ლითონის კონსტრუქციები



საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
ნაგებობების, სპეციალური სისტემებისა და საინჟინრო
უზრუნველყოფის ინსტიტუტი
ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ლითონის კონსტრუქციები

პროფესორ მამუკა სანიკიძის საერთო რედაქციით

თბილისი 2017

შპპ 624.012.45
ლ- 598

ლითონის კონსტრუქციები. საერთო კურსი: სახელმძღვანელო უმაღლესი ტექნიკური სასწავლებლების სტუდენტებისათვის / მამუკა სანიკიძე, ნოდარ წოგნაძე, გიორგი მეძმარიაშვილი, გიზო ფარცხალაძე, თემურ ქიქავა; მ. სანიკიძის საერთო რედაქციით. – თბილისი, LTD "Smarty", 2017 – 338 გვ-ილ.

სახელმძღვანელოში განხილულია: ლითონის სამშენებლო კონსტრუქციების დაპროექტების საფუძვლები; ლითონის კონსტრუქციების შეერთებები: კოჭები; სვეტები; ფერმები; ერთსართულიანი სამრეწველო შენობების კარკასები; მრავალსართულიანი შენობების კარკასები; დიდმალიანი ჩარჩოვანი კონსტრუქციები; თაღოვანი კონსტრუქციები; გისოსოვანი ნაოჭები; ბადისებრი კამარები; ორმაგი სიმრუდის გადახურვების კონსტრუქციები; ჯვარედინა-ღეროვანი კონსტრუქციები; კიდული გადახურვები. ძირითადი ყურადღება ეთმობა კონსტრუქციების ფორმაწარმოქმნის საკითხებს, კვანძებისა და დეტალების გადაწყვეტებს, კონსტრუქციების გაანგარიშების მიახლოებით ხერხებს და სხვ.

სახელმძღვანელო განკუთვნილია "სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის" სპეციალობის ბაკალავრიატის სტუდენტების, მაგისტრანტების, დოქტორანტების, ინჟინრების, დამპროექტებლების, მეცნიერ-თანამშრომლებისა და ამ საქმით დაინტერესებული ყველა პირისათვის.

რეცენზენტები: პროფესორი თამაზ ხმელიძე
ასოცირებული პროფესორი ომარ ხაჩარაძე

© საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ნაგებობების, სპეციალური სისტემებისა და საინჟინრო უზრუნველყოფის ინსტიტუტი.

ISBN 978-9941-27-423-7

შესავალი

ცნება "ლითონის კონსტრუქციები" აერთიანებს მათ კონსტრუქციულ ფორმას, დამზადების ტექნოლოგიასა და მონტაჟის ხერხებს. ლითონის კონსტრუქციების განვითარების დონე განისაზღვრება მათი გამოყენების მოთხოვნილებისა და ტექნიკური ბაზის შესაძლებლობებით: მეტალურგიის, ლითონდამუშავების, სამშენებლო მეცნიერებისა და ტექნიკის განვითარებით. აქედან გამომდინარე, ლითონის კონსტრუქციების განვითარების ისტორია შეიძლება დაიყოს შემდეგ პერიოდებად:

I პერიოდი (მე-12საუკუნიდან მე-17 საუკუნის დასაწყისამდე) ხასიათდება იმ დროისათვის უნიკალურ ნაგებობებში (სასახლეები, ტაძრები და ა. შ.) ლითონის გამოყენებით საკოჭებისა და სამაგრების სახით ქვის წყობისთვის.

II პერიოდი (მე-17 საუკუნის დასაწყისიდან მე-18 საუკუნის დასაწყისამდე) დაკავშირებულია ლითონის ნივთიერებისა და ტაძრების სივრცითი გუმბათოვანი კონსტრუქციების გამოყენებასთან.

III პერიოდი (მე-18 საუკუნის დასაწყისიდან მე-19 საუკუნის შუა წლებამდე) დაკავშირებულია თუჯის ღეროებისა და დეტალების ჩამოსხმის პროცესის ათვისებასთან. შენდება თუჯის ხიდები და სამოქალაქო და სამრეწველო შენობების გადახურვის კონსტრუქციები. თუჯის ელემენტების შეერთებები კეთდება საკეტებით ან ჭანჭიკებით.

IV პერიოდი (მე-19საუკუნის 30-ანი წლებიდან მე-20 საუკუნის 20-იან წლებამდე) დაკავშირებულია სწრაფ ტექნოლოგიურ პროგრესთან იმ დროის ტექნიკის ყველა სფეროში, კერძოდ, მეტალურგიასა და ლითონდამუშავებაში. 80-ანი წლების ბოლოს თუჯისგან რკინის გამოდნობა წარმოებდა მარტენისა და კონვერტორულ ღუმელებში. 1840 წელს ათვისებულ იქნა პროფილური ნაგლინისა და ნაგლინი ფურცლების მიღების პროცესი. 1830-იან წლებში შეიქმნა მოქლონური შეერთებები. ფოლადმა, თვისებებით უფრო სრულყოფილმა მასალამ, თითქმის მთლიანად ჩაანაცვლა თუჯი სამშენებლო კონსტრუქციებში. წამწყების კონსტრუქციული ფორმა თანდათანობით იხვეწებოდა: ირიბნების შემოტანით გისოსმა მიიღო დასრულებული ფორმა; საკვანძო შეერთებები ჭანჭიკების ნაცვლად კეთდება მოქლონებით ფასონურების გამოყენებით.

V პერიოდი (მე-20 საუკუნის 20-ანი წლებიდან მე-20 საუკუნის 70-იან წლებამდე) ხასიათდება დამოქლონებული კონსტრუქციების თითქმის მთლიანად შეცვლით უფრო მსუბუქი და ეკონომიური შენადული კონსტრუქციებით. ფართო განვითარება ჰოვეს: ფურცლოვანმა კონსტრუქციებმა ნავთობის, გაზის, ქიმიური და მეტალურგიული მრეწველობისათვის; კავშირგაბმულობის მაღლსადმა ნაგებობებმა; ელექტროგადამცემი სადენების საყრდენებმა; დიდი ტეირთამწეობის ხიდურა ამწეებიანმა სამრეწველო შენობებმა; საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობებმა. ლითონის კონსტრუქციების საწარმოო ბაზა გადაიქცა ინდუსტრიის მძლავრ დარგად.

VI პერიოდი (მე-20 საუკუნის 70-ანი წლების შემდეგ). სამრეწველო და სამოქალაქო მშენებლობის განვითარებამ გამოიწვია ლითონის კონსტრუქციების დიდი მრავალფეროვნება, რომელთა მზიდი კონსტრუქციებისათვის ფოლადი წარმოადგენს შეუცვლელ სამშენებლო მასალას. ფართო გამოყენება ჰოვეს ალუმინის შენადნობებისაგან დამზადებულმა მსუბუქმა კონსტრუქციებმა. დამუშავდა და პრაქტიკაში დაინერგა მიწისზედა და კოსმოსური ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციები. ლითონის კონსტრუქციების მეცნიერული საფუძვლების განვითარებამ, განსაკუთრებით თანამედროვე კომპიუტერული ტექნიკის დანერგვამ, მნიშვნელოვნად სრულყო და გააძრავალფეროვნა კონსტრუქციული ფორმა, რასაც შედეგად მოყვა მასალებისა და შრომის ნაკლები დახარჯები.

ლითონის კონსტრუქციები საინჟინრო ნაგებობებში გამოიყენება ღეროვანი ან მთლიანი სისტემების სახით. კონსტრუქციული ფორმისა და დანიშნულების მიხედვით ისინი შეიძლება დაიყოს შემდეგ სახეებად:

1. სამრეწველო შენობები. ერთსართულიანი სამრეწველო შენობების კონსტრუქციები ლითონის ან შერეული კარკასით. ლითონის კარკასი ძირითადად გამოიყენება დიდი მალის, სიმაღლისა და ტეირთამწეობის ხიდურა ამწეებით აღჭურვილ შენობებში. შერეულ კარკასიან შენობებში გადახურვის ლითონის კონსტრუქციები ეყრდნობა რკინაბეტონის სვეტებს.

2. მრავალსართულიანი შენობების კარკასები. მრავალსართულიანი შენობები ლითონის კარკასით ძირითადად გამოიყენება სამოქალაქო მშენებლობაში დიდი ქალაქების მჭიდრო განაშენიანობის პირობებში და ზოგიერთი სახეობის სამრეწველო შენობებისთვის.

3. შენობების დიდმალიანი გადახურვები. 100-150მ-დე მალის მქონე საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობები (სპორტული ნაგებობები, თეატრები, საგამოფენო პავილიონები, ბაზრები და სხვ.), საწარმოო შენობები (ლაბორატორიები, თვითმფრინავმშენებელი საამქროები, ანგარები, გემთმშენებელი ელინგები და სხვ.). დიდმალიანი გადახურვის სისტემები და კონსტრუქციული ფორმები მრავალფეროვანია. შესაძლებელია, როგორც ბრტყელი, ასევე სივრცითი სისტემები: კოჭოვანი, ჩარჩოვანი, თაღოვანი, გუმბათოვანი, გარსისებრი, კიდული, კომბინირებული.

4. კოშკები და ანძები. გამოიყენებიან რადიოკავშირისა და სატელევიზიო კოშკებად, ელექტროგადამცემი სადენების საყრდენებად, ნავთობისა და გეოდეზიურ კოშკურებად, საკვამლე და ვენტილაციო მილებად, სამრეწველო ტბაურებად, შახტისზედა ურნალებად და ბევრ სხვა ნაგებობებში.

5. ხიდები და ესტაკადები. ხიდებიც, დიდმალიანი გადახურვების მსგავსად, გამოირჩევიან მრავალფეროვანი სისტემებით: კოჭოვანი, თაღოვანი, კიდული, კომბინირებული.

6. ფურცლოვანი კონსტრუქციები. ფურცლოვანი კონსტრუქციები წარმოადგენენ სხვადასხვა ფორმის თხელკედლიან გარსს და უნდა იყოს არა მხლოდ მტკიცე, არამედ მკვრივიც (სითხე- და აირშეუღწევადი). გამოიყენება სხვადასხვა დანიშნულების რეზერვუარებში, გაზგოლდერებში, ბუნკერებში, სილოსებში, დიდი დიამეტრის მილგაყვანილობებში, საბრძმედე კომპლექსის, ქიმიური და ნავთობგადამამუშავებელი წარმოების სხვადასხვა ნაგებობებში. მათი ექსპლუატაცია ხშირად ხორციელდება მაღალი ან დაბალი ტემპერატურის პირობებში. კონსტრუქციის მუშაობის ამ პირობებს კარგად აკმაყოფილებს ფოლადი და ალუმინის შენადნობები.

7. ამწეები და სხვა მოძრავი კონსტრუქციები. აქ გაერთიანებულია ხიდურა, კოშკურა, ჯოჯგინა და გადამტვირთავი ამწეები, დიდი ექსკავატორებისა და სხვადასხვა დანიშნულების სამშენებლო მანქანების კონსტრუქციები, ჰიდროტექნიკური ნაგებობების საკეტები და ჭიშკარი და სხვ.

8. უნიკალური დანიშნულების კონსტრუქციები. მათ შეიძლება მივაკუთვნოთ მიწისზედა და კოსმოსური ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციები – გასაშლელ-დასაკეცი ხიდები და გასაშლელი რეფლექტორული ანტენები, რადიოტელესკოპები კოსმოსური რადიოკავშირისათვის, ნავთობისა და

ბუნებრივი აირის დაზვერვისა და მოპოვების საზღვაო პლატფორმები, მზის კონცენტრატორები, ატომური ენერგიის მრეწველობის კონსტრუქციები და სხვ.

კონსტრუქციული ფორმისა და სტატიკური სქემების მრავალფეროვნება განპირობებულია კონსტრუქციის დანიშნულებით, ექსპლუატაციის თავისებურებებითა და მოქმედი დატვირთვების ხასიათით. კონსტრუქციებს ეს მრავალფეროვნება გაერთიანებულია ორი ძირითადი ფაქტორით:

1. ლითონის კონსტრუქციებისათვის საწყის მასალას წარმოადგენს ნაგლინი ლითონი, რომელიც იწარმოება სტანდარტის (სორტამენტის) მიხედვით: ფურცელი, კუთხედი, შველერი, ტესებრი, ორტესებრი, მილი და ა. შ. ამ მასალისაგან იქმნება მრავალფეროვანი კონსტრუქციული ფორმები.

2. ყველა კონსტრუქცია ერთიანდება დამზადების ერთი ტექნოლოგიური პროცესით, რასაც საფუძვლად უდევს ლითონის ცივი დამუშავება (ჭრა, ღუნვა, გახვრეტა და ა. შ.) და დეტალების შეერთება კონსტრუქციულ ელემენტებად და სისტემებად (ასაწყობ-შესადუღებელი და ასაწყობ-დასამოქლონებელი ოპერაციები).

ლითონის კონსტრუქციების გამოყენების ფართო დიაპაზონი (რომლებზეც მოქმედებს დიდი დატვირთვები საკუთარი წონისა და დანადგარებისაგან, აქვთ დიდი მალები და სიმაღლე) განპირობებულია რიგი დადებითი თვისებებით, უპირველეს ყოვლისა, საიმედოობით, მაღალი სიმტკიცითა და სიმსუბუქით.

ლითონის კონსტრუქციების **საიმედოობა** უზრუნველყოფილია მათი რელური მუშაობის (ძაბვებისა და დეფორმაციების განაწილება) ახლო თანხვედრით საანგარიშო მონაცემებთან. ლითონის კონსტრუქციების მასალა (ფოლადი, ალუმინის შენადნობები) ხასიათდება სტრუქტურის დიდი ერთგვაროვნებით (ერთნაირი მექანიკური თვისებებით ყველა მიმართულებით) და საკმაოდ უახლოვდება თეორიულ-საანგარიშო წინაპირობებს მასალის დრეკადი და დრეკად-პლასტიკური მუშაობის შესახებ.

სიმსუბუქე. მზიდ კონსტრუქციებში გამოყენებული მასალებიდან (ლითონის, რკინაბეტონის, ქვის, ხის) ლითონის კონსტრუქციები ყველაზე მსუბუქია, მიუხედავად ფოლადის მაღალი სიმკვრივისა (ρ = 7850 კგ/მ^3) ბეტონთან (ρ – 2400 კგ/მ^3) და მერქანთან (ρ = 500 კგ/მ^3) შედარებით.

კონსტრუქციის სიმსუბუქის მაჩვენებელი C მ$^{-1}$, განისაზღვრება მასალის სიმკვრივის შეფარდებით საანგარიშო წინაღობასთან $C=\rho/R_y$. რაც ნაკლებია C-ს მნიშვნელობა, მით მსუბუქია კონსტრუქცია. საანგარიშო წინაღობის მაღალი მნიშვნელობებიდან გამომდინარე, მცირედნახშირბადიანი С245 ფოლადისთვის C–3.2·10^{-4}მ$^{-1}$, მაღალი სიმტკიცის С590 ფოლადისთვის C=1.3·10^{-4}მ$^{-1}$, АД31-Т1 ალუმინის შენადნობისთვის C=2.16·10^{-4}მ$^{-1}$, Д16-Т დურალუმინისთვის C=1.1·10^{-4}მ$^{-1}$, В20 კლასის ბეტონისთვის C=21.4·10^{-4}მ$^{-1}$, ფიჭვის მერქნისთვის C=3.6·10^{-4}მ$^{-1}$.

ალუმინის შენადნობისგან დამზადებულ კონსტრუქციებს, რომლის სიმტკიცეც ახლოსაა მცირედნახშირბადიანი ფოლადის სიმტკიცესთან, ხოლო სიმკვრივე (ρ = 2700 კგ/მ^3) დაახლოებით სამჯერ ნაკლებია ფოლადის სიმკვრივეზე, გააჩნია სიმსუბუქის C მაჩვენებლის ყველაზე დაბალი მნიშვნელობა.

ინდუსტრიულობა. ლითონის კონსტრუქციები ძირითადად მზადდება ქარხნებში, რომლებიც აღჭურვილი არიან თანამედროვე დანადგარებით, რაც უზრუნველყოფს მათი დამზადების ინდუსტრიულობის მაღალ ხარისხს. მათი მონტაჟი მშენებლობის ადგილზე ასევე ხორციელდება ინდუსტრიული მეთოდებით – მაღალმწარმოებლური ტექნიკის გამოყენებით, რაც მინიმუმამდე ამცირებს ხელის მძიმე სამუშაოებს და აჩქარებს ნაგებობის ექსპლუატაციაში შეყვანას.

სითხე შეღწევადობა და აირ შეუღწევადობა. ლითონს გააჩნია არა მარტო მაღალი სიმტკიცე, არამედ მაღალი სიმკვრივეც, რაც უზრუნველყოფს აირისა და სითხის შეუღწევადობას. ლითონისა და შენადნობი შეერთებების სიმკვრივე წარმოადგენს აუცილებელ პირობას ფურცლოვანი კონსტრუქციების დასამზადებლად.

მექანიკური დაზიანებებისადმი ნაკლები მიდრეკილება გადაზიდვის, მონტაჟისა და ექსპლუატაციის პროცესში.

რემონტის შესაძლებლობა. ლითონის კონსტრუქციები შედარებით ადვილად ექვემდებარება გაძლიერებას, ტექნიკურ გადაიარაღებას და რეკონსტრუქციას. კარგად ეთვისება სხვადასხვა კომუნიკაციის, ახალი ტექნიკური მოწყობილობის არსებულ კარკასთან მიმაგრების შედუღების საშუალებით.

ლითონის კონსტრუქციებს გააჩნიათ უარყოფითი თვისებებიც, რომელთა აღმოსაფხვრელად საჭიროა სპეციალური ზომების მიღება.

კოროზია – ლითონის დაშლა გარემოსთან ქიმიური და ელექტრო-ქიმიური ურთიერთქმედების შედეგად. ლითონის კონსტრუქციებს ახასიათებთ შედარებით დაბალი კოროზიამედეგობა, განსაკუთრებით აგრესიულ გარემოში. ფოლადი, რომელიც არ არის დაცული ტენისგან, მავნე აირებით დაბინძურებული ატმოსფეროსგან, მარილებისგან, მტვერისგან, იჟანგება და უვარგისი ხდება ექსპლუატაციისთვის. არახელსაყრელ პირობებში, თანდათანობით, ორი-სამი წლის შემდეგ ხდება სრული რღვევა.

მნიშვნელოვნად მაღალია ალუმინის შენადნობების კოროზიამედეგობა. კოროზიას კარგად ეწინააღმდეგება თუჯი.

ლითონის კონსტრუქციების კოროზიამედეგობის გასაზრდელად ფოლადს უმატებენ სპეციალურ მალეგირებელ ელემენტებს. კონსტრუქციას პერიოდულად ფარავენ დამცავი აფსკით (ლაქი, საღებავი და სხვ.). აგრეთვე, გასუფთავებისა და დაცვის გასაიოლებლად, აპროექტებენ რაციონალური კონსტრუქციული ფორმის ელემენტებს უბეებისა და ხვრელების გარეშე, სადაც შეიძლება თავი მოიყაროს ტენმა და მტვერმა.

დაბალი ცეცხლმედეგობა. ლითონის კონსტრუქციებს გააჩნიათ შედარებით დაბალი ცეცხლმედეგობის ზღვარი, რომელიც განისაზღვრება იმ დროის მონაკვეთით, რომლის განმავლობაშიც კონსტრუქცია ინარჩუნებს მზიდუნარიანობას.

$t = 200°C$ ტემპერატურის დროს იწყება ფოლადის დრეკადობის მოდულის შემცირება, ხოლო როდესაც $t = 600°C$ (ალუმინის შენადნობებისთვის $t = 300°C$) ფოლადი მთლიანად გადადის პლასტიკურ მდგომარეობაში, დეფორმირდება და კარგავს მზიდუნარიანობას. ამიტომ სახანძრო თვალსაზრისით საშიშ შენობების ლითონის კონსტრუქციები (საწყობები საწვავი და ადვილად აალებადი მასალებით, საცხოვრებელი და სახოგადოებრივი შენობები და ა.შ.) დაცული უნდა იყოს ცეცხლგამძლე შემოსვით (ბეტონი, კერამიკა, სპეციალური საფარი და სხვ.).

ლითონის კონსტრუქციების დაპროექტებისას გათვალისწინებული უნდა იყოს შემდეგი ძირითადი მოთხოვნები:

ექსპლუატაციის პირობები. საპროექტო დავალებაში მოცემული ექსპლუატაციის პირობების დაკმაყოფილება წარმოადგენს ძირითად

მოთხოვნას დამპროექტებლისათვის. ეს მოთხოვნა ძირითადად განსაზღვრავს სისტემას, ნაგებობის კონსტრუქციულ ფორმასა და მასალის სახეობას.

ტექნიკური მოთხოვნები. მდგომარეობს სიმტკიცის, მდგრადობისა და სიხისტის უზრუნველყოფაში. ეს მოთხოვნები განისაზღვრება ლითონის კონსტრუქციების დაპროექტების სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით. აქვე განიხილება საიმედოობის მოთხოვნა, რომელიც მდგომარეობს იმაში, რომ კონსტრუქციამ უნდა იმუშაოს შეუფერხებლად ექსპლუატაციის მოცემული საანგარიშო პერიოდის განმავლობაში, და კონსტრუქციის **ხანგამძლეობაც**, რაც განისაზღვრება მისი ფიზიკური და მორალური ცვეთის ვადით. ფიზიკური ცვეთა ძირითადად დაკავშირებულია კოროზიის პროცესთან, ხოლო მორალური ცვეთა, ექსპლუატაციის პირობების ცვლილებასთან.

ლითონის ეკონომია. სამშენებლო კონსტრუქციებში ლითონის გამოყენება მიზანშეწონილია მაშინ, როდესაც მისი შეცვლა სხვა მასალით არარაციონალურია. ლითონის ეკონომიის მოთხოვნა განპირობებულია მრეწველობის ყველა დარგში მისი დიდი მოთხოვნილებით და შედარებით მაღალი ღირებულებით (ლითონის ღირებულება შეადგენს მთლიანად კონსტრუქციის ღირებულების ნახევარზე მეტს).

კონსტრუქციის ტრანსპორტაბელურობა. ლითონის კონსტრუქციების ქარხანაში დამზადებიდან გამომდინარე, პროექტში გათვალისწინებული უნდა იყოს მშენებლობის ადგილზე მისი ტრანსპორტირება მთლიანად ან ნაწილებად (გასაგზავნი ელემენტები) შესაბამისი სატრანსპორტო საშუალებების გამოყენებით. გასაგზავნი ელემენტი უნდა ჩაეტიოს საავტომობილო ან სარკინიგზო გაბარიტში.

ტექნოლოგიურობა. კონსტრუქცია უნდა დაპროექტდეს დამზადების ტექნოლოგიისა და მონტაჟის მოთხოვნების შესაბამისად თანამედროვე მოწინავე ტექნოლოგიების გათვალისწინებით, რაც უზრუნველყოფს შრომატევადობის მაქსიმალურად შემცირებას.

სწრაფი მონტაჟი. კონსტრუქცია უნდა ექვემდებარებოდეს მცირე დროში აგებას თანამედროვე სამონტაჟო საშუალებების გამოყენებით. ნაგებობის სწრაფი შეყვანა ექსპლუატაციაში იძლევა დამატებითი მოგების საშუალებას.

სწრაფი მონტაჟის მთავარი პრინციპია მიწაზე კონსტრუქციის წინასწარი აწყობა მსხვილ ბლოკებად, შემდეგ მისი აწევა და დაყენება

საპროექტო მდგომარეობაში მინიმალური მოცულობის სამონტაჟო სამუშაოების ჩატარებით სიმაღლეზე.

ესთეტიურობა. კონსტრუქციას, დანიშნულებისგან დამოუკიდებლად, უნდა ჰქონდეს ჰარმონიული ფორა, სასიამოვნო გარეგნული იერი, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია საზოგადოებრივი შენობებისა და ნაგებობებისთვის, უნდა ასახავდეს ეროვნულ თავისებურებებსა და ტრადიციებს.

შენობების და ნაგებობების დაპროექტება მოიცავს საძიებო, საინგარიშო და საკონსტრუქტორო სამუშაოებს, რომელიც მიმართულია შენობებისა და ნაგებობების ოპტიმალური მოცულობით-გეგმარებითი და საკონსტრუქტორო გადაწყვეტისაკენ.

დაპროექტება მოიცავს ორ სტადიას – დამკვეთის მიერ გაცემული საპროექტო დავალება და მუშა ნახაზები.

საპროექტო დავალებაში დგინდება მშენებლობის ტექნიკური შესაძლებლობა და ეკონომიკური მიზანშეწონილობა. ფუნქციური მოთხოვნებისა და ექსპლუატაციის პირობების გათვალისწინებით და სამშენებლო ნორმებისა და წესების დაცვით, მუშავდება კონსტრუქციის გაერთიანება. დაპროექტების სტადიაში ხდება არქიტექტურულ-სამშენებლო გადაწყვეტების მოკლე აღწერა და დასაბუთება, განიხილება ლითონის კონსტრუქციების გამოყენების მიზანშეწონილობა, განისაზღვრება ნაგებობის ძირითადი კონსტრუქციული სქემა, შეირჩევა შესაბამისი კონსტრუქციები. მუშავდება ძირითადი ნახაზები: გეგმები და ჭრილები მზად და შემომზღუდავი კონსსტრუქციების სქემატური გამოსახულებით.

ლითონის კონსტრუქციების სამუშაო პროექტი შედგება ორი ნაწილისაგან – სამუშაო ნახაზები **"ლკ"** (ლითონის კონსტრუქციები) და დეტალების სამუშაო ნახაზები **"ლკდ"** (ლითონის კონსტრუქციები, დეტალები). **"ლკ"** პროექტს ასრულებს საპროექტო ორგანიზაცია (განმარტებითი ბარათი, გაანგარიშება, გაერთიანების სქემა, ძირითადი კვანძების ნახაზები, ლითონის სპეციფიკაცია). **"ლკდ"** პროექტს **"ლკ"**-ს საფუძველზე ასრულებს ქარხნის საკონსტრუქტორო ბიურო ქარხნის ტექნიკური თავისებურებების გათვალისწინებით.

თავი 1. დაპროექტების საფუძვლები

1.1. მშენებლობაში გამოყენებული ლითონების დახასიათება

მშენებლობაში ძირითადად გამოიყენება ჩვეულებრივი ხარისხის ფოლადები და ალუმინის შენადნობები.

კონსტრუქციაში ლითონის მუშაობა ხასიათდება სიმტკიცით, დრეკადობით, პლასტიკურობით, შეღუღებადობით და სხვა მექანიკური თვისებებით, რომლებიც თავის მხრივ დამოკიდებულია ლითონის ქიმიურ შემადგენლობაზე, გამოდნობის მეთოდსა და განუანგვის ხარისხზე.

სამშენებლო კონსტრუქციებში ფოლადის გამოყენების ერთ-ერთი მთავარი განმსაზღვრელი ნიშანია მასში ნახშირბადის პროცენტული შემცველობა. ამ ნიშნის მიხედვით ისინი იყოფა ნახშირბადმცირე (0.09–0.22%) ფოლადებად, რომლებიც გამოიყენება სამშენებლო კონსტრუქციებში, საშუალონახშირბადიან (0.25–0.5%) ფოლადებად – მანქანათმშენებლობაში და მაღალნახშირბადიან (0.6–1.2%) ფოლადებად – საიარაღო მრეწველობაში. ნახშირბადმცირე ფოლადი ხასიათდება მაღალი პლასტიკურობით, ჭედადობით, კარგი შეღუღებადობით და არ გააჩნია მყიფე რღვევის ტენდენცია. ყველა ეს თვისება საგსებით პასუხობს სამშენებლო ფოლადების მიმართ წაყენებულ მოთხოვნებს.

კონსტრუქციული ფოლადების მექანიკური თვისებების გასაუმჯობესებლად მათი დამზადებისას მკაცრად კონტროლდება მავნე ელემენტების შემცველობა, როგორიცაა ფოსფორი, გოგირდი, უანგბადი და აზოტი, რომლებიც ზრდიან სიმყიფეს. ასევე კონტროლდება მალეგირებელი ელემენტები – ნიკელი, ქრომი, ტიტანი, მოლიბდენი და სხვ., რომლებიც ზრდიან სიმტკიცეს, პლასტიკურობას და, მასალის შეღუღებადობისა და წრთობადობის თვისებებს.

განუანგვის ხარისხის მიხედვით ფოლადი იყოფა მდუღარე, ნახევრად მშვიდ და მშვიდ სახეებად. მდუღარე ეწოდება ფოლადს, რომლის მიღების პროცესში ხდება გაზების დიდი რაოდენობით გამოყოფა (დუღილი), რაც ხელს უწყობს გაზების მცირე ბუშტების წარმოქმნას და მათ გარშემო სხვადასხვა არალითონური ჩანართებისა და მინარევების კონცენტრაციას, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს ფოლადის ხარისხს. მშვიდი ფოლადი, რომელიც

ცოვდება გა'ხების ინტენსიური გამოყოფის გარეშე, მიიღება მასში სხვადასხვა განმეანგავების შეკვანით – სილიციუმის, მანგანუმის, ალუმინისა და სხვ. დანამატების სახით, რის შედეგადაც სხმულის ზედაპირზე წარმოიქმნება (15%) წიდა, ხოლო სხმულის დანარჩენი ნაწილი მაღალი ხარისხის ერთგვაროვანი ფოლადია.

მშენებლობა'ში უპირატესად გამოიყენება ნახევრადმშვიდი ფოლადი, რომელსაც მშვიდ ფოლადთან შედარებით აქვს უფრო მაღალი ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასიათებლები და დაბალი ღირებულება. თუმცა, ამაღლებული და მაღალი სიმტკიცის ფოლადები ძირითადად მზადდება მშვიდი ფოლადისაგან, რომელიც ხასიათდება უფრო მაღალი ერთგვაროვნებით და მყიფე რღვევისადმი წინააღმდეგობით.

ნორმატივებიდან გამომდინარე, ფოლადის სამრეწველო მიწოდება ხორციელდება სამი – ა, ბ და გ ჯგუფის მიხედვით. სამშენებლო კონსტრუქციების დიდი პასუხისმგებლობიდან გამომდინარე, მათი დამზადებისთვის გამოიყენება გ ჯგუფის ფოლადი, მექანიკური თვისებებისა და ქიმიური შემადგენლობის საგარანტიო მახასიათებლებით.

ნებისმიერი მარკისათვის, ფოლადის კატეგორია ხასიათდება ქიმიური შემადგენლობით, დროებითი წინაღობით, ფარდობითი წაგრძელებითა და სხვა მახასიათებლებით, რომლებსაც ითვალისწინებენ კონსტრუქციული ფორმების დაპროექტებისას.

მექანიკური თვისებების მიხედვით, კონსტრუქციული ფოლადები იყოფიან: ჩვეულებრივი (С235–С285), ამაღლებული (С345–С390) და მაღალი სიმტკიცის (С440–С590) ფოლადებად. ჩვეულებრივი სიმტკიცის ყველაზე გავრცელებულ კონსტრუქციულ ფოლადებს მიეკუთვნება: ხახშირბადიანი ფოლადები – С235 (ВСт3кп2), С245 (ВСт3пс6), С255 (ВСт3сп5) და С255 (ВСт3Гпс5). ამაღლებული სიმტკიცის ფოლადებს მიეკუთვნება: მცირედ ლეგირებული მანგანუმიანი – С345 (09Г2), С345 (14Г2); სილიციუმმანგანუმიანი – С345 (09Г2С), С390 (10Г2С1); ქრომსილიციუმნიკელიანი სპილენძის შემცველობით – С345 (15ХСНД), С390 (10ХСНД); მცირედ ლეგირებული ვანადიუმისა და სპილენძის შემცველობით – С390 (15ХГ2СФД) და მცირედ ლეგირებული ფოლადები ნიტრიდული განმტკიცებით – С390 (14Г2АФ), С390 (15Г2АФДпс). მაღალი სიმტკიცის ფოლადებს მიეკუთვნება: თერმულად განმტკიცებული

ლეგირებული ფოლადები – С440 (15Г2СФ), С440 (16Г2АФ), С590 (12Г2СМФ) და სხვ.

ნახშირბადიანი ფოლადების აღნიშვნაში (მაგალითად ВСт3пс6): ასო В განსაზღვრავს მიწოდების ჯგუფს; Ст3 – ფოლადის მარკას, пс – ნახევრად მშვიდს, განჟანგვის ხარისხით; რიცხვი 6 – მიწოდების კატეგორიას. მცირედ ლეგირებული ფოლადებისათვის გამოიყენება მალეგირებელი ელემენტების ასოებით აღნიშვნა (Г – მანგანუმი; С – სილიციუმი; Х – ქრომი; Н – ნიკელი; Д – სპილენძი; А – აზოტი; Ф – ვანადიუმი; П – ფოსფორი; Т – ტიტანი; М – მოლიბდენი; Р – ბორი) და ციფრები, რომლებიც მიუთითებენ ელემენტების შემცველობას პროცენტებში. ასე მაგალითად, მცირედ ლეგირებული 15Г2СФ მარკის ფოლადი გაიშიფრება შემდეგი სახით: ნახშირბადის შემცველობა 0.15%, მანგანუმის – 2%, სილიციუმისა და ვანადიუმის – 0.3–1% (ასო რიცხვის გარეშე აღნიშნავს ელემენტის შემცველობას 0.3–1%).

კონსტრუქციებში ასევე გამოიყენება დეფორმირებადი ალუმინის შენადნობების პროფილები, რომლებიც მზადდება წნევით დამუშავებით – დაწნეხით, გამოჭიმვით, გლინვით და შტამპვით. ქიმიური შემადგენლობის მიხედვით განასხვავებენ ალუმინის შენადნობების ხუთ ჯგუფს, რომლებიც გამოიყენება მშენებლობაში: ალუმინ-მანგანუმიანი (АМцМ); ალუმინ-მაგნიუმიანი (АМг2М, АМг21/2Н); სილიციუმ-მაგნიუმიანი (АД31Т, АД31Т1, АД31Т5); თუთია-მაგნიუმიანი (1915, 1915Т, 1925, 1925Т); სპილენძ-მაგნიუმიანი (Д1, Д6, Д16, Д18 და ა.შ.).

ალუმინის შენადნობების დამუშავების ხასიათი დაფიქსირებულია შენადნობის მარკის აღნიშვნაში დამატებით ასოებით და ციფრებით: М – რბილი (მომწვარი); Н – მოპირსალებული (ცივნაჭედი); 1/2Н – ნახევრად მოპირსალებული; Т – ნაწრთობი და ბუნებრივად დაძველებული; Т1 – ნაწრთობი და ხელოვნურად დაძველებული; ТН – წრთობის შემდეგ მოპირსალებული (ცივნაჭედი) და ხელოვნურად დაძველებული. სილიციუმ-მაგნიუმიანი შენადნობების მარკების (АД და АД31) აღნიშვნებში: А – ალუმინის შენადნობი; Д – დეფორმირებადი; 31 – შენადნობის ნომერი, ხოლო თუთია-მაგნიუმიან შენადნობებში (1915, 1925): ციფრი 1 აღნიშნავს ალუმინის შენადნობს, ციფრი 9 მიუთითებს თუთიის შემცველობას, ბოლო ორი ციფრი – შენადნობის ნომერს.

დასაპროექტებელ კონსტრუქციებში გამოსაყენებელი ფოლადებისა და ალუმინის შენადნობების მარკებს ირჩევენ სამშენებლო ნორმებისა და წესების მოთხოვნების მიხედვით.

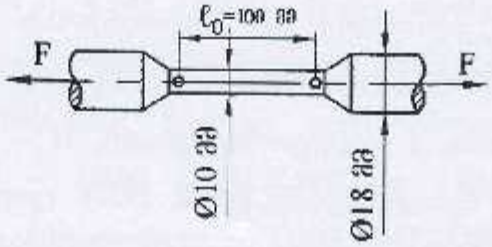
1.2. ფოლადისა და ალუმინის შენადნობების მექანიკური თვისებები

ფოლადის მექანიკური თვისებების ძირითადი მახასიათებლებია: სიმტკიცე, დრეკადობა, პლასტიკურობა და მიდრეკილება მყიფე რღვევისადმი. მასალის სიმტკიცე განისაზღვრება გარე ძალოვანი ზემოქმედებისადმი წინადობით. დრეკადობა არის მასალის თვისება, აღიდგინოს პირვანდელი მდგომარეობა გარე ძალოვანი ზემოქმედებების მოხსნის შემდეგ. პლასტიკურობა ახასიათებს მასალის თვისებას, გარე დატვირთვების მოხსნის შემდეგ მიიღოს ნარჩენი დეფორმაციები (არ დაუბრუნდეს პირვანდელ მდგომარეობას). სიმყიფე ხასიათდება მასალის რღვევით მცირე დეფორმაციის დროს, დრეკადი მუშაობის საზღვრებში.

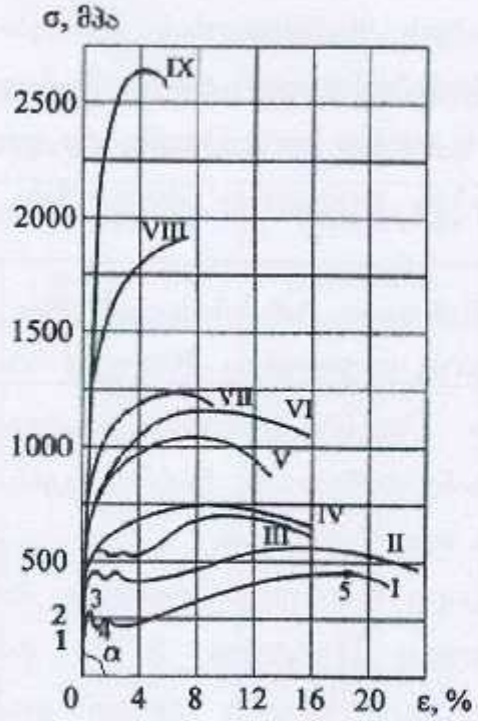
ფოლადის სიმტკიცე, დრეკადობა და პლასტიკურობა განისაზღვრება ფოლადის სპეციალური ნიმუშების გაჭიმვაზე გამოცდის მიხედვით (ფიგ. 1). გამოცდის შემდეგ იგება გაჭიმვის დიაგრამა (ფიგ. 2), რომელიც გამოსახულია ძაბვებსა და ფარდობით წაგრძელებებში:

$$\sigma = F/A; \qquad \varepsilon = \Delta l\, 100\% / l_0, \tag{1}$$

სადაც σ არის ნორმალური ძაბვა, მპა; F – დატვირთვა, კნ; A – ნიმუშის კვეთის საწყისი ფართობი l სიგრძის საზღვრებში, სმ²; ε – ფარდობითი წაგრძელება, %; l_0 – ნიმუშის საწყისი საკონტროლო სიგრძე, სმ; Δl – ელემენტის წაგრძელება საკონტროლო უბანზე, სმ.



ფიგ. 1. ფოლადის გაჭიმვაზე გამოსაცდელი ნიმუშის სქემა



ფიგ. 2. სხვადასხვა მარკის ფოლადის გაჭიმვის შედარებითი დიაგრამები

I – ჩვეულებრივი ხარისხის; *II* – ამაღლებული სიმტკიცის;
III-V – მაღალი სიმტკიცის; *VI-IX* – მაღალი სიმტკიცის ბაგირების

ნახშირბადმცირე ფოლადის ნიმუშის (მრუდი *I*) გაჭიმვის შემთხვევაში ფოლადს გააჩნია დრეკადი მუშაობის მცირე უბანი, რომელიც ხასიათდება *θ-1* მონაკვეთით.

σ ღერძზე *1*-ლი წერტილის პროექცია წარმოადგენს პროპორციულობის ზღვარს, ანუ უდიდეს ძაბვას, რომლის შემდგომი ზრდისას ირღვევა პროპორციული დამოკიდებულება ძაბვებსა და დეფორმაციებს შორის, რაც გამოისახება ჰუკის კანონით

$$E = \sigma / \varepsilon - \text{tg}\,\alpha\,, \qquad (2)$$

სადაც E არის პროპორციულობის კოეფიციენტი, ანუ დრეკადობის მოდული, მპა.

σ ღერძზე მე-*2* წერტილის პროექცია, რომელიც მდებარეობს *1*-ლ წერტილზე ზევით, ახასიათებს ფოლადის დრეკადობის ზღვარს R_e, ანუ უდიდეს ძაბვას, რომლის შემდგომი ზრდისას, გარე დატვირთვის მოხსნის შემდეგ, ნიმუშში რჩება ნარჩენი დეფორმაციები. მე-*3* წერტილის მიღწევისას იწყება მასალის დენადობა, ანუ დეფორმაციების ზრდა, პრაქტიკულად მუდმივი ნორმალური ძაბვის პირობებში. მასალის ამ მდგომარეობის

დამახასიათებელი ძაბვის მნიშვნელობას ეწოდება დენადობის ზღვარი R_{ym} ხოლო პირობითად ჰორიზონტალურ უბანს მე-3 და მე-4 წერტილებს შორის უწოდებენ დენადობის უბანს. ნახშირბადმცირე ფოლადებისათვის დენადობის ზღვრად მიიღება ძაბვა, რომელსაც შეესაბამება ფარდობითი წაგრძელება სიდიდით 0.2%.

დატვირთვის შემდგომი ზრდისას ნიმუშში ძაბვები იზრდება, თუმცა დეფორმაციები ძაბვებზე გაცილებით სწრაფად იზრდება. მასალის მუშაობის ამ არეს ეწოდება პლასტიკურობის სტადია, რომლის გამოყენებაც კონსტრუქციების გაანგარიშებისას წარმოადგენს მნიშვნელოვან ინტერესს ფოლადის ეკონომიის თვალსაზრისით.

მასალის სიმტკიცე ხასიათდება უდიდესი ძაბვით, რომლის მიღწევისას იწყება ნიმუშის რღვევა (წერტილი 5). ამ ძაბვას ეწოდება დროებითი წინაღობა R_{un}, ან სიმტკიცის ზღვარი. გაჭიმვის დიაგრამიდან ჩანს, რომ რბილ სამშენებლო ფოლადებს შეესაბამება ზღვრული ფარდობითი წაგრძელება ε = 20-25%.

ფოლადის სიმტკიცის გაზრდისას (მრუდები *II* და *III*) შეინიშნება დენადობის უბნის შესამჩნევი შემცირება, ხოლო ზოგიერთი ფოლადებისათვის მისი სრული არქონა. ეს თვისება ამცირებს ფოლადის საიმედოობას, ზრდის რა მის მიდრეკილებას მყიფე რღვევისადმი.

ძირითადი მაჩვენებლები, რომლებიც ახასიათებს ფოლადის პლასტიკურ თვისებებს, არის ფარდობითი წაგრძელება δ_5 (%), და პირობითი დარტყმითი სიბლანტე a_n=ჯ/სმ². დარტყმითი სიბლანტე ახასიათებს ფოლადის მიდრეკილებას მყიფე რღვევისადმი და წარმოადგენს კუთრ სამუშაოს, რომელიც იხარჯება სტანდარტული ნიმუშის დასარღვევად. ნახშირბადმცირე ფოლადებისათვის, ნორმალური ტემპერატურის დროს a_n=70–100 ჯ/სმ²). ტემპერატურის აწევისას დარტყმითი სიბლანტე იზრდება, ხოლო კლებისას – მცირდება.

ნაგლინის მექანიკური თვისებების, სახისა და სისქის, აგრეთვე მასალის მუშაობის გამოყენების ხარისხის მიხედვით კონსტრუქციული ფოლადები იყოფა 21 ჯგუფად. სასწავლო მიზნებისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნას 1 და 2 ცხრილებში მოყვანილი საანგარიშო მახასიათებლები.

ცხრილი 1

ფოლადის ნაგლინის ნორმატიული და საანგარიშო წინაღობები გაჭიმვაზე, კუმშვასა და ღუნვაზე

ფოლადი	ნორმატიული წინაღობა, მპა		საანგარიშო წინაღობა, მპა	
	დენადობის ზღვარის მიხედვით R_{yn}	დროებითი წინაღობის მიხედვით R_{un}	დენადობის ზღვარის მიხედვით R_y	დროებითი წინაღობის მიხედვით R_u
C235	235	360	230	350
C45	245	370	240	360
C255	245	370	240	360
C285	275	390	270	380
C345	325	470	320	460
C375	355	490	345	480
C390	390	540	380	525
C440	440	590	430	575
C590	590	685	575	670

ცხრილი 2

ფოლადის ნაგლინის საანგარიშო წინაღობები თელვაზე

დროებითი წინაღობა R_{un}, მპა	საანგარიშო წინაღობა, მპა		
	თელვა		საგორაგების დიამეტრული კუმშვა (თაიხუფალი შეხებისას, შეზღუდული მოძრაობის კონსტრუქციებში) R_{cd}
	ტორსული ზედაპირის (მორგების შემთხვევაში) R_p	ადგილობრივი (ცილინდრულ სახსრებში (მჭიდროდ შეხებისას) R_{lp}	
360	351	176	9
370	361	180	9
380	371	185	9
390	380	190	10
400	390	195	10
430	420	210	10
440	429	215	11
450	439	220	11
460	449	224	11
470	459	229	11
480	468	234	12
490	478	239	12
510	498	249	12
540	527	263	13
570	556	278	14
590	576	288	14

დრეკადობის სტადიაში მუშაობისას, გაჭიმვის, კუმშვის და ღუნვის საანგარიშო წინაღობა განისაზღვრება მასალის დენადობის ზღვარის მიხედვით შემდეგი ფორმულით

$$R_y = \frac{R_{yn}}{\gamma_m}, \tag{3}$$

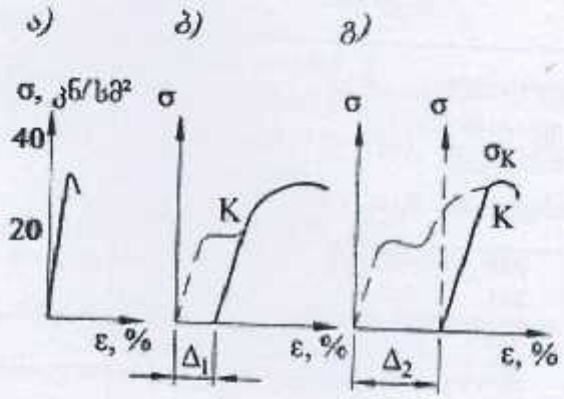
ხოლო დრეკად-პლასტიკურ სტადიაში მუშაობისას კი ფორმულით

$$R_u = \frac{R_{un}}{\gamma_m}, \tag{4}$$

სადაც R_{yn} არის ფოლადის დენადობის ზღვარი, მპა; R_{un} – ფოლადის სიმტკიცის ზღვარი, მპა; γ_m – მასალის საიმედოობის კოეფიციენტი, γ_m=1.025 (C590 და C590K ფოლადების გარდა); C590 და C590K ფოლადებისთვის γ_m=1.05.

სამშენებლო ფოლადების მნიშვნელოვანი მექანიკური თვისებებია: ცივჭედვა, დაძველება, ძაბვებისა და დაღლილობის არათანაბარი განაწილება.

ცივჭედვა არის ფოლადის დრეკადი მუშაობის არის გაზრდა $\sigma_{adm} > R_{yn}$ დენადობის ზღვარის ზევით წინასწარი გაჭიმვით (ფიგ. 3). ფოლადის ხელმეორედ დატვირთვისას ის იწყებს დრეკად მუშაობას დასაშვებ ძაბვამდე σ_{adm} , თუმცა ამ დროს მნიშვნელოვნად იზრდება მისი სიმყიფე.

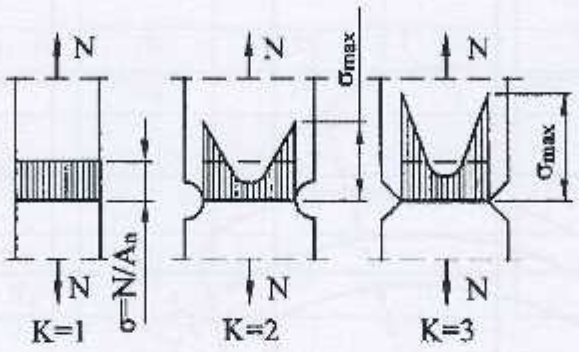


ფიგ. 3. ფოლადის გაჭიმვის დიაგრამა ცივჭედვისას

a – მაღალი სიმტკიცის ფოლადის დიაგრამა; *b* – რბილი ფოლადის დიაგრამა, გაჭიმული პლასტიკურ მდგომარეობამდე (წყვეტილი ხაზი) და დატვირთვის მოხსნისა და ხელმეორედ დატვირთვის შემდეგ (მთლიანი ხაზი); *c* – ფოლადის დიაგრამა განტვირთვისას, რომელიც შეესაბამება პლასტიკური მუშაობის ხელრულ არეს

დეფორმაციული და თერმული დაძველების შედეგად ფოლადი იცვლის თავის თვისებებს დროთა განმავლობაში, უმჯობესდება დრეკადი თვისებები და მცირდება პლასტიკურობა.

ლითონის კონსტრუქციების რღვევის ყველაზე დიდი საშიშროება მაშინაა, როდესაც სამუშაო კვეთებში წარმოიქმნება სხვადასხვა სახის შესუსტება – ნახვრეტის, ამონაჭარხის ან ჩანაჭრის სახით (ფიგ. 4).



ფიგ. 4. ამონაჭარხების გავლენა ძაბვებზე შესუსტებულ კვეთში

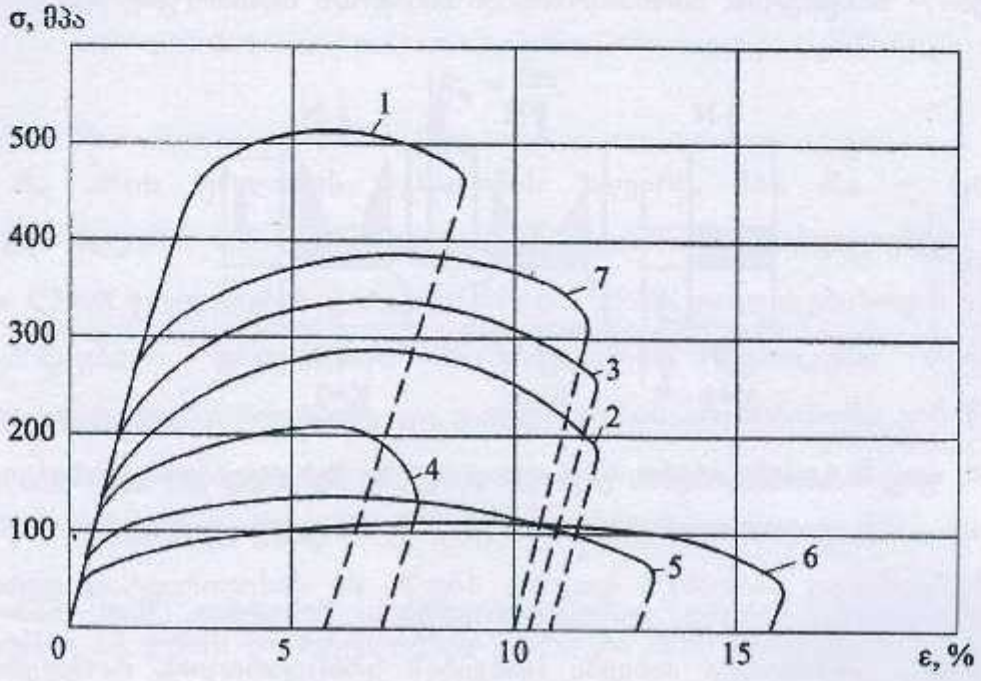
(*K* – ძაბვების კონცენტრაციის კოეფიციენტი)

შესუსტების სახეზე დამოკიდებულების მიხედვით მათ ნაპირებთან წარმოიქმნება გაზრდილი ძაბვები (ძაბვების კონცენტრაცია), რომლებიც ორ-სამჯერ აღემატება ნორმალურ σ ძაბვებს შეუსუსტებელ კვეთებში. გაანგარიშებისას ეს მოვლენა აუცილებელია გათვალისწინებულ იქნეს მცირედ ლეგირებული ფოლადების გამოყენებისას. რბილ ნახშირბადიან ფოლადებში ეს მოვლენა არც ისე საშიშია, რადგან საანგარიშო სტადიაში ძაბვები თანაბრდება.

ყველაზე საშიშ ზემოქმედებას ლითონზე ახდენს დაღლილობა, რაც გამოიხატება ლითონის რღვევით მრავალჯერ განმეორებადი, განსაკუთრებით ნიშანცვლადი, დატვირთვის ზემოქმედებისას. ლითონის დაღლილობის შემთხვევაში კონსტრუქციის რღვევა, როგორც წესი, მყისიერი, მყიფეა.

დაღლილობისაგან რღვევისადმი კონსტრუქციის წინააღმდეგობას ამტანუნარიანობა ეწოდება. კონსტრუქციების დაპროექტებისას, რომლებიც მუშაობს დინამიკური და ნიშანცვლადი დატვირთვის პირობებში, მიღებული ნორმები ითვალისწინებს საანგარიშო წინადობების დაწევას, შენადული კონსტრუქციების და ძაბვების კონცენტრაციის გამომწვევი შეერთებების მოცულობის შემცირებას.

ალუმინის შენადნობების მექანიკური თვისებები დამოკიდებულია ქიმიურ შემადგენლობასა და მათი დამუშავების პირობებზე. აბსოლუტური სიდიდეების მიხედვით (ფიგ. 5) ისინი ახლოს არის ჩვეულებრივი და გაზრდილი სიმტკიცის ფოლადებთან, თუმცა არის უფრო დეფორმირებადი და ხასიათდება ნაკლებად გამოხატული პლასტიკური თვისებებით.



ფიგ. 5. სხვადასხვა მარკის ალუმინის გაჭიმვის დიაგრამები

1 – В95Т1; *2* – В95М; *3* – 1915Т; *4* – АД31Т1; *5* – АД31Т; *6* – АМц; *7* – Д16Т

ალუმინის შენადნობების საანგარიშო წინაღობა (ცხრილი 3) გამოითვლება ფორმულით

$$R_d = R_n \cdot 1/\gamma_m\gamma_c\,, \qquad (5)$$

სადაც R_n არის ნორმალური წინაღობა, რომელიც აიღება მინიმალური მნიშვნელობის ტოლი დენადობის ზღვარის მიხედვით R_{ym}, რომლის მნიშვნელობადაც პირობითად მიიღება ძაბვა, რომელსაც შეესაბამება ფარდობითი ნარჩენი დეფორმაცია 0.2%; γ_m>1 – უსაფრთხოების კოეფიციენტი მასალის მიხედვით; $\gamma_c \leq 1$ – მუშაობის პირობების კოეფიციენტი, რომელიც ამცირებს საანგარიშო წინაღობას მძიმე პირობებში კონსტრუქციის ექსპლუატაციის შემთხვევაში.

ცხრილი 3

მშენებლობაში გამოსაყენებლად რეკომენდებული ალუმინის შენადნობების საანგარიშო წინაღობები, მპა

დაძაბული მდგომარეობა	თერმულად განუმტკიცებული ალუმინი		თერმულად განმტკიცებული ალუმინი			
	АМг2М	АМг21/2Н	АД31Т	АД31Т1	1915, 1925, 1925Т	1915Т
გაჭიმვა, კუმშვა, ღუნვა R_y	70	125	55	125	180	200
ჭრა R_s	40	75	35	75	105	120
ტორსული ზედაპირის თელვა (მორგების დროს) R_p	105	185	80	185	270	300
ადგილობრივი თელვა მჭიდროდ შეხებისას R_w	50	90	40	90	135	150

1.3. ფოლადისა და ალუმინის პროფილების სორტამენტი

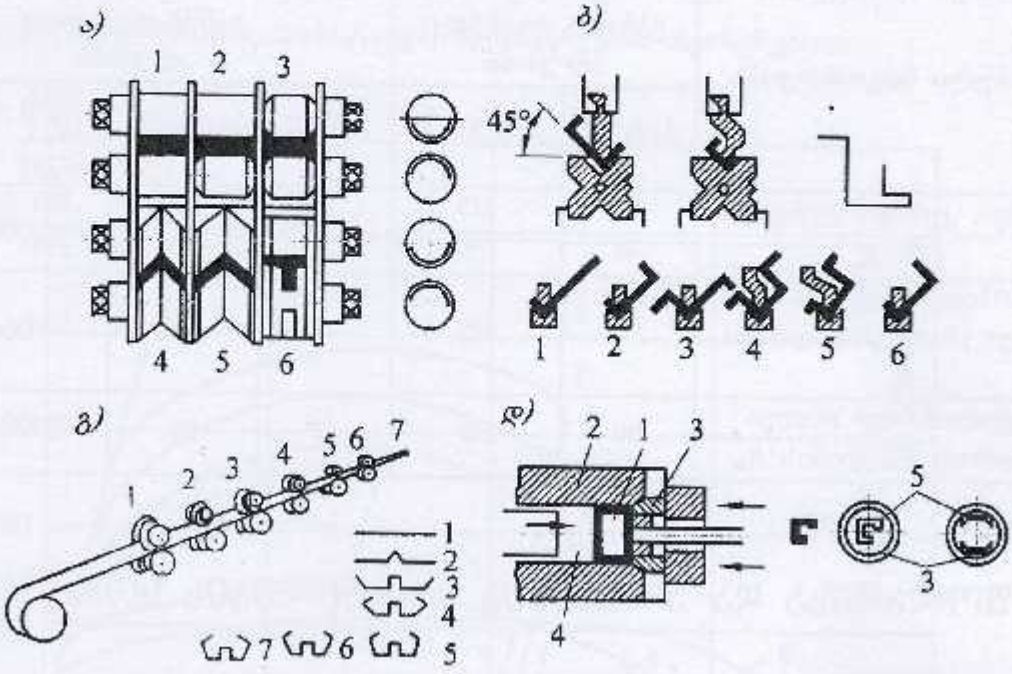
სორტამენტი ეწოდება ნაგლინი (ფიგ. 6, ა), ცივნაღუნი (ფიგ. 6, ბ, გ) ან დაწნეხილი (ფიგ. 6, დ) ნახევარფაბრიკატებისა და ნაკეთობების კატალოგს, სადაც მითითებულია მათი ძირითადი გეომეტრიული ზომები, განიკვეთის ფორმები, დაშვების მნიშვნელობები და სიგრძის ერთეულის მასები.

ფოლადისა და ალუმინის ნახევარფაბრიკატები სამშენებლო კონსტრუქციებისთვის იყოფა ორ ძირითად ჯგუფად – ფურცლოვანი და პროფილური.

ფურცლოვან ფოლადსა და ალუმინს, გლუვი და დაპრიფილებული ფურცლის სახით, აქვთ პროფილის სხვადასხვა სისქე და სიმაღლე. ისინი ფართოდ გამოიყენება ბურულის, კედლების, კიდული ჭერების, გისოსოვანი კონსტრუქციების საკვანძო ფასონურების, შენადული ორტესებრი კონსტრუქციების მოსაწყობად, აგრეთვე გარსების, მემბრანების და სხვა სპეციალური ფურცლოვანი კონსტრუქციების სახით. გარდა ამისა, ფურცლოვანი ფოლადი და ალუმინის შენადნობები გამოიყენება თხელკედლიანი ნაღუნი პროფილების საწარმოებლად.

გლინვის მეთოდით მზადდება სქელკედლიანი ფოლადი სისქით 4–160 მმ, ფურცლის სიგანით 1250–2600 მმ და სიგრძით 8 მ-დე; ცივად ნაგლინი ფურცლოვანი ფოლადი სისქით 1 მმ-დე, ფურცლის სიგანით 2000 მმ და

სიგრძით 5 მ-დე დაპროფილებული ფენილებისთვის; უნივერსალური ფართოზოლიანი ფოლადი სისქით 6–60 მმ, სიგანით 200–1050 მმ და სიგრძით 18 მ-დე გამოიყენება შენადნილი კოჭებისა და სვეტებისათვის.



ფიგ. 6. პროფილების წარმოება

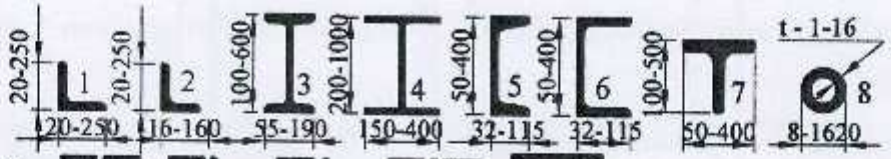
ა – ფოლადის ცხლად ნაგლინი საგლინავ დგანებზე: *1* – ზოლი; *2* – შველერი; *3* – ორტესებრი; *4* – თანაბართაროვებიანი კუთხოვანა; *5* – არათანაბართაროვებიანი კუთხოვანა; *6* – ტესებრი; *ბ* – ფოლადის ცივად ნალესი საღუნავ წნეხებზე: *1–6* – ოპერაციების თანმიმდევრობა; *გ* – ფოლადის ცივად ნადუნი ლილვაკებში გაწელვით: *1–7* – ოპერაციების თანმიმდევრობა; *დ* – ალუმინის ცხელი დაწნეხით: *1* – ალუმინის ნამზადი; *2* – ძალოვანი ცილინდრი; *3* – მატრიცა; *4* – პუანსონი; *5* – ნახერხეტი მატრიცაში

დასამზადებლად ყველაზე უნივერსალური, კონსტრუქციულად ხელსაყრელი და ეკონომიურია – კუთხედი, ორტესებრი, შველერი და მილისებრი პროფილი (ფიგ. 7).

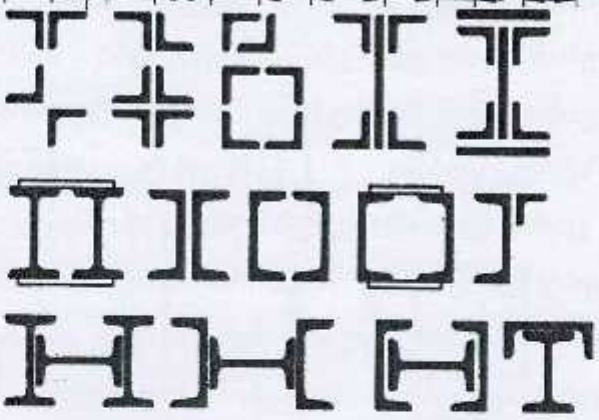
ფოლადის, თანაბართაროვიანი და არათანაბართაროვიანი კუთხედის პროფილები ფართოდ გამოიყენება იმ ელემენტებში, რომლებიც მუშაობენ ღერძულა ძალებზე (გაჭიმვა ან კუმშვა). აგრეთვე სხვადასხვა ელემენტების კომბინირებული კვეთებისა და შეერთებების მისადებად. ორტესებრი კოჭები, თაროების დახრილი შიგა წახნაგებით, ძირითადად გამოიყენება ღუნვად

ელემენტებში – კოჭებსა და სვეტებში, აგრეთვე არაცენტრალურ კუმშვაზე მომუშავე შედგენილ კვეთებში.

ა)



ბ)



ფიგ. 7. ნაგლინი ფოლადის პროფილების ძირითადი ტიპები

ა – სორტამენტი (ზღვრული ზომები მმ-ში); 1-2 – თანაბართაროიანი და არათანაბართაროიანი კუთხედი; 3 – ორტესებრი; 4 – ფართოთაროიანი ორტესებრი; 5 – შველერი; 6 – ვიწრო, პარალელურთაროიანი შველერი; 7 – ფართოთაროიანი ტესებრი; 8 – მილი; ბ – შედგენილი კვეთის მაგალითები

ფართოდაა გავრცელებული ფართოთაროებიანი ორტესებრი (პარალელურწახნაგებიანი თაროები) სიმაღლით 1000 მმ-დე და სიგანით 400 მმ-დე. ისინი რაციონალურად გამოიყენება სვეტებში, ამწისქვეშა კოჭებში, გადახურვის კონსტრუქციებსა და ხიდის მალის კოჭებში.

წვეულებრივ ორტესებრთან შედარებით, დიდი ეკონომიკური ეფექტურობით (14-19%) გამოირჩევა 120-300 მმ სიმაღლის, ვიწრო, პარალელურ თაროებიანი თხელკედლიანი ორტესებრი. მათ რაციონალურად იყენებენ მსუბუქ გადახურვებში.

შველერები უფრო ხშირად გამოიყენება შედგენილ კვეთებში (რომლებიც უპირატესად მუშაობენ ღერძულ ძალებზე და ღუნვაზე, იშვიათად არაცენტრალურ კუმშვაზე), სვეტებსა და ძელებში. გადახურვის გრძივებში და კედლის ჩალანგარის ელემენტებში გამოიყენება ნაგლინი თხელკედლიანი შველერები ვიწრო, პარალელურწახნაგებიანი თაროებით. მასალის ხარჯის

მიხედვით ისინი 16-20%-ით მსუბუქია ჩვეულებრივად ნაგლინ შველერებთან შედარებით.

ნივნივურ და ნიჟნივქვეშა წამწეებში ზედა და ქვედა სარტყელებად ხშირად გამოიყენება ფართოთაროებიანი ტესებრი, რომელიც მიიღება ფართოთაროებიანი ორტესებრის გრძივი მიმართულებით ორ ნაწილად დაშლით.

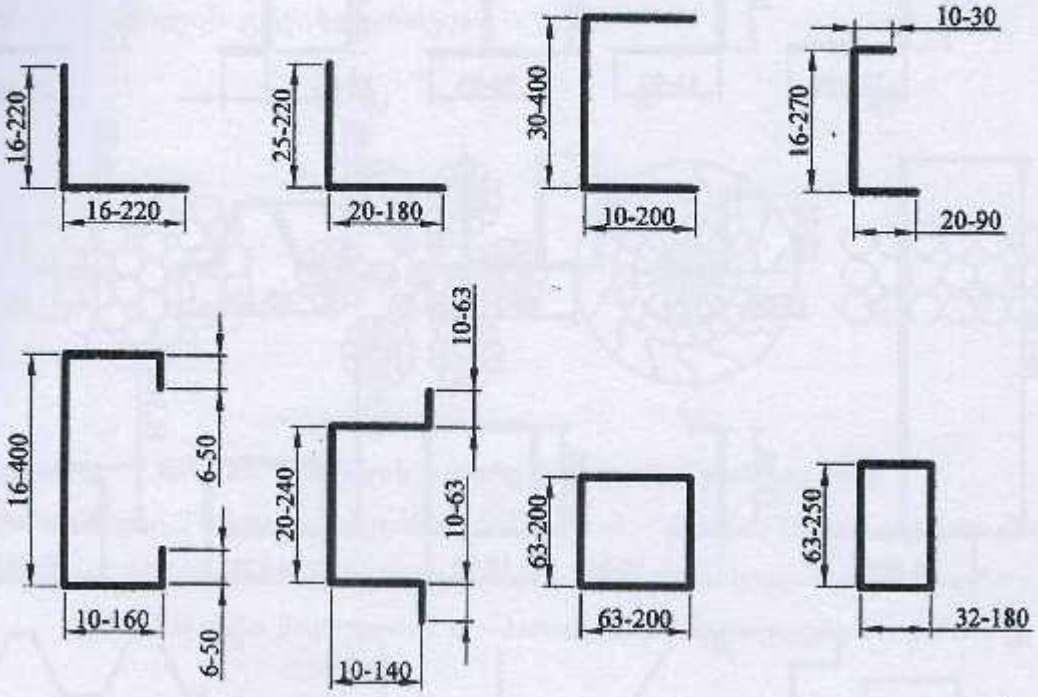
სიმაღლის ფაროო დიაპაზონი (100–500 მმ) და თაროების სიგანე (100–400 მმ) საშუალებას იძლევა ეს პროფილები გამოყენებულ იქნას წამწეებში, რომლებიც განიცდიან მსუბუქ და მძიმე დატვირთვებს.

გისოსოვან კონსტრუქციებში – წამწეებში, თაღებში, ჩარჩოებში, გუმბათებში და სხვ. – ფართოდ გამოიყენება ელექტროშენადუღი მრგვალი და მართკუთხა მილები, აგრეთვე ცხლად ნაგლინი ნახშირბადოვანი და მცირედ ლეგირებული ფოლადის მრგვალი მილები. ნებისმიერი ცენტრალური ღერძის მიმართ თანაბარი ინერციის გამო, მილების გამოყენება განსაკუთრებით ეფექტურია ცენტრალურად შეკუმშულ და ცენტრალურად გაჭიმულ ელემენტებში, აგრეთვე შეკუმშულ-გალუნულ ელემენტებში, ღუნვის სიბრტყის ცვლადი მიმართულებისას.

მილისებრი კვეთის გამოყენების მიზანშეწონილობა იზრდება კონსტრუქციაზე აგრესიული გარემოს ზემოქმედების პირობებში, აგრეთვე გაზრდილი არქიტექტურული მოთხოვნებისას, კერძოდ, შეკიდული ჭერის გარეშე კონსტრუქციის ექსპლუატაციის შემთხვევაში. ანალოგიურ კონსტრუქციებში მილისებრი პროფილების გამოყენება კუთხედებთან შედარებით, იძლევა ლითონტევადობის შემცირებას 20-25%-ით.

ფოლადის კონსტრუქციებში ნაგლინ პროფილებთან ერთად წარმატებით გამოიყენება ცივნალუნი პროფილები (ფიგ. 8). მათი გამოშვება ხორციელდება ნაგლინი პროფილების მსგავსად – თანაბართაროებიანი და არათანაბართაროებიანი კუთხედების, თანაბართაროებიანი შველერების, C-ს მაგვარი, ვარცლისებრი და ზეტისებრი. აგრეთვე ჩაკეტილი სწორკუთხა პროფილების სახით. დამზადების პირობების მიხედვით ნალუნი პროფილების სისქე არ აღემატება 8 მმ, რაც დიდწილად განაპირობებს მათ გამოყენებას მსუბუქ კონსტრუქციებში, რომლებიც იღებენ მცირე საანგარიშო დატვირთვებს, მაგრძივები, მსუბუქი წამწეები, შუქფარნების დგარები და გისრები.

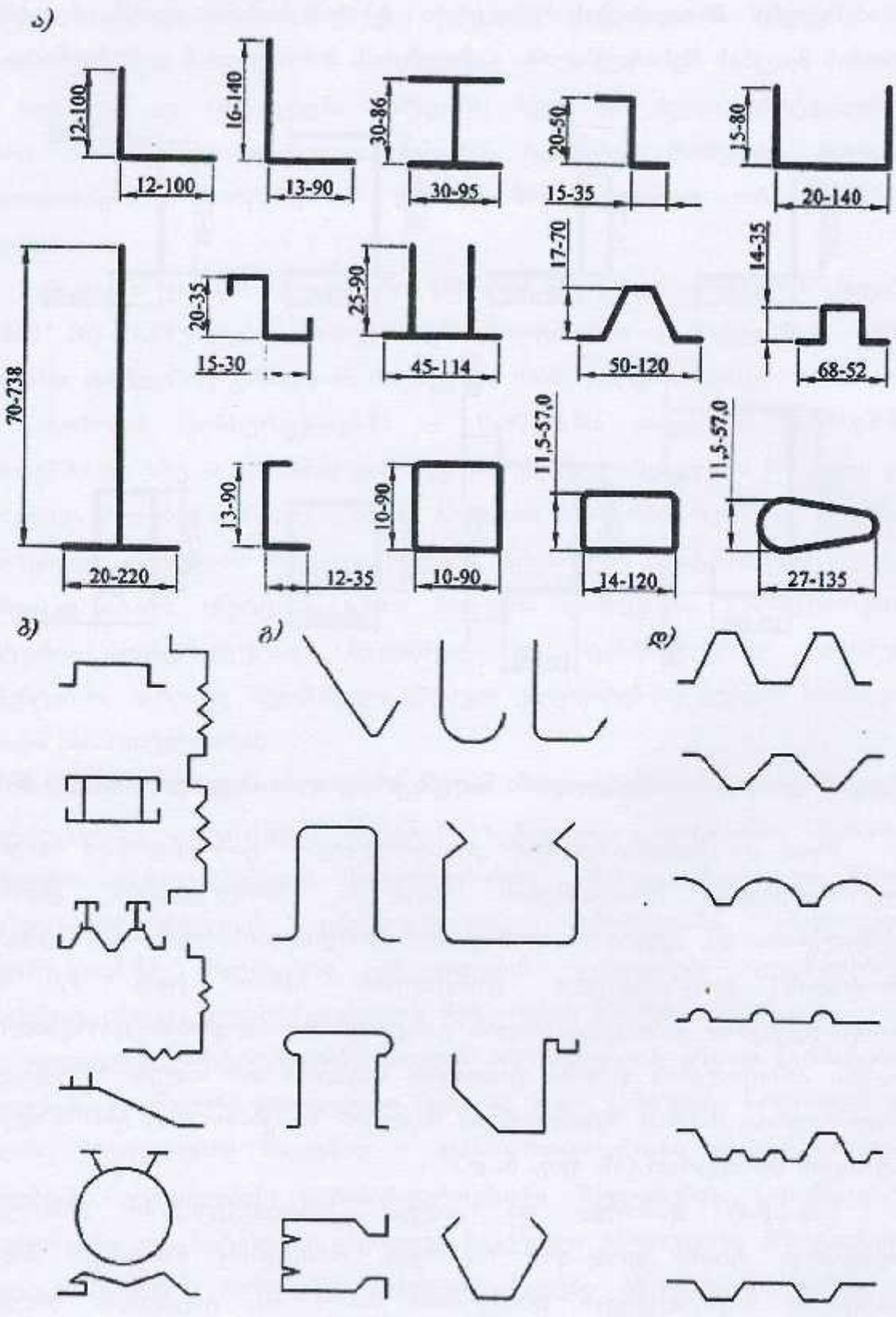
ნაღუნი პროფილების ერთ-ერთი უპირატესობაა კვეთის ნებისმიერი ფორმის მიღების შესაძლებლობა გამოყენების პირობებიდან გამომდინარე.



ფიგ. 8. ფოლადის თხელკედლიანი ნაღუნი პროფილები (ზღვრული ზომები მმ-ში)

მსიდ და შემომსაზღვრელ კონსტრუქციებში გამოყენებული ალუმინის დეფორმირებადი შენადნობების წარმოება ხორციელდება გლინული ფურცლებისა და ლენტების დაწნეხილი პროფილების, აგრეთვე სხვადასხვა პროფილის გოფრირებული ფურცლების სახით (ფიგ. 9). მსიდ კონსტრუქციებში გამოყენებისათვის განკუთვნილი ალუმინის დაწნეხილი და ნალუნი პროფილების ფორმა ფოლადის ნაგლინი და ნალუნი პროფილების ანალოგიურია, მაგრამ შეზღუდულია ნაკლები ზომებით, რაც განისაზღვრება მატრიცის დიამეტრით (იხ. ფიგ. 6, დ.)

წინასწარ დაძაბულ და კიდულ კონსტრუქციებში გამოიყენება სხვადასხვა ტიპის ფოლადის ბაგირები, რომლებიც მზადდება მაღალი სიმტკიცის მავთულისაგან დიამეტრით 0.22–4 მმ, გაგლეჯვის (რღვევის) დროებითი წინაღობით 1200–2600 მპა (ფიგ 10).

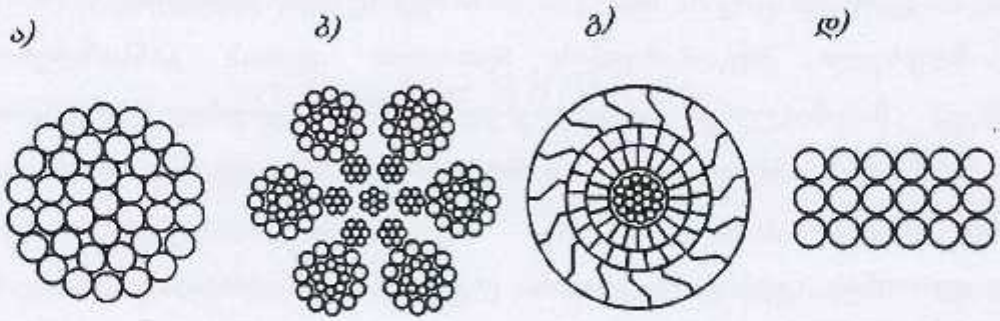


ფიგ. 9. ალუმინის პროფილები

ა, ბ – დაწნეხილი პროფილების სორტამენტი (ხდვრული ზომები მმ-ში);

გ – ცუნდალუნი დეროების კვეთები; დ – გოფრირებული ფურცლების კვეთები

ბაგირებს ამზადებენ ერთმაგი შეგრეხით (ცალკეული მავთულების გადახლართვით), ორმაგი შეგრეხით – გვარლი (მავთულები, გადახლართული წნებად, ხოლო წნები – ბაგირად) და სამმაგი შეგრეხით – კაბელი (მიიღება რამდენიმე გვარლის გადახლართვით).



ნახ. 10. ფოლადის ბაგირებისა და კონების კვეთები

ა – სპირალური 37 მავთულისაგან (1+6−12+18); ბ – მრავალწნიანი გვარლი წნული გულანით; გ – სპირალური დახურული ტიპის, ორი ფენა ხოლისებრი და ერთი ფენის ზეტისმაგვარი მავთულით; დ –პარალელურ მავთულებიანი კონა

კიდულ კონსტრუქციებში ფართოდაა გავრცელებული ТК კონსტრუქციის 1x37 (1+6+12+18) სპირალური ტიპის ბაგირები, ТЛК-РО ტიპის 6x36 (1+7+7/7+14+7+7) (1+6) ორმაგი დაგრეხის ბაგირები (გვარლები), დახურული ტიპის ბაგირები და სხვ. ბაგირების ასოებით აღნიშვნა განსაზღვრავს: ТК – მავთულების წერტილოვანი შეხება; ТЛК – მავთულების წერტილოვანი და ხაზოვანი შეხება. ციფრული აღნიშვნა განსაზღვრავს მავთულების გახლაგების ფორმულას და მათ რაოდენობას ერთ გრეხილში.

მცირე მალის კიდულ გადახურვებში გამოიყენება პერიოდული პროფილის ღეროვანი ცხლად გლინული ფოლადის არმატურა ღეროს ნომინალური დიამეტრით 16-40 მმ.

1.4. ლითონის კონსტრუქციების გაანგარიშება ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით

ლითონის კონსტრუქციების გაანგარიშება ხორციელდება ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით – ძალოვან ზემოქმედებებზე, საყრდენების გადანაცვლებაზე, ტემპერატურასა და სხვა ზემოქმედებებზე.

ზღვრული ეწოდება კონსტრუქციის ისეთ მდგომარეობას, რომლის დროსაც ის უკვე აკმაყოფილებს საექსპლუატაციო მოთხოვნებს, ანუ კონსტრუქცია კარგავს გარეგან ზემოქმედებაზე წინააღმდეგობის გაწევის უნარს ან არ არის დაცული ნორმალური საექსპლუატაციო პირობები, ვინაიდან დეფორმაციებმა მიაღწია დასაშვებზე მეტ სიდიდეს.

ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით ქვეთის განსაზღვრისას იგი შეირჩევა მინიმალურად აუცილებელი, მაქსიმალურად შესაძლო ძალის ზემოქმედების პირობიდან გამომდინარე, ყველაზე არახელსაყრელ საექსპლუატაციო პირობებში.

ლითონის კონსტრუქციების გაანგარიშება ხორციელდება ზღვრული მდგომარეობის ორი ჯგუფის მიხედვით: მხიდუნარიანობის დაკარგვაზე და ნორმალური ექსპლოატაციის შეუძლებლობაზე.

ზღვრული მდგომარეობის პირველი ჯგუფის მიხედვით გაანგარიშება წარმოებს სიმტკიცეზე, მდგრადობაზე და ამტანუნარიანობაზე. მათემატიკურად ის ჩაიწერება უტოლობის სახით:

$$N_{cal}(\Sigma F_n \gamma) \leq \Phi(AR_{yn}\gamma_c/\gamma_n\gamma_m), \qquad (6)$$

სადაც N_{cal} არის საანგარიშო ძალვა კონსტრუქციაში, საანგარიშო დატვირთვების ყველაზე არახელსაყრელი კომბინაციისას; Φ – კონსტრუქციის მხიდუნარიანობა, რომელიც წარმოადგენს კონსტრუქციის გეომეტრიული ზომებისა და მასალის წინაღობის ფუნქციას; F_n – ნორმატიული დატვირთვა, რომელიც შეირჩევა სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით; γ – გადატვირთვის კოეფიციენტი, დატვირთვის ყოველი სახეობისთვის (საკუთარი მასისთვის γ_g =1.1÷1.3; დროებითი გაბნაწილებული დატვირთვისთვის γ_v=1.2÷1.4; თოვლის დატვირთვისთვის γ_s=1.4÷1.6; ქარის დატვირთვისთვის γ_w=1.2÷1.3); A – ქვეთის გეომეტრიული მახასიათებელი; R_{ya} – მასალის ნორმატიული წინაღობა; γ_c – მუშაობის პირობების კოეფიციენტი; γ_n – საიმედოობის კოეფიციენტი დანიშნულების მიხედვით; γ_m – საიმედოობის კოეფიციენტი მასალის მიხედვით; კოეფიციენტები γ_c, γ_n, γ_m შეირჩევა სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით.

ზღვრული მდგომარეობის პირველი ჯგუფის მიხედვით გაანგარიშება ხორციელდება ყველა მხიდი კონსტრუქციისთვის გამონაკლისის გარეშე.

ზღვრული მდგომარეობის მეორე ჯგუფის მიხედვით გაანგარიშება ხორციელდება დასაშვები გადაადგილებების მიხედვით (ჩაღუნვები, ჯდომები, მობრუნების კუთხეები, რხევები და სხვა).

ზღვრული მდგომარეობის მეორე ჯგუფი მათემატიკურად შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი უტოლობის სახით

$$f/l_{ef} \leq [f/l], \tag{7}$$

სადაც f არის ჩაღუნვის ისარი ან კონსტრუქციის გადაადგილება ნორმატიული დატვირთვებისგან; $[f/l]$ – ფარდობითი ჩაღუნვის ან გადაადგილების ზღვრული სიდიდე, რომელიც დადგენილია ლიტონის კონსტრუქციების პროექტირების ნორმებით ან მითითებულია ტექნოლოგიურ დავალებაში; l_{ef} – ღეროს საანგარიშო სიგრძე; l – ღეროს გეომეტრიული სიგრძე.

მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მიხედვით გაანგარიშდება მხოლოდ ის კონსტრუქციები, რომლებიც განიცდის დიდ დეფორმაციებს ან გადაადგილებები ზღუდავენ ნორმალური ექსპლუატაციის შესაძლებლობას.

დატვირთვები, რომლებიც ზემოქმედებენ ლიტონის კონსტრუქციებზე, მოქმედების ხანგრძლივობიდან გამომდინარე, იყოფა მუდმივ და დროებით დატვირთვებად. დროებითი დატვირთვები, თავის მხრივ, იყოფა ხანგრძლივ, ხანმოკლე და განსაკუთრებულ დატვირთვებად.

მუდმივ დატვირთვებს მიეკუთვნება: კონსტრუქციის საკუთარი მასა; გადახურვის, ჭერის, კედლების მასა; გრუნტის წნევა; წინასწარი დაძაბვის ზემოქმედება და სხვ.

დროებით ხანგრძლივად მოქმედ დატვირთვებს მიეკუთვნება: დროებითი ტიხრების მასა, სტაციონალური დანადგარების მასა, დატვირთვა გადახურვებზე (საწყობების, ელევატორების და სხვა), აგრეთვე ხანგრძლივი ტემპერატურული ტექნოლოგიური ზემოქმედებები.

ხანმოკლე დატვირთვებს მიეკუთვნება: ადამიანებისა და სარემონტო მასალების მასა; დატვირთვები, რომლებიც წარმოიქმნებიან დამზადების, გადაზიდვის და სამშენებლო კონსტრუქციის აგების დროს; დატვირთვები მოძრავი ამწე-სატრანსპორტო დანადგარებისაგან (ხიდური და კიდული ამწეებისგან); თოვლის, ქარისა და ყინულის დატვირთვები.

განსაკუთრებულ დატვირთვებს მიეკუთვნება სეისმური და აფეთქებითი ზემოქმედებები; დატვირთვები, რომელიც გამოწვეულია ტექნოლოგიური პროცესების მკვეთრი დარღვევით და სხვ.

ექსპლუატაციის პროცესში ნაგებობები განიცდიან სხვადასხვა დატვირთვების ზემოქმედებას, ამიტომ სამშენებლო ნორმებისა და წესების თანახმად, გაანგარიშებისას ითვალისწინებენ დატვირთვის თანწყობის ორ კატეგორიას: ძირითადი თანწყობა, რომელიც შედგება მუდმივი, ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვებისაგან; განსაკუთრებული თანწყობა, რომელიც შედგება მუდმივი, ხანგრძლივი, შესაძლო ხანმოკლე და ერთ-ერთი განსაკუთრებული დატვირთვისაგან.

დატვირთვების ძირითად თანწყობაზე გაანგარიშებისას, ორი ან მეტი ხანმოკლე დატვირთვის შემთხვევაში, მათი ჯამი მრავლდება თანწყობის კოეფიციენტზე სიდიდით 0.9; განსაკუთრებულ თანწყობაზე გაანგარიშებისას – 0.8-ზე. განსაკუთრებული დატვირთვა ამ შემთხვევაში მიიღება შემცირების გარეშე.

1.5. ელემენტების გაანგარიშება ცენტრალურ გაჭიმვაზე და კუმშვაზე

ელემენტების მუშაობა ცენტრალურ გაჭიმვასა და კუმშვაზე წარმოიქმნება მაშინ, როდესაც გრძივი ძალა N გადის განსაანგარიშებელი ელემენტის სიგრძეზე ნებისმიერი განივი კვეთის სიმძიმის ცენტრში (ფიგ. 11). ცენტრალურად გაჭიმული და ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშება მასალის მუშაობის დრეკად სტადიაში ხორციელდება ფორმულით:

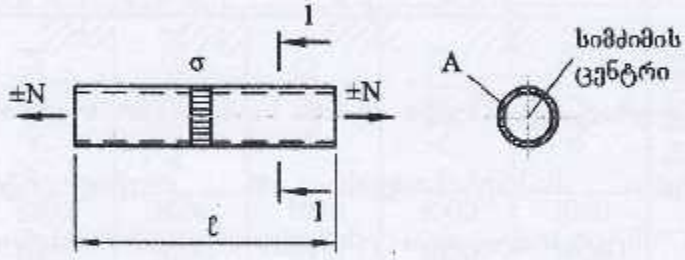
$$N/A_n \leq R_y\gamma_c\ , \tag{8}$$

სადაც A_n არის კვეთის ფართობი, ნეტო (შესუსტებების გამოკლებით); R_y – მასალის საანგარიშო წინაღობა დენადობის ზღვრის მიხედვით (იხ. ცხრ. 1).

ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების, რომელთა ექსპლუატაცია შესაძლებელია ლითოხის დრეკადი მუშაობის ზღვრის მიღმა, სიმტკიცეზე გაანგარიშება ხორციელდება ფორმულით:

$$N/A_n \leq R_u\gamma_c/\gamma_u\ , \tag{9}$$

სადაც R_w არის მასალის საანგარიშო წინაღობა დრეკებითი წინაღობის მიხედვით (იხ. ცხრილი 1); γ_c=1.3 – საიმედოობის კოეფიციენტი კონსტრუქციის ელემენტებისათვის, რომლებიც გაანგარიშდება სიმტკიცეზე დრეკებითი წინაღობის მიხედვით.



ფიგ. 11. ღეროების მუშაობა ცენტრალურ გაჭიმვაზე და კუმშვაზე

ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების მდგრადუნარიანობის ამოწურვა ხდება დენადობის ზღვარზე ნაკლები კრიტიკული ძაბვების დროს. ეს აიხსნება იმით, რომ ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტები საექსპლუატაციო თვისებებს კარგავენ არა კვეთის რღვევის გამო, არამედ ღეროს მდგრადობის დაკარგვით (გამობურცვა). ამიტომ ცენტრალურად შეკუმშული ღეროები გაანგარიშდება მდგრადობაზე გრძივი ღუნვის φ კოეფიციენტის გათვალისწინებით (რომელიც ამცირებს საანგარიშო წინაღობას), ფორმულით:

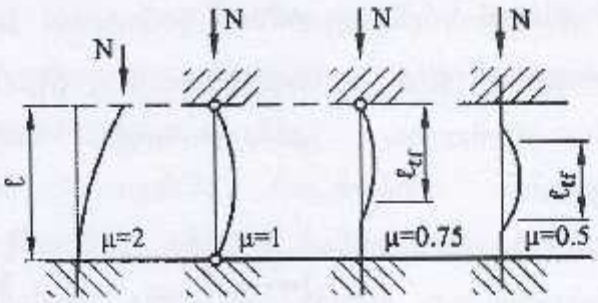
$$N/\varphi A \leq R_y\gamma_c, \tag{10}$$

სადაც A არის ღეროს განივი კვეთი შესუსტებების გარეშე (ჭანჭიკებისა და მოქლონების ნახვრეტებისათვის).

φ კოეფიციენტის მნიშვნელობა დამოკიდებულია ელემენტის მოქნილობაზე $\bar{\lambda}$, რომელიც შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

$$\bar{\lambda} = l_{ef}/i, \tag{11}$$

სადაც, $l_{ef} = \mu l$ არის ღეროს საანგარიშო სიგრძე: l – ღეროს გეომეტრიული სიგრძე (ელემენტის ჩამაგრების წერტილებს შორის მანძილი); μ – ღეროს სიგრძის დაყვანის კოეფიციენტი, რომელიც გამოხატავს ელემენტის ბოლოების ჩამაგრების გავლენას (ფიგ. 12); i – ელემენტის განივი კვეთის ინერციის რადიუსი.



ფიგ. 12. ცენტრალურად შეკუმშული ღეროს საანგარიშო სიგრძის განსაზღვრისათვის

პრაქტიკული მიზნებისათვის, φ კოეფიციენტის მნიშვნელობა განისაზღვრება ინტერპოლაციით ცხრილი 4-ის და ცხრილი 5-ის მიხედვით, შესაბამისად, ფოლადის კონსტრუქციებისა და ალუმინის შენადნობებისათვის.

ცხრილი 4

ფოლადის ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების გრძივი ღუნვის კოეფიციენტების φ მნიშვნელობები

მოქნილობა, λ	კოეფიციენტი φ ფოლადის ელემენტებისათვის საანგარიშო წინაღობით R_y, მპა											
	200	240	280	320	360	400	440	480	520	560	600	640
10	988	987	985	984	983	982	981	980	979	978	977	977
20	967	962	959	955	952	949	946	943	941	938	936	934
30	939	931	924	917	911	905	900	895	881	887	883	879
40	906	894	883	873	963	854	846	849	832	825	820	814
50	869	852	836	822	809	786	785	775	764	746	729	712
60	827	805	785	766	749	721	696	692	650	628	608	588
70	782	754	724	687	654	623	595	568	542	518	494	470
80	734	686	641	602	566	532	501	471	442	414	386	359
90	665	612	565	522	483	447	413	380	349	326	305	287
100	599	542	493	448	408	369	335	309	286	267	250	235
110	537	478	427	381	338	306	280	258	239	223	209	197
120	479	419	366	321	287	260	237	219	203	190	178	167
130	425	364	313	276	247	223	204	189	175	163	153	145
140	376	315	272	240	215	195	178	164	153	143	134	126
150	328	276	239	211	189	171	157	145	134	126	118	111
160	290	244	212	187	167	152	139	129	120	112	105	099
170	259	218	189	167	150	136	125	115	107	100	094	089
180	233	196	170	150	135	123	112	104	097	091	085	081
190	210	177	154	136	122	111	102	094	088	082	077	073
200	191	161	140	124	111	101	0.93	086	080	075	071	067
210	174	147	128	113	102	093	0.85	079	074	069	065	062
220	160	135	118	104	094	0.86	0.77	073	068	064	060	057

შენიშვნა: კოეფიციენტ φ-ის მნიშვნელობები ცხრილში გადიდებულია 1000-ჯერ.

ცხრილი 5

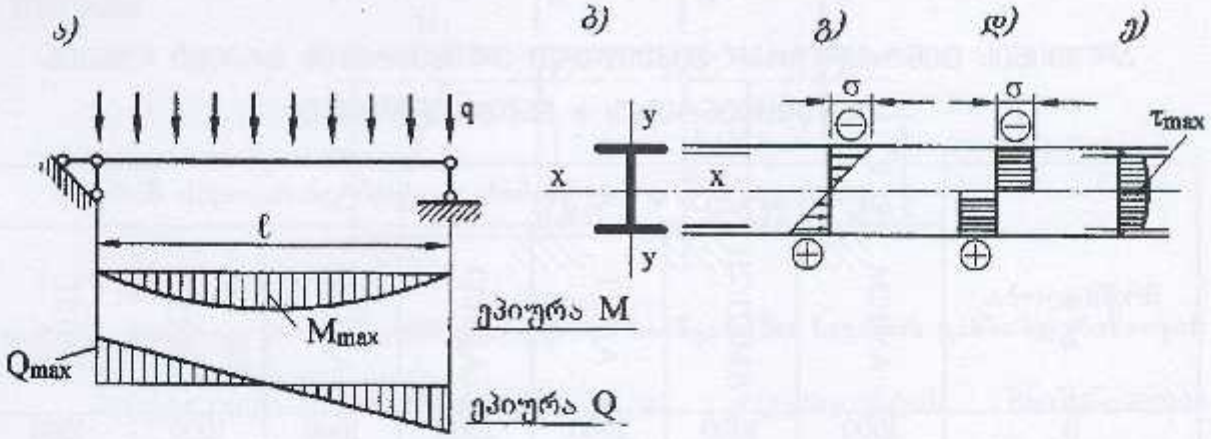
ალუმინის ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების ბრძივი ღუნვის კოეფიციენტების φ მნიშვნელობები

მოქნილობა, λ	კოეფიციენტი φ ალუმინის ელემენტებისათვის მარკით						
	АМг2М	АМг21/2Н	АД31Т	АД31Т1	АД31Т5	1915,1925, 1925Т	1915Т
0	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
10	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
20	982	936	995	936	946	915	910
30	915	865	930	865	880	838	830
40	860	802	880	802	818	770	758
50	812	740	835	740	763	696	676
60	766	675	793	675	705	615	590
70	717	605	750	605	644	530	500
80	665	542	706	542	590	440	385
90	608	450	656	450	510	348	305
100	555	367	610	367	432	882	246
110	506	313	562	313	382	233	204
120	458	262	518	262	330	196	171
130	415	227	475	227	290	167	146
140	362	197	435	197	255	144	126
150	313	168	400	168	212	125	110

შენიშვნა: კოეფიციენტ φ-ის მნიშვნელობები ცხრილში გადიდებულია 1000-ჯერ.

1.6. ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება

ღუნვაზე მომუშავე ჭველაზე გავრცელებული ელემენტებია ლითონის კოჭები, რომლებიც დატვირთულია კოჭის გრძივი ღერძის პერპენდიკულარულად ერთ ან ორ მთავარ სიბრტყეში (*x-x* და *y-y*) თანაბრად განაწილებული, შეკრული ან კომბინირებული დატვირთვით (ფიგ. 13).



ფიგ. 13. ღეროს მუშაობის სქემა ღუნვის დროს

ა – კოჭის საანგარიშო სქემა; ბ – განივი კვეთი; გ, დ – ნორმალური ძაბვების ეპიურები; ე –მხები ძაბვების ეპიურა

განივი ღუნვის დროს ლითონის ღეროს საანგარიშო კვეთებში წარმოიქმნება მღუნავი მომენტები და განივი ძალები. ამ დროს, მაქსიმალური ნორმატიული ძალების (მაქსიმალური მღუნავი მომენტის) მოქმედების ზონაში, საანგარიშო კვეთი შეიძლება იყოს მასალის დრეკადი მუშაობის საზღვრებში (ფიგ. 13, გ) ან მასალის მუშაობის პლასტიკურ სტადიაში (ფიგ. 13, დ). ელემენტების, რომლებიც იღუნებიან ერთ-ერთ მთავარ სიბრტყეში (მაგალითად *x-x*), სიმტკიცეზე გაანგარიშებას დრეკად სტადიაში ახორციელებენ ფორმულით:

$$M_x / W_{xn\,min} \le R_y \gamma_c, \tag{12}$$

სადაც M_x არის მღუნავი მომენტი, მოქმედი *x-x* ღერძის მიმართ; $W_{xn\,min}$ – კვეთის (ნეტო) წინაღობის მინიმალური მომენტი *x-x* ღერძის მიმართ.

ღუნვადი ელემენტების საანგარიშო კვეთებში მხები ძაბვების τ მნიშვნელობა უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ პირობას

$$\tau = Q_x S_x / J_x t \le R_s \gamma_c, \tag{13}$$

სადაც Q_x არის საანგარიშო განივი ძალა, მოქმედი *x-x* ღერძის მიმართ; S_x – კვეთის (ბრუტო) ძერადი ნაწილის სტატიკური მომენტი *x-x* ნეიტრალური ღერძის მიმართ; I_x – კვეთის (ბრუტო) ინერციის მომენტი *x-x* ღერძის მიმართ; t – კოჭის კედლის სისქე; $R_s = 0.58 R_{yn} / \gamma_m$ – მასალის საანგარიშო წინაღობა ძერაზე.

საანგარიშო კვეთში კოჭის კედლის ნახვრეტებით შესუსტებისას, მე-(13) ფორმულაში τ-ს მნიშვნელობა უნდა გამრავლდეს α კოეფიციენტზე, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით:

$$\alpha = a/(a-d)\,, \tag{14}$$

სადაც a არის ნახვრეტების ბიჯი; d – ნახვრეტის დიამეტრი.

ორ მთავარ სიბრტყეში (x-x და y-y) ერთდროული ღუნვისას, სიმტკიცეზე გაანგარიშება ხორციელდება ფორმულით:

$$M_x y/J_{xn} \pm M_y x/J_{yn} \le R_y \gamma_c\,, \tag{15}$$

სადაც x და y არის კვეთის განსახილველი წერტილის კოორდინატები მთავარი ღერძების მიმართ.

ჭრადი და უჭრი მთლიანკვეთიანი კოჭების სიმტკიცეზე გაანგარიშება პლასტიკური დეფორმაციების განვითარების და მომენტების გადანაწილების გათვალისწინებით, ხორციელდება სამშენებლო ნორმებისა და წესების შესაბამისად.

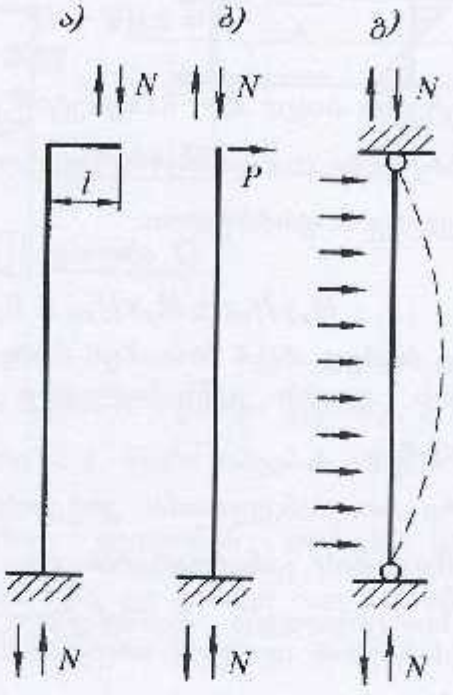
1.7. ღერძულ ძალასა და ღუნვაზე მომუშავე ელემენტების გაანგარიშება

არაცენტრალური კუმშვა და არაცენტრალური გაჭიმვა წარმოიქმნება ელემენტის საანგარიშო კვეთში მღუნავი მომენტის M და გრძივი მკუმშავი ან გამჭიმავი N ძალის ერთდროული მოქმედების დროს (ფიგ. 14).

590 მპა-დე დენადობის ზღვრის მქონე ფოლადისაგან დამზადებული, არაცენტრალურად შეკუმშული, შეკუმშულ-გაღუნული, არაცენტრალურად გაჭიმული და გაჭიმულ-გაღუნული ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშება მუშაობის პლასტიკურ სტადიაში (იმ პირობით, რომ $\tau \le 0.5R_s$ და $N/(A_n R_y) > 0.1$) ხორციელდება შემდეგი ფორმულით:

$$\left(\frac{N}{A_n R_y \gamma_c}\right)^n + \left(\frac{M_x}{c_x W_{xn,min} R_y \gamma_c}\right) + \left(\frac{M_y}{c_y W_{yn,min} R_y \gamma_c}\right) \le 1\,, \tag{16}$$

სადაც n, c_x და c_y – კოეფიციენტებია, რომლებიც დამოკიდებულია კოჭის კვეთის ზომებსა და ფორმაზე, შეირჩევა სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით.



ფიგ. 14. არაცენტრალურად შეკუმშული და გაჭიმული ღეროების სქემები

მასალის დრეკადი მუშაობის დროს სიმტკიცეზე გაანგარიშება ხორციელდება ფორმულით:

$$\frac{N}{A_n} \pm \left(\frac{M_x}{J_{xn}}\right) y \pm \left(\frac{M_y}{J_{yn}}\right) x \leq R_y \gamma_c. \qquad (17)$$

არაცენტრალურად შეკუმშულმა და შეკუმშულ-გაღუნულმა ღეროებმა მდგრადობა შეიძლება დაკარგონ (λ_x და λ_y მოქნილობაზე დამოკიდებულობით), როგორც მღუნავი მომენტის (M_x) მოქმედების სიბრტყეში, ასევე მომენტის მოქმედების მართობულ სიბრტყეში, თუ $\lambda_y < \lambda_x$ (ღეროს l_{xef} და l_{yef} საანგარიშო სიგრძეების გათვალისწინებით).

მდგრადობაზე გაანგარიშება მომენტის მოქმედების სიბრტყეში ხორციელდება ფორმულით:

$$(N/\varphi_e A) \leq R_y \gamma_c, \qquad (18)$$

სადაც φ_e არის არაცენტრალური კუმშვის დროს საანგარიშო წინაღობების შემცირების კოეფიციენტი; მთლიანკვეთიანი ღეროებისათვის განისაზღვრება

"სამშენებლო ნორმებისა და წესების" მიხედვით; დამოკიდებულია პირობით მოქნილობაზე $\bar{\lambda}$ და დაყვანილ ფარდობით ექსცენტრისიტეტზე m_{ef}

$$m_{ef} = \eta m, \tag{19}$$

სადაც η – კვეთის ფორმის გავლენის კოეფიციენტია (იხ. სამშენებლო ნორმები და წესები); $m=eA/W_c$ – ფარდობითი ექსცენტრისიტეტი ($e=m/N$ – ექსცენტრისიტეტი; W_c – კვეთის წინაღობის მომენტი ქვეღაზე შეკუმშული ბოჭკოსათვის), რომელიც გისოსებიანი და თამასებიანი გამჭოლი ღეროებისთვის, პირობით დაყვანილ მოქნილობასა $\bar{\lambda}_{ef}$ და ფარდობით ექსცენტრისიტეტზე დამოკიდებულებით, განისაზღვრება ფორმულით

$$m = eAa/I, \tag{20}$$

სადაც a არის მანძილი ღუნვის სიბრტყის პერპენდიკულარული, კვეთის მთავარი ღერძიდან ქვეღაზე შეკუმშული შტოს ღერძამდე, მაგრამ არანაკლებ შტოს კედლის ღერძამდე მანძილისა.

მდგრადობაზე გაანგარიშება მომენტის მოქმედების მართობულ სიბრტყეში წარმოებს ფორმულით:

$$N/c\varphi_y A \leq R_y\gamma_c, \tag{21}$$

სადაც c და φ_y – სიდიდეები, რომლებიც განისაზღვრება "სამშენებლო ნორმებისა და წესების" მიხედვით.

როდესაც $m_{ef} \leq 20$, მაშინ არაცენტრალურად შეკუმშული და შეკუმშულ-გაღუნული ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშება საჭირო არ არის; თუ მთლიანკედლიანი ღეროებისთვის $m_{ef} > 20$ და გამჭოლი ღეროებისთვის $m > 20$, მაშინ მდგრადობაზე გაანგარიშება საჭირო არ არის.

თავი 2. ლითონის კონსტრუქციების შეერთებები

2.1. საერთო ცნებები

ლითონის კონსტრუქციების შეერთებები განკუთვნილია ცალკეული ელემენტების ერთიმანეთთან შესაუღლებლად. შეერთების სახის შერჩევა დამოკიდებულია შესაერთებელი ელემენტების დაძაბული მდგომარეობის სახეზე, მოქმედი დატვირთვის სიდიდესა და ხასიათზე, შესაუღლებელი ელემენტების ფორმაზე, შეერთების მუშაობის პირობებსა და სხვ.

ლითონის კონსტრუქციებში გამოიყენება შენადუღი, ჭანჭიკური და მოქლონური შეერთებები.

ყველაზე გავრცელებულია შენადუღი შეერთებები. მათ გასაკეთებლად საჭიროა ნაკლები დრო და ლითონი ჭანჭიკურ და მოქლონურ შეერთებებთან შედარებით. შედუღების გამოყენება უზრუნველყოფს შეერთების მაღალ სიმტკიცეს, პროცესის ავტომატიზაციას, შენადუღი ნაკერის მაღალ ხარისხს მისი შესრულებისას არა მარტო საქარხნო პირობებში, არამედ სამშენებლო მოედანზეც. ამიტომ, შენადუღი შეერთებები გამოიყენება ყველა ტიპის ლითონის კონსტრუქციებში.

ჭანჭიკური შეერთებები გამოიყენება ასაწყობ-დასაშლელი და სტაციონარული კონსტრუქციების სამონტაჟო და მუშა შეერთებებში. მათი დადებითი თვისებებია: შეერთების სიმარტივე და საიმედოობა, ხოლო უარყოფითი: ლითონის გაზრდილი ხარჯი, შეერთების დამყოლობა (დეფორმირებადობა) ჭანჭიკსა და ნახვრეტს შორის ღრეჯების არსებობის შედეგად. ჭრაზე და გაჭიმვაზე მომუშავე მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკების გამოყენების შემთხვევაში მცირდება შეერთების დეფორმირებადობა, თუმცა იზრდება შრომატევადობა.

მოქლონური შეერთებები შეზღუდულად გამოიყენება, რადგანაც ისინი სხვა შეერთებებთან შედარებით უფრო შრომატევადი და ძვირადღირებულია. თუმცა, მოქლონური შეერთებების საიმედოობა ნაშანცვლადი და ვიბრაციული დატვირთვებისას, განსაზღვრავს მათი გამოყენების სფეროს მუშაობის მძიმე რეჟიმს კონსტრუქციებში (რკინიგზის ხიდებში, სამრეწველო ეტაჟერებში დინამიკური ზემოქმედების დროს და სხვ.).

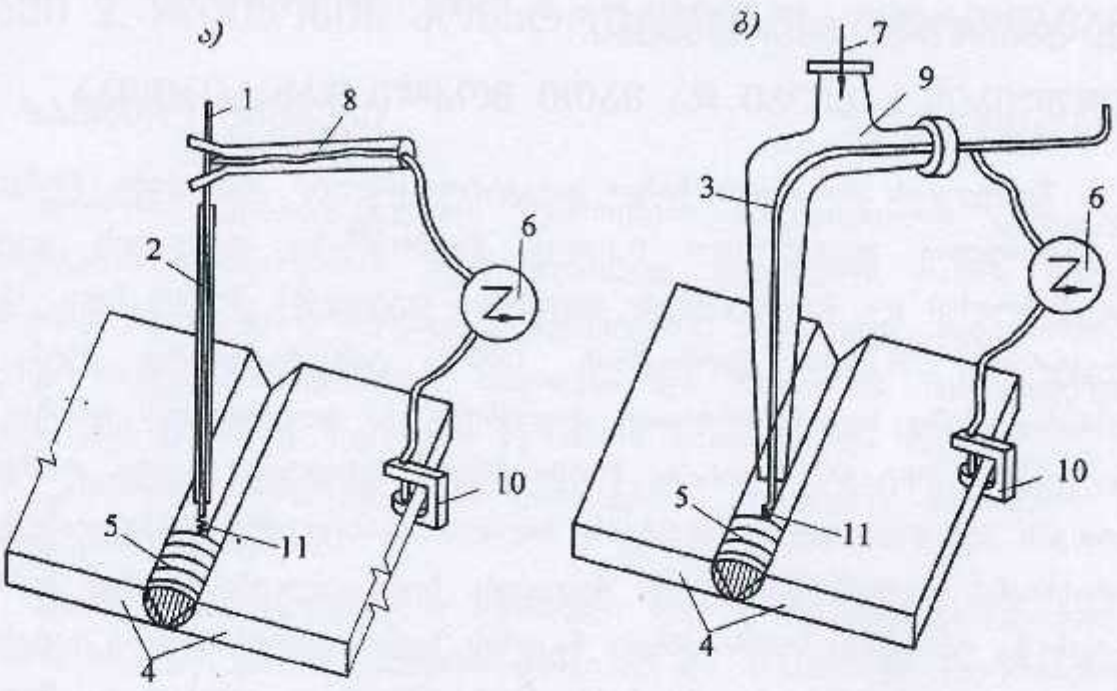
2.2. შენადნობი შეერთებები. შედუღების სახეები და მათი მოკლე დახასიათება

შედუღების ძირითადი სახეა ელექტროკალური შედუღება, რომელიც დაფუძნებულია ელექტრული რკალის წარმოქმნაზე ფოლადის ლერსსა (ელექტროდსა) და შესადუღებელ ფოლადის დეტალებს შორის (ფიგ. 15, ა). ელექტრული რკალი წარმოქმნის 1500°C ტემპერატურაზე მეტს. ამ ტემპერატურაზე ხდება ძირითადი ლითონისა და ელექტროდის დნობა რის შედეგადაც კონტაქტის ზონაში წარმოიქმნება შენადნობი ნაკერი, რომელიც აერთებს შესადუღებელ ელემენტებს. მაღალი პლასტიკური თვისებების მქონე ხარისხიანი ნაკერის მისაღებად, შედუღება ხორციელდება დაცულ აიროვან გარემოში, რომელიც წარმოიქმნება ნაკერის ზონაში ელექტროდზე დატანილი სპეციალური საგოზავის (საცხის) წვის შედეგად, რომელიც შეიცავს მალეგირებელ დანამატებს და ქმნის წიდის ფენას, რაც იცავს ლითონს დაჟანგვისა და სწრაფი გაცივებისაგან.

ელექტროკალურ შედუღებასთან ერთად ფართოდ გამოიყენება აირელექტრული შედუღება. მისი უპირატესობა ელექტროკალურ შედუღებასთან შედარებით არის მაღალი მწარმოებლურობა, დაბალი ღირებულება, მაღალი ტემპერატურა (3200°C) და ჩადუღების მეტი სიღრმე (ფიგ. 15, ბ).

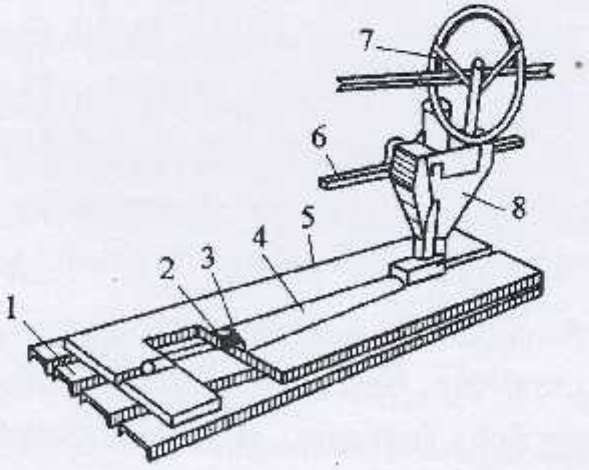
შენადნობი შეერთებების სიმტკიცეზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ნაკერის სტრუქტურა – მიკროფორების არსებობა, ბზარები, სიმყიფე და სხვ. ნაკერებში ბზარების წარმოქმნა დაუშვებელია. განასხვავებენ ცხელი და ცივი შედუღების ბზარებს. ცხელი ბზარები ჩვეულებრივ წარმოიქმნება ნაკერის გაცივებისას 1000°C-ზე მეტი ტემპერატურის დროს, ხოლო ცივი ბზარები – შეკლების შედეგად.

შედუღების ღირსება ხასიათდება ნაკერის ჩანადუღის სიღრმით, ანუ დადუღებული ლითონის შეღწევით ძირითად ლითონში, რაც ჩვეულებრივ შეადგენს 1.5–2 მმ. ეს მიიღწევა შესადუღებელ ელემენტებს შორის არსებული დრეჩოსა და ნაწიბურების სპეციალურად დამუშავების შედეგად.



ფიგ. 15. შედუღების სქემები

ა – ელექტროორკალური; *ბ* – აირელექტრული; *1* – ლითონის ელექტროდი; *2* – საფარიალური საგოზი; *3* – შესადუღებელი მავთული; *4* – შესადუღებელი ელემენტები; *5* – შედუღების ნაკერი; *6* – დენის წყარო; *7* – ნახშირორჟანგი (ნახშირბადოვანი ფოლადების შედუღებისას) ან არგონის აირი (ალუმინის შენადნობების შედუღებისას); *8* – ელექტროსატევი; *9* – სანთურა; *10* – დამჭერი (ჭახრაკი); *11* – ელექტროორკალი



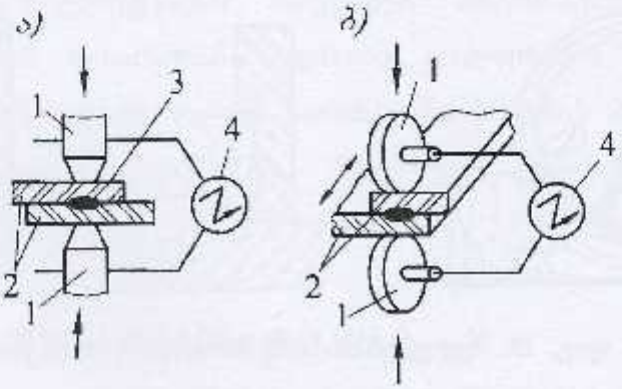
ფიგ. 16. ავტომატური შედუღების სქემა ფლუსის ქვეშ (განსაზღვრული ქიმიური შემადგენლობის მასალა)

1 – სტენდი; *2* – შენადუღი ნაკერი; *3* – წიდის ქერქი; *4* – ფლუსი; *5* – ძირითადი ლითონი; *6* – თვითმავალი მექანიზმი; *7* – ელექტროდული მავთული; *8* – საშემდუღებლო თავი

ყველაზე ხარისხიანი ნაკერები მიიღება საშემდუღებლო აგრეგატებით შესრულებული ავტომატური შედუღებისას (ფიგ. 16).

ნახევრად ავტომატური შედუღებისას საშემდუღებლო აგრეგატი მოძრაობს ხელით, ხოლო შედუღების პროცესი ხორციელდება ავტომატურად (სარჩილისა და ფლუსის მიწოდება).

3 მმ-ზე მეტი სისქის ფურცლების შესადუღებლად გამოიყენება წერტილოვანი და ლილვაკური ელექტროშედუღება (ფიგ. 17), რომელიც სრულდება სპეციალურ საშემდუღებლო დანადგარებზე. ნაკლებად გამოიყენება აირული შედუღება, რომელიც დაფუძნებულია ჟანგბადის ნაკად'ში აცეტილენის წვის ზონაში ლითონის დნობაზე.

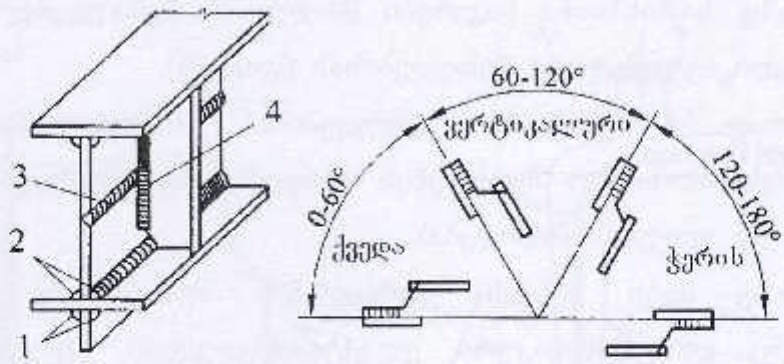


ფიგ. 17. ელექტროშედუღების სახეები

ა – წერტილოვანი; *ბ* – ლილვაკური; *1* – ელექტროდები ან გორგოლაჭები; *2* – შესადუღებელი ელემენტები; *3* – შესადუღი ნაკერი; *4* – დენის წყარო

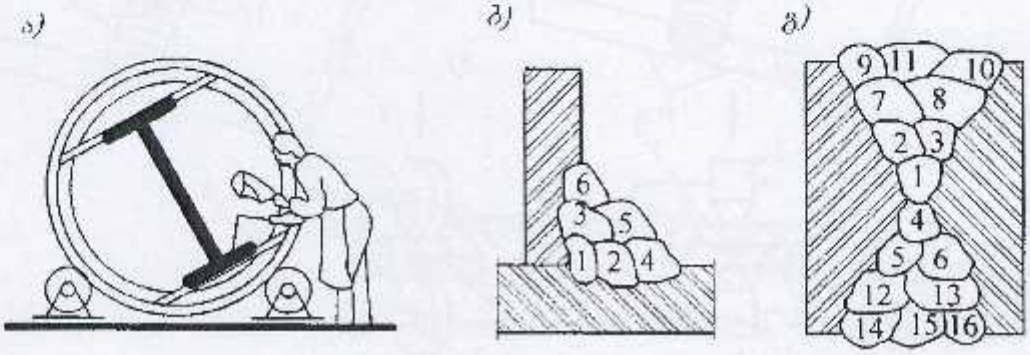
ნაკერების განლაგების მიხედვით ისინი შეიძლება იყოს ქვედა (0-60^0), ვერტიკალური (60^0-120^0) და ჭერის (120^0-180^0) (ფიგ. 18). სამუშაოდ ყველაზე მოსახერხებელი, ხარისხიანი და ეკონომიურია ქვედა ნაკერები. ვერტიკალური და ჭერის ნაკერები რთულია სამუშაოდ, ამიტომ მათ უპირატესად იყენებენ სამონტაჟო შედუღებისას. საქარხნო პირობებში ვერტიკალური და განსაკუთრებით ჭერის ნაკერების თავიდან ასაცილებლად გამოიყენება სპეციალური საბრუნავები (ფიგ. 19, ა).

ნაკერის დიდი სისქის შემთხვევაში, მისი ხარისხის გაუმჯობესების მიზნით, შედუღების პროცესში ახორციელებენ ნაკერის თანამიმდევრობით გასქელებას, როგორც ფიგ. 19, ბ, გ-ზეა ნაჩვენები.



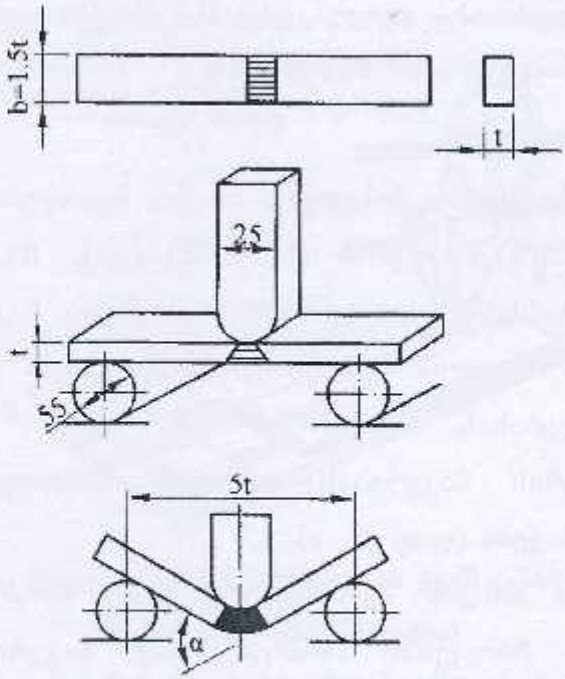
ფიგ. 18. ნაკერების კლასიფიკაცია სივრცეში მდებარეობის მიხედვით

1 – ჭერის კუთხური ნაკერი; *2* – ქვედა კუთხური ნაკერი; *3* – ჰორიზონტალური საპირაპირე ნაკერი; *4* – ვერტიკალური კუთხური ნაკერი



ფიგ. 19. შედუღების სამუშაოების წარმოება

ა – მბრუნავი საგორავის სქემა; ბ – V-ს მაგვარი ნაკერის გასქელების თანმიმდევრობა; გ – X-ის მაგვარი ნაკერის გასქელების თანმიმდევრობა



ფიგ. 20. დადუდებული ლითონის გამოცდა ღუნვაზე სიმტკიცისა და პლასტიკურობის განსაზღვრისათვის

შენადნობი ნაკერის ხარისხის შესამოწმებლად, გაჭიმვაზე გამოცდის გარდა, მას აგრეთვე ცდიან ღუნვაზე (ფიგ. 20). ამ შემთხვევებში შეერთებიდან ამოჭრიან სპეციალურ ნიმუშს.

490 მპა-დე დენადობის ზღვრის მქონე ფოლადის კონსტრუქციების შესადუღებლად ელექტროდების ძირითადი ტიპებია: Э-42, Э-42А, Э-46, Э-46А, Э-50, Э-50А, ხოლო 500 მპა-ზე მეტი დენადობის ზღვრის მქონე ფოლადის კონსტრუქციების შესადუღებლად: Э-60, Э-70, და Э-85. დადუღებული ლითონის მასის შესამცირებლად ნორმებით რეკომენდებულია უფრო მაღალი მარკის მქონე ელექტროდების გამოყენება, ვიდრე შესადუღებელი ელემენტების ფოლადის მარკებია.

ალუმინის კონსტრუქციებს ადუღებენ არგონრკალური შედუღებით ალუმინის მავთულის მისართიანი უდნობი ვოლფრამის ელექტროდით და დნობადი ვოლფრამის ელექტროდით. ხარისხიანი ნაკერის მისაღებად საჭიროა შესადუღებელი ელემენტებისა და მავთულის გულმოდგინე ქიმიური დამუშავება.

2.3. შენადნობი შეერთების ტიპები და მათი გაანგარიშება

კონსტრუქციის მიხედვით შენადნობი შეერთებები იყოფიან პირაპირა, პირგადადებით, კომბინირებულ და პირდგმულ სახეებად (ცხრილი 6). ყველაზე საიმედო და მასალის ხარჯის მიხედვით ეკონომიურია პირაპირა შეერთებები. შენადნობი ნაკერის თავსა და ბოლოში წარმოქმნილი კრატერისა და შეუდუღებლობის გავლენის აღმოსაფხვრელად, აგრეთვე ნაკერისა და ძირითადი ლითონის თანაბარი სიმტკიცის მისაღწევად, პირაპირა შეერთებებში კეთდება ირიბი ნაკერი. პირაპირა ნაკერები გამოიყენება ფურცლების, ნაგლინი პროფილების (ორტესებრი, შველერი, კუთხედი და სხვ.), აგრეთვე გრძივ ძალვებზე მომუშავე ელემენტების შესაერთებლად.

პირგადადებით შეერთებები, მასალის უფრო მეტი დანახარჯისა და ნაკლები საიმედოობის მიუხედავად (ძაბვების მნიშვნელოვანი კონცენტრაციის გამო), ასევე, ფართოდ გამოიყენება. ასეთ შეერთებებს აკეთებენ ზესადებებით ან მათ გარეშე – ძალვის გასწვრივ განლაგებული ფლანგური, ან ძალვის პერპენდიკულარულად განლაგებული ტორსული, კუთხური შედუღებით.

ფლანგურ ნაკერებში წარმოქმნილი ძაბვები გამოთრჩევა დიდი არათანაბრობით, თუმცა ზღვრულ მდგომარეობაში ძაბვის ეპიურები ნაკერში თანაბრდება, რაც იძლევა საშუალებას კუთხური ნაკერების გაანგარიშება ჩატარდეს იმ დაშვებით, რომ ნაკერის სიგრძეზე და კვეთის ფართზე ძალვები თანაბრადაა განაწილებული.

ასევე ფართოდ გამოიყენება კომბინირებული და პირდაპირი შეერთებები, რომლებიც გამომდინარეობენ შეერთების პირველი ორი ძირითადი ტიპიდან.

ცენტრალურ გაჭიმვაზე ან კუმშვაზე მომუშავე შენადნობი პირაპირა ნაკერის გაანგარიშება წარმოებს ფორმულით (22), იმ დაშვებით, რომ ნაკერის სიგრძესა და განივ კვეთზე ძაბვები თანაბრადაა განაწილებული

$$N/tl_w \leq R_{wy}\gamma_c, \tag{22}$$

სადაც t არის შესაერთებელი ელემენტებიდან ყმცირესი სისქე; l_w – ნაკერის საანგარიშო სიგრძე, რომელიც ტოლია $2t$ სიდიდით შემცირებული მთლიანი სიგრძის, ან მთელი სიგრძის, როდესაც ნაკერის ბოლოები გადის პირაპირის გარეთ.

გრძივი ან განივი ძალების მოქმედებისას, კუთხურნაკერებიანი შენადნობი შეერთებები გაანგარიშდება ჭრაზე ორ კვეთში (ფიგ. 21) – ნაკერის ლითონში (კვეთი 1)

$$N/\beta_f k_f l_w \leq R_{wf}\gamma_{wf}\gamma_c, \tag{23}$$

და შედნობის საზღვარზე ლითონში (კვეთი 2)

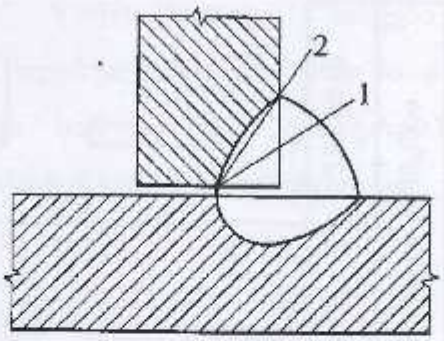
$$N/\beta_z k_f l_w \leq R_{wz}\gamma_{wz}\gamma_c, \tag{24}$$

სადაც l_w არის ნაკერის საანგარიშო სიგრძე, რომელიც აიღება მთლიან სიგრძეზე 10 მმ-ით ნაკლები; β_f და β_z – კოეფიციენტები, რომლებიც დამოკიდებულია შედუღების სახეზე, შედუღების მავთულის დიამეტრზე, ნაკერის კათეტის სიმაღლესა და ფოლადის დენადობის ზღვარზე. 580 მპა-დე დენადობის ზღვრის მქონე ფოლადის ელემენტების შედუღებისას მათ იღებენ მე-7 ცხრილიდან; ხოლო როდესაც დენადობის ზღვარი 580 მპა-ზე მეტია, მაშინ β_f=0.7 და β_z=1; γ_{wf} და γ_{wz} – ნაკერის მუშაობის პირობების კოეფიციენტები ($\gamma_{wf} = \gamma_{wz} = 1$, თუ გარემოს ტემპერატურა –40°C-ზე ნაკლები სრ არის); k_f – ნაკერის კათეტი.

ცხრილი 6

შენადუღი შეერთების სახეები

პირაპირა	პირგადადება		კომბინირებული	პირდგმული	
	ზესადებების გარეშე	ზესადებებით			
შეპირაპირების ნაკერი	კუთხური ნაკერები		პირაპირა და კუთხური ნაკერები	კუთხური ნაკერები	
	ფლანგური	შუბლისა	ფლანგური	შუბლისა		ტესებრი	კუთხეში
45-60 კრატერი უკმარშენადული არა უმცირეს 25°							



ფიგ. 21. კუთხურნაკერიანი შენადუღი შეერთების საანგარიშო კვეთების სქემა

1 – კვეთი ნაკერის ლითონში; *2* – კვეთი შედნობის საზღვარზე ლითონში

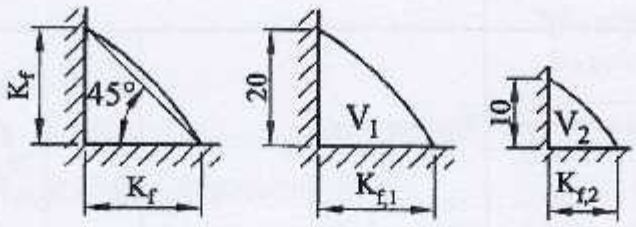
სამშენებლო ნორმებისა და წესების შესაბამისად, აგრეთვე ახორციელებენ კუთხურნაკერებიანი შენადუღი შეერთებების გაანგარიშებას ნაკერის ლითონში და შედნობის საზღვარზე ლითონში, ნაკერების განლაგების სიბრტყეში და სიბრტყის პერპენდიკულარულად მომენტის მოქმედებაზე (შეერთებებში, რომლებშიც ნაკერის ლითონის სიმტკიცე მეტია შესადუღებელი ელემენტების ლითონის სიმტკიცეზე).

ფოლადის კონსტრუქციებში შენადუღი ნაკერების საანგარიშო წინაღობების მნიშვნელობები მოყვანილია მე-8 ცხრილში, ხოლო ალუმინის კონსტრუქციებში არგონირკალური შედუღებით შესრულებული შენადუღი ნაკერების საანგარიშო წინაღობები – მე-9 ცხრილში.

შენადუღი ნაკერების კონსტრუირებისას უნდა ვიხელმძღვანელოთ შემდეგი პირობით: კუთხური შენადუღი ნაკერის მინიმალური საანგარიშო სიგრძე არ უნდა იყოს 40 მმ-ზე ნაკლები და $85\beta_f k_f$-ზე მეტი; კუთხური ნაკერის მაქსიმალური კათეტი k_f უნდა იყოს არა უმეტეს $1.2t$, სადაც t – შესაერთებელი ელემენტების უმცირესი სისქე; k_f–ის მინიმალური მნიშვნელობა არ უნდა იყოს 4 მმ-ზე ნაკლები, ხოლო მაქსიმალური არა უმეტეს 25 მმ.

შენადუღი ნაკერების სიმძლავრეების შედარებისას, მათი კათეტების k_f და მოცულობების V_f მიხედვით, ჩანს, რომ $k_{f,1}/k_{f,2} = 2$ და V_{f1}/V_{f2}=4, ე.ი. ნაკერის კათეტის გადიდებით მისი სიმტკიცე იზრდება პირველ ხარისხში, ხოლო დადუღებული ლითონის რაოდენობა კვადრატში (ფიგ. 22). ქველაზე ხელსაყრელად მიიჩნევა ნაკერები, როცა $k_f = 6 \div 12$ მმ. პირაპირულ შენადულ ნაკერებს ყოველთვის აპროექტებენ უწყვეტი სახით, ხოლო კუთხური ფლანგური ნაკერები შეიძლება იყოს უწყვეტი და წყვეტილი სახით. წყვეტილ

ნაკერში მინიმალური სიგრძე და წვეტა კონსტრუქციული მოსაზრებებით არ უნდა იყოს 50 მმ-ზე ნაკლები (ცხრ. 10).



ფიგ. 22. ნაკერის სიმძლავრის და მოცულობის თანაფარდობა

ცხრილი 7

β_f და β_z კოეფიციენტების მნიშვნელობები, 580 მპა-დე დენადობის ზღვარის მძრომე ფოლადის ელემენტების შედუღებისას

შედუღების სახე შესადუღებელი მავთულის დიამეტრის მიხედვით, d, მმ	ნაკერის მდებარეობა	კოეფიციენტი	β_f და β_z კოეფიციენტების მნიშვნელობები ნაკერის კათეტების შემთხვევაში, მმ			
			3-8	9-12	14-16	18 და მეტი
ავტომატური, d=35	ნავისებრი	β_f	1.1			0.7
		β_z	1.15			1
	ქვედა	β_f	1.1	0.9		0.7
		β_z	1.15	1.05		1
ავტომატური და ნახევრადავტომატური d=1.4-2	ნავისებრი	β_f	0.9		0.8	0.7
		β_z	1.05		1	
	ქვედა	β_f	0.9	0.8	0.7	
		β_z	1.05		1	
ხელით, ნახევრად ავტომატური მთლიანკვეთიანი მავთულით d<1.4, ან ფხვნილოვანი მავთულით	ნავისებრი, ქვედა, ჰორიზონტალური, ვერტიკალური, ჭერის	β_f	0.7			
		β_z	1			

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: კოეფიციენტების მნიშვნელობები შეესაბამება შედუღების ნორმალურ რეჟიმს.

ცხრილი 8

შენადუღი შეერთების საანგარიშო წინაღობები ფოლადის კონსტრუქციებში, მპა

ნაგლინის დრიფებითი წინაღობა R_{un}	პირაპირა შეერთებები			ძერა $R_{ws} = R_s$	ჭრაზე მომუშავე კუთხური შეერთების ნაკერი		ელექტროდის ტიპი
	კუმშვა, გაჭიმვა და ღუნვა ავტომატური, ნახევრად ავტომატური და ხელით შედუღებისას ნაკერის ხარისხის ფიზიკური კონტროლით		გაჭიმვა და ღუნვა ავტომატური, ნახევრად ავტომატური ან ხელით შედუღებისას, 0,85 R_{wy}		ნაკერის ლითონის ძიხვდვით R_{wf}	ლითონის დანადგურის საზღვარზე R_{wz}	
	დენადობის ზღვარის მიხედვით $R_{wy} = R_y$	დროებითი წინაღობის მიხედვით $R_{wu} = R_u$					
345	210	335	178	122	152	155	Э-42, Э-42А
365	230	355	195	133	160	164	
390	280	380	238	162	172	175	
440	300	430	255	174	194	198	Э-46, Э-46А
460	325	450	276	188	202	207	Э-50, Э-50А
510	355	500	302	206	204	229	Э-60
570	375	520	319	217	228	256	
590	400	535	340	232	240	265	
685	515	595	438	299	280	308	Э-70

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: საანგარიშო წინაღობები განსაზღვრულია სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით.

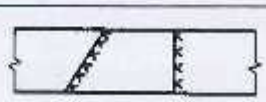
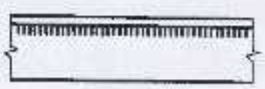
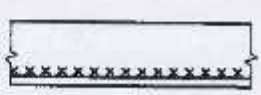
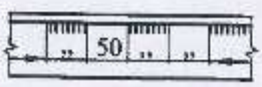
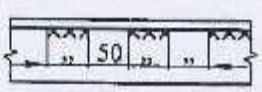
ცხრილი 9

ალუმინის კონსტრუქციებში არგონირკალური შედუღებით შესრულებული შენადუღი ნაკერების საანგარიშო წინაღობები, მპა

ალუმინის მარკა	შესადუღებელი მაეთულის მარკა	შენადუღი ნაკერი			ნაკერის მიმდებარე ზონაში		
		პირაპირა		კუთხური $R_{\omega f}$	პირაპირა		ფსანგური $R_{\omega f,1}$
		$R_{\omega y}$	$R_{\omega s}$		$R_{\omega y,1}$	$R_{\omega s,1}$	
АД1М	СвА1	25	15	20	25	15	25
АМцМ	СвАМг3	40	25	30	40	25	40
АМг2М АМг21/2Н	СвАМг3	65	40	45	65	40	65
АД31Т	СвАМг3; 1557	55	35	45	55	35	50
АД31Т5	СвАМг3; 1557 ვოლფრამის ელექტროდით	65	40	45	65	40	60
	იგივე დნობადი ელექტროდით	65	40	45	65	40	75
АД31Т1	СвАМг3; 1557 ვოლფრამის ელექტროდით	80	50	45	80	50	80
	იგივე დნობადი ელექტროდით	80	50	45	80	50	105
1915	1557 ვოლფრამის ელექტროდით	145	90	110	145	90	130
	იგივე დნობადი ელექტროდით	145	90	110	145	90	145
1915 (t=5...12მმ)	1557 ვოლფრამის ელექტროდით	160	105	110	160	105	145
	იგივე დნობადი ელექტროდით	160	105	110	160	105	160

ცხრილი 10

შენადუღი ნაკერების პირობითი აღნიშვნები

ნაკერები	ნაკერების აღნიშვნები	
	ქარხნული	სამონტაჟო
პირაპირა		
უწყვეტი კუთხური		
წყვეტილი კუთხური		

2.4 ჭანჭიკური და მოძლონური შეერთებები, მათი გაანგარიშება და კონსტრუირება

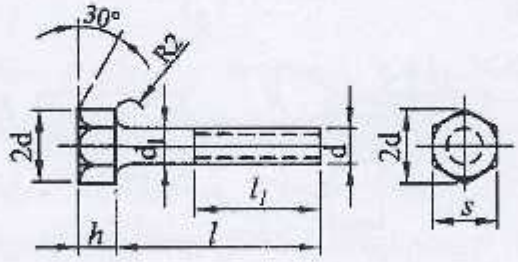
სამშენებლო კონსტრუქციების შეერთებებში გამოიყენება უხეში, ნორმალური და ამაღლებული სიზუსტის, აგრეთვე მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკები.

უხეში და ნორმალური სიზუსტის ჭანჭიკებით შეერთებებს ახასიათებს დამყოლობა, რაც გამოწვეულია ჭანჭიკების წინასწარი მოჭერის ნაკლები სიდიდითა და ასევე ჭანჭიკსა და ნახვრეტის კედლებს შორის დიდი დრეკოებით (ნორმალური სიზუსტის ჭანჭიკების დრეკოები შეადგენს 0.3-0.5 მმ-ს, ხოლო უხეში სიზუსტის ჭახჭიკებისა – 2-3 მმ-ს). შეერთებების დეფორმადობის შესამცირებლად გამოიყენება ამაღლებული სიზუსტის ჭანჭიკები, რომლებსაც აქვთ უარყოფითი დაშვებები –0.43-დან –0.52 მმ-დე, ან მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკები, რომლებიც უზრუნველყოფენ N ძალვების გადაცემას მიმხებ სიბრტყეებს შორის წარმოქმნილი ხახუნის მეშვეობით. ამის გამო, უხეში და ნორმალური სიზუსტის ჭანჭიკები გამოიყენება ერთი ელემენტის მეორესთან დასამაგრებლად არაძირითად შეერთებებში, შუქფარნების კონსტრუქციებში, კავშირებში, ტექნოლოგიურ მოედნებზე და სხვ.

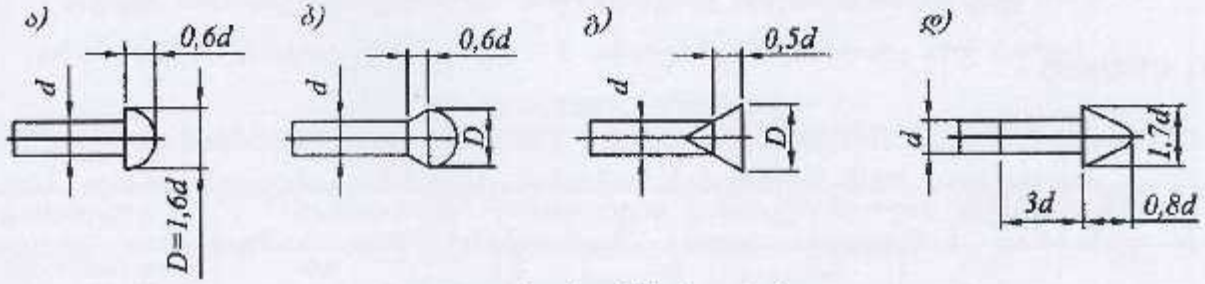
ძირითად მზიდი კონსტრუქციების (კოჭები, ფერმები, ჩარხოები და სხვ.) სამუშაო და სამონტაჟო შეერთებებში გამოიყენება ამაღლებული სიზუსტისა და მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკები. ჭანჭიკები მზადდება დიამეტრით 12-48 მმ და ღეროს სიგრძით 25-300 მმ (ფიგ. 23). ჩვეულებრივი ფოლადის ჭანჭიკები მზადდება ფოლადებისაგან მარკით: ВСт3; ВСт5; 14Г2; 15ГС და სხვ., ხოლო მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკები, ფოლადებისაგან მარკით: 40Х, 48ХФА, 30Х3МФ, 30Х2НМФА და სხვ. ფოლადების მექანიკური თვისებებიდან გამომდინარე ჭანჭიკები იყოფიან სიმტკიცის კლასების მიხედვით. ფოლადის კონსტრუქციებში ყველაზე გავრცელებული კლასებია: 4.6; 5.6; 8.8; 10.9;

შენადუღ შეერთებებთან შედარებით, მოქლონურ შეერთებებში მასალის ხარჯი და ღირებულება 10–15 %-ით მეტია, ხასიათდება დიდი შრომატევადობით. მოქლონები მზადდება სპეციალურ წნეხებში, მრგვალი ცილინდრული ფორმის (დიამეტრით 13-31.5 მმ), თავით. მეორე თავი კეთდება დამოქლონების დროს. ნახვრეტის დიამეტრი აიღება მოქლონის დიამეტრზე 1–1.5 მმ-ით მეტი. ნახვრეტის მომზადება ხდება ჩაჭყლეტით, გაბურღვით, ან

ჯერ ჩაჭყლეტით და შემდეგ საჭირო დიამეტრზე გაბურღვით. დანიშნულების მიხედვით მათ აქვთ თავის სხვადასხვა ფორმა (ფიგ. 24). შეერთებებში მოქლონები ყენდება დამოქლონების ცხელი ან ცივი ხერხით. უპირატესობა ენიჭება ცხლად დამოქლონების ხერხს, რადგანაც გაცივებისას მოქლონის ღერო მოკლდება და ხდება ფურცლების ძლიერი მოჭიმვა. მოქლონებისათვის გამოიყენება რბილი ფოლადი Ст2 და Ст3 დენადობის ზღვრით 220 მპა და მცირედ ლეგირებული ფოლადი 09Г2 დენადობის ზღვრით 300 მპა.



ფიგ. 23. ნორმალური სიზუსტის ჭანჭიკი

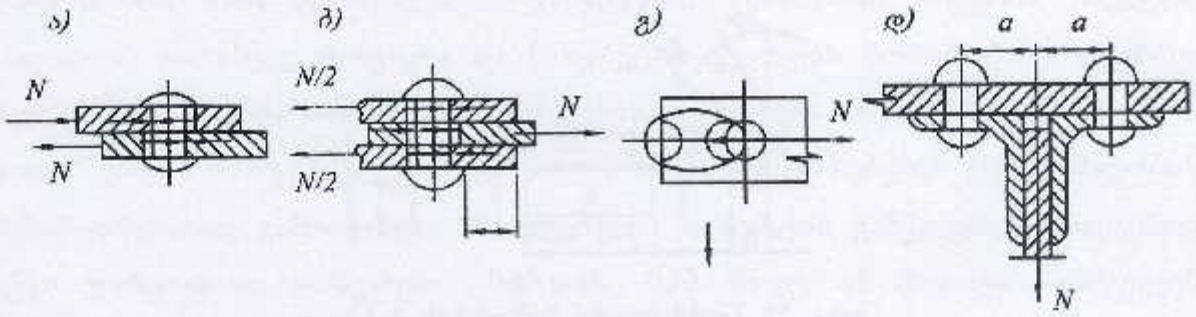


ფიგ. 24 მოქლონების ტიპები

ა – ნახევრად წრიულთავიანი; ბ – ნახევრად ფარულთავიანი;
გ – ფარულთავიანი; დ – ამაღლებულთავიანი

ალუმინის შემომზღუდ კონსტრუქციებში, შენადუღ შეერთებებთან შედარებით, უპირატესობა ენიჭება ჭანჭიკურ და მოქლონურ შეერთებებს, რადგანაც ის არ იწვევს მასალის სტრუქტურულ ცვლილებებს და შედეგად, ექსპლუატაციისას გამოირჩევა მაღალი საიმედოობით. ალუმინის ჭანჭიკები და მოქლონები წვეულებრივ მზადდება იმავე მარკის ალუმინისაგან, რომლითაც დამზადებულია შესაერთებელი ელემენტები – АМг2 1/2Н, АД31Т5, АД31Т1, 1925 და 1915. ალუმინის შენადნობებისაგან დამზადებული მოქლონები ყენდება ცივ მდგომარეობაში, რათა გამორიცხული იქნეს გახურების მავნე გაყვლენა დამოქლონების პროცესში. ალუმინის მხიდ კონსტრუქციებში ყველთაგან გამოიყენება ამაღლებული და ნორმალური სიზუსტის და მოთუთიებული ან მოკადმიუმებული ფოლადის ჭანჭიკები.

ჭანჭიკური და მოქლონური შეერთებები ძირითადად მუშაობს ძვრაზე. ამ დროს ჭანჭიკების და მოქლონების რღვევა შეიძლება მოხდეს მათი ღეროების გადაჭრით ჭრის სიბრტყეში ან შესაერთებელი ელემენტების ნახვრეტების ზედაპირების თელვის შედეგად (ფიგ. 25). თელვის ძალები იწვევენ ფურცლის ამოტეხას ნახვრეტებს შორის ან ნახვრეტსა და ელემენტის კიდეს შორის (ფიგ. 25, გ). გარდა ამისა, ჭანჭიკური და მოქლონური შეერთებები მუშაობს გაჭიმვაზე.



ფიგ. 25. მოქლონური და ჭანჭიკური შეერთებების მუშაობის სქემები

ა – ღეროს ჭრა ერთჭრად შეერთებაში; ბ – ღეროს ჭრა ორჭრად შეერთებაში;
გ – ელემენტის თელვა; დ – გაჭიმვა

მიღებულია, რომ შეერთების სიმჭიმის ცენტრში გამაყვალი გრძივი ძალა N თანაბრად ნაწილდება ყველა შეერთებაზე, რაც საშუალებას იძლევა თითოეული ჭანჭიკისა და მოქლონის მზიდუნარიანობა ჩაითვალოს თანაბრად. ასეთ შემთხვევაში, საანგარიშო ძალვა, რომლის ატანაც შეუძლია ცალკეულ ჭანჭიკს, გამოითვლება შემდეგი ფორმულებით:

ჭრაზე

$$N_b = R_{bs}\gamma_b A_{ns} n_s; \tag{25}$$

თელვაზე

$$N_b = R_{bp}\gamma_b d \sum t; \tag{26}$$

გაჭიმვაზე

$$N_h = R_{bt} A_{bn}, \tag{27}$$

სადაც, R_{bs}, R_{bp}, R_{bt} არის ჭანჭიკური შეერთებების საანგარიშო წინაღობები, რომლებიც განისაზღვრება 11-14 ცხრილებიდან; $A = \pi d^2/4$ – ჭანჭიკის ღეროს განივი კვეთის საანგარიშო ფართობია; A_{bn} – ჭანჭიკის ღეროს განივი კვეთის ნეტო ფართობი, რომელიც მეტრულ კუთხოვნიანი ჭანჭიკებისათვის აღება

მე-15 ცხრილიდან; Σt – ერთი მიმართულებით თელვადი ელემენტების უმცირესი ჯამური სისქე; n_s – ერთი ჭანჭიკის საანგარიშო ჭრის რიცხვი (შესაერთებელ ელემენტების რაოდენობაზე ერთით ნაკლები); γ_b – შეერთების მუშაობის პირობის კოეფიციენტი, მისი მნიშვნელობა აიღება მე-16 ცხრილიდან.

შეერთებაში ჭანჭიკების n რაოდენობა განისაზღვრება ფორმულით

$$n \geq N/\gamma_c N_{min}, \tag{28}$$

სადაც N_{min} არის ერთ ჭანჭიკზე მოქმედი საანგარიშო ძალების უმცირესი მნიშვნელობა, განისაზღვრება 25, 26 და 27 ფორმულებით; γ_c – მუშაობის პირობების კოეფიციენტი, რომელიც მრავალჭანჭიკიან შეერთებებში ტოლია 1-ის, ხოლო ერთჭანჭიკიან შეერთებებში სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით.

მოქლონური შეერთებები გაანგარიშდება ანალოგიური ფორმულებით.

ცხრილი 11

ფოლადის ჭანჭიკების საანგარიშო წინაღობები ჭრაზე და გაჭიმვაზე, მპა

დაძაბული მდგომარეობა	საანგარიშო წინაღობები ჭანჭიკებისათვის კლასით, მპა					
	4,6	4,8	5,6	5,8	6,6	8,8
ჭრა, R_{bs}	150	160	190	200	230	320
გაჭიმვა, R_{bt}	175	160	210	200	250	400

შენიშვნა: მოყვანილია საანგარიშო წინაღობების მნიშვნელობები ერთჭანჭიკიანი შეერთებებისათვის.

ცხრილი 12

ჭანჭიკებით შეერთებული ფოლადის ელემენტების თელვის საანგარიშო წინაღობები

შესაერთებელი ელემენტების ფოლადის დროებითი წინაღობა R_{un}, მპა	ჭანჭიკებით შესაერთებელი ელემენტების საანგარიშო წინაღობა თელვაზე R_{bp}, მპა		შესაერთებელი ელემენტების ფოლადის დროებითი წინაღობა R_{un}, მპა	ჭანჭიკებით შესაერთებელი ელემენტების საანგარიშო წინაღობა თელვაზე R_{bp}, მპა	
	ამაღლებული სიზუსტის	ნორმალური და უხეში სიზუსტის		ამაღლებული სიზუსტის	ნორმალური და უხეში სიზუსტის
345	370	335	460	580	520
365	400	365	510	685	610
390	445	400	570	820	725
440	540	485	590	870	–

ცხრილი 13

ალუმინის ჭანჭიკების საანგარიშო წინაღობები ჭრაზე და გაჭიმვაზე

ჭანჭიკები	დაძაბული მდგომარეობა	ჭანჭიკების საანგარიშო წინაღობა მპა	
		АМг5п	АВТ1
ნორმალური სიზუსტის	ჭრა, R_{bs}	80	85
ამაღლებული სიზუსტის		90	95
ნორმალური და ამაღლებული სიზუსტის	გაჭიმვა, R_{bt}	125	160

ცხრილი 14

ალუმინის ელემენტების საანგარიშო წინაღობები თელვაზე მოძლონურ და ჭანჭიკურ შეერთებებში

შეერთებები	საანგარიშო წინაღობა თელვაზე, მპა, ალუმინისთვის:							
	АД1М	АМгМ	АМг2М	АМг21/2Н, АД31Т1	АД31Т	АД31Т5	1925Т, 1925, 1915	1915Т
მოქლონური, R_{rp}	40	65	110	200	90	160	280	320
ჭანჭიკური, R_{bp}	35	60	100	180	80	145	250	290

ცხრილი 15

ჭანჭიკების განივი კვეთის ფართობები

d, მმ	16	18	20	22	24	27	30	36	42	48
A_b, სმ^2	2.01	2.54	3.14	3.80	4.52	5.72	7.06	10.17	13.85	18.09
A_{bn}, სმ^2	1.57	1.92	2.45	3.03	3.52	4.59	5.60	8.26	11.20	14.72

ცხრილი 16

ფოლადის ჭანჭიკური შეერთებების მუშაობის პირობების კოეფიციენტები

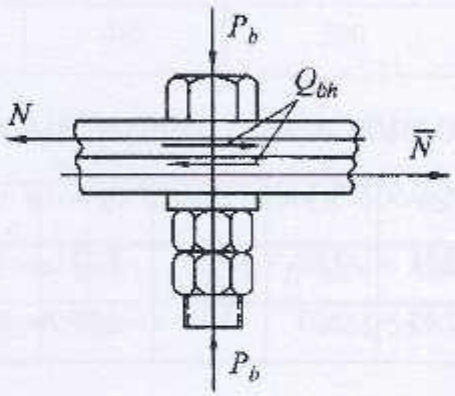
შეერთებათა დახასიათება	მუშაობის პირობების კოეფიციენტი γ_b
მრავალჭანჭიკიანი, ჭრაზე და თელვაზე გაანგარიშებისას, შემდეგი ჯგუფის ჭანჭიკებისთვის:	
ამაღლებული სიზუსტის	1
უხეში და ხორმალური სიზუსტის	0.9
ჭანჭიკური, 380 მპა-მდე დენადობას ზღვრის მქონე ფოლადის კონსტრუქციების ელემენტებში თელვაზე გაანგარიშებისას	0.85

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: კოეფიციენტები გათვალისწინებული უნდა იქნას ერთდროულად.

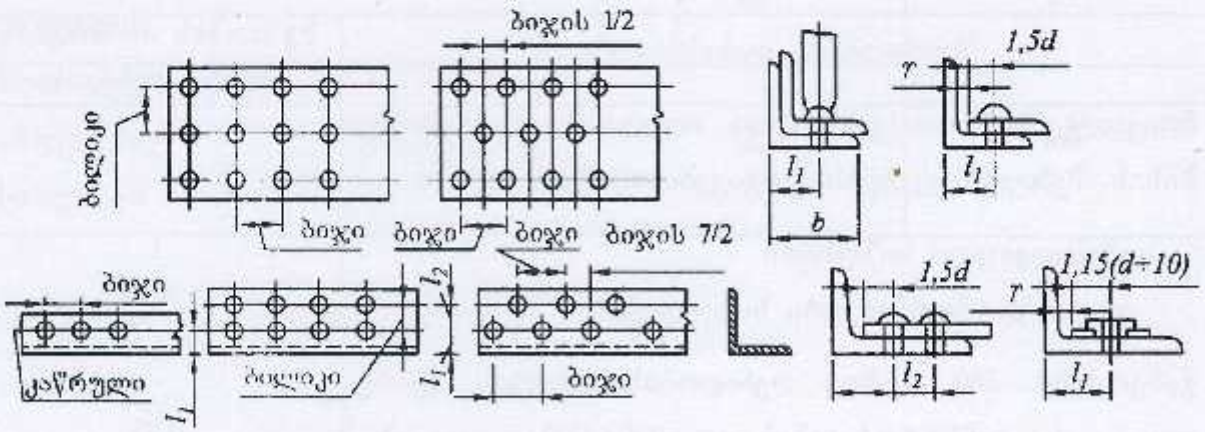
ერთი მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკის ქვეშ (ფიგ. 26), ხახუნის ზედაპირის მიერ მიღებული საანგარიშო ძალა Q_{bh} გამოითვლება ფორმულით:

$$Q_{bh} = R_{bh}\gamma_b A_{bn}\mu/\gamma_n, \qquad (29)$$

სადაც $R_{bh} = 0.7R_{bun}$ არის მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე, აიღება მე-17 ცხრილიდან; μ – ხახუნის კოეფიციენტი, აიღება მე-18 ცხრილიდან; γ_n – საიმედოობის კოეფიციენტი, აიღება მე-18 ცხრილიდან; A_{bn} – ჭანჭიკის გახვრილ კვეთის ნეტო ფართობი, განისაზღვრება მე-15 ცხრილიდან; γ_b – შეერთების მუშაობის პირობების კოეფიციენტი (γ_b=0.8, როცა n<5; γ_b=0.9, როცა 5<n<10 და γ_b=1-ის, როცა n≥10).



ფიგ. 26. მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკის მუშაობისთვის


ბიჯის 1/2
ბიჯი
ბიჯი
ბიჯი
ბიჯის 7/2
ბიჯი
ბიჯი
ბიჯი

მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკების მექანიკური თვისებები

ხრახნის ნომინალური დიამეტრი d, მმ	ფოლადის მარკა	უმცირესი დროებითი წინაღობა R_{bun}, ნ/მმ²	ხრახნის ნომინალური დიამეტრი d, მმ	ფოლადის მარკა	უმცირესი დროებითი წინაღობა R_{bun}, ნ/მმ²
16-27	40X „სელექტი“	1100	36	40X „სელექტი“	750
	38X “სელექტი“ 40XΦA “სელექტი“	1350		30X3MΦ	1100
	30X3MΦ	1550	42	40X „სელექტი“	650
	30X2HMΦA	1550		30X3MΦ	1000
30	40X “სელექტი“	950	48	40X „სელექტი“	600
	30X3MΦ, 35X2AΦ	1200		30X3MΦ	900

ცხრილი 18

საიმედოობისა და ხახუნის კოეფიციენტები მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებით შეერთებებისათვის

შესაერთებელი ზედაპირების დამუშავების (გახუფთავების) ხერხი	ჭანჭიკების მოჭიმვის რეგულირების ხერხები	ხახუნის კოეფიციენტი μ	კოეფიციენტი γ_e დატვირთვისას, და ნახვრეტებისა და ჭანჭიკების ნომინალურ დიამეტრებს შორის სხვაობის შემთხვევაში δ, მმ	
			დინამიკური და როცა δ=3-6; სტატიკური და როცა δ=5-6	დინამიკური და როცა δ=1; სტატიკური და როცა δ=1-4
სილაჭავლური, საფანტსატყორცნი ან საფანტჭავლური, ორი ზედაპირის, კვარცის ქვიშით ან საფანტით კონსერვაციის გარეშე	*M* α	0.58 0.58	1.35 1.2	1.12 1.02
იგივე კონსერვაციით, მოლითონებით, თუთიის ან ალუმინის დახურხვით	*M* α	0.5 0.5	1.35 1.2	1.12 1.02
კვარცის ქვიშით ან საფანტით ერთი ზედაპირის კონსერვაციით პოლიმერული წებოთი და კორბორუნდის ფხვნილის მოყრით, ფოლადის ჯაგრისით მეორე ზედაპირის კონსერვაციის გარეშე	*M* α	0.5 0.5	1.35 1.2	1.12 1.02
ირეალური, ორი ზედაპირის, კონსერვაციის გარეშე	*M* α	0.42 0.42	1.35 1.2	1.12 1.02
ფოლადის ჯაგრისებით, ორი ზედაპირის, კონსერვაციის გარეშე	*M* α	0.35 0.35	135 1.25	1.173 1.06
დამუშავების გარეშე	*M* α	0.25 0.25	1.7 1.52	13 1.2

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: ჭანჭიკების მოჭიმვის რეგულირების ხერხების აღნიშვნები: *M* – დაგრეხის მომენტის მიხედვით; α – ქანჩის მობრუნების კუთხის მიხედვით.

შეერთებაში მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკების რაოდენობა *n* განისაზღვრება ფორმულით

$$n \geq N/\gamma_e Q_{bh} . \qquad (30)$$

მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკში წარმოქმნილი აუცილებელი ღერძული ძალვა, რომელიც მიწმდება ტარირებული ქანჩსაჭერით მოჭიმვის დროს, ტოლია

$$P_0 = R_{bh} / A_n \,. \qquad (31)$$

ჭანჭიკებს შეერთებებში განალაგებენ რიგობრივი ან ჭადრაკული წესით, როგორც ეს ნაჩვენებია ფიგ. 27-ზე.

ჭანჭიკებს შორის უბნებზე შესაუღლებელი ელემენტების მდგრადობის უზრუნველყოფის პირობიდან გამომდინარე, შემაერთებელ ჭანჭიკებს, როგორც წესი, განალაგებენ ერთმანეთისაგან მაქსიმალურ მანძილზე. ლითონის ეკონომიის მიზნით, პირაპირებსა და კვანძებში ჭანჭიკებს განალაგებენ მინიმალურ მანძილზე, რომელიც დგინდება ამოტეხაზე სიმტკიცის უზრუნველყოფისა და ჭანჭიკების გაურთულებლად დაყენების პირობიდან გამომდინარე (ცხრილი 19).

ცხრილი 19

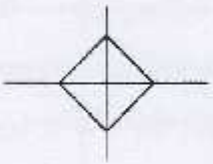
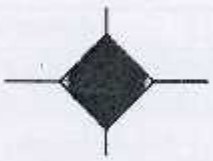
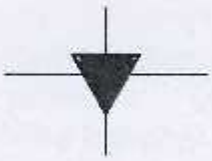
ჭანჭიკების განლაგება შეერთებებში

მანძილის დახასიათება	ჭანჭიკებს შორის მანძილი
მანძილი ჭანჭიკების ცენტრებს შორის ნებისმიერი მიმართულებით	
ა) მინიმალური	$2.5d - 3d$
ბ) მაქსიმალური განაპირა რიგებში, როდესაც არ არის მოსახარხოებელი კუთხოვახები: გაჭიმვაზე და კუმშვაზე	$8d$ ან $12t$
გ) მაქსიმალური შუა რიგებში, აგრეთვე განაპირა რიგებში, როდესაც არის მოსახარხოებელი კუთხეები:	
გაჭიმვაზე	$16d$ ან $24t$
კუმშვაზე	$12d$ ან $18t$
მანძილი ჭანჭიკის ცენტრიდან ელემენტის კიდემდე	
ა) მინიმალური ძალის მოქმედების გასწვრივ	$2d$
ბ) იგივე, ძალის მოქმედების განივად:	
ჩამონაჭერი ნაწიბურებისას	$1.5d$
გაგლინული ნაწიბურებისას	$1.2d$
გ) მაქსიმალური	$4d$ ან $8t$
დ) მინიმალური მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებისათვის, ნებისმიერი ნაწიბურით და ძალის ნებისმიერი მიმართულებისთვის	$1.3d$

ა ღ ნ ი შ ვ ნ ე ბ ი: d – ჭანჭიკის ნახვრეტის დიამეტრი; t – ყველაზე თხელი გარე ელემენტის სისქე.

ცხრილი 20

ჭანჭიკების ნახვრეტების პირობითი აღნიშვნები

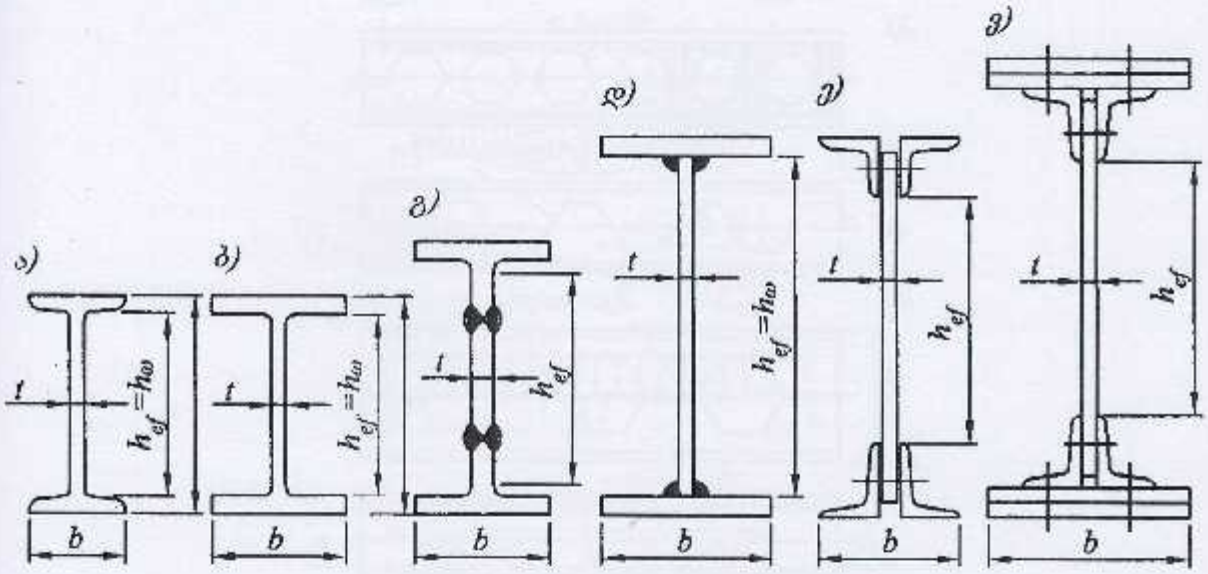
ჭანჭიკთა და ნახვრეტთა სახეები	აღნიშვნები
მრგვალი ნახვრეტი	
ოვალური	
საქარხნო და საამწყობრო შეერთებებში გამოყენებული მუდმივი ჭანჭიკები	
დროებითი ჭანჭიკები საამწყობრო შეერთებებში	
მაღალმტკიცე ჭანჭიკები	

თავი 3. კოჭები

3.1. კოჭების ტიპები და მათი სტატიკური სქემები

ლითონის კოჭები მიეკუთვნება ღუნვად ელემენტებს და ძირითადად გამოიყენება 6-18 მ მალის მქონე მრავალსართულიან სამრეწველო და საბოქალაქო შენობებში, აგრეთვე ერთსართულიან სამრეწველო შენობებში ამწისქვეშა კოჭების, კიდული ტრანსპორტის სავალი კოჭების და ა"შ.ათად 18-24 მ მალის მქონე გადახურვების მზიდი კოჭების სახით.

დამზადების სიმარტივიდან გამომდინარე, ყველაზე რაციონალურია ორტესებრი და შველერის ტიპის ნაგლინი პროფილები. როდესაც ნაგლინი კოჭები არ აკმაყოფილებს სიმტკიცის, სიხისტისა და საერთო მდგრადობის პირობებს, ანუ დიდი მალებისა და დიდი მდუნავი მომენტების შემთხვევაში, ფართოდ გამოიყენება შედგენილი შენადუღი ორტესებრი კოჭები, ხოლო იმ კონსტრუქციებში, რომლებზეც მოქმედებს დინამიკური და ვიბრაციული დატვირთვები – შედგენილი კოჭები, მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებით და მოქლონური კოჭები (ფიგ. 28). 6 მ-დე მალების შემთხვევაში, ფოლადის ნაგლინი და ალუმინის დაწნეხილი კოჭების მაგივრად მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნას შველერის ან კოლოფისებრი ტიპის ფოლადის ნაღუნი პროფილის კოჭები (იხ. ფიგ. 8).

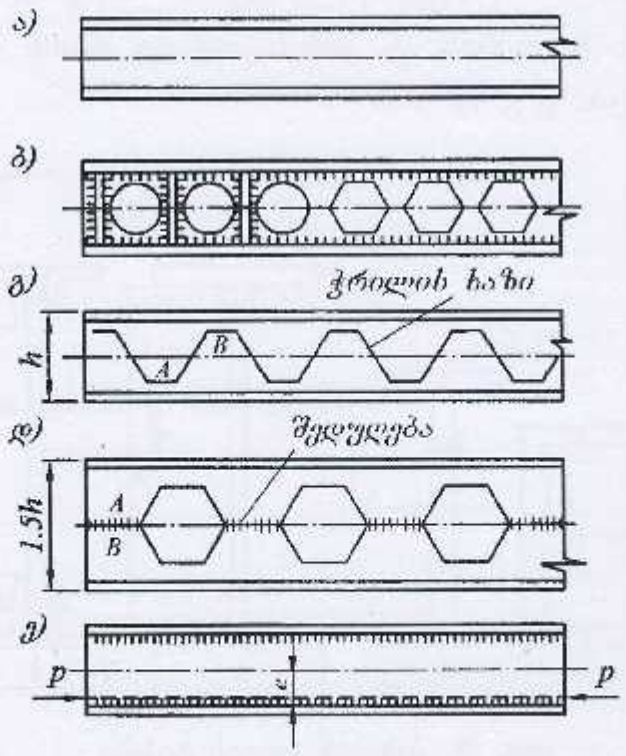


ფიგ. 28. კოჭების კვეთის ტიპები

ა – ნაგლინი ორტესებრი შიდა დახრილი წახნაგებიანი თაროებით; ბ – იგივე, თხელკედლიანი ვიწრო პარალელური თაროებით; გ – შენადუღი, ფართო თაროებიანი ტესებრებით; დ – ფურცლებისაგან შენადუღი; ე, ვ – მოქლონური ან მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებით

შედგენილი შენადუღი კოჭები შეიძლება იყოს მთლიანკედლიანი ან წრიული, ოვალური ან მრავალკუთხა ნახვრეტებით, რომლებიც გამოიყენება საინჟინრო კომუნიკაციების გაყვანისა და სხვა მიზნებისათვის (ფიგ. 29, ა, ბ). ნახვრეტებს შორის შუალედებში ყენდება სიხისტის წიბოები, რომლებიც უზრუნველყოფენ კოჭის კედლის მდგრადობას.

მშენებლობაში აგრეთვე გამოიყენება კოჭები პერფორირებული კედლებით (ფიგ. 29 გ, დ), რომლებიც მიიღება ცხლადნაგლინი ორტესებრი პროფილის კოჭების ტეხილი ხაზით გაჭრით გრძივი მიმართულებით. შემდგომ, ორივე ნაწილს გადაადგილებენ ზიგზაგების პირდაპირულად შეერთებამდე და ადუღებენ. პროფილის სიგრძის, სიმაღლის და ტეხილი ხაზის ფორმიდან გამომდინარე, შეიძლება მიღებულ იქნას პერფორირებული კოჭის განსხვავებული ნახვრეტები და სხვადასხვა სიმაღლე. ყველაზე ოპტიმალური პროფილი შეიძლება მივიღოთ სიმაღლის გაზრდით 1.5 *h*-მდე.



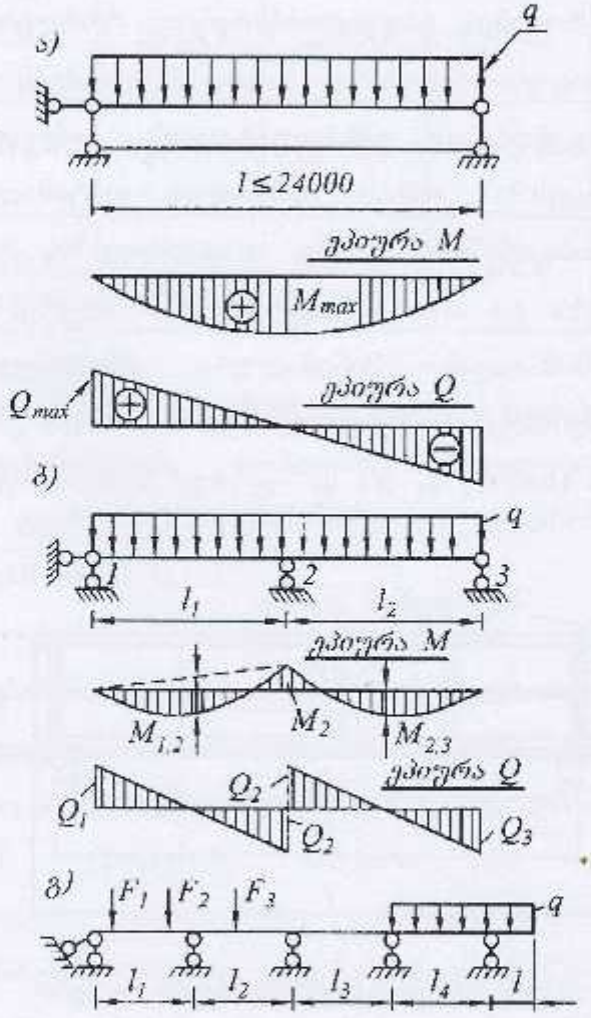
ფიგ. 29. კოჭების ტიპები

ა – მთლიანკედლიანი; ბ – პერფორირებული ნახვრეტებით; გ, დ – პერფორირებული, ნაგლინი პროფილის კედლის გაჭრითა და შედუღებით; ე – წინასწარ დაძაბული საკოჭით

პერფორირებულ კოჭებს იგივე მასა აქვთ, რაც ნაგლინ პროფილებს, ამასთან, მათი მზიდუნარიანობა და სიმტკიცე მნიშვნელოვნად მაღალია, ვიდრე საწყისი პროფილისა. გამომდინარე აქედან, პერფორირებული კოჭები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მეტ მალებში და მეტი დატვირთვისას. ასეთი კოჭების გამოყენება უმჯობესია დიდი მალებისა და მცირე დატვირთვების დროს. ასეთ შემთხვევაში განივი ძალების გავლენა ძაბვებზე ვერტიკალურ

კვდელში უმნიშვნელოა. პერფორირებული კოჭების გამოყენება იძლევა ფოლადის 20-30%-ით ეკონომიას. თუმცა, დამზადების უფრო მაღალი ღირებულების გათვალისწინებით, მათი გამოყენება უნდა იყოს ეკონომიკურად გამართლებული.

მალის გადიდების ან კოჭზე საანგარიშო დატვირთვის გაზრდის შემთხვევაში რაციონალურია ფოლადის წინასწარ დაძაბული კოჭების გამოყენება (ფიგ. 29, ე), რომელშიც წინასწარ დაძაბული გვარლი განლაგებულია მაქსიმალური გაჭიმვის ზონაში.



ფიგ. 30. კოჭების სტატიკური სქემები

ა – ერთმალიანი ჭრადი; ბ – ორმალიანი უჭრი; გ – მრავალმალიანი უჭრი

სტატიკური მუშაობის თვალსაზრისით კოჭები შეიძლება იყოს ერთმალიანი ჭრადი, ორმალიანი და მრავალმალიანი უჭრი, კონსოლური და უკონსოლო (ფიგ. 30). მშენებლობაში უმეტესად გამოიყენება ერთმალიანი ჭრადი კოჭები, როგორც ყველაზე მარტივი მონტაჟსა და ექსპლუატაციაში.

დამზადების შრომატევადობით უჭრი კოჭები ჩამორჩება ჭრად კოჭებს, თუმცა მასალის ხარჯისა და სიმტკიცის მიხედვით ისინი უფრო ეფექტურებია, რაც განაპირობებს მათ ფართო გამოყენებას მრავალსართულიან კარკასებში. ამასთან, განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა ტემპერატურული ზემოქმედების გათვალისწინებასა და საყრდენების ჯდომას, რადგანაც უჭრი კოჭები ძლიერ მგრძნობიარეა ასეთი ზემოქმედებისადმი.

კოჭის გენერალური ზომა ეწოდება მის საანგარიშო მალს l_{ef} და კვეთის სიმაღლეს h (ფიგ. 31). კოჭის ნამდვილ ან კონსტრუქციულ ზომებს l ნიშნავენ საყრდენი ბაქნების ზომების გათვალისწინებით, რომლებიც დამოკიდებულია ბაქნის მასალის მზიდუნარიანობაზე. საყრდენ კვანძებს შორის მანძილი l_o დამოკიდებულია ნაგებობების ექსპლუატაციის პირობებზე და ინიშნება დაპროექტების პროცესში. კოჭის სიმაღლის ოპტიმალური მნიშვნელობა დამოკიდებულია საანგარიშო მალზე, დატვირთვაზე, ფოლადის მარკაზე, კოჭის დანიშნულებასა და ა.შ., და მდებარეობს ზღვრებში h/l_{ef} = (1/10–1/15). კოჭის კვეთის სიმაღლის მინიმალური მნიშვნელობები, ესკიზური დაპროექტებისას, შეიძლება მიღებულ იქნას 21-ე ცხრილის მიხედვით, როდესაც q_n/q_d = 1.2 (სადაც q_n და q_d –გრძივი ნორმატიული და საანგარიშო დატვირთვებია).



ფიგ. 31. კოჭის გენერალური ზომები

კოჭების სისტემას, რომლითაც გადახურულია სხვადასხვა დანიშნულების შენობები და ნაგებობები, კოჭოვანი გადახურვა ეწოდება. კოჭოვანი გადახურვა შეიცავს მთავარ კოჭებს, რომლებიც განლაგებულია ბიჯით L=6-9 მ, დამხმარე კოჭებს, რომლებიც ეყრდნობა მთავარ კოჭებს ბიჯით b=1.5-3მ და ფცნილს კოჭებს, რომლებსაც აპროექტებენ ბიჯით a=0.5-1.2მ (ფიგ. 32). მთავარი, დამხმარე და ფცნილის კოჭების ურთიერთგანლაგებიდან

გამომდინარე, განასხვავებენ კოჭოვანი გადახურვის სამ ძირითად ტიპს: გამარტივებული, ნორმალური და გართულებული.

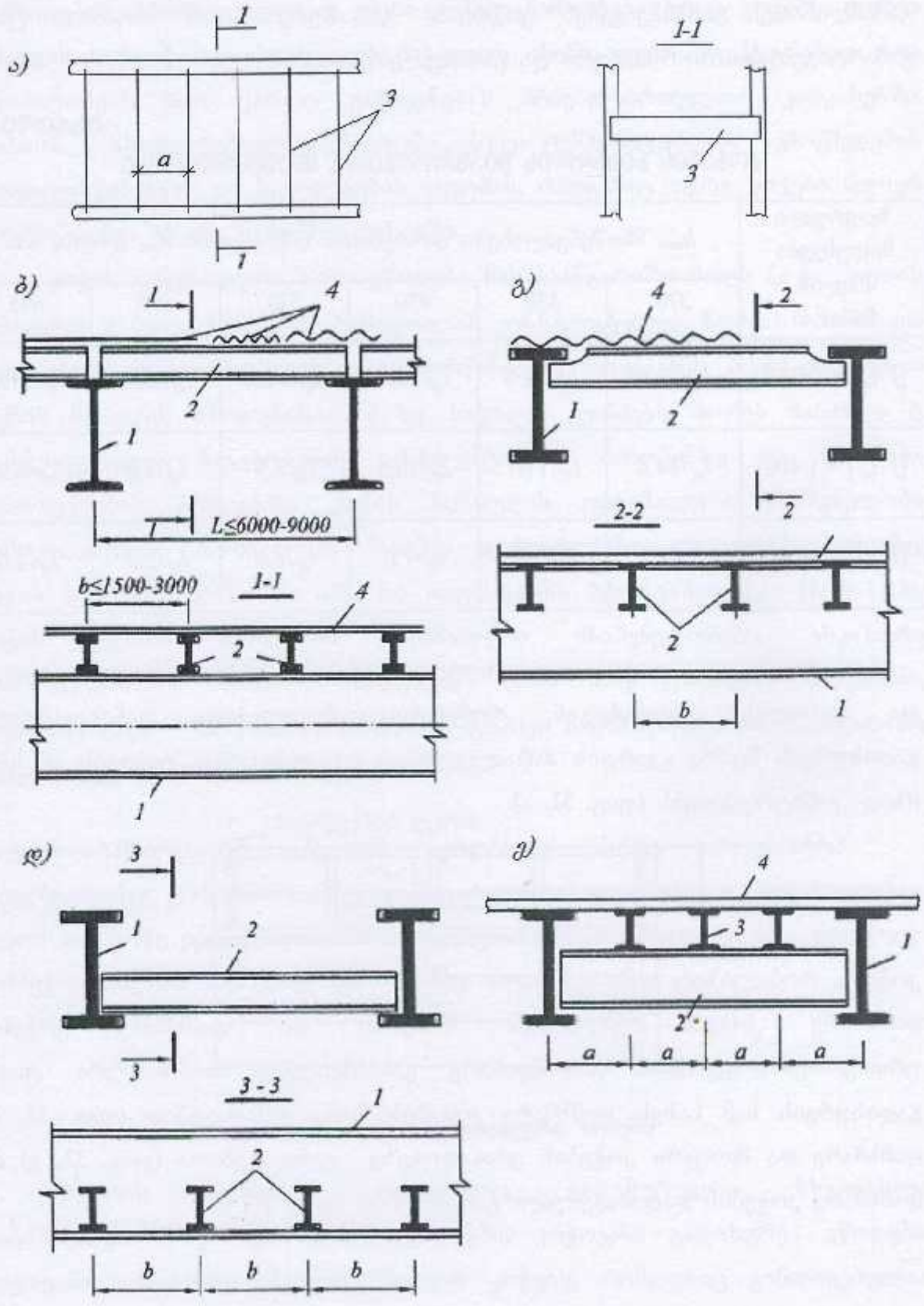
ცხრილი 21

კოჭების სიმაღლის მიახლოებითი მნიშვნელობები

ზღვრული ჩაღუნვები მალის მიმართ	h_{min} მნიშვნელობები დროებითი წინაღობის R_{un} დროს, მპა					
	370	430	450	510	590	685
$[f/l_{ef}] = 1/250$	$l_{ef}/23.0$	$l_{ef}/18.7$	$l_{ef}/16.7$	$l_{ef}/14.3$	$l_{ef}/12.8$	$l_{ef}/11.0$
$[f/l_{ef}] = 1/400$	$l_{ef}/14.4$	$l_{ef}/11.7$	$l_{ef}/10.5$	$l_{ef}/8.9$	$l_{ef}/8.0$	$l_{ef}/6.9$
$[f/l_{ef}] = 1/600$	$l_{ef}/9.7$	$l_{ef}/7.8$	$l_{ef}/7.0$	$l_{ef}/6.0$	$l_{ef}/5.3$	$l_{ef}/4.6$

გამარტივებული ტიპის გადახურვა შედგება გადახურვის ფენილისაგან და ფენილის კოჭებისაგან, რომლებიც ჩვეულებრივ განლაგებულია გადახურვის მცირე გვერდის პარალელურად და ეყრდნობა კედლებს ან სხვა მზიდ კონსტრუქციებს (ფიგ. 32, ა).

ნორმალური ტიპის გადახურვა შედგება ურთიერთმართობულად განლაგებული კოჭებისა და ფენილისაგან. კოჭებს, რომლებიც განლაგებულია უჯრედის გრძელი გვერდის მიმართულებით, მთავარი კოჭები ეწოდება, ხოლო კოჭებს, რომლებზეც დალაგებულია ფენილი და ეყრდნობა მთავარ კოჭებს – დამხმარე კოჭებს უწოდებენ. მთავარი და დამხმარე კოჭების ურთიერთგანლაგებიდან გამომდინარე განასხვავებენ ნორმალური ტიპის გადახურვის სამ სახეს: დამხმარე კოჭების ზედა განლაგებით (ფიგ. 32, ბ); დამხმარე და მთავარი კოჭების ერთ დონეზე განლაგებითა (ფიგ. 32, გ) და დამხმარე კოჭების დადაბლებული განლაგებით (ფიგ. 32, დ).



ფიგ. 32. კოჭოვანი გადახურვის სქემები

ა – გამარტივებული ტიპის გადახურვა; *ბ* – ნორმალური, დამხმარე კოჭების განლაგებით მთავარი კოჭის ზედა თაროზე; *გ* – იგივე, დამხმარე კოჭების განლაგებით მთავარი კოჭის ზედა თაროს დონეზე; *დ* – იგივე, დამხმარე კოჭების დადაბლებული განლაგებით; *ე* – გართულებული; *1* – მთავარი კოჭი; *2* – დამხმარე კოჭი; *3* – ყელხალას კოჭი; *4* – ფენილი.

გართულებული ტიპის კოჭოვანი გადახურვა. მთავარი და დამხმარე კოჭების გარდა, დამატებით შედგება ფენილის კოჭებისაგან, რომლებიც განლაგებულია დამხმარე კოჭების მართობულად და უშუალოდ ეყრდნობა მათ (ფიგ. 32, ე).

კოჭოვანი გადახურვის შერჩევა დამოკიდებულია გადახურვის კონსტრუქციაზე (ლითონური ფენილი, რკინაბეტონის ფილები და სხვ.), ტექნოლოგიური დანადგარების, შეკიდული ჭერის და სხვა ფაქტორების არსებობაზე, ამიტომ კოჭოვანი გადახურვის ტიპი, ყოველი კონკრეტული შემთხვევისათვის, განისაზღვრება ვარიანტული დაპროექტებით.

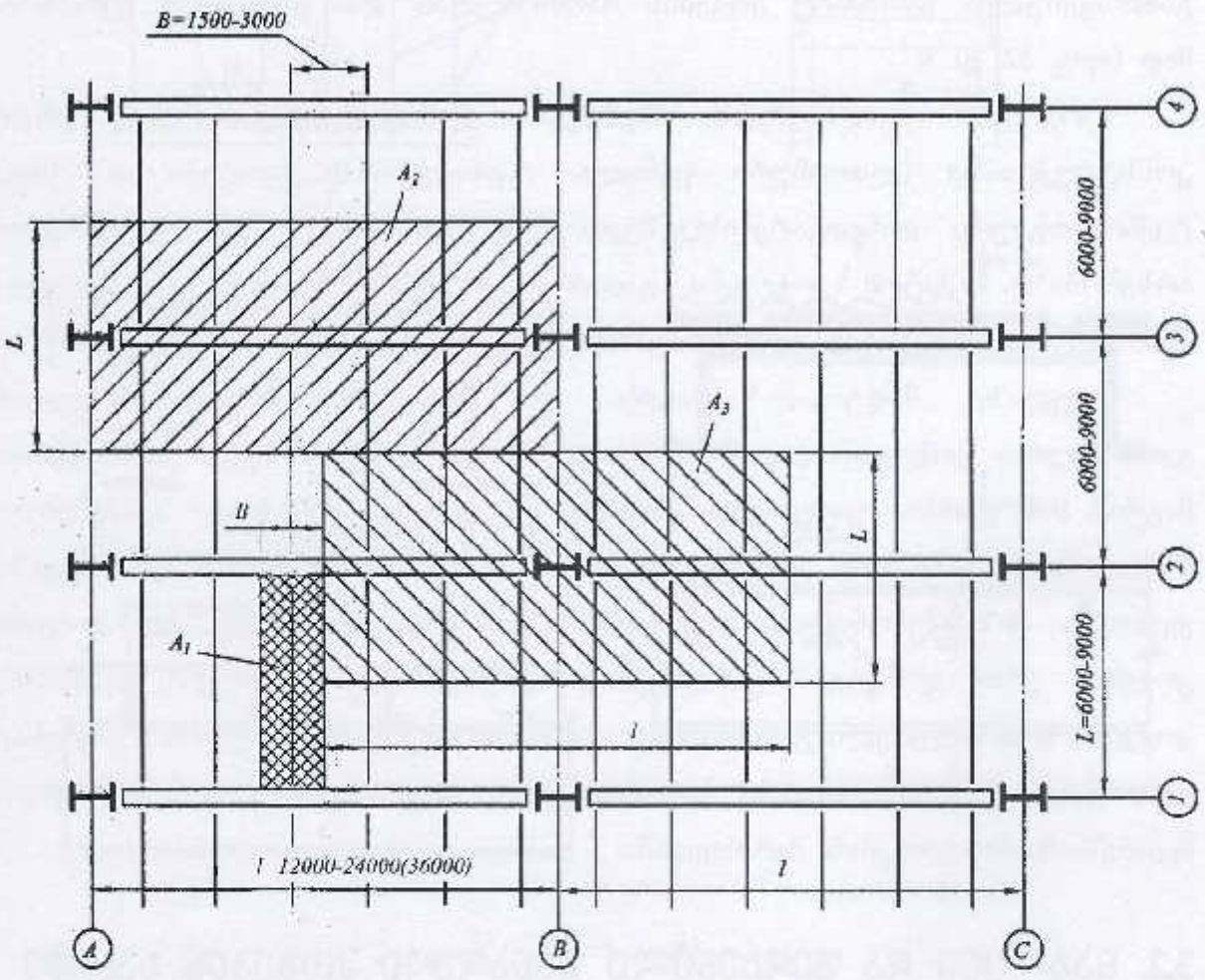
ყველაზე მარტივად ასაგები და მასალის ხარჯის მიხედვით ეკონომიურია კოჭოვანი გადახურვები დამხმარე კოჭების ზედა განლაგებით, მაგრამ მას გააჩნია უარყოფითი მხარეც – გადახურვის დიდი სამშენებლო სიმაღლე. გადახურვის სამშენებლო სიმაღლის შეზღუდვის შემთხვევაში, ყველაზე მისაღებია კოჭოვანი გადახურვა დამხმარე და მთავარი კოჭების ერთ დონეზე განლაგებით. კოჭოვანი გადახურვები, დამხმარე კოჭების დადაბლებული განლაგებით და გართულებული სისტემით, უმეტესად გამოიყენება ტექნოლოგიური დანადგარების დაყრდნობის ან გადახურვის მცირეზომიანი ფილების შემთხვევაში.

3.2. ნაბლინი და შედგენილი შენადუღი კოჭების განივი კვეთის გაანგარიშება

უმეტეს შემთხვევაში კოჭოვან გადახურვაზე მოქმედებს თანაბრად განაწილებული დატვირთვა, რომელიც გაანგარიშებისას დაიყვანება ხაზოვან დატვირთვად ფენილის, დამხმარე და მთავარ კოჭებზე, მათი საერთო ფართობებიდან (ფიგ. 33). კოჭების გაანგარიშება მიმდინარეობს იმავე თანამიმდევრობით, როგორითაც გადაეცემა დატვირთვა – ფენილის, დამხმარე და მთავარ კოჭებზე. კვეთის შერჩევას წინ უსწრებს კოჭების სტატიკური გაანგარიშება, რომლის შედეგადაც განისაზღვრება საანგარიშო მღუნავი M მომენტები და საანგარიშო განივი Q ძალები დამახასიათებელ კვეთებში.

კოჭების გაანგარიშებას ახორციელებენ ორი ზღვრული მდგომარეობის – მზიდუნარიანობის და ჩაღუნვების მიხედვით. ნაგლინი კოჭების (ორტესებრი, შველერი და სხვა პროფილების) გაანგარიშებისას, სორტამენტის მიხედვით,

შეირჩევა საჭირო პროფილი, რომელიც შემოწმდება სიმტკიცეზე, სიხისტეზე და მდგრადობაზე.



ფიგ. 33. კოჭოვანი გადახურვის ელემენტებზე დატვირთვის განსაზღვრისათვის

A_1 , A_2 , A_3 – დამხმარე კოჭის, მთავარი კოჭისა და სვეტის სატვირთო ფართობები

პროფილის შესარჩევად, საანგარიშო მღუნავი მომენტის მიხედვით, გამოითვლება კვეთის საჭირო წიხალობის მომენტი ფორმულით:

$$W_{n,min} = M/R_y\gamma_c, \tag{32}$$

ხოლო პლასტიკური დეფორმაციების განვითარების გათვალისწინებით გაანგარიშებისას – ფორმულით:

$$W_{n,min} = M/c_1 R_y\gamma_c, \tag{33}$$

სადაც c_1 არის კოეფიციენტი, რომელიც განისაზღვრება სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით.

კვეთის საჭირო ინერციის მომენტი I, მაგალითად, l_{ef} მალის მქონე ჭრადი ერთმალიანი კოჭისთვის, რომელიც დატვირთულია თანაბრად განაწილებული ნორმატიული დატვირთვით q_n, შეიძლება გამოითვალოს კოჭის ფარდობითი ხალუნვის შემოწმების ფორმულიდან:

$$f/l_{ef} = 5q_n l_{ef}^3/384EI \le [f/l_{ef}] \tag{34}$$

შემდეგი ფორმულით:

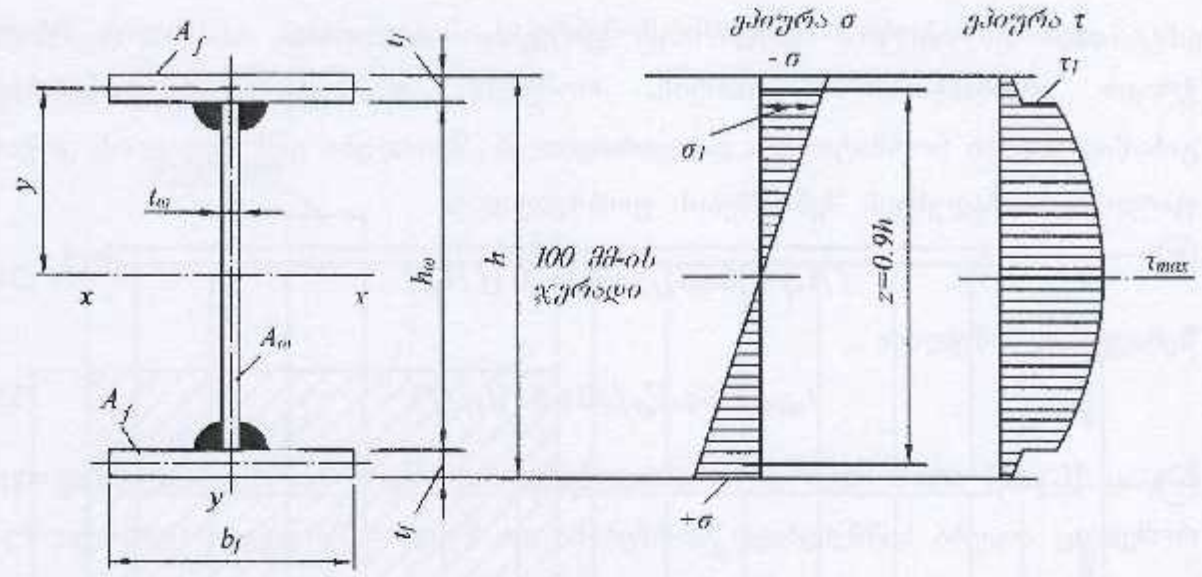
$$I_{min} \ge 5q_n l_{ef}^3/384\,E \cdot [l_{ef}/f], \tag{35}$$

სადაც $[l_{ef}/f]$ არის ზღვრული ფარდობითი ხალუნვის შებრუნებული სიდიდე, რომელიც აიღება სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით (სართულშუა გადახურვის მთავარი კოჭისათვის $[l_{ef}/f] = 400$, დამხმარე კოჭისათვის $[l_{ef}/f] = 250$.

წინაღობის $W_{n,min}$ და ინერციის I_{min} მინიმალური მომენტების მიხედვით სორტამენტიდან შეირჩევა ორტესებრი ან შველური W-სა და I-ს უახლესი დიდი მნიშვნელობებით. ამის შემდეგ შერჩეული კვეთი მოწმდება მაქსიმალური განივი Q_{max} ძალის ზემოქმედებაზე (13) ფორმულით. თუ განივ ძალაზე შემოწმება ვერ აკმაყოფილებს სიმტკიცის პირობებს, სორტამენტში შეირჩევა შემდეგი პროფილი და მეორდება შემოწმება. საბოლოოდ შეირჩევა პროფილი, რომლისთვისაც დაცული იქნება პირობა $\tau \le R_s\gamma_c$.

შუნადული ორტესებრი კოჭის კვეთი განისაზღვრება წინაღობის მინიმალური მომენტისა $W_{min}=M/R_y\gamma_c$ და, კედელსა A_w და თაროს A_f შორის კვეთის ფართობის ოპტიმალური განაწილების მიხედვით (კედლის მოჭილობაზე დამოკიდებულებით h_w/t_w). სიმეტრიული ორტესებრი კოჭის (ფიგ. 34) შემთხვევაში, კვეთის ფართობის ყველაზე ხელსაყრელი განაწილება მიიღება, როდესაც h_w/t_w=100-150 (ცხრილი 22).

რაც უფრო თხელია კედელი მით ეკონომიურია კოჭი. ეს აიხსნება იმით, რომ მღუნავი მომენტის 85% ითვისება თაროების მუშაობით და მხოლოდ 15% კედლით. კოჭში აღძრული განივი ძალა კი, თითქმის მთლიანად ითვისება კედლის მუშაობით.



ფიგ. 34. შედგენილი შენადუღი კოჭის გაანგარიშებისთვის

ცხრილი 22

h_w-სა და t_w-ს პრაქტიკული თანაფარდობები

H_w, მ	0.8	1	1.25	1.5	1.75	2
T_w, მმ	8-6	10-8	10-9	12-10	14-12	14

შენადუღი კოჭის სიმაღლის შერჩევისას, როგორც წესი, განიხილავენ სამ სიდიდეს: ოპტიმალურ სიმაღლეს h_{opt}, რომლის დროსაც კოჭის მასა მინიმალურია; მინიმალურ სიმაღლეს h_{min}, რომლის დროსაც კვეთი აკმაყოფილებს სიხისტის პირობას და მაქსიმალურ სიმაღლეს h_{max}, რომელიც შესაძლებელია გადახურვის მოცემული სამშენებლო სიმაღლის ფარგლებში. პირველი მიახლოებით კვეთის ოპტიმალური სიმაღლე შეიძლება განისაზღვროს გამარტივებული ფორმულით:

$$h_{opt} \approx 6\sqrt[3]{M/R_y\gamma_c}\,, \qquad (36)$$

ხოლო კვეთის სიმაღლის მინიმალური h_{min} მნიშვნელობა ზღვრული ჩაღუნვის პირობიდან გამომდინარე – 21-ე ცხრილის მიხედვით. ამასთან, შემდგომი გაანგარიშებისას რეკომენდებული არ არის კოჭის სიმაღლის h_{min}-ზე ნაკლების (მასალის გაზრდილი ხარჯის გამო) და h_{max}-ზე მეტის (არქიტექტურულ-კონსტრუქციული მოსაზრებიდან გამომდინარე) მიღება. 22-ე ცხრილის მიხედვით, მიღებულ სიმაღლეზე დამოკიდებულებით კოჭის კედლის

სისქის t_w დანიშვნის შემდეგ, ოპტიმალური სიმაღლის h_{opt} მნიშვნელობა ზუსტდება ფორმულით:

$$h_{opt} = 1.15\sqrt{M/R_y\gamma_c t_w}\,. \tag{37}$$

შემდეგ, მაქსიმალური განივი ძალის მქონე კვეთში, უდიდესი მხები ძაბვების პირობიდან გამომდინარე, განისაზღვრება კოჭის კედლის აუცილებელი სისქე ფორმულით:

$$h_{w,min} = 3Q/2h_{opt}R_s. \tag{38}$$

ამის შემდეგ, იმის გათვალისწინებით, რომ ორი თაროს სისქე საორიენტაციოდ ტოლია $4t_w$-სი, ინიშნება კოჭის კედლის h_w სიმაღლე და კედლის t_w სისქე.

საანგარიშო მდუნავი მომენტის ათვისების აუცილებლობიდან გამომდინარე, კოჭის ერთი სარტყელის მინიმალურად აუცილებელი კვეთის ფართობი განისაზღვრება ფორმულით:

$$A_f = 3M/4R_y\gamma_c h. \tag{39}$$

სარტყელის სიგანე შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

$$b_f = A_f/2t_w. \tag{40}$$

ამასთან, გათვალისწინებული უნდა იქნეს კოჭის (b_f≥180მმ) მოხერხებულად ჩამაგრებისა და საერთო მდგრადობის უზრუნველყოფის კონსტრუქციული მოთხოვნები:

$$b_f \geq (1/3 - 1/5)h, \tag{41}$$

აგრეთვე, დენადობის ზღვრის მიხედვით R_y=210 მპა სწანგარიშო წინაღობის მქონე ფოლადის სარტყელის გამოშვერილი ნაწილის ადგილობრივი მდგრადობის უზრუნველყოფის მოთხოვნები

$$b_f \leq 30t_f, \tag{42}$$

სხვა მარკების მცირედ ლეგირებული ფოლადებისთვის

$$b_f \leq 30t_f\sqrt{210/R_y}. \tag{43}$$

შენადუღი კოჭის კვეთის შერჩევის შემდეგ განისაზღვრება კვეთის ფაქტიური ინერციის მომენტი I, წინაღობის მომენტი W და სტატიკური მომენტი S ფორმულებით:

$$I = (t_w h_w^3/12) + 2yA_f, \tag{44}$$

$$W = 2I/h, \tag{45}$$

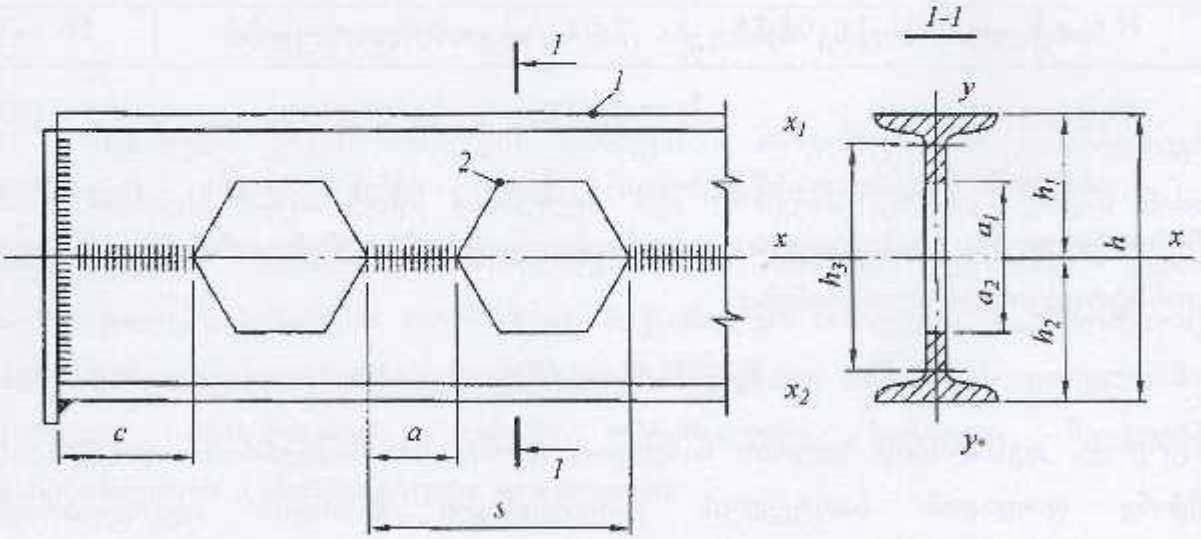
$$S = A_f y + (A_w/2)(h_w/4. \tag{46}$$

შემდეგ მოწმდება შერჩეული კვეთის სიმტკიცე და სიხისტე (12), (13) და (14) ფორმულებით.

პერფორირებული კოჭების (ფიგ. 35) სტატიკური გაანგარიშება წარმოებს უორიბანო წამწვების გაანგარიშების ანალოგიურად. საანგარიშო კვეთებში წარმოიქმნება მდუნავი M მომენტი გარე დატვირთვებისგან, აგრეთვე ადგილობრივი მდუნავი მომენტები განივი Q ძალის მოქმედებისგან. ღუნვის $x–x$ ღერძის მიმართ სიმეტრიულ კოჭში მოწმდება ნორმალური ძაბვები ორ დამახასიათებელ წერტილში (1 და 2) შემდეგი ფორმულებით:

$$(Mh_1/I_x) + (Q_1 a/2W_{1,msx}) \le R_{y1}\gamma_c, \tag{47}$$

$$(Md_1/I_x) + (Q_1 a/2W_{1,min}) \le R_{u1}\gamma_c/\gamma_u, \tag{48}$$



ფიგ. 35. პერფორირებულ კედლიანი კოჭის გაანგარიშებისთვის

აგრეთვე, მხები ძაბვები ფორმულით

$$Q_2 s/tah_2 \le R_s\gamma_c, \tag{49}$$

სადაც M არის მდუნავი მომენტი კოჭის კვეთში; $Q_1 = Q/2$ – განივი ძალა, რომელიც მოქმედებს ერთ ტესებრ კვეთში; Q – განივი ძალა კოჭის კვეთში; Q_2 – განივი ძალა კოჭის კვეთში საყრდენიდან $(c+s-0.5a)$ მანძილზე (ფიგ. 35);

$W_{z,max}$ და $W_{z,min}$ – უდიდესი და უმცირესი წინაღობის მომენტები ტესებრ კვეთში; I_x – კოჭის კვეთის (ნახვრეტებით) ინერციის მომენტი.

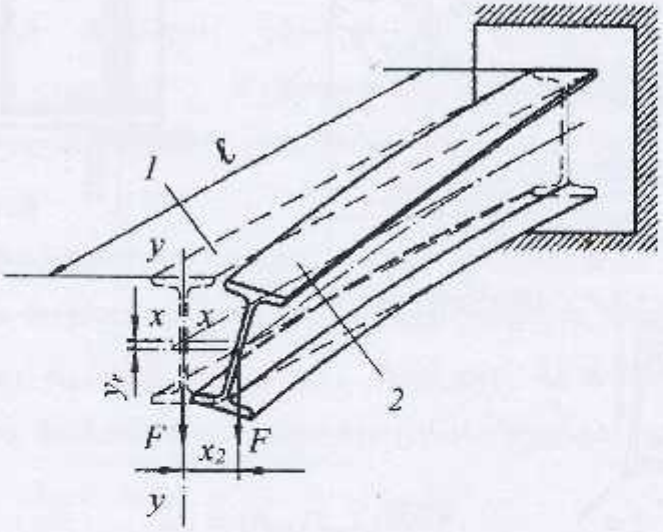
3.3. ფოლადის კოჭების მდგრადობის ცნება. სიხისტის ფიბოების კონსტრუქცია

მოვლენას, რომლის დროსაც კოჭი კარგავს მდგრადობას და ღუნვის შემთხვევაში იცვლის ფორმას, კოჭის საერთო მდგრადობის დაკარგვა ეწოდება. ამ მდგომარეობაში ხდება კოჭის გრეხა, სარტყელების გადახრა გეგმაში (ფიგ. 36). საერთო მდგრადობის დაკარგვისას კოჭში წარმოიქმნება რთული დაძაბული მდგომარეობა, რომელიც დაკავშირებულია ღუნვასთან ჰორიზონტალურ x-x და ვერტიკალურ y-y სიბრტყეებში, და გრეხასთან კოჭის გრძივი ღერძის ირგვლივ.

ორტესებრი კვეთის მქონე კოჭის (რომელიც განიცდის ღუნვას კედლის სიბრტყეში) საერთო მდგრადობაზე გაანგარიშება სრულდება ფორმულით:

$$M/\varphi_b W_c \le R_y \gamma_c, \qquad (50)$$

სადაც W_c არის კოჭის შეკუმშული სარტყელის წინაღობის მომენტი; φ_b – კოჭის საერთო მდგრადობის კოეფიციენტი.

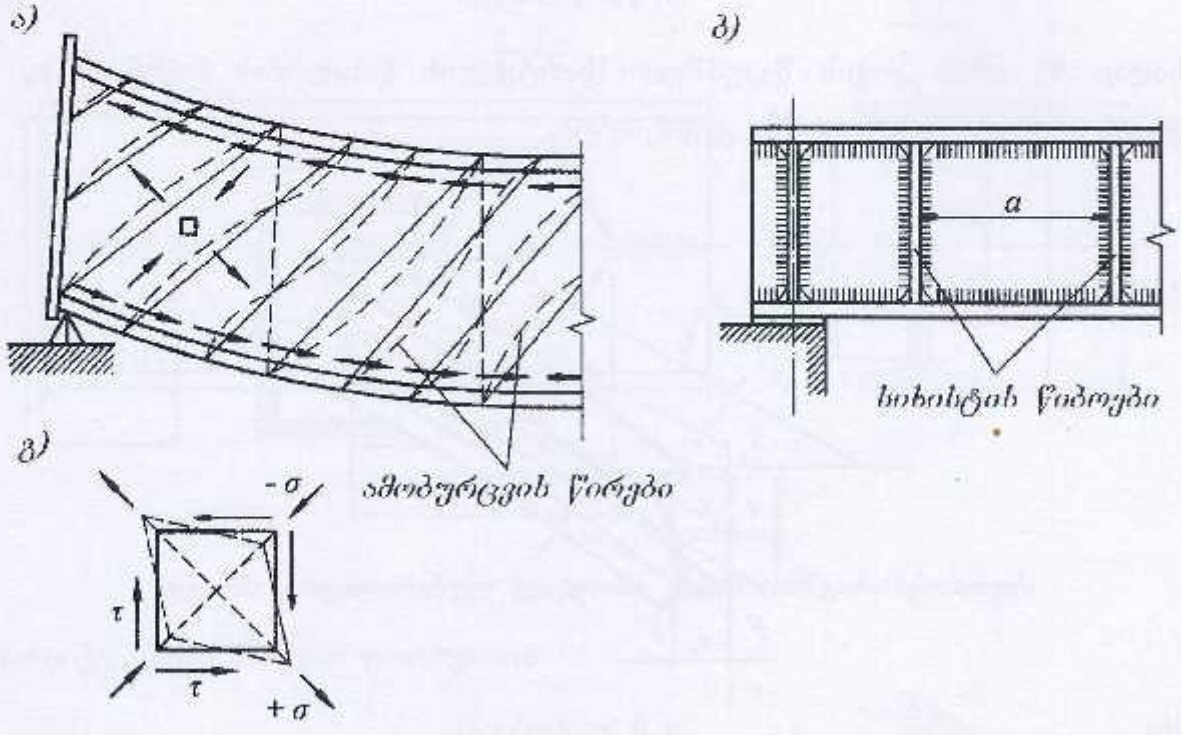


ფიგ. 36. კონსოლური კოჭის საერთო მდგრადობის დაკარგვის ფორმა

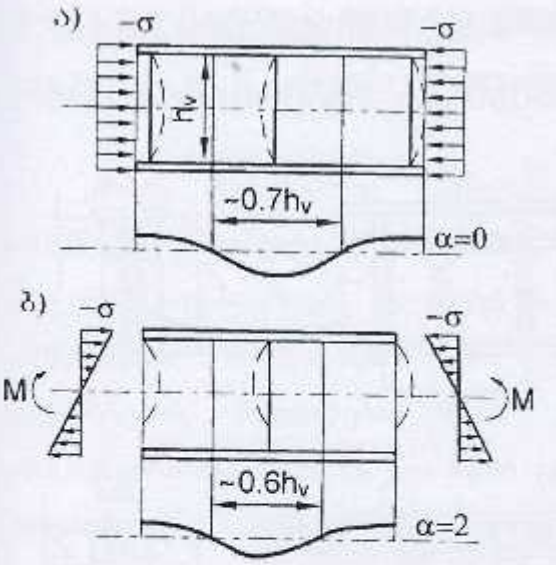
1 – კოჭის თავდაპირველი მდგომარეობა; *2* – ფორმის ცვლილება მდგრადობის დაკარგვის შემთხვევაში

კოჭის კედლის სიბრტყეში დუნვისას, საერთო მდგრადობის დაკარგვა დამოკიდებულია კოჭის საანგარიშო სიგრძის l_{ef} ფარდობაზე თაროს სიგანესთან b_f. მიახლოებით შეიძლება ჩაითვალოს, რომ როდესაც $l_{ef} / b_f \leq 13$, მაშინ კოჭი საერთო მდგრადობაზე შეიძლება არ შემოწმდეს. კოჭი ასევე არ კარგავს საერთო მდგრადობას იმ შემთხვევაშიც, როდესაც მასზე დატვირთვა გადაეცემა კოჭის შეკუმშულ სარტყელზე შედუღებით ან ჭანჭიკებით მიმაგრებული რკინაბეტონის ფილების ან დაპროფილებული ფურცლის მეშვეობით.

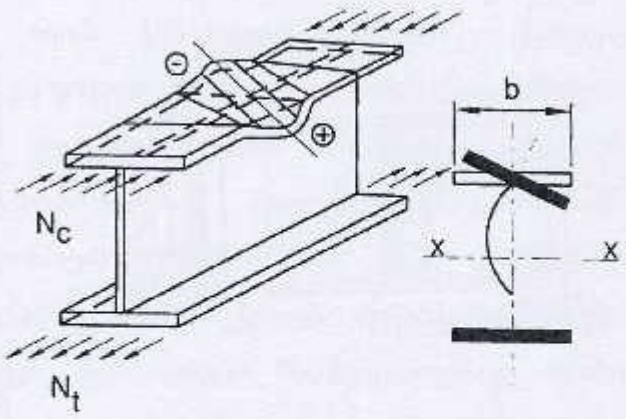
კოჭებში საერთო მდგრადობის დაკარგვასთან ერთად შეიძლება მოხდეს კედლის ადგილობრივი მდგრადობის დაკარგვა მხები ძაბვების მოქმედების გამო (უპირატესად საყრდენებთან ახლოს) (ფიგ. 37), კედლის და სარტყელის მდგრადობის დაკარგვა ნორმალური ძაბვების მოქმედებისგან და ნორმალური და მხები ძაბვების ერთდროული მოქმედებისაგან, აგრეთვე კოჭის შეკუმშული სარტყელის მდგრადობის დაკარგვა ნორმალური ძაბვების მოქმედებისაგან (ფიგ. 38, ფიგ. 39).



ფიგ. 37. მხები ძაბვების მოქმედებისგან კოჭის კედლის ადგილობრივი მდგრადობის დაკარგვის ფორმა



ფიგ. 38. ნორმალური ძაბვების მოქმედებისგან კოჭის კედლის ადგილობრივი მდგრადობის დაკარგვის ფორმები



ფიგ. 39. ნორმალური ძაბვების მოქმედებისგან კოჭის შეკუმშული სარტყელის და კედლის მდგრადობის დაკარგვის ფორმა

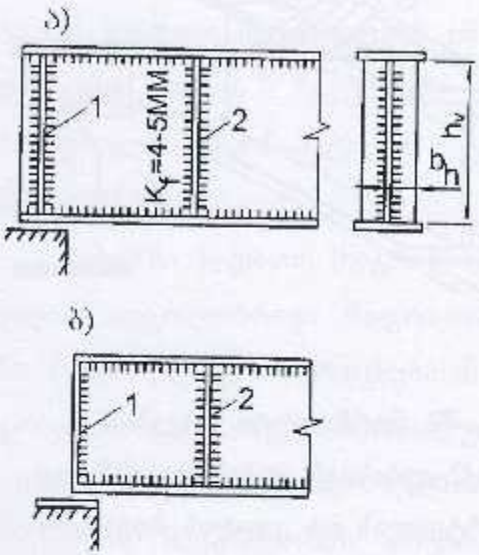
საყრდენთან ახლოს კოჭის კედელმა შეიძლება დაკარგოს მდგრადობა (ფიგ. 37. ა) ამოიბურცოს კუმშვის გავლენით და წარმოიქმნას კოჭის გრძივი ღერძის მიმართ 45^0 კუთხით დახრილი ტალღები. ამობურცვის თავიდან ასაცილებლად ეწყობა განივი, სიხისტის ცერტიკალური წიბოები (ფიგ. 37, გ), რომლებიც კვეთენ შესაძლო ამობურცვის ტალღებს. წიბოების ბიჯი დამოკიდებულია კედლის მოქნილობაზე. სარტყელების კედელთან მისადუღებელი ცალმხრივი ან ორმხრივი ნაკერების არსებობასა და სხვა ფაქტორებზე.

პირველი მიახლოებით, განივ ძირითად სიხისტის წიბოებს შორის მანძილი, კედლის მოქნილობასთან დამოკიდებულებით, შეიძლება მივიღოთ – $a_{max} \leq 2h_{ef}$, როდესაც $\bar{\lambda}_w > 3.2$ და $2.5\ h_{ef}$, როდესაც $\bar{\lambda}_w \leq 3.2$, სადაც $\bar{\lambda}_w$ არის კედლის პირობითი მოქნილობა, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით:

$$\bar{\lambda}_w = (h_{ef}/t_w)\sqrt{R_y/E}. \qquad (51)$$

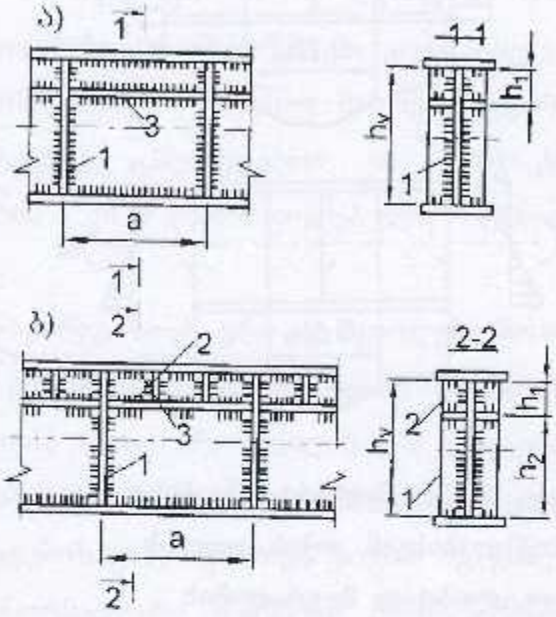
განივი წიბოს გამოშვერილი ნაწილის სიგანე b_h, წყვილი სიმეტრიული წიბოების არსებობის შემთხვევაში, უნდა იყოს არანაკლები $h_{ef}/30+40$ მმ, ხოლო მხოლოდ ცალმხრივი წიბოს დროს – არანაკლები $h_{ef}/24+50$ მმ, ამასთან, წიბოს სისქე უნდა იყოს არანაკლები $2b_h\sqrt{R_y/E}$ (ფიგ. 40).

ცალმხრივი განივი სიხისტის წიბოები შეიძლება შესრულებული იქნეს კოჭის კედელზე ჭრთით მიდუღებული ერთეული კუთხედისაგან.



ფიგ. 40. სიხისტის განივი წიბოების კონსტრუქციები შენადუღ კოჭებში

1 – საყრდენი წიბო; *2* – სიხისტის წიბო



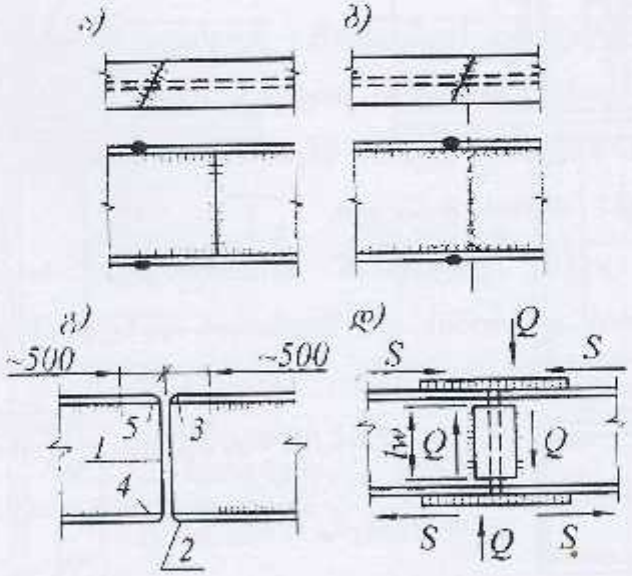
ფიგ. 41. განივი ძირითადი წიბოებით და დამატებითი გრძივი წიბოთი გაძლიერებული კოჭები

1 – ძირითადი განივი წიბო; *2* – მოკლე განივი წიბო; *3* – დამატებითი გრძივი წიბო

მაღალ თხელკედლიან კოჭებში გეომეტრიული ზომების ფარდობით $h_{ef}/t_w > 160\sqrt{E/R_y}$, ძირითად განივ წიბოებთან ერთად კედლის შეკუმშულ ზონაში ეწყობა ჰორიზონტალური გრძივი წიბოები (ფიგ. 41, ა), ხოლო ძირითად განივ წიბოებს შორის კოჭის თაროებზე დიდი შეყურსული ტვირთების განლაგების შემთხვევაში, შეკუმშული ზონა დამატებით ძლიერდება შუალედური მოკლე წიბოებით (ფიგ. 41, ბ). გრძივი და დამატებითი მოკლე განივი წიბოებით კოჭის კედლის გამაგრებისას, კონსტრუქციულად ისინი მიყვანილ უნდა იქნეს შესაბამის ძირითად განივ და გრძივ წიბოებთან, და კოჭის თაროებთან. რეალური დაპროექტებისას, წიბოებს შორის კედლის ნაკვეთურები გაანგარიშდება მდგრადობაზე წარმოქმნილი დაძაბული მდგომარეობის გათვალისწინებით.

3.4. ნაგლინი და შედგენილი კოჭის პირაპირები. კოჭის ჩამაბრების კვანძები

კოჭის პირაპირები შეიძლება იყოს ქარხნული, რომელიც კეთდება ქარხანაში ელემენტების სიგრძის გაზრდის მიზნით, რომლებიც შედიან ცალკეულ გასაგზავნ ელემენტში, და სამონტაჟო, რომელიც კეთდება სამშენებლო მოედანზე; მათი დანიშნულებაა ცალკეული გასაგზავნი ელემენტების შეუღლება მუშა კონსტრუქციად (ფიგ. 42). სამონტაჟო პირაპირების რაოდენობა და მათი განლაგება პროექტდება ტრანსპორტირების პირობებიდან გამომდინარე. სამონტაჟო პირაპირები მნიშვნელოვნად ძვირია ქარხნულზე, ვინაიდან ისინი საჭიროებს დამატებით მასალას პირაპირების ზესადებისათვის და სამონტაჟო ჭანჭიკებს, ამიტომ მათი რაოდენობა უნდა იყოს მინიმალური.



ფიგ. 42. კოჭის პირაპირები

ა – ქარხნული ხრუკულად თაროებსა და კედელზე; ბ, გ – სამონტაჟო შეთავსებული (ცოცრებით ნაჩვენებია პირაპირის შედუღების თანმიმდევრობა); დ – პირაპირი ზესადებების გამოყენებით

ყველაზე მარტივია პირაპირი, რომელსაც ხორციელდება სარტყელებისა და კედლის ერთ კვეთში შეპირაპირება. თუმცა, ასეთი პირაპირი მაქსიმალური მღუნავი მომენტის მოქმედების ზონაში ვერ უზრუნველყოფს პირაპირისა და ძირითადი ლითონის თანაბარ სიმტკიცეს. ამის გამო, ყველაზე დაძაბულ ზონებში აწყობენ ხრუკულ ნაკერს – თაროებში კეთდება ირიბი პირაპირული

ნაკერი, რომელიც უზრუნველყოფს შეერთების მაღალ საიმედოობას (ფიგ. 42, ა, ბ). შედუღების დროს, ჯდომის დეფორმაციების გავლენის შესამცირებლად, პირაპირულ ნაკერს აკეთებენ ფიგ. 42, გ-ზე ციფრებით ნაჩვენები თანამიმდევრობით. პირაპირული ნაკერის შედუღების შემდეგ, მის ორივე მხარეს, 500 მმ-ის დაშორებით, თაროებს ადუღებენ კედელთან.

მნიშვნელოვანი მომენტებისა და განივი ძალების მოქმედებისას, ნაგლინ და შედგენილ კოჭებში პირაპირის საიმედოობის გაზრდა შეიძლება მიღწეულ იქნეს ზედა და ქვედა თაროებზე ჰორიზონტალური და კოჭის კედელზე ორმხრივი ვერტიკალური ზესადებების გამოყენებით (ფიგ. 42, დ). ასეთ შემთხვევაში, ზესადების კვეთი და ზესადების თაროსთან მისამაგრებელი ფლანგური შენადუღი ნაკერები გაანგარიშდება S ძალის მიხედვით, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით:

$$S = (M_b - M_w)/z, \tag{52}$$

სადაც M_b არის მთლიანი საანგარიშო მღუნავი მომენტი კოჭის პირაპირში; $M_w = M_b(I_w/I_b)$ – კოჭის კედელში მოქმედი მღუნავი მომენტიც; I_w და I_b - კედლის და კოჭის მთლიანი კვეთის ინერციის მომენტები; z – ზედა და ქვედა თაროების ცენტრებს შორის მანძილი.

ზესადების კოჭის კედელთან მისამაგრებელ ნაკერებს საზღვრავენ შესაბამისად ნაკერის ლითონის და შედნობის საზღვრის ლითონის მიხედვით ფორმულებით:

$$\tau_f = Q/2k_f l_w \leq R_{wf}\,\gamma_{wf}\,\gamma_c, \tag{53}$$

$$\tau_z = Q/2k_f l_w \leq R_{wz}\,\gamma_{wz}\,\gamma_c. \tag{54}$$

კოჭები ეყრდნობა სვეტებს ზემოდან ან უერთდება გვერდიდან. ერთსართულიან სამრეწველო და სამოქალაქო შენობებში უპირატესად გამოიყენება პირველი შემთხვევა, რომლის ვარიანტებიც სვეტის კონსტრუქციული გადაწყვეტიდან გამომდინარე ნაჩვენებია ფიგ. 43-ზე.

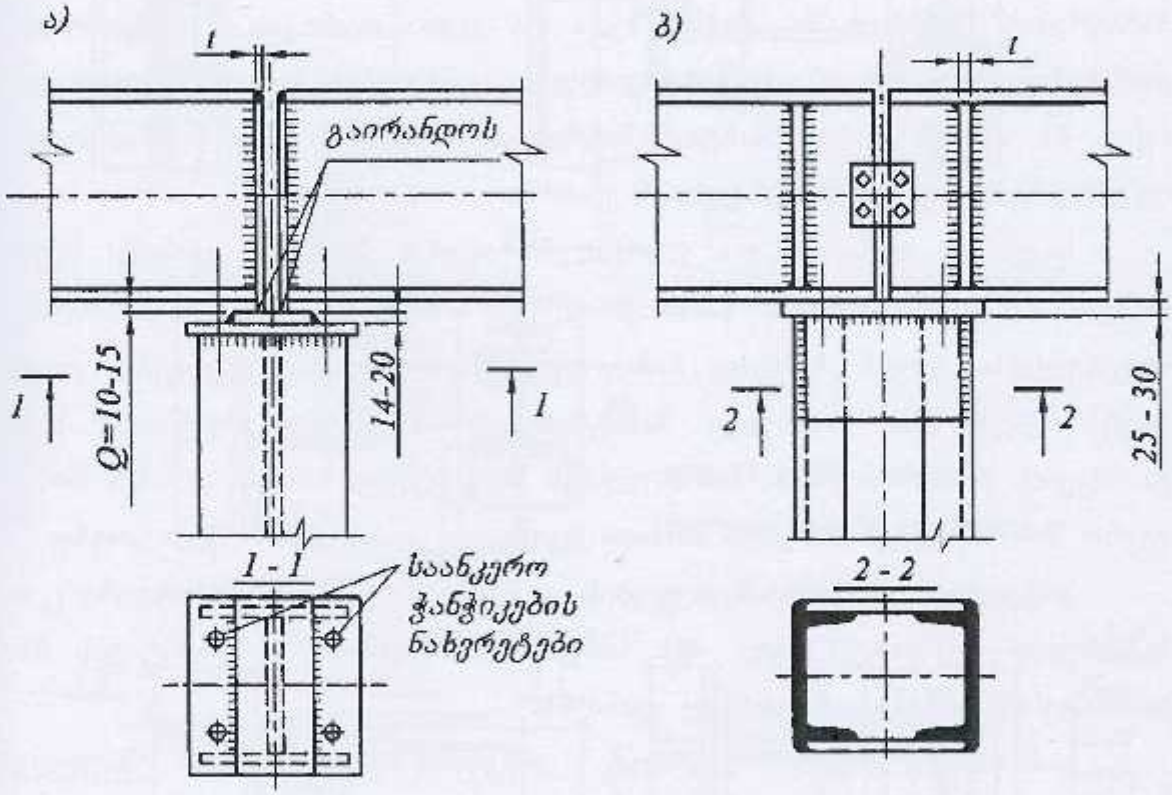
პირველ ვარიანტში (ფიგ. 43, ა) კოჭი სვეტზე ეყრდნობა ვერტიკალური საყრდენი სიხისტის წიბოთი, რომელიც ჩამოშვერილია ქვედა თაროდან 10-15 მმ-ით, თელვის საჭირო ფართობის უზრუნველსაყოფად, სიხისტის საყრდენი წიბოების ტორსები უნდა გაირანდოს. ორშტოიან სვეტზე კოჭების დაყრდნობის შემთხვევაში (ფიგ. 43, ბ) საყრდენი სიხისტის წიბოები

დაშორებულია კოჭის ტორსიდან და ემთხვევა სვეტის შტოების კედლების სიბრტყეებს. ამ შემთხვევაში აუცილებელია საყრდენი სიხისტის წიბოების მორგება და მიდუღება არა მარტო კოჭის კედელზე, არამედ მის თაროებზეც.

დაყრდნობის ასეთ ვარიანტებში საყრდენი რეაქცია გადაეცემა პირობით დგარს, რომელიც შედგება სიხისტის წიბოების კვეთისა და წიბოს ორივე მხრიდან $0.65t\sqrt{E/R_y}$ სიგანის კედლის ზოლისაგან:

$$N \le \left(b_h t_s + 0{,}65t\sqrt{E/R_y}\right)R_p\,, \quad \text{როცა } a \le 1.5t\,, \tag{55}$$

$$N \le \left(b_h t_s + 0{,}65t\sqrt{E/R_y}\right)R_y\,, \quad \text{როცა } a > 1.5t\,. \tag{56}$$



ფიგ. 43. კოჭების დაყრდნობის ვარიანტები სვეტების სათავეზე

სვეტებზე კოჭების გვერდიდან მიერთების შემთხვევაში განასხვავებენ შეუღლების კვანძის სახსრულ და ხისტ გადაწყვეტას. სახსრული დაყრდნობისას ხამაგრება არ ეწინააღმდეგება საყრდენ კვანძში კოჭის თავისუფალ მობრუნებას, რაც განსაზღვრავს კოჭის მუშაობას ერთმალიანი ჭრადი სისტემის სახით (ფიგ. 44).

დანიშნულების მიხედვით კოჭი შეიძლება მიერთდეს ან სვეტის თაროზე (ფიგ. 44, ა, დ, ე), ან სვეტის კედელზე (ფიგ. 44, ბ, გ). კოჭის საყრდენი

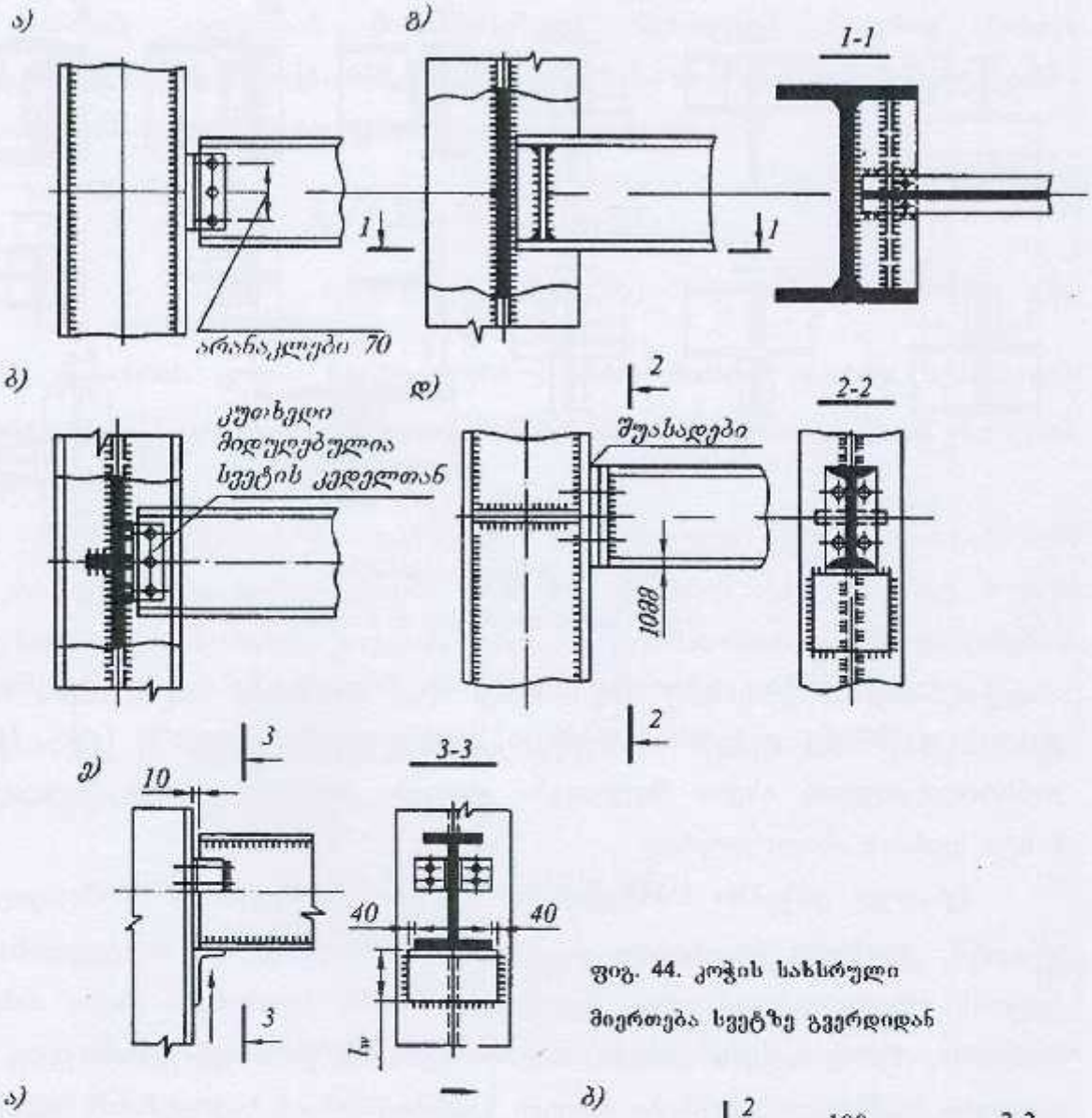
რეაქციის გადაცემა სვეტზე ხორციელდება ჭანჭიკური მილტუჩა შეერთების მეშვეობით (ფიგ. 44, ა, ბ) ან, სვეტის თაროებზე ან კედელზე მიდუღებული, ბრტყელი ფირფიტის ან არათანაბართაროიანი კუთხედის ფორმის საყრდენი მაგიდის დახმარებით (ფიგ. 44, გ, დ, ე). სამუშაოთა მოხერხებულად წარმოებისათვის, უპირატესობა ენიჭება საყრდენი რეაქციის გადაცემას საყრდენი მაგიდის მეშვეობით. საყრდენი მაგიდის სვეტზე მისამაგრებელი შენადული ნაკერების გაანგარიშება წარმოებს (53) და (54) ფორმულებით.

სვეტებზე კოჭებს ხისტად აერთებენ ჩარჩოვანი კარკასის დაპროექტების შემთხვევაში ან მაშინ, როდესაც გადახურვის კოჭი კარკასის ვერტიკალურ კავშირებში ასრულებს გამბჯენი კოჭის ფუნქციასაც (ფიგ. 45). ხისტი ჩამაგრების შემთხვევაში, კოჭის ზედა და ქვედა თაროები ჰორიზონტალური თამასების (ფიგ. 45, ა) ან ვერტიკალური კავშირების საკვანძო ფურცლების (ფიგ. 45, ბ) მეშვეობით ხისტად მაგრდება სვეტებზე, რაც წინააღმდეგობას უწევს კოჭის მობრუნებას საყრდენ კვანძში.

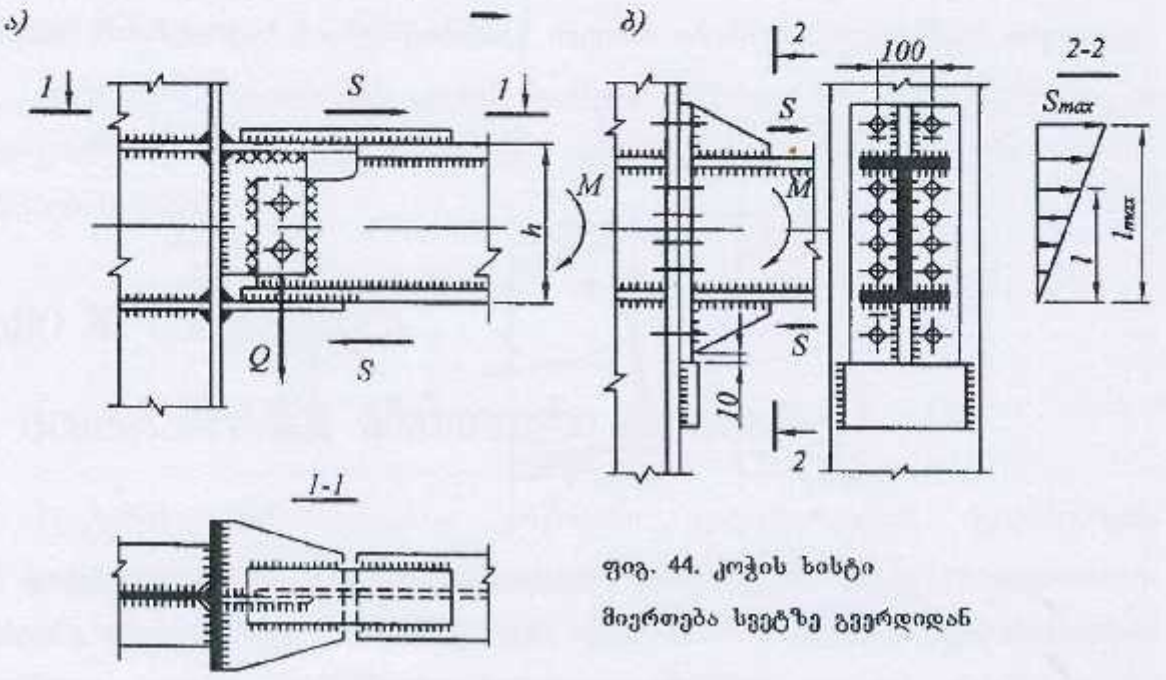
საკვანძო თამასები და ფურცლები იღებენ საყრდენ კვანძში მდუნავი მომენტის მოქმედებისგან წარმოქმნილი $S = M/h$ ძალის ჰორიზონტალურ მდგენელებს. კოჭის ხისტად ჩამაგრების შემთხვევაში, საყრდენი რეაქცია სვეტს გადაეცემა სახრული ჩამაგრებისას საყრდენი რეაქციის სვეტზე გადაცემის ანალოგიურად. სახსრულთან შედარებით, ხისტი კვანძის მოწყობა უფრო შრომატევადია, თუმცა 30%-ით მცირდება ლითონის ხარჯი კოჭზე.

კოჭების ურთიერთშეულლების კვანძები ასევე შეიძლება იყოს სახსრული და ხისტი (ფიგ. 46). სამუშაოთა წარმოების სიმარტივის მხრივ უპირატესობა ენიჭება სახსრულ კვანძებს.

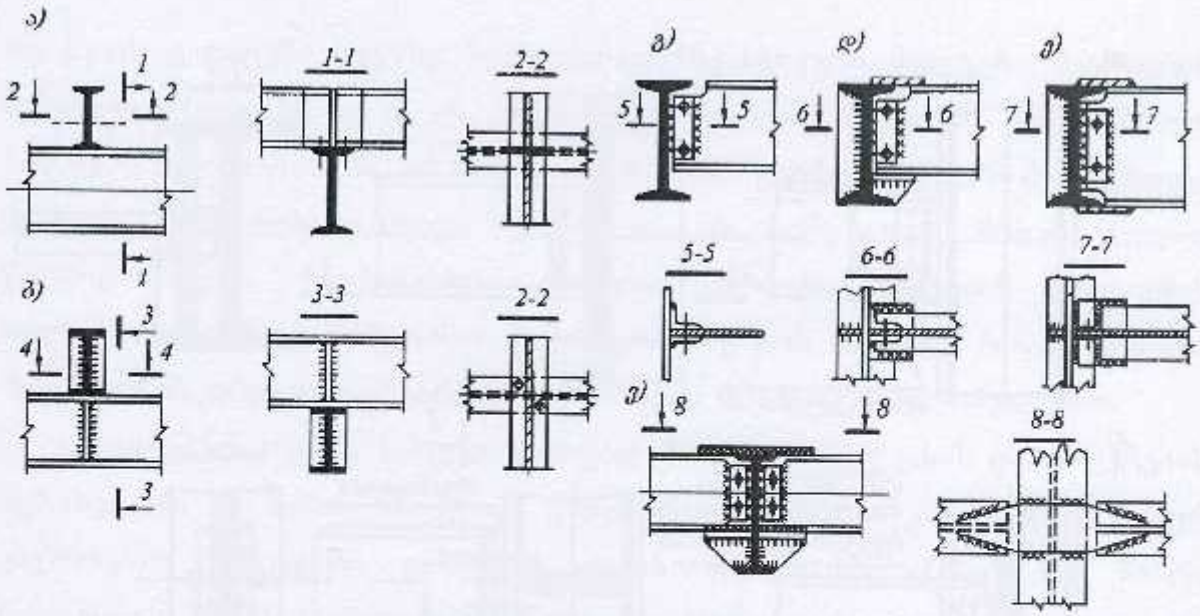
დამხმარე კოჭების მთავარ კოჭებთან ცალმხრივი შეულლების შემთხვევაში (ფიგ. 46, ა-გ), დამხმარე კოჭების ღუნვის შედეგად წარმოიქმნება მთავარი კოჭების გრეხა, რაც უკიდურესად არასასურველია. ამ მოვლენის თავიდან ასაცილებლად, დამხმარე კოჭის საწინააღმდეგო მხარეს აწყობენ სიხისტის წიბოს, ხოლო დამხმარე კოჭის ქვეშ, მთავარი და დამხმარე კოჭების კედელზე და თაროებზე შედუღდება საკვანძო ფურცელი (ფიგ. 46, დ, ე).



ფიგ. 44. კოჭის სახსრული მიერთება სვეტზე გვერდიდან



ფიგ. 44. კოჭის ხისტი მიერთება სვეტზე გვერდიდან

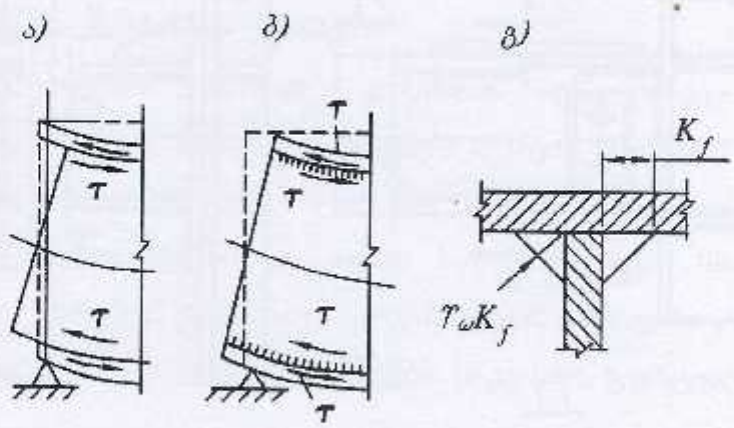


ფიგ. 46. კოჭების კვანძები

ა–გ – სახსრული; დ–ვ – ხისტი.

კოჭების ხისტად ურთიერთშეერთებას, როგორც წესი, აკეთებენ მთავარ კოჭთან დამხმარე კოჭების ორმხრივი მიერთების შემთხვევაში (ფიგ. 46, ვ). კონსტრუქციულად ასეთი შეერთება კეთდება სვეტთან კოჭის შეერთების ხისტი კვანძის ანალოგიურად.

შენადნილ კოჭებში სარტყელების კედელთან შეერთება ხორციელდება უწყვეტი კუთხური ნაკერებით. ნაკერები ეწინააღმდეგება სარტყელისა და კედლის ურთიერთძვრას, რის შედეგადაც მათში აღიძვრება მხები ძაბვები, რომელიც წარმოადგენს განივი ძალის ზემოქმედების ფუნქციას (ფიგ. 47). უდიდესი მნიშვნელობას მხები ძაბვები წარმოიქმნებიან საყრდენთან ახლოს.



ფიგ. 47. კოჭის სარტყელების კედელთან შეერთების გასაანგარიშებლად

ა – ძვრა ღუნვის დროს; ბ – შენადნილი ნაკერზე მოქმედი მხები ძაბვები; გ – კვეთი თაროსა და კედლის პირაპირზე

თაროს კედელთან მისამაგრებელი შენადუღი ნაკერის სისქეს საზღვრავენ ნაკერის ლითონისა და შედნობის საზღვრის ლითონის მუშაობის პირობებიდან გამომდინარე, ფორმულებით:

$$k_{ff} = QS_m/2I_bR_{wf}\gamma_{wf}\gamma_c, \tag{57}$$

$$k_{fz} = QS_m/2I_bR_{wz}\gamma_{wz}\gamma_c, \tag{58}$$

სადაც S_m არის კოჭის ნეიტრალური ღერძის მიმართ თაროს სტატიკური მომენტი; I_b – ნეიტრალური ღერძის მიმართ კოჭის მთლიანი კვეთის ინერციის მომენტი.

ალუმინის შენადნობის დაწნეხილი და შენადუღი კოჭების გაანგარიშება და კონსტრუირება ხორციელდება ფოლადის კოჭების ანალოგიურად. თუმცა, ალუმინის შენადნობების კოჭების დიდი დეფორმადობის გათვალისწინებით, მათი მინიმალური სიმაღლე მეტი უნდა იყოს ვიდრე ფოლადის კოჭებისა, ამიტომ h_{min} და h_{opt} მნიშვნელობები ალუმინის შენადნობის კოჭებისათვის განისაზღვრება ფორმულებით:

$$h_{min} = \left(R_y l_{ef}/3.4 \cdot 10^4\gamma_c\right)[f/l], \tag{59}$$

$$h_{opt} = 1.6\sqrt{W/t}. \tag{60}$$

ალუმინის შენადნობის კოჭების კონსტრუირებისას საჭიროა მიღებული იქნას $h \leq 5b$.

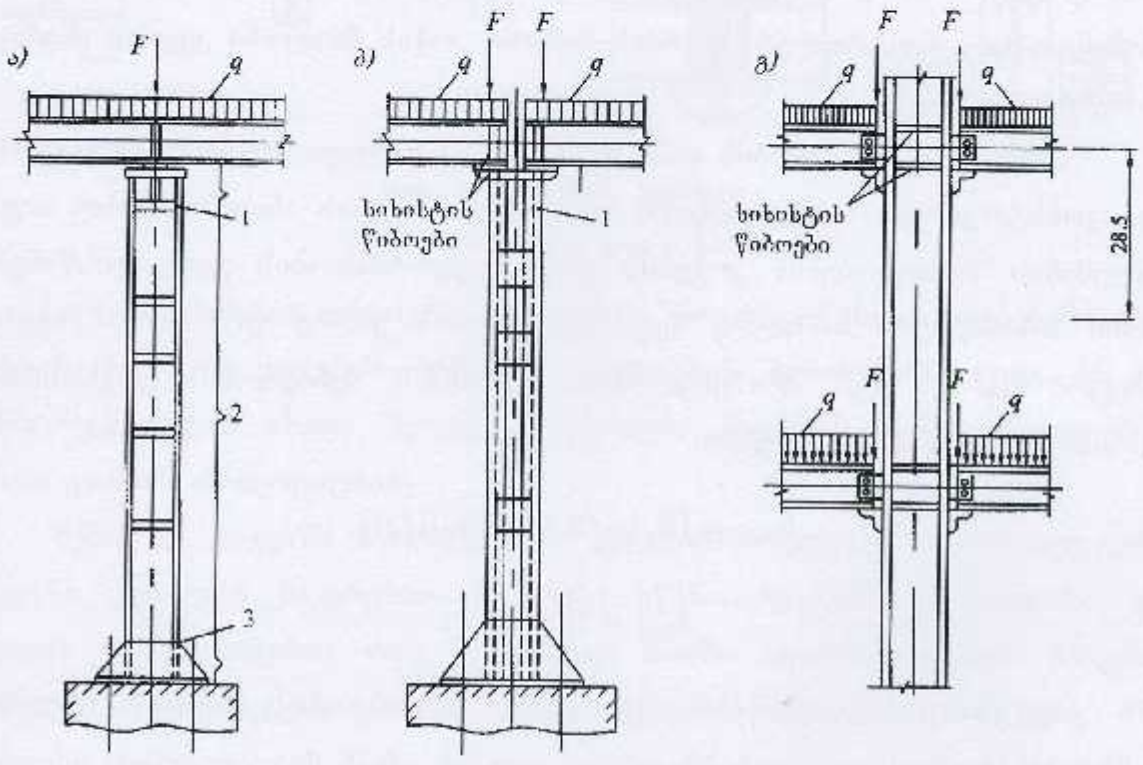
ალუმინის შენადნობის კოჭის საერთო მდგრადობის შემოწმებისას, φ_b კოეფიციენტის მნიშვნელობა აღებული უნდა იქნას სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით.

თავი 4. სვეტები

4.1. ცენტრალურად შეკუმშული სვეტები

სვეტების დანიშნულებაა კოჭოვანი გადახურვიდან, გადახურვის წამწიდან, სამუშაო ბაქნიდან და სხვა კონსტრუქციებიდან დატვირთვის გადაცემა ქვემოთ მდებარე კონსტრუქციაზე ან საძირკველზე. ცენტრალურად შეკუმშულ სვეტში ტოლქმედი მოდებულია სვეტის ღერძის გასწვრივ და

იწვევს საანგარიშო განივი კვეთის ცენტრალურ კუმშვას. ცენტრალურად შეკუმშული სვეტი, ისევე როგორც არაცენტრალურად შეკუმშული სვეტი, შედგება სამი ძირითადი ნაწილისაგან: სათავის, ღეროსა და ბაზისაგან (ფიგ. 48). ცენტრალურად შეკუმშული სვეტი გამოიყენება ერთსართულიან (ფიგ. 48, ა, ბ) და მრავალსართულიან (ფიგ. 48, გ) სამოქალაქო და სამრეწველო შენობებში, როდესაც ჰორიზონტალური ძალები აითვისება ვერტიკალური კავშირის სისტემით.

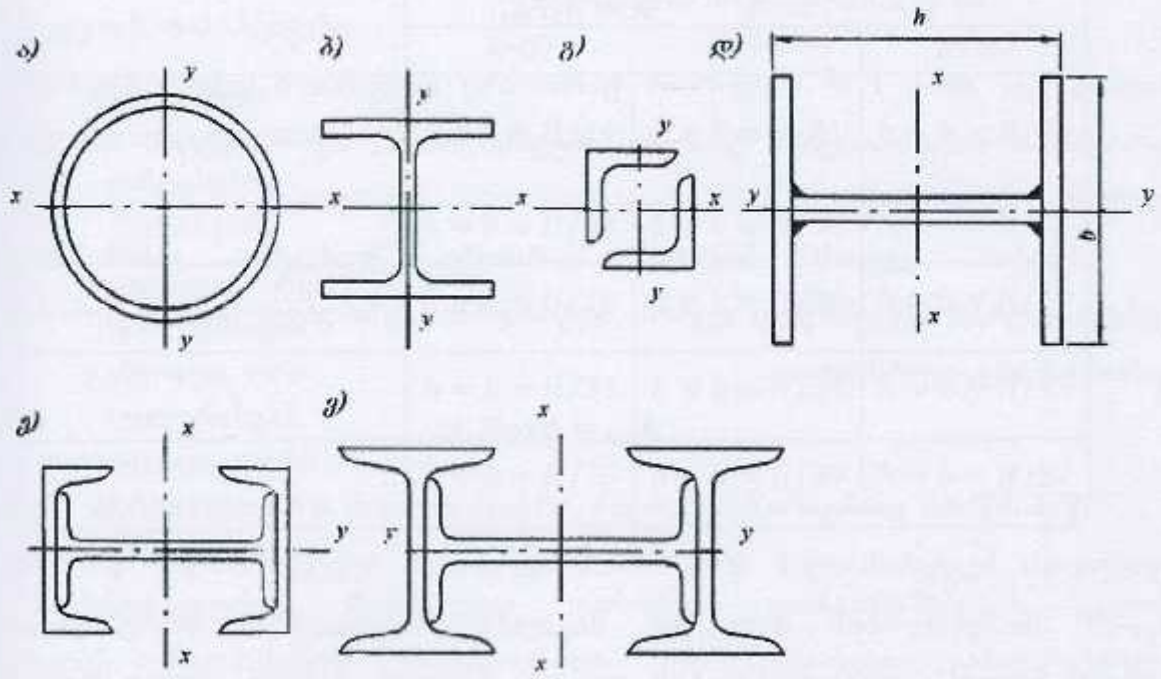


ფიგ. 48. ცენტრალურად შეკუმშული სვეტები

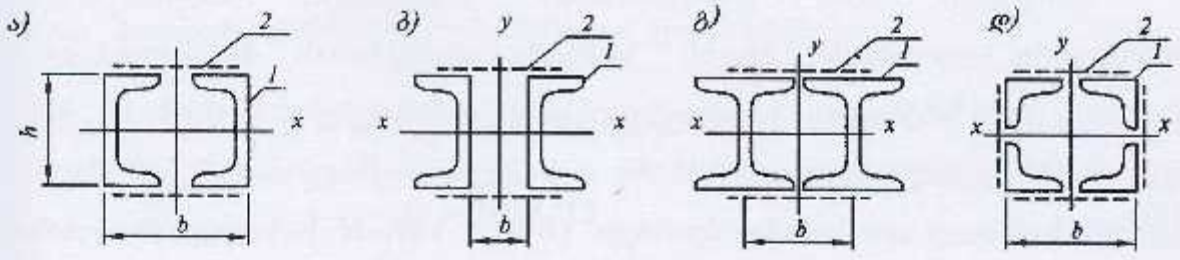
ა – მთლიანკედლიანი; ბ – გამჭოლკედლიანი; გ – მთლიანკედლიანი მრავალსართულიან შენობაში; 1 – სათავე; 2 – ღერო; 3 – ბაზა

კვეთის მიხედვით არჩევენ მთლიანკედლიან სვეტებს, რომლებიც შედგება ნაგლინი ორტესებრი, მილოვანი ან სხვადასხვა ღია პროფილის კომბინაციებისაგან (ფიგ. 49), და გამჭოლ სვეტებს, რომლებიც შედგება ერთმანეთთან თამასებით ან, კუთხედებით ან შველერებით შედგენილი გისოსებით შეერთებული ორი ან ოთხი შტოსაგან (ფიგ. 50). შტოების თამასებით შეერთება გამოიყენება მაშინ, როდესაც შტოების ღერძებს შორის მანძილი არ აღემატება 500-600 მმ-ს. მუტი დაშორების შემთხვევაში თამასები

გამოდის მძიმე, ამის გამო მიზანშეწონილია გამოყენებული იქნეს ცალკეული კუთხედებით შედგენილი გისოსი.



ფიგ. 49. ცენტრალურად შეკუმშული მთლიანკედლიანი სვეტების კვეთის ტიპები



ფიგ. 50. ცენტრალურად შეკუმშული გამჭოლკედლიანი სვეტების კვეთის ტიპები
1 – კვეთი; *2* – გისოსი.

მხოლოდ ბოლოებით დამაგრებული ცენტრალურად შეკუმშული სვეტების დაპროექტებისას ცდილობენ უზრუნველყოფილი იქნეს მათი თანაბარი მდგრადობა კვეთის ინერციის მთავარი *x-x* და *y-y* ღერძების მიმართ. აქედან გამომდინარე, შედარებით დაბალი სვეტებისთვის კვეთების ყველაზე რაციონალური ფორმებია: ფართოთაროებიანი ორტესებრი, მილი და სამი ფურცლისაგან შედგენილი შენადული ორტესებრი კვეთი. დიდი სიგრძისა და მცირე დატვირთვების შემთხვევაში, მასალის ხარჯის მიხედვით, გამჭოლი სვეტები უფრო ეფექტურია, ვიდრე მთლიანკედლიანი, მაგრამ გაიზრდება შესაულებელი კოჭების დამაგრება.

ცენტრალურად შეკუმშული სვეტის გაანგარიშება იწყება საანგარიშო გრძივი ძალის განსაზღვრით

$$N = A_3 F_{tot}, \tag{61}$$

სადაც, F_{tot} არის 1 მ^2 სატვირთო ფართობზე დაყვანილი ყველა მუდმივი და დროებითი დატვირთვების ჯამური ინტენსიურობა; A_3 – სვეტის სატვირთო ფართობი.

სვეტის კვეთის საჭირო ფართობი შეიძლება განისაზღვროს ცენტრალურად შეკუმშული ღეროს მდგრადობის უზრუნველყოფის პირობიდან გამომდინარე, ფორმულით:

$$A_{cal} = N/\varphi R_y \gamma_c. \tag{62}$$

წინასწარი გაანგარიშებისათვის გრძივი ღუნვის φ კოეფიციენტს იღებენ: ფოლადის სვეტებისათვის φ=0.75-0.85, ალუმინის სვეტებისათვის φ=0.6-0.75. A_{cal}-ის მნიშვნელობის მიხედვით, ნაგლინი პროფილების სორტამენტიდან ირჩევენ მთლიანკედლიანი სვეტის ღეროს, რომლის განივი კვეთის ფართობი $A \geq A_{cal}$.

ფოლადის სამი ფურცლისაგან შედგენილი მთლიანკედლიანი ორტესებრი ღეროების კვეთის ზომების დადგენისას ხელმძღვანელობენ შემდეგი მოსაზრებებით: სარტყელებისთვის გამოიყენება t_f =8-40 მმ სისქის ფურცლები, კედლისათვის t_w=6-16 მმ; დასაშვები მოქნილობიდან გამომდინარე, კვეთის სიმაღლე და სიგანე შეირჩევა (1/14 – 1/29) H საზღვრებში (ცხრილი 23). მნიშვნელოვანი გრძივი ძალების დროს რეკომენდებულია სვეტის მოქნილობა შეირჩეს λ = 60-90 საზღვრებში, მაგრამ არაუმეტეს 120-ისა (სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით).

კვეთის დანიშნულების შემდეგ ისაზღვრება მისი ფაქტიური გეომეტრიული მახასიათებლები: A, i_x, i_y, λ_x, λ_y, φ_x, φ_y, ხოლო შემდეგ φ_x და φ_y-დან განისაზღვრება φ_{min}-ს მნიშვნელობა. კვეთი ითვლება შერჩეულად, თუ მე-(10) ფორმულით ძაბვების შემოწმების შედეგად არ გამოვლინდება გადაძაბვა, ხოლო დაუძაბავობა არ აღემატება 5%-ს შუნაწული და კომბინირებული პროფილებისთვის ან თუ შესაძლებელი არ არის მისი შემცირება ნაგლინი პროფილების სორტამენტის ფარგლებში.

სვეტების მიახლოებითი გაბარიტები

კვეთის დასახელება	გაბარიტები მოქნილობისას, მმ		
	λ=60	λ=90	λ=120
შენადუღი ფართოთაროებიანი ორტესებრი	$h \approx b \approx H/14$	$h \approx b \approx H/21$	$h \approx b \approx H/29$
მილისებრი	$h \approx b \approx H/21$	$h \approx b \approx H/31$	$h \approx b \approx H/42$
ჩაკეტილი, ორი კუთხედისაგან	$h \approx b \approx H/24$	$h \approx b \approx H/36$	$h \approx b \approx H/48$
გამჭოლი, ორი შველერისგან	$h \approx b \approx H/23$	$h \approx b \approx H/34$	$h \approx b \approx H/45$
გამჭოლი, ოთხი კუთხედისაგან	$h \approx b \approx H/26$	$h \approx h \approx H/39$	$h \approx b \approx H/52$

ცენტრალურად შეკუმშული ღეროების გაანგარიშებისას კვეთის ინერციის რადიუსების მიახლოებითი მნიშვნელობები განისაზღვრება ცხრ. 24-ის მიხედვით.

შენადუღი ორტესებრი კვეთის ინერციის მომენტები მთავარი ღერძების მიმართ შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი ფორმულებით:

$$I_x = (t_w h_w^3/12) + 2A_f\left(h_w/2 + t_f/2\right)^2, \tag{63}$$

$$I_y = 2t_f b_f^3/12\,. \tag{64}$$

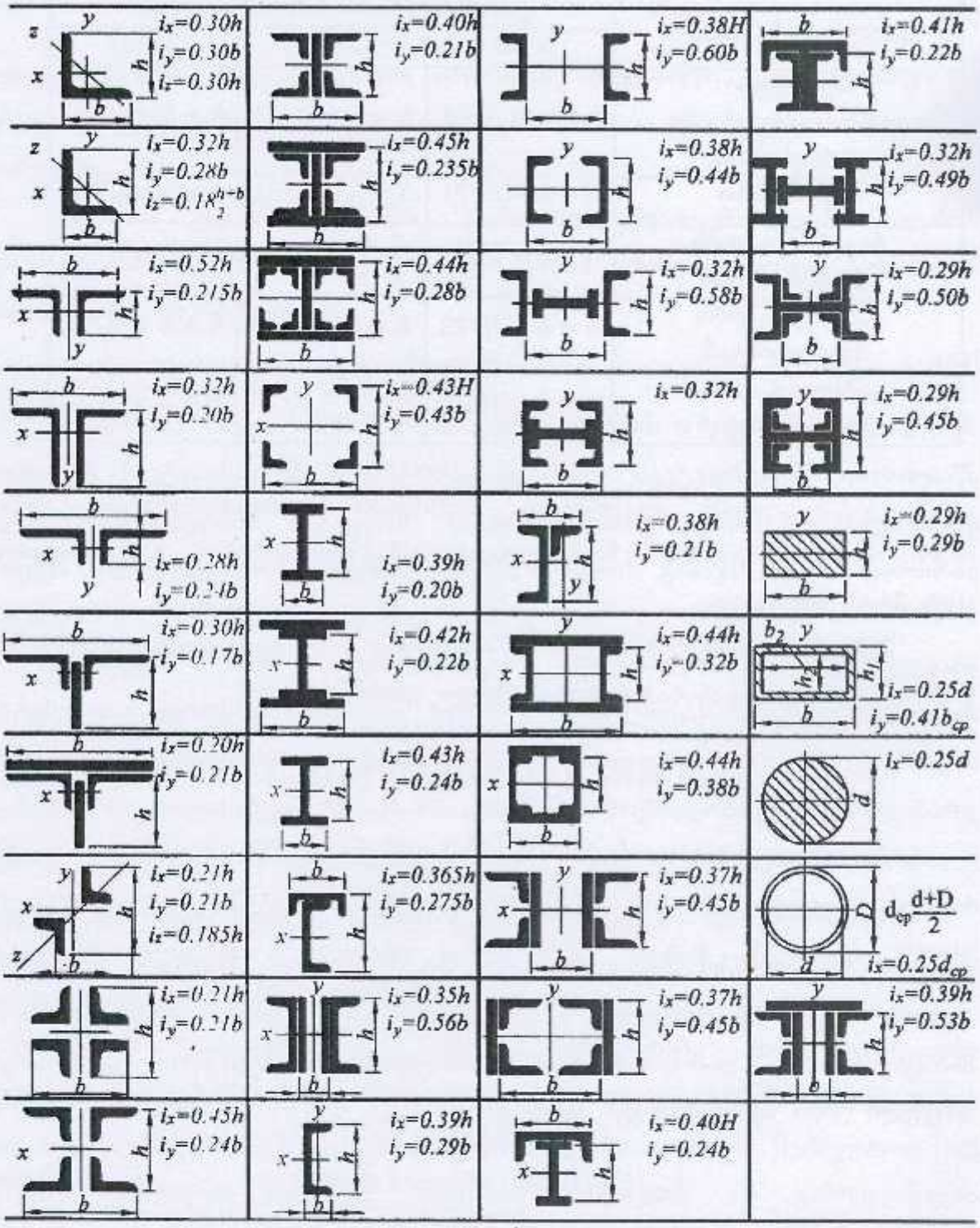
ცენტრალურად შეკუმშული სვეტებისთვის აგრეთვე უნდა შესრულდეს კედლის საანგარიშო სიმაღლისა h_{ef} და სისქის t. ზღვრული ფარდობის პირობა (51)-ე ფორმულით განსაზღვრული პირობითი მოქნილობის $\bar{\lambda}$ მნიშვნელობაზე დამოკიდებულების მიხედვით. ორტესებრი კვეთისთვის დაცული უნდა იყოს შემდეგი პირობები:

$$h_{ef}/t = \sqrt{E/R_y}\,, \text{ როცა } \bar{\lambda} \le 0.8\,; \tag{65}$$

$h_{ef}/t = \left(0.36 + 0.8\bar{\lambda}\right)\sqrt{E/R_y}$, მაგრამ არა უმეტეს $2\sqrt{E/R_y}$, როცა $\bar{\lambda} > 0{,}8$. (66)

სხვა ტიპის კვეთებისთვის h_{ef} განისაზღვრება სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით.

კვეთის ინერციის რადიუსების მიახლოებითი მნიშვნელობები



გამჭოლი ღეროების მდგრადობაზე გაანგარიშება წარმოებს (62)-ე ფორმულით, იმ პირობით, რომ გრძივი ღუნვის კოეფიციენტების მნიშვნელობები განისაზღვრება (67), (68) და (69) ფორმულებით პირობითი

დაყვანილი მოქნილობის $\bar{\lambda}_{ef} = \lambda_{ef}\sqrt{R_y/E}$ მნიშვნელობაზე (განისაზღვრება სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით) დამოკიდებულებით:

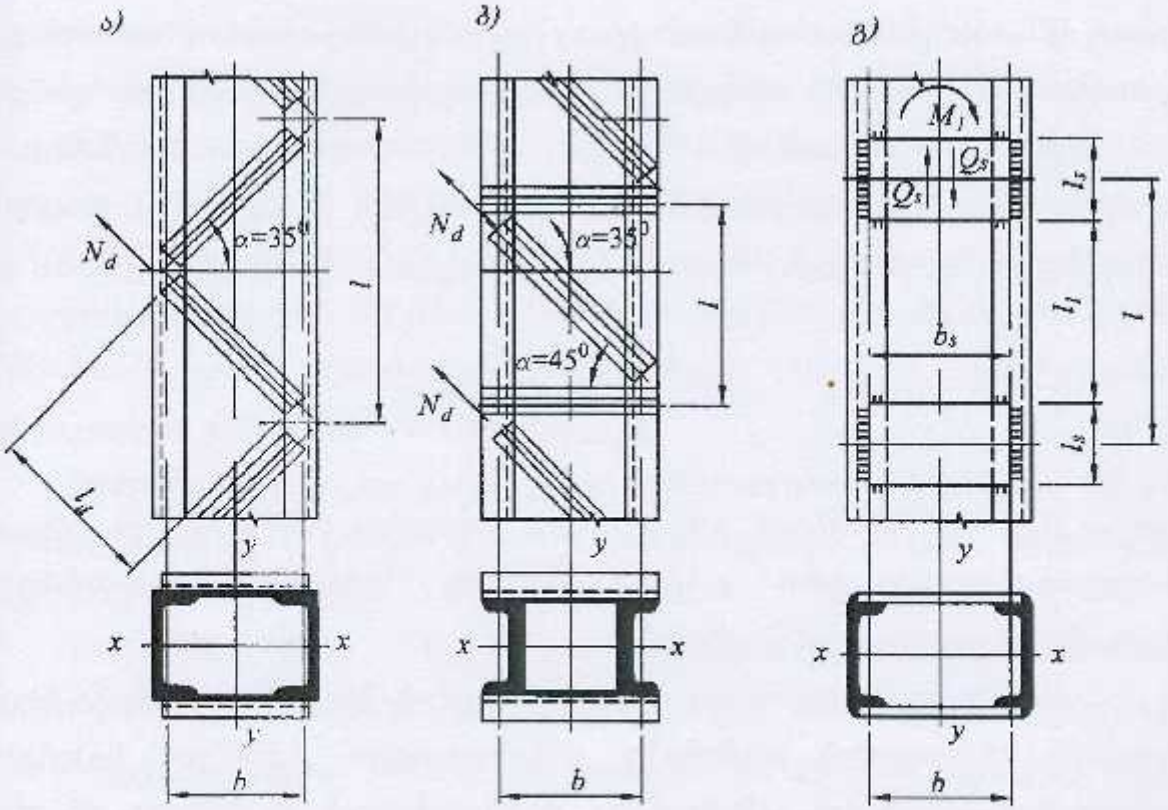
$$\varphi = 1 - (0.073 - 5.53R_y/E)\,\bar{\lambda}_{ef}\sqrt{\bar{\lambda}_{ef}}, \quad \text{როცა} \quad 0 < \bar{\lambda}_{ef} \le 2{,}5; \tag{67}$$

$$\varphi = 1.47 - 13\,R_y/E - (0.0371 - 27.3\,R_y/E)\,\bar{\lambda}_{ef} + (0.0275 - 5.53\,R_y/E)\bar{\lambda}^2_{ef}, \tag{68}$$

$$\text{როცა} \quad 2.5 < \bar{\lambda}_{ef} \le 4.5;$$

$$\varphi = 332/\bar{\lambda}^2_{ef}(51 - \bar{\lambda}_{ef}), \quad \text{როცა} \quad \bar{\lambda}_{ef} > 4.5. \tag{69}$$

გამჭოლი სვეტების თამასები და გისოსები უზრუნველყოფს ყველა შტოს ერთობლივ მუშაობას და მთლიანობაში სვეტის ღეროს სიხისტის მნიშვნელოვან გაზრდას. გისოსებიანი გამჭოლი სვეტების კონსტრუირებისას (ფიგ. 51, ა, ბ) კვანძებს შორის ცალკეული შტოების მოქნილობა არ უნდა აღემატებოდეს 80-ს და მთლიანი ღეროს $\bar{\lambda}_{ef}$-ის მნიშვნელობას. თამასებიან შედგენილ ღეროებში (ფიგ. 51, გ), თამასებს შორის უბნებში ცალკეული შტოების მოქნილობა არ უნდა აღემატებოდეს 40-ს.



ფიგ. 51. გამჭოლი სვეტების გისოსების ტიპები

ა – სამკუთხა; ბ – ირიბანული; გ – თამასებით

შემაერთებელი გისოსის ან თამასების გაანგარიშება წარმოებს პირობით განივ ძალაზე Q_{fic}, რომელიც მიიჩნევა მუდმივად ღეროს მთელ სიგრძეზე და განისაზღვრება ემპირიული ფორმულით:

$$Q_{fic} = 7.15 \cdot 10^{-6} AE\beta\left[\left(2330 R_y/E\right) - 1\right], \tag{70}$$

სადაც β არის კოეფიციენტი, რომელიც φ_{min}/φ ან $\sigma/\varphi R_y$ ფარდობებიდან ნაკლები მნიშვნელობის ტოლია; φ – კოეფიციენტი, რომელიც შედგენილი ღეროსთვის აიღება შემაერთებელი ელემენტების სიბრტყეში; φ_{min} – შემაერთებელი ელემენტის სიბრტყეში ან მის მართობულ სიბრტყეში გრძივი ღუნვის კოეფიციენტების ნაკლები მნიშვნელობა; $\sigma=N/A$ – კუმშვის ძაბვა ელემენტში.

შემაერთებელი გისოსების გაანგარიშება წარმოებს წამწეების ელემენტების გაანგარიშების ანალოგიურად, სადაც ირიბანაში ძალა შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

$$N_d = Q_{fic}/\cos\alpha n, \tag{71}$$

სადაც α არის გისოსის დახრის კუთხე კვეთის განივი ღერძის მიმართ; n – გისოსების ელემენტების რაოდენობა, რომლებიც განლაგებულია ერთ დონეზე.

შემაერთებელი თამასების გაანგარიშება წარმოებს უირიბნო წამწეების გაანგარიშების ანალოგიურად თამასის გადამჭრელი F ძალის და მომენტის M_1 მოქმედებაზე, რომელიც თამასას ღუნავს საკუთარ სიბრტყეში (ფიგ. 51, გ):

$$F = Q_s l/b, \tag{72}$$

$$M_1 = Q_s l/2, \tag{73}$$

სადაც Q_s არის პირობითი განივი ძალა, რომელიც განისაზღვრება Q_{fic}-ის მიხედვით ღეროს ერთ დონეზე მდებარე შემაერთებელი თამასების რაოდენობაზე დამოკიდებულებით.

გისოსის კუთხედებისა და თამასების სვეტის შტოებზე გადაყვანა ხდება ნაგლინი პროფილების თაროებზე დასამაგრებელი შენადუღი ნაკერების განლაგების პირობიდან გამომდინარე. თამასებისათვის ეს სიდიდე არ უნდა იყოს 20-30 მმ-ზე ნაკლები.

4.2. არაცენტრალურად შეკუმშული სვეტები

არაცენტრალურად შეკუმშულად ითვლება სვეტი, რომლის საანგარიშო კვეთში მოქმედებს გრძივი ძალა N და მღუნავი მომენტი M. ასეთი სვეტები ფართოდ გამოიყენება კარკასულ სამრეწველო შენობებში.

დეროს კონსტრუქციული გადაწყვეტიდან გამომდინარე განასხვავებენ არაცენტრალურად შეკუმშული სვეტების სამ ტიპს:

1. მუდმივკვეთიანი (ფიგ. 52, ა) (კონსოლით ამწისქვეშა კოჭისათვის), რომელიც გამოიყენება მაშინ, როდესაც ფერმის ქვედა სარტყელამდე სიმაღლე არ აღემატება 12 მ-ს და ხიდური ამწის ტვირთამწეობა არა აღემატება 20 ტ-ს;

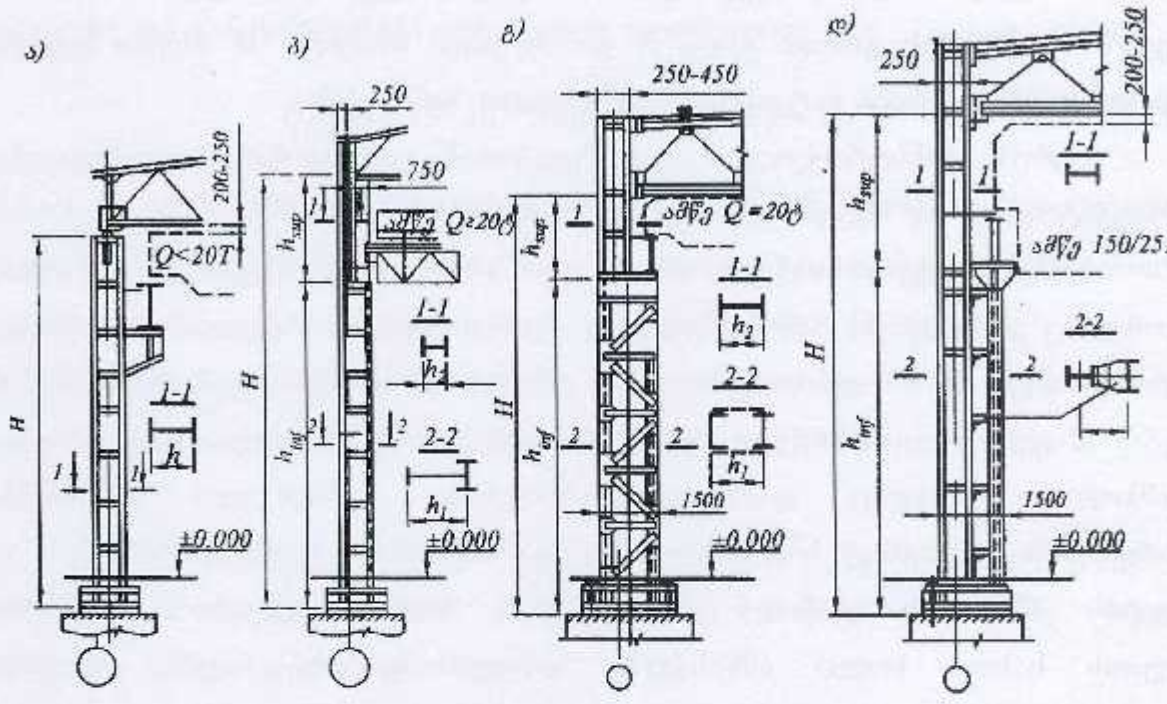
2. ცვლადკვეთიანი (ფიგ. 52, ბ, გ) (საფეხუროვანი), მთლიანკედლიანი და გამჭოლი, რომელიც ფართოდ გამოიყენება სამრეწველო შენობების კარკასებში, როდესაც ხიდური ამწის ტვირთამწეობა აღემატება 20 ტ-ს. ამ სვეტის ამწისზედა ნაწილს აპროექტებენ მთლიანკედლიანი ორტესებრი კვეთის სახით, ხოლო ამწისქვეშა ნაწილი შეიძლება იყოს, როგორც მთლიანკედლიანი ისე კუთხედებისაგან შედგენილი გამჭოლი გისოსის სახის;

3. განცალკევებული ტიპის (ფიგ. 52, დ), რომელიც გამოიყენება მძიმე რეჟიმის საამქროებში, როდესაც ამწის ტვირთამწეობა აღემატება 150 ტონას და სიმაღლე 20 მეტრამდეა. ასეთ სვეტებში შტოები ერთმანეთთან დაკავშირებულია ვერტიკალურ სიბრტყეში მოქნილი თამასებით, რის შედეგადაც თითოეული შტო ასრულებს დამოუკიდებელ ფუნქციას: ძირითადი შტო მუშაობს განივი ჩარჩოს სისტემაში და იღებს დატვირთვას გადახურვის, კედლებისა და ხიდური ამწეების განივი ზემოქმედებისაგან; ამწისქვეშა დგარი მუშაობს, როგორც ცენტრალურად შეკუმშული (მხოლოდ ხიდური ამწის ვერტიკალური დატვირთვის მოქმედებისაგან).

მთლიანკედლიანი და გამჭოლი არაცენტრალურად შეკუმშული სვეტის ამწისქვეშა ნაწილის განივი კვეთის დამახასიათებელი ტიპები მოყვანილია ფიგ. 53-ზე.

არაცენტრალურად შეკუმშული სვეტების დაპროექტებისას მათ გაბარიტებს წინასწარ ნიშნავენ კონსტრუქციული მოსაზრებით. სხვადასხვა ტიპის სვეტების კვეთის სიმაღლე h შეიძლება მიახლოებით შეირჩეულ იქნას ცხრ. 25-ის მიხედვით. მთლიანი კვეთები უფრო ხისტია ვიდრე გამჭოლი, ისინი უფრო ადვილი დასამზადებელია, თუმცა მათი გამოყენება რეკომენდებულია,

როდესაც კვეთის სიმაღლე h არ აღემატება 1.2 მ-ს. მეტი სიმაღლის დროს მათი გამოყენება ეკონომიკურად მიზანშეწონილი არ არის.

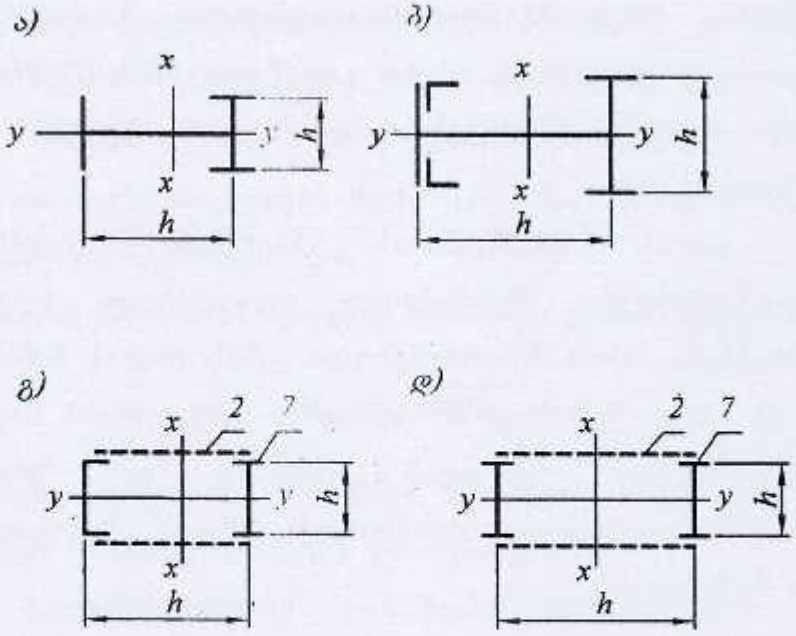


ფიგ. 52. სამრეწველო შენობების არაცენტრალურად შეკუმშული სვეტების ძირითადი ტიპები

ა – მთლიანკედლიანი მუდმივი კვეთის; ბ – მთლიანკედლიანი საფეხუროვანი;
გ – გამჭოლი საფეხუროვანი; დ – გამჭოლი განცალკევებული;

სვეტების სიმაღლე ასევე განისაზღვრება კონსტრუქციულად ტექნოლოგიური მოწყობილობის სიმაღლის გათვალისწინებით, საძირკვლის ჩადგმის სიღრმით, ხიდური ამწეების გაბარიტებით და ამწის ზედა გაბარიტსა და გადახურვის კონსტრუქციის ძირს შორის მანძილით, რომელიც ჩვეულებრივ მიიღება 200-250 მმ.

არაცენტრალურად შეკუმშულ სვეტებს ანგარიშობენ შენობის განივი კარკასის სისტემაში მათი მუშაობის გათვალისწინებით. საანგარიშო ძალვები სვეტებში განისაზღვრება კომპიუტერული პროგრამის მეშვეობით, რომელიც საშუალებას იძლევა გათვალისწინებული იქნას ძალვების სხვადასხვა კომბინაციები კარკასის ელემენტებში (იხ. პ. 6.3). არაცენტრალურად შეკუმშული სვეტების მოქნილობა ინიშნება ცენტრალურად შეკუმშული სვეტების ანალოგიურად. საანგარიშო გრძივი ძალისა და მღუნავი მომენტის განსაზღვრის შემდეგ, ხორციელდება კვეთების გაანგარიშება (16), (17), (18), (21) ფორმულებით.



ფიგ. 53. საფეხუროვანი სვეტების ამწისქვეშა ნაწილის კვეთის ტიპები

ა, ბ – მთლიანკედლიანი; *გ, დ* – გამჭოლი; *1* – კვეთი; *2* – გისოსი.

ცხრილი 25

სვეტის ამწისზედა და ამწისძვეშა ნაწილების სიბრძეებსა და კვეთის სიმაღლეს შორის მინიმალური თანაფარდობები

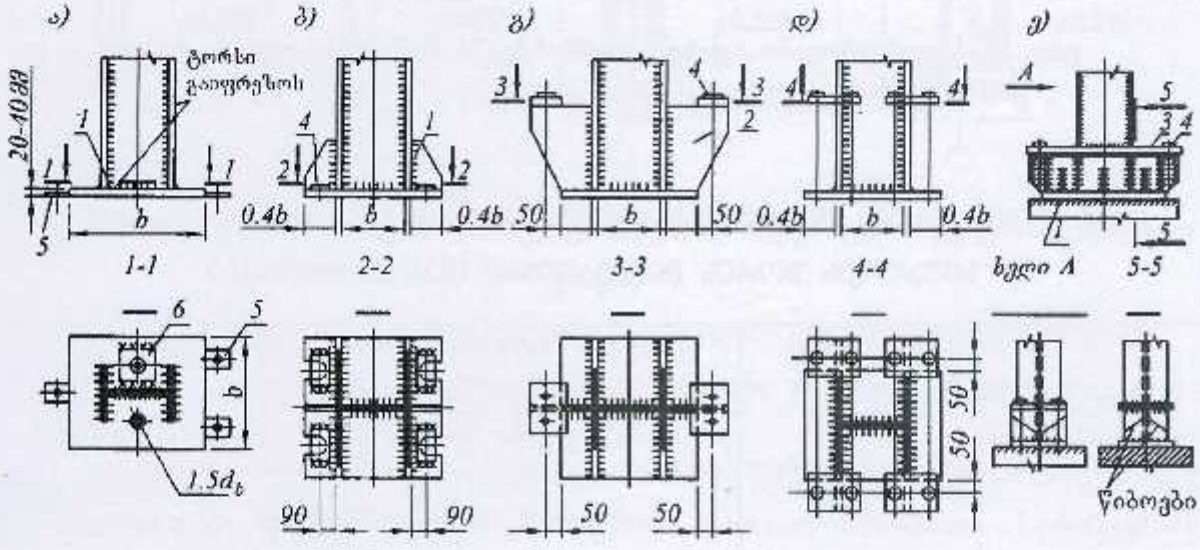
l, l_1, l_2, მ	მუდმივი კვეთის სვეტები h/l	ცვლადი კვეთისა და განცალკევებადი ტიპის სვეტები		
		ამწისქვეშა ნაწილი h_1/l_1		ამწისზედა ნაწილი h_2/l_2
		მთლიანი	გამჭოლი	
10-12-მდე	1/15	1/10-1/14	1/9-1/12	1/8-1/12
15-20	1/18	1/12-1/16	1/11-1/14	
25-30	1/20	1/15-1/20	1/13-1/17	

4.3. ერთშტოიანი და ორშტოიანი სვეტის ბაზა

ბაზა ეწოდება სვეტის საყრდენ ნაწილს, რომელიც სვეტში ადძრულ ძალას გადასცემს საძირკველს. ბაზის კონსტრუქციული გადაწყვეტა დამოკიდებულია სვეტის ტიპზე და საძირკველში ჩამაგრების ხასიათზე (სახსრული ან ხისტი). განასხვავებენ ცენტრალურად (ფიგ. 54, ა, ბ, გ) და არაცენტრალურად (ფიგ. 54, დ, ე) შეკუმშული ერთშტოიანი სვეტის ბაზებს.

უმარტივესი ბაზა შედგება ღეროს დაფრეზულ ტორსზე მიდუღებული საყრდენი ფილისგან (ფიგ. 54, ა). ასეთი გადაწყვეტა მიზანშეწონილია სვეტში მცირე გრძივი ძალის მოქმედების დროს და სვეტის ფუნდამენტზე სახსრულად ჩამაგრებისას.

გრძივი ძალის გადიდებისას საყრდენი ფილის ფართობი მნიშვნელოვნად იზრდება, შესაბამისად, აუცილებელი ხდება სიხისტის წიბოების გამოყენება, რათა შენარჩუნებული იქნას ფილის მინიმალური სისქე (ფიგ. 54, ბ, გ). ასეთ შემთხვევაში ტრავერსა ემსახურება ძალვების უფრო თანაბარ განაწილებას სვეტიდან ფილაზე და ზრდის ფილის მზიდუნარიანობას სამრკეცის რეაქტიული წნევის შედეგად გამოწვეულ ღუნვაზე მისი მუშაობისას.



ფიგ. 54. ერთშტოიანი სვეტების ბაზების ტიპები

ა – ცენტრალურად შეკუმშული, ღეროს დაფრეზული ტორსით;
ბ, გ – ცენტრალურად შეკუმშული, ძალას გადაეცემა შენადული ნაკერების მეშვეობით; *დ, ე* – არაცენტრალურად შეკუმშული; *1* – საყრდენი ფილა; *2* – სიხისტის წიბო; *3* – ტრავერსას ფურცელი; *4* – საანკერო ჭანჭიკები; *5* – საყენებელი ყუნწები ხრახნებით; *6* – საყელური

საყრდენი ფილის ფართობი A_{pl} უზრუნველყოფს დატვირთვის გადაცემას სვეტიდან ფუნდამენტზე და განისაზღვრება ფორმულით:

$$A_{pl} = N/\gamma R_b, \tag{74}$$

სადაც N არის საანგარიშო გრძივი ძალა სვეტში ბაზის დონეზე; R_b – ბეტონის საანგარიშო წინაღობა ღერძულ კუმშვაზე, რომელიც პირველი

ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისათვის, M150, M200 და M300 ბეტონის მარკებისათვის შესაბამისად აიღება 6.5, 8 და 13 მპა; γ – R_b-ს გაზრდის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია საძირკვლის ზედა თაროს ფართობის A_f და საყრდენი ფილის მუშა ფართობის ფარდობაზე $\gamma = \sqrt[3]{A_f/A_{pl}}$, მაგრამ არ უნდა აღემატებოდეს 1.5-ს.

ბაზის საყრდენი ფილის სისქე t_{pl} შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

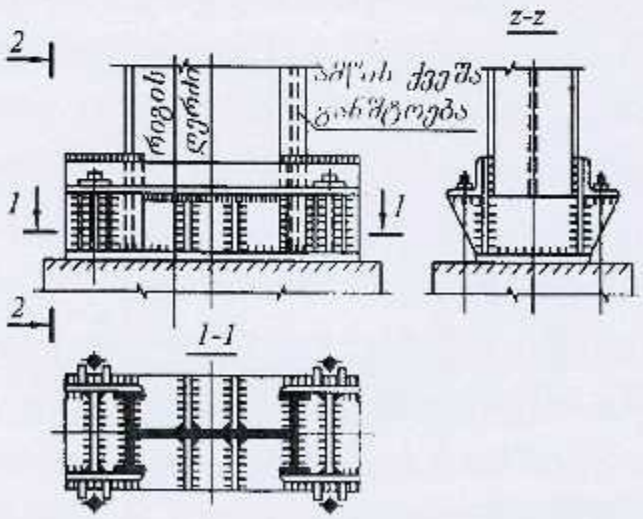
$$t_{pl} = \sqrt{6M/R_y}, \tag{75}$$

სადაც M არის საანგარიშო მღუნავი მომენტი (1 სმ სიგანის ზოლზე) საყრდენი ფილის უბნებზე სიხისტის წიბოებს შორის.

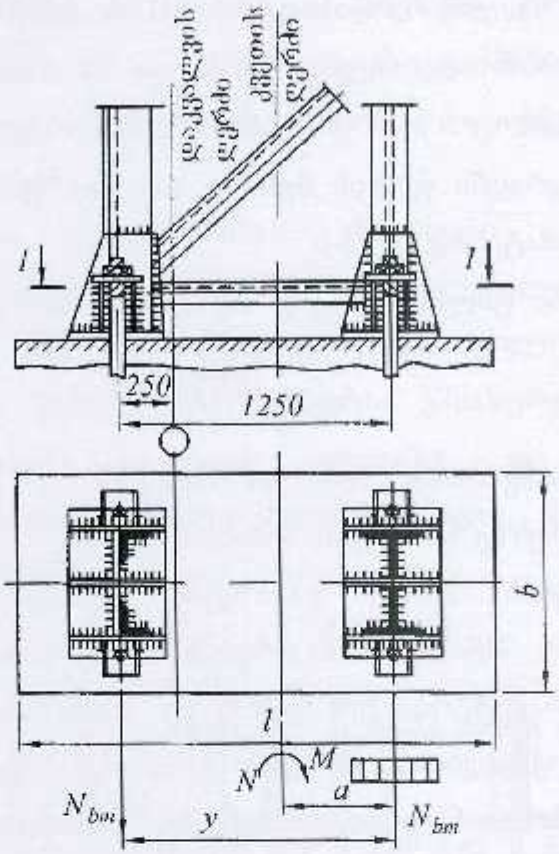
მცირე ძალვების დროს დასაშვებია ტრავერსების დაპროექტება სვეტიდან ტრავერსზე შენადუღი ნაკერების მეშვეობით ძალვის გადაცემით (ფიგ. 54, ბ, გ). არაცენტრალურ კუმშვაზე მომუშავე სვეტებში აწყობენ მღუნავი მომენტის მოქმედების სიბრტყეში განვითარებულ ხისტ ბაზებს.

ერთშტოიან მთლიანკედლიან სვეტში, მცირე მღუნავი მომენტის მოქმედებისას, გამოიყენება 10-12 მმ სისქის ფურცლების ერთკედლიანი ღია ქუსლი (ფიგ. 54, ე), რომელიც ხელსაყრელია სამუშაოთა წარმოებისას.

ორშტოიანი მთლიანკედლიანი სვეტისთვის გამოიყენება განცალკევებულტრავერსიანი ქუსლი, რომელსაც აქვს ერთი საყრდენი ფურცელი (ფიგ. 55), ხოლო განცალკევებულშტოიანი სვეტებისთვის გამოიყენება ორი დამოუკიდებელი ქუსლისაგან შედგენილი ბაზა (ფიგ. 56).



ფიგ. 55. მთლიანკედლიანი სვეტის ქუსლი განცალკევებული ტრავერსით



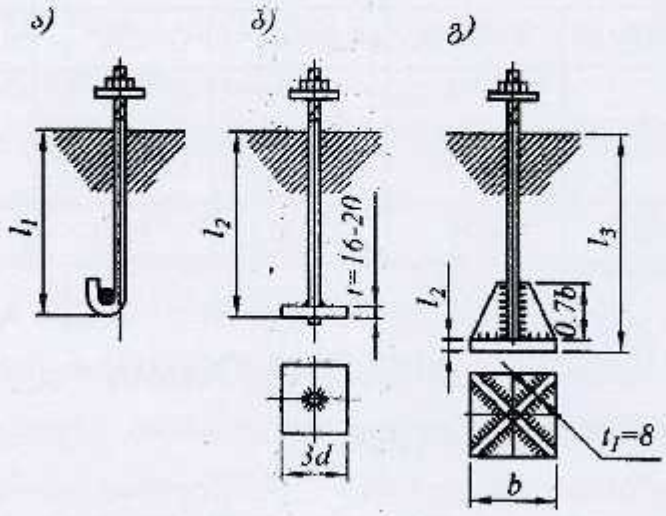
ფიგ. 56. საფეხუროვანი ტიპის გამჭოლი სვეტების ქუსლი განცალკევებული ტრავერსებით

ბაზის საძირკველზე ჩამაგრების ზონაში ცერტიკალურების გარდა ასევე წარმოიქმნება საძირკვლის ზედაპირზე ქუსლის მძერელი ჰორიზონტალური განივი ძალები. აგრეთვე მღუნავი მომენტები, რომლებიც ცდილობენ საძირკველს მოგლიჯონ ქუსლის ერთი ნაწილი და მიწნეხონ მეორე ნაწილი. ძვრა აითვისება საყრდენ ფილასა და საძირკველს შორის წარმოქმნილი ხახუნის ძალების მიერ, აგრეთვე საანკერო ჭანჭიკების ჭრაზე მუშაობით.

მღუნავი მომენტი აითვისება საანკერო ჭანჭიკების მუშაობით გაჭიმვაზე (ამოგლეჯაზე). საძირკველში საანკერო ჭანჭიკების ჩამაგრების სიღრმე დამოკიდებულია მღუნავი მომენტის სიდიდეზე და საანკერო მოწყობილობის კონსტრუქციაზე (ფიგ. 57). ცენტრალურად შეკუმშული სვეტისათვის საანკერო ჭანჭიკების დიამეტრი შეირჩევა კონსტრუქციულად – d=22-26 მმ. არაცენტრალურად შეკუმშული სვეტისათვის საანკერო ჭანჭიკების დიამეტრი და რაოდენობა n_b გაანგარიშდება ფორმულით:

$$n_b = N_{bm}/N_{max} = (M - Na)/yN_{max}, \qquad (76)$$

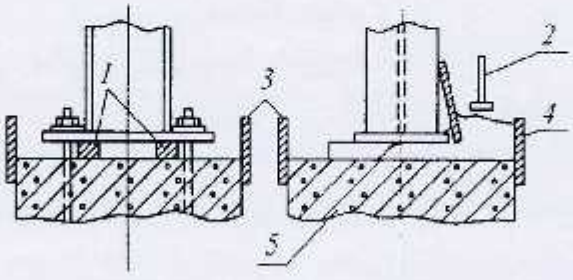
სადაც N_{bm} არის სვეტის შტოში მომენტისგან გამოწვეული გრძივი ძალა, რომელიც ცდილობს ჭუსლის ამოგლეჯას საძირკვლიდან (იხ. ფიგ. 56); N_{max} – ერთ საანკერო ჭანჭიკზე დასაშვები მაქსიმალური საანგარიშო ძალვა, რომელიც განისაზღვრება 26-ე ცხრილის მიხედვით.



ფიგ. 57. ანკერული დამაგრების ტიპები

ა, ბ – ძალვების გადაცემა შეჭიდების ძალების მეშვეობით; *გ* – ძალვების გადაცემა საყრდენი საყელურის მეშვეობით

სვეტის ამოყვანის ერთ-ერთი საპასუხისმგებლო ეტაპია მისი დაყენება საძირკველზე, რომელმაც უნდა უზრუნველყოს სათავის და ამწისქვეშა შტოს საყრდენი ბაქნის საპროექტო ნიშნულების მკაცრი დაცვა, აგრეთვე ექსპლუატაციის პროცესში უნდა ეწინააღმდეგებოდეს სვეტის ჩაჯდომას. ყველაზე ხშირად გამოიყენება შემდეგი ხერხი – სვეტის ბაზას აერდნობენ წინასწარ დაყენებულ და სიმაღლეში გასწორებულ 50-60 მმ სისქის ლითონის ქვესადებებზე, შემდეგ ფილის ქვეშ შეჰავთ ცემენტის დუღაბი, რომელსაც გამუდმებით ტკეპნიან (ფიგ. 58).



ფიგ. 58. სვეტის საყრდენი ფილის ქვეშ დუღაბის ჩასასხმელი მოწყობილობა

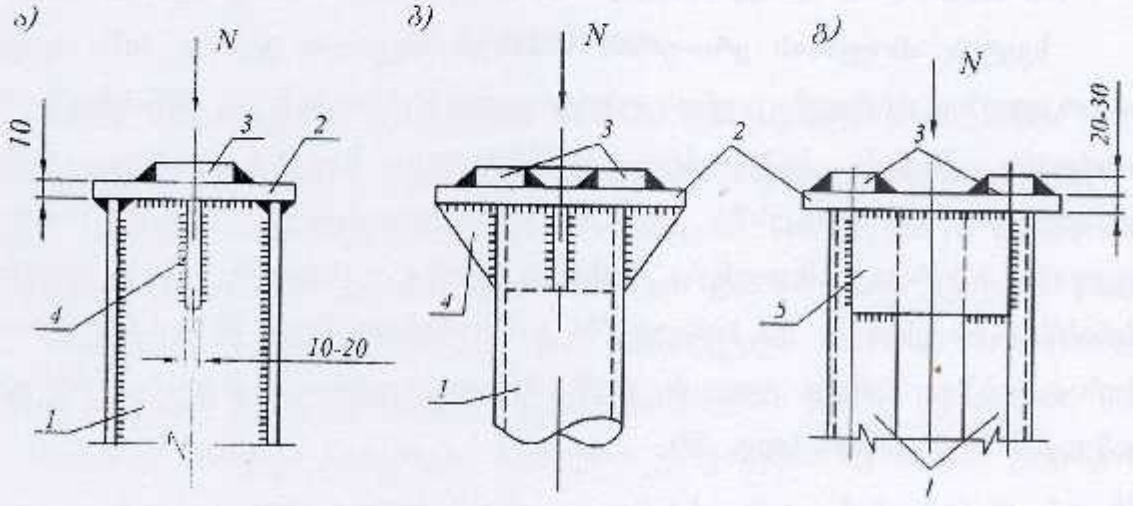
1 – ლითონის ქვესადები; *2* – ტკეპნა; *3* – ყალიბი; *4* – ხისტი ცემენტის დუღაბი; *5* – საძირკველი

საანკერო ჭანჭიკების მზიდუნარიანობა, R_y = 140 მპა

ჭანჭიკის დიამეტრი *d*, მმ	20	22	24	27	30	36
N_{max}, კნ	315	394	454	598	725	1060
ჭანჭიკის დიამეტრი *d*, მმ	42	48	56	64	72	76
N_{max}, კნ	1400	1870	2620	3450	4420	5010

4.4. სვეტის სათავის კონსტრუქციები, პირაპირები და დეტალები

სვეტის სათავის დანიშნულებაა წამწეებიდან და კოჭებიდან ძალვის გადაცემა სვეტის ღეროზე. განასხვავებენ მთლიანკედლიანი და გამჭოლკედლიანი სვეტის სათავეებს (ფიგ. 59).



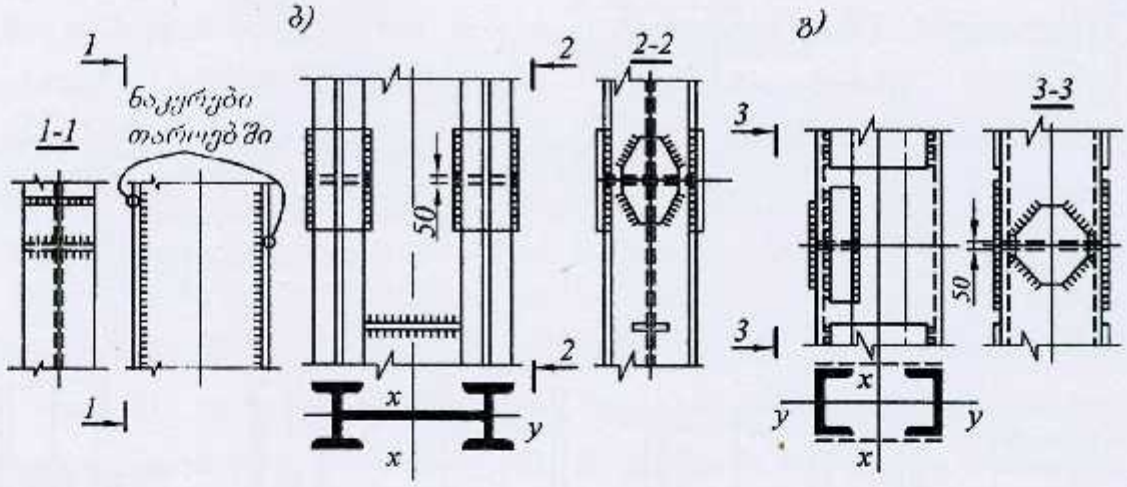
ფიგ. 59. სვეტის სათავის ტიპები

ა, ბ – მთლიანკედლიანი სვეტების; *გ* – გამჭოლკედლიანი სვეტების; *1* – სვეტის ღერო; *2* – საყრდენი ფილა; *3* – მაცენტრებელი ფირფიტა; *4* – სიხისტის წიბო

მთლიანკედლიან სვეტში სათავის ჰორიზონტალურ საყრდენ ფურცელს აძლიერებენ სიხისტის წიბოებით, რომლებიც ამავდროულად ხელს უწყობს სვეტის მთლიანი საანგარიშო კვეთის ჩართვას მუშაობაში. დატვირთვის

დაცენტრებისთვის საყრდენ ფურცელზე ადუღებენ მაცენტრებელ ფირფიტას, რომლის სიგანე არ აღემატება 100 მმ. გამჭოლკედლიან სვეტში (ფიგ. 59, გ) საყრდენი ფურცლის ქვეშ აკეთებენ სიმაღლეში განვითარებულ სიხისტის წიბოს, რომლის გაანგარიშება წარმოებს ამ წიბოების სიბრტყეში მოქმედ განივ ძალასა და მომენტზე, გამჭოლკედლიან სვეტში შემაერთებელი თამასების გაანგარიშების მსგავსად (იხ. ფიგ. 51).

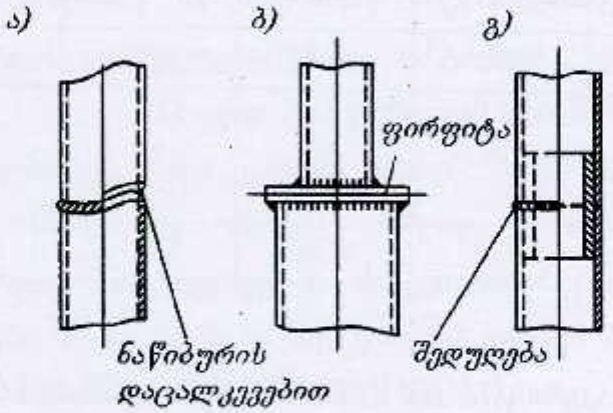
სვეტში პირაპირები შესაძლებელია იყოს ქარხნული და სამონტაჟო. ქარხნულ პირაპირებს აკეთებენ სვეტის ღეროებში შედუღებით. ისინი ემსახურება ხაგლისი პროფილების ან ფურცლების დაგრძელებას, თუ ისინი არ აქმაყოფილებენ სვეტის საპროექტო სიგრძეს (ფიგ. 60). პირაპირებმა უნდა უზრუნველყოს ნაკერისა და ძირითადი ლითონის თანაბარსიმტკიცე-თაროებზე და კედელზე პირაპირა ნაკერებს აკეთებენ ხტუნლად (ფიგ. 60, ა), ხოლო ზესადებების გამოყენების შემთხვევაში დასაშვებია პირაპირის მოწყობა ერთ კვეთში (ფიგ. 60, ბ, გ).



ფიგ. 60. ღია პროფილების ელემენტებიანი სვეტების ქარხნული შენადუღი პირაპირები

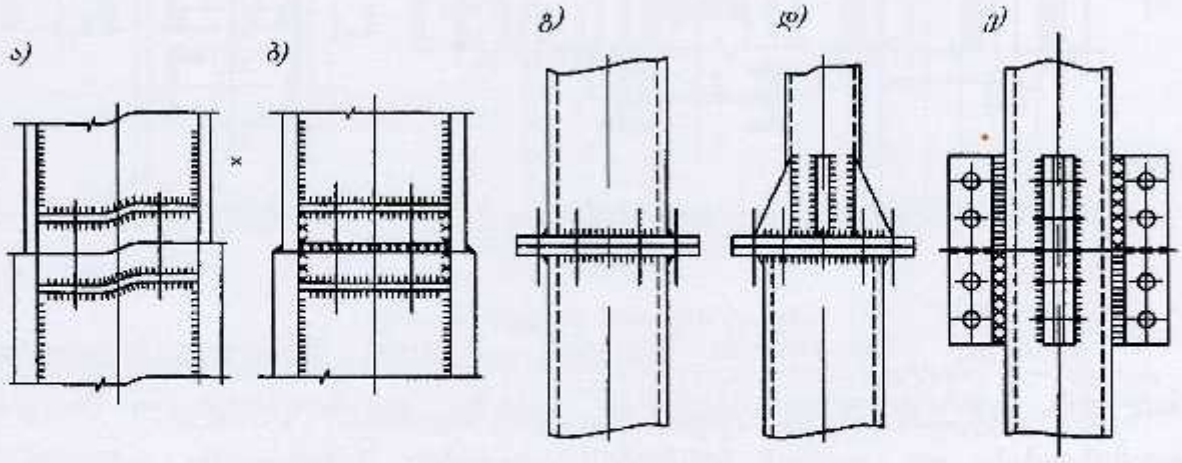
ქარხნულ პირაპირებში ძალვები გადაეცემა შენადუღი ნაკერებით. მილოვან, ცენტრალურად შეკუმშულ სვეტში, შესაპირაპირებელი მილების დიამეტრებისა და კედლის სისქეების ტოლობის შემთხვევაში, გამოიყენება პირაპირა შედუღება (ფიგ. 61, ა), ხოლო არაცენტრალურად შეკუმშულებში – პირაპირა შედუღება ძირითად მილში მოკლე მილოვანი სადების ჩაყენებით (ფიგ. 61, გ). მეორე ვარიანტი უფრო შრომატევადი და ლითონტევადია, მაგრამ უფრო მტკიცე და საიმედოა ექსპლუატაციაში. მილოვანი ღეროს დიამეტრის

ცვლილების შემთხვევაში, პირაპირში თავსდება მრგვალი ფირფიტა, რომლის სისქე განისაზღვრება გაანგარიშებით, როგორც კონტურზე სახსრულად დაყრდნობილი ფირფიტის შემთხვევაში (ფიგ. 61, ბ).



ფიგ. 61. მილოვანი სვეტების ქარხნული შენადუღი პირაპირები

სამონტაჟო პირაპირები განკუთვნილია სვეტის ცალკეული სამონტაჟო ნაწილების შესაერთებლად ერთ მთლიანობაში, რომელთა ტრანსპორტირება შეზღუდულია. ასეთ პირაპირებს აკეთებენ სამშენებლო მოედანზე. აწყობის სიზუსტის უზრუნველსაყოფად გამოიყენება წინასწარ გამზადებულ ნახვრეტებში დაყენებული სამონტაჟო ჭანჭიკები, სვეტის ღეროებისა და შტოების შეუღლების ტორსების ფრეზვა (ღარვა), ხოლო საჭიროების შემთხვევაში დამატებითი შენადუღი პირაპირის შესრულება (ფიგ. 62).

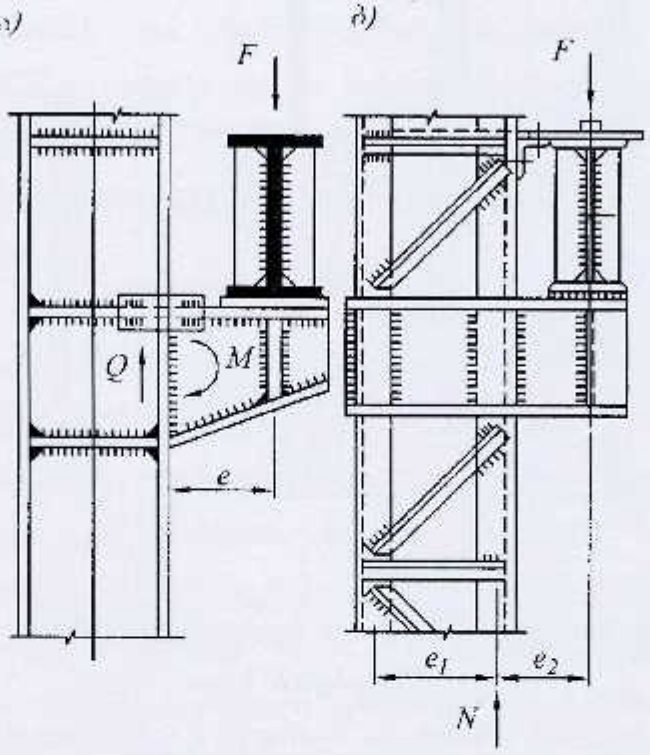


ფიგ. 62. მთლიანკვეთიანი სვეტის სამონტაჟო პირაპირების ვარიანტები

ა – ღია პროფილებისათვის, მკუმშავი ძალის მოქმედებისას; ბ – იგივე, მკუმშავი ძალისა და მომენტის ერთდროულად მოქმედებისას;

გ-ე – მილოვანი პროფილებისათვის

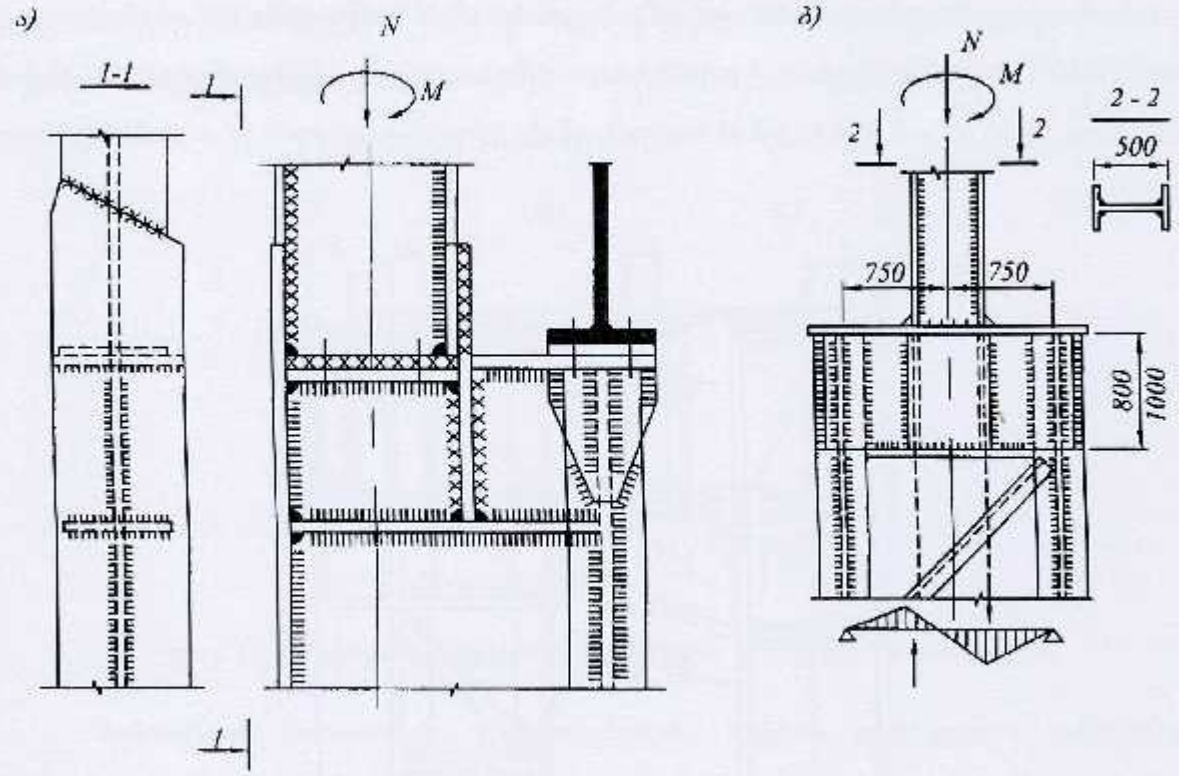
მილოვან ღეროებში მილტუჩა შეერთებების მოწყობისას (ფიგ. 62, გ, დ), საპირაპირე ფირფიტების დიამეტრი უნდა უზრუნველყოფდეს მოსაჭიმი მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკების თავისუფალ დაყენებას.



ფიგ. 63. ამწისქვეშა კოჭის დაყრდნობა კონსოლზე

ა – მოლიანკედლიან სვეტებში; ბ – გამჭოლკედლიან სვეტებში

ყველაზე მეტად დაძაბული და დასამზადებლად შრომატევადი ზონებია მუდმივი კვეთის მქონე სვეტის ღეროსთან ამწისქვეშა კონსოლის მიმაგრების უბანი (ფიგ. 63), აგრეთვე საფეხუროვანი სვეტების ამწისზედა და ამწისქვეშა ნაწილების შეუღლების ზონა (ფიგ. 64). ამ კვანძებში მოქმედებს ნორმალური და განივი ძალები, აგრეთვე მხიშვნელოვანი მღუნავი მომენტები. ამ ძალვების გადაცემა ელემენტიდან ელემენტზე ხორციელდება საანგარიშო შენადნობი ნაკერებით. დაპროექტებისას საჭიროა თავიდან ავიცილოთ სვეტის ამ ზონაში სამონტაჟო პირაპირების მოწყობა.



ფიგ. 64. საფეხუროვანი ტიპის სვეტებში ამწისზედა ნაწილის მიმაგრების ხედი

ა – მთლიანკედლიან ამწისქვეშა შტოსთან; ბ – გამჭოლკედლიან ამწისქვეშა შტოსთან

თავი 5. ჯამჯეები

5.1. ნივნივური გადახურვები. საერთო ცნებები

ნივნივური გადახურვა წარმოადგენს შეშოშხლუდავი კონსტრუქციების ნაწილს, რომელიც იცავს ნაგებობას ატმოსფერული ზემოქმედებებისაგან და განსაზღვრავს მის ხანგამძლეობას. ერთსართულიან საზოგადოებრივ და საძრეწველო შენობებში გადახურვის დაპროექტებას გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს, ვინაიდან ის შეადგენს მშენებლობის ღირებულების 20–30 % და და შრომატევადობის 30 %. გადახურვის კონსტრუქციის შერჩევა მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მთელი ნაგებობის მოცულობით-დაგეგმარებით გადაწყვეტაზე: სვეტების ბიჯზე; ზედა განათების მოწყობაზე, ბურულზე, კიდული ჭერის აუცილებლობაზე, კიდული მოწყობილობის დამონტაჟების შესაძლებლობაზე, ამწეებსა და ა.შ.

განასხვავებენ დათბუნებულ და ცივ ნივნივურ გადახურვებს. პირველი, მეორისაგან განსხვავებით, ატმოსფერული ზემოქმედებებისაგან შენობის დაცვის გარდა, უზრუნველყოფს თბოდაცვას.

ნივნივური გადახურვების დაპროექტებისას ითვალისწინებენ გარე დატვირთვების ხასიათს და ზემოქმედებას, მასალების თბოგამტარობის გავლენას, აგრეთვე ანტიკოროზიულ და ხანძარსაწინააღმდეგო დაცვას.

5.2. ნივნივური წამწები, მოხაზულობა და გისოსის ტიპები

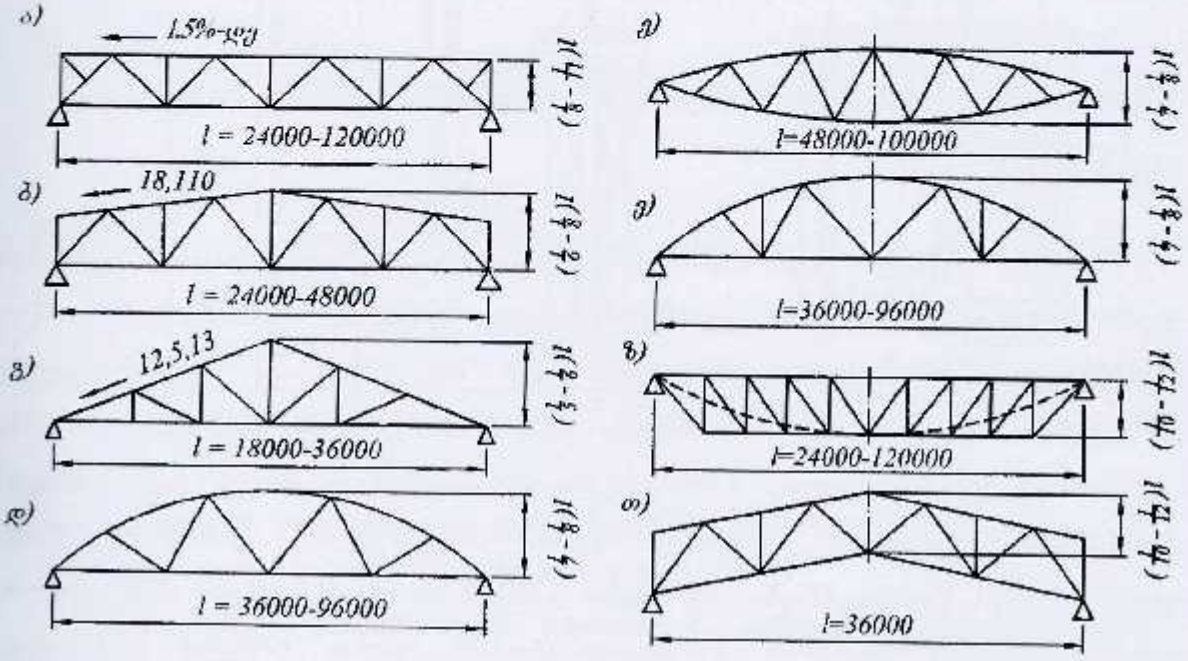
წამწე ეწოდება კვანძებში ერთმანეთთან შეერთებული სწორხაზოვანი ღეროებისაგან შედგენილ გეომეტრიულად უცვლელ გისოსოვან გამჭოლ კონსტრუქციას, რომელიც მოიცავს ზედა შეკუმშულ და ქვედა გაჭიმულ სარტყელს, დგარებს და ირიბნებს. იგი წარმოადგენს სამშენებლო მზიდ კონსტრუქციას, რომელიც გამოიყენება დიდი მალის მქონე გადახურვებში. წამწეზე დატვირთვა, როგორც წესი, მოდებულია კვანძებში. წამწის ელემენტებში წარმოიქმნება ღერძული გამჭიმავი და მკუმშავი ძალვები, რაც უზრუნველყოფს მასალის მზიდუნარიანობის უფრო სრული გამოყენების შესაძლებლობას, ვიდრე ღუნვად ელემენტებში (კოჭებში).

წამწის გეომეტრიული სქემა განისაზღვრება სარტყელების მოხაზულობითა და გისოსის სახეობით. სარტყელების მოხაზულობის მიხედვით ნივნივური წამწის ძირითადი ტიპებია: პარალელურ სარტყელებიანი (ფიგ. 65, ა); ტრაპეციისებრი (ფიგ. 65, ბ); სამკუთხა (ფიგ. 65, გ) და სეგმენტური (ფიგ. 65, დ);

დამზადებისა და ფორმის მიხედვით ყველაზე მარტივია პარალელურ სარტყელებიანი და ტრაპეციისებრი წამწეები. დამზადების სიმარტივემ განაპირობა მათი ფართო გამოყენების შესაძლებლობა სხვადასხვა დანიშნულების სამრეწველო და სამოქალაქო შენობებში. მაღალი ტექნიკურ–ეკონომიკური მაჩვენებლების გამო ისინი წარმატებით გამოიყენება 18-120 მ მალებში და აქვთ შედარებით მცირე სამშენებლო სიმაღლე სხვა მოხაზულობის წამწეებთან შედარებით.

სამკუთხა მოხაზულობის წამწეებს აქვთ ყველაზე დიდი სიმაღლე, ამიტომაც დამზადებისა და ტრანსპორტირების პირობებიდან გამომდინარე მათ

იყენებენ მალებში, რომელთა სიგრძე არ აღემატება 36 მ-ს. მათი გამოყენება შენობებში და ნაგებობებში უმთავრესად განისაზღვრება მცირეზომიანი საბურულე მასალების გამოყენებით (ბრტყელი და ტალღოვანი აზბესტცემენტის ფურცლები, საბურულე ფოლადი, კრამიტი და სხვ.) ცივ ბურულებში, რომლებიც მოითხოვენ დიდ დაქანებებს (25–45°).



ფიგ. 65. ნივნივური წამწეები

მასალის ხარჯის მიხედვით ყველაზე ეკონომიურია სეგმენტური წამწეები; მათი გამოყენების ეფექტურობა იზრდება მალის ზრდასთან ერთად. თუმცა, სეგმენტურ წამწეებს, სამკუთხა წამწეების მსგავსად, ახასიათებთ დამზადების დიდი შრომატევადობა, რაც დაკავშირებულია გისოსის ელემენტების სიგრძეების დიდ ნომენკლატურასთან, აგრეთვე სეგმენტური ფერმებისთვის დამახასიათებელ ზედა სარტყელის სიმრუდესთან. დამზადების შრომატევადობის შესამცირებლად, პრაქტიკული გამოყენებისთვის სეგმენტური ფერმები იცვლება პოლიგონალურით (ზედა სარტყელის ძირითად კვანძებს შორის სწორხაზოვანი ელემენტებით) (ფიგ. 65, ვ).

გადახურვის ნივნივურ წამწეებს შეიძლება ჰქონდეთ სრულიად სხვადასხვანაირი მოხაზულობა, რომელიც პასუხობს დასაპროექტებელი ობიექტის არქიტექტურულ-ესთეტიკურ და ფუნქციურ მოთხოვნებს. საზოგადოებრივ შენობებში ხოგჯერ გამოიყენება თევზისებრი (ფიგ. 65, ე) და შეაფრებული (ფიგ. 65, თ) წამწეები, ხოლო სამრეწველო შენობებში – ზედა

სარტყლის განაპირა კვანძებზე დაყრდნობილი პარალელურსარტყლებიანი წამწეები (ფიგ. 65, ზ) და სხვ.

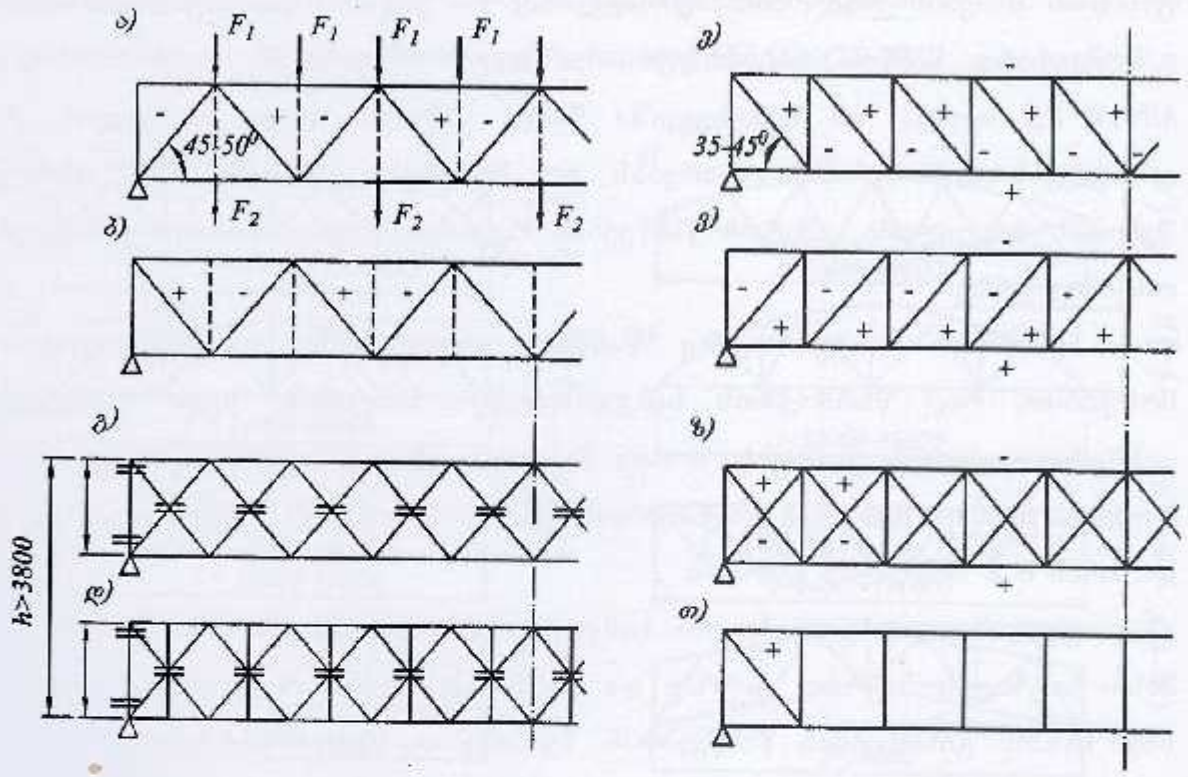
მინიმალური მასისა (მინიმალური მასა მიიღება სარტყელებისა და გისოსის მასების ტოლობის შემთხვევაში) და საჭირო სიხისტის პირობიდან გამომდინარე, წამწის ოპტიმალური სიმაღლის შეფარდება მალთან მიიღება h/l=1/4–1/5. თუმცა, ამ შემთხვევაში წამწე გამოდის დიდი სიმაღლის, რაც ართულებს მის ტრანსპორტირებას და მონტაჟს, გარდა ამისა, იზრდება შენობის მოცულობა, ამიტომ წამწეების რეკომენდებული სიმაღლე ნაკლებია ოპტიმალურზე.

ნებისმიერ დატვირთვაზე წამწის უცვლელობა მიიღწევა გისოსის მოწყობით, რაც წარმოქმნის სამკუთხედების სისტემას. ზედა სარტყელის გასწვრივ გისოსის კვანძებს შორის მანძილს ეწოდება წამწის პანელი – l_m, რომლის ზომაც შეირჩევა გადახურვის ფილების სიგანის მიხედვით 1.5 ან 3 მ და არის 6 მ მოდულის ჯერადი.

ყველაზე გავრცელებულია სამკუთხა გისოსი (ფიგ. 66, ა, ბ), რადგანაც მისი ჩიგზაგის საერთო სიგრძე და მასში კვანძების რაოდენობა ნაკლებია სხვა ტიპის გისოსებიან წამწეებთან შედარებით. ქვედა სარტყელის მიმართ გისოსის დახრის რაციონალური კუთხე შეადგენს 45–50°. სამკუთხა გისოსის ნაკლია სარტყელების პანელების მნიშვნელოვანი სიგრძე, განსაკუთრებით წამწეების დიდი მალების შემთხვევაში, რის გამოც აღგილი აქვს კვანძის გარეთა დატვირთვებს, რაც უარყოფითად მოქმედებს კონსტრუქციის ეფექტურობაზე. პანელის სიგრძის შესამცირებლად სამკუთხა გისოსში ამატებენ დგარებს, რომლებიც ორიენტირებულია ზედა კვანძიდან წამწის ქვედა სარტყელზე და პირიქით.

სამკუთხა გისოსის ნაირსახეობაა რომბისებრი ცხაურები, რომლებსაც აქვთ მაღალი სიხისტე და დიდი განივი ძალებისადმი წინააღმდეგობის გაწევის კარგი უნარი (ფიგ. 66, გ, დ). მცირე სიმაღლის წამწეებში გამოიყენება ირიბნული გისოსები, რომლებიც გამოირჩევა ძალვის ნიშნის რეგულირების შესაძლებლობით (ფიგ. 66, ე, ვ). ქვედა სარტყელის მიმართ ირიბნული გისოსის დახრის რაციონალური კუთხე შეადგენს 35–45°. პარალელურ სარტყელებიან და ტრაპეციისებრ წამწეებში მიზანშეწონილია გისოსები დაპროექტდეს დაღმავალ–გაჭიმული ირიბნებით, ხოლო მოკლე დგარები – შეკუმშული (ფიგ. 66, ე). სამკუთხა და სეგმენტური მოხაზულობის წამწეების

ორიბნულ გისოსებ'ში დადმავალი ელემენტები შეკუმშულია, ხოლო ადმავალი – გაჭიმული. თუმცა, კვანძის გაერთმოლიანების თვალსაზრისით გისოსს ამპროექტებენ დადმავალი ორიბნებით.

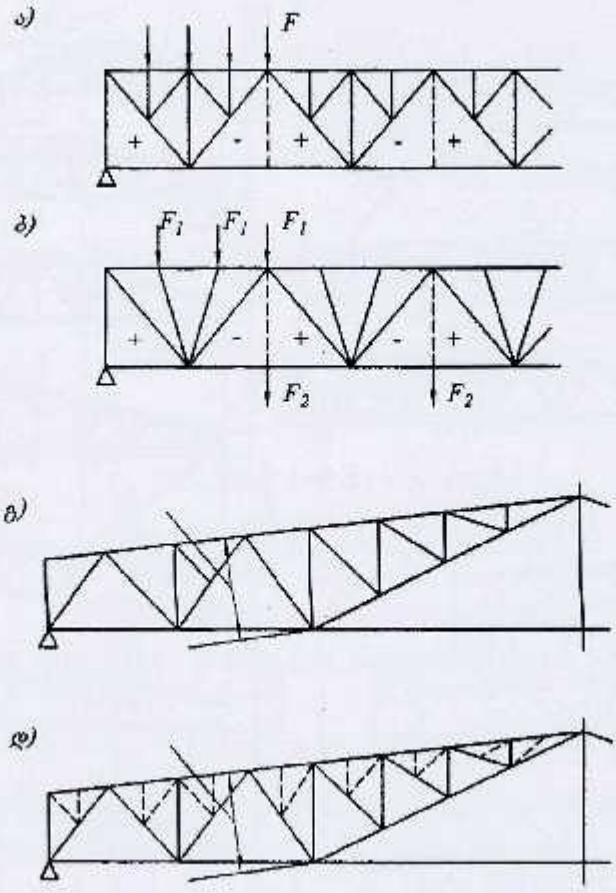


ფიგ. 66. წამწის გისოსის სისტემები

ჯვარედინი ცხაურები (ფიგ. 66, ზ) მი'ხანშეწონილია გამოყენებულ იქნან ნიშანცვლად დატვირთვებზე მომუშავე წამწებ'ში. გისოსის უპირატესობა მდგომარეობს იმაში, რომ მასში ორიბნები მუშაობენ მხოლოდ გაჭიმვაზე. ორიბანაში კუმშვის წარმოქმნის შემთხვევაში მისი დიდი მოქნილობის გამო იგი გამოითი'შება მუშაობიდან.

უირიბნო წამწეები (ფიგ. 66, თ) გამოიყენება სართულშუა გადახურვებ'ში, როდესაც წამწეებს შორის სივრცე გამოიყენება საექსპლუატაციო სართულად. ამ წამწეების ნაკლოვანი მხარეა სარტყელებსა და დგარებ'ში მნიშვნელოვანი მღუნავი მომენტების წარმოქმნა, რაც იწვევს ფოლადის გაზრდილ ხარჯს.

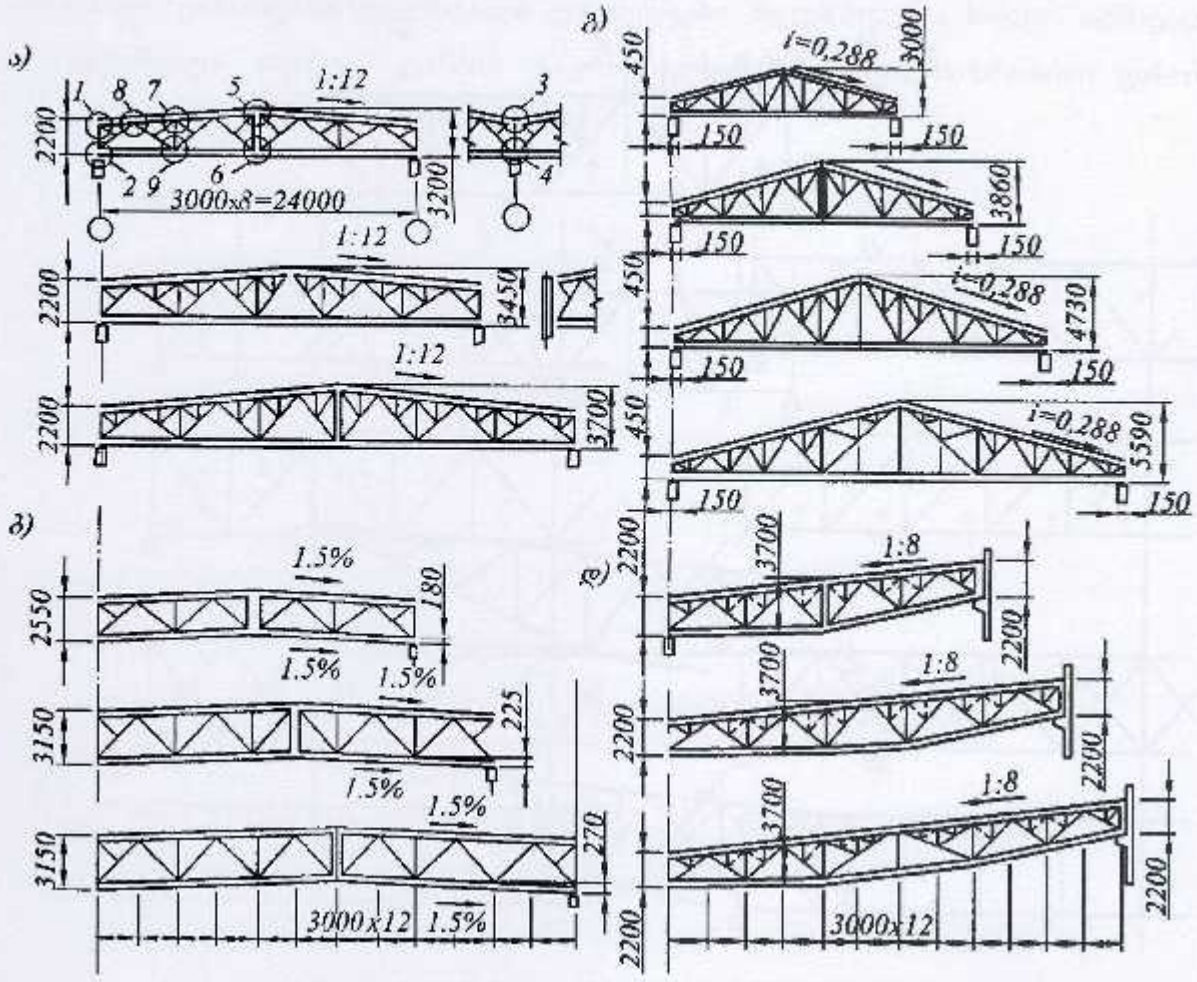
ზედა სარტყელის პანელის სიგრძის შემცირება აგრეთვე შესაძლებელია წამწის ძირითად გისოს'ში სპეციალური შპრენგელების დამატებით (ფიგ. 67, ა. ბ), რომლებიც ერთდროულად ამცირებს ორიბნების თავისუფალ სიგრძესაც წამწის სიბრტყეში (ფიგ. 67, ა).



ფიგ. 67. შპრენგელური გისოსების სისტემები

წამწეების დაპროექტებისას ითვალისწინებენ მაქსიმალურ შესაძლო გაბარიტს, რომელიც რკინიგზით ტრანსპორტირების შემთხვევაში სიმაღლეში არ უნდა აღემატებოდეს 3.8 მ, ხოლო სიგანეში – 3.2 მ. იმ შემთხვევაში, როდესაც შეუძლებელია სამონტაჟო მარკის მითითებული გაბარიტის დაცვა, წამწის შუა ზონაში ამატებენ რთულ შპრენგელს (ფიგ. 67, გ, დ) ან წამწეს ანაწევრებენ სიმაღლეში (იხ. ფიგ. 66, გ, დ). სამრეწველო შენობის დაპროექტებისას გამოიყენება ტიპური უნიფიცირებული ფოლადის წამწეები მალით 24, 30 და 36 მ (ფიგ. 68).

სამრეწველო შენობების პარამეტრების უნიფიცირების მიზნით მიღებულია, რომ ტიპური წამწეების მალი იყოს 6 მ-ს ჯერადი; ზედა სარტყელის ქანობი – ერთნაირი, რაც საშუალებას იძლევა, მალის სიგრძისაგან დამოუკიდებლად, საყრდენთან შენარჩუნდეს წამწის ერთნაირი სიმაღლე.



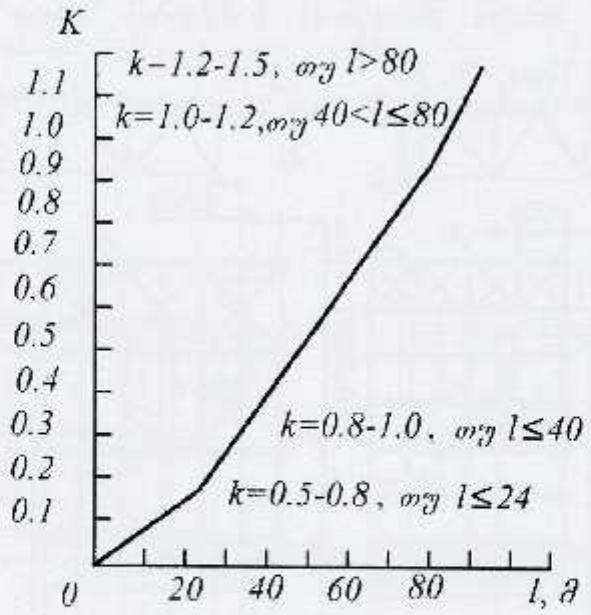
ფიგ. 68. ტიპური უნიფიცირებული ნივნივური წამწეები

ა – ტრაპეციისებრი (1–9 – ფერმის კვანძები); ბ – პარალელურსარტყელებიანი; გ – სამკუთხა; დ – ცალფერდა

წამწეებით გადახურვის ეფექტურობის ერთ-ერთი ძირითადი მაჩვენებელია გადასახური ფართობის კვადრატულ მეტრზე დაყვანილი კონსტრუქციის მასა. ნივნივურ წამწეზე ლითონის ხარჯი დამოკიდებულია გადასახური მასალის სიდიდეზე, საანგარიშო დატვირთვაზე და მასალის მსხვილფარიანობაზე. 25–40 კნ/მ² საანგარიშო დატვირთვისას და 280 მპა დენადობის ზღვრის მქონე ფოლადისაგან დამზადებული წამწეების საკუთარი მასა შეიძლება განისაზღვროს მიახლოებითი ფორმულით:

$$m = kl, \tag{77}$$

სადაც k არის საკუთარი მასის კოეფიციენტი, რომელიც განსაზღვრება ფიგ. 69-ზე მოყვანილი გრაფიკით.



ფიგ. 69. ნივნივური წამწეების საკუთარი მასის გრაფიკი

ნივნივური წამწეების ოპტიმალური ბიჯი განისაზღვრება წამწეებსა და გრძივებზე ლითონის მინიმალური ჯამური ხარჯის პირობიდან გამომდინარე და შეადგენს 6–12 მ, ამასთან, რაც გორც არვენა დაპროექტების გამოცდილებამ, ლითონის ხარჯი გადახურვის 1 მ^2 -ზე თითქმის ერთნაირია.

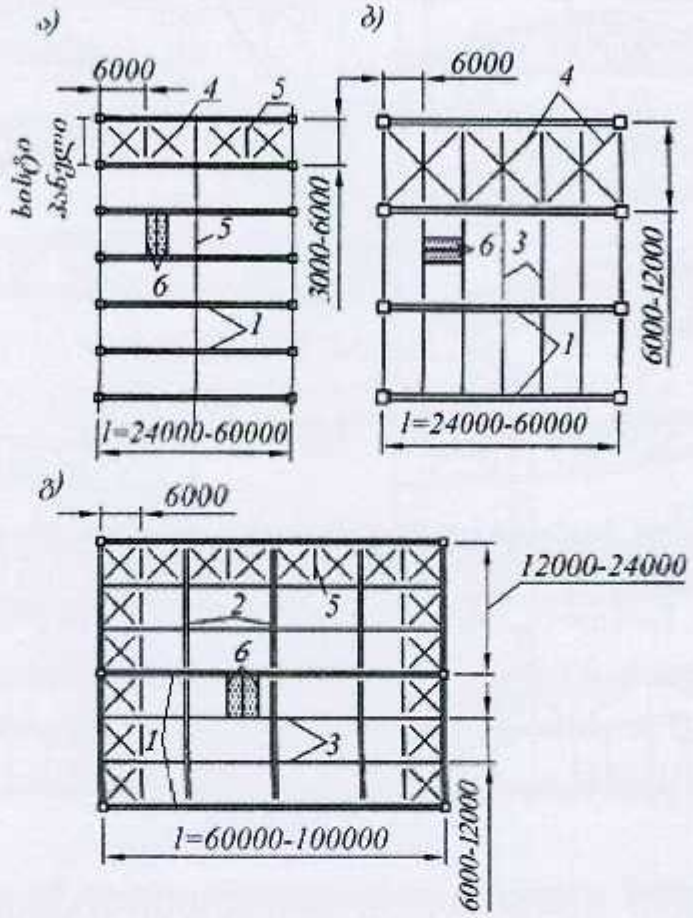
5.3. ნივნივური გადახურვის გაერთმთლიანება

განასხვავებენ ნივნივური გადახურვის სამ ძირითად კონსტრუქციულ სქემას (ფიგ. 70).

უგრძივო სქემისთვის დამახასიათებელია 3–12 მ ბიჯით განლაგებული ნივნიეური წამწეები, რომლებიც ფარავენ ძირითად მალს *l*, და მათ შორის კავშირების სისტემა. გადახურვის ფილებს, ძირითადად რკინაბეტონისას, ალაგებენ უშუალოდ წამწეების ზედა სარტყელებზე. ეს არის ყველაზე გავრცელებული გადაწყვეტა ერთსართულიანი სამრეწველო შენობებისათვის (ფიგ. 70, ა).

ნორმალური, ანუ გრძივებიანი სქემა აგრეთვე საკმაოდ არის გავრცელებული. მას იყენებენ იმ შემთხვევაში, როდესაც გადახურვის ფილებად გამოიყენება დაპროფილებული ფენილი ან მცირე ზომის აზბესტცემენტის ფილები. გრძივები შეიძლება იყოს ნაგლინი ან ცივად

ნალუნი შველერები, ხოლო როდესაც წამწეების ბიჯი 6 მ-ზე მეტია – გისოსოვანი გრძივები (ფიგ. 70, ბ).



ფიგ. 70. ნივნივური გადახურვების კონსტრუქციული სქემები

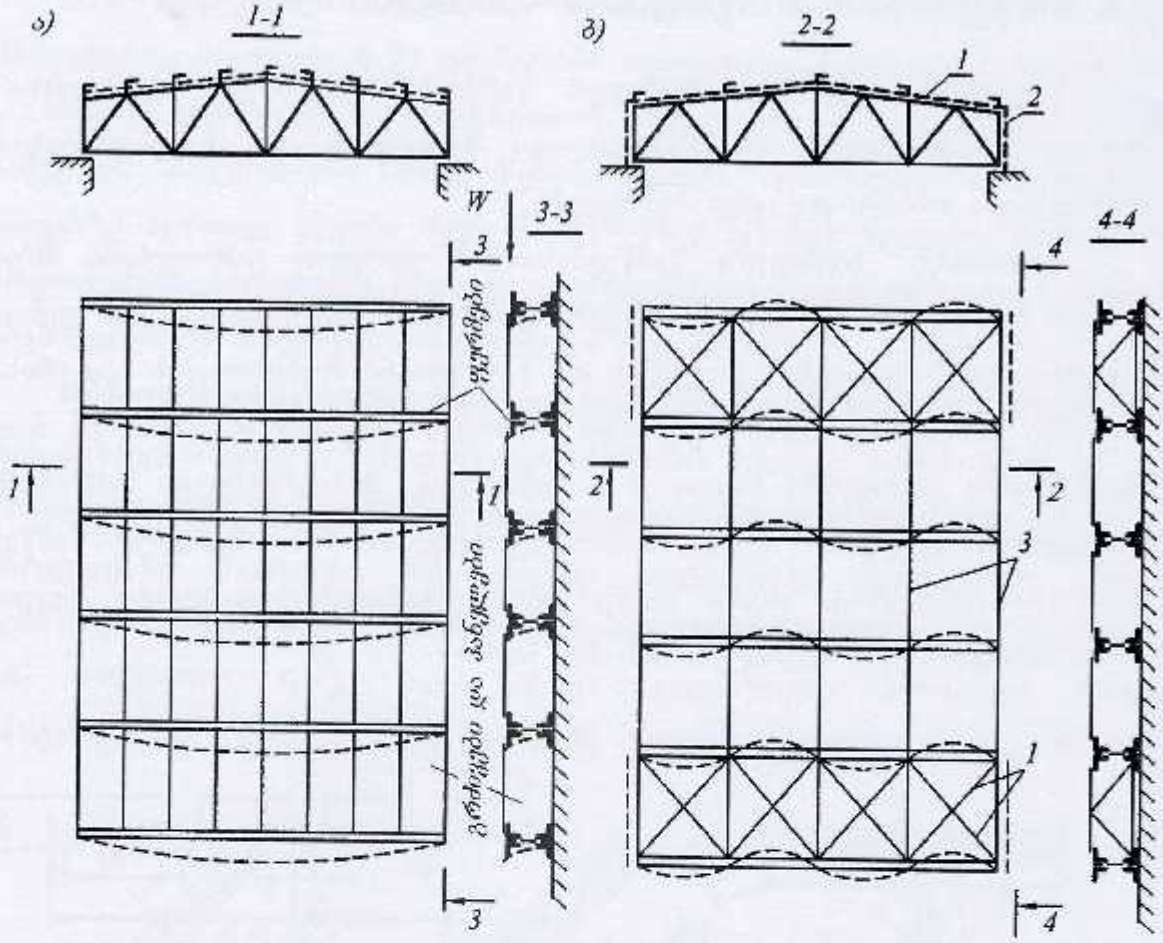
ა – მარტივი; *ბ* – ნორმალური; *გ* – გართულებული;

1 – ნივნივური წამწე; *2* – იგივე, მეორეხარისხოვანი; *3* – გრძივები;

4 – კავშირები; *5* – განმბჯენები; *6* – გადახურვის პანელები;

გართულებულ სქემას იყენებენ დიდმალიან გადახურვებში. იგი შედგება მძიმე ნივნივქანშა წამწეებისაგან, რომლებზეც შემცირებული ბიჯით ეყრდნობა მალის ნივნივური წამწეები, ხოლო მათზე ალაგებენ გრძივებს ან ფილებს (ფიგ. 70, გ).

გაერთმთლიანების სქემის შერჩევა ხორციელდება ვარიანტების შედარებით ძირითადი მაჩვენებლების მიხედვით, როგორიცაა ლითონტევადობა, დამზადების შრომატევადობა და დაყვანილი ხარჯები.



ფიგ. 71. ნივნივური გადახურვის სივრცითი მუშაობა

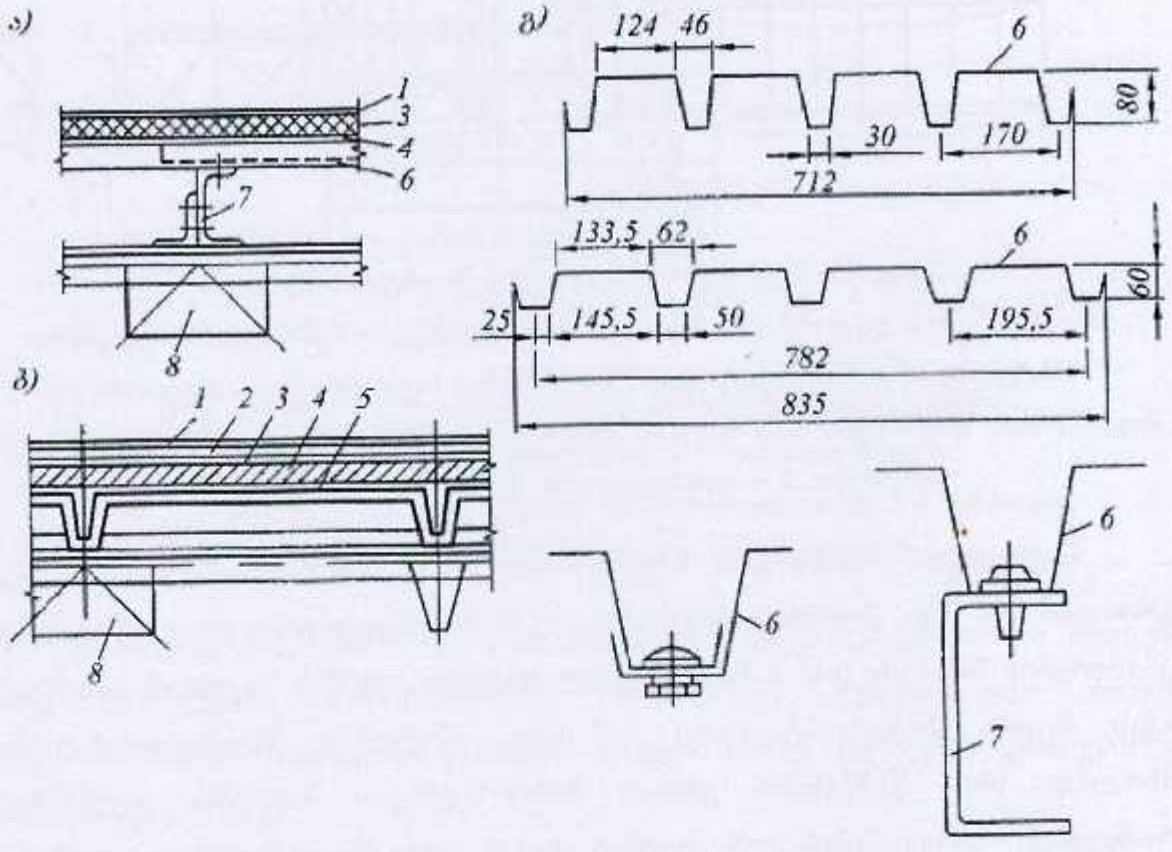
ა – წამწეების დეფორმაცია მდგრადობის დაკარგვის შემთხვევაში უკავშირო სისტემაში; *ბ* – წამწეების ზედა შეკუმშული სარტყელების დეფორმაცია მდგრადობის დაკარგვის შემთხვევაში კავშირებიან სისტემაში; *1* – ჰორიზონტალური კავშირები; *2* – ვერტიკალური კავშირები; *3* – გრძივები.

ნივნივური გადახურვის საერთო სივრცით სიხისტეს ქმნიან წამწეები, გრძივები და მათ შორის განლაგებული ჰორიზონტალური და ვერტიკალური კავშირების სისტემა (იხ. პ. 6.1). გამჭოლ ბრტყელ ფერმას საკუთარ სიბრტყეში აქვს მცირე ჰორიზონტალური სიხისტე, ამიტომაც მდგრადობას იძენს მხოლოდ სხვა წამწესთან ერთად ხისტ–სივრცით ბლოკში. ელემენტებს, რომლებიც აერთიანებენ ორ ფერმას ხისტ ბლოკში, ეწოდებათ კავშირები (ფიგ. 71, ბ).

5.4. გადახურვის ბურულის ელემენტები

გადახურვა შეიცავს ნიჟნიჯურ წამწეებს, კავშირებს, გრძივებსა და ბურულს. სამრეწველო და სამოქალაქო შენობებისა და ნაგებობებისათვის გამოიყენება თბილი და ცივი ბურულები.

ლითონის ნიჟნიჯური წამწეებისათვის ფართოდ გამოიყენება მსუბუქი თბილი ბურულები, რომელიც შედგება ფოლადის დაპროფილებული ფენილის, მათბუნებლის, ასფალტის მოჭიმვის და 3–4 შრიანი რუბეროიდის ხალიჩისაგან ბიტუმის მასტიკაზე (ფიგ. 72). ასეთ ბურულს აწყობენ ნაგლინი ან ნალუნი შველერების გრძივებზე ბიჯით 3 მ, რომლებიც მიმაგრებულია წამწის ზედა სარტყელის კვანძებში მცირე ზომის კუთხედებით, ან უშუალოდ წამწეების ზედა სარტყელებზე. ასეთი დახურვების უპირატესობაა მცირე საკუთარი წონა, რომელიც არ აღემატება 300–500 ნ/მ².

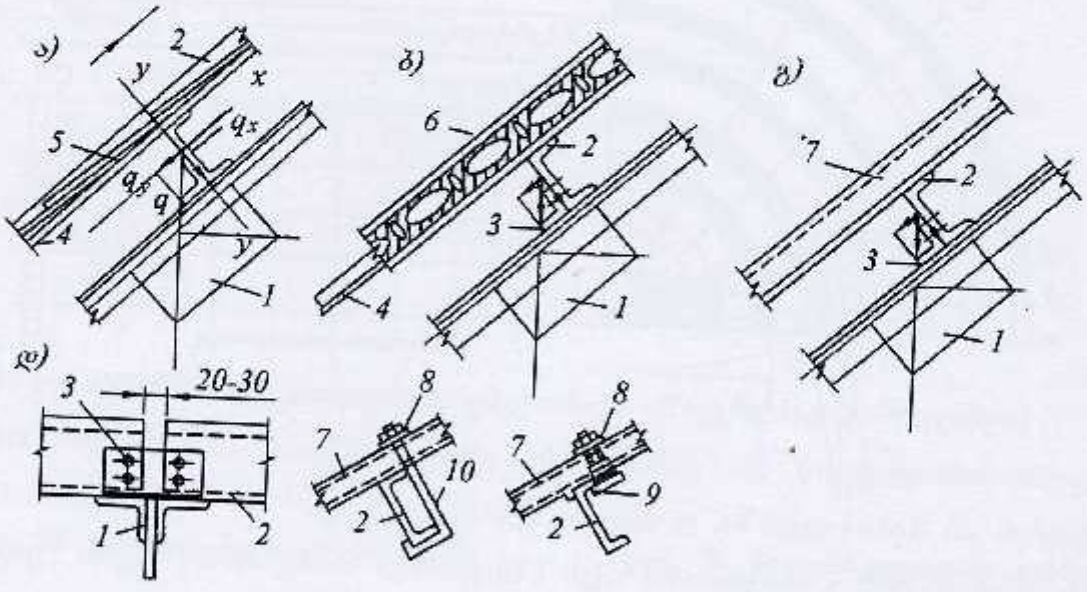


ფიგ. 72. თბილი ბურული

ა – დაპროფილებულ ფენილზე; ბ – რკინაბეტონის ფილებზე; გ – დაპროფილებულ ფენილიანი გადახურვის დეტალები; 1 – ჰიდროსაიზოლაციო ხალიჩა; 2 – ცემენტის მოჭიმვა; 3 – მათბუნებელი; 4 – ორთქლიზოლაცია; 5 – რკინაბეტონის ფილა; 6 – დაპროფილებული ფენილი; 7 – გრძივი; 8 – წამწე

დაპროფილებული ფენილი გრძივებზე და წამწეების ზედა სარტყელებზე მაგრდება 6 მმ დიამეტრის თვითჭრადი ჭანჭიკებით, ბიჯით 300 მმ, ხოლო ფურცლების ერთმანეთთან შეუღლება ხორციელდება 5 მმ დიამეტრის სპეციალური მოქლონებით. გარდა აღნიშნული დახურვებისა, გრძივებზე აგრეთვე ეწყობა მსუბუქი კერამზიტბეტონის ფილები, რომლებიც ერთდროულად ასრულებს მზიდ და თბოდამცველ ფუნქციებს და სამშრიან აზბესტცემენტის პანელებს, მათბუნებელი შუა შრით.

ნივნიცური გადახურვის უგრძივო სქემებში შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას მსხვილპანელური წიბოვანი რკინაბეტონის ფილები ზომით 1.5x6 და 3x6 მ, სამაღლით 300 მმ, და 3x12 მ, სიმაღლით 450 მმ. ფილები წამწეების ზედა სარტყელებზე მაგრდება ჩასაბანებელ დეტალებზე მიდულებით. ასეთი გადახურვების ნაკლოვანი მხარეა რკინაბეტონის ფილების დიდი საკუთარი წონა (1600–1900 ნ/მ²), რაც იწვევს გადახურვის ძირითადი მზიდი კონსტრუქციების მასალის მნიშვნელოვან ზრდას.



ფიგ. 73. ცივი ბურული გრძივებზე

ა – მცირეზომიანი ბრტყელი ფილებით (მინის, აზბოცემენტის და სხვა); *ბ* – მინაპროფილიტითა და მინაბლოკებით; *გ* – დაპროფილებული ფურცლებით (ფოლადის, ალუმინის, მინაპლასტიკის და სხვ.); *დ* – ბურულის დეტალები: *1* – ფერმა; *2* – გრძივი; *3* – კუთხედი; *4* – ტესებრი პროფილი; *5* – ბრტყელი ფილები; *6* – მინაბლოკები; *7* – დაპროფილებული ფურცელი; *8* – მამჭიდროებელი შუასადები; *9* – ფასონური ფირფიტა; *10* – კაკი;

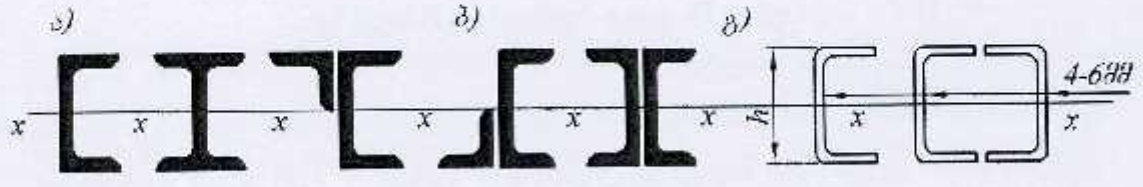
გაუთბობლად შენობებსა და ნაგებობებში შეიძლება გამოყენებულ იქნას ცივი ბურულები, როგორიცაა მცირე ზომის მინისებრი აზბესტცემენტის ფილები, მინაბლოკები და მინაპროფილიტი, დაპროფილებული ფენილი და მინაპლასტიკი, აგრეთვე რკინაბეტონის ფილები მათბუნებლის გარეშე (ფიგ. 73). მსუბუქი ტიპის ცივი დახურვები ეწყობა გრძივების სქემის მიხედვით, გრძივებს შორის წერილი ფილების დასამაგრებლად დამატებითი გამანაწილებელი პროფილების დამატებით. ნიჟნივური წამწის მოხაზულობამ უნდა უზრუნველყოს ზედა სარტყელის ქანობი, დამახასიათებელი ბურულის მასალისთვის 27-ე ცხრილის რეკომენდაციების შესაბამისად.

ცხრილი 27

ბურულის დასაშვები ქანობი და მასა, კგ/მ²



ნიჟნივურ გადახურვებში გამოიყენება მთლიანკედლიანი (ნაგლინი ან ნაღუნი პროფილები) და გისოსოვანი გრძივები. მთლიანკედლიან გრძივებს იყენებენ იმ შემთხვევებში, როდესაც ფერმების ბიჯი არ აღემატება 6 მ-ს და დანიშნულებიდან გამომდინარე აქვს სხვადასხვა საანგარიშო კვეთი (ფიგ. 74).



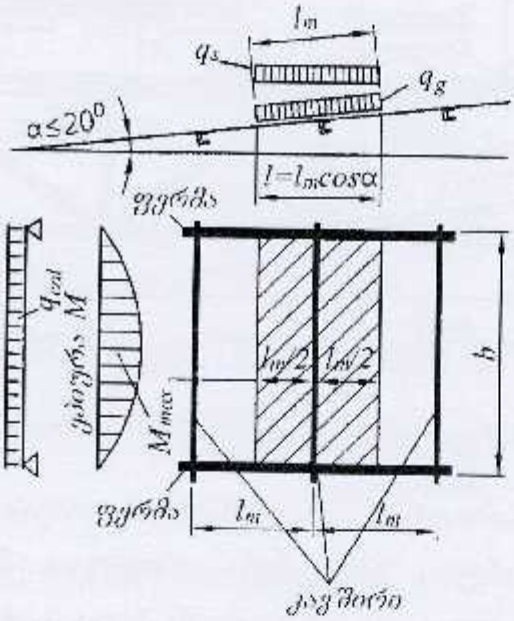
ფიგ. 74. მთლიანკედლიანი გრძივების ტიპები

ა – ბურულები ნაგლინი პროფილებისგან; ბ – ბურულები კიდული ჭერისთვის;
გ – ბურულები ცივნაღუნი პროფილებისგან

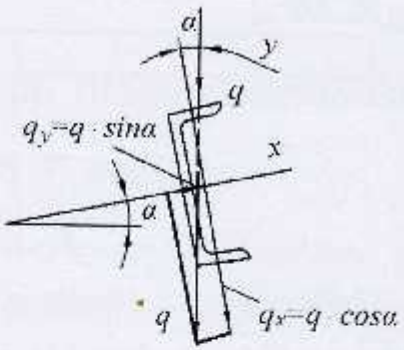
მთლიანკედლიანი გრძივების გაანგარიშება ხორციელდება ბურულის, თოვლისა და შეკიდული ჭერის წონისაგან გადმოცემულ დატვირთვებზე. მთლიანკედლიანი გრძივის საანგარიშო სქემა ერთმალიანი ჩრადი კოჭის სქემის ანალოგიურია (ფიგ. 75). შესაბამისად, გრძივის საჭირო კვეთი, ინერციის ერთ-ერთი მთავარი ღერძის მიმართ ღუნვისას, შესაძლებელია გაანგარიშდეს ფორმულებით (32) და (33), ხოლო ირიბი ღუნვის შემთხვევაში (ფიგ. 76) ფორმულით:

$$\sigma = (M_x / 1.12W_x) + (M_y / 1.47W_y) \le R_y\gamma_c, \qquad (78)$$

სადაც 1.12 და 1.47 კოეფიციენტებია, რომლებიც ითვალისწინებს პლასტიკური დეფორმაციების განვითარებას შველერული და ორტესებრი კვეთის მთლიანკედლიან კოჭებში.



ფიგ. 75. გრძივის საანგარიშო სქემა

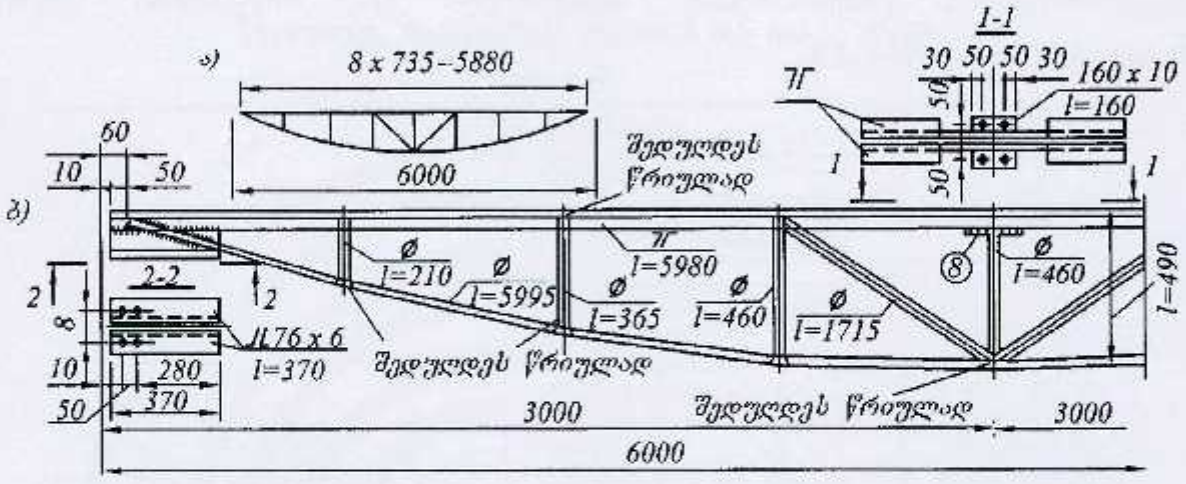


ფიგ. 76. მთლიანკედლიანი გრძივის საანგარიშო სქემა ირიბ ღუნვაზე

ირიბ ღუნვას ადგილი აქვს იმ შემთხვევაში, როდესაც ნიჩნივური წამწის ზედა სარტყელის დახრის კუთხე ჰორიზონტის მიმართ აღემატება 20°. წამწის ზედა სარტყელის დიდი ქანობის შემთხვევაში ქანობის მდგენელი ცდილობს გრძივების გადაყირავებას. ამის თავიდან ასაცილებლად, ქანობის მდგენელის გასწვრივ ყველა გრძივი ერთმანეთთან მაგრდება 16–18 მმ დიამეტრის არმატურის მავთულის ჭიმებით, რომლებიც კეხში მაგრდებიან

მზიდი კონსტრუქციების სარტყელებთან. გისოსოვანი გრძივების გამოყენება მიზანშეწონილია ნივნიცურა წამწეების 6 მ-ზე მეტი ბიჯის შემთხვევაში, ვინაიდან მთლიანკედლიანი გრძივის გამოყენება ამ შემთხვევაში მოითხოვს ლითონის დიდ ხარჯს.

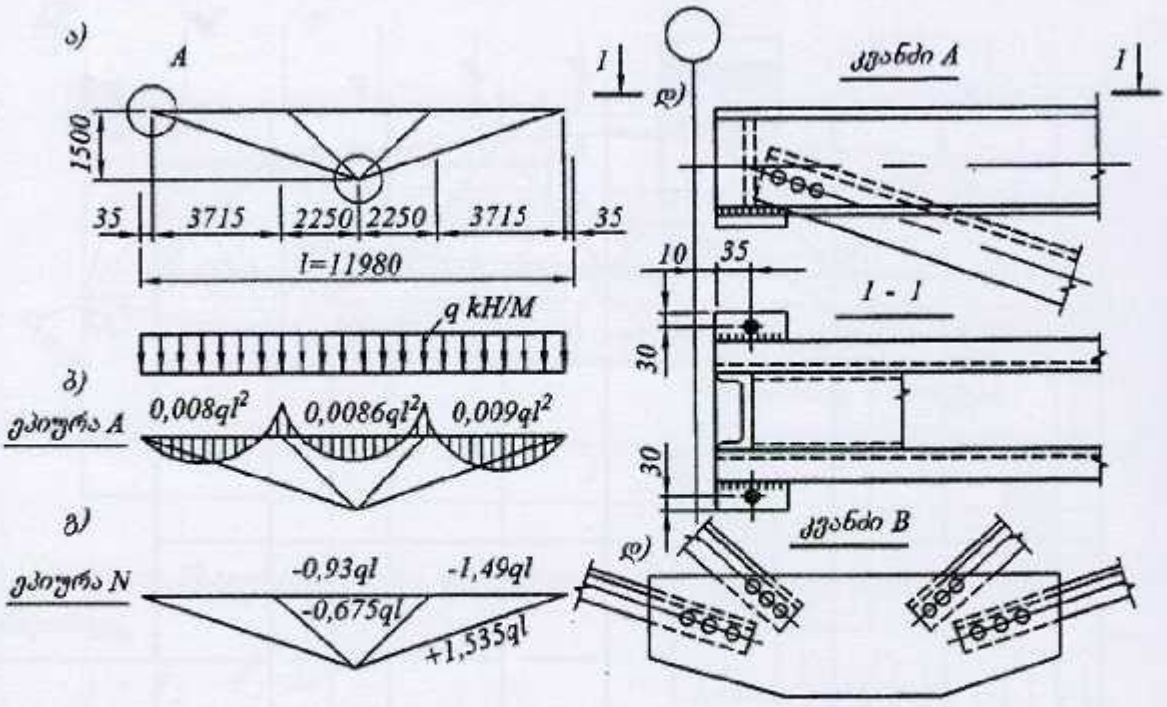
გისოსოვანი გრძივის მარტივი და ყველაზე მსუბუქი კონსტრუქციაა წნელ–შპრენგელური გრძივი გისოსით და მრგვალი ფოლადისაგან დამზადებული ქვედა სარტყელით (ფიგ. 77). ასეთი გრძივის ნაკლია ქვედა სარტყელთან გისოსის წნელების შეუღლების კვანძებში შესადუღი ხაკერების კონტროლის სირთულე, აგრეთვე სიფრთხილე ტრანსპორტირებისა და მონტაჟის დროს.



ფიგ. 77. წნელ–შპრენგელური გრძივი

ა – სქემა; ბ – კონსტრუქცია

მშენებლობის პრაქტიკაში ფართო გამოყენება მოიპოვა ნაგლინ ელემენტებიანმა გისოსოვანმა გრძივმა (ფიგ. 78). ამ გრძივის ზედა სარტყელი გადაწყვეტილია შეწყვილებულ–შველერებიანი სამმალიანი უჯრი კოჭის სახით, რაც უზრუნველყოფს მის მცირე წონასა და მაღალ მდგრადობას არაცენტრალური კუმშვის დროს. კვანძებში ელემენტების შეუღლება ხორციელდება ელექტრომოქლონებით ან შენადუღი ხაკერებით, რაც ქმნის მაღალ საიმედოობას ექსპლუატაციის დროს. გისოსოვანი გრძივების გაანგარიშება ხორციელდება ნივნიცურა წამწეების გაანგარიშების ანალოგიურად (იხ. პ. 5.5).



ფიგ. 78. ტიპური შპრენგელური გრძივი ელექტრომოქლონებიანი (ან შედუღებული) ნაგლინი შველერებისგან

ა – გეომეტრიული სქემა; ბ, გ – ძალვები გრძივის ელემენტებში;
დ – საყრდენი კვანძი; ე – ქვედა სარტყელის კვანძი.

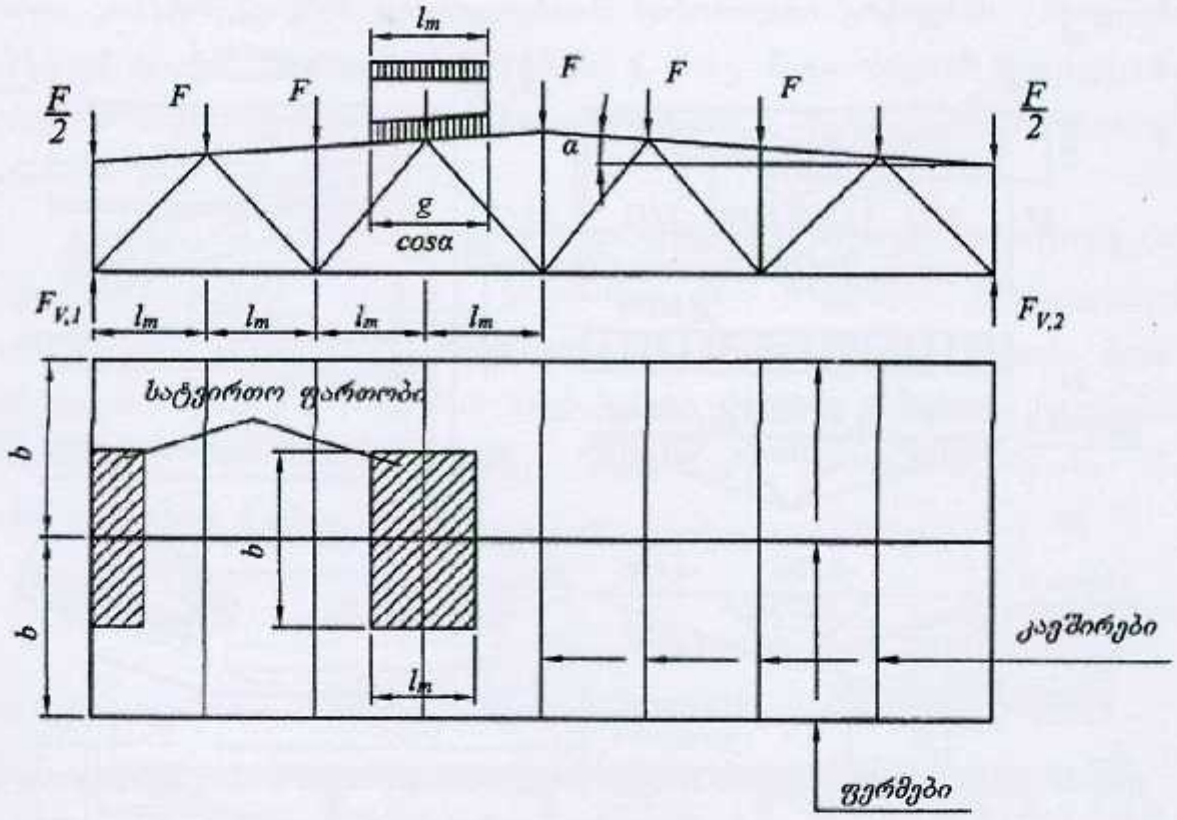
5.5. ნივნივური წამწეების მუშაობის თავისებურებები და გაანგარიშება

ნივნივური წამწეების გაანგარიშებას ახორციელებენ ფერმის ყოველ კვანძზე მოქმედი შეყურსული F ძალების მოქმედებაზე (ფიგ. 79) ფორმულით:

$$F = l_m b \Sigma (g_n \gamma_g + v_n \gamma_v - s_n \gamma_s), \tag{79}$$

სადაც g_n , v_n , s_n არის შესაბამისად ნორმატიული მუდმივი, დროებითი და თოვლის დატვირთვები.

თუ ზედა სარტყელის დახრის კუთხე $\alpha > 20^\circ$, (79)-ე ფორმულაში ბურულის საკუთარი წონისგან დატვირთვა იქნება $g_n \gamma_g / \cos \alpha$. კიდული ჭერის, ამწე-კოჭის, შუქფარნების და ა.შ. არსებობის შემთხვევაში, მათგან გამოწვეული დატვირთვები აგრეთვე მოქმედებს წამწის შესაბამის კვანძებში შეყურსული ძალების სახით.

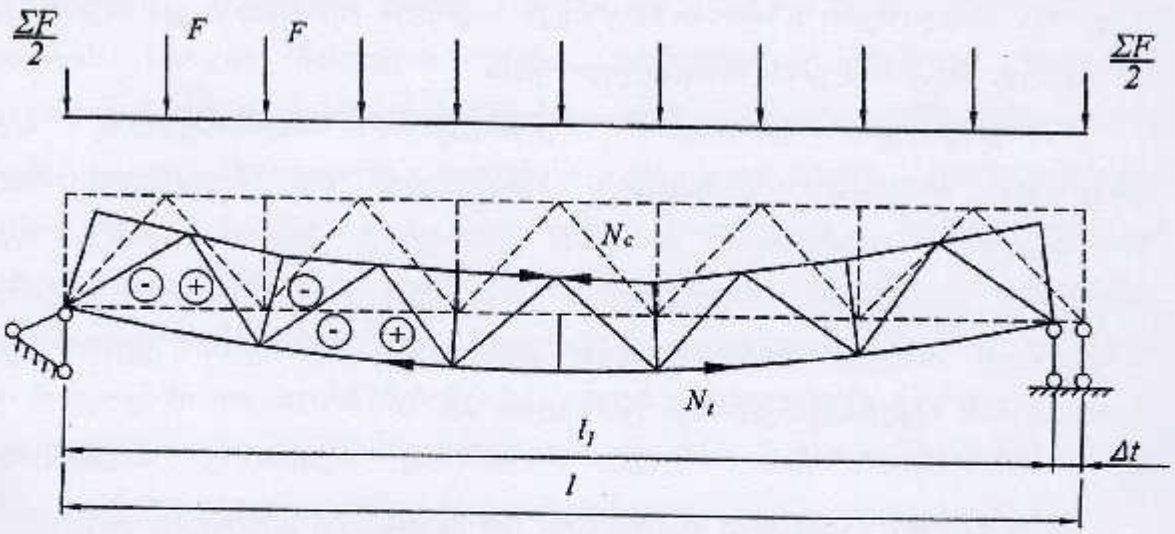


ფიგ. 79. ნივნივური წამწის საანგარიშო სქემა

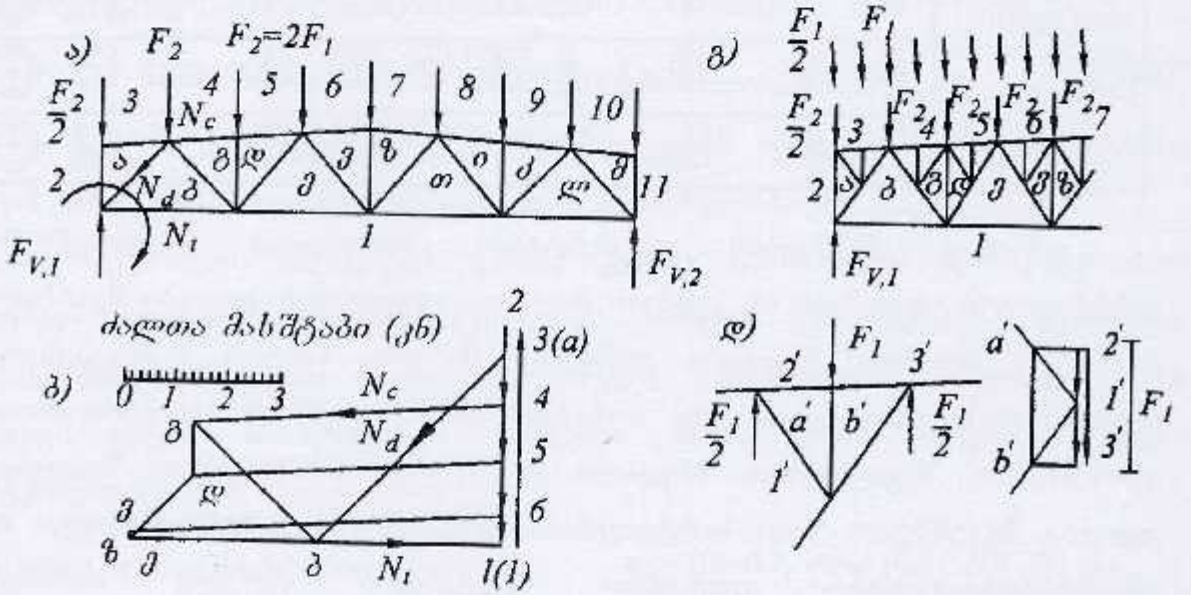
ნივნივური წამწის ელემენტებში საანგარიშო შეკუმშული ძალების მოქმედებისას წარმოიქმნებიან გრძივი მკუმშავი და გამჭიმი ძალები. ხოლო წამწე მთლიანად ღებულობს ჩაღუნვას f (ფიგ. 80). უგრძივო სქემებში, პანელის შუაში მოდებული (რკინაბეტონის წიბოვანი ფილების დაყრდნობის შემთხვევაში) შეკუმშული ძალისაგან, ან სარტყელის სიგრძეზე წრფივი განაწილებული დატვირთვისგან, წამწის ზედა სარტყელმა შესაძლებელია განიცადოს ადგილობრივი ღუნვა. ამ მომენტების მნიშვნელობები განისაზღვრება იმ ვარაუდით, რომ ზედა სარტყელი მუშაობს როგორც ერთმალიანი ჭრადი კოჭი

$$M_F = Fl_m/4; \qquad M_{col} = (q_g + q_s)l_m^2/8, \tag{80}$$

სადაც F არის შეკუმშული ძალა პანელის შუაში; q_g , q_s – საანგარიშო წრფივი დატვირთვები საკუთარი წონისა და თოვლისაგან.



ფიგ. 80. ვერტიკალური დატვირთვის ქვეშ მომუშავე ნივნივური წამწე



ფიგ. 81. ძალვების განსაზღვრა წამწის ელემენტებში

ა, გ – საანგარიშო სქემები; ბ – მაქსველ-კრემონას დიაგრამა ძირითადი სისტემისათვის; დ – მაქსველ-კრემონას დიაგრამა შპრენგელური სისტემისათვის

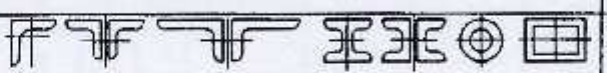
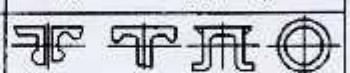
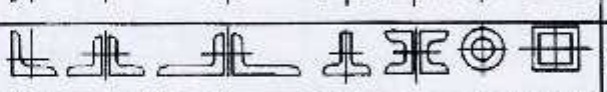
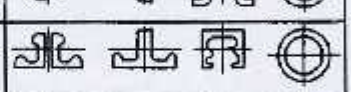
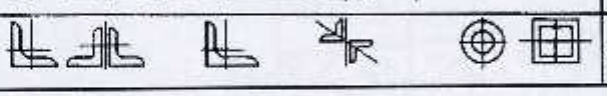
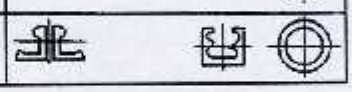
ნივნივური წამწეების ელემენტებში ძალვები განისაზღვრება ცალცალკე თვითოეული დატვირთვისაგან გრაფიკულ-ანალიზური მეთოდით – მაქსველ-კრემონას დიაგრამის აგების გზით ან ანალიზური – კვანძების ამოკვეთის მეთოდით. პირველი მეთოდი გამოიყენება რთული მოხაზულობის სარტყელების და გისოსის ცვლადი დახრის კუთხის მქონე წამწეების გასაანგარიშებლად, ხოლო მეორე – მარჩიელი წამწეებისათვის. მაქსველ-კრემონას დიაგრამის ასაგებად ღეროებს აღნიშნავენ ციფრებით და ასოებით

(ფიგ. 81), ანალიზური გზით საზღვრავენ საყრდენ რეაქციებს და აგებენ გარე და შემდეგ შიგა ძალების მრავალკუთხედს.

შპრენგელური გისოსების შემთხვევაში თადაპირველად აგებენ დიაგრამას ძირითადი სქემისთვის, ანაწილებენ რა შეყურსულ ძალებს შპრინგელური კვანძებიდან ძირითად კვანძებზე, ხოლო შემდეგ აგებენ ძალების დიაგრამას შპრენგელურ წამწეში. ამის შემდეგ შეჯამებით საზღვრავენ ძალებს თანამთხვევად ღეროებში. ღეროების კვეთის ტიპის შერჩევისას ხელმძღვანელობენ ცხრილით 28.

ცხრილი 28

მსუბუქი და საშუალო წამწეების ელემენტების კვეთების ტიპები

ელემენტები	ფოლადის ფურმები	ალუმინის ფურმები
ზედა სარტყელი		
ქვედა სარტყელი		
გისოსი		

ფინაიდან წამწეების ელემენტებში ძირითადად წარმოიქმნებიან ცენტრალური გაჭიმვის ან კუმშვის ძალები, ცდილობენ კვეთები შეარჩიონ თანაბრად მდგრადი მთავარი ღერძების მიმართ, ამიტომ წამწეებისათვის უფრო დამახასიათებელია ორი თანაბართაროიანი ან არათანაბართაროიანი კუთხედებით, შველერებით, მრგვალი ან სწორკუთხა მილებით შედგენილი კვეთები. შეკუმშული ზედა სარტყლებისათვის ქვედაზე მიზანშეწონილია ორი არათანაბართაროიანი კუთხედით შედგენილი (მოკლე თაროებით ერთმანეთთან დაყენებული) კვეთი, რაც ზრდის სიხისტეს წამწის მართობ სიბრტყეში.

ცალკეულ კუთხედებიან კვეთებს იყენებენ მცირედ დატვირთულ ან კონსტრუქციულ ღეროებში, თუმცა მშენებლობაში აგრეთვე გამოიყენება მსუბუქი წამწეები, რომლებიც მთლიანად დამზადებულია თანაბართაროიანი ცალკეული კუთხედისაგან. ასეთი წამწეები გამოირჩევა უფრო მაღალი კოროზიამედეგობით და ეფექტურად გამოიყენება აგრესიულ გარემოებიან შენობებში.

ნაგლინი ან გრეხილ-შენადუღი პროფილებისაგან დამზადებული წამწეების ახალ კონსტრუქციულ გადაწყვეტებთან შედარებით, შეწყვილებულ

კუთხელებიანი წამწყები უფრო მძიმეა და დამზადებაში შრომატევადია. ლითონის ხარჯის მიხედვით უფრო ეკონომიურია მრგვალი ფოლადის მილებისაგან დამზადებული წამწყებები, თუმცა მათი დამზადება უფრო შრომატევადია მართკუთხა მილებისა და ცალკეული კუთხედებისაგან დამზადებულ წამწყებთან შედარებით. ალუმინის შენადნობებისაგან დამზადებული წამწყებების ღეროები ფოლადის პროფილების ანალოგიურია. ღია პროფილების გამოყენების შემთხვევაში (კუთხედი, ტესებრი, შველერი), მათ ბოლოებში ითვალისწინებენ სპეციალურ გასქელებებს, ე.წ. ბულბებს.

წამწის გაჭიმული ელემენტის კვეთის საჭირო ფართობი $A_{n.cal}$ გაიანგარიშება მე-(8) ფორმულის შესაბამისად

$$A_{n.cal} = N / R_y \gamma_c , \tag{81}$$

ხოლო შეკუმშული ელემენტისათვის მე-(10) ფორმულის შესაბამისად

$$A_{cal} = N / \varphi R_y \gamma_c . \tag{82}$$

წამწის გაჭიმული ელემენტის განივკვეთს ირჩევენ სორტამენტით, ისე რომ განივკვეთის ფართობის ნამდვილი მნიშვნელობა $A \geq A_{n.cal}$.

შეკუმშული ელემენტის განივი კვეთის განსაზღვრა დამოკიდებულია გრძივი ღუნვის კოეფიციენტზე φ, ამიტომ შეკუმშული ღეროების გაანგარიშება ხდება თანამიმდევრული მიახლოების მეთოდით. φ კოეფიციენტის მნიშვნელობა პირველი მიახლოებით აიღება შემდეგი რეკომენდაციების შესაბამისად:

ფოლადის კონსტრუქციებისათვის
$\varphi_1 = 0.6–0.7$, როდესაც $N < 200$ კნ,
$\varphi_1 = 0.7–0.8$, როდესაც $200 < N < 1000$ კნ,
$\varphi_1 = 0.8–0.9$, როდესაც $N \geq 1000$ კნ;

ალუმინის შენადნობების კონსტრუქციებისათვის
$\varphi_1 = 0.5–0.6$, როდესაც $N < 200$ კნ,
$\varphi_1 = 0.6–0.7$, როდესაც $200 < N < 1000$ კნ,
$\varphi_1 = 0.7–0.8$, როდესაც $N \geq 1000$ კნ.

შეკუმშული და გაჭიმული ელემენტების ხვრული მოქნილობა იხღუდება საკუთარი მასისაგან ღეროების ჩაზნექილობის თავიდან ასაცილებლად, სამონტაჟო და საექსპლუატაციო დატვირთვებზე მდგრადობის უზრუნველსაყოფად, დინამიკური ზემოქმედებებისას ვიბრაციის ლიკვიდაციის

მიზნით. სამშენებლო ნორმებისა და წესების შესაბამისად შეკუმშული და გაჭიმული ელემენტების ზღვრული მოქნილობის მნიშვნელობები აიღება 29-ე ცხრილის მიხედვით.

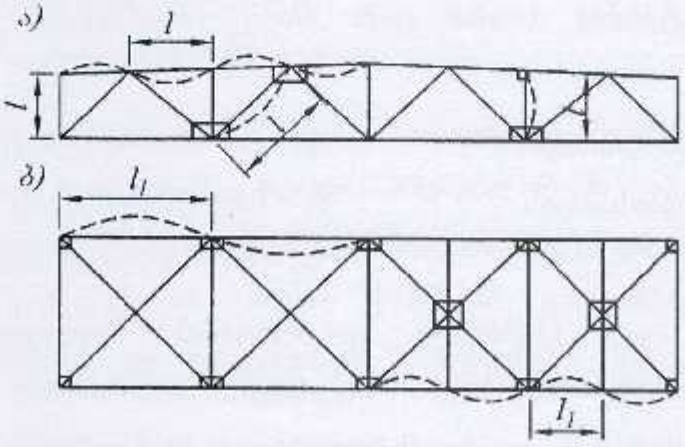
ცხრილი 29

შეკუმშული და გაჭიმული ელემენტების ზღვრული მოქნილობები

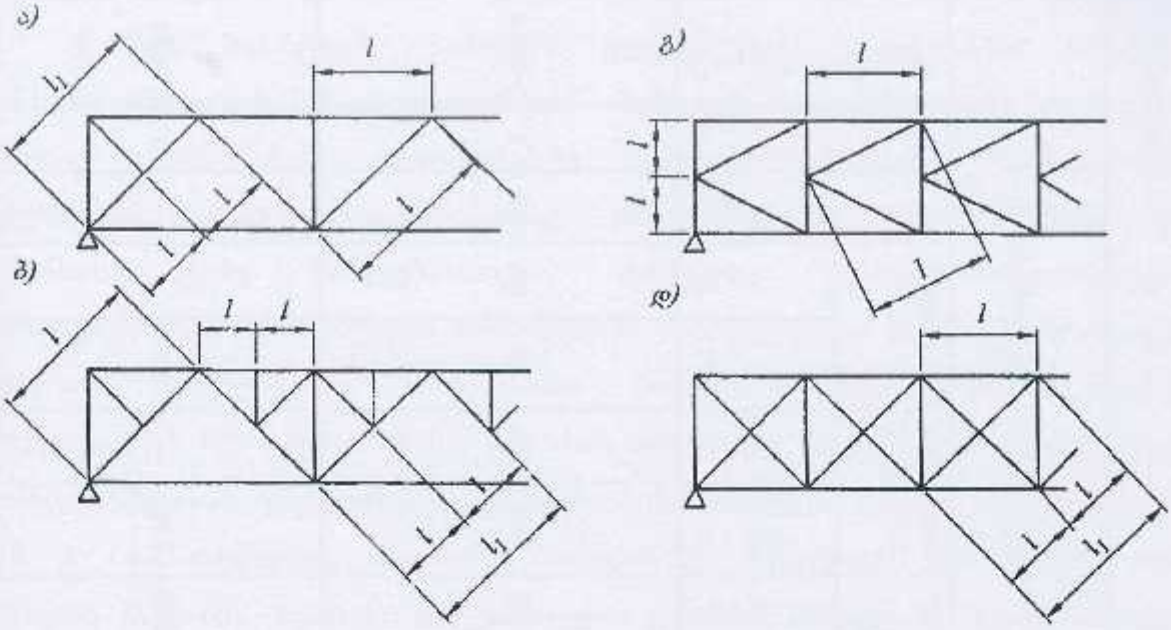
ელემენტები	შეკუმშული ღეროები	გაჭიმული ღეროები		
		უშუალო დინამიკური ზემოქმედების დროს	სტატიკური დატვირთვების დროს	მძიმე რეჟიმის შენობებში
სარტყელები, საყრდენი ირიბნები და დგარები	120 (100)	250 (200)	400 (300)	250
სხვა ელემენტები	150 (120)	350 (300)	400 (300)	300
გადახურვის კავშირები	200 (150)	400 (300)	400 (300)	300

შენიშვნა: ფრჩხილებში მოცემულია მნიშვნელობები ალუმინის შენადნობებისთვის.

წამწის შეკუმშულმა ღეროებმა შეიძლება დაკარგონ მდგრადობა როგორც თავის სიბრტყეში, ასევე წამწის სიბრტყიდან, ამიტომ საზღვრავენ ღეროს მაქსიმალურ მოქნილობას, რომელსაც შეესაბამება გრძივი ღუნვის მინიმალური კოეფიციენტი. ვითვალისწინებთ რა, რომ შეკუმშული ღეროების მდგრადობის დაკარგვა შეიძლება მოხდეს მხოლოდ ჩამაგრებულ კვანძებს შორის, ჩამაგრების ხასიათის გათვალისწინებით (ფიგ. 82 და 83), ღეროების საანგარიშო სიგრძეები შეირჩევა 30-ე ცხრილის მიხედვით.



ფიგ. 82. წამწეების ზედა სარტყელის ელემენტების საანგარიშო სიგრძეების განსაზღვრისათვის



ფიგ. 83. წამწების გისოსის ელემენტების საანგარიშო სიგრძეების განსაზღვრისათვის

ცხრილი 30

ბრტყელი წამწების შეკუმშული ელემენტების საანგარიშო სიგრძეები l_{ef}

გრძივი ღუნვა	მარტივი გისოსით (იხ. ფიგ. 82)			რთული გისოსით (იხ. ფიგ. 83)		
		გისოსი			გისოსი	
	სარტყლები	საყრდენი ირიბნები და დგარები	სხვა ელემენტები	სარტყლები	საყრდენი ირიბნები და დგარები	სხვა ელემენტები
წამწის სიბრტყეში	l	l	$0.8l$	l	l	$0.8l$
წამწის მართობულ სიბრტყიდან	l_1	l_1	l_1	l_1	l_1	l_1

აღნიშვნები: l – მანძილი უახლოეს კვანძებს შორის წამწის სიბრტყეში; l_1 – მანძილი კვანძებს შორის, რომლებიც დამაგრებულია წამწის სიბრტყიდან გადაადგილების თავიდან ასაცილებლად.

ფასონი ელემენტების კვეთების შეფასება

მასალის მახასიათებლები			მასალის ნაკეთობა და ზომა		ფასონის მახასიათებლები							
დენადობის ზღვარი	ფოლადის ხარისხი	R_y, მპა	R_s, მპა	γ_c	A, სმ²	ინერციის მომენტები		ინერციის რადიუსები		მოქნილობა		φ_{min}	γ_c	a, მმ
						I_x, სმ⁴	I_y, სმ⁴	i_x, სმ	i_y, სმ	λ_x	λ_y			
ძაბვების ხანგრძლივი წინააღმდეგობა	ფოლადის ხარისხი	R_y, მპა	R_s, მპა	γ_c	A, სმ²	საანგარიშო ინერციის მომენტები		ინერციის რადიუსები		მოქნილობა		φ_{min}	γ_c	a, მმ
ძაბვების ხანგრძლივი წინააღმდეგობა	ფოლადის ხარისხი	R_y, მპა	R_s, მპა	γ_c	A, სმ²	I_x, სმ⁴	I_y, სმ⁴	i_x, სმ	i_y, სმ	λ_x	λ_y	φ_{min}	γ_c	a, მმ
2400	6–ს	251	−623	0.9	33									
2400	6–ს	251	−623	0.9	33	50.6	251	502	2.84	5.13	88	98	0.6	1	−634.4
2400	6–ს	251	−623	0.9	33								

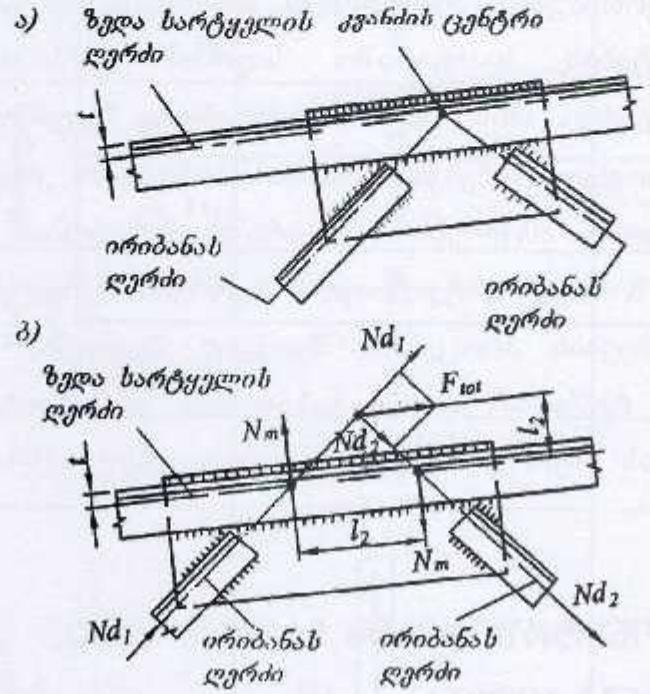
წამწის სიბრტყეში გისოსის ელემენტების საანგარიშო სიგრძის განსაზღვრისათვის 0.8 კოეფიციენტის შემოტანა ითვალისწინებს ღეროების დრეკად ჩამაგრებას ფასონურებში, იდეალურსახსრიანი საანგაარიშო სქემისაგან განსხვავებით. ჩაკეტილ პროფილებიანი სარტყელებისა და გისოსის მქონე წამწეებისათვის, რომელთა გისოსის ელემენტები სარტყელებთან მიერთებულია პირმიდგმით, სიბრტყეში და წამწის სიბრტყიდან გისოსის ელემენტების საანგარიშო სიგრძის განსაზღვრისას იღებენ კოეფიციენტს 0.9. გარდა ამისა, გისოსის ძირითადი შეკუმშული ელემენტების გაანგარიშებისას ითვალისწინებენ მუშაობის პირობების კოეფიციენტს $\gamma_c = 0.8$ (იხ. ც. 1.4.), რომელიც ამცირებს საანგარიშო წინაღობას იმის გამო, რომ გრძელი ($\lambda \geq 60$), მცირედ დატვირთული ღეროები შეიძლება დეფორმირდეს სამუშაოების წარმოების პროცესში. შედეგად შეიძლება გაჩნდეს საწყისი ექსცენტრისიტეტი, რომელიც მუტად სახიფათოა ექსპლუატაციის პერიოდში. ღეროების კვეთების შერჩევა მოსახერხებელია 31-ე ცხრილში მოყვანილი ფორმის მიხედვით.

5.6. წამწის კონსტრუირების საფუძვლები. კვანძების გაანგარიშება

წამწის კვანძების კონსტრუირების საფუძველია კვანძში შემავალი ქვედა ღეროს ღერძების კვანძის ცენტრში გადაკვეთა (ფიგ. 84, ა). ამ შემთხვევაში მიიღწევა ღერძული ძალვების შენარჩუნება ყოველ ღეროვან ელემენტში. კვანძში ღერძების განცენტრების შემთხვევაში (ფიგ. 84, ბ) ტოლქმედი ძალა F_{tot} სარტყელის მიმართ მოდებული იქნება e_2 ექსცენტრისიტეტით, რის შედეგადაც კვანძში გაჩნდება დამატებითი მღუნავი მომენტი $M = F_{tot}\, e_2$. დამატებითი მომენტის გაჩენა იწვევს წამწის სიბრტყეში კვანძის დაგრეხას N_m ძალებით და ღეროებში არაცენტრალურ კუმშვას და გაჭიმვას, რაც გამოიწვევს მასალის ხარჯის გაზრდას.

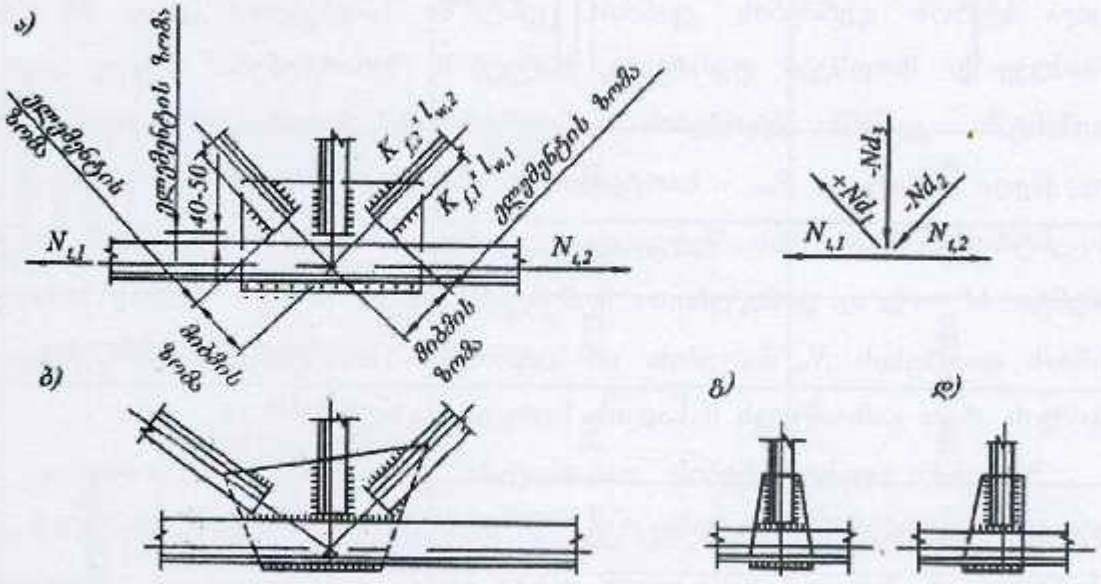
საკვანძო ფასონურების გაბარიტები განისაზღვრება პირობით, რომ ღეროვანი ელემენტების მიმაგრება ხორციელდება ფლანგური შენადუღი ნაკერებით ან მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებით, შესაუღლებელ ელემენტებს შორის 40–50 მმ დრეხის გათვალისწინებით (ფიგ. 85). დამზადების შრომატევადობის შემცირების მიზნით, ფასონურებს უნდა ჰქონდეთ მარტივი

მართკუთხა ფორმა, ხოლო შეერთების სიმტკიცის უზრუნველსაყოფად განივკვეთის ზომები უნდა იყოს ისეთი, რომ უზრუნველყოფილი იქნეს ფასონურებისა და ღეროვანი ელემენტების ოანაბარი სიმტკიცე. დაუშვებელია ფასონურას დაპროექტება ძალვის ღერძის მიმართ ასიმეტრიულად, რადგანაც ამ შემთხვევაში წარმოიშობა ადგილობრივი მღუნავი მომენტები (ფიგ. 85, დ).



ფიგ. 84. ღეროების დაცენტრება წამწის კვანძებში

ა – სწორი; ბ – არასწორი



ფიგ. 85. ფასონურას მიმაგრება სარტყელებთან და ირიბნებთან

ა, ბ – სწორი; გ, დ – არასწორი.

წამწის ქვედა კვაძში ფასონურას სისქეს იღებენ ერთნაირს შეკუმშულ საყრდენ ირიბანაში მოქმედი საანგარიშო ძალვის მიხედვით (ცხრილი 32), ვინაიდან, ამ კვაძში, ღეროს ტორსსა და საყრდენი კვანძის სიხისტის წიბოებს შორის უბანზე, ფასონურას მდგადობის დაკარგვის საშიშროება იქმნება. დიდმალიან ფერმებში დასაშვებია საყრდენი კვანძის ფასონურა აღებულ იქნას 2 მმ-ით სქელი სხვა ფასონურებთან შედარებით.

ცხრილი 32

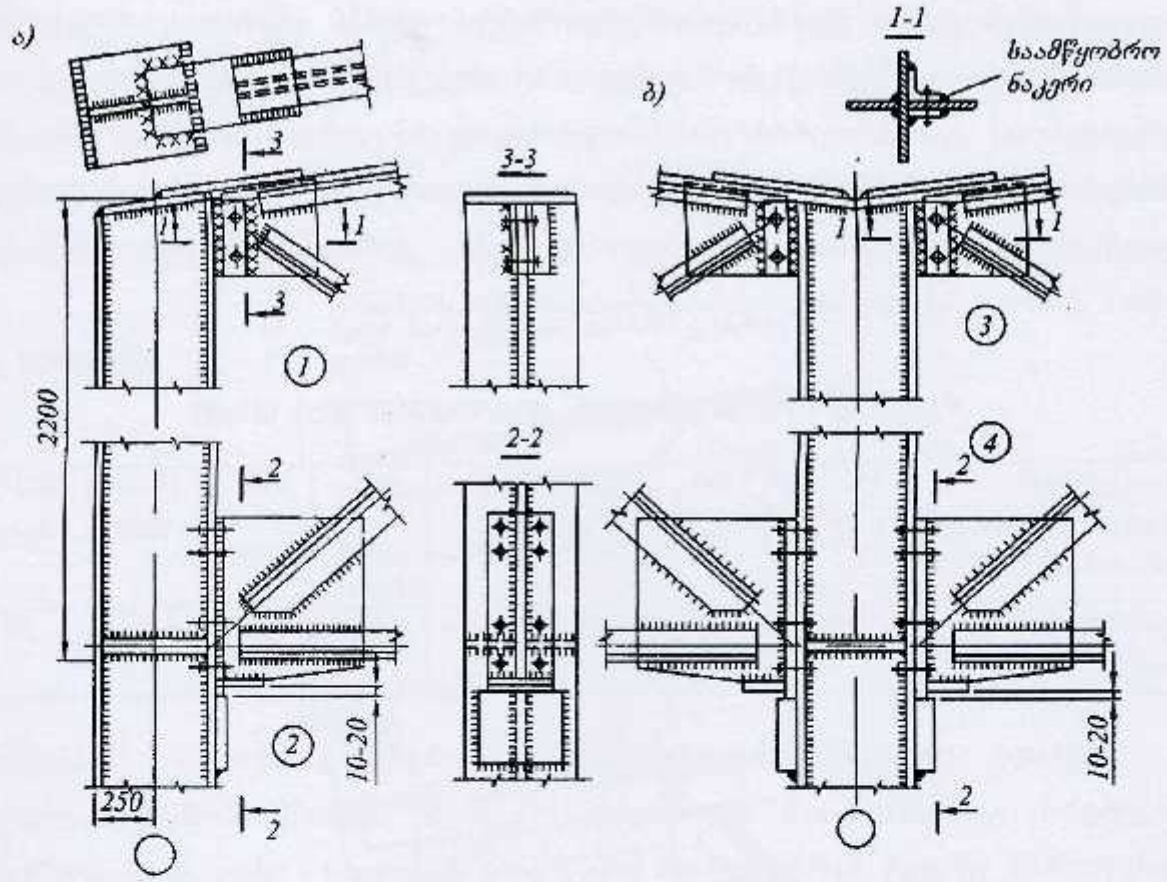
წამწების ფასონურების რეკომენდებული სისქე

საანგარიშო ძალვა საყრდენ ირიბანაში, კნ	150–დე	160-250	260–400	410–600	610–1000	1010–1400	1410–1800	1800-ზე მეტი
ფასონურას სისქე, მმ	6	8	10	12	14	16	18	20

ჭრადი ღეროების საკვანძო ფასონურასთან მიმაგრების შენადუღი ნაკერების გაანგარიშებას აწარმოებენ მოცემულ ღეროში მოქმედ ძალვაზე. ფასონურას უწყვეტ სარტყელთან მიმაგრების ნაკერები უნდა გაანგარიშდეს პანელებში ძალვების სხვაობაზე (ფიგ. 85, ა). ჭრად საკვანძო ფასონურებიან, სარტყელების ღეროებზე ზესადებებიან, საპირაპირე კვანძებში ფასონურას სარტყელთან მისამაგრებილი ნაკერების გაანგარიშებას ახდენენ გისოსის ელემენტებში ტოლქმედ ძალვაზე.

5.7. მსუბუქი წამწების კონსტრუირება

ნივნივური წამწები შეიძლება დაეყრდნოს ფოლადის ან რკინაბეტონის სვეტებზე, აგურის ან ბეტონის კედლებზე, აგრეთვე ნივნიქმეშა კონსტრუქციებზე. მშენებლობის პრაქტიკაში აგრეთვე გამოიყენება წამწის ხისტი მიმაგრება სვეტზე გვერდიდან (ფიგ. 86), რაც უზრუნველყოფს საანგარიშო მალისა და კონსტრუქციის სარტყელებში საანგარიშო ძალვების შემცირებას. ზედა სარტყელში გრძივი ძალების გადაცემა სვეტზე ხორციელდება სარტყელის კუთხედების თაროებზე და სვეტის სათავის ჰორიზონტალურ ფურცელზე მიდუღებული საპირაპირე ზესადებით, ხოლო ქვედა სარტყელში – ტორსული საყრდენი წიბოთი.



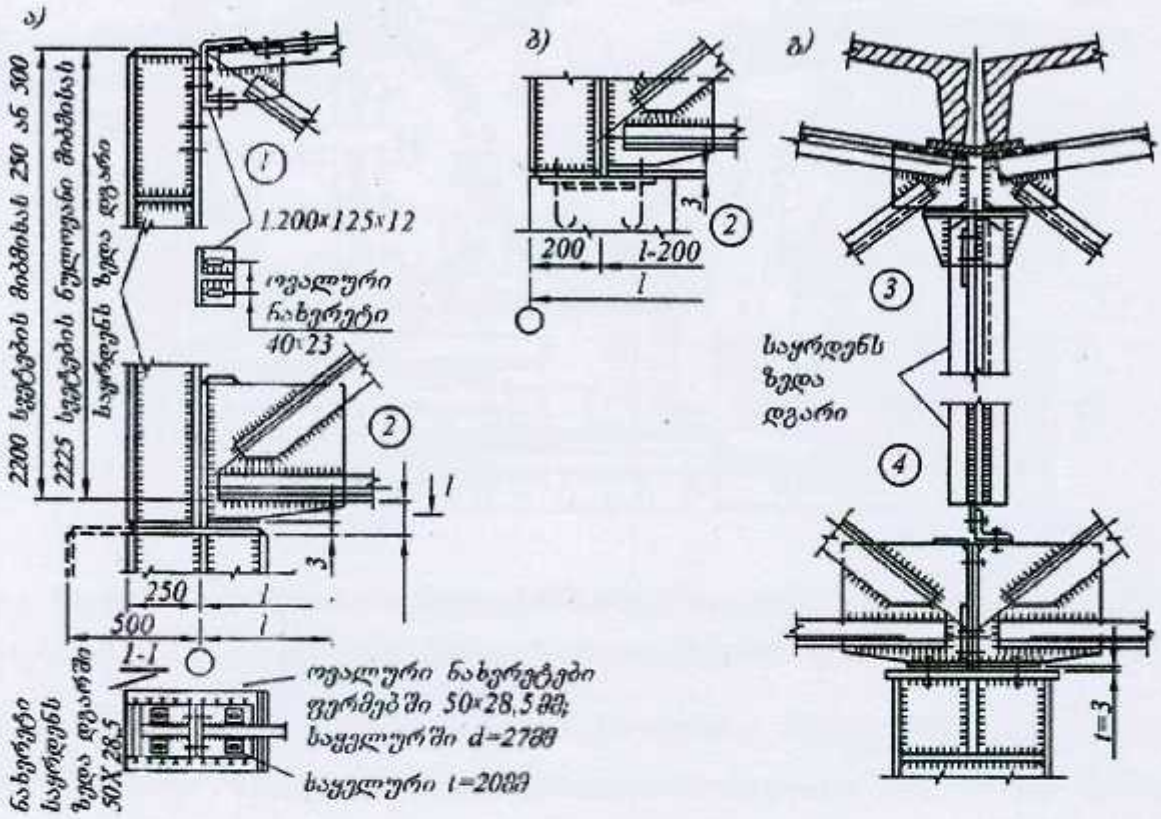
ფიგ. 86. ტიპური უნიფიცირებული წამწეების საყრდენი კვანძები (1–4) წამწეების სვეტთან გვერდიდან მიმაგრების შემთხვევაში

ა – დაყრდნობა განაპირა სვეტზე; ბ –დაყრდნობა შუა სვეტზე

ტიპურ გადაწყვეტებში (იხ. ფიგ. 68), წამწეების საყრდენი კვანძების უნიფიკაციის მი'ხნით, ფოლადის ან რკინაბეტონის სვეტებზე დაყრდნობის შემთხვევაში იყენებენ სახსრულ ჩამაგრებას, რომლის დროსაც წამწის საყრდენის რეაქცია სვეტის სათავისს გადაეცემა ვერტიკალური საყრდენი წიბოს ტორსით (ფიგ. 87). ფოლადის სვეტების გამოყენების შემთხვევაში, განაპირა დერძებზე მიბმას აპროექტებენ ღერძულად (ფიგ. 87, ა), რკინაბეტონის სვეტების დროს კი მიბმა ნულოვანია (ფიგ. 87, ბ). საყრდენის ზედა დგარი განკუთვნილია წამწის ზონაში შემომყარგვლელი პანელების დასამაგრებლად.

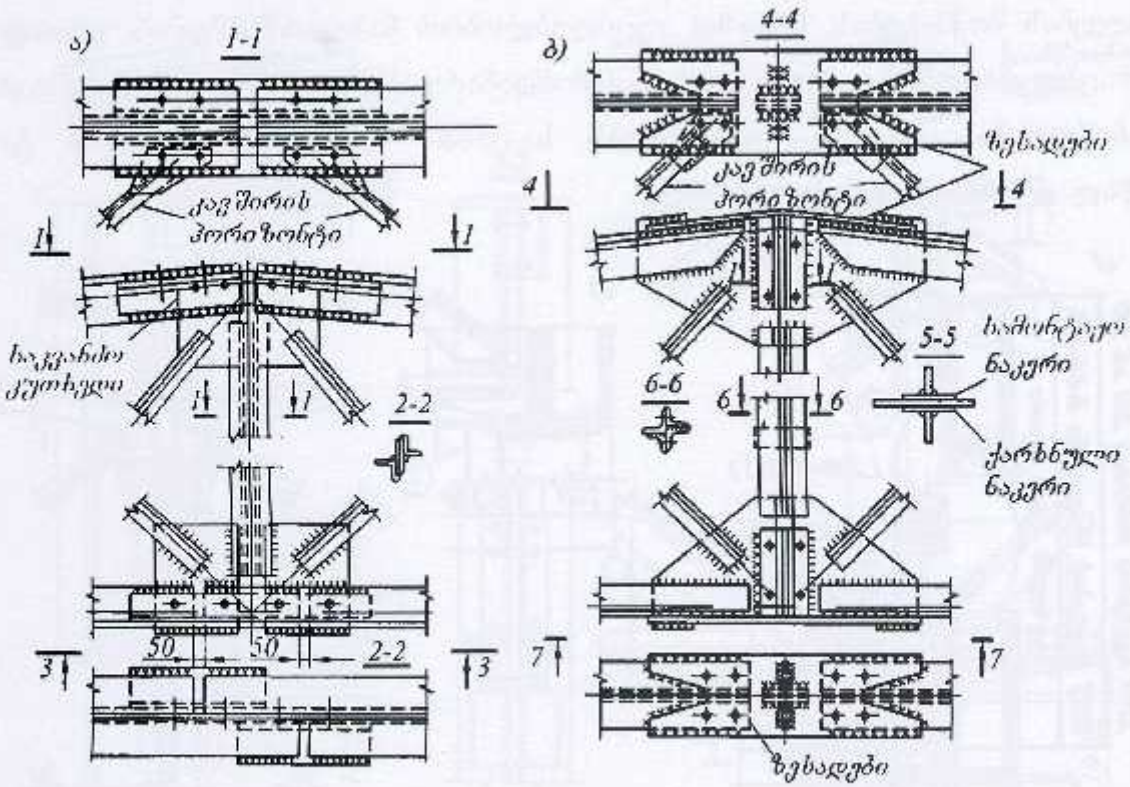
წამწეების ყველაზე საპასუხისმგებლო კვანძებია სამონტაჟო პირაპირა კვანძები (ფიგ. 88). ამ კვანძების საჭიროება აიხსნება ნივნიტური წამწის ცალკეულ სამონტაჟო ელემენტებად დანაწევრების (უფრო ხშირად ორ ხახვარფერმად, მალის შუაში – სარტყელებში მაქსიმალური გრძივი

ძალვების მოქმედების ზონაში) აუცილებლობით. ნახევარწამწეების ურთიერთშენაცვლებადობის პირობიდან გამომდინარე, სამონტაჟო ელემენტებად დანაწევრება აგრეთვე გულისხმობს საკვანძო ფასონურების ორ ტოლ ნაწილად დანაწევრებას.



ფიგ. 87. ტიპური უნიფიცირებული წამწეების საყრდენი კვანძები (*I–4*) განაპირა (ა, ბ) და შუა (გ) სვეტზე ზევიდან დაყრდნობის შემთხვევაში

სამონტაჟო პირაპირის უმარტივესი კონსტრუქცია ნაჩვენებია ფიგ. 88, ა-ზე. ზედა სარტყელში პირაპირი გადახურულია სიმეტრიულად განლაგებული საპირაპირე კუთხედებით, რომლებიც მიდუღებულია ზედა სარტყელის კუთხედების თაროებთან. საპირაპირე კუთხედებს ნახევარწამწეებთან, პირაპირის ყოველ მხარეს, წინასწარ ამაგრებენ ორ-ორი სამონტაჟო ჭანჭიკით. ქვედა (ჰორიზონტალურ) სარტყელში საპირაპირე კუთხედებს განალაგებენ ხტუნად, რაც ამაღლებს პირაპირის საიმედოობას, ვინაიდან ამ შემთხვევაში პირაპირი დახურულია ერთი საპირაპირე კუთხედით და კვანძის ფასონურით.

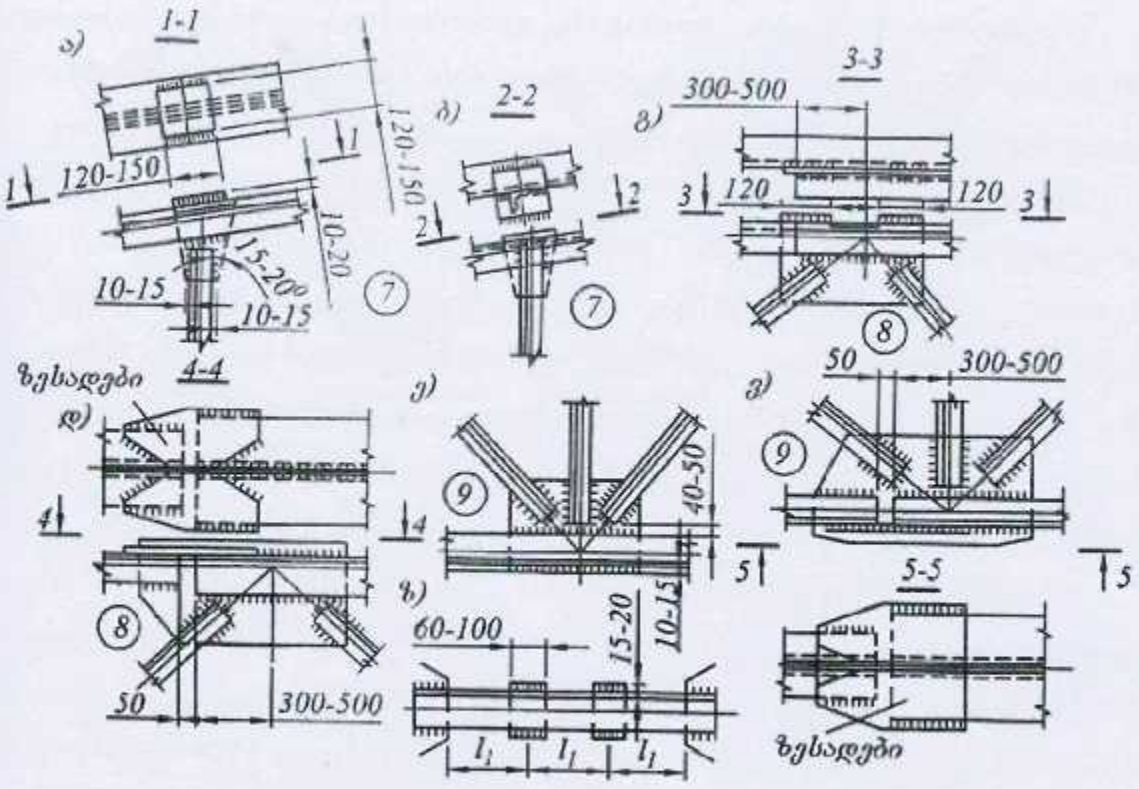


ფიგ. 88. წამწეების ზედა და ქვედა სარტყელების სამონტაჟო პირაპირები

ა – კუთხედი საპირაპირე ზესადებებით; ბ – ფურცლოვანი საპირაპირე ზესადებებით

ამავე მოთხოვნებს პასუხობს ფიგ. 88, ბ-ზე ნაჩვენები კვანძის კონსტრუქცია. ეს გადაწყვეტა პირველთან შედარებით უფრო შრომატევადია, მაგრამ ხასიათდება მეტი მზიდუნარიანობითა და საიმედოობით. სამონტაჟო საპირაპირე კვანძების ძირითადი დანიშნულებაა საპირაპირე ელემენტების კვეთისა და სარტყელების კვეთის თანაბარი სიმტკიცის უზრუნველყოფა. წამწეების კვანძების შეალედური კვანძების კონსტრუქციული გადაწყვეტები ნაჩვენებია ფიგ. 89-ზე.

წამწეებზე რკინაბეტონის წიბოვანი ფილების დაყრდნობის ადგილებში სარტყელების კუთხედების თაროებს აძლიერებენ არა უმეტეს 150x150 სმ ზომის ჰორიზონტალური საკვანძო ფირფიტებით (ფიგ. 89, ა, ბ). ნულოვანი ძალის მქონე ღეროებში, ფოლადის დამატებითი ეკონომიის მიზანებად დასაშვებია ცალმაგი კუთხედის გამოყენება (ფიგ. 89, გ). ამ შემთხვევაში, და აგრეთვე სარტყელებში უფრო მცირე კვეთის მქონე კუთხედებზე გადასვლისას, შეწყვილებული ან უფრო დიდი კვეთის მქონე კუთხედები კვანძის ცენტრს გადაცილებიან 300–500 მმ-ით (ფიგ. 89, დ)



ფიგ. 89. ტიპობრივი უნიფიცირებული წამწეების შუალედური კვანძები და წამწეების ელემენტებში შემაერთებელი თამასების მოწყობა

პირაპირში საანგარიშო კვეთად მიიჩნევა საკვანძო ფასონურას ფურცლისა და ზესადების ფირფიტებისაგან შედგენილი კვეთი. ორი კუთხედისგან, შველერისგან და ა.შ. შედგენილი ღეროების ერთობლივი მუშაობა უზრუნველყოფილია იმ შემთხვევაში, თუ მათ შორის ჩადგმულია შემაერთებელი თამასები (ფიგ. 89, ზ). შეკუმშულ ღეროებს სიგრძეზე თამასებს აყენებენ ბიჯით $\leq 40 i_x$ (სადაც i_x კუთხოვანას ინერციის რადიუსია x–x ღერძის მიმართ), ხოლო გაჭიმული ელემენტებისთვის – ბიჯით $\leq 80 i_x$. თამასების სისქე აიღება წამწეების ძირითადი საკვანძო ფასონურების სისქის ტოლი.

ფოლადის ეკონომიის ერთ-ერთი ძირითადი მიმართულებაა ფოლადის მილისებრი კონსტრუქციების გამოყენება. თეორიულმა და ექსპერიმენტულმა კვლევებმა, აგრეთვე მშენებლობაში მილისებრი ელემენტებისაგან დამზადებული ნივნიგური წამწეების გამოყენებამ აჩვენა, რომ ჩვეულებრივი პროფილებისაგან დამზადებულ წამწეებთან შედარებით, ფოლადის ერთი და იგივე მარკის შემთხვევაში და თანაბარ საექსპლუატაციო პირობებში, ფოლადის ეკონომია აღწევს 15–20 %-ს, ხოლო 400–500 მპა დროებითი წინაღობის მქონე ფოლადების შემთხვევაში, მასალის ხარჯი შეიძლება შემცირდეს 30–40 %-მდე.

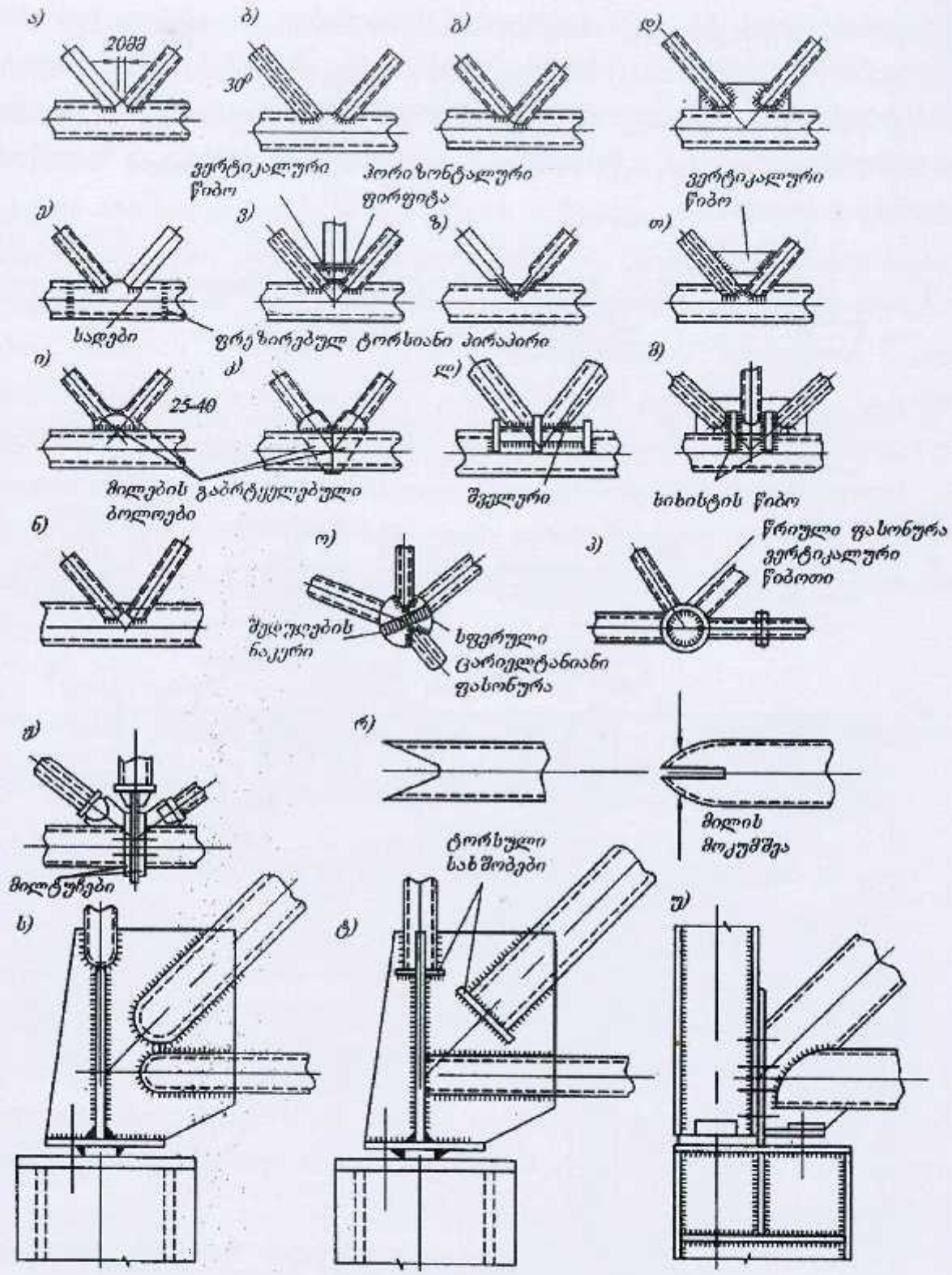
მილისებრი წამწეები, ფოლადის ეკონომიასთან ერთად, ხასიათდება დამზადების ნაკლები შრომატევადობით სა'შემდუღებლო სამუშაოების მოცულობების შემცირების გამო.

მრგვალი მილებისაგან ნიჩნიჟური წამწეების დაპროექტებისას უპირატესობა ენიჭება ისეთ კონსტრუქციულ სქემებს, რომლისაც აქვთ სამკუთხა გისოსი, კვანძებში გისოსის არაუმეტეს ორი ელემენტის შეუღლებით. შპრენგერული გისოსები, კვანძების კონსტრუირების სირთულის გამო, მილისებრ წამწეებში რეკომენდებული არ არის. მილისებრი კვეთის გამოყენების მაქსიმალური ეფექტი მიიღწევა კონსტრუქციის ყველა შეკუმშული ღეროს საანგარიშო სიგრძეების ტოლობის შემთხვევაში.

მილისებრ წამწეებში დასაშვებია ელექტროშენადუღი ან ცხლად დეფორმირებული მილების გამოყენება დიამეტრით 40–530 მმ, თუმცა ყველაზე მიზანშეწონილია მილები გარე დიამეტრით 140–180 მმ-დე და კედლის სისქის დიამეტრთან შეფარდებით: 1/35 – 1/45 სარტყელებისათვის; 1/70–1/ 100 გისოსის შეკუმშული ელემენტებისათვის და 1/100 გისოსის გაჭიმული ელემენტებისათვის. ამასთან, მილის მინიმალური სისქე უნდა იყოს არანაკლები 3 მმ.

მილისებრი წამწეების საკვანძო შეერთებები შეიძლება იყოს ფასონურების გარეშე, საკვანძო ფასონურებითა და საკვანძო ჩასადგმელებით: ცილინდრული, პრიზმული და სფერული ფორმის (ფიგ. 90). მასალის ხარჯის მიხედვით ყველაზე ეფექტურია უფასონური შეერთებები მილების ცილინდრული შეუღლებით (ფიგ. 90, ა-გ), რომლებიც გამოიყენება გისოსის სარტყელთან არანაკლებ 30° დახრის კუთხის და გისოსის ელემენტებისა და სარტყელების დიამეტრების შეფარდების არანაკლებ 1/3-ის შემთხვევაში. გაბრტყელებულ ბოლოებიანი მილების უფასონური შეერთებები (ფიგ. 90, ზ, ი, კ) უფრო მარტივი დასამზადებელია, მაგრამ ნაკლებად საიმედოა მუშაობაში.

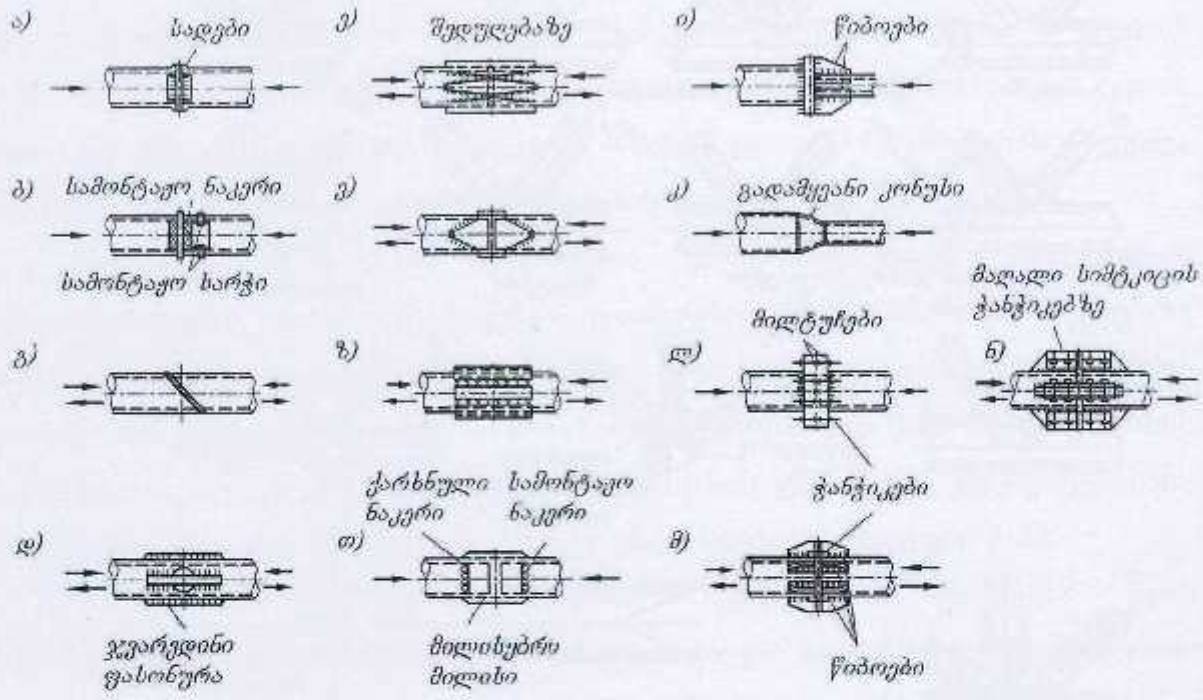
ფასონურებიანი კვანძები (ფიგ. 90, დ, მ, ს, ტ) იშვიათად გამოიყენება, ვინაიდან ისინი საჭიროებს მასალის დიდ ხარჯს. ასეთი შეერთებები მოსახერხებელია წამწეების საყრდენი კვანძებისათვის სვეტებზე ზევიდან დაყრდნობის შემთხვევაში (ფიგ. 90, ს, ტ). საკვანძო ჩასადგმელებიანი კვანძები (ფიგ. 90, ო, პ) გამოირჩევა უნაყერსალობით, მათ ფართოდ იყენებენ ნიჩნიჟური წამწეების სხვადასხვა ტიპებში (განსაკუთრებით სიერციაში), მაგრამ მასალის ხარჯის მხრივ ჩამორჩებიან უფასონურო შეერთებებს.



ფიგ. 90. გისოსოვანი კონსტრუქციების კვანძები მრგვალ მილებიანი ღეროებით

შენადუღ პირაპირებს (ფიგ. 91, ა-კ), როგორც წესი, ქარხნულ პირობებში ამზადებენ. მათი დანიშნულებაა სარტყელების სიგრძის გაზრდა ან სხვადასხვა დიამეტრის მილების შეუღლება. მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებიან

პირაპირებს (ფიგ. 91, ლ-ნ) (ტორსული მილტუჩებით ან გრძივი წიბოებით) ავროექტებენ სამონტაჟო სახით, გასაგზავნი მარკების ერთ მთლიან კონსტრუქციად შესაულლებლად. მილტუჩა შეერთებები ჭანჭიკებით გათვალისწინებულია, როგორც გაჭიმული, ასევე შეკუმშული ელემენტებისათვისაც.

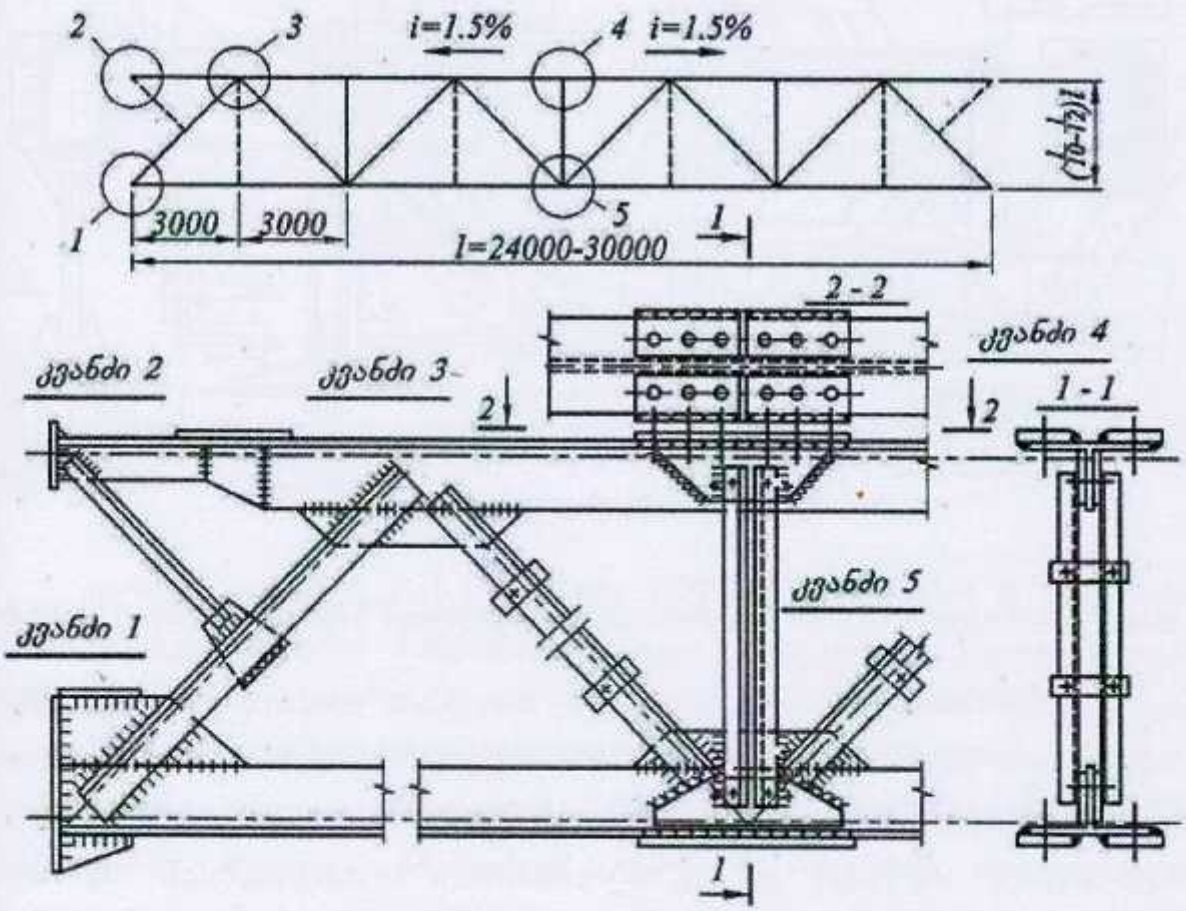


ფიგ. 91. მილისებრი ღეროების შენადუღი (ა–კ) და ჭანჭიკური (ლ–ნ) გრძივი პირაპირები

24 და 30 მ მალის მქონე სამრეწველო შენობების გადახურვების ეკონომიკური ეფექტურობის გაზრდის მოთხოვნამ გამოიწვია ნივნივური წამწეების ახალი კონსტრუქციული გადაწყვეტები: ფართოთაროებიანი ტესებრი და ორტესებრი, მართკუთხა კვეთის ნაღუნ–შენადუღი, ცალკეული კუთხედი და კუთხედორტესებრი (ცხლად გლინული შველერისა და კუთხედის კომბინირებული კვეთი) პროფილების გამოყენებით.

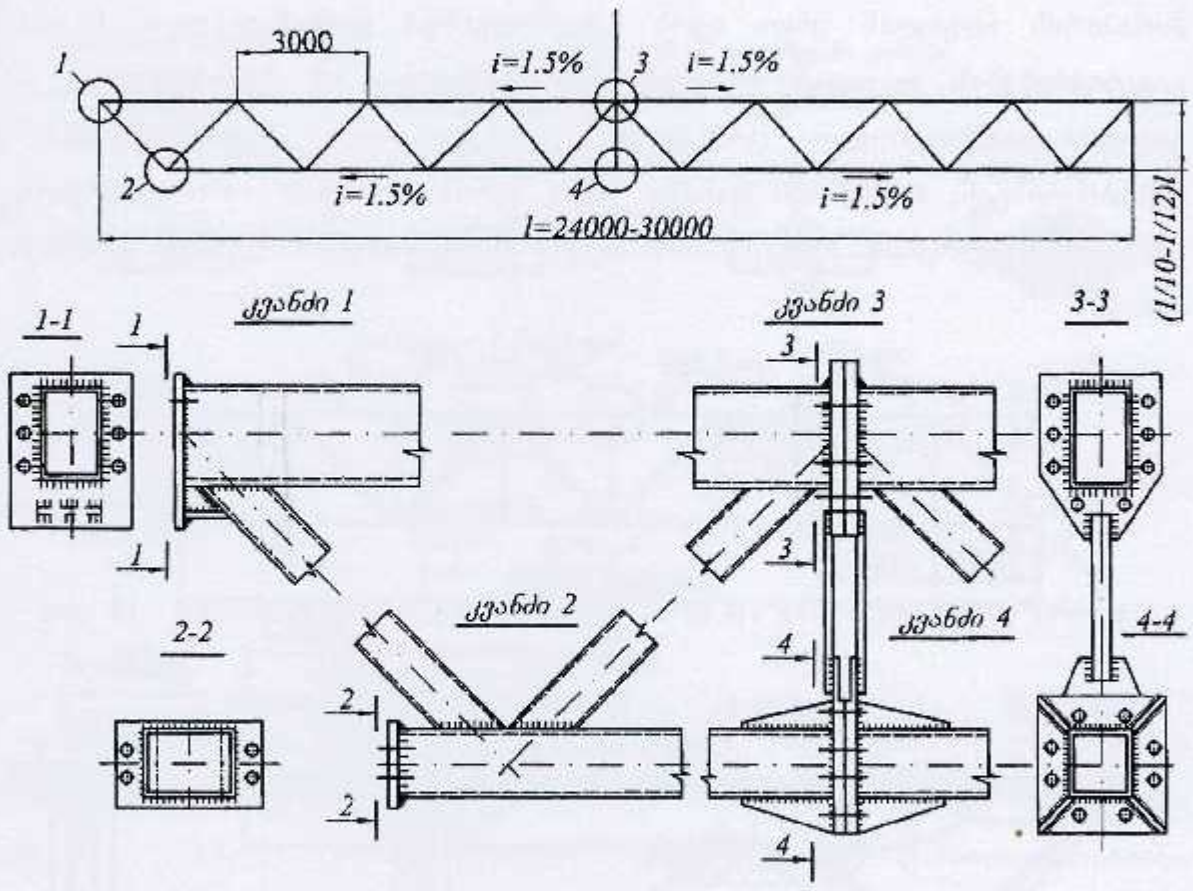
ამ გადახურვების საერთო ნიშანია – ბურულის უგრძივო გადაწყვეტა, დაპროფილებული ფენილის უშუალოდ ნივნივური წამწეების ზედა სარტყელებზე დაყდნობით. დაპროფილებული ფენილის მსიდუნარიანობიდან გამომდინარე, ნივნივური წამწეების ბიჯი მიიღება 3 ან 4 მ. ნივნივური წამწეები ეყრდნობა ნივნივქვეშა წამწეებზე მალით 12 მ. ნივნივური და ნივნივქვეშა წამწეები პარალელურ სარტყელებიანია და ბურულის ქანობი 1.5°-ია.

აღსანიშნავია ფართოთაროებიანი ტესებრი და ორტესებრი პროფილებისგან დამზადებული წამწეების კონსტრუქციები (ფიგ. 92). ისინი წარმატებით გამოიყენება დაპროფილებული და რკინაბეტონის ფენილებიან გადახურვებში. ამ ტიპის ნივნივურ წამწეებში სარტყელებს აკეთებენ ფართოთაროებიანი ტესებრი პროფილებისაგან, ხოლო გისოსს – წვრილი კუთხედისაგან. გისოსის ტიპობრივი სქემის არსებითი ნაკლოვანებაა – კვანძებში გაგანიერებების მოწყობა ტესებრის კედელთან მიდუღებული ფურცლოვანი ფასონურების სახით. გისოსის კუთხედების მჭიდრო მიბჯენისათვის შედუღების ნაკერი პირაპირის ადგილას უნდა იყოს გულმოდგინედ დამუშავებული. საკვანძო გაგანიერებების თავიდან აცილება შესაძლებელია იმ შემთხვევებში, თუ გისოსი დამზადებულია ცალკეული კუთხედებისგან, შველერებისგან ან ტესებრებისგან, როდესაც კვანძში თავს იყრის მხოლოდ ორი ელემენტი – სამკუთხა დგარების გარეშე, ირიბნული ან ჯვარედინა ტიპის გისოსების დროს.



ფიგ. 92. ფართოთაროებიანი ტესებრი სარტყელების მქონე ტიპობრივი ნივნივური წამწეების კვანძები

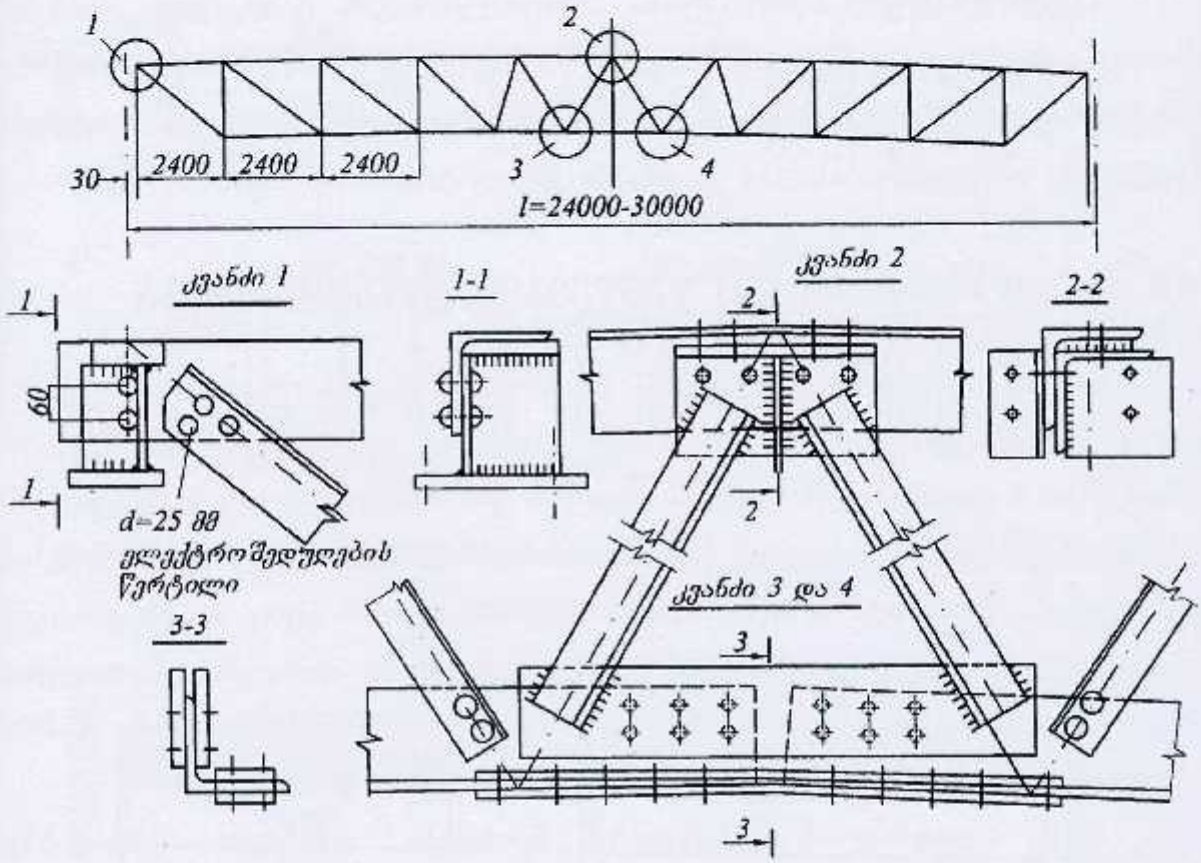
ფართოთაროებიანი ტესებრი პროფილებიანი წამწის ქარხნული კვანძები მზადდება წყვილკუთხედიანი ტრადიციული წამწეებისათვის დამახასიათებელი ტექნოლოგიით. სამონტაჟო პირაპირები სრულდება შედუღებით ორი წყვილი ზესადების გამოყენებით – ვერტიკალურების, რომელთაგან თითო-თითო ყოველ ნახევარწამწეზე მიდუღებულია ქარხანაში, და ჰორიზონტალურების, რომლების მიდუღდება ხდება სამშენებლო მოედანზე. ზესადებების დაყენების სიზუსტეს უზრუნველყოფს მათი წინასწარი შეუღლება სარტყელებთან ნორმალური სიზუსტის ჭანჭიკების გამოყენებით.



ფიგ. 93. მართკუთხა კვეთის მილებისაგან დამზადებული ნივნივური წამწის კვანძები

სამშენებლო პრაქტიკაში ფართოდაა გავრცელებული მართკუთხა კვეთის ნაღუნ-შენადუღი პროფილებისაგან დამზადებული ნივნივური და ნივნიგჭედშა წამწეები (ფიგ. 93). მართკუთხა კვეთის მილებისაგან დამზადებული წამწეების საკვანძო შეერთებებს აკეთებენ ფასონურების გარეშე, გისოსის ელემენტების უშუალოდ სარტყელებთან მიდუღების გზით. ამასთან, გისოსის ელემენტების კვეთის სიგანეს იღებენ 20–30 მმ-ით ნაკლებს სარტყელის ელემენტების კვეთის სიგანესთან შედარებით, რაც

უზრუნველყოფს შენადუღი ნაკერების ნორმალურ განლაგებას და არ იწვევს თაროების ადგილობრივ ღუნვას. ასეთი წამწეების ზედა სარტყელს აქვს სიმაღლის მიხედვით განცალებული მართკუთხა კვეთი, რომელიც მუშაობს არაცენტრალურ კუმშვაზე. ნივნიგური წამწეების სამონტაჟო საპირაპირე კვანძებს აკეთებენ მილტუჩების გამოყენებით და ნორმალური სიზუსტის ჭანჭიკებით.



ფიგ. 94. ცალკეული კუთხედებისაგან შენადუღი შეერთებების ჩადნობით დამზადებული წამწის კვანძები

უგრძივი გადახურვების (ნივნიგური წამწეების ბიჯით 3–4 მ) საუკეთესო ტექნიკურ–ეკონომიკური მაჩვენებლები აქვთ ცალკეული კუთხედებისაგან შენადუღი შეერთებების ჩადნობით დამზადებული წამწეებით გადახურვებს (ფიგ. 94). ამ წამწეებში სარტყელები და გისოსი მზადდება თანაბარ და არანაბართაროებიანი კუთხედებისაგან. ელემენტების ყველა ჭარხნული შეერთება შესრულებულია ფასონურების გარეშე, რკალური წერტილოვანი შედუღებით, იძულებითი გამჭოლი ჩადუღებით. 25 მმ დიამეტრის შენადუღი წერტილები მისამაგრებელ ელემენტებში განლაგებულია სიმეტრიულად ელემენტის ღერძის მიმართ ერთ ან ორ რიგად ბიჯით 60 მმ. ერთი წერტილის

მზიდუნარიანობა შეადგენს 135 კნ-ს. იმისათვის, რომ გისოსის კუთხედების თაროების და სარტყელების შეხების ზედაპირზე შესაძლებელი იყოს არანაკლებ ორი შესადუღი წერტილის განთავსება, ღერძებს აცენტრებენ სარტყელის წიბოზე. ქვედა გაჭიმული სარტყელის სამონტაჟო პირაპირი სრულდება ზესადებებით მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებზე, ხოლო ზედასი – სარტყელის კუთხედების ტორსების ფრეზვით.

ნალუნ-შენადუღი სწორკუთხა პროფილებისაგან, ცალკეული კუთხედებისაგან და კუთხდტესებრებისაგან დამზადებულ წამწეებს ანგარიშობენ ისევე, როგორც ხისტკვანძებიან მრავალჯერ სტატიკურად ურკვევ სისტემებს, კვანძგარე დატვირთვებისა და კვანძებში განცენტრების გათვალისწინებით.

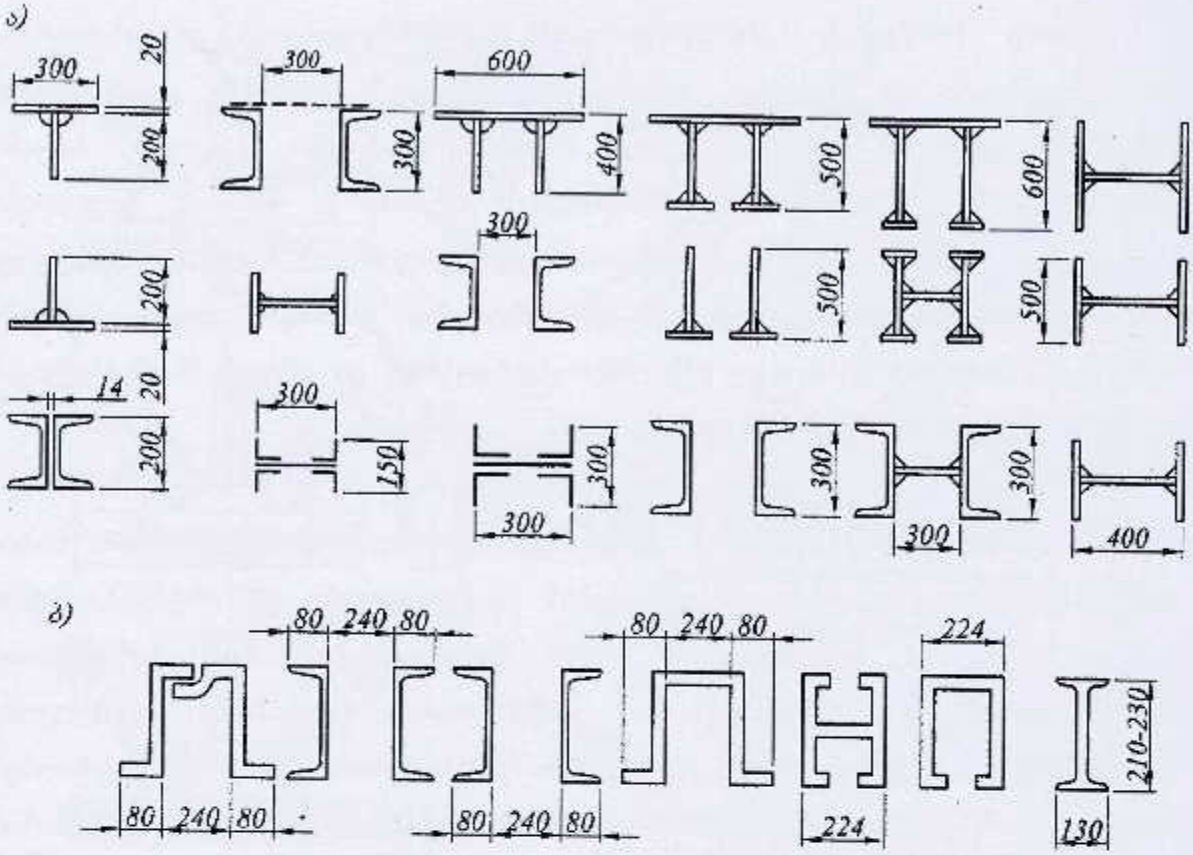
5.8. მძიმე დიდმალიანი წამწეების კონსტრუირება

60–150 მ მალებში გამოიყენება ე.წ. მძიმე წამწეები, ორკედლიანი კვეთის მქონე ელემენტებით (ფიგ. 95). ასეთი კვეთების გამოყენება გამოწვეულია იმით, რომ ნაგლინი კუთხოვანების კვეთები ვერ აკმაყოფილებს სარტყელებში, ხანდახან კი კონსტრუქციების გისოსებში წარმოქმნილ ძალვებს. უპირატესად გამოიყენება შენადუღი H-ის და П-ის მაგვარი კვეთები (ფიგ. 95, ა), ვინაიდან ისინი საშუალებას იძლევა დაპროექტდეს კვანძებში ღეროების შეუღლების შედარებით მარტივი ვარიანტები. ფიგ. 95, ბ-ზე ნაჩვენებია მძიმე წამწის ალუმინის შენადნობებისგან დაწნეხილი პროფილების კომპლექტი.

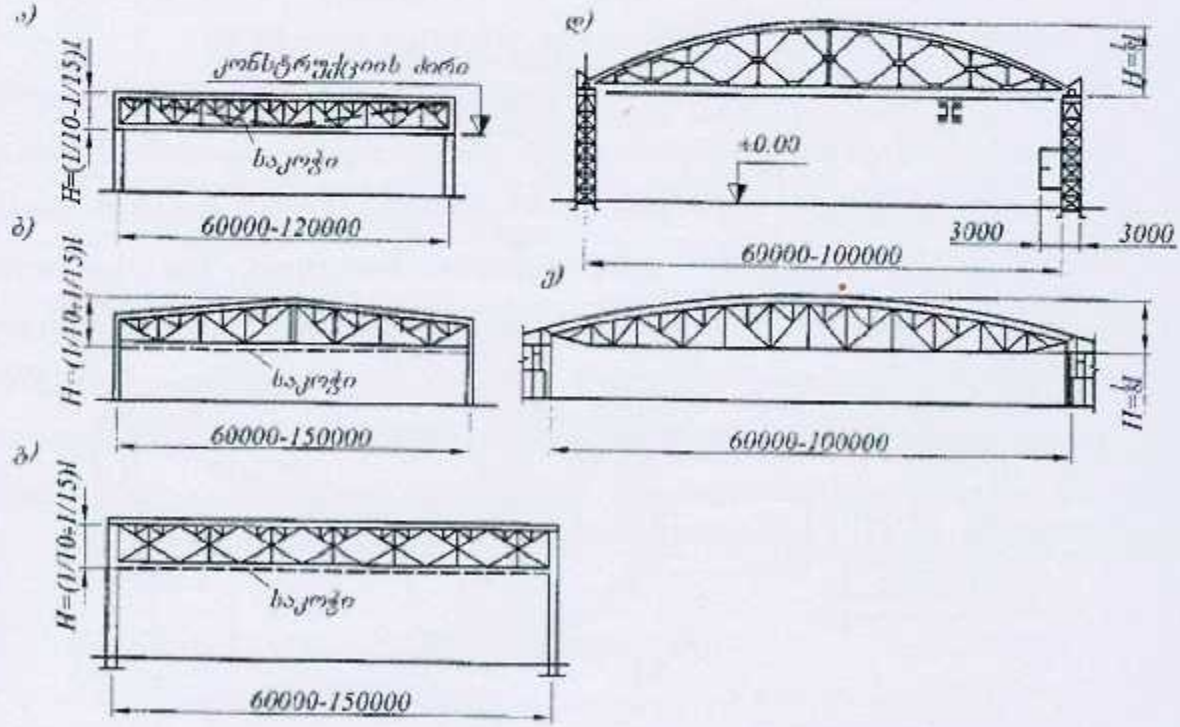
მძიმე დიდმალიან წამწეებს შეიძლება ჰქონდეთ სხვადასხვა მოხაზულობა, მაგრამ მათთვის საერთოა სამკუთხა ან რომბისებრი გისოსების გამოყენება შპრენგელებით, რომლებიც წამწის სიბრტყეში ამცირებს ზედა არაცენტრალურად შეკუმშული სარტყელის საანგარიშო სიგრძეს (ფიგ. 96). დიდი მალების შემთხვევაში იყენებენ პარალელურსარტყელებიან და ტრაპეციისებრ წინასწარ დაძაბულ წამწეებს (ფიგ. 96, ა-გ).

წამწის საკუთარი მასის შესამცირებლად უპირატესობა ენიჭება სეგმენტურ ან პოლიგონურ მოხაზულებებს (ფიგ. 96, დ, ე), რომელთა გამოყენება დიდი სიმაღლის გამო შეზღუდულია 100 მ-მდე მალებით.

მძიმე წამწეების სარტყელების კვეთის სიმაღლე, როგორც წესი, არ აღემატება $1/15\ l_m$, ხოლო კვეთის სიგანე $b \leq 400–500$ მმ.



ფიგ. 95. მძიმე ნივნივური წამწეების ფოლადის (ა) და ალუმინის (ბ) შენადუღი ელემენტების კვეთები

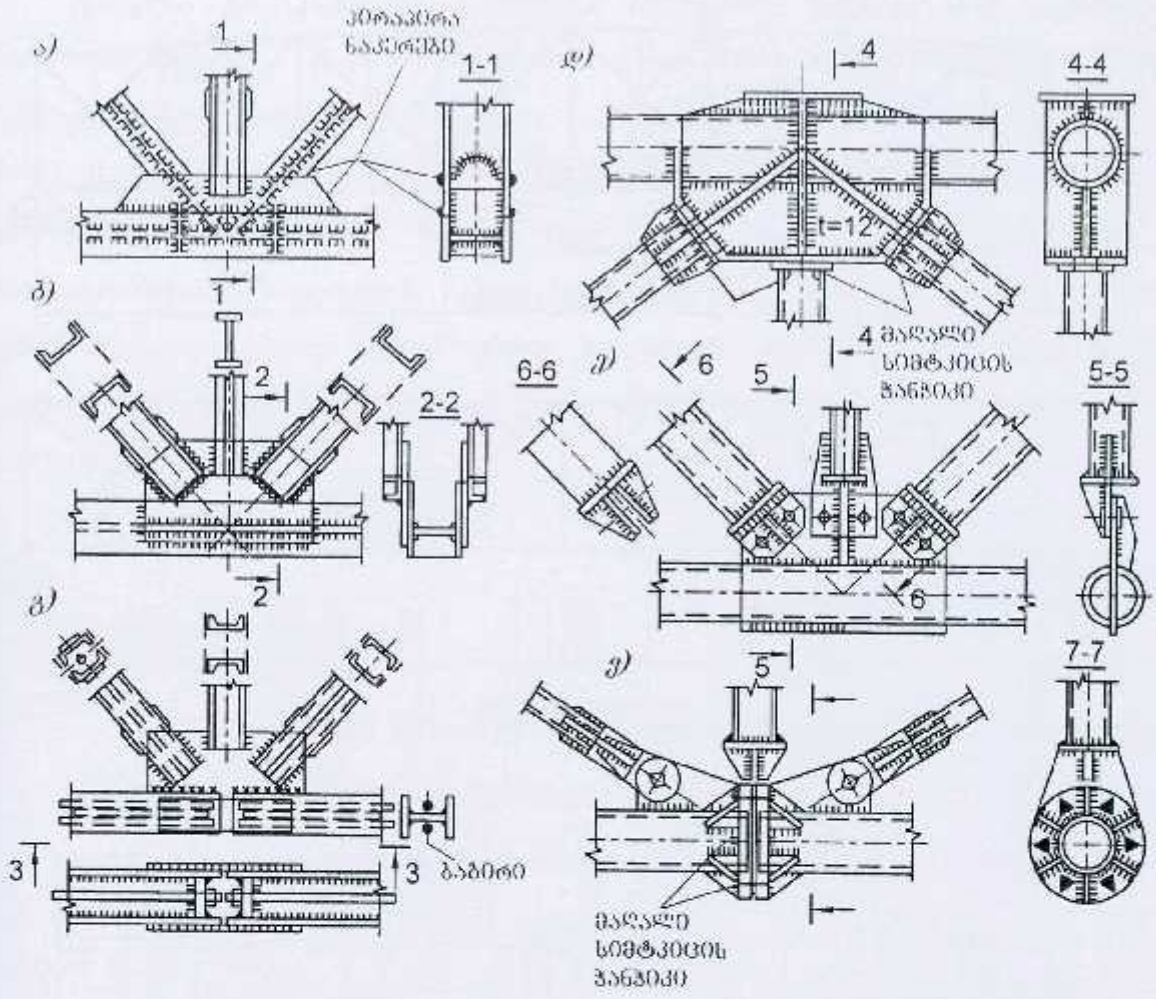


ფიგ. 96. დიდმალიანი ნივნივური წამწეები პარალელური სარტყელებით (ა, გ), ტრაპეციისებრი (ბ) და სეგმენტური (დ, ე)

მძიმე წამწეების კონსტრუირების განმასხვავებელი თავისებურებაა სარტყელებისა და გისოსის ელემენტების კვეთის ფორმის ცვალებადობა მოქმედი ძალვის სიდიდისა და ნიშნის მიხედვით, კვეთის სიგანის შენარჩუნების პირობიდან გამომდინარე (კვანძებში მათი შეუღლების უზრუნველსაყოფად). მძიმე წამწეების კონსტრუირების დროს აცილებულ უნდა იქნას კვანძებში ღეროების განცენტრება, ვინაიდან დიდი ძალვების შემთხვევაში ყველაზე მცირე ექსცენტრისიტეტებიც კი იწვევს მნიშვნელოვანი მღუნავი მომენტების გაჩენას კვანძებში.

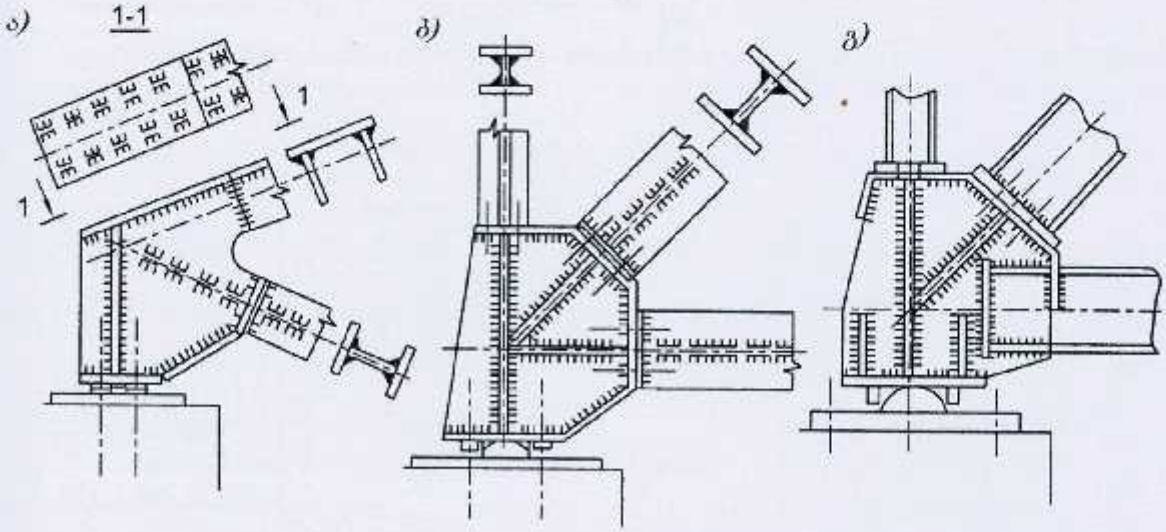
იმის გათვალისწინებით, რომ დიდმალიან წამწეებს, დიდი სიმაღლის გამო, ახასიათებენ გასაგზავნ ელემენტებად ცალკეული ღეროების სახით, უნდა ვეცადოთ საკვანძო შეერთებების მაქსიმალური გამარტივება, რათა მონტაჟის დროს შესაძლებელი იყოს მაღალი ხარისხის ჭანჭიკებიანი შეერთებებისა და შედუღებითი სამუშაოების ჩატარება. ცალკეული ღეროებისგან აწყობილ მძიმე წამწეებში უპირატესობა ენიჭება შეერთებებს მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებით. ამ შემთხვევაში, სამონტაჟო პირაპირებს განალაგებენ ღეროებზე კვანძებთან ახლოს. მილისებრი კვეთების გამოყენების შემთხვევაში, მძიმე წამწეებისათვის ყველაზე რაციონალურია ჭანჭიკებიანი შეერთებები ვერტიკალური ფასონურებით ან მილტუჩებით. მძიმე წამწეების დამახასიათებელი კვანძები ნაჩვენებია ფიგ. 97-ზე და ფიგ. 98-ზე.

მძიმე დიდმალიან წამწეებში, აგრეთვე მაღალი სიმტკიცის ფოლადისა და ალუმინის წამწეებში, ღეროების დიდი გრძივი დეფორმაციების შედეგად (დაგრძელება – გაჭიმული ღეროების, დამოკლება – შეკუმშული ღეროების), წარმოიქმნებან მნიშვნელოვანი ვერტიკალური ჩაღუნვები და საყრდენი კვანძების ჰორიზონტალური გადაადგილებები. კონსტრუქციის ექსპლუატაციაზე ზომაზე მეტი ჩაღუნვების გავლენის თავიდან ასაცილებლად, წამწეებში აწყობენ სამშენებლო აწევას, რომლის სიდიდე მიიღება მთლიანი მუდმივი და ნახევარი დროებითი დატვირთვისაგან გამოწვეული ჩაღუნვის სიდიდის ტოლი (ფიგ. 99, ა).

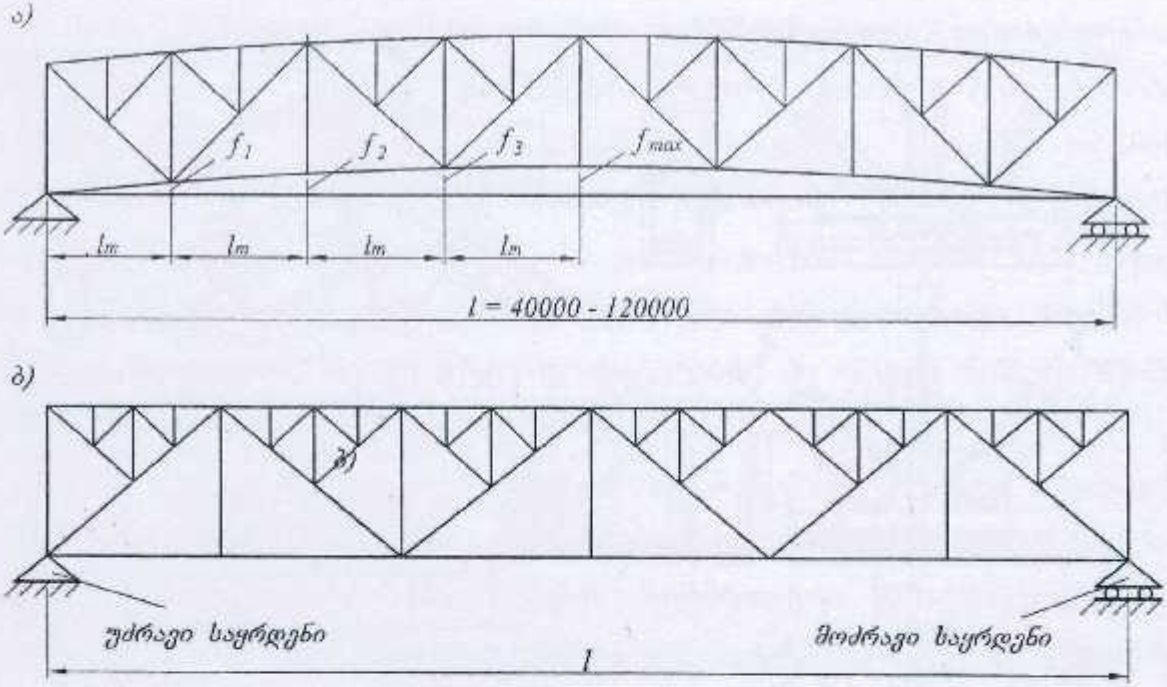


ფიგ. 97. მძიმე წამწის კვანძები

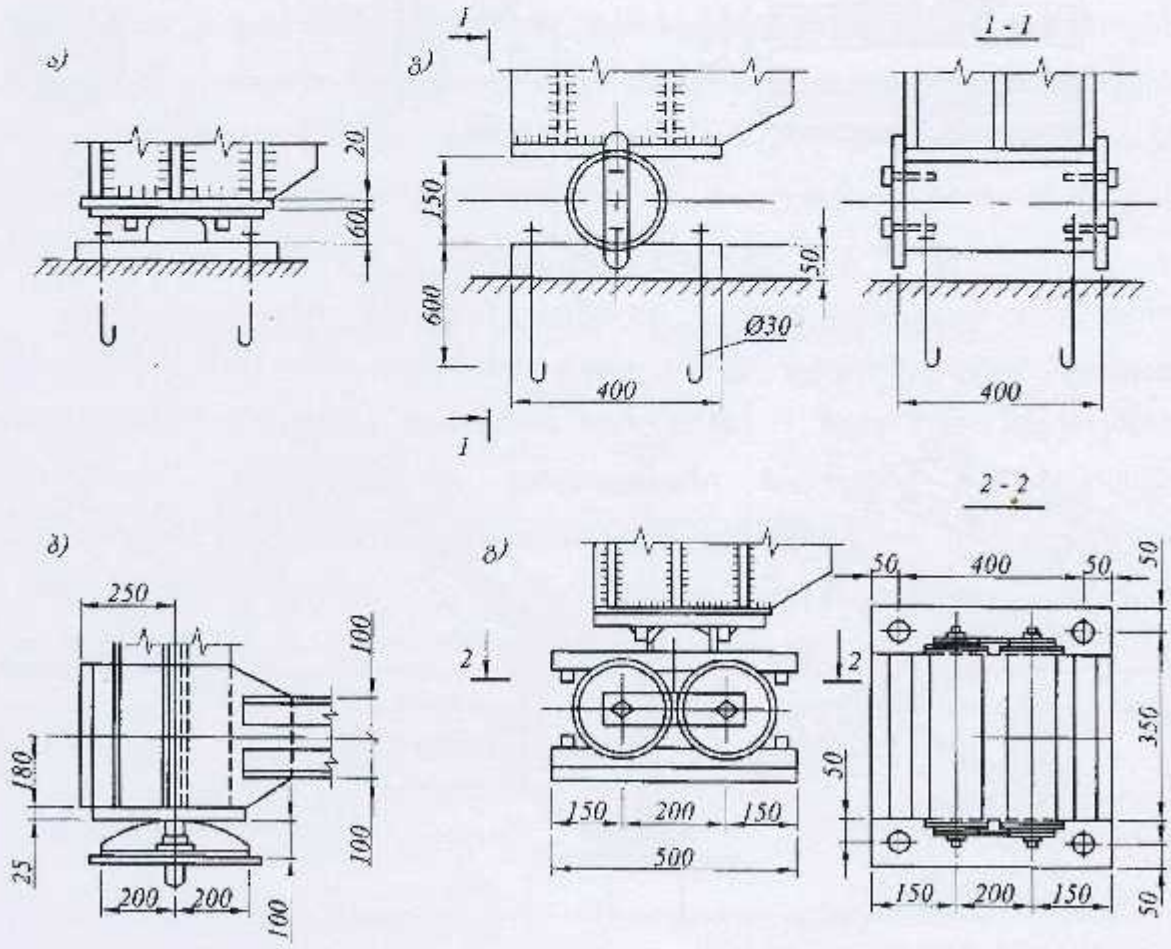
(ა-გ) – შეწადული; (დ-ვ) – მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებით



ფიგ. 98. მძიმე წამწის საყრდენი კვანძები



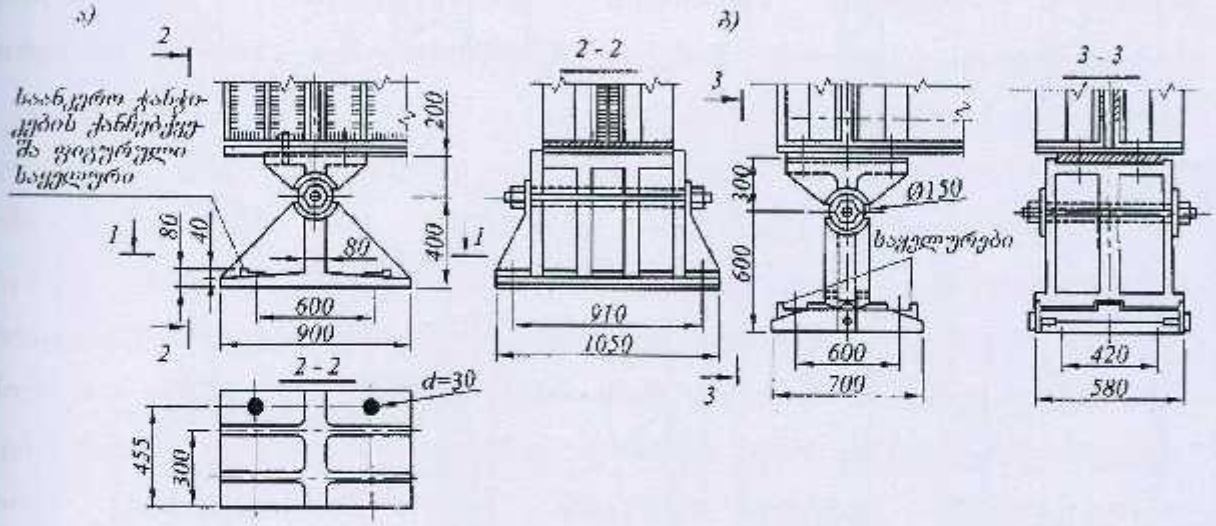
ფიგ. 99. მძიმე წამწის მუშაობის სქემა



ფიგ. 100. მძიმე წამწის საყრდენის ტიპები

ა, ბ – უძრავი; გ, დ – საგორაგებიანი

წამწის და კარკასის საყრდენი (დამჭერი) ელემენტების მუშაობაზე ჰორიზონტალური გადაადგილების გავლენის გამოსარიცხად, მძიმე წამწეებისათვის პროექტებენ უძრავ და მოძრავ საყრდენებს (ფიგ. 99, ბ). l = 30–60 მ მალების შემთხვევაში უძრავ საყრდენს აკეთებენ ფილისებრი ან ტანგენციური სახსრების სახით (ფიგ. 100, ა, ბ), ხოლო მოძრავს – ერთსაგორავიანი საყრდენის სახით (ფიგ. 100, გ). l = 60–120 (150) მ მალების დროს იყენებენ უძრავ ბალანსირულ საყრდენს (ფიგ. 101, ა), ხოლო მოძრავ საყრდენად – ორ ან მრავალსაგორავიან (ნახ. 101, დ) ან ბალანსირულ საყრდენს (ფიგ. 101, ბ).



ფიგ. 101. მძიმე წამწის ბალანსირული საყრდენები

ა – უძრავი; ბ – მოძრავი

ცილინდრული საგორავის დიამეტრი შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$d = F_v / n\, l_{cd}\, R_{cd},$$

სადაც F_v არის საყრდენი რეაქცია; n – საგორავების რაოდენობა; d – საგორავის დიამეტრი; l_{cd} – საგორავის სიგრძე; R_{cd} – თავისუფალი შეხების დროს საგორავების საანგარიშო წინაღობა დიამეტრულ შეკუმშვაზე.

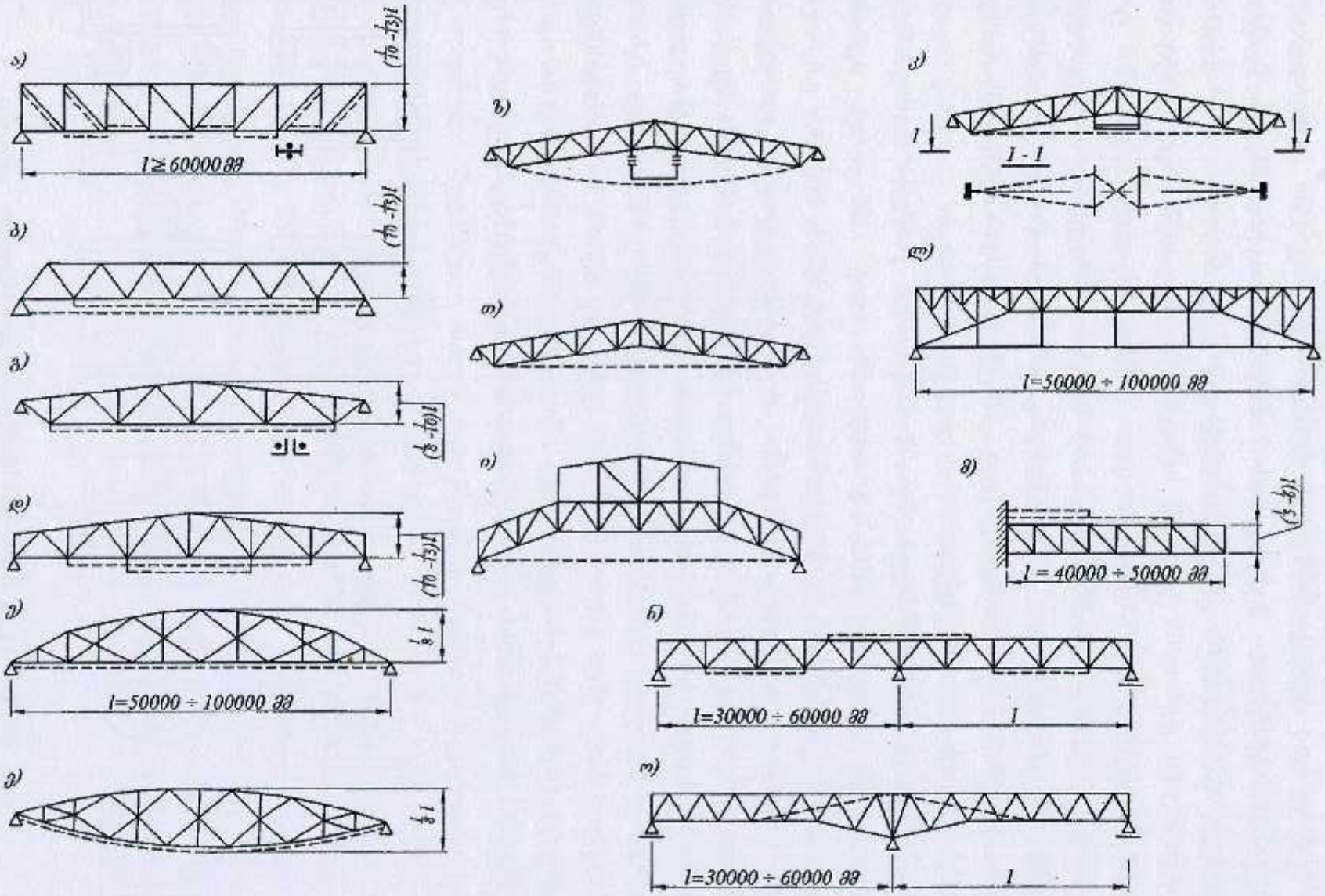
5.9. წინასწარ დაძაბული წამწეების კონსტრუქციული გადაწყვეტები

წინასწარი დაძაბვის ძირითადი იდეაა კონსტრუქციაში ან მის ელემენტებში გარე საექსპლუატაციო დატვირთვების ზემოქმედებისაგან წარმოქმნილი ძაბვების საწინააღმდეგო ნიშნის წინასწარი საწყისი ძაბვების შექმნა. ამის შედეგად იზრდება კონსტრუქციის დრეკადი მუშაობის არეალი, ვინაიდან გარე დატვირთვები ჯერ აქრობს წინასწარ დაძაბვას, ხოლო შემდეგ ავითარებს ძირითად ძაბვებს მასალის საანგარიშო წინაღობამდე. წინასწარი დაძაბვა გამოიყენება ლითონის კონსტრუქციების ეფექტურობის ასამაღლებლად (ლითონის ხარჯის შესამცირებლად), ხოლო ზოგიერთ შემთხვევაში სიხისტის გასაზრდელად.

წინასწარ დაძაბვას უფრო ხშირად იყენებენ ღერძულ გაჭიმვაზე მომუშავე ღეროებში (ფერმების ელემენტები და სხვა გისოსოვანი კონსტრუქციები) ან ღუნვაზე მომუშავე ელემენტებში (კოჭები). თუმცა, წინასწარ დაძაბული მოქნილი ელემენტი – ბაგირი, თხელი ფურცელი, საარმატურე ღერო – შეიძლება მუშაობდეს კუმშვაზე წინასწარი დაძაბვის სიდიდის საზღვრებში, რაც ფართოდ გამოიყენება ლითონის სხვადასხვა კონსტრუქციებში (ვანტური წამწეები, მემბრანები და სხვ.) მათი მზიდუნარიანობის გასაზრდელად. წინასწარი დაძაბვა ფართოდ გამოიყენება ცალკეული კონსტრუქციული ელემენტებისა და მთლიანად ნაგებობების მდგრადობის ამაღლების მიზნით. იგი განსაკუთრებით ეფექტურია მძიმე დიდმალიან წამწეებში.

წინასწარი დაძაბვა მნიშვნელოვნად ზრდის წამწეს მზიდუნარიანობას და სიხისტეს, გამომდინარე აქედან საშუალებას იძლევა შემცირდეს კონსტრუქციის სამშენებლო სიმაღლე და მიღებულ იქნას ლითონის 25–30 %-ანი ეკონომია ტრადიციულ გადაწყვეტებთან შედარებით. მაგრამ ამავე დროს იზრდება წამწის დამზადების შრომატევადობა, ვინაიდან წინასწარი დაძაბვის სამუშაოები გადააქვთ სამშენებლო მოედანზე.

ცნობილია წინასწარი დაძაბვის მრავალი ხერხი, თუმცა ბრტყელი წამწეებისათვის ყველაზე მისაღებია მაღალი სიმტკიცის მასალებისგან (ფოლადის ბაგირები, კონები და წნულები) დამზადებული სხვადასხვა სახის საკოჭების მოწყობაზე დაფუძნებული ხერხი.

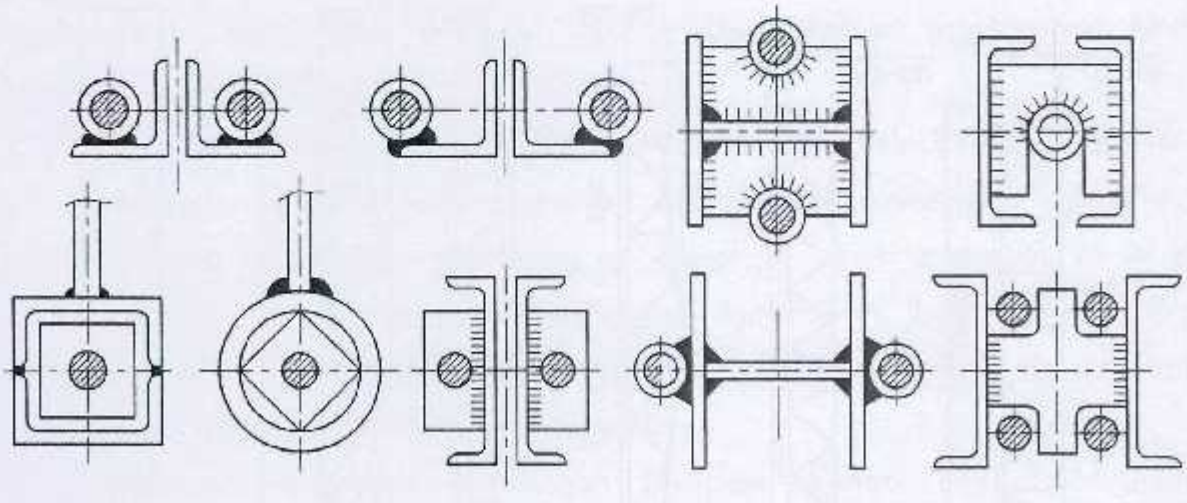


ფიგ. 102. წინასწარ დაძაბული ნიჟნიჯური ფერმების ტიპები

საკოჭების განლაგების მიხედვით წინასწარ დაძაბული წამწეები იყოფა ორ ძირითად ტიპად: წამწეები, რომლებშიც საკოჭები განლაგებულია ყველაზე დატვირთული ყოველი ღეროს საზღვრებში (ფიგ. 102, ა); წამწეები, რომლებშიც საკოჭები განლაგებულია მთელი მალისა და ყველაზე დატვირთული ღეროების ჯგუფის საზღვრებში (ფიგ. 102, ბ-ვ). მეორე ტიპი უფრო ეფექტურია და გააჩნია მრავალი კონსტრუქციული ფორმა. ამ ტიპს აგრეთვე მიეკუთვნება წამწეები გამოსატანი შპრენგელური საკოჭებით, რომელთა განმტვირთავი ზემოქმედება ძირითადი წამწის ელემენტებზე განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია (ფიგ. 102, ზ-ლ). ასეთი წამწეების ნაკლია კონსტრუქციის დიდი სამშენებლო სიმაღლე.

სტატიკური თვალსაზრისით წინასწარ დაძაბულ წამწეებს უფრო ხშირად აპროექტებენ, როგორც ჭრად ერთმალიანს (ფიგ. 102 ა-ლ), აგრეთვე კონსოლურს (ფიგ. 102, მ) და მრავალმალიანს (ფიგ. 102, ნ, ო).

წინასწარ დაძაბულ წამწეებში ღეროების კვეთებს აპროექტებენ ისეთივეს, როგორც წინასწარ დაუძაბავ ჩვეულებრივ წამწეებში (ფიგ. 103). ამასთან, ღეროების წინასწარ დაძაბული საკოჭების განლაგება კვეთის ინერციის მთავარი ღერძების მიმართ უნდა იყოს სიმეტრიული, ხოლო ტოლქმედი ძალა უნდა გადიოდეს კვეთის ცენტრზე. ღეროს სიგრძის გასწვრივ საკოჭის ფიქსირება ხორციელდება მიღებში ან სახისტის წიბოებზე, რომლებიც მიდუღებულია კვეთის პროფილურ ელემენტებზე.

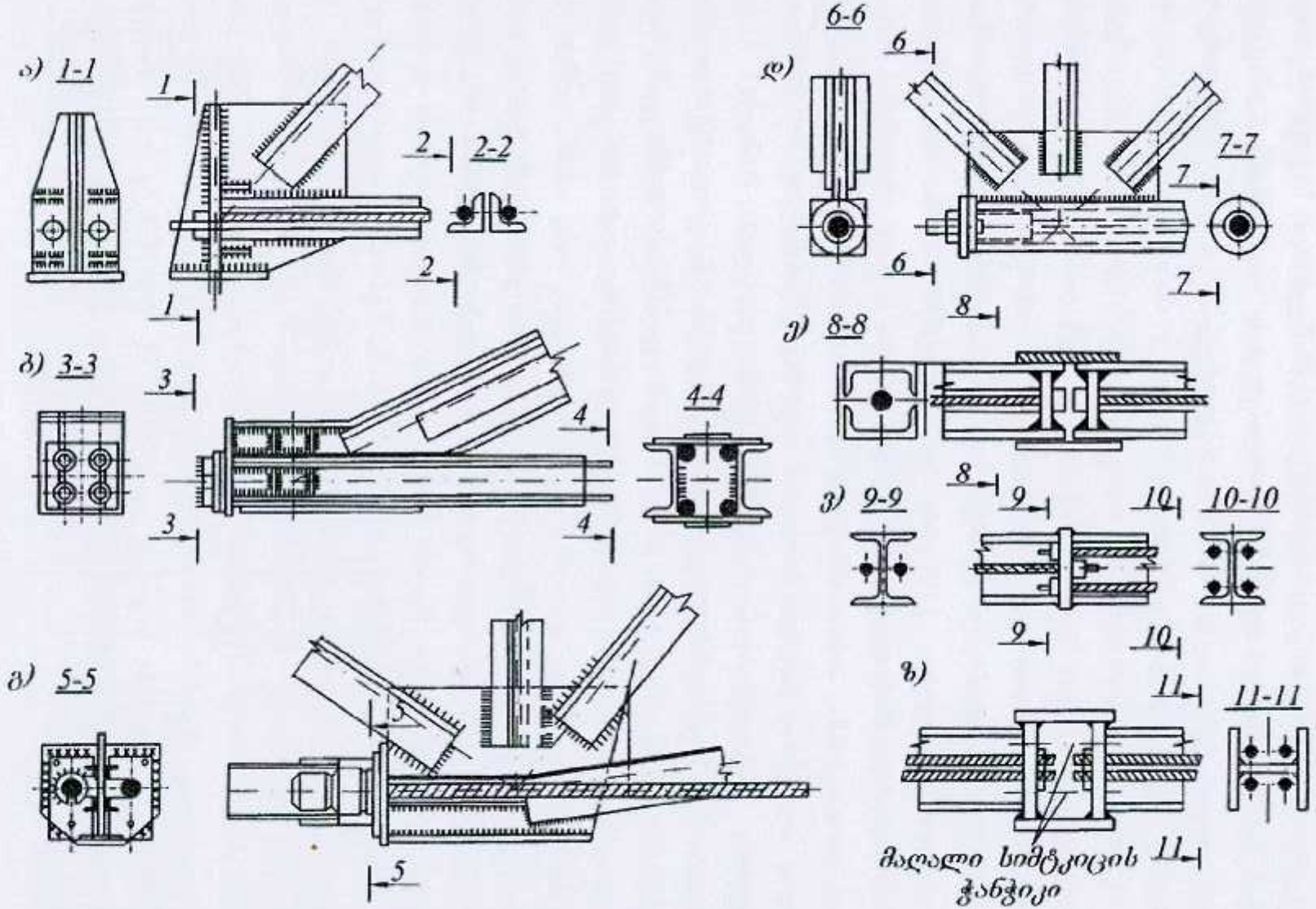


ფიგ. 103. წინასწარ დაძაბული წამწეების ელემენტების კვეთები

საკანძო შეერთებების გადაწყვეტა ჩვეულებრივი წამწეების ანალოგიურია, იმ კვანძების გამოკლებით, რომლებშიც საკოჭი დეროები დაანკერებულია. ასეთ კვანძებში აპროექტებენ საანკერო საბრჯენებს წინასწარი დაძაბვის ძალვის საკოჭიდან სარტყელის ელემენტის კვეთზე ან ირიბნებზე გადასაცემად (ფიგ. 104, ა-დ).

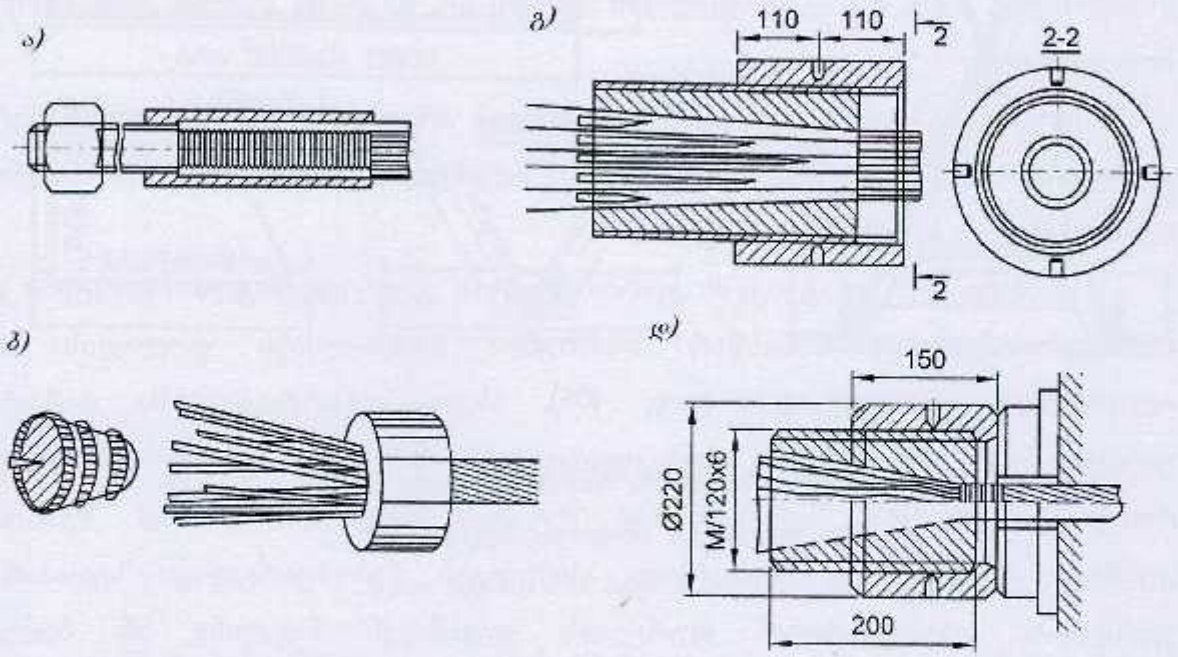
წამწეების დიდი მალებისა და საკოჭების შეზღუდული სიგრძეების შემთხვევაში, წამწეების წინასწარ დაძაბული უბნების ქარხნულ პირობებში დამზადებისა და მათი სამონტაჟო ბლოკებად დანაწევრების შემთხვევაში, იქმნება წინასწარ დაძაბული ღეროების (საკოჭების ჩათვლით) შეპირაპირების აუცილებლობა სიგრძის გასწვრივ. განასხვავებენ პირაპირის რამდენიმე ვარიანტს იმაზე დამოკიდებულებით, თუ რამდენი საკოჭია პირაპირის ორივე მხარეს და როგორია პირაპირში ერთი წინასწარ დაძაბული ელემენტიდან მეორეზე ძალვის გადაცემის პრინციპი. ყველაზე გავრცელებულია პირაპირი, რომელშიც შენარჩუნებულია საკოჭის თანაღერძულობა, ხოლო ძალვა გადაეცემა ჩვეულებრივი ფურცლოვანი ზესადებებით (ფიგ. 104, ე). პირაპირი შეიძლება რეკომენდებულ იყოს მასში ძალვის ცვლილების შემთხვევაში (ფიგ. 104, ვ), აგრეთვე მძლავრი ღეროებისათვის პირაპირში დიდი ძალვების დროს (ფიგ. 104, ზ).

ანკერული მოწყობილობები და დიაფრაგმები უნდა იყოს ხისტი, რათა უზრუნველყოფილ იქნეს კვანძის არადეფორმადობა საკოჭების შტოებიდან გადაცემული შეყურსული ძალის ზემოქმედების შედეგად. საკოჭის დაძაბვის პროცესში, როდესაც წამწეზე არ მოქმედებს საანგარიშო საექსპლუატაციო დატვირთვები, სარტყელში წარმოიქმნება დიდი მკუმშავი ძალვები და შედეგად, შეიძლება დაკარგოს მდგრადობა. ამ მოვლენის თავიდან ასაცილებლად მიწის ზედაპირზე აწარმოებენ სამონტაჟო ბლოკების გამსხვილებულ აწყობას ორი დაწყვილებული წამწის სახით, და მხოლოდ ამის შემდეგ ახდენენ საკოჭის დაჭიმვას. ამ მიზეზის გამო, არც თუ იშვიათად, ბრტყელ წამწეებს ცვლიან სამკუთხა განივი კვეთის სივრცითი წამწეებით.



ფიგ. 104. წინასწარ დაძაბული წამწის კვანძები

წინასწარ დაძაბული წამწეების მუშაობის საიმედოობის უზრუნველსაყოფად დაძაბულ ღეროს საბრჯენ კვანძში მყარად აანკერებენ. ამ მიზნით, მშენებლობის პრაქტიკაში გამოიყენება სხვადასხვა გადაწყვეტები (ფიგ. 105). შესასრულებლად ყველაზე მარტივია მასრულ–ღეროვანი ანკერი (ფიგ. 105, ა) და დარისებრი (ვარცლისებრი) ანკერი საცობით (ფიგ. 105, ბ). ასეთ ანკერებს იყენებენ შედარებით დაჭიმვის მცირე საანგარიშო ძალვების შემთხვევებში (1500 კნ-დე). დიდი ძალვების შემთხვევაში (6000 კნ-დე) იყენებენ ჭიქურ ანკერებს სოლების ჩაჭედვით (ფიგ. 105, გ) ან ადვილდხობადი შენადნობის ჩასხმით (ფიგ. 105, დ).



ფიგ. 105. წინასწარ დაძაბული ღეროების დაანკერების სახეები

წინასწარ დაძაბულ წამწეებს, მთელ სარტყელზე ან ღეროების ჯგუფზე საკოჭებით, ანგარიშობენ როგორც სტატიკურად ურკვევ სისტემებს, რომლებშიც ზედმეტ უცნობებად ღებულობენ საკოჭებსა და ზედმეტ ღეროებში ძალვებს. კონსტრუქციის გაანგარიშება წარმოებს თანამიმდევრობთი მიახლოების მეთოდით. ცალკეულ ღეროში ადგილობრივი ძაბვის შემთხვევაში, გაჭიმული ხისტი ღეროსა და საკოჭის კვეთები შესაძლებელია განისაზღვროს მასალის საანგარიშო წინაღობის სრული გამოყენების პირობიდან გამომდინარე, ფორმულებით:

$$A_m = \frac{S\left(R_{dh} - \frac{1.8R_y E_{dh}}{E}\right)}{1.8R_y\left(R_{dh} - \frac{R_y E_{dh}}{E}\right)}, \tag{85}$$

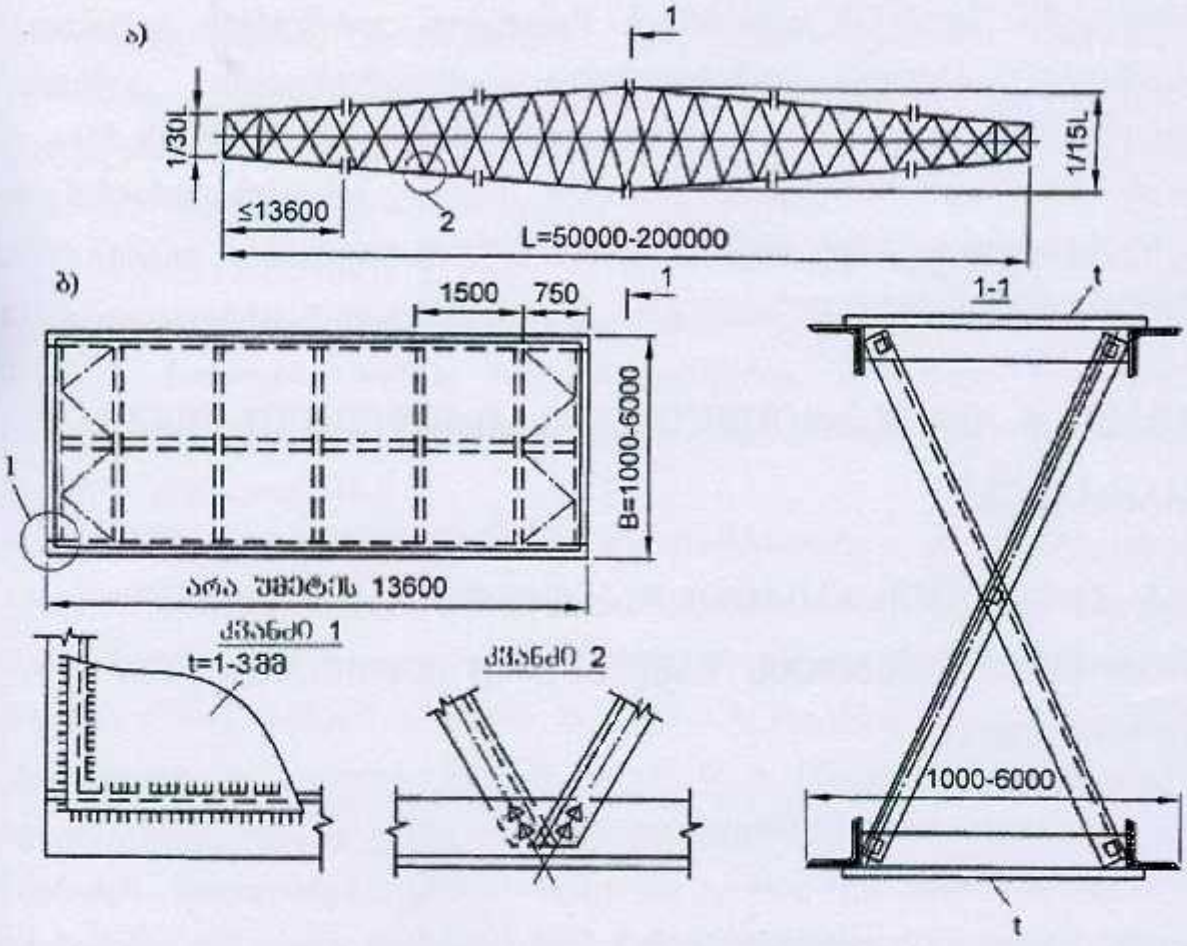
$$A_p = S\left[\frac{1}{R_{dh}} - \frac{1 - \frac{1.8E_{dh}R_y}{ER_{dh}}}{1.8\left(R_{dh} - \frac{E_{dh}R_y}{E}\right)}\right], \tag{86}$$

სადაც A_m და A_p არის პროფილური ღეროს და საკოჭის ღეროს კვეთების ფართობები; R_y და R_{dh} – პროფილური ღეროს და საკოჭის ღეროს საანგარიშო წინაღობები; E და E_{dh} – პროფილური ღეროს და საკოჭის ღეროს დრეკადობის მოდულები.

ვინაიდან, საკოჭის წინასწარი დაძაბვის პროცესში, პროფილური ღერო განიცდის მკუმშავ ძალვებს, მისი ზღვრული მოქნილობა არ უნდა აღემატებოდეს λ=120 მნიშვნელობას.

სამშენებლო პრაქტიკაში ფართოდ არის გავრცელებული ბლოკური და ბლოკურ–პანელური წინასწარ დაძაბული დიდმალიანი ფოლადისა და ალუმინის კონსტრუქციები (ფიგ. 106). ასეთ კონსტრუქციებში დამძაბავ ელემენტად გამოიყენება თხელკედლიანი t=1–3 მმ სისქის ფურცელი, რომელიც ბლოკის სარტყელების ძირითად კვეთთან ერთად მუშაობს კუმშვაზე და გაჭიმვაზე, აგრეთვე ასრულებს შემომფარგლავი ზედაპირის ფუნქციას. თხელკედლიან ფურცელს დაჭიმავენ ნაგლინი ან ნაღუნი ელემენტებისაგან შემდგარ ხისტ კარკასზე, რომელიც წარმოადგენს სივრცით ბლოკს და შეიცავს ცალკეული კუთხოვანებისაგან აწყობილ რომბულ გისოსებიან ორ ვერტიკალურ წამწეს.

ბლოკის სიხისტე განივი მიმართულებით მიიღწევა ჯვარედინა დიაფრაგმებით, რომლებიც ნორმალური სიხუსტის ჭანჭიკებით მაგრდება გრძივ სახარტყელე კუთხედებთან მიდუღებულ განივ განმბჯენებთან. რომბული გისოსის ელემენტებს სარტყელების კუთხედებთან ამაგრებენ მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებით.



ფიგ. 106. დიდმალიანი წინასწარ დაძაბული ბლოკური წამწე თხელფურცლოვანი შემოსვით

ა – სქემა; ბ – ბლოკ-პანელი

დამზადების შრომატევადობის შემცირების მიზნით დამუშავებულია კონსტრუქციის ბლოკურ–პანელური ვარიანტი, რომელიც ბლოკურისგან იმით განსხვავდება, რომ დიდმალიან კონსტრუქციას ანაწევრებენ პანელებად, რომელთა გაბარიტები არ აღემატება სატრანსპორტო შესაძლებლობებს. არაუმეტეს 13.6 x 3 მ ზომის დაძაბული პანელები მიაქვთ სამონტაჟო მოედანზე, სადაც სპეციალური კონდუქტორების გამოყენებით აერთიანებენ მთლიანი საანგარიშო სიგრძის ბლოკებად.

ფოლადის თხელფურცლოვან შემოსვას ამზადებენ 10ХНДП მარკის მაღალი სიმტკიცის ან ВСт3кп2 მარკის ნახშირბადიანი ფოლადისაგან, ხოლო ალუმინის ვარიანტში – АМг21/2Н მარკის შენადნობით. შესაძლებელია კომბინირებული ბლოკური კონსტრუქციები, რომლებშიც თხელკედლიანი ფურცლები გაკეთებულია ალუმინისგან, ხოლო კარკასი – ფოლადისგან.

ამის გამო, ალუმინის ვარიანტთან შედარებით, გადახურვის ღირებულება მცირდება 1.5-ჯერ. დასახელებული კონსტრუქციების გამოყენება შესაძლებელს ხდის 10–20%-ით შემცირდეს მზიდი კონსტრუქციის მასა, 1.5-ჯერ შემცირდეს სამშენებლო სიმაღლე მაღალი სახისტის შენარჩუნებით, უზრუნველყოფილ იქნეს ბურულის შეთავსებული გადაწყვეტა და შემცირდეს მშენებლობის საერთო ღირებულება.

თავი 6. ერთსართულიანი სამრეწველო შენობის კარკასები

6.1. კარკასების საერთო დახასიათება და მათი დაპროექტებისათვის წაყენებული ძირითადი მოთხოვნები

ერთსართულიანი სამრეწველო შენობები განკუთვნილია ტექნოლოგიური პროცესებისათვის, რომელთა განთავსება მრავალსართულიან შენობებში შეუძლებელია ან ეკონომიკურად მიზანშეწონილი არ არის. მათ უმთავრესად მიეკუთვნება მანქანათმშენებლობისა და მეტალურგიული ქარხნების საამქროები, თბოენერგოსადგურების მთავარი კორპუსების შენობები, საავიაციო ანგარები და სხვ. საწარმოო პროცესის ხასიათის, ამწეების არსებობის და ტვირთამწეობის მიხედვით თანამედროვე სამრეწველო შენობებს აქვთ სხვადასხვა მალები და სიმაღლეები, და გარე დატვირთვების ზემოქმედების შედეგად კონსტრუქციულ ელემენტებში წარმოიქმნებიან მნიშვნელოვანი ძალვები (ფიგ. 107).

ერთსართულიანი სამრეწველო შენობების ფოლადის კარკასი მოიცავს კონსტრუქციული ელემენტების კომპლექსს (სვეტები, ნივნივური და ნივნივქვეშა წამწეები, ამწისქვეშა კოჭები, გრძივები, ჩალანგარებისა და კავშირების ელემენტები), რომლებიც ერთმანეთთან შეუღლებით ქმნიან სივრცით გეომეტრიულად უცვლელ სისტემას (ფიგ. 108). ეს სისტემა მოიცავს განივ ჩარჩოებს, რომლებიც შედგებიან საძირკველში ხისტად ჩამაგრებული სვეტებისა და სვეტებთან სახსრულად ან ხისტად დაკავშირებული ნივნივური წამწეებისაგან, რომლებიც ღებულობენ კარკასზე მოქმედ ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ დატვირთვებს. ჩარჩოვანი კარკასის სიხისტე და მდგრადობა

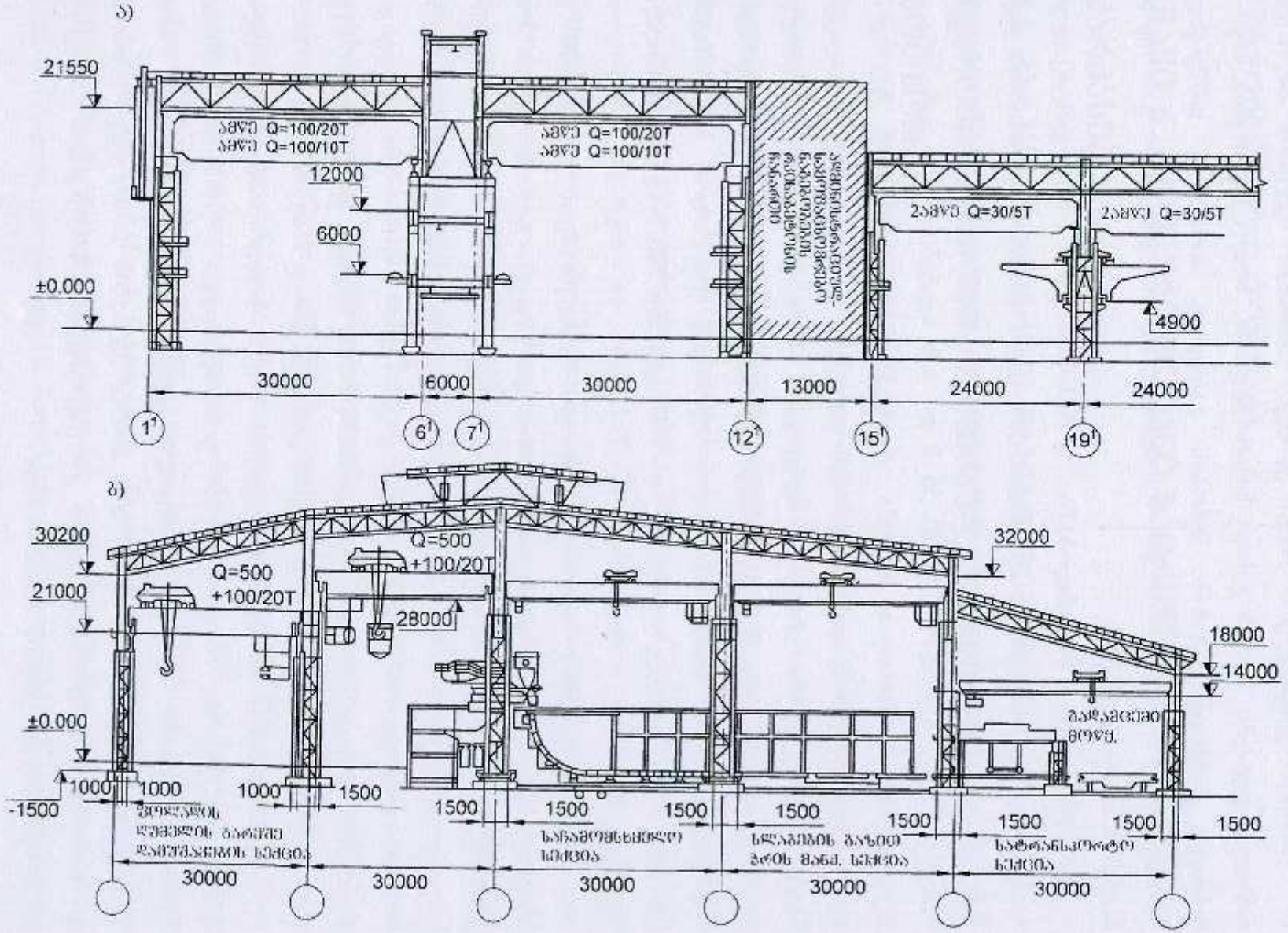
უზრუნველყოფილია ვერტიკალური და ჰორიზონტალური კავშირების მუშაობით, რომლებსაც ამონტაჟებენ სვეტებს შორის და წამწეების (რიგელების) სარტყელების სიბრტყეში, აგრეთვე გადახურვის ხისტი დისკოთი (მსხვილზომიანი ფილების გამოყენების შემთხვევაში).

ჩარჩოს გენერალური მალი ეწოდება მანძილს სვეტების ამწისზედა ნაწილის ღერძებს შორის განივი მიმართულებით, ხოლო ჩარჩოების ბიჯი – მანძილს ჩარჩოებს შორის შენობის გასწვრივ. ძირითადი სამშენებლო მასალების ეკონომიური ხარჯვის მიხედვით ფოლადის კარკასები გამოიყენება მალებში არანაკლებ 24 მ.

სამრეწველო მშენებლობაში ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ზომებისთვის გამოიყენება ერთიანი მოდული M=600 მმ. ამ მოდულის შესაბამისად, ერთსართულიანი შენობებისთვის ფოლადის კარკასის მალები მიიღება 6 მ-ის ჯერადი – 24, 30, 36 მ და ა.შ. სვეტების ბიჯი განაპირა და შუალედური რიგებისთვის მიიღება 6 ან 12 მ. მრავალმალიან შენობებში, სადაც აუცილებელია დიდი ზომის პროდუქციის მალიდან მალში გადაცემა, სვეტების მალი შიგა რიგებში აგრეთვე 6 მ-ის ჯერადია და შეიძლება გაიზარდოს 18, 24 და მეტ მეტრამდე. ჩარჩოს სიმაღლე H იატაკის დონიდან ნივნივური წამწის ქვედა სარტყელის ღერძამდე უნდა იყოს 1.2 მ-ის ($2M$) ჯერადი 10.8 მ სიმაღლემდე და 1.8 მ-ის ($3M$) ჯერადი 10.8 მ-ზე მეტი სიმაღლის შემთხვევაში.

ერთსართულიანი საწარმოო შენობები შეიძლება იყოს ერთმალიანი და მრავალმალიანი. გამსხვილებული აწყობისა და უწყვეტი ტექნოლოგიური პროცესების მქონე მანქანათმშენებლობის, მეტალურგიული და სხვა წარმოებების სრულყოფისათვის საჭიროა სხვადასხვა საამქროების ერთ ჯერქვეშ ბლოკირება. ბლოკირებული შენობები წარმოადგენს დიდი ფართობის კორპუსებს, რომლებიც მოიცავს სხვადასხვა ტვირთამწეობის ხიდური და კიდული ამწეებით აღჭურვილ სხვადასხვა სიმაღლის გრძივ და განივ მალებს (ჭიგ. 107).

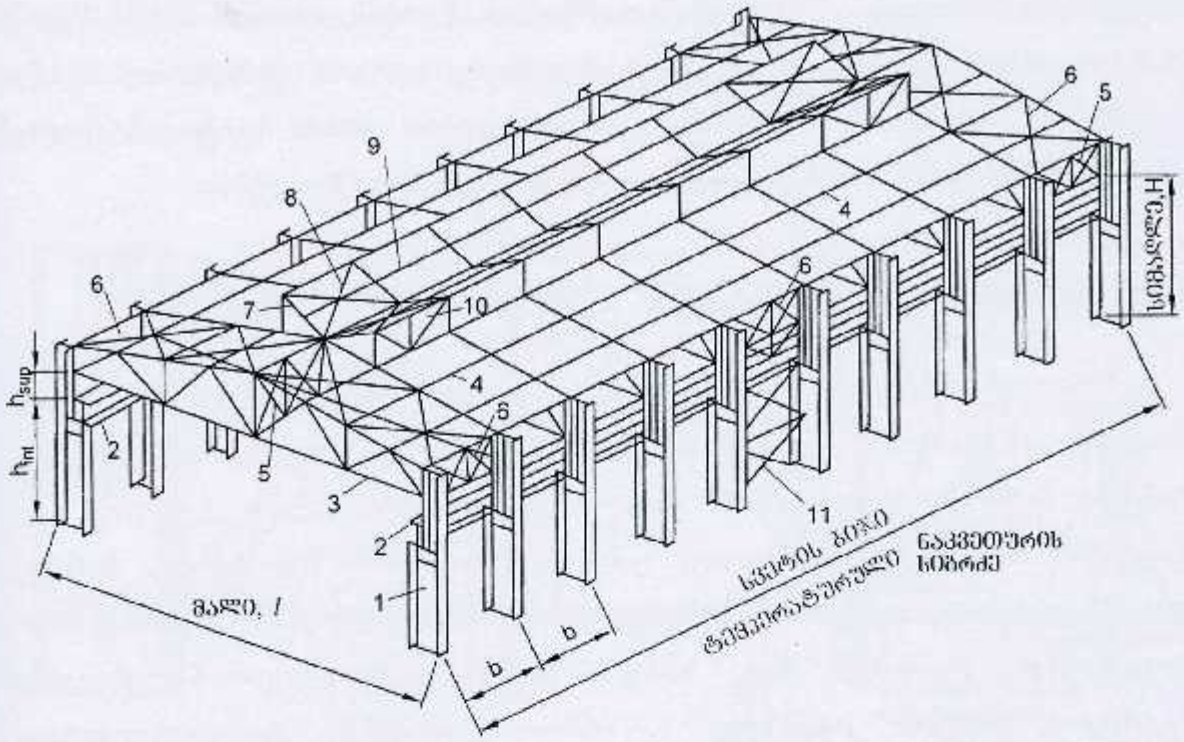
კარკასის მუშაობაზე დიდ გავლენას ახდენს ხიდური ამწეები, რომელთა მუშაობის რეჟიმიც მთლიანობაში განსაზღვრავს საწარმოო კორპუსის მუშაობის რეჟიმს: მსუბუქი, საშუალო, მძიმე და განსაკუთრებით მძიმე. შენობების რეჟიმი გაითვალისწინება კონსტრუქციების დაპროექტირებისა და გაანგარიშების დროს სპეციალური კოეფიციენტებით სამშენებლო ნორმებისა და წესების მოთხოვნების შესაბამისად.



ფიგ. 107. სარეწველო შენობების განივი კარკასები

ა – მანქანათმშენებლობის წარმოების მაქანაკურა საამქროების ბლოკი;

ბ – ფოლადის შეწვავი ნამოსხმის განყოფილების შენობა



ფიგ. 108. ერთსართულიანი სამრეწველო შენობის ფოლადის კარკასის კონსტრუქციული სქემა

1 – სვეტები; *2* – ამწისქვეშა კოჭები; *3* – ნიკნიკური წამწეები;
4 – წამწეების გრძივები; *5* – ვერტიკალური კავშირები ფერმებს შორის;
6 – ფერმების ჰორიზონტალური კავშირები; *7* – შუქფარნის ჩარჩოები;
8 – შუქფარნის ჰორიზონტალური კავშირები; *9* – ფარანის გრძივები;
10 – შუქფარნის ვერტიკალური კავშირები; *11* – სვეტების ვერტიკალური კავშირები

მაღალი ტემპერატურისა და აგრესიული გარემოს შემთხვევაში, საწარმოო შენობების დაპროექტებისას ითვალისწინებენ ფოლადის კონსტრუქციების სპეციალურ დაცვას გადაჭარბებული გახურებისა (კერამიკით და ბეტონით მოპირკეთება, ამრეკლი ეკრანების მოწყობა და სხვ.) და კოროზიისაგან (ზეთის საღებავებით, ბიტუმის ლაქით, ლითონებით დაფარვა და სხვ.). დაბალი ტემპერატურის პირობებში (–40°-დან –65°C-დე) საექსპლუატაციო შენობის კონსტრუქციების გაანგარიშება ხდება დრეკად სტადიაში, მცირდება ტემპერატურული ნაკეთურების ზომები, კარკასზე ყენდება დამატებითი კავშირები, გაითვალისწინება ძაბვების კონცენტრაციის შესამცირებელი ღონისძიებები.

ფოლადის კარკასის მონტაჟის დაჩქარებისა და შრომატევადობის შემცირების მიზნით ფართოდ იყენებენ მსხვილი ბლოკებით მონტაჟის

კონვეიერულ მეთოდს. ამ მეთოდის დირსებაა აწყობის პროცესის დანაწევრება მარტივ ოპერაციებად, რომლებიც სრულდება კარგად მოწყობილ ასაწყობ სტენდებზე ბლოკების შემდგომი გადაადგილებით ერთი პოსტიდან მეორეზე და აწევის ზონაში, მოძრავი ურიკა-პლატფორმების საშუალებით.

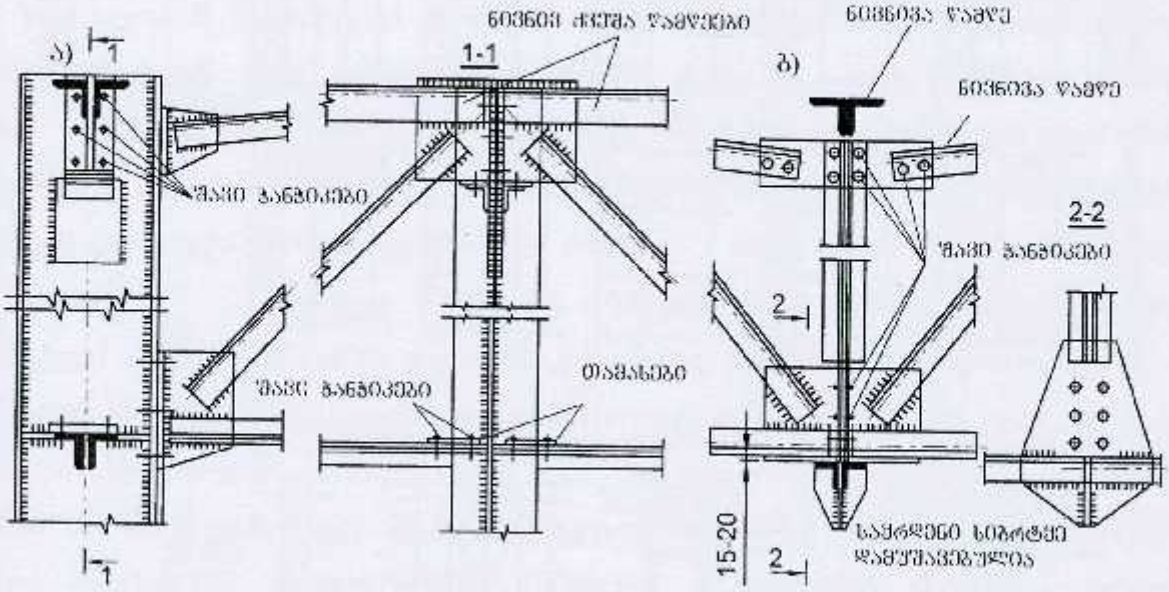
6.2. საწარმოო შენობების კარკასის ელემენტები

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, კარკასების ძირითადი ელემენტებია მთლიანი ან გამჭოლი კვეთის მქონე დგარებითა და რიგელებით შედგენილი განივი ჩარჩოები (ფიგ. 108). მთლიანკვეთიან რიგელებს (კოჭებს) აქვთ ნაკლები სამშენებლო სიმაღლე გამჭოლკვეთიანთან შედარებით, მარტივია დასამზადებლად და მოსახერხებელია ტრანსპორტირების დროს, მაგრამ საჭიროებენ ლითონის მეტ ხარჯს ვიდრე გამჭოლკვეთიანი რიგელები (ფერმები). ამიტომ კარკასულ საწარმოო შენობებში რიგელის ძირითად ტიპებად მიღებულია პარალელურ სარტყელებიანი, ტრაპეციისებრი ან სეგმენტური ნივნივური წამწეები (იხ. ა. 5.2). 20 ტ-ზე მეტი ტვირთამწეობის ხიდური ამწეების შემთხვევაში იყენებენ მთლიანკვეთიან საფეხურიან სვეტებს, ან გამჭოლ სვეტებს, რომლებიც შედგება ერთობლივად მომუშავე გარე და ამწისქვეშა შტოებისაგან (იხ. ა. 4.2).

უპირატესად გამოიყენება შერეული ტიპის სვეტები, რომლებშიც ამწისზედა ნაწილი კეთდება მთლიანკედლიანი, ნაგლინი ან შენადუღი ორტესებრის სახით, ხოლო ამწისქვედა – გამჭოლი, თამასებით ან ირიბნულა გისოსით დაკავშირებული ნაგლინი პროფილის ორი შტოს სახით. 125 ტ და მეტი ტვირთამწეობის მძიმე ხიდურ ამწეებიან შენობებში ითვალისწინებენ განცალკევებული ტიპის სვეტებს, რომლებიც შედგება ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად მომუშავე გარე და ამწისქვეშა შტოებისაგან. განივი მიმართულებით შენობის სიხისტის გასაზრდელად ნივნივურ წამწეს ხისტად აერთებენ სვეტზე. ასეთი გადაწყვეტა მიიღწევა ნივნივური წამწის მიერთებით სვეტის გარე შტოსთან გვერდიდან (ფიგ. 109, ა). წამწის სარტყელების სვეტებთან შეუღლება ხორციელდება შავი ჭანჭიკებით.

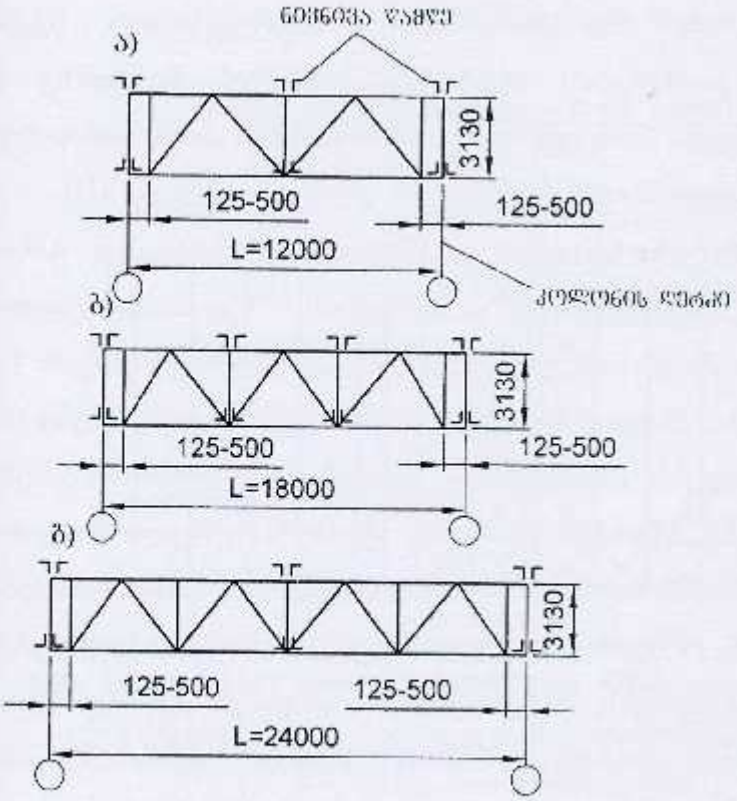
მრავალმალიანი შენობის შუა რიგების ბიჯის 12–24 მ-მდე გაზრდის შემთხვევაში ნივნივური წამწეები სვეტებს შორის შუალედში ეყრდნობა ნივნივქვეშა წამწეებზე (ფიგ. 109, ბ). როგორც წესი, ნივნივქვეშა წამწეები

წარმოადგენს პარალელურ სარტყელებიან წამწეებს (ფიგ. 110), რომლებიც სვეტების ამწისქვეშა ნაწილთან აგრეთვე შეუღლებული არიან შავი ჭანჭიკებით (ფიგ. 115, ა).



ფიგ. 109. ფერმის სვეტთან შეერთების კვანძები

ა – ნივნივური და ნივნივქვეშა წამწეების სვეტთან შეერთება; ბ – ნივნივური წამწის ნივნივქვეშასთან შეერთება

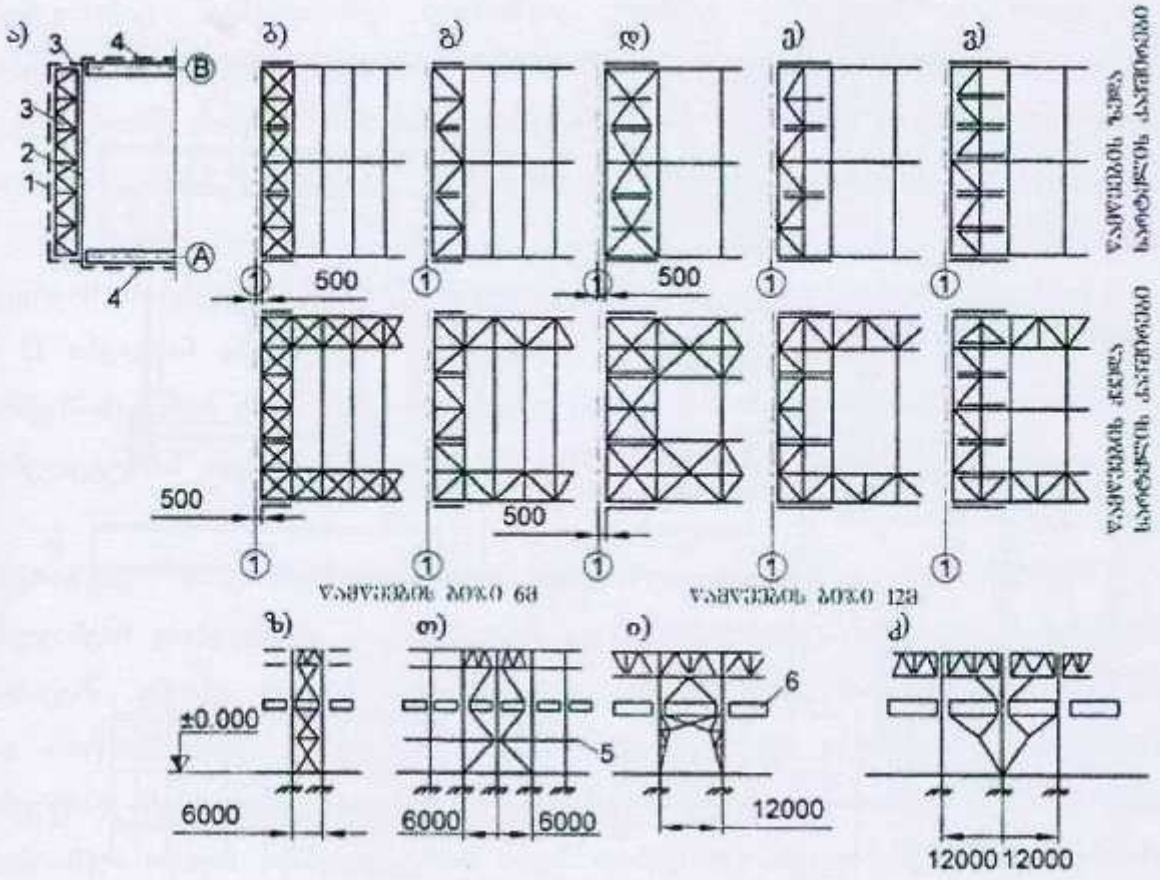


ფიგ. 110. ნივნივქვეშა წამწეების უნიფიცირებული ტიპური სქემები

ამწისქვეშა კონსტრუქციების ძირითადი მზიდი ელემენტებია – მთლიანი ან გამჭოლი განივკედის მქონე ამწისქვეშა კოჭები. მლიანკედლიანი მზადდება ნაგლინი ორტესებრისაგან, კუთხედებით ან ბრტყელი ფურცლებით გაძლიერებული ზედა სარტყელით. მათ იყენებენ სვეტების 6 მ ბიჯის და 20 ტ-მდე ტვირთამწეობის ამწეების შემთხვევაში. უფრო მეტი ტვირთამწეობის შემთხვევაში, ამწისქვეშა კოჭებს აკეთებენ ორტესებრი განივკვეთისას სამი შედუღებული ფურცლისაგან. მთლიანკედლიანი ამწისქვეშა კოჭები შეიძლება იყოს ჭრადი და უჭრი. უჭრი კოჭების დამონტაჟება შრომატევადია, მაგრამ უფრო ხისტია და 10–13 %-ით მსუბუქია ჭრადზე.

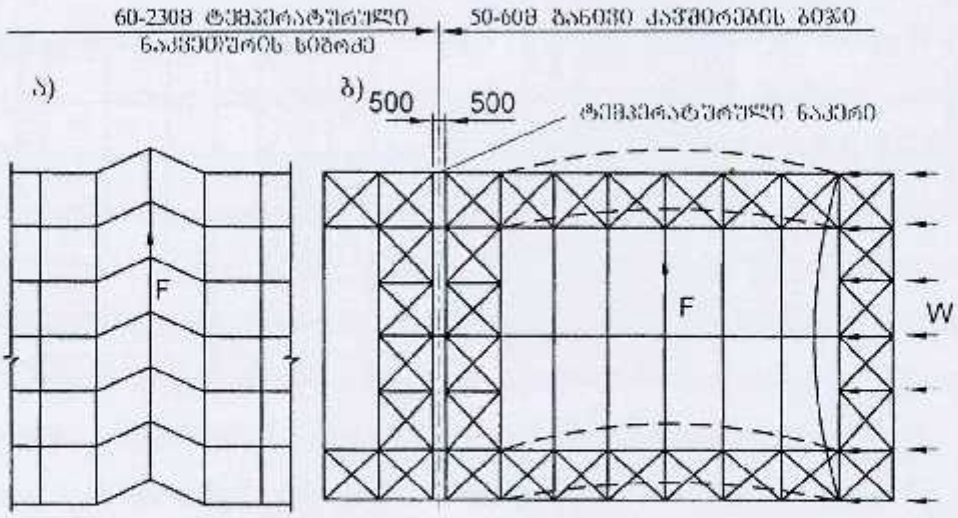
გახსნადი ამწისქვეშა კოჭების გამოყენება მიზანშეწონილია სვეტების 12 მ და მეტი ბიჯის, 75 ტ-მდე ტვირთამწეობის მსუბუქ და საშუალო რეჟიმზე მომუშავე ამწეების შემთხვევაში. ამ შემთხვევაში, მთლიანკედლიანთან შედარებით, ფოლადის ეკონომია შეადგენს 15-20 %. დიდი მალებისა და მძიმე ხიდური ამწეების შემთხვევაში, სიხისტის გასაზრდელად, ამწისქვეშა კოჭს აერთიანებენ ნივნივქვეშა წამწესთან, შედეგად მიიღება კომბინირებული კონსტრუქცია, რომელსაც ეწოდება ამწისქვეშა–ნივნივქვეშა წამწე. ამწისქვეშა კოჭები ეყრდნობა სვეტების ამწისქვეშა შტოებზე საყრდენი ტორსული წიბოებით და მაგრდება ჭანჭიკებით, ხოლო გარე შტოსთან – მისამაგრებელი ყაბამასებით (იხ. ფიგ. 52 და 63). კარკასის კონსტრუქციული სქემის გაერთმთლიანება მოიცავს კავშირების სისტემის მოწყობას სვეტებზე და წამწეებზე. წამწის ზედა და ქვედა სარტყელებზე ამონტაჟებენ ჰორიზონტალურ კავშირებს, ხოლო წამწეებს შორის – ვერტიკალურ კავშირებს (ფიგ. 111).

ზედა სარტყელებზე ჰორიზონტალურ კავშირებს ამონტაჟებენ განივი მიმართულებით, რითაც უზრუნველყოფენ წამწეების ზედა სარტყელის შეკუმშული ელემენტების მდგრადობას ვერტიკალური დატვირთვებისაგან (იხ. ფიგ. 5). უგრძივი სისტემაში ზედა სარტყელებში კავშირების ფუნქციას ასრულებს რკინაბეტონის ფილები, რომლებსაც ზედა სარტყელთან ამაგრებენ შედუღებით, ხოლო კავშირებს აწყობენ მხოლოდ ტემპერატურული ნაკეთობების ნაპირებში მონტაჟის დროს. ჰორიზონტალურ კავშირებს წამწეების ქვედა სარტყელებში აწყობენ როგორც განივი ასევე გრძივი მიმართულებით. ქვედა სარტყელებში განივ კავშირებს, როგორც წესი, აწყობენ შენობებისა და ტემპერატურული ნაკეთობების ტორსებში, რაც აუცილებელია შენობის ტორსზე მოქმედი ქარის დატვირთვისაგან დასაცავად (ფიგ. 112, ბ).



ფიგ 111. კავშირების სისტემის სქემები

ა-გ –გადახურვაზე, სვეტების ბიჯით 6 მ; დ-ვ –გადახურვაზე, სვეტების ბიჯით 12 მ; ზ-კ – სვეტების შორის



ფიგ. 112. კარკასის განივი დეფორმაცია ამწის ადგილობრივი დატვირთვისაგან

ა – წამწეების ქვედა სარტყელების ჰორიზონტალური კავშირების გარეშე;

ბ – იგივე, ჰორიზონტალური კავშირებით

ქვედა სარტყელებზე გრძივი კავშირები უმთავრესად გამოიყენება მთელი გადახურვის სივრცით მუშაობაში ჩართვის მიზნით ამწეების ადგილობრივი (ფიგ. 112, ა) ან სხვა დატვირთვების მოქმედების დროს. ქვედა სარტყელებში კავშირებს ძირითადად იყენებენ მუშაობის მძიმე რეჟიმიან შენობებში.

წამწეებს შორის ვერტიკალურ კავშირებს აწყობენ წამწეების საყრდენ დგარებს შორის და წამწეებს შორის შუალედში ბიჯით არა ნაკლები 12 მ. მათი ძირითადი დანიშნულებაა – ხისტი უცვლელი სივრცითი ბლოკის შექმნა, რომელიც შედგება ორი ნივნივური წამწისა და ზედა და ქვედა სარტყელების განივი კავშირებისაგან.

მსუბუქი და საშუალო მუშაობის რეჟიმიან შენობებში კავშირებს ამზადებენ ცალკეული კუთხედებისა და მილებისაგან, რომლებიც ნივნივური წამწეების კვანძებთან მიეშაგრება ჭანჭიკებით, ხოლო მძიმე რეჟიმის შენობებში – მილებისა და შეელერებისაგან შედუღებით. ორი წამწისა და კავშირების სისტემით წარმოქმნილ ხისტ ბლოკებთან დანარჩენ წამწეებს აერთებენ განმბჯენებით ან გრძივებით ზედა სარტყელებში, ხოლო მუშაობის მძიმე რეჟიმის შენობებში – ქვედა სარტყელებშიც, მათი ვიბრაციის თავიდან ასაცილებლად (ფიგ. 111). კავშირის ელემენტებში კუმშვის ძალვების თავიდან ასაცილებლად მას აპროექტებენ ჯვრისებრი ფორმით.

გაჭიმვაზე და კუმშვაზე მომუშავე, სამკუთხა გისოსიანი კავშირების მქონე წამწეებში ლითონის ხარჯი მეტია ჯვარედინ გისოსიან წამწეებთან შედარებით, მაგრამ მათი დამზადება და მონტაჟი უფრო იოლია, რაც განაპირობებს მათი გამოყენების უპირატესობას.

გადახურვის კავშირების გარდა, კარკასის სვეტებს შორის ეწყობა ვერტიკალური კავშირები გრძივი მიმართულებით (ფიგ. 111, ზ, კ), რაც უზრუნველყოფს შენობის კარკასის სიხისტესა და უცვლელობას გრძივი მიმართულებით: გრძივი მიმართულების ქარის ზემოქმედებისაგან; ხიდური ამწეების ზემოქმედებისაგან გამოწვეულ გრძივი სამუხრუჭო ძალებისაგან; აგრეთვე, ზრდის სვეტების მდგრადობას მართობ სიბრტყეში. უმარტივესი კონსტრუქციაა ჯვარედინი ან ირიბნული კავშირის სისტემები (ფიგ. 111, ზ, თ). შუა რიგებში თავისუფალი გასასვლელისთვის ეწყობა პორტალური ან ნახევრად პორტალური კავშირების სისტემები (ფიგ. 111, ი, კ).

ფიგ. 113. ჩალანგარის კონსტრუქცია

ა, გ – ტორსული; ბ, ე – გრძივი; დ, ვ, ზ – ჩალანგარის ჯაჭვები; 1 – ხიდუცერი ფერმა; 2 – სვეტი; 3 – ძირითადი დგარი; 4 – რიგელი; 5 – განმბჯენი; 6 – შუალედური დგარი

საკვლევ შემოფარგელის, ჭიშკრების, ფანჯრებისა და სხვა ელემენტების დასამაგრებლად გამოიყენება ტორსული და გრძივი ჩალანგარები, რომლებიც შედგება დგარების, რიგელებისა და განმბჯენებისაგან (ფიგ. 113). ტორსული ჩალანგარი იღებს ქარის

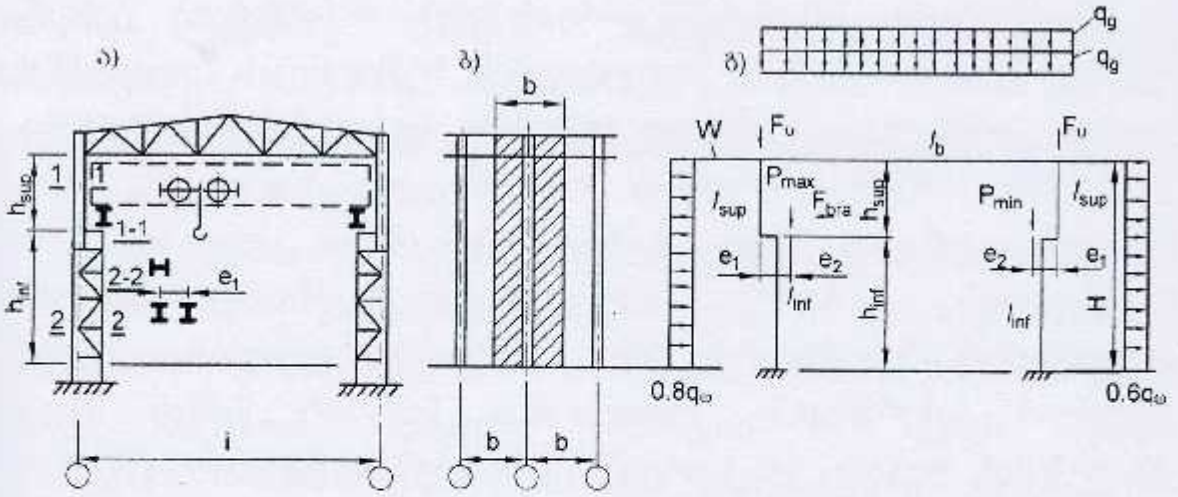
ჰორიზონტალურ დატვირთვას და გადასცემს მას კარკასის ტორსულ ჩარჩოს. ტორსული ჩალანგარის ტრადიციული გადაწყვეტა ნაჩვენებია ფიგ. 113, ა. ძირითად ვერტიკალურ დგარებს აყენებენ 6 ან 12 მ ინტერვალით, აყრდნობენ განიკი კავშირის წამწეზე ნივნივური წამწის დონეზე (ფიგ. 113, დ) და სახსრულად საძირკველზე. განივი ჩარჩოს სიმაღლის მიხედვით ძირითადი დგარები შეიძლება იყოს მთლიანკედლიანი (H≤18 მ) ან გამჭოლი გისოსოვანი წამწეების სახით (H> 18 მ). რიგელები, განმბჯენები და შუალედური დგარები, როგორც წესი, კეთდება ნაღუნი შველერების ან ნაგლინი ორტესებრებისაგან.

განივი ჩარჩოს დიდი მალისა და სიმაღლის შემთხვევაში, ტორსული ჩალანგარი შეიძლება შესრულდეს მთელ პერიმეტრზე დაყრდნობილი ჯვარედინა–ღეროვანი სივრცითი კონსტრუქციის სახით (ფიგ. 113, ვ). ასეთი გადაწყვეტის ღირსებებია: სარტყელების ღერძებში ჩალანგრის სამშენებლო სიმაღლის შემცირება 2-ჯერ, ფოლადის ხარჯის შემცირება 2–3-ჯერ და გარე ხედის მნიშვნელოვანი გაუმჯობესობა. გრძივი ჩალანგარი (ფიგ. 113, ბ, გ) ტორსული ჩალანგარის ტრადიციული გადაწყვეტის ანალოგიურია.

6.3. განივი ჩარჩოს გაანგარიშება. საერთო ცნებები

სტატიკური თვალსაზრისით ერთმალიანი განივი ჩარჩო შესაძლებელია იყოს ორი ტიპის: ორსახსრიანი (სახსრებით რიგელის სვეტებთან შეუღლების კვანძებსა და საყრდენებზე) და უსახსრო. ერთსართულიანი სამრეწველო შენობებისთვის ყველაზე გავრცელებულია უსახსრო ტიპის ჩარჩო. იგი სამჯერ სტატიკურად ურკვეველია, ამიტომ მისი გაანგარიშება შეიძლება განხორციელდეს გადაადგილებების ან ძალების მეთოდით.

სტატიკური გაანგარიშებისთვის კონსტრუქციული სქემის მიხედვით ადგენენ საანგარიშო სქემას და საანგარიშო ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ დატვირთვებს ერთი ჩარჩოს საწვირთო ფართობისა და ხიდური ამწეების ზემოქმედების გათვალისწინებით (ფიგ. 114). ჩარჩოს ელემენტებში ძალვები განისაზღვრება ცალცალკე ყოველი დატვირთვისათვის, შემდეგ მათი კომბინაციის გზით განისაზღვრება ყველაზე არახელსაყრელი შეხამება, რომელსაც იღებენ საანგარიშოდ.



ფიგ. 114. ერთმალიანი ჩარჩოს გაანგარიშებისათვის

ა – კონსტრუქციული სქემა; ბ – საანგარიშო ბლოკის სიგანე;
გ – საანგარიშო სქემა

სტატიკური გაანგარიშებისთვის აუცილებელია ჩარჩოს ელემენტების კვეთების ინერციის მომენტების თანაფარდობები. ერთგვაროვანი ფოლადის გამოყენების შემთხვევაში, ეს თანაფარდობები მიახლოებით შეიძლება მიღებულ იქნას:

ერთმალიანი ჩარჩოებისთვის

$$J_{inf}/J_{sup} = 7 - 10, \qquad J_b/J_{sup} = 20 - 40,$$

მრავალმალიანებისთვის

$$J_{inf,i}/J_{inf,e} = 1 - 4,$$

სადაც J_{inf} არის ერთმალიან შენობაში სვეტის ამწისქვეშა ნაწილის კვეთის ინერციის მომენტი; $J_{inf,i}$ – იგივე, გარე რიგის სვეტებისათვის; J_{sup} – ერთმალიან შენობაში სვეტის ამწისზედა ნაწილის კვეთის ინერციის მომენტი; $J_{inf,e}$ – იგივე, შუა რიგის სვეტებისათვის; J_b – ნივნივური წამწის განივი კვეთის ინერციის მომენტი.

იმის გათვალისწინებით, რომ ინერციის მომენტების ფარდობის ცვლილება 30 %-ს საზღვრებში მცირედ აისახება საანგარიშო მომენტების მნიშვნელობებზე, შეიძლება, კონსტრუქციული მოსაზრებებით, წამწის კვეთის დაინერციის მომენტის (იხ. პ. 6.3) მეშვეობით განისაზღვროს ჩარჩოს დანარჩენი ელემენტების ინერციის მომენტები.

ჩარჩოებიანი კარკასების გაანგარიშების თანამედროვე ტენდენცია, ადგილობრივი და ამწეების დატვირთვების მოქმედებისას, ითვალისწინებს მთლიანი კონსტრუქციის სივრცით მუშაობას, ანუ ყველა განივი ჩარჩოსა და კავშირების სისტემის ერთობლივ მუშაობას ერთ სივრცობრივ ბლოკში. ჩარჩოვანი კარკასის ასეთი გაანგარიშება იძლევა ლითონის ხარჯის მნიშვნელოვან ეკონომიას, განსაკუთრებით ამწეების შეყურსული დატვირთვების ზემოქმედების დროს. შენობებში, რომლებშიც რიგელები სვეტებთან სახსრულადაა შეუღლებული, ნივნივურ წამწეს (რიგელს) ანგარიშობენ, როგორც ორ საყრდენზე დაყრდნობილ ჩვეულებრივ წამწეს ან, როგორც მრავალმალიან უჭრ (გაუჭრელ) წამწეს. სვეტებს ანგარიშობენ, როგორც საძირკველში ჩამაგრებულ, არაცენტრალურად შეკუმშულ ღეროებს (იხ. ვ. 1.10).

თავი 7. მრავალსართულიანი შენობის კარკასი

7.1. კონსტრუქციული სქემები. სვეტების და კოჭების განივკვეთის ტიპები

გაზრდილი სართულიანობის (16–30 სართული) და მაღლივ შენობებში (30 სართულზე მეტი) ფოლადის კონსტრუქციების გამოყენება აიხსნება უპირატესობებით, რომლებიც გააჩნია ფოლადს, როგორც კონსტრუქციულ მასალას: მინიმალური განივი კვეთის მქონე სვეტების დიდი ბიჯით დაპროექტების შესაძლებლობა; მცირე საკუთარი მასის მქონე კარკასის მაღალი მზიდუნარიანობა; დაგეგმარების მაქსიმალური მოქნილობა შენობის მოცულობის გამოყენების მაღალი კოეფიციენტით; მშენებლობის ინდუსტრიალიზაცია სრული ქარხნული დამზადების ელემენტებისგან, რაც ამცირებს მშენებლობის ვადებს; მონტაჟის დროს სველი პროცესების თავიდან აცილება; შენობის დემონტაჟის შესაძლებლობა ექსპლუატაციის ვადის დასრულების შემდეგ.

კარკასის ელემენტებია: სვეტები, გადახურვის კოჭები (რიგელები), სიხისტის ვერტიკალური კავშირები და გადახურვის ჰორიზონტალური დისკოები გადახურვის ფილის ჩათვლით. მაღლივი და გაზრდილი სართულიანობის შენობის კარკასი იღებს და საძირკველს გადასცემს ყველა ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ დატვირთვას. შენობის სიმაღლის

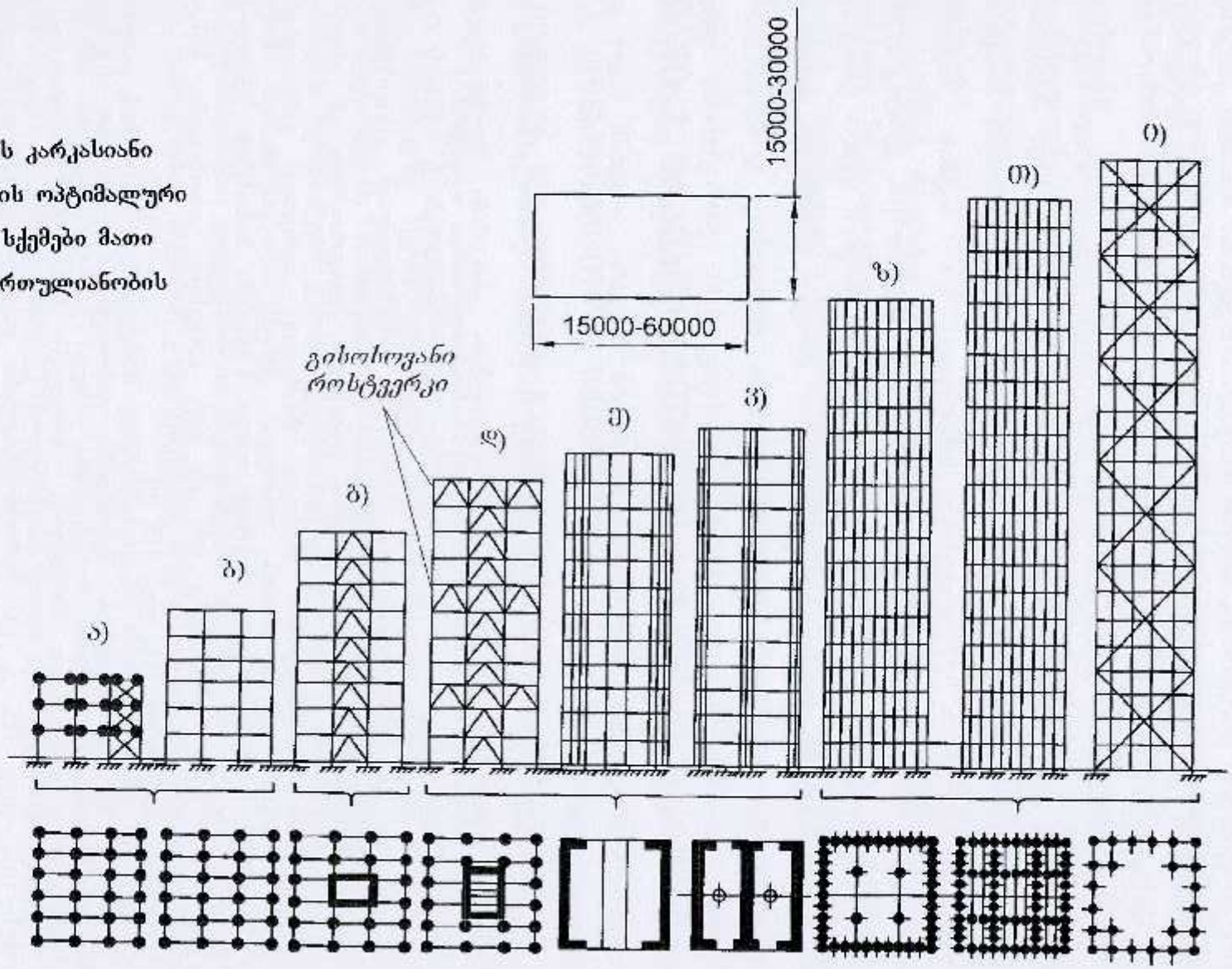
გაზრდისას ქვედაზე სახიფათო ზემოქმედებად ითვლება ქარის ჰორიზონტალური დატვირთვა, ამიტომ მრავალსართულიანი შენობის კარკასის თანამედროვე კლასიფიკაცია დაკავშირებულია ჰორიზონტალური დატვირთვების აღქმის ხერხთან (ფიგ. 115).

20 სართულამდე შენობებში დიდი გავრცელება პოვა დამყოლი საკვანძო შეერთებების მქონე კავშირებიანმა სქემამ (ფიგ. 115, ა). სხვა სქემებთან შედარებით მას გააჩნია რიგი უპირატესობებისა, რომელთა შორის მთავარია კოჭების სვეტებთან შეუღლების სიმარტივე და აგების ნაკლები შრომატევადობა. ჰორიზონტალურ სიხისტეს უზრუნველყოფს ვერტიკალური კავშირები, რომლებსაც, როგორც წესი, აყენებენ ჩარჩოების ქვედა განივ და გრძივ სიბრტყეებში. ვერტიკალური კავშირები კეთდება ირიბნული, ნახევრად ირიბნული და ჯვარედინი გისოსების სახით, რომლებიც განლაგებულია ჩარჩოს ერთ მალში მთელ სიმაღლეზე (ფიგ. 116). უპირატესობა უნდა მიენიჭოს ნახევრად ირიბნულ სქემას, რომელსაც კავშირების ელემენტების ნაკლები სიგრძე აქვს, ამავე დროს მცირდება მთავარი კოჭების მალი და შედეგად მასალის ხარჯიც.

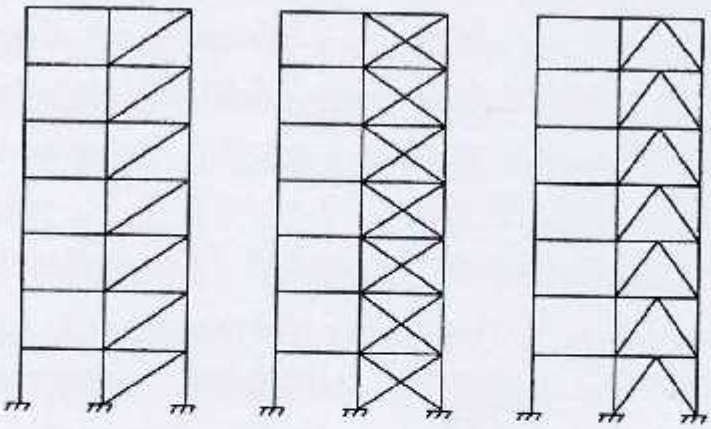
სართულიანობის 30–50 სართულამდე გაზრდის შემთხვევაში იყენებენ ჩარჩოვან (როდესაც ექსპლუატაციის პირობებით კარკასში შეუძლებელია კავშირების განლაგება) და კომბინირებულ ჩარჩო–კავშირებიან სქემებს (იხ. ფიგ. 115, ბ, გ). ჰორიზონტალური სიხისტის გასაზრდელად კავშირებიანი მალების შეტონით შევსებით იქმნება სიხისტის დიაფრაგმები ან ეწყობა კოლოფისებრი რკინაბეტონის ბირთვი, რომელიც აგრეთვე გამოიყენება ვერტიკალურ საკომუნიკაციო შახტად. ასეთ სქემებში სიხისტის შემდგომი გაზრდა მიიღწევა სიმაღლეზე ორ ან მეტ იარუსში გისოსოვანი ხისტი რისტვერკის მოწყობით (იხ. ფიგ. 115, დ).

60-ზე მეტ სართულიან შენობებში გამოიყენება უკარკასო სქემები განივი მზიდი კედლებით, რომლებიც ასრულებს სიხისტის დიაფრაგმების როლს (იხ. ფიგ. 115, ე, ვ). ჰორიზონტალური დატვირთვების მოქმედების დროს, განივი კედლების ერთობლივი მუშაობის უზრუნველყოფა ხორციელდება გადახურვის დისკებით, კედლების შევსებით და, გარე და შიგა კედლების სიბრტყეში მდებარე ჰორიზონტალური და ვერტიკალური კავშირების სისტემით. ასეთ სქემებში გამოიყენება ხისტად დაარმირებული (ნაგლინი პროფილებისგან) მონოლითური რკინაბეტონის კედლები.

ფიგ. 115. ფოლადის კარკასიანი მაღლივი შენობების ოპტიმალური კონსტრუქციული სქემები მათი სიმაღლისა და სართულიანობის მიხედვით



ა) ბ) გ)



ფიგ. 116. ვერტიკალური კავშირის წამწეების გისოსის ტიპები

ა – ირიბნული; ბ – ჯვარედინი; გ – ნახევრად ირიბნული;

მაღლივი შენობების შესამსუბუქებლად და სიხისტის ასამაღლებლად გამოიყენება კოლოფისებრი სქემები შიგა კარკასით და კოლოფისებრი მრავალსექციანი სქემები (იხ. ფიგ. 115 ზ, თ).

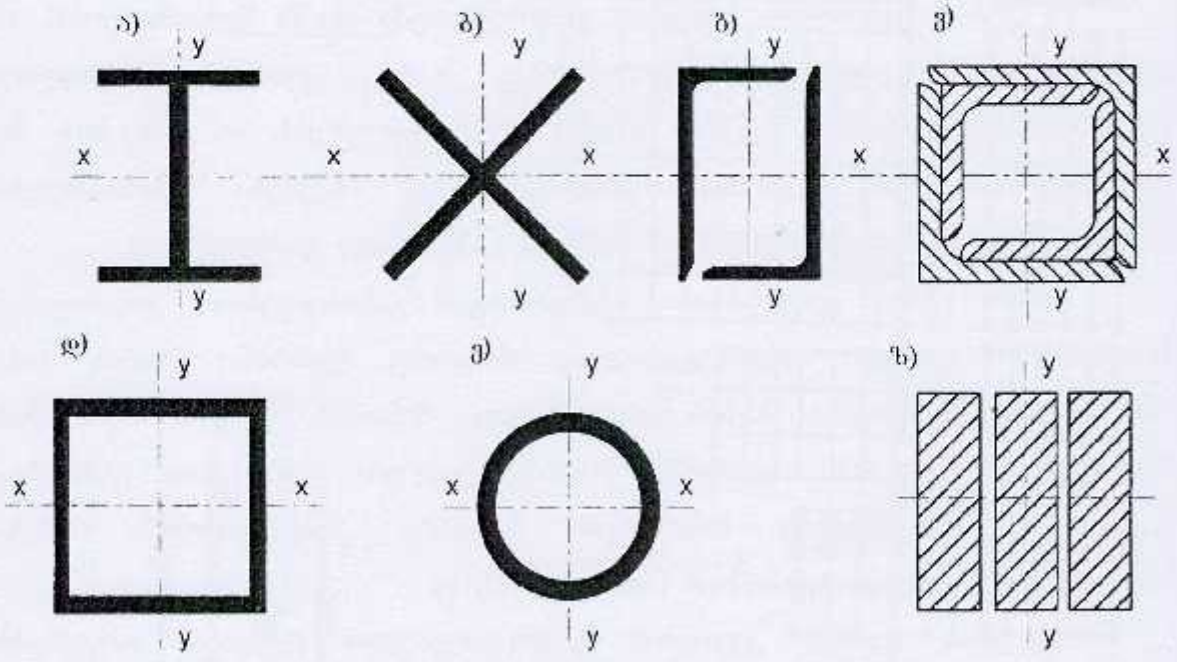
ამ კონსტრუქციული სქემების თავისებურება იმაში მდგომარეობს, რომ ჰორიზონტალურ დატვირთვებს იღებს გარე კედლების კოლოფის განვითარებული განივი კვეთი, ხოლო ვერტიკალურებს – კარკასის შიგა ელემენტები, რის გამოც კოლოფისებრი სქემები ხასიათდებიან ჰორიზონტალური ზემოქმედებების მიმართ გაზრდილი გამძლეობით.

მზიდი განივ კედლებიანი სქემებისაგან განსხვავებით, კოლოფისებრ სისტემებში კედელი გადაწყვეტილია, როგორც უირიბნო ტიპის ხისტი სივრცითი გისოსოვანი სახის. ეს იძლევა შენობის მთელი პერიმეტრის შემოხვის საშუალებას. უდიდესი ჰორიზონტალური სიხისტით გამოირჩევა გარეთა შემომფარგლავ სიბრტყეში მდებარე კოლოფისებრი სისტემა სივრცითი ირიბნული გისოსით (იხ. ფიგ. 115, ი).

სვეტების განივი კვეთების გავრცელებული ტიპებია: ორტესებრი, მართკუთხა და კვადრატული კოლოფისებრი პროფილები, ჯვარედინი, მილისებრი, აგრეთვე კუთხელების და სქელფურცლოვანი ფოლადისაგან შედგენილი პროფილები (ფიგ. 117). ფართო გამოყენება აქვთ ორტესებრ კვეთებს, რომლებიც გამოირჩევა კარკასის მონტაჟის მინიმალური შრომატევადობით (ფიგ. 117, ა).

მართკუთხა კვეთები ხშირად გამოიყენება კოლოფისებრ სქემებში მზიდი გისოსოვანი კედლებისათვის, ამასთან კვეთების გაბარიტები კედლის სიბრტყეში 30–150 სმ-ია, ხოლო კედლის მართობულ სიბრტყეში – 20–60 სმ. კარკასის შიგა სვეტებისათვის, რომლებთანაც განლაგებულია ტიხრები, მოსახერხებელია ჯვარედინი კვეთები, რომლებიც ტიხარში სვეტის დამალვის საშუალებას იძლევა (ფიგ. 117, ბ).

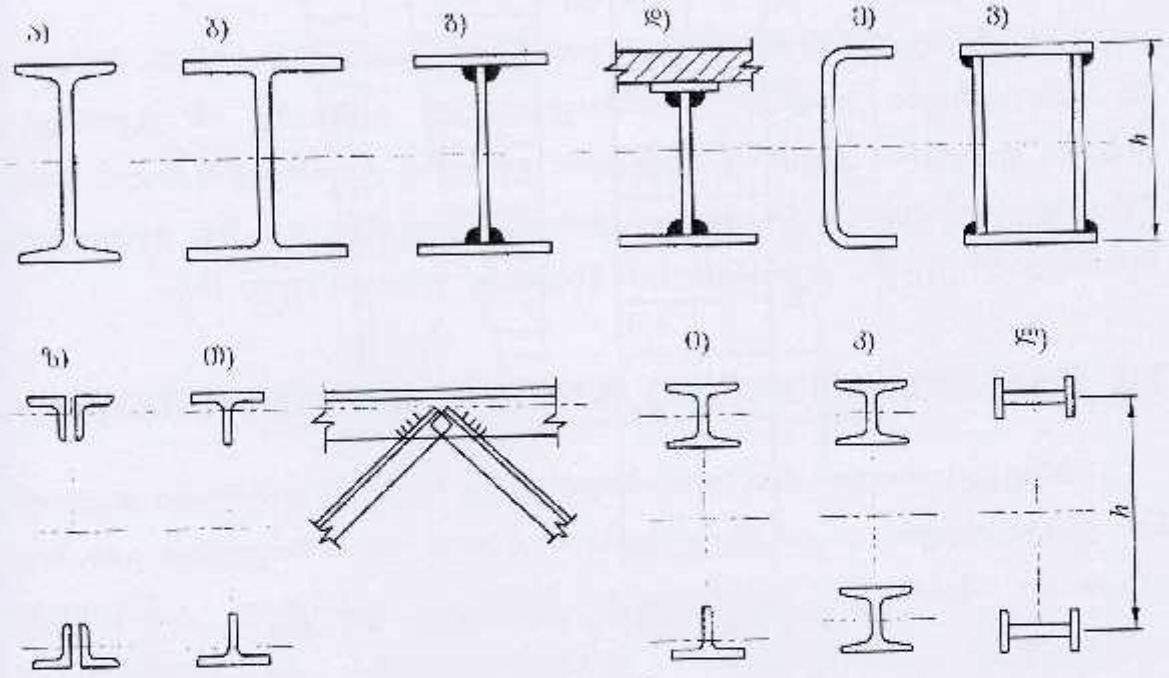
მაღლივი შენობებისთვის აგრეთვე გამოიყენება კომბინირებული პროფილები (ფიგ. 117, ვ, ზ), რომლებიც უზრუნველყოფენ კვეთის მაქსიმალურ მზიდუნარიანობას მინიმალური გაბარიტული ზომებით. კოჭებისათვის უმთავრესად გამოიყენება სიმაღლეში განვითარებული ორტესებრი, შეკლერისებრი და კოლოფისებრი კვეთები (ფიგ. 118). ფოლადის ეკონომიის მიზნით, ორტესებრი კვეთის შედგენილი შენადული კოჭები შეიძლება იყოს მლუნავი მომჭერის ეპიურის ცვლილების შესაბამისი ცვლადი სიმაღლის. კოჭები ქმნის კოჭოვან უჯრედს, რომლის დაპროექტების საფუძვლები მოცემულია მე-3 თავში.



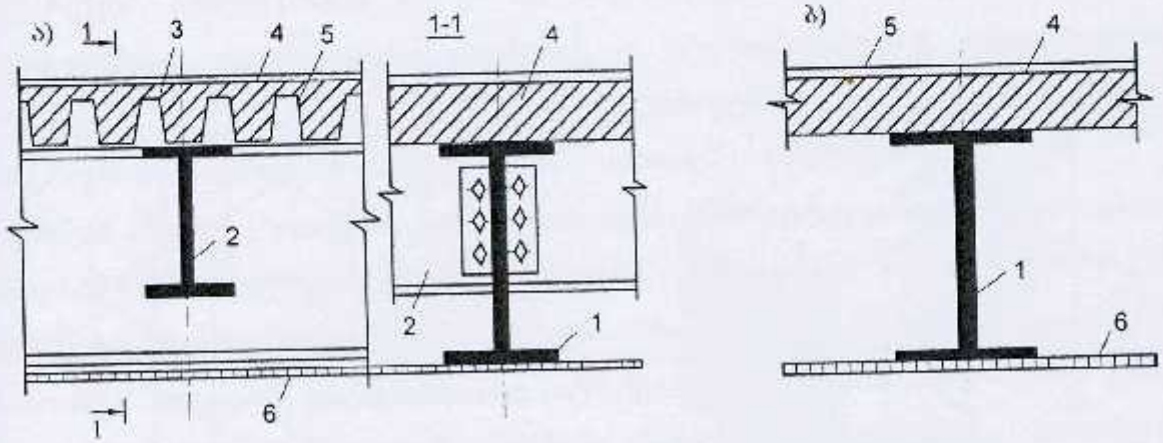
ფიგ. 117. სვეტის განივკვეთის ტიპები

ა – ორტესებრი; *ბ* – ჯვრისებრი; *გ* – მართკუთხა; *დ* – კვადრატული;
ე – მილისებრი; *ვ* – კუთხედებით კომბინირებული;
ზ – სქელფურცლოვანი ფოლადით კომბინირებული;

სართულშუა გადახურვის სამშენებლო სიმაღლე ეკონომიკური მოსაზრებით იზღუდება 350–400 მმ-ით. ამიტომ მთავარი კოჭების სიმაღლეს იღებენ ოპტიმალურ მნიშვნელობაზე ნაკლებს, გამომდინარე ფარდობიდან h/l=1/10–1/18. კოლოფისებრი სქემის მაღლივ შენობებში, დიდი მალის გამო, სართულშუა გადახურვის მზიდი კონსტრუქცია შეიძლება გაკეთდეს ჯვარედინი კოჭებით ან წამწეებით (იხ. ფიგ. 196, 209), რომლებიც შენობის გეგმის ფორმიდან გამომდინარე მუშაობენ ორი და მეტი მიმართულებით.



ფიგ. 118. კოჭების (ა–ვ) და წამწეების (ზ–ლ) განივკვეთების ტიპები



ფიგ. 119. სართულშუა გადახურვის ძირითადი სისტემები

ა – ფოლადის მზიდი დაპროფილებული ფენილით; *ბ* – იგივე, რკინაბეტონის ფილით; *1* – მთავარი კოჭი; *2* – დამხმარე კოჭი; *3* – ფოლადის დაპროფილებული ფენილი; *4* – ბეტონის ფილა; *5* – იატაკის კონსტრუქცია; *6* – კიდული ჭერის კონსტრუქცია

კავშირებიან, ჩარჩოვან და ჩარჩო–კავშირებიან კარკასებში გარე კედლებს აკეთებენ მსუბუქი ბეტონის ერთშრიანი კიდული პანელების სახით ან მრავალშრიანს, რომლის გარე და შიგა ფენები დამზადებულია დაპროფილირებული ფოლადის ან ალუმინის შენადნობისაგან, ხოლო შუა ფენა მსუბუქი ეფექტური მაბრუნებლისაგან. კოლოფისებრ სისტემებში კედლებს აპროექტებენ მზიდი გისოსოვანი სახით, რომლებიც შედგება ორტესებრი ან კოლოფისებრი კვეთის სვეტებისა და კოჭებისაგან. ასეთ კედლებში სვეტების ბიჯი არ აღემატება 3 მ-ს.

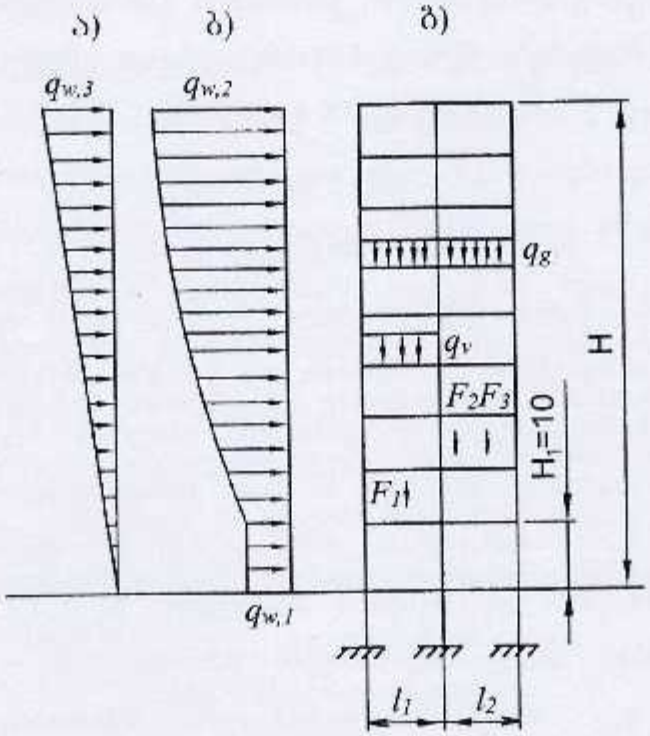
გადახურვის შემომფარგლავ კონსტრუქციებად გამოიყენება მონოლითური გადახურვები ფოლადის დაპროფილებულ ფენილზე ან რკინაბეტონის ფილები ფოლადის კოჭებზე. ფოლადის ფენილზე გადახურვის მალი, როგორც წესი, არ აღემატება 3 მ-ს, ხოლო ფოლადის კოჭებზე – 6 მ-ს. დიდი მალების შემთხვევაში ეწყობა რკინაბეტონის წიბოვანი ფილები (ფიგ. 119).

7.2. მრავალსართულიანი შენობის კარკასის მუშაობა

მრავალსართულიანი შენობის კარკასზე მოქმედი ძირითადი დატვირთვებია: ვერტიკალური – კარკასის კონსტრუქციისა და სართულშუა გადახურვის საკუთარი მასისგან გამოწვეული მუდმივი თანაბრად განაწილებული დატვირთვები; დროებითი – მოწყობილობებისა და ადამიანებისაგან გამოწვეული თანაბრად განაწილებული დატვირთვები; მუდმივი და დროებითი – მანქანებისგან, მოწყობილობისგან და ა. შ. გამოწვეული შეყურსული დატვირთვები; ჰორიზონტალური – ქარისგან არათანაბრად განაწილებული დატვირთვები; სეისმური დატვირთვები (ფიგ. 120);

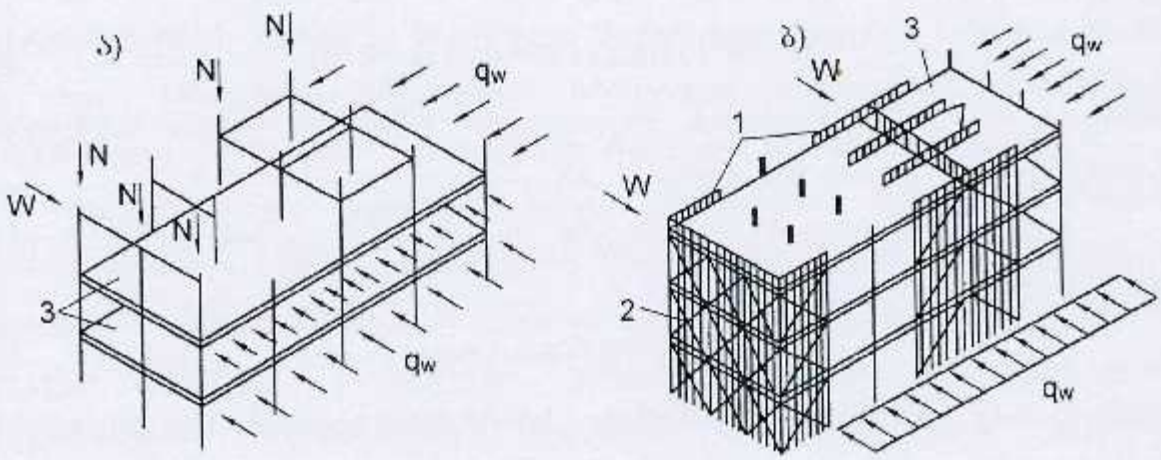
მრავალსართულიანი შენობის ან ნაგებობის ფოლადის კარკასის გაანგარიშება ხორციელდება მზიდუნარიანობაზე პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის, და სიხისტეზე – მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მიხედვით. რიგელის სვეტებთან ხისტად შეუღლების მქონე ჩარჩოვან კარკასებში, კარკასის ყველა ელემენტი ერთდროულად ერთვება მუშაობაში სივრცითი ჩარჩოს ნებისმიერ უბანში მოდებული ჰორიზონტალური დატვირთვების ასათვისებლად. ამასთან, ქარის ჰორიზონტალური დატვირთვები, რომლებიც მოქმედებენ გარე კედლებზე, გადახურვების მეშვეობით გადაეცემიან კარკასის ყველა ჩარჩოზე (ფიგ. 121, ა). კავშირებიან

სისტემებში რიგელები და სვეტები იღებენ მხოლოდ ვერტიკალურ დატვირთვებს, ხოლო ჰორიზონტალურ დატვირთვებს იღებენ ვერტიკალური კავშირის წამწეები, რომლებიც განლაგებული არიან როგორც გარე შემომფარგლავ სიბრტყეში, აგრეთვე შენობის შიგა ღერძებზე (ფიგ. 121, ბ).



ფიგ. 120. საანგარიშო დატვირთვები კარკასზე

ა – ქარის ჩქაროსნული დაწნევის პულსაცია; ბ – ქარის სტატიკური მოქმედება; გ – განივი ჩრიდილი ვერტიკალური დატვირთვის ვარიანტებით;



ფიგ. 121. კარკასის მუშაობის სქემები ჰორიზონტალურ ზემოქმედებაზე

ა – ჩარხოსებრი; ბ – კავშირებიანი; 1 – სიხისტის გრძივი ვერტიკალური დისკოები; 2 – იგივე, განივი; 3 – სიხისტის ჰორიზონტალური დისკოები;

მრავალსართულიანი შენობის ან ნაგებობის კარკასის გაანგარიშებისას ვერტიკალური მუდმივები და დროებითი დატვირთვები დაიყვანება გადახურვის კოჭებზე მოდებულ წრფივ, თანაბრად განაწილებულ ან შეკრულ დატვირთვებამდე მათი ნორმატიული მნიშვნელობების და გადატვირთვის კოეფიციენტების გათვალისწინებით. ქარისაგან გამოწვეული ჰორიზონტალური დატვირთვა განისაზღვრება შემდეგი მიახლოვებითი ფორმულებით:

$$q_{\omega,1} = \omega\,(0.8 + 0.6)\,\gamma_\omega s\,, \tag{87}$$

$$q_{\omega,2} = q_{\omega,1}\,k_\omega\,, \tag{88}$$

$$q_{\omega,3} = 0.24\,(2q_{\omega,2} + q_{\omega,1})\,, \tag{89}$$

სადაც ω არის ქარის ჩქაროსნული ნორმატიული დაწნევა, რომელიც განისაზღვრება სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით, კნ/მ²; $q_{\omega,1}$ და $q_{\omega,2}$ – ქარის განაწილებული დატვირთვის ეპიურის სტატიკური ნაწილის ორდინატები, შესაბამისად მიწიდან 10 მ-ის სიმაღლეზე და შენობის ზედა ნიშნულზე, კნ/მ; k_ω – სიმაღლის კოეფიციენტი, რომელიც განისაზღვრება სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით; γ_ω = 1.2 – გადატვირთვის კოეფიციენტი ქარის დატვირთვისათვის; 0.8 და 0.6 – აეროდინამიკური კოეფიციენტები; $q_{\omega,3}$ – ქარის დინამიკური ჩქაროსნული დაწნევისგან გამოწვეული განაწილებული დატვირთვის ეპიურის ორდინატა, კნ/მ²; s – ნარჩოების ბიჯი, მ.

მიწის დონეზე სრული მდუნავი მომენტი, რომელიც მოქმედებს მთელ ნაგებობაზე, განისაზღვრება ფორმულით:

$$M = (H^2/3)\,[(q_{\omega,1}/2) + q_{\omega,2}]\,(1 + \xi/5)\,, \tag{90}$$

სადაც ξ არის დინამიკურობის კოეფიციენტი, რომელიც აიღება სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით. XX

ქარის დატვირთვის სტატიკური ნაწილისგან გამოწვეული მდუნავი მომენტი ტოლია:

$$M_s = (H^2/6)\,(2q_{\omega,2} + q_{\omega,1})\,. \tag{91}$$

კავშირებიანი სქემის მქონე კარკასის სტატიკური გაანგარიშება ითვალისწინებს სივრცითი კონსტრუქციის დანაწევრებას ცალკეულ ბრტყელ სისტემებად, რომლებიც მუშაობენ, როგორც წესი, განივი მიმართულებით (ფიგ. 122, ა). საანგარიშო სქემა წარმოადგენს მრავალსართულიან ჩარჩოს რიგელების სვეტებთან სახსრული შეერთებით და კავშირის წამწით ერთ-ერთ მალში.

ასეთი ჩარჩოს რიგელები, რომლებიც დატვირთულია თანაბრად განაწილებული მუდმივი და დროებითი დატვირთვებით, მუშაობენ როგორც ჭრადი კოჭები და მათი გაანგარიშება წარმოებს მე-3 თავში მოყვანილი მეთოდიკით. რიგელების საყრდენი რეაქციები კარკასის სვეტებზე გადაეცემა გრძივი N ძალების სახით.

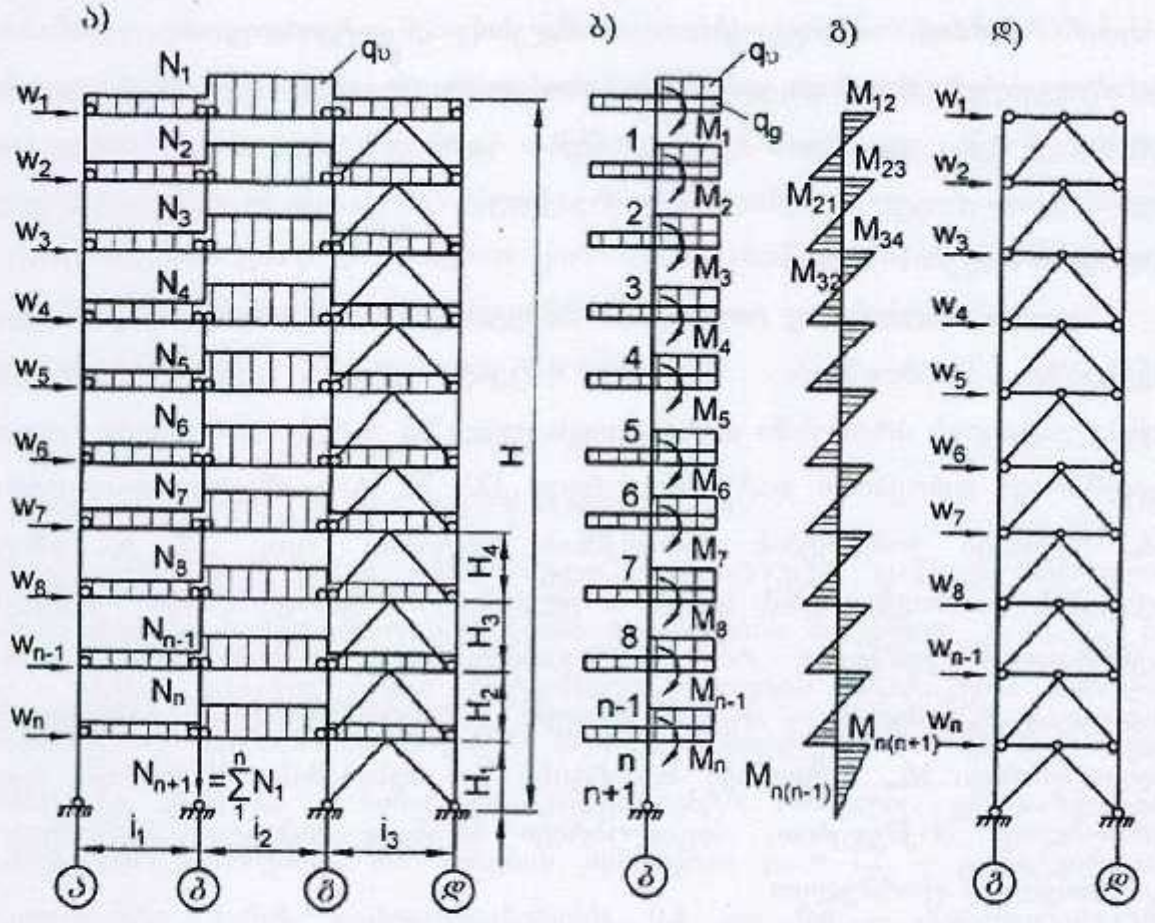
ყველა სართულზე რიგელების სიმეტრიული დატვირთვის შემთხვევაში სვეტებში წარმოიშვება მხოლოდ ცენტრალური კუმშვის ძალვები. ექსპლუატაციის პროცესში დატვირთვის ყველაზე უარესი ვარიანტია მალების ცალმხრივი დროებითი დატვირთვა (ფიგ. 122, ბ), რაც იწვევს ადგილობრივი M_{loc} მღუნავი მომენტების წარმოქმნას სვეტებში (ფიგ. 122, გ), ამიტომ სვეტების დაპროექტირების დროს სრულდება ორი გაანგარიშება: პირველი – ცენტრალურ კუმშვაზე, რომელიც გამოწვეულია მაქსიმალური მკუმშავი ძალისგან N_{max}; მეორე – არაცენტრალურ კუმშვაზე, რომელიც გამოწვეულია ადგილობრივი M_{loc} მღუნავი მომენტისა და შესაბამისი N გრძივი ძალის ერთობლივი მოქმედებით. ადგილობრივი მღუნავი მომენტის მნიშვნელობა გამოითვლება ფორმულით

$$M_{loc} = G_{max}\, e_1 - G_{min}\, e_2 , \qquad (92)$$

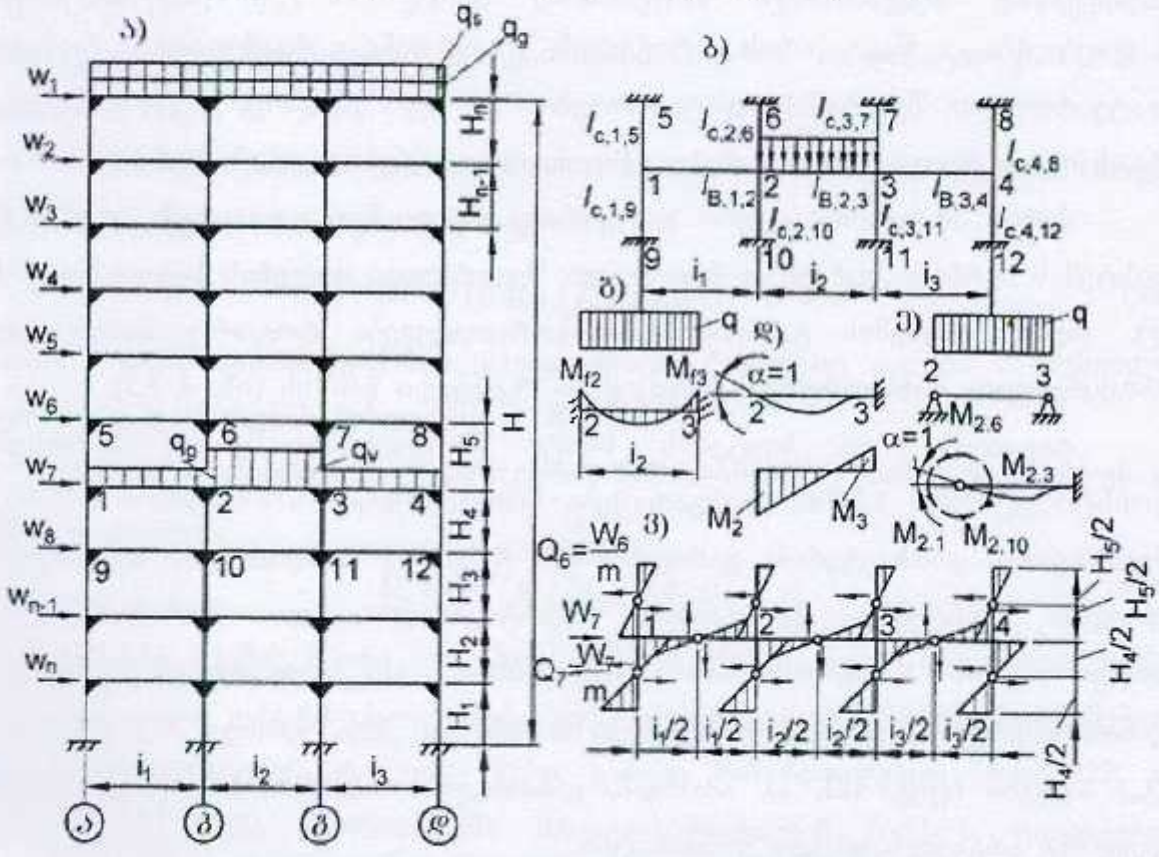
სადაც G_{max}, G_{min} არის რიგელის საყრდენი რეაქციები, რომელიც დატვირთულია შესაბამისი დატვირთვებით $q = (q_g + q_v)$ და q_g; e_1 , e_2 – საყრდენი რეაქციების მოდების შესაბამისი ექსცენტრისიტეტები სვეტის ღერძის მიმართ.

ქარის ჰორიზონტალური დატვირთვა მთლიანად გადაეცემა კავშირების სისტემას ჩარჩოს კვანძებზე მოდებული შეყურსული ძალების სახით (ფიგ. 122, დ). ასეთი სისტემის გაანგარიშება ხორციელდება როგორც საძირკველში ჩამაგრებული კონსოლური სტატიკურად რკვევადი წამწის (იხ. პ. 5.5).

რიგელისა და სვეტების ხისტი შეუღლების მქონე ჩარჩოსებრი კონსტრუქციული სქემის გაანგარიშება ხორციელდება სამშენებლო მექანიკის მეთოდებით კომპიუტერის გამოყენებით, როგორც მრავალჯერ სტატიკურად ურკვევი სისტემის. საანგარიშო ვერტიკალური და ჰორიზონტალური დატვირთვების მოქმედებისას სვეტებისა და რიგელების კვეთებში განისაზღვრება საანგარიშო მღუნავი მომენტები M_{cal}, გრძივი N_{cal} და განივი Q_{cal} ძალები (ფიგ. 123, ა). ამასთან, განიხილება საანგარიშო დატვირთვების ყველაზე არახელსაყრელი კომბინაცია.



ფიგ. 122. კავშირებიანი კარკასის გაანგარიშებისთვის



ფიგ. 123 ჩარჩოსებრი კარკასის გაანგარიშებისთვის

ჩარჩოს კვეთებში ვერტიკალური დატვირთვისაგან გამოწვეული მომენტების მნიშვნელობები შეიძლება განისაზღვროს მიახლოებითი გაანგარიშებით. ამისთვის მრავალსართულიანი ჩარჩოდან ამოიჭრება ერთი რგოლი (ფიგ. 123, ბ). 21-ე და 23-ე ცხრილების გამოყენებით ინიშნება ჩარჩოს რიგელისა და დგარის გაბარიტული ზომების მიახლოებითი მნიშვნელობები და 63-ე ფორმულით განისაზღვრება საანგარიშო რგოლში შემავალი ყველა დგარისა და რიგელის ინერციის მომენტები. რეალური მდუნავი მომენტი დატვირთულ 2–3 ღეროში, კვანძ 2 -ში, განისაზღვრება ფორმულით:

$$M_{2,3} = M_{f,2}\,[(\Sigma k_2 - k_{r,2,3}) / \Sigma k_2]\,, \qquad (93)$$

სადაც $M_{f,2}$ არის ფიქტიური მდუნავი მომენტი 2–3 ღეროში საყრდენზე 2; Σk_2 – კვანძ 2-ში მიერთებული ღეროების წრფივი სიხისტეების ჯამი; $k_{r,2,3}$ – 2–3 ღეროს (რიგელის) წრფივი სიხისტე.

კვანძ 2-თან მიერთებულ დაუტვირთავ ღეროში (მაგალითად 1–2) რეალური მდუნავი მომენტი შეიძლება ანალოგიურად გამოითვალოს

$$M_{2,1} = M_{f,2}\,(k_{r,1,2} / \Sigma k_2)\,. \qquad (94)$$

ღეროს ბოლოების ხისტად ჩამაგრების შემთხვევაში (ფიგ. 123, გ), თანაბრად განაწილებული დატვირთვისგან გამოწვეული ფიქტიური მდუნავი მომენტი ღეროს საყრდენზე გამოითვლება ფორმულით:

$$M_{f,2} = -\,ql_2^2 / 12\,.$$

რიგელის და დგარების ღეროების წრფივი სიხისტე შესაბამისად განისაზღვრება ფორმულებით:

$$k_r = 6EJ_b / l\,; \quad k_c = 6EJ_c / H_i\,. \qquad (95)$$

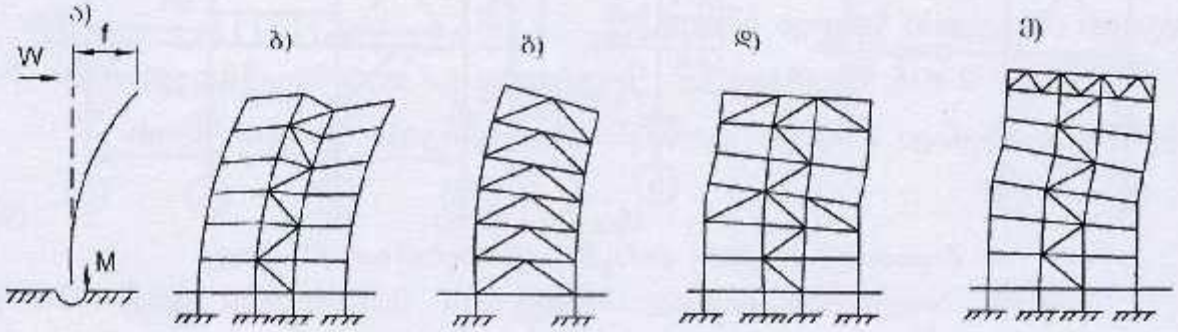
გადახურვებზე სხვადასხვა დატვირთვის შემთხვევაში განიხილება ჩარჩოს ყველა დამახასიათებელი რგოლი და მათთვის განისაზღვრება საანგარიშო მდუნავი მომენტები. სვეტებში ვერტიკალური დატვირთვებისგან გამოწვეული გრძივი N ძალვები განისაზღვრება კავშირების კარკასის ანალოგიურად.

ქარის ჰორიზონტალური დატვირთვისაგან გამოწვეული საანგარიშო მდუნავი მომენტები, აგრეთვე, შესაძლებელია განისაზღვროს მიახლოებით.

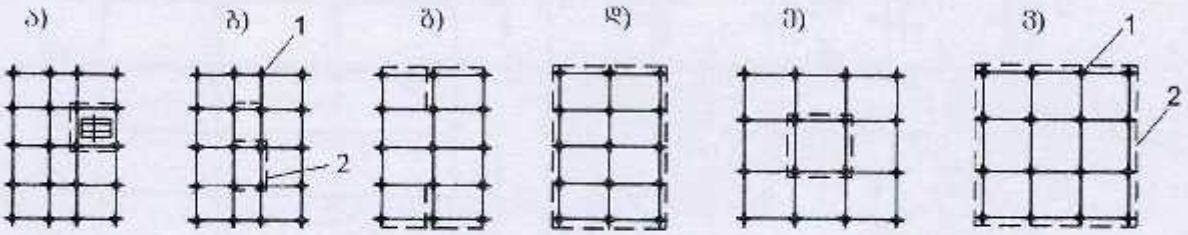
ამისთვის, მრავალსართულიან ჩარჩოს ანაწევრებენ ერთსართულიანებად ჩარჩოს დგარებსა და რიგელებში მომენტების ეპიურების ნულოვანი წერტილების დადგენილი მდებარეობით: დგარებში – ზედა სართულში, ზედა რიგელის ღერძიდან $0.6H$ მანძილზე; შუალედურ სართულში $0.5H$; ქვედა სართულში $0.4H$ ზედა რიგელიდან; რიგელებში – $0.5l$. ქარის დატვირთვით გამოწვეული მდუნავი მომენტი განისაზღვრება ფორმულით

$$M_w - Q_w H/2 , \qquad (96)$$

სადაც Q_w არის განივი ძალა ერთ დგარში სახსარის დონეზე, რომელიც განისაზღვრება განსახილველი სახრის ღერძის ზეკით მოქმედი ქარის ჯამური დატვირთვის ფარდობით საანგარიშო სქემის განივკვეთში არსებულ ვერტიკალური დგარების რაოდენობასთან (ფიგ. 123, ვ).



ფიგ. 124. ვერტიკალური კავშირების (ა–გ) და ჰორიზონტალური როსტვერკის წამწეების (დ, ე) მუშაობა



ფიგ. 125. გეგმაში ვერტიკალური კავშირების განლაგების ვარიანტები

ა – კიბის უჯრედის გარშემო; *ბ* – შიგა ღერძებზე, პერიმეტრზე ლენტური შემხინვის შემთხვევაში; *გ* – ერუ ტორსული კედლების შემთხვევაში; *დ–ვ* – დიდი სართულიანობის მქონე შენობებში; *1* – სვეტი; *2* – კავშირები;

ჩარჩოს ელემენტებში საანგარიშო ძალვებს ღებულობენ ვერტიკალური და ჰორიზონტალური დატვირთვებისაგან გამოწვეული მდუნავი მომენტების,

ნორმალური და განივი ძალების დაჯამებით. საანგარიშო კვეთების მზიდუნარიანობის შემოწმებას ახორციელებენ (16) – (21) ფორმულებით.

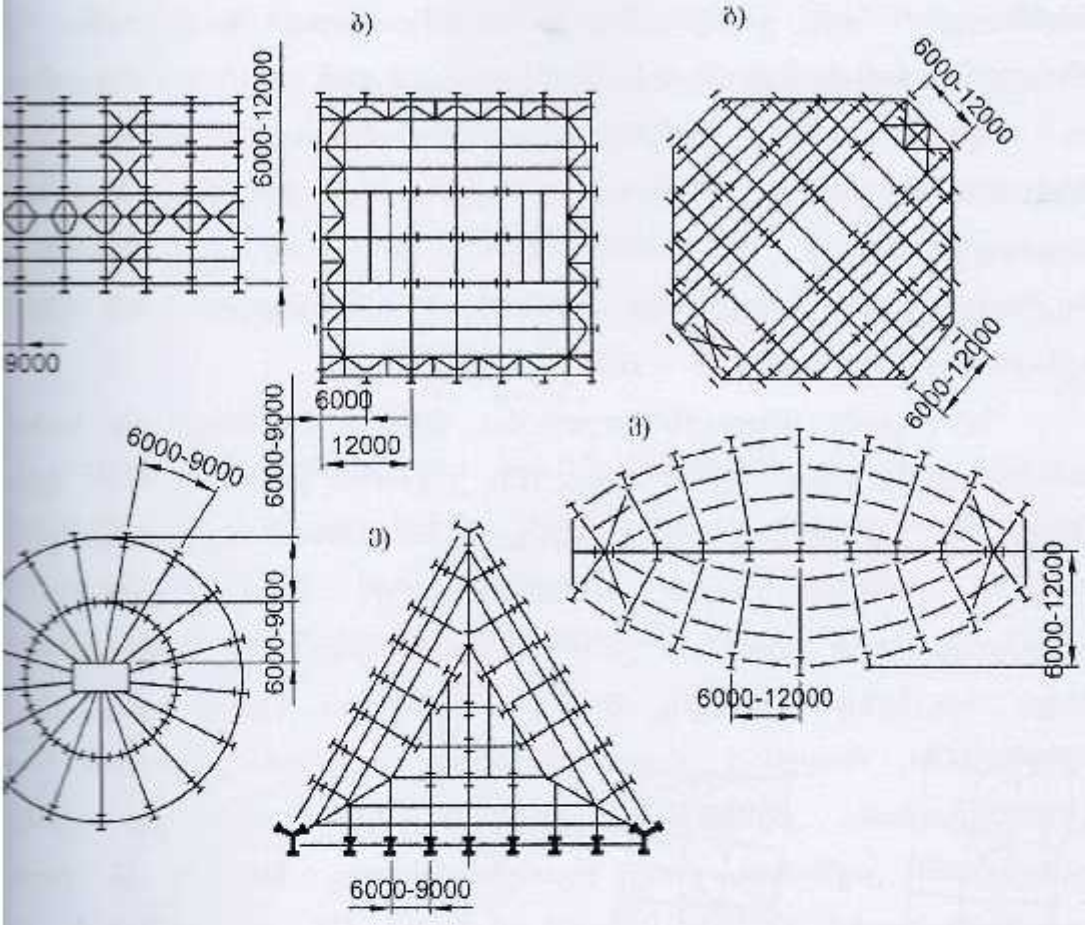
მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობით გაანგარიშება ზღუდავს მრავალსართულიანი შენობის ზედა სართულის ჰორიზონტალურ გადადგილებას $f \leq (1/600–1/800)H$. ამ პირობის შესასრულებლად რეკომენდებულია ნაგებობის სიმაღლის შეფარდება მის სიგანესთან აკმაყოფილებდეს პირობას – $H/B \leq 7$.

სტატიკაში მრავალსართულიანი შენობა წარმოადგენს საძირკველში ჩამაგრებულ ღუნვად ღეროს (ფიგ. 124). კავშირის ყიწრო წამწის შემთხვევაში (ფიგ. 124, ბ), კავშირების მნიშვნელოვანი გრძივი დეფორმაციების გამო, კარკასი განიცდის დიდ ჰორიზონტალურ გადაადგილებებს, ამიტომ ჰორიზონტალური სიხისტის გასაზრდელად, ცალკეულ ჩარჩოებში, შენობის მთელ სიგანე'ზე, შეიძლება მოეწყოს კავშირის წამწე (ფიგ. 124, გ). იმ შემთხვევაში, როდესაც ასეთი კავშირები აფერხებს შენობის ნორმალურ ექსპლუატაციას, კავშირების ვიწრო წამწეები შეიძლება გაძლიერდეს დამატებითი კავშირით გარე დგარებთან (ფიგ. 124, დ) ან როსტვერკის ჰორიზონტალური წამწის მეშვეობით (ფიგ. 124, ე). კავშირის წამწეების მოწყობის ადგილები ნაჩვენებია ფიგ. 125-ზე.

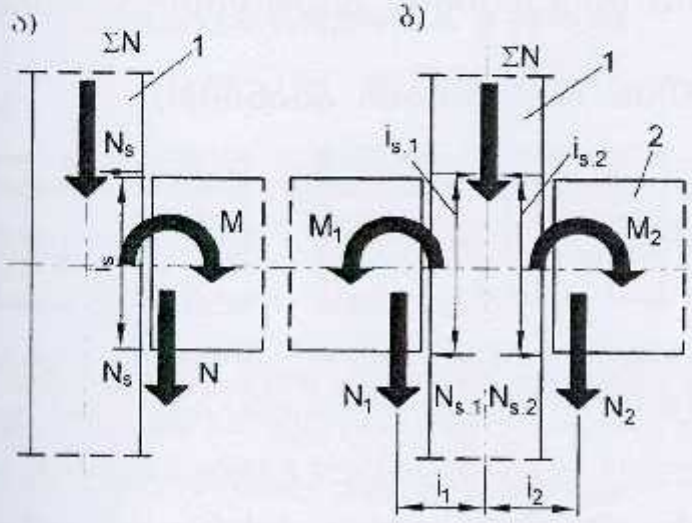
7.3. შენობათა სისტემების გაერთმთლიანება. კოჭის სვეტთან შეერთების კვანძები

სართულშუა გადახურვის კონსტრუქციები ქმნიან ჰორიზონტალურ ხისტ დისკოებს, რომლებიც აერთიანებს შენობის ვერტიკალურ მზიდ კონსტრუქციებს და უზრუნველყოფს მთლიანი ნაგებობის ერთობლივ მუშაობას. სართულშუა გადახურვის კოჭური უჯრედების მოწყობა განისაზღვრება შენობის არქიტექტურულ-კონსტრუქციული ფორმის მიხედვით. გადახურვის მოწყობის დამახასიათებელი ტიპები ნაჩვენებია ფიგ. 126-ზე.

გადახურვის ჰორიზონტალური სიხისტე მიიღწევა გადახურვის რკინაბეტონის ფილების საშუალებით, ხოლო გაძლიერების აუცილებლობის შემთხვევაში, დამატებითი ჰორიზონტალური კავშირების მოწყობით კონტურის შიგნით (ფიგ. 126, ა) ან პერიმეტრზე (ფიგ. 126, ბ, გ).



126. სართულშუა გადახურვების გაერთმოლიანების სქემები შენობის გეგმის სხვადასხვა ფორმის შემთხვევაში

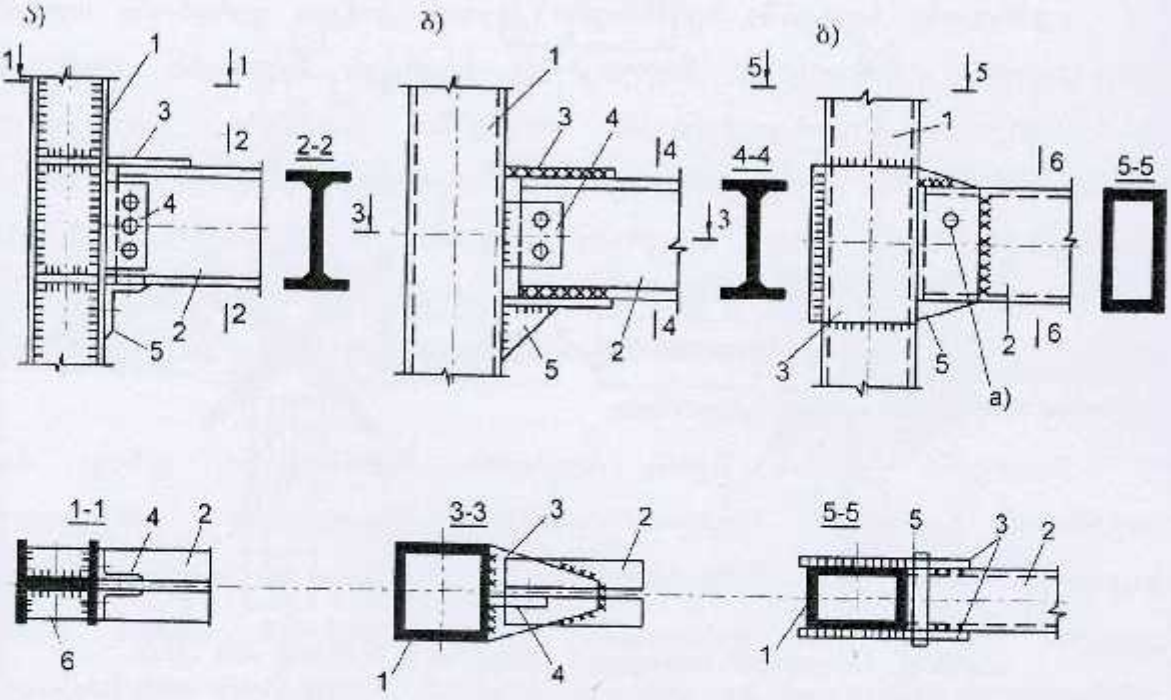


ფიგ. 127. ჩარჩოვანი კარკასის კვანძების საანგარიშო სქემები
ა – განაპირა ღერძზე; ბ – შუა ღერძზე; *1* – სვეტი; *2* – კოჭი;

ჩარჩოვან კარკასებში, დგარებთან რიგელის შეუღლების კვანძებში, წარმოიქმნება M მღუნავი მომენტი და N ნორმალური გრძივი ძალა (ფიგ. 127). მღუნავი მომენტი იშლება წყვილ N_s ძალებად, რომლებიც სვეტსა და კოჭის თაროებზე მიდებული შემაერთებელი ფირფიტებით გადაეცემა სვეტს,

$$N_s = M / l_s, \tag{97}$$

სადაც l_s არის თამასების ღერძებს შორის მხარი.



ფიგ. 128. კოჭების სვეტებთან შეერთების კვანძები

ა – კოჭის და სვეტის ორტესებრი კვეთის შემთხვევაში; *ბ* – კვადრატული კვეთის სვეტისა და ორტესებრი კოჭის შემთხვევაში; *გ* – კოჭის და სვეტის მართკუთხა კოლოფისებრი კვეთის შემთხვევაში: *1* – სვეტი; *2* – კოჭი; *3* – შემაერთებელი ფირფიტა; *4* – სამონტაჟო ელემენტი; *5* – საყრდენი მაგიდა; *6* – სიხისტის წიბო;

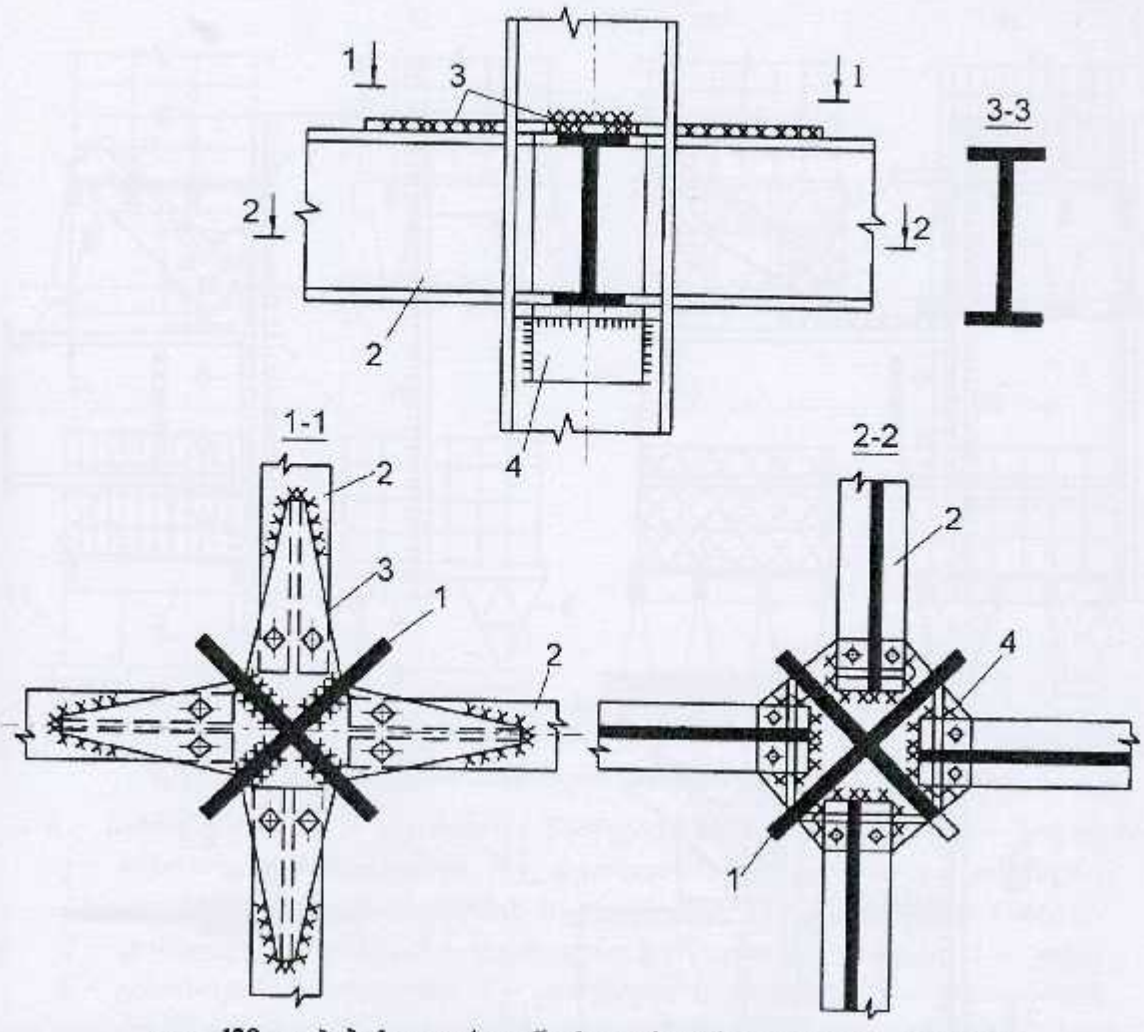
განივი ძალები სვეტზე გადაეცემა საყრდენი მაგიდის მეშვეობით. ორტესებრი სვეტებისა და კოჭების შემთხვევაში, სვეტებში შემაერთებელი თამასების ღერძის გასწვრივ საჭიროა სიხისტის წიბოების მოწყობა, რათა თავიდან იქნას აცილებული თაროების ადგილობრივი ღუნვა, რომელიც თამასებში ნორმალური ძალების მოქმედებისგანაა გამოწვეული, (ფიგ. 128, ა). კოლოფისებრი კვეთის მქონე სვეტების გამოყენებისას, შემაერთებელი თამასების სიგანე აიღება სვეტის სიგანის ტოლი (ფიგ. 128, ბ). კოლოფისებრი კვეთის კოჭებისა და სვეტების გამოყენების შემთხვევაში, უნდა

მივისწრაფოდეთ იმისკენ, რომ შესაუღლებელი ელემენტების კვეთის სიგანეები იყოს ერთნაირი. ეს საშუალებას იძლევა მოეწყოს ვერტიკალური საპირაპირე ზესადებები, რომლებიც მიდუღებულია ელემენტების გვერდითა წახნაგებზე (ფიგ. 128, გ). სამონტაჟო სამუშაოების გამარტივებისათვის კოჭებსა და ზესადებებში დატანებულია ხვრელები, რომლებშიც, შეთავსების შემდეგ, გატარდება სამონტაჟო სადები. ამ ოპერაციის შემდეგ ხორციელდება სამონტაჟო შედუღება.

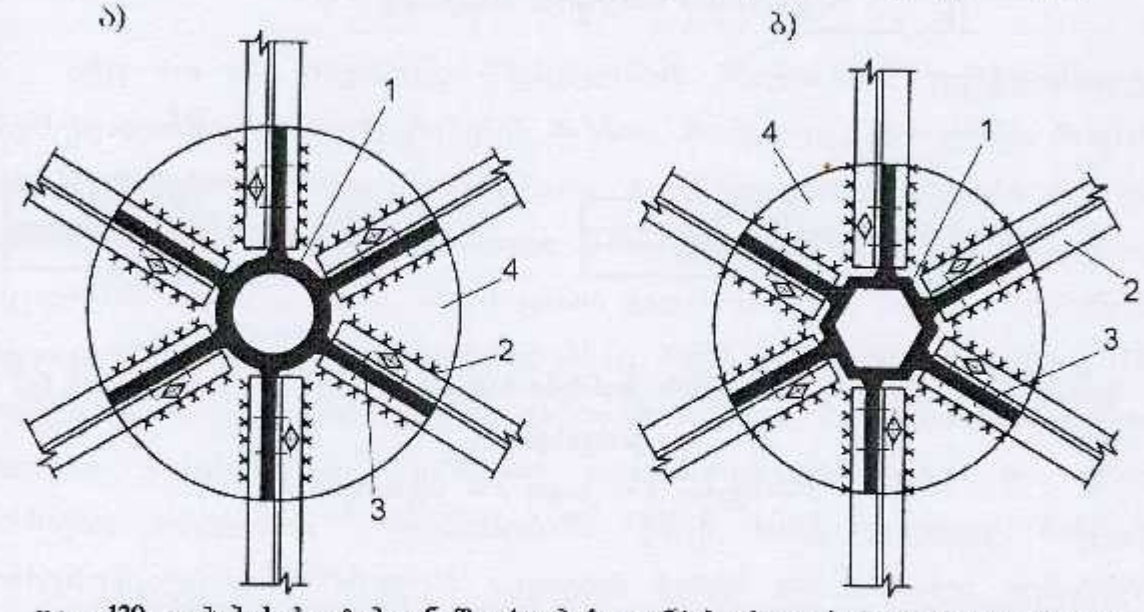
ჯვარედინა სვეტებში ნებისმიერი კვეთის კოჭები ეყრდნობა სვეტების ვერტიკალურ ფურცლებზე მიდუღებულ საყრდენ მაგიდებს, რომლებიც შესრულებულია კუთხედებისაგან. სვეტებში მაგიდები ახორციელებს სიხისტის წიბოების ფუნქციასაც. კოჭებს მაგიდებთან ამაგრებენ სამონტაჟო ჭანჭიკებით, ხოლო შემდეგ ამაგრებენ სვეტთან ტრაპეციისებრი თამასებით, რომლებიც კოჭის თაროებზე ფლანგური ნაკერებითაა მიდუღებული (ფიგ. 129). თამასების რთული ფორმა განისაზღვრება ქვედა ფლანგური ნაკერების კოჭის თაროზე მოწყობის აუცილებლობით.

მილოვანი კვეთის მქონე სვეტების შემთხვევაში, განივი ძალა კოჭებიდან გადაეცემა სვეტების გასწვრივ მიდუღებული ვერტიკალური საყრდენი ფირფიტების მეშვეობით (ფიგ. 130). ასეთ შემთხვევაში სვეტის კედლის ჩაღუნვისაგან დასაცავად, კვანძში აყენებენ სვეტის ტანთან, ვერტიკალურ წიბოებთან და კოჭის თაროებთან მიდუღებულ ორ მრგვალ ან მრავალწახნაგა ფირფიტებს. იგივე ფირფიტები ასრულებს თამასების ფუნქციასაც, რომელთა მეშვეობით ხორციელდება ხისტ კვანძებში საყრდენი მომენტის სვეტზე გადაცემა. კვანძის ნაკლად შეიძლება ჩაითვალოს ჭერის ნაკერების შესრულების აუცილებლობა წრიულ ფირფიტასა და კოჭის ზედა სარტყელს შორის.

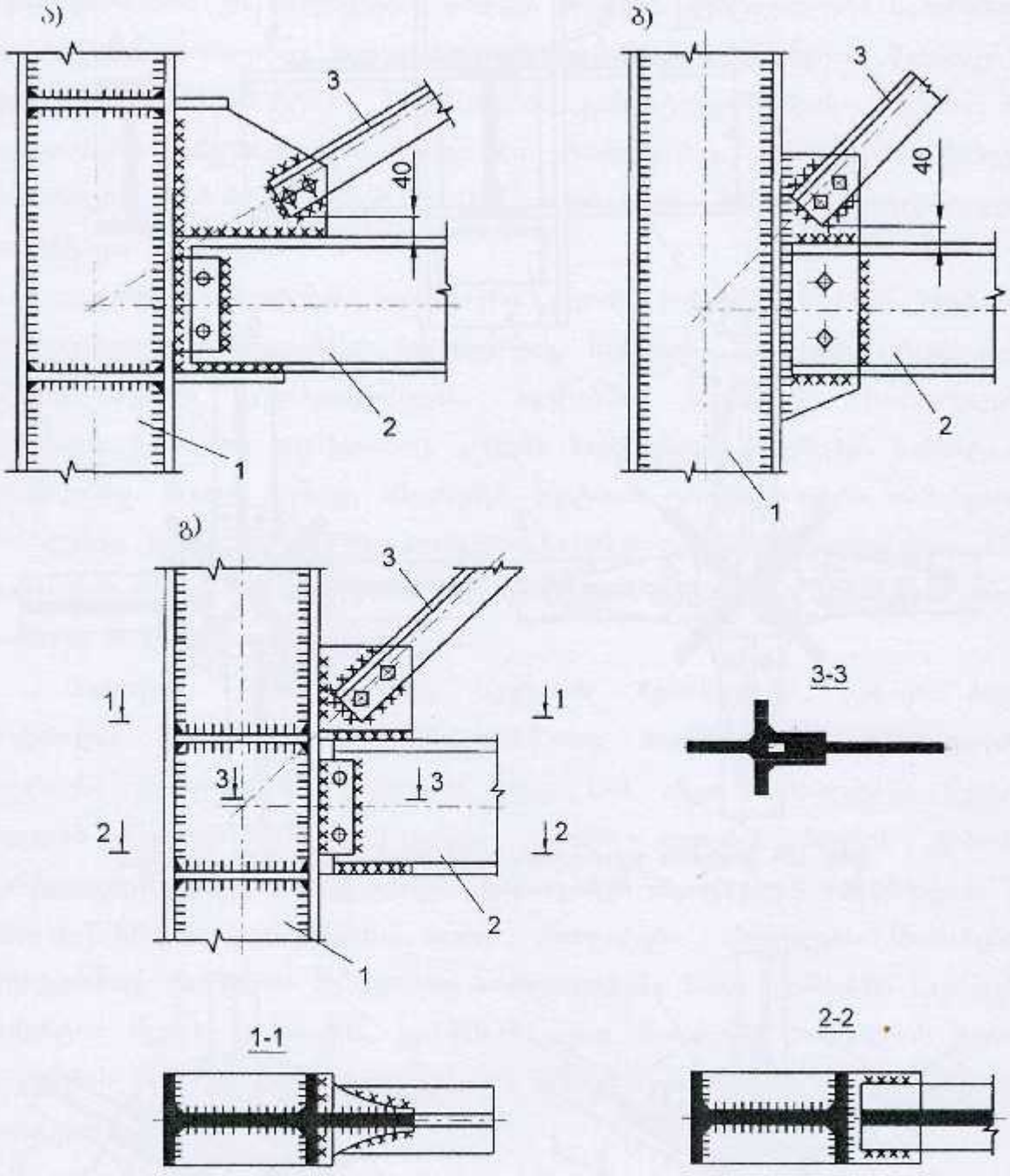
ერთმაგი ან ორმაგი კუთხედებისაგან შესრულებული კავშირების ელემენტებს სამონტაჟო ჭანჭიკებითა და შედუღებით ამაგრებენ საკვანძო შეერთებებში შემაყალ ვერტიკალურ წიბოებთან (ფიგ. 131). დამაკავშირებელი ელემენტების საკვანძო ფასონურებთან მისამაგრებელი შენადუღი ნაკერების გაანგარიშებას აწარმოებენ კავშირის ფერმების გაანგარიშების შედეგად განსაზღვრულ ძალვებზე.



ფიგ. 129. კოჭების ჯვარედინა სვეტებთან შეერთების კვანძები
1 – სვეტი; *2* – კოჭი; *3* – შემაერთებელი ფირფიტა; *4* – საყრდენი მაგიდა

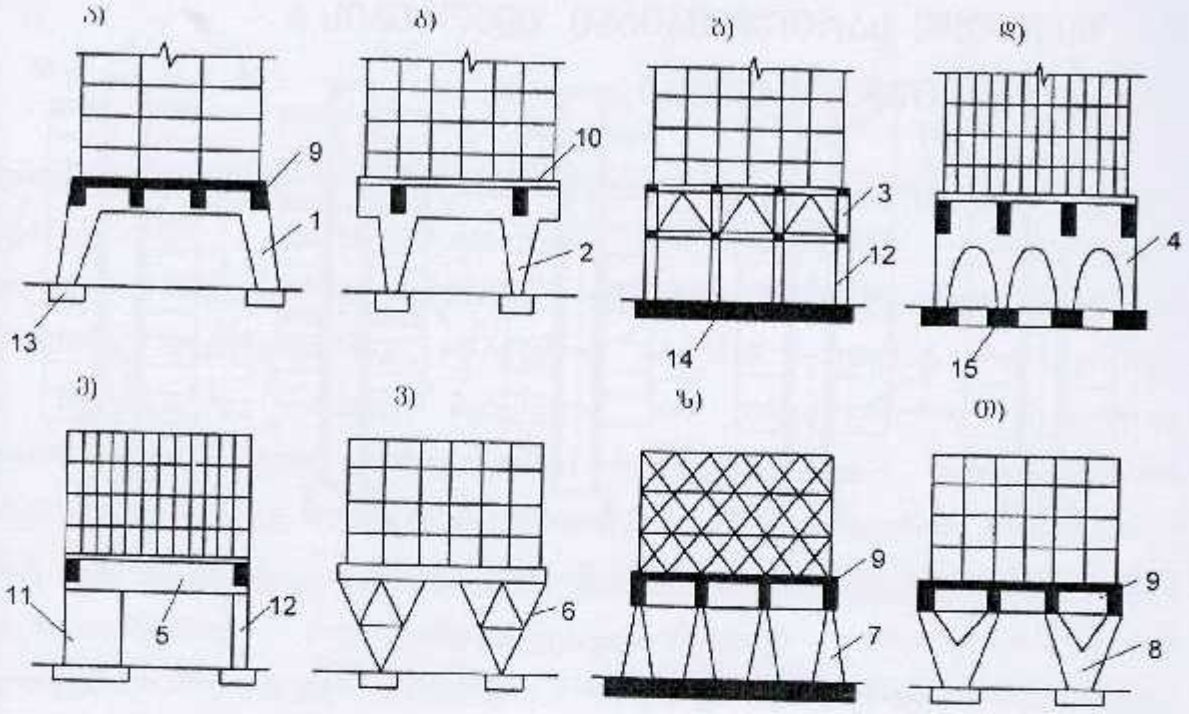


ფიგ. 130. კოჭების სვეტებთან შეერთების კვანძები სვეტების სამკუთხა ბადის შემთხვევაში
ა – მრგვალი მილის სახით; *ბ* – ექვსწახნაგა მილის სახით; *1* – სვეტი; *2* – კოჭი; *3* – შემაერთებელი ვერტიკალური წიბო; *4* – ნახვრეტებიანი მრგვალი ფურცელი



ფიგ. 131. კავშირების ჩამაგრების კვანძები ჩარჩოვან (ა, ბ) და კავშირებიან (გ) კარკასებში

1 – სვეტი; *2* – კოჭი; *3* – კავშირები



ფიგ. 132. პორტალების საყრდენი კონსტრუქციების სისტემები

ა, ბ – ჩარჩოსებრი; ; *გ* – ჯვარედინა წამწეებიანი; *დ* – თაღოვანი; *ე* – კოჭოვანი; *ვ* – გისოსოვანი ჩარჩოსებრი; *ზ* – ჯვარედინი როსტვერკით და კონუსური საყრდენებით; *თ* – V-ს ფორმის საყრდენებით; *1* – ერთმალიანი ჩარჩო; *2* – კონსოლური ჩარჩო; *3* – ჯვარედინი წამწეები; *4* – თაღები; *5* – კოჭი; *6* – გისოსოვანი საყრდენები; *7* – კონუსური საყრდენები; *8* – V-ს ფორმის საყრდენები; *9* – კოჭოვანი როსტვერკი; *10* – გამანაწილებელი ფილა; *11* – პილონი; *12* – სვეტი; *13* – წერტილოვანი საძირკველი; *14* – ფილოვანი საძირკველი; *15* – ჯვარედინ ლენტური საძირკველი;

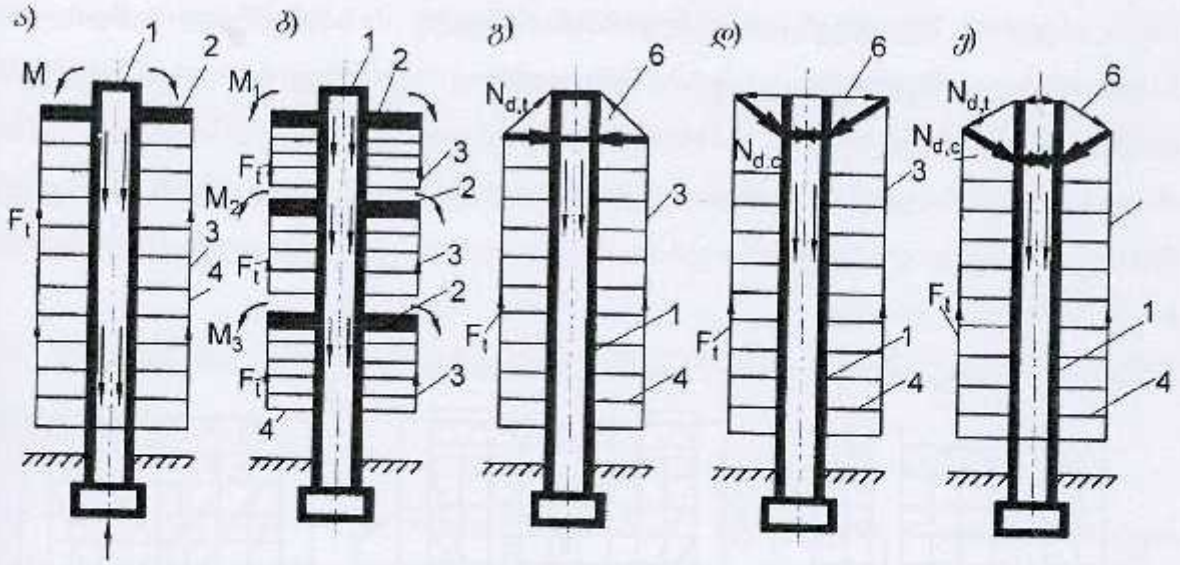
არც თუ ისე იშვიათად, მშენებლობის პრაქტიკაში, ფუნქციონალური თავისუფალი სივრცის ორგანიზების მიზნით, რომელიც გამოიყენება, როგორც ქალაქგეგმარებითი ნაწილი, მანქანათა სადგომი, გასასვლელები და ა.შ., წარმოიქმნება შენობის ძირითადი მოცულობის მიწის ზედაპირიდან დაცილების აუცილებლობა. ამ ამოცანის გადასაჭრელად კარკასს აყრდნობენ სპეციალურ კონსტრუქციებზე, რომლებსაც პორტალები ეწოდებათ (ფიგ. 132.). პორტალის მზიდი კონსტრუქციის ძირითად ნაწილს შეადგენს ერთმანეთთან მძლავრი კოჭებითა და ფერმებით დაკავშირებული განივი და გრძივი ჩარჩოები, რომლებიც ერთობლიობაში ქმნის ხისტ შვეულ სისტემას. კონსტრუქციულად პორტალებს აკეთებენ ხისტი და მოქნილი არმატურით არმირებულ მონოლითურ რკინაბეტონში.

7.4. შეკიდულ სართულებიანი შენობების კონსტრუქციული სქემები

კონსტრუქციული თალსაზრისით, შეკიდულ სართულებიანი შენობები პრინციპულად განსხვავდებიან მრავალსართულიანი შენობებისაგან. კონსტრუქციული სქემის ძირითად ნაწილს წარმოადგენს სივრცითი ვერტიკალური ტანები – შახტები, რომლებშიც განთავსებულია კიბისა და ლიფტების კომუნიკაციები და ითვისებენ ყველა ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ დატვირთვებს. სართულებს კიდებენ კონსოლურ სათავისებზე, რომლებსაც აქვთ კოჭური როსტვერკის ან ჯვარედინი ფერმების სისტემის სახე, რომლებიც ეყრდნობიან შენობის ვერტიკალურ ტანს. მრავალსართულიანი შენობების კარკასებისათვის დამახასიათებელი შეკუმშული დგარების საკიდებით შეცვლის წყალობით, შეკიდულ სართულებიანი შენობები ნაკლებად მასალატევადია ტრადიციულ მრავალსართულიან კარკასებთან შედარებით, აქვთ მეტი სასარგებლო ფართი, ახასიათებთ გაზრდილი სეისმომედეგობა, საჭიროებენ მიწის სამუშაოების ნაკლებ მოცულობას და ამავე დროს საშუალებას იძლევიან შეიქმნას ორიგინალური არქიტექტურულ-კონსტრუქციული ფორმები.

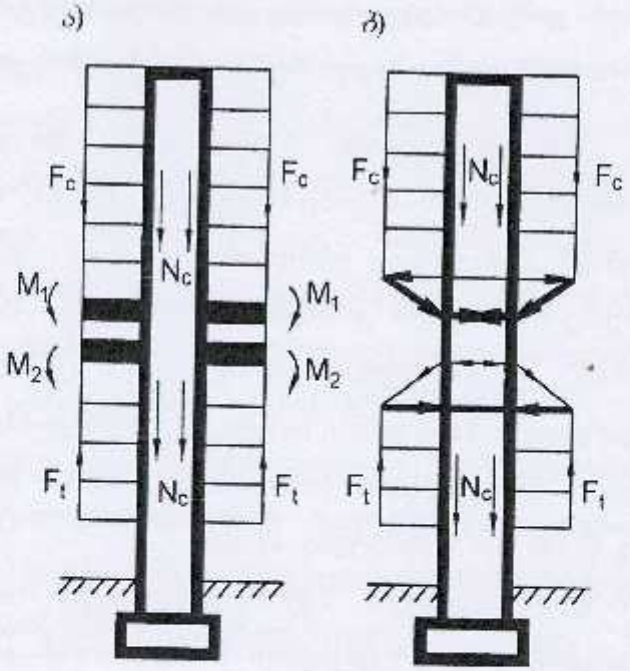
კონსტრუქციული სქემები მთავარი საყრდენების რაოდენობის მიხედვით შეიძლება დაიყოს ორ მთავარ ჯგუფად: ერთტანიან და, ორ და მრავალტანიან სისტემებად. ყოველ ჯგუფში, კონსოლური როსტვერკების ადგილმდებარეობის, რაოდენობის, კონსტრუქციული ფორმისა და სხვა ნიშნების მიხედვით, შემოაქვთ დამატებითი კლასიფიკაცია.

სამშენებლო პრაქტიკაში, უმეტეს წილად, განვითარება ჰპოვა ერთტანიანმა სისტემებმა ერთი კონსოლური როსტვერკით, რომელიც განთავსებულია მთავარი ტანის სათავსზე (ფიგ. 133). ამასთან, როსტვერკი წარმოადგენს კოჭების (ფიგ. 133, ა) ან ფერმების (ფიგ. 133, გ, დ, ე) სისტემას. როსტვერკის ელემენტებში (ფიგ. 133, ე) მინიმალური ძალვები წარმოიქმნება მაშინ, როდესაც ძირითადი ელემენტების დახრის კუთხე ჰორიზონტალის მიმართ შეადგენს 30-35°. კოჭისებრ როსტვერკებში მღუნავი მომენტის შესამცირებლად, ტანის სიმაღლეზე, სართულების რაოდენობიდან გამომდინარე, აწყობენ ორ, სამ და მეტ როსტვერკს (ფიგ. 133, ბ).



ფიგ. 133. დაკიდულ სართულებიანი ერთტანიანი (ერთჭაურიანი) შენობების კონსტრუქციული სქემები

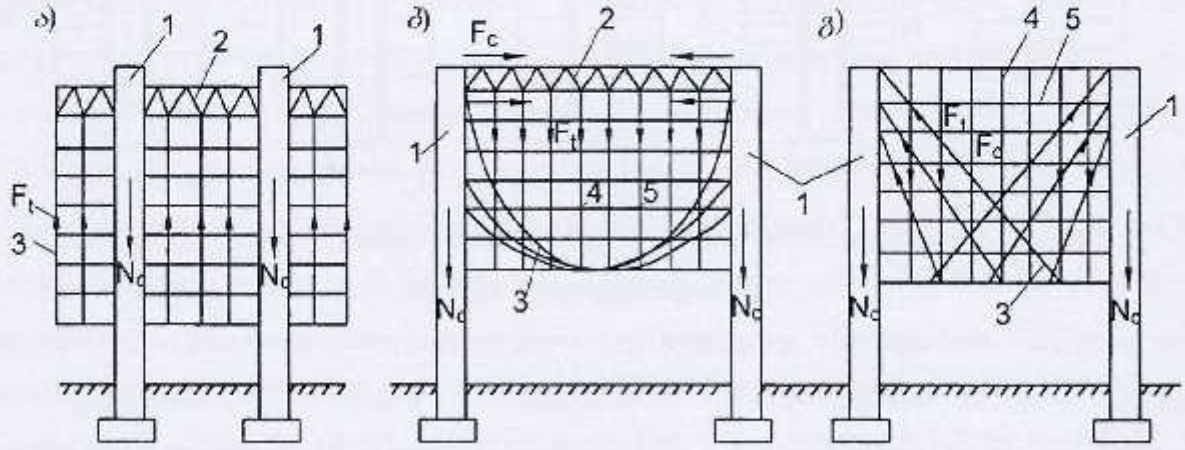
ა – კიდული; ბ – კიდული ჯგუფური; გ-ე – კიდული, დეროვანი დოინჯიანი სისტემის სხვადასხვა გეომეტრიით; 1 – ტანი (ჭაური) (კოშკი); 2 – მზიდი კოჭოვანი რისტვერკი; 3 – საკიდრები; 4 – კოჭოვანი უჯრედი; 5 – საძირკველი; 6 – მზიდი დოინჯიანი სისტემა



ფიგ. 134. დაკიდულ სართულებიანი ერთტანიანი კომბინირებული შენობების კონსტრუქციული სქემები

ა – ჯგუფური, კოჭოვანი რისტვერკებით; ბ – ჯგუფური, დეროვანი დოინჯიანი სისტემებით

ასევე შესაძლებელია კომბინირებული სისტემები, რომლებიც ნაწილობრივ შეკიდულია და ნაწილობრივ კონსოლურ როსტვერკებზე დაყრდნობილი (ფიგ. 134, ა, ბ). კომბინირებულ სისტემებს იყენებენ მაშინ, როდესაც გადახურვის სისქის შესამცირებლად ან სართულის გარკვეულ მონაკვეთებზე დიდი დატვირთვების გადასაცემად, ვერტიკალური საყრდენების ბიჯი შეადგენს 3-6 მ-ს.



ფიგ. 135. დაკიდულ სართულებიანი ორტანიანი შენობების კონსტრუქციული სქემები

ა – კიდული; ბ , გ – კომბინირებული, ხიდური ტიპის; 1 – ტანი; 2 – გასხოვანი როსტვერკი; 3 – საკიდარი; 4 – სვეტი; 5 – კოჭი;

ორტანიან კონსტრუქციებში შენობის მთავარ ვერტიკალურ ელემენტებად გამოიყენება ორი საკიბე-სალიფტო შახტა, რომელზეც მალიანი სახიდე ნაგებობების მსგავსად, ეყრდნობა კოჭის, წამწის ან ჯანტური სისტემების გადახურვის დამჭერი კონსტრუქციები (ფიგ. 135).

სართულშორის გადახურვებს, რომლებიც შესრულებულია კოჭური უჯრედების ან ჯვარედინა წამწეების სახით, დამჭერ კონსტრუქციაზე კიდებენ საკიდების მუდმივი ან ცვლადი ბიჯით. საკიდებს შორის მაქსიმალური მანძილი, როგორც წესი, არ აღემატება 12 მ-ს.

ფიგ. 135, ბ-ზე მოყვანილი სქემის მსგავსად, ორტანიან შენობებში შესაძლებელია დამჭერი კონსტრუქციების მოწყობა ორ ან მეტ იარუსში, ან დამატებითი ჯანტური საკიდებით (ფიგ. 135, გ). ბოლო ორ შემთხვევაში, დამჭერ კონსტრუქციაში ან შეკიდული კარკასის კოჭებში, წარმოიქმნება დამატებითი ჰორიზონტალური F_c ძალვები, რომლებიც იწვევენ მალის კონსტრუქციების გრძივ კუმშვას.

აღწერილ სქემებთან ერთად, შესაძლებელია შეკიდულ სართულებიანი შენობებისა და ნაგებობების სხვა ვარიანტებიც, რომლებიც ძირითადად განსხვავდება მთავარი მზიდი კონსტრუქციის კონსტრუქციული ფორმით, რომელიც შეიძლება გადაწყვეტილი იყოს თაღის, ჩარჩოს ან V–ს მსგავსი პროფილის სახით.

7.5. შეკიდულ სართულებიანი შენობის გაანგარიშება და კონსტრუირება

შეკიდულ სართულებიანი შენობა, სტატიკური თვალსაზრისით, წარმოადგენს საძირკველში ჩამაგრებულ, მუდმივი და დროებითი ვერტიკალური და ჰორიზონტალური (ქარის) დატვირთების ზემოქმედების ქვეშ მყოფ კონსოლურ ღეროს. ყველა დატვირთვას ღებულობს შენობის ტანი, რომელშიც ვერტიკალურ გრძივ N_z ძალებს ახდვრავენ, როგორც შენობის კონსტრუქციის საკუთარი მასისა და სართულებზე სასარგებლო დატვირთის ჯამს. საძირკვლის ზედაპირის დონეზე ტანის საანგარიშო კვეთში ჰორიზონტალური დატვირთვისაგან გამოწვეულ მღუნავ მომენტს ახდვრავენ (90) და (91) ფორმულებით.

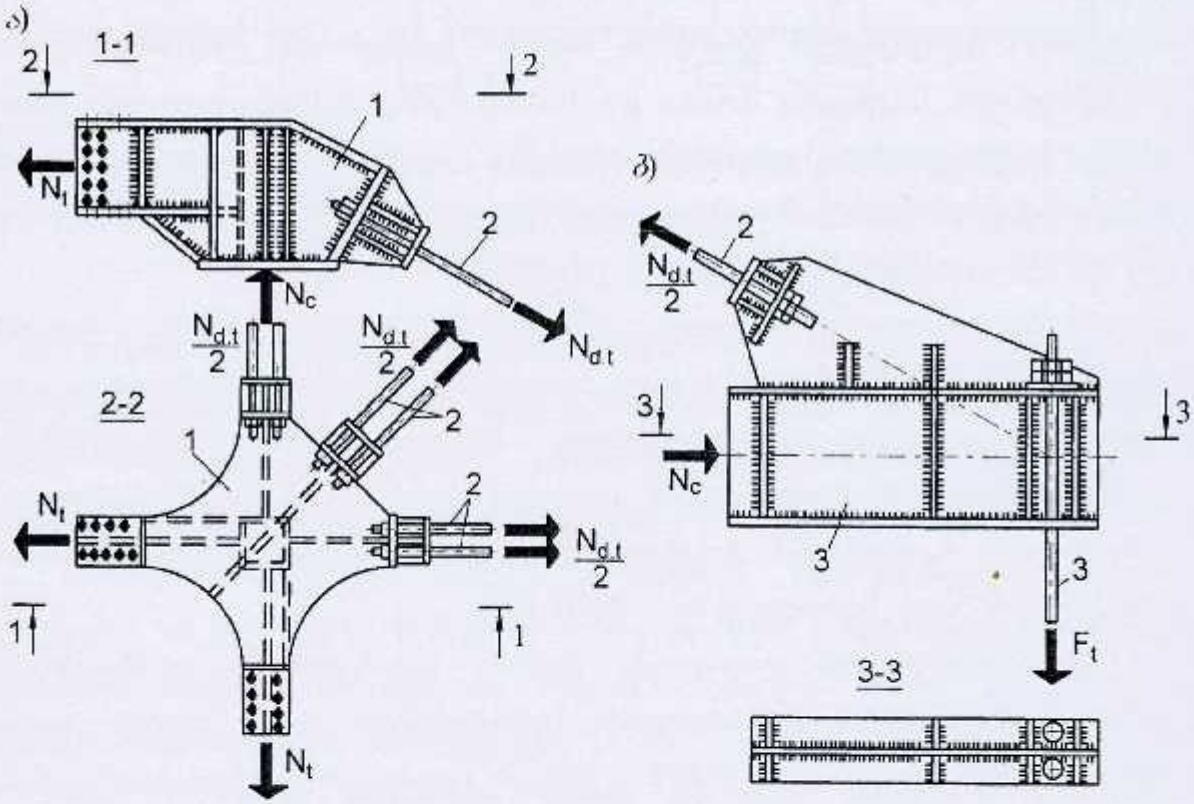
ტანის კოლოფა კვეთის გაანგარიშებას აწარმოებენ, როგორც არაცენტრულად შეკუმშულ ღეროს, ამასთან გასათვალისწინებელია, რომ ხანძარსაწინააღმდეგო თვალსაზრისით, მთავარი ტანი რკინაბეტონისაა. ტანების (ჭაურების) რკინაბეტონის კედლების სისქე განისაზღვრება შენობაში სართულების რაოდენობის მიხედვით და ქვედა სართულების დონეზე 40-80 სმ-ია, ხოლო ზედა სართულებში – 20-60 სმ.

განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა საძირკვლების დაპროექტებას, ვინაიდან ჰორიზონტალური ძალების ზემოქმედებით ისინი იღებენ უდიდეს მღუნავ მომენტს და გადასცემენ საფუძველს (ფუძეს). საძირკვლებად იყენებენ დრმა სატენ ხიმინჯებს გაფართოებული ქუსლით, მასიურ (მთლიან მონოლითურ რკინაბეტონის ფილებს და სხვ.).

გადახურვის კონსტრუქციების, რომლებიც წარმოადგენს ჰორიზონტალურ ხისტ დისკოებს, კონსტრუირება წარმოებს კოჭოვანი უჯრედების სახით, სადაც მთავარი და დამხმარე კოჭები ერთ დონეზეა განლაგებული. გადახურვის კოჭები მუშაობს, როგორც ჭრადი ერთმალიანი ან

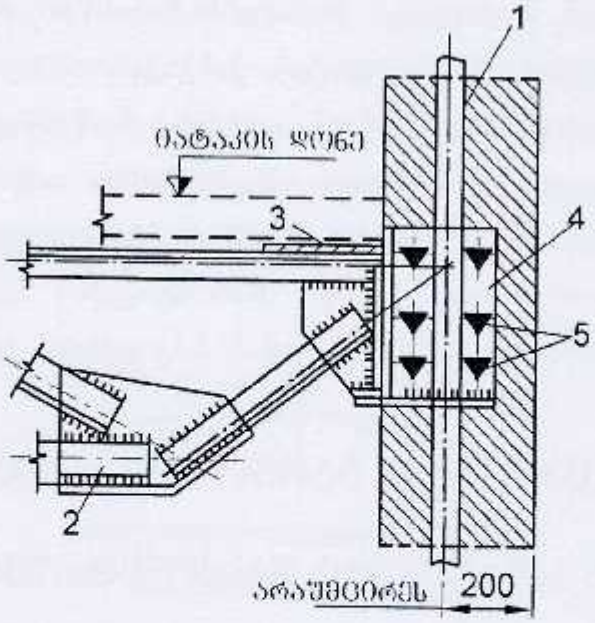
უჭრი მრავალმალიანი სისტემები, ხოლო ზოგიერთ შემთხვევაში, როგორც ჯვარედინი კოჭების ან ფერმების სისტემები. დუნვადი ელემენტების გაანგარიშების მეთოდიკა უნდა ითვალისწინებდეს მათ საანგარიშო სქემას. ანალოგიურად აწარმოებენ როსტვერკის ელემენტებისა და საყრდენი კოჭების ან ფერმების გაანგარიშებას.

ვერტიკალური საკიდები მუშაობს ცენტრალურ გაჭიმვაზე F_t ძალებისაგან, რომელთა მნიშვნელობაც მცირდება ზემოდან ქვემოთ. ფიგ. 136-ზე ნაჩვენებია როსტვერკის ძირითადი კვანძები, რომლებიც შესრულებულია ფიგ. 133-ზე წარმოდგენილი კონსტრუქციული სქემების შესაბამისად. საკიდებად გამოყენებულია 600-800 მპა დენადობის ზღვრის მქონე მაღალი სიმტკიცის ფოლადის მრგვალი ღეროები. ღეროებს კვანძებში ამაგრებენ ქანჩებისა და კონტრქანჩების მეშვეობით.



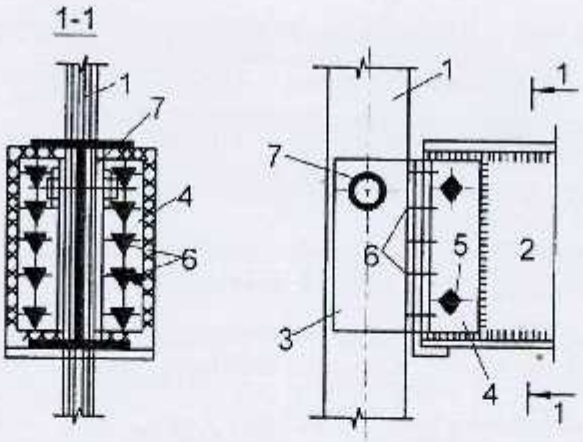
ფიგ. 136. დოინჯიან სისტემებში საჭიმრების ღეროების დამაგრების კვანძები

1 – საყრდენი ნარჩო; *2* – საჭიმარის ღერო; *3* – საკიდარი; *4* – განმბჯენი;



ფიგ. 137. სართულშუა გადახურვის მზიდი კონსტრუქციის საკიდართან დამაგრების კვანძი

1 – მოქნილი საკიდარი; *2* – რიგელი (ჭამწე); *3* – პირაპირის ზესადები; *4* – მოსაჭერი საყრდენი მაგიდა; *5* – მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკები



ფიგ. 138. სართულშუა გადახურვის კოჭოვანი უჯრედის ხისტ საკიდართან დამაგრების კვანძი

1 – ფურცლოვანი საკიდარი; *2* – კოჭი; *3* – საყრდენი კაკი; *4* – პირაპირის კუთხედები; *5* – სამონტაჟო ჭანჭიკები; *6* – მაღალი სიმტკიცის მუშა ჭანჭიკები; *7* – სამონტაჟო სადები

სართულშუა გადახურვის კოჭებსა და ფერმებს, მრგვალი ღეროებით ან ბრტყელი ფირფიტებით დამზადებულ საკიდებთან ამაგრებენ სპეციალური სატაცების გამოყენებით მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებით (ფიგ. 137 და 138).

სპეციალურ საყრდენ მაგიდებიან სატაცებს წინასწარ ამაგრებენ საკიდებზე, ხოლო შემდეგ ნორმალური სიზუსტის ჭანჭიკებითა და შესულებით მათზე ამაგრებენ სართულშუა გადახურვის კოჭებს ან წამწეებს (ფიგ. 137). სხვა შემთხვევებში, სატაცები შეიძლება დამაგრდეს თავად კოჭებზე, ხოლო საკიდებზე ფიქსაცია განხორციელდეს სამონტაჟო ლილვაკით (ფიგ. 138). შენობის ყველა ლითონის ელემენტის დამონტაჟების შემდეგ ახორციელებენ გარე კედლების სიბრტყეების დაბეტონებას საკიდებთან ერთად.

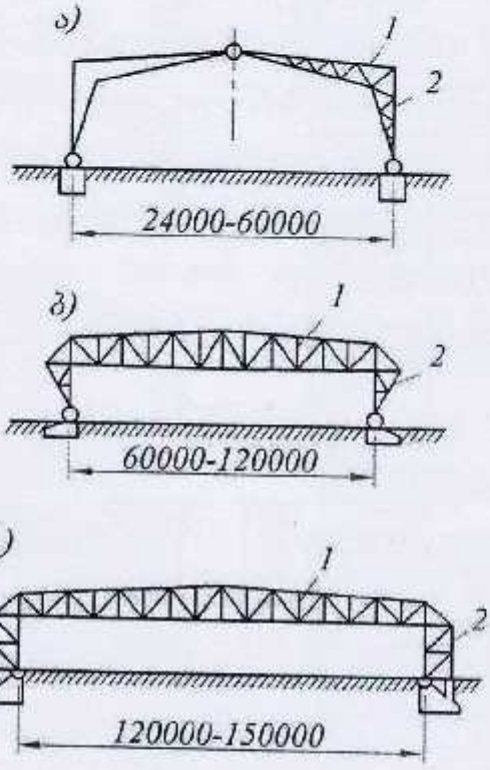
თავი 8. დიდმალიანი ჩარჩოვანი კონსტრუქციები

8.1. ჩარჩოების სტატიკური და კონსტრუქციული სქემები

ჩარჩო წარმოადგენს ბრტყელ კონსტრუქციას, რომელიც შედგება სწორხაზოვანი, ტეხილი ან მრუდწირული მალის ელემენტისაგან – რიგელისაგან და მათთან მიერთებული ვერტიკალური ან დახრილი ელემენტებისაგან – დგარებისაგან. ჩარჩოვან კონსტრუქციებში, რიგელებსა და დგარების ხისტი შეერთების წყალობით, ანალოგიურ განივ ჩარხოსთან შედარებით, რომელსაც სვეტებზე სახსრულად დაყრდნობილი წამწის ან კოჭის სახე აქვს, ლითონი უფრო მეტად ეფექტურად გამოიყენება და მნიშვნელოვნად იზრდება რიგელის სიხისტე. ჩარჩოების დაპროექტება მიზანშეწონილია 60 მ-ზე მეტი მალების დროს, თუმცაღა მათ შეუძლიათ წარმატებული კონკურენცია გაუწიონ 24-60 მ მალის მქონე წამწეებსა და კოჭებს.

სტატიკური მუშაობის თვალსაზრისით ჩარჩო შესაძლებელია იყოს სამსახსრიანი, ორსახსრიანი და უსახსრო (ფიგ. 139). სამსახსრიანი ჩარჩოები (ფიგ. 139, ა) უფრო მეტად ლითონტევადია, ამიტომ მათი გამოყენება შეზღუდულია მცირე მალებითა და სიმაღლეებით. მათ იყენებენ იმ შემთხვევაში, როდესაც მალი და სიმაღლე ნახევარჩარჩოს მთლიანად საქარხნო პირობებში დამზადებისა და სამშენებლო მოედანზე ტრანსპორტირების საშუალებას იძლევა. ორსახსრიანი ჩარჩოები (ფიგ. 139, ბ) უფრო ხშირად გამოიყენება, ვინაიდან მათში საკმაოდ სრულად ვლინდება დგარებში რიგელის ჩამაგრების ეფექტი და ისინი სამიერკვლის ჯდომის მიმართ ნაკლებ მგრძნობიარეა.

მასალის ხარჯის თვალსაზრისით, ყველაზე ეკონომიური, უსახსრო ჩარჩოებია (ფიგ. 139, გ), რომელთაც მათ იყენებენ დიდმალიანი ჩარჩოებისათვის. თუმცაღა, ასეთი ჩარჩოები საკმაოდ მგრძნობიარეა საყრდენების ჯდომისა და ტემპერატურული ზემოქმედების მიმართ. მათი დაპროექტება შესაძლებელია კლდოვანი ან ნახევრად კლდოვანი გრუნტების ფუძეზე.



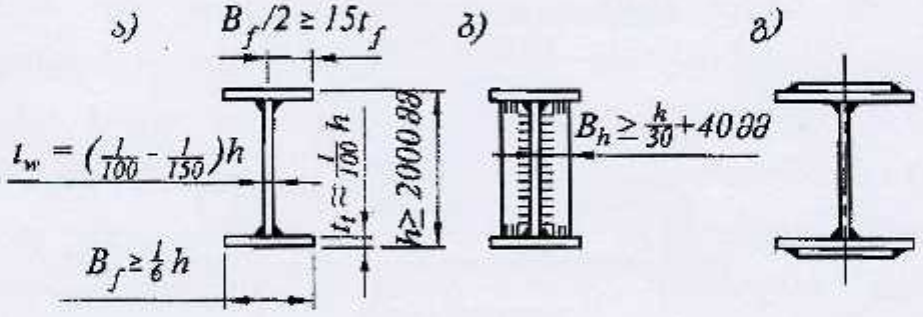
ფიგ. 139. დიდმალიანი ჩარჩოების სისტემები

ა – სამსახსრიანი მთლიანკედლიანი, გისოსოვანი ან კომბინირებული ნახევარჩარჩოებით; *ბ* – ორსახსრიანი გისოსოვანი; *გ* – უსახსრო გისოსოვანი; *1* – რიგელი; *2* – დგარი;

დიდმალიანი ჩარჩოვანი კონსტრუქციები გამოიყენება საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობა-ნაგებობებში – საგამოფენო პავილიონებში, თეატრებსა და სანახაობრივ დარბაზებში, დახურულ ბაზრებსა და მსხვილ მარკეტებში, სტადიონებსა და სპორტულ დარბაზებში; სამრეწველო დანიშნულების შენობა-ნაგებობებში – აეროპორტების საამქროებში, ანგარებში, გემთმშენებელ ელინგებში, ავტოპარკებში, უნივერსალურ სამრეწველო შენობებსა და სხვ. ჩარჩოვანი კონსტრუქციების გამოყენება უზრუნველყოფს ნაგებობის მაღალ არქიტექტურულ-დაგეგმარებით მოქნილობას და საშუალებას იძლევა

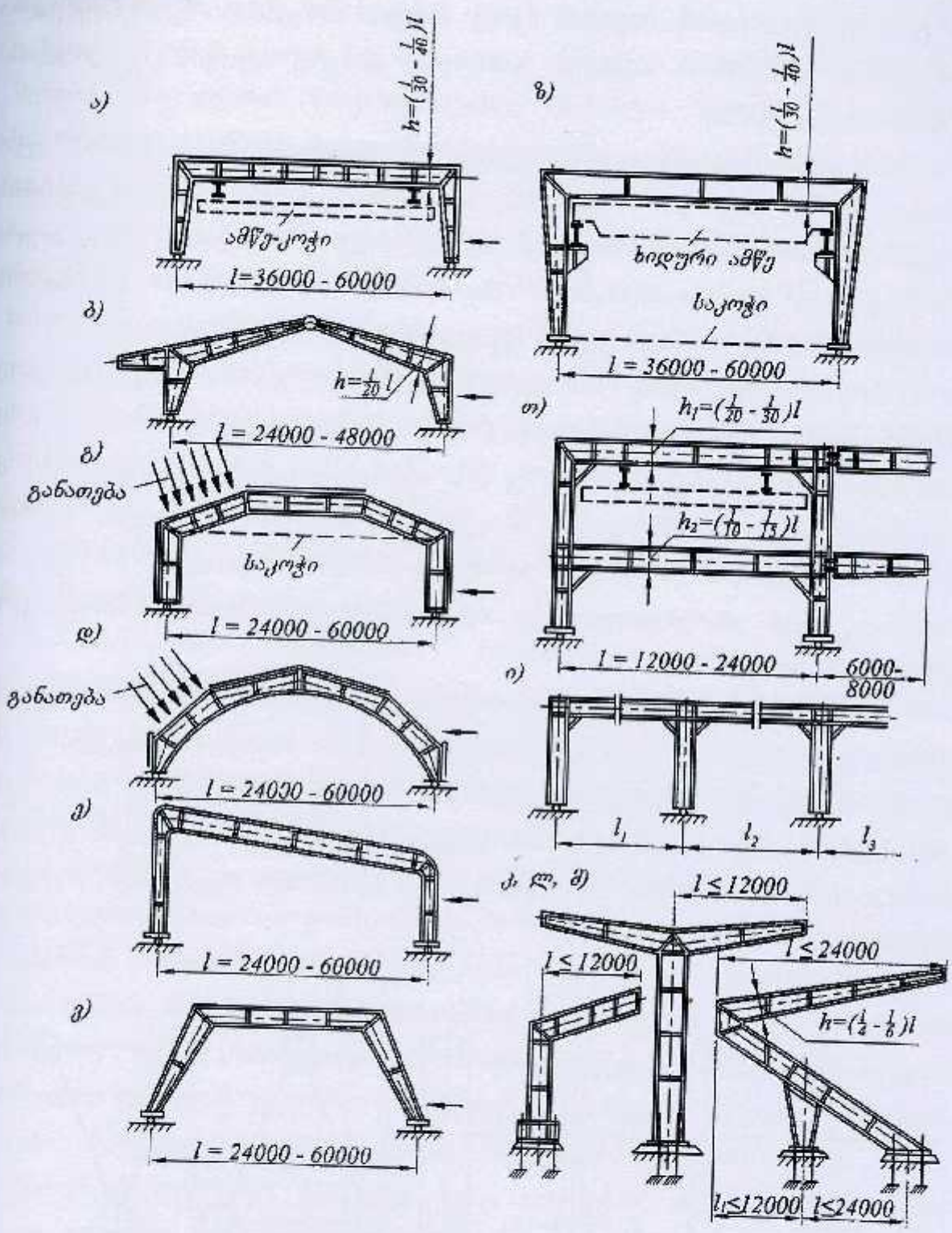
გადაწყვეტილი იქნას პრაქტიკულად ნებისმიერი არქიტექტურულ-სამშენებლო და ტექნოლოგიური ამოცანები ფოლადის მნიშვნელოვანი ეკონომიით. რიგელისა და დგარების ურთიერთგანლაგება საშუალებას იძლევა მიღებულ იქნას ჩარჩოების მრავალფეროვანი კონსტრუქციული ფორმები, რომლებიც აკმაყოფილებენ კონკრეტულ მოცულობით-გეგმარებით გადაწყვეტას.

ორსახსრიან მთლიანკედლიან ჩარჩოებს აქვთ ორტესებრი, როგორც წესი, ცვლადი კვეთის რიგელი და დგარები, რომლებიც შეესაბამება ძალების ეპიურას. ყველაზე ხშირად იყენებენ, დამზადების მხრივ ნაკლებად შრომატევად, სამი ფურცლისგან შენადნობ კვეთს (ფიგ. 140). მთლიანკედლიანი ჩარჩოების კვეთის სიმაღლედ იღებენ მალის 1/30 – 1/40-ს, მაგრამ არა უმეტესს 2 მეტრისა ეკონომიკური მოსაზრებით. კედლისა და თაროების, აგრეთვე კვეთის სიმაღლისა და სიგანის თანაფარდობები ემორჩილება ორტესებრი კოჭების დაპროექტირების კანონებს.



ფიგ. 140. მთლიანკედლიანი ჩარჩოების შენადნობი კვეთების ტიპები

მთლიანკედლიანი ჩარჩოს მეტწილად გავრცელებული ფორმაა – ერთმალიანი ორსახსრიანი ჩარჩო ჰორიზონტალური ან დახრილი რიგელით (ფიგ. 141, ა, ბ). მალის 60 მ-მდე გაზრდის შემთხვევაში, ტეხილ რიგელიანი ჩარჩო ხდება უფრო მეტად ეკონომიური, მაგრამ ამავე დროს ითხოვს რიგელისა და დგარების შეუღლების კვანძებს შორის საკოჭის დაყენებას განმბჯენის ასაცილებლად (ფიგ. 141, გ). აუცილებლობის შემთხვევაში, დასაპროექტებელი ნაგებობის ჭერის ქანობის ორგანიზების ან არქიტექტურული მოსაზრებებიდან გამომდინარე, ჩარჩოს რიგელი ან დგარი შეიძლება იყოს დახრილი (ფიგ. 141, ე, ვ). ასეთ ჩარჩოებში, კვანძის შეკუმშულ ზონაში ძაბვების ძლიერი კონცენტრაციის წარმოქმნის თავიდან ასაცილებლად, მახვილი კუთხეები უნდა დაპროექტდეს არა ნაკლებ 45^0-ისა.



ფიგ. 141. მთლიანკედლიანი ჩარჩოების კონსტრუქციული სქემები

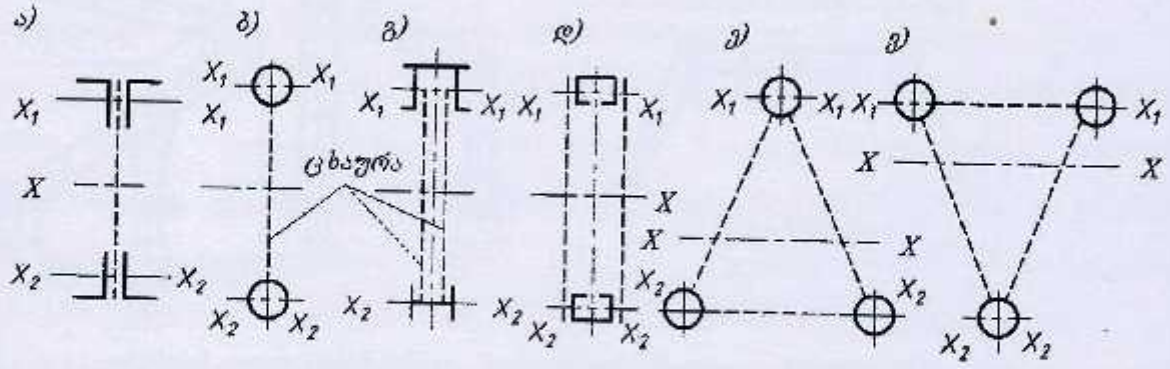
მთლიანკედლიანი ჩარჩოები, მცირე დეფორმაციულობის გამო, კარგად მუშაობს ხიდური ან კიდული ამწეებით აღჭურვილ ნაგებობებში (ფიგ. 141, ზ, თ). ამ და სხვა შემთხვევაშიც, ჩარჩოს რიგელის სიმაღლე შესაძლოა აღებულ

იქნას მალის 1/20-1/40. ერთმალიან ჩარჩოებში, რომლებიც დატვირთულია 25 ტონაზე მეტი ტვირთამწეობის მქონე ხიდური ამწეებით, რეკომენდებულია იატაკის დონის ქვემოთ, საყრდენი სახსრების დონეზე საკოჭის (შემკვრელის) მოწყობა (ფიგ. 141, ზ).

მაღალი ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები ახასიათებთ უჭრ მრავალმალიან ჩარჩოებს (ფიგ. 142, ი). თუმცა, აგების შრომატევადობის თვალსაზრისით, მათი გამოყენება შესაძლებელია მხოლოდ სპეციალური მოთხოვნების გათვალისწინებით, მაგალითად, მინიმალური ჩაღუნვების მიღწევით ან მასალის პლასტიკურ სტადიაში მუშაობის გამოყენებით.

ორი დგარის მქონე ერთმალიანი ჩარჩოების გარდა (ფიგ. 141, ა-ზ), მშენებლობის პრაქტიკაში შესაძლოა გამოყენებულ იყოს ერთდგარიანი Г-ს ან Т-ს მაგვარი ჩარჩოები (ფიგ. 141, კ, ლ), ან რთული ჩარჩოები (ფიგ. 141, მ) დახრილი ან ჰორიზონტალური რიგელით. რიგელის სიმაღლეს, ჩარჩოს დგართან ჩამაგრების ადგილას, იღებენ კონსოლის შვერილის 1/4-1/6-ს, იმ პირობით, რომ უზრუნველყოფილი იქნება ბურულის (ჭერის) ნორმალური ექსპლუატაცია.

60-80 მ-ზე მეტი მალების დროს, მთლიანკედლიან ჩარჩოებს ცვლიან გამჭოლკედლიანი (გისოსურკედლიანი) ჩარჩოებით, რომელთა რიგელისა და დგარების კვეთებს აპროექტებენ გისოსანი წამწის ანალოგიურს (ფიგ. 142). ორსახსრიან გამჭოლ ჩარჩოებს აპროექტებენ სახსრებით საძირკვლის დონეზე. ასეთ ჩარჩოებში რიგელის სიმაღლე, მთლიანკვეთიანთან შედარებით, იზრდება მალის 1/8-1/15-მდე (ფიგ. 143, ა-გ).



ფიგ. 142. გამჭოლი ჩარჩოს კვეთის ტიპები

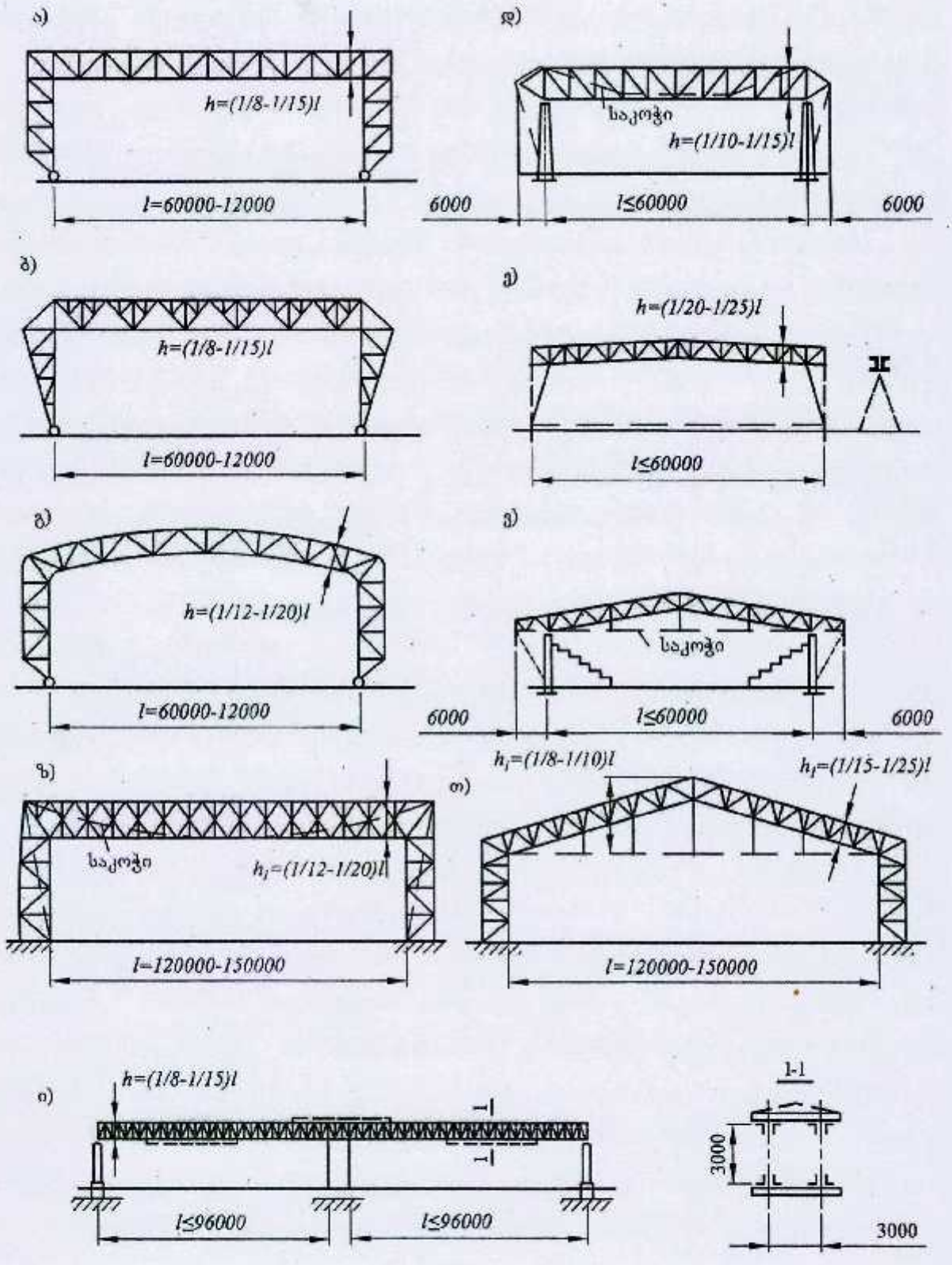
უსახსრო გამჭოლ ჩარჩოებს, ორსახსრიანებთან შედარებით, მეტი სიხისტე აქვთ, ამიტომ ასეთ ჩარჩოებში რიგელის სიმაღლე შეიძლება

შემცირდეს მალის 1/12-1/20-მდე. გამჭოლი ჩარჩოს ეფექტურობა იზრდება დგარისა და რიგელის სიხისტეების თანაზომადობის შემთხვევაში. ამიასათვის, გამჭოლი ჩარჩოს დგარის სიგანეს იღებენ რიგელის პანელის (3-6მ) ტოლს. ამ შემთხვევაში, დგარის წრფივი სიხისტე (სიხისტის შეფარდება ელემენტის სიგრძესთან) აჭარბებს რიგელის სიხისტეს, რის გამოც რიგელის ჩამაგრების ეფექტი იზრდება.

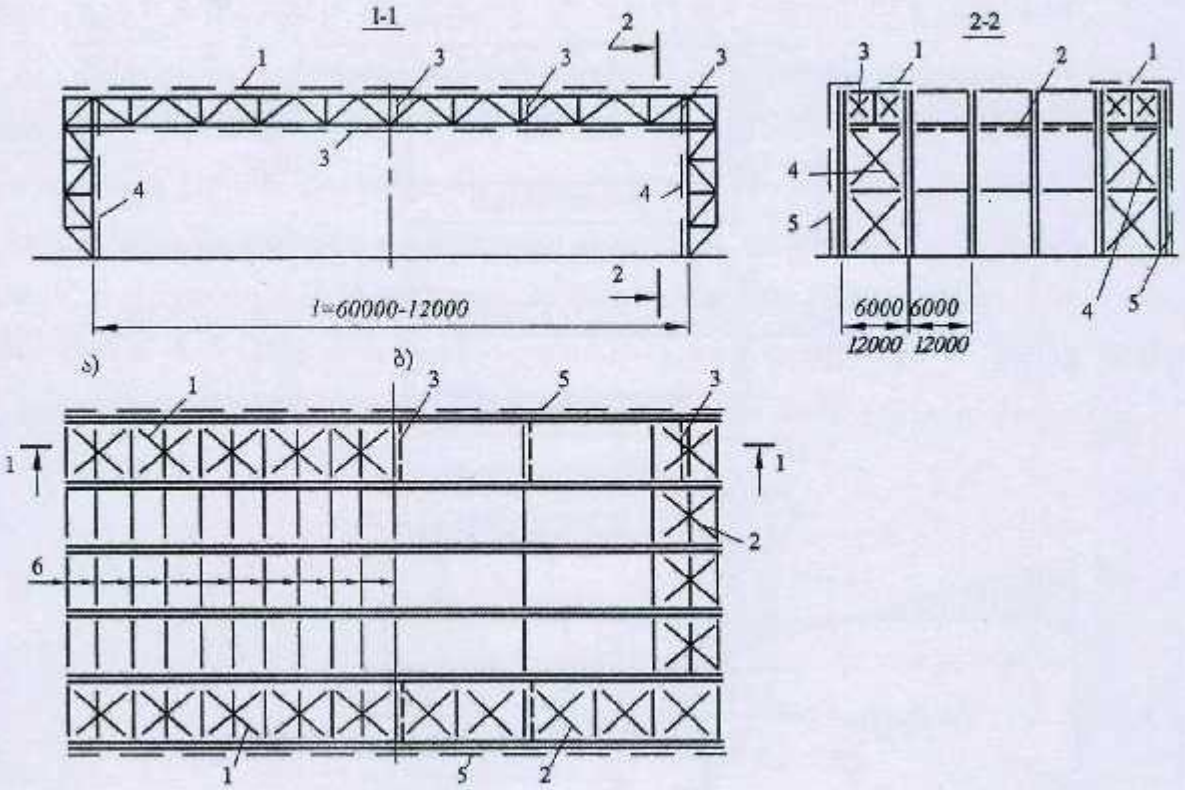
გამჭოლი ჩარჩოს განტვირთვის უდიდესი ეფექტი მიიღწევა ჩარჩოს რიგელისა და დგარების წინასწარი დაძაბვით (ფიგ. 143, დ-ზ), რაც ჩარჩოს სისტემაში წარმოქმნის ვერტიკალური დატვირთვისგან გამოწვეული მომენტების საპირისპირო ნიშნის მღუნავ მომენტებს. წინასწარი დაძაბვის ძალის მნიშვნელობა შეირჩევა კონსტრუქციის მიხიმალური მასის მიღების პირობიდან. ჩარჩოვან კონსტრუქციებში დასაძაბ საკოჭს აკეთებენ მონტაჟის დროს და განათავსებენ გაჭიმულ ზონაში ვერტიკალური სტატიკური დატვირთვისაგან გამოწვეული მღუნავი მომენტების ეპიურის შესაბამისი მოხაზულობის მიხედვით.

სპეციალურ ნაგებობებში (ანგარები, ელინგები და სხვ.) მიზანშეწონილია დაპროექტდეს უჯრი, ორმალიანი, წინასწარ დაძაბული ჩარჩოები (ფიგ. 143, ი), რომლებიც ლოკალური სწორხაზოვანი საკოჭების განთავსების საშუალებას იძლევა. ასეთი გადაწყვეტა წინასწარ დაძაბულ ჩარჩოებში ამარტივებს კვანძების კონსტრუქციას.

ჩარჩოვანი გადახურვების გაერთმოლიანების სქემა თავისი სტრუქტურით ახლოსაა ერთსართულიანი სამრეწველო შენობის გადახურვის სქემასთან, რომელშიც რიგელი სვეტებთან სახსრულადაა შეუღლებული (ფიგ. 144). თუმცა, ჩარჩოვან კონსტრუქციებში ყოველთვის საჭიროა გადახურვის განწვრივ ქვედა სარტყელებზე ჰორიზონტალური კავშირების მოწყობა, ვინაიდან რიგელის დგარებთან შეერთების კვანძების მიმდებარე ზონებში, ქვედა სარტყელებში წარმოიქმნება მკუმშავი ძალვები. გარდა ამისა, გადახურვის ტორსების განწვრივ, ხისტ ბლოკებში, ორი განაპირა ჩარჩოს ზედა და ქვედა სარტყელებს აერთებენ ჰორიზონტალური კავშირებით, ხოლო ჩარჩოებს შორის ვერტიკალურ კავშირებს აყენებენ არა უმეტეს 18 მ მანძილზე.



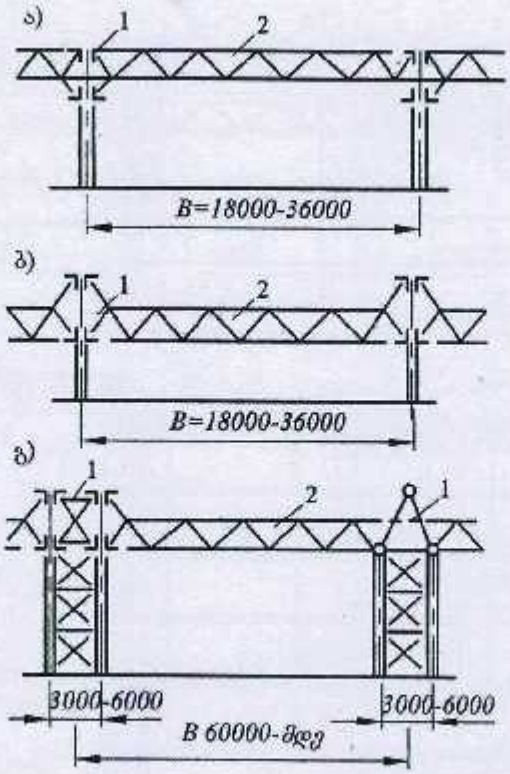
ფიგ. 143. გამჭოლი ჩარჩოების კონსტრუქციული სქემები



ფიგ. 144. დიდმალიანი ჩარჩოვანი გადახურვის გაერთმთლიანება

ა – ზედა სარტყელების გასწვრივ; *ბ* – ქვედა სარტყელების გასწვრივ;
1 – ჰორიზონტალური კავშირები ზედა სარტყელების გასწვრივ;
2 – ჰორიზონტალური კავშირები ქვედა სარტყელების გასწვრივ; *3* – ვერტიკალური კავშირები ჩარჩოს რიგელებს შორის; *4* - ვერტიკალური კავშირები ჩარჩოს დგარებს შორის; *5* – ტორსული ჩალანგარი

90 მ-დე მალის მქონე ჩარჩოებს აპროექტებენ, როგორც ბრტყელს, ბიჯით 6 ან 12 მ. დიდი მალების შემთხვევაში და ამწისქვეშა კოჭების არ არსებობის დროს, მიზანშეწონილია ბიჯის 18-24 მ-დე გაზრდა, ხოლო ზოგიერთ შემთხვევაში 36 მ-დე (ფიგ. 145, ა, ბ). ამ შემთხვევაში, ჩარჩოებს შორის აყენებენ პარალელურ სარტყელებიან გისოსოვან წამწეებს, რომლებიც ჩარჩოს ზედა და ქვედა სარტყელებთან ერთ დონეზეა მიმაგრებული.



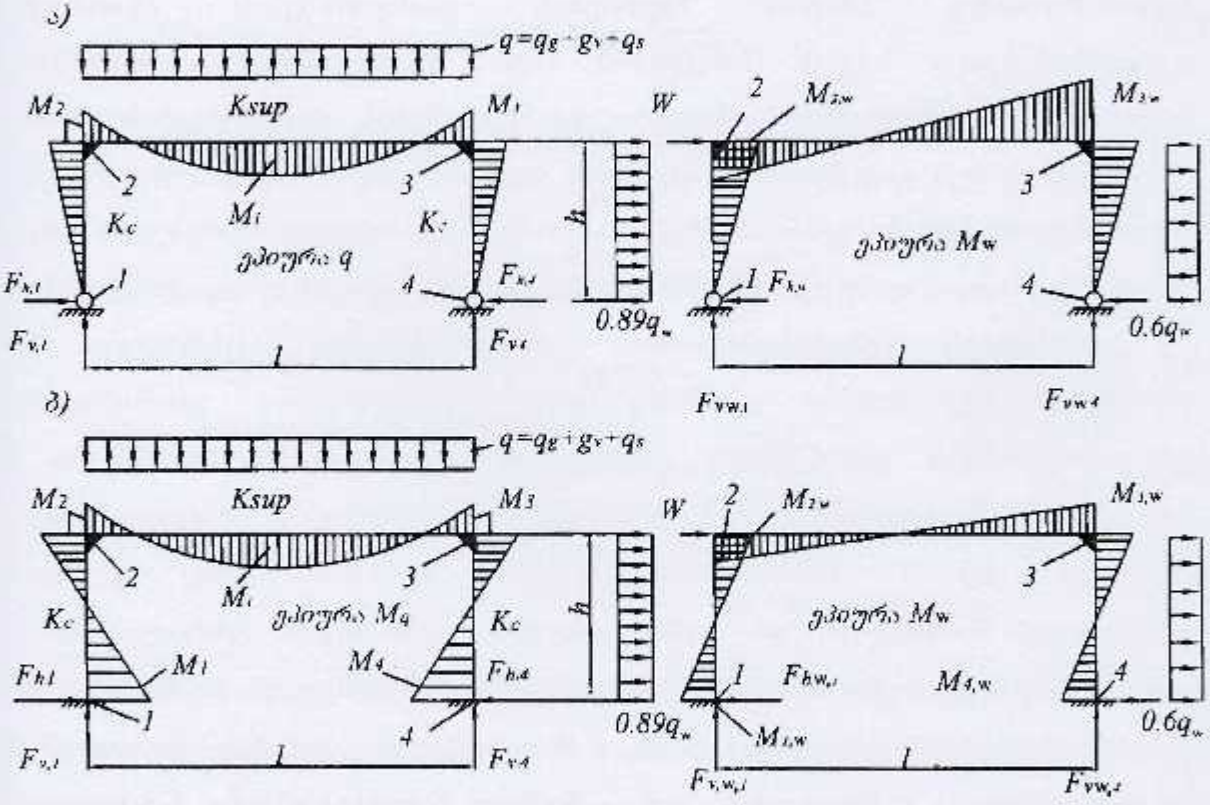
ფიგ. 145. გისოსოვანი წამწეებით კომბინაციების ვარიანტები

1 – ჩარჩო; *2* – წამწე

90 მ-ზე მეტი სიგრძის მალების შემთხვევაში, მათი მდგრადობის მიზნით, როგორც წესი, აპროექტებენ შეწყვილებულ (ფიგ. 145, გ) ან სამკუთხა განივი კვეთის მქონე ჩარჩოებს. ამ შემთხვევაში, ჩარჩოების ბიჯმა შესაძლოა მიაღწიოს 60 მ-ს. ასეთი გადაწყვეტები მიზანშეწონილია ანგარების მშენებლობაში, ანუ იქ, სადაც ფუნქციური მოსაზრებებიდან გამომდინარე, ჩარჩოებს განალაგებენ შენობის გეგმის დიდი ზომის მიმართულებით, და არა მისი გრძივი ღერძის განივად. ჩარჩოებს შორის დასაყენებელი წამწეების ბიჯი მიზანშეწონილია დაპროექტდეს 6 მ-ის ტოლი, გრძივების გარეშე უშუალოდ მათზე გადახურვის ფილების დასალაგებლად. მეტი ბიჯის შემთხვევაში წამწეებზე ალაგებენ გრძივებს და ყოველ ნაკვეთურში აწყობენ წამწეებით გადახურვის გაერთმოლიანების სქემების ანალოგიურ კავშირების სისტემას.

8.2. ჩარჩოვანი კონსტრუქციების გაანგარიშება

შენობებში ჩარჩოვან კონსტრუქციებზე მოქმედებს: რიგელის სიგრძეზე, საკუთარი წონისაგან გამოწვეული, თანაბრად განაწილებული ვერტიკალური დატვირთვა; ჭერისა და თოვლის წონა; ხიდური ან კიდული კოჭური ამწისგან გამოწვეული შეყურსული დატვირთვა; რიგელის, დგართან შეერთების კვანძში, ქარის დაწნეხისაგან გამოწვეული ჰორიზონტალური შეყურსული ძალა (ფიგ. 146). ქარის ზემოქმედების განსაზღვრისას გაითვალისწინება – ქარის მოქმედების მხრიდან დაწნევა $0.8q_w$, ხოლო საპირისპირო მხრიდან – გაწოვა $0.6q_w$.



ფიგ. 146. მთლიანკედლიანი ორსახსრიანი (ა) და უსახსრო (ბ) ჩარჩოების გაანგარიშებისათვის

უძრავ საყრდენებიანი ორსახსრიანი ჩარჩოები – ერთჯერ სტატიკურად ურკვევი სისტემებია, სადაც უცნობ ძალას წარმოადგენს საყრდენ კვანძებში ჰორიზონტალურად მოდებული F_h განმბჯენი. უსახსრო ჩარჩოები სამჯერ სტატიკურად ურკვევი სისტემაა, სადაც უცნობ განმბჯენთან F_h ერთად წარმოიქმნება უცნობი საყრდენი M მომენტი და ვერტიკალური F_v ძალა. ჩარჩოვან კონსტრუქციებში განმბჯენში აღძრულ ძალვას დებულობს ფუძე-

ხოლო სუსტი ფუძეების დროს – იატაკის ნიშნულის ქვევით საყრდენ სახსრებში განლაგებული საკოჭი. ჩარჩოს სიმაღლე შეიძლება იყოს ნებისმიერი, თუმცა ერთნაირი მალების შემთხვევაში, რაც უფრო მაღალია ჩარჩო, მით უფრო ნაკლები განმბჯენი ძალა წარმოქმნება მასში.

ჩარჩოების გაანგარიშებას, უმეტეს შემთხვევაში ახორციელებენ ძალთა ან გადაადგილებათა მეთოდით, რის შედეგადაც ჩარჩოს ყველა დამახასიათებელ კვეთში საზღვრავენ M, N და Q ძალვების საანგარიშო სიდიდეებს. გრძივი-განივი ღუნვის პირობებში, გრძივი მკუმშავი ძალების არსებობა მნიშვნელოვნად მოქმედებს სისტემის დეფორმირებულ მდგომარეობაზე, ამიტომ ჩარჩოების გაანგარიშებას აწარმოებენ დეფორმირებული სქემის მიხედვით. ასეთ შემთხვევაში, გაანგარიშების სირთულე მნიშვნელოვნად იზრდება. გაანგარიშების გამარტივების მიზნით უგულებელყოფენ გაჭიმვისა და კუმშვის დეფორმაციებს ღუნვის დეფორმაციებთან შედარებით და გაანგარიშებას აწარმოებენ არადეფორმირებული სქემის მიხედვით, ძალთა დამოუკიდებლად მოქმედების პრინციპის გათვალისწინებით.

ჩარჩოების უმეტესობისათვის დამუშავებულია ცხრილები და ფორმულები, რომელთა დახმარებითაც შესაძლებელია განისაზღვროს დატვირთვებისგან გამოწვეული განმბჯენები და საყრდენი მომენტები. ამ სიდიდეთა განსაზღვრის შემდეგ, სტატიკის წონასწორობის განტოლებების – $\sum x = 0$ და $\sum y = 0$ დახმარებით, ჩარჩოს დამახასიათებელ კვეთებში საზღვრავენ ნორმალურ და განივ ძალებს. აღნიშნული ცხრილებისა და ფორმულების გამოყენებისას გაითვალისწინება რიგელისა და დგარის წრფივი სიხისტეების თანაფარდობა $k = k_{sup} / k_c$, რომელიც პირველ მიახლოებაში რეკომენდებულია მივიღოთ 2-ის ტოლად. ორსახსრიანი მართკუთხა ჩარჩოსთვის (ფიგ. 146, ა), რიგელის სიგრძეზე თანაბრად განაწილებული დატვირთვისგან გამოწვეული განმბჯენისა და მომენტების მნიშვნელობებს შესაბამისად პოულობენ ფორმულებით:

$$F_h = \frac{ql^2}{4h(3+2k)}; \tag{98}$$

$$M_2 = M_3 = \frac{ql^2}{4(3+2k)}; \tag{99}$$

$$M_1 = \frac{ql^2}{8} - M_2. \tag{100}$$

ჰორიზონტალური ძალისგან W, რომელიც მოდებულია მე-2 კვანძში:

$$F_{k,\omega} = \frac{W}{2}; \tag{101}$$

$$M_{2,\omega} = M_{3,\omega} = \frac{Wh}{2}. \tag{102}$$

უსახსრო მართკუთხა ჩარჩოსთვის (ფიგ. 146, ბ), ანალოგიური დატვირთვებისგან გამოწვეული, განმბჯენებისა და მომენტების მნიშვნელობები განისაზღვრება შემდეგი ფორმულებით:

$$F_k = \frac{3ql^2}{(2+k)12h}, \tag{103}$$

$$M_2 = M_3 = \frac{ql^2}{(2+k)6}, \tag{104}$$

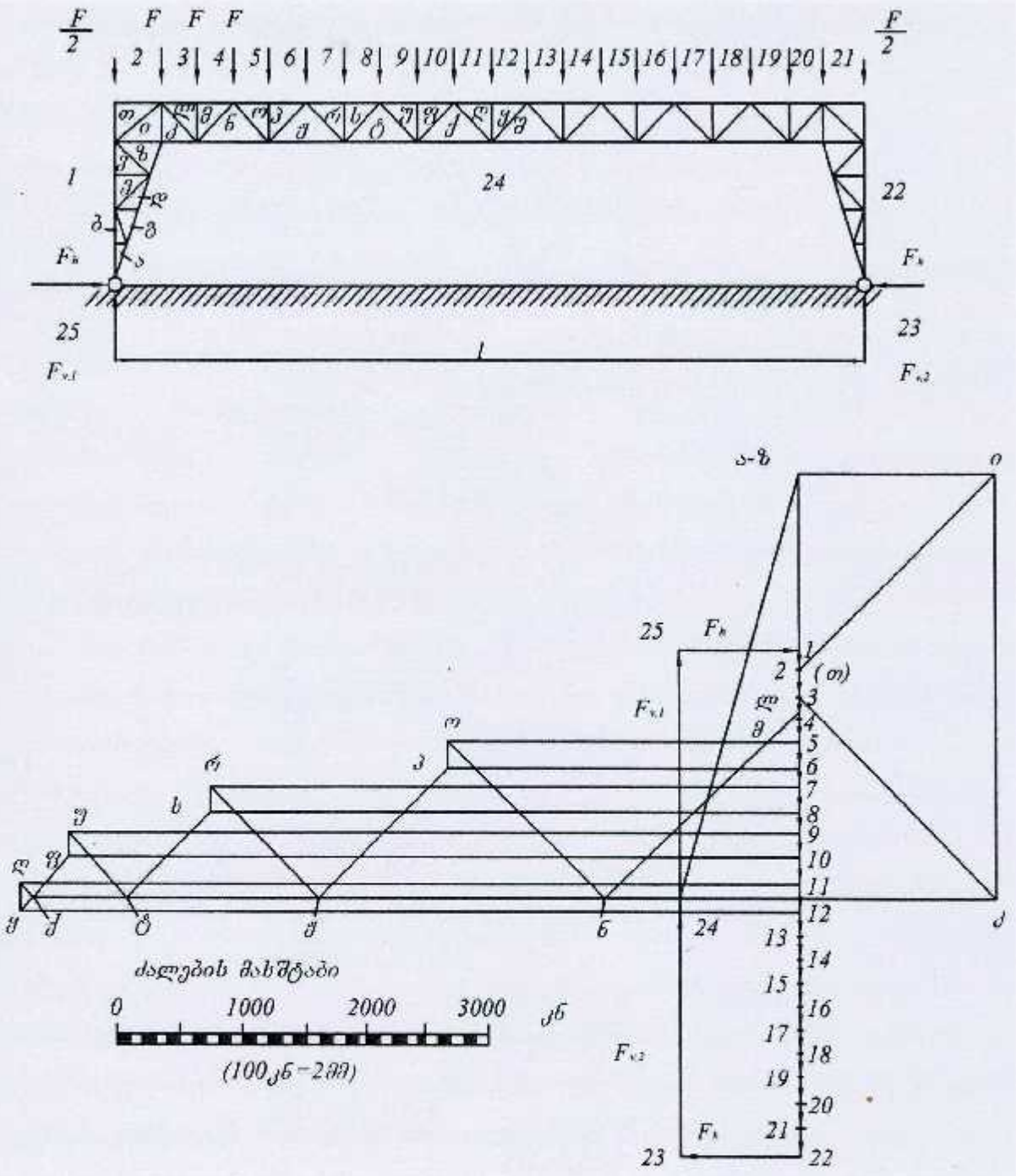
$$M_1 = M_4 = \frac{ql^2}{(2+k)12}, \tag{105}$$

$$F_{k,\omega} = \frac{W}{2}, \tag{106}$$

$$M_{2,\omega} = M_{3,\omega} = \frac{3kWh}{2(1+6k)}, \tag{107}$$

$$M_{1,\omega} = M_{4,\omega} = \frac{(1+3k)Wh}{2(1+6k)}. \tag{108}$$

M და N ძალვების მნიშვნელობების მიხედვით ახორციელებენ ჩარჩოს კვეთის შერჩევას და მიღებული k-ს მნიშვნელობების შემოწმებას. თუკი სიხისტეების თანაფარდობის ნამდვილი მნიშვნელობა k_{cal}, მისი პირველი მიახლოებით მნიშვნელობისგან 20%-ზე მეტად განსხვავდება, საჭიროა კვეთის კორექტირება და განმეორებითი გაანგარიშება k-ს ახალი, გასაშუალებული მნიშვნელობისთვის. მიახლოებით გაანგარიშებებში რიგელი გაიანგარიშება მხოლოდ მდუნავი მომენტის მოქმედებაზე, ვინაიდან N გრძივი ძალა, სიმცირის გამო, შეიძლება უგულებელვყოთ.



ფიგ. 147. ორსახსრიანი გამჭოლი ჩარჩოს გაანგარიშებისთვის

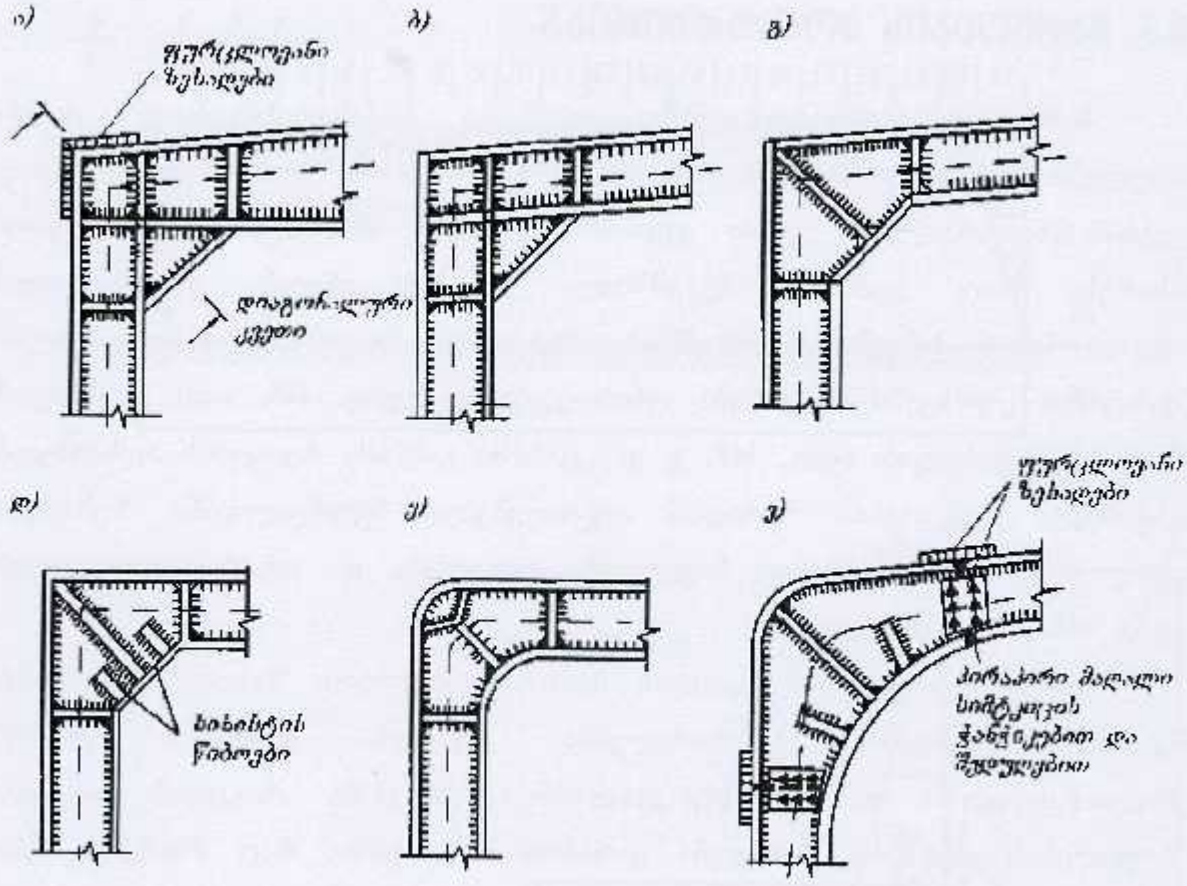
მთლიანკედლიანი ჩარჩოს დგარი გაანგარიშდება მდგრადობაზე, როგორც არაცენტრალურად შეკუმშული ღერო. გისოსოვან ჩარჩოებში ძალვების განსაზღვრისათვის, განსაკუთრებით რიგელის ტრაპეციისებრი ან პოლიგონალური მოხაზულობის დროს, მოსახერხებელია კრემონას დიაგრამის გამოყენება (ფიგ. 147). ამასთან, განმბჯენსა და ვერტიკალურ საყრდენ რეაქციებს წინასწარ საზღვრაენ ანალიზური გზით.

8.3. ჩარჩოების კონსტრუირება

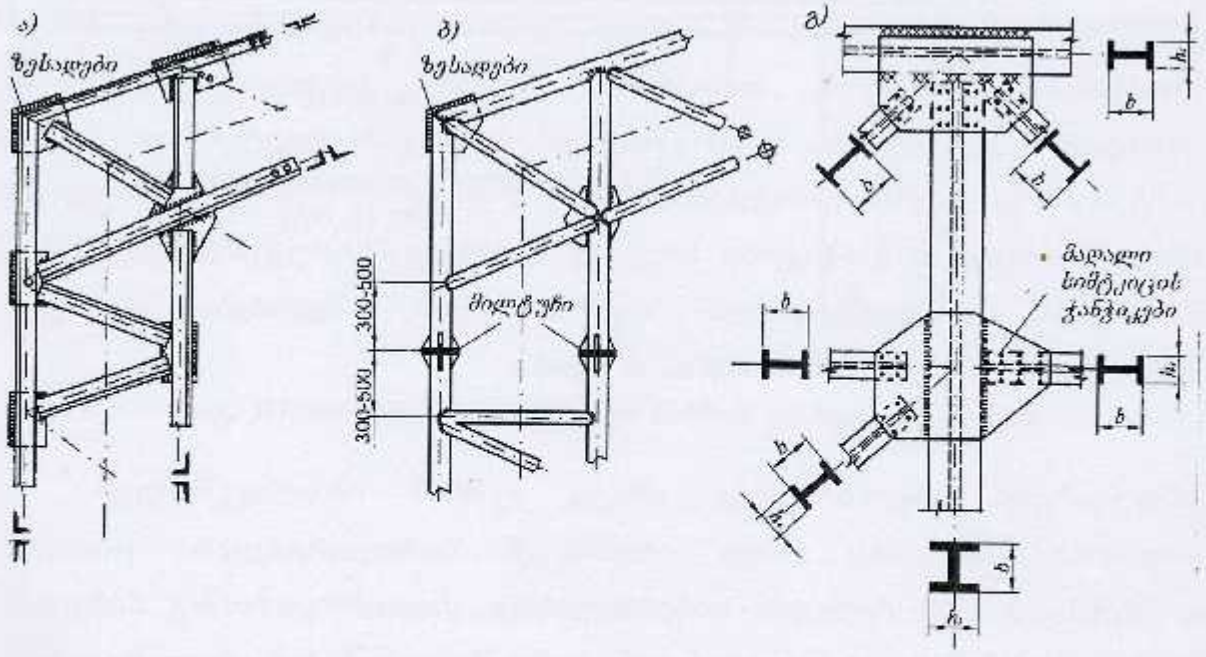
ჩარჩოვან კონსტრუქციებში ყველაზე საპასუხისმგებლო კვანძად ითვლება რიგელისა და დგარის შეუღლების კვანძი. კვანძის დიაგონალურ კვეთში ნეიტრალური ღერძი კვეთის ღერძიდან ინაცვლებს შიგა კუთხის მხარეს, რაც კვანძის შეკუმშულ ზონაში იწვევს მნიშვნელოვანი ადგილობრივი ძაბვების წარმოქმნას. ამის გამო, მთლიანკვეთიანი ჩარჩოების შემავალი კუთხეები მზადდება ირიბი-ჭუტებით (ფიგ. 148, ა-დ) ან მრუდზე მდოვრე გადასვლით (ფიგ. 148, ე, ვ). კვანძში გამჭიმი ძალვების აღსაქმელად გაჭიმული ბოჭკოების მხრიდან აუცილებელია ფურცლოვანი ხესადების გათვალისწინება, რომელიც მიედუღება რიგელისა და დგარის სარტყელებს (ფიგ. 148, ა).

ორტესებრი კვეთის კედლის მდგრადობისათვის, შეუღლების კვანძში მკუმშავი ძალვების მიმართულებით, კეთდება სიხისტის წიბოები. მთლიანკედლიან და გისოსურკედლიან ჩარჩოებში, რიგელის დგართან შეუღლების კვანძები მზადდება ქარხნის პირობებში, რაც მნიშვნელოვნად ზრდის მათ საიმედოობას ექსპლუატაციის პროცესში.

მსუბუქი გამჭოლი ჩარჩოების გასაგზავნ მარკებად დანაწევრება ხორციელდება რიგელის საბღერებში, ნულოვანი მომენტის კვეთის სიახლოვეს (ფიგ. 149, ა) ან ჩარჩოს დგარის საბღვრებში (ფიგ. 149, ბ). კუთხვანის პროფილიან ჩარჩოებში პირაპირი სრულდება საპირაპირე კუთხედების შედუღებით, ხოლო მილოვან ჩარჩოებში მილტუჩებით, მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკების გამოყენებით. მძიმე, დიდმალიან ჩარჩოებს აპროექტებენ მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებით სრულადსაწყობ კონსტრუქციად (ფიგ. 149, გ). ჩარჩოებში, კონსტრუქციული თვალსაზრისით, შედარებით რთულია საყრდენისა და საჭექის სახსრების მოწყობა.

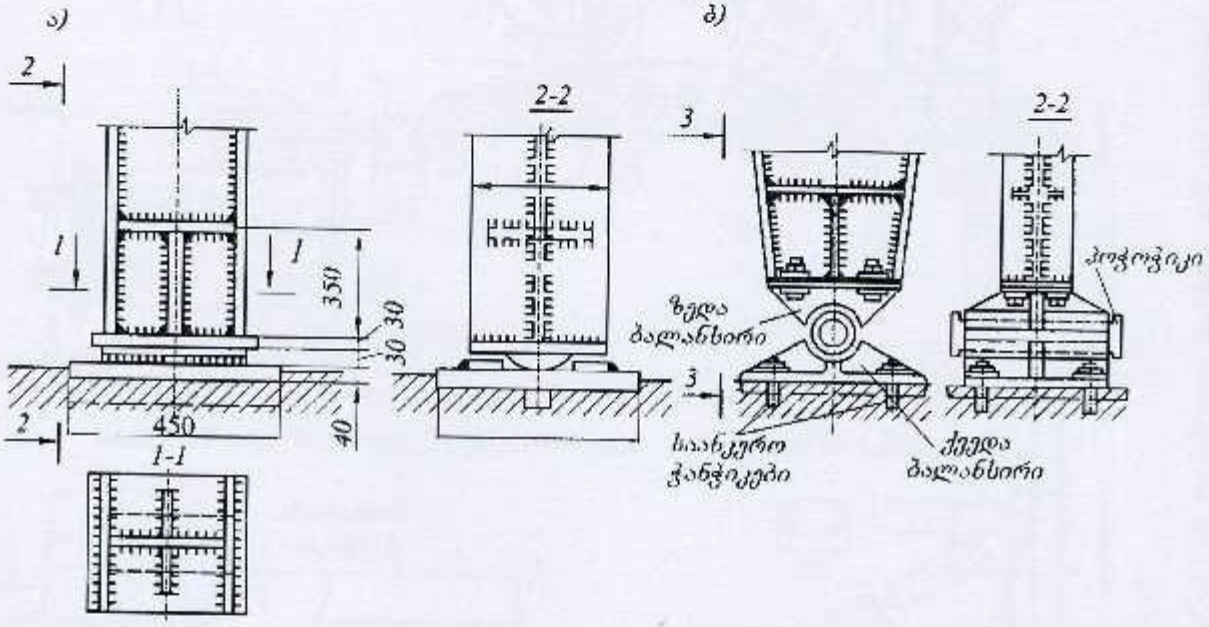


ფიგ. 148. მთლიანკედლიან ჩარჩოებში რიგელის დგართან შეუღლების კვანძები



ფიგ. 149. გამჭოლ ჩარჩოებში რიგელის დგართან შეუღლების კვანძები

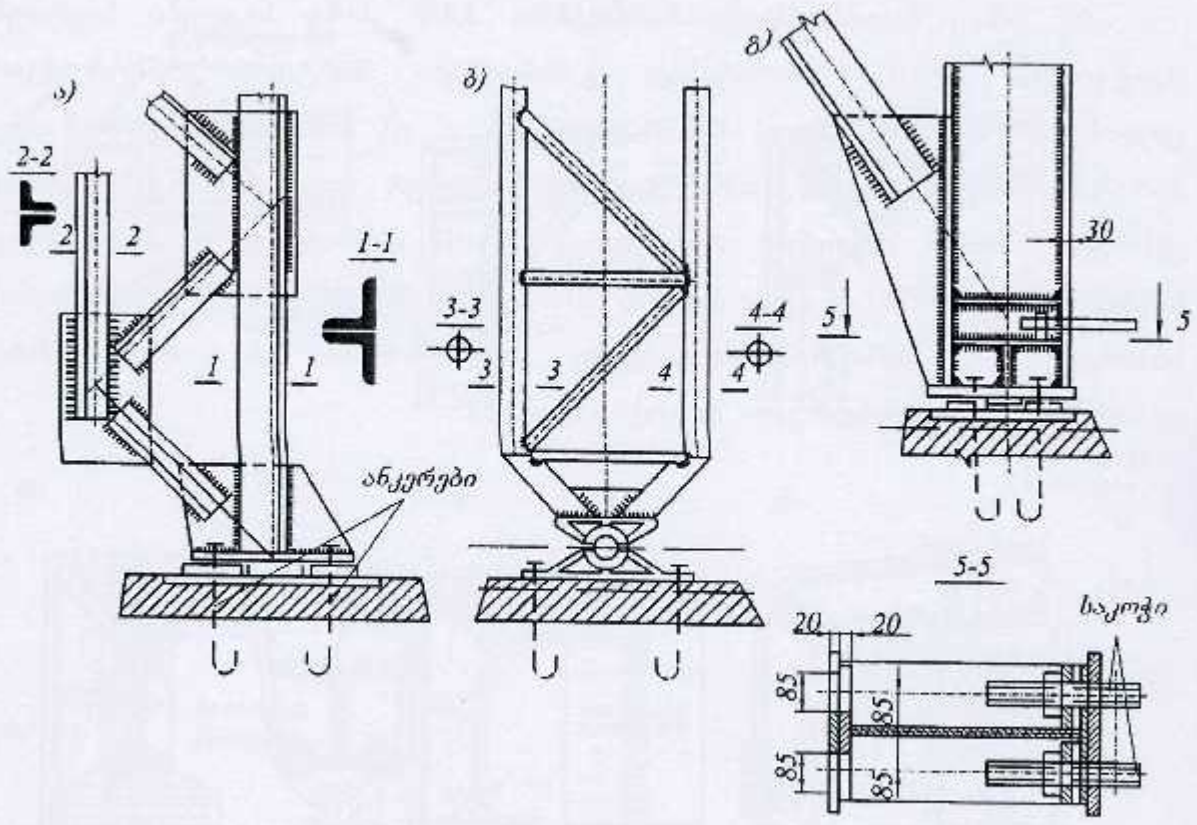
60 მ-მდე მალის მქონე ჩარჩოებში, 2500 კნ-ზე ნაკლები საყრდენი რეაქციების დროს, უპირატესად გამოიყენება მარტივი კონსტრუქციის ფილისებრი სახსრები (ფიგ. 150, ა; ფიგ. 151, ა, გ), ისინი კარგად მუშაობენ ჰორიზონტალურ რიგელებიანი და ვერტიკალურ დგარებიანი ჩარჩოების კვანძებში. დიდი საყრდენი რეაქციების დროს გამოიყენება ბალანსირული სახსრები (ფიგ. 150, ბ; ფიგ. 151, ბ), რომლებიც შედგება ზედა ბალანსირის, საძირკველთან მიმაგრებული ქვედა ბალანსირისა და მათ შორის დასაყენებელი ცილინდრული პოჭოჭიკისაგან.



ფიგ. 150. მთლიანკედლიანი ჩარჩოების საძირკველზე დაყრდნობის კვანძები

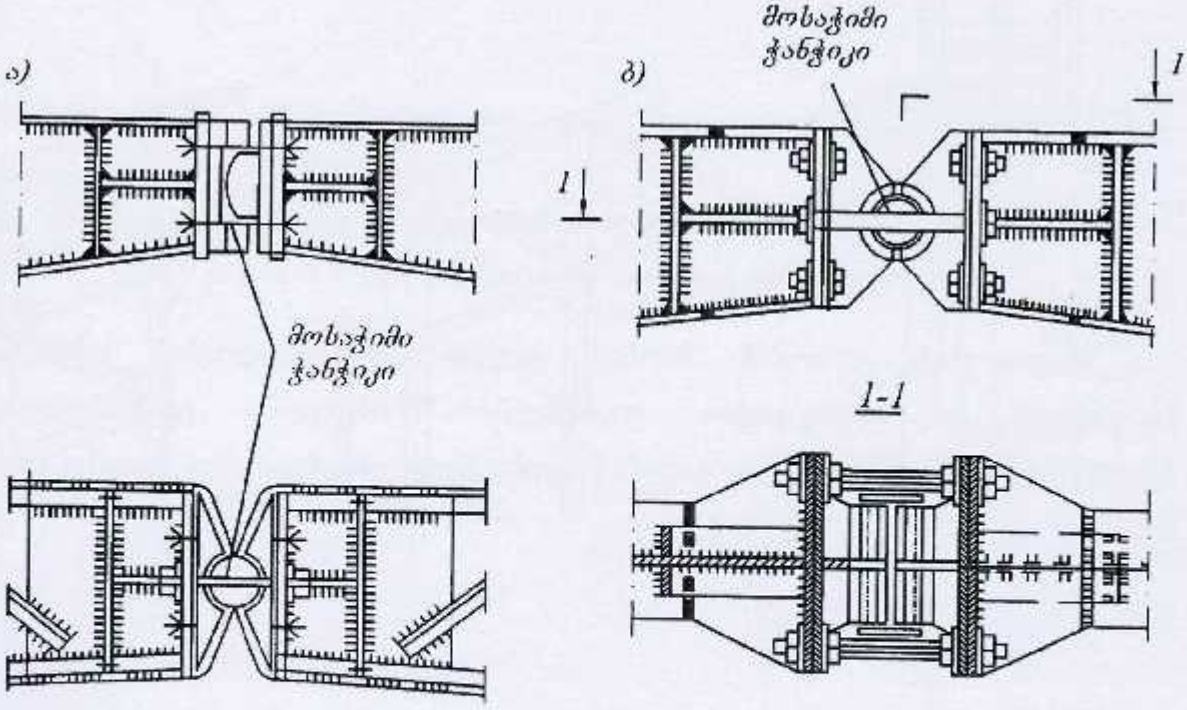
ა – ფილოვანი სახსარი; ბ – ცილინდრული სახსარი;

შეუღლების კვანძებში ჩარჩოს ელემენტებს აძლიერებენ სიხისტის წიბოებითა და დამატებითი ფურცლებით, რომელთა დანიშნულებაა შეკუმშული კვანძური ძალის გადანაწილება მთელ საანგარიშო კვეთზე (ფიგ. 152).



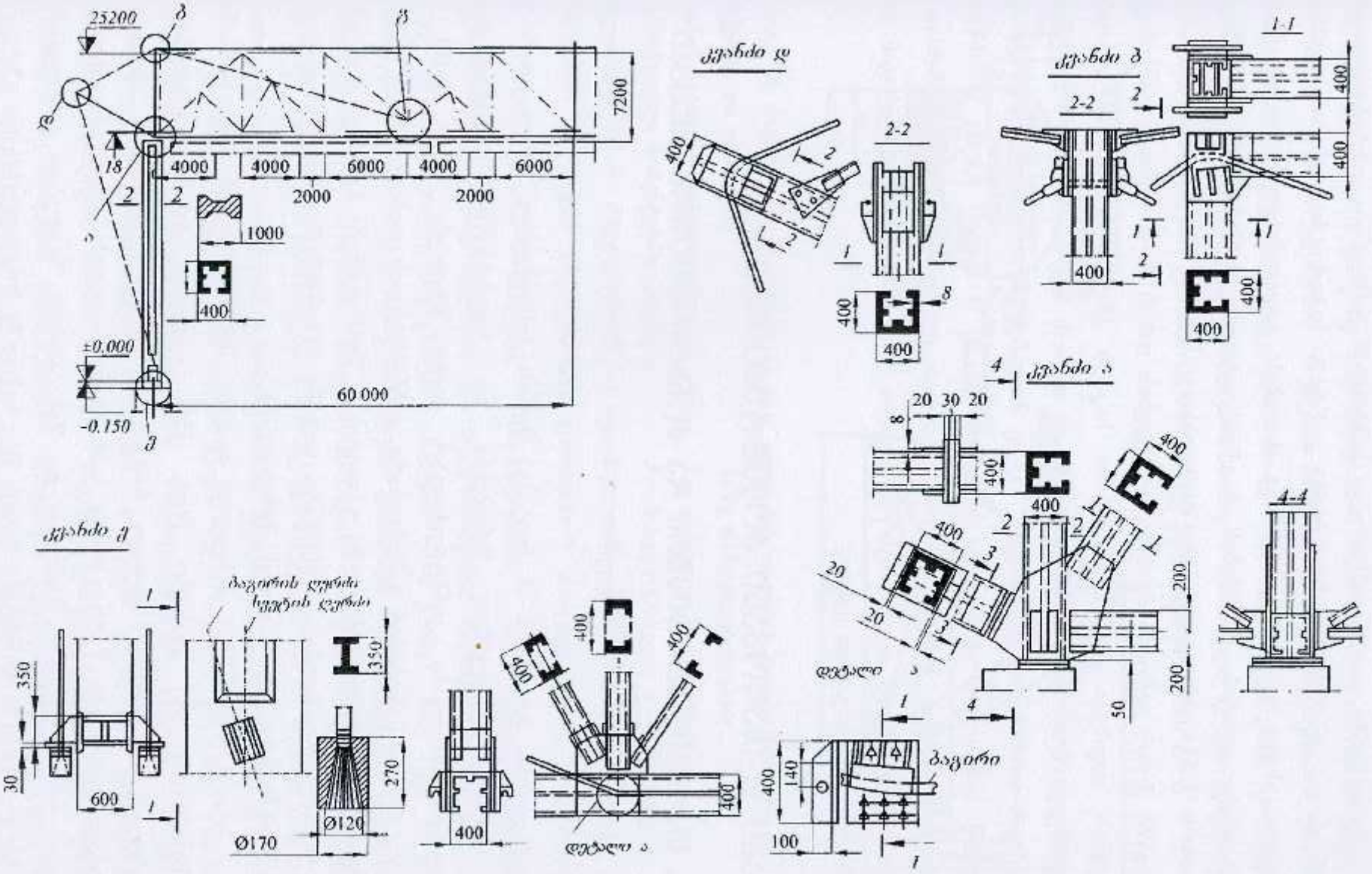
ფიგ. 151. გამჭოლი ჩარჩოს დგარის საძირკველზე დაყრდნობის კვანძები

ა – ფილიგანი სახსარი; ბ – ბალანსირული ცილინდრული სახსარი;



ფიგ. 152. კლიტის (საჭექის, კუხის) სახსრები

ა, ბ – მთლიანკვეთიან ჩარჩოებში; გ – გამჭოლ ჩარჩოებში;



ფიგ. 153. 60 მ მალის მქონე რთული, წინასწარ დაძაბული ჩარჩოს კონსტრუირების მაგალითი

ფილისებრი და ბალანსირული სახსრების გამოყენება უზრუნველყოფს საყრდენ და კლიტის (საჭექის, კეხის) კვანძებში საჭირო მობრუნების კუთხის მიღებას, ასევე, გრძივი და განივი ძალების გადაცემისთვის აუცილებელ სიმტკიცეს. კლიტის სახსრების საექსპლუატაციო მდგომარეობა მიიღწევა მოსაჭიმი ჭანჭიკების დაყენებით, რომლებსაც ასევე შეუძლიათ ჩარჩოებსა და თაღებში ქარის გაწოვის ძლიერი მოქმედების დროს წარმოქმნილი გამჭიმავი ძალების ათვისება. საყრდენ კვანძში საკოჭს ამაგრებენ ჩარჩოს დგარის შეკუმშული შტოს თაროსთან (ფიგ. 151, გ). თაროს მდგრადობისთვის იყენებენ სახისტის ორმხრივ წიბოებს. ფიგ. 153-ზე მოყვანილია ალუმინის შენადნობის, მაღალი სიმტკიცის ფოლადის ორსაკოჭიანი, 60 მ მალის მქონე წინასწარ დაძაბული ჩარჩოს კონსტრუირების მაგალითი. ლითონის ეკონომიის მიზნით, ჩარჩოს შეკუმშული დგარი შესრულებულია ასაწყობი რკინაბეტონისაგან და აქვს ორტესებრი განივი კვეთი.

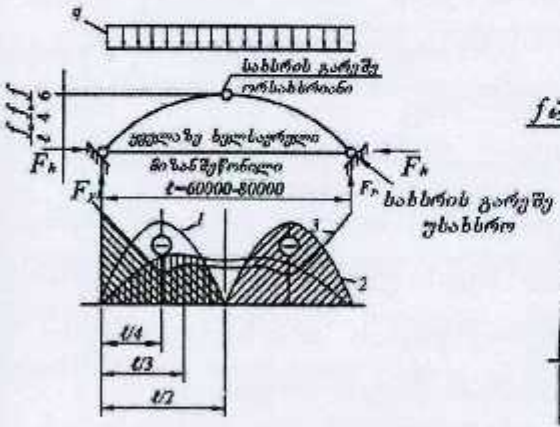
თავი 9. თაღოვანი კონსტრუქციები

9.1. თაღების სტატიკური და კონსტრუქციული სქემები

ჩარჩოსგან განსხვავებით თაღი წარმოადგენს მრუდხაზოვან (რკალისებრ) კონსტრუქციას, რომლითაც გადაიხურება მალი ორ საყრდენს (საძირკვლებს, პილონებს ან სვეტებს) შორის. სამრეწველო, საზოგადოებრივ და სასოფლო-სამეურნეო შენობებსა და ნაგებობებში გამოყენებული ლითონის თაღოვანი კონსტრუქციების მალი შეიძლება იყოს 30-150 მ. განმბჯენის არსებობიდან გამომდინარე კონსტრუქციის დაბალი მასის გამო, აგრეთვე იმის გამო, რომ თაღში უპირატესად წარმოიქმნება მკუმშავი ძალვები და უმნიშვნელო მღუნავი მომენტები, თაღები მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნას 60-80 მ-ზე მეტი მალების შემთხვევაში.

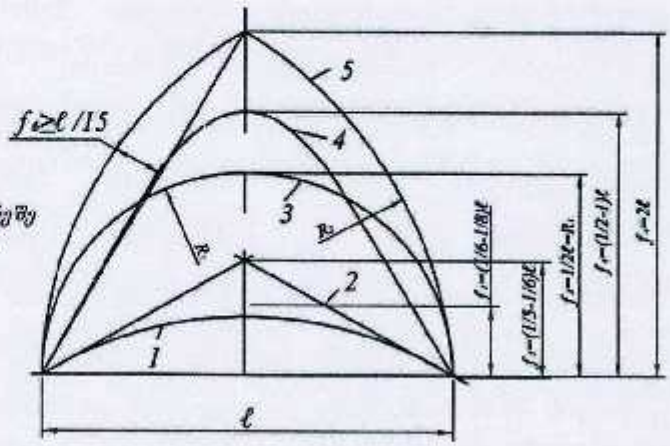
სტატიკური სქემის მიხედვით თაღები შეიძლება იყოს სამსახსრიანი, ორსახსრიანი და უსახსრო (ფიგ. 154). თაღების მიზანშეწონილობაზე შეიძლება ვიმსჯელოთ მღუნავი მომენტების ეპიურის მიხედვით. უდიდესი მღუნავი მომენტები წარმოიქმნება სამსახსრიანი თაღის მალის მეოთხედში, ამიტომ ისინი ყველაზე მძიმეებია და შესაბამისად, ნაკლებად გამოიყენება. უსახსრო თაღებში მომენტები მალის შუა ნაწილში მინიმალურია და იზრდება

შედარებით მცირე უბნებზე საყრდენებთან ახლოს, ამიტომ ისინი ყველაზე მსუბუქი კონსტრუქციებია. თუმცა, ჩარჩოების ანალოგიურად, უსახსრო თაღების გამოყენება შესაძლებელია მხოლოდ არადეფორმირებად გრუნტებზე. წინააღმდეგ შემთხვევაში მასალების ხარჯი საძირკველზე მნიშვნელოვნად გადაფარავს მასალის ეკონომიას, რომელიც მიიღწევა თაღში.



ფიგ. 154. თაღების სტატიკური სქემები და თანაბრად განაწილებული დატვირთვისაგან გამოწვეული მომენტების ეპიურები

1 – სამსახსრიანი; *2* – ორსახსრიანი; *3* – უსახსრო;



ფიგ. 155. თაღების ტიპები *f/l* ფარდობაზე დამოკიდებულებით

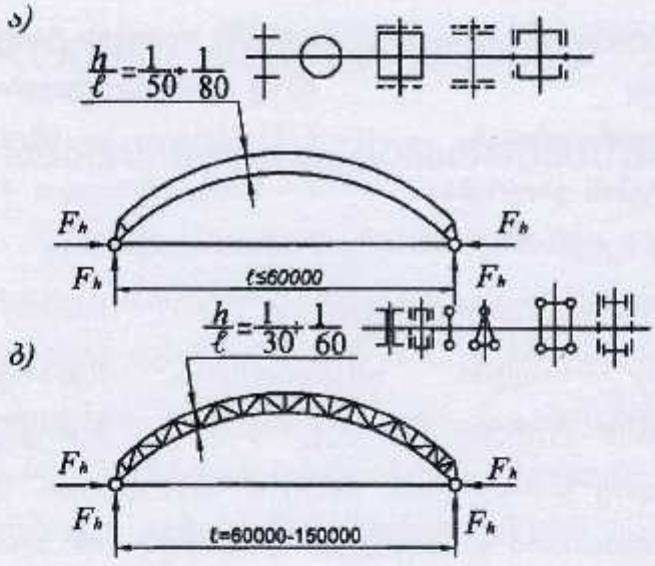
1 – დამრეცი; *2* – სწორხაზოვანი; *3* – ნახევარწრიული; *4* – შემაღლებული; *5* – ისრული;

ორსახსრიანი თაღები, უსახსროსთან შედარებით, ნაკლებად მგრძნობიარეა ტემპერატურულ და დეფორმაციულ ზემოქმედებაზე და აქვთ მეტი სიხისტე, ვიდრე სამსახსრიან თაღებს. ამის გარდა, მათ აქვთ მდუნავი მომენტის უფრო თანაბარი განაწილება დანარჩენ ორ სტატიკურ სქემასთან შედარებით. ორსახსრიანი თაღები მასალის ხარჯის მიხედვით საკმაოდ ეკონომიურია, მათი დამზადება და მონტაჟი მარტივია და ამ თვისებების გამო სარგებლობენ გამოყენების უპირატესობით შენობებსა და ნაგებობებში.

ხარჩოსთან შედარებით, თაღს უკავია მეტი სივრცე, ვინაიდან თაღოვან გადახურვებში (დამრეცობის გამო) საყრდენებთან ახლოს არსებობს შეზღუდული ექსპლუატაციის ზონები. თაღების ქვედაზე ხელსაყრელი სიმაღლე შეადგენს მალის 1/4–1/6-ს, მაგრამ ექსპლუატაციის პირობებიდან გამომდინარე თაღების მოხაზულობა შეიძლება იყოს ნებისმიერი (ფიგ. 155). თაღების მინიმალურად დასაშვები დამრეცობა აიღება არანაკლებ მალის 1/8,

ხოლო მაქსიმალური აწეულობა (შემაღლება) ისრულ თაღებში არაუმეტეს ორი მალისა.

თანაბრად განაწილებული დატვირთვის მოქმედებისას, თაღებში მომენტების მინიმალური მნიშვნელობა მიიღწევა მაშინ, როდესაც თაღის მოხაზულობა ემთხვევა წნევის მრუდს. ამ შემთხვევას შეესაბამება კვადრატული პარაბოლის მიხედვით შემოხაზული თაღი. დამრეც თაღებში, დამზადების გამარტივების მიზნით, პარაბოლური მრუდი შეიძლება შეცვლილი იქნეს წრეწირის რკალით, რაც არ იწვევს ძალების მნიშვნელოვან ზრდას. თაღების სიმაღლის გაზრდის შემთხვევაში ნორმალური ძალა და განმბჯენი მცირდება, ხოლო მღუნავი მომენტი მნიშვნელოვნად იზრდება. ამას დიდწილად ხელს უწყობს ქარის დატვირთვის გავლენა, რაც იწვევს განსხვავებულ ზემოქმედებას თაღზე დაწნეხისა და გაწოვის მხრიდან, რაც იძლევა ორ არათანაბარ წნევის მრუდს.



ფიგ. 156. ორსახსრიანი თაღის კონსტრუქციული სქემები და კვეთების ტიპები

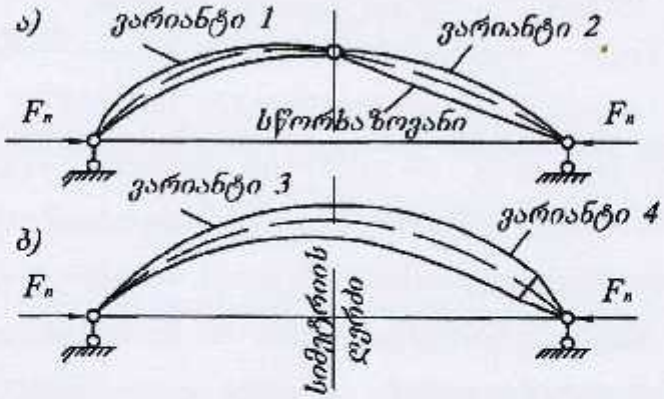
ა – მთლიანკედლიანი; ბ – გამჭოლი;

კონსტრუქციული თვალსაზრისით ლითონის თაღი შეიძლება იყოს მთლიანი და გამჭოლი (გისოსოვანი). მთლიან თაღს, რომლის სიმაღლე მალის 1/50–1/80-ია (ფიგ. 156, ა), იყენებენ 60 მ-დე მალებში. ზოგჯერ, ფუნქციური მოსაზრებებიდან, თაღებს აპროექტებენ ორი სწორხაზოვანი ელემენტით. ასეთ თაღებში კვეთის სიმაღლეს იღებენ მალის 1/15–1/20-ს ფარგლებში.

მრუდხაზოვან თაღებთან შედარებით ეს თაღები ნაკლებად ეფექტურებია. მთლიანი თაღების კვეთები სრულდება შენადუღი ფართოთაროებიანი ორტესებრის, მილის და თამასებით შეერთებული ორი შველერისგან ან ორტესებრისგან შედგენილი კვეთების სახით. შედგენილ კვეთებს აქვთ დიდი სიხისტე თაღის სიბრტყიდან, ამიტომ მათი გამოყენება მიზანშეწონილია დიდი მალების შემთხვევაში.

60 მ-ზე მეტი მალის შემთხვევაში უპირატესად პროექტებენ გამჭოლ თაღებს პარალელური სარტყელებით (ფიგ. 156, ბ). გამჭოლ თაღებს ნაკლები სიხისტე აქვთ, ამიტომ ასეთ თაღებში კვეთის სიმაღლეს ზრდიან მალის 1/30–1/60-დე. გამჭოლი თაღების სარტყელები კეთდება კუთხედების, შველერების, მილებისა და ორტესებრისაგან. დიდი მალებისა და ძალვების შემთხვევაში გამჭოლი თაღები კეთდება სამკუთხა ან ოთხკუთხა განივი კვეთის მქონე სივრცითი სახის. გამჭოლ თაღებში სარტყელები ვერტიკალური და პორიზონტალური მიმართულებით შეკვლებულია სამკუთხა ან ირიბანული ტიპის გისოსოვანი კავშირებით, რომლებიც კეთდება ერთეული კუთხედებით, შველერებით ან ორტესებრით.

მთლიანკედლიანი და გამჭოლი თაღების კვეთები რეკომენდებულია მთელ სიგრძეზე იყოს მუდმივი. თუმცა, ორ და სამსახსრიან თაღებში, ლითონის ეკონომიის მიზნით, დასაშვებია დაპროექტდეს ნამგლისებრი ან სეგმენტური მოხაზულობების თაღები (ფიგ. 157).

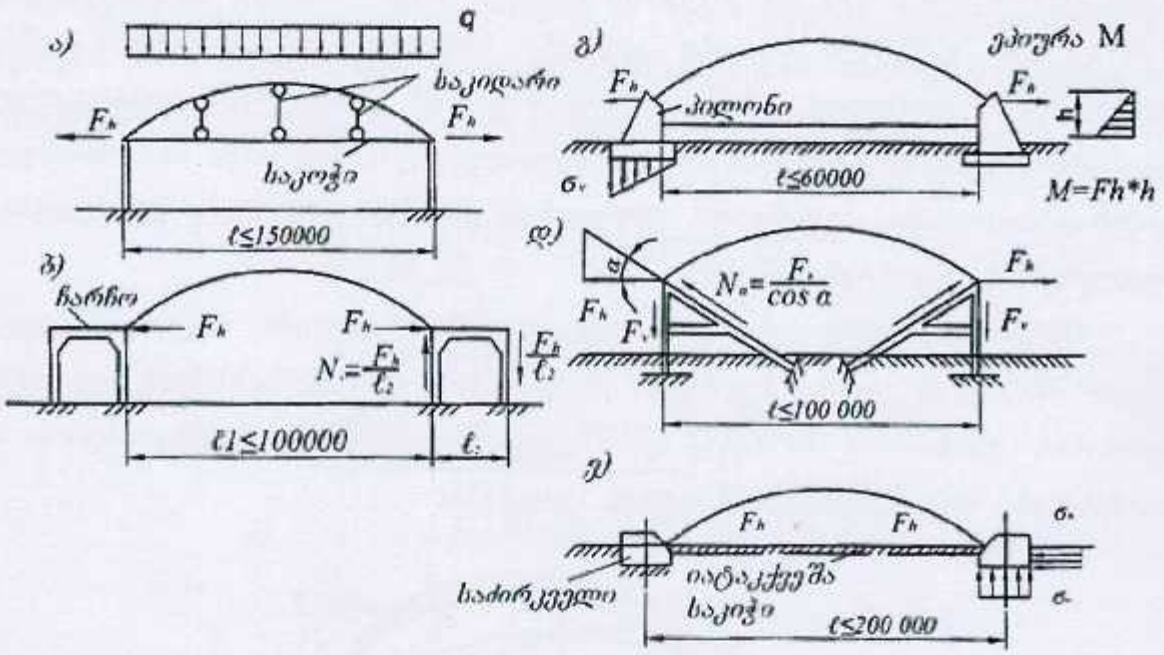


ფიგ. 157. თაღების მოხაზულობა

ა – სამსახსრიანი; *ბ* – ორსახსრიანი;

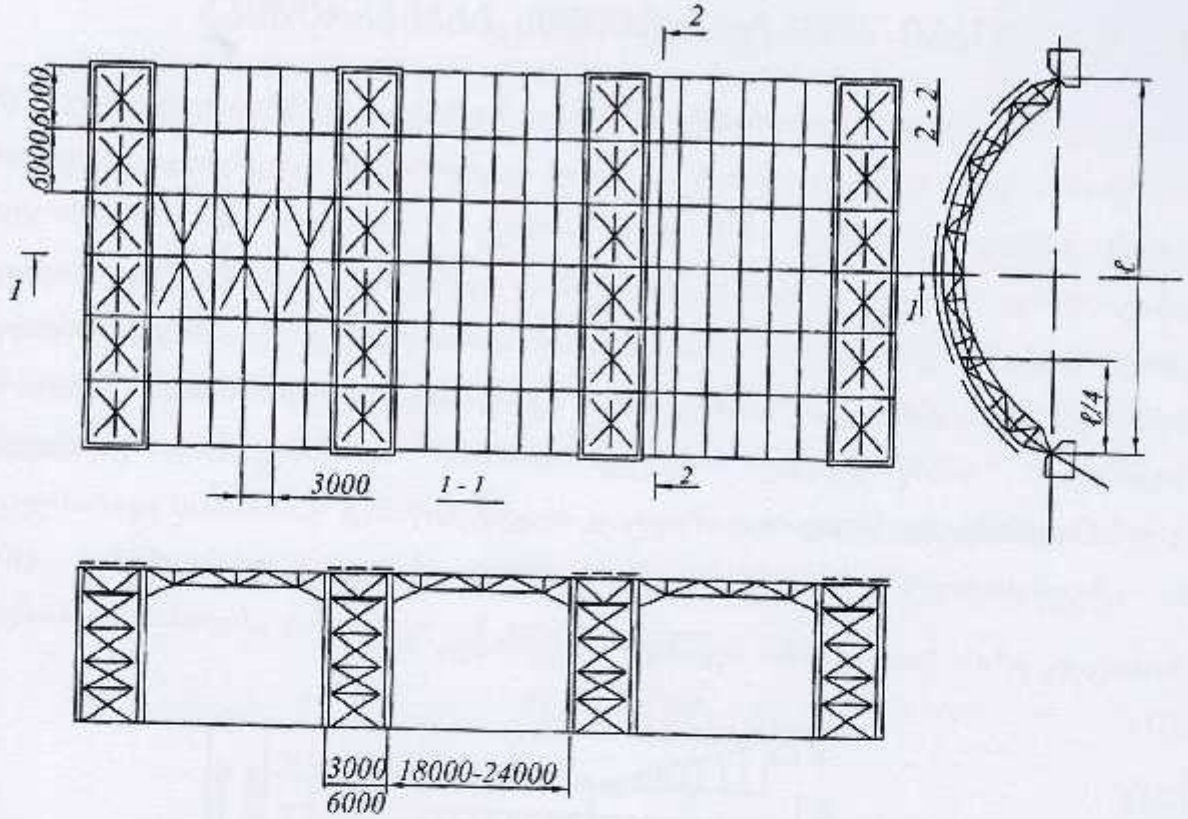
1, *3* – ნამგლისებრი; *2* – სეგმენტური; *4* – პარალელურ სარტყელებიანი;

განმბჯენი თაღურ კონსტრუქციაში აითვისება საკოჭის მიერ, რომელიც მოწყობილია საყრდენი კვანძების დონეზე (ფიგ. 158, ა). თუმცა, საკოჭი ხელს უშლის მთელი შენობის ნორმალურ ექსპლუატაციას და საჭიროებს საკიდრებზე მასალის დამატებით ხარჯს. დიდმალიან საზოგადოებრივ და სამრეწველო შენობებში საკოჭისგან განთავისუფლება ხორციელდება განმბჯენის გადაცემით ხისტ საყრდენებზე, განივი ჩარჩოების (ფიგ. 158, ბ), პილონების (ფიგ. 158, გ), ტრიბუნების (ფიგ. 158, გ) სახით ან უშუალოდ საძირკვლებზე (ფიგ. 158, ე). სუსტ გრუნტებში საძირკვლის ზომაზე მეტად გადანაცვლების თავიდან ასაცილებლად იატაკქვეშა საკოჭი შეიძლება მოეწყოს მნიშვნელოვანი განმბჯენი ძალვების შემთხვევაში (ფიგ. 158, ე).



ფიგ. 158. თაღებში განმბჯენის ათვისების ვარიანტები

მთლიანი თაღების დაპროექტებისას მათი ბიჯი შენობის განსწვრივ რეკომენდებულია მიღებულ იქნას 6-12 მ, ხოლო გამჭოლი თაღების შემთხვევაში – 12-24 მ. თაღებს შორის 6 მ ბიჯის დროს გადახურვას აპროექტებენ კავშირების გარეშე, ფილების დალაგებით უშუალოდ თაღის ზედა სარტყელზე. ხოლო 12-24 მ ბიჯის დროს კავშირებად გამოიყენება 6 მ ბიჯით განლაგებული გისოსოვანი ფერმები, ხოლო ფილებს ალაგებენ მათზე ან კავშირის ფერმებზე 3 მ ბიჯით განლაგებულ დამატებით კავშირებზე (ფიგ. 159).



ფიგ. 159. თაღოვანი გადახურვის გაერთმთლიანება შეწყვილებული თაღების შემთხვევაში

თაღებზე ნივნიავური გადახურვის მოწყობა ჩარჩოს ნიჟნიავური გადახურვის ანალოგიურია. თაღოვანი გადახურვის განმასხვავებელი თავისებურებაა – თაღებს შორის, არა უმეტეს 12 მ ბიჯით, ვერტიკალური გრძივი კავშირების მოწყობის აუცილებლობა, რომლებიც უზრუნველყოფენ ქვედა შეკუმშული სარტყელის მდგრადობას ზედა სარტყელებზე ჰორიზონტალური კავშირების არსებობისას.

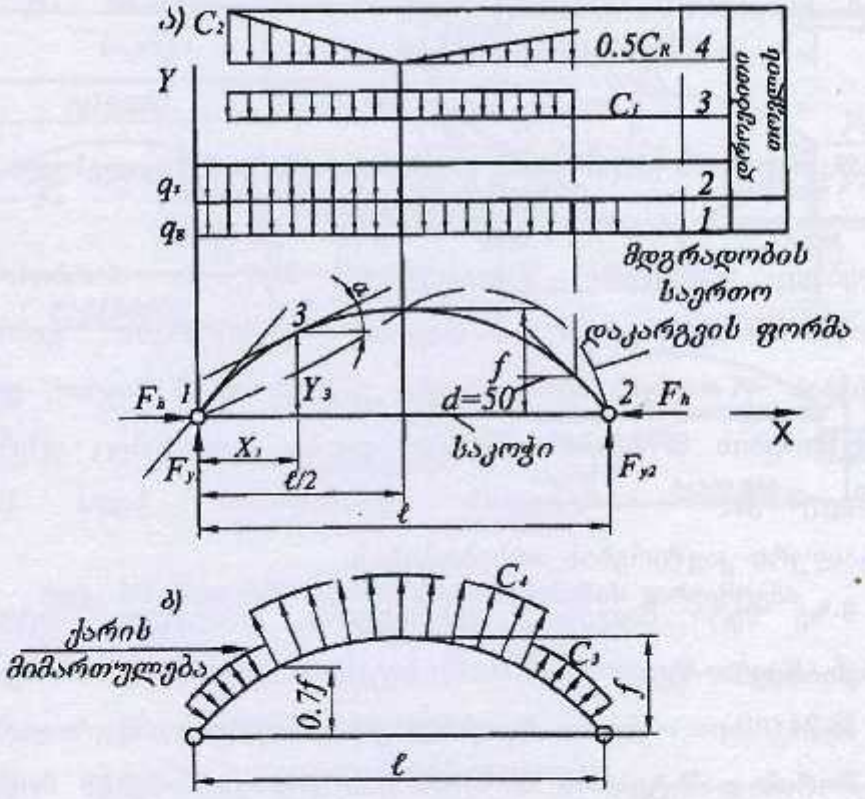
60 მ-ზე მეტი მალების შემთხვევაში, ცალკეულ ბრტყელ თაღებს აერთიანებენ წყვილ-წყვილად 3-6 მ სიგანის ბლოკებად, რომელთა შორის მანძილი 18-24 მ-ია. ასეთი გადახურვის საერთო მდგრადობა იზრდება ბლოკებს შორის დამატებითი ჰორიზონტალური კავშირების მოწყობით ზედა სარტყელების სიბრტყეში, გადახურვის კუთხის გასწვრივ. ასეთ შემთხვევაში კავშირების სისტემაში რთავენ წამწე-გრძივების ზედა სარტყელებს. თაღოვან გადახურვებში წამწე-გრძივების სიმაღლე, ჩამაგრების გათვალისწინებით, შეიძლება იყოს მათი მალის 1/15–1/20.

9.2. თაღოვანი კონსტრუქციების გაანგარიშება

შენობებში და ნაგებობებში თაღებზე მოქმედებს ვერტიკალური მუდმივი (საკუთარი მასა) და დროებითი (თოვლი) დატვირთვები, აგრეთვე დროებითი ქარის დატვირთვა (ფიგ. 160). ორსახსრიანი თაღი წარმოადგენს ერთჯერ სტატიკურად ურკვევ სისტემას, რომელშიც უცნობია F_h განმბჯენის სიდიდე. კვადრატული პარაბოლის ან მასთან მიახლოებული სხვა მრუდის მოხაზულობის, $f / l < 1/8$ დამრეცობის მქონე ორ და სამსახსრიან თაღებში თანაბრად განაწილებული დატვირთვისაგან გამოწვეული განმბჯენი განისაზღვრება ფორმულით

$$F_h = q_g l^2/8f, \tag{109}$$

სადაც q_g არის საანგარიშო მუდმივი დატვირთვა თაღზე.



ფიგ. 160. ორსახსრიანი თაღის გაანგარიშებისთვის

თაღებში, დამრეცობით $f / l \geq 1/8$, საანგარიშო მუდმივ დატვირთვას წარმოადგენენ ორი სიმეტრიული პროექციის სახით – $q_{g.1}$ (საჭექში) და $q_{g.2}$ (ქუსლში), ამიტომ განმბჯენის დაზუსტებული მნიშვნელობა მოცემული შემთხვევისთვის გაიანგარიშება ფორმულით:

$$F_h = (q_{g,1} l^2/8f) + (q_{g,2} - q_{g,1}) l^2/24. \quad (110)$$

თაღების დამრეცობაზე დამოკიდებულებით, აგრეთვე იცვლება საანგარიშო თოვლის დატვირთვის მდებარეობა. თაღებში დამრეცობით $f / l <$ 1/8, საანგარიშო თოვლის დატვირთვას იღებენ თანაბრად განაწილებულს თაღის სიგრძეზე (იხ. დატვირთვა 3), ხოლო, როდესაც $f / l \geq 1/8$ – ორ ვარიანტად: პირველი – თანაბრად განაწილებული დატვირთვის სახით, მეორე – ორი არათანაბარი სამკუთხედის სახით (იხ. დატვირთვა 4), რომელთა გავლენა გაანგარიშებას დროს შეიძლება მიახლოებით შეიცვალოს ცალმხრივი თანაბრად განაწილებული დატვირთვით q_s (იხ. დატვირთვა 2).

განმბჯენის სიდიდეს დროებითი თოვლის დატვირთვისგან, ამ შემთხვევებისთვის, გამოითვლიან ფორმულებით:

$$F_{h,s,1} = q_s l^2/8f, \quad (111)$$

$$F_{h,s,2} = q_s l^2/16f. \quad (112)$$

თაღის ღერძის გასწვრივ მოქმედი M, N, Q ძალვები ნებისმიერ კვეთში საყრდენიდან x მანძილზე გამოითვლება ფორმულებით:

$$M_x = M_b - F_h y, \quad (113)$$

$$N_x = Q_b \sin \alpha + F_h \cos \alpha, \quad (114)$$

$$Q_x = Q_b \cos \alpha - F_h \sin \alpha. \quad (115)$$

სადაც F_h არის მუდმივი ან დროებითი დატვირთვისაგან გამოწვეული განმბჯენი; Mb და Q_b – ვერტიკალური საანგარიშო დატვირთვებისგან გამოწვეული კოჭური მომენტი და განივი ძალა, როდესაც თაღი განიხილება როგორც l მალის მქონე კოჭი; y – საანგარიშო კვეთის ღერძული წერტილის ორდინატა; α – კუთხე საანგარიშო კვეთში თაღის ღერძის მხებსა და ჰორიზონტალს შორის.

უსახსრო თაღში მღუნავი მომენტი უდიდეს მნიშვნელობას აღწევს ჭუსლებში და მიახლოებით შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$M = q_{g,s} l^2/64, \quad (116)$$

სადაც $q_{g,s}$ არის მუდმივი დატვირთვისა და თოვლის ჯამური საანგარიშო თანაბრად განაწილებული დატვირთვა.

ძალები მუდმივი კვეთის გამჭოლი თაღების ელემენტებში (ფიგ. 161) განისაზღვრება M_x-ის, N_x-ის და Q_x–ის მეშვეობით ფორმულებით:

ზედა სარტყელში

$$N_{sup} = -\left[(N_x a_2 / h) - (M_x / h)\right], \tag{117}$$

ქვედა სარტყელში

$$N_{inf} = -\left[(N_x a_1 / h) + (M_x / h)\right], \tag{118}$$

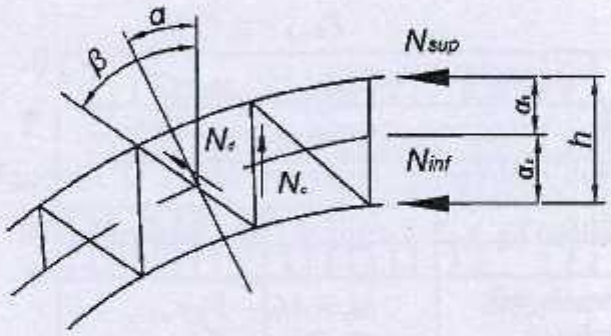
ირიბნებში

$$N_d = Q_x / \cos(\beta - \alpha), \tag{119}$$

ვერტიკალურ დგარებში

$$N_c = Q_x / \cos\alpha. \tag{120}$$

სადაც a არის მანძილი კვეთის სიმძიმის ცენტრიდან შესაბამის სარტყელამდე.



ფიგ. 161. გამჭოლი თაღის ელემენტების კვეთის გაანგარიშებისათვის

გამჭოლი თაღების ელემენტების კვეთები ძალვის ნიშანზე დამოკიდებულებით განისაზღვრება (81) ან (82) ფორმულებით, ხოლო მთლიანი თაღების კვეთები – (17) და (18) ფორმულებით. ორ და სამსახსრიან თაღებში გრძივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ქვედაზე არახელსაყრელი თანწყობის შემთხვევაში საანგარიშო კვეთი აიღება მალის მეოთხედში, ხოლო უსახსრო თაღებში – საყრდენზე.

გაანგარიშების დროს მნიშვნელოვანია თაღების საერთო მდგრადობის შემოწმება. სიბრტყიდან თაღების მდგრადობა მიიღწევა ვერტიკალური კავშირების დამონტაჟებით (იხ. ფიგ. 159), რომლებიც დაპროექტების პირობებით არ უნდა აღემატებოდეს თაღის სარტყელის 16-20 სიგანეს. სარტყელის მდგრადობა თავის სიბრტყეში კმაყოფილდება შემდეგი პირობით

$$N_{cr} > (1.2 - 1.3)N, \tag{121}$$

სადაც N არის საანგარიშო გრძივი ძალა მალის 1/4-ში (მთლიან მალზე მუდმივი დატვირთვისა და ნახევარ მალზე დროებითი თოვლის დატვირთვისაგან); N_{cr} – საანგარიშო კრიტიკული ძალა თაღის, როგორც მრუდხაზოვანი შეკუმშული ძელის, მდგრადობის დაკარგვისას.

თაღოვან კონსტრუქციებში კრიტიკული ძალა მიახლოებით შეიძლება განისაზღვროს ეილერ-იასინსკის ფორმულით; ამ შემთხვევაში საანგარიშო სიგრძედ l_{ef} მიიღება თაღის სიგრძის ნახევარი (იხ. ფიგ. 160, ა):

$$N_{cr} = \pi^2 E J_x / \mu l_{ef}^2 . \qquad (122)$$

საანგარიშო სიგრძის კოეფიციენტი μ, რომელიც ითვალისწინებს თაღის სიმრუდეს და დამოკიდებულია f/l ფარდობაზე, განისაზღვრება ცხრილი 33-ით.

ცხრილი 33

μ კოეფიციენტის მნიშვნელობები თაღოვან კონსტრუქციებში

თაღის სტატიკური სქემა	μ ფარდობისას f/l			
	0.05	0.2	0.3	0.4
სამსახსრიანი	0.6	0.6	0.6	0.65
ორსახსრიანი	0.5	0.55	0.6	0.65
უსახსრო	0.35	0.375	0.4	0.425

გაანგარიშება ქარის დატვირთვაზე აუცილებელია ჩატარდეს თაღებისთვის, რომლებშიც $f/l > 0.2$.

9.3. თაღების კონსტრუირება

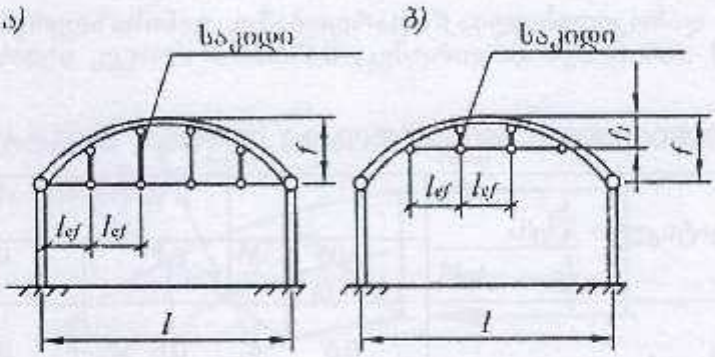
თაღების კვანძების კონსტრუირება პრაქტიკულად არ განსხვავდება ჩარჩოების კვანძების კონსტრუირებისაგან. ჩარჩოების მსგავსად თაღებში ყველაზე რთულია საყრდენი და კლიტის (კეხის, საჭექის) სახსრები. ამ კვანძების მახლობლად გამჭოლ თაღებს, როგორც წესი, კონსტრუქციული მოსაზრებებიდან აქვთ მთლიანი კედელი, რაც, ჩარჩოვანი კონსტრუქციებისგან განსხვავებით, განსაზღვრავს მთლიანი და გამჭოლი თაღების სახსროვანი კვანძების მსგავსებას.

თაღებში საკოჭი შეიძლება განთავსდეს საყრდენი სახსრების დონეზე (ფიგ. 162, ბ) ან საყრდენების ზევით, რითაც იზრდება შენობის სასარგებლო

სიმაღლე (ფიგ. 162, ბ). მეორე შემთხვევაში აწევის ისრების ფარდობა *f*/*l* არ უნდა იყოს 0.5-ზე ნაკლები. არასრული საანგარიშო დატვირთვისას ჩაკიდულობის ლიკვიდაციისათვის საკოჭს მთელ სიგრძეზე კიდებენ თაღზე საკიდრების მეშვეობით. საკიდრების რაოდენობა განისაზღვრება საკოჭის გაჭიმული ელემენტის მაქსიმალური მოქნილობის უზრუნველყოფის პირობიდან შემდეგი ფორმულით

$$l_{ef} \leq 400i\,, \qquad (123)$$

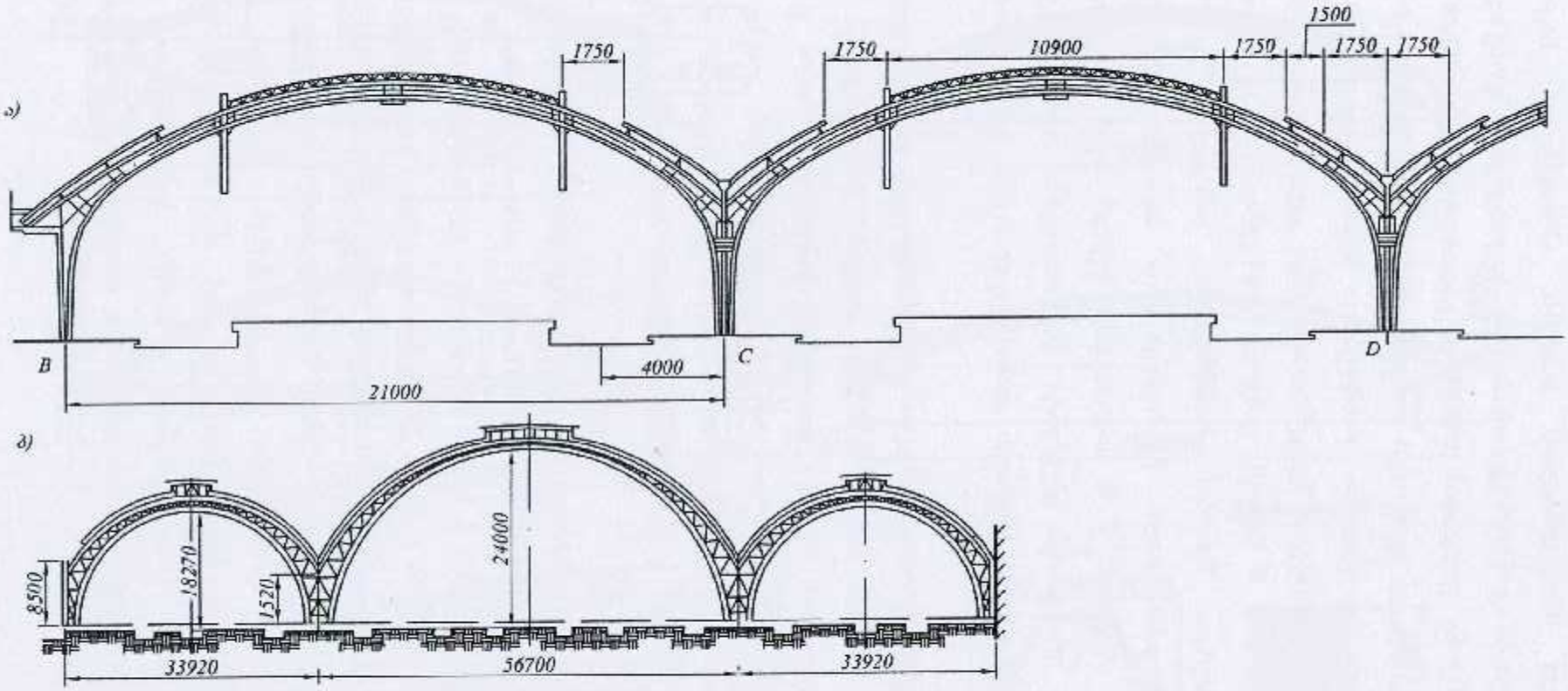
სადაც *i* არის საკოჭის კვეთის ინერციის რადიუსი ჰორიზონტალური ღერძის მიმართ.



ფიგ. 162. საკოჭიან თაღში საკიდების განსაზღვრისათვის

ა – საყრდენი სახსრების დონეზე; ბ – საყრდენების ზემოთ;

XX საუკუნის დასაწყისში თაღებს ძირითადად აპროექტებდნენ საგამოფენო პავილიონებისა და ვაგზლებისთვის. ამ პროექტებიდან, კონსტრუირების თვალსაზრისით, საინტერესოა რკინიგზის სადგურების პლატფორმების გადასახური უჭრი მრავალმალიანი თაღები. პირველ შემთხვევაში (ფიგ. 163, ა), ვაგზალის გადახურვის მრავალმალიანი თაღი არის მთლიანკედლიანი, თანაბარი 21 მ-იანი მალებით და საყრდენების ზევით ვერტიკალური უბნებით. საყრდენების მახლობლად შენობის ზონების მაქსიმალურად სრულად გამოყენების მიზნით. მეორე შემთხვევაში (ფიგ. 163, ბ), მოსკოვის ყაზანის ვაგზლის გადახურვის მრავალმალიან თაღს (პროექტი) აქვს შესაბამისად სხვადასხვა სიმაღლის ერთი 56.7 მ-ის ტოლი მთავარი მალი და 33. 92 მ-ის ტოლი ორი გვერდითი მალი. მოცემული მალების შემთხვევაში, გისოსოვანი თაღების წრიული მოხაზულობა საშუალებას იძლევა უზრუნველყოს საყრდენისპირა ზონების ნორმალური ექსპლუატაცია.



ფიგ. 163. უჯრი თაღოვანი კონსტრუქციების მაგალითები

ა – სადგურის გადახურვის მრავალმალიანი თაღი;

ბ – ყაზანის სადგურის გადახურვის პროექტი, (მოსკოვი, რუსეთი)

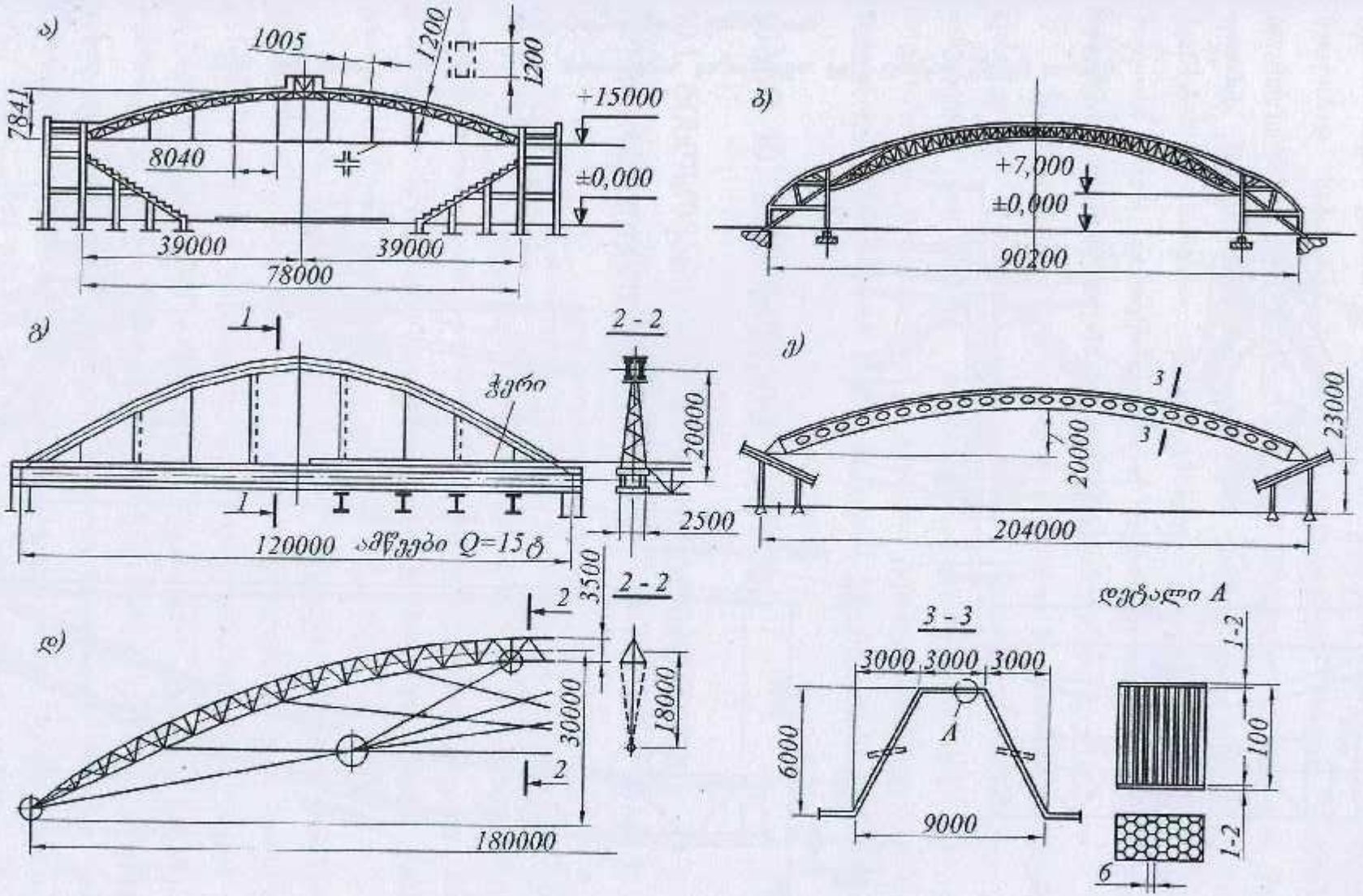
თანამედროვე მრავალმალიან თაღებს აპროექტებენ საკოჭიან ან უსაკოჭო ერთმალიანი კონსტრუქციის სახით. საყრდენების დონეზე საკოჭიანი, 78 მ მალის მქონე ფოლადის თაღითაა გადახურული სპორტის სახახლე ლუჟნიკებში (ფიგ. 164, ა). გამჭოლი თაღის სარტყელები შესრულებულია П-ს მაგვარი შენადუღი პროფილით, რომლებიც შეერთებულია კუთხედებიანი გისოსით. ოთხი კუთხედისაგან შედგენილი საკოჭი კვეთში ჯვრის ფორმისაა.

საინტერესოა 90.2 მ მალის, გამჭოლ ბურჯებიანი სააეროპორტო ანგარის თაღოვანი გადახურვა. შენობის სახარგებლო სიმაღლის გასაზრდელად ფოლადის გისოსოვანი თაღი შესრულებულია საკოჭის გარეშე. თაღის საყრდენი კვანძი აწეულია 7 მ სიმაღლეზე. ბურჯს აქვს რთული ჩარჩოს ფორმა, რომლის ერთ-ერთი ელემენტი წარმოადგენს ღეროვან ელემენტს, რომელიც ტოლქმედ ძალას საყრდენ კვანძში გადასცემს გარე საძირკვლებზე (ფიგ. 164, ბ).

ფიგ. 164, გ-ზე წარმოდგენილია კომბინირებული თაღი კოლოფისებრი კვეთის სიხისტის კოჭის სახის საკოჭით. თაღები დაყენებულია 12 მ-იანი ბიჯით, რაც საშუალებას იძლევა დალაგდეს სახურავის მზიდი ფარები და ჩამოიკიდოს კიდული ამწეების კოჭები უშუალოდ სიხისტის კოჭზე. შენობის გარეთ გამოტანილი თაღის მდგრადობა უზრუნველყოფილია თაღსა და სიხისტის კოჭს შორის განლაგებული ცვლადი სიმაღლის ვერტიკალური კავშირის წამწეებით.

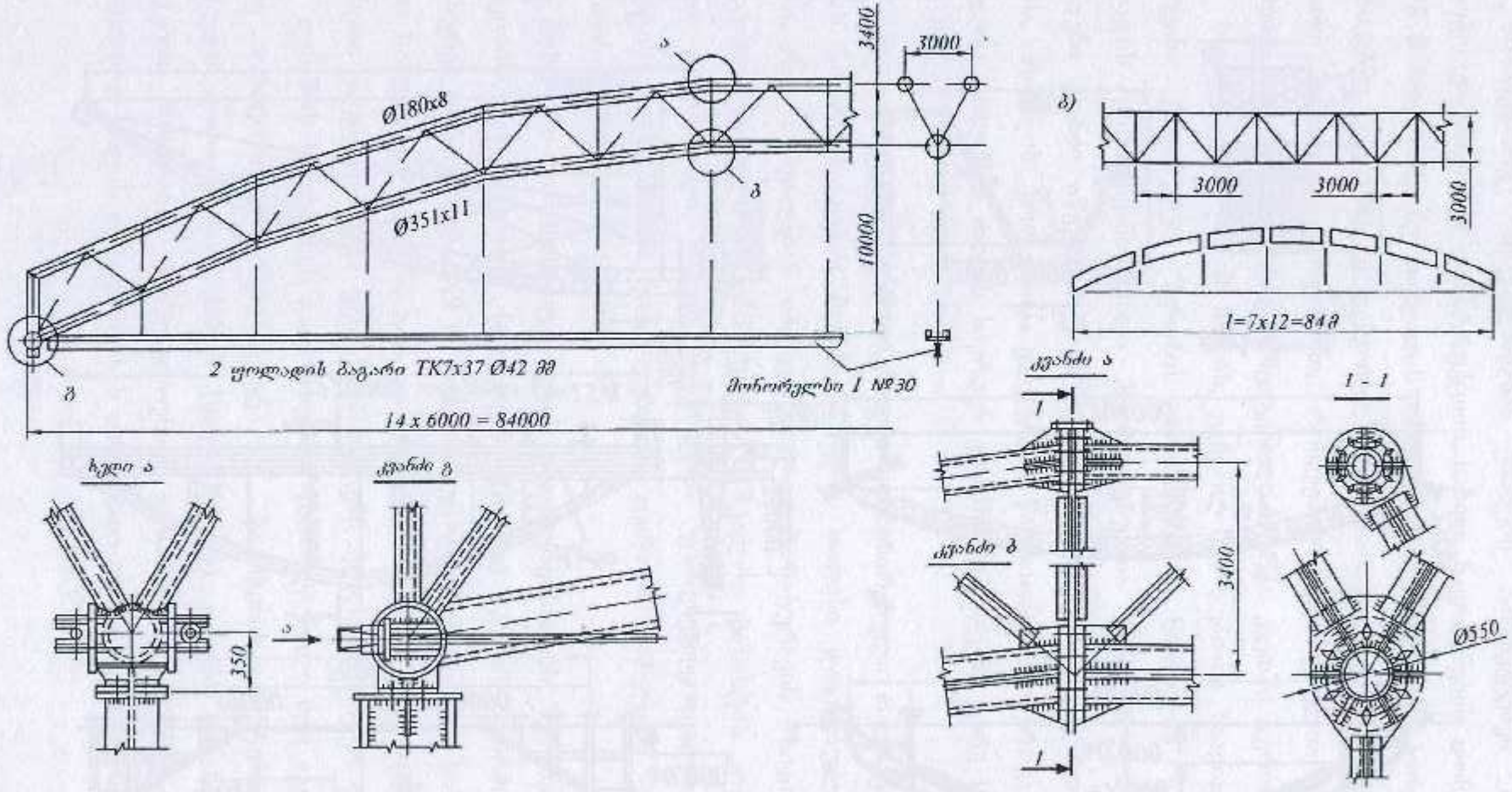
მოსკოვში დინამოს სტადიონის გადახურვისათვის შემუშავებული იქნა ტრაპეციის მოხაზულობის ნაკეცოვანი (ნაოჭა) გარსის ფორმის თაღოვანი გადახურვა (ნახ. 164, ე). 6X9 მ ზომის ნაკეცოვანი ელემენტის სისქე 100 მმ-ია, ხოლო სამფენოვან პაკეტში გარეთა ბრტყელი ალუმინის ფურცლების სისქე 1 მმ. ასეთი ელემენტის შუა ფენა წარმოადგენს ალუმინის ფიჭურ ფილას.

დინამოს სტადიონის გადასახურად წარმოდგენილი იყო აგრეთვე თაღის მეორე ორიგინალური გადაწყვეტა – საკოჭების სისტემით წინასწარ დაძაბული თაღი მალით 180 მ (ფიგ. 164, დ). თაღში წინასწარდაძაბული საკოჭების შემოტანამ მნიშვნელოვნად გაზარდა კონსტრუქციის სიხისტე ცალმხრივად თაღის დატვირთვისას დროებითი თოვლის დატვირთვით.



ფიგ. 164. დიდმალიანი თაღების მაგალითები

ა – საკოჭიანი თაღი (ლუჟნიკები, მოსკოვი); ბ – გამჭოლ ბურჯებიანი ანგარის გადახურვის პროექტი; გ – კოლოფისებრი კვეთის სიხისტის კოჭიანი კომბინირებული თაღი; დ – წინასწარ დაჭიმული ზედა სარტყლიანი თაღის პროექტი ("დინამო"-ს სტადიონი, მოსკოვი); ე – პრიზმული კვეთის ტალღის მქონე თაღის პროექტი ("დინამო"-ს სტადიონი, მოსკოვი)



ფიგ. 165. ფოლადის წინასწარ დაძაბული, საკოჭიანი, 84 მ მალის მქონე თაღის კონსტრუირების მაგალითი

ჩარჩოვანი კონსტრუქციისაგან განსხვავებით, დიდმალიან თაღს აქვს კვეთის ისეთი გაბარიტი, რომელიც საშუალებას იძლევა თაღი დანაწევრდეს მთლიანად საქარხნო პირობებში დამზადებულ მსხვილ სატრანსპორტო ელემენტებად. თაღის, 12 მ-დე სიგრძის ბრტყელი ან სივრცითი ბლოკების ფორმის, სატრანსპორტო ელემენტებს სამშენებლო მოედანზე სამონტაჟო კვანძების დახმარებით აწყობენ მსხვილ ბლოკებად (ნახევარი თაღი ან მთლიანი თაღი) და საექსპლუატაციო მდგომარეობაში აწყობენ მობრუნების მეთოდით ჰორიზონტალური მდგომარეობიდან ვერტიკალურში.

საკოჭიანი დიდმალიანი სივრცითი თაღის სატრანსპორტო ელემენტებად დანაწევრების მაგალითი და ამ თაღის საპირაპირე სამონტაჟო კვანძები ნაჩვენებია ფიგ. 165-ზე. დამზადების გამარტივებისთვის ამ თაღის მრუდხაზოვანი მოხაზულობა შეცვლილია ტეხილი მოხაზულობით, რომელიც შედგენილია 12 მ სიგრძის სამკუთხა კვეთის სწორხაზოვანი ბლოკებით.

თავი 10. გისოსოვანი ნაოჭები

10.1. გისოსოვანი ნაოჭების სტატიკური და კონსტრუქციული სქემები

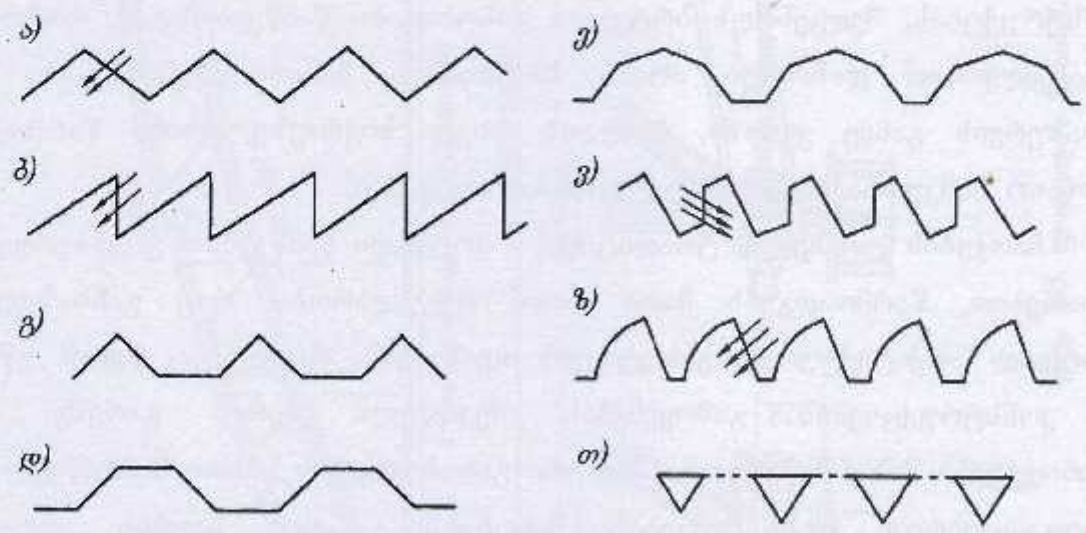
ლითონის გისოსოვანი ნაოჭი წარმოადგენს უმარტივეს სივრცით კონსტრუქციას, შედგენილს ბრტყელი გისოსოვანი წამწეებისაგან, რომლებიც მონაცვლეობით დახრილი არიან სხვადასხვა მიმართულებით, ისე რომ გადახურვის განივ კვეთში, ტალღის მთელ სიგრძეზე, ისინი წარმოქმნის ერთნაირ სამკუთხა ან პრიზმულ ფორმას (ფიგ. 166).

ნაოჭების დირსებას, ტრადიციული ბრტყელი წამწეებით გადახურვებთან შედარებით, წარმოადგენს მათი დიდი რეგულარობა, რაც განსაზღვრავს გაზრდილ არქიტექტურულ-ესთეტიკურ თვისებებს, რომლებიც ხელს უწყობს ამ კონსტრუქციების გამოყენებას შეკიდული ჭერის გარეშე. მათი დაპროექტება მიზანშეწონილია შედური გადახურვების სახით სამრეწველო და საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობებში, სადაც ნაოჭის ერთ-ერთი დახრილი სიბრტყე იფარება შუქგამჭვირვალე, ხოლო მეორე ერუ პანელით. ასეთ შემთხვევაში ნაოჭის შემინულ სიბრტყეს აყენებენ ვერტიკალურად (ფიგ. 166, ბ) ან ჰორიზონტის მიმართ დიდი კუთხით (ფიგ. 166, გ, ზ). ნაოჭოვან

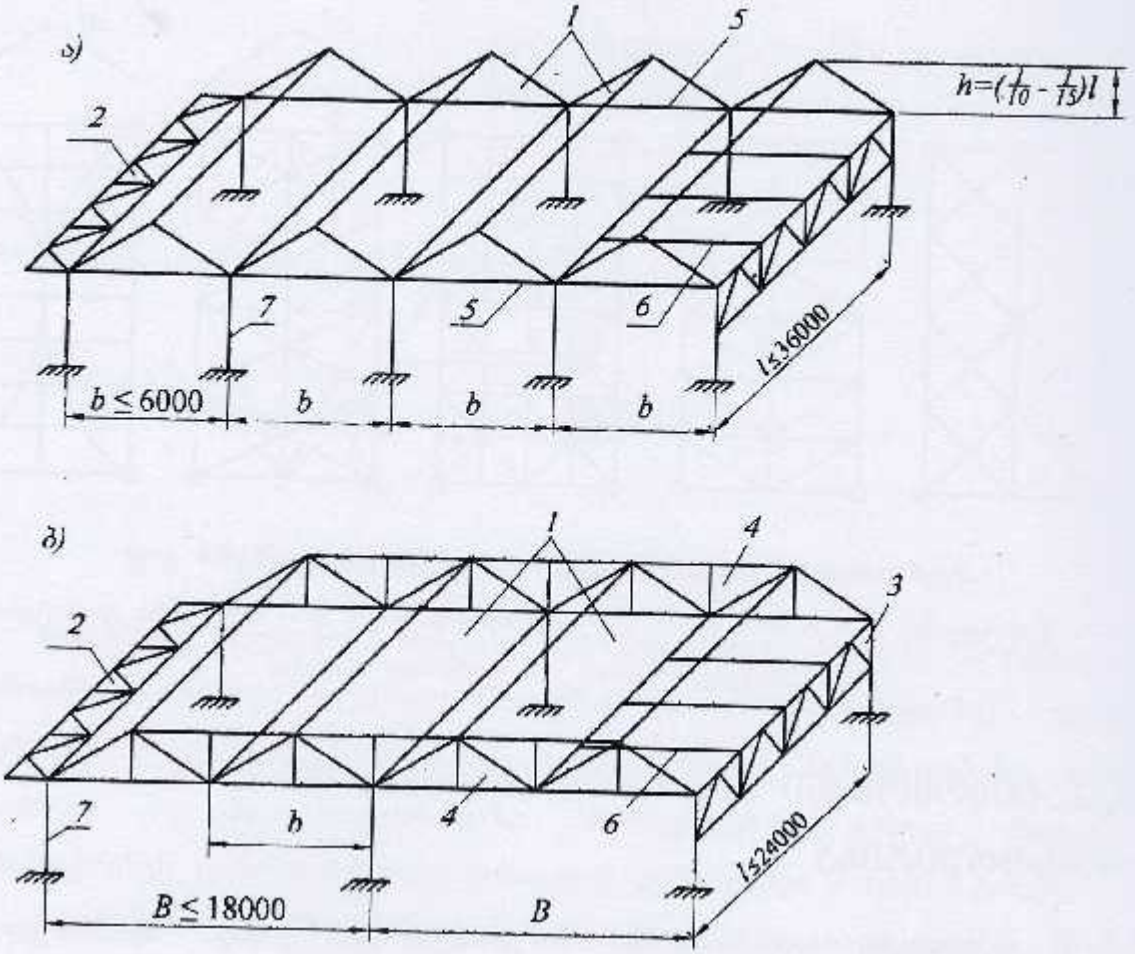
კონსტრუქციებს იყენებენ 18-36 მ მალების შემთხვევაში, თუმცა შესაძლებელია უფრო დიდი მალების გადახურვაც.

ნაოჭები შესაძლოა ეკრდნობოდეს ფოლადის ან რკინაბეტონის სვეტებს (ფიგ. 167, ა), ნაგებობების კედლებს ან ნივნივაქვეშა კონსტრუქციებს (ფიგ. 167, ბ). სვეტებზე დაყრდნობისას, ნაოჭის ტალღის მაქსიმალური სიგანე არ უნდა აჭარბებდეს 6 მ-ს. ნაოჭოვანი გადახურვის მდგრადობისათვის, სვეტების სიბრტყეში, საყრდენი კვანძების დონეზე, ორივე ტორსზე აწყობენ საკოჭებს, ხოლო სარტყელის სიგრძეზე. განაპირა ტალღებში, განმბჯენის ასათვისებლად, აყენებენ ჰორიზონტალურ ბრტყელ წამწეებს ან საკოჭების სისტემას. ნივნივაქვეშა წამწეები ხრდის ნაოჭოვანი გადახურვის სვეტების ბიჯს, რაც შენობის უფრო მეტად მოქნილი გეგმარებითი გადაწყვეტის შესაძლებლობას იძლევა. გისოსოვან ნაოჭებს, ბრტყელ წამწეებთან შედარებით, მეტი სიხისტე გააჩნიათ, ამიტომ მათი სიმაღლე შეიძლება შემცირებულ იქნას მალის 1/10-1/15-მდე.

შენობებში ფართოდ გამოიყენება სამკუთხა ნაოჭები (ფიგ. 166, ა, ბ, თ), როგორც ყველაზე მარტივად დასამზადებელი. გისოსების სისტემა ასეთ ნაოჭებში ნაჩვენებია ფიგ. 168-ზე. ჯვარედინა გისოსის შენთხვევაში (ფიგ. 168, ა), ელემენტები მუშაობენ მხოლოდ გაჭიმვაზე, რაც მათი, მოქნილი მაღალი სიმტკიცის ფოლადისაგან დაპროექტების საშუალებას იძლევა.



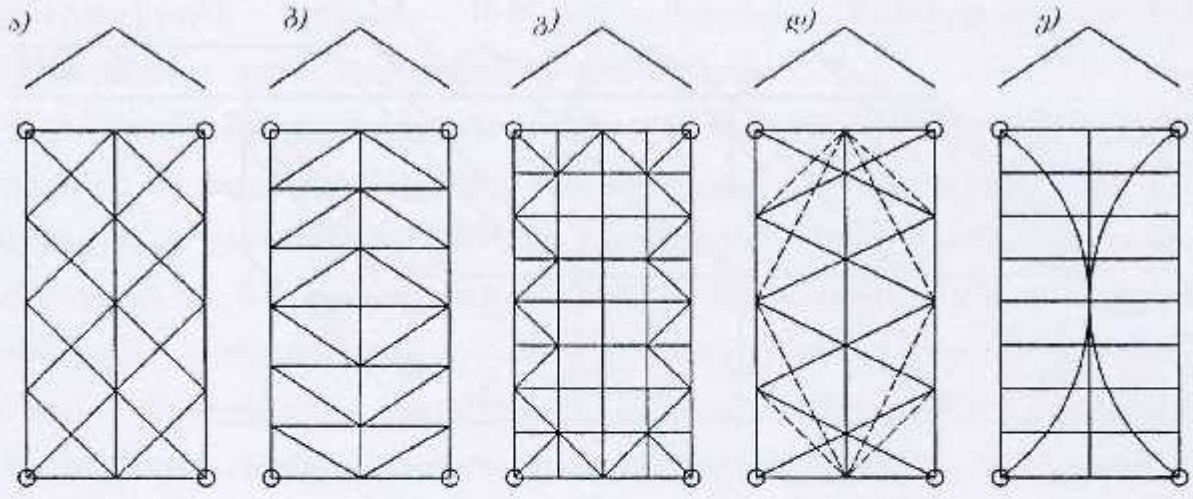
ფიგ. 166. ნაოჭების წამწეები



ფიგ. 167. ნაოჭოვანი გადახურვის საერთო ხედი

ა – ნაოჭების უშუალოდ სვეტებზე დაყრდნობის შემთხვევაში; *ბ* – ნაოჭების ნივნოვქვეშა წამწყებზე დაყრდნობის შემთხვევაში; *1* – გისოსოვანი ნაოჭი; *2* – პორიზონტალური გვერდული (ბორტის) ელემენტი; *3* – იგივე, ვერტიკალური; *4* – ნივნოვქვეშა წამწყი; *5* – საკოჭი სვეტების სიბრტყეში; *6* – ნაოჭის განაპირა ტალღის საკოჭი; *7* – სვეტი;

უმეტეს შემთხვევებში, ნაოჭებს აპროექტებენ სამკუთხა ან პოლიგონური განივი კვეთის მქონე ერთმალიანი სისტემების სახით. აუცილებლობის შემთხვევაში, მათ განიხილავენ, როგორც უჭრ მრავალმალიან და კონსოლურ სისტემებად. არქიტექტურული მოსაზრებებით, გისოსოვან ნაოჭებს შეიძლება ჰქონდეთ ცვლადი კვეთი სიმაღლის გასწვრივ და ტალღის ცვლადი სიგანე. ასეთი ნაოჭები მოსახერხებელია მრგვალი, ტრაპეციისებრი და სხვა რთული გეგმების გადასახურად. ცვლადი კვეთის ნაოჭებში გისოსის ყველაზე მეტად გავრცელებული ტიპია ირიბბადულო სისტემა (ფიგ. 168, ბ).



ფიგ. 168. გისოსოვანი ნაოჭების სისტემები

ა – ჯვარედინი; *ბ* – ირიბანაკეცი; *გ* – კომბინირებული; *დ* – სამკუთხა დამატებითი შპრენგელებით; *ე* – უირიბნო თალით;

10.2. გისოსოვანი ნაოჭების გაანგარიშება და კონსტრუირება

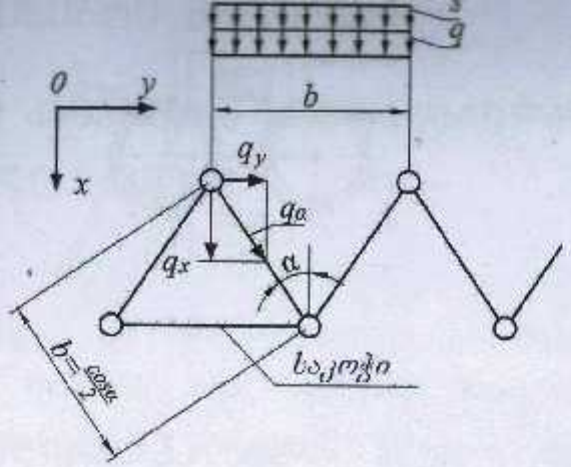
გისოსოვანი ნაოჭი მუშაობს გრძივი და განივი მიმართულებით. ვერტიკალური დატვირთვების ზემოქმედებისაგან ნაოჭი გრძივი მიმართულებით მუშაობს, როგორც ბრტყელი დახრილი წამწეების სისტემა, რომელთა დატვირთვის ფართობი ერთი ნაოჭის ტალღის b სიგანის ტოლია (ფიგ. 169). ამასთან, ნაოჭის ტალღის ერთ სიბრტყეზე წრფივ საანგარიშო დატვირთვას განსაზღვრავენ მისი დახრის კუთხის გათვალისწინებით

$$q_\alpha = \frac{\left[\frac{(g+s)b}{2}\right]}{\cos^2\alpha}, \tag{124}$$

სადაც, g არის მუდმივად განაწილებული დატვირთვა; s – თოვლის განაწილებული დატვირთვა.

ერთმალიან ნაოჭში საანგარიშო მღუნავი მომენტი განისაზღვრება ფორმულით:

$$M = \frac{q_\alpha l^2}{8}, \tag{125}$$



ფიგ. 169. ნაოჭის განივ კვეთზე დატვირთვის მოდების სქემა

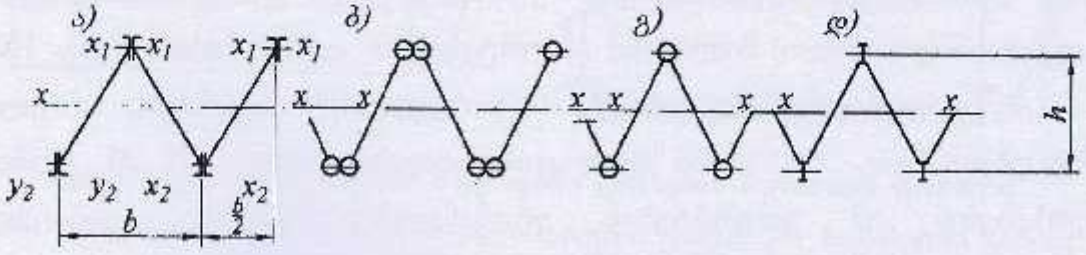
დადებითი მღუნავი მომენტის ზემოქმედებისას, ნაოჭის სარტყელებში წარმოიქმნება გრძივი მკუმშავი (ზედაში) და გამჭიმი (ქვედაში) ძალვები. განაპირა სარტყელებს ანგარიშობენ q_α დატვირთვის ზემოქმედებაზე, ხოლო დანარჩენს – $2q_\alpha$ დატვირთვაზე. სარტყელებში გრძივი ძალვების განსაზღვრისას, დახრილი წიბოს სიმაღლეს დებულობენ $b\cos\alpha/2$ ტოლს.

ნაოჭოვანი გადახურვის განაპირა ტალღებში სარტყელებს შორის დასაყენებელი საკოჭების კვეთს, გამოსახავენ მე-(8) ფორმულით, რომელშიც N ტოლია

$$N = q_y l_m = q_\alpha \sin\alpha \cdot l_m, \qquad (126)$$

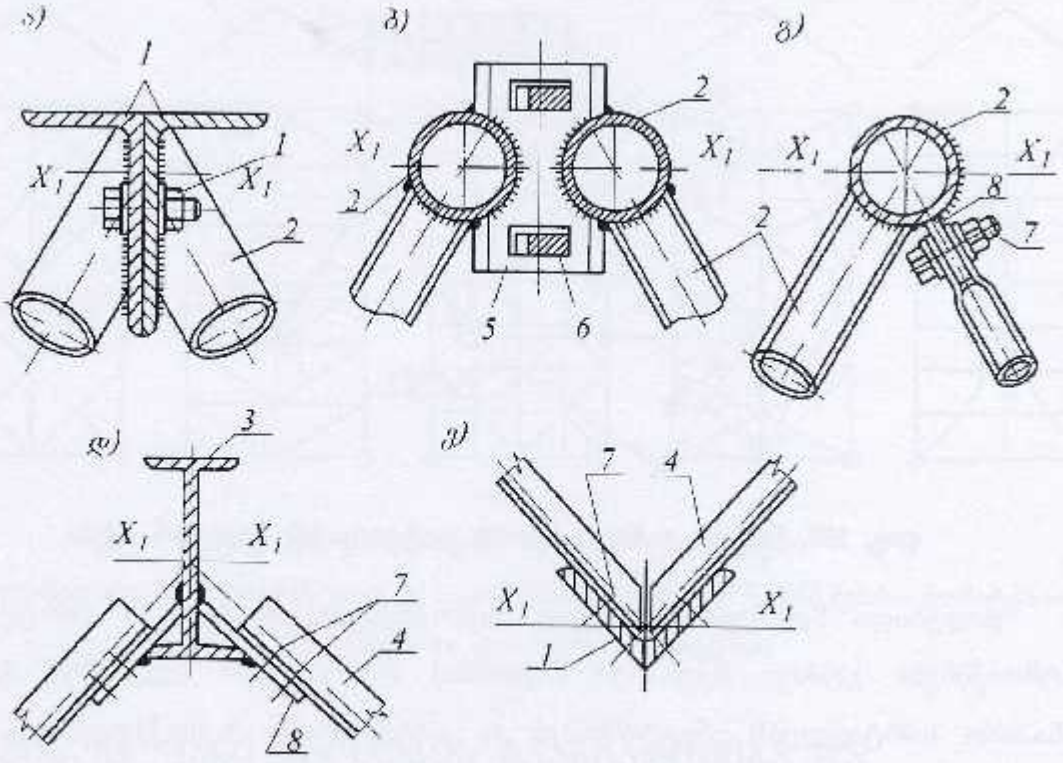
სადაც l_m არის ნაოჭის სარტყელის პანელის სიგრძე.

ნივნივქვეშა წამწის გაანგარიშება, ნაოჭის ტალღის საყრდენი რეაქციის სიდიდის ტოლი შეყურსული ძალებით დატვირთული, ნივნივა წამწის გაანგარიშების ანალოგიურია.



ფიგ. 170. ნაოჭების განივი კვეთის ვარიანტები

ა – ცალკეული კუთხედისგან შედგენილი დამოუკიდებელი ბრტყელი წამწეებით;
ბ – იგივე, მილოვანი სარტყელებით; გ – შეთავსებული მილოვანი სარტყელებით;
დ – იგივე, ორტესებრი პროფილების სარტყელებით;



ფიგ. 171. გისოსოვანი ნაოჭების საკვანძო შეერთებები

ა – შეწყვილებულ კუთხედებიანი სარტყელებით; *ბ* – იგივე, მილებით; *გ* – შეთავსებული მილოვანი სარტყელით; *დ* – ორტესებრი სარტყელით; *ე* – იგივე, ცალმაგი კუთხედით; *1* – სარტყელის კუთხედი; *2* – მილი; *3* – ორტესებრი; *4* – გისოსის კუთხედი; *5* – საკეტი მოწყობილობა; *6* – სოლი; *7* – მუშა ჭანჭიკები; *8* – ფასონური;

18 მ-მდე მალის მქონე ნაოჭებს აგებენ სრული ქარხნული დამზადების ბრტყელი გისოსოვანი წამწეებისაგან. დიდი მალების შემთხვევაში ნაოჭებს, წამწეების მსგავსად, აწყობენ ორი ნახევარწამწისაგან მალის სიგრძის გასწვრივ. მონტაჟის პირობიდან გამომდინარე, ნაოჭების სარტყელებს აპროექტებენ უპირატესად შეწყვილებული კუთხედების ან მილებისაგან, იშვიათად ცალკეული (ერთეული) მილოვანი ან ორტესებრი კვეთის სახით (ფიგ. 170).

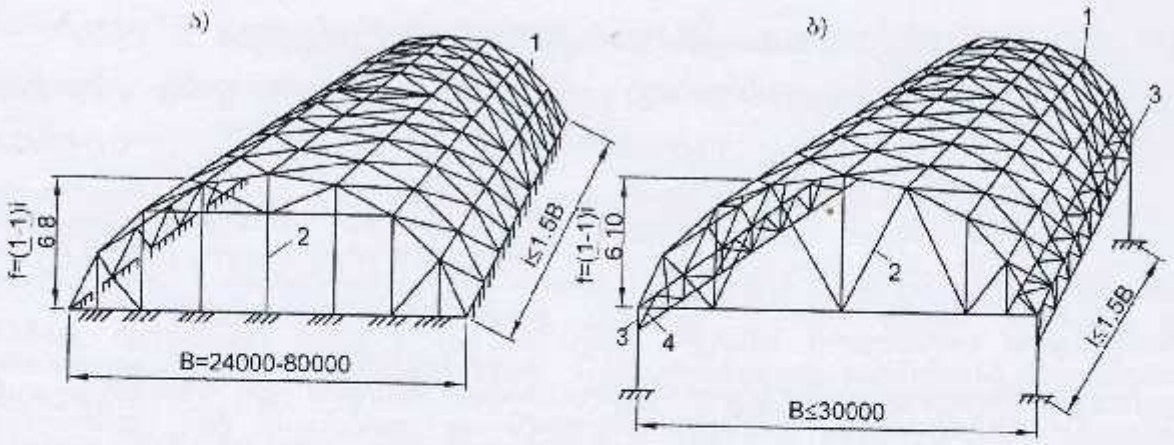
შეწყვილებულ ელემენტებს სარტყელის სიგრძეზე აუღლებენ ჭანჭიკებით (ფიგ. 171, ა) ან ფოლადის სოლებით (ფიგ. 171, ბ), რომლებიც აფერხებენენ ამ ელემენტების ერთმანეთის მიმართ გადანაცვლებას. ცალკეული ელემენტის სახით დაპროექტებული სარტყელის შემთხვევაში, ნაოჭის ელემენტებს ერთმანეთთან ამაგრებენ მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებით, სარტყელზე მიდუღებული დახრილი ფურცლების (ირიბნების) დახმარებით (ფიგ. 171, გ, დ, ე).

თავი 11. ბადისებრი კამარები

11.1. ბადისებრი კამარების სტატიკური და კონსტრუქციული სქემები

ამ ტიპის კონსტრუქციებს განეკუთვნება ერთსარტყელიანი (ერთბადიანი) ცილინდრული გარსები და ორსარტყელიანი კამარები (ფიგ. 172, ა, ბ). ერთბადიან გარსს, რომლის შუა ზედაპირი მიიღება წრფის ნებისმიერ მრუდწირულ მიმმართველზე სრიალით, ეწოდება ცილინდრული გარსი. მრუდწირული მიმმართველის სახეობიდან გამომდინარე, განასხვავებენ წრიულ, პარაბოლურ, ელიფსურ და სხვა ტიპის ცილინდრულ გარსებს, რომელთა შორის ყველაზე მეტად გავრცელებულია წრიული ცილინდრული მოხაზულობის გარსი.

კედლებზე ან საძირკველზე დაყრდნობილი ერთსარტყელიანი ცილინდრული კამარის ძირითადი ელემენტებია ბადისებრი გარსი და გისოსოვანი ტორსული დიაფრაგმები (ფიგ. 172, ა). ოთხ სვეტზე კუთხეებით დაყრდნობილ ცილინდრულ გარსში მალის გასწვრივ დამატებულია ვერტიკალური და ჰორიზონტალური გისოსოვანი გვერდული (ბორტის) ელემენტები (ფიგ. 172, ბ), რომლებიც ზრდიან გარსის სიხისტეს.

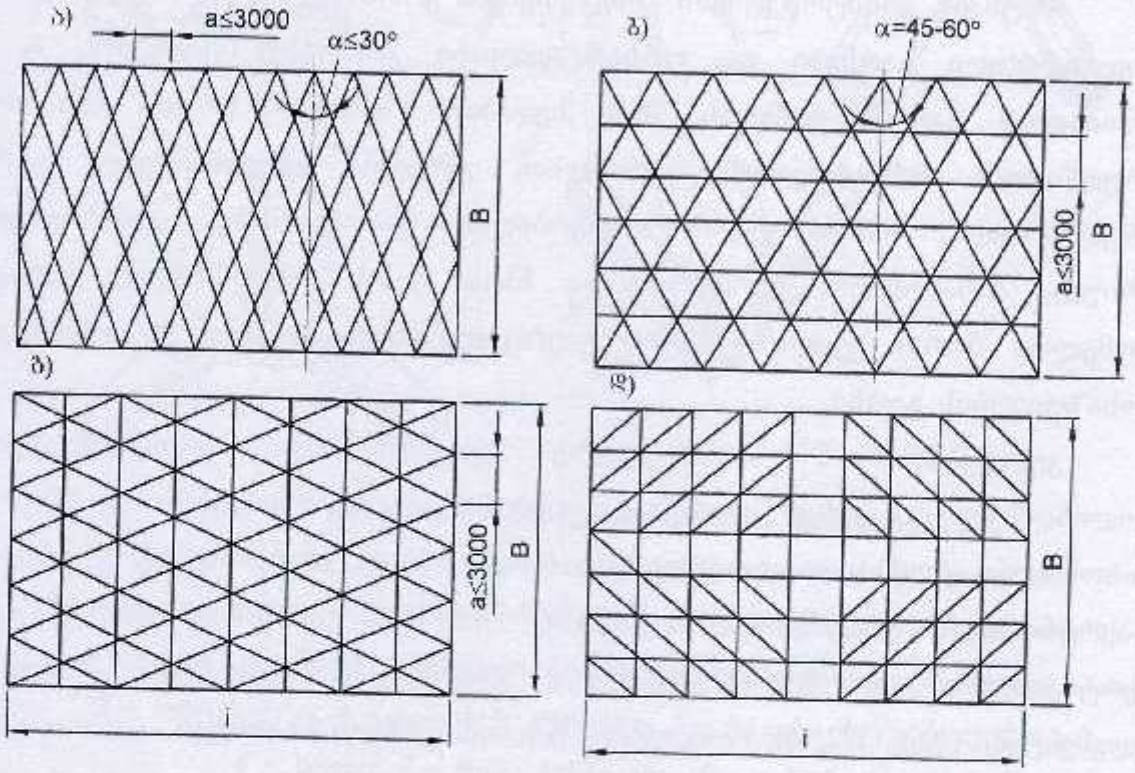


ფიგ.172. ერთსარტყელიანი ბადისებრი გარსების ძირითადი ფორმები

ა – ცილინდრული კამარა; *ბ* – ცილინდრული გარსი; *1* – ბადისებრი გარსი; *2* – გისოსოვანი დიაფრაგმა; *3* – ვერტიკალური გვერდული (ბორტის) ელემენტი; *4* – იგივე, ჰორიზონტალური;

ერთსარტყელიანი ბადისებრი კამარის მალი ეწოდება მანძილს ტალღის განივი მიმართულებით, რომელიც შესაძლოა იყოს 24-80 მ, ხოლო გაზრდილი

მდგრადობისას, რომელიც მიიღწევა ფენილის გისოსთან ერთობლივ მუშაობაში ჩართვით, 100 მ-მდე. ერთსარტყელიანი ბადისებრი კამარის აწევის ოპარი ინიშნება მალის 1/6 – 1/8, ხოლო ცილინდრულ გარსებში – 1/6 – 1/10. ბადის ღეროვანი ელემენტების კვეთის სიმაღლეს ღებულობენ ტალღის b სიგანის 1/80 – 1/200.

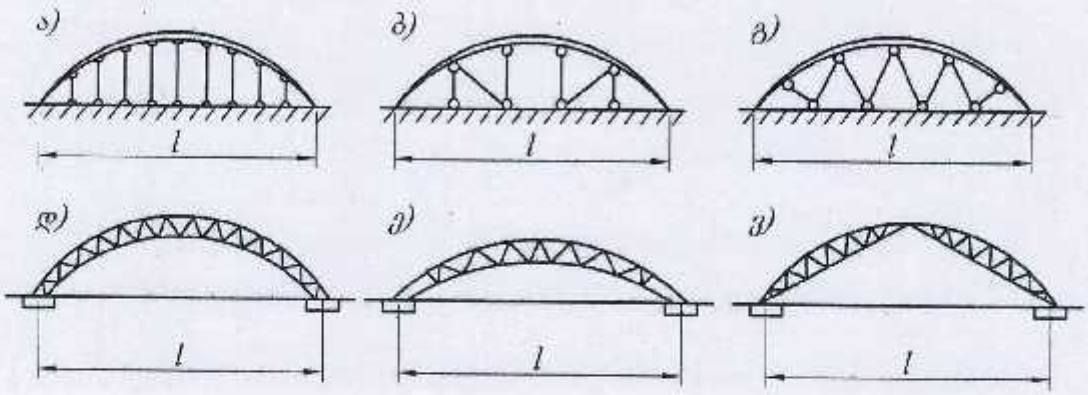


ფიგ. 173. ბადისებრი გარსების ბადეების სისტემები

ა – რომბისებრი; ბ – სამკუთხა გრძივი ღეროებით; გ – სამკუთხა განივი ღეროებით; დ – ირიბნაწილი;

ერთსარტყელიან ცილინდრულ გარსებში და კამარებში შეიძლება გამოყენებულ იქნას ბადეების სხვადასხვა სისტემები. უმარტივესია რომბისებრი (რომბული) სისტემა (ფიგ. 173, ა), რადგან თითოეულ კვანძში შედგება მხოლოდ ოთხი ღერო. თუმცა, ასეთი სისტემა ვერ უზრუნველყოფს კონსტრუქციის სიხისტეს გრძივი მიმართულებით, ამიტომ მას იყენებენ მხოლოდ ცილინდრულ კამარებში (ფიგ. 172, ა) მალით არა უმეტეს 36 მ. ერობადიან კონსტრუქციებში ქვედაზე მეტად გამოიყენება ფიგ. 173, ბ, გ-ზე გამოსახული ბადეების სისტემები. ასეთ ბადეებში, ცილინდრულ მსახველთან ღეროების დახრის კუთხე მიიღება 45 – 60°.

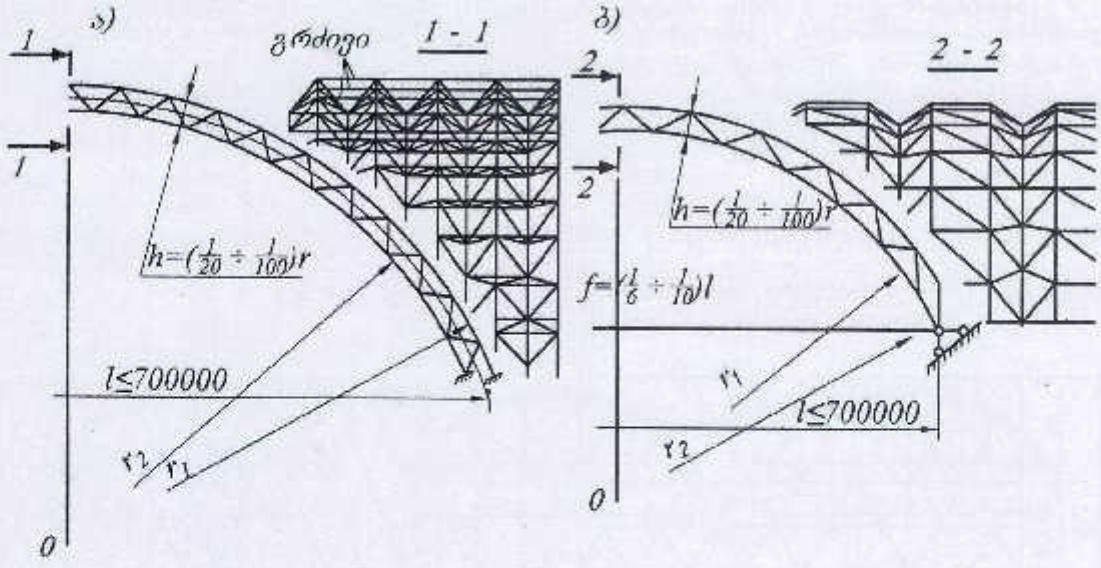
ცილინდრული გარსი შეიძლება იყოს ერთმალიანი ან მრავალმალიანი, ერთტალღიანი ან მრავალტალღიანი. პირველ შემთხვევაში მრავალმალიანი გარსის პირაპირზე ეწყობა საერთო დიაფრაგმები, ხოლო მეორე'ში – საერთო გვერდული (ბორტის) ელემენტები. ერთბადიანი გარსების საერთო მდგრადობის უზრუნველყოფა ხორციელდება ტორსული დიაფრაგმებით, რომელთა გეომეტრიული სქემები ნაჩვენებია ფიგ. 174-ზე.



ფიგ. 174. ბადისებრი გარსების ტორსული დიაფრაგმის სქემები

ეკონომიურობისა და ექსპლუატაციის მოხერხებულობის თვალსაზრისით უმეტესად გავრცელებულია დიაფრაგმები სეგმენტური წამწეების სახით (ფიგ. 174, ბ, გ). თუმცა, მათი გამოყენება მიზანშეწონილია მხოლოდ ერთმალიან გარსებსა და კამარებში. მრავალმალიან კამარებში წარმატებით გამოიყენება საძირკველზე დაყრდნობილი თაღოვანი ტიპის დიაფრაგმები (ფიგ. 174, დ-ე). ამასთან, მრავალმალიანი შენობის ტორსებზე ტოვებენ დიაფრაგმებს სეგმენტური წამწეების სახით. ნაკლებად ეკონომიურია ჩარჩოვანი დიაფრაგმები (ფიგ. 174, ა), რომელთა გამოყენებასაც ასაბუთებენ ფუნქციური ან არქიტექტურული მოსაზრებებით.

ორსარტყელიანი გისოსოვანი კამარები – ორბადიანი გარსები და პრიზმული კვეთის კამარები (ფიგ. 175), ერთბადიან გარსებთან შედარებით გამოირჩევა მეტ სიხისტითა და მზიდუნარიანობით. ასეთი კონსტრუქციებით შესაძლებელია 700 მ-მდე მალების გადახურვა, თუ მათი აწევას ისრის მალასთან შეფარდება f/l = 1/6 – 1/10, ხოლო კვეთის სიმაღლის სიმრუდის საშუალო რადიუსთან შეფარდება h/r = 1/20 – 1/100.



ფიგ. 175. ორბადიანი გარსების ძირითადი ფორმები

ა – რეგულარული ნაოჭოვანი; ბ – პრიზმული;

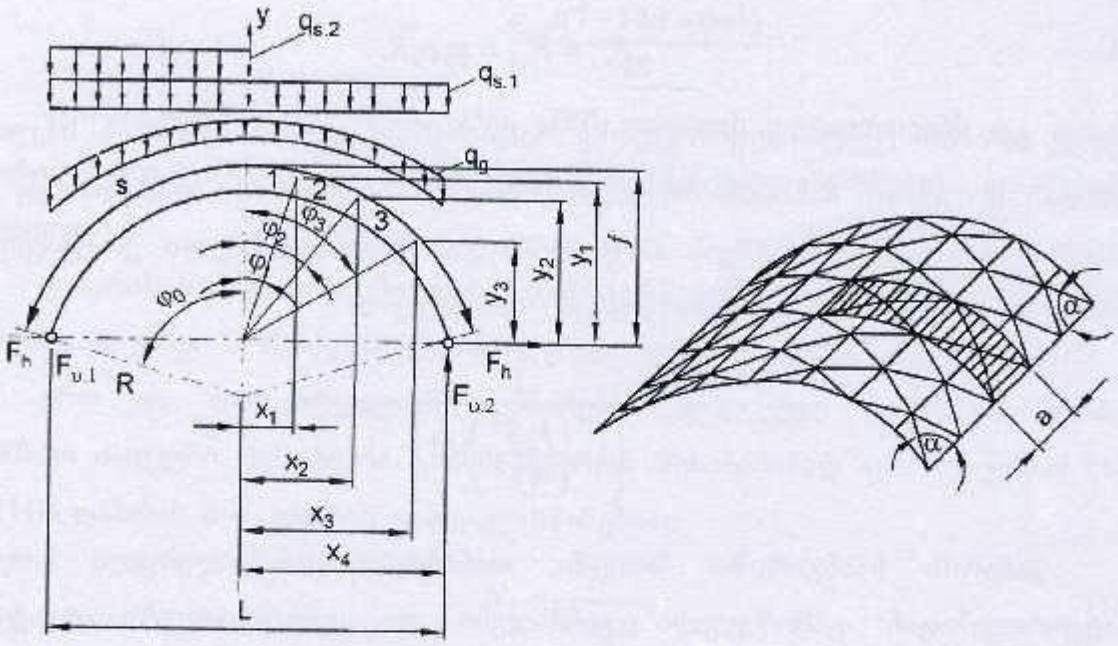
ორბადიანი გარსი (ფიგ. 175, ა) შედგება ჯვარედინა წამწეებისა და ორი ან სამი მიმაროებულების თაღების სისტემისაგან. ძირითად მუშა ფუნქციას ასრულებს განივი გასოსოვანი თაღები, რომლებიც საძირკველს გადასცემენ დატვირთვისგან გამოწვეულ ძირითად ძალვებს, ხოლო გრძივი სწორხაზოვანი წამწეები ხელს უწყობენ ძალვების გადანაწილებას განივ თაღებს შორის და მნიშვნელოვნად ზრდიან ორბადიანი გარსის სიხისტეს.

სამკუთხა ან პრიზმული განივი კვეთის ორსარტყლიანი კამარები, თავიანთი სტატიკური და კონსტრუქციული სქემებით, ახლოს არიან გასოსოვან ორსახსრიან თაღებთან. ორსარტყლიანი გასოსოვანი კამარები ასევე ტორსებით ეყრდნობა ხისტ დიაფრაგმებს, რომლებადაც შესაძლოა გამოყენებულ იქნას მთლიანი კედლები, სეგმენტური წამწეები და სხვა კონსტრუქციები. ბადისებრი კამარების ოპტიმალურ გადაწყვეტას ღებულობენ l/B=1 თანაფარდობის დროს. თუმცა, შენობებისა და ნაგებობის დაპროექტებისას დასაშვებია ამ თანაფარდობის 1.5 –მდე გაზრდა.

11.2. ბადისებრი კამარების გაანგარიშება და კონსტრუირება

გრძივი კიდეებით კედლებზე ან საძირკველზე, ხოლო ტორსებით ხისტ დიაფრაგმებზე დაყრდნობილი ბადისებრი ცილინდრული გარსის

მიახლოებითი გაანგარიშება ხდება, როგორც ორსახსრიანი თაღის, რომლის საანგარიშო სიგანე კამარის უჯრედის a ზომის ტოლია (ფიგ. 176).



ფიგ. 176. ბადისებრი გარსების გაანგარიშებისათვის

კამარის გეომეტრიული პარამეტრები, მოცემული მალისა და f აწეულობის ისრისას, განისაზღვრება ფორმულებით:

$$R = (l^2 + 4f^2)8f, \tag{127}$$

$$\varphi_0 = Arc\sin\left(\frac{l}{2R}\right), \tag{128}$$

$$S = \pi R\left(\frac{\varphi_0}{90}\right), \tag{129}$$

სადაც R არის კამარის სიმრუდის რადიუსი; φ_0 – ცენტრალური კუთხე კეხიდან კამარის საყრდენამდე; S – კამარის რკალის სიგრძე.

პანელების n რაოდენობის შემთხვევაში, კამარის ღერძის გადატეხის წერტილების კოორდინატები სიგრძის ნახევარზე ტოლია:

$$x_n = R\sin\varphi_n; \tag{130}$$

$$y_n = f - R(1 - \cos\varphi_n). \tag{131}$$

კამარის საანგარიშო ხოლში, მუდმივი საანგარიშო დატვირთვისაგან გამოწვეული განმბჯენი და ვერტიკალური რეაქციები შესაბამისად შეიძლება გამოსახულ იქნას შემდეგნაირად:

$$F_{h,2} = \frac{\left[\left(\frac{\varphi_0 l}{2}\right) - R(1-\cos\varphi_0)\right] q_g R k_c}{f}, \tag{132}$$

$$F_{v,1} = F_{v,2} = q_g \varphi_0 R. \tag{133}$$

სადაც φ_0 არის ცენტრალური კუთხე რადიანებში; $q_g = ga$ –კამარის საკუთარი მასიდან და ჭერის მასიდან მიღებული წრფივი საანგარიშო დატვირთვა; k_{co} – კამარის დრეკადი მოკუმშვის (მოჭიმვის) გამთვალისწინებელი კოეფიციენტი, რომელიც მიახლოებით განისაზღვრება ფორმულით

$$k_{co} = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{k_g S^2}{4f^2}\right) 10^4\right]}, \tag{134}$$

კამარის საანგარიშო ზოლში, თანაბრად განაწილებული თოვლის დატვირთვისაგან გამოწვეული განმბჯენი და ვერტიკალური რეაქციები შესაბამისად იქნება:

$$F_{h,s,1} = \frac{q_{s,1} l^2 k_c (1 - 5\alpha^2 + 5\alpha^4)}{8f}, \tag{135}$$

$$F_{v,1,s,1} = F_{v,2,s,1} = \frac{q_{s,1}(1-2\alpha)}{2}, \tag{136}$$

სადაც $\alpha = a/l$, კამარებისათვის, თუ $\varphi_0 \le 50^0$, $\alpha = 0$.

ცხრილი 34

k_c, S და φ_0 მნიშვნელობები (რადიანებში) f/l დამოკიდებულებიდან გამომდინარე

f/l	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	1/10
S	1.57 l	1.28 l	1.16 l	1,10 l	1,07 l	1,05 l	1,04 l	1,03 l	1,02 l
k_c	1	1.2628	1.4488	1.5747	1.6533	1,7073	1.742	1.7681	1.7873
φ_0	1.57	1.176	0.927	0.761	0.643	0.557	0.49	0.437	0.395

კამარის საანგარიშო ზოლში, სამკუთხა სქემის მიხედვით მოდებული თოვლის დატვირთვისაგან გამოწვეულ განმბჯენსა და ვერტიკალურ რეაქციებს პოულობენ ფორმულებით:

$$F_{h,v,2} = \frac{0.0342 q_{s,2} l^2 k_{co} (1 - 2\alpha + 8\alpha^2)}{f}, \tag{137}$$

$$F_{v,1s,2} = \frac{q_{s,2} l (11 - 26\alpha + 8\alpha^2)}{48}, \tag{138}$$

$$F_{v,2s,2} = \frac{q_{s,2} l (7 - 10\alpha + 8\alpha^2)}{48}. \tag{139}$$

ფორმულებში (135), (136), (138), (139) თოვლის დატვირთვებს $q_{s,1}$ და $q_{s,2}$, კამარის საანგარიშო ზოლისთვის, იღებენ სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით.

კამარის საანგარიშო ზოლის ნებისმიერ კვეთში, ნორმალური და გახივი ძალების მდუნავი მომენტები განისაზღვრება ფორმულებით (113), (114), (115).

ერთ და ორსარტყელიანი კამარების ცალკეულ ლეროებში გრძივი მკუმშავი ძალვები შესაძლოა განისაზღვროს შესაბამისად ფორმულებით (140) და (141) დახრის α-ს კუთხის გათვალისწინებით:

$$N_1 = \frac{N}{2\sin\alpha}, \tag{140}$$

$$N_2 = \frac{\left(\frac{N}{2} \pm \frac{M}{h}\right)}{2\sin\alpha}, \tag{141}$$

სადაც h არის ორსარტყელიანი კამარის კვეთის სიმაღლე სარტყელების ღერძებში.

ბადისებრი კამარის მდგრადობის უზრუნველსაყოფად აუცილებელია (121)-ე პირობის შესრულება, ამასთან კრიტიკული ძალა კამარაში მიახლოებით შეადგენს

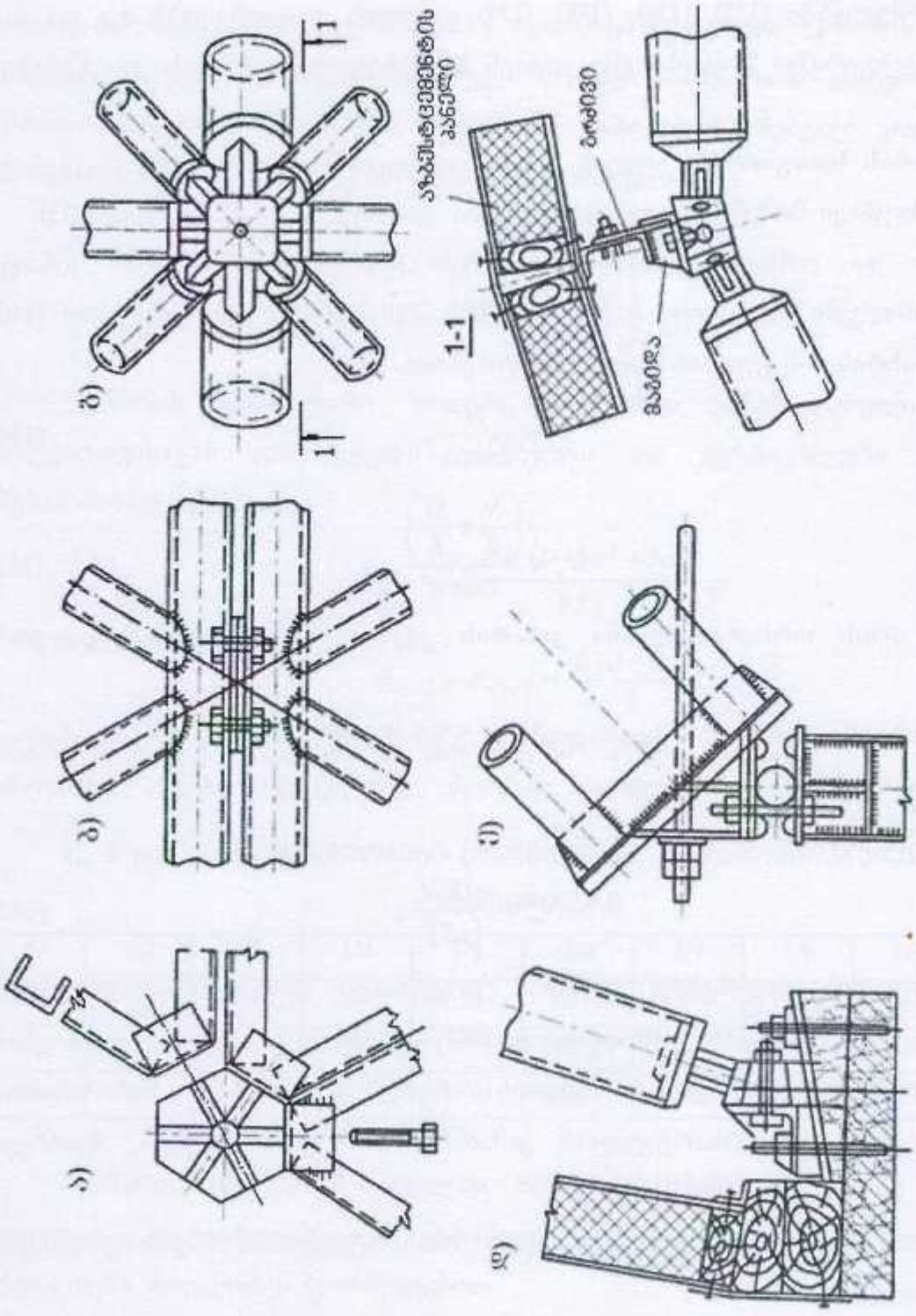
$$N_{cr} = \frac{\pi^2 E_0 J_x}{(\mu S)^2}, \tag{142}$$

სადაც E_0 არის ბადისებრი კამარის დაყვანილი დრეკადობის მოდული, რომელიც განისაზღვრება ფორმულებით (143) და (144); J_x –წყვილი ღეროების ან ღეროთა ჯგუფის განივი კვეთის ინერციის მომენტი შესაბამისად ერთსარტყელიან ან ორსარტყელიან კამარაში; μ – კოეფიციენტი, შეირჩევა ცხრ. 33-ის მიხედვით.

E_0-ს მნიშვნელობა ერთ და ორსარტყელიანი კამარებისთვის შესაბამისად ტოლია:

$$E_0 = 2E, \qquad E_0 = \frac{4EA}{3ha}, \tag{143), (144}$$

სადაც E ფოლადის დრეკადობის მოდულია, რომელიც გამოიყენება კამარის ღეროების დასამზადებლად. *A* – ერთი ღეროს განივი კვეთის ფართობი.



ფიგ. 177. ცილინდრული ბადისებური გარსების კვანძები

ა – ხუთური კონსტრუქცია; ბ – ბრტყელი წამწყებისგან ასაწყობი; გ, დ – მოსკოვის არქიტექტურის ინსტიტუტის კონსტრუქციები; ე – ორსართულიანი საცეკლიანი კამარის საყრდენი ცხაბის კვანძები

ბადისებრი ცილინდრული კამარებისა და გარსების კონსტრუქციულ განსაკუთრებულობას წარმოადგენს ის, რომ ორი მეზობელი კვანძის ლეროების ღერძები არ მდებარეობს ერთ სიბრტყეში. ამ თვისების გამო ბადისებრ კამარებსა და გარსებში გამოიყენება ისეთი პროფილები (მილები, შველერები, ორტესებრი), რომელთა გრძივი ღერძის მიმართ მცირე კუთხით დაგრეხა კვეთში არ იწვევს მნიშვნელოვან ძაბვებს.

კამარებსა და გარსებს აწყობენ უპირატესად მოკლე ლეროვანი ელემენტებისაგან და სპეციალური საკვანძო დეტალებისაგან, რომლებიც ლეროვანი ელემენტების სხვადასხვა კუთხით მიმაგრების საშუალებას იძლევა. უმეტეს შემთხვევაში იყენებენ ჭანჭიკურ შეერთებებს, რომელთა მაგალითებიც ნაჩვენებია ფიგ. 177-ზე. მსოფლიო პრაქტიკაში, ბადისებრ კამარებში ფართო გამოყენება ჰპოვეს საკვანძო შეერთების სისტემებმა "ტრიოდეტიკ", იფი (იხ. ფიგ. 204) და "ოკტაპლატ" (იხ. ფიგ. 205).

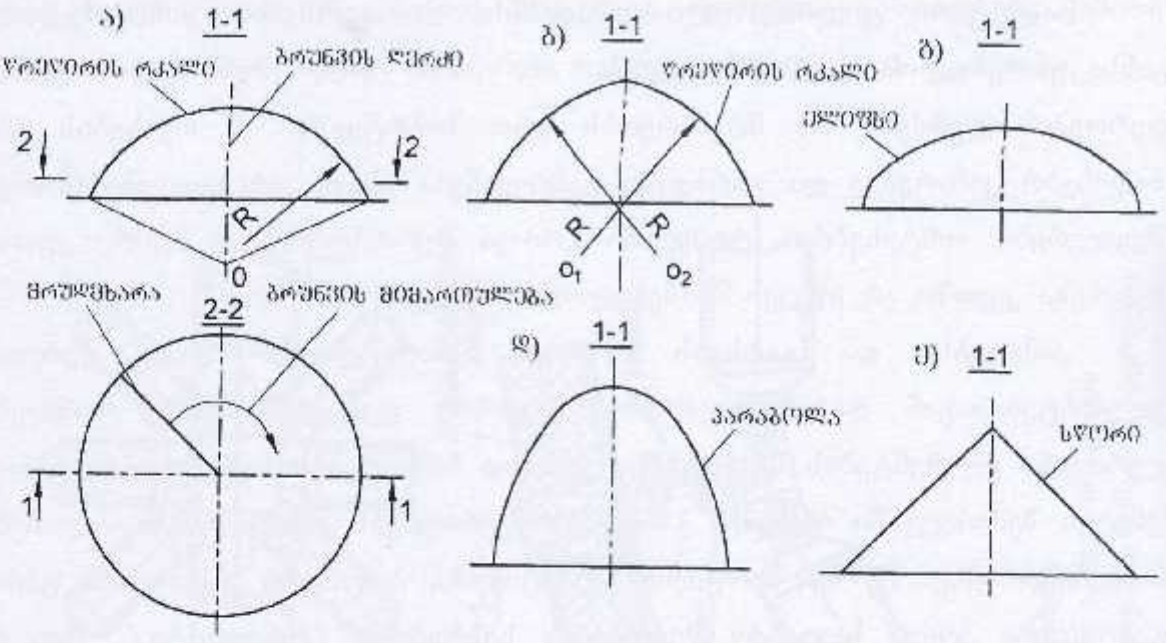
თავი 12. ორმაგი სიმრუდის გადახურვის კონსტრუქციები

12.1. გუმბათოვანი კონსტრუქციები. ძირითადი ტიპები და მათი დახასიათება

გუმბათი ეწოდება დადებითი გაუსის სიმრუდის[1] მქონე სივრცით კონსტრუქციას, რომლის ზედაპირი მიიღება ბრტყელი მრუდის ბრუნვით ვერტიკალური უძრავი ბრუნვის სწორი ღერძის გარშემო. მშენებლობის პრაქტიკაში უფრო მეტად გავრცელებულია წრიული გეგმის მქონე გუმბათები, რომლებიც მბრუნავი მრუდით შემოხაზულ ზედაპირზე დამოკიდებულებით, შეიძლება იყოს: სფერული, ისრული, ელიფსური, პარაბოლური, კონუსური (ფიგ. 178) და ა.შ.

---

[1] გაუსის სიმრუდე წარმოადგენს მთავარი სიმრუდეების ნამრავლს $1/R_1 \cdot 1/R_2$, სადაც R_1 და R_2 მოცემულ წერტილში მრუდი ზედაპირის ურთიერთპერპენდიკულარული კვეთების სიმრუდეებია. თუ სიმრუდის ცენტრები მდებარეობს ზედაპირის ერთ მხარეს, მაშინ ზედაპირს აქვს დადებითი გაუსის სიმრუდე (გუმბათი, დამრეცი გარსი). თუ ეს ცენტრები მდებარეობს ზედაპირის ორივე მხარეს, მაშინ ზედაპირს აქვს უარყოფითი გაუსის სიმრუდე (ჰიპარი). თუ ერთ-ერთი რადიუსი ტოლია უსასრულობის, მაშინ ზედაპირს აქვს ნულოვანი გაუსის სიმრუდე (ბადისებრი ცილინდრული კამარა).

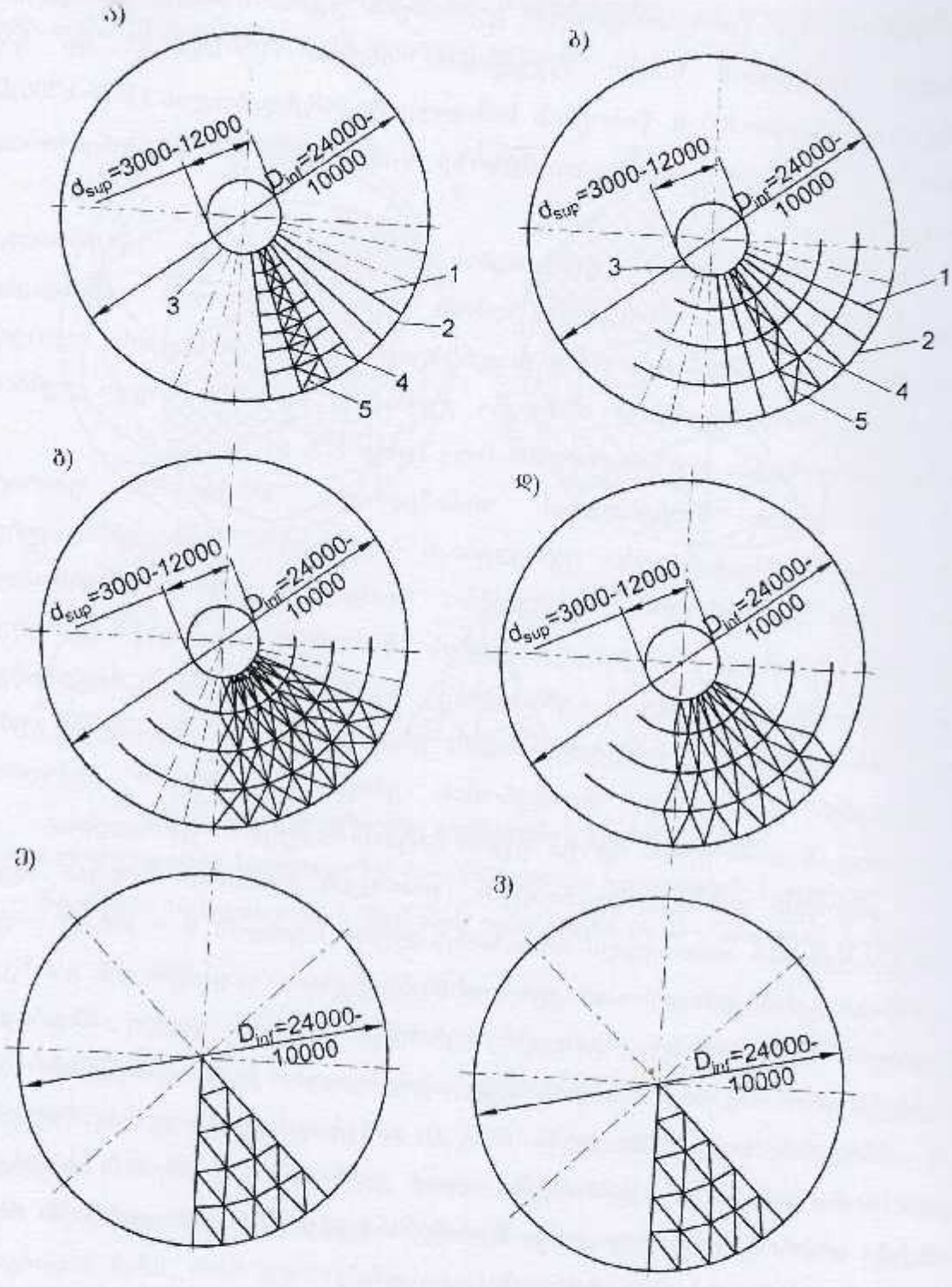


ფიგ. 178. გუმბათის სქემები

ა – სფერული; ბ – ისრული; გ – ელიფსური; დ – პარაბოლური; ე – კონუსური

კონსტრუქციული ნიშნებით გუმბათი შეიძლება იყოს წიბოვანი, წიბოვან-რგოლური და ბადისებრი. წიბოვანი გუმბათი წარმოადგენს სივრცით-თაღოვან კონსტრუქციას, რომელიც შედგენილია რადიალური მიმართულებით განლაგებული ბრტყელი მრუდხაზოვანი წიბოებისგან, რომლებიც ქვედა ნაწილში ერთმანეთთან შეერთებულია გაჭიმვაზე მომუშავე საყრდენი რგოლით, ხოლო გუმბათის წვეროში – კუმშვაზე მომუშავე ზედა რგოლით (ფიგ. 179, ა). სახურავის პანელები ლაგდება გუმბათის წიბოებთან სახსრულად შეერთებულ რგოლურ გრძივებზე.

წიბოვან-რგოლური გუმბათები წიბოვანებისაგან განსხვავდება იმით, რომ გუმბათის მუშაობაში ჩართულია რგოლური გრძივები, რომლებიც წიბოებთან ერთად ქმნის ხისტ სივრცით სისტემას (ფიგ. 179, ბ). წრიულ-რგოლურ გუმბათში რგოლური გრძივები, სახურავის პანელების დაყრდნობის გარდა, უზრუნველყოფს საერთო მდგრადობას და ამცირებს გუმბათის წიბოების საანგარიშო სიგრძეს საკუთარი სიბრტყიდან. ამ სახის გუმბათის საერთო სიხისტისათვის აწყობენ კავშირების მინიმუმ ოთხ პანელს, რომლებიც წარმოადგენს ორი მეზობელი წიბოსგან შედგენილ სექტორებს, რომლებიც თავის მხრივ ერთმანეთთან შეერთებულია ჯვარედინა კავშირებითა და განმბჯენი-გრძივებით.



ფიგ. 179. დეროვანი გუმბათების ძირითადი სისტემები

ა – წიბოვანი; ბ – წიბოვან-რგოლური; გ – ბადისებრი (შვედლერის სისტემა); დ – გარსკვლავისებრი (ფიოპლის სისტემა); ე – ბადისებრი (ჩვიტის სისტემა); ვ – ბადისებრი, რომბული ბადის საფუძველზე; *1* – მერიდიანული წიბო; *2* – საყრდენი რგოლი; *3* – ზედა რგოლი; *4* – გრძივები; *5* – კავშირები;

წიბოვან და წიბოვან-რგოლურ გუმბათებს უფრო ხშირად აპროექტებენ დამრეცი სისტემების სახით აწეულობის ისრით $(1/5–1/8)D_{inf}$ და გარე დიამეტრით D_{inf} =24–100 მ. წიბოების სიმაღლე რეკომენდებულია $(1/60–1/100)D_{inf}$, ხოლო წიბოების ბიჯი გარე დიამეტრზე 6-12 მ, D_{inf} –ის მნიშვნელობიდან გამომდინარე.

წიბოვან-რგოლური გუმბათების განვითარებას წარმოადგენს შვედლერის გუმბათი, რომელიც ზემოთ აღნიშნულებისაგან განსხვავდება იმით, რომ ჯვარედინა კავშირები დაყენებულია ყოველ ოთხკუთხა უჯრედში, რის გამოც მნიშვნელოვნად იზრდება გუმბათის სიხისტე. ასეთი გუმბათის დიამეტრი შეიძლება გაიზარდოს 200 მ-დე (ფიგ. 179, გ).

გუმბათების მშენებლობის თანამედროვე პრაქტიკაში უპირატესი გამოყენება ჰყვეს სამკუთხა უჯრედებიან ბადისებრმა გუმბათებმა, აგრეთვე გუმბათების გეოდეზიურმა სისტემებმა, რომელთა ღეროები წარმოადგენს სფეროში ჩახაზულ მრავალკუთხედების წიბოებს. სამკუთხა უჯრედებიან ბადეებზე დაფუძნებული გუმბათების აგების პრინციპი მდგომარეობს გუმბათის ზედაპირზე ბრტყელი ბადის დაპროექტებაში. ამისათვის გუმბათს ანაწევრებენ გარკვეული რაოდენობის ერთნაირ სიცრცით სექტორებად, რომელთაგან თითოეული იყოფა უფრო პატარა სამკუთხა უჯრედებად.

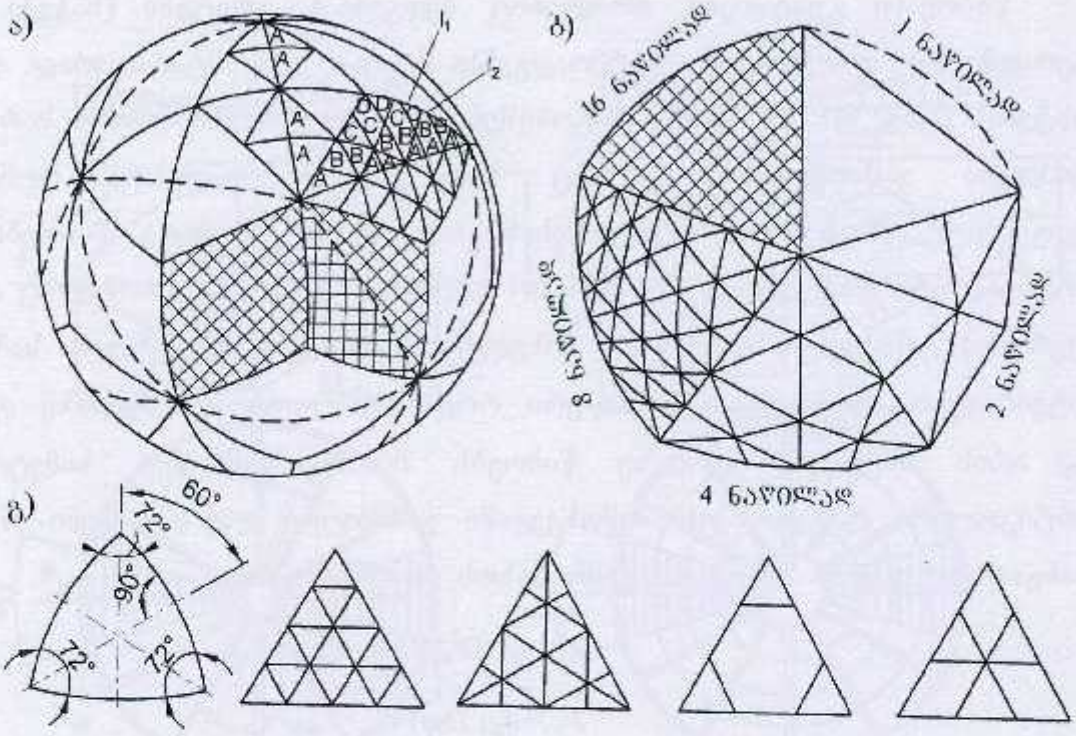
დაყოფის ვარსკვლავა სისტემა (ფიობალის გუმბათი) მიიღება შვედლერის სისტემიდან თითოეული ჰორიზონტალური რგოლის $0 = \pi/n$ (n – გუმბათის წახნაგების რაოდენობა) კუთხით მობრუნებით (ფიგ. 179, დ). ვარსკვლავა დაყოფის შემთხვევაში რგოლის ღეროების გარდა ყველა სხვა ღეროს აძლევენ ერთნაირ სიგრძეს, რის შედეგადაც ვიღებთ ჩებიშევის წესიერ ბადეს.

ჩიტას სისტემაში (ფიგ. 179, ე) იარუსის ყველა კვანძი მდებარეობს ერთ ჰორიზონტალურ სიბრტყეში, რაც გუმბათის დაყოფისას საშუალებას იძლევა დაპროექტდეს რგოლებს შორის მანძილები, არ ერთ იარუსში რგოლის ელემენტების სიგრძეები, ერთნაირი სიდიდის.

მერიდიანული მიმართულებით განლაგებული ღეროების სიგრძეების ტოლობით გამოირჩევა ფიგ. 179, ვ-ზე გამოსახული რომბული ბადე, რომელიც აგებულია ჩებიშევის წესიერი ბადის საფუძველზე.

ერთი ტიპის ღეროვანი და საკვანძო ელემენტების მისადებად ყველაზე მიზანშეწონილია დოდეკაედრისა (რ. ბ. ფულერის დაყოფა: ფიგ. 180, ა) და

იკოსაედრის სფერული ბადეების საფუძველზე აგებული გეოდეზიური გუმბათები (მ. ს. ტუპოლევის დაყოფა; ფიგ. 180, ბ).



ფიგ. 180. გეოდეზიური გუმბათების აგების სქემები

ა – დოდეკაედრის საფუძველზე; ბ – წაკვეთილი იკოსაედრის საფუძველზე;
გ – სფერული სამკუთხედების შევსების ვარიანტები (A–D – დაყოფის ტიპები);

სფერული სამკუთხედების პატარა უჯრედებად დაყოფით შეიძლება მიღებულ იქნას სამკუთხა, ხუთკუთხა, ექვსკუთხა და რომბული სახის ბადეები, რაც ბადისებრ გუმბათებს ანიჭებს საინტერესო არქიტექტურულ ფორმებს (ფიგ. 180, გ). ერთსართულიან ბადისებრ გუმბათებს აპროექტებენ 150 მ-დე დიამეტრით, ხოლო ორსართულიანებს, $(1/100–1/150)D_{inf}$ კვეთის შემთხვევაში, 600 მ-დე. გეოდეზიური გუმბათების ორი სქემის შედარებიდან ჩანს, რომ ღეროებისა და პანელების ტიპზომების რაოდენობის მიხედვით უფრო რაციონალურია დოდეკაედრზე დაფუძნებული სქემები.

12.2. წიბოვანი და წიბოვან-რბოლური გუმბათების გაანგარიშება

წიბოვანი გუმბათები, რომლებიც შედგებიან კლიტეში (საჭექი, კეხი) შეერთებული თაღებისგან, წარმოადგენს მრავალჯერ სტატიკურად ურკვევ სისტემას (ფიგ. 181, ა). მათი გაანგარიშება, მიახლოების საკმარისი ხარისხით, შეიძლება ვაწარმოოთ, როგორც სამსახსრიანი თაღების, რომლებიც შედგენილი არიან ორი ურთიერთსაწინააღმდეგოდ მდებარე წიბოებისაგან. ვერტიკალური დატვირთვა საანგარიშო სამსახსრიან თაღზე, რომელიც აიღება სფერული ტრაპეციის ფართობის მიხედვით, შეიძლება შეიცვალოს სამკუთხა დატვირთვით, რომლის მაქსიმალური ორდინატა გარე პერიმეტრზე $q_{g,1}=ga_{inf}$ (a_{inf} არის საყრდენ რგოლზე წიბოებს შორის მანძილი). სიმეტრიული ვერტიკალური დატვირთვის შემთხვევაში განმბჯენი და საყრდენი რეაქცია საანგარიშო თაღში შეიძლება გამოისახოს ფორმულებით:

$$F_h = q_{g,1} D^2_{inf} / 24f, \tag{145}$$

$$F_v = q_{g,1} D_{inf} / 4. \tag{146}$$

ღერძული მკუმშავი ძალვა თაღის წიბოში საყრდენი რგოლის დონეზე განისაზღვრება ფორმულით: $N = \sqrt{F_h^2 + F_v^2}$. წიბოების ხშირი განლაგების შემთხვევაში ($a_{inf} \leq 6$ მ) საანგარიშო თაღში წარმოქმნილი განმბჯენის გაცლენა შეიძლება შეიცვალოს საყრდენი რგოლის ან ზედა რგოლის სიგრძეზე მოდებული თანაბრად განაწილებული დატვირთვით, შესაბამისად F_h/a_{inf} და F_h/a_{sup}.

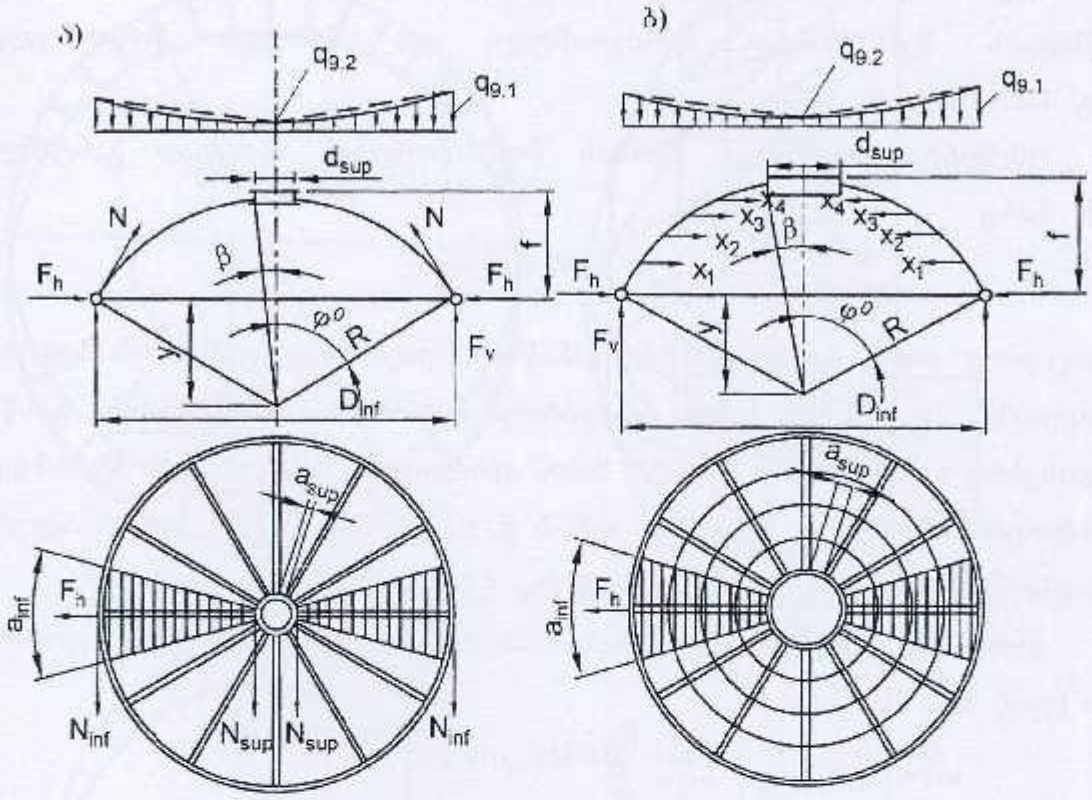
საყრდენ რგოლში გამჭიმავი და ზედა რგოლში მკუმშავი ძალვები შესაბამისად ტოლია:

$$N_{inf} = F_h D_{inf} / 2a_{inf}, \tag{147}$$

$$N_{sup} = F_h d_{sup} / 2a_{sup}. \tag{148}$$

წიბოვან-რგოლური გუმბათის გაანგარიშება ღერძსიმეტრიულ დატვირთვაზე. წიბოვანი გუმბათის გაანგარიშების ანალოგიურად, დაიყვანება პირობითი საკოჭ-რგოლებიანი ბრტყელი სამსახსრიანი თაღის გაანგარიშებაზე, რის გამოც წიბოებში მცირდება ძალვები, და შესაბამისად, მცირდება

მასალების ხარჯი (ფიგ. 181, ბ). ზედმეტი უცნობების x_1, x_2 ... გავლენა განისაზღვრება კანონიკური განტოლებების სისტემის ამოხსნით.



ფიგ. 181. გუმბათების გაანგარიშებისთვის

ა – წიბოვანი; ბ – წიბოვან-რგოლური;

რეალური დაპროექტების დროს ყველა ტიპის გუმბათი აგრეთვე გაანგარიშდება არასიმეტრიულ ქარის და თოვლის დატვირთვებზე, ვინაიდან ეს დატვირთვები გუმბათებში იწვევს სახიფათო გამჭიმავ ძალვებს რგოლური მიმართულებით და მნიშვნელოვან ადგილობრივ მღუნავ მომენტებს სისტემის წიბოებსა და რგოლებში.

12.3. ბადისებრი გარსების გაანგარიშება

ბადისებრი გუმბათების გაანგარიშებას აწარმოებენ უმომენტო თეორიის მიხედვით, რომლის გამოყენების პირობებია: გარსის დაყვანილი სისქის ცვლილების სიმდოვრე, მისი მერიდიანის სიმრუდის რადიუსის მუდმივობა, დატვირთვის ცვლილების სიმდოვრე, გუმბათის კიდეების თავისუფალი გადაადგილება რადიალური და წრიული მიმართულებით. ამ პირობებში

ღერძსიმეტრიული უწყვეტი (მთლიანი) თანაბრად განაწილებული დატვირთვის მოქმედების შემთხვევაში ბადისებრი გუმბათის დაძაბული მდგომარეობა ხასიათდება მხოლოდ ნორმალური F_1 და F_2 ძალების წარმოქმნით, რომლებიც მოქმედებს შესაბამისად მერიდიანული და წრიული მიმართულებით (ფიგ. 182, ა).

უმომენტო სფერული გარსის წონასწორობის ძირითად განტოლებას აქვს სახე

$$F_1 + F_2 - pR, \tag{149}$$

სადაც $p = g \cdot \cos\varphi$ არის თანაბრად განაწილებული წნევა გუმბათის ზედაპირის ერთეულზე; g – თანაბარი დატვირთვა გუმბათის ზედაპირის განწვრივ (ბადისებრი გუმბათის საკუთარი მასა, ფოლადით შესრულების შემთხვევაში მიახლოებით შეიძლება მიღებულ იქნას $g_m = (3–6)\, D_{inf}$ (კგ/მ²), ხოლო ალუმინის შენადნობების შემთხვევაში $g_m = (2–4)\, D_{inf}$ (კგ/მ²).

გუმბათის გეომეტრიული მახასიათებლები განისაზღვრება ფორმულებით (ფიგ. 182, ბ):

$$R = (D^2_{inf}/8f) + f/2, \tag{150}$$

$$\sin\varphi_0 = 0.5\, D_{inf}/R_\varphi, \tag{151}$$

$$S_{inf} = \pi\, D_{inf}, \tag{152}$$

სადაც S_{inf} არის საერდენი რგოლის სიგრძე.

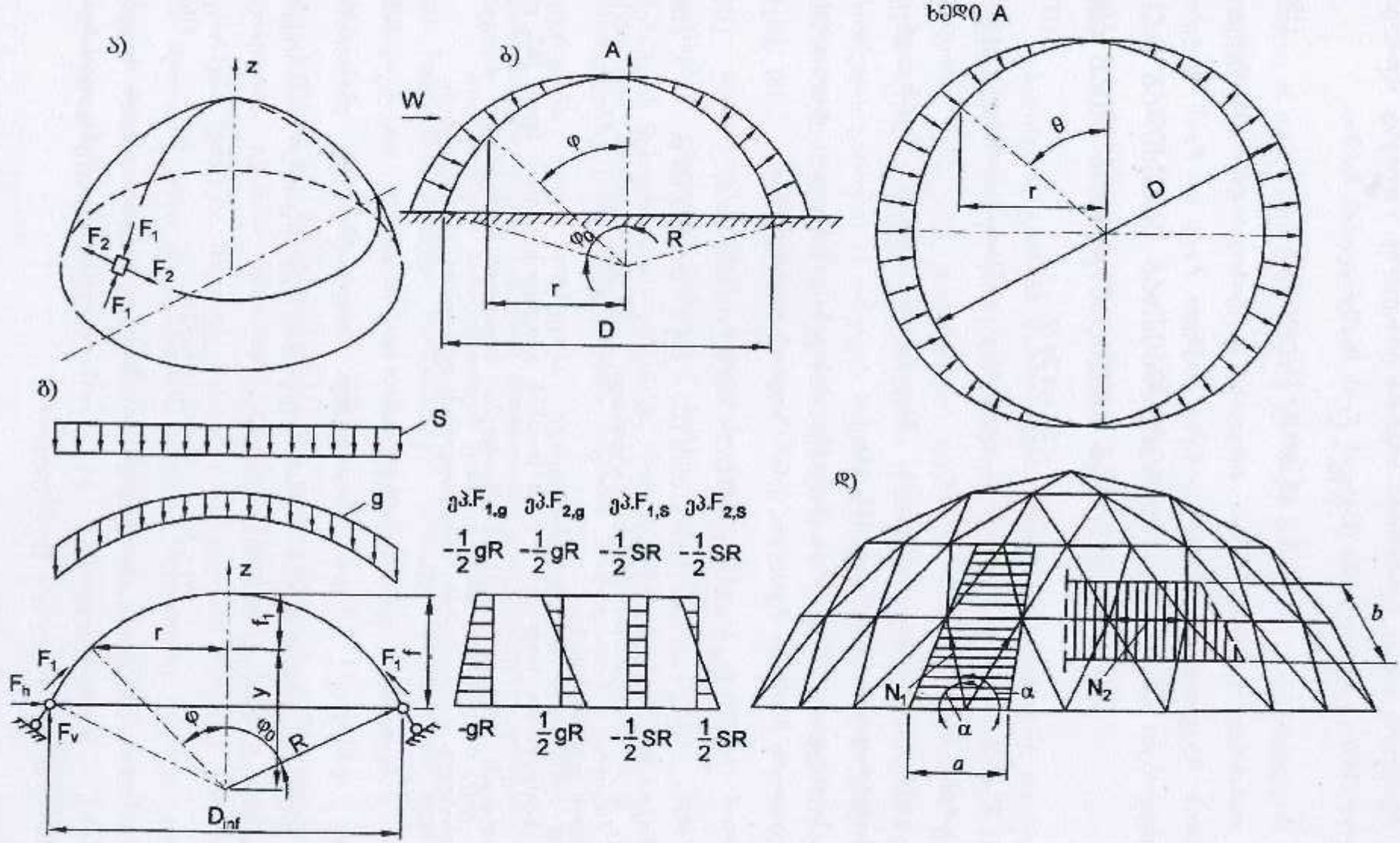
მერიდიანული ძალვა რგოლის სიგრძის ერთეულზე, რომელიც მდებარეობს სფეროს ცენტრიდან y მანძილზე გუმბათის მოკვეთილი ნაწილის ჰორიზონტალურ სიბრტყეში, შეიძლება განსაზღვროთ წონასწორობის განტოლებიდან:

$$2F_1\pi r \sin\varphi = G = - g2\pi R\,(R - y), \tag{153}$$

სადაც G არის გუმბათის მოკვეთილი ნაწილის წონა; φ – ცვლადი კუთხე გარსის მერიდიანულ კვეთში; r – პარალელის რადიუსი განსახილველი კვეთის დონეზე.

F_1 მიმართ (153)-ე განტოლების ამოხსნით მივიღებთ

$$F_1 = - gR/(1+\cos\varphi). \tag{154}$$



ფიგ. 182. ბადისებრი გარსების გაანგარიშებისთვის

რგოლური ძალვა მერიდიანის სიგრძის ერთეულზე, y დონეზე, შეიძლება მივიღოთ (149)-ე განტოლებაში (154)-დან F_1-ის მნიშვნელობის ჩასმით:

$$F_2 = -\ gR\ [\cos\varphi - 1/(1+\cos\varphi)]. \tag{155}$$

თანაბრად განაწილებული თოვლის დატვირთვისაგან გამოწვეული, გუმბათის მოკვეთილი ნაწილის დონეზე მოქმედი F_1-ის და F_2-ის ძალების მნიშვნელობები განისაზღვრება ფორმულებით:

$$F_{1,S} = -\ SR/2; \tag{156}$$

$$F_{2,S} = -\ SR\cos 2\varphi\ /2, \tag{157}$$

სადაც S არის საანგარიშო თოვლის დატვირთვა გუმბათის ჰორიზონტალური ზედაპირის 1 მ^2-ზე.

გუმბათზე ქარი მოქმედებს ზედაპირის მიმართ ნორმალურად, ირიბსიმეტრიული სქემით (ფიგ. 182, გ).

სფერულ გარსში ქარის ხემოქმედებისაგან გამოწვეული რადიალური და რგოლური ძალვები შეიძლება განისაზღვროს ფორმულებით:

$$F_{1,w} = wR\cos\varphi\sin\theta\ (2/3 - \cos\varphi + \cos^3\varphi/3)\ /\sin^3\varphi, \tag{158}$$

$$F_{2,w} = wR\sin\theta\ [\sin\varphi - \cos\varphi\ (2/3 - \cos\varphi + \cos^3\varphi/3)\ /\sin^3\varphi, \tag{159}$$

სადაც w – საანგარიშო ქარის დატვირთვა 1 მ^2 ვერტიკალურ ზედაპირზე გუმბათის ფუძის დონეზე.

საანგარიშო ზოლების a და b სიგანის გათვალისწინებით (ფიგ. 182, დ), დატვირთვის ყოველი სახისგან შეიძლება მივიღოთ საანგარიშო ძალვები მერიდიანული და რგოლური მიმართულების ღეროებში, ფორმულებით:

$$N_1 = F_1 a\ /2\cos\alpha, \tag{160}$$

$$N_2 = F_2 b. \tag{161}$$

გუმბათის მდგრადობის შესანარჩუნებლად ვერტიკალურ სიბრტყეში აუცილებელია შემდეგი პირობის შესრულება:

$$N_1 \le N_{cr}, \quad N_{cr} = E\sqrt[3]{J^2 a/2R}; \tag{162}$$

სადაც J არის გუმბათის კვეთის ინერციის მომენტი a მერიდიანული ზოლის სიგანეზე. ერთსარტყელიანი და ორსარტყელიანი გუმბათებისთვის შესაბამისად განისაზღვრება ფორმულებით:

$$J = \pi (d^4_e - d^4_i) /64, \quad (163)$$

$$J = Ah^2/2, \quad (164)$$

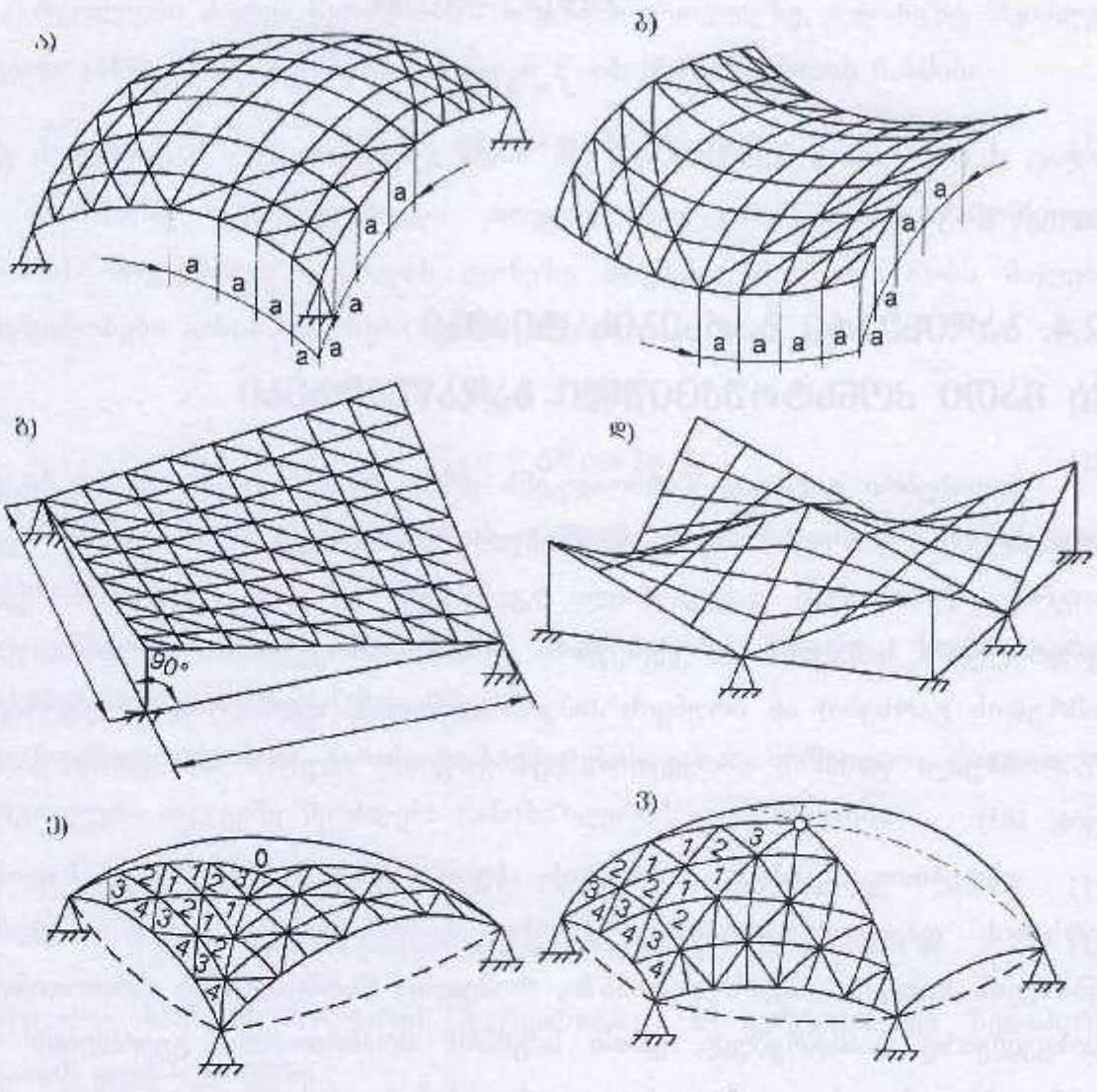
სადაც d_e და d_i არის მილის გარე და შიდა დიამეტრი; A – სარტყელის განივი კვეთის ფართობი.

12.4. ბადისებრი გარსების ტიპები და მათი კონსტრუქციული გადაწყვეტები

ბადისებრი გარსები წარმოადგენს ერთი ტიპის ღეროვანი და საკვანძო ელემენტების გამოყენებაზე დაფუძნებულ კონსტრუქციას. ბადისებრ გარსს, როგორც წესი, აქვს დაცენტრილი გეგმა და მიიღება სფეროდან, გეგმაში კვადრატული, სამკუთხა ან ექვსკუთხა ფორმის ამოკვეთით (დადებითი გაუსის სიმრუდის გარსები) ან ბრუნვის ჰიპერბოლოიდის ზედაპირიდან კვადრატული ან რომბული ფორმის ამოკვეთით (უარყოფითი გაუსის სიმრუდის გარსები) (ფიგ. 183).

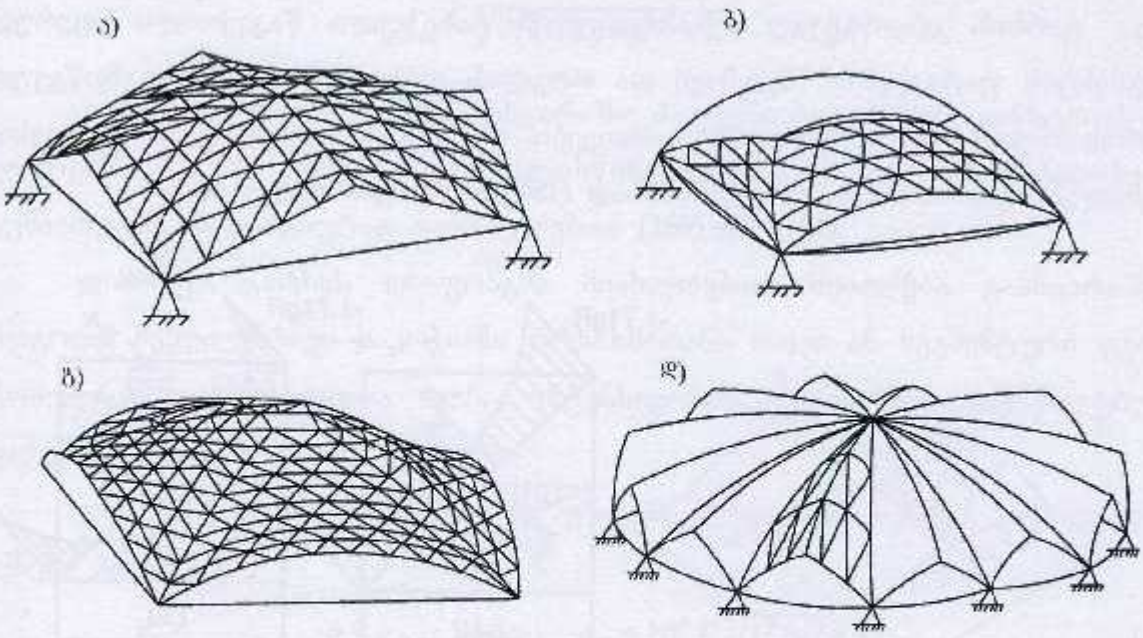
დადებითი გაუსის სიმრუდის (ფიგ. 183, ა) დამრეცი ბადისებრი გარსების დაყოფის ძირითადი ხერხი მდგომარეობს საწყის ზედაპირზე ჩებიშევის წესიერი ბადის დატანაში, რომელიც წარმოადგენს ორთოგონალურ მსახველებზე დამაგრებულ, ერთი სიგრძის მოპირდაპირე გვერდების მქონე უჯრედებს. ბადის ოთხკუთხა უჯრედების კუთხურ ზონებში ყენდება გამჭიმავი რგოლური ძალების ამთვისებელი დიაგონალური ღეროები.

ჰიპერბოლური პარაბოლოიდის სახის ბადისებრ გარსებში (ფიგ. 183, ბ-დ) ზედაპირის დაყოფა ხორციელდება მართკუთხა კონტურის გვერდების პარალელური სწორხაზოვანი მსახველებით, რაც საშუალებას იძლევა რამდენიმე ელემენტალური სექციისაგან აიგოს სხვადასხვა ფორმის გადახურვები და შენარჩუნებული იქნას ღეროვანი და საკვანძო ელემენტების ტიპურობა. გეგმაში ნებისმიერი ფორმის ბადისებრი გარსის საინტერესო ფორმები შეიძლება მივიღოთ დახრილი მსახველების მეთოდის გამოყენებით. ამ მეთოდის არსი მდგომარეობს ბრუნვით ზედაპირზე მუდმივი კუთხური ბიჯით მრუდი ხაზების დატანაში, რომლებიც არ ემთხვევა მერიდიანებსა და პარალელებს (ფიგ. 183, ე, ვ).



ფიგ. 183. ბადისებრი გარსების წარმოქმნის სქემები (1-4 – დაყოფის ტიპები)

ბრტყელი დახრილი მსახველების ბადე საშუალებას იძლევა აიგოს გარსების რთული ზედაპირები, რომლებიც შედგებიან კვადრატული ან მრავალკუთხა ცეცხის მქონე ბრუნვის პიპერბოლოიდის სამკუთხა (ფიგ. 184, ა) და ტრაპეციისებრი (ფიგ. 184, ბ) ფრაგმენტებისგან, აგრეთვე რთული გარსები სფეროს ტიპის სამკუთხა და ტრაპეციისებრი ფრაგმენტებისგან (ფიგ. 184, გ, დ). ახალი ტიპის ბადისებრი გარსები შეიძლება გამოყენებული იქნას მალების ფართო დიაპაზონში (30–150 მ). 60 მ-ზე მეტი მალების შემთხვევაში მათი სიხისტისა და მდგრადობის გასაზრდელად რეკომენდებულია გამოყენებულ იქნას გისოსის ორბადიანი სტრუქტურა, კვეთის მალთან ფარდობით 1/100–1/150.



ფიგ. 184. რთული გარსების სქემები, რომლებიც წარმოიქმნებიან დახრილი მსახველებით

12.5. დამრეცი ბადისებრი გარსების გაანგარიშება

გეგმაში კვადრატული დამრეცი სფერული გარსი, მუდმივი სიმრუდით:

$$R_x = R_y = R = (l^2/8f) + f/2, \tag{165}$$

რომელიც დატვირთულია თანაბრად განაწილებული დატვირთვით g, შეიძლება გაანგარიშებული იქნეს მიახლოებით, უმომენტო თეორიის მიხედვით, როგორც ორი მიმართულებით მომუშავე კამარა (ფიგ. 185). ამისათვის ბადისებრ გარსს ორი მიმართულებით ანაწყვრებენ 1 მ სიგანის ზოლოვან-თაღებად, რომელთა ბოლოებზე განისაზღვრება ვერტიკალური საყრდენი რეაქციები და განიმბჯენი, ფორმულებით:

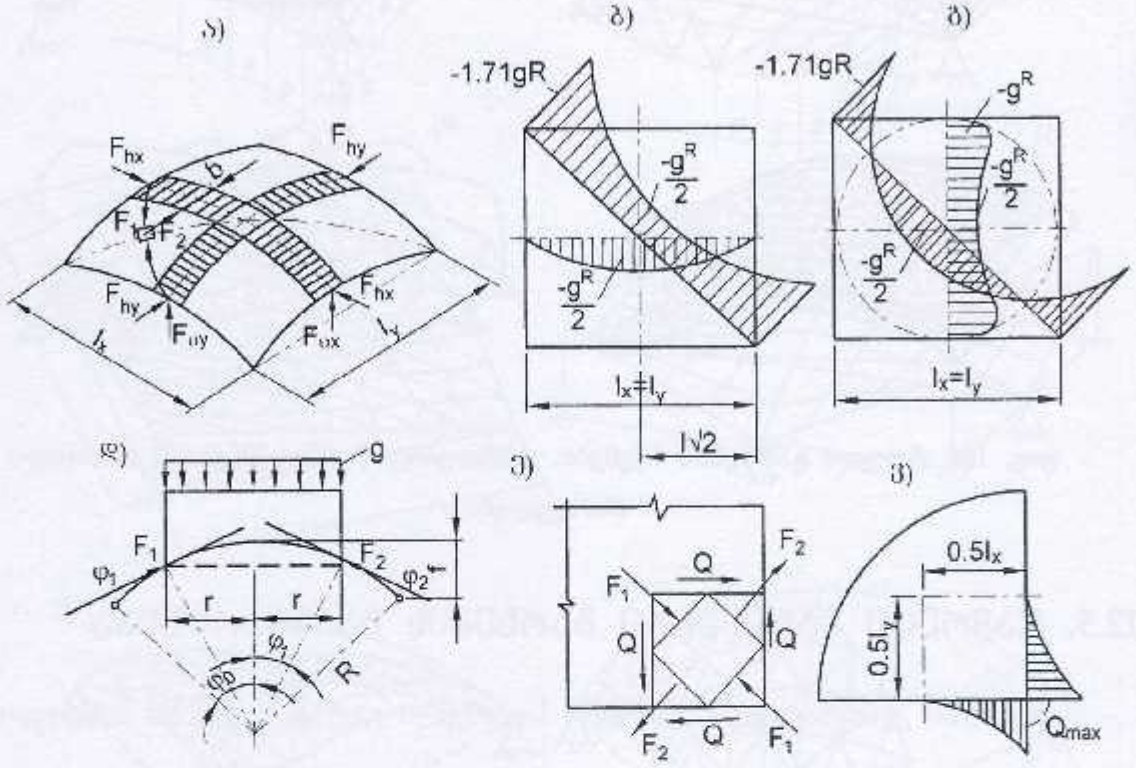
$$F_{v,x} = F_{v,y} = gl/4; \tag{166}$$

$$F_{h,x} = F_{h,y} = gl^2/16f. \tag{167}$$

თაღების ბოლოებში გრძივი მკუმშავი ძალვები

$$F_1 = \sqrt{F_v^2 + F_h^2}. \tag{168}$$

გარსის კვადრატულ მოხაზულობაში ჩახაზული, წაკვეთილი სფერული სეგმენტის ფარგლებში, მუდმივი და თოვლის დატვირთვებისგან გამოწვეული მერიდიანული და რგოლური ძალვები, ბადისებრი გარსების მსგავსად, შეიძლება განისაზღვროს შესაბამისად (154 – 157) ფორმულებით.



ფიგ. 185. ბადისებრი დამრეცი გარსის გაანგარიშებისათვის

ფიგ. 185, ბ, გ-ზე მოყვანილია გეგმაში კვადრატულ გარსში, მუდმივი თანაბრად განაწილებული დატვირთვისაგან გამოწვეული, ზუსტი მეთოდით გაანგარიშებული ძალვების ეპიურები. ამ ეპიურებიდან ჩანს, რომ დამრეც გარსში არსებობს ორღერძა კუმშვის არე, და მხოლოდ კუთხურ ზონებში, დიაგონალის ღერძის პერპენდიკულარულად, წარმოიქმნება მთავარი გამჭიმავი ძალვები მაქსიმალური მნიშვნელობით $F_2=1.71gR$ და მათ მიმართ პერპენდიკულარული მთავარი მკუმშავი ძალვები $F_1 = -1.71gR$. დამრეც გარსზე მოქმედი საერთო გარე დატვირთვა წონასწორდება კონტურის დიაფრაგმის ზედა სარტყელის გასწვრივ მოდებული ძვრის ძალების Q ვერტიკალური პროექციების ჯამით (ფიგ. 185, ე, ვ).

ნახ. 185, ბ, გ-ზე გამოსახული ეპიურების შესაბამისად, ძვრის ძალის მაქსიმალური ორდინატა წარმოიქმნება გარსის კუთხეში (ფიგ. 185, ვ) და აქვს შემდეგი სახე:

$$Q_{max} = \sqrt{2(1.71gR)^2} / \sqrt{2} = 1.71gR. \qquad (169)$$

განსახილველ კვეთში, საანგარიშო ძალვები ბადისებრი კონსტრუქციის ღეროებში, მათი ბიჯის გათვალისწინებით, განისაზღვრება ბადისებრი გუმბათების ანალოგიურად ფორმულებით (160) და (161).

დამრეცი გარსის დიაფრაგმა მიახლოებით შეიძლება გაანგარიშდეს როგორც ჩვეულებრივი საკოჭიანი ორსახსრიანი თაღი ან სეგმენტური ფერმა, რომელიც დატვირთულია $q=F_v$ ინტენსივობის თანაბრად განაწილებული დატვირთვით.

დამრეცი გარსის მდგრადობა უზრუნველყოფილი იქნება, თუ დაცული იქნება პირობა

$$g \le g_{cr}, \quad \text{სადაც} \quad g_{cr} = 10^4 E \sqrt[3]{J^2/a^2} / R^2. \qquad (170)$$

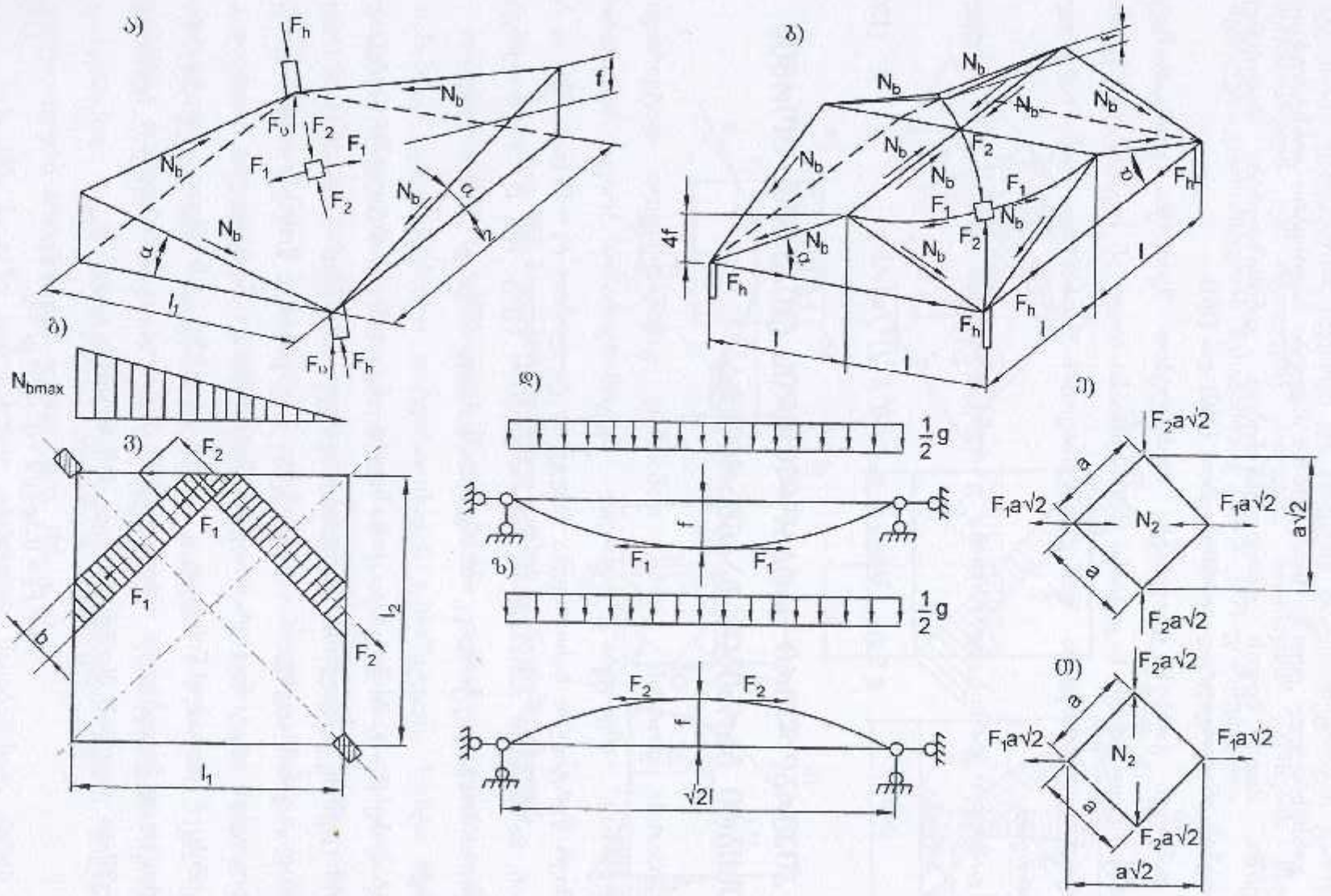
12.6. ჰიპერბოლური პარაბოლოიდის (ჰიპარის) ფორმის ბადისებრი გარსების გაანგარიშება

ჰიპარის ფორმის გარსი, თანაბრად განაწილებული დატვირთვის მოქმედებისას, იმყოფება დაძაბულ მდგომარეობაში, რაც ზედაპირის ნებისმიერ წერტილში ხასიათდება ძალვების ტოლობით $F_1 = F_2$ (ნახ. 186, ა, ბ). ამასთან, ჩაზნექილი პარაბოლის მიმართულებით (ფიგ. 186, დ) წარმოიქმნება გამჭიმავი ძალვები, ხოლო ამოზნექილის (ფიგ. 186, ე) მიმართულებით – მკუმშავი.

ბადისებრ გარსში და სახაზღვრე (კიდურ) სარტყელში დრეკადი დეფორმაციების გავლენის უგულებელყოფით, შეიძლება დავუშვათ, რომ თანაბრად განაწილებული დატვირთვა სრულად წონასწორდება ორი მიმართულების დიაგონალურ თაღებში წარმოქმნილი ნორმალური ძალებით.

იმის გათვალისწინებით, რომ გარსზე მოქმედი დატვირთვა ერთდროულად მოდებულია ორივე თაღზე, შეიძლება განისაზღვროს გამჭიმავი და მკუმშავი ძალების მნიშვნელობები 1 მ სიგანის თაღებში

$$F_1 = F_2 = 0.5g\,(\sqrt{2} \cdot l)^2 / 8f = gl^2/8f. \qquad (171)$$



ფიგ. 186. ჰიპერბოლური პარაბოლოიდის ფორმის ბადისებრი ჰარსების გაანგარიშებისათვის

ა, გ – ერთსექციანი; ბ – ოთხსექციანი; დ. თ – საანგარიშო სქემები

ჰიპერბოლური გარსები ხასიათდებიან შუდმიეი ინტენსიობის ძვრის ძალვებით, რომლებიც ტოლია $Q = F_1 = -F_2$ (ფიგ. 186, გ). მაქსიმალური მკუმშავი ძალვა ბორტის (კიდურ) ელემენტში $N_{b,max}$, მისი ჰორიზონტთან დახრის კუთხის გათვალისწინებით, წარმოიქმნება საყრდენთან, როგორც ძვრის ძალვების ჯამი ბორტის (კიდური) ელემენტის სიგრძეზე

$$N_{b,max} = Ql/\cos\alpha. \tag{172}$$

ვერტიკალური საყრდენი რეაქცია, ჰიპარის ორ საყრდენზე დაყრდნობის შემთხვევაში, განისაზღვრება ფორმულით

$$F_v = gl^2/2. \tag{173}$$

განმბჯენი, რომელიც მიმართულია ერთფურცლიანი ჰიპარის საყრდენი დიაგონალის მიმართულებით (ფიგ. 186, ა), ტოლია

$$F_h = 2N_{b,max}/\cos 45^\circ. \tag{174}$$

ოთხფურცლიან ჰიპარში საყრდენი რეაქცია და ძალვა საკოჭში შესაბამისად ტოლია:

$$F_v - 4gl^2/4 = gl^2, \tag{175}$$

$$F_h = N_{b,max}/\cos\alpha. \tag{176}$$

ოთხფურცლიან ჰიპარში საერთო ბორტის (კიდური) ელემენტი გაანგარიშდება ჯამურ მკუმშავ ძალვაზე დამწევი (შემამცირებელი) 0.85 კოეფიციენტის გათვალისწინებით, რომელიც ითვალისწინებს სასაზღვრო ეფექტს ჰიპარის ფურცლების შეუღლებისას

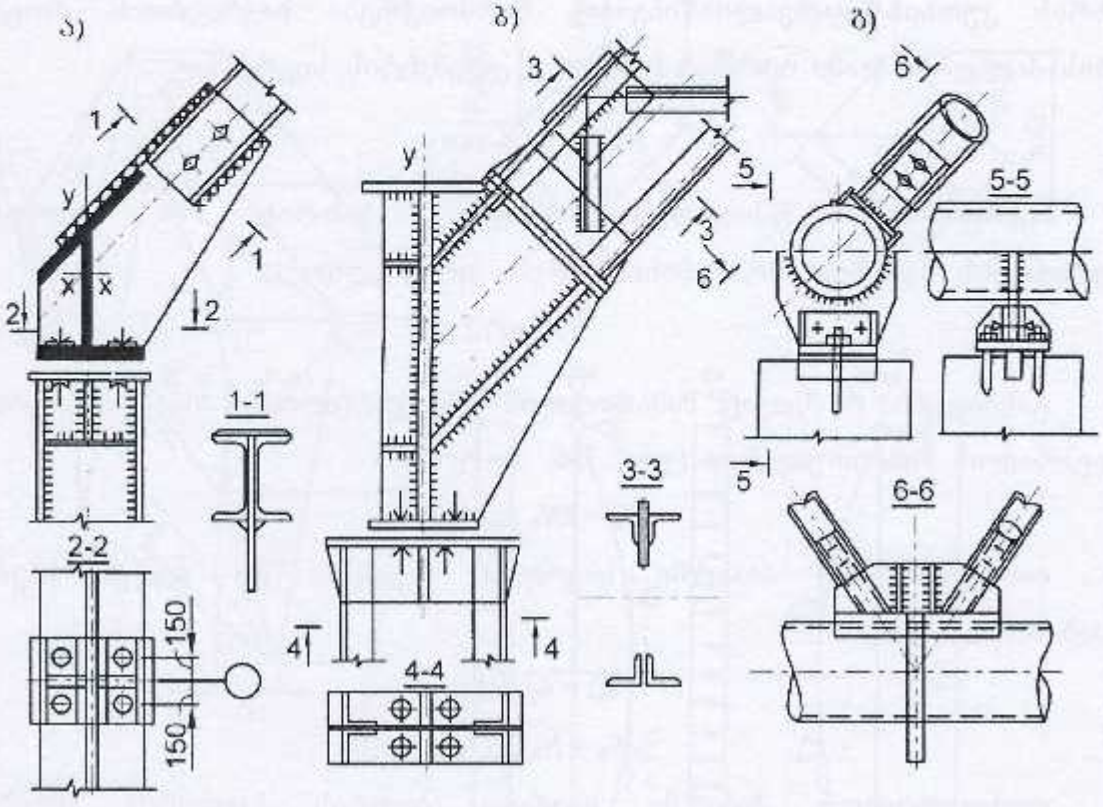
$$N = 2\,N_{b,max}\,0.85. \tag{177}$$

ძალვები გარსის ცალკეულ ორთოგონალურ და დიაგონალურ ღეროებში, მათი ბიჯის გათვალისწინებით, განისაზღვრება ნახ. 186, ვ, ზ გათვალისწინებით.

12.7. გუმბათებისა და ბადისებრი გარსების კონსტრუირება

წიბოვანი და წიბოვან-რებრული გუმბათები შედგება მთლიანი ან გამჭოლი, ბრტყელი ან სივრცითი წიბოებისაგან, რომლებიც თავისი კონსტრუქციით გვანან მთლიან ან გამჭოლ თაღებს. წიბოები (თაღები)

საყრდენი კონტურით შეუღლებულია ლითონის (ფიგ. 187) ან რკინაბეტონის საყრდენ რგოლთან, რომელიც მუშაობს ღუნვაზე ორ ურთიერთმართობ სიბრტყეში $x–x$ და $y–y$.



ფიგ. 187. გუმბათის წიბოების საყრდენ რგოლთან შეუღლების კვანძები

ა – ერთსარტყელიან წიბოვან გუმბათებში; ბ – ორსარტყელიან წიბოვან გუმბათებში; გ – ბადისებრ გუმბათებში

რგოლის სიმაღლე აიღება სვეტებს შორის მანძილის 1/10–1/15, ხოლო სიგანე – არანაკლებ კვეთის სიმაღლის 1/5. წიბოების ხშირი განლაგების (3–6 მ) შემთხვევაში, საყრდენ რგოლს გეგმაში აქვს წრეწირის ფორმა; უფრო მეჩხერი განლაგებისას – მრავალკუთხედის ფორმა. რგოლის მრავალკუთხა ფორმის შემთხვევაში გუმბათის წიბოები რგოლთან შეუღლებული არიან გადატეხის კვანძებში.

საყრდენ სვეტებს შორის შუალედებში წიბოების შეუღლება რგოლთან რეკომენდებული არ არის მნიშვნელოვანი მღუნავი მომენტების წარმოქმნისა და ფოლადის გაზრდილი ხარჯის გამო. გუმბათის წვეროში საყრდენი რგოლის ანალოგიურად აპროექტებენ ზედა შეკუმშულ რგოლს. რადიალური წიბოების შეუღლება ზედა და ქვედა რგოლებთან შეიძლება იყოს ხისტი ან სახსრული. სახსრული შეერთების შემთხვევაში ზედა რგოლის სიხისტისა და

მდგრადობის გასადიდებლად რგოლს აძლიერებენ შიდა განმბჯენებით. წიბოვან გუმბათებში გრძივებს, როგორც წესი, აპროექტებენ შველერის ტიპის ნაღუნი პროფილების სახით, რომლებიც გუმბათის წიბოებს მიემაგრება ჭანჭიკებით სახსრულად.

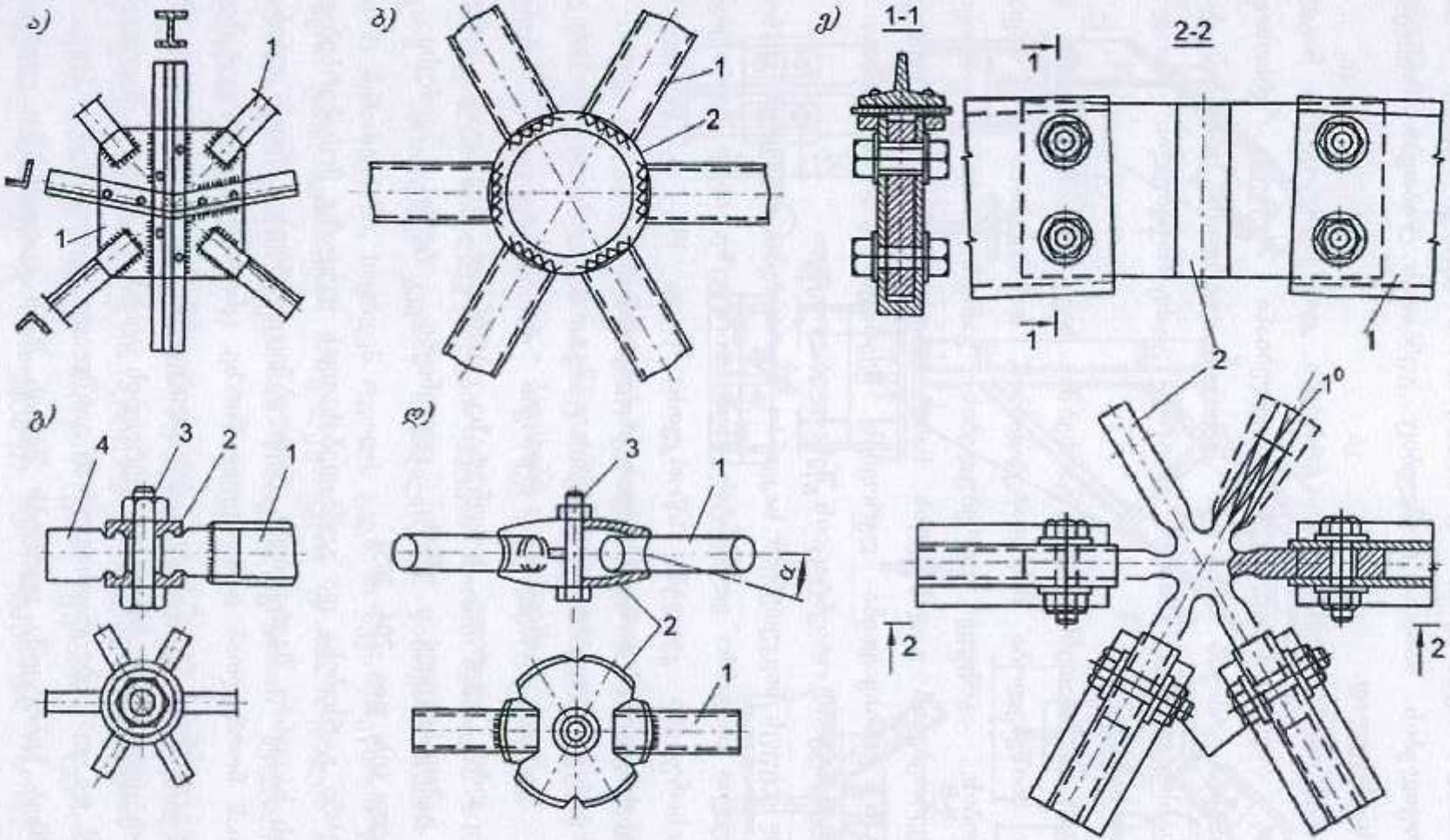
წიბოვან-რგოლურ გუმბათებში გრძივები კეთდება როგორც ნაგლინი პროფილებით, ასევე პარალელურსარტყელებიანი მსუბუქი გისოსოვანი წამწეების სახის. გრძივის ჩამაგრება კოჭოვანი უჯრედის კვანძების ტიპის მიხედვით სახსრული ან ხისტია, მაგრამ გაანგარიშებულია რგოლური ძალვების ათვისებაზე.

ბადისებრ გუმბათებსა და გარსებში საკვანძო შეერთებას აქვს გადამწყვეტი მნიშვნელობა მასალატევადობის, დამზადებისა და აწყობის შრომატევადობის, აგრეთვე ღირებულების განსაზღვრისას. გამოიყოფა საკვანძო შეერთებების გადაწყვეტის სამი ძირითადი ჯგუფი, რომლებიც ერთმანეთისგან განსხვავდება ღეროების შეერთების პრინციპებითა და ღეროვანი ელემენტების ორიენტაციის შესაძლებლობებით.

პირველ ჯგუფს მიეკუთვნება საკვანძო შეერთებები, რომელთა ღეროები ორიენტირებულია საკვანძო ელემენტის მხებ სიბრტყეზე. ასეთ შეერთებებში საკვანძო ფასონურები კეთდება სწორკუთხა (ფიგ. 188, ა), წრიული ან ნებისმიერი სხვა ფორმის დაშტამპული ფურცლებისაგან.

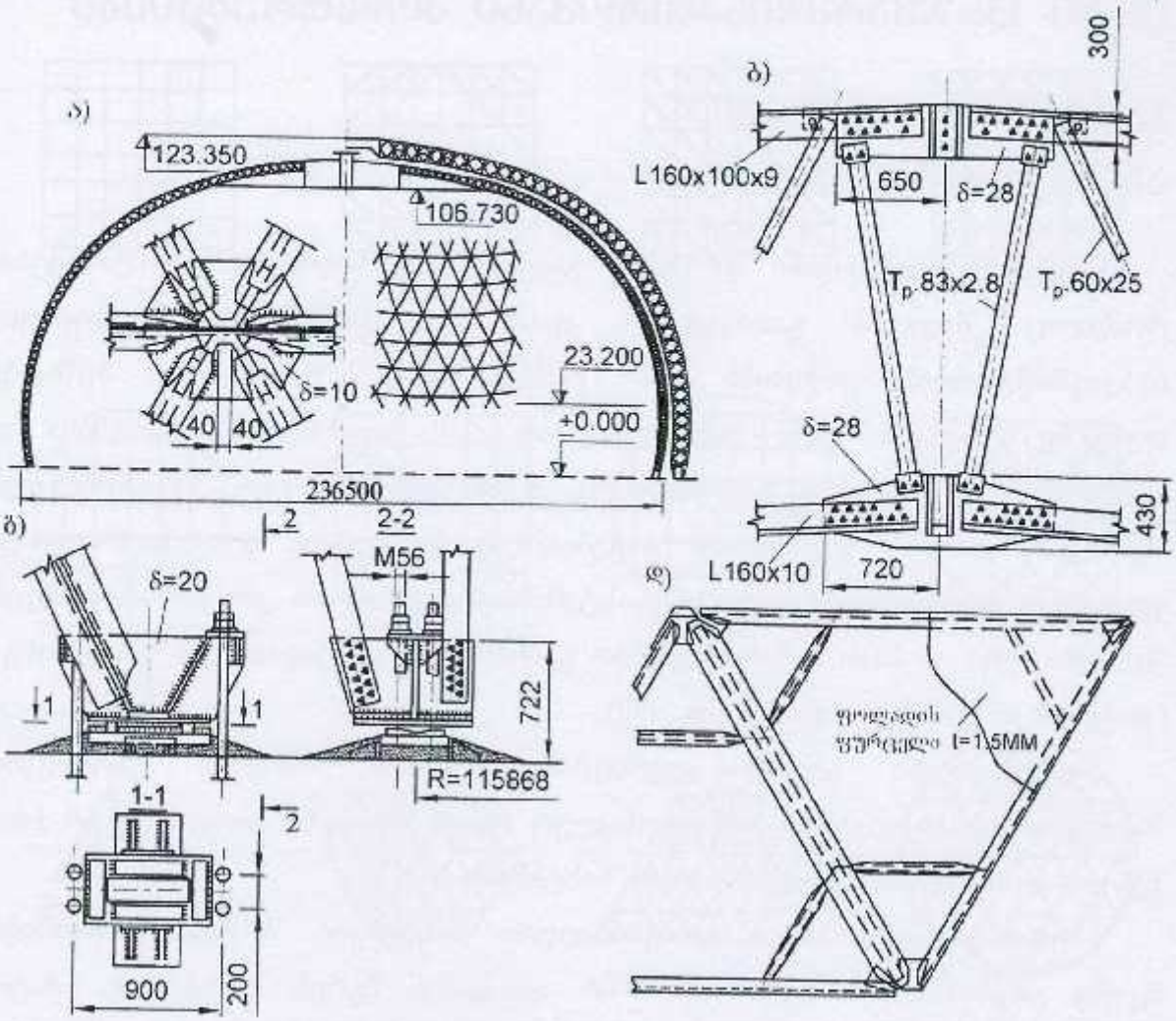
მეორე ჯგუფის საკვანძო შეერთების ტიპური მაგალითია ფიგ. 188, ბ-ზე გამოსახული კვანძი, რომელშიც ღეროები ორიენტირებულია ბრუნვით სხეულზე – ღრუ სფერულ ფასონურაზე. ბრუნვით სხეულად აგრეთვე შეიძლება გამოყენებული იქნას ცილინდრი, ტორი, კონუსი ან მრავალკუთხედი (იხ. ფიგ. 204, 205).

ბადისებრი გარსებისა და გუმბათებისათვის ყველაზე მოსახერხებელია მესამე ჯგუფის საკვანძო შეერთებები, რომლებშიც ღეროები ქმნიან კონას და გადაიკვეთებიან სორმალთან დამთხვეულ წირზე. ცნობილი გადაწყვეტებიდან ამ ჯგუფს მიეკუთვნება "იფი"-ს და "ტრიოდეტიკი"-ს კვანძები (იხ. ფიგ. 204), აგრეთვე გაბრტყელებული მილების შეერთების კვანძები ვანური შედუღებით (იხ. ფიგ. 205) და კვანძები რადიალურად განშლადი ფასონურებით (ფიგ. 188, ე). კვანძის მხებ სიბრტყეში ღეროებს შორის 7°-ის ფარგლებში კუთხეების ცვლილება მიიღწევა ფასონურას ფურცლის გადალუნვით, რასაც ხელს უწყობს ქედის არსებობა თითოეულ ფურცელზე.



ფიგ. 188. ერთსარტყლიანი ბადისებრი გუმბათების კვანძები

ა – ბრტყელი დაშტამპული ფასონურებით; ბ – სფერული ღრუ ფასონურებით; გ – ЦНИИпск–ს სისტემა; დ – სისტემა "Zeiss"; ე – დაშტამპული სფერული ფასონურებით; *1* – ღეროვანი ელემენტები; *2* – საკვანძო ელემენტები; *3* – მუშა ჭანჭიკები; *4* – ბუნიკი



ფიგ. 189. 236.5 მ დიამეტრის ბადისებრი გუმბათის კონსტრუირების მაგალითი

ბადისებრი გუმბათების ასაწყობი ელემენტების ქარხნული მზადების დონის ამაღლებამ გამოიწვია სამკუთხა, რომბული და ექვსკუთხა ფორმის პანელური კონსტრუქციების შექმნა, რომლებიც პერიმეტრზე მოჩარჩოებულია ხისტი წიბოებით. მოჩარჩოებული წიბოების კედლების გრეხაზე დაბალი სიხისტის გამო, პანელები ერთმანეთთან მჭიდროდ მაგრდება ჭანჭიკებით წახნაგების სიგრძეზე, მობრუნდებიან რა ერთმანეთის მიმართ განსაზღვრული კუთხით. საკვანძო შეერთებები კეთდება ჭანჭიკებით, რადიალურად განშლადი საკვანძო ფასონურების გამოყენებით.

ასეთი გადაწყვეტის მაგალითია ბრუნვის ელიფსოიდის ფორმასთან მიახლოებული ბადისებრი გარსი, ეკვატორზე დიამეტრით 236.5 მ (ფიგ. 189).

თავი 13. ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციები

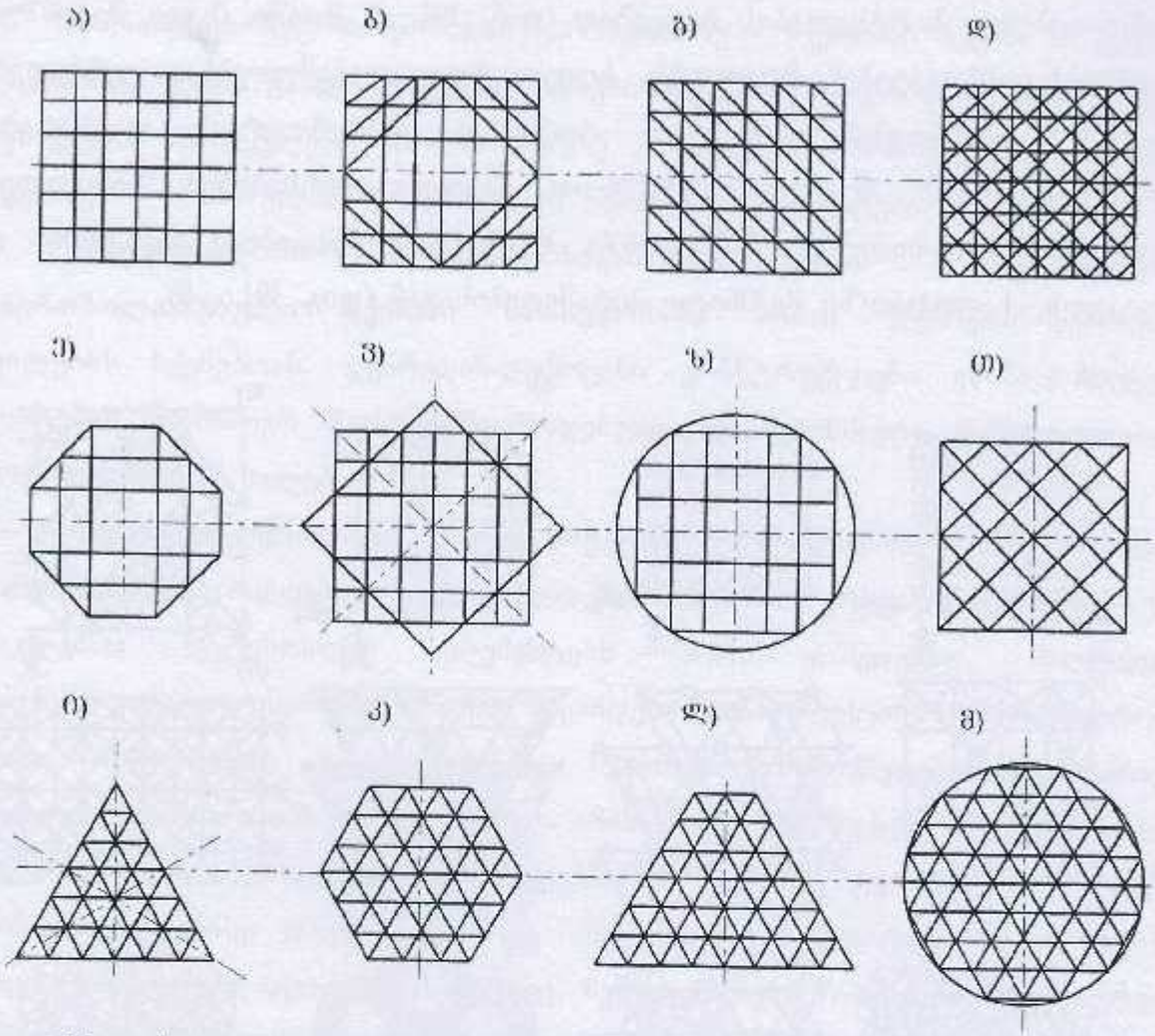
13.1. ზოგადი ცნობები. აგების პრინციპები

ჯვარედინ-ღეროვანი ეწოდება გადახურვის სივრცით კონსტრუქციას, რომელიც შედგება გადაკვეთის კვანძებში ერთმანეთთან გადაბმული (დაკავშირებული) კოჭებისა და წამწეებისაგან, რომლებიც მუშაობენ ღუნვაზე ორი ან მეტი მიმართულებით. ამ ელემენტების ფორმისა და შეერთების ხასიათიდან გამომდინარე, ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციები შეიძლება დაიყოს ჯვარედინა კოჭებად ან წამწეებად, ჯვარედინ-ღეროვან ფილებად, ფირფიტოვან-ღეროვან სისტემებად. ჯვარედინა კოჭები ან წამწეები შედგება ორი ან სამი მიმართულებით გადამკვეთი ვერტიკალური წიბოებისგან (კოჭების ან წამწეებისგან) (ფიგ. 190).

გადასახური გეგმის გვერდების მიმართ წიბოების განლაგების მიხედვით, განასხვავებენ ორთოგონალურ (ფიგ. 190, ა-ზ); დიაგონალურ (ფიგ. 190, თ) და სამკუთხა (ფიგ. 196, ი-მ) სისტემებს.

ორთოგონალური და დიაგონალური სისტემები, ბრტყელი წიბოების მცირე გრეხითი სიხისტის გამო, არ აღიქვამენ მგრეხ მომენტებს, ამიტომ ისინი უფრო დეფორმატიულია, ვიდრე სამკუთხა სისტემები. ორთოგონალურ და დიაგონალურ სისტემებში გრეხით სიხისტეს ზრდიან დიაგონალური ღეროების დაყენებით სარტყელების ბადეების კუთხურ ზონებში (ფიგ. 190, ბ), სადაც მოქმედებს მაქსიმალური მძერელი ძალები, ან კონსტრუქციის მთელ გეგმაზე (ფიგ. 190, გ, დ).

ჯვარედინ-ღეროვანი ფილების კონსტრუქცია შედგება მრავალჯერ განმეორებადი ელემენტარული უჯრედებისგან (პირამიდები, პრიზმები და ა.შ.), რომელთა აგებაც ეფუძნება კრისტალოგრაფიის კანონებს (ფიგ. 191). ასეთ კონსტრუქციებს უწოდებენ რეგულარულ სისტემებს (ფიგ. 191, ა, ბ). გეომეტრიული სტრუქტურის დარღვევისას, მაგალითად, კონსტრუქციის სახენიტო ფარნებიან ზონებში ცალკეული გამოტოვებული ღეროების შემთხვევებში, სისტემა ხდება არარეგულარული, ხოლო ორგანიზებული არარეგულარობისას – დიფერენცირებული (ფიგ. 191, გ-ზ, კ, ლ)..



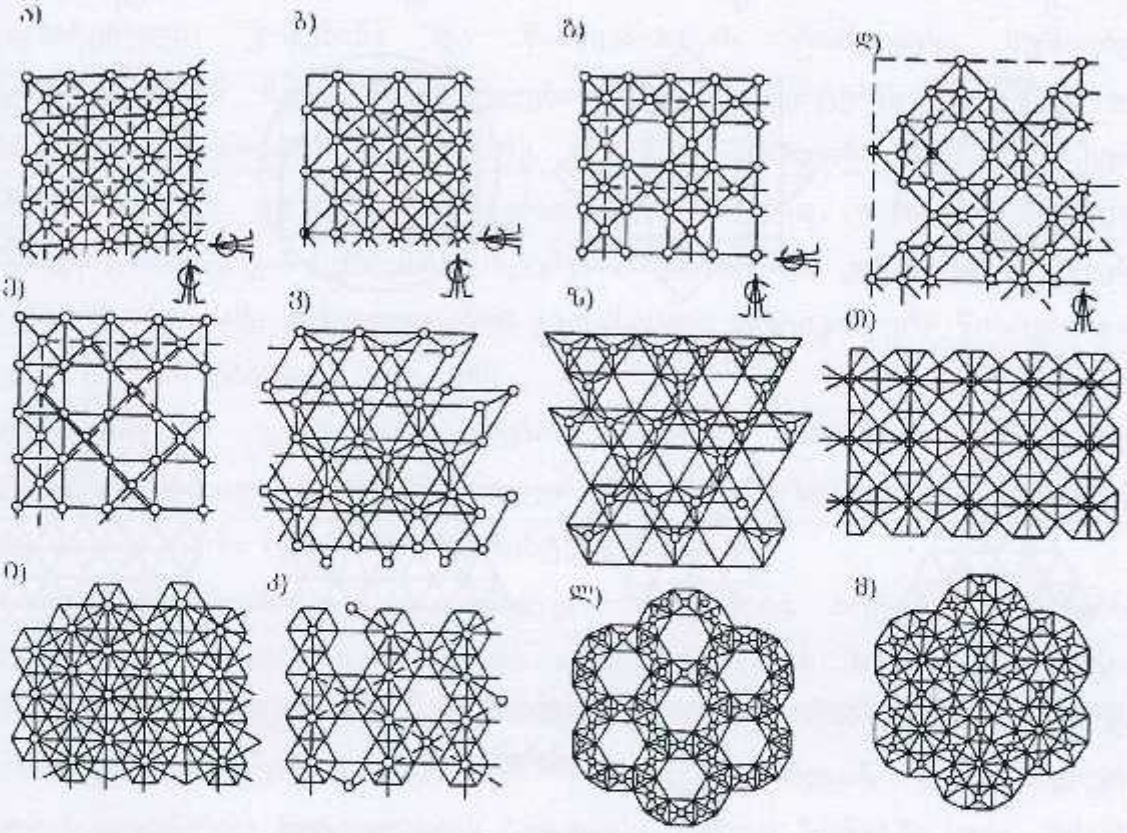
ფიგ. 190. ვერტიკალური ჯვარედინა კოჭებითა და წამწეებით გადახურვის ძირითადი სქემები

დღესდღეობით, მშენებლობის პრაქტიკაში, უფრო მეტად გავრცელებულია პენტაედრებზე (ნახევაროქტაედრებზე) დაფუძნებული რეგულარული ორთოგონალური ღეროვანი სისტემები (ფიგ. 191, ა) და ბოლგერდა სამკუთხა ტეტრაედრებზე დაფუძნებული რეგულარული სისტემები (ფიგ. 191, ბ).

ჯვარედინ-ღეროვანი ფილების ზედა და ქვედა სარტყელის ბადეებს შეიძლება ჰქონდეთ ერთნაირი ან განსხვავებული აგებულება (ფიგ. 191, გ-ვ), რაც მნიშვნელოვნად მოქმედებს სისტემაში წარმოქმნილ მღუნავ და მგრეხ მომენტებზე, აგრეთვე მის ლითონტევადობასა და დამზადების შრომატევადობაზე.

მნიშვნელოვან ინტერესს წარმოადგენს ნაკლებად შესწავლილი სისტემები – ზედა ორთოგონალურად და ქვედა დიაგონალურად

განლაგებული სარტყელების ბადეებით (ფიგ. 191, ე). მათში, ზედა შეკუმშულ ღეროებს აპროექტებენ მოკლეებს, ხოლო ქვედა გაჭიმულებს – გრძელებს; საკვანძო შეერთებების რიცხვი, რომელიც განსაზღვრავს დამზადების შრომატევადობას, მცირდება 20-25%-ით. ასეთივე ღირსებებით ხასიათდება უფრო რთული ბადეებიც სისტემებში, რომლებიც შედგებიან ექვსკუთხა და რვაკუთხა საფუძველზე შექმნილი პირამიდებისაგან (ფიგ. 191, კ-მ).



ფიგ. 191. წესიერი და ნახევრად წესიერი მრავალკუთხედებისგან შედგენილი ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციების სქემები

ჯვარედინ-ღეროვანი ფილებით გადასახური გეგმების დიდი მრავალფეროვნება შეიძლება მიღწეულ იქნეს კვადრატული, სამკუთხა და ექვსკუთხა ფუძეებიანი პირამიდებისაგან გადახურვის კომბინირებული გადაწყვეტის გზით (ფიგ. 191, ლ, მ). ფირფიტოვან-ღეროვანი (კესონური) სისტემები შედგებიან თხელკედლიანი ალუმინის პირამიდებისაგან, რომლებიც ახრულებენ შუა ფენის როლს ორსარტყელიან კონსტრუქციებში, რაც მათ ანიჭებს დიდ სიხისტეს. თხელკედლიან პირამიდებს, კვადრატული ან სამკუთხა ფუძით, ძირითადად ამზადებენ ალუმინის შენადნობებისაგან.

პირამიდის მდგომარეობიდან გამომდინარე – წვეროთი ზევით ან ქვევით – კესონის ფუძის გაძლიერებული წიბოები მუშაობენ როგორც სისტემის ზედა ან ქვედა სარტყელები, ხოლო მეორე სარტყელს წარმოქმნის პირამიდის წვეროებში სახსრულად ჩამაგრებული ღეროვანი ელემენტები.

თხელკედლიანი პირამიდებისაგან შემდგარი კონსტრუქციების გაერთმთლიანებული სქემები თანხვდომაში არიან ჯვარედინ-ღეროვანი ფილების სქემებთან. ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციები ეწინააღმდეგება სისტემის ნებისმიერ წერტილში მოდებულ და ნებისმიერი მიმართულებით მოქმედ გარეგან ძალებს.

ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციის სივრცითი მუშაობიდან გამომდინარე, ძალვები გადანაწილდება მაქსიმალურად დატვირთულ და ნაკლებად დატვირთულ ელემენტებს შორის. შედეგად, მაღლდება საექსპლუატაციო საიმედოობა და მცირდება კონსტრუქციის მგრძნობიარობა დიდი შეყურსული დატვირთვების, სეისმური ზემოქმედებების, მოძრავი დატვირთვების და ა.შ. მიმართ. გარდა ამისა, ამ კონსტრუქციებს აქვთ მაღალი სიხისტე, რაც აუცილებელ შემთხვევებში 10 ტონამდე ტვირთამწეობის ამწე-მოწყობილობების დაკიდებისა და შენობის ექსპლუატაციის პროცესში საყრდენების გადაადგილების, ასევე ჩვეულებრივი წამწეებით გადახურვის სიმაღლესთან შედარებით კონსტრუქციის გადახურვის სამშენებლო სიმაღლის ორჯერ შემცირების საშუალებას იძლევა.

სივრცითი კონსტრუქციების სხვა ტიპებისაგან განსხვავებით, ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციები უზრუნველყოფს თოვლის ნაკლებადდამკავებელი, მზისგან დამცავი, წყალმდინარე ბრტყელი სახურავების მოწყობას სიმარტივეს, ხოლო ქვედა ბრტყელი ზედაპირი, კვანძების ხშირი ბიჯით, აიოლებს მსუბუქი შეკიდული ჭერის და, ტრანსფორმირებადი კედლებისა და ტიხრების მოწყობას.

ჯვარედინ-ღეროვანი ფილები, შედგება რა სრული საქარხნო დამზადების მცირე ზომის უნიფიცირებული ღეროებისა და საკვანძო ელემენტებისაგან, განსხვავებულ კონსტრუქციულ ფორმებში ელემენტების ურთიერთშენაცვლების საშუალებას იძლევა, რაც ხელს უწყობს მათ მასიურ წარმოებას მაღალმწარმოებლურ ნაკადურ-მექანიზებულ ხაზებზე და დამკვეთის განაცხადის მიხედვით შემდგომ დაკომპლექტებას. კონსტრუქციის გასაგზავნი მარკების მცირე ზომისა და მასის წყალობით, ხორციელდება მათი

კომპაქტური ტრანსპორტირება ნებისმიერი სახის ტრანსპორტით, ადვილად იწყობა მსხვილ ბლოკებად ხელით მიწაზე და მუშა ნიშნულზე მონტაჟდება მსუბუქი თვითმავალი ამწეების, ჯალამბრების ან ბლოკების დახმარებით.

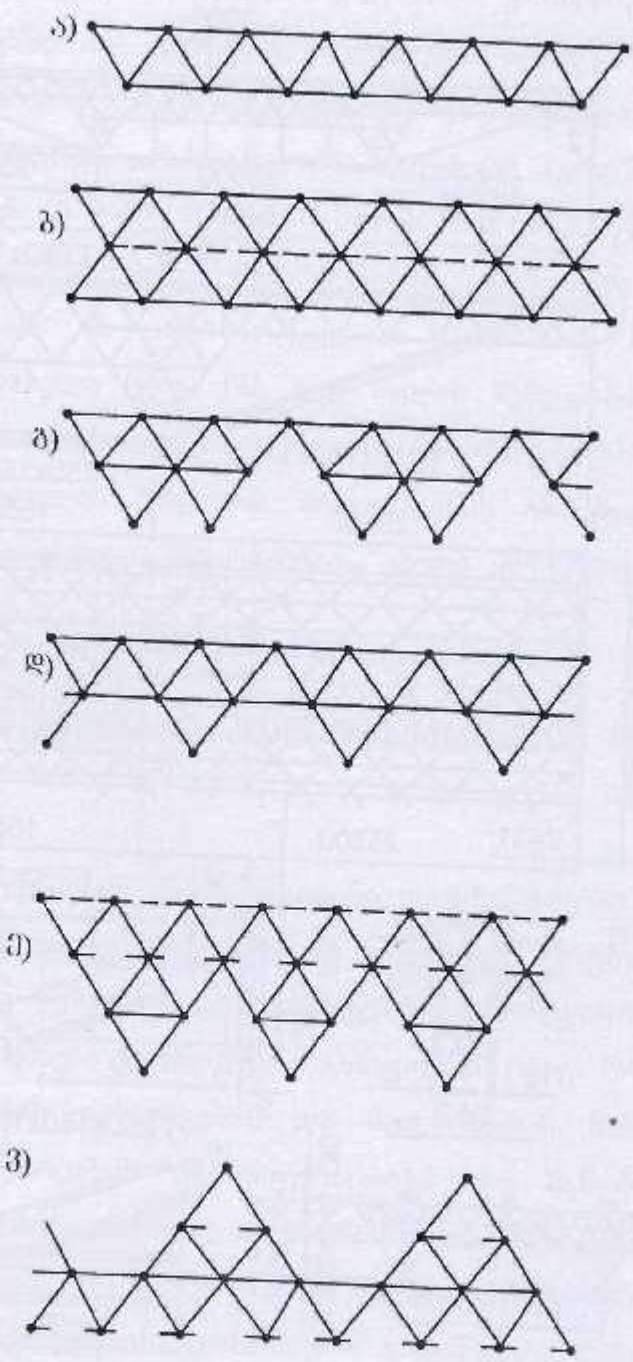
ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციები გამოირჩევა კარგი არქიტექტურულ-ესთეტიური თვისებებით, რაც შეკიდული ჭერის გარეშე მათი გამოყენების საშუალებას იძლევა არა მარტო სამრეწველო, არამედ საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობებშიც. ცნობილია ასეთი კონსტრუქციების რაციონალურად გამოყენების შემდეგი სფეროები: სამრეწველო მშენებლობაში – ერთსართულიანი ცალკე მდგომი და ბლოკირებული უნივერსალური დანიშნულების საწარმოო შენობები, ანგარები; სამოქალაქო მშენებლობაში – დიდი სპორტული დარბაზები, საგამოფენო პავილიონები, დახურული ბაზრები, თეატრებისა და კინოთეატრების გადახურვები, ტექნიკური მომსახურების სადგურები, გარაჟები; სასოფლო-სამეურნეო მშენებლობაში – სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის სარემონტო მექანიკური სახელოსნოები; დახურული სადგომები, საზოგადოებრივი ნაგებობები.

ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციების კარკასების შენებისათვის ეკონომიურად გამართლებულია შემსუბუქებული ფენილების – დამატებით მსუბუქ გრძივებზე დაპროფილებული ფოლადის ფურცლის ან მერქანბურბუშელის ფილის, ბრტყელი აზბესტცემენტის ფურცლის, ფანერის და მსგავსი შემონაკერის კარკასული ფარების გამოყენება.

ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციების ოპტიმალური სიმაღლე დამოკიდებულია რიგ ფაქტორებზე, როგორიცაა: ელემენტთა ერთტიპოვნება, გადახურვის დაყრდნობისა და დატვირთვების ხასიათი, კიდული ტრანსპორტისა და შემომდობის არსებობა. კონტურზე დაყრდნობის შემთხვევაში სამშენებლო სიმაღლე შეიძლება აღებულ იქნას მალის 1/15–1/25, ხოლო შიგა კონტურზე დაყრდნობისას (კონსოლებიანი) ან უჯრი მრავალმალიანი ვარიანტის დროს, მალის 1/15–1/40.

კონსტრუქციის ოპტიმალური სიმაღლე მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია საყრდენი ზონის ხასიათსა და საყრდენების რაოდენობაზე. ოთხ წერტილზე დაყრდნობისას, განვითარებული საყრდენი კაპიტელების შემთხვევაშიც კი, კონსტრუქციის დეფორმაციულობის პირობიდან გამომდინარე, ოპტიმალური სიმაღლე მერყეობს მალის 1/12–1/18 ფარგლებში. ირიბნების ოპტიმალური

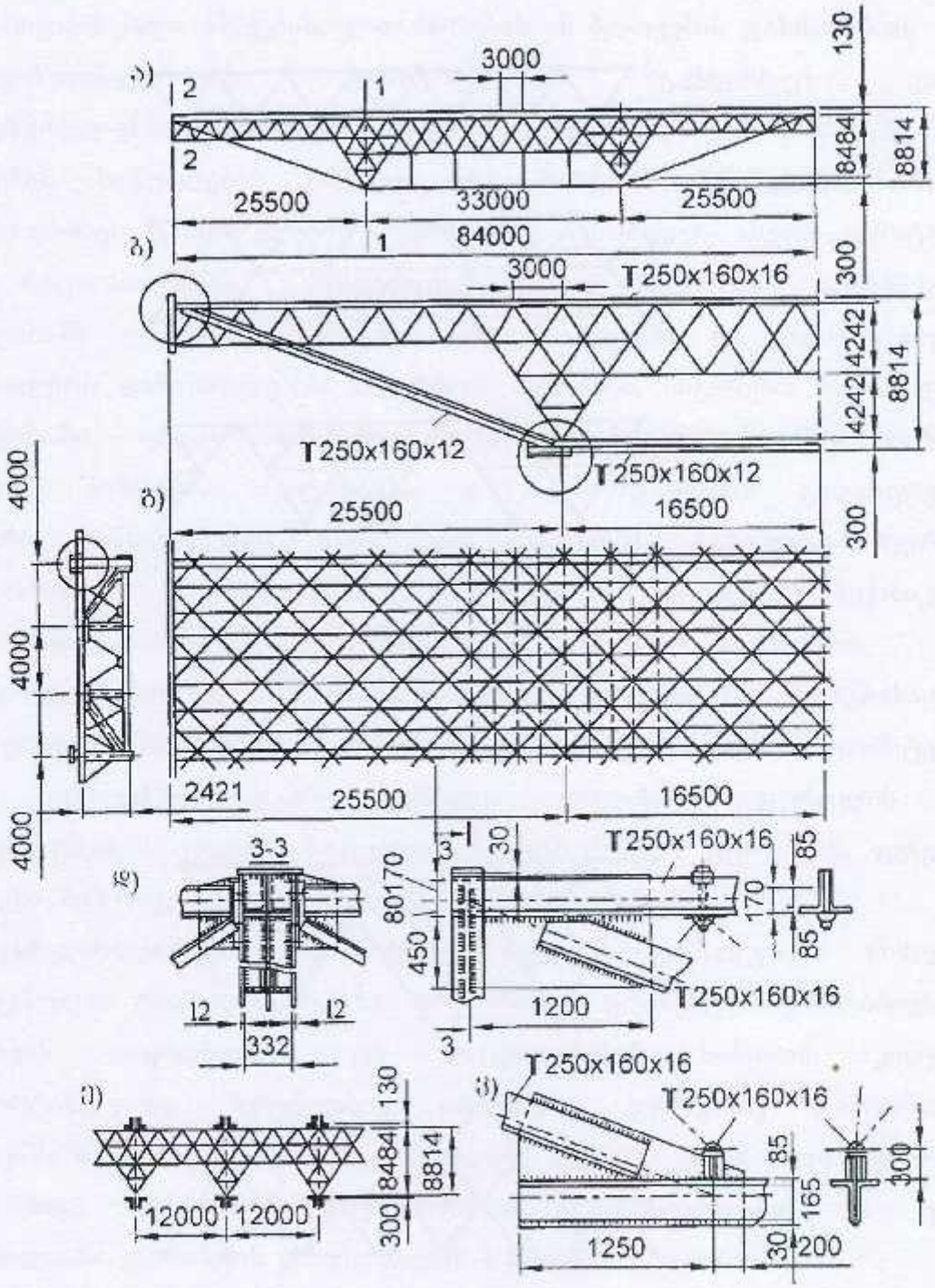
დახრილობა, ლითონის მინიმალური ხარჯისა და ქვედა ღეროს სიგრძეთა ტოლობიდან გამომდინარე, შეადგენს 45–60°.



ფიგ. 192. ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციების განივი კვეთის ვარიანტები

ღეროვანი ელემენტებისათვის, ოპტიმიზაციის პირობიდან გამომდინარე, მიიღება ძირითადი მოდულური ზომა (სარტყელის ბადის ზომა კვანძების ღერძებში) 3 მ და მოდულური სისტემის შესაბამისი დამატებითი ზომები 1.5, 2

და 4.5 მ, რაც ხელს უწყობს სივრცითი კონსტრუქციების მრავალფეროვან ფორმაწარმოქმნას.



ფიგ. 193. კომბინირებული ჯვარედინ-ღეროვანი სივრცითი კონსტრუქცია შპრენგელით

მშენებლობის პრაქტიკაში ფართო გამოყენება პოვეს ცალკეული ღეროებისა და საკვანძო ელემენტებისაგან ასაწყობმა ჯვარედინ-ღეროვანმა კონსტრუქციებმა. ასეთი კონსტრუქციებისათვის დამახასიათებელია

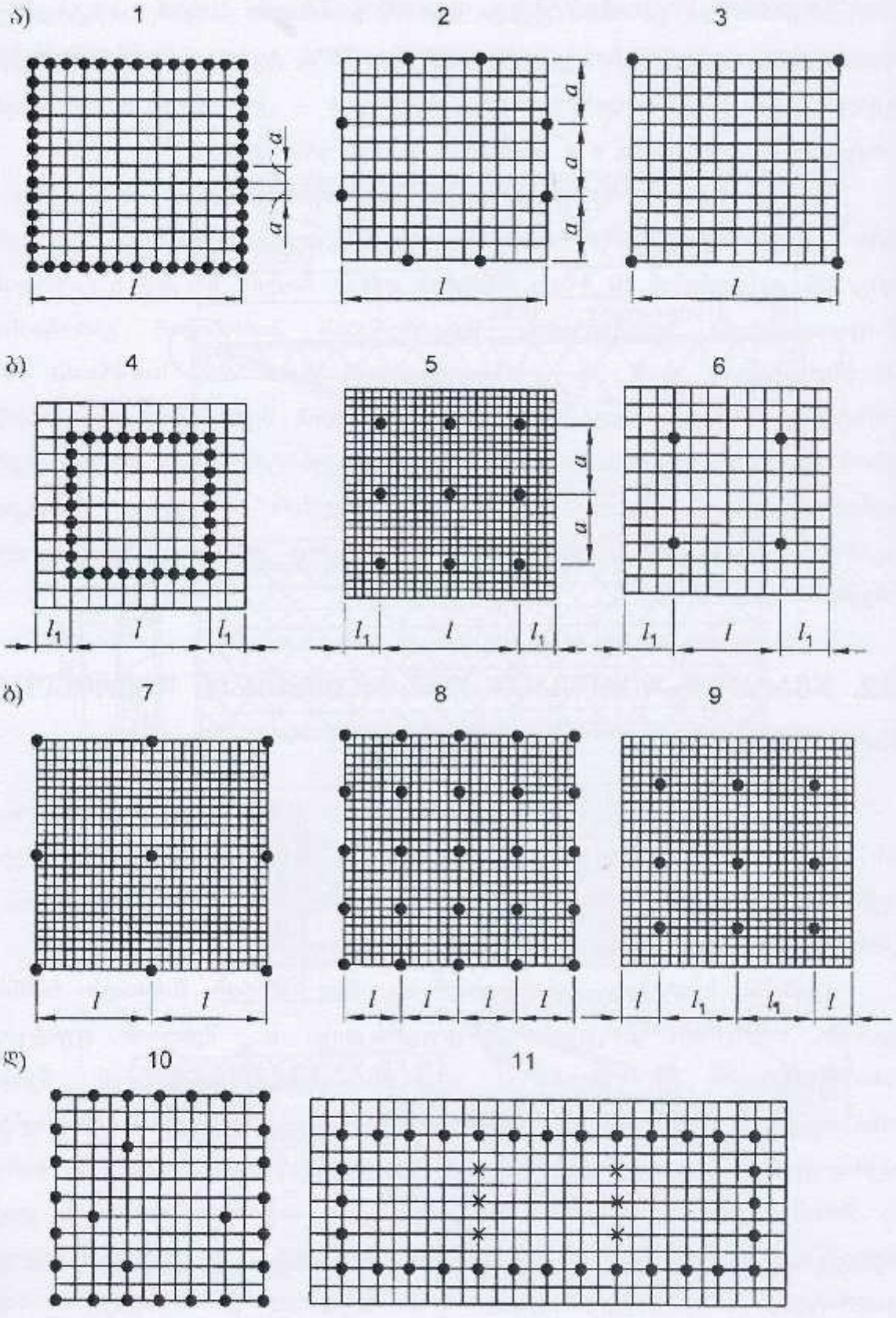
სარტყელებისა და გისოსის ყველა ღეროს ერთნაირი სიგრძე: პენტაედრების საფუძველზე აგებული სისტემებისათვის $h=0.707a$; ტეტრაედების საფუძველზე აგებული სისტემებისათვის $h=0.816a$, სადაც h – კონსტრუქციის სიმაღლეა სარტყელების ღერძებში; a – უჯრედის მოდულური ზომა.

ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციებით შესაძლებელია 100 მ-მდე და მეტი მალების გადახურვა, ამასთან ორსარტყელიან (ერთშრიან) სისტემებს (ფიგ. 192, ა) იყენებენ 60 მ-მდე მალების დროს. მალის 100 მ-მდე გაზრდისას, უნიფიცირებული ელემენტების შენარჩუნების პირობიდან გამომდინარე, მიზანშეწონილია სამ ან ოთხსარტყელიან (ორ ან სამშრიან) მზიდ კონსტრუქციაზე გადასვლა (ფიგ. 192, ბ-გ). მალის შემდგომი ზრდა მიიღწევა გისოსოვანი ფილის სახის კომბინირებული კონსტრუქციის დაპროექტებით, რომელიც გაძლიერებულია ნაგლინი პროფილების ან მაღალი სიმტკიცის ბაგირებისაგან დამზადებული შპრენგელით. ასეთი კონსტრუქციის მაგალითი ნაჩვენებია ფიგ. 193-ზე.

13.2. ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციების დაყრდნობის ვარიანტები

ასეთი კონსტრუქციების მნიშვნელოვანი თავისებურებაა მათი დაყრდნობის შესაძლებლობა წიბოების გადაკვეთის ნებისმიერ წერტილში, რომლებიც მდებარეობს, როგორც სისტემის კონტურზე, ასევე კონტურის შიგნითაც, რა შემთხვევაშიც წარმოიქმნება კონსოლური განაკიდები (ფიგ. 194).

გეგმაში სვეტების განლაგებას და მათ შორის მანძილს ნიშნავენ გეგმაში სივრცითი კარკასის კონფიგურაციისა და შენობის ფუნქციური დანიშნულებიდან გამომდინარე. ამასთან, ხელმძღვანელობენ შემდეგი მოსაზრებებით: შენობისა და ნაგებობების ყველა ფუნქციური მოთხოვნების დაკმაყოფილება; კონსტრუქციის ეკონომიური გადაწყვეტა მასალების ხარჯსა და შრომატევადობაზე; ეკონომიური მონტაჟის საჭირო მოთხოვნის დაცვა. ასეთი კონსტრუქციების გამოყენებისგან მეტ ეფექტს ღებულობენ კვადრატული (1:1) ან კვადრატულთან მიახლოებული (1:1.2) სვეტების ბადის შემთხვევაში, რაც უზრუნველყოფს სივრცითი სისტემის თანაბარ დაძაბვას ორი მიმართულებით.



ფიგ. 194. ჯვარედინ-ღეროვანი სივრცითი კონსტრუქციების დაყრდნობის ვარიანტები:
ა – კონსოლური; ბ – შიდაკონსოლური; გ – კომბინირებული; დ – თავისუფალი;

საყრდენების კონტურული განლაგება (ფიგ. 194, ა) რაციონალურია დარბაზის ტიპის შენობებში, საყრდენებისგან მნიშვნელოვანი თავისუფალი სივრცის მისაღებად. კონტურზე საყრდენების გადაადგილებით შესაძლებელია მთლიანი კონსტრუქციის დაძაბული მდგომარეობის რეგულირება. მიზანშეწონილია ვარიანტი კუთხის საყრდენების გარეშე (ფიგ. 1954ა, პოზ. 2), რადგანაც ამ შემთხვევაში კუთხის კონსოლები განტვირთავენ არა მარტო საყრდენ ხაზს, არამედ კონსტრუქციის ძირითად ფართობსაც.

თავისუფალი დაგეგმარების თვალსაზრისით, კონსტრუქციის დაყრდნობა ოთხ კუთხურ წერტილზე, წარმოადგენს იდეალურ ვარიანტს (ფიგ. 194, ა, პოზ. 3). თუმცა, მასალის ხარჯიდან გამომდინარე, ასეთი ვარიანტი გაუმართლებელია, რადგან კონტურის წიბოები განიცდის დიდ ძალვებს. ასეთი დაყრდნობა, დამატებითი გაძლიერების გარეშე, შეიძლება დაიშვას სვეტების შედარებით მცირე ბადეების შემთხვევაში (12–18 მ-მდე).

დიდი ბადეების შემთხვევაში, საყრდენებს განალაგებენ კონსტრუქციის კონტურის შიგნით, წარმოიქმნება კონსოლური განაკიდები, რომელთა განმტვირთავი გავლენის გამო შესაძლებელი ხდება ელემენტებში ძალვების გადანაწილება – საყრდენებს შორის და საყრდენების ზემოთ, მალში მათი გათანაბრება.

ცალკე მდგომ სექციებში ლითონის მინიმალური ხარჯი შეიძლება მიღწეულ იქნეს საყრდენების კონტურის შიგნით განლაგებით და კონსტრუქციის პერიმეტრზე კონსოლური განაკიდების წარმოქმნით, რომელთა შვერილიც l_1 შეადგენს ძირითადი l მალის 1/3–1/4-ს (ფიგ. 194, ბ). უჯრა სივრცითი კონსტრუქციებისათვის მიზანშეწონილია საყრდენების რეგულარული განლაგება 18x18 და 24x24 მ ზომის ბადეზე (ფიგ. 194, გ), ხოლო კონსოლურ შვერილიანი, სვეტების უფრო დიდი ბადის შემთხვევაში – l_1 პერიმეტრზე, რომელიც შეადგენს ძირითადი l მალის 1/4–1/5-ს (ფიგ. 194, გ, პოზ. 9).

მოგრძო გეგმების (გვერდების შეფარდებით მეტი 1:2-ზე) გადახურვისას რეკომენდებულია კონსტრუქციის, კვადრატთან მიახლოებულ უბნებად დანაწევრება და პირაპირის ხაზზე საყრდენების ან ნივნიგძეგში კონსტრუქციების მოწყობა (ფიგ. 194, დ, პოზ. 11). ნივნიგძეგში კონსტრუქციებად შესაძლოა გამოყენებულ იქნეს კოჭები, წამწეები ან ჩარჩოები, თაღოვანი კონსტრუქციები ზედნაშენით, ვანტები.

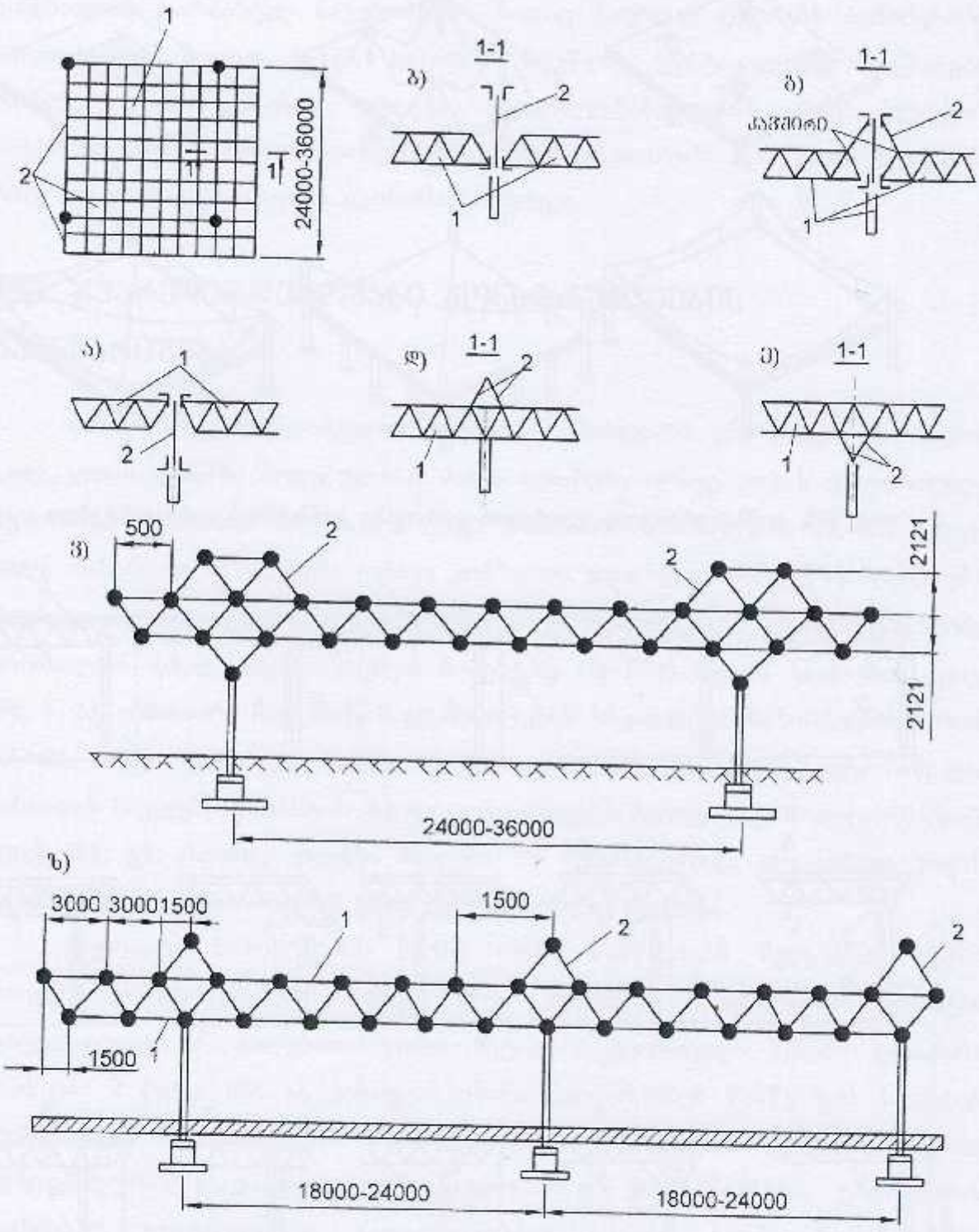
ნივნიცქეშა კონსტრუქციებს, მათი ტიპის, შენობის დანიშნულებისა და სხვა ფაქტორებიდან გამომდინარე, სივრცითი კონსტრუქციის მიმართ განალაგებენ ერთ დონეზე, ზევიდან ან ქვევიდან (ფიგ. 195, ა-ე). შენობის ჭერის სისუფთავისა და გასათბობი მოცულობის შემცირების თვალსაზრისით, მიზანშეწონილია სივრცითი კონსტრუქციის განთავსება ნივნიცქეშა კონსტრუქციის ქვედა სარტყელის პირისპირ. ჯვარედინ-ღეროვან კონსტრუქციებში ასეთ წამწეს აპროექტებენ მოდულური ღეროებისგან ტრაპეციისებრი ან სამკუთხა ზედნაშენის სახით და, როგორც წესი, იყენებენ შუქფარნად (ფიგ. 195, ვ, ზ).

ფართოდ იყენებენ სივრცითი ჯვარედინა კონსტრუქციების კვანტებთან კომბინირების ვარიანტებს, რის შედეგადაც წარმოიქმნება კიდული კონსტრუქციები (ფიგ. 196). სვეტების გაზრდილი ბადე შეიძლება მიღებულ იქნეს კონსტრუქციის დაკიდებით ცალკეულ წერტილებში (ფიგ. 196, ა-გ), ან მისი დაკიდებით კიდულ კვანტზე (ფიგ. 196, დ-ვ). პირველ სამ სქემაში კვანტის დახრის კუთხე ჰორიზონტთან უნდა იყოს არანაკლები 30^0.

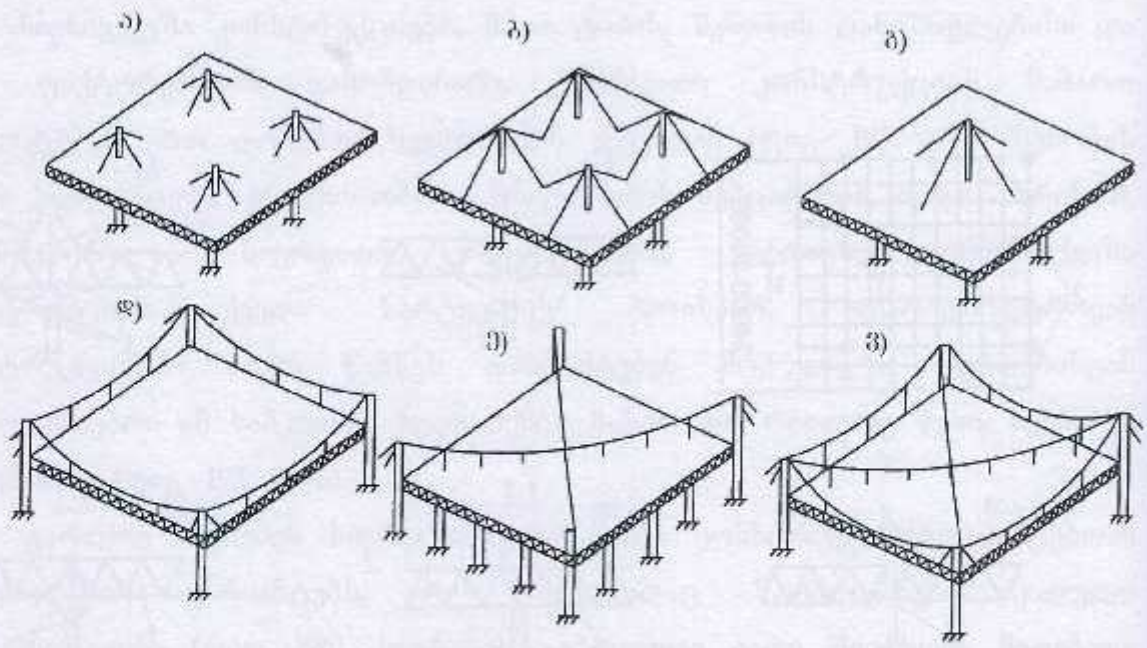
გვარლების უმცირეს სიგრძეს ღებულობენ მათი განლაგებით მართკუთხედის ორთოგონალურ ღერძებზე. მრავალი გვარლების დიაგონალურად განლაგებისას მათი სიგრძის ზრდის ხარჯზე იზრდება მასალის ხარჯი გვარლებზე, თუმცა კონსტრუქცია ხდება უფრო მსუბუქი და ეკონომიური. ასეთი გადაწყვეტა უფრო ხელსაყრელია გადახურვაზე სატრანსპორტო მოწყობილობის დაკიდების შემთხვევაშიც.

სივრცით ჯვარედინა კონსტრუქციებიან ერთსართულიან კარკასებს აპროექტებენ 54x54 მ-მდე ზომის ცალკეული სექციების სახით ან მათი კომბინაციებით, როგორც წესი, ჩვეულებრივი სქემით – საძირკველში ჩამაგრებული საყრდენი სვეტებით, რომლებიც გადახურვის კონსტრუქციის სივრცით გისოსთან სახსრულად არის შეერთებული.

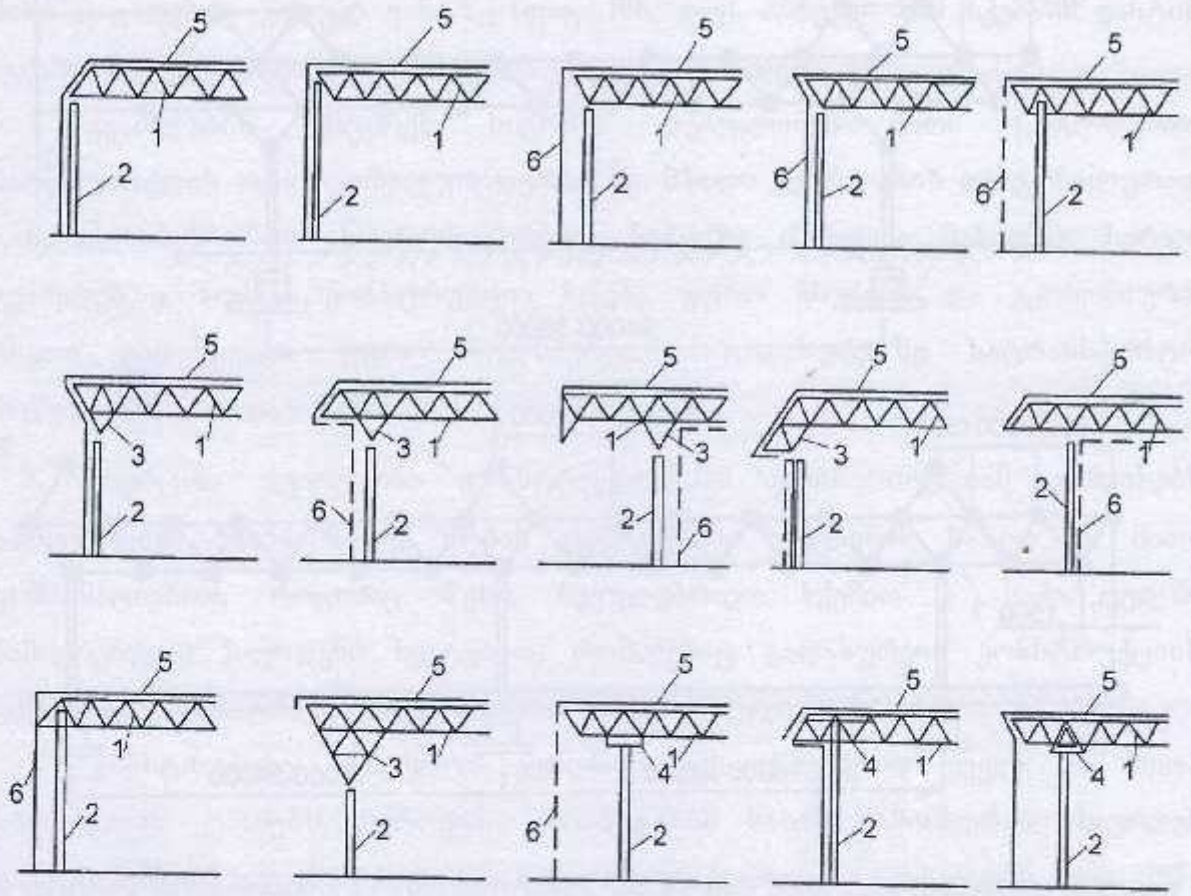
კონსტრუქცია შესაძლოა ეყრდნობოდეს უშუალოდ ქვედა ან ზედა სარტყელის კვანძებს, ღეროვანი პირამიდების სახის გამოშვერილ საყრდენ კაპიტელებს ან ჯვარედის სახის სპეციალურ საყრდენ კაპიტელებს (ფიგ. 197). საყრდენ საკვანძო ელემენტებს სვეტის სათაესთან ამაგრებენ შედუღებით ან ჭანჭიკებით.



ფიგ. 195. ჯვარედინ-ღეროვანი სივრცითი კონსტრუქციის (*1*) ნივნიქვეშა წამწეზე (*2*) დაყრდნობის ვარიანტები



ფიგ. 196. კომბინირებული ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციები ქანტებით



ფიგ. 197. ბურულისა და კედლების მოწყობის სქემები

1 – ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქცია; *2* – სვეტი; *3* – გამოშვერილი საყრდენი კაპიტელი; *4* – ჩაშენებული საყრდენი კაპიტელი; *5* – ბურული; *6* – კედელი;

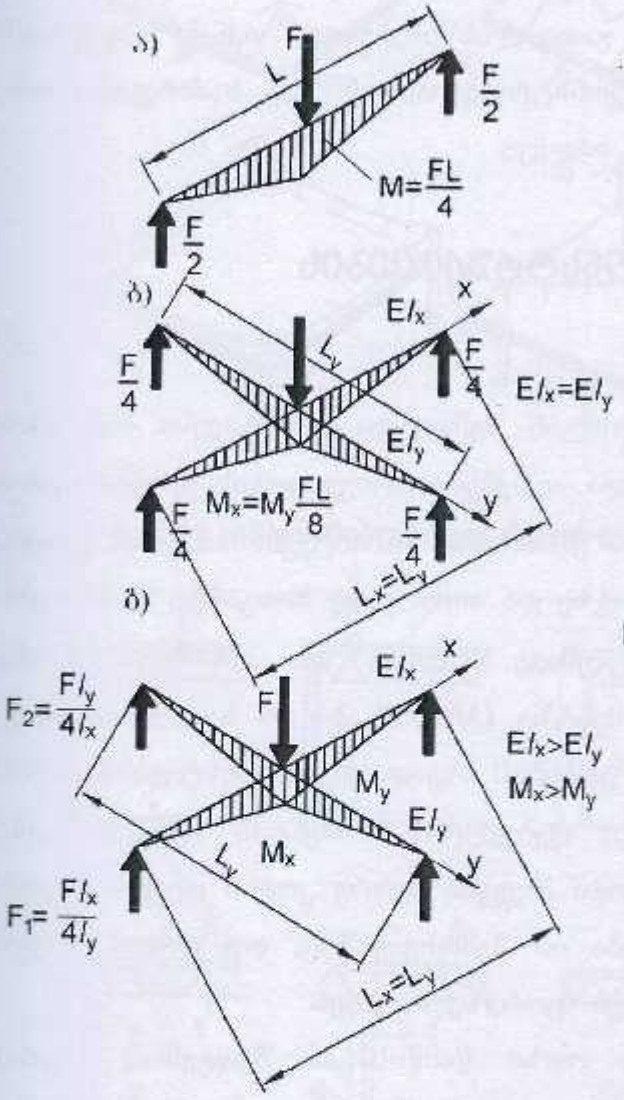
გადახურვების მრავალმალიან უჯრ ჯვარედინა კონსტრუქციებში, ასევე დიდმალიან დარბაზულ ნაგებობებში, სადაც საყრდენ დგარებს პერიმეტრზე აპროექტებენ ბიჯით 6–12მ, საჭიროა მოეწყოს ვერტიკალური კავშირები, რომლებიც საშუალებას იძლევა გათვალისწინებული იქნეს სვეტების სახსრული შეერთება გადახურვის კონსტრუქციასთან და საძირკვლებთან, რაც ფოლადის დამატებით ეკონომიას იძლევა.

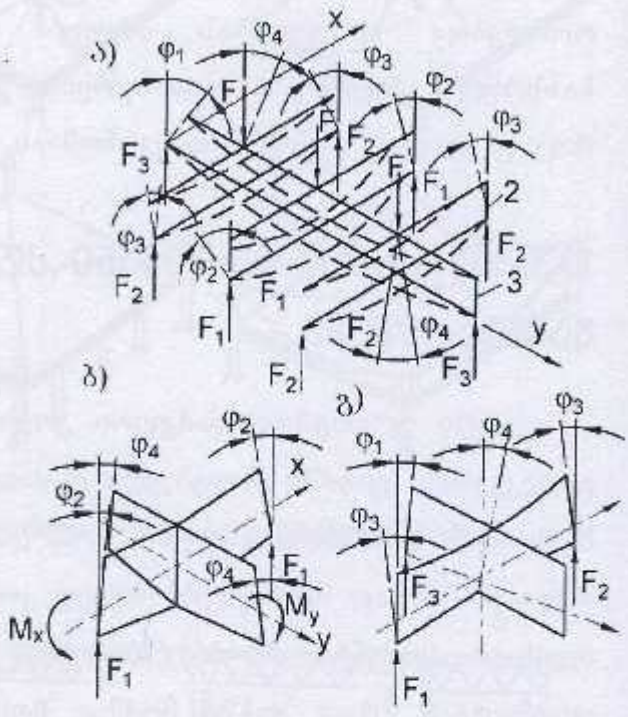
13.3. ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციების გაანგარიშება

ორი ურთიერთგადამკვეთი კოჭისაგან შემდგარი უმარტივესი სისტემის გადაკვეთის კვანძში მოდებული F ძალა აღიქმება ორივე კოჭის ერთდროული მუშაობით. ერთნაირი მალების $l_x=l_y$ და ერთნაირი სიხისტეების $EJ_x=EJ_y$ დროს, ძალა თანაბრად ნაწილდება ორივე კოჭზე და თითოეულ მათგანზე მოქმედებს მლუნავი მომენტი $M_x=M_y=Fl/8$, რაც იმავე მალისა და სიხისტის მქონე ერთმალიან ჭრად კოჭში მოქმედ მომენტზე ($M=Fl/4$) 2-ჯერ ნაკლებია (ფიგ. 198, ა, ბ). ერთნაირი მალების, მაგრამ კოჭების სხვადასხვა სიხისტეების დროს $EJ_x>EJ_y$, მეტი სიხისტის მქონე კოჭი დებულობს მომენტის მეტ ნაწილს, ვინაიდან ნაკლები სიხისტის მქონე კოჭი მიეცემა მეორე კოჭის დეფორმაციას (ფიგ. 198, გ). ასეთივე ეფექტი მიიღება იმ შემთხვევაშიც, თუ ორივე კოჭის სიხისტე ერთნაირია, მაგრამ ერთი კოჭი მეორეზე მოკლეა.

ერთნაირი სიხისტეების მქონე ოთხი წამწისაგან შედგენილ უფრო რთულ კონსტრუქციაში (ფიგ. 199), რომლის გადაკვეთის კვანძები დატვირთულია F ძალებით, უფრო მეტად დატვირთული იქნება განაპირა წამწეები 2 (ფიგ. 199, ა), ვინაიდან ისინი მდებარეობენ წამწე 3-ის საყრდენ კვანძებთან ახლოს. 1 და 3 წამწეების გადაკვეთის კვანძი მხოლოდ ვერტიკალურად გადაადგილდება, ხოლო 2 და 3 წამწეების გადაკვეთის კვანძებში, ვერტიკალური გადაადგილების გარდა, ხდება მე-2 წამწის კუთხური გადაადგილება საკუთარი სიბრტყიდან (გრეხა). თუ წამწე 2-ს ექნებოდა გრეხითი სიხისტე, იგი გაუწევდა წინააღმდეგობას მე-3 წამწის დუნვას და მთელ კონსტრუქციას წიბოებში ექნებოდა ნაკლები ჩაღუნვა და ნაკლები ძალვები. ამგვარად, ჯვარედინა კონსტრუქციის მუშაობა მთლიანად დამოკიდებულია მის გეომეტრიულ სქემაზე, წიბოების ან ცალკეულ ღეროვანი

ელემენტების სიხისტეზე, მათ ურთიერთმდებარეობაზე, დაყრდნობისა და დატვირთვის მოდების ხასიათზე.





ფიგ. 199. ჯვარედინა წამწეების (1-3) მუშაობა გრეხაზე

ფიგ. 198. ჯვარედინა კოჭების მუშაობა შეკუმშულ ძალაზე

კონსტრუქციის წიბოების მიერ მგრეხი მომენტების აღქმის უნარზე დამოკიდებულებიდან გამომდინარე, ასეთი კონსტრუქციები სტატიკური მუშაობის პირობების მიხედვით იყოფა ორ ჯგუფად. პირველ ჯგუფს მიეკუთვნება კონსტრუქციები გეომეტრიულად ცვლადი სახარტყლო ბადეებით, რომლებიც არ მუშაობენ გრეხაზე (ორთოგონალური სისტემები დიაგონალების გარეშე). მეორე ჯგუფს მიეკუთვნება კონსტრუქციები გეომეტრიულად უცვლელი სახარტყლო ბადეებით, რომლებიც მუშაობენ გრეხაზე (სამკუთხა და ექვსკუთხა კონსტრუქციები ორთოგონალური დიაგონალებით და მუშაობაში ჩართული გადახურვის ხისტი დისკის სარტყელებით). პირველი ტიპის კონსტრუქციები მუშაობენ, როგორც

ჯვარედინა კოჭები (წამწეები), ხოლო მეორე ტიპის – როგორ იზოტროპიული ფილები.

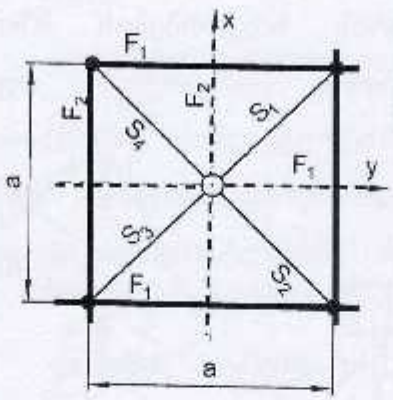
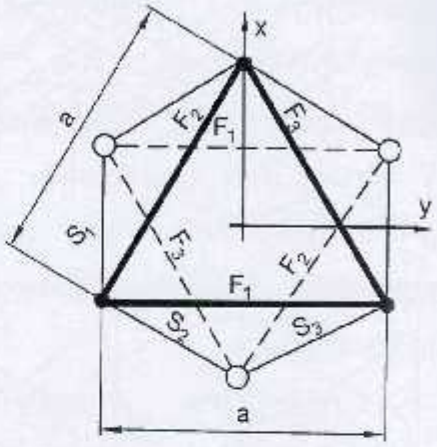
საანგარიშო-თეორიული თვალსაზრისით, ჯვარედინ-ღეროვან კონსტრუქციები წარმოადგენს გარეგანად და შინაგანად მრავალგზის სტატიკურად ურკვევ სისტემებს, ამიტომ მათი გაანგარიშება წარმოებს საყრდენების კონსტრუქციული და სიხისტის თავისებურებები გათვალისწინებით, მათ შორის ნაგებობების მზიდი ჩონჩხებისა და ტექნოლოგიური მოწყობილობების კარკასების, თუ ეს უკანასკნელნი წარმოადგენენ ჯვარედინა კონსტრუქციების დამატებით საყრდენებს. ასეთი კონსტრუქციების ზუსტ გაანგარიშებას, როგორც დისკრეტული სახსრულ ღეროვანი სისტემისა, ახდენენ კომპიუტერული სპეციალური პროგრამების საშუალებით.

ტექნიკური პროექტის სტადიაზე, ხშირად იყენებენ ჯვარედინა კონსტრუქციების მიახლოებით გაანგარიშების მეთოდებს, რომლებიც დაფუძნებულია კონსტრუქციის ნამდვილი საანგარიშო სქემის წარმოდგენით დისკრეტული სისტემის მახასიათებლების ეკვივალენტური დრეკად მახასიათებლებიანი ორთოტროპიული ან იზოტროპიული ფილის სახით. ასეთი ცვლილება საშუალებას იძლევა გაანგარიშების შედეგები მიღებულ იქნას 5-20% სიზუსტით $h/l \leq 1/15$ თანაფარდობის შემთხვევაში და ფილის ძერაზე მუშაობის გათვალისწინებით.

ფილების ღუნვის კლასიკური თეორიის საფუძველზე ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციების მიახლოებითი გაანგარიშების მეთოდით განისაზღვრება: საანგარიშო მომენტები M_x, M_y, M_{xy} და განივი ძალები Q_x, Q_y იზოტროპიული ფილების ან ჯვარედინა კოჭების ცხრილების მიხედვით; ნორმატიული დატვირთვების ზემოქმედებისაგან გამოწვეული კონსტრუქციის დამახასიათებელი წერტილების ხაღუნვები; ძალვები ღეროებში (ფილაში ძალვების ღეროვან კონსტრუქციაში ძალვებზე გადამყვანი ფორმულების დახმარებით) (ცხრილი 35).

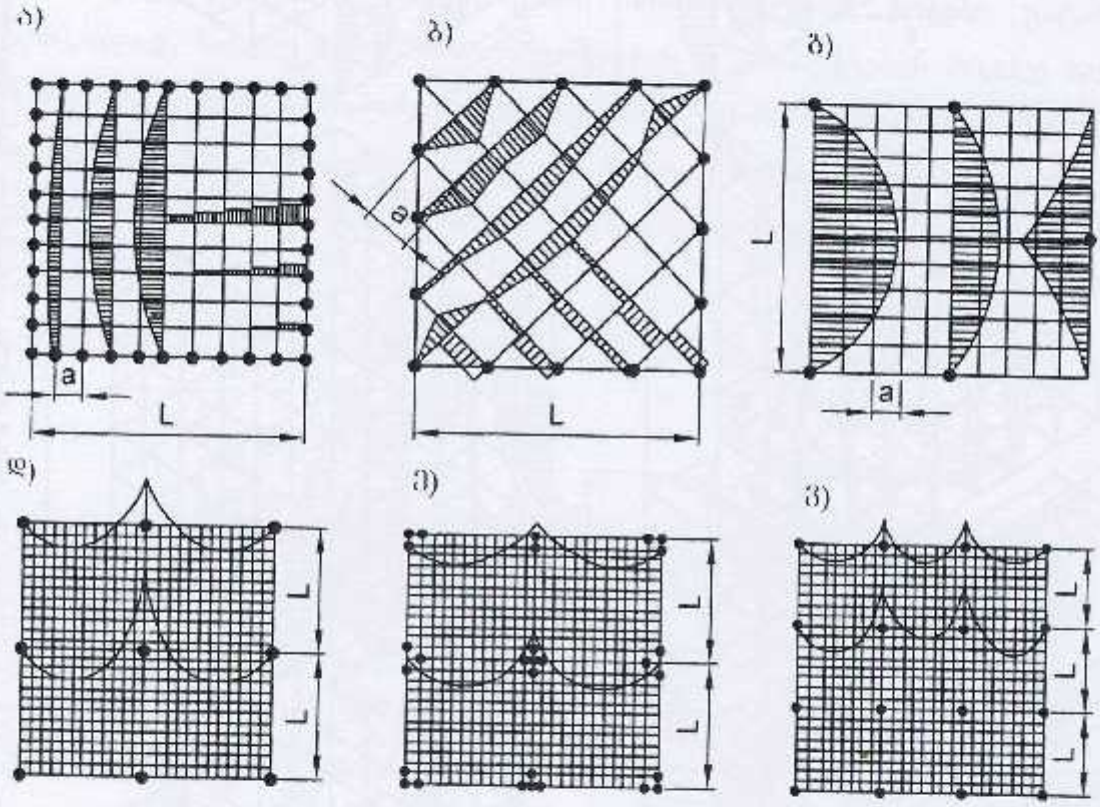
ცხრილი 35

დრეკადი მახასიათებლები და ძალვები ჯვარედინ-დეროვანი კონსტრუქციის ელემენტებში

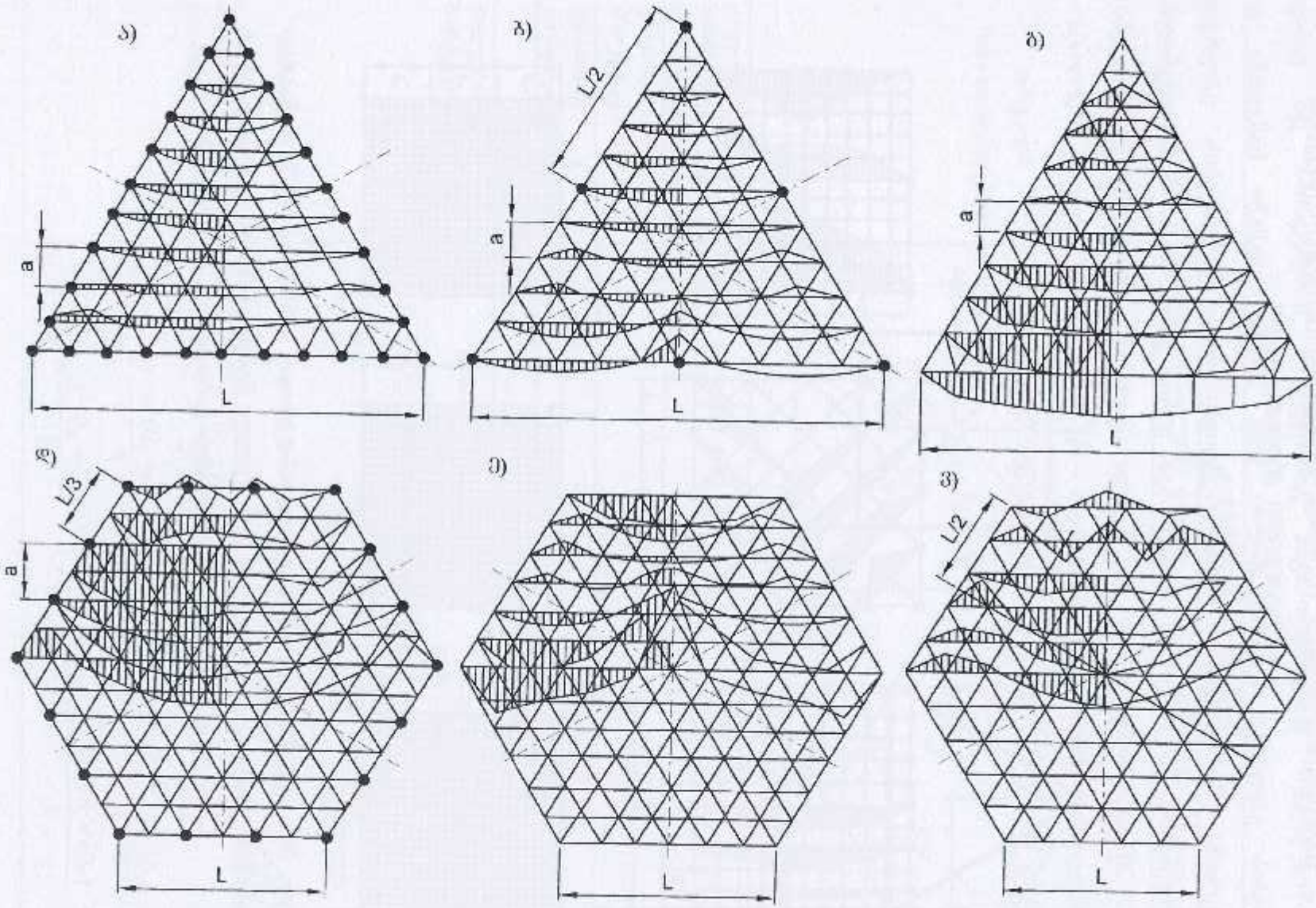
დრეკადი მახასიათებლები	კონსტრუქციული სქემა	
	ორთოგონალური ბადით	სამკუთხა ბადით
		
ცილინდრული სხეულში $D = EA_{sup} a \tan^2 \propto \cdot k_1$	$k_1 = \frac{1}{2}(1+n)$	$k_1 = \frac{\sqrt{3}}{4}(1+n)$
გრეხის სხეულში $D = EA_{sup} a \tan^2 \propto \cdot k_2$	$k_2 = 0$	$k_2 = \frac{1}{4}\sqrt{3}(1+n)$
პუასონის კოეფიციენტი ν	0	1/3
ξ	0	1
ძალვები სარტყელებში, F	$F_1 = \pm\frac{2aM_y}{h},$ $F_2 = \pm\frac{2aM_x}{h}$	$F_1 = \frac{a\left(\mp\sqrt{3}\frac{M_y}{2} \pm \frac{M_x}{2}\sqrt{3}\right)}{h},$ $F_2 = \frac{a\left(\mp\frac{M_x}{\sqrt{3}} \mp M_{xy}\right)}{h},$ $F_3 = a(\mp\frac{M_x}{\sqrt{3}} \pm M_{xy})/h$
ძალვები ირიბნებში, S	$S_1 = -\frac{a^2(Q_x - Q_y)}{2h},$ $S_{2,4} = -\frac{a^2(Q_x + Q_y)}{h},$ $S_3 = \frac{a^2(Q_x + Q_y)}{h}$	$S_1 = -\frac{a^2 Q_x}{h},$ $S = -\frac{a^2(Q_x - \sqrt{3}Q_y)}{h},$ $S = \frac{a^2(Q_x + \sqrt{3}Q_y)}{h}$

პირობითი აღნიშვნები: ——— ზედა ბადე; - - - - - - ქვედა ბადე; ——— ირიბნები; A_{sup} და A_{inf} – შესაბამისად ზედა და ქვედა სარტყელების ფართობები; $n = A_{sup} / A_{inf}$; α – ირიბნების დახრის კუთხე პირიზონტალურ სიბრტყესთან.

ბეგმაში კვადრატულ ჯვარედინ-ღეროვან კონსტრუქციებში თანაბრად განაწილებული დატვირთვისაგან გამოწვეული მომენტებისა და განივი ძალების ეპიურები წარმოდგენილია ფიგ. 200-ზე. ბეგმაში სამკუთხა და ძძსკუთხა მოხაზულობის კონსტრუქციებისათვის მომენტების ეპიურები, საყრდენების მდებარეობის სხვადასხვა ვარიანტებისათვის, წარმოდგენილია ფიგ. 201-ზე. მომენტებისა და განივი ძალების ეპიურების ორდინატების მამრავლებს ღებულობენ შესაბამისად – $ql^2 10^{-3}$ და $ql10^{-3}$, სადაც $q=(g+v+s)a$ – წიბოზე წრფივი, თანაბრად განაწილებული დატვირთვაა.



ფიგ. 200. ბეგმაში კვადრატულ ჯვარედინ-ღეროვან კონსტრუქციებში თანაბრად განაწილებული დატვირთვისაგან გამოწვეული მომენტებისა და განივი ძალების ეპიურები დაყრდნობის სხვადასხვა ვარიანტების შემთხვევაში

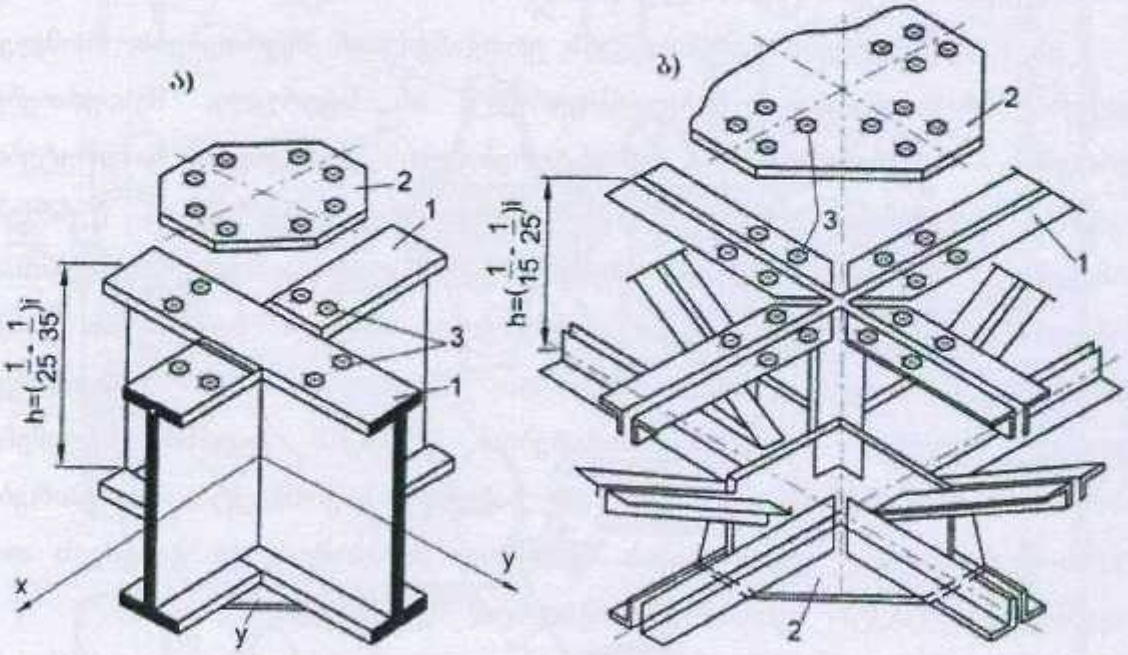


ფიგ. 201. გეგმაში სამკუთხა და ექვსკუთხა სისტემებში თანაბრად განაწილებული დატვირთვისაგან გამოწვეული მდუნავი მომენტების ეპიურები დაყრდნობის სხვადასხვა ვარიანტის შემთხვევაში

13.4. ელემენტებისა და კვანძების კონსტრუქციული გადაწყვეტები

ჯვარედინ-ღერძოვანი კონსტრუქციების ეფექტურობა დიდადაა დამოკიდებული საკვანძო შეერთების გადაწყვეტაზე, რამდენადაც კვანძებში საჭირო ხდება 8–18 ღეროს სხვადასხვა კუთხით შეერთება. უმარტივესი სისტემები შედგება ვერტიკალურ სიბრტყეში გადამკვეთი კოჭების ან გისოსოვანი წამწეებისგან.

კოჭების გადაკვეთისას, ერთი მიმართულების კოჭები გატარდებიან გამჭოლად, ხოლო მეორე მიმართულებისას – აპროექტებენ მოკლე სადებების სახით, ამასთან პირაპირებს გადაფარავენ ჰორიზონტალური ფურცლოვანი ფასონურებით, რომლებიც მაგრდება ორივე მიმართულების კოჭის სარტყელებთან სამონტაჟო ჭანჭიკებით და მუშა შენადუღი ნაკერებით (ფიგ. 202, ა).



ფიგ. 202. შეუღლების კვანძები

ა – ჯვარედინა კოჭების; ბ – ჯვარედინა წამწეების;
1 – ზედა სარტყელი; 2 – პირაპირის ზესადები; 3 – ჭანჭიკის ნახვრეტი

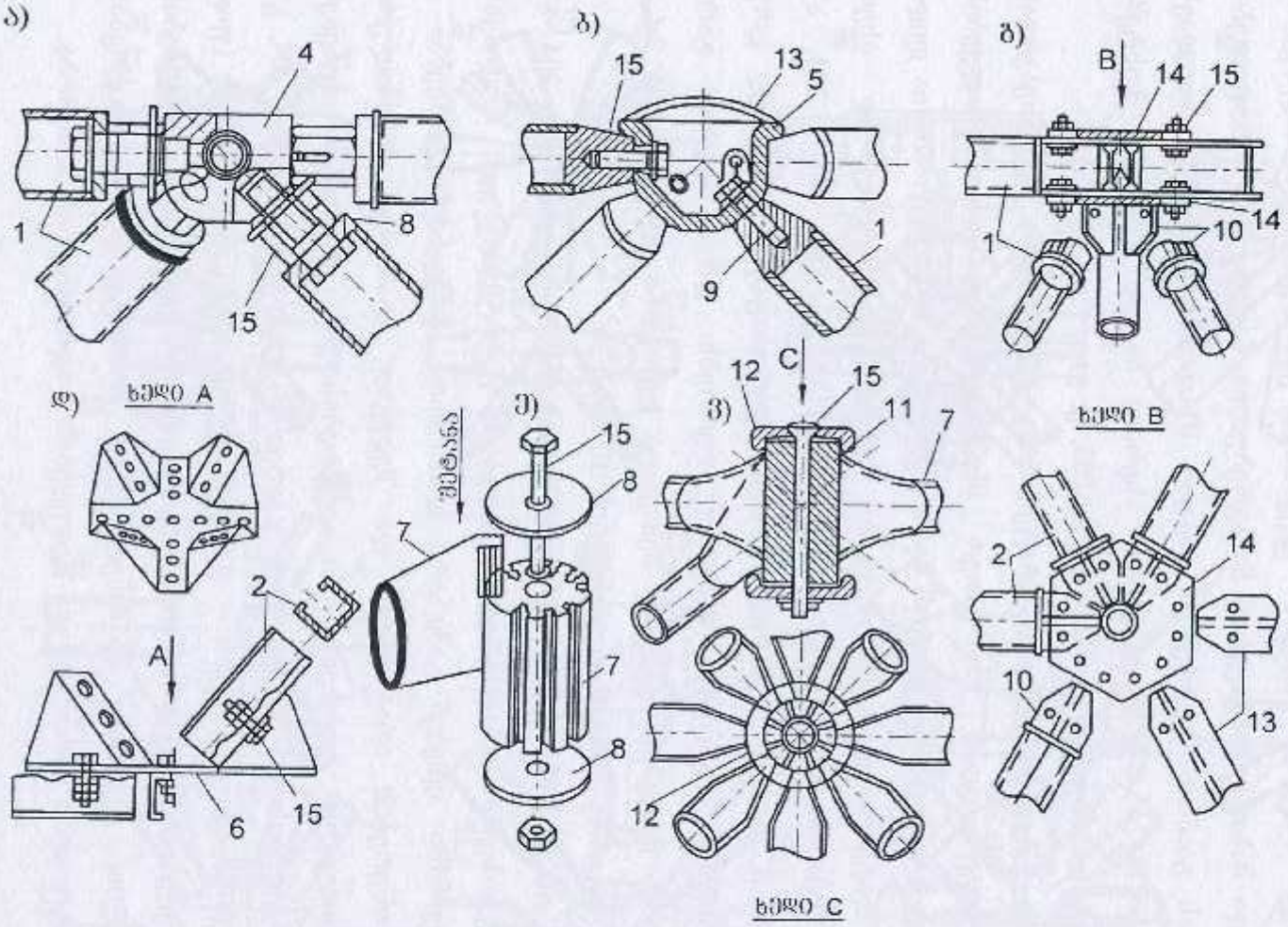
წამწეების გადაკვეთისას, კვანძში ითვალისწინებენ ჯვარედინ ფასონურას, სარტყელების ელემენტებს, უნიფიცირების მიზნით, ჭრიან კვანძებში, ხოლო პირაპირს გადაფარავენ ანალოგიური ჰორიზონტალური ფურცლოვანი ფასონურათი (ფიგ. 202, ბ). მართკუთხა გეგმაზე ჯვარედინა

ფურმების გამოყენების შემთხვევაში, სიმტკიცის პირობიდან გამომდინარე, მოკლე მიმართულების წამწეებს აკეთებენ მაღალი სიმაღლისას, ხოლო გრძელი მიმართულების წამწეებს – ნაკლები სიმაღლისას. ასეთი ხერხი საშუალებას იძლევა გრძელი მიმართულების წამწეები გატარდეს მოკლე მიმართულების წამწეების სარტყელებს შორის, რაც აიოლებს მონტაჟს და ამარტივებს ფურმების გადაკვეთის კვანძებს.

ღეროების შეერთების ხერხის მიხედვით განასხვავებენ დასაშლელ (დერძულა ან ჭრად ჭანჭიკებზე; პერფორირებული, სოლისებრი ან სხვა სახის სატაცებით) და დაუშლელ (შენადუღ) შეერთებებს. სამშენებლო მოედანზე აწყობის სიმარტივისა და მაღალი ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების გამო, მსოფლიო პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება დასაშლელი შეერთებების მქონე კონსტრუქციები (ფიგ. 203). მათ შორის ყველაზე მეტად გავრცელებულია "შერო"-ს სისტემები (გერმანია), რომელთა მოდიფიკაციას წარმოადგენს სისტემა "მარხი" (ფიგ. 203, ა).

ეს გადაწყვეტილებები წარმოადგენს ერთჭანჭიკიან შეერთებებს, რომლებიც შედგება მრავალწახნაგა ნახევარსფერული ან სფერული, შესაერთებელი ღეროების მიმართულებით ორიენტირებული კუთხვილ ნახვრეტებიანი საკვანძო ელემენტისაგან. მილოვანი ღეროები აღჭურვილია ბუნიკებით, რომლებიც შედგება მილთან მიდუღებული ცილინდრული სადებისაგან, რომლის ღერძულ ნახვრეტშიც გატარებულია მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკი მილისით და დაფიქსირებულია წკირით. შეერთების მუშა მდგომარეობა მიიღწევა მილისის ბრუნვის დახმარებით ჭანჭიკის საკვანძო ელემენტში ჩახრახნით, საკვანძო ელემენტისა და სადების საკონტაქტო ზედაპირებთან მილისას ტორსული ზედაპირების მჭიდროდ შეხებამდე და ჭანჭიკის თავის სადების საკონტაქტო ზედაპირთან მჭიდროდ შეხებამდე.

შეერთებაში გამჭიმავი ძალვები გადაეცემა მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკით, რომელიც დაპროექტდება 10.9 ან 12.9 სიმტკიცის კლასის მიხედვით. ჭანჭიკების რეკომენდებული დიამეტრებია: 20, 22, 30, 36, 42 და 48 მმ. კუმშვის ძალვა გადაეცემა მილისას საშუალებით, რომელსაც, როგორც საკვანძო ელემენტს, აპროექტებენ კონსტრუქციული ფოლადებისგან დენადობის ზღვარით არა ნაკლები 36 მპა. საკვანძო ელემენტის საყრდენი ზომა, ღეროების მიერთების პირობიდან გამომდინარე, საორიენტაციოდ უნდა დაინიშნოს მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკის არა ნაკლები 4.5 *d*.



ა –მარხი (რუსეთი); ბ – "კოკილი" (საფრანგეთი); გ –"ტრიდიმატეკი" (საფრანგეთი); დ – "იუნისტრატი" (აშშ); ე – "ტრიოდეტიკი" (კანადა); ვ – ОЩО (ბერმანია); *1* – მილოვანი ღეროები; *2* – დია პროფილის ღეროები; *3* – ორტესებრი პროფილის ღეროები; *4* – ნახევრადსფერული საკვანძო ელემენტი; *5* – ჩამოსხმული ნახევრადსფერული ფასონურა; *6* – დაშტამპული ფურცლოვანი ფასონურა; *7* – დაწნეხილი საკვანძო ელემენტი; *8* – ბრტყელი საყელური; *9* – ჩამოსხმული კონუსი; *10* – ბუნიკი; *11* – სოლი; *12* – თეფშა საყელური; *13* – სფერული ხუფი; *14* – ბრტყელი საკვანძო ფურცელი; *15* – მოსაჭიმი ჭანჭიკი

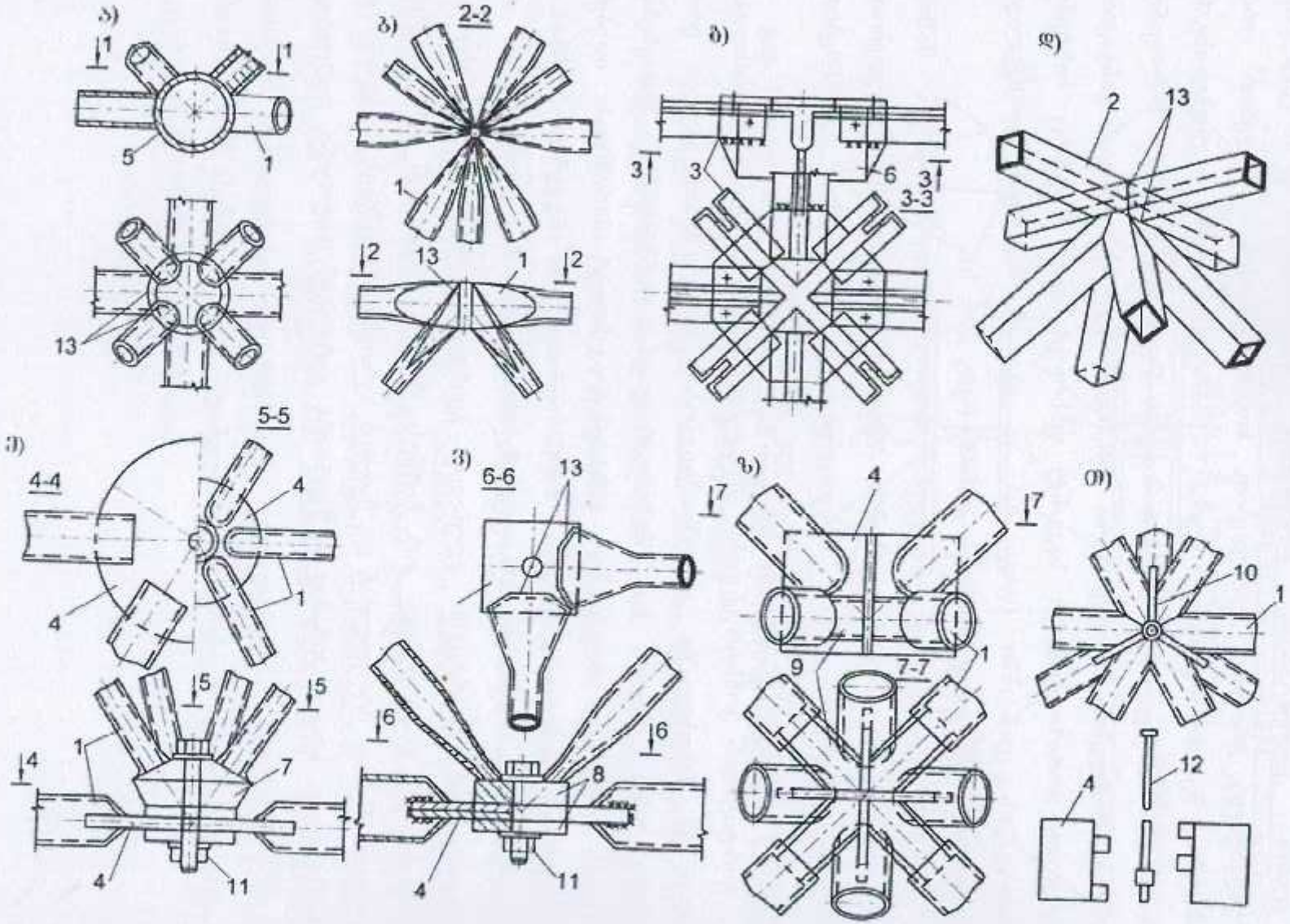
ფიგ. 203. სრულასაწყობი ჯაარედინ-ღეროვანი სისტემების კვანძები, რომლებიც იწყობა ცალკეული ელემენტებისაგან დერძული და თვითმჭრელი ჭანჭიკებითა და სოლისებრი სატაცებით

სისტემა "კოკილ"-ის საკვანძო შეერთებას (ფიგ. 203, ბ) ჭანჭიკის ღეროვან ელემენტთან შეუღლების გამარტივებული პრინციპი აქვს, თუმცა ჯამისებრი ფასონურას დიდი სისქე, რომელიც საჭიროა მდგრადობისათვის, მნიშვნელოვნად ზრდის კვანძის ლითონტევადობას. სხვადასხვა პროფილების გამოყენების თვალსაზრისით საინტერესოა სისტემა "ტრიადამეტრიკ"-ის საკვანძო შეერთება (ფიგ. 203, გ), რომლის მზიდუნარიანობა შეიძლება დარეგულირდეს საკვანძო ფასონურების სისქითა და ჭრადი ჭანჭიკების რაოდენობით.

აშშ-ი ფართოდ გამოიყენება სისტემა "იუნისტრატ"-ის კვანძი (ფიგ. 203, დ), რომელშიც 4–8 მმ სისქის საკვანძო ფასონურა დამზადებულია დაშტამპვით, და მასთან ჭანჭიკებით მიმაგრებულია ნაღუნი ღია პროფილები. ამ გადაწყვეტას გააჩნია შედარებით დაბალი მზიდუნარიანობა და ზღუდავს მალის ზომებს 18–24 მ-ს ფარგლებში. ასეთივე ნაკლი გააჩნიათ სისტემა "ტრიოდეტიკ"-ის და "იფი"-ს კვანძებს (ფიგ. 203, ე, ვ).

შენადნობი შეერთებების უპირატესობა, ჭანჭიკოვან შეერთებებთან შედარებით, მდგომარეობს მათ მიერ მნიშვნელოვნად დიდი ძალვების ათვისების შესაძლებლობაში, ამიტომ მათი გამოყენება მიზანშეწონილია დიდი მალებისა და დატვირთვების შემთხვევაში. შედუღებით შესრულებულ ასეთ შეერთებას წარმოადგენს სისტემა "ოტკაპლატ"-ის კვანძი (ფიგ. 204, ა). დისკურ სადებიან, ორი დაშტამპული ნახევარსფეროსაგან შედუღებულ ღრუ სფეროს ტორსებით ადუღებენ მილოვან ღეროებს. ღრუ სფეროს გარე დიამეტრს იღებენ მოცემულ კვანძში შემავალი ღეროვანი ელემენტების $2d_{max}$ ტოლს, ხოლო სფეროს სისქეს – დიამეტრის 1/25 – 1/30.

"ცნიისკ"-ის კვანძში გამოყენებულია სააბაზანე შედუღება (ფიგ. 204, ბ). გარკვეული კუთხეებით ჩამოჭრილ, მილების გაბრტყელებულ ბოლოებს შეუღლების კვანძში ავსებენ გამდნარი ლითონით. ამ კვანძის ღირსებაა – საკვანძე ფასონურების არარსებობა და შედეგად, ლითონის მინიმალური ხარჯი. შეწყვილებულ კუთხედებიანი ღეროებისთვის კვანძებში იყენებენ ბრტყელი ფურცლებისაგან შედუღებულ ჯვარედინა ფასონურებს (ფიგ. 204, გ), ხოლო მაროკუთხა მილებისათვის – ფასონურების გარეშე გადაწყვეტას (ფიგ. 204, დ). შედუღებით სრულასაწყობი ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციების საერთო ნაკლია აწყობის მნიშვნელოვანი შრომატევადობა, ნაკერების ხარისხის კონტროლის სირთულე და შედუღების დიდი ძაბვების არსებობა.



ფიგ. 204. სრულასაწყობი ჯვარედინ-ღეროვანი სისტემების კვანძები სამონტაჟო შედუღებით (ა-დ), რომლებიც იწყობა სრული ქარხნული დამზადების მოცულობითი პირამიდებით და პრიზმებით (ე-თ)

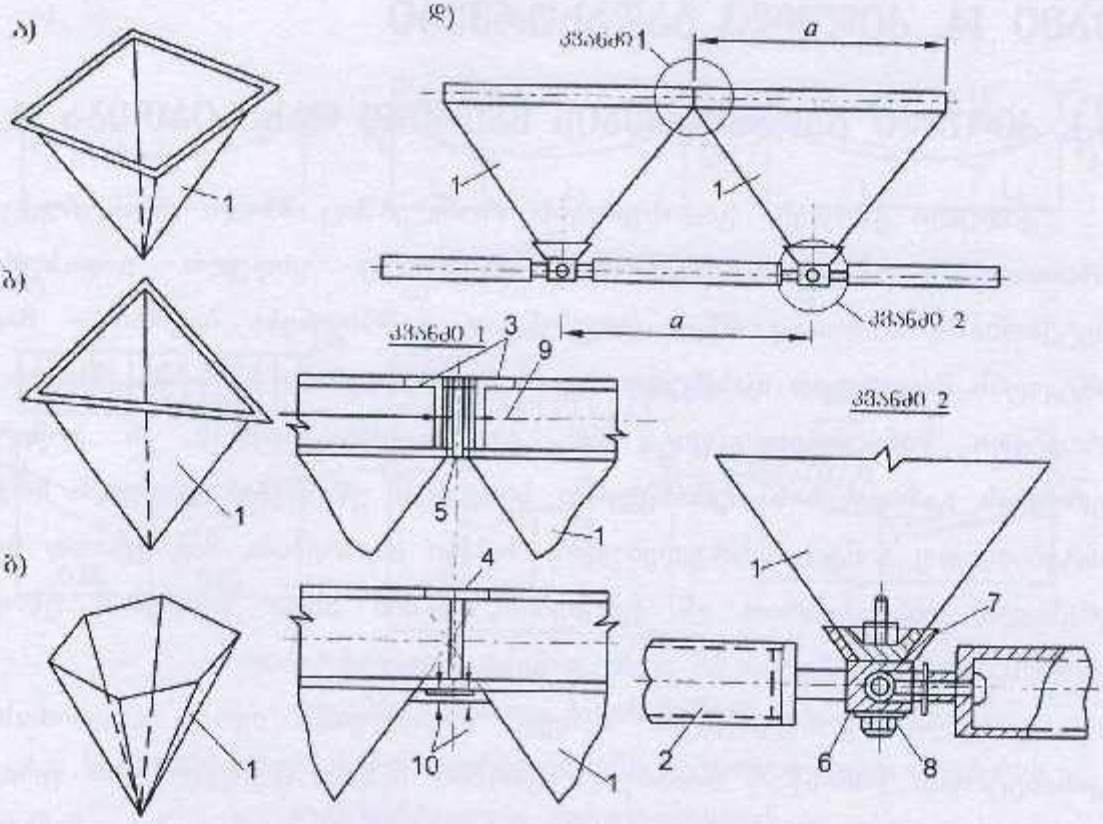
ა – "ოქტაპლატი"; ბ – ცილინდრი; გ – შეხადული საკვანძო ფურცლებით; დ – სწორკუთხა მილებით ფასონურების გარეშე; ე-"პირამიტკა"; ზ-თ – შპარხი; *1* – მილოვანი ღერო; *2* – სწორკუთხა მილოვანი ღერო; *3* – ქუთხოვანის ღერო; *4* – ფურცლოვანი ფასონური; *5* – ღრუ სფერული ფასონური; *6* – ფურცლოვანი ჯვარედინი ფასონური; *7* – წაკვეთილი კონუსის ფორმის დაშტამპული ფასონური; *8* – კვადრატული საკვანძო ფირფიტა; *9* – მრგვალმილოვანი ჯარსკვლავა ფასონური; *10* – საკვანძო ფასონური მარჭვნელი სახსრებით; *11* – მოსაჭიმი ჭანჭიკი; *12* – სამონტაჟო სარჭი; *13* – შედუღება

ასეთი კონსტრუქციების აწყობა ასევე შესაძლებელია ქარხანაში წინასწარ დამზადებული გამსხვილებული სამონტაჟო ბლოკებით, გეგმაში კვადრატული, სამკუთხა ან ექვსკუთხა პირამიდების სახით.

უმეტეს შემთხვევაში პირამიდის კონსტრუქცია კეთდება კომბინირებული – ფუძის ელემენტებით, რომლებიც წარმოადგენს სარტყელებს, შესრულებულია ერთმაგი კუთხედებით, ხოლო გისოსი – მილებით. ორი პირამიდის შეპირაპირებისას ფუძის სიბრტყეში ორი კუთხედისგან წარმოიქმნება სარტყელის ღერო. პირამიდების წვეროებს აერთებენ მილოვანი ღეროებით, რომლებიც მიდუღებულია პირამიდის წვეროს კვანძთან ჭანჭიკით მიმაგრებულ ჰორიზონტალურ საკვანძე ფასონურასთან, როგორც სისტემა "პირამიტკა"-ის კვანძებში (ფიგ. 204, ე, ვ), ან მილოვან ვარსკვლავა ფასონურასთან, როგორც "მარხი"-ს კვანძში (ფიგ. 204, ზ).

თუ პირამიდის ფუძე მზადდება მილოვანი ღეროებისაგან, მაშინ ღეროების შეერთება ფუძის კვანძებში შეიძლება შესრულდეს შედუღებით, სახსრული ანჯამების სახის სპეციალური მოწყობილობის დახმარებით პირამიდების შეუღლების შემდეგ (ფიგ. 204, თ).

ფირფიტოვან კონსტრუქციებს ამზადებენ ალუმინის შენადნობებისაგან, ვინაიდან ამ შემთხვევაში, კოროზიამედეგობის გამო, შესაძლებელია ერთ კონსტრუქციაში მზიდი და შემომფარგლავი ფუნქციების შეთავსება. ფურცლის სისქეს, რომლისგანაც ამზადებენ კვსონურ პირამიდას, იღებენ კონსტრუქციის სიმაღლის 1/300 – 1/500, ოღონდ არა ნაკლებს 2 მმ-ისა. პირამიდების ერთმანეთთან შესაუღლებლად, ფუძესთან, ვერტიკალურ ან ჰორიზონტალურ სიბრტყეში აღუნაგებენ გვერდებს, რომლებსაც ჩასჭამენ კუთხედებისგან დამზადებულ ორ ჩარჩოს შორის, ამაგრებენ ორტესებრის თაროსთან ან სხვა პროფილთან და მათთან აერთებენ ალუმინის მოქლონებით ან ჭანჭიკებით, ხოლო პირამიდის წვეროებს აერთებენ მილოვანი ღეროებით (ფიგ. 205).



ფიგ. 205. ალუმინის პირამიდებისგან აგებული ფირფიტოვან-ღეროვანი სისტემების კონსტრუირება

ა-გ – კვანძების ფორმები; დ – ორი პირამიდის შეუღლების ფრაგმენტი;
1 – თხელკედლიანი პირამიდა; *2* – მილოვანი ღერო; *3* – სარტყელის კუთხელები;
4 – სარტყელის ორტესებრი; *5* – ჯვარისებრი შუასადები;
6 – კონუსური რიზეტი; *7* – მიმჭერი საყელური; *8* – მოსაჭიმი ჭანჭიკი;
9 – საერთებელი ჭანჭიკი; *10* – მოქლონები

საკვანძო მოწყობილობა თხელკედლიანი პირამიდის წვეროში შედგება სამი ძირითადი დაწნეხილი დეტალისაგან: კუთხვილიანი ნახვრეტების მქონე საკვანძო ფასონურისაგან – ღეროების შესაერთებლად და კონუსური როზეტისაგან – თხელკედლიანი პირამიდის წახნაგების შესაერთებლად; მიმჭერი საყელურისა და მოსაჭიმი ჭანჭიკისაგან. პირამიდის წახნაგები, მდგრადობის ასამაღლებლად, შეიძლება გაძლიერებულ იქნას და'შტამპვით ან კუთხედის სახის სიხისტის წიბოთი.

თავი 14. კიდული გადახურვები

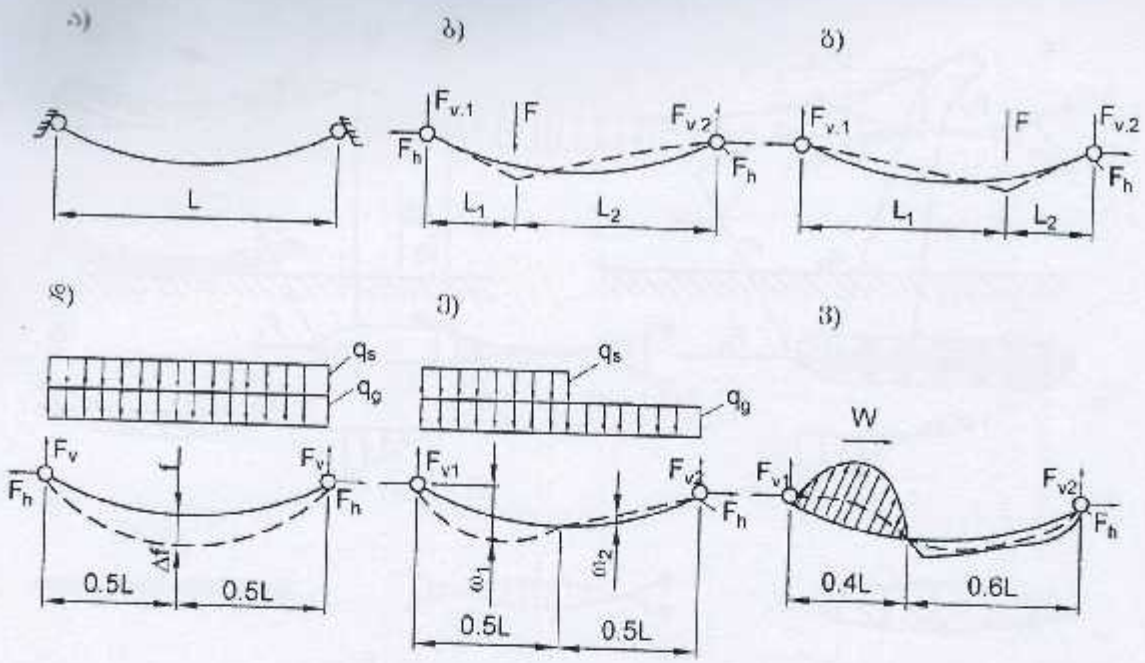
14.1. კიდული გადახურვების საერთო დახასიათება

კიდული ეწოდება გადახურვებს, რომლებშიც მზიდი კონსტრუქციების ძირითადი ელემენტები მუშაობენ გაჭიმვაზე. კიდული გადახურვების უმეტესობაში ძირითად მზიდ ელემენტად გამოიყენება ბაგირი – მაღალი სიმტკიცის მავთულით დახვეული გვარლი, გაწყვეტაზე 1200-1800 მპა და მეტი დროებითი წინაღობით (ყიგ. 206, ა). ბაგირი-გვარლის ან არმატურის ღეროების გამოყენების შემთხვევაში სისტემას უწოდებენ კიდულს მოქნილი ვანტებით. თუ ვანტა შესრულებულია ხისტი ღეროებით, მაგალითად ნალუნი (გრეხილი) ორტესებრით ან ფურმებით, მაშინ ასეთ სისტემას უწოდებენ კიდულს ხისტი ვანტებით ან ღუნვად-ხისტი ელემენტებით.

კიდული კონსტრუქცია ასევე შეიძლება იყოს ლითონის ან რკინაბეტონის წინასწარ დაძაბული გარსის სახის. ფურცლოვანი ფოლადის ან ალუმინისგან შედგენილ ლითონის გარსებს უწოდებენ მემბრანულ კონსტრუქციებს.

შენობების გადახურვისთვის მოქნილი ძაფის გამოყენების იდეა პირველად წარმოდგენილ იქნა ვ. გ. შუხოვის მიერ, რომელმაც 1896 წელს დააპროექტა და ნიჟნი ნოვგოროდში ააშენა იმ დროისათვის რეკორდული ზომის პავილიონები – 30X70 მ; 50X100 მ და დიამეტრით 68 მ. კიდული კონსტრუქციების მეორე დაბადება თარიღდება 1953 წლით, აშშ-ში რელეი-არენის 92X97 მ ზომის, გვარლებიანი უნაგირა ბადისებრი გადახურვის აგების შემდეგ. ამ დროიდან დაიწყო კიდული კონსტრუქციების ფართო გამოყენება სხვადასხვა დანიშნულების შენობებსა და ნაგებობებში, როგორიცაა: სპორტული და საგამოფენო ნაგებობები, დახურული ბაზრები და უნივერსალური დარბაზები, მსხვილი გარაჟები, ანგარები და ელინგები, აგრეთვე სამრეწველო დანიშნულების უნიკერსალური შენობები.

კიდული კონსტრუქციების დადებითია: მაღალი სიმტკიცის ფოლადების მზიდუნარიანობის მაქსიმალურად სრულად გამოყენება, ერთ კონსტრუქციაში მზიდი და შემომფარგველი ფუნქციების შეთავსება, რის გამოც დამატებით მცირდება გადახურვის მასა, სეისმომედეგობა.



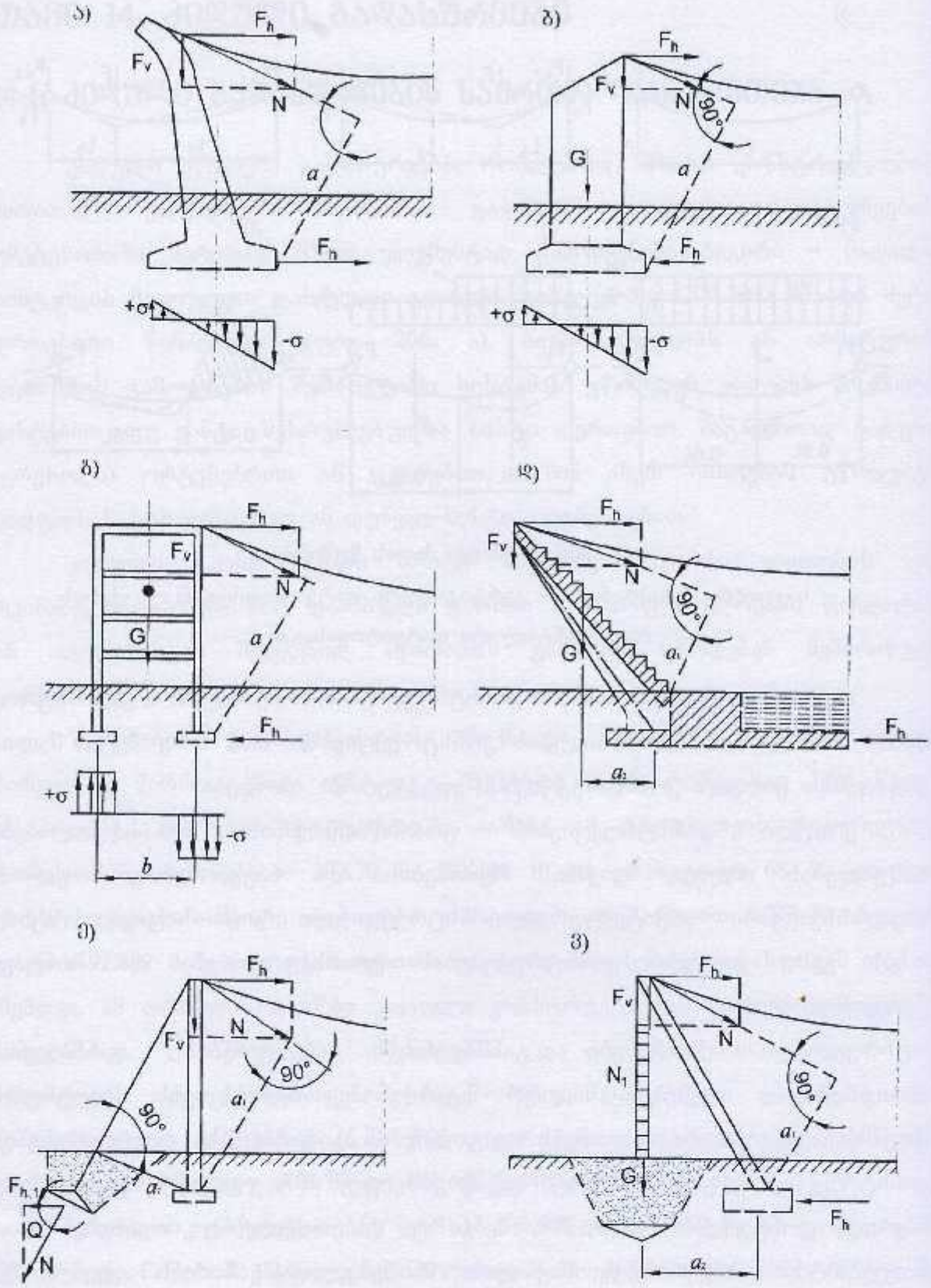
ფიგ. 206. მოქნილი ძაფის მუშაობა

a – საკუთარი მასისგან; *b-d* – ცერტიკალური დატვირთვისაგან; *e* – ქარის ჰორიზონტალური დატვირთვისაგან

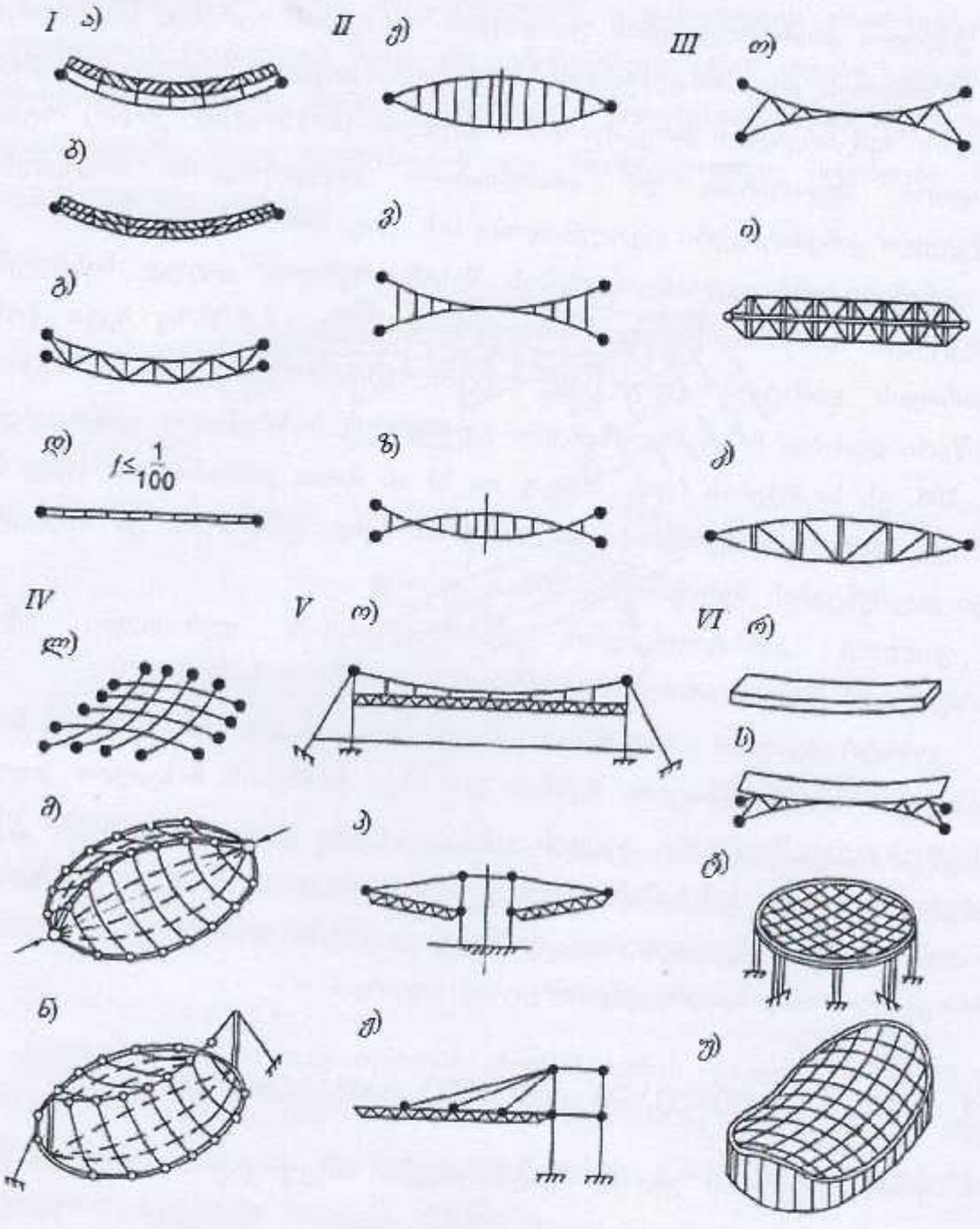
საკმაოდ მცირე მასის კონსტრუქციებით შეიძლება გადაიხუროს 40-300 მ მალები, ხოლო ხიდების კონსტრუქციებში 1000 მ-ზე მეტი. მალის გადიდებით კიდული კონსტრუქციების ეფექტურობა იზრდება.

კიდული კონსტრუქციების ფორმაწარმოქმნის შესაძლებლობები საშუალებას იძლევა შეიქმნას შენობებისა და ნაგებობების სრულიად სხვადასხვაგვარი არქიტექტურულ-კონსტრუქციული კომპოზიციები. მცირე მასის გამო კიდული კონსტრუქციების ტრანსპორტირება და მონტაჟი გაადვილებულია.

კიდული სისტემები განმბჯენიანი სისტემებია. განმბჯენის ასათვისებლად იყენებენ მძლავრ საყრდენ კონსტრუქციებს: მოღუნული ფორმის სვეტებსა და პილონებს (ფიგ. 207, ა, ბ), ჩარჩოებსა და ტრიბუნების კონსტრუქციებს (ფიგ. 207, გ-დ), საჭიმრებს (ფიგ. 207, ე-ვ), აგრეთვე შეკრულ საყრდენ კონტურებს (ფიგ. 208, მ, ნ, ტ, უ), რომლებიც ითვისებენ დიდ ძალვებს და საჭიროებენ მასალის მნიშვნელოვან ხარჯს. ყველა ეს მოწყობილობა ართულებს და აძვირებს კიდულ კონსტრუქციებს და მნიშვნელოვნად ამცირებს მათი გამოყენების ეფექტურობას.



ფიგ. 207. საყრდენი კონსტრუქციების სახეები



ფიგ. 208. კიდული გადახურვები

I – ერთსარტყელიანი სისტემები მოქნილი ან ხისტი ძაფებით; *II* – ორსარტყელიანი კიდული სისტემები; *III* – ვანტური წამწეები; *IV* – უნაგირისებრი ბადეები; *V* – კომბინირებული სისტემები; *VI* – მემბრანული გარსები; *ა* – დამაგრებული დატვირთვით; *ბ* – კიდული გარსი; *გ* – ღუნვადი-ხისტი; *დ* – სიმისებრი; *ე* – ამოზნექილი; *ვ* – ჩაზნექილი; *ზ* – ამოზნექილ-ჩაზნექილი; *თ* – გვარლური; *ი* – გვარლური, გრძივი განმბჯენი ღეროთი; *კ* – გვარლური, განივი ხისტი განმბჯენებით; *ლ* – პიპერბოლური პარაბოლოიდის სახის ბადე; *მ* – ბადე მზიდი თაღით; *ნ* – ბადე გვარლ-სადგარით; *ო* – ერთმალიანი; *პ* – ორკონსოლური; *ჟ* – ერთკონსოლური; *რ* – დამაგრებული დატვირთვით; *ს* – დაძაბული გვარლური წამწით; *ტ* – კიდული; *უ* – უნაგირისებრი

კიდული კონსტრუქციების უარყოფით თვისებებს აგრეთვე მიეკუთვნება მათი გაზრდილი დეფორმაციულობა, რაც გამოწვეულია მაღალი სიმტკიცის ფოლადის შემცირებული დრეკადობის მოდულით (E≈1.5–1.8)10^4 კნ/სმ^2) ნაგლინ ფოლადთან შედარებით, და არათანაბარი დატვირთვების მოქმედებით გამოწვეული კინემატიკური ცვალებადობა (იხ. ფიგ. 206, ბ-ე).

კინემატიკური გადაადგილებების შესამცირებლად კიდულ სისტემებში აპროექტებენ მასტაბილიზებელ მოწყობილობებს: 1 კნ/მ^2-ზე მეტი წონის დატვირთვის დამატება (ფიგ. 208, ა, ბ); მზიდი გვარლის (ჩახნექილი) წინასწარი დაძაბვა მასტაბილიზებელი გვარლით (ამოზნექილი), განმბჯენების (ფიგ. 208, ე), საკოჭების (ფიგ. 208, ვ, თ, ს) ან მათი კომბინაციით (ფიგ. 208, ზ), ასევე მათი ურთიერთდაძაბვა ბადეებში (ფიგ. 208, ლ-ნ, უ); სისტემაში ხისტი ელემენტების შეტანა (ფიგ. 208, გ, ი, ო-ე).

კიდული კონსტრუქციების დაპროექტებისას ყურადღება ექცევა გადახურვიდან წყლის არინების და სახურავის ჰერმეტიზაციას.

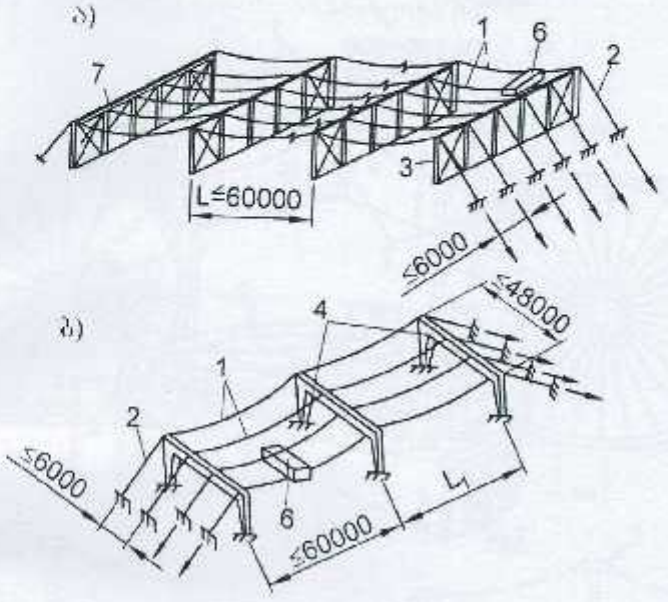
კონსტრუქციული ფორმების, ძირითადი მზიდი ელემენტის სახის, გადახურვის სტაბილიზაციის ხერხის და სხვა ნიშნების მიხედვით კიდული კონსტრუქციები შეიძლება დაიყოს ექვს ჯგუფად (ფიგ. 208.) თავის მხრივ თითოეული ჯგუფი, სისტემაში ელემენტების ურთიერთგანლაგების მიხედვით, შეიძლება დაიყოს ქვეჯგუფებად, რომლებიც ერთმანეთისგან განსხვავდებიან დაპროექტების თავისებურებებით.

14.2. ერთსარტყელიანი კიდული გადახურვები

ერთსარტყელიან კიდულ გადახურვებს მიეკუთვნება: მზიდი მოქნილი ღეროების ან გვარლებისაგან შედგენილი სისტემები, რომელთა სტაბილიზაცია მიიღწევა მათზე დაწყობილი ფენილის მასით, რომელიც ტორსებიდან წინასწარაა მოჭიმული და კვანძებშია დამონოლითებული (ფიგ. 209, ა); ხისტი ძაფების ან წამწეებისაგან შედგენილი სისტემები (იხ. ფიგ. 214); განივი კოჭების ან წამწეების გამოყენებით დაძაბული, მოქნილ ძაფებიანი სისტემები (იხ. ფიგ. 216).

მშენებლობაში ყველაზე მეტად გამოიყენება ერთსარტყელიანი გადახურვები რკინაბეტონის ან კერამზიტბეტონის ფილებით. ასეთი სისტემების უპირატესობაა კონსტრუქციის დიდი სიხისტე და

ბეტონში სწორკუთხა მრავალმალიანი გადახურვების დაპროექტებისას საყრდენ კონსტრუქციებად შეიძლება გამოყენებულ იქნას კოჭები სვეტებით ან ჩარჩოები (ფიგ. 211). მეორე შემთხვევა უმჯობესია, რადგანაც შენობა თავისუფლდება შიდა სვეტებისგან და მნიშვნელოვნად მცირდება მიწის სამუშაოების მოცულობა.

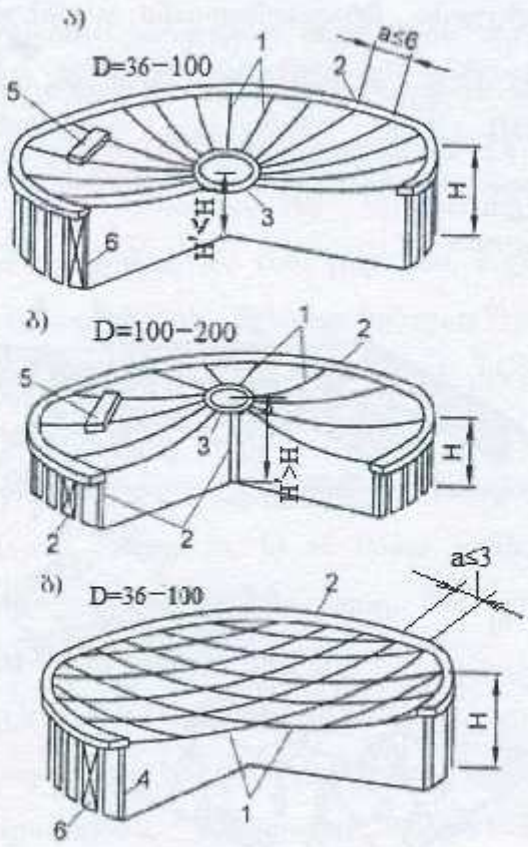


ფიგ. 211. მრავალმალიანი ერთსარტყელიანი სწორკუთხა გადახურვების სქემები

a – მზიდი სვეტებით; *b* – მზიდი ჩარჩოებით; *1* – მზიდი ანტები; *2* – საჭიმრები; *3* – სვეტები; *4* – ჩარჩოები; *5* – კავშირები; *6* – რკინაბეტონის ფილები; *7* – საყრდენი კონტურის კოჭები;

ერთსარტყელიანი გადახურვები რკინაბეტონის ფილებით მიზანშეწონილია დაპროექტდეს ბეტონში წრიულ შენობებზე (ფიგ. 212). ასეთი გადახურვების ძირითადი ღირსებაა გვარლების განმბჯენის ამთვისებელი რკინაბეტონის საყრდენი რგოლის არსებობა.

განასხვავებენ ასეთი გადახურვების ორ პრინციპულ ფორმას – ჩაზნექილს (ფიგ. 212, ა) და კარვისებრს (ფიგ. 212, ბ). ჩაზნექილ სისტემაში კუმშვაზე მომუშავე გარე საყრდენ რგოლთან ერთად გათვალისწინებულია გაჭიმვაზე მომუშავე ლითონის შიგა რგოლი. ასეთ სისტემაში გვარლები განთავსებულია მერიდიანულად და შიგა რგოლზე დამაგრებულია 35-50 სმ მანძილზე, რაც განსაზღვრავს შიგა რგოლის დიამეტრს – 6-12 მ. რკინაბეტონის ფილების დალაგების პირობიდან გამომდინარე გარე რგოლზე ღეროების ჩამაგრება არ უნდა აღემატებოდეს 6 მ-ს.



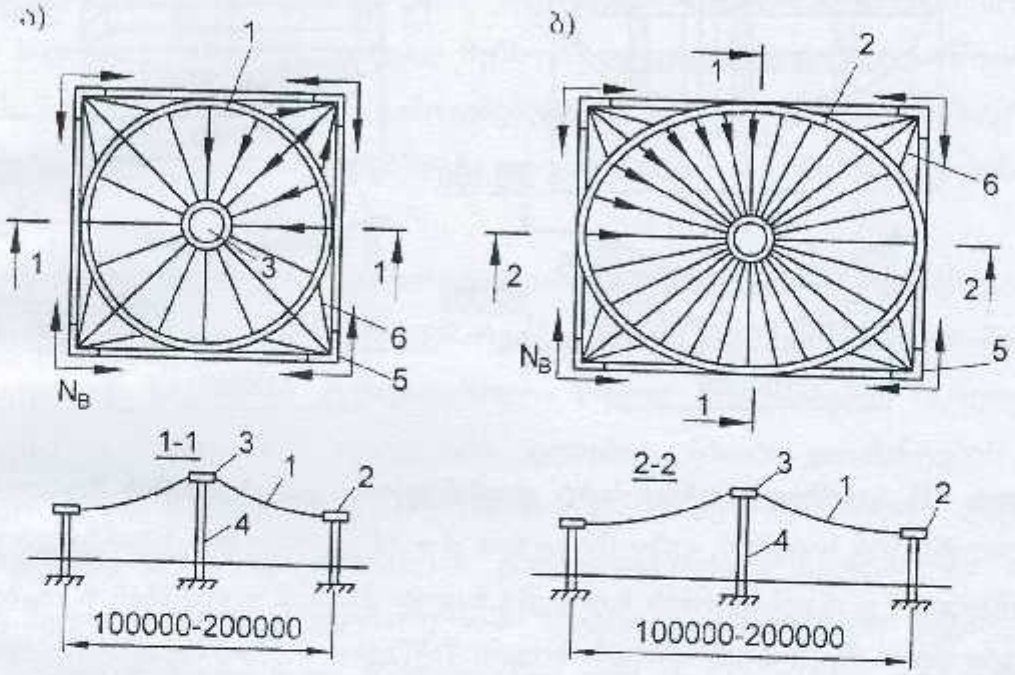
ფიგ. 212. ერთსარტყელიანი წრიული გადახურვის სქემები

ა – რადიალური შიგა რგოლით; *ბ* – რადიალური შიგა საყრდენით; *გ* – ორთოგონალური ბადით; *1* – მზიდი ვანტა; *2* – საყრდენი რგოლი; *3* – შიგა რგოლი; *4* – სვეტი; *5* – რკინაბეტონის ფილა; *6* – კავშირები

კარკასებრი გადახურვების განმასხვავებელი თავისებურება ისაა, რომ მნიშვნელოვანი დატვირთვა გადახურვიდან გადაეცემა შიგა რგოლის მეშვეობით, რომელიც მუშაობს არაცენტრალურ გაჭიმვაზე, რკინაბეტონის შუა საყრდენის საშუალებით. რადიალურ გადახურვებში ვანტების ჩაკიდულობის ოპტიმალური შეიძლება დაინიშნოს გადასახური მალის 1/10–1/20.

ერთსარტყელიანი, გეგმაში წრიული კიდული სისტემების საერთო ნაკლია ვანტებზე დალაგებული ტრაპეციისებრი რკინაბეტონის ფილების ტიპზომების დიდი რაოდენობა, სამკუთხა სექტორების მრავალჯერ განმეორებადობის შემთხვევაშიც. ფილების ტიპზომების შემცირების მცდელობამ გამოიწვია ორთოგონალურ ბადიანი ჩაზნექილი სისტემის შექმნა შიგა რგოლის გარეშე (ფიგ. 212, გ). მაგრამ ასეთ კონსტრუქციაში, ფილებს შორის ნაკერების დიდი სიგანის გამო, აგებისას იზრდება სველი პროცესების მოცულობა. ჩაზნექილი სისტემების ნაკლია გადახურვიდან წყლის არინების გაძნელება.

ერთსარტყელიანი სისტემები რადიალური ვანტებით შეიძლება გამოყენებულ იქნას გეგმაში სწორკუთხა გადახურვებისთვისაც. ამ მიზნით საყრდენ რგოლს კიდული გარსით დამატებითი ვანტებით ჩამოკიდებენ სწორკუთხა საყრდენი კონტურის კუთხურ საყრდენებზე (ფიგ. 213). ამ შემთხვევაში დამატებითი ვანტებისაგან გამოწვეული განმბჯენი ი'შლება (გადანაწილდება) შემზიდველის სიბრტყეებში.

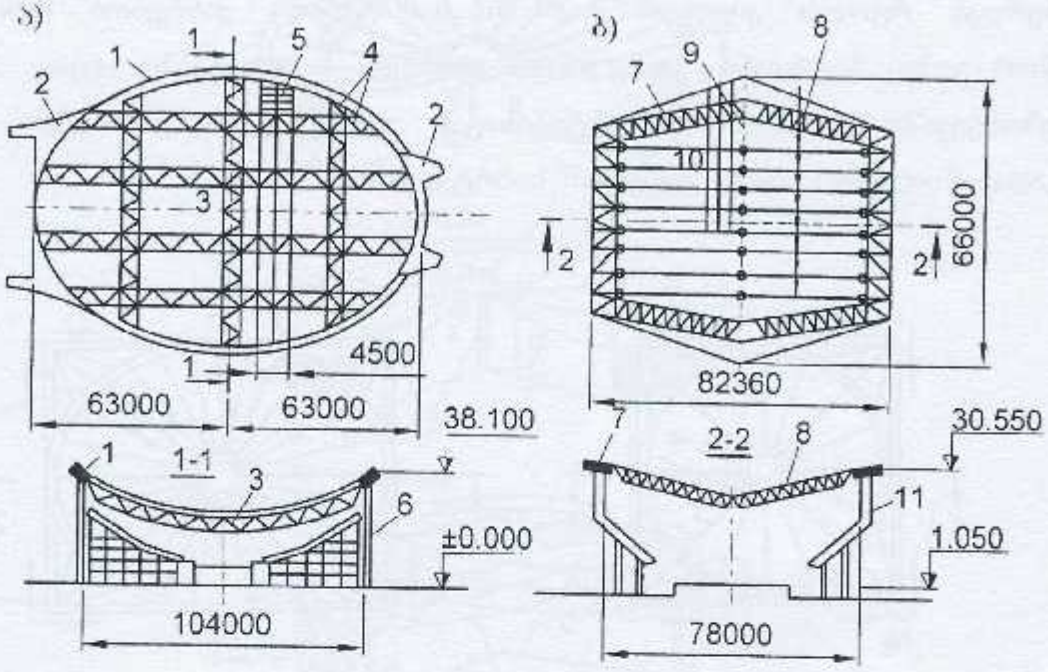


ფიგ. 213. ერთსარტყელიანი რადიალური გადახურვის სქემები შენობებისთვის

ა – კვადრატული გეგმით; ბ – სწორკუთხა გეგმით; 1 – მზიდი ვანტები; 2 – საყრდენი კონტური; 3 – ცენტრალური რგოლი; 4 – სვეტები; 5 – კუთხის საყრდენები; 6 – დამატებითი ვანტები

ერთსარტყელიანი კიდული გადახურვები გაჭიმული ღუნვად-ხისტი ელემენტებით, რომლებიც შესრულებულია შენადული ან ნაგლინი ორტესებრი პროფილებისგან, ან მოლუნული და სწორხაზოვანი წამწეებისგან, გადახურვის სტაბილიზაციისთვის არ საჭიროებს სპეციალურ ღონისძიებებს. ამ ფუნქციას ასრულებს საკუთრივ ელემენტები, რომლებსაც შეუძლიათ მიიღონ გამჭიმავი და მღუნავი ძალვები (ფიგ. 214). ამის გამო ხისტი ძაფის ჩაკიდულობის ისარი შეიძლება შემცირდეს მალის 1/20–1/30-მდე ძაფების 3-4.5 მ ბიჯის შემთხვევაში. მთლიანი ნაღუნი ორტესებრის კვეთის სიმაღლე აიღება მალის 1/40–1/50, ხოლო წამწის სიმაღლე მალის 1/35–1/45. სიმაღლე დამოკიდებულია მუდმივი

და დროებითი დატვირთვების თანაფარდობაზე. აგრეთვე გადახურვის საჭირო სიხისტეზე.



ფიგ. 214. გაჭიმული ღუნვად-ხისტ ელემენტებიანი გადახურვების მაგალითები

ა – ოლიმპიური საცურაო აუზი (მოსკოვი); *ბ* – უნივერსალური სპორტული დარბაზი (მოსკოვი); *1* – რკინაბეტონის საყრდენი თაღები 2x3.3; *2* – თაღების რკინაბეტონის საყრდენები; *3* – კიდული მრუდხაზოვანი წამწეები; *4* – კავშირები; *5* – ფენილის დაფები; *6* – სვეტები; *7* – საყრდენი კონტური; *8* – კიდული სწორხაზოვანი წამწეები; *9* – საყრდენი კონტურის ფურცლოვანი საკეტი; *10* – გრძივები; *11* – ტრიბუნისქვეშა ჩარხოები;

ხისტ ძაფებიანი გადახურვების უპირატესობებია: კონსტრუქციული ფორმის სიმარტივე, დამზადების ინდუსტრიულობა, ჩვეულებრივი ფოლადების გამოყენება. ნაკლია: მაღალი ლითონტევადობა, გადახურვის არასიერციული მუშაობა. გამომდინარე აქედან ღუნვად-ხისტ ძაფებიანი ერთსარტყელიანი კიდული გადახურვები მიზანშეწონილია დაპროექტდეს შედარებით პატარა მალის გადახურვებში, რომლებზეც მოდის მცირე მუდმივი და დიდი დროებითი დატვირთვები.

ღუნვად-ხისტ ძაფებიანი კიდული გახურვა გამოყენებულია ორ ოლიმპიურ ობიექტზე მოსკოვში: 126x104 მ ზომის ელიფსური ფორმის საცურაო აუზი, რომელიც გადახურულია კვადრატული პარაბოლის მოხაზულობის წამწეებით, და 78X66 მ ზომის არაწესიერი ექსკუთხედის

ფორმის მქონე სპორტული დარბაზი, რომელიც გადახურულია კლიტეში ბლაგვი შემავალი კუთხით გადამკვეთი სწორხაზოვანი წამწეებით (ფიგ. 214). თავისი ტექნიკურ-ეკონომიკური და კონსტრუქციული მახასიათებლებით ორივე გადახურვა მნიშვნელოვნად ჩამორჩება მკმბრანულს.

ბაგირ-კოჭოვან სისტემებს (ფიგ. 216) ახასიათებთ მომატებული სიხისტე ღუნვაზე, რომელიც იზრდება საყრდენ კონტურში ჩამაგრებული წამწეების განივ კონსტრუქციად გამოყენების შემთხვევაში. გადახურვის კონსტრუქცია იძენს სივრცით სიხისტეს, კარგად მუშაობს ადგილობრივი დატვირთვის დროს და საშუალებას იძლევა გამოყენებულ იქნას მსუბუქი კონსტრუქციის სახურავი. ასეთ კონსტრუქციებში ჩაკიდულობის ისარი არ უნდა იყოს მალის 1/15-ზე ნაკლები.

მოქნილ ძაფებიანი ერთსარტყელიანი კიდული გადახურვების გაანგარიშების მიახლოებითი ხერხი მდგომარეობს იმაში, რომ განისაზღვრება მოქნილი ძაფის და საჭიმების კვეთები, ხოლო წრიულ ნაგებობებში აგრეთვე გარე საყრდენი და შიგა შუა რგოლების კვეთებიც. მზიდი ელემენტების კვეთის შერჩევა ხორციელდება მონტაჟის სტადიაში, რადგანაც ჯამური დატვირთვა გადახურვაზე დამძაბავი ბალასტის გათვალისწინებით საანგარიშო დატვირთვაზე მეტია. ზღვრულ მდგომარეობაში ნაგებობის საანგარიშო სქემად მიიღება ბრტყელი მოქნილი ძაფი, საყრდენებით ერთ ან სხვადასხვა დონეებზე.

საანგარიშო დატვირთვა ვანტზე ცილინდრულ გადახურვაში (ფიგ. 215, ა), წინასწარი დაძაბვის გათვალისწინებით, განისაზღვრება ფორმულით:

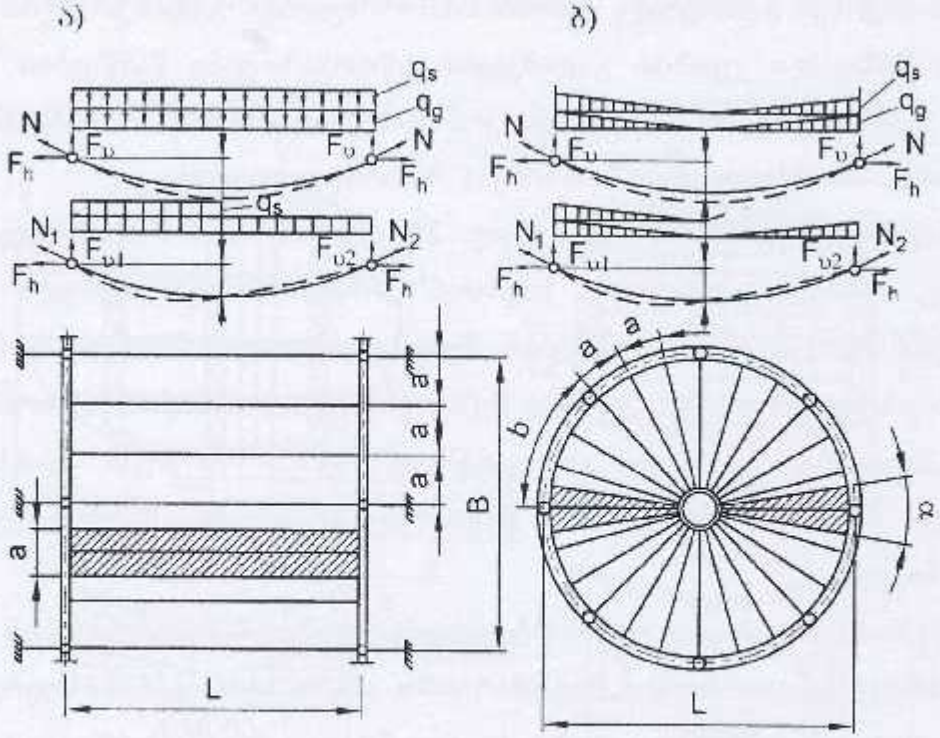
$$q=q_g-(1.2-1.3)q_s=ga-(1.2-1.3)sa, \qquad (178)$$

სადაც g არის საანგარიშო მუდმივი დატვირთვა ვანტების, გადახურვის ფილებისა და სახურავის 1მ²-ის საკუთარი წონისაგან; s – საანგარიშო თოვლის დატვირთვა გადახურვის 1მ²-ზე; a – ვანტებს შორის მანძილი.

გაჭიმვისაგან ძაფის დეფორმაციის გათვალისწინების უგულებელყოფით, განმბჯენი საანგარიშო დატვირთვისაგან შეიძლება გაანგარიშებული იქნას ფორმულით:

$$F_h = M_0 / y = ql^2 / 8f, \qquad (179)$$

სადაც M_0 არის q დატვირთვისაგან გამოწვეული მღუნავი მომენტი კოჭში მალით l; y – ვანტის წირის ორდინატა.



ფიგ. 215. ერთსარტყელიანი კიდული სისტემების გაანგარიშებისათვის

ა – მართკუთხა გეგმით; ბ – წრიული გეგმით;

ვანტის საყრდენი რეაქციის ვერტიკალური მდგენელი

$$F_v = ql / 2. \tag{180}$$

ძაფის გაჭიმვის მაქსიმალური ძალვა მოქმედებს საყრდენთან

$$N = \sqrt{F_h^2 + F_v^2}. \tag{181}$$

მოქნილი ძაფის გაანგარიშებისას განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია გაანგარიშება ზღვრულ მდგომარეობათა მეორე ჯგუფის მიხედვით – დროებითი დატვირთვისაგან გამოწვეული დასაშვებზე მეტი ჩაღუნვების შედეგად კონსტრუქციის ნორმალური ექსპლუატაციის შეუძლებლობის მიხედვით. ეს გაანგარიშება ხდება მიახლოებითი მეთოდებით. დროებითი დატვირთვის მოქმედებისაგან გამოწვეული, მოქნილი ძაფის საანგარიშო ვერტიკალური ჩაღუნვის ზღვრული სიდიდე უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ პირობას

$$\Delta f / l = 3q_{s,n} l^2 / 128EAf^2 \le 1/200, \tag{182}$$

სადაც $q_{s,n}$ არის ძაფის მალის $1 м^2$-ზე ნორმატიული დროებითი დატვირთვა; E – ძაფის დრეკადობის მოდული; A – ძაფის კვეთის ფართობი.

თუ განმბჯენი გადაეცემა გარე ანკერებზე, მაშინ ძაფის დაყვანილი სიგრძე საჭიმების სიგრძეების გათვალისწინებით ტოლია:

$$S = l\,(1+8f^2 / l^2)+2l_1\sec^2\theta, \tag{183}$$

სადაც l_1არის საჭიმის ჰორიზონტალური პროექცია (გეგმილი) სვეტის ღერძიდან სახერკვლთან ჩამაგრების ღერძამდე; θ – საჭიმის დახრის კუთხე ჰორიზონტთან.

ძალვები დახრილ და ვერტიკალურ საჭიმებში (იხ. ფიგ 207, ე, ვ) გაანგარიშდება შესაბამისად ფორმულებით:

$$N_1 = F_h B / a \cdot \cos\theta, \tag{184}$$

$$N_1 = F_h B / aa_2, \tag{185}$$

სადაც B საჭიმების ბიჯია.

ჩაზნექილი ტიპის ერთსარტყელიან რადიალურ ვანტურ სისტემებში (ფიგ. 215, ბ) ძალვები წინა გაანგარიშების ანალოგიურად გამოითვლება:

$$F_h = ql^2 / 24f; \quad F_v = ql / 4;$$

$$N = \sqrt{F_h^2 + F_v^2} = F_h\sqrt{1 + 36\,f^2/l^2}. \tag{186}$$

მზიდი ვანტის განივი კვეთის საჭირო ფართობი განისაზღვრება ტოლობიდან

$$A_{ca} = 1.6\,N / \eta\,100R_{un}, \tag{187}$$

სადაც 1.6 არის მასალის საიმედოობის კოეფიციენტი; η – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ბაგირის გამწყვეტი ძალვის შემცირებას მავთულების ჯამურ გამწყვეტ ძალვასთან შედარებით (η=0.81-0.85 – 1x37 კონსტრუქციის ТК და 6x19 კონსტრუქციის ЛК-Р ბაგირებისთვის; η=0.75-0.8 – 6x36 კონსტრუქციის ТЛК-РО ბაგირებისთვის; η=1 – დახურული მზიდი ბაგირებისთვის); R_{un} – ბაგირის მავთულების დროებითი წინაღობა გაწყვეტაზე, მპა (ТК, ТЛК-РО, ЛК-Р ბაგირებისთვის R_{un} = 1176, 1372, 1568, 1666, 1764, 1862 და 1960; დახურული ბაგირებისთვის R_{un} = 1078, 1176, 1274, 1372); 100 – მპა-ის ნ/სმ²-ში გადასაყვანი კოეფიციენტი.

შიგა რგოლის გამჭიმავი და გარე საყრდენი რგოლის მკუმშავი ძალვები განისაზღვრება ფორმულით:

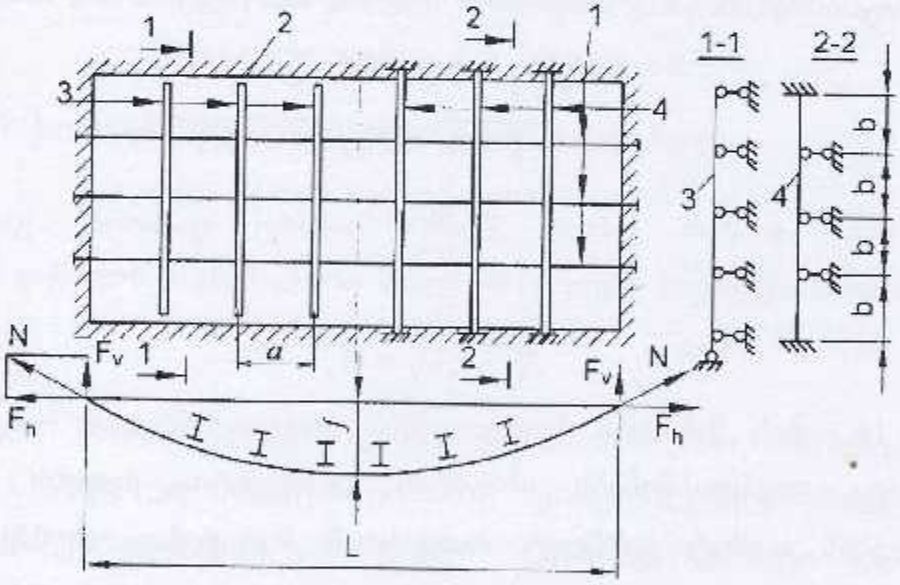
$$N_t = F_h\, l / 2a. \tag{188}$$

ღუნვად-ხისტი ძაფების ზუსტი გაანგარიშება საკმაოდ რთულია, ამიტომ მუდმივი დატვირთვისაგან, თოკის მრუდის მსგავსად, მოღუნული ხისტი ძაფების კვეთები შეიძლება შეირჩეს მიახლოებითი ხერხით. ხისტი ძაფის გამჭიმავი ძალვა განისაზღვრება (182)-ე ფორმულით, ხოლო მღუნავი მომენტი – ფორმულით:

$$M = M_b - F_h f, \tag{189}$$

სადაც M_b – კოჭური მომენტია ძაფის კვეთში.

ვანტურ-კოჭური სისტემები (ფიგ. 216), რომლებშიც კოჭებს ვანტთან ყოველ გადაკვეთაზე აქვთ სახსრები, გაიანგარიშება როგორც შეყურსული ძალებით დატვირთული ერთსარტყლიანი მოქნილი ძაფები.



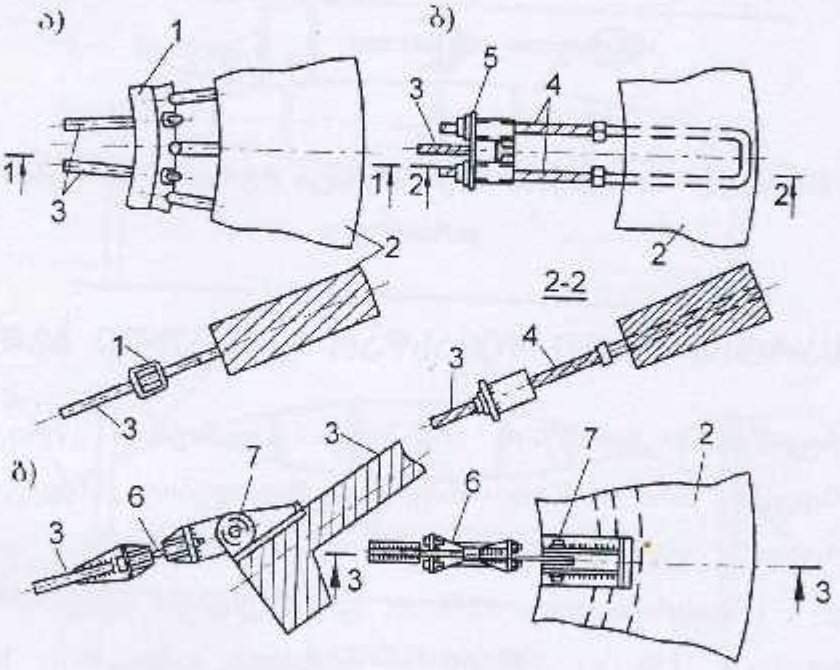
ფიგ. 216. ვანტურ-კოჭური სისტემების გაანგარიშებისათვის

1 – მზიდი ვანტა; *2* – საყრდენი კონტური; *3* – მრავალმალიანი უჭრი კოჭები; *4* – იგივე, კონტურზე ჩამაგრებული

უჭრი კოჭების შემთხვევაში, სიხისტიდან გამომდინარე, მათ შეუძლიათ შეასრულონ სისტემაში ძალვების გადამანაწილებელი ან სისტემის მასტაბილიზებელი ელემენტების ფუნქცია, განსაკუთრებით არათანაბარი დატვირთვისას. გადანაწილების ეფექტი იზრდება სისტემის წინასწარი

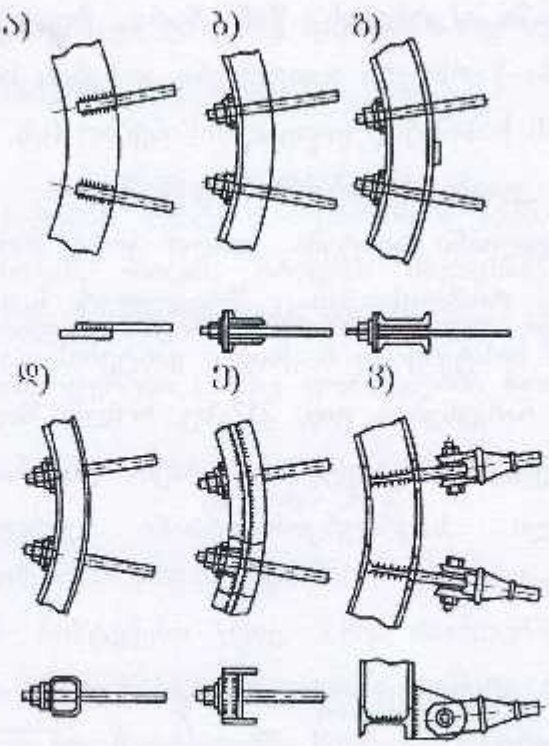
დაძაბვის შემთხვევაში (კოჭების წინასწარი მოღუნვით, ამოზნექილობით ზევით). გაანგარიშება წარმოებს ჯვარედინი კოჭების სისტემის ანალოგიურად კოჭებისა და ძაფების სიხისტის გათვალისწინებით (იხ. ვ. 12.3).

მიახლოებით გაანგარიშებებში დასაშვებია ვანტა გაანგარიშდეს როგორც ერთსარტყელიანი სისტემა, ხოლო კოჭი, როგორც მრავალმალიანი უჭრი კონსტრუქცია, რომლისთვისაც შუალედურ საყრდენებს წარმოადგენს ვანტები. რადიალურ სისტემებში მოქნილი ვანტების გარე საყრდენ რგოლთან მიერთების კვანძენი ნაჩვენებია ფიგ. 217-ზე, ხოლო შიგა გაჭიმულ რგოლთან – ფიგ. 218-ზე. პირველ შემთხვევაში კვანძები დამახასიათებელია კუმშვაზე მომუშავე შეკრული საყრდენკონტურიანი ყველა ტიპის კიდული კონსტრუქციებისათვის.



ფიგ. 217. რადიალურ სისტემებში რკინაბეტონის გარე საყრდენ რგოლთან ვანტების მიერთება

ა – გადამფენი რგოლით; *ბ* – შეწყვილებული შვერილებით; *გ* – მოსაჭიმი ჭანჭიკებით; *1* – კოლოფისებრი რგოლური ელემენტი; *2* – რკინაბეტონის გარე საყრდენი რგოლი; *3* – ვანტები; *4* – შეწყვილებული შვერილები; *5* – ჩახსნელი მილისი; *6* – მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკები; *7* – სახსარი

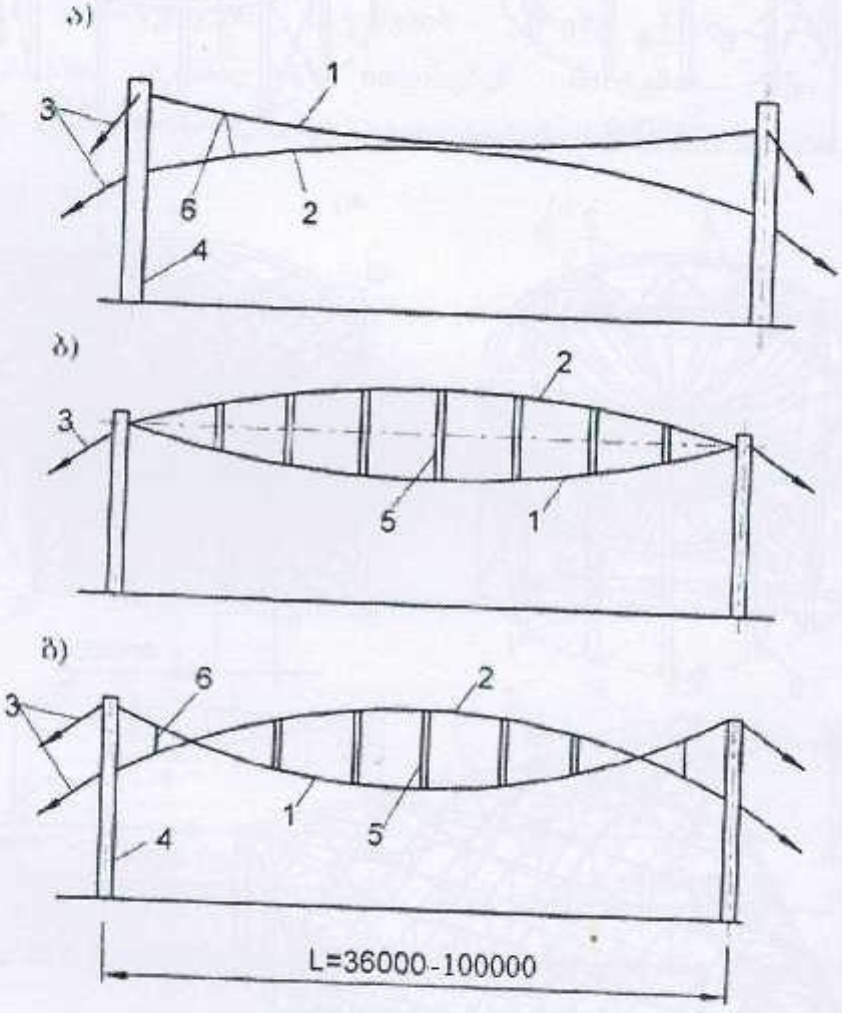


ფიგ. 218. რადიალურ სისტემებში შიგა საყრდენ რგოლთან ვანტების მიერთების ვარიანტები

14.3. ორსარტყელიანი წინასწარ დაძაბული გადახურვები

ორსარტყელიანი წინასწარ დაძაბული გადახურვა ეწოდება სისტემას, რომელიც შედგება ორი მოქნილი ძაფისგან, რომლებიც განლაგებულია ერთი მეორის ზევით და ერთმანეთთან დაკავშირებულია პარალელურად განლაგებული საჭიმებით (ფიგ. 2219 ა), განმბჯენებით (ფიგ. 219, ბ) ან მათი კომბინაციით (ფიგ. 219, გ). წინასწარი დაძაბვის გამო, რაც ხორციელდება საჭიმებისა და განმბჯენების დახმარებით, ორსარტყელიან სისტემებს აქვთ ნაკლები დრეკადი დეფორმაციები ერთსარტყელიანთან შედარებით, რაც ქმნის კარგ წინაპირობებს მზიდი სისტემისაგან დამოუკიდებლად მომუშავე მსუბუქი სახურავების გამოყენებისათვის. თუმცა, ვერტიკალური ძაბვადი ელემენტები ხელს არ უშლიან მოქნილი ძაფების ჰორიზონტალურ გადაადგილებებს, ამის გამო ასეთი კონსტრუქციების კინემატიკური გადაადგილებები ნაკლებად განსხვავდება ერთსარტყელიანი სისტემებისაგან.

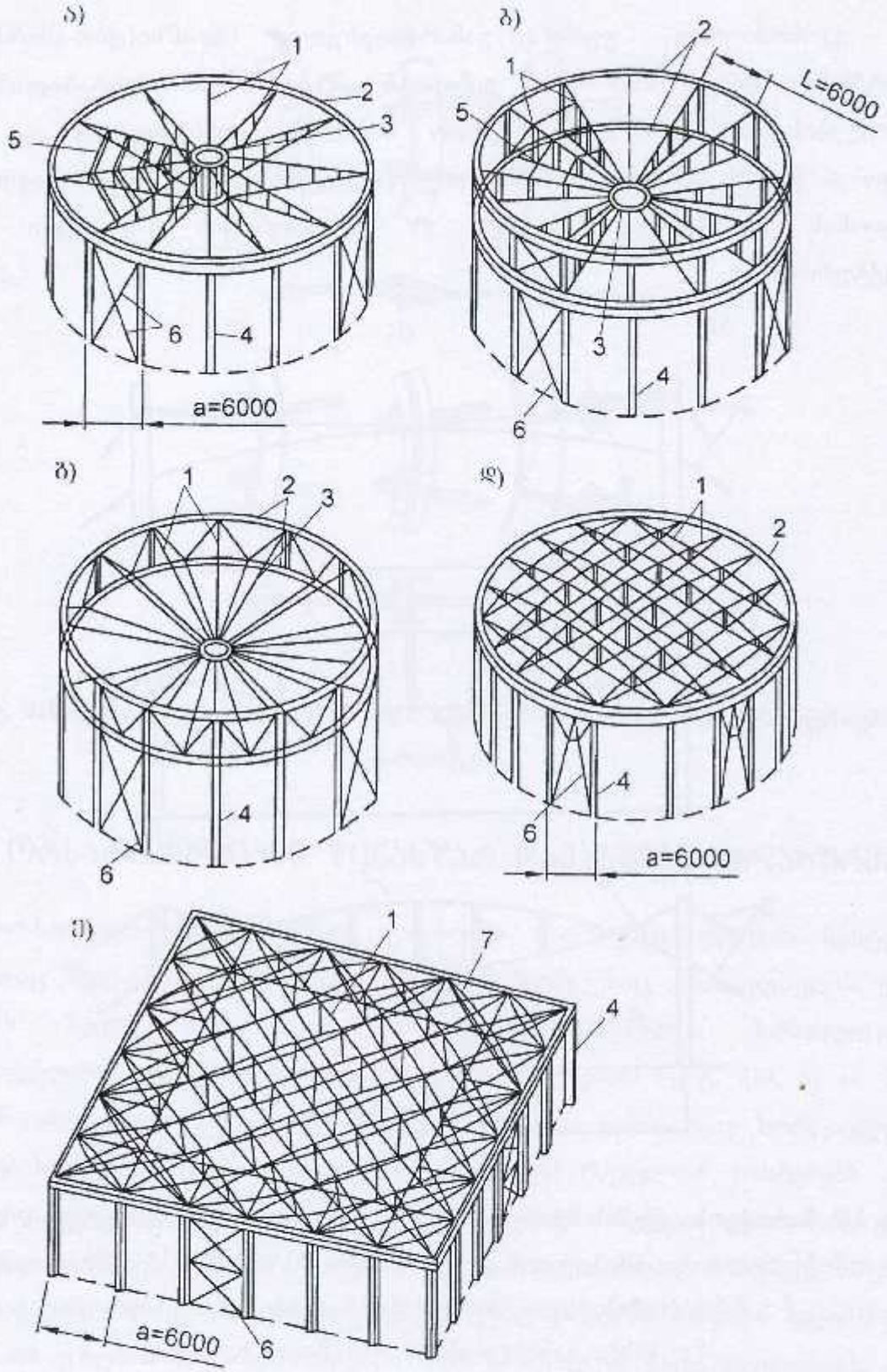
ეკონომიურად უფრო გამართლებულია ლინზისებრ-ამოზნექი სისტემები (ფიგ. 2219 ბ), ვინაიდან მზიდი და მასტაბილიზებელი გვარლებისთვის მათ აქვთ საერთო საყრდენი კონსტრუქცია და ხე უწყობენ წყლის მარტივ არინებას. თუმცა, შეკუმშული დგარები საჭიროე ლითონის მნიშვნელოვან ხარჯს, ეს კი ამცირებს მოცემული სქე ეფექტურობას.



ფიგ. 219. მართკუთხა გეგმის მქონე ორსარტყელიანი კიდული გადახურვების სქემებ

ა – ჩაზნექილი; *ბ* – ამოზნექილი; *გ* – ამოზნექილ-ჩაზნექილი; *1* – მზიდი ვანტა; *2* – მასტაბილიზებელი გვარლი; *3* – საჭიმრები; *4* – საყრდენი; *5* – ხისტი განმბჯენები; *6* – მოქნილი საკოჭები;

ორსარტყელიანი სისტემის ქვედაზე გავრცელებული კონსტრუქციულ ფორმებია – რადიალურად განლაგებული გვარლებიანი წრიული გადახურვებ (ფიგ. 220, ა-გ), მათ შორის "ველოსიპედის ბორბლის" ტიპის სისტემა (ფიგ 220, ა).

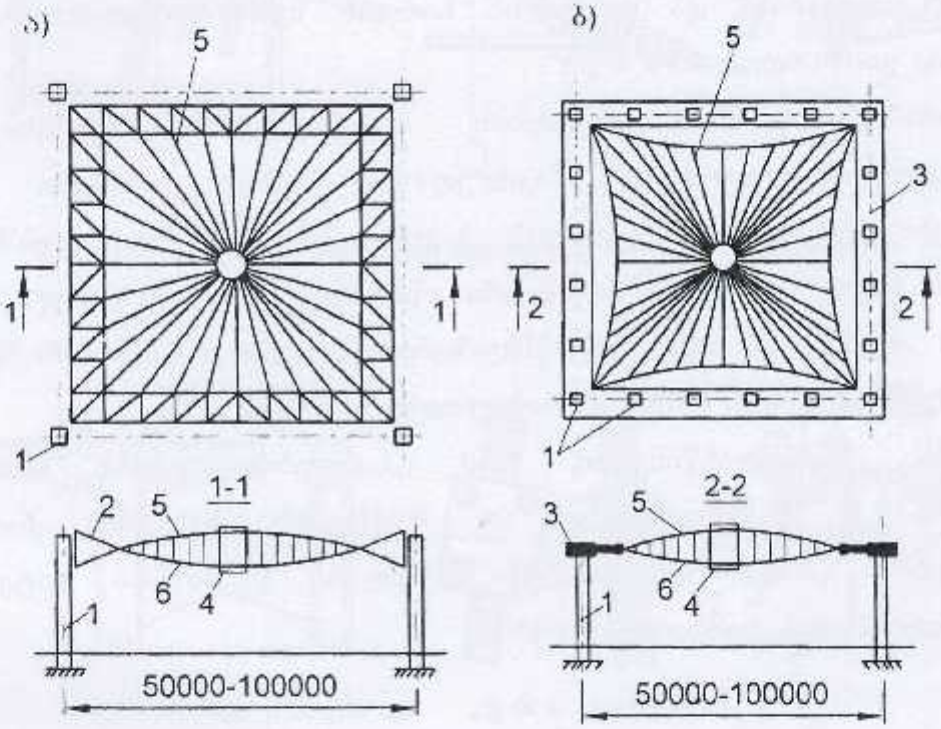


ფიგ. 220. წრიული და მართკუთხა გეგმის მქონე ორსარტყელიანი კიდული გადახურვების სქემები

ა – რადიალური, ორსარტყელიანი ცენტრალური რგოლით; *ბ* – რადიალური, ორსარტყელიანი საყრდენი რგოლით; *გ* – რადიალურ-ნაკეცოვანი (ნაოჭა), ორსარტყელიანი საყრდენი რგოლით; *დ* – გადაჯვარედინებული ანტურა წამწეებიანი ორთოგონალური სისტემა საყრდენი რგოლით; *ე* – კვადრატული გეგმის მქონე, გადაჯვარედინებული ანტურა წამწეებიანი დიაგონალური სისტემა კუთხოვანა საყრდენი კონტურით; *1* – მზიდი ანტურა; *2* – საყრდენი რგოლი; *3* – ცენტრალური რგოლი; *4* – სვეტები; *5* – გრძივები; *6* – კავშირები; *7* – კუთხოვანა საყრდენი კონტური

სახურავის მონტაჟისას ზემოთჩამოთვლილი ყველა სისტემა საჭიროებს გრძივების მოწყობას, რაც ზრდის მასალების ხარჯს, განსაკუთრებით გეგმით წრიულ სისტემებში. ორი (ფიგ. 220, დ, ე) ან სამი მიმართულებით განლაგებული, პარალელურ ვანტებიანი წამწეების სისტემებში ფენილი ლაგდება სისტემის კვანძებზე გრძივების გარეშე.

ჯვარედინი ვანტური წამწეები საშუალებას იძლევა შეიქმნას გეგმაში მართკუთხა გადახურვები საჭიმების გარეშე (ფიგ. 220. ე). ასეთ კონსტრუქციებში განმბჯენს ითვისებენ სისტემის შუა სიბრტყეში, გადახურვის პერიმეტრზე განლაგებული ჰორიზონტალური ხისტი წამწეები.



ფიგ. 221. კვადრატული გეგმის მქონე ორსარტყელიანი რადიალური გადახურვის სქემები

ა – დუნვადი საყრდენი კონტურით; *ბ* – უდუნვადი საყრდენი კონტურით; *1* – სვეტები; *2* – გისოსოვანი საყრდენი კონტური; *3* – კოჭური საყრდენი კონტური; *4* – შიგა რგოლი; *5* – მასტაბილიზებელი გვარლები; *6* – მზიდი ვანტები

კვადრატულ გეგმაში, ოთხ კუთხეზე დაყრდნობისას, შესაძლებელია ვანტების რადიალურად განლაგება (ფიგ. 221, ა). ამ შემთხვევაში კონტურის წამწეები უნდა იყოს სამკუთხა კვეთის, ერთი ვერტიკალური წახნაგით, რომელიც სვეტებს შორის მალში მუშაობს დუნვაზე. პერიმეტრზე სვეტებიან, გეგმაში მართკუთხა რადიალურ სისტემებში ხისტი დუნვადი კონტურის

შესაცვლელად შეიძლება გამოყენებული იქნეს გვარლი-ქვესაკრავები, რომლებიც განმბჯენს გადასცემენ სვეტებზე განთავსებულ კოჭური საყრდენი კონტურის კუთხეებში (ფიგ. 221, ბ).

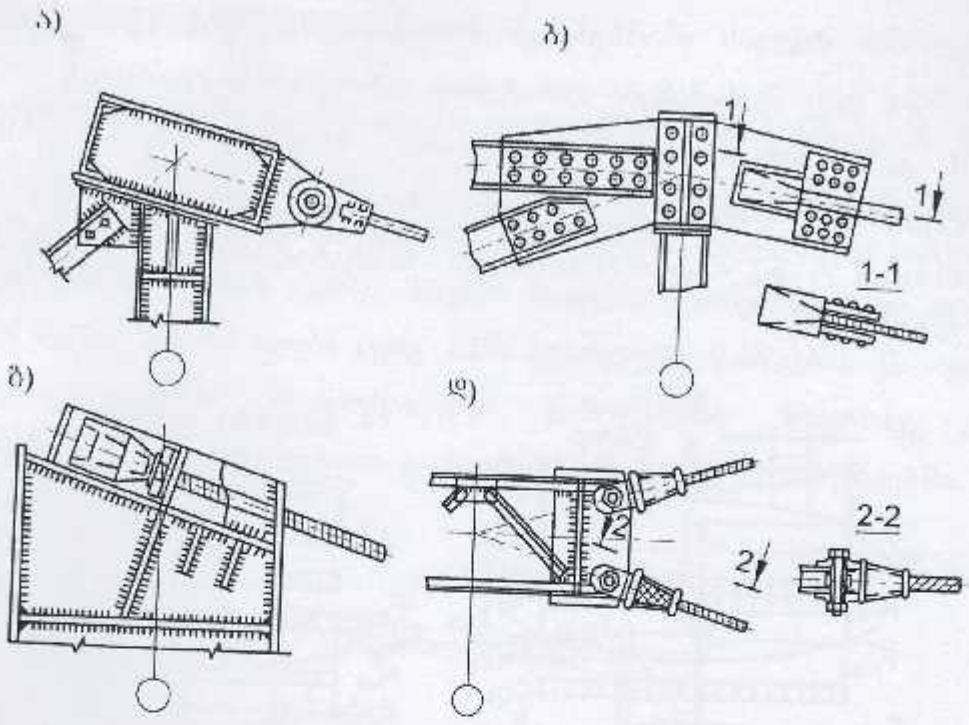
ორსარტყელიანი წინასწარ დაძაბული სისტემები, ერთსარტყელიანის მსგავსად, შეიძლება იყოს ერთმალიანი და მრავალმალიანი, აგრეთვე კარვისებრი, რგოლების განლაგებით ერთ ან სხვადასხვა დონეზე. ორსარტყელიან სისტემებში მიზანშეწონილია გვარლებს შორის ჰორიზონტალური მანძილი დაინიშნოს 3-6 მ, ხოლო მანძილი დგარებს ან საკოჭებს შორის 2.5-4 მ. შეკუმშული დგარების გამოყენების შემთხვევაში (მათი რაოდენობისა და ფოლადის ხარჯის შესამცირებლად) მათი ბიჯი შეიძლება გაიზარდოს 4.5-6 მ-დე.

ორსარტყელიანი სისტემების დაპროექტებისას განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია გვარლების ჩაკიდულობის ისრის დანიშვნა, რომელთა სიდიდეები შეიძლება მერყეობდეს მალის 1/10–1/30-ს ფარგლებში. მზიდი ვანტების ჩაკიდულობის ოპტიმალური ისარია მალის 1/8–1/15 და შეიძლება დაიშვას არანაკლები 1/20; მასტაბილიზებელი გვარლებისთვის ჩაკიდულობის ისარი შეიძლება იყოს იგივე ან რამდენადმე ნაკლები.

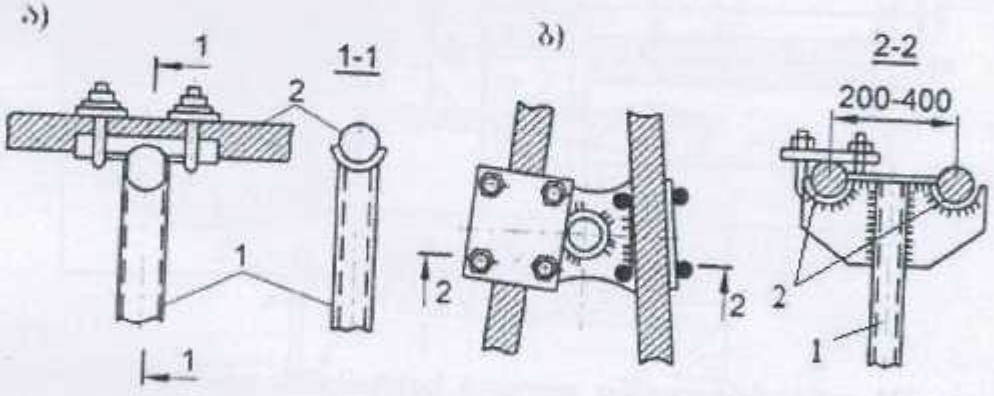
იმის გათვალისწინებით, რომ გვარლების კვეთის ფართობების თანაფარდობა მნიშვნელოვნად არ მოქმედებს სისტემის ჩაღუნვებზე, მიახლოებით გაანგარიშებებში იგი შეიძლება დაინიშნოს დატვირთვების თანაფარდობასთან დამოკიდებულებით:

$$\begin{aligned} &\text{როდესაც} \quad s \gg g, \quad A_{st} / A_{ca} \cong 1\text{–}1.2; \\ &\text{როდესაც} \quad s = g, \quad A_{st} / A_{ca} \cong 0.6\text{–}0.8; \\ &\text{როდესაც} \quad s \ll g, \quad A_{st} / A_{ca} \cong 0.3\text{–}0.6. \end{aligned} \tag{190}$$

ლითონის საყრდენ კონტურთან და შუგა რგოლთან ვანტების მიერთების კვანძები ნაჩვენებია ფიგ. 222-ზე. ხოლო განმბჯენების ჩამაგრება ვანტებთან – ფიგ. 223-ზე. მდგრადობის უზრუნველყოფის პირობიდან გამომდინარე, გარე რგოლის სიგანე აიღება მალის 1/50–1/80, ხოლო მისი სიმაღლე – სიგანის 0.3–0.4 და დამოკიდებულია რგოლის მზიდ სვეტებს შორის მანძილზე.



ფიგ. 222. ვანტების მიერთება ლითონის ბორტის ელემენტთან

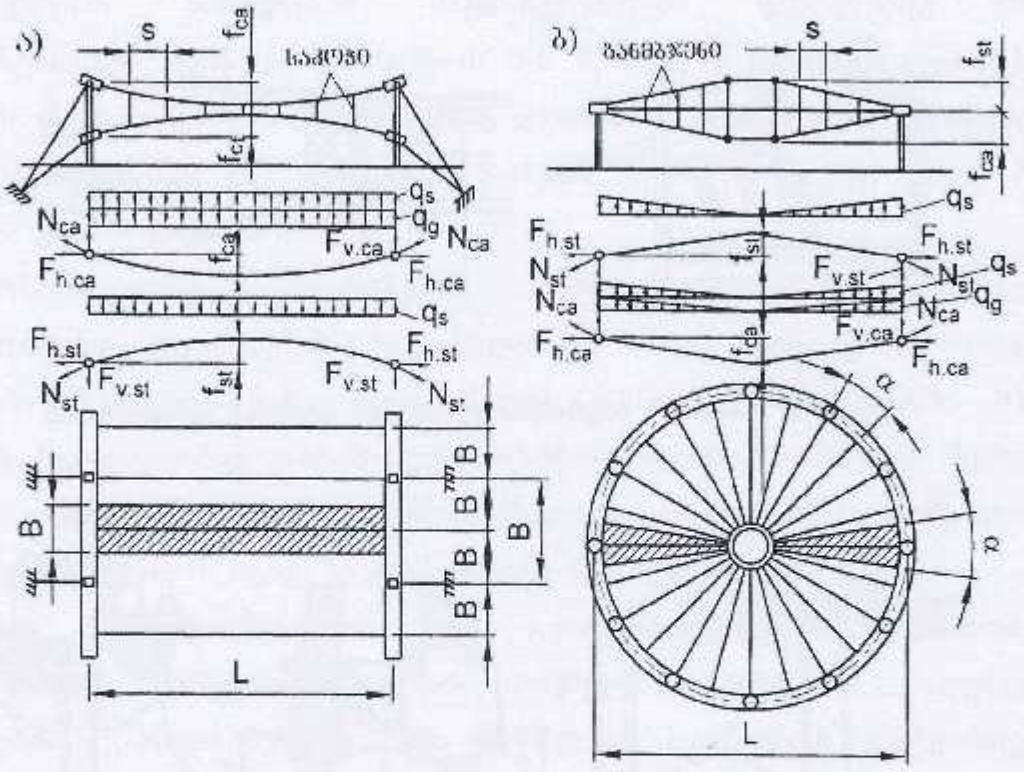


ფიგ. 223. განმბჯენების ჩამაგრება ვანტებს შორის ორსარტყელიან სისტემებში

ა – სარტყელში ერთეული ვანტის შემთხვევაში; ბ – შეწყვილებული ვანტების შემთხვევაში; 1 – განმბჯენი; 2 – ვანტა

ზღვრულ მდგომარეობაში, სრული მუდმივი q_g და დროებითი q_s დატვირთების ზემოქმედების დროს ორსარტყლიან სისტემების გვარლების მიახლოებითი გაანგარიშება (ფიგ. 224), იმის დაშვებით რომ დამძაბავი (მასტაბილიზებელი) გვარლები ითიშებიან მუშაობიდან, შეიძლება შესრულდეს ერთსარტყლიანი სისტემის ანალოგიურად. თუმცა, საანგარიშო დატვირთების მოქმედების დროს მასტაბილიზებელი ვანტების წინასწარი

დაჭიმულობის ძალას ინარჩუნებენ მათი საწყისი დაჭიმულობის 20-30%-ის ფარგლებში, რაც შეესაბამება დამატებით დროებით დატვირთვას $\Delta q_s = (0.2\div0.3)\ q_s$. ამიტომ, ერთსარტყელიანი სისტემებისაგან განსხვავებით, ორსარტყელიან სისტემებზე საანგარიშო დატვირთვები იქნება: მზიდი გვარლისთვის – $q_{ca} = q_g + (1.2–1.3)\ q_s$; მასტაბილიზებელი გვარლისთვის – $q_{st} = (1.2–1.3)\ q_s$.



ფიგ. 224. ორსარტყელიანი კიდული სისტემების გაანგარიშებისათვის

ა – მართკუთხა გეგმით; *ბ* – წრიული გეგმით

ძალვები სისტემის დამძაბავ დგარებსა და საკოჭებში განისაზღვრება შესაბამისად ფორმულებით:

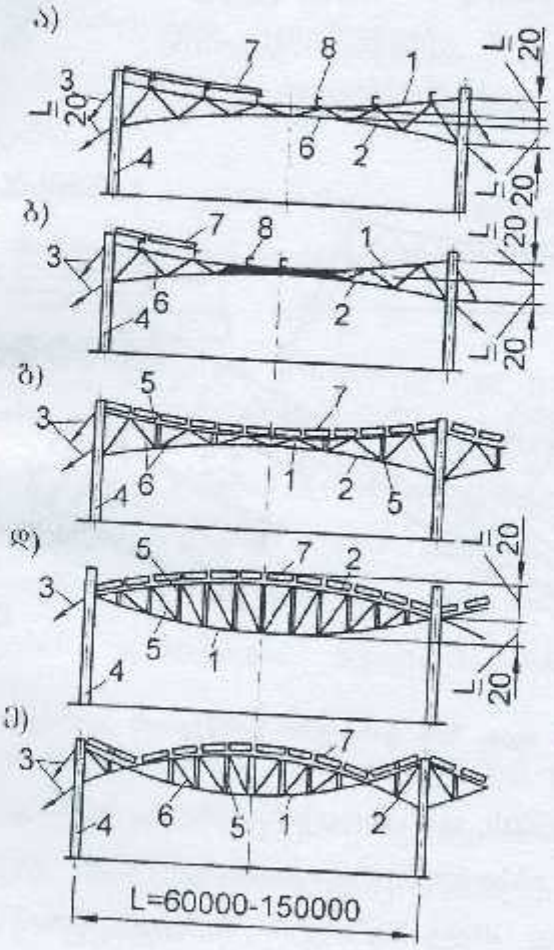
$$N_c = q_{ca}\, s, \tag{191}$$

$$N_t = q_{st}\, s, \tag{192}$$

სადაც s განმბჯენების ან საკოჭების ბიჯია.

14.4. გვარლური წამწეები

გვარლური წამწე წარმოადგენს ორსარტყელიანი სისტემების შემდგომ განვითარებას. ორსარტყელიანი სისტემებისაგან განსხვავებით, გვარლურ წამწეებში საკოჭები (შემკვრელები) და განმბჯენები შეცვლილია სამკუთხა ან ირიბნული გისოსით, რის გამოც მთელი სისტემა გეომეტრიულად უცვლელი და უფრო მეტად ხისტი ხდება (ფიგ. 225). გვარლური წამწეების ეს თვისებები განსაზღვრავენ მათი რაციონალური გამოყენების სფეროს, კერძოდ არათანაბარი და დიდი დროებითი დატვირთვების მქონე გადახურვებში..

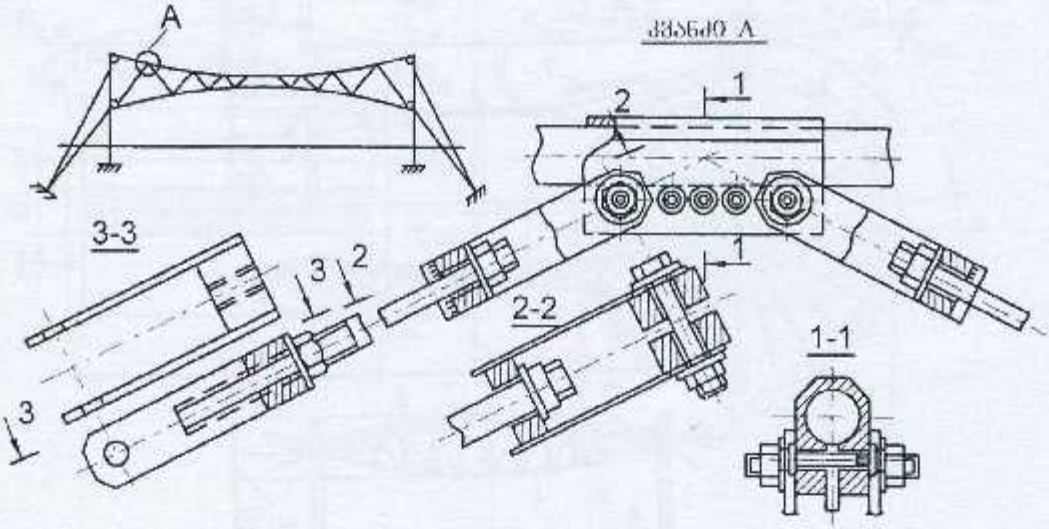


ფიგ. 225. წინასწარ დაძაბული ვანტური წამწეების სქემები

ა-გ – ჩაზნექილი გისოსის სხვადასხვა ტიპები ; დ – ამოზნექილი; ე – ამოზნექილ-ჩაზნექილი; *1* – მზიდი ვანტა; *2* – მასტაბილიზებელი გვარლი; *3* – საჭიმარი; *4* – სვეტი; *5* – ხისტი განმბჯენები; *6* – მოქნილი საკოჭები: *7* – გადახურვის ფილები; *8* – გრძივი

გვარლურ წამწეებში უპირატესად გამოიყენება მოქნილ ელემენტებიანი სამკუთხა გისოსები (ფიგ. 225, ა, ბ), რომლებშიც აღიძვრება, როგორც გამჭიმავი, ასევე მკუმშავი ძალვები. შეკუმშული ირიბნების მუშაობის უზრუნველსაყოფად, გისოსში, წინასწარი დაძაბვის გამოყენებით, მუდმივად ინარჩუნებენ გამჭიმავ ძალვებს. ირიბნულ გისოსებში (ფიგ. 225, გ-ე) შეკუმშულ ელემენტებს ამზადებენ ხისტი პროფილებისგან.

ვანტური წამწე წარმოადგენს სტატიკურად ურკვევ სისტემას, ამიტომ მისი გაანგარიშება ხდება სამშენებლო მექანიკის ძირითადი მეთოდებით. მიახლოებით გაანგარიშებებში, წამწეების გვარლური სარტყელების კვეთები შეიძლება განისაზღვროს ორსარტყელიანი კიდული სისტემების ანალოგიურად, ხოლო ძალვები გისოსში – როგორც მოცემული მოხაზულობის ჩვეულებრივ ხისტ წამწეებში.



ფიგ. 226. ვანტური წამწეების კვანძები

გისოსში ძალვების განსაზღვრის შემდეგ, ნიშნავენ წინასწარი დაჭიმვის ძალას, რომელიც აბსოლუტური მნიშვნელობით უნდა იყოს ირიბნებში მაქსიმალურ მკუმშავ ძალვაზე მეტი. შემდეგ, წინასწარ დაჭიმვის ძალის გათვალისწინებით, გისოსის ყველა ელემენტში პოულობენ საბოლოო ძალვებს. გისოსის ელემენტებს ნიშნავენ მუდმივი კვეთის, რომლის ფართს საზღვრავენ მაქსიმალური გამჭიმავი ძალვის მიხედვით. ვანტური წამწეების დამახასიათებელი კვანძები ნაჩვენებია ფიგ. 226-ზე. ვანტურ წამწეებიანი გადახურვების კონსტრუქციული ფორმები ორსარტყელიანი სისტემების კონსტრუქციული ფორმების ანალოგიურია.

14.5. უნაგირისებრი გადახურვები

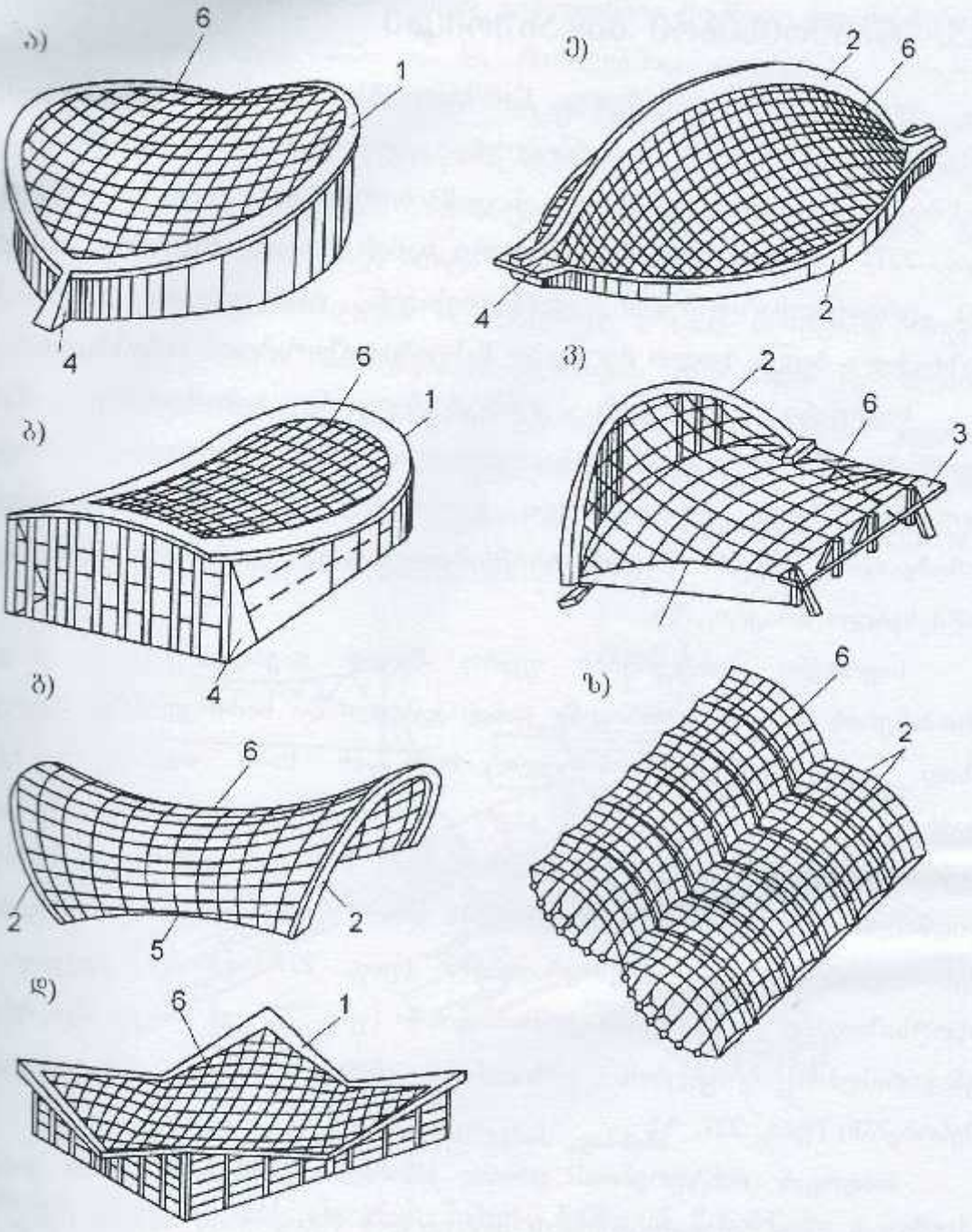
უნაგირისებრი გადახურვა წარმოადგენს სისტემას, რომელიც შედგება (უმეტეს შემთხვევაში) ჰიპერბოლური პარაბოლოიდის ზედაპირის მქონე დაძაბული ბადისაგან და ხისტი ან კომბინირებული საყრდენი კონტურისაგან (ფიგ. 227). ბადეები წარმოიქმნება ორი სახის ორთოგონალურად განლაგებული ურთიერთმარითობული გვარლებისაგან, რომელთაგან ერთი მზიდია (ჩაზნექილი ბადე), ხოლო მეორე – მასტაბილიზირებელი (ამოზნექილი ბადე).

საყრდენი კონტურის კონსტრუქციიდან გამომდინარე, შეიძლება შეიქმნას კომპოზიციურად მრავალფეროვანი არქიტექტურულ-კონსტრუქციული ფორმების მქონე უნაგირისებრი გადახურვები და მთლიანად შენობები. გამომდინარე აქედან, უნაგირისებრმა ბადეებმა ფართო გავრცელება მოიპოვეს სამშენებლო პრაქტიკაში.

საყრდენი კონტურების უფრო მეტად გავრცელებული ტიპებია – ერთმანეთის მიმართ დახრილად განლაგებული და საძირკვლზე, სვეტებზე ან მზიდ კედლებზე დაყრდნობილი, ორი ან სამი თაღისგან შექმნილი კომბინაციები (ფიგ. 227, ა, 228). ასეთ კონსტრუქციულ გადაწყვეტებს გააჩნიათ გაერთიანებული კარგი შესაძლებლობები საზოგადოებრივი დანიშნულების დიდმალიანი შენობების დაპროექტების დროს. დახრილი თაღების გამოყენება შესაძლებელია გვარლ-ქსელაკრავებისა (ფიგ. 227, გ) და კოჭების სახის სწორხაზოვანი კონტურების კომბინაციაში (ფიგ. 227, ვ). ასევე, შესაძლებელია უნაგირისებრი ბადეების გამოყენება მრავალმალიან მრავალუჯრედიან შენობებში (ფიგ. 227, ზ).

თაღოვან კონტურებთან ერთად ხშირად იყენებენ ჩაკეტილ კონტურებს – მარტივი და რთული ფორმის მოლუნული რგოლების სახით (ფიგ. 227, ბ), მართკუთხა ტიპის (ფიგ. 227, დ), რომლებიც მასალის ხარჯის მიხედვით ჩამორჩებიან თაღოვან კონტურებს.

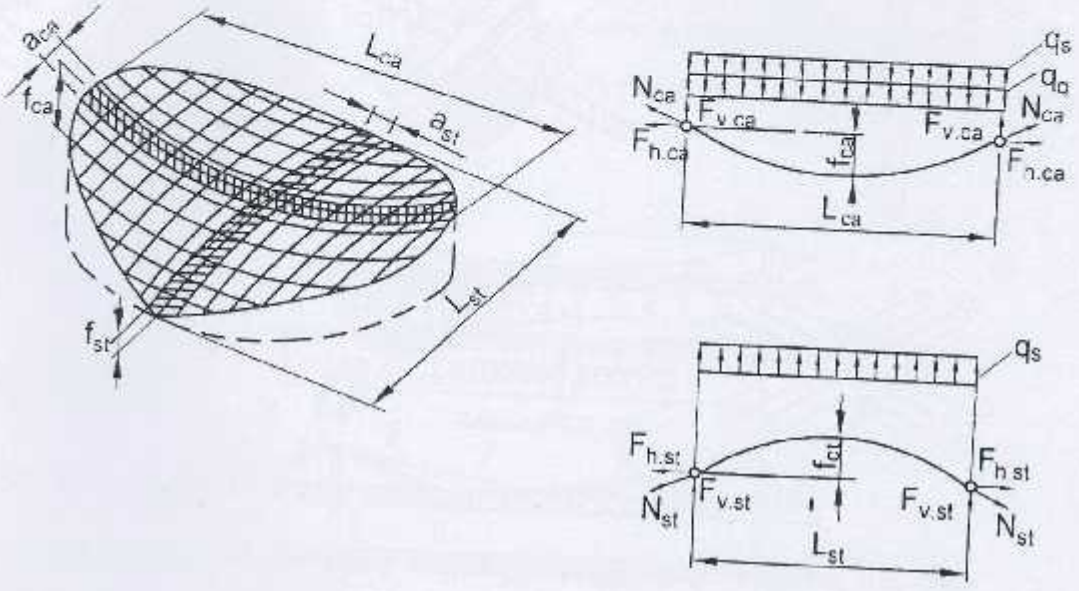
უნაგირისებრი ბადეებიანი ნაგებობის ფუნქციურად აუცილებელი ფორმების გარდა, ამ ტიპის კონსტრუქციების ფორმაწარმოქმნის შესაძლებლობებიდან გამომდინარე, დაპროექტების პრაქტიკაში გვხდება დიდმალიანი გადახურვები, რომლებიც ხასიათდება კონსტრუქციული სირთულით და საჭიროებს მასალის დიდ ხარჯს. ასეთი გადახურვა აქვს ტოკიოში, "იოიგ"-ის ოლიმპიური კომპლექსის დიდ საცურაო აუზს (ფიგ. 229).



ფიგ. 227. უნაგირისებრი ბადეების ძირითადი სქემები

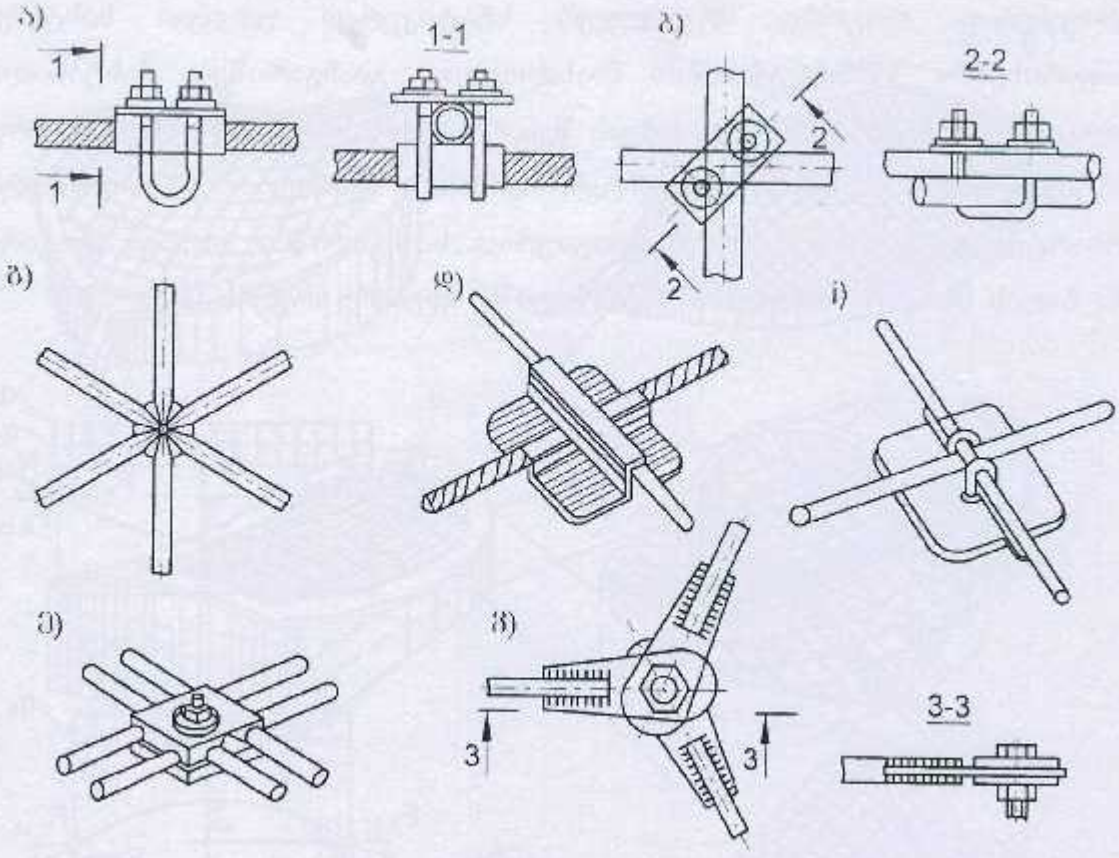
ა – ორი დახრილი თაღით შედგენილი ჩაკეტილ კონტურიანი; *ბ* – რთული მრუდხაზოვანი კონტურით; *გ* – დახრილი თაღებით და გვარლ-ქვესაკრაქებით; *დ* – კვადრატულ გეგმიანი, ხაზოვანი საყრდენი კონტურით; *ე* – ცილინდრული; *ვ* – კომბინირებული გადაწყვეტა თაღით, კოჭით და გვარლ-ქვესაკრაქებით; *ზ* – რამდენიმე საყრდენი თაღით; *1* – საყრდენი კონტური; *2* – თაღი; *3* – კოჭი; *4* – პილონი; *5* – გვარლ-ქვესაკრაქი; *6* – ბადე

გამოყენებით, როგორც მრავალჯერ სტატიკურად ურკვევი სისტემების. უნაგირისებრი კონსტრუქციების მიახლოებითი გაანგარიშება მასტაბილიზებელი გვარლის წინასწარი დაძაბვის შენარჩუნების გათვალისწინებით, სრული ვერტიკალური საანგარიშო დატვირთვისას, შეიძლება განხორციელდეს ორსარტყელიანი სისტემების ანალოგიურად. საანგარიშოდ იღებენ უნაგირისებრი ბადის მთავარი ღერძების სიბრტყეებში მდებარე ძაფებს (ფიგ. 230).

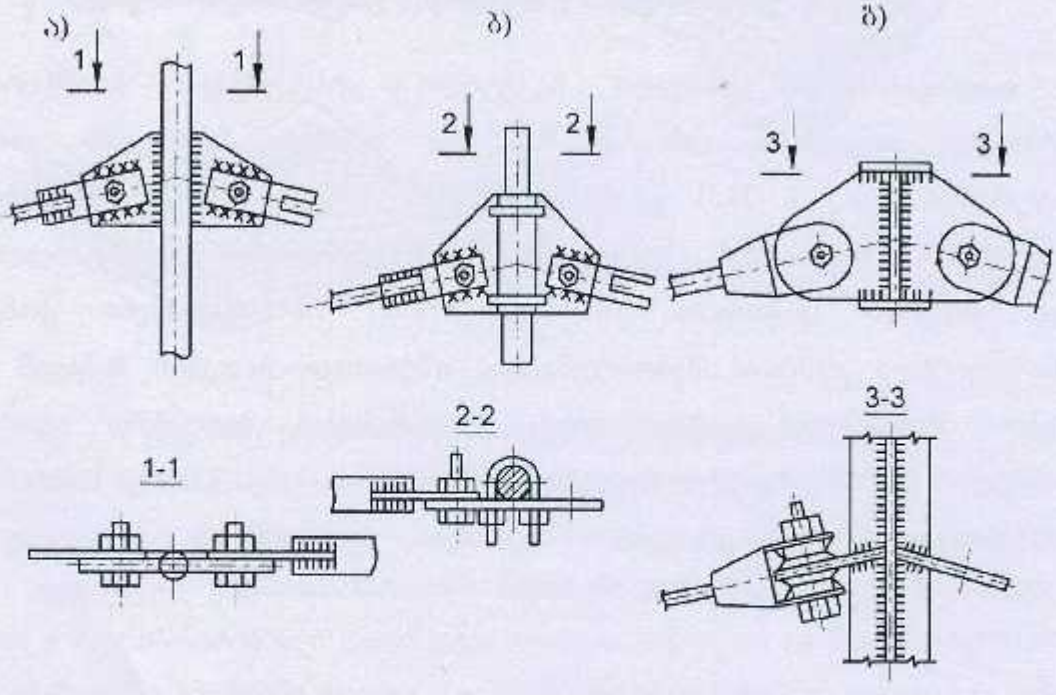


ფიგ. 230. უნაგირისებრი გადახურვის გაანგარიშებისათვის

თაღოვანი ან რთული ჩაკეტილი კონტურების გაანგარიშებას აწარმოებენ თაღებისა (იხ. პ. 9.2) და ორმაგი სიმრუდის გარსების კონტურების (იხ. პ. 11.5) გაანგარიშებების ანალოგიურად. უნაგირისებრი ბადეების სტაბილიზაციას ახორციელებენ მოწყობილობებით მასტაბილიზირებელი ძაფების დაჭიმვით (იხ. ფიგ. 217) ან საყრდენი კონტურის განსაზღვრული კუთხით შემობრუნებით. იშვიათად, ბადეებს ძაბავენ მზიდი ძაფების წინასწარი დატვირთვით. უნაგირისებრ ბადეებში გვარლების გადაკვეთის დამახასიათებელი კვანძები ნაჩვენებია ფიგ. 231-ზე, ხოლო ბადის გვარლების გვარლ-ქვესაკრავებთან შეერთება – ფიგ. 232-ზე.



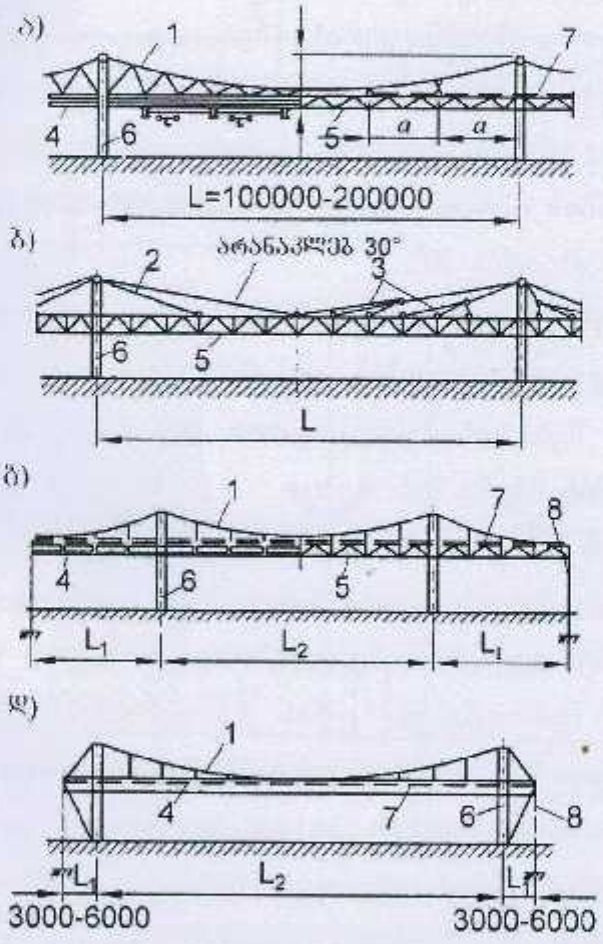
ფიგ. 231. ვანტების გადაკვეთის კვანძები უნაგირისებრ გადახურვებში



ფიგ. 232. გვარლ-ქვესაკრავთან ვანტების მიერთების კვანძები

14.6. კომბინირებული სისტემები

კომბინირებულ სისტემებს მიეკუთვნება გადახურვები, რომლებიც შედგება გაჭიმული ვანტების ან ძაფებისაგან და შეკუმშულ-გაღუნული კოჭების, წამწეების ან სხვა ხისტი ელემენტებისაგან (ფიგ. 233). ასეთი კონსტრუქციების დირსებას წარმოადგენს მნიშვნელოვანი სიხისტე, რომელიც წინააღმდეგობას უწევს ადგილობრივ ჩაღუნვას არათანაბარი დატვირთვისას, ამიტომ კომბინირებულმა სისტემებმა ყველთო გამოყენება პოვეს 20 ტონამდე ტვირთამწეობის კიდულ ამწეებიან სამრეწველო შენობების დიდმალიან გადახურვებში.



ფიგ. 233. მალიანი კომბინირებული კონსტრუქციების სქემები

ა-დ – სხვადასხვა ტიპის საკიდრებით; *ე*, *ვ* – იგივე, დამატებითი საჭიმრებით; *1* – მზიდი გვარლი; *2* – მარტივი საკიდრები; *3* – რთული საკიდრები; *4* – კოჭები; *5* – წამწეები; *6* – სვეტები; *7* – ფილები; *8* – დამატებითი საჭიმრები

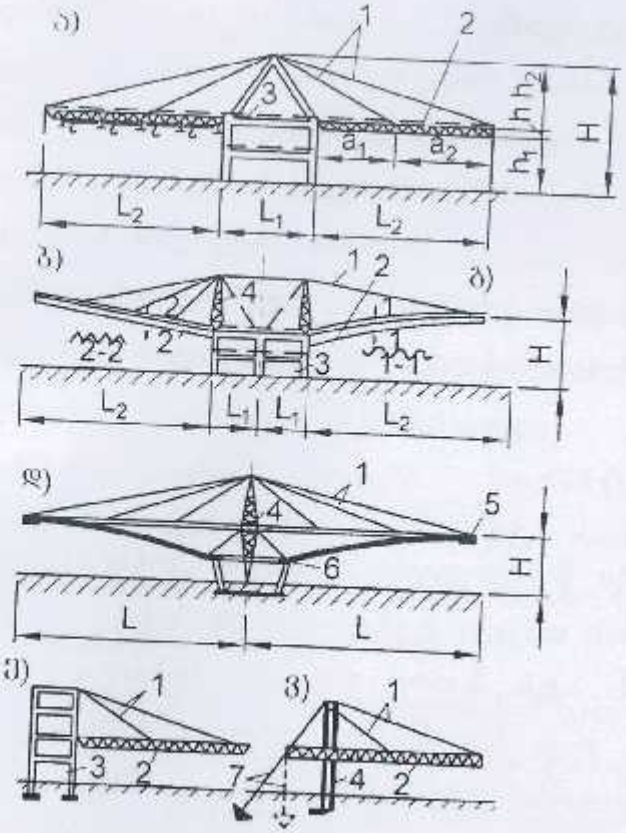
კიდული კონსტრუქციების უარყოფითი თვისებებია: ჭერს ზემოთ დია გვარლების არსებობა, რომლებიც ატმოსფერული ფაქტორების (ტემპერატურა და ტენიანობა) ზემოქმედებით განიცდიან კოროზიას; ვანტური კონსტრუქციების დამზადების შედარებითი შრომატევადობა და მონტაჟის დროს ვანტების წინასწარი დაძაბვის რეგულირების სირთულე. კოროზიისაგან დასაცავად საჭიროა დია ნაწილებისა და კვანძების მუდმივი კონტროლი და ღებვა.

უმეტესად გავრცელებულია ბრტყელი, გარე უგანმბჯენი კომბინირებული სისტემები, რომლებშიც ხისტ კონსტრუქციად გამოყენებულია ბრტყელი კოჭები ან წამწეები (ფიგ. 233). კომბინირებული სისტემების ჩალუნვები ძირითადად წარმოიქმნება მრუდწირული ძაფების ან წრფივი ვანტების დრეკადი დეფორმაციების შედეგად. დამრეცობის შემცირებისას, მათი დეფორმაციულობა იზრდება და მთელი სისტემა ღებულობს მნიშვნელოვან ჩალუნვებს, ამიტომ ძაფის დამრეცობას ზღუდავენ მალის 1/8–1/12 ჩაკიდულობის ისრით, ხოლო ვანტების მინიმალური დახრის კუთხეებს აპროექტებენ არა უმცირეს 30^0.

ხისტი კონსტრუქციის სამშენებლო სიმაღლე დამოკიდებულია საკიდებს შორის მანძილზე და აიღება ამ მანძილის 1/12–1/15. კომბინირებული კონსტრუქციებით შეიძლება გადაიხუროს 200 მ-მდე მალის, მართკუთხა და კვადრატული გეგმის მქონე შენობები.

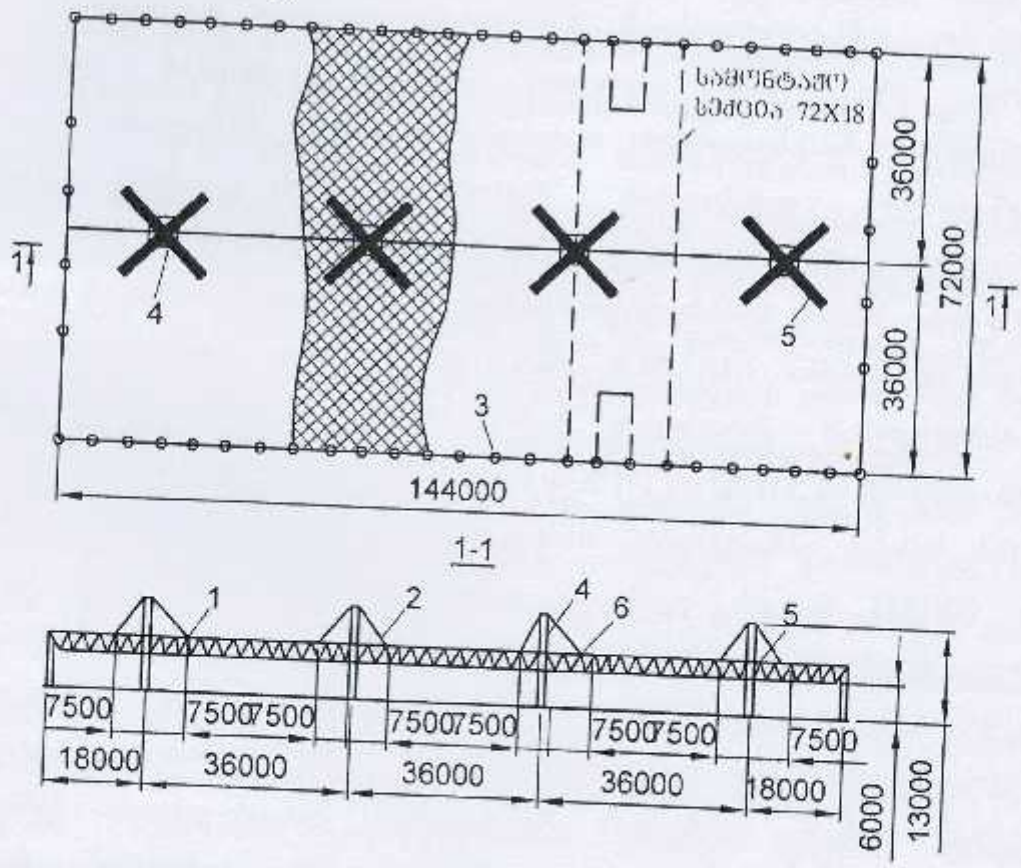
მშენებლობის პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება კონსოლური კიდული კონსტრუქციები (კონსლების ერთმხრივი ან ორმხრივი განლაგებით) (ფიგ. 234). კიდულ კონსტრუქციებად, ჩვეულებრივი ბრტყელი წამწეების ან კოჭების გარდა, შეიძლება გამოყენებულ იქნას ტალღოვანი, პრიზმული ან კოლოფისებრი გარსები (ფიგ. 234, ბ, გ), ასევე ძაბრისებრი გარსები (ფიგ. 234, დ).

კიდული კონსტრუქციების სახით ფართოდაა დანერგილი ჯვარედინ-ღეროვანი ფილები. სიერცულად მომუშავე სისტემის კონსტრუქციის მაგალითია 72X144 მ ზომის ავტობუსების გარაჟის კომბინირებული გადახურვა სანკტ-პეტერბურგში (ფიგ. 235).



ფიგ. 234. კონსოლური კომბინირებული კონსტრუქციების სქემები

ა – ფერმებით; *ბ, გ* – ნაოჭებით და ტალღოვანი გარსებით; *დ* – ძაბრისებრი ტიპის; *ე* – ერთკონსოლიანი, მზიდი ნარჩოთი; *ვ* – ერთკონსოლიანი, საჭიმრებით; *1* – გვარლი; *2* – ბრტყელი ან სივრცითი წამწე; *3* – ნარჩო; *4* – საერდენი დგარი; *5* – გარე რგოლი; *6* – შიდა რგოლი; *7* – საჭიმარი გვარლი



ფიგ. 235. ავტობუსების გარაჟის კომბინირებული გადახურვა კიდული სივრცითი კონსტრუქციით სანკტ-პეტერბურგში

1 – გასხლეტილი ფილა; *2* – მზიდი გვარლები; *3* – რკინაბეტონის სვეტები; *4* – პილონები; *5* – განმბჯენები; *6* – ჩაშენებული შენადული კაპიტელი

კომბინირებული კონსტრუქციების გაანგარიშებას აწარმოებენ სამშენებლო მექანიკის მეთოდებით, როგორც სტატიკურად ურკვევი სისტემების. სისტემის ზღვრულ ნაღუნვებს ამოწმებენ მონტაჟის სტადიაში და დებულობენ არა უმეტეს მალის 1/300 – 1/500. მიახლოებით გაანგარიშებებში დასაშვებია არ იქნას გათვალისწინებული გადახურვის ცალკეული ნაწილების ერთობლივი მუშაობა, ძაფი ჩაითვალოს უჭიმრად და ელემენტების (მოქნილი და ხისტი) გაანგარიშება ჩატარდეს ცალ-ცალკე სტატიკურ დატვირთვებზე.

14.7. მემბრანული გარსები

მემბრანული კონსტრუქციები წარმოადგენს სივრცით კონსტრუქციებს, რომლებიც შედგენილია ლითონის თხელი ფურცლისა და ხისტი საყრდენი კონტურისაგან. თხელ ფურცელს აქვს მცირე ღუნვითი სიხისტე, ამიტომ ძირითადად მუშაობს გაჭიმვაზე, რაც საშუალებას იძლევა მაქსიმალურად სრულად იქნას გამოყენებული ლითონის მზიდუნარიანობა და სხვა ბრტყელ და სივრცით კონსტრუქციებთან შედარებით მივიღოთ მინიმალური მასის გადახურვა. სხვა ტიპის კიდული კონსტრუქციებისგან მემბრანული გადახურვების განმასხვავებელი თავისებურებაა ერთ მასალაში მზიდი და შემომსაზღერელი ფუნქციების შეთავსება, რის გამოც მიიღწევა კონსტრუქციის დამატებითი შემსუბუქება და მასალატევადობის შემცირება.

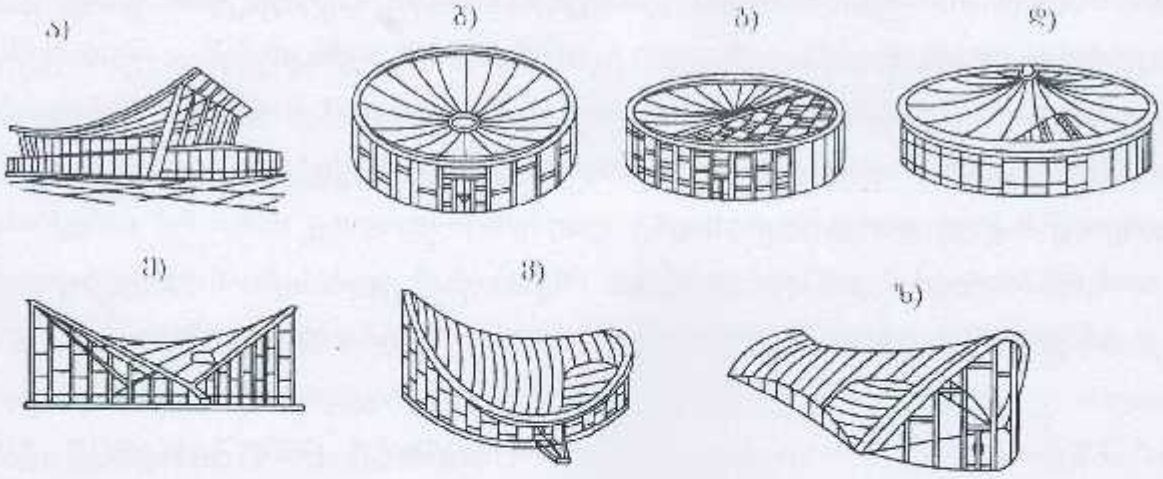
100 მ-დე მალის შემთხვევაში სიმტკიცის პირობით, ფოლადის მემბრანის სისქე არ აღემატება 1-1.5 მმ-ს, რაც პრაქტიკულად განუხორციელებადია კოროზიამედეგობის პირობიდან გამომდინარე. ამიტომ 10Г2С1 მარკის ნახშირბადმცირე ან 17Г2С და 17Г2СФ მარკის მცირედ ლეგირებული ფოლადის მემბრანის სისქეს აპროექტებენ არანაკლებ 4-6 მმ-სა. რიგ ობიექტებზე 2მმ სისქის OX18T1 მარკის უჟანგავი ფოლადის გამოყენებამ არ გაამოიღო დადებითი ეფექტი მისი მაღალი ღირებულებისა და გაუთვალისწინებელი სტატიკური მოვლენების გამო, რაც დაკავშირებულია ადგილობრივი ამოზნექის წარმოქმნასა და ტემპერატურის ზემოქმედებით კონსტრუქციის სხვადასხვა ზონაში ფურცლის მდგრადობის დაკარგვასთან. მემბრანულ გადახურვაში მასალის სიმტკიცის სრულყოფილი გამოყენება მიიღწევა ნახევრად მოპირსალებული АМГ21/2Н მარკის ალუმინის თხელი ფურცლის გამოყენების შემთხვევაში.

ალუმინის შენადნობების გამოყენებას აქვს სპეციფიკური უარყოფითი თვისებები, რაც დაკავშირებულია ტემპერატურის ზემოქმედებით გამოწვეულ დამატებით ძაბვებთან და დეფორმაციებთან, დრეკადობის დაბალ მოდულთან, ხანძარმედეგობის დაბალ ზღვართან, ზოლების ცუდ შედუღებადობასთან, აგრეთვე მაღალ ღირებულებასთან.

მემბრანული კონსტრუქციებით შეიძლება გადაიხუროს პრაქტიკულად ნებისმიერი მალი. ჩაკიდულობის ისარი აიღება მალის 1/15–1/25-ს ფარგლებში. მალის გადიდებით მემბრანული კონსტრუქციების ეკონომიკური მიზანშეწონილობა იზრდება. მაგრამ მემბრანული კონსტრუქციების გამოყენების გამოცდილებამ აჩვენა, რომ მათ შეუძლიათ კონკურენცია გაუწიონ მცირე და საშუალო მალის (18-36 მ) მქონე ლითონის სხვა კონსტრუქციებს.

მემბრანული თხელფურცლიანი გადახურვები მუშაობის ხასიათიდან გამომდინარე შეიძლება დაიყოს ორ ტიპად – ლენტური გადახურვები და მემბრანული გარსები (ფიგ. 236). ლენტური გადახურვები შედგენილია ერთმანეთთან დაუკავშირებელი ცალკეული ლენტებისაგან და მუშაობენ ერთსარტყელიანი ვანტური კონსტრუქციების ანალოგიურად. ამ ტიპს აგრეთვე მიეკუთვნება ორი ურთიერთმართობული მიმართულებით გადახლართული ლენტური სისტემები (ფიგ. 236, გ), აგრეთვე ორშრიანი უნაგირისებრი წინასწარ დაძაბული გადახურვები შრეებს შორის მათბუნებლითა და მათბუნებლის გარეშე (ფიგ. 236, ჟ, ზ). გადახლართულ ლენტებიან გადახურვებში მიიღწევა ორი მიმართულების ლენტების ერთობლივი მუშაობა, იზრდება კონსტრუქციის სიხისტე არათანაბარი დატვირთვის დროს.

მემბრანულ გარსებში ცალკეული ლენტები შედუღების, მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკების ან მოქლონების გამოყენებით ერთიანდება მთლიან (უწყვეტ) სივრცით კონსტრუქციად, რომელსაც შესწევს უნარი აითვისოს ძერის ძალვები. ამის გამო მემბრანულ გარსებს, ლენტურ მემბრანებთან შედარებით, გააჩნიათ მეტი მზიდუნარიანობა და სიხისტე, საჭიროებენ მასალის ნაკლებ ხარჯს მალის კონსტრუქციაზე და საშუალებას იძლევა, კონტურის სხვადასხვა გადაწყვეტასთან ერთად, შეიქმნას საინტერესო არქიტექტურულ-კონსტრუქციული ფორმები.

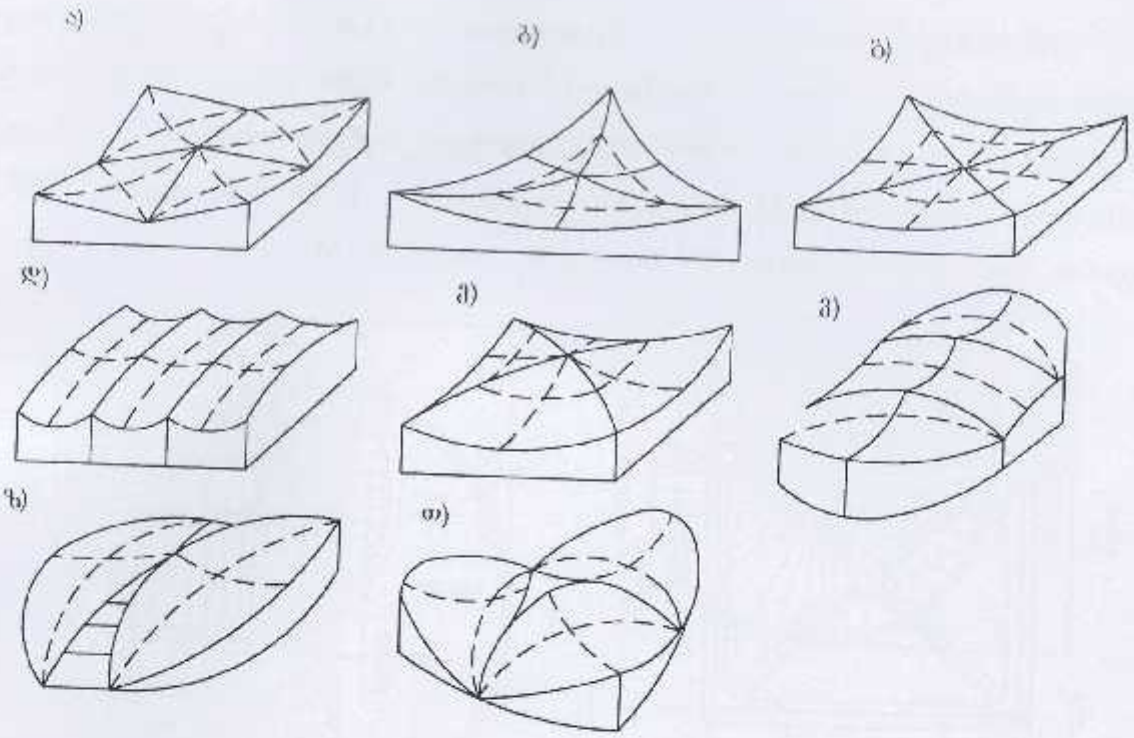


ფიგ. 236. მემბრანული გადახურვების ძირითადი სახეები

ა – გაუსის ნულოვანი სიმრუდის მქონე ცილინდრული ჩაზნექილი გარსი ფოლადის სიხისტის წიბოებით; *ბ* – გაუსის დადებითი სიმრუდის მქონე ჩაზნექილი გადახურვა წრიული გეგმით ; *გ* – იგივე, გადახლართული ლენტებით; *დ* – გაუსის უარყოფითი სიმრუდის მქონე კარვისებრი გარსი; *ე* – პიპერბოლური პარაბოლოიდის ფორმის, გაუსის უარყოფითი სიმრუდის მქონე ერთშრიანი გადახურვა; *ვ* – გაუსის უარყოფითი სიმრუდის მქონე ორშრიანი უნაგირისებრი გადახურვა ჩაკეტილი კონტურით; *ზ* – იგივე, ღია კონტურით

მემბრანული გარსების ფორმები ადრე განხილული კიდული გადახურვების ზედაპირების მსგავსია. ისინი შეიძლება იყოს ნულოვანი გაუსის სიმრუდის (ცილინდრული და კონუსური); დადებითი გაუსის სიმრუდის (სფერული, ელიფსური პარაბოლოიდის სახის) და უარყოფითი გაუსის სიმრუდის (კარვისებრი, უნაგირისებრი). ისინი ასევე შეიძლება იყვნენ ერთნაირი ან განსხვავებული ფორმის ზედაპირებისგან შედგენილი (ფიგ. 237). შედგენილ გარსებს აქვთ არა მარტო გამომსახველობითი არქიტექტურული ფორმა, არამედ სისტემაში დამატებითი ხისტი და დრეკადი ელემენტების შემოტანით კონტურში მცირდება მღუნავი მომენტები, უშუალოდ მემბრანაში მცირდება ძალვები, იზრდება სისტემის სიხისტე.

ყველა ტიპის მემბრანული გადახურვების მნიშვნელოვანი უპირატესობაა აგების შედარებით დაბალი შრომატევადობა და ღირებულება, რაც გამოწვეულია 740-2300 მმ სიგანის რულონური ლენტების გამოყენებით.



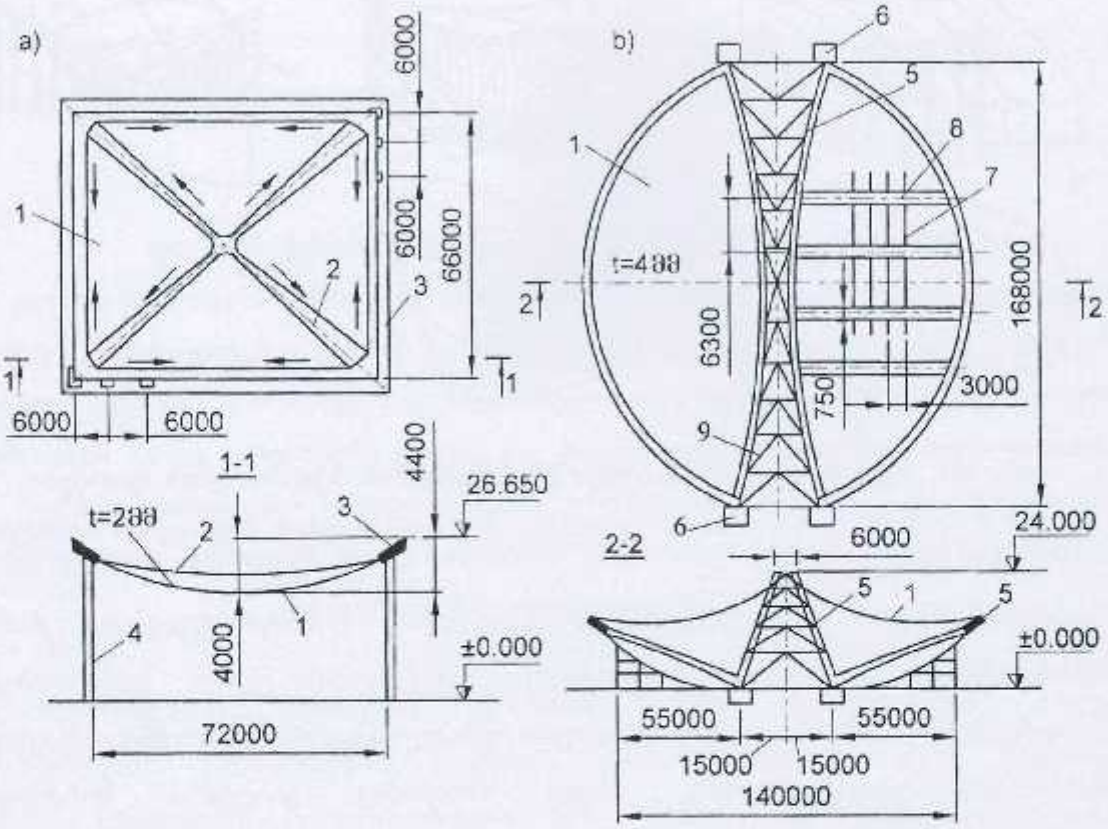
ფიგ. 237. შედგენილი მემბრანული გადახურვების ზედაპირების ფორმები

ა, დ, ვთ – გაუსის უარყოფითი სიმრუდით; *ბ, გ, ე* – გაუსის ნულოვანი სიმრუდით;

მემბრანული კონსტრუქციები კიდული კონსტრუქციების ტიპური წარმომადგენელია. ღუნვითი სიხისტის უქონლობის გამო აუცილებელია გადახურვის სტაბილიზაცია ნორმალური ექსპლუატაციის უზრუნველსაყოფად. მემბრანული გადახურვების, ისევე როგორც ვანტური სისტემების, სტაბილიზებას ახორციელებენ გადახურვის დამძიმებით; საყრდენ კონტურთან მემბრანის მოჭიმვის გზით გარსის წინასწარი დაძაბვით; ვანტური წამწეების დაჭიმვის საშუალებით გადახურვის გეომეტრიის ცვლილებით; საფუძველთან საჭიმრებით განივი კოჭების მიზიდვით; კონსტრუქციაში, მრუდხაზოვანი წამწეების ან კოჭების სახით, ხისტი–ღუნვადი ელემენტების შემოტანით. სტაბილიზების წესის არჩევა დამოკიდებულია მემბრანული გადახურვის ტიპზე, მის ზომებზე, გეგმის ფორმაზე, საყრდენი კონტურის კონსტრუქციაზე და ა.შ.

იზმაილოვოში (მოსკოვი), 2 მმ სისქის ცილინდრული მემბრანებისგან აგებულია 72X66 მ ზომის, გეგმაში მართკუთხა, დიაგონალური გამაძლიერებელ ელემენტებიანი, უნივერსალური სპორტული დარბაზის კომბინირებული გადახურვა (ფიგ. 238, ა).

კრილატსკოეში (მოსკოვი) აშენებულია 168X138 მ ზომის ველოტრეკის კომბინირებული გადახურვა, რომელიც შედგება 4 მმ სისქის ჰიპერბოლური პარაბოლოიდის ფორმის ორი შეუღლებული უნაგირისებრი გარსისგან, რომლებიც მოთავსებულია თაღებზე დაკიდებულ, 6 მმ სისქისა და 750 მმ სიგანის ფოლადის მიმმართველ ხოლებზე (ფიგ. 238, ბ).

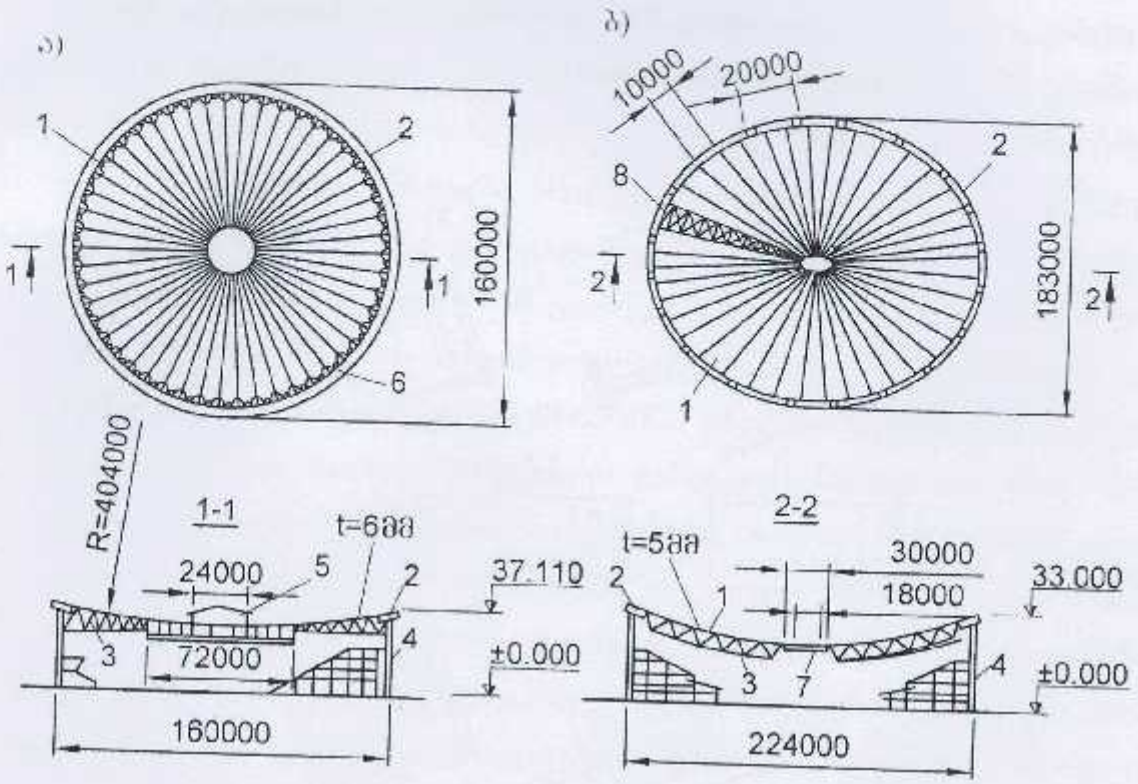


ფიგ. 238. ნაგებობების მაგალითები ცილინდრული და უნაგირისებრი მემბრანული გადახურვებით

ა – ცილინდრული ფორმის უნივერსალური სპორტული დარბაზი იზმაილოვოში (მოსკოვი); *ბ* – უნაგირისებრი ფორმის ველოტრეკი კრილატსკოეში (მოსკოვი); *1* – ფოლადის მემბრანა; *2* – ფოლადის მზიდი დიაგონალური ხოლი; *3* – მოარშიებული (მოჭარხოებული) რკინაბეტონის ელემენტი; *4* – სვეტი; *5* – ლითონის თაღები; *6* – რკინაბეტონის საყრდენები; *7* – მიმმართველი შველერები; *8* – ფოლადის მიმმართველი ხოლები t=6მმ; *9* – კავშირები

სანკტ-პეტერბურგში უნივერსალური სპორტული დარბაზისთვის განხორციელებულია გეგმაში წრიული, 160 მ ზომის, ვანტური წამწეებით სტაბილიზებული, 6 მმ სისქის ფურცლებიანი ჩახხჟილი მემბრანა (ფიგ. 239,ა).

უნივერსალური სტადიონი მოსკოვში ზომით 224 X183, გადახურულია 588 სისქის ჩაზნექილი მემბრანით. მემბრანა სტაბილიზებულია **10** მ ბიჯით დაყენებული, რადიალურად განლაგებული, 2.5 მ სიმაღლის კიდული წამწეებით (ფიგ. 239, ბ).

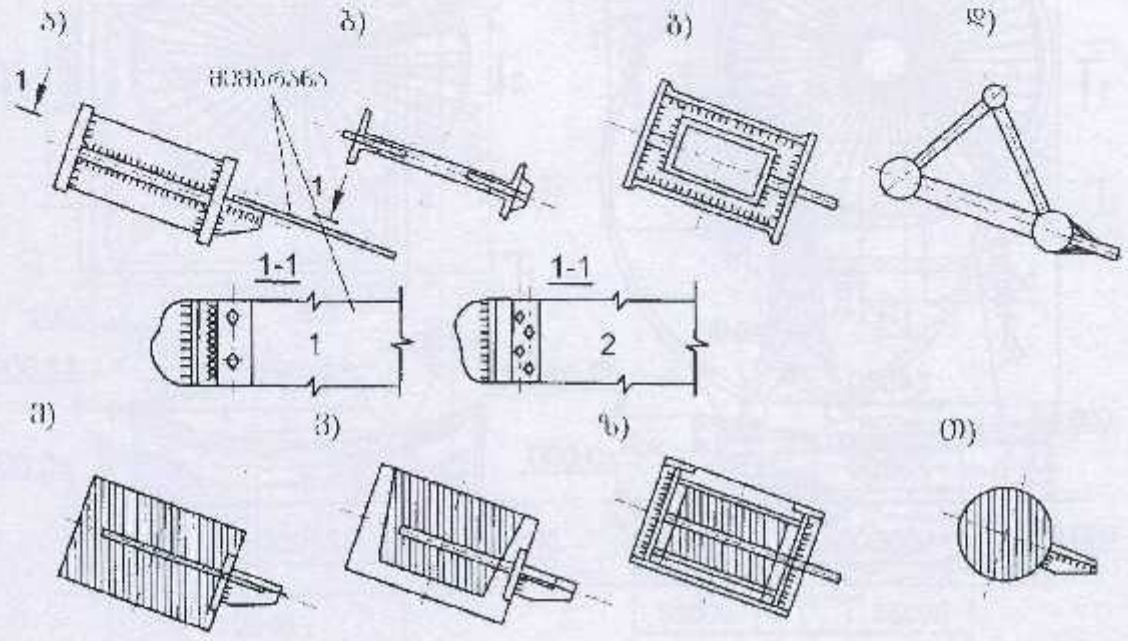


ფიგ. 239. ნაგებობების მაგალითები ჩაზნექილი მემბრანებით

ა – უნივერსალური სპორტული დარბაზი სანკტ-პეტერბურგში; *ბ* – უნივერსალური სტადიონი მოსკოვში; *1* – თხელფურცლოვანი მემბრანა; *2* – რკინაბეტონის საყრდენი რგოლი; *3* – მასტაბილიზებელი ვანტური (ა) და ხისტი (ბ) წამწეები; *4* – სვეტები; *5* – შუქფარნის ზედნაშენი; *6* – საყრდენ კონტურთან მემბრანის მიმაგრების სისტემა; *7* – ჯვარედინა კოჭებიანი ცენტრალური ფიდა; *8* – კავშირები

მემბრანული კონსტრუქციების უმნიშვნელოვანესი ელემენტია საყრდენი კონტური, რომელიც მემბრანისაგან იღებს უდიდეს ძალვებს და გადასცემს საყრდენებზე ან საძირკველზე. ნაგებობის ფორმიდან გამომდინარე, საყრდენი კონტური შეიძლება იყოს ბრტყელი ან სივრცითი, წრფივი ან მრუდწირული მოხაზულობის, ჩაკეტილი ან ღია, სიგრძეზე დაყრდნობილი ან მალში საყრდენების გარეშე.

მემბრანული გადახურვების ყველა ტიპში ძირითად ძალვებს საყრდენ კონტურში წარმოადგენს მკუმშავი ძალვები. ამის გარდა, კონტურში ორ ურთმართობულ სიბრტყეში შეიძლება წარმოიშვას მღუნავი მომენტებიც, ხოლო მემბრანის ექსცენტრისიტეტით მიმაგრებისას – მჭრელი მომენტებიც, ამიტომ საყდენი კონტურის კვეთი (ფიგ. 240) ვითარდება ორ სიბრტყეში, მათგან ერთი მდებარეობს საყრდენ კვანძში მემბრანის მხებ სიბრტყეში, ხოლო მეორე – ვერტიკალურ სიბრტყეში.



ფიგ. 240. საყრდენი კონტურის კვეთები

ა-დ – ლითონის; ე-თ – რკინაბეტონის

მასალის ხარჯის მიხედვით უფრო მიზანშეწონილია ჩაკეტილი კონტური, რომელშიც ჯაჭვური ძალვების ჰორიზონტალური მდგენელები აითვისება გადახურვის დონეზე, ხოლო სვეტებს გადაეცემა მხოლოდ ვერტიკალური რეაქციები. ღია კონტური მხოლოდ იმ შემთხვევაში შეიძლება იყოს გამართლებული, როდესაც იგი შეუღლებულია კონსტრუქციასთან (მაგალითად, ტრიბუნების), რომელსაც შეუძლია თავისი მასით აითვისოს განმბჯენი.

კონტურის თაღოვანი კონსტრუქციების სახით გადაწყვეტის შემთხვევაში, განმბჯენი ათვისებული უნდა იყოს საკოჭებით ან უშუალოდ საძირკვლებით. თაღების დაყრდნობა სვეტებზე ან პილონებზე არ არის

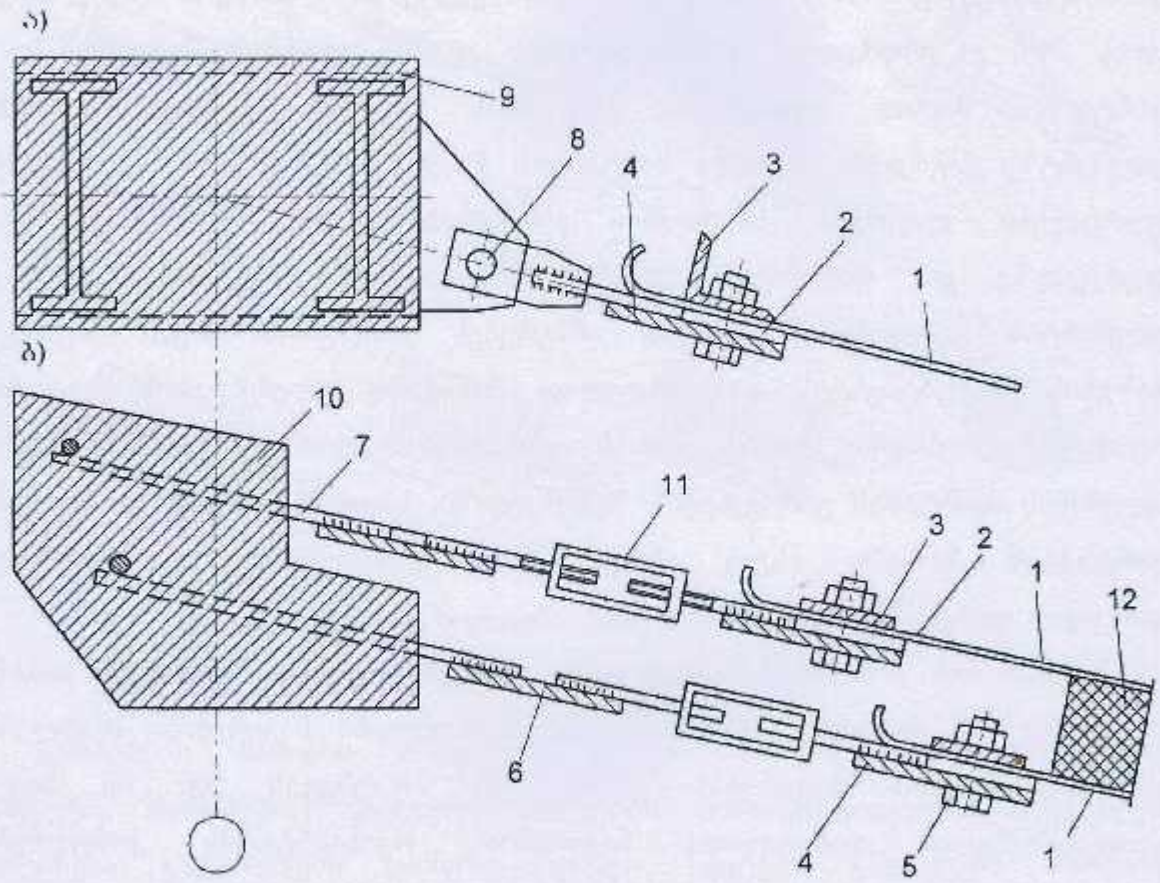
რეკომენდებული მათზე მასალის მნიშვნელოვანი ხარჯის გამო. დაყრდნობილი საყრდენი კონტურის შემთხვევაში მღუნავი მომენტები წარმოიშობა მხოლოდ გადახურვის სიბრტყეში, ამიტომ საყრდენი კონტურის კვეთებს აქვს ორტესებრის ფორმა (ფიგ. 240, ა, ბ). ორი ურთიერთმართობული მიმართულებით მღუნავი მომენტების არსებობისას საყრდენი კონტური კვთდება მთლიანი კოლოფისებრი (ფიგ. 240, გ) ან სამკუთხა (ან სხვა) განიკი კვეთის მქონე სივრცითი წამწის სახით (ნახ. 240, დ).

ორიდან ერთ-ერთ სიბრტყეში არაცენტრალურად შეკუმშული საყრდენი კონტურის ყველაზე რაციონალური გადაწყვეტას წარმოადგენს რკინაბეტონის ვარიანტები (ფიგ. 240, ე-თ), ხოლო ამ გადაწყვეტებში – ასაწყობ-მონოლითური (ფიგ. 240, ვ), რომელიც უზრუნველყოფს აგების ვადების შემცირებას და კონტურის მაღალ სიმტკიცეს. მემბრანის თხელი ფურცელი საყრდენ ელემენტზე მაგრდება მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკების მეშვეობით (ფიგ. 240). ფურცლები ლაგდება საყრდენი კონტურის მთლიან ჰორიზონტალურ ფურცელზე და ფირფიტის, კუთხედის ან სხვა პროფილის მთლიანი ელემენტის გამოყენებით მყარად ამაგრებენ კონტურის მთელ სიგრძეზე. ხახუნის კოეფიციენტის გასაზრდელად მისაჭერი ელემენტების ზედაპირი იფარება ეპოქსიდის ფისის ფრიქციულ-საიზოლაციო აფსკით, რომელიც ალუმინის მემბრანის გამოყენების შემთხვევაში, სხვადასხვაგვარი ლითონების კონტაქტის ზონაში ასევე ასრულებს ელექტროქიმიური კოროზიისგან დამცავის ფუნქციას (ფიგ. 241, ა).

ლითონის კონტურებში საყრდენი ლენტები აიღება 300-400 მმ სიგანის და კონტურის ძირითად კვეთს მიედულება მთლიანი ნაკერებით, რომლებიც განიკი წიბოების დაყენების ადგილებში არაუმეტეს 300 მმ ბიჯით გაძლიერებულია დამატებითი ნაკერებით. რკინაბეტონის კონტურებში საყრდენი ფირფიტა მიედულება ანკერის ღეროებს, რომელთა დიამეტრი არაუმეტეს 20 მმ-ია, ხოლო ბეტონში მათი ჩამაგრების სიღრმე ბლუკი ღეროებისთვის არანაკლებ 40 დიამეტრის ტოლია. ორშრიან უნაგირისებრ გადახურვებში ლენტები საყრდენ კონტურთან უღლდება დამჭიმი მოწყობილობის საშუალებით (ფიგ. 241, ბ).

მემბრანულ გადახურვებში ჭერი (ბურული) არ განსხვავდება ჩვეულებრივი ტრადიციული გადაწყვეტებისაგან: ორთქლიზოლაცია, მათბუნებელი, მასწორებელი მოჭიმვა, ჰიდროიზოლაცია. მთლიან მემბრანულ

გადახურვა-გარსებში, თხელი ლითონის ფურცლების ერთმანეთთან მჭიდროდ შეერთების შემთხვევაში, ორთქლიზოლაცია საჭირო არ არის – მის ფუნქციას ასრულებს თხელი ფურცელი. მემბრანული გადახურვების დეფორმაციულობის გათვალისწინებით, ჰიდროსაიზოლაციო ხალიჩის ქვეშ ცემენტის მოჭიმვა ძლიერდება ფოლადის ნაქსოვი ბადეებით, ხოლო ხალიჩა – მინაქსოვილით. დაძაბულ უნაგირისებრ გადახურვებში მათბუნებელი განთავსებულია ლენტების ფენებს შორის ან მზიდ ლენტზე მიწებებულია შიგნიდან. ზედა დამძაბავი ლენტი ერთდროულად ასრულებს ჰიდროსაიზოლაციო ფენის ფუნქციასაც.



ფიგ. 241. რკინაბეტონის საყრდენ კონტურთან ლენტების მიმაგრების კვანძები

ა – ნაშვერი, დამჭიმი მოწყობილობების გარეშე; *ბ* – იგივე, დამჭიმი მოწყობილობებით: *1* – თხელფურცლოვანი მემბრანა; *2* – ფრიქციული ფენა; *3* – ზედა მიმჭერი ელემენტი; *4* – ქვედა მიმჭერი ელემენტი; *5* – მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკი; *6* – პირაპირის ფირფიტა; *7* – საანკერო ღერო; *8* – ჭანჭიკოვანი სახსარი; *9* – ხისტი არმატურით არმირებული ბორტის ელემენტი; *10* – იგივე, მოქნილი არმატურით; *11* – დამჭიმი მოწყობილობა; *12* – მათბუნებელი

მემბრანული გადახურვები რთული, მრავალჯერ სტატიკურად ურკვევი სისტემებია. მათი დაძაბული მდგომარეობა დამოკიდებულია მემბრანისა და საყრდენი კონტურის ერთობლივ მუშაობაზე, ზედაპირის ფორმაზე და დატვირთვების მოდების ხასიათზე, ამიტომ დაპროექტებისას მათი გაანგარიშება წარმოებს რიცხვითი ან ანალიზური მეთოდებით, კომპიუტერული პროგრამების გამოყენებით. უმეტეს შემთხვევებში გაანგარიშება წარმოებს თხელი ფურცლის მასალის დრეკადი მუშაობის პირობით და გეომეტრიული არაწრფივობის, ანუ კონსტრუქციის ყველა ელემენტის დეფორმაციის შედეგად ნაგებობის ფორმის ცვლილების გათვალისწინებით.

მემბრანული გადახურვების მიახლოებითი გაანგარიშება, სისტემის გეომეტრიული არაწრფივობის გაუთვალისწინებლად, შეიძლება შესრულდეს ვანტური სისტემების შესაბამისი გადახურვების მიახლოებითი გაანგარიშების ანალოგიურად. ამასთან, გაანგარიშება წარმოებს მემბრანის 1 მ სიგანეზე საანგარიშო მალის მიმართულებით. შედეგად ვიღებთ ძალვების გაზრდილ მნიშვნელობებს, რადგან, ვანტური სისტემებისგან განსხვავებით, მემბრანა კარგად მუშაობს ძერაზე და ხელს უწყობს საყრდენ კონტურში მკუმშავი ძალვებისა და მღუნავი მომენტების შემცირებას.

პირობითი აღნიშვნები

A – ფართობი;

A – კვეთის გეომეტრიული მახასიათებელი;

A_b – ჭანჭიკის კვეთის ფართობი;

A_{bn} – ჭანჭიკის კვეთის ფართობი, ნეტო;

A_f – კოჭის თაროს კვეთის ფართობი;

A_{ca} – მზიდი ბაგირის კვეთის ფართობი;

A_{inf} – ქვედა სარტყელის კვეთის ფართობი;

A_n – კვეთის ფართობი ნეტო;

A_{st} – მხსტაბილიზებელი ბაგირის კვეთის ფართობი;

A_{sup} – ზედა სარტყელის კვეთის ფართობი;

A_w – კოჭის კედლის კვეთის ფართობი;

A_{cal} – საჭირო კვეთის ფართობი;

A_p – საკოჭე ღეროს კვეთი;

A_{pl} – საყრდენი ფილის ფართობი;

B – ბიჯის მოდული;

D – ცილინდრული სიხისტე;

D_{inf} – გუმბათის საყრდენი რგოლის დიამეტრი;

D_{xy} – გრეხის სიხისტე;

E – დრეკადობის მოდული;

E_0 – ბადისებრი კამარის დაყვანილი დრეკადობის მოდული;

E_{dh} – საკოჭე ღეროს დრეკადობის მოდული;

F – ძალა, დატვირთვა;

F_n – ნორმატიული ძალა, ნორმატიული დატვირთვა;

F_b – ღერძული ძალა მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკში;

F_h – ჰორიზონტალური ძალა, განმბჯენი;

F_{bra} – სამუხრუჭო ძალა;

F_t – ჰორიზონტალური ძალა;

F_c – გრძივი მკუმშავი ძალა;

F_{tot} – ჯამური ძალა;

F_v – ვერტიკალური ძალა, საყრდენი რეაქცია;

G – წონა;

G – მუდმივი დატვირთვა;

H – სართულის სიმაღლის მოდული;

I – კვეთის ინერციის მომენტი;

I_b – კოჭის კვეთის ინერციის მომენტი;

I_{inf} – სვეტის ქვედა შტოს კვეთის ინერციის მომენტი;

I_{sup} – სვეტის ზედა შტოს კვეთის ინერციის მომენტი;

I_w – კოჭის კედლის კვეთის ინერციის მომენტი;

L – სიგრძე, მალი, ბიჯის მოდული;

M – მოდული;

M – მღუნავი მომენტი;

M_{cal} – საანგარიშო მღუნავი მომენტი;

M_{loc} – ადგილობრივი მღუნავი მომენტი;

M_s – ქარის დატვირთვის სტატიკური ნაწილისგან გამოწვეული მღუნავი მომენტი;

M_w – ქარის დატვირთვისგან გამოწვეული მღუნავი მომენტი;

M_w – კოჭის კედელზე მოქმედი მღუნავი მომენტი;

N – გრძივი ძალა;

N_b – ერთი ჭანჭიკის მუშაობით ათვისებული საანგარიშო ძალა;

N_c – გრძივი ძალა შეკუმშულ ელემენტში;

N_t – გრძივი ძალა გაჭიმულ ელემენტში;

N_{cal} – საანგარიშო გრძივი ძალა (ძალვა);

N_{cr} – კრიტიკული ძალა;

N_{bm} – სვეტის შტოში მომენტისგან გამოწვეული გრძივი ძალა;

N_d – გრძივი ძალა ირიბანაში;

N_r – გრძივი ძალა რგოლში;

N_{inf} – გრძივი ძალა ქვედა სარტყელში;

N_{sup} – გრძივი ძალა ზედა სარტყელში;

N_s – ძალვა თამასებში;

Q – განივი ძალა, ძვრის ძალა;

Q_{bh} – ერთი მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკის ქვეშ ზედაპირის მიერ ათვისებული საანგარიშო ძალვა;

Q_{cal} – საანგარიშო განივი ძალა;

Q_{fic} – პირობითი განივი ძალა შემაერთებელი თამასებისთვის;

Q_s – განივი ძალა მოსული ერთ სიბრტყეში განლაგებულ თამასების სისტემაზე;

Q_w – ქარის დატვირთვისგან გამოწვეული განივი ძალა;

R – სიმრუდის რადიუსი;

R_{ba} – საძირკვლის ჭანჭიკების საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე;

R_{bh} – მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკების საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე;

R_{bp} – ჭანჭიკური შეერთების საანგარიშო წინაღობა თლვაზე;

R_{bs} – ჭანჭიკების საანგარიშო წინაღობა ჭრაზე;

R_{bt} – ჭანჭიკების საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე;

R_{cd} – катков გლინულას საანგარიშო წინაღობა დიამეტრულ კუმშვაზე;

R_{dh} – მაღალი სიმტკიცის მავთულის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე;

R_{ip} – ცილინდრულ სახსრებში (პოჭოჭიკი), მჭიდრო შეხებისას, საანგარიშო წინაღობა ადგილობრივ თლვაზე;

R_p – ფოლადის საანგარიშო წინაღობა ტორსული ზედაპირის თლვაზე (მორგების შემთხვევაში);

R_s – ფოლადის საანგარიშო წინაღობა ძერაზე;

R_u – ფოლადის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე, კუმშვაზე და ღუნვაზე დროებითი წინაღობის მიხედვით;

R_{wf} – კუთხური ნაკერის საანგარიშო წინაღობა ჭრაზე (პირობითზე), ნაკერის ლითონის გასწვრივ;

R_{wu} – პირაპირის შენადუღი შეერთების საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე, კუმშვაზე და ღუნვაზე დროებითი წინაღობის მიხედვით;

R_{ws} – პირაპირის შენადუღი შეერთების საანგარიშო წინაღობა ჭრაზე;

R_{wy} – პირაპირის შენადუღი შეერთების საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე, კუმშვაზე და ღუნვაზე დენადობის ზღვარის მიხედვით;

R_{wz} – კუთხური ნაკერის საანგარიშო წინაღობა ჭრაზე (პირობითზე), ლითონის შედნობის საზღვრის გასწვრივ;

R_y – ფოლადის და ალუმინის შენადნობების საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე, კუმშვაზე და ღუნვაზე დენადობის ზღვარის მიხედვით;

R_{bun} – ჭანჭიკების ფოლადის ნორმატიული წინაღობა;

R_{un} – ფოლადის დროებითი წინაღობა გაგლეჯაზე (გაწყვეტაზე);

R_{wun} – ნაკერის ლითონის ნორმატიული წინაღობა დროებითი წინაღობის მიხედვით;

R_{yn} – ფოლადის და ალუმინის შენადნობების დენადობის ზღვარი;

S – ბრუნვა კვეთის ძერადი ნაწილის სტატიკური მომენტ ნეიტრალური ღერძის მიმართ;

S – თოვლის დატვირთვა;

S – კამარის რკალის სიგრძე;

S – ზესადებისა და თამასის გადამჭრელი ძალვა;

S_{inf} – გუმბათის საყრდენი რგოლის სიგრძე;

V – დროებითი დატვირთვა;

V_f – შენადუღი ნაკერის მოცულობა;

W – ქარის დატვირთვა;

W_x, W_y – ბრუტო კვეთის წინაღობის მომენტები შესაბამისად *x-x* და *y-y* ღერძების მიმართ;

W_{xn}, W_{yn} – ნეტო კვეთის წინაღობის მომენტები შესაბამისად *x-x* და *y-y* ღერძების მიმართ;

a – მანძილი, ზომა;

$a_н$ – დარტყმითი სიბლანტის პირობითი სიდიდე;

a_{inf} – გუმბათის ქვედა საყრდენი რგოლის გასწვრივ წიბოებს შორის მანძილი;

a_{sup} – გუმბათის ზედა ცენტრალური რგოლის გასწვრივ წიბოებს შორის მანძილი;

b – სიგანე;

b_{ef} – საანგარიშო სიგანე;

b_f – თაროს სიგანე;

b_h – წიბოს გამოშვერილი, კიდული ნაწილის სიგანე;

$c; c_x; c_y$ – სიმტკიცეზე გაანგარიშების კოეფიციენტები (პლასტიკური დეფორმაციების გათვალისწინებით) დუნვის დროს შესაბამისად *x-x* და *y-y* ღერძების მიმართ;

d – დიამეტრი;

e – ძალის ექსცენტრისიტეტი;

f – ხაღუნვის ისარი;

g – მუდმივი განაწილებული დატვირთვა;

h – სიმაღლე;

h_{ef} – კედლის საანგარიშო სიმაღლე;

h_{inf} – სვეტის ქვედა ამწისქვეშა შტოს სიმაღლე;

h_{sup} – სვეტის ზედა ამწისზედა შტოს სიმაღლე;

h_{opt} – კვეთის ოპტიმალური სიმაღლე;

h_w – კედლის სიმაღლე;

i – კვეთის ინერციის რადიუსი;

i – ზედაპირის ქანობი;

k – ლითონის ერთგვაროვნობის კოეფიციენტი;

k –საკუთარი მახის კოეფიციენტი;

k_f – კუთხური ნაკერის კათეტი;

k_c – დგარის წრფივი სიხისტე;

k_{co} – კამარის დრეკადი მოკუმშვის (მოჭიმვის) გამოთვალისწინებელი კოეფიციენტი;

k_w – ნაგებობის სიმაღლეზე დამოკიდებული, ქარის ჩქაროსნული დაწნევის ცვლილების გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი;

k_r – რიგელის წრფივი სიხისტე;

k_s – ბადისებრი კამარების გასაანგარიშებელი კოეფიციენტი;

l – მალის სიგრძე;

l_c – დგარის, სვეტის, განმმჭიმავის სიგრძე;
l_{cd} – საგორავის სიგრძე;
l_d – ირიბანას სიგრძე;
l_m – ფურმის, თალის და ა.შ. სარტყელის პანელის სიგრძე;
l_s – თაშახას სიგრძე;
l_w – შენადუღი ნაკერის სიგრძე;
l_{ef} – პირობითი საანგარიშო სიგრძე;
l_0 – საწყისი სიგრძე; ორ საყრდენს შორის მანძილი სინათლეში;
m – ფარდობითი ექსცენტრისიტეტი;
m – საკუთარი მასა;
m_{ef} – დაყვანილი ფარდობითი ექსცენტრისიტეტი;
n_b – ჭანჭიკების რაოდენობა შეერთებაში;
n_s – ერთი ჭანჭიკის საანგარიშო ჭრების რაოდენობა;
p – წნევა;
q – განივი ძალა სიგრძის ან სიგანის ერთეულზე;
q_{co} – წრფივი დატვირთვა მზიდ გვარლზე კიდულ და ვანტურ კონსტრუქციებში;
q_{cal} – საანგარიშო წრფივი დატვირთვა;
q_g, q_s, q_w – წრფივი დატვირთვა, შესაბამისად საკუთარი მასისგან, თოვლისგან და ქარისგან;
q_{st} – წრფივი დატვირთვა მასტაბილიზებელ გვარლზე კიდულ და ვანტურ კონსტრუქციებში;
q_u – კუთხურად მოქმედი წრფივი დატვირთვა;
r – რადიუსი;
s – თოვლის განაწილებული დატვირთვა;
t – ტემპერატურა;
t – სისქე;
t_f – თაროს (სარტყელის) სისქე;
t_{pl} – საყრდენი ფილის სისქე;
t_s – წიბოს სისქე;
t_w – კედლის სისქე;
v – დროებითი განაწილებული დატვირთვა;
w – ქარის განაწილებული დატვირთვა;
α – კუთხე;
α – მხები ძაბვების გაზრდის კოეფიციენტი კოჭის კედლის შესუსტების შემთხვევაში;
β – კუთხე;
β_f, β_s – კუთხური ნაკერის გაანგარიშების კოეფიციენტები შესაბამისად ნაკერის ლითონსა და ნაკერის ლითონის საზღვრზე;
γ – მოცულობითი წონა;

γ_b – შეკრთების მუშაობის პირობების კოეფიციენტი;

γ_c – მუშაობის პირობების კოეფიციენტი;

γ_g, γ_v, γ_s, γ_w – კოეფიციენტები, შესაბამისად მუდმივი, დროებითი, თოვლის და ქარის დატვირთვებისათვის;

γ_n – საიმედოობის კოეფიციენტი დანიშნულების მიხედვით;

γ_m – საიმედოობის კოეფიციენტი მასალის მიხედვით;

γ_n – საიმედოობის კოეფიციენტი დროებითი წინაღობის მიხედვით;

γ_{cf}, γ_{ws} – შენადუღი ნაკერის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი;

δ_5 – ფარდობითი წაგრძელება;

ε – ფარდობითი წრფივი დეფორმაცია;

η – კვეთის ფორმის გაკლენის კოეფიციენტი;

η – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ბაგირის გამწყვეტი ძალვის შემცირებას მავთულების ჯამურ გამწყვეტ ძალვასთან მიმართებაში;

θ – მობრუნების კუთხე, დახრის კუთხე;

λ – მოქნილობა ($\lambda = l_{ef}/i$);

$\bar{\lambda}$ – პირობითი მოქნილობა ($\lambda = \bar{\lambda}\sqrt{R_y/E}$);

λ_{ef} – გამჭოლი კვეთის მქონე ღეროს დაყვანილი მოქნილობა;

$\overline{\lambda_{ef}}$ – გამჭოლი კვეთის მქონე ღეროს პირობითი დაყვანილი მოქნილობა: $\overline{\lambda_{ef}} = \lambda_{ef}\sqrt{R_y/E}$;

$\overline{\lambda_\omega}$ – კედლის პირობითი მოქნილობა ($\lambda_\omega = h\sqrt{R_y/E/t}$);

λ_x; λ_y – ელემენტების საანგარიშო მოქნილობები შესაბამისად x-x და y-y ღერძების პერპენდიკულარულ სიბრტყეებში;

μ – შეკუმშული ღეროს დაყვანილი სიგრძის კოეფიციენტი;

μ – ხახუნის კოეფიციენტი;

ν – ფოლადის განივი დეფორმაციის კოეფიციენტი (პუასონის კოეფიციენტი);

ξ – დინამიკურობის კოეფიციენტი;

φ_x, φ_y – გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი;

φ_b – საანგარიშო წინაღობის შემცირების კოეფიციენტი მდგრადობის დაკარგვის ღუნვა-გრეხითი ფორმის შემთხვევაში;

φ_e – საანგარიშო წინაღობის შემცირების კოეფიციენტი არაცენტრალური კუმშვის შემთხვევაში;

ξ – უგანზომილებო პარამეტრი;

ρ – სიმრუდე;

ρ – სიმკვრივე;

σ_{adm} – დასაშვები ძაბვა;

σ_x, σ_y – ნორმალური ძაბვები, შესაბამისად x-x და y-y ღერძების პარალელური;

τ – მხები ძაბვა.

ლიტერატურა

1. გ. მსხილაძე, ო. ფალავა. ლითონის კონსტრუქციები. სახელმძღვანელო. გამომცემლობა "განათლება", თბილისი, 1986. – 571 გვ.
2. გ. ფარცხალაძე, ი. მშვენიერაძე. ლითონის კონსტრუქციები. სახელმძღვანელო. ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, ბათუმი, 2009. – 322 გვ.
3. თ. ხმელიძე, რ. იმედაძე, ი. ხმელიძე. ღეროვან სისტემებში ძალვების განსაზღვრის მაგალითები მაქსველ–კრემონას დიაგრამის გამოყენებით. მეთოდური მითითებები. თბილისი, 1992. –57 გვ.
4. სამშენებლო განმარტებითი ლექსიკონი (შემდგენელი პროფ. თ. ხმელიძე). თნლაინ–ვერსია. თბილისი, 2016. – 2100 გვ.
5. Металлические конструкции: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Ю.И. Кудишин, Е.И. Беленя, В.С. Игнатьева и др.; под. ред. Ю.И. Кудишина. – 10-е изд. – М.: Издательский центр "Академия", 2007. – 688 с.
6. Металлические конструкции. Справочник проектировщика / Под общ. ред. В.В. Кузнецова (Цниипроектстальконструкция им. Н.П. Мельникова) – М.: изд-во АСВ , 1998. – 1616 с.
7. Трущев А.Г. Пространственные металлические конструкции. Учеб. пособие для вузов. – М.: Стройиздат, 1983. – 215 с.
8. Файбишенко В.К. Металлические конструкции. М.: Стройиздат, 1984, – 336 стр.
9. Handbook of structural engineering / edited by Wai-Fah Chen, Eric M. Lui. – 2nd ed. CRC Press, Taylor & Francis Group, 6000 Broken Sound Parkway NW, Boca Raton, New York, 2005. – 1712 p.
10 The civil engineering handbook / edited by W.F. Chen and J.Y. Richard Liew. – 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, London New York Washington, D.C., 2003. – 2783 p.
11. СНиП II – 23-81 Стальные конструкции. Нормы проектирования – М. Стройиздат. 1982 (СП 16.13330.2011).

შ ი ნ ა ა რ ს ი

შ ე ს ა ვ ა ლ ი 3

თავი 1. დაპროექტების საფუძვლები

1.1. მშენებლობაში გამოყენებული ლითონების დახასიათება 11
1.2. ფოლადისა და ალუმინის შენადნობების მექანიკური თვისებები 14
1.3. ფოლადისა და ალუმინის პროფილების სორტამენტი 21
1.4. ლითონის კონსტრუქციების გაანგარიშება ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით 27
1.5. ელემენტების გაანგარიშება ცენტრალურ გაჭიმვაზე და კუმშვაზე 30
1.6. ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება 33
1.7. ღერძულ ძალასა და ღუნვაზე მომუშავე ელემენტების გაანგარიშება . . 35

თავი 2. ლითონის კონსტრუქციების შეერთებები

2.1. საერთო ცნებები 38
2.2. შენადნული შეერთებები. შედუღების სახეები და მათი მოკლე დახასიათება 39
2.3. შენადნული შეერთების ტიპები და მათი გაანგარიშება 43
2.4 ჭანჭიკური და მოქლონური შეერთებები, მათი გაანგარიშება და კონსტრუირება 50

თავი 3. კოჭები

3.1. კოჭების ტიპები და მათი სტატიკური სქემები 60
3.2. ნაგლინი და შედგენილი შენადნული კოჭების განივი კვეთის გაანგარიშება 67
3.3. ფოლადის კოჭების მდგრადობის ცნება. სიხისტის წიბოების კონსტრუქცია 73
3.4. ნაგლინი და შედგენილი კოჭის პირაპირება. კოჭის ჩამაგრების კვანძები 77

თავი 4. სვეტები

4.1. ცენტრალურად შეკუმშული სვეტები 83
4.2. არაცენტრალურად შეკუმშული სვეტები 91

4.3. ერთშტოიანი და ორშტოიანი სვეტის ბაზა 93
4.4. სვეტის სათავის კონსტრუქციები, პირაპირები და დეტალები 98

თავი 5. წამწეები

5.1. ნივნივური გადახურვები. საერთო ცნებები 102
5.2. ნივნივური წამწეები, მოჩაჩულობა და გისოსის ტიპები 103
5.3. ნივნივური გადახურვის გაერთიანება 109
5.4. გადახურვის ბურულის ელემენტები 112
5.5. ნივნივური წამწეების მუშაობის თავისებურებები და გაანგარიშება . . . 117
5.6. წამწის კონსტრუირების საფუძვლები. კვანძების გაანგარიშება 125
5.7. მსუბუქი წამწეების კონსტრუირება 127
5.8. მძიმე დიდმალიანი წამწეების კონსტრუირება 138
5.9. წინასწარ დაძაბული წამწეების კონსტრუქციული გადაწყვეტები 144

თავი 6. ერთსართულიანი სამრეწველო შენობის კარკასები

6.1. კარკასების საერთო დახასიათება და მათი დაპროექტებისათვის
წაყენებული ძირითადი მოთხოვნები 152
6.2. საწარმოო შენობების კარკასების ელემენტები 156
6.3. განივი ჩარჩოს გაანგარიშება. საერთო ცნებები 162

თავი 7. მრავალსართულიანი შენობის კარკასი

7.1. კონსტრუქციული სქემები. სვეტების და კოჭების განივკვეთის
ტიპები 164
7.2. მრავალსართულიანი შენობის კარკასის მუშაობა 170
7.3. შენობათა სისტემების გაერთიანება. კოჭის სვეტთან
შეერთების კვანძები 177
7.4. შეკიდულ სართულებიანი შენობების კონსტრუქციული სქემები 184
7.5. შეკიდულ სართულებიანი შენობის გაანგარიშება და
კონსტრუირება 187

თავი 8. დიდმალიანი ჩარჩოვანი კონსტრუქციები

8.1. ჩარჩოების სტატიკური და კონსტრუქციული სქემები 190
8.2. ჩარჩოვანი კონსტრუქციების გაანგარიშება 199
8.3. ჩარჩოების კონსტრუირება 203

თავი 9. თაღოვანი კონსტრუქციები

9.1. თაღების სტატიკური და კონსტრუქციული სქემები 208
9.2. თაღოვანი კონსტრუქციების გაანგარიშება 214
9.3. თაღების კონსტრუირება 217

თავი 10. გისოსოვანი ნაოჭები

10.1. გისოსოვანი ნაოჭების სტატიკური და კონსტრუქციული სქემები . . . 223
10.2. გისოსოვანი ნაოჭების გაანგარიშება და კონსტრუირება 226

თავი 11. ბადისებრი კამარები

11.1. ბადისებრი კამარების სტატიკური და კონსტრუქციული სქემები 229
11.2. ბადისებრი კამარების გაანგარიშება და კონსტრუირება 232

თავი 12. ორმაგი სიმრუდის გადახურვის კონსტრუქციები

12.1. გუმბათოვანი კონსტრუქციები. ძირითადი ტიპები და
მათი დახასიათება 237
12.2. წიბოვანი და წიბოვან-რგოლური გუმბათების გაანგარიშება 242
12.3. ბადისებრი გარსების გაანგარიშება 243
12.4. ბადისებრი გარსების ტიპები და მათი კონსტრუქციული
გადაწყვეტები 247
12.5. დამრეცი ბადისებრი გარსების გაანგარიშება 249
12.6. ჰიპერბოლური პარაბოლოიდის (ჰიპარის) ფორმის ბადისებრი
გარსების გაანგარიშება 251
12.7. გუმბათებისა და ბადისებრი გარსების კონსტრუირება 253

თავი 13. ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციები

13.1. ზოგადი ცნობები. აგების პრინციპები 258
13.2. ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციების დაყრდნობის ვარიანტები 265
13.3. ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციების გაანგარიშება 271
13.4. ელემენტებისა და კვანძების კონსტრუქციული გადაწყვეტები 277

თავი 14. კიდული გადახურვები

14.1. კიდული გადახურვების საერთო დახასიათება 284
14.2. ერთსარტყელიანი კიდული გადახურვები 288

14.3. ორსარტყელიანი წინასწარ დაძაბული გადახურვები 300
14.4. გვარლური წამწეები 307
14.5. უნაგირისებრი გადახურვები 309
14.6. კომბინირებული სისტემები 315
14.7. მემბრანული გარსები 318

პირობითი აღნიშვნები 328

ლიტერატურა 334