, რომლებიც განსაზღვრავენ ბეტონის მუშაობის პირობების კოეფიციენტებს გამოყენებას	მუშაობის პირობების კოეფიციენტი	
		პირობითი აღნიშვნა	რიცხვითი მნიშვნელობა
1	2	3	4
1	მრავალჯერგანმეორებადი დატვირთვა	γ_{b1}	იხ. ცხ. 16, СНиП 2.03.01—84
2	დატვირთვის მოქმედების ხანგრძლივობა:		
	ა) მუდმივი, ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვის გათვალისწინებით, გარდა არახანგრძლივ მოქმედი დატვირთვებისა, რომელთა მოქმედების სრული ხანგრძლივობა ექსპლუატაციის პერიოდში მცირეა (მაგალითად, ამწე-სატრანსპორტო საშუალებების, ქარის; დატვირთვები, რომლებიც წარმოიქმნება დამზადების, ტრანსპორტირებისა და მონტაჟის დროს), აგრეთვე განსაკუთრებული დატვირთების გათვალისწინებით, რომლებიც გამოწვეულია დაჯდომადი, გაჯირჯვებული, მარად გაყინული და სხვ. გრუნტების დეფორმაციისაგან.	γ_{b2}	
	მძიმე, წვრილმარცვლოვანი და მსუბუქი ბეტონებისათვის ბუნებრივ პირობებში და თბური დამუშავებით გამყარების შემთხვევაში:		
	ბეტონის სიმტკიცის ზრდისათვის ხელსაყრელ პირობებში კონსტრუქციის ექსპლუატაციისას (მაგალითად, წყალქვეშ, ტენიან გრუნტში, ან როდესაც ჰაერის ტენიანობა 75%-ზე მეტია);		1,00
	სხვა შემთხვევებში:		0,90
	უჯრედოვანი და დაფოროვნებული ბეტონებისათვის ექსპლუატაციის პირობების მიუხედავად.		0,85
	ბ) დატვირთვების თანწყობაში იმ ხანმოკლე და განსაკუთრებული* დატვირთვების გათვალისწინებით, რომლებიც 2 ა პოზიციაში მითითებული არ არის, ყოველგვარი ბეტონებისათვის		1,1

1	2	3	4
3	ვერტიკალურ მდგომარეობაში კონსტრუქციის დაბეტონების შემთხვევაში (დაბეტონების შრის სიმაღლე მეტია 1,5 მ-ზე) ბეტონებისათვის: მძიმე, წვრილმარცვლოვანი, მსუბუქი უჯრედოვანი და დაფოროვნებული	γ_{b3}	0,85 0,80
4	რთული ორღერძა დაძაბული მდგომარეობის „კუმშვა-გაჭიმვა“ გავლენა ბეტონის სიმტკიცეზე	γ_{b4}	იხ. მუხლი 4.11, СНиП 2.03.01—84
5	მონოლითური ბეტონისა და რკინაბეტონის სვეტების დაბეტონება, რომელთა კვეთის უმცირესი ზომა 30 სმ-ზე ნაკლებია	γ_{b5}	0,85
6	მონაცვლეობით გაყინვა და გალხობა	γ_{b6}	იხ. ცხ. 17, СНиП 2.03.01—84
7	მზის რადიაციისაგან დაუცველი კონსტრუქციების ექსპლუატაცია IV კლიმატურ ქვერაიონში СНиП 2.01.01—82-ის მიხედვით	γ_{b7}	0,85
8	კონსტრუქციის წინასწარი მოკუმშვის სტადია: ა) მავთულოვანი არმატურით: მსუბუქი ბეტონისათვის სხვა ბეტონისათვის ბ) ღეროვანი არმატურით: მსუბუქი ბეტონისათვის სხვა ბეტონისათვის	γ_{b8}	 1,25 1,10 1,35 1,20
9	ბეტონის კონსტრუქციები	γ_{b9}	0,90
10	ბეტონის კონსტრუქციები მაღალი სიმტკიცის ბეტონზე γ_{b9} კოეფიციენტის გათვალისწინებით	γ_{b10}	$(0,3+\omega) \leqslant 1$. იხ. მუხლი 3.12, СНиП 2.03.01—84
11	უჯრედოვანი ბეტონის ტენიანობა %-ობით: 10 და ნაკლები 25 და მეტი 10-ზე მეტი და 25-ზე ნაკლები	γ_{b11}	 1,00 0,85 ინტერპოლაციით
12	ასაწყობი ელემენტების პირაპირების დასამონოლითებელი ბეტონი, როდესაც ნაკერის სისქე ნაკლებია კვეთის უმცირესი ზომის $^1/_5$-ზე და 10 სმ-ზე	γ_{b12}	1,15

* როდესაც შემოგვყავს დამატებითი მუშაობის პირობების კოეფიციენტი, რაც დაკავშირებულია განსაკუთრებული დატვირთვის გათვალისწინებასთან სათანადო ნორმატიული დოკუმენტების მიხედვით (მაგალითად, სეისმური დატვირთვების გათვალისწინება), $\gamma_{b2} = 1,0$.

შ ე ნ ი შ ვ ნ ე ბ ი: 1. ბეტონის მუშაობის პირობების კოეფიციენტები პირობებიდან 1, 2, 6, 7, 9, 11 უნდა გავითვალისწინოთ საანგარიშო წინაღობას R_b და R_{bt}-ს გამოთვლისას.

2. იმ კონსტრუქციებისათვის, რომლებიც განიცდიან მრავალჯერგანმეორებადი დატვირთვის ზემოქმედებას, კოეფიციენტი γ_{b2} გაითვალისწინება სიმტკიცეზე გაანგარიშების, ხოლო γ_{b1} — გამძლეობაზე და ბზარების წარმოქმნაზე გაანგარიშების დროს.

3. წინასწარი მოკუმშვის სტადიაზე კონსტრუქციის გაანგარიშებისას კოეფიციენტი γ_{b2} არ გაითვალისწინება.

4. ბეტონის მუშაობის პირობების კოეფიციენტები შემოგკყავს ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად, ოღონდ მათი ნამრავლი არ უნდა იყოს 0,45-ზე ნაკლები.

დანართი XI

არმატურის კლასი	არმატურის დრეკადობის მოდული $E_s \cdot 10^{-4}$, MPa (კგძ/სმ²)
A — I, A — II	21 (210)
A — III	20 (200)
A — IV, A — V, A — VI	19 (190)
A— IIIв	18 (180)
B — II, Bp —II	20 (200)
K — 7, K — 19	18 (180)
Bp — I	17 (170)

დანართი XII

ღეროვანი არმატურა, კლასი	არმატურის ნორმატიული წინაღობა გაჭიმვაზე (R_{sn}) და საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე ($R_{s,ser}$) მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობებისათვის, MPa (კგძ/სმ²)
A — I	235 (2400)
A — II	295 (3000)
A — III	390 (4000)
A — IV	590 (6000)
A — V	785 (8000)
A — VI	980 (10000)
K — IIIв	540 (5500)

დანართი XIII

ღეროვანი არმატურა, კლასი	არმატურის საანგარიშო წინაღობა პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობებისათვის, MPa (კგძ/სმ²)		
	გაჭიმვაზე		კუმშვაზე
	გრძივი, განივი (საკიდებისა და აღუნული ღეროების) არმატურისათვის დახრილი კვეთების სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას მღუნავი მომენტების მოქმედებაზე R_s	განივი (საკიდებისა და აღუნული ღეროების) არმატურისათვის დახრილი კვეთების სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას განივი ძალების მოქმედებაზე R_{sw}	R_{sc}
A — I	225 (2300)	175 (1800)	225 (2300)
A — II	280 (2850)	225 (2300)	280 (2850)
A — III დიამეტრით:			
6 — 8 მმ	355 (3600)	285*(2900)	355 (3600)
10 — 40 მმ	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 — IIIв:			
ძაბვებისა და წაგრძელების კონტროლით	490 (5000)	390 (4000)	200 (2000)
მხოლოდ წაგრძელების კონტროლით	450 (4600)	360 (3700)	200 (2000)

* შედუღებული კარკასების შემადგენლობაში A — III კლასის არმატურისთვის, რომლის დიამეტრი ნაკლებია გრძივი მუშა არმატურის დიამეტრის მესამედზე, R_{sw} მიიღება ტოლი 255 MPa (2600 კგძ/სმ²).

მავთულოვანი არმატურა, კლასი	არმატურის დიამეტრი, მმ	R_{sn} ნორმატიული წინაღობა გაჭიმვაზე და $R_{s,ser}$ საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისათვის, MPa (კგძ/სმ²)
Вр — I	3	410 (4200)
	4	405 (4150)
	5	395 (4050)
В — II	3	1490 (15200)
	4	1410 (14400)
	5	1335 (13600)
	6	1255 (12800)
	7	1175 (12000)
	8	1100 (11200)
Вр — II	3	1460 (14900)
	4	1370 (14000)
	5	1255 (12800)
	6	1175 (12000)
	7	1100 (11200)
	8	1020 (10400)
К — 7	6	1450 (14800)
	9	1370 (14000)
	12	1335 (13600)
	15	1295 (13200)
К — 19	14	1410 (14400)

მავთულოვანი არმატურა, კლასი	დიამეტრი, მმ	მავთულოვანი არმატურის საანგარიშო წინაღობა პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობებისათვის, MPa (კგძ/სმ²)		
		გაჭიმვაზე		კუმშვაზე
		გრძივი არმატურისათვის R_s	განივი (საკიდებისა და აღუნული) R_{sw}	R_{sc}
Вр — I	3	375 (3850)	270 (2750), 300* (3050)	375 (3850)
	4	365 (3750)	265 (2700); 295* (3000)	365 (3750)
	5	360 (3700)	260 (2650); 290* (2950)	360 (3700)
В — II	3	1240 (12650)	990 (10100)	400 (4000)
	4	1180 (12000)	940 (9600)	400 (4000)
	5	1110 (11300)	890 (9000)	400 (4000)
	7	980 (10000)	785 (8000)	400 (4000)
	8	915 (9300)	730 (7450)	400 (4000)
Вр — II	3	1215 (12400)	970 (9900)	400 (4000)
	4	1145 (11700)	915 (9350)	400 (4000)
	5	1045 (10700)	835 (8500)	400 (4000)
	6	980 (10000)	785 (8000)	400 (4000)
	7	915 (9300)	730 (7450)	400 (4000)
	8	850 (8700)	680 (6950)	400 (4000)
К — 7	6	1210 (12300)	965 (9850)	400 (4000)
	9	1145 (11650)	915 (9350)	400 (4000)
	12	1110 (11300)	890 (9050)	400 (4000)
	15	1080 (11000)	865 (8800)	400 (4000)
К — 19	14	1175 (12000)	940 (9600)	400 (4000)

* მნიშვნელობები მოცემულია შეკრულ კარკასებში გამოყენებული არმატურისათვის

γ_{si} არმატურის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი

	ფაქტორები, რომლებიც განსაზღვრავენ არმატურის მუშაობის პირობების კოეფიციენტის გათვალისწინებას	არმატურის სახეობა	არმატურის კლასი	არმატურის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი	
				პირობითი აღნიშვნა	მნიშვნელობა
1	2	3	4	5	6
1	არმატურის მუშაობა განივი ძალის მოქმედებისას	განივი	კლასისაგან დამოუკიდებლად	γ_{s1}	იხ. მუხლი 2.28, СНиП 2.03.01—84
2	არმატურის შედუღებით შეერთების არსებობა განივი ძალის მოქმედებისას	განივი	A-III და B_p-I	γ_{s2}	იგივე
3	მრავალჯერგანმეორებადი დატვირთვა	გრძივი და განივი არმატურა	კლასისაგან დამოუკიდებლად	γ_{s3}	იხ. ცხრ. 25, СНиП2.03.01—84
4	არმატურის შეერთებისას შედუღებით. მრავალჯერგანმეორებადი დატვირთვის მოქმედების დროს	გრძივი და განივი არმატურა შედუღებით შეერთებისას	A-I; A-II; A-III; A-IV; A-V	γ_{s4}	იხ. ცხრ. 26, СНиП 2.03.01—84
5	უანკერო დაძაბული არმატურის ძაბვების გადაცემის ზონა და დაუძაბავი არმატურის დაანკერების ზონა	გრძივი დაძაბული გრძივი დაუძაბავი	კლასისაგან დამოუკიდებლად	γ_{s5}	l_x/l_p l_x/l_{an} აქ l_x არის ძაბვების გადაცემის ზონის დასაწყისიდან განსახილველ კვეთამდე მანძილი; l_p, l_{an}-შესაბამისად ძაბვების გადაცემის და არმატურის დაანკერების ზონის სიგრძე
6	მაღალი სიმტკიცის არმატურის მუშაობა, როდესაც ძაბვები პირობითი დენადობის ზღვარზე მაღალია	გრძივი გაჭიმული	A-IV; A-V; A-VI; B-II; B_p-II K-7; K-19	γ_{s6}	იხ. მუხლი 3.13, СНиП 2.03.01—84
7	B 7,5 და დაბალი კლასის მსუბუქი ბეტონის ელემენტები	განივი	A-I; B_p-I	γ_{s7}	0,8

შ ე ნ ი შ ვ ნ ე ბ ი: 1. γ_{s3} და γ_{s4} კოეფიციენტები მხედველობაში მიიღება მხოლოდ გამძლეობაზე გაანგარიშების დროს; არმატურისათვის, რომელსაც გააჩნია შედუღებით შეერთებები, ეს კოეფიციენტები გაითვალისწინება ერთდროულად.

2. γ_{s5} კოეფიციენტი შემოგვაქვს გარდა R_s საანგარიშო წინაღობისა, არმატურის σ_{sp} წინასწარი ძაბვისათვისაც.

გრძივი ღუნვის კოეფიციენტები

$\frac{N_l}{N}$	φ_b კოეფიციენტები l_0/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	0,92	0,91	0,89	0,86	0,82	0,76	0,69	0,61

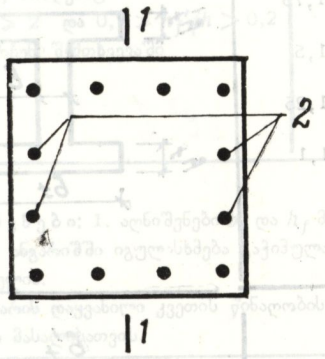
$\frac{N_l}{N}$	φ_r კოეფიციენტები l_0/h სიდიდეებისათვის							
	6	8	10	12	14	16	18	20

ა. როდესაც განსახილველი სიბრტყის პარალელურ წახნაგებთან განლაგებული შუალედური ღეროების ფართობი ნაკლებია $\frac{1}{3}$ (A_s+A_s')-ზე

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	0,92	0,91	0,9	0,89	0,87	0,84	0,79	0,74

ბ. როდესაც განსახილველი სიბრტყის პარალელურ წახნაგებთან განლაგებული შუალედური ღეროების ფართობი ტოლია ან მეტი $\frac{1}{3}$ (A_s+A_s')-ზე

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	0,92	0,91	0,89	0,86	0,82	0,77	0,7	0,63



1—1 არის განსახილველი სიბრტყე.

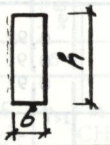
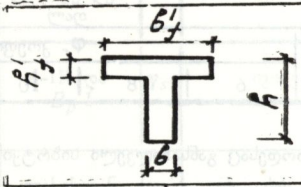
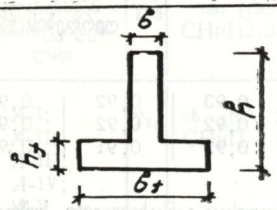
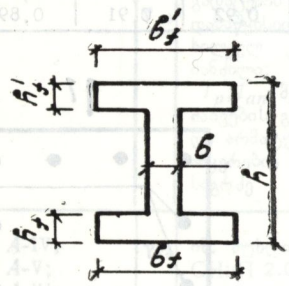
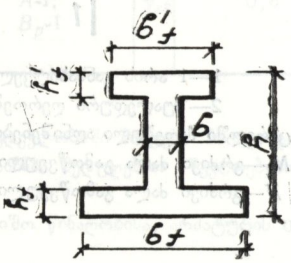
2—შუალედური ღეროები.

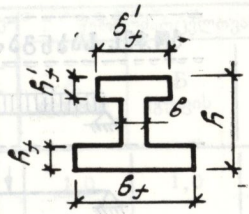
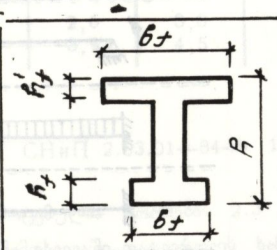
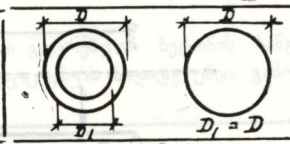
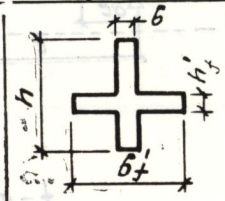
ცხრილში მიღებული აღნიშვნები:

N_l—გრძივი ძალა გამოწვეული მუდმივი და ხანგრძლივი დროებითი დატვირთვებით;

N—გრძივი ძალა გამოწვეული სრული საანგარიშო დატვირთვით.

γ კოეფიციენტი კვეთის დრეკად-პლასტიკური წინაღობის მომენტის განსასაზღვრავ ფორმულაში $W_{pl}=\gamma W_0$

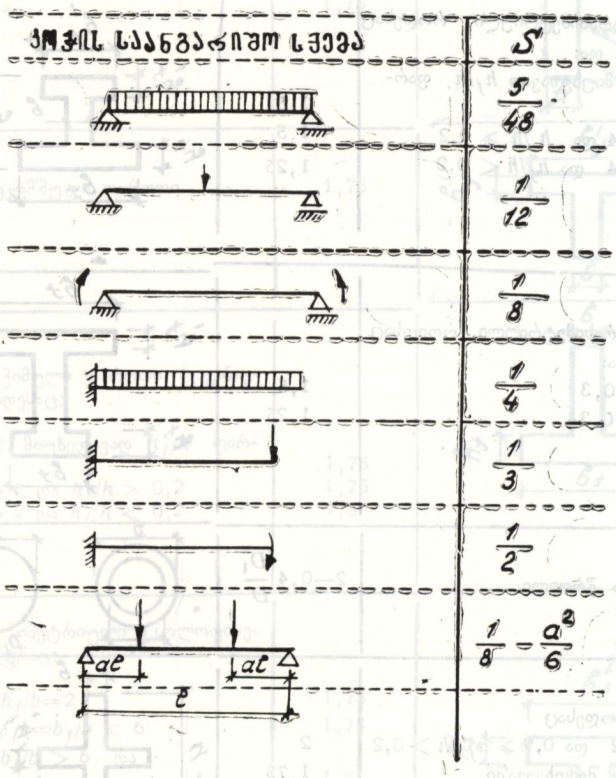
კვეთები	კოეფიციენტი γ	განივკვეთის ფორმა
1. მართკუთხა	1,75	
2. ტესებრი შეკუმშული თაროთი	1,75	
3. ტესებრი გაჭიმული თაროთი (გაგანიერებით), როდესაც:		
ა) $b_f/b \leqslant 2$, მიუხედავად h_f/h ფარდობისა	1,75	
ბ) $b_f/b > 2$ და $h_f/h \geqslant 0,2$	1,75	
გ) $b_f/b > 2$ და $h_f/h < 0,2$	1,5	
4. ორტესებრი სიმეტრიული (კოლოფისებური), როდესაც:		
ა) $b_f'/b=b_f/b=2$	1,75	
ბ) $2 < b_f'/b=b_f/b \leqslant 6$	1,75	
გ) $b_f'/b=b_f/b > 6$ და $h_f'/h=h_f/h \geqslant 0,2$	1,5	
დ) $6 < b_f'/b=b_f/b \leqslant 15$ და $h_f'/h=h_f/h < 0,2$	1,25	
ე) $b_f'/b=b_f/b > 15$ და $h_f'/h=h_f/h < 0,1$	1,1	
5. ორტესებრი არასიმეტრიული, როდესაც $b_f'/b \leqslant 3$ და:		
ა) $b_f/b \leqslant 2$ მიუხედავად h_f/h ფარდობისა	1,75	
ბ) $2 < b_f/b < 6$ მიუხედავად h_f/h ფარდობისა	1,5	
გ) $b_f/b > 6$ და $h_f/h < 0,1$	1,25	

კვეთი	კოეფიციენტი γ	გენივკვეთის ფორმა
6. ორტესებრი არასიმეტრიული, როდესაც $3 < b_f'/b < 8$ და:		
ა) $b_f/b \leq 4$ მიუხედავად h_f/h ფარდობისა	1,5	
ბ) $b_f/b > 4$ და $h_f/h \geqslant 0,2$	1,5	
გ) $b_f/b > 4$ და $h_f/h < 0,2$	1,25	
7. ორტესებრი არასიმეტრიული, როდესაც $b_f'/b \geqslant 8$ და:		
ა) $h_f/h > 0,3$	1,5	
ბ) $h_f/h \leqslant 0,3$	1,25	
8. რგოლური და წრიული	$2-0,4\frac{D_1}{D}$	
9. ჯვარედინი, როდესაც		
ა) $b_f/b \geqslant 2$ და $0,9 \geqslant h_f'/h > 0,2$	2	
ბ) დანარჩენ შემთხვევაში	1,75	

შ ე ნ ი შ ვ ნ ე ბ ი: 1. აღნიშვნები b_f და h_f მიღებულია თაროსათვის, რომელიც ბზარების წარმოქმნის მიხედვით ანგარიშში იგულისხმება გაჭიმულად, ხოლო b_f' და h_f'—თაროსათვის, რომელიც ამ დროს შეკუმშულია.

2. W_0 არის დაყვანილი კვეთის წინაღობის მომენტი გაჭიმული კიდისათვის; იანგარიშება როგორც დრეკადი მასალისათვის.

ჩალუნვათა საანგარიშო S კოეფიციენტის მნიშვნელობა



$$f = s\,\ell^2\,\frac{M}{B}; \qquad f = s\,\ell^2\,\frac{1}{r}$$

დატვირთვის მოქმედების ხანგრძლივობა	Φ_{b2} კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ბეტონის ხანგრძლივი ცოცვადობის გავლენას დაუბზარავი ელემენტების დეფორმაციაზე კონსტრუქციებისათვის, რომლებიც დამზადებულია შემდეგი სახეობის ბეტონებისაგან			
	მძიმე, მსუბუქი, დაფოროვნებული, უჯრედოვანი (ორფენოვანი წინასწარ დაძაბული კონსტრუქციებისათვის უჯრედოვანი და მძიმე ბეტონებისაგან)	წვრილმარცვლოვანი		
		A ჯგუფის	Б ჯგუფის	В ჯგუფის
1. არახანგრძლივი მოქმედება	1,0	1,0	1,0	1,0
2. ხანგრძლივი მოქმედება გარემოში, რომლის ჰაერის ტენიანობა ტოლია:				
ა) 40—75%	2,0	2,6	3,0	2,0
ბ)ნაკლებია 40%	3,0	3,9	4,5	3,0

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: 1. გარემოს ჰაერის ტენიანობა მიიღება СНиП 2.03.01—84-ის 1.8 მუხლის მითითების შესაბამისად.

2. წვრილმარცვლოვანი ბეტონის ჯგუფების განმარტება მოცემულია ნორმების 2.3 მუხლში.

3. მონაცვლეობით წყლით გაჯერებისა და გამოშრობის შემთხვევაში დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედებისას გამრავლდება 1,2-ზე.

4. 75%-ზე მაღალი ჰაერის ტენიანობის დროს და წყლით გაჯერებული ბეტონის ხანგრძლივი დატვირთვისას ამ ცხრილის 2,ა პოზიციაში მოცემული Φ_{b2} კოეფიციენტის სიდიდე უნდა გამრავლდეს 0,8-ზე.

წინასწარი ძაბვის დანაკარგების მნიშვნელობა

არმატურის წინასწარი ძაბვის კარგვის გამომწვევი ფაქტორები	წინასწარი ძაბვის კარგვა, MPa, არმატურის დაჭიმვის დროს	
	საბჯენებზე	ბეტონზე
	ა) პირველი ჯგუფის დანაკარგები (მოკუმშვამდე)	
1. არმატურის ძაბვების რელაქსაცია: მექანიკური დაჭიმვის შემთხვევაში: ა) მავთულოვანი არმატურის	$\left(0{,}22\ \frac{\sigma_{sp}}{R_{s,ser}} - 0{,}1\right)\sigma_{sp}$ $0{,}1\,\sigma_{sp}$—20	—
ბ) ღეროვანი არმატურის ელექტროთერმული და ელექტროთერმულ-მექანიკური დაჭიმვის შემთხვევაში: გ) მავთულოვანი არმატურის	$0{,}05\,\sigma_{sp}$	—
დ) ღეროვანი არმატურის	$0{,}03\,\sigma_{sp}$	
	აქ σ_{sp} მიიღება (MPa) დანაკარგების გარეშე. თუ რელაქსაციით გამოწვეული დანაკარგების გამოთვლილი მნიშვნელობა აღმოჩნდა უარყოფითი, იგი მიიღება ნულის ტოლი	
2. ტემპერატურის ვარდნა (რკინაბეტონის ელემენტის თბური დამუშავებით გამყარებისას ტემპერატურის სხვაობა დაძაბული არმატურის გათბობის ზონასა და იმ მოწყობილობას შორის, რომელსაც გადაეცემა დამჭიმი ძალა, და რომელიც მდებარეობს გათბობის ზონის გარეთ).	B15÷B40 კლასის ბეტონებისათვის: $1{,}25\Delta t$; B45 და მაღალი კლასის ბეტონებისათვის: $1{,}0\ \Delta t$, სადაც Δt არის ტემპერატურის სხვაობა, °C, გრადუსებით არმატურასა და საბჯენებს შორის, რომელთაც გადაეცემა დამჭიმი ძალა. როდესაც არ არსებობს ზუსტი ცნობები, Δt მიიღება ტოლი 65°C.	
3. დამჭიმ მოწყობილობებთან განლაგებული ანკერების დეფორმაცია	$\frac{\Delta l}{l}\ E_s$, სადაც Δl არის დაწნეხილი საყელურის მოკუმშვა, გამოტვიფრული თავის თელვა და სხვა, რომელთა სიდიდე მიიღება 2 მმ ტოლი; — საინვენტარო მომჭე-	$\frac{\Delta l_1+\Delta l_2}{l}\ E_s$, სადაც Δl_1 არის ელემენტის ბეტონსა და ანკერებს შორის განლაგებული საყელურებისა და შუასადებების მოკუმშვა, მიიღება 1 მმ-ის ტოლი;

	რებში ღეროების გადანაცვლება, რომელიც იანგარიშება ფორმულით $\Delta l = 1{,}25 + 0{,}15\,d$, აქ d ღეროს დიამეტრია, მმ-ობით. l არის დასაჭიმი არმატურის სიგრძე (ყალიბის ან ფორმის-საბჯენების გარე წახნაგებს შორის მანძილი), მმ-ობით. ელექტროთერმული დაჭიმვისას ანკერების დეფორმაციით გამოწვეულ დანაკარგებს გაანგარიშებისას არ ითვალისწინებენ, რადგან ისინი მიღებულია მხედველობაში არმატურის სრული წაგრძელების განსაზღვრისას	Δl_2—დეფორმაცია ჭიქისებრი ანკერებისა, საცობიანი ხუნდების, საანკეროჭანჩებისა და სატაცებისა. მიიღება 1 მმ-ის ტოლი; l—დასაჭიმი ღეროს სიგრძე (ელემენტის სიგრძე), მმ-ობით.
4. არმატურის ხახუნი: ა) არხების კედლებთან, ან კონსტრუქციის ბეტონის ზედაპირთან	—	$\sigma_{sp}\left(1-\frac{1}{e^{\omega x+\delta\theta}}\right)$, სადაც σ_{sp} მიიღება დანაკარგების გარეშე; e—ნატურალური ლოგარითმების ფუძე; ω და δ კოეფიციენტებია, განისაზღვრება СНиП 2.03.01–84, მე-6 ცხრილიდან; x—უბნის სიგრძე დამჭიმი მოწყობილობებიდან საანგარიშო კვეთამდე, მ; θ—არმატურის ღერძის მობრუნების ჯამური კუთხე, რადიანებში.
ბ) მომვლებ (გადაღუნვის) სამარჯვებთან	$\sigma_{sp}\left(1-\frac{1}{e^{\delta\theta}}\right)$, სადაც σ_{sp} მიიღება დანაკარგების გარეშე; e არის ნატურალური ლოგარითმების ფუძე; δ—კოეფიციენტი, მიიღება 0,25 ტოლი; θ—არმატურის ღერძის მობრუნების ჯამური კუთხე, რადიანებში.	
5. ფოლადის ყალიბის დეფორმაცია რკინაბეტონის წინასწარ დაძაბული კონსტრუქციების დამზადების დროს	$\eta\frac{\Delta l}{l}E_s$, სადაც η კოეფიციენტია, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით;	

	დომკრატებით არმატურის დაჭიმვისას $\eta = \frac{n-1}{2n}$; დამხვევი მანქანით ელექტროთერმულ-მექანიკური ხერხით არმატურის დაჭიმვისას (ძალვის 50% იქმნება ტვირთით) $\eta = \frac{n-1}{4n}$; Δl — საბჯენების დაახლოება P ძალვის მოქმედების ხაზზე, რომელიც განისაზღვრება ფორმის დეფორმაციის გაანგარიშებისას; l — საბჯენების გარე წახნაგებს შორის მანძილი; n — არაერთდროულად დასაჭიმი არმატურის ჯგუფების რაოდენობა. როდესაც არ არსებობს მონაცემები დამზადების ტექნოლოგიისა და ყალიბის კონსტრუქციის შესახებ, არმატურის წინასწარი ძაბვების კარგვა ყალიბის დეფორმაციისაგან მიიღება 30 MPa ტოლი. ელექტროთერმული წესით დაჭიმვისას კარგვას ყალიბის დეფორმაციისაგან გაანგარიშებით არ ითვალისწინებენ, რადგან იგი მხედველობაშია მიღებული არმატურის მთლიანი წაგრძელების განსაზღვრისას.	
6. სწრაფმდინარი ცოცვადობა: ა) ბუნებრივი გამყარების ბეტონისათვის	$40\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}}$, როდესაც $\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} \leqslant \alpha$; $40\alpha + 85\beta\left(\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} - \alpha\right)$, როდესაც $\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} > \alpha$, სადაც α და β კოეფიციენტებია, რომლებიც მიიღება: $\alpha = 0{,}25 + 0{,}025\,R_{bp}$, მაგრამ არაუმეტეს 0,8; $\beta = 5{,}25 - 0{,}85\,R_{bp}$, მაგრამ არაუმეტეს 2,5 და არანაკლები 1,1.	

ბ) ბეტონის თბოდამუშავების შემთხვევაში	σ_{bp}—იანგარიშება გრძივი S და S' არმატურის სიმძიმის ცენტრის დონეზე 1—5 პოზიციის შესაბამისი დანაკარგების გათვალისწინებით. ფორმულებში 40 მამრავლის ნაცვლად აიღება 60, როდესაც მსუბუქი ბეტონის წინასწარი ძაბვების გადაცემისას $R_{bp} < 11MPa$. დანაკარგები იანგარიშება ისევე ფორმულებით, როგორც ბუნებრივი გამყარებისას, 6,ა პოზიციიდან მიღებული შედეგების გამრავლებით 0,85-ის ტოლ კოეფიციენტზე	
	ბ) მეორე ჯგუფის დანაკარგები **(მოკუმშვის შემდგომი)**	
7. არმატურის ძაბვების რელაქსაცია: ა) მავთულოვანი არმატურის ბ) ღეროვანი არმატურის	—	$\left(0,22\frac{\sigma_{sp}}{R_{s,ser}}-0,1\right)\sigma_{sp}$; $0,1\,\sigma_{sp}-20$ (იხ. 1 პოზიციის განმარტებები)
8. ბეტონის შეკლება (იხ. 2.03.01—84, მუხლი 1.26) შემდეგი კლასების მძიმე ბეტონებისათვის: ა) B 35 და ნაკლები ბ) B 40 გ) B 45 და მეტი მსუბუქი ბეტონისათვის, როდესაც წვრილი შემვსები არის: დ) მკვრივი ე) ფოროვანი წვრილმარცვლოვანი ბეტონისა: ვ) A ჯგუფის ზ) Б ჯგუფის	—	ბეტონის გამყარების პირობებისაგან დამოუკიდებლად 30 35 40 40 50 40 40

ბუნებრივი გამყარების ბეტონი	ბეტონი თბოდამუშავებით გამყარებული
40	35
50	40
60	50
40	45
70	60

განისაზღვრება დანაკარგი 8 ა, ბ პოზიციის შესაბამისი სიდიდის 1,3-ზე გადამრავლებით;
განისაზღვრება დანაკარგი 8,ა პოზიციის შესაბამისი სიდიდის 1,5-ზე გადამრავლებით;

თ) B ჯგუფის	განისაზღვრება დანაკარგი მა, გ პოზიციის შესაბამისად, როგორც ბუნებრივად გამყარებული მძიმე ბეტონისათვის	50
9. ბეტონის ცოცვადობა (იხ. მუხლი 1.26 2.03.01—84):		
ა) მძიმე და მსუბუქი ბეტონებისა მკვრივ წვრილ შემვსებზე	$150\alpha \frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}}$, როდესაც $\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} \leqslant 0{,}75$; $300\alpha \left(\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} - 0{,}375\right)$, როდესაც $\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} > 0{,}75$, სადაც σ_{bp}-ს იგივე მნიშვნელობა აქვს, როგორც ცხრილის 6 პოზიციაში, 1—6 პოზიციის დანაკარგების გათვალისწინებით; α კოეფიციენტია, რომელიც მიიღება ტოლი: ბუნებრივი გამყარების ბეტონისათვის — 1,00; თბოდამუშავებული ბეტონისათვის ატმოსფერული დაწოლისას — 0,85.	
ბ) წვრილმარცვლოვანი ბეტონის:		
A ჯგუფის	დანაკარგი განისაზღვრება 9,ა პოზიციის ფორმულებით, რომლის შედეგი მრავლდება 1,3-ზე;	
Б ჯგუფის	დანაკარგი განისაზღვრება 9,ა პოზიციის ფორმულებით, რომლის შედეგი მრავლდება 1,5-ზე;	
B ჯგუფის	დანაკარგი განისაზღვრება 9,ა პოზიციის ფორმულებით, კოეფიციენტისათვის $\alpha = 0{,}85$;	
გ) მსუბუქი ბეტონისა ფოროვანი წვრილი შემვსებით	დანაკარგი განისაზღვრება 9,ა პოზიციის ფორმულებით, შედეგი მრავლდება 1,2-ზე.	
10. ბეტონის თელვა სპირალური ან რგოლური არმატურის ქვეშ (კონსტრუქციებისათვის, რომელთა დიამეტრი არ აღემატება 3 მ)	—	$70—0{,}22\, d_{ext}$, სადაც d_{ext} არის კონსტრუქციის გარე დიამეტრი, სმ.

11. ბლოკებს შორის პირაპირების მოკუმშვის დეფორმაცია (ბლოკებისაგან შედგენილი კონსტრუქციებისათვის)	—	$\frac{n\Delta l}{l} E_s$, სადაც n არის დასაძაბი არმატურის სიგრძეზე კონსტრუქციის ნაკერების რაოდენობა; Δl — პირაპირების მოკუმშვის სიდიდე, რომელიც მიიღება ტოლი: 0,3 მმ — ბეტონით შევსებული პირაპირებისას; 0,5 მმ — მშრალი პირაპირებისას; l — დასაძაბი არმატურის სიგრძე, მმ-ობით.

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: 1. წინასწარი ძაბვების კარგვა S' არმატურისათვის განისაზღვრება ისევე, როგორც S არმატურისა.

2. თვითდაძაბული კონსტრუქციების წინასწარი ძაბვების დანაკარგები ბეტონის შეკლებისა და ცოცვადობისაგან განისაზღვრება ცდების შესაბამისად.

დანართი XXII

დასაშვები მანძილი ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციების ტემპერატურულ — შეკლების ნაკერთა შორის

კონსტრუქციის დასახელება	ტემპერატურულ—შეკლების ნაკერთა შორის დასაშვები დაშორება, მ, კონსტრუქციებისათვის, რომლებიც იმყოფებიან	
	გასათბობ შენობებში ან გრუნტში	ღია ნაგებობებში ან გაუთბობელ შენობებში
1. ბეტონის კონსტრუქციები:		
ასაწყობი	40	30
მონოლითური, კონსტრუქციული არმატურით	30	20
მონოლითური უარმატუროდ	20	10
2. რკინაბეტონის კონსტრუქციები დაუძაბავი (ჩვეულებრივი) ან წინასწარ დაძაბული III კატეგორიის ბზარმედეგობისა:		
ასაწყობი კარკასული, მათ შორის შერეული, ფოლადის ან ხის სახურავით	60	40
ასაწყობი, მთლიანი	50	30
მონოლითური და ასაწყობ-მონოლითური კარკასული	50	30
მონოლითური და ასაწყობ-მონოლითური მთლიანი	40	25

შ ე ნ ი შ ვ ნ ე ბ ი: 1. ერთსართულიანი შენობების რკინაბეტონის კონსტრუქციების შესაბამისი მანძილები ტემპერატურულ—შეკლების ნაკერთა შორის მიიღება 20%-ით მეტი, ვიდრე ცხრილში მითითებული.

2. ცხრილში მოცემული სიდიდეები შეესაბამება კარკასულ შენობებს, რომელთაც არ გააჩნიათ კავშირები ან ისინი განლაგებულია ბლოკის შუაში.

დანართი XXIII

მღუნავი მომენტების მომვლები ეპიურის აგება ტოლმალიანი დამხმარე კოჭისათვის თანაბრად განაწილებული დატვირთვებით, პლასტიკური დეფორმაციების მიხედვით ძალვების გადანაწილების გათვალისწინებით

მღუნავი მომენტები იანგარიშება ფორმულით

$$M=\beta(g+v)\,l^2,$$

სადაც g მუდმივი დატვირთვის და v დროებითი დატვირთვის ინტენსივობებია.

β კოეფიციენტი დადგენილია $\frac{v}{g}=0{,}5\div 5$ ფარდობისათვის. მღუნავი მომენტების დადებითი მნიშვნელობებისთვის β მოცემულია გრაფიკზე.

მღუნავი მომენტების მინიმალური მნიშვნელობებისათვის კოეფიციენტი β მოცემულია დანართის ცხრილში.

β დადგენილია ხუთმალიანი უჭრი კოჭის შუალედი საყრდენების კიდეზე გამავალი კვეთებისათვის, მალებში უდიდესი მღუნავი მომენტების მოქმედების ადგილას და, გარდა ამისა, პირველი, მეორე და მესამე მალის შუალედ კვეთებში, რომლებიც ერთმანეთისაგან დაშორებული არიან $0{,}2l$ ტოლ მანძილზე.

მღუნავი მომენტის ფორმულაში l მანძილია:

1) საყრდენების კიდეებს შორის (მალი შუქში) მეორე და ყველა შუალედი მალის საანგარიშო კვეთებში მოქმედი ძალვების განსაზღვრისას;

2) კიდურა მალებისათვის, კედელზე თავისუფლად დაყრდნობის შემთხვევაში, l მანძილია თავისუფალი საყრდენის ცენტრიდან პირველი შუალედი საყრდენის კიდემდე.

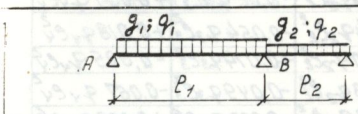
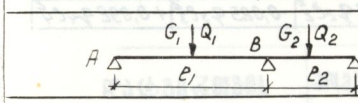
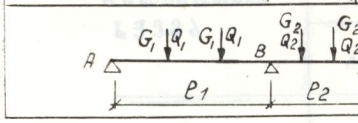
მღუნავი მომენტების ეპიურა ტოლმხრიანი უჭრი ქოჭისთვის თანაბრად განწილებული დატვირთვებით $\frac{v}{g} = 0{,}5 \div 5$;

დანართი XXIII (გაგრძელება)

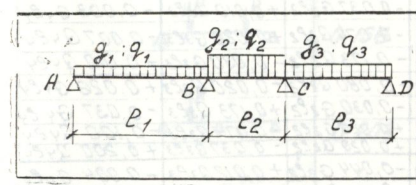
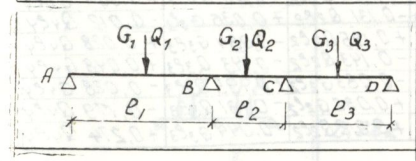
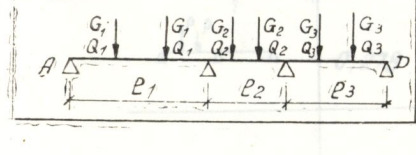
β კოეფიციენტები მღუნავი მომენტების მინიმალური მნიშვნელობებისათვის

$\frac{v}{g}$	კვეთების №№										
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,5	—0,0715	—0,025	0,011	0,016	—0,008	—0,0625	—0,003	0,028	0,028	—0,003	—0,0625
1,0	—0,0715	—0,035	—0,005	+0,001	—0,018	—0,0625	—0,013	0,013	0,013	—0,013	—0,0625
1,5	—0,0715	—0,041	—0,014	—0,008	—0,024	—0,0625	—0,019	0,004	0,004	—0,019	—0,0625
2,0	—0,0715	—0,045	—0,020	—0,014	—0,028	—0,0625	—0,023	—0,003	—0,003	—0,023	—0,0625
2,5	—0,0715	—0,048	—0,023	—0,017	—0,031	—0,0625	—0,025	—0,006	—0,006	—0,025	—0,0625
3,0	—0,0715	—0,050	—0,027	—0,022	—0,033	—0,0625	—0,028	—0,010	—0,010	—0,028	—0,0625
3,5	—0,0715	—0,052	—0,030	—0,025	—0,035	—0,0625	—0,029	—0,013	—0,013	—0,029	—0,0625
4,0	—0,0715	—0,053	—0,032	—0,026	—0,036	—0,0625	—0,030	—0,015	—0,015	—0,030	—0,0625
4,5	—0,0715	—0,054	—0,033	—0,028	—0,037	—0,0625	—0,032	—0,016	—0,016	—0,032	—0,0625
5,0	—0,0715	—0,055	—0,035	—0,029	—0,038	—0,0625	—0,033	—0,018	—0,018	—0,033	—0,0625

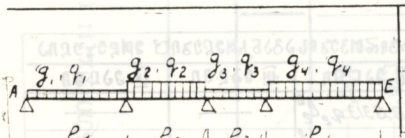
არატოლმალიანი უჯრი კოჭების მღუნავი მომენტების საანგარიშო ფორმულები თანაბარი გრძივი სიხისტის და ყოველ მალში საყრდენების მიმართ სიმეტრიული დატვირთვების შემთხვევაში

დატვირთვის სქემა	M	ეკვივალენტური დატვირთვისაგან კოჭების მალებში			
		I მალში	II მალში	III მალში	IV მალში
	M_1	$+0,0938q_1\ell_1^2$	$-0,0313q_2\ell_2^2$	——	——
	M_B	$-0,0625q_1\ell_1^2$	$-0,0625q_2\ell_2^2$	——	——
	M_2	$-0,013q_1\ell_1^2$	$+0,0938q_2\ell_2^2$	——	——
	M_1	$+0,203Q_1\ell_1$	$-0,467G_2\ell_2$	——	——
	M_B	$-0,0938Q_1\ell_1$	$-0,0938Q_2\ell_2$	——	——
	M_2	$-0,0467G_1\ell_1$	$+0,203Q_2\ell_2$	——	——
	M_1	$+0,2778Q_1\ell_1$	$-0,2556G_2\ell_2$	——	——
	M_B	$-0,1667Q_1\ell_1$	$-0,1667Q_2\ell_2$	——	——
	M_2	$-0,2556G_1\ell_1$	$+0,2778Q_2\ell_2$	——	——

მიღებული აღნიშვნები: მუდმივი დატვირთვები g—თანაბრად განაწილებული;
G—შეყურსული.

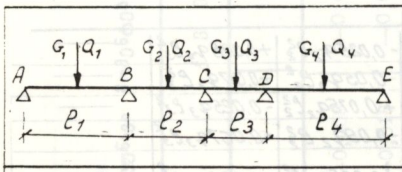
	M_1	$+0,092q_1\ell_1^2$	$-0,025q_2\ell_2^2$	$+0,008q_3\ell_3^2$
	M_B	$-0,067q_1\ell_1^2$	$-0,050q_2\ell_2^2$	$+0,017q_3\ell_3^2$
	M_2	$-0,025q_1\ell_1^2$	$+0,075q_2\ell_2^2$	$-0,025q_3\ell_3^2$
	M_C	$+0,017q_1\ell_1^2$	$-0,050q_2\ell_2^2$	$-0,067q_3\ell_3^2$
	M_3	$+0,008q_1\ell_1^2$	$-0,025q_2\ell_2^2$	$+0,092q_3\ell_3^2$
	M_1	$+0,200Q_1\ell_1$	$-0,038G_2\ell_2$	$+0,013Q_3\ell_3$
	M_B	$-0,0100Q_1\ell_1$	$-0,075Q_2\ell_2$	$+0,025G_3\ell_3$
	M_2	$-0,038G_1\ell_1$	$+0,200Q_2\ell_2$	$-0,038G_3\ell_3$
	M_C	$+0,025G_1\ell_1$	$-0,075Q_2\ell_2$	$-0,100Q_3\ell_3$
	M_3	$+0,013Q_1\ell_1$	$-0,038G_2\ell_2$	$+0,200Q_3\ell_3$
	M_1	$+0,274Q_1\ell_1$	$-0,044G_2\ell_2$	$+0,015Q_3\ell_3$
	M_B	$-0,178Q_1\ell_1$	$-0,133Q_2\ell_2$	$+0,044G_3\ell_3$
	M_2	$-0,104G_1\ell_1$	$+0,200Q_2\ell_2$	$-0,104G_3\ell_3$
	M_C	$+0,044G_1\ell_1$	$-0,133Q_2\ell_2$	$-0,178Q_3\ell_3$
	M_3	$+0,015Q_1\ell_1$	$-0,044G_2\ell_2$	$+0,274Q_3\ell_3$

დროებითი დატვირთვები p—თანაბრად განაწილებული;
P—შეყურსული.

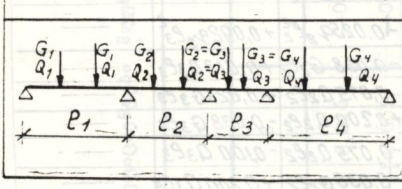


M_1	$+0{,}092 q_1 l_1^2$	$-0{,}025 q_2 l_2^2$	$0{,}007 q_3 l_3^2$	$-0{,}002 q_4 l_4^2$
M_B	$-0{,}067 q_1 l_1^2$	$-0{,}049 q_2 l_2^2$	$+0{,}013 q_3 l_3^2$	$-0{,}005 q_4 l_4^2$
M_2	$-0{,}025 q_1 l_1^2$	$+0{,}074 q_2 l_2^2$	$-0{,}02 q_3 l_3^2$	$+0{,}007 q_4 l_4^2$
M_C	$+0{,}018 q_1 l_1^2$	$-0{,}054 q_2 l_2^2$	$-0{,}054 q_3 l_3^2$	$+0{,}018 q_4 l_4^2$
M_3	$+0{,}007 q_1 l_1^2$	$-0{,}020 q_2 l_2^2$	$+0{,}074 q_3 l_3^2$	$-0{,}025 q_4 l_4^2$
M_D	$-0{,}005 q_1 l_1^2$	$+0{,}013 q_2 l_2^2$	$-0{,}049 q_3 l_3^2$	$-0{,}067 q_4 l_4^2$
M_4	$-0{,}002 q_1 l_1^2$	$+0{,}007 q_2 l_2^2$	$-0{,}025 q_3 l_3^2$	$+0{,}092 q_4 l_4^2$

მთლიანი დატვირთვები; q — თანაბრად განაწილებული;
Q — შეყურსული: $Q = G + P$.



M_1	$+0{,}200 Q_1 l_1$	$-0{,}037 G_2 l_2$	$+0{,}010 Q_3 l_3$	$-0{,}003 G_4 l_4$
M_B	$-0{,}100 Q_1 l_1$	$-0{,}074 Q_2 l_2$	$+0{,}020 G_3 l_3$	$-0{,}007 Q_4 l_4$
M_2	$-0{,}037 G_1 l_1$	$-0{,}173 Q_2 l_2$	$-0{,}030 G_3 l_3$	$+0{,}010 Q_4 l_4$
M_C	$+0{,}027 G_1 l_1$	$-0{,}080 Q_2 l_2$	$-0{,}020 Q_3 l_3$	$+0{,}026 G_4 l_4$
M_3	$+0{,}010 Q_1 l_1$	$-0{,}030 G_2 l_2$	$+0{,}173 Q_3 l_3$	$-0{,}037 G_4 l_4$
M_D	$-0{,}007 Q_1 l_1$	$+0{,}020 G_2 l_2$	$-0{,}074 Q_3 l_3$	$-0{,}100 Q_4 l_4$
M_4	$-0{,}003 G_1 l_1$	$+0{,}020 Q_2 l_2$	$-0{,}037 G_3 l_3$	$+0{,}200 Q_4 l_4$



M_1	$+0{,}274 Q_1 l_1$	$-0{,}044 G_2 l_2$	$+0{,}012 Q_3 l_3$	$-0{,}004 G_4 l_4$
M_B	$-0{,}179 Q_1 l_1$	$-0{,}131 Q_2 l_2$	$+0{,}036 G_3 l_3$	$-0{,}012 Q_4 l_4$
M_2	$-0{,}028 G_1 l_1$	$+0{,}195 Q_2 l_2$	$-0{,}084 G_3 l_3$	$+0{,}028 Q_4 l_4$
M_C	$+0{,}048 G_1 l_1$	$-0{,}143 Q_2 l_2$	$-0{,}143 Q_3 l_3$	$+0{,}048 G_4 l_4$
M_3	$+0{,}028 Q_1 l_1$	$-0{,}084 G_2 l_2$	$+0{,}195 Q_3 l_3$	$-0{,}028 G_4 l_4$
M_D	$-0{,}012 Q_1 l_1$	$+0{,}036 G_2 l_2$	$-0{,}131 Q_3 l_3$	$-0{,}179 Q_4 l_4$
M_4	$-0{,}004 Q_1 l_1$	$+0{,}012 Q_2 l_2$	$-0{,}044 G_3 l_3$	$+0{,}274 Q_4 l_4$

ტოლმალიანი უჭრი კოჭების მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების საანგარიშო ცხრილები (მასალის დრეკადი მუშაობის პირობით)

თანაბრად განაწილებული დატვირთვებისას

$$M=kpl^2,\quad Q=k_1pl;$$

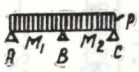
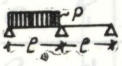
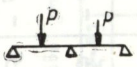
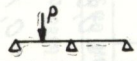
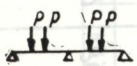
შეყურსული ძალების მოქმედებისას

$$M=kPl,\quad Q=k_1P.$$

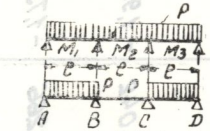
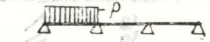
k და k_1 ცხრილების კოეფიციენტებია შესაბამისად მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალებისათვის.

ცხრილი 1

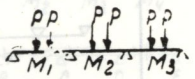
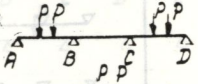
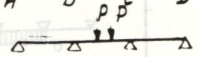
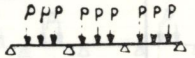
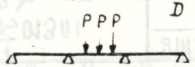
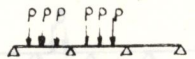
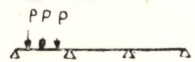
ორმალიანი კოჭები

დატვირთვის სქემა	მომენტები ეპურში		მომენტი საყრდენზე	განივი ძალები			
	M_1	M_2	M_B	Q_A	$Q_B^{მარც}$	$Q_B^{მარჯ}$	Q_C
	0,070	0,070	-0,125	0,375	-0,625	0,625	0,375
	0,096	-0,025	-0,063	0,437	-0,563	0,063	-0,063
	0,156	0,156	-0,188	0,312	-0,688	1,688	0,312
	0,203	-0,047	-0,094	0,406	-0,594	0,094	-0,094
	0,222	0,222	-0,333	0,667	-1,334	1,334	0,667
	0,278	-0,056	-0,167	0,833	-1,167	0,167	-0,167
	0,266	0,266	-0,469	1,042	-1,958	1,958	1,042
	0,383	-0,117	-0,234	1,266	-1,734	0,234	-0,234

სამმალიანი კოჭები

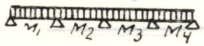
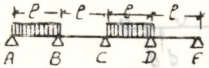
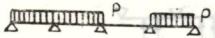
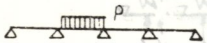
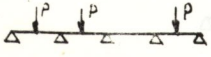
დატვირთვის სქემა	ანაწილებული ძალები		ანაწილებული ღერძული		ბაგირში ძალები					
	M_1	M_2	M_B	M_C	Q_A	$Q_B^{მარც}$	$Q_B^{მარჯ}$	$Q_C^{მარჯ}$	$Q_C^{მარც}$	Q_D
	0,080	0,025	-0,100	-0,100	0,400	-0,600	0,500	-0,500	0,600	0,400
	0,101	-0,050	-0,050	-0,050	0,450	-0,550	0,000	0,000	0,550	0,450
	-0,025	0,075	-0,050	-0,050	-0,050	-0,050	0,500	-0,500	0,050	-0,050
			-0,117	-0,033	0,383	-0,617	0,583	-0,417	0,033	-0,033
			-0,067	0,017	0,433	-0,567	0,083	0,083	-0,017	0,017
	0,175	0,100	-0,150	-0,150	0,350	-0,650	0,500	-0,500	0,650	0,350
	0,213	-0,075	-0,075	-0,075	0,425	-0,575	0,000	0,000	0,575	0,425
	-0,038	0,175	-0,075	-0,075	-0,075	-0,075	0,500	-0,500	0,075	-0,075
			-0,175	-0,050	0,325	-0,675	0,625	-0,375	0,050	-0,050
			-0,100	0,025	0,400	-0,600	0,125	0,125	-0,025	0,025

სამმალიანი კოჭები

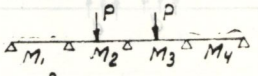
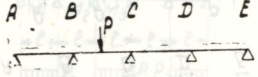
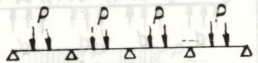
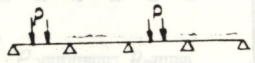
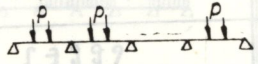
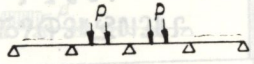
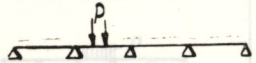
დატვირთვის სქემა	ეკვივალენტური ძალვები		ეკვივალენტური ბაკრძ-ზე		ვანივი ძალებში					
	M_1	M_3	M_B	M_C	Q_A	$Q_B^{მარც.}$	$Q_B^{მარჯ}$	$Q_C^{მარც}$	$Q_C^{მარჯ}$	$Q_{ა.ა}$
	0,244	0,067	- 0,267	- 0,267	0,733	- 1,267	1,00	- 1,000	1,267	0,733
	0,289	- 0,133	- 0,133	- 0,133	0,866	- 1,133	0,000	0,000	1,133	0,866
	- 0,044	0,200	- 0,133	- 0,133	- 0,133	- 0,133	1,000	- 1,000	0,133	- 0,133
			- 0,311	- 0,089	0,0689	- 1,311	1,222	- 0,778	0,089	- 0,089
			- 0,178	0,044	0,822	- 1,178	0,222	0,222	- 0,044	0,044
	0,313	0,125	- 0,375	- 0,375	1,125	- 1,875	1,500	- 1,500	1,875	1,125
	0,406	- 0,188	- 0,188	- 0,188	1,313	- 1,688	0,000	0,000	1,688	1,313
	- 0,094	0,313	- 0,188	- 0,188	- 0,188	- 0,188	1,500	- 1,500	0,188	- 0,188
			- 0,437	- 0,125	1,063	- 1,938	1,812	- 1,188	0,125	- 0,125
			- 0,250	0,062	1,250	- 1,750	0,312	- 0,312	- 0,062	0,062

ცხრილი 3

ოთხწალიანი კოჭები

დატვირთვის სქემა	მომენტები ველში				მომენტები საყრდ.			განივი ძალები							
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_B	M_C	M_D	Q_A	$Q_B^{მარც}$	$Q_B^{მარჯ}$	$Q_C^{მარც}$	$Q_C^{მარჯ}$	$Q_D^{მარც}$	$Q_D^{მარჯ}$	Q_E
	0,077	0,036	0,036	0,077	-0,107	-0,071	-0,107	0,393	-0,607	0,536	-0,464	0,464	-0,536	0,607	0,393
	0,100	-0,015	0,081	-0,023	-0,054	-0,036	-0,054	0,446	-0,554	0,018	0,018	0,482	-0,518	0,054	-0,054
					-0,121	-0,018	-0,056	0,380	-0,620	0,603	-0,397	-0,040	-0,040	0,558	0,442
					-0,036	-0,107	-0,036	-0,036	-0,036	0,429	-0,571	0,571	-0,429	0,036	-0,036
					-0,067	0,018	-0,004	0,433	-0,567	0,085	0,085	-0,022	-0,022	0,004	-0,004
					-0,049	-0,054	0,013	-0,049	-0,049	0,496	-0,504	0,067	0,067	-0,013	0,013
	0,169	0,110	0,116	0,169	-0,161	-0,107	-0,161	0,339	-0,561	0,553	-0,446	0,446	-0,553	0,661	0,330
	0,210	-0,067	0,183	-0,040	-0,080	-0,054	-0,080	0,420	-0,580	0,027	0,027	0,473	-0,527	0,080	-0,080
					-0,181	-0,027	-0,087	0,319	-0,681	-0,654	-0,346	-0,060	-0,061	0,587	0,413

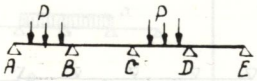
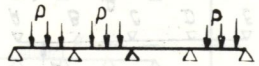
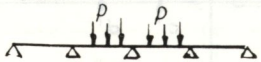
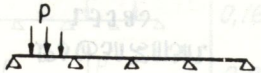
ოთხმალიანი კოჭები

დატვირთვის სქემა	მომენტები მალებში				მომენტები საყრდენებზე			განივი ძალები							
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_B	M_C	M_D	Q_A	$Q_B^{მარც}$	$Q_B^{მარჯ}$	$Q_C^{მარც}$	$Q_C^{მარჯ}$	$Q_D^{მარც}$	$Q_D^{მარჯ}$	Q_E
					-0,054	-0,161	-0,054	-0,064	-0,054	0,393	-0,607	0,607	-0,393	0,064	-0,064
					-0,100	0,027	-0,007	0,400	-0,600	0,127	0,127	-0,038	-0,033	0,007	-0,007
					-0,074	-0,080	0,020	-0,074	-0,074	0,493	-0,507	0,100	0,100	-0,020	0,020
	0,238	0,111	0,111	0,238	-0,286	-0,191	-0,286	0,714	-1,286	1,095	-0,905	-0,906	-1,093	1,280	0,714
	0,286	-0,111	0,222	-0,048	-0,143	-0,095	-0,143	0,857	-1,143	0,048	0,048	0,953	-1,048	0,143	-0,143
					-0,321	-0,048	-0,155	0,679	-1,321	1,274	-0,726	-0,107	-0,107	1,155	0,845
					-0,095	-0,286	-0,095	-0,095	-0,095	0,810	-1,190	1,190	-0,810	0,095	-0,095
					-0,178	0,048	-0,012	0,821	-1,178	0,226	0,226	-0,060	-0,060	0,012	-0,012
					-0,131	-0,143	0,036	-0,131	-0,131	0,988	-1,012	0,178	0,178	-0,036	0,036

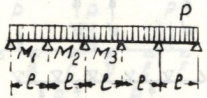
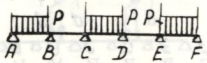
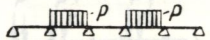
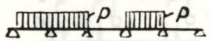
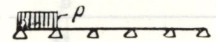
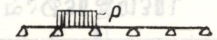
დანართი XXV (გაგრძელება)

ცხრილი 3 (გაგრძელება)

ოთხწალიანი კოჭები

დატვირთვის სქემა	მომენტები ველებში				მომენტები საყრდენზე			განივი ძალები							
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_B	M_C	M_D	Q_A	$Q_B^{მარც}$	$Q_B^{მარჯ}$	$Q_C^{მარც}$	$Q_C^{მარჯ}$	$Q_D^{მარც}$	$Q_D^{მარჯ}$	Q_E
	0,299	0,165	0,165	0,229	-0,402	-0,268	-0,402	1,398	-1,902	1,634	-1,366	1,366	-1,634	1,902	1,098
	0,400	-0,167	0,338	-0,101	-0,201	-0,134	-0,201	1,299	-1,701	0,067	0,067	1,433	-1,567	0,201	-0,201
					-0,452	-0,067	-0,218	1,048	-1,952	1,885	-1,115	-0,151	-0,151	1,718	1,282
					-0,134	-0,402	-0,134	-0,134	-0,134	1,232	1,768	1,768	-1,232	0,134	0,134
					-0,251	0,067	-0,017	1,249	-1,751	0,318	0,318	-0,084	-0,084	0,017	-0,017
					-0,184	-0,201	0,050	-0,184	-0,184	1,483	-1,517	0,251	0,251	-0,050	0,050

ხუთმალიანი კოჭები

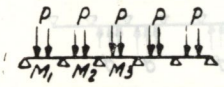
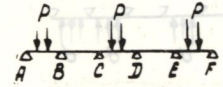
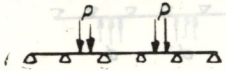
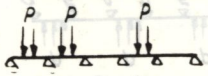
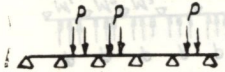
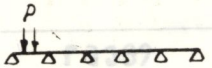
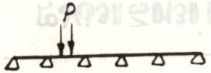
დატვირთვების სქემა	ანაბეჭდი მომენტები მალებში			ანაბეჭდი მომენტები საყრდენებზე				ანაბეჭდი ძალები									
	M_1	M_2	M_3	M_B	M_C	M_D	M_E	Q_A	$Q_B^{მარც}$	$Q_B^{მარჯ}$	$Q_C^{მარც}$	$Q_C^{მარჯ}$	$Q_D^{მარც}$	$Q_D^{მარჯ}$	$Q_E^{მარც}$	$Q_E^{მარჯ}$	Q_F
	0,0781	0,0331	0,0462	-0,105	-0,079	-0,079	-0,105	0,395	-0,606	0,525	-0,474	0,500	-0,500	0,474	-0,526	0,606	0,395
	0,100	-0,0461	0,0855	-0,053	-0,040	-0,040	-0,063	0,447	-0,553	0,013	0,013	0,500	-0,500	-0,013	-0,013	0,553	0,447
	-0,0263	0,0787	-0,0395	-0,053	-0,040	-0,040	-0,063	-0,063	-0,053	0,513	-0,487	0,000	0,000	0,487	-0,513	0,063	-0,013
				-0,119	-0,022	-0,044	-0,061	0,380	-0,620	0,598	-0,402	-0,023	-0,023	0,493	-0,507	0,052	-0,012
				-0,035	-0,111	-0,020	-0,067	-0,035	-0,035	0,424	-0,576	0,591	-0,409	-0,037	-0,037	0,557	0,043
				-0,067	0,018	-0,005	0,001	0,433	-0,567	0,065	0,085	-0,023	-0,023	0,006	0,006	-0,001	0,001
				-0,049	-0,054	0,014	-0,004	-0,049	-0,049	0,495	-0,506	0,068	0,068	-0,018	-0,018	0,004	-0,004
				0,013	-0,053	-0,063	0,013	0,013	0,013	-0,066	-0,066	0,500	-0,500	0,066	0,066	-0,013	0,013

ცხრილი 4 (გაგრძელება)

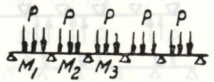
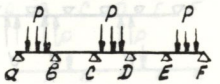
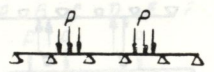
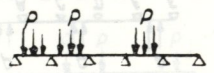
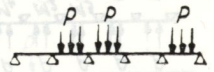
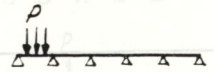
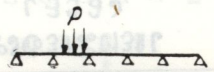
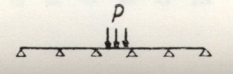
ხუთმალიანი კოჭები

დატვირთვის სქემა	ველის მომენტები			საყრდენზე მომენტები				განივი ძალები								
	M_1	M_2	M_3	M_B	M_C	M_D	M_E	Q_A	Q_B მარც	Q_B მარჯ	Q_C მარც	Q_C მარჯ	Q_D მარც	Q_D მარჯ	Q_E მარც	Q_E მარჯ	Q_F
P P P P P	0,171	0,112	0,132	-0,158	-0,118	-0,118	-0,158	0,342	-0,658	0,540	-0,460	0,500	-0,500	0,460	-0,540	0,658	0,342
P P P	0,211	-0,069	0,191	-0,079	-0,059	-0,059	-0,079	0,421	-0,579	0,020	0,020	0,500	-0,500	-0,020	-0,020	0,579	0,421
P P	-0,039	0,181	-0,059	-0,079	-0,059	-0,059	-0,079	-0,079	-0,079	0,520	-0,480	0,000	0,000	0,480	-0,520	0,079	-0,079
P P P				-0,179	-0,032	-0,066	-0,077	0,321	-0,679	0,647	-0,353	-0,034	-0,034	0,489	-0,511	0,077	-0,077
P P P				-0,052	-0,167	-0,031	-0,086	-0,052	-0,052	0,385	-0,615	0,637	-0,363	-0,056	-0,056	0,586	0,414
P				-0,100	0,027	-0,007	-0,02	0,400	-0,600	0,127	0,127	-0,034	-0,034	0,009	0,009	-0,002	0,002
P				-0,073	-0,081	0,022	-0,005	-0,073	-0,073	0,493	-0,507	0,102	0,102	-0,027	-0,027	0,005	-0,095
P				0,020	-0,079	-0,079	0,020	0,020	0,020	-0,099	-0,099	0,500	-0,500	0,099	0,099	-0,020	0,020

ხუთმალიანი კოჭები

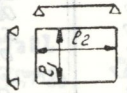
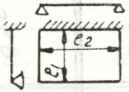
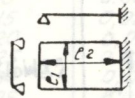
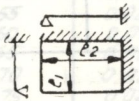
დატვირთვის სქემა	ამოყენტების ველში			ამოყენტების საყრდენზე				განივი ძალები									
	M_1	M_2	M_3	M_B	M_C	M_D	M_E	Q_A	$Q_B^{მარც}$	$Q_B^{მარჯ}$	$Q_C^{მარც}$	$Q_C^{მარჯ}$	$Q_D^{მარც}$	$Q_D^{მარჯ}$	$Q_E^{მარც}$	$Q_E^{მარჯ}$	Q_F
	0,240	0,100	0,122	-0,281	-0,211	-0,211	-0,281	0,719	-1,281	1,070	-0,930	1,000	-1,000	0,930	-1,070	1,281	0,219
	0,287	-0,117	0,228	-0,140	-0,105	-0,105	-0,140	0,860	-1,140	0,035	0,035	1,000	-1,000	-0,035	-0,035	1,140	0,860
	-0,047	0,216	-0,105	-0,140	-0,105	-0,105	-0,140	-0,140	-0,140	1,035	-0,965	0,000	0,000	0,965	-1,035	0,140	-0,140
				-0,319	-0,057	-0,118	-0,137	0,681	-1,319	1,262	-0,738	-0,061	-0,061	0,981	-1,019	0,137	-0,137
				-0,093	-0,207	-0,054	-0,153	-0,093	-0,093	0,796	-1,204	1,243	-0,757	-0,099	-0,099	1,153	0,847
				-0,179	0,048	-0,013	0,003	0,821	-1,179	0,227	0,227	-0,061	-0,061	0,016	0,016	-0,003	0,003
				-0,131	-0,144	0,038	-0,010	-0,131	-0,131	0,987	-1,013	0,182	0,182	-0,048	-0,048	0,010	-0,010
				0,035	-0,140	-0,140	0,035	0,035	0,035	-0,175	-0,175	1,000	-1,000	0,175	0,175	-0,035	

ხუთმალიანი კოჭები

დატვირთვის სქემა	ძოვენტები ველში			ძოვენტები საყრდენზე				განივი ძალები									
	M_1	M_2	M_3	M_B	M_C	M_D	M_E	Q_A	$Q_B^{მარც}$	$Q_B^{მარჯ}$	$Q_C^{მარც}$	$Q_C^{მარჯ}$	$Q_D^{მარც}$	$Q_D^{მარჯ}$	$Q_E^{მარც}$	$Q_E^{მარჯ}$	Q_F
	0,302	0,155	0,204	-0,395	-0,296	-0,296	-0,395	1,105	-1,895	1,599	-1,401	1,500	-1,500	1,401	-1,599	1,897	1,105
	0,401	-0,173	0,352	-0,198	-0,148	-0,148	-0,198	1,302	-1,697	0,050	0,050	1,500	-1,500	-0,050	-0,050	1,697	1,302
	-0,099	0,327	-0,148	-0,198	-0,148	-0,148	-0,198	-0,197	-0,197	1,550	-1,450	0,000	0,000	1,450	-1,550	0,197	-0,197
				-0,440	-0,081	-0,166	-0,193	1,051	-1,949	1,867	-1,133	-0,085	-0,085	1,473	-1,527	0,193	-0,193
				-0,139	-0,417	-0,076	-0,215	-0,130	-0,130	1,213	-1,787	1,841	-1,159	-0,139	-0,139	1,715	1,285
				-0,251	0,067	-0,018	0,004	1,249	-1,751	0,318	0,318	-0,085	-0,085	0,022	0,022	-0,004	0,004
				-0,184	-0,202	0,054	-0,013	-0,184	-0,184	1,482	-1,518	0,256	0,256	-0,067	-0,067	0,013	-0,013
				-0,049	-0,197	0,197	0,049	0,049	0,049	0,247	-0,247	1,500	-1,500	0,247	0,247	-0,049	0,049

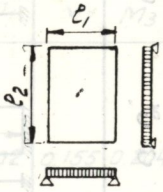
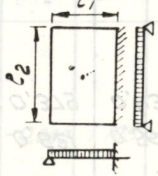
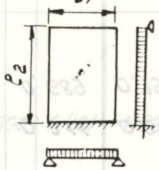
ცხრილი 1

კონტურზე დაყრდნობილი ფილების საანგარიშო C კოეფიციენტის მნიშვნელობა

დაყრდნობის სქემა	აღნიშვნა	l_2/l_1 ფილის გვერდების ფარდობისათვის										
		1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
	C_1	0,500	0,594	0,675	0,741	0,793	0,835	0,868	0,893	0,913	0,929	0,941
	C_2	0,500	0,406	0,325	0,259	0,207	0,165	0,132	0,107	0,087	0,071	0,059
	C_1	0,714	0,785	0,838	0,877	0,906	0,926	0,942	0,954	0,963	0,970	0,976
	C_2	0,286	0,285	0,162	0,123	0,094	0,074	0,058	0,046	0,037	0,030	0,024
	C_1	0,714	0,671	0,621	0,566	0,506	0,443	0,375	0,311	0,245	0,187	0,135
	C_2	0,286	0,329	0,379	0,434	0,494	0,557	0,625	0,689	0,755	0,813	0,865
	C_1	0,500	0,594	0,675	0,741	0,793	0,835	0,868	0,893	0,913	0,929	0,941
	C_2	0,500	0,406	0,325	0,259	0,207	0,165	0,132	0,107	0,087	0,071	0,059

ფილის გრძელი გვერდი—l_2;
მოკლე გვერდი—l_1.

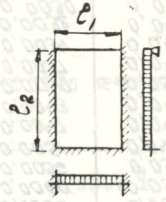
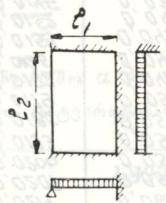
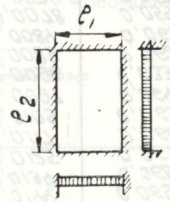
კონტურზე დაყრდნობილი ფილების საანგარიშო α და β კოეფიციენტები თანაბრად განაწილებული დატვირთვისას

ფილის გვერდების თანაფარდობა	სქემა 1		სქემა 2			სქემა 3		
	 $M_{1.1}=\alpha_{1.1}P$ $M_{2.1}=\alpha_{2.1}P$		 $M_{1.2}=\alpha_{1.2}P$ $M_{2.2}=\alpha_{2.2}P$ $\bar{M}_{1.2}=\beta_{1.2}P$			 $M_{1.3}=\alpha_{1.3}P$ $M_{2.3}=\alpha_{2.3}P$ $\bar{M}_{2.3}=\beta_{2.3}P$		
$\ell_2:\ell_1$	$\alpha_{1.1}$	$\alpha_{2.1}$	$\alpha_{1.2}$	$\alpha_{2.2}$	$\beta_{1.2}$	$\alpha_{1.3}$	$\alpha_{2.3}$	$\beta_{2.3}$
1.00	0,0365	0,0365	0,0334	0,0273	0,892	0,0273	0,0334	0,0693
1.05	0,0384	0,0347	0,0343	0,0252	0,0895	0,0293	0,0325	0,0683
1.10	0,0399	0,0330	0,0349	0,0231	0,0892	0,0313	0,0313	0,0867
1.15	0,0415	0,0314	0,0353	0,0213	0,0885	0,0332	0,0302	0,0844
1.20	0,0428	0,0298	0,0357	0,0196	0,0872	0,0348	0,0292	0,0820
1.25	0,0440	0,0282	0,0359	0,0179	0,0859	0,0363	0,0280	0,0791
1.30	0,0452	0,0268	0,0359	0,0165	0,0843	0,0378	0,0269	0,0760
1.35	0,0461	0,0253	0,0358	0,0152	0,0827	0,0391	0,0258	0,0726
1.40	0,0469	0,0240	0,0357	0,0140	0,0808	0,0401	0,0248	0,0688
1.45	0,0475	0,0225	0,0353	0,0128	0,0790	0,0411	0,0237	0,0654
1.50	0,0480	0,0214	0,0350	0,0119	0,0772	0,0420	0,0228	0,0620
1.55	0,0484	0,0201	0,0346	0,0109	0,0754	0,0427	0,0219	0,0586
1.60	0,0485	0,0189	0,0341	0,0101	0,0735	0,0433	0,0208	0,0553
1.65	0,0486	0,0179	0,0338	0,0093	0,0718	0,0437	0,0198	0,0519
1.70	0,0488	0,0169	0,0333	0,0086	0,0701	0,0441	0,0190	0,0489
1.75	0,0486	0,0158	0,0329	0,0080	0,0685	0,0443	0,0181	0,0460
1.80	0,0485	0,0148	0,0326	0,0075	0,0663	0,0444	0,0172	0,0432
1.85	0,0484	0,0140	0,0321	0,0069	0,0653	0,0445	0,0165	0,0407
1.90	0,0480	0,0133	0,0316	0,0064	0,0638	0,0445	0,0157	0,0382
1.95	0,0476	0,0125	0,0310	0,0060	0,0624	0,0444	0,0149	0,0359
2.00	0,0473	0,0118	0,0303	0,0056	0,0610	0,0443	0,0142	0,0338

$\ell_2 : \ell_1$	ფილის განივკვეთის თანაფარდობა	სვეტი 4			სვეტი 5			სვეტი 6		
		$\alpha_{1.4}$	$\alpha_{2.4}$	$\beta_{1.4}$	$\alpha_{1.5}$	$\alpha_{2.5}$	$\beta_{2.5}$	$\alpha_{1.6}$	$\alpha_{2.6}$	$\beta_{1.6}$	$\beta_{2.6}$
1.00		0,0267	0,0180	0,0694	0,0180	0,0267	0,0694	0,0269	0,0269	0,0625	0,0625
1.05		0,0267	0,0161	0,0680	0,0199	0,0265	0,0705	0,0282	0,0255	0,0655	0,0599
1.10		0,0266	0,0146	0,0667	0,0218	0,0262	0,0708	0,0292	0,0242	0,0675	0,0558
1.15		0,0264	0,0131	0,0650	0,0236	0,0258	0,0710	0,0301	0,0228	0,0691	0,0522
1.20		0,0261	0,0118	0,0633	0,0254	0,0254	0,0707	0,0309	0,0214	0,0703	0,0488
1.25		0,0257	0,0106	0,0616	0,0271	0,0248	0,0700	0,0314	0,0202	0,0710	0,0457
1.30		0,0254	0,0097	0,0599	0,0287	0,0242	0,0689	0,0319	0,0188	0,0711	0,0421
1.35		0,0250	0,0088	0,0582	0,0302	0,0235	0,0676	0,0320	0,0176	0,0709	0,0391
1.40		0,0245	0,0080	0,0565	0,0316	0,0229	0,0660	0,0323	0,0165	0,0709	0,0361
1.45		0,0240	0,0072	0,0550	0,0329	0,0222	0,0641	0,0324	0,0154	0,0703	0,0334
1.50		0,0235	0,0066	0,0534	0,0341	0,0214	0,0621	0,0324	0,0144	0,0695	0,0310
1.55		0,0230	0,0060	0,0519	0,0352	0,0207	0,0599	0,0323	0,0134	0,0686	0,0286
1.60		0,0226	0,0056	0,0506	0,0362	0,0200	0,0577	0,0321	0,0125	0,0678	0,0265
1.65		0,0221	0,0051	0,0493	0,0369	0,0193	0,0565	0,0319	0,0117	0,0668	0,0245
1.70		0,0217	0,0047	0,0478	0,0376	0,0186	0,0531	0,0316	0,0109	0,0657	0,0228
1.75		0,0212	0,0043	0,0466	0,0383	0,0179	0,0507	0,0313	0,0097	0,0645	0,0211
1.80		0,0208	0,0040	0,0554	0,0388	0,0172	0,0484	0,0308	0,0096	0,0335	0,0196
1.85		0,0204	0,0037	0,0443	0,0393	0,0165	0,0461	0,0305	0,0089	0,0622	0,0183
1.90		0,0199	0,0034	0,0432	0,0396	0,0158	0,0439	0,0302	0,0084	0,0612	0,0169
1.95		0,0196	0,0032	0,0422	0,0398	0,0152	0,0418	0,0299	0,0078	0,0599	0,0160
2.00		0,0193	0,0030	0,0412	0,0400	0,0146	0,0397	0,0294	0,0074	0,0588	0,0147

დანართი XXVI (გაგრძელება)

ცხრილი 2 (გაგრძელება)

ფილის განფენილობის თანაფარდობა	სქემა 7				სქემა 8				სქემა 9			
	 $M_{1,7}=\alpha_{1,7}P_1$; $M_{2,7}=\alpha_{2,7}P_1$; $\bar{M}_{1,7}=-\beta_{1,7}P_1$; $\bar{M}_{2,7}=-\beta_{2,7}P_1$				 $M_{1,8}=\alpha_{1,8}P_1$; $M_{2,8}=\alpha_{2,8}P_1$; $\bar{M}_{1,8}=-\beta_{1,8}P_1$; $\bar{M}_{2,8}=-\beta_{2,8}P_1$				 $M_{1,9}=\alpha_{1,9}P_1$; $M_{2,9}=\alpha_{2,9}P_1$; $\bar{M}_{1,9}=-\beta_{1,9}P_1$; $\bar{M}_{2,9}=-\beta_{2,9}P_1$			
$\ell_2:\ell_1$	$\alpha_{1,7}$	$\alpha_{2,7}$	$\beta_{1,7}$	$\beta_{2,7}$	$\alpha_{1,8}$	$\alpha_{2,8}$	$\beta_{1,8}$	$\beta_{2,8}$	$\alpha_{1,9}$	$\alpha_{2,0}$	$\beta_{1,9}$	$\beta_{2,0}$
1.00	0,0226	0,0198	0,0556	0,0417	0,0198	0,0226	0,0417	0,0556	0,0179	0,0179	0,0417	0,0417
1.05	0,0231	0,0184	0,0560	0,0385	0,0213	0,0221	0,0450	0,0545	0,0187	0,0171	0,0437	0,0394
1,10	0,0234	0,0169	0,0565	0,0350	0,0226	0,0212	0,0481	0,0530	0,0134	0,0161	0,0450	0,0372
1,15	0,0236	0,0154	0,0564	0,0319	0,0238	0,0206	0,0507	0,0511	0,0200	0,0150	0,0461	0,0349
1,20	0,0236	0,0142	0,0560	0,0292	0,0246	0,0198	0,0530	0,0491	0,0204	0,0142	0,0468	0,0325
1,25	0,0236	0,0132	0,0552	0,0267	0,0258	0,0189	0,0549	0,0470	0,0207	0,0133	0,0473	0,0303
1,30	0,0235	0,0120	0,0545	0,0242	0,0266	0,0181	0,0565	0,0447	0,0208	0,0123	0,0475	0,0281
1.35	0,0233	0,0110	0,0536	0,0222	0,0272	0,0172	0,0577	0,0424	0,0210	0,0115	0,0474	0,0262
1,40	0,0230	0,0102	0,0526	0,0202	0,0279	0,0162	0,0588	0,0400	0,0210	0,0107	0,0473	0,0240
1,45	0,0228	0,0094	0,0516	0,0185	0,0282	0,0154	0,0593	0,0377	0,0209	0,0100	0,0469	0,0223
1,50	0,0225	0,0086	0,0506	0,0169	0,0285	0,0146	0,0597	0,0354	0,0208	0,0093	0,0464	0,0206
1,55	0,0221	0,0079	0,0495	0,0155	0,0289	0,0138	0,0599	0,0332	0,0206	0,0086	0,0459	0,0191
1,60	0,0218	0,0073	0,0484	0,0142	0,0289	0,0130	0,0599	0,0312	0,0205	0,0080	0,0452	0,0177
1,65	0,0214	0,0067	0,0473	0,0131	0,0290	0,0123	0,0597	0,0293	0,0202	0,0074	0,0446	0,0164
1,70	0,0210	0,0062	0,0462	0,0120	0,0290	0,0116	0,0594	0,0274	0,0200	0,0069	0,0438	0,0152
1,75	0,0206	0,0058	0,0452	0,0112	0,0290	0,0109	0,0589	0,0256	0,0197	0,0064	0,0431	0,0141
1,80	0,0203	0,0054	0,0442	0,0102	0,0288	0,0103	0,0583	0,0240	0,0195	0,0060	0,0423	0,0131
1,85	0,0200	0,0050	0,0432	0,0095	0,0286	0,0097	0,0576	0,0225	0,0192	0,0056	0,0415	0,0122
1,90	0,0196	0,0046	0,0422	0,0088	0,0284	0,0092	0,0570	0,0212	0,0190	0,0052	0,0408	0,0113
1,95	0,0192	0,0043	0,0413	0,0082	0,0282	0,0086	0,0562	0,0198	0,0186	0,0049	0,0400	0,0107
2.00	0,0189	0,0040	0,0404	0,0076	0,0280	0,0081	0,0555	0,0187	0,0183	0,0046	0,0392	0,0098

ელემენტი	ფერმებისა და თაღების ელემენტების საანგარიშო სიგრძე, l_0
1. ფერმების ელემენტები:	
1.1. ზედა სარტყლის გაანგარიშებისათვის	
ა) ფერმის სიბრტყეში, როდესაც ექსცენტრისიტეტი	
$e_0 < \frac{1}{8} h_{ზ.ს}$	0,9 l
$e_0 \geqslant \frac{1}{8} h_{ზ.ს}$	0,8 l
ბ) ფერმის სიბრტყის გარეთ:	
უბანზე ფარნის ქვეშ, როდესაც ფარნის სიგანე 12 მ და მეტია	0,8 l
დანარჩენ შემთხვევებში	0,9 l
1.2. ირიბნებისა და დგარების გაანგარიშებისათვის	
გ) ფერმის სიბრტყეში	0,8 l
დ) ფერმის სიბრტყის გარეთ, როდესაც	
$b_{ზ.ს}/b_{დგ} < 1,5$	0,9 l
$b_{ზ.ს}/b_{დგ} \geqslant 1,5$	0,8 l
2. თაღები:	
ა) თაღის სიბრტყეში გაანგარიშებისათვის	
სამსახსრიანი თაღის	0,585 s
ორსახსრიანი თაღის	0,54 s
უსახსრო თაღის	0,365 s
ბ) თაღის სიბრტყის გარეთ გაანგარიშებისათვის (ნებისმიერი თაღისა)	s

მიღებული აღნიშვნები:

l — ელემენტის სიგრძე; მეზობელი კვანძების ცენტრებს შორის მანძილი; ფერმის სიბრტყის გარეთ ზედა სარტყლის გაანგარიშებისას მანძილი მისი დამაგრების კვეთებს შორის;

s — თაღის სიგრძე მისი გეომეტრიული ღერძის გასწვრივ; თაღის სიბრტყის გარეთ გაანგარიშებისას თაღის სიგრძე მისი დამაგრების კვეთებს შორის;

$h_{ზ.ს}$ — ფერმის ზედა სარტყლის კვეთის სიმაღლე;

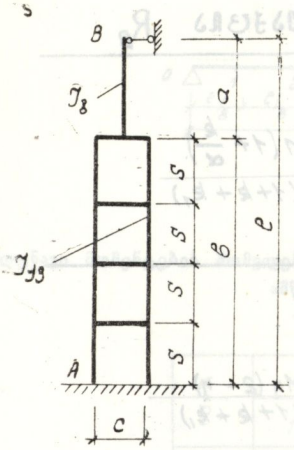
$b_{ზ.ს}$, $b_{დგ}$ — კვეთის სიგანე შესაბამისად ფერმის ზედა სარტყლისა და დგარებისათვის (ირიბნებისათვის).

შენობისა და სვეტების დახასიათება				ერთსართულიანი შენობების სვეტების საანგარიშო სიგრძე l_0 მათი გაანგარიშებისათვის სიბრტყეში, რომელიც		
				პარალელურია განივი ჩარჩოსი ან მართობულია ესტაკადის ღერძის	მართობულია განივი ჩარჩოსი ან პარალელურია ესტაკადის ღერძის	
					სვეტების ან საანკერო საყრდენების გრძივ რიგში არსებული ან არარსებული კავშირების შემთხვევაში	
					არსებული	არარსებული
1. შენობები ხიდური ამწეებით	ამწის დატვირთვის გათვალისწინებით	სვეტების ქვედა (ამწისქვეშა) ნაწილი, როდესაც ამწისქვეშა კოჭები არის	ჭრილი უჭრი	$1,5H_1$ $1,2H_1$	$0,8H_1$ $0,8H_1$	$1,2H_1$ $0,8H_1$
		სვეტების ზედა (ამწისზედა) ნაწილი, როდესაც ამწისქვეშა კოჭები არის	ჭრილი უჭრი	$2,0H_2$ $2,0H_2$	$1,5H_2$ $1,5H_2$	$2,0H_2$ $1,5H_2$
	ამწის დატვირთვის გაუთვალისწინებლად	სვეტების ქვედა (ამწისქვეშა) ნაწილი, შენობებისათვის	ერთმალიანი მრავალმალიანი	$1,5H$ $1,2H$	$0,8H_1$ $0,8H_1$	$1,2H$ $1,2H$
		სვეტების ზედა (ამწისზედა) ნაწილი, როდესაც ამწისქვეშა კოჭები არის	ჭრილი უჭრი	$2,5H_2$ $2,0H_2$	$1,5H_2$ $1'5H_2$	$2,0H_2$ $1,5H_2$
2. შენობები ხიდური ამწეების გარეშე	საფეხუროვანი სვეტები	სვეტების ქვედა ნაწილი შენობებისათვის	ერთმალიანი მრავალმალიანი	$1,5H$ $1,2H$	$0,8H$ $0,8H$	$1,2H$ $1,2H$
		სვეტების ზედა ნაწილი		$2,5H_2$	$2,0H_2$	$2,5H_2$
	მუდმივი კვეთის სვეტები შენობებისათვის	ერთმალიანი მრავალმალიანი		$1,5H$ $1,2H$	$0,8H$ $0,8H$	$1,2H$ $1,2H$
3. ამწეთა ღია ესტაკადები, როდესაც ამწისქვეშა კოჭებია			ჭრილი უჭრი	$2,0H_1$ $1,5H_1$	$0,8H_1$ $0,8H_1$	$1,5H_1$ H_1
4. ღია ესტაკადები მილსადენების ქვეშ, როდესაც სამალო ნაშენებისა და სვეტების შეერთება არის			სახსრული ხისტი	$2,0H$ $1,5H$	H $0,7H$	$2,0H$ $1,5H$

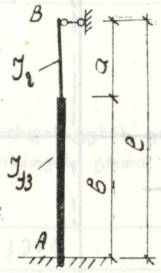
ცხრილში მიღებული აღნიშვნები: H — სვეტის სრული სიმაღლე, მანძილი საძირკვლის ზედაპირიდან ჰორიზონტალურ კონსტრუქციამდე (ნივნივების, ნივნივქვეშა, ვანბჟენების) შესაბამის სიბრტყეში: H_1 — სვეტის ნაწილის სიმაღლე საძირკვლის ზედაპირიდან სვეტის საფეხურამდე; H_2 — სვეტის ამწისზედა ნაწილის სიმაღლე საძირკვლის ზედაპირიდან ეირიზონტალურ კონსტრუქციამდე შესაბამის სიბრტყეში.

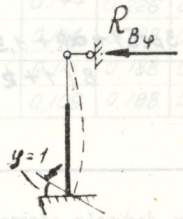
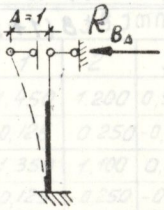
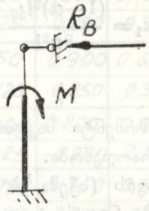
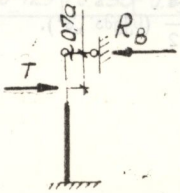
შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: შენობებში ხიდური ამწეებით, როდესაც კავშირები მოწყობილია სვეტის ზედა ბოლომდე, ამწისზედა ნაწილის საანგარიშო სიგრძე გრძივი რიგის სიბრტყეში მიიღება H_2 ტოლი.

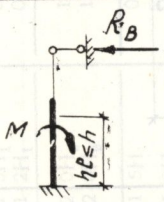
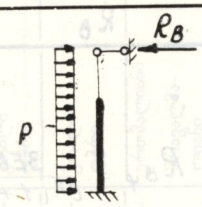
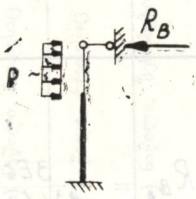
ა



ბ



დატვირთვის სქემა	საანგარიშო ჩარჩოს R_B
	$R_{B\varphi} = \frac{3E6J_{fg}}{l^2(1+k+k_1)}$
	$R_{B\Delta} = \frac{3E6J_{fg}}{l^3(1+k+k_1)}$
	$R_B = \frac{3M(1-\alpha^2)}{2l(1+k+k_1)}$
	$R_B = \frac{T(1-\alpha-k_1)}{1+k+k_1}$

დატვირთვის სქემა	საანგარიშო ფორმულა R_B
	$R_B = \frac{3M\left(1+\frac{k}{\alpha}\right)}{2\ell\left(1+k+k_1\right)}$
	$R_B = \frac{3M\eta\left(2-\eta\right)}{2\ell\left(1+k+k_1\right)}$
	$R_B = \frac{3p\ell\left[1+\alpha k+1{,}33\left(1+\alpha\right)k_1\right]}{8\left(1+k+k_1\right)}$
	$R_B = \frac{p\ell\left[3\left(1+\alpha k\right)-\left(3+\alpha\right)\left(1-\alpha\right)^3+\alpha k_1\right]}{8\left(1+k+k_1\right)}$

აღნიშვნები:

$$\alpha = \frac{a}{l};$$

$$k = \alpha^3\left(\frac{I_{ქვ}}{I_{ტ}} - 1\right); \qquad k_1 = \frac{(1-\alpha)^3 I_{ქვ}}{8n^2 I};$$

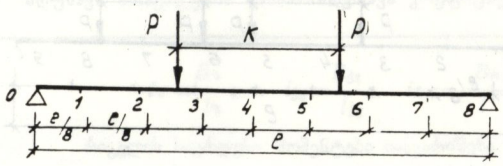
A—ტოტის კვეთის ფართობი;

I—ტოტის კვეთის ინერციის მომენტი საკუთარი ცენტრალური ღერძის მიმართ; n—ორტოტა სვეტის პანელების რაოდენობა.

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: 1. მთლიანკვეთიანი სვეტებისათვის (სქემა „ბ“) ფორმულებში შემავალი k_1 სიდიდე მიიღება ნულის ტოლი;

2. ორტოტა სვეტის ინერციის მომენტი ქვედა ორტოტა ნაწილში იანგარიშება ფორმულით

$$I_{ქვ} = A\,\frac{c^2}{2}$$ (სქემა „ა“).



ცხრილი 1

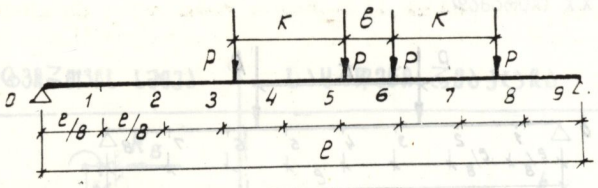
მღუნავი მომენტების მომვლები ეპიურის ორდინატების განსასაზღვრავი კოეფიციენტები ამწისქვეშა კოჭისათვის ერთი ამწით

K/ℓ	კვეთი						
	1	2	3	4	5	6	7
0,3	0,181	0,301	0,357	0,350	0,357	0,301	0,181
0,4	0,168	0,275	0,320	0,300	0,320	0,275	0,168
0,5	0,156	0,251	0,281	0,250	0,281	0,251	0,156
0,6	0,144	0,226	0,245	0,250	0,245	0,226	0,144
0,7	0,131	0,198	0,235	0,250	0,235	0,198	0,131
0,8	0,118	0,188	0,235	0,250	0,235	0,188	0,118
0,9	0,109	0,188	0,235	0,250	0,235	0,188	0,109

ცხრილი 2

განივი ძალების მომვლები ეპიურის ორდინატების განსასაზღვრავი კოეფიციენტები ამწისქვეშა კოჭისათვის ერთი ამწით

K/ℓ	კვეთი								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0,3	1.700	1,450	1,200	0,950	0,700	0,450	0,250	0,125	0,000
	0,00	-0,125	-0,250	-0,450	-0,700	-0,950	-1,200	-1,450	-1,700
0,4	1,600	1,350	1,100	0,850	0,600	0,375	0,250	0,125	0,000
	0,000	-0,125	-0,250	-0,370	-0,600	-0,850	-1,100	-1,350	-1,600
0,5	1,500	1,250	1,000	0,750	0,500	0,375	0,250	0,125	0,000
	0,000	-0,125	-0,250	-0,375	-0,500	-0,750	-1,000	-1,250	-1,500
0,6	1.400	1.150	0.900	0.650	0,500	0,375	0,250	0,125	0.000
	0.000	-0.125	-0.250	-0,375	-0,500	-0,650	-0,900	-1.150	-1.400
0,7	1.300	1.000	0,800	0,625	0,500	0,375	0,250	0,125	0.000
	0.000	-0.125	-0,250	-0,375	-0.500	-0,625	-0,800	-1050	-1.300
0,8	1.200	0.950	0.750	0,625	0.500	0,375	0,250	0,125	0 000
	0.000	-0.125	-0,250	-0,375	-0,500	-0,625	-0,750	-0.950	-1.200
0,9	1.100	0.875	0,750	0,625	0,500	0,375	0,250	0,125	0.000
	0.000	-0.125	-0,250	-0,375	-0,500	-0,625	-0,750	-0,875	-1.100



ცხრილი 3

მღუნავი მომენტების მომვლები ეპიურის ორდინატების განსასაზღვრავი კოეფიციენტები ამწისქვეშა კოჭებისათვის ორი ერთნაირი ამწით

δ/ℓ	K/ℓ	ეპური						
		1	2	3	4	5	6	7
0,125	0,3	0,257	0,426	0,545	0,575	0,545	0,426	0,257
	0,4	0,245	0,401	0,461	0,488	0,461	0,401	0,245
	0,5	0,233	0,376	0,423	0,438	0,423	0,376	0,233
0,250	0,6	0,190	0,312	0,377	0,375	0,377	0,312	0,190
	0,7	0,187	0,312	0,377	0,375	0,377	0,312	0,187
	0,8	0,187	0,312	0,377	0,375	0,377	0,312	0,187
	0,9	0,187	0,312	0,377	0,375	0,377	0,312	0,187

ცხრილი 4

განივი ძალების მომვლები ეპიურის ორდინატების განსასაზღვრავი კოეფიციენტები ამწისქვეშა კოჭებისათვის ორი ერთნაირი ამწით

δ/ℓ	K/ℓ	ეპური								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
0,125	0,3	2,450	2,075	1,700	1,150	0,775	0,450	0,250	0,125	0,000
		0,000	-0,125	-0,250	-0,450	-0,775	-1,150	-1,700	-2,075	-2,450
	0,4	2,350	1,975	1,600	1,225	0,775	0,400	0,250	0,125	0,000
		0,000	-0,125	-0,250	-0,400	-0,775	-1,225	-1,600	-1,975	-2,350
	0,5	2,250	1,875	1,500	1,125	0,875	0,500	0,250	0,125	0,000
		0,000	-0,125	-0,250	-0,500	-0,875	-1,125	-1,500	-1,875	-2,250
0,250	0,6	1,900	1,525	1,250	1,000	0,750	0,500	0,250	0,125	0,000
		0,000	-0,125	-0,250	-0,500	-0,750	-1,000	-1,250	-1,525	-1,900
	0,7	1,800	1,500	1,250	1,00	0,750	0,500	0,250	0,125	0,000
		0,000	-0,125	-0,250	-0,500	-0,750	-1,000	-1,250	-1,500	-1,800
	0,8	1,750	1,500	1,250	1,000	0,750	0,500	0,250	0,125	0,000
		0,000	-0,125	-0,250	-0,500	-0,750	-1,000	-1,250	-1,500	-1,750
	0,9	1,750	1,500	1,250	1,000	0,750	0,500	0,250	0,125	0,000
		0,000	-0,125	-0,250	-0,500	-0,750	-1,000	-1,250	-1,500	-1,750

მომვლები ეპიურების ორდინატები იანგარიშება ფორმულით

$$M=\alpha Pl, \quad Q=\gamma P,$$

სადაც α და γ შესაბამისად მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების ორდინატების საანგარიშო კოეფიციენტებია; α მიიღება 1 და 3 ცხრილებიდან, γ—2 და 4 ცხრილებიდან;

P—ამწის თითოეული თვალიდან კოჭზე გადაცემული დატვირთვა;

l—ამწისქვეშა კოჭის საანგარიშო მალი;

k—ხიდური ამწის ბაზა (თვლებს შორის მანძილი ხიდის განივად)

მრავალსართულიანი მრავალმალიანი ჩარჩოების მიახლოებითი გაანგარიშებისათვის რიგელების მღუნავი მომენტების განსასაზღვრავი კოეფიციენტების ცხრილები

$$i_{ზ}=\frac{B_{ზ}}{l_{ზ}};\qquad i_{ქვ}=\frac{B_{ქვ}}{l_{ქვ}};\qquad i_{რ}=\frac{B_{რ}}{l}.$$

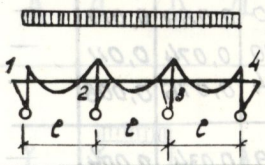
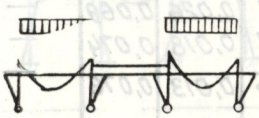
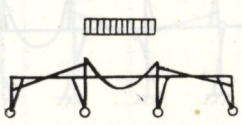
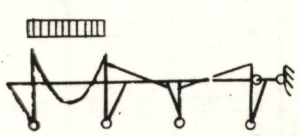
რიგელის საყრდენი მომენტები იანგარიშება ფორმულით

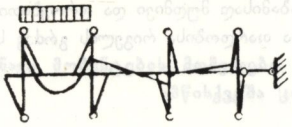
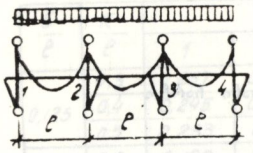
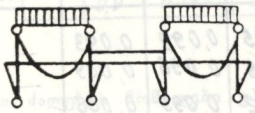
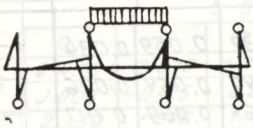
$$M=(\alpha g+\beta P)l^2$$

სადაც α და β არის ცხრილის კოეფიციენტები შესაბამისად მუდმივი და დროებითი დატვირთვების სქემისათვის და კვანძში დგარების გრძივ სიხისტეთა ფარდობისა რიგელის გრძივ სიხისტესთან;

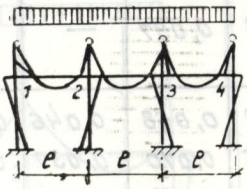
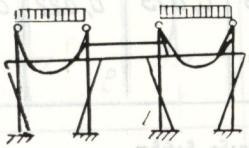
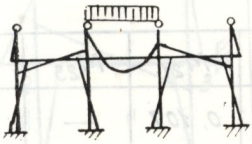
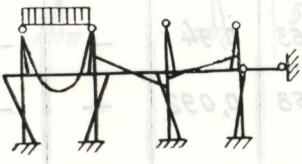
$i_{ზ}$ — რიგელსზედა დგარის გრძივი სიხისტე;
$i_{ქვ}$ — ქვედა დგარის გრძივი სიხისტე;
$i_{რ}$ — რიგელის გრძივი სიხისტე.

ზედა სართულის სამმალიანი ჩარჩო

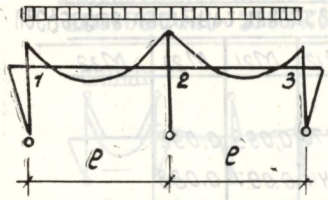
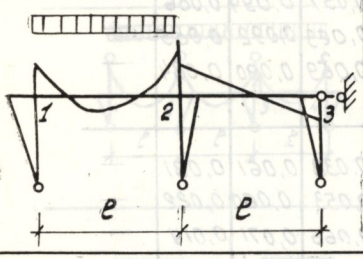
დატვირთვის სქემა და მომენტების ეპიურა	$i_{ქვ}$ / $i_{რ}$	რიგელის საყრდენი მომენტები			
		M_{12}	M_{21}	M_{23}	M_{32}
	0,25	0,025	0,099	0,093	—
	0,5	0,038	0,098	0,089	—
	1	0,052	0,095	0,086	—
	1,5	0,059	0,093	0,085	—
	0,25	0,032	0,059	0,034	—
	0,5	0,047	0,064	0,026	—
	1	0,061	0,069	0,017	—
	1,5	0,067	0,072	0,013	—
	0,25	0,007	0,04	0,059	—
	0,5	0,009	0,034	0,064	—
	1	0,009	0,026	0,069	—
	1,5	0,008	0,021	0,072	—
	0,25	0,03	0,069	0,049	0,015
	0,5	0,045	0,071	0,039	0,013
	1	0,059	0,073	0,028	0,011
	1,5	0,065	0,075	0,022	0,009

დატვირთვის სქემა და კოეფიციენტის ეპიურა	$\frac{სვეტი}{ბრ}$	ხრიბელების საანგარიშო მომენტები			
		M_{12}	M_{21}	M_{23}	M_{32}
	0,5	0,045	0,07	0,039	0,013
	1	0,059	0,073	0,028	0,011
	2	0,069	0,075	0,019	0,008
	3	0,074	0,077	0,014	0,006
	0,5	0,038	0,098	0,089	—
	1	0,052	0,095	0,080	—
	2	0,063	0,092	0,085	—
	3	0,068	0,089	0,084	—
	0,5	0,047	0,004	0,026	—
	1	0,060	0,069	0,017	—
	2	0,070	0,074	0,011	—
	3	0,074	0,076	0,008	—
	0,5	0,009	0,034	0,004	—
	1	0,008	0,026	0,069	—
	2	0,007	0,018	0,074	—
	3	0,006	0,013	0,076	—

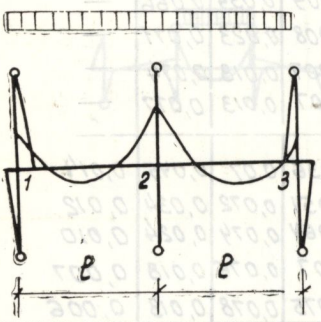
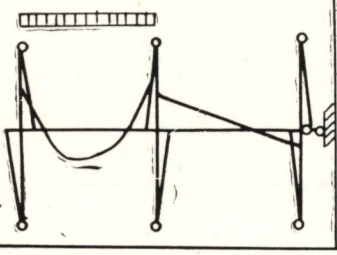
პირველი (ქვედა) სართულის სამმალიანი ჩარჩო

დატვირთვის სქემა და მომენტების ეპიურა	$i=3+1.5i_{ბ}$	მრიცხველების საანგარიშო მომენტები			
	$i_{რ}$	M_{12}	M_{21}	M_{23}	M_{32}
	0,5	0,070	0,099	0,092	—
	1	0,044	0,097	0,088	—
	2	0,057	0,094	0,086	—
	3	0,063	0,092	0,085	—
	5	0,069	0,090	0,084	—
	0,5	0,038	0,061	0,031	—
	1	0,053	0,060	0,022	—
	2	0,065	0,071	0,014	—
	3	0,070	0,074	0,011	—
	5	0,076	0,077	0,007	—
	0,5	0,008	0,038	0,051	—
	1	0,009	0,034	0,066	—
	2	0,008	0,023	0,071	—
	3	0,007	0,018	0,074	—
	5	0,007	0,013	0,077	—
	0,5	0,036	0,07	0,045	0,014
	1	0,051	0,072	0,034	0,012
	2	0,064	0,074	0,024	0,010
	3	0,07	0,076	0,018	0,007
	5	0,075	0,078	0,013	0,006

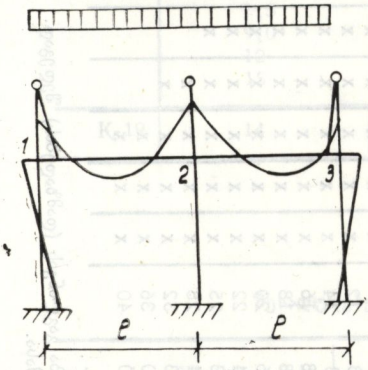
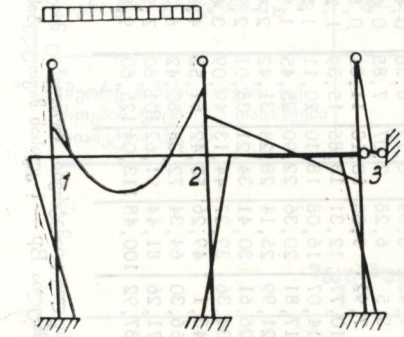
ზედა სართულის ორმალიანი ჩარჩო

დატვირთვის სქემა და მღუნავი მომენტების ეპიურა	$i_{ვე}$ / $i_{ჩ}$	შებგერის საანგარიშო მომენტები M_{12}	M_{21}	M_{23}	M_{32}
	0,25	0,023	0,114	—	—
	0,50	0,036	0,107	—	—
	1	0,050	0,100	—	—
	1,50	0,058	0,097	—	—
	0,25	0,031	0,068	0,046	0,008
	0,50	0,045	0,070	0,037	0,009
	1,00	0,059	0,073	0,027	0,009
	1,50	0,066	0,075	0,022	0,008

შუალედი სართულების ორმალიანი ჩარჩო

	$\frac{i_{ვე}+i_{ზე}}{i_{ჩ}}$	M_{12}	M_{21}	M_{23}	M_{32}
	0,5	0,036	0,107	—	—
	1,0	0,050	0,100	—	—
	2,0	0,063	0,94	—	—
	3,0	0,068	0,092	—	—
	0,5	0,045	0,070	0,037	0,009
	1,0	0,059	0,073	0,027	0,009
	2,0	0,070	0,076	0,018	0,007
	3,0	0,074	0,078	0,014	0,006

პირველი (ქვედა) სართულის ორმალიანი ჩარჩო

დატვირთვის სქემა და ძალვის მოქვინტების ეპიურა	$\frac{i_{23}+1{,}5i_{12}}{i_{12}}$	M_{12}	M_{21}	M_{23}	M_{32}
	0,5	0,029	0,111	—	—
	1,0	0,042	0,104	—	—
	2,0	0,056	0,098	—	—
	3,0	0,063	0,094	—	—
	5,0	0,069	0,091	—	—
	0,5	0,037	0,068	0,043	0,008
	1,0	0,051	0,071	0,033	0,009
	2,0	0,064	0,074	0,024	0,008
	3,0	0,070	0,076	0,018	0,007
	5,0	0,075	0,078	0,013	0,006

დანართი XXXII

არმატურის განივკვეთის საანგარიშო ფართობები და მასა, ღეროვანი და მავთულოვანი არმატურის სორტამენტი

დიამეტრი, მმ	განივკვეთის საანგარიშო ფართობები (სმ²) ღეროების რაოდენობისათვის										მასა, კგ/მ	დიამეტრი, მმ	ცხლად გლინული ღეროვანი არმატურის სორტამენტი კლასებისათვის								მავთულოვანი არმატურა	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			A—I	A—II	A—III	A—IV	A_T—IV	A—V	A_T—V	A_T—VI	ჩვეულებრივი	მაღალი სიმტკიცის
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	x
4	0,126	0,25	0,38	0,50	0,63	0,76	0,88	1,01	1,13	1,26	0,098 (0,090)	4	x	—							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	x
6	0,283	0,57	0,85	1,13	1,42	1,70	1,98	2,26	2,55	2,83	0,222	6	x	—	x						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	7	x	—	x						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	8	x	—	x						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	9	x	—	x							
10	0,785	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,5	6,28	7,07	7,85	0,617	10	x	x	x	x	x	x	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	12	x	x	x	x	x	x	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	14	x	x	x	x	x	x	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	16	x	x	x	x	x	x	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	18	x	x	x	x	x	x	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	20	x	x	x	x	x	x	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	22	x	x	x	x	x	x	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	25	x	x	x	x	x	x	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	28	x	x	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	32	x	x	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	36	x	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	40	x	x	x							

შ ე ნ ი შ ვ ნ ე ბ ი: 1. x ნიშნით აღნიშნულია დიამეტრები, რომლებიც მიიღება გაგლინვის (დამზადების) შედეგად.
2. ფრჩხილებში აღნიშნულია Bp — I კლასის მავთულების მასა.

დანართი XXXIII

საარმატურე ბაგირების სორტამენტი

ბაგირის კლასი	ბაგირის ნომინალური დიამეტრი, მმ	მავთულების დიამეტრი, მმ	ბაგირის განივკვეთის საანგარიშო ფართობი, სმ²	1 მ სიგრძის ბაგირის თეორიული მასა, კგ
К-7	4,5	1,5	0,127	0,1
	6,0	2	0,227	0,173
	7,5	2,5	0,354	0,279
	9,0	3	0,51	0,402
	12	4	0,906	0,714
	15	5	1,416	1,116
К-19	14	3	1,287	1,02

დანართი XXXIV

შესადუღებელი ღეროების დიამეტრების თანაფარდობა

ერთ-ერთი მიმართულების ღეროების დიამეტრი d_1, მმ	3—12	14; 16	18; 20	22	25; 28; 32	36; 40
მეორე მიმართულების ღეროების უმცირესი დასაშვები დიამეტრი d_2, მმ	2	4	5	6	8	10

დანართი XXXV

შეკუმშული ელემენტების საანგარიშო სიგრძე

კონსტრუქციების სახეობა	l_0
ა) მრავალსართულიანი შენობების სვეტებისათვის, როდესაც მალების რაოდენობა ორი და მეტია და რიგელებისა და სვეტების შეერთების კვანძი ხისტი	გადახურვა: ასაწყობი რკინაბეტონის — H მონოლითური —— 0,7 H. H სართულის სიმაღლე — კვანძების ცენტრებს შორის მანძილია
ბ) ერთსართულიანი შენობების სვეტებისათვის მასზე სახურავის სახსროვნად დაყრდნობის შემთხვევაში	დანართი XXVIII და СНиП 2.03.01—84-ის ცხრილი 32
გ) წამწისა და თაღების ელემენტებისათვის	დანართი XXVII და СНиП 2.03.01-84-ის ცხრილი 33

კონსტრუქციების დაპროექტებისას დანიშნულების მიხედვით შენობებისა და ნაგებობების პასუხისმგებლობის გათვალისწინების წესები

1. შენობებისა და ნაგებობების პასუხისმგებლობის ხარისხის გათვალისწინების წინამდებარე წესები გამოიყენება მრეწველობის, სასოფლო-სამეურნეო, ენერგეტიკის, ტრანსპორტის, კავშირგაბმულობის, წყალთა მეურნეობისა და საცხოვრებელ-სამოქალაქო დანიშნულების ობიექტების შენობებისა და ნაგებობების კონსტრუქციების დაპროექტებისათვის, გარდა იმ ობიექტებისა, რომელთა პასუხისმგებლობის დონე დადგენილია დაპროექტების ნორმების შესაბამის თავებში.

2. შენობებისა და ნაგებობების პასუხისმგებლობის დონეს კონსტრუქციების დაპროექტებისას ითვალისწინებენ γ_n საიმედოობის კოეფიციენტით დანიშნულების მიხედვით, ეკონომიკური ურთიერთდახმარების საბჭოს სტანდარტების თანახმად СЭВ 384—76 «Строительные конструкции и основания».

შენობებისა და ნაგებობების პასუხისმგებლობის დონე განისაზღვრება იმ მატერიალური და სოციალური ზიანის მიხედვით, რაც შეიძლება მოჰყვეს კონსტრუქციების ზღვრული მდგომარეობების დადგომას.

3. დანიშნულების მიხედვით γ_n საიმედოობის კოეფიციენტზე იყოფა: ზიდვის უნარის ზღვრული მნიშვნელობები, საანგარიშო წინაღობების მნიშვნელობები, დეფორმაციებისა და ბზარების გახსნის ზღვრული მნიშვნელობები; ან γ_n-ზე მრავლდება: საანგარიშო დატვირთვების, ძალვების ან სხვა ზემოქმედებების მნიშვნელობები.

4. γ_n საიმედოობის კოეფიციენტების მნიშვნელობები განისაზღვრება შენობებისა და ნაგებობების პასუხისმგებლობის კლასისაგან დამოკიდებულებით:

შენობებისა და ნაგებობების პასუხისმგებლობის კლასი	γ_n
I	1
II	0,95
III	0,90

დროებითი შენობა-ნაგებობებისათვის, რომელთა სამსახურის ვადა 5 წელს არ აღემატება, დასაშვებია მიღება $\gamma_n = 0{,}8$

შენობებისა და ნაგებობების პასუხისმგებლობის კლასები

კლასი I. ძირითადი შენობები და ნაგებობები ისეთი ობიექტებისა, რომელთაც ენიჭებათ განსაკუთრებით დიდი სახალხო-სამეურნეო და (ან) სოციალური მნიშვნელობა, როგორიცაა თბოელექტროსადგურებისა და ატომური ელექტროსადგურების მთავარი კორპუსები, საბრძმედე ღუმლების ცენტრალური კვანძები, 200 მ მაღალი საკვამლე მილები, ტელევიზიის კოშკები, 10 ათას მ³ მეტი მოცულობის ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების რეზერვუარები, დახურული სპორტული ნაგებობები ტრიბუნებით, თეატრების, კინო-

თეატრების, ცირკის, დახურული ბაზრების, სასწავლებლების, სკოლამდელი საბავშვო დაწესებულებების, საავადმყოფოების, სამშობიარო სახლების, მუზეუმების, სახელმწიფო არქივების და სხვ. შენობები.

II კლასი. შენობები და ნაგებობები, რომელთაც აქვთ განსაკუთრებული სახალხო-სამეურნეო და (ან) სოციალური მნიშვნელობა (სამრეწველო, სასოფლო-სამეურნეო, საცხოვრებელ-სამოქალაქო, კავშირგაბმულობის დანიშნულების ობიექტები, რომლებიც არ განეკუთვნებიან I და III კლასს).

III კლასი. შენობები და ნაგებობები, რომელთაც აქვთ შეზღუდული სახალხო-სამეურნეო და (ან) სოციალური მნიშვნელობა. მაგალითად, საწყობები დახარისხებისა და შეფუთვის პროცესების გარეშე სასოფლო-სამეურნეო პროდუქტებისათვის, სასუქის, ქიმიკატების, ნახშირის, ტორფის და სხვ.; სათბურები, სანერგეები, ერთსართულიანი საცხოვრებელი სახლები, კავშირისა და განათების ქსელის საყრდენები; დროებითი შენობები და ნაგებობები და სხვ.

ლიტერატურა

1. მ. წულეისკირი. რკინაბეტონის ზოგადი კურსი. გამომცემლობა „განათლება“, თბილისი, 1973.
2. გ. ქარცივაძე. სეისმომდეგი მშენებლობა. გამომცემლობა „განათლება“, თბილისი, 1979.
3. Байков В. Н., Сигалов Э. Е. Железобетонные конструкции. Общий курс. Издание четвертое. Стройиздат, М., 1985.
4. Байков В. Н., Дроздов П. Ф., Трофимов И. А. и др. Железобетонные конструкции. Специальный курс. Стройиздат, М., 1981.
5. Мурашев В. И., Сигалов Э. Е., Байков В. Н. Железобетонные конструкции. Общий курс. Госиздат, М., 1962.
6. Улицкий И. И., Ривкин С. А. и др. Железобетонные конструкции (расчет и конструирование). Под редакцией Ривкина С. А. Издание третье, переработанное и дополненное. Издат. «Будивельник», Киев, 1973.
7. Строительные Нормы и Правила. Нормы проектирования. Бетонные и железобетонные конструкции. СНиП 2.03.01-84. М., 1985.
8. Строительные Нормы и Правила. Нормы проектирования. Нагрузки и воздействия. СНиП II-6-74*. М., 1975.
9. Строительные Нормы и Правила. Нормы проектирования. Основания зданий и сооружений. СНиП 2.02.01-84. М., 1985.
10. Гвоздев А. А., Дмитриев С. А., Гуща Ю. П. и др. Под редакцией. Гвоздева А. А. Новое в проектировании бетонных и железобетонных конструкций. Стройиздат. М., 1978.
11. Руководство по конструированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона (без предварительного напряжения). Ленинград. Промстройпроект. ЦНИИ Промзданий, НИИЖБ. — М., Стройиздат, 1978.
12. Цай Т. Н. Строительные конструкции. Ч. 2. Стройиздат, М., 1985.
13. Стронгин С. Г., Шестак Г. А. и др. Строительные конструкции. Стройиздат. М., 1979.
14. Вахненко Н. Ф., Могилат А. Н. и др. Строительные конструкции зданий и сооружений. Стройиздат, М., 1980.
15. Бернштейн С. А. Основы динамики сооружений. Госстройиздат, М., 1938.

* 1987 წლის 1 იანვრიდან ძალაში შევიდა СНиП 2.01.07—85, Нагрузки и воздействия, ნაცვლად [8]-ისა.

16. Справочник проектировщика. Расчетно-теоретический. II ч. Стройиздат, М., 1972.
17. Цытович Н. А., Веселов В. А. и др. Основания и фундаменты. М., 1959.
18. Кальницкий А. А., Пешковский Л. М. Расчет и конструирование железобетонных фундаментов гражданских и промышленных зданий и сооружений. Издат. «Высшая школа», М., 1974.
19. Справочник по производству сборных железобетонных изделий. Под редакцией Михайлова К. В. и Фоломеева А. А. Стройиздат, М., 1982.
20. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения (к СНиП 2.03.01-84). Стройиздат, М., 1986.
21. Пособие по проектированию предварительно напряженных железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов (к СНиП 2.03.01-84). Стройиздат, М., 1986.
22. Дмитриев С. А., Калатуров Б. А. Расчет предварительно напряженных железобетонных конструкций. Гос. издат. литературы по строительству. М., 1963.
23. Леонгардт Ф. Напряженно армированный железобетон и его практическое применение. Перевод с немецкого Житомирского В. К. Под редакцией Берличевского Г. И. Госстройиздат, М., 1957.
24. Михайлов В. В. Предварительно напряженные железобетонные конструкции. Стройиздат, М., 1978.
25. Руководство по расчету статически неопределимых железобетонных конструкций с учетом перераспределения усилий. Стройиздат. М., 1975.
26. Дроздов П. Ф. Конструирование и расчет несущих систем многоэтажных зданий и их элементов. Стройиздат, М., 1977.
27. Инструкция по проектированию конструкций панельных жилых зданий. Стройиздат, М., 1978.
28. Руководство по проектированию крупнопанельных зданий с применением несущих объемных блоков. Стройиздат, М., 1983.
29. Руководство по проектированию железобетонных пространственных конструкций покрытий и перекрытий. Стройиздат, М., 1979.
30. Типовые железобетонные конструкции зданий и сооружений для промышленного строительства. Справочник проектировщика. Стройиздат, М., 1981.
31. Проектирование железобетонных конструкций. Справочное пособие. Под редакцией Голышева А. Б. Изд. «Будивельник», Киев, 1985.
32. Технология напрягающего цемента и самонапряженных железобетонных конструкций. Под редакцией Михайлова В. В. и Литвера С. Л. Стройиздат, М., 1975.
33. Липницкий М. Е., Горенштейн Б. В., Виноградов Г. Г. Железобетонные пространственные конструкции зданий. Стройиздат, М.—Л., 1965.
34. Завриев К. С., Назаров А. Г. и др. Основы теории сейсмостойкости зданий и сооружений. Руководство по проектированию сейсмостойких зданий и сооружений. Т. 2. Стройиздат, М., 1970.
35. Руководство по проектированию жилых и общественных зданий с железобетонным каркасом, возводимых в сейсмических районах. Стройиздат, М., 1970.
36. Поляков С. В., Бобров Ф. Б. и др. Проектирование сейсмостойких зданий. Руководство по проектированию сейсмостойких зданий и сооружений. т. 3, Стройиздат, М., 1971.
37. Строительные нормы и правила. Нормы проектирования. Строительство в сейсмических районах. СНиП II-7-81. М., 1982.
38. ა. ასტვაცატუროვი. სამშენებლო მექანიკა. III ნაწილი. ნაშენთა ანგარიში მდგრადობაზე და დინამიკურ დატვირთვაზე. გამომცემლობა „ცოდნა", თბილისი, 1963.
39. Сехниашвили Э. А. Инженерный метод расчета упругих систем на свободные колебания. Издат. «Цодна», Тбилиси, 1960.

40. Инструкция по расчету несущих конструкций промышленных зданий и сооружений на динамические нагрузки. ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко ГОССТРОЯ СССР. Стройиздат, М., 1970.
41. Справочник по динамике сооружений. Под редакцией профессоров Коренева Б. Г., Рабиновича Н. М. Стройиздат, М., 1972.
42. Сорокин Е. С. Динамический расчет несущих конструкций зданий. Госстройиздат, М., 1956.
43. Снитко Н. К. Расчет рамных сооружений итерационными методами. Госстройиздат, М., 1962.
44. Нинуа Н. А. Таблицы для ускоренного расчета безраскосных ферм. Издательство ГПИ им. В. И. Ленина, Тбилиси, 1960.
45. ნ. ნინუა. უირიბნო წამწეების გაანგარიშების მაგალითები. მეთოდური მითითებები. გამომცემლობა სპი, თბილისი, 1980.
46. Инструкция по расчету статически неопределимых железобетонных конструкций с учетом перераспределения усилий. Госстройиздат, М., 1961.
47. Гвоздев А. А. Расчет несущей способности конструкций по методу предельного равновесия. Выпуск I. Сущность метода и его обоснование. Госстройиздат, М., 1949.
48. Справочник проектировщика. Расчетно-теоретический. Книга I. Под редакцией Уманского А. А. Стройиздат, М., 1972.
49. Руководство по проектированию предварительно напряженных железобетонных конструкций из тяжелого бетона. Стройиздат, М., 1977.
50. Рекомендации по расчету многоэтажных зданий панельно-блочной и объемно-блочной конструктивных систем с учетом особенностей пространственной работы. Стройиздат, М., 1984.
51. Руководство по расчету и конструированию железобетонных ферм покрытий. Стройиздат. М., 1971.

შინაარსი

შესავალი 3

I თავი. **რკინაბეტონის არსი** 6

§ 1. რკინაბეტონი — განსხვავებული თვისებების მასალების ერთიანობა . 6

§ 2. რკინაბეტონის დადებითი და უარყოფითი თვისებები 8

§ 3. რკინაბეტონის სახეობანი. გამოყენების არე 9

§ 4. რკინაბეტონის კონსტრუქციების განვითარება 10

II თავი. **ბეტონი. ბეტონის ძირითადი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები** . . 14

§ 1. ბეტონის სახეობები 14

§ 2. ბეტონის სიმტკიცე 17

§ 3. ბეტონის დეფორმაცია 24

§ 4. ბეტონის საპროექტო მახასიათებლები 34

III თავი. **ფოლადის არმატურა. არმატურის ძირითადი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები** 35

§ 1. არმატურის სახეობები 35

§ 2. საარმატურე ფოლადის ძირითადი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები . 39

§ 3. არმატურის კლასიფიკაცია 42

§ 4. საარმატურე ნაწარმი 42

§ 5. არმატურის პირაპირები და დაანკერება 46

IV. თავი. **რკინაბეტონის ძირითადი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები** . . . 52

§ 1. საერთო ცნობები 52

§ 2. შეჭიდულობა ბეტონსა და არმატურას შორის 52

§ 3. ტემპერატურის გავლენა რკინაბეტონის თვისებებზე 54

§ 4. რკინაბეტონის კოროზია 55

§ 5. დამცველი ბეტონის შრე 56

§ 6. რკინაბეტონის შეკლება და გაჯირჯვება 56

§ 7. რკინაბეტონის ცოცვადობა 57

§ 8. რკინაბეტონის წინაღობის თეორიის ექსპერიმენტული საფუძვლები . 58

V თავი. **რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების საფუძვლები** . . . 67

§ 1. ზოგადი ცნობები 67

§ 2. ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშების არსი. ზღვრულ მდგომარეობათა ორი ჯგუფი 68

§ 3. რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების მთავარი ფაქტორები . 69

§ 4. საანგარიშო პირობები ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით 76

VI თავი. **რკინაბეტონის ელემენტების გაანგარიშება პირველი ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით — გაანგარიშება ზიდვის უნარის მიხედვით** . 77

§ 1. ზიდვის უნარის მიხედვით გაანგარიშების არსი 77

§ 2. ღუნვადი ელემენტები 79

§ 3. შეკუმშული ელემენტები 127

§ 4. გაჭიმული ელემენტები 144

§ 5. გრეხაზე მომუშავე ელემენტები. გრეხა ღუნვით 149

VII თავი. **რკინაბეტონის ელემენტების გაანგარიშება მეორე ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით** 156

§ 1. მეორე ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშების არსი 156

§ 2. რკინაბეტონის ელემენტების ბზარმედეგობა. ბზარწარმომქნელი ძალები 158

§ 3. რკინაბეტონის ელემენტების გაანგარიშება ბზარების გახსნის მიხედვით . 167

§ 4. რკინაბეტონის ელემენტების გაანგარიშება დეფორმაციების მიხედვით; ჩაღუნვები 188

VIII თავი. **წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონი** 194

§ 1. წინასწარი დაძაბვის არსი 194

§ 2. ბეტონი და არმატურა წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონისათვის . . 200
§ 3. დაძაბული არმატურის დაანკერება 203
§ 4. წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ელემენტების კონსტრუირების თავისებურებანი 208
§ 5. წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ელემენტების გაანგარიშების თავისებურებანი 211
§ 6. ძაბვები წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის არმატურასა და ბეტონში . 212
§ 7. წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ელემენტების გაანგარიშება სიმტკიცეზე 230
§ 8. წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ელემენტების გაანგარიშება ბზარმედეგობაზე 239
§ 9. რკინაბეტონის წინასწარ დაძაბული ელემენტების გაანგარიშება დეფორმაციების მიხედვით (გაანგარიშება ჩაღუნვაზე) 250
IX თავი. **რკინაბეტონის წინალობა დინამიკური ზემოქმედებისადმი** . . . 255
§ 1. დინამიკური დატვირთვები. დინამიკური გაანგარიშების მიზანი . . 255
§ 2. რკინაბეტონის ელემენტების რხევა 258
§ 3. მასალებისა და კონსტრუქციების დინამიკური მახასიათებლები . . 266
§ 4. რკინაბეტონის კონსტრუქციების დინამიკურ დატვირთვაზე გაანგარიშების თავისებურებები 270
X თავი. **რკინაბეტონის კონსტრუქციები შენობებისათვის** 274
§ 1. საერთო ცნობები 274
§ 2. რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტების პრინციპები . . . 284
XI თავი. **რკინაბეტონის სართულშორისი გადახურვები** 288
§ 1. რკინაბეტონის სართულშორისი გადახურვების სახეობები . . . 288
§ 2. მონოლითური წიბოვანი გადახურვები კოჭური ფილებით . . . 291
§ 3. მონოლითური წიბოვანი გადახურვები კონტურზე დაყრდნობილი ფილებით 306
§ 4. მონოლითური უკოჭო გადახურვები 317
§ 5. ასაწყობი რკინაბეტონის კოჭოვანი პანელური გადახურვები . . . 321
XII თავი. **მცირე ჩაღრმავების საძირკვლები** 333
§ 1. საერთო ცნობები 333
§ 2. ცალკეული საძირკვლები 335
XIII თავი. **სახურავის მზიდი რკინაბეტონის კონსტრუქციები** 343
§ 1. სახურავის კონსტრუქციული სქემები 343
§ 2. სიბრტყითი კონსტრუქციული სისტემის სახურავის შემომზღუდი ნაწილის მზიდი კონსტრუქციები 349
§ 3. კოჭები 354
§ 4. წამწეები 361
§ 5. თაღები 379
§ 6. ჩარჩოები 384
XIV თავი. **ერთსართულიანი სამრეწველო შენობების რკინაბეტონის კონსტრუქციები** 401
§ 1. ერთსართულიანი სამრეწველო შენობების კონსტრუქციული სქემები . 401
§ 2. ერთსართულიანი კარკასული სამრეწველო შენობების ასაწყობი რკინაბეტონის კონსტრუქციები 409
§ 3. განივი ჩარჩოების გაანგარიშება 427
§ 4. სვეტები 440
§ 5. ამწისქვეშა კოჭები 446
XV თავი. **მრავალსართულიანი შენობების რკინაბეტონის კონსტრუქციები** . . 452
§ 1. მრავალსართულიანი შენობების კონსტრუქციული სქემები . . . 452
§ 2. მრავალსართულიანი კარკასული სამრეწველო შენობების კონსტრუქციები 459
§ 3. მრავალსართულიანი სამოქალაქო შენობების კონსტრუქციები . . 475
§ 4. ცნობები მრავალსართულიანი შენობების რკინაბეტონის ვერტიკალური მზიდი კონსტრუქციების გაანგარიშებისათვის 499
დანართები 516
ლიტერატურა 576