აპოლონ ქუთათელაძის სახელობის თბილისის
სახელმწიფო სამხატვრო აკადემია
ქართულ-ამერიკული უნივერსიტეტი

# სამშენებლო კონსტრუქციები

ავტორები: გ. ჯაფარიძე – საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
მონაწილე პროფესორი

ო. ჩაკვეტაძე – ქართულ-ამერიკული უნივერსიტეტის პრო-
ფესორი, საქართველოს საინჟინრო აკადემიის
აკადემიკოს მდივანი

თბილისი 2017 წ.

სახელმძღვანელოში განხილულია რკინაბეტონის, ქვის, ლითონის, ხისა და პლასტმასის კონსტრუქციებისათვის გამოყენებული შესაბამისი მასალების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები, კონსტრუქციებზე მოქმედი დატვირთვა და ზემოქმედებები, სიმტკიცის, მდგრადობისა და სიხისტის მიხედვით გაანგარიშების თანამედროვე მეთოდები. აგრეთვე, სამშენებლო კონსტრუქციებისა და ელემენტების დაპროექტების (გაანგარიშებისა და კონსტრუირების) საკითხები და საცნობარო მასალა.

სახელმძღვანელო „სამშენებლო კონსტრუქციები“ განკუთვნილია სამშენებლო და არქიტექტურის სპეციალობის ბაკალავრიატის სტუდენტებისათვის. იგი დახმარებას გაუწევს, ასევე სათანადო სპეციალობის მაგისტრატურის სტუდენტებსა და ინჟინერ-მშენებლებს შენობა-ნაგებობების მზიდი კონსტრუქციებისა და ელემენტების დაპროექტებისას.

რედაქტორი პროფ. გიორგი ჟვანია

**ISBN 978-9941-0-9670-9**

# შესავალი

სახელმძღვანელოში, „სამშენებლო კონსტრუქციები“, განხილულია რკინაბეტონის, ქვისა და დაარმატურებული ქვის წყობის, ლითონის, ხისა და პლასტმასის კონსტრუქციებისა და ელემენტების დაპროექტების (გაანგარიშებისა და კონსტრუირების) საკითხები.

სახელმძღვანელო შედგენილია იმის გათვალისწინებით, რომ მისი გამოყენება შეიძლება აღნიშნული კონსტრუქციების („რკინაბეტონისა და ქვის კონსტრუქციები“, „ლითონის კონსტრუქციები“, „ხისა და პლასტმასის კონსტრუქციები“) ცალ-ცალკე დისციპლინებად შესწავლისას, რასაც წინ უსწრებს საშენი მასალების, მასალათა გამძლეობისა და სამშენებლო მექანიკის შესწავლა.

სახელმძღვანელო შედგება ოთხი განყოფილებისა და საცნობარო მასალებისაგან, დანართების სახით. მითითებულია გამოყენებული ლიტერატურის ჩამონათვალი.

**პირველ განყოფილებაში** მოცემულია ცნობები სამშენებლო კონსტრუქციების შესახებ: კლასიფიკაცია, ზოგადი თეისებები, გამოყენებული მასალების, სხვადასხვა დატვირთვისა და ზემოქმედების დახასიათება, შენობა-ნაგებობებისა და სამშენებლო კონსტრუქციებისადმი წაყენებული მოთხოვნები, დაპროექტების ზოგადი პრინციპები, გაანგარიშების მეთოდები. განხილულია რამდენიმე რიცხვითი მაგალითი, რომლებიც ეხება სამშენებლო კონსტრუქციებისათვის საერთო საკითხებს.

**მეორე განყოფილება** ეძღვნება რკინაბეტონისა და ქვის კონსტრუქციებს: გამოყენებული არმატურისა და ბეტონის ერთობლივი მუშაობის პრინციპი, მათი სახეობები, წინაღობის ნორმატიული და საანგარიშო მაჩვენებლების განსაზღვრის მეთოდები, ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშების თავისებურებები. განხილულია წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონი: წინასწარი დაძაბვის ხერხები, ძაბვათა დანაკარგები, კვეთის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა სხვადასხვა დატვირთვის მოქმედებისას, გაანგარიშებისა და კონსტრუირების საფუძვლები.

რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტების ზოგადი პრინციპების განხილვის შემდეგ, მოცემულია ერთსართულიანი და მრავალსართულიანი შენობების მზიდი კარკასების კონსტრუქციული თავისებურებები, მათი გაანგარიშება ინჟინრული მეთოდებით, ცალკეული კონსტრუქციების (შენობის დახურვისა და სართულშორისი გადახურვა, სანივნიე კოჭები და წამწეები, ჩარჩოები და თაღები და სხვა) გაანგარიშებისა და კონსტრუირების მეთოდები. მოცემულია რკინაბეტონის საძირკვლების უპირატესობა, კლასიფიკაცია, გაანგარიშებისა და კონსტრუირების საკითხები. განხილულია რიცხვითი მაგალითები, რომლებიც, თავისი მეთოდური მითითებებით, წარმოადგენს საკურსო პროექტის შესრულების საფუძველს.

შემდეგ განხილულია ქვისა და დაარმატურებული ქვის კონსტრუქციები, მოცემულია ბუნებრივი და ხელოვნური ქვის მასალები (აგური, ბეტონის ბლოკები), მათი წყობის ტიპები. წყობის სიმტკიცე და დეფორმაციულობა,

გაანგარიშების მეთოდები ცენტრალურ, გარეცენტრულ და ადგილობრივ (თელვა) კუმშვაზე. წყობის დაარმატურების პრინციპები. მოცემულია რიცხვითი მაგალითები.

მესამე განყოფილება ეთმობა ლითონის სამშენებლო კონსტრუქციებს: ძირითადად განხილულია ფოლადისა და ალუმინის შენადნობების კონსტრუქციები, მათი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები, შეერთების საშუალებები, ფოლადისა და ალუმინის შენადნობების, როგორც საშენი მასალების სიმტკიცისა და დეფორმაციულობის მახასიათებლები, ნაკეთობათა სორტამენტი (სათანადო ეროვნული ნორმებისა და წესების, აგრეთვე, ევროპული ნორმებისა და სტანდარტების შესაბამისად).

ცალკეულ პარაგრაფებში განხილულია ღუნვაზე, კუმშვასა და გაჭიმვაზე მომუშავე ელემენტების გაანგარიშებისა და კონსტრუირების საკითხები. განხილულია რამდენიმე რიცხვითი მაგალითი, სათანადო მეთოდური მითითებები, რომლებიც, აგრეთვე, შესაძლებელია გამოყენებული იქნეს საკურსო პროექტის შესრულებისას.

მეოთხე განყოფილებაში მოცემულია ხისა და პლასტმასის კონსტრუქციები. განხილულია ხის მერქანი, როგორც საშენი მასალა, მისი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები, ხის ელემენტების შეერთების სახეები. დაწებებული ხისა და ხელითონის კონსტრუქციები, ელემენტებისა და მათი შეერთების კვანძების გაანგარიშების მეთოდები და კონსტრუირება. ხისა და პლასტმასის მასალებით შედგენილი ბრტყელი და სივრცითი კონსტრუქციების დაპროექტების პრინციპები. განხილულია რიცხვითი მაგალითები.

დანართში მოცემულია მასალების ნორმატიული და საანგარიშო წინაღობები და სხვა საცნობარო მასალები, რომლებიც საჭიროა ამა თუ იმ კონსტრუქციული სისტემის გასაანგარიშებლად და დასაპროექტებლად.

რკინაბეტონი, ქვა და ლითონი დიდი ხნის მანძილზე იყო და დარჩება ძირითად საშენ მასალად. განიცდის რა ინტენსიურ განვითარებას, მათთან ერთად მომავალში უფრო ფართოდ შეიძლება გამოვიყენოთ ხის, პლასტმასებისა და სხვადასხვა მასალის კომბინაციით შექმნილი კონსტრუქციები და ნაკეთობები. მშენებელმა, როგორც თანამედროვე სპეციალისტმა, უნდა იცოდეს სამშენებლო კონსტრუქციების გაანგარიშება და კონსტრუირება, მათი განვითარების ტენდენციები, რათა აითვისოს და პრაქტიკული საქმიანობისას გამოიყენოს ამ დარგში მეცნიერებისა და ტექნიკური პროგრესის მიღწევები.

სახელმძღვანელო „სამშენებლო კონსტრუქციები“ განკუთვნილია სამშენებლო და არქიტექტურის სპეციალობის ბაკალავრიატის სტუდენტებისათვის. იგი დახმარებას გაუწევს შესაბამისი სპეციალობის მაგისტრატურის სტუდენტებს, აგრეთვე ინჟინერ-მშენებლებს შენობა-ნაგებობების მზიდი კონსტრუქციებისა და ელემენტების დაპროექტებისას.

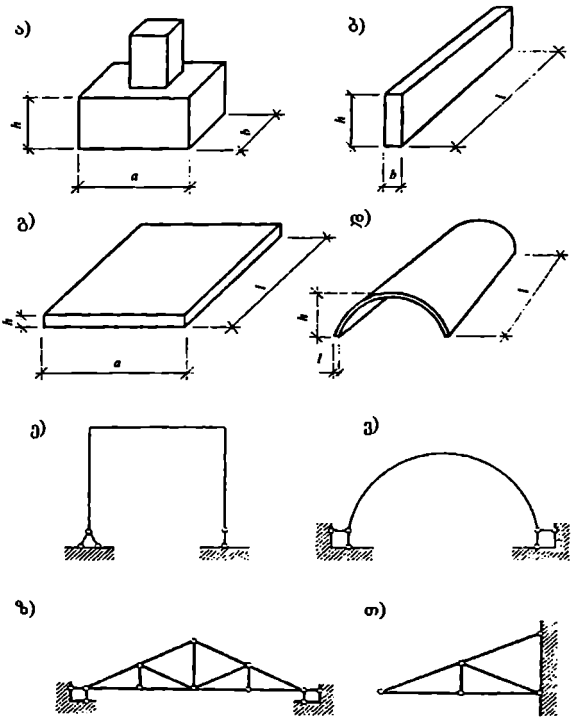
# თავი 1. ზოგადი ცნობები სამშენებლო კონსტრუქციების შესახებ

## 1.1. სამშენებლო კონსტრუქციების კლასიფიკაცია

სამშენებლო კონსტრუქციები მრავალფეროვანია დანიშნულებისა და გამოყენების მიხედვით. შესაძლებელია მათი პირობითი კლასიფიკაცია, ზოგიერთი ნიშან-თვისების გაერთიანებით:

1) გეომეტრიული ფორმის მიხედვით მიღებულია სამშენებლო კონსტრუქციების შემდეგი დაყოფა: მასიური, ძელი (ძელაკი), ფილა, გარსი და ღეროვანი სისტემა (ნახ. 1.1).

– მასიურია კონსტრუქცია, რომლის ყველა გეომეტრიული ზომა ერთი რიგისაა. მაგალითად, ბეტონის ან რკინაბეტონის ცალკე მდგომი (წერტილოვანი) საძირკველი, რომლის ზომები შეიძლება იყოს: $a = 1{,}8$ მ, $b = 1{,}2$ მ და $h = 1{,}5$ მ (ნახ. 1.1,ა).




ნახ. 1.1

– ძელი ელემენტია, რომლის ორი ზომა (განივკვეთის ზომები) ბევრად ნაკლებია მესამეზე (სიგრძეზე). მაგალითად, რკინაბეტონის კოჭის ზომები

შეიძლება იყოს: $b = 20$ სმ, $h = 40$ სმ, $l = 600$ სმ. როგორც ვხედავთ, ძელის $l$ სიგრძე $b$ და $h$ ზომებზე 10-ჯერ და მეტჯერ მეტია (ნახ. 1.1, ბ).

– ფილა არის ელემენტი, რომლის ერთი გეომეტრიული ზომა (სისქე), ბევრად ნაკლებია დანარჩენ ორ ზომაზე. მაგალითად, ფილის სისქე შეიძლება იყოს 4...5 სმ, ხოლო სიგრძე და სიგანე 150 სმ-ზე მეტი (ნახ. 1.1, გ);

– გარსი არის ერთი ან ორი მიმართულებით მრუდხაზოვანი მოხაზულობის ფილა, მუდმივი სისქის ან წიბოებიანი (ნახ. 1.1, დ);

– ღეროვან კონსტრუქციას განეკუთვნება ჩარჩო და თაღი, რომლებიც შესაბამისად წარმოადგენენ ძელს – ტეხილი ან მრუდხაზოვანი ღერძით (ნახ. 1.1, ე, ვ);

– ღეროვანი სისტემა გეომეტრიულად უცვლელი სისტემაა, შედგენილი ცალკეული ღეროებით, რომლებიც ერთმანეთთან შეერთებულია სახსრულად ან ხისტად. ასეთ სისტემას წარმოადგენს სამშენებლო წამწე, რომლის მრავალნაირი სახეობა ფართოდ გამოიყენება მშენებლობაში (ნახ. 1.1, ზ, თ).

ზემოჩამოთვლილი თვისებები კარგად ახასიათებს მშენებლობაში ფართოდ გამოყენებულ კონსტრუქციებს, რომლებსაც ამ სახელმძღვანელოში შეეხებით. თუმცა, აღსანიშნავია, რომ არის შემთხვევები, როდესაც კონსტრუქცია იმდენად რთული გეომეტრიული პარამეტრებით ხასიათდება, რომ ვერცერთ ზემოგანხილულ კონსტრუქციათა რიგს ვერ მივაკუთნებთ (მაგალითად, ლითონის ან რკინაბეტონის საინჟინრო ნაგებობები, თაღოვანი კაშხლები, კომპლექსური კონსტრუქციები და სხვა).

2) სამშენებლო კონსტრუქციების დაყოფა შეიძლება იმის მიხედვით, იგი სტატიკურად რკვევადია თუ სტატიკურად ურკვევი. პირველს ეკუთვნის კონსტრუქცია (ან კონსტრუქციული ელემენტების სისტემა), რომელშიც ძალები ან ძაბვები შეიძლება გამოითვალოს მხოლოდ სტატიკის (წონასწორობის) განტოლებების მეშვეობით. მეორე ტიპის კონსტრუქციის გაანგარიშებისათვის მხოლოდ ამგვარი განტოლებები არ არის საკმარისი, რადგან უცნობ სიდიდეთა რაოდენობა აჭარბებს მათ რაოდენობას, ე.ი. არის „ზედმეტი“ უცნობები, რომელთა განსასაზღვრავად საჭიროა დამატებითი განტოლებები.

3) გამოყენებული მასალების მიხედვით არის: ფოლადის, ხის, პლასტმასის, რკინაბეტონის, ბეტონისა და ქვის (აგურის, მცირე და დიდი ზომის ბლოკები) კონსტრუქციები.

4) დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის მიხედვით, კონსტრუქციები განსხვავდება იმით, თუ როგორი შინაგანი ძალვები, ძაბვები და დეფორმაციები წარმოიშობა გარე დატვირთვის ან სხვა ზემოქმედების გამო. ასეთებია ღუნვადი, შეკუმშული და გაჭიმული ელემენტები. ეს დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობები შედარებით მარტივია და გავრცელებული იმ კონსტრუქციებში, რომლებიც ფართოდ გამოიყენება მშენებლობაში. უფრო რთულად დაძაბულ-დეფორმირებული კონსტრუქციები (მაგალითად, ღუნვა გრეხასთან ერთად, ირიბი ღუნვა, რხევა და სხვა) შედარებით იშვიათია, ხოლო გაანგარიშების მეთოდები – რთული, ამიტომ მათი შესწავლა ხდება მაგისტრატურაში.

## 1.2. მასალები სამშენებლო კონსტრუქციებისათვის

კონსტრუქციული მასალები, რომლებიც გამოიყენება მზიდი კონსტრუქციებისათვის, არის ფოლადი, რკინაბეტონი, მერქანი (ხე-ტყე), პლასტმასა, ბუნებრივი და ხელოვნური ქვა. აღნიშნული მასალების ძირითადი თვისებების შესახებ შესაბამის თავებში იქნება საუბარი. აქ შემოვიფარგლებით მხოლოდ მათი გამოყენების რეკომენდაციით.

მზიდი სამშენებლო კონსტრუქციებისათვის საშენი მასალის არჩევა დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე: კაპიტალურობა, ხანგამძლეობა, ეკონომიურობა და ა.შ. არ არის საჭირო ყოველთვის ვარიანტების შეჯერებით მისი შერჩევა, რადგან ძირითადი საშენი მასალების გამოყენების ხელსაყრელობა ამა თუ იმ კონსტრუქციისათვის დადგენილია და არგუმენტირებული შესაბამის სამშენებლო ნორმებსა და წესებში. მაგალითად, თუ ფოლადისა და რკინაბეტონის შეიძლება ღუნვად ელემენტებად წარმატებით გამოყენება, ქვა და ქვის კონსტრუქციები აქ არ გამოდგება, რადგან მათი გამოყენება მიზანშეწონილია სვეტებსა და საერთოდ – შეკუმშულ ელემენტებში.

საშენი მასალების ფიზიკურ-მექანიკური და ქიმიური თვისებები შეისწავლება სხვა სასწავლო დისციპლინებში (მაგ. „საშენ მასალებში“). სამშენებლო კონსტრუქციებში გამოყენების თვალსაზრისით, ჩვენ გვაინტერესებს მასალებისა და მათგან დამზადებული კონსტრუქციების საიმედოობა, მათზე მოქმედი დატვირთვის ქვეშ მუშაობისას.

ფოლადი ძირითადად გამოიყენება დიდმალიანი და მაღლივი შენობა-ნაგებობების მშენებლობისას, მძიმე ინდუსტრიის საწარმოო შენობებში, სადაც მოძრაობს დიდი ტვირთამწეობის, მძიმე რეჟიმით მომუშავე ამწეები.' წარმატებით გამოიყენება იქ, სადაც საჭიროა კონსტრუქციის მასის შემცირება ან საჭიროა განსაკუთრებული არქიტექტურული გამომსახველობის მიღწევა.

ლითონის კონსტრუქციებში გამოიყენება: 95% გაგლინული ფოლადი, 1%-მდე ჩამოსხმული თუჯი და ფოლადი, 5%-მდე ალუმინის შენადნობები. ამიტომ ძირითადად განვიხილოთ ფოლადის გაგლინული პროფილი (სორტამენტი), რომლის ნაირფერობა დიდია: ესენია სხვადასხვა ტიპის კუთხოვანები, შველერები და ორტესებრი, ასევე სხვადასხვა სისქის ფოლადის გაგლინული ფურცლების გადაღუნვით ან შედუღებით მიღებული მრავალნაირი პროფილის ელემენტები. პრაქტიკაში გავრცელებულ ფოლადის კონსტრუქციებში ძირითადად გამოიყენება ფოლადები C235, C245, C275, C345 (აქ „C“ დსთ-ს ქვეყნებში აღნიშნავს „сталь“-ს, ხოლო ევროპის ქვეყნებში იხმარება აღნიშნვა S235, S245 და ა.შ. „s“-steel“. რიცხვი აღნიშნავს ფოლადის დენადობის შესაბამის ძაბვას მეგაპასკალებში).

რკინაბეტონი ძირითადი სამშენებლო მასალაა. იგი გამოიყენება ყველა სამშენებლო კონსტრუქციაში, გარდა განსაკუთრებით დიდი მალისა და სიმაღლის კონსტრუქციებისა. მას იყენებენ, როგორც მონოლითურ, უშუალოდ მშენებლობის ადგილას დამზადებულ კონსტრუქციებში, ისე ასაწყობ, ქარხნებში დამზადებულ და ადგილზე დამონტაჟებულ (შეერთებულ), კონსტრუქციებში.

რკინაბეტონის შემადგენელი მასალებია ბეტონი და ფოლადის არმატურა (ფოლადის ღეროები ან მავთულები). ამჟამად საქართველოში მოქმედი სამშენებლო ნორმებისა და წესების („ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციები“ პნ 03.01-09) მიხედვით გამოიყენება ცამეტი სხვადასხვა სიმტკიცის (კლასის) კონსტრუქციული ბეტონი, შეიდი სახის ღეროვანი და ხუთი მავთულოვანი არმატურა. ჩვეულებრივ, წინასწარ დაუძაბავ რკინაბეტონის ელემენტებში ძირითადად გამოიყენება B15, B20, B25 და B30 კლასის ბეტონი, ხოლო ღეროვანი არმატურა – A-I, A-II და A-III კლასის, მავთულოვანი არმატურა – Bp –I კლასის. წინასწარ დაძაბულ კონსტრუქციებში გამოიყენება უფრო მაღალი სიმტკიცის ბეტონი და არმატურა.

ქვა (აგური), სხვა მასალებისაგან განსხვავებით, წარმოადგენს მზიდ, თბოსაიზოლაციო და მოსაპირკეთებელ მასალას. ამავე დროს იგი უნდა აკმაყოფილებდეს ხანძარუსაფრთხოებისა და კაპიტალურობის მოთხოვნებს. ადვილად ასაგებია.

მშენებლობაში გამოიყენება აგურის, ბუნებრივი ქვისა და ბეტონის მცირე და მსხვილი ბლოკების ფართო ასორტიმენტი, როგორც ფორმის, ისე სიმტკიცის მიხედვით. შესაბამისად, დუღაბის სახეობაც მრავალნაირია. უმრავლეს შენობასა და ნაგებობაში ძირითადად გამოიყენება აგური მარკით 50, 75, 100 და 125, ხოლო დუღაბი – მარკით 50, 75 და 100.

მერქანი (ხე-ტყე), როგორც საშენი მასალა, გამოიყენება უძველესი დროიდან. მისი უპირატესობაა დამუშავებისა და დამზადების სიმარტივე, მაღალი ტექნიკური თვისებები, აგრესიული გარემოსადმი მედეგობა, შესაძლებლობა, მცირე ზომის ელემენტების (ფიცარი, ფანერა) სხვადასხვა მეთოდით შეერთებით შეიქმნას შედარებით დიდი ზომის კონსტრუქცია. საქართველოში სამშენებლო მასალად ძირითადად გამოიყენება ფიჭვი, ნაძვი, იშვიათად – ფოთლოვანი ჯიშები.

პლასტმასის კონსტრუქციების გამოყენების მიზანშეწონილობა დამოკიდებულია მათ (სხვა საშენ მასალებთან შედარებით) დაბალ, საშუალო სიმკვრივეზე. ამასთან, პლასტმასები საკმაოდ ქიმიურად მედეგები არიან. მათ ხშირად იყენებენ ალუმინთან, დაწებებულ მერქანსა და სხვა მასალებთან ერთად (მაგალითად, მსუბუქ სამფენოვან კედლის პანელებში ან დახურვის ელემენტებში).

გამოიყენება, აგრეთვე, სინთეტიკური ქსოვილის ან აფსკის პნევმატიკური ან ტენტის კონსტრუქციები. მაგალითად, საწყობების, გარაჟების, გამოფენის პავილიონების ასაგებად. იაპონიაში „ეკსპო-70“ გამოფენაზე წარმოდგენილი ერთი პნევმატიკური პავილიონის ზომა გეგმაში იყო 142×83 მ.

### 1.3. სამშენებლო კონსტრუქციებისადმი წაყენებული მოთხოვნები და დაპროექტების ზოგადი პრინციპები

ყველა ნაშენი შეიძლება დაიყოს შენობებად და ნაგებობებად. შენობებია სამოქალაქო (საცხოვრებელი და საზოგადოებრივი დანიშნულების) და საწარმოო (სამრეწველო და სასოფლო-სამეურნეო დანიშნულების). ნაგებობებია ის საინჟინრო ობიექტები, რომლებიც განკუთვნილია რაიმე ტექნიკური ამოცანის შესასრულებლად

(წყალსაქაჩი ნაგებობა, სითხის შესანახი რეზერვუარი, წყალსადენი, საკვამლე მილი და სხვა).

თითოეული შენობა ან ნაგებობა შედგება ცალკეული, ურთიერთდაკავშირებული კონსტრუქციული ელემენტებისაგან. ესენია:

- საძირკვლები – მიწისქვეშა კონსტრუქციები, რომლებიც მთელი შენობიდან (ნაგებობიდან) გადმოცემულ დატვირთვებს ანაწილებს და გადასცემს ფუძეს – გრუნტს.
- კედლები – შენობის შიგთავსს შემოფარგლავს გარე ატმოსფერული გარემოდან (გარე კედლები) ან გამოყოფს ერთმანეთისაგან ცალკეულ სათავსებს (შიდა კედლები, ტიხრები);
- ცალკეული საყრდენები ბოძები ან სვეტები. რომლებსაც გადაეცემა დატვირთვა სართულთშორისი გადახურვისა, სახურავისა ან გარე კედლებისაგან;
- გადახურვები – სართულთშორისი ჰორიზონტალური კონსტრუქციები, რომლებიც შენობას დაყოფს სართულებად ან იარუსებად, სიმაღლის მიხედვით. მათ გადაეცემათ დატვირთვა საკუთარი მასისაგან, ადამიანებისაგან, ტექნოლოგიური დანადგარებისა და ა.შ. ამავე დროს გადახურვები უზრუნველყოფს მთლიანად შენობის ან ნაგებობის სიურცულ, გეომეტრიულ უცვლელობას (მდგრადობას) და სიხისტეს.
- სახურავი – შენობის კლიმატური გარემოსაგან ზევიდან დამცავი კონსტრუქციაა, რომელიც აიტანს დატვირთვას საკუთარი მასისა და თოვლისაგან;
- კიბეები – კონსტრუქციაა, რომელიც სართულებს აკავშირებს ერთმანეთთან. ხანძარსაწინააღმდეგო დაცვის მოთხოვნების შესაბამისად, კიბეებს ხშირად შემოფარგლავენ კედლებით, ე.წ. კიბის უჯრედის სახით.

კონსტრუქციული ელემენტებიდან შეიძლება გამოიყოს მზიდი კონსტრუქციები, რომლებიც უშუალოდ აიტანს დატვირთვას და უზრუნველყოფს შენობა-ნაგებობების სიმტკიცეს, სიხისტესა და მდგრადობას. მზიდი კონსტრუქციები ურთიერთკავშირით წარმოქმნის შენობის ან ნაგებობის მზიდ ჩონჩხს. ზოგი მზიდი კონსტრუქცია (კედლები, გადახურვა, სახურავები, ნაგებობათა ფსკერი) ითავსებს გარემოსაგან შემომფარგველელ ფუნქციასაც.

### 1.3.1. მოთხოვნები, რომლებიც წაეყენება შენობა-ნაგებობებს და მათ კონსტრუქციულ ელემენტებს

ნებისმიერი შენობა თუ ნაგებობა, პირველ ყოვლისა, უნდა შეესაბამებოდეს თავის ფუნქციონალურ დანიშნულებას ანუ უნდა ჰქონდეს საკმარისი საექსპლუატაციო ხარისხი.

შენობა აუცილებელია იყოს მტკიცე, ხისტი, მდგრადი, ხანგამძლე. უნდა აკმაყოფილებდეს სანიტარულ-ჰიგიენურ, ხანძარსაწინააღმდეგო, ეკონომიკურ და არქიტექტურული გამომსახველობის მოთხოვნებს.

შენობა-ნაგებობებისა და მათი ცალკეული მზიდი კონსტრუქციების სიმტკიცის, სიხისტისა და მდგრადობის უზრუნველსაყოფად სრულდება შესაბამისი

გაანგარიშებები იმ თეორიული და პრაქტიკული მეთოდების მიხედვით, რომლებიც დამუშავებულია სხვადასხვა სახის კონსტრუქციისათვის. გაანგარიშებების საფუძველზე ინიშნება კონსტრუქციების გეომეტრიული ფორმები და ზომები, ხოლო მათ შორის ისეთი კავშირი უნდა განხორციელდეს, რომ კონსტრუქციები იყოს საიმედო და ხანგამძლე.

ცალკეული კონსტრუქციის გაანგარიშება და დაპროექტება გულისხმობს მისი საიმედოობისა და უსაფრთხოების უზრუნველყოფას. კონსტრუქციული ელემენტის საიმედოობა არის, რომ მან შეინარჩუნოს თავისი საექსპლუატაციო თვისებები, ნაგებობის მთელი საექსპლუატაციო ვადის განმავლობაში, ასევე ტრანსპორტირებისა და მონტაჟის დროს. კონსტრუქციის საიმედოობის მთავარი მახასიათებელია სიმტკიცე, რომელიც შეიძლება განისაზღვროს, როგორც „დაურღეველობა“, რისი უზრუნველყოფაც ხდება შესაბამისი გაანგარიშებით. როდესაც გაანგარიშებით ან კონსტრუქციული ხერხებით ხდება სიხისტის უზრუნველყოფა, ეს ნიშნავს, რომ დეფორმაციები (მაგალითად, ჩაღუნვა, კეთის მობრუნება) სიდიდით არ უნდა აჭარბებდეს ნორმებით დაშვებულ მაქსიმალურ მნიშვნელობას. მდგრადობაზე გაანგარიშება უზრუნველყოფს კონსტრუქციის ფორმის ან მდებარეობის შენარჩუნებას.

შენობების ხანგამძლეობა დამოკიდებულია საშენი მასალებისა და კონსტრუქციების ხარისხსა და გარემოს მავნე გაელენისაგან მათ საიმედო დაცვაზე. კონსტრუქციის ხანგამძლეობა განისაზღვრება, საექსპლუატაციო თვისებების დაქვეითების გარეშე, კონსტრუქციების ნორმალური მუშაობით ექსპლუატაციის მთელი ვადის განმავლობაში. არსებობს ხანგამძლეობის სამი ხარისხი: პირველი – რომელიც შეესაბამება არანაკლებ 100 წლის საექსპლუატაციო ვადას, მეორე – არანაკლებ 50 წლისა, ხოლო მესამე – არანაკლებ 20 წლისას.

ხანძარმედეგობის მიხედვით, შენობები დაყოფილია ხუთ საფეხურად. აქედან პირველი საფეხური შეესაბამება ყველაზე მაღალ ხანძარმედეგობას, მეხუთე – დაბალს. I, II და III საფეხურისაა ქვისა და რკინაბეტონის ელემენტებით აგებული შენობები. IV საფეხურის – მობათქაშებული ხის კონსტრუქციები, V საფეხურის – ხის შენობები მობათქაშების გარეშე. მეოთხე და მეხუთე საფეხურის შენობების სართულიანობა არ უნდა იყოს ორზე მეტი.

ყველა შენობა და ნაგებობა, კაპიტალურობის მიხედვით, იყოფა ოთხ კლასად; ხანგამძლეობის, ხანძარმედეგობისა და საექსპლუატაციო ხარისხის მოთხოვნათა მიხედვით. I კლასს განეკუთვნება უნიკალური შენობა-ნაგებობები, რომლებსაც წაეყენება განსაკუთრებით მაღალი საექსპლუატაციო თვისებების მოთხოვნები. IV კლასის შენობების მიმართ ეს მოთხოვნები შერბილებულია. ჩამონათვალი ამ შენობა-ნაგებობებისა, რომლებიც მიეკუთვნება ამა თუ იმ კლასს, კაპიტალურობის მიხედვით, მოცემულია სათანადო ნორმებში.

მზიდი კონსტრუქციების საიმედოობის უზრუნველყოფა არის მთავარი (მაგრამ არა ერთადერთი), მათი გაანგარიშებისა და დაპროექტების მიზანი. ასევე მნიშვნელოვანია კონსტრუქციების ისეთი დაპროექტება, რომ პასუხობდეს ეკონომიკურობის მოთხოვნებს, რომელიც შედგება კონსტრუქციის დამზადების ღირებულების, აგების ან მონტაჟის შრომატევადობისა და საექსპლუატაციო

დანახარჯებისაგან. იმისათვის, რომ შეფასდეს კონსტრუქციული თუ დაგეგმარებითი გადაწყვეტების ეკონომიკური მიზანშეწონილობა, უნდა ჩატარდეს მათი ტექნიკურ-ეკონომიკური შეფასება და შედარდეს ეტალონად მიღებულ ანალოგიურ გადაწყვეტებს. ტექნიკურ-ეკონომიკური შეფასების კრიტერიუმად, ჩვეულებრივ, იღებენ კონსტრუქციის ან შენობის 1მ$^2$-ის ან 1მ$^3$-ის ღირებულებას. ასეთი შეფასებისას ითვალისწინებენ სხვა მონაცემებსაც: შედარებით დეფიციტური მასალების ხარჯს (ცემენტი, ფოლადი), ენერგოდანახარჯებს, ანაკრეფობის სიმარტივეს, კონსტრუქციის მასას (გადაზიდვა, მონტაჟი), მასალატევადობასა და სხვა. ამ უკანასკნელების შემცირება ხდება მაღალი სიმტკიცის ფოლადისა და ბეტონის, აგრეთვე, მსუბუქი ბეტონის გამოყენებით.

## 1.3.2. სამშენებლო კონსტრუქციების დაპროექტების ზოგადი პრინციპები

შენობებისა და ნაგებობების დაპროექტება მიმდინარეობს ერთ ან ორ სტადიად. ერთ სტადიად აპროექტებენ შენობა-ნაგებობებს, რომელთა აგება დაგეგმილია ტიპობრივი ან განმეორებით გამოყენებული პროექტებით, აგრეთვე ტექნიკურად ადვილად ასაგებ ობიექტებს. ამ დროს მუშავდება პირდაპირ მუშა პროექტი, ღირებულების მთლიანი (კრებსითი) სახარჯთაღრიცხვო გაანგარიშებით. მუშა ნახაზებად იხმარება ტიპობრივი კონსტრუქციებისა და ნაკეთობების ნახაზების ალბომი. ამიტომ დაპროექტება შემოიფარგლება ძირითადად შენობის გეგმისა და ჭრილების დამუშავებითა და ელემენტების სამონტაჟო სქემის ჩვენებით.

დანარჩენი შენობებისა და ნაგებობების, მათ შორის მსხვილი და რთული სამშენებლო ობიექტების დაპროექტება წარმოებს ორ სტადიად. პირველ სტადიაზე მუშაყდება პროექტი კრებსითი სახარჯთაღრიცხო ღირებულების გაანგარიშებით, მეორე სტადიაზე – მუშა დოკუმენტაცია შესაბამისი ხარჯთ-აღრიცხვებით.

განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი შენობა-ნაგებობებისა და განსაკუთრებით რთული ნაგებობების პროექტები, რამდენიმე კონსტრუქციული ელემენტისაგან შედგენილი კომპლექსური კონსტრუქციების გაანგარიშება და კონსტრუირება, ასევე, არქიტექტურული გეგმარება, შესაძლებელია დამუშავდეს რამდენიმე ვარიანტად, საუკეთესოს შესარჩევად ან მთლიანად პროექტი დამუშავდეს კონკურსის საფუძველზე.

## 1.4. სამშენებლო კონსტრუქციების გაანგარიშების პრინციპები

საქართველოში ამჟამად მოქმედი სამშენებლო ნორმებითა და წესებით, ასევე ევროპული ნორმებით (ევროკოდები), სამშენებლო კონსტრუქციების გაანგარიშებისა და კონსტრუირებისათვის დაწესებულია ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდი.

ზღვრული მდგომარეობა შენობებისა და მათი ცალკეული ელემენტისათვის (კონსტრუქციისათვის) არის ის მდგომარეობა, როდესაც ისინი აღარ აკმაყოფილებენ წინსწარ დადგენილ საექსპლუატაციო პირობებს.

შენობა-ნაგებობების ან ცალკეული კონსტრუქციების ზღვრული მდგომარეობები იყოფა ორ ჯგუფად:

პირველი ჯგუფი – ზიდვის უნარის დაკარგვის ანუ ექსპლუატაციისათვის გამოუსადეგობის მიხედვით;

მეორე ჯგუფი – ნორმალური ექსპლუატაციისათვის გამოუსადეგობის მიხედვით.

პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისას კონსტრუქციაში დადგება ისეთი საშიში დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა, რომლის გამო კონსტრუქცია ექსპლუატაციისათვის გამოუსადეგარი ხდება ან შეიძლება სულაც დაინგრეს. პირველი ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობას მიეკუთვნება:

- კონსტრუქციის მყიფე, ბლანტი ან სხვა ხასიათის რღვევა, ანუ დატვირთვის ზიდვის უნარის დაკარგვა (ამოწურვა);
- კონსტრუქციის მიერ ფორმის მდგრადობის დაკარგვა;
- კონსტრუქციის მიერ მდგომარეობის (მდებარეობის) მდგრადობის დაკარგვა;
- კონსტრუქციის რღვევა ძალოვანი ფაქტორებისა და გარემოს არახელსაყრელი გავლენის ერთობლივი ზემოქმედებით;
- ისეთი სიდიდის დეფორმაციების განვითარება, რომლის დროსაც შენობა-ნაგებობების ექსპლუატაცია შეუძლებელი ხდება.

მეორე ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობებს მიეკუთვნება ისეთი მდგომარეობები, რომლებიც აძნელებს კონსტრუქციების ნორმალურ ექსპლუატაციას ან ამცირებს (ადაბლებს) მათ ხანგამძლეობას, დაუშვებელი სიდიდის ბზარების, გადაადგილებებისა (ჩაღუნვა, მობრუნების კუთხეები) და რხევების წარმოშობით.

მაგალითად, კოჭი შეიძლება იყოს მტკიცე და საიმედო ანუ აკმაყოფილებდეს პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობების მოთხოვნებს, მაგრამ ჩაიღუნოს უფრო მეტად, ვიდრე ეს ნებადართულია ნორმებით, რაც აუარესებს მის საექსპლუატაციო თვისებებს. ასევე, მობათქაშებული (შელესილი) ხის სართულთშორისი გადახურვის (ჭერის) ჩაღუნვა, მალის l/300-ზე მეტად, იწვევს ბათქაშის ჩამოცვენას. ხის კოჭის სიმტკიცე ამ დროს შეიძლება იყოს დამაკმაყოფილებელი, მაგრამ ირღვევა ნორმალური საყოფაცხოვრებო პირობები. რკინაბეტონის კონსტრუქციებში ბზარების წარმოქმნამ – იქ სადაც არ არის დასაშვები ან იქ სადაც დასაშვებია, ბზარის გახსნამ, მეტად, ვიდრე ნორმებით არის დადგენილი, შეიძლება გამოიწვიოს ბეტონისა და განსაკუთრებით ფოლადის არმატურის კოროზია, რაც ამცირებს კონსტრუქციის ექსპლუატაციის ვადას და გარკვეული დროის შემდეგ ქმნის ავარიის შესაძლებლობას.

სამშენებლო კონსტრუქციების გაანგარიშება, ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით, ისახავს მიზანს, არ დაუშვას არც ერთი ზღვრული მდგომარეობის დადგომა კონსტრუქციაში: არც აგების დროს და არც ექსპლუატაციის მთელი ვადის განმავლობაში. სხვანაირად რომ ვთქვათ, გაანგარიშებით გამოთვლილი ძალების, ძაბვების, დეფორმაციის, გადაადგილების, ბზარების გახსნის ან სხვა ფაქტორებისა და ზემოქმედების სიდიდეები არ უნდა იყოს ნორმებით დაშვებულ მაქსიმალურ მნიშვნელობებზე მეტი. ითვლება, რომ თუ ეს შესრულდა, კონსტრუქციას არ დაუდგება არც ერთი ზღვრული მდგომარეობა.

### 1.4.1. პირველი ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშების ზოგადი პირობები

პირველი ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშებას უწოდებენ გაანგარიშებას ზიდვის უნარის მიხედვით (ზოგადად, ექსპლუატაციისათვის გამოუსადეგობის მიხედვით). გაანგარიშების მიზანია, კონსტრუქციას არ დაუდგეს არც ერთი, პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობებიდან ანუ უზრუნველვყოთ როგორც ცალკეული კონსტრუქციის, ასევე მთლიანად შენობის ზიდვის უნარი.

კონსტრუქციის ზიდვის უნარი ითვლება უზრუნველყოფილად თუ დაკმაყოფილებულია უტოლობა

$$N \le \Phi , \tag{1.1}$$

სადაც $N$ შესაძლო უდიდესი საანგარიშო ძალვაა ($M$, $N$ ან $Q$), რომელიც აღიძვრება კონსტრუქციის კვეთში გარე უდიდესი საანგარიშო დატვირთვის ზემოქმედებისაგან და განისაზღვრება სამშენებლო მექანიკის მეთოდით, იმისდა მიხედვით, თუ როგორია კონსტრუქციული სქემა და როგორ არის ერთმანეთთან დაკავშირებული კონსტრუქციის ცალკეული ელემენტები;

$\Phi$ – გასაანგარიშებელი კონსტრუქციის (ელემენტის) შესაძლო უმცირესი ზიდვის უნარი ღუნვის, კუმშვის, გაჭიმვის ან სხვა უფრო რთული დაძაბული მდგომარეობისას. იგი დამოკიდებულია მასალების სიმტკიცის მახასიათებლებზე, კვეთის გეომეტრიულ ზომებზე და გამოისახება მათზე დამოკიდებული ფუნქციის სახით

$$\Phi = \varphi(R, A) , \tag{1.2}$$

აქ $R$ მასალის საანგარიშო წინაღობაა,

$A$ – გეომეტრიული განზომილება. მაგალითად, კუმშვისა და გაჭიმვისას – განივკვეთის ფართობი, ღუნვისას – კვეთის წინაღობის მომენტი.

ზოგიერთი კონსტრუქციისათვის ზიდვის უნარი ითვლება უზრუნველყოფილად თუ სრულდება პირობა

$$\sigma \le R , \tag{1.3}$$

სადაც $\sigma$ – განივკვეთში აღძრული ძაბვაა (ნორმალური, მხები ან მთავარი), რომელიც განისაზღვრება მასალათა გამძლეობის მეთოდების მიხედვით, გარე დატვირთვისა და კვეთის გეომეტრიული ზომებისაგან დამოკიდებულებით.

### 1.4.2. მეორე ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშების ზოგადი პრინციპები

გაანგარიშების მიზანია, რომ კონსტრუქციას არ დაუდგეს არც ერთი მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობებიდან. ე.ი. უზრუნველვყოთ კონსტრუქციის ნორმალური ექსპლუატაცია.

მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობები არ დაუდგება კონსტრუქციას თუ სრულდება პირობა

$$f < f_u , \qquad (1.4)$$

სადაც $f$ ზოგადად არის კონსტრუქციის გაანგარიშებით მიღებული დეფორმაცია (ღუნვადი ელემენტებისათვის – ჩაღუნვა, ღეროვანი ელემენტისათვის – დამოკლება ან წაგრძელება, საძირკვლისათვის – ფუძის ჯდენა, რკინაბეტონისა და ქვის კონსტრუქციებისათვის, დამატებით, ბზარის გახსნის სიდიდე). დეფორმაციის გაანგარიშება ხდება სამშენებლო მექანიკის მეთოდებით ან ემპირიული ფორმულებით, გარე ნორმატიული დატვირთვის მიხედვით და დამოკიდებულია მასალასა და კონსტრუქციის საანგარიშო სქემაზე.

$f_u$ – შესაბამისი დეფორმაციის ზღვრული დასაშვები სიდიდე, რომელიც აიღება სათანადო სამშენებლო ნორმებიდან.

ამ პარაგრაფებში მოცემულია პირველი და მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობების მიხედვით გაანგარიშების ზოგადი პრინციპები. შემდეგში, ცალკეული კონსტრუქციის განხილვისას, ამ საკითხს შედარებით უფრო დაწვრილებით შევეხებით.

### 1.4.3. მასალების ნორმატიული და საანგარიშო წინაღობები

სამშენებლო კონსტრუქციების გაანგარიშებისას მასალების სიმტკიცის მთავარ მაჩვენებლად, როგორც აღვნიშნეთ, მივიღეთ მათი წინაღობა, რომელიც შეიძლება იყოს ნორმატიული და საანგარიშო მნიშვნელობის.

ნორმატიული წინაღობა $R_n$ არის მასალაში აღძრული ის ზღვრული ძაბვა, რომლის მნიშვნელობა (სიდიდე) დადგენილია ექსპერიმენტით და სათანადო სტატისტიკური (ალბათური) დამუშავების საფუძველზე შეტანილია ნორმებში. იგი მასალის ძალოვანი (დატვირთვის) ზემოქმედებისადმი წინაღობის მთავარი მახასიათებელია. განისაზღვრება, როგორც საკონტროლო ან წუნდების მახასიათებელი, შეტანილი, შესაბამის სახელმწიფო სტანდარტში. ნორმების მიერ დადგენილია სხვა სახის ნორმატიული მახასიათებლებიც: საშუალო სიმკვრივე, დრეკადობის მოდული, ხახუნის კოეფიციენტი, შეჭიდულობა, დენადობა, ცოცვადობა, შეკლება და სხვა.

მასალის საანგარიშო წინაღობა $R$ არის ის სიდიდე, რომელიც მიიღება კონსტრუქციის გაანგარიშებისას და წარმოადგენს ნორმატიული წინაღობის მნიშვნელობა გაყოფილი, მასალის მიხედვით საიმედოობის $\gamma_m$ კოეფიციენტზე

$$R = R_n / \gamma_m . \qquad (1.5)$$

$\gamma_m$ კოეფიციენტი ითვალისწინებს მასალების წინაღობის შესაძლო არახელსაყრელ ცვლილებას. სხვადასხვა მასალისათვის განსხვავებული სიდიდისაა და მოცემულია ნორმებში. $\gamma_m$ კოეფიციენტი ითვალისწინებს იმ განსხვავებას, რაც შეიძლება იყოს რეალურად გამოყენებული მასალისა და ნორმებში მოცემული შესაბამისი მასალების სტანდარტულ (ნორმატიულ) წინაღობას შორის, აგრეთვე, რეალურ კონსტრუქციაში ისეთი მასალის გამოყენების შესაძლებლობას, რომლის წინაღობის ნორმატიული მახასიათებელი არ შეესაბამება (ნაკლებია) სტანდარტით დადგენილზე. ამიტომ $\gamma_m > 1$.

კონსტრუქციების გაანგარიშებისას მასალის წინაღობის $R$ საანგარიშო მნიშვნელობა აიღება მასალის მუშაობის პირობების $\gamma_c$ კოეფიციენტთან ერთად. კონსტრუქციის რეალური მუშაობისა და ზღვრული მდგომარეობების განსხვავება ანგარიშის დროს მიღებულ სქემასთან, რომელიც გავლენას ახდენს ზიდვის უნარსა ან დეფორმაციაზე, მაგრამ ანგარიშში არსად არის ასახული, მხედველობაში მიიღება $\gamma_c$ კოეფიციენტით. მუშაობის პირობების $\gamma_c$ კოეფიციენტი ითვალისწინებს ელემენტის მუშაობის განსხვავებულ პირობებს, მუშაობის სტადიას, დამზადების ხერხს, ელემენტების ურთიერთკავშირს, კვეთის გეომეტრიული ზომების უზუსტობას, ტემპერატურის გავლენას, ზემოქმედების ხანგრძლივობას, დატვირთვის მრავალჯერ განმეორებადობას, რამდენად უახლოვდება საანგარიშო სქემა რეალურს, ანგარიშში მიღებულ დაშვებებს და ა.შ. კონსტრუქციისათვის ხელსაყრელ პირობებში $\gamma_c$ მეტია 1-ზე, არახელსაყრელ პირობებისათვის – $\gamma_c < 1$ და აიღება სათანადო ნორმებიდან. გაანგარიშებისას თუ $\gamma_c = 1$, მაშინ საანგარიშო $R$ წინაღობა იწერება კოეფიციენტის გარეშე, თუ განსხვავებულია ერთისაგან, მაშინ აუცილებლად უნდა დაიწეროს $R\gamma_c$ ნამრავლის სახით. მასალათა ნორმატიული და საანგარიშო წინაღობები მოცემულია ნორმებში.

## 1.5. დატვირთვები და ზემოქმედებები

### 1.5.1. დატვირთვების კლასიფიკაცია

კონსტრუქციაზე ზემოქმედების ხანგრძლივობის მიხედვით დატვირთვებია: მუდმივი და დროებითი. დროებითი დატვირთვები, თავის მხრივ, იყოფა ხანგრძლივ, ხანმოკლე და განსაკუთრებულ დატვირთვად.

მუდმივ დატვირთვას ეკუთვნის:

- შენობებისა და ნაგებობების მზიდი და შემომფარგველელი კონსტრუქციების საკუთარი წონა;
- გრუნტების წონა და დაწოლა (საყრდენ კედელზე, მიწაყრილზე და სხვა);
- კონსტრუქციების წინასწარი დაძაბვის ზემოქმედება.

დროებითი დატვირთვა განსხვავებულ ზემოქმედებას ახდენს კონსტრუქციაზე იმის მიხედვით ხანგრძლივია, ხანმოკლე თუ განსაკუთრებული.

დროებით ხანგრძლივ დატვირთვებს ეკუთვნის:

- დროებითი ტიხრების წონა;
- სტაციონარული დანადგარების – დაზგების, აპარატურის და ა.შ. წონა;
- დატვირთვა საწყობების, მაცივრების, არქივის, ბიბლიოთეკის და სხვა დამხმარე ნაგებობების სართულთშორის გადახურვაზე;
- საცხოვრებელი და საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობების სართულთშორის გადახურვაზე მოსული დატვირთვა, გამრავლებული ნორმატიული სიდიდის შემამცირებელ კოეფიციენტზე (ნორმების მიხედვით);
- თოვლის დატვირთვა – სრული საანგარიშო მნიშვნელობის შემამცირებელ კოეფიციენტზე გამრავლებით, კლიმატური რაიონების მიხედვით (მაგალითად,

ევროპისა და აზიის ჩრდილოეთ რაიონებში) სათანადო ნორმების (დარაიონების) რეკომენდაციით.

ხანმოკლე დატყირთვას ეკუთვნის:

- საცხოვრებელი და საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობების გადახურვებზე ადამიანების, სარემონტო მასალებისა და ხელსაწყოებისაგან დანადგარების სარემონტო ზონაში მოსული დატვირთვა;
- თოვლის დატყირთვა სრული საანგარიშო მნიშვნელობით;
- დატვირთვა ქარისაგან;
- დატვირთვა მოძრავი ამწე-სატრანსპორტო მოწყობილობებისგან (ხიდურა და შეკიდული ამწეები, ტელფერები, ავტოსატვირთველი და სხვა);
- დატვირთვა, რომლებიც წარმოიშობა კონსტრუქციების დამზადების, ტრანსპორტირებისა და მონტაჟის (აგების) პროცესში;
- მშენებლობის დროს მასალებისა და ნაკეთობების დროებითი დასაწყობებისაგან წარმოქმნილი დატვირთვები;
- ტექნოლოგიური ტემპერატურისა და კლიმატური ზემოქმედებისაგან.

განსაკუთრებული დატვირთვის სახეობებია:

- სეისმიური (მიწისძვრა) და აფეთქებისაგან გამოწვეული დატვირთვა;
- ტექნოლოგიური პროცესის მკვეთრი დარღვევისაგან, დანადგარის დროებითი გაუმართაობის ან გატეხვისაგან;
- არათანაბარი ზემოქმედება დაყრდნობის ფუძეზე, რაც იწვევს გრუნტის სტრუქტურის ცვლილებას (მაგალითად, დაჯდომადი გრუნტის დასველება ან მუდმივად გაყინული გრუნტის გალხობა).

ყველა ზემოთ მოყვანილი დატვირთვის რიცხვითი მნიშვნელობები მოცემულია სათანადო ნორმებში.

### 1.5.2. ნორმატიული დატვირთვები

გაანგარიშებებში ნორმატიული დატვირთვა აღინიშნება „*n*“ ინდექსით. მაგალითად, $N_n$, $P_n$ შეყურსული დატვირთვა, $F_n$ შეყურსული ძალა – განზომილება კილონიუტონი (კნ). დატვირთვა განაწილებული ფართობის ან ელემენტის სიგრძის ერთეულზე $q_n$ – განზომილებით პასკალი (პა), კილოპასკალი (კპა), კნ/მ$^2$; კნ/გრძმ.

კონსტრუქციების საკუთარი წონისაგან მუდმივი დატვირთვის ნორმატიული მნიშვნელობა განისაზღვრება მათი საპროექტო გეომეტრიული ზომებითა და საშუალო სიმკვრივის მიხედვით, აგებისა და ექსპლუატაციის პირობების შესაბამისი ტენიანობის გათვალისწინებით. კონსტრუქციის გეომეტრიული ზომები ან ცნობილია პროექტის მიხედვით ან წინასწარ ინი'შნება, რომელთა დაზუსტება და, საჭიროების შემთხვევაში, გადაანგარიშება ხდება დაპროექტების პროცესში. მასალების საშუალო სიმკვრივე მოცემულია სათანადო ცნობარებში.

დროებითი დატვირთვების ნორმატიული სიდიდეებია შენობა-ნაგებობების ნორმალური ექსპლუატაციისას მოქმედი მაქსიმალური ან მაქსიმალური

დატვირთვების (თოვლი) საშუალო სიდიდე, შეტანილი სათანადო ნორმებში (აქედან დასახელება – „ნორმატიული“).

### 1.5.3. საანგარიშო დატვირთვები

საანგარიშო დატვირთვა მიიღება ნორმატიული დატვირთვის გამრავლებით დატვირთვის მიხედვით საიმედოობის $\gamma_f$ კოეფიციენტზე, რაც ითვალისწინებს ნორმატიული დატვირთვისაგან საანგარიშო დატვირთვის შესაძლო არასასურველ გადახრას. $N = N_n\gamma_f$ – საანგარიშო შეყურსული დატვირთვა (ძალა); $q = q_n\gamma_f$ – საანგარიშო დატვირთვა განაწილებული ფართობზე ან ელემენტის სიგრძეზე.

დატვირთვის მიხედვით საიმედოობის $\gamma_f$ კოეფიციენტის მნიშვნელობა ყველა კონკრეტული დატვირთვისათვის მოცემულია სათანადო ნორმებში ცხრილების სახით.

მაგალითად, ბეტონის, რკინაბეტონის, ქვისა და ხის კონსტრუქციებისათვის დატვირთვის მიხედვით საიმედოობის $\gamma_f$ კოეფიციენტი მუდმივი დატვირთვისათვის აიღება 1,1-ის ტოლი. ე.ი. გათვალისწინებულია ნორმატიული მუდმივი დატვირთვის შესაძლო გაზრდა 10%-ით. სართულთშორისი გადახურვის თბოიზოლაციის, მოსწორების და სხვა ფენებისათის $\gamma_f = 1{,}2 \ldots 1{,}3$.

თოვლის დატვირთვის საანგარიშო მნიშვნელობა დამოკიდებულია მშენებლობის რაიონზე, სახურავის ზედაპირის დახრაზე, ქარის მოქმედების გამო თოვლის არათანაბარ განაწილებასა და სახურავის საკუთარი მასით გამოწვეული ნორმატიული დატვირთვის თოვლის საფარის მასასთან შეფარდებაზე. საიმედოობის $\gamma_f$ კოეფიციენტი აიღება 1,4-დან 1,6-მდე.

ქარის დატვირთვა შედგება სტატიკური და დინამიკური ნაწილისაგან. დატვირთვის საანგარიშო მნიშვნელობა დამოკიდებულია მშენებლობის რაიონზე, ქარის დაბერვის სიმაღლესა და აეროდინამიკურობის კოეფიციენტზე. საიმედოობის $\gamma_f$ კოეფიციენტი აიღება 1,2-დან 1,3-მდე.

მშენებლობის პროცესში მოქმედი სხვადასხვა დატვირთვისათვის დამატებით შემოტანილია დინამიკურობის კოეფიციენტი. მაგალითად, ასაწყობი ელემენტებისათვის ტრანსპორტირებისას დინამიკურობის კოეფიციენტი უდრის 1,6-ს, ხოლო მონტაჟისას – 1,4-ს.

### 1.5.4. დატვირთვების შეხამებები

დატვირთვები კონსტრუქციაზე მოქმედებს ერთმანეთთან შეხამებით (თანწყობით) გარკვეული კანონზომიერებით, რომლის გამოთვლა ხდება სტატისტიკური მონაცემების მიხედვით, ალბათობის თეორიის საფუძველზე. ნორმებით დადგენილია თუ რომელი დატვირთვები მოქმედებს კონსტრუქციაზე ერთდროულად და როგორი თანაფარდობით. ე.ი. მოცემულია დატვირთვების სხვადასხვა შეხამება. ეს შეხამებებია:

- დატვირთვების ძირითადი შეხამება, რომელიც შედგება მუდმივი, ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვებისაგან;
- დატვირთვის განსაკუთრებული შეხამება შედგება მუდმივი, ხანგრძლივი, შესაძლო ხანმოკლე და განსაკუთრებული დატვირთვებისაგან.

ძირითადი შეხამებისას, თუ მხედველობაში მიიღება მხოლოდ ერთი ხანმოკლე დატვირთვა, იგი მიიღება შემამცირებელი კოეფიციენტის გარეშე; თუ მხედველობაშია მიღებული ორი ან მეტი ხანმოკლე დატვირთვა, მაშინ ეს დატვირთვა მრავლდება 0,9 კოეფიციენტზე, ხოლო ხანგრძლივი დატვირთვა მრავლდება 0,95 კოეფიციენტზე.

განსაკუთრებული შეხამებისას ძირითადად ხანმოკლე დატვირთვა მიიღება 0,8 კოეფიციენტით, ხანგრძლივი – 0,95 კოეფიციენტით, გარდა იმ შემთხვევებისა, რომლებიც მოცემულია სეისმურ რაიონებში მშენებლობის ნორმებსა და წესებში, აგრეთვე, ცალკეული კონსტრუქციების დაპროექტების ნორმებში, შესაბამისი შემთხვევებისათვის. ამასთან, ყოველთვის, განსაკუთრებული დატვირთვა აიღება შემამცირებელი კოეფიციენტის გარეშე.

### 1.5.5. ზოგიერთი განზომილება, რომელიც გამოიყენება სამშენებლო კონსტრუქციების გაანგარიშებისას

სამშენებლო კონსტრუქციების გაანგარიშებისას გამოიყენება ერთეულები, რომლებიც ეფუძნება „ერთეულთა საერთაშორისო სისტემას“ – „SI“-ს.

ცხრილი 1.1

| სიდიდე | აღნიშვნა | ზომის ერთეული |
|---|---|---|
| მასა | $m$ | კგ (კილოგრამი) |
| მოცულობა | $V$ | მ$^3$ (კუბური მეტრი) |
| მასალის საშუალო სიმკვრივე | $\rho$ | კგ/მ$^3$ |
| კუთრი წონა | $\gamma = \rho g$ | ნ/მ$^3$, კნ/ მ$^3$ |
| ნორმატიული შეყურსული დატვირთვა, ძალა | $N_n = mg$<br>$N_n = \gamma V$ | ნ, კნ<br>(ნიუტონი, კილონიუტონი) |
| ძაბვა, დაწნევა, ფართობზე განაწილებული დატვირთვა | $\sigma = N/A$<br>$p = N/A$ | პა, კპა, მპა<br>(პასკალი, კილოპასკალი, მეგაპასკალი) |
| ელემენტის სიგრძეზე განაწილებული დატვირთვა (გრძივი დატვირთვა) | $q = N/\ell$ | ნ/მ, კნ/მ |

ცხრილი 1.1-დან ჩანს, რომ თუ ცნობილია მასალის საშუალო სიმკვრივე, შესაძლებელია განისაზღვროს მისი კუთრი წონა ფორმულით $\gamma = \rho g$ – სადაც $g$ სიმძიმის ძალის აჩქარებაა და უდრის 9,81 მ/წმ$^2$ (გაანგარიშებებში დაშვებულია $g = 10$ მ/წმ$^2$).

სამშენებლო კონსტრუქციების გაანგარიშებისას ხშირად საჭიროა ზომის ერთეულის გადაყვანა სხვა ერთეულებში. მაგალითად, დატვირთვის ერთეულად,

ნიუტონის ნაცვლად, იხმარება კილონიუტონი, რადგან ნიუტონი მცირე სიდიდეა. მოვიყვანოთ ზოგიერთ ერთეულთა თანაფარდობები:

1 კგძ = 9,816 ≈ 10 ნ; 1 კნ = 102კგძ ≈ 100 კგძ;

$$1\ \text{პა} = 1\frac{\text{ნ}}{\text{მ}^2} = 1\cdot10^{-6}\frac{\text{ნ}}{\text{მმ}^2} = 1\cdot10^{-4}\frac{\text{ნ}}{\text{სმ}^2} = 1\cdot10^{-7}\frac{\text{ნ}}{\text{სმ}^2} = 1\cdot10^{-3}\frac{\text{კნ}}{\text{მ}^2} = 1\cdot10^{-5}\frac{\text{კგძ}}{\text{სმ}^2} = 0{,}1\frac{\text{კგძ}}{\text{მ}^2};$$

$$1\ \text{მპა} = 1\frac{\text{ნ}}{\text{მმ}^2} = 1\cdot10^{6}\frac{\text{ნ}}{\text{მ}^2} = 1\cdot10^{2}\frac{\text{ნ}}{\text{სმ}^2} = 1\cdot10^{3}\frac{\text{კნ}}{\text{მ}^2} = 0{,}1\frac{\text{კნ}}{\text{სმ}^2} = 1\cdot10^{6}\,\text{პა} = 1\cdot10^{3}\,\text{კპა} =$$

$$= 10\frac{\text{კგძ}}{\text{სმ}^2} = 1\cdot10^{5}\frac{\text{კგძ}}{\text{მ}^2} = 0{,}1\frac{\text{კგძ}}{\text{მმ}^2};$$

$$1\ \text{კპა} = 1\cdot10^{3}\ \text{პა} = 1\frac{\text{კნ}}{\text{მ}^2} = 1\cdot10^{-4}\frac{\text{კნ}}{\text{სმ}^2}.$$

## 1.6. მაგალითები სამშენებლო კონსტრუქციების გაანგარიშებისათვის [1]

მაგალითი 1.1. რკინაბეტონის საშუალო სიმკვრივე $\rho = 2500$ კგ/მ³. გამოვთვალოთ კუთრი წონა.

გადაწყვეტა: რკინაბეტონის კუთრი წონა იქნება

$$\gamma = \rho g = 2500\cdot10 = 25000\ \text{ნ/მ}^3 = 25\ \text{კნ/მ}^3.$$

მაგალითი 1.2. განვსაზღვროთ რკინაბეტონის სვეტზე საკუთარი წონისაგან მოსული დატვირთვა, შემდეგი მონაცემების მიხედვით: სვეტის განივკვეთის ზომებია $bh = 300\times300$ მმ. სიმაღლე $\ell = 4{,}5$ მ.

გადაწყვეტა: 1) სვეტის მოცულობა

$$V = bh\ell = 0{,}3\cdot0{,}3\cdot4{,}5 = 0{,}405\ \text{მ}^3.$$

2) რკინაბეტონის საშუალო სიმკვრივეა $\rho = 2500$ კგ/მ³, კუთრი წონა $\gamma = 25$ კნ/მ³. განვსაზღვროთ სვეტის საკუთარი წონისაგან ნორმატიული დატვირთვა

$$N_n = V\gamma = 0{,}405\cdot25 = 10{,}125\ \text{კნ}.$$

3) მივიღოთ მუდმივი დატვირთვის საიმედოობის კოეფიციენტი $\gamma_f = 1{,}1$. მაშინ

$$N = N_n\cdot\gamma_f = 10{,}125\cdot1{,}1 = 11{,}138\ \text{კნ}.$$

მაგალითი 1.3. კატალოგის მიხედვით, რკინაბეტონის ასაწყობი კოჭის მასაა $m = 1{,}5$ ტ. განვსაზღვროთ დატვირთვა კოჭის საკუთარი წონისაგან.

გადაწყვეტა: 1) ნორმატიული დატვირთვა კოჭისაგან $N_n = mg = 1{,}5\cdot10 = 15$ კნ (მასის ერთეულად კილოგრამი რომ ყოფილიყო, პასუხს მივიღებდით ნიუტონებში).

2) საანგარიშო დატვირთვა

$$N = N_n\cdot\gamma_f = 15\cdot1{,}1 = 16{,}5\ \text{კნ}.$$

მაგალითი 1.4. გამოვთვალოთ დატვირთვა ტოლთაროებიანი კუთხოვანას (∠50×50×5, სიგრძით $l = 5{,}0$ მ) საკუთარი წონისაგან.

გადაწყვეტა: 1) სორტამენტის მიხედვით განსახილველი კუთხოვანას 1მ სიგრძის მასაა $G = 3{,}77$ კგ/მ. მაშინ ნორმატიული დატვირთვა იქნება

$$N_n = G\,l\,g = 3{,}77\cdot5\cdot10 = 188{,}5\ \text{ნ} = 0{,}1885\ \text{კნ}.$$

2) საანგარიშო დატვირთვა

$$N = N_n \cdot \gamma_f = 0{,}1885 \cdot 1{,}05 = 0{,}198 \text{ კნ}.$$

**მაგალითი 1.5.** განესაზღვროთ სართულთშორის გადახურვის 1მ² ფართობზე ხის ძელაკების საკუთარი წონისაგან გადაცემული დატვირთვა (იატაკი ხის ფიცრების ან პარკეტისაა).

მოცემულია ძელაკები, განივკვეთის ზომებით $b \times h = 50 \times 50$ მმ, რომლებიც გადახურვაზე განლაგებულია ბიჯით $a = 0{,}4$ მ. მერქნის საშუალო სიმკვრივეა – $\rho = 500$ კგ/მ³.

**გადაწყვეტა:** კონსტრუქციის ან ცალკეული ელემენტის საკუთარი წონისაგან, ზედაპირის 1მ² ფართობზე გადაცემული დატვირთვა განისაზღვრება ელემენტის 1მ სიგრძის წონის გაყოფით ზედაპირზე მისი განლაგების ბიჯზე.

1) განვსაზღვროთ მერქნის კუთრი წონა

$$\gamma = \rho \cdot g = 500 \cdot 10 = 5000 \text{ ნ/მ}^3 = 5{,}0 \text{ კნ/მ}^3.$$

2) განესაზღვროთ გადახურვის 1მ² ფართობზე ძელაკების წონისაგან გადმოცემული ნორმატიული დატვირთვა.

$$g_n = bh\gamma/a = 0{,}05 \cdot 0{,}05 \cdot 5{,}0/0{,}4 = 0{,}031 \text{ კპა} = 0{,}031 \text{კნ/მ}^2.$$

3) საანგარიშო დატვირთვა გადახურვის 1მ² ფართობზე

$$g = g_n \cdot \gamma_f = 0{,}031 \cdot 1{,}1 = 0{,}034 \text{ კპა} = 0{,}034 \text{კნ/მ}^2.$$

# თავი 2. რკინაბეტონისა და ქვის კონსტრუქციები

## 2.1. ზოგადი ცნობები რკინაბეტონის კონსტრუქციების შესახებ

### 2.1.1. რკინაბეტონის არსი, დადებითი და უარყოფითი თვისებები

რკინაბეტონში, ბეტონი და მასში გარკვეული წესით განლაგებული ფოლადის ღეროები (არმატურა) რაციონალურად არის შეერთებული და ქმნის ერთიან სამშენებლო მასალას კონსტრუქციების, ელემენტებისა და ნაკეთობების დასამზადებლად, ეროობლივად მუშაობს გარე დატვირთვისა და ზემოქმედების ასატანად.

ბეტონი კარგად მუშაობს კუმშვაზე, გაცილებით უარესად – გაჭიმვაზე (დაახლოებით 10...20-ჯერ). ფოლადი კარგად ეწინააღმდეგება როგორც გამჭიმავ, ისე მკუმშავ ძაბვას. მათი რაციონალური შეერთებით იქმნება ახალი სამშენებლო მასალა – რკინაბეტონი, რომელშიც სრულად გამოიყენება ბეტონისა და ფოლადის დადებითი თვისებები.

ისეთი განსხვავებული ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მქონე მასალების, როგორიც ბეტონი და ფოლადია, ერთობლივი მუშაობა შემდეგი მიზეზებით არის განპირობებული:

ა) ბეტონსა და არმატურას შორის წარმოიქმნება მნიშვნელოვანი ხახუნის ძალები, განსაკუთრებით პერიოდული პროფილის არმატურის ნაშვერებზე ბეტონის მოჭიდებით. გარდა ამისა, ბეტონი გამყარებისას მოცულობაში კლებულობს და მჭიდროდ შემოეკერება არმატურას, ცემენტი ჰიდრატაციისას დაკრისტალდება ფოლადის ღეროებზე და „შეყწებება" მას. ამის გამოა, რომ რკინაბეტონის ელემენტი მუშაობს როგორც ერთიანი, მონოლითური სხეული.

ბ) ბეტონსა და ფოლადს აქვს თითქმის ერთნაირი სიდიდის ტემპერატურული გაფართოების კოეფიციენტი, რის გამოც ექსპლუატაციის მთელი პერიოდის განმავლობაში გარემოს ტემპერატურის ცვლილებების შედეგად (–40°C-დან +50°C-მდე) მათი მონოლითური ერთიანობა არ ირღვევა.

გ) ბეტონის დამცავი შრე (20...30 მმ) უზრუნველყოფს არმატურის დაცვას კოროზიისაგან, ხანმოკლედ მოქმედი მაღალი ტემპერატურისა და მექანიკური დაზიანებისაგან.

რკინაბეტონის დადებითი თვისებებია:

ა) ბეტონი, რომელიც შედგება ადგილობრივი საშენი მასალებისაგან (ქვიშა, ხრეში, ღორღი) და ცემენტის წარმოების დიდი მოცულობა, აიაფებს რკინაბეტონს;

ბ) მაღალი მექანიკური სიმტკიცე, განსაკუთრებით კუმშვაზე;

გ) ხანძარმედეგობა – 3...4 საათის განმავლობაში ხანძრის ზემოქმედების შედეგად სიმტკიცე შედარებით მცირდება, მაგრამ საკმარის სიმტკიცეს ინარჩუნებს;

დ) ხანგამძლეობა – რკინაბეტონის კონსტრუქციები საუკუნეზე მეტხანს ძლებს;

ე) მაღალი მედეგობა ატმოსფერული ზემოქმედებისადმი;

ვ) სეისმური და სხვა დინამიკური დატვირთვისადმი მაღალი წინაღობა;

ზ) მცირე საექსპლუატაციო ხარჯები;

თ) ნებისმიერი ფორმის კონსტრუქციის დამზადების შესაძლებლობა;
ი) დამზადების შედარებით მცირე ენერგოტევადობა.

რკინაბეტონის უარყოფითი თვისებებია:

ა) მაღალი საშუალო სიმკვრივე (მაღალი მოცულობითი მასა);
ბ) მაღალი ბგერა და თბოგამტარობა;
გ) დამზადებული კონსტრუქციის გადაკეთების (რეკონსტრუქციის) სირთულე;
დ) გამყარების (განმტკიცების) დიდი დრო (28 დღე ნორმების მიხედვით);
ე) ბზარების წარმოქმნა, როგორც არაძალისმიერი მიზეზით (შეკლება, ტემპერატურის ცვლილება), ისე ძალისმიერი ზემოქმედებისაგან;
ვ) დამზადების სიძნელე გარემოს მაღალი ან დაბალი ტემპერატურისას.

აღნიშნული უარყოფითი თვისებების შერბილება ხდება სათანადო სპეციალური ღონისძიებების მეშვეობით: მსუბუქი ბეტონის გამოყენებით, წინასწარი დაძაბვით, გამყარებისას თბური ან აეტოკლავური დამუშავებით და სხვა.

### 2.1.2. მოკლე ისტორიული ცნობები

რკინაბეტონის კონსტრუქციები, სხვა მასალებისაგან დამზადებულ კონსტრუქციებთან შედარებით (ქვა, ლითონი, ხე), მხოლოდ XIX საუკუნის 50-იანი წლებიდან გეხვდება, როდესაც საჭირო გახდა დიდი რაოდენობის ქარხნების, ფაბრიკების, ხიდების, ნავსადგურებისა და სხვა საინჟინრო ნაგებობების მშენებლობა. რკინაბეტონის წარმოშობის ტექნიკური შესაძლებლობები უკვე არსებობდა – ცემენტის წარმოება და შავი მეტალურგია საკმაოდ იყო განვითარებული. 1855 წელს, პარიზის საერთაშორისო გამოფენაზე წარმოდგენილი იყო 1850 წელს ფრანგ ლამბოს მიერ მავთულის ბადით დამზადებული და ცემენტის ხსნარით შელესილი ნავი.

1854 წელს უილკინსონმა ინგლისში ააგო სახლი რკინაბეტონის გადახურვითა და კიბით.

1861 წელს საფრანგეთში მებაღე ი. მონიემ დაამზადა ყვავილების ჩასარგავი კასრები - მავთულების კარკასზე ცემენტის ხსნარით შემოლესვით. 1867 წელს მან, მსოფლიოში პირველმა, აიღო პატენტი რკინაბეტონის გამოყენებაზე. შემდეგ წლებში მანვე აიღო პატენტები რკინიგზის რკინაბეტონის შპალებზე (1867 წ.), მილებსა და რეზერვუარებზე (1868 წ.), კოჭებსა და ფილებზე (1869 წ.). მიუხედავად 1867...1870 წლებში გაცემული პატენტებისა, რკინაბეტონის შექმნის თარიღად მიღებულია 1850 წ.

1861 წელს ფრანგმა ინჟინერმა გ. კუანიემ ჩამოაყალიბა დაარმატურებული ბეტონისგან მშენებლობის ძირითადი დებულებები და შეადგინა რკინაბეტონის კოჭების, თაღების, მილებისა და ფილების დაპროექტების ნახაზები, რომლებიც, იმონიეს ნაწარმთან ერთად, წარმოდგენილი იყო 1867 წლის მსოფლიო გამოფენაზე.

ახალი საშენი მასალის გამოჩენამ დიდი ინტერესი გამოიწვიოს ევროპასა და ამერიკაში. რკინაბეტონმა, ცალკეულ შემთხვევებში, გამოყენება ჰპოვა ეკონომიკურად განვითარებულ ქვეყნებში: ინგლისში, საფრანგეთში, გერმანიაში, ავსტრიასა და ამერიკის შეერთებულ შტატებში. ი. მონიეს პატენტები 1884...86 წლებში შეიძინეს გერმანიისა და ავსტრიის ფირმებმა.

ავსტრიაში ვაისისა და ბაუშინგერის მიერ ჩატარებულმა ცდებმა დაადასტურა განსხვავებული თვისებების მქონე საშენი მასალების – ბეტონისა და ფოლადის ღეროების გაერთიანების ხელსაყრელობა ერთიან მონოლითურ მასალად – რკინაბეტონად.

ამ ცდების საფუძველზე, 1886 წელს გერმანელმა მეცნიერმა კენენმა ჩამოაყალიბა რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების პირველი მეთოდი. ფაქტობრივად ამის შემდეგ დაიწყო რკინაბეტონის თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევა და რკინაბეტონისაგან დამზადებული კონსტრუქციების მასშტაბური გამოყენება მშენებლობაში.

რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების თეორიული საფუძვლებისა და კონსტრუირების პრინციპების ჩამოყალიბება შესაძლებელი გახდა ფრანგი ინჟინრების კონსიდერისა და ჰენებიკის, გერმანელი მკვლევარების კენენისა და მერშის და სხვათა გამოკვლევების შემდეგ. ამერიკის შეერთებულ შტატებში 1855...1877 წლებში არქიტექტურად მიმდინარეობს რკინაბეტონის თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები გიატის ხელმძღვანელობით, ხოლო 1890 წლიდან სწრაფად ვითარდება რკინაბეტონის კონსტრუქციების გამოყენება მშენებლობაში. XIX საუკუნის ბოლოსთვის ზოგადი სახით უკვე ჩამოყალიბდა რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების თეორია დასაშვებ ძაბვათა მეთოდის სახით, რომელიც ეყრდნობოდა დრეკადი მასალების გარე ზემოქმედებისადმი წინაღობის პრინციპებს.

1888...1896 წლებში პროფ. ნ. ბელელიუბსკის ძალისხმევით, რუსეთში გავრცელდა რკინაბეტონის კონსტრუქციები და 1913 წლისათვის მშენებლობის პრაქტიკაში უკვე 3.5 მილიონ $მ^3$-მდე ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციები იყო გამოყენებული. 1930 წლებიდან მონოლითურ რკინაბეტონთან ერთად დაიწყეს ასაწყობი კონსტრუქციების გამოყენებაც. ამავე წლებიდან იწყება გაანგარიშების ახალი თეორიის – მრღვევ ძალვათა მეთოდის ძირითადი საფუძვლების შემუშავება (ა. ლოლეიტი), რომელიც უფრო მართებულად ასახავდა რკინაბეტონის ნამდვილ მუშაობას, ითვალისწინებდა რა მუშაობის რეალურ თვისებებს – დრეკადთან ერთად არადრეკადი დეფორმაციების არსებობას. უკვე 1938 წელს გამოიცა ნორმატიული დოკუმენტები, რომლებშიც რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშებას საფუძვლად დაედო აღნიშნული, მრღვევ ძალვათა მეთოდი. აქ მნიშვნელოვანი როლი შეასრულეს ა. გვოზდევმა და პ. პასტერნაკმა.

საბჭოთა კავშირში (მაშასადამე, საქართველოშიც) რკინაბეტონის შემდგომ განვითარებას ხელი შეუწყო გაანგარიშების ახალი თეორიის შემუშავებამ – ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშების მეთოდმა, რომელიც შეტანილია 1955 წლის სამშენებლო ნორმებსა და წესებში. ბეტონის და რკინაბეტონის შემდგომი გამოკვლევების საფუძველზე, წლების განმავლობაში ხდებოდა ამ მეთოდის დაზუსტება, რკინაბეტონის ახალი თვისებების გამოვლენა და კვლევა, რამაც თანდათან ასახვა ჰპოვა 1962...1975 და 1984 წლების სამშენებლო ნორმებსა და წესებში. XX საუკუნის უკანასკნელ წლებში შემუშავებულია ევროპაში მოქმედი სამშენებლო ნორმები (ევროკოდი) და ამერიკის ნაციონალური სამშენებლო ნორმები.

საქართველოს მშენებლობის დიდი ტრადიციები აქვს. უძველესი დროიდან აგებულია მონუმენტური ნაგებობები, რომლებიც უნიკალურია როგორც არქიტექტურული, ისე კონსტრუქციული თუ მშენებლობის წარმოების ტექნოლოგიის თვალსაზრისით. საბჭოთა პერიოდში, სამრეწველო და სამოქალაქო მასობრივი მშენებლობისათვის, ააგეს მრავალი სახლთმშენებელი კომბინატი, ქარხანა, სამშენებლო პოლიგონი და ა.შ., რომლებშიც ძირითადად მზადდებოდა რკინაბეტონის ტიპობრივი, უნიფიცირებული ასაწყობი კონსტრუქციები.

1928 წელს ქ. თბილისში დაარსებულ, კავკასიაში პირველ სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში – ამიერკავკასიის ნაგებობების ინსტუტუტში, ოცდაათიანი წლების დასაწყისში, საბჭოთა კავშირში პირველად დაიწყო წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის კვლევა, ვ. მიხაილოვის ხელმძღვანელობით. გამოქვეყნდა კვლევის შედეგები, შეიქმნა წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციების სამშენებლო ნორმები (1933 წ.) და 1936 წელს ამიერკავკასიის რკინიგზის ელექტრულ-საკონტაქტო ქსელის საყრდენებისათვის გამოიყენეს წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონი.

1933 წლიდან საქართველოში დაიწყეს მსუბუქ ბუნებრივ შემვსებებზე (პემზა, ტუფი, პერლიტი) დამზადებული მსუბუქი რკინაბეტონის, როგორც საკონსტრუქციო მასალის, გამოყენება (ლოკომოტივების შემკეთებელი ქარხნის გარსით გადახურვა, „დინამოს" სტადიონი, კინოთეატრი „რუსთაველი", მთავრობის სახლი, 100 ბინიანი საცხოვრებელი სახლი გმირთა მოედანზე, ცირკი, დახურული ბაზარი). 1938 წლიდან ამიერკავკასიის საავტომობილო გზებსა და რკინიგზაზე აშენდა მსუბუქი რკინაბეტონის 14 ხიდი, გზაგამტარი, მილი. ყველა ამ პროექტის განხორციელება შესაძლებელი გახდა თბილისის ტრანსპორტის ინჟინეროა ინსტუტუტის პროფესორების მ. იაკუბოვიჩისა და გ. ცისკრელის ხელმძღვანელობით, წლების განმავლობაში განხორციელებული მსუბუქი ბეტონისა და რკინაბეტონის ინტენსიური გამოკვლევებით,

ამ კვლევაში ცალკე აღსანიშნავია პროფ. გ. ცისკრელის გამოკვლევები მსუბუქი ბეტონისა და რკინაბეტონის გაჭიმვადობისა და ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციების ბზარმედეგობის საკითხებში. მან შეიმუშავა მსუბუქი ბეტონის დრეკადობის მოდულის საანგარიშო ფორმულა, რომელიც შემდგომში აისახა ბეტონისა და რკინაბეტონის დაპროექტების ნორმებში (СНиП II-21-75).

1937 წელს, ქ. თბილისში გამოიცა პირველი ინსტრუქცია მსუბუქი რკინაბეტონის კონსტრუქციებისა და ნაგებობების დაპროექტებისა და მშენებლობისათვის.

ქართველმა მეცნიერებმა მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანეს ნაგებობათა სეისმომედეგობის კვლევასა და განხორციელებაში (პროფესორები კ. ზაერიევი, გ. ქარცივაძე); რკინაბეტონის განმბჯენიანი კონსტრუქციების (მათ შორის რკინაბეტონის თხელკედლიანი გარსების) ზღვრული წონასწორობის თეორიით ზიდვის უნარის გამოკვლევაში (ნ. ახვლედიანი) და სხვები.

ბეტონისა და რკინაბეტონის შესწავლა, სრულყოფა და განვითარება მიმდინარეობს განუწყვეტლად, თანამედროვე გამოთვლითი ტექნიკისა და უახლესი ტექნოლოგიების გამოყენებით.

## 2.13. რკინაბეტონის გამოყენება, დამზადება და განვითარების პერსპექტივა

რკინაბეტონი შესაბამისი ოპტიმალური ფორმით, მშენებლობის ყველა დარგში გამოიყენება: ერთ- და მრავალსართულიან სამრეწველო და სამოქალაქო შენობებში მზიდი კარკასის, სართულთშორისი გადახურვის, საკედლე პანელების, ამწისქვეშა კოჭების, საძირკვლების და სხვათა სახით; დიდი ტევადობის სამოქალაქო ნაგებობებში: სტადიონები, თხელკედლიანი რკინაბეტონის გარსით გადახურული სპორტის სასახლეები და ბაზრები; ფართოდ გამოიყენება ჰიდროტექნიკურ მშენებლობაში (ელექტროსადგურები, კაშხლები, სადაწნეო კოშკები, არხები და სადაწნეო მილები); საინჟინრო ნაგებობებში: ხიდების, გვირაბების, მეტროპოლიტენის, ესტაკადების, რეზერვუარების, სილოსებისა და ბუნკერების, საყრდენი კედლების, სატელევიზიო ანძების, საკვამლე მილების, მაღალი ძაბვის გადამცემი სადენების საყრდენების, რკინიგზის შპალებისა და სხვათა მშენებლობაში; რკინაბეტონში არის შესრულებული მრავალსართულიანი საცხოვრებელი სახლების, საწარმოო შენობების, ატომური ელექტროსადგურების მშენებლობისას ძირითად სამშენებლო მასალას რკინაბეტონი წარმოადგენს. რკინაბეტონთან ერთად ფართოდ გამოიყენება ბუნებრივი და ხელოვნური ქვის კონსტრუქციები: სვეტებში, საძირკვლებში, მზიდ კედლებში, მასიურ საყრდენ კედლებში და სხვა.

რკინაბეტონის ელემენტების აგების ხერხი (ასაწყობი, მონოლითური და ასაწყობ-მონოლითური) შეირჩევა დაპროექტების ვარიანტების ტექნიკურ-ეკონომიკური შედარების საფუძველზე: საერთო ღირებულების, ენერგოტევადობის, შრომატევადობის, საიმედოობის, ხანგამძლეობისა და აგების ტექნოლოგიურობის მიხედვით.

ასაწყობი რკინაბეტონის ელემენტებისაგან შენობა-ნაგებობის აგება ინდუსტრიულია, რადგან ელემენტები სპეციალურ ქარხნებში ან პოლიგონებზე მზადდება, ხოლო მონტაჟი მექანიზებულია. კონსტრუქციის დამზადება და მონტაჟი შესაძლებელია ზამთარში; აგების შრომატევადობა 3...4-ჯერ ნაკლებია, ვიდრე მონოლითურის; მცირდება მშენებლობის ვადები. ასაწყობი რკინაბეტონის კონსტრუქციების გამოყენება მიზანშეწონილია ისეთ ნაგებობებში, რომლებშიც ელემენტების ტიპების რაოდენობა მცირეა და თუ ეს ელემენტები გამოდგება სხვადასხვა დანიშნულების შენობებში. ასაწყობი, ტიპობრივი ელემენტების შესაქმნელად საჭირო გახდა კონსტრუქციული სქემების, გეომეტრიული ზომებისა და დატვირთვის ტიპიზაცია და უნიფიკაცია.

ასაწყობი რკინაბეტონის მთავარი ნაკლია: საწარმოო ბაზის შესაქმნელად, საჭიროების შემთხვევაში, რეკონსტრუქციისა და მოდერნიზაციისათვის მნიშვნელოვანი დანახარჯები, ნაკეთობების მშენებლობის ადგილამდე მიტანის სატრანსპორტო დანახარჯები, ელემენტებს შორის პირაპირების მოწყობისა და შენობის სივრცითი სიხისტის უზრუნველყოფისათვის გაწეული დამატებითი ხარჯები.

აღნიშნული ნაკლისაგან თავისუფალია მონოლითური რკინაბეტონი, რადგან ამ უკანაკნელის კონსტრუქციების აგებისას ადგილზე წარმოებს ყალიბების

დაყენება, შიგ არმატურის კარკასების მოწყობა და დაბეტონება. მაგრამ ასეთი კონსტრუქციები ნაკლებად ინდუსტრიულია, შრომატევადი, ასაწყობთან შედარებით დიდია ერთდროული დანახარჯები ყალიბის, ხარაჩოსა და ფიცარნაგის მოსაწყობად, ზამთარში აგება ძნელდება ან დამატებით ხარჯს მოითხოვს ბეტონის შესათბობად, საკმაოდ დიდი დროა საჭირო ბეტონის საპროექტო სიმტკიცის მისაღწევად, ამიტომ მონოლითური რკინაბეტონი უპირატესად გამოიყენება ნაგებობაში, რომლის დანაწევრება ტიპობრივ ელემენტებად ძნელია ან მოეთხოვება განსაკუთრებული სიხისტე (უნიკალური რთული გეგმარების ერთეული შენობები, ჰიდროტექნიკური ნაგებობები, დინამიკური დატვირთვის ქვეშ მომუშავე საძირკვლები და სხვა). აღსანიშნავია, რომ უკანასკნელ ხანს მოხდა მონოლითური მშენებლობის მნიშვნელოვანი ინდუსტრიალიზაცია: იყენებენ რაციონალურ, ასაწყობ ყალიბებს და ხარაჩოებს, ბეტონი და არმატურის ნაკეთობები (კარკასები, ბადეები) მზადდება სპეციალურ ქარხნებში და ტრანსპორტით მიეწოდება სამშენებლო მოედანზე, ბეტონის მიწოდება და ყალიბებში ჩაწყობა მექანიზებულია და ა.შ.

ასაწყობ – მონოლითური რკინაბეტონის გამოყენებისას ასაწყობ ელემენტებს უტოვებენ არმატურის ნაშეერებს, მონოლითურისაგან განსხვავებით აღარ არის საჭირო მთლიანი ყალიბები, წარმოებს მხოლოდ კვანძში არმატურის სათანადოდ შედუღება და დაბეტონება. ასაწყობთან შედარებით მიიღწევა უფრო მაღალი მონოლითურობა, ოღონდ ნაკლებად ინდუსტრიულია და უფრო შრომატევადი. მათი გამოყენება მიზანშეწონილია შენობებში, სადაც მოსალოდნელია მნიშვნელოვანი სიდიდის დატვირთვა და კვანძებს მოეთხოვება უფრო მაღალი სიმტკიცე, ვიდრე ასაწყობშია შესაძლებელი.

ბეტონი და რკინაბეტონი არის და დიდი ხნის განმავლობაში იქნება მნიშვნელოვანი მასალა ნებისმიერი ნაგებობების მზიდი კონსტრუქციების მშენებლობაში. ეს აისახება მჭიდა მასალებისა და შემვსებების დასამზადებელი ნედლეულის დიდი რაოდენობით მოპოვების, მძიმე მრეწველობის ძალიან დიდი რაოდენობის ნარჩენების (წიდა, ნაცარი) და ძველი ნაგებობების რეკონსტრუქციის შედეგად მეორადი მასალების გამოყენების შესაძლებლობებით და ყველა იმ დადებითი თვისებით, რომელიც მათ ახასიათებთ.

ამჟამად რკინაბეტონის განვითარებისა და სრულყოფის ძირითადი მიმართულებებია:

ა) ახალი კონსტრუქციული გადაწყვეტების შემუშავება, რომელიც შესაძლებლობას იძლევა: შემცირდეს ელემენტის მასა, უფრო სრულად იქნეს გამოყენებული მასალების ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები, ადგილობრივი მასალები, მაღალი კლასის ბეტონი (B100 და მაღალი) და მაღალი სიმტკიცის არმატურა (1000 მგპა და მეტი), ვცვალოთ ბეტონის თვისებები პლასტიფიკატორებისა და სხვა დანამატებით, მზა ბეტონი გავუღინთოთ მონომერებით, დავამზადოთ კონსტრუქციები მექანიზებული და ავტომატიზებული ხერხით;

ბ) კონსტრუქციების ხანგამძლეობის, საიმედოობისა და ტექნოლოგიურობის გაზრდა, დაყვანილი ხარჯების, მასალატევადობის, ენერგოტევადობის, დამზადებისა და მონტაჟის შრომატევადობის შემცირება;

გ) გაანგარიშების ახალი, დაზუსტებული საანგარიშო პროგრამების შემუშავება, ეგმ-ის გამოყენებით გაანგარიშების მეთოდების დაზუსტება;

დ) წინასწარ დაგეგმილი თვისებების მქონე ბეტონების შედგენილობის შერჩევისა და დამზადების მეთოდების სრულყოფა;

ე) ბეტონის გამყარების ვადების რეგულირება.

ზემოთ ჩამოთვლილი მიზნების რეალიზაციისათვის საჭიროა ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციების თეორიული და ექსპერიმენტული გამოკვლევების განვითარება, კონსტრუქციული გადაწყვეტების, დამზადებისა და შენობა-ნაგებობების აგების ტექნოლოგიის სრულყოფა, რასაც მაღალი კვალიფიკაციის მშენებელთა კადრები დასჭირდება.

## 2.1.4. ბეტონის და არმატურის კლასიფიკაცია, ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები

### 2.1.4.1. ბეტონების კლასიფიკაცია

ბეტონი, რომელიც გამოიყენება რკინაბეტონის კონსტრუქციებში, უნდა იყოს გარკვეული, წინასწარ დადგენილი თვისებების: საკმარისი სიმტკიცის, არმატურასთან კარგი შეჭიდულობის, საკმარისი სიმკვრივის (სიმჭიდროვის) კოროზიისაგან არმატურის დასაცავად. ნაგებობების დანიშნულებისა და ექსპლუატაციის პირობების მიხედვით, ბეტონმა, აგრეთვე, უნდა დააკმაყოფილოს: ყინვამედეგობის, წყალშეუღწევობის, აგრესიული გარემოსადმი მედეგობისა და სხვა მოთხოვნები.

ბეტონების კლასიფიკაცია ხდება შემდეგნაირად:

ა) ძირითადი დანიშნულების მიხედვით: კონსტრუქციული – გამოიყენება მზიდ კონსტრუქციებში, სპეციალური – მხურვალმედეგი (გამოიყენება მაღალი ტექნოლოგიური ტემპერატურის პირობებში მუშაობისას), მჟავამედეგი (გამოიყენება აგრესიულ გარემოში ექსპლუატაციისას), რადიოაქტიური გამოსხივებისაგან დამცველი, დიდი საშუალო სიმკვრივის ბეტონი და სხვა.

ბ) მჭიდა მასალების სახეობის მიხედვით – ცემენტის, კირის, წიდის და სპეციალური დანიშნულების შემკვრელებზე;

გ) შემვსებების მიხედვით – მკვრივი შემვსებები მძიმე ბეტონებისათვის, ფოროვანი შემვსებები მსუბუქი ბეტონებისათვის და სპეციალური შემვსებები მხურვალმედეგი ან ქიმიური გარემოსადმი მედეგი ბეტონებისათვის;

დ) სტრუქტურის მიხედვით – მკვრივი სტრუქტურის (შემვსებებს შორის სივრცე მთლიანად შევსებულია გამყარებული მჭიდა მასალით), ფოროვანი, დაფოროვნებული, უჯრედოვანი და მსხვილფოროვანი სტრუქტურის;

ე) გამყარების პირობების მიხედვით – ბუნებრივი გამყარების, თბური დამუშავების (ატმოსფერული წნევისას), ავტოკლავური დამუშავების (მაღალი წნევისა და ტემპერატურის პირობებში);

ვ) შემვსებების სიმსხოს მიხედვით – ჩვეულებრივი ბეტონი მსხვილ და წვრილ შემვსებებზე და წვრილმარცვლოვანი, მკვრივი სტრუქტურის ბეტონი, დამზადებული ცემენტის მჭიდა მასალისა და წვრილი, მკვრივი შემვსების – ქვიშის გამოყენებით;

ზ) საშუალო სიმკვრივის მიხედვით – ზემძიმე – 2500 კგ/მ$^3$-ზე მაღალი საშუალო სიმკვრივის, მძიმე – 2200...2500 კგ/მ$^3$, შემსუბუქებული – 1800...2200 კგ/მ$^3$, მსუბუქი – 500...1800 კგ/მ$^3$.

მზიდი რკინაბეტონის კონსტრუქციებისათვის გამოყენებული ბეტონები შემოკლებულად იწოდება: მძიმე ბეტონი (მჭიდა მასალა – ცემენტი, შემვსებები – მკვრივი სტრუქტურის დამსხვრეული მთის ქანები, ღორღი და კვარცის ქვიშა), მსუბუქი ბეტონი (მჭიდა – ცემენტი, შემვსებები – ფოროვანი, ბუნებრივი (პემზა, ტუფი, ნიჟარქვა), ხელოვნური (კერამზიტი, წიდა და სხვა) მსხვილი და წვრილი შემვსებები.

### 2.1.4.2. ბეტონის სიმტკიცე

ბეტონის სიმტკიცე მრავალ ფაქტორზეა დამოკიდებული, რომელთა შორის ძირითადია: ხნოვანება, გამყარების პირობები, გამოსაცდელი ნიმუშის ფორმა და გეომეტრიული ზომები, დაძაბული მდგომარეობის ხასიათი (კუმშვა, გაჭიმვა, ჭრა), დატვირთვის მოქმედების ხანგრძლივობა და სხვა.

ბეტონის სიმტკიცე იზრდება დროის განმავლობაში. უფრო ინტენსიურად პირველ 28 დღეს. შემდგომში ზრდას განაგრძობს წლების განმავლობაში, შედარებით ნაკლები ინტენსიურობით, თუ ამის სათანადო ხელშემწყობი პირობებია (საკმარისი ტენიანობა და ტემპერატურა). მაღალი ტემპერატურა და ტენიანობა მნიშვნელოვნად აჩქარებს გამყარების პროცესს, ამიტომ ქარხნებში რკინაბეტონის ნაკეთობები სპეციალურ თბურ და ტენიან გარემოში მუშავდება, 80...90°C ტემპერატურისა და 90...100% ტენიანობის პირობებში. შედარებით მცირე ზომის ელემენტები კი განიცდის ავტოკლავურ დამუშავებას, ორთქლის 0,8 მგპა წნევისა და 170°C ტემპერატურის პირობებში. უკანასკნელ შემთხვევაში ბეტონის საპროექტო სიმკიცე 12 საათის განმავლობაში შეიძლება მიეიღოთ. +5°C-ზე დაბალ ტემპერატურაზე ბეტონის გამყარება მკვეთრად შენელდება, ხოლო –10°C-ზე პრაქტიკულად შეწყდება.

რკინაბეტონის კონსტრუქციებში ბეტონი ძირითადად კუმშვაზე მუშაობს, ამიტომ მისი სიმტკიცის ძირითად მახასიათებლად მიღებულია სიმტკიცე კუმშვაზე. ყველა სხვა სიმტკიცის მახასიათებლები (გაჭიმვაზე, ჭრაზე და ახლეჩაზე, თელვაზე, მრავალჯერად, ხანგრძლივ და სწრაფი დატვირთვისას) დამოკიდებულია სიმტკიცეზე კუმშვის მიხედვით, გამოითვლება ემპირიული ფორმულებით (საჭიროების შემთხვევაში სპეციალური ნიმუშების გამოცდით) და მოცემულია სათანადო ნორმებში ცხრილების სახით.

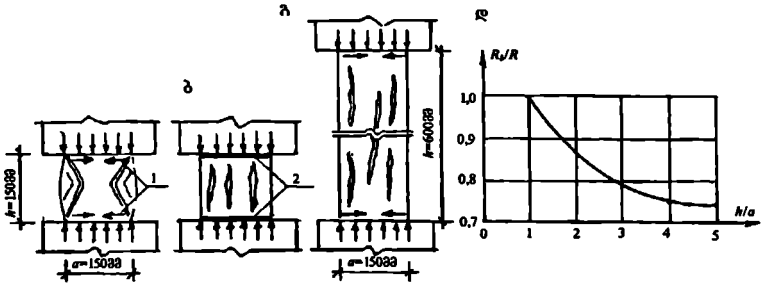
ბეტონის სიმტკიცედ კუმშვის დროს მიღებულია 150X150X150 მმ ზომის ბეტონის კუბის დროებითი წინაღობა, 20±25°C გრადუსი ტემპერატურისა და არა უმცირესი 90% ტენიანობის პირობებში გამყარების 28-ე დღეს კუმშვაზე გამოცდისას. აღნიშნულ სიმტკიცეს კუბური სიმტკიცე ეწოდება, აღინიშნება $R$-ით და წარმოადგენს იმ ძაბვას, რომელიც განეითარდება კუბურ ნიმუშებში უშუალოდ რღვევისას.

$$R = \frac{F}{A_b} (\text{მგპა}), \qquad (2.1)$$

აქ $F$ მრღვევი ძალაა, $A_b$ – კუბის ზედაპირის ფართობი.

ცდების მიხედვით დადგინდა, რომ ბეტონის შეკუმშული ნიმუში (მათ შორის კუბიც) ირღვევა ბეტონის გახლეჩით მკუმშავი ძალის მიმართულების მართობულად, რაც გამოწვეულია ბეტონის ტანში სიცარიელეებსა (ფორებთან) და შემსების მტკიცე მარცვლებთან, მკუმშავი და გამჭიმავი ძაბვების კონცენტრაციით. რადგან ბეტონის სიმტკიცე გაჭიმვაზე მკვეთრად ნაკლებია, ვიდრე კუმშვაზე, ამიტომ რღვევაც გამჭიმავი ძაბვებისაგან ხდება და ბზარებიც მკუმშავი ძალების პარალელურად ვითარდება. თუ დავუკვირდებით ბეტონის კუბის რღვევის სქემას, (ნახ. 2.1,ა), აქ ბზარები სხვანაირად ვითარდება, რაც გამოწვეულია იმით, რომ ხახუნის ძალები წარმოქმნილი წნეხის ბალიშსა და კუბის ზედაპირს შორის, ბეტონს პორიზონტალური მიმართულებით თავისუფალი დეფორმაციის საშუალებას არ აძლევს. თუ ამ ძალებს კუბის ზედაპირის გაპოხვით მოვსპობთ, მივიღებთ რღვევის მოსალოდნელ სქემას (ნახ. 2.1,ბ). ნორმების მიხედვით კუბები გამოიცდება საპოხის გარეშე. ხახუნის ძალების გავლენით ერთი და იმავე შედგენილობის ბეტონის კუბური ნიმუშის სიმტკიცე დამოკიდებულია მის ზომებზე: რაც ნაკლებია კუბის წიბოს ზომა – მეტია სიმტკიცე (უფრო მნიშვნელოვანია ხახუნის გავლენა). ამიტომ არის, რომ 100 მმ-ის ტოლი წიბოიანი კუბის სიმტკიცე უდრის $1{,}12\,R$-ს, ხოლო 200 მმ-ის ტოლი წიბოთი – $0{,}93\,R$-ს.

რადგან რეალური ელემენტები ფორმით განსხვავდება კუბისაგან, კუბური სიმტკიცე ბეტონის სიმტკიცეს რეალურად ვერ ასახავს, ამიტომ უშუალოდ გაანგარიშებებში არ იხმარება. იგი ეტალონური სიდიდეა და გამოიყენება მხოლოდ ბეტონის ხარისხის კონტროლისათვის.




ნახ. 2.1. ბეტონის სიმტკიცის განსაზღვრა:
1 – ხახუნის ძალები; 2 – საპოხი

ბეტონის პრიზმის კუმშვაზე გამოცდის შედეგად დადგინდა, რომ $h$ სიმაღლის ფუძის გვერდის $a$ ზომასთან შეფარდების გაზრდით სიმტკიცე კლებულობს (ნახ. 2.1,დ). როდესაც $h/a \geq 4$ სიმტკიცე პრაქტიკულად სტაბილური ხდება და ტოლია $0{,}7...0{,}8\,R$-ის. ეს გარემოება იმით აიხსნება, რომ პრიზმის ფუძეებთან აღძრული ხახუნის ძალები გავლენას ახდენს პრიზმის მხოლოდ ბოლოებთან ახლოს, ხოლო შუა ნაწილი თავისუფალია ამ გავლენისაგან და ირღვევა ძალის პარალელური მიმართულების ბზარებით (ნახ. 2.1,გ), უფრო ნაკლებ დატვირთვაზე, ვიდრე კუბური

ნიმუში. სტანდარტულ პირობებში გამყარებულ, სტანდარტული პრიზმის 28-ე დღეს გამოცდის შედეგად მიღებულ $R_b$ სიმტკიცეს პრიზმული სიმტკიცე ეწოდება. იგი არის ბეტონის რეალური სიმტკიცე, რომელიც გაანგარიშებებში გამოიყენება.

პრიზმული სიმტკიცე შეიძლება გამოითვალოს ფორმულითაც

$$R_b = \varphi R, \text{ სადაც } \varphi = 0{,}77 - 0{,}001R \geq 0{,}72; \tag{2.2}$$

გაჭიმვაზე სიმტკიცე გამოითვლება ემპირიული ფორმულით

$$R_{bt} = 5R/(45+R), \text{ ან } R_{bt} = 0{,}5\sqrt[3]{R^2}; \tag{2.3}$$

სიმტკიცე გაჭიმვაზე ღუნვის დროს

$$R_{bt} = \frac{M}{\gamma W} = \frac{6M}{1{,}7bh^2} = 3{,}5\frac{M}{bh^2}; \tag{2.4}$$

აქ $M$ მაქსიმალური მღუნავი მომენტია;

$W = bh^2/6$ – კვეთის წინაღობის მომენტი (სწორკუთხა განივი კვეთისათვის);

$\gamma = 1{,}7$ – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ბეტონის არაღრეკად დეფორმაციებს.

ჭრაზე სიმტკიცის ფორმულაა

$$R_{b,sh} = 0{,}7\sqrt{R_b R_{bt}}, \text{ ახლეჩაზე } - \ R_{b,sh} = (1{,}5\ldots 2)R_{bt}; \tag{2.5}$$

თელვაზე (ადგილობრივ კუმშვაზე) სიმტკიცე

$$R_{b,loc} = \varphi_b R_b; \quad \text{აქ, } \varphi_b = \sqrt[3]{A_{loc,2}/A_{loc,1}} \tag{2.6}$$

$A_{loc,1}$ – თელვის ფართობია, $A_{loc,2}$ – საანგარიშო ფართობი.

მრავალჯერ განმეორებადი დატვირთვის მოქმედების დროს სიმტკიცე ტოლია: კუმშვისას $\gamma_{b1}R_b$, გაჭიმვისას $\gamma_{b1}R_{bt}$, სადაც $\gamma_{b1}$ –მრავალჯერ განმეორებადი დატვირთვის მოქმედებისას მუშაობის პირობების გამთვალისწინებელი კოეფიციენტია ($\gamma_{b1}$ =0,75...1).

ხანგრძლივად მოქმედი დატვირთვისას (რაც ძირითადად მოქმედებს რკინაბეტონის ელემენტებზე) ბეტონში ვითარდება მნიშვნელოვანი პლასტიკური (არაღრეკადი) დეფორმაციები (ცოცვადობა), იცვლება სტრუქტურა და სიმტკიცე მცირდება 10...20%-ით.

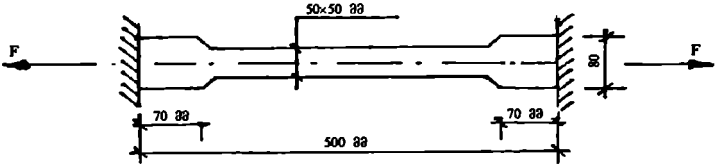
სწრაფად მოქმედი დინამიკური დატვირთვისას (დარტყმა, აფეთქება, სეისმური ბიძგი) ბეტონში არაღრეკადი დეფორმაციები განვითარებას ვერ ასწრებს, სტრუქტურა თითქმის არ იცვლება, მუშაობს, როგორც დრეკადი სხეული და წინაღობა იზრდება 20...30%-ით, ვიდრე სტანდარტულ პირობებში გამოცდილი ბეტონის ნიმუშის სიმტკიცე.

### 2.1.4.3. ბეტონის კლასი და მარკა

რკინაბეტონის კონსტრუქციის დაპროექტებისას, მისი დანიშნულებისა და ექსპლუატაციის პირობების მიხედვით, ნორმებით დადგენილია ბეტონის ხარისხის მაჩვენებლები, რომელთა შორის მთავარია – ბეტონის კლასი სიმტკიცის მიხედვით კუმშვასა და გაჭიმვაზე და მარკა – ყინვამდეგობის, წყალშეუღწევობის, საშუალო სიმკვრივისა და თვითდაძაბვის მიხედვით.

ბეტონის B კლასი, სიმტკიცის მიხედვით კუმშვაზე, არის სიმტკიცის ის კონტროლირებული მინიმუმი, რომლის სტატისტიკური ალბათობის საიმედოობა არის 0,95. კლასი მიიღება სტანდარტული რაოდენობის 150X150X150 მმ ზომის კუბური ნიმუშის კუმშვაზე გამოცდით, 20±2°C ტემპერატურისა და არანაკლებ 90% ტენიანობის პირობებში გამტკიცების 28-ე დღეს. ნორმებში მოყვანილია ბეტონის კლასები B3,5-დან B60-მდე, სადაც რიცხვი შეესაბამება სიმტკიცის კონტროლირებულ მინიმუმს კუმშვაზე, გამოსახულს მეგაპასკალებით.

ბეტონის $B_t$ კლასი, სიმტკიცის მიხედვით გაჭიმვაზე, განისაზღვრება ანალოგიურად, ოღონდ შესაბამისი ნიმუშის (ნახ. 2.2) გამოცდით გაჭიმვაზე, ან გამოითვლება ემპირიული ფორმულებით. ნორმებში მოცემულია ბეტონის კლასები გაჭიმვაზე $B_t$0,8-დან $B_t$3,2-მდე.




ნახ. 2.2. ბეტონის გაჭიმვაზე გამოსაცდელი ნიმუში

ბეტონის მარკა, როგორც ზემოთ აღინიშნა, განსაზღვრავს ბეტონის ხარისხს სხვადასხვა თვისების მიხედვით:

ა) ბეტონის მარკა ყინვამედეგობის მიხედვით – F25-დან F500-მდე. აქ რიცხვი უჩვენებს გაყინვა-გალხობის ციკლის იმ რაოდენობას, რომლის შემდეგ ბეტონის სიმტკიცე შედარებით უმნიშვნელოდ მცირდება (15%-მდე). მარკა ყინვამედეგობის მიხედვით ინიშნება ისეთი კონსტრუქციებისათვის, რომლებიც ექსპლუატაციისას დატენიანებულ მდგომარეობაში განიცდის მონაცვლეობით მრავალჯერად გაყინვა-გალხობას;

ბ) ბეტონის მარკა წყალშეუღწევობის მიხედვით – W2-დან W12-მდე. რიცხვი წარმოადგენს წყლის ჰიდროსტატიკურ დაწნევას კგძ/სმ$^2$-ობით, რომლის დროსაც 150 მმ სისქის ნიმუშში არ აღინიშნება წყლის გაჟონვა. მარკა წყალშეუღწევობის მიხედვით ინიშნება იმ შემთხვევაში, თუ კონსტრუქცია მუშაობს წყლის დაწნევის ქვეშ (რეზერვუარი, სადაწნეო მილები და სხვა);

გ) ბეტონის მარკა საშუალო სიმკვრივის მიხედვით – D800 კგ/მ$^3$-დან D2500 კგ/მ$^3$-მდე, ბეტონის სახეობის მიხედვით, ინიშნება იმ შემთხვევაში, თუ ბეტონს სხვა კონსტრუქციულ მოთხოვნებთან ერთად წაეყენება თბოიზოლაციის მოთხოვნებიც;

დ) ბეტონის მარკა თვითდაძაბვის მიხედვით – $S_p$0,6...$S_p$4. აქაც რიცხვები გამოსახავს გაფართოებადი ბეტონისაგან გაჭიმული არმატურის მიერ ბეტონში აღძრულ წინასწარი მკუმშავი ძაბვის სიდიდეს მგპა-ობით. ეს მარკა ინიშნება თვითძაბვად კონსტრუქციაში, მის მიმართ წაყენებული ბზარმედეგობისა და სიხისტის მოთხოვნების მიხედვით.

ამჟამად ყველაზე ფართოდ გამოიყენება მკვრივი სტრუქტურის ჩვეულებრივი, მძიმე ბეტონი, რომლის მჭიდა მასალაა ცემენტი. იგი გამოიყენება პრაქტიკულად ყველა მზიდი კონსტრუქციისათვის, თუ ამას რაიმე სპეციალური მოთხოვნა არ ეწინააღმდეგება. შედარებით მაღალი კლასის მსუბუქი ბეტონიც გამოიყენება მზიდ კონსტრუქციებში. უმრავლეს შემთხვევაში მსუბუქი ბეტონი, აგრეთვე დაფოროვნებული და უჯრედოვანი ბეტონი, გამოიყენება შემომზღუდავ კონსტრუქციებში.

ბეტონის ოპტიმალური კლასი შეირჩევა, ყველა კონკრეტულ შემთხვევაში, ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშების საფუძველზე: კონსტრუქციის ტიპის, დამზადების ხერხის, მონტაჟისა და ექსპლუატაციის პირობების გათვალისწინებით.

მზიდ კონსტრუქციებში ძირითადად გამოიყენება: ჩვეულებრივ (დაუძაბავ) რკინაბეტონის ღუნვად ელემენტებში – ბეტონები B15... B30 კლასის; შეკუმშულ ელემენტებში (მაგ. სვეტებში) – B20... B40; წამწეებსა და თაღებში – B30... B50. წინასწარდაძაბულ კონსტრუქციებში ბეტონის კლასი ინიშნება გამოყენებული არმატურის კლასის მიხედვით. მაგალითად, A–IV კლასის არმატურისათვის არა უმცირესი B15-ისა, A–VI – არა უმცირესი B30-ისა. მაღალი კლასის ბეტონის გამოყენება, განსაკუთრებით წინასწარ დაძაბულ ელემენტში, ეკონომიკურად ხელსაყრელია. B7,5-ზე ნაკლები კლასის მძიმე და წვრილმარცვლოვანი ბეტონის გამოყენება მზიდ კონსტრუქციებში, ნორმებით არ დაიშვება.

2.1 ცხრილში მოცემულია მშენებლობაში ძირითადად გამოყენებული კლასის მიხედვით ბეტონის რეალური წინაღობის მაჩვენებლები კუმშვასა და გაჭიმვაზე.

ცხრილი 2.1

| ბეტონი | წინაღობის სახეობა | | ბეტონის ნორმატიული და საანგარიშო წინაღობები კუმშვისა და გაჭიმვის მიხედვით, მპა | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ბეტონის კლასი | | | | | | | |
| | | | B7,5 | B10 | B12,5 | B15 | B20 | B25 | B30 | B35 |
| მძიმე და წვრილმარცელოვანი | ღერძული კუმშვა | $R_{bn}$ | 5,5 | 7,5 | 9,5 | 11,0 | 15,0 | 18,5 | 22,0 | 25,5 |
| | | $R_b$ | 4,5 | 6,0 | 7,5 | 8,5 | 11,5 | 14,5 | 17,0 | 19,5 |
| მძიმე | ღერძული გაჭიმვა | $R_{btn}$ | 0,70 | 0,85 | 1,00 | 1,15 | 1,40 | 1,60 | 1,80 | 1,95 |
| | | $R_{bt}$ | 0,48 | 0,57 | 0,66 | 0,75 | 0,90 | 1,05 | 1,20 | 1,30 |

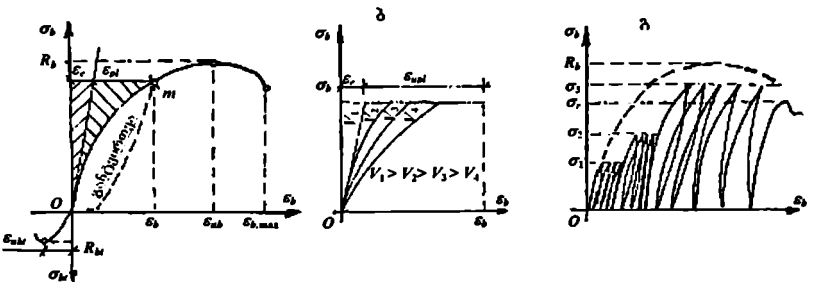
### 2.1.4.4. ბეტონის დეფორმაცია

ბეტონში შეიძლება განვითარდეს ორი სახის დეფორმაცია – არაძალისმიერი (შეკლება, ტემპერატურისა და ტენიანობის ცვლილება) და ძალისმიერი. არაძალისმიერი დეფორმაცია მოცულობითია და ვითარდება სხეულის ყველა მიმართულებით, ხოლო ძალისმიერი – ძირითადად ძალის მოქმედების მიმართულებით. თუმცა, ამავე დროს წარმოიშობა განივი მიმართულების მცირე დეფორმაციაც, რომლის შეფარდება გრძივ დეფორმაციასთან ბეტონისათვის გამოისახება პუასონის კოეფიციენტით – $\nu$=0,2.

ბეტონი პაერზე გამყარებისას მოცულობაში კლებულობს (შეკლება), ხოლო წყალში გამყარებისას – მატულობს (გაჯირჯვება). რაც მეტია ცემენტისა და წყლის რაოდენობა ბეტონში და ნაკლებია ტენიანობა გამყარების დროს შეკლება მეტად გამოვლინდება. ამ დროს წყლის აორთქლება არათანაბარია ელემენტის ზედაპირიდან და სიღრმიდან, ამიტომ შეკლებაც არათანაბარია, რაც იწვევს დამატებითი ძაბვების წარმოქმნას და ხშირად – შეკლების ბზარებს. შეკლების შესამცირებლად მიმართავენ ტექნოლოგიურ და კონსტრუქციულ ზომებს: გამყარებისას – ელემენტის ზედაპირის დატენიანებას, წყალ-ცემენტის შეფარდებისა და ცემენტის რაოდენობის შემცირებას, კონსტრუქციებში შეკლების ნაკერების მოწყობას და სხვა. მძიმე ბეტონისათვის შეკლების საშუალო სიდიდე აიღება $2\cdot10^{-4}...4\cdot10^{-4}$ ფარგლებში. შეკლება ვითარდება ბეტონის ცოცვადობასთან ერთად ხანგრძლივი დროის განმავლობაში.

ტემპერატურული ცვლილებებისას, ტემპერატურის გაზრდით ბეტონი ფართოვდება, შემცირებით – პირიქით. თუ კვეთში ტემპერატურის ცვლილება ვითარდება არათანაბრად, ან დეფორმაციის განვითარებაა შეზღუდული, წარმოიშობა დამატებითი ძაბვა, რომელსაც შეუძლია გამოიწვიოს ბზარების წარმოქმნა. ამ ძაბვის გაანგარიშება ხდება მასალათა გამძლეობის ფორმულებით, ხოლო ტემპერატურული გაფართოების კოეფიციენტი აიღება $\alpha_{bt}=1\cdot10^{-5}\ ^0C^{-1}$-ის ტოლი.

დატვირთვის მოქმედების მიხედვით ძალისმიერი დეფორმაციები შეიძლება იყოს გამოწვეული – ხანმოკლე დატვირთვის ერთჯერადი მოქმედებით, დატვირთვის ხანგრძლივი და მრავალჯერადი მოქმედებით. ნახ. 2.3-ზე მოცემულია სამივე სახის ძალისმიერი დეფორმაციის „$\sigma_b - \varepsilon_b$“ გრაფიკები.




ნახ. 2.3. ბეტონის დეფორმაცია დატვირთვის რეჟიმზე დამოკიდებულებით:
ა – ერთჯერადი ხანმოკლე დატვირთვა, ბ – ხანგრძლივი დატვირთვა,
გ – მრავალჯერადი დატვირთვა.

გრაფიკების მიხედვით შეგვიძლია მსჯელობა, რომ ერთჯერადი, ხანმოკლე დატვირთვისას ნებისმიერი $m$ წერტილის შესაბამისი $\varepsilon_b$ მთლიანი დეფორმაცია შედგება $\varepsilon_e$ დრეკადი და $\varepsilon_{pl}$ პლასტიკური დეფორმაციებისაგან. რაც მაღალია დატვირთვა და შესაბამისი ძაბვა უახლოვდება $R_b$ ზღვრულ სიდიდეს, მით მეტია პლასტიკური დეფორმაციების წილი (ნახ. 2.3,ა).

ხანგრძლივი დატვირთვის მოქმედებისას, სანამ ძაბვა ნულიდან განსახილველ $\sigma_b$ სიდიდემდე მიაღწევს, გრაფიკი ისეთივეა, როგორც ერთჯერადი, ხანმოკლე დატვირთვისას, ხოლო $\sigma_b$-ს შესაბამისი დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედებისაგან გამოწვეული პლასტიკური დეფორმაციები ვითარდება ისე, რომ ძაბვა პრაქტიკულად არ იცვლება და გრაფიკიც თითქმის $\varepsilon_b$ ღერძის პარალელურად ვითარდება (ნახ. 2.3,ბ). აღსანიშნავია, რომ თუ დატვირთვის ნულიდან $\sigma_b$-ს სიდიდემდე ზრდის სიჩქარეს შევამცირებთ, შესაბამის დეფორმაციაში პლასტიკური დეფორმაციის წილი იზრდება, ხოლო $\sigma_b$-ს ძაბვის შესაბამის დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედების სხვადასხვა დეფორმაცია ვითარდება ერთნაირად. პროცესს, როდესაც ბეტონში პლასტიკური დეფორმაცია ვითარდება ძაბვის სიდიდის შეუცვლელად, ბეტონის ცოცვადობა ეწოდება.

დატვირთვის მრავალჯერადი მოქმედებისას, დატვირთვა-განტვირთვის ციკლების გარკვეული რაოდენობის შემდეგ, პლასტიკური დეფორმაციები, რომლებიც განტვირთვის დროს ჩვეულებრივ აღარ აღდგება, თანდათან ამოიწურება და ბეტონი მუშაობს დრეკადად. თუ დატვირთვა-განტვირთვას გავაგრძელებთ უფრო დიდ დატვირთვაზე, პროცესი მეორდება და ა.შ. როდესაც მრავალჯერადი დატვირთვის შესაბამისი ძაბვა მეტი გახდება, ბეტონის ამტანობის $R_r$ ზღვარზე, მაშინ დეფორმაცია მკვეთრად იზრდება, მრუდები სიმრუდის ნიშანს იცვლის და ბეტონი ირღვევა. ამ დროს მოქმედი დატვირთვა ნაკლებია ერთჯერადი დატვირთვის შესაბამის ზღვრულ დატვირთვაზე (ნახ. 2.3,გ).

ბეტონის ზღვრული დეფორმაცია $\varepsilon_{bu}$ კუმშვასა და $\varepsilon_{bt.u}$ გაჭიმვაზე დამოკიდებულია ბეტონის სიმტკიცეზე, შედგენილობასა და დატვირთვის მოქმედების ხანგრძლივობაზე. პრიზმის კუმშვაზე გამოცდისას ბეტონის ზღვრული კუმშვადობა $\varepsilon_{bu}=(0,8...3)10^{-3}$. საშუალოდ – $\varepsilon_{bu}=2\cdot10^{-3}$. კოჭის შეკუმშული ზონაში ბეტონის ზღვრული კუმშვადობა მეტია, იგი დამოკიდებულია განივი კვეთის ფორმასა და შეკუმშული ზონის ფარდობით სიმაღლეზე და უდრის $(2,7...4,5)10^{-3}$. ბეტონის ზღვრული გაჭიმვადობა 10...20-ჯერ ნაკლებია. საშუალოდ აიღება $\varepsilon_{bt.u}=1,5\cdot10^{-4}$.

### 2.1.4.5. ბეტონის დრეკადობისა და სრული დეფორმაციის მოდულები

ბეტონის დეფორმაციასა და ძაბვას შორის ანალიზური კავშირი მყარდება $E_b$ კოეფიციენტით, რომელსაც მოდული ეწოდება.

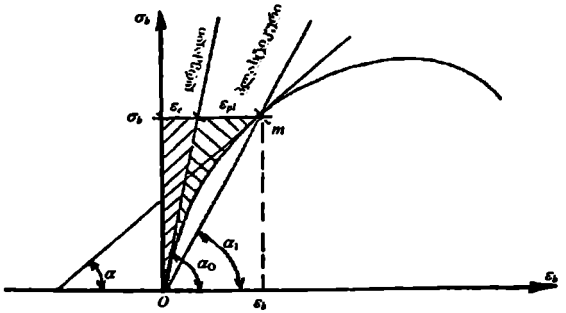
ბეტონი იდეალურად დრეკადი სხეული რომ იყოს, მაშინ ძაბვასა და დეფორმაციას შორის პირდაპირპროპორციული დამოკიდებულების გამო ნახ. 2.4-ზე გამოსახული „$\sigma_b - \varepsilon_b$“ გრაფიკი იქნებოდა წრფე და შესაბამისად დრეკადობის მოდული

$$E_b = \sigma_b / \varepsilon_b . \qquad (2.7)$$

ბეტონი მუშაობს, როგორც დრეკადი სხეული მხოლოდ მცირე დატვირთვებისას $(\sigma_b \le 0,2R_b)$, ამიტომ მისი შესაბამისი გრაფიკი არის წრფე, ნახ. 2.4-ზე გამოსახული მრუდის მხები, გაველებული კოორდინატთა სათავეში. ამ

წრფის $\varepsilon_b$ ღერძთან დახრის კუთხის ტანგენსი, ანუ $tg\alpha_0 = \sigma_b / \varepsilon_e = E_b$ იქნება განსახილველი ბეტონის საწყისი დრეკადობის მოდული, რომელიც ბეტონის კლასთან დამოკიდებულებით გამოითვლება ემპირიული ფორმულით

$$E_b = \frac{550000B}{270 + B}. \qquad (2.8)$$




ნახ. 2.4. დიაგრამა ბეტონის დრეკადობისა და დეფორმაციის მოდულის დასადგენად

ბეტონის საწყისი დრეკადობის $E_b$ მოდულის მნიშვნელობები კუმშვისა და გაჭიმვისას, ბეტონის სახეობისა და კლასის მიხედვით, მოცემულია ნორმებში (ცხრ. 2.2).

ცხრილი 2.2

| ბეტონი | დრეკადობის მოდული $E_b \cdot 10^{-3}$ მპა კლასების მიხედვით | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | B7,5 | B10 | B12,5 | B15 | B20 | B25 | B30 | B35 |
| მძიმე, ბუნებრივად გამყარებული | 16,0 | 18.0 | 21,0 | 23.0 | 27,0 | 30,0 | 32,5 | 34.5 |
| მძიმე, თბური დამუშავებით | 14.5 | 16,0 | 19.0 | 20,5 | 24.0 | 27,0 | 29,0 | 31,0 |

როდესაც ბეტონზე მოქმედებს მკუმშავი ძალა, რომლის შესაბამისი ძაბვა $\sigma_b > 0{,}2R_b$-ზე, $\sigma_b - \varepsilon_b$ დამოკიდებულება არაწრფივია და გამოისახება ნახ. 2.4-ზე მოცემული მრუდის სახით. ამ მრუდზე მდებარე ნებისმიერი $m$ წერტილის შესაბამისი $E'_b$ დეფორმაციის მოდული ცვლადი სიდიდეა, რადგან დამოკიდებულია დატვირთვაზე და გამოისახება ამ წერტილზე მრუდისადმი გავლებული მხების მიერ $\varepsilon_b$ ღერძთან შედგენილი კუთხის ტანგენსით

$$E'_b = d\sigma_b / d\varepsilon_b = tg\alpha \qquad (2.9)$$

ცალკეულ კერძო შემთხვევებში ბეტონის დეფორმაციის მრუდის ანალიზური გამოსახულება არ არის ცნობილი, ამიტომ $E'_b$-ის მიხედვით სრული დეფორმაციის გამოთვლა გაძნელებულია. პრაქტიკული გაანგარიშებისას სარგებლობენ საშუალო, ანუ დრეკად-პლასტიკურობის $E_b$ მოდულით, რომელიც არის „$\sigma_b - \varepsilon_b$“ მრუდის აღებულ წერტილიდან კოორდინატთა სათავეში გავლებული მკვეთის $\varepsilon_b$ ღერძთან დახრის $\alpha_1$ კუთხის ტანგენსი

$$E'_b = \sigma_b / \varepsilon_b = tg\alpha_1 . \qquad (2.10)$$

დრეკადობის საწყის $E_b$ მოდულსა და დრეკად-პლასტიკურობის $E'_b$ მოდულს შორის დამოკიდებულების დადგენა შესაძლებელია, თუ ერთსა და იმავე ძაბვას გამოვსახავთ $\varepsilon_e$ დრეკადი დეფორმაციისა და $\varepsilon_b$ სრული დეფორმაციის საშუალებით (იხ. ნახ. 2.4).

$$\sigma_b = \varepsilon_e E_b = \varepsilon_b E'_b , \quad \text{აქედან} \quad E'_b = \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon_b} \cdot E_b = \nu E_b . \qquad (2.11)$$

$\nu$ არის დრეკადი დეფორმაციის შეფარდება სრულ დეფორმაციასთან და ეწოდება ბეტონის დრეკად-პლასტიკურობის კოეფიციენტი. ცდებით დადგენილია, რომ კუმშვის დროს იგი იცვლება 1-დან (დრეკადი მუშაობა) 0,15-მდე (რღვევა), ხოლო გაჭიმვისას –1-დან 0,5-მდე.

### 2.1.4.6. არმატურა

#### 2.1.4.6.1. არმატურის სახეობები, კლასიფიკაცია, გამოყენება

არმატურა არის მოქნილი ან ხისტი ღეროები, რომლებიც ბეტონში განლაგებულია გაანგარიშების, კონსტრუქციული და საწარმოო მოთხოვნების შესაბამისად. არმატურად გამოიყენება ძირითადად ფოლადი. შეიძლება სხვა მასალის, მაგალითად, მინაპლასტიკური არმატურის გამოყენება, მაგრამ ძვირია და მისი გამოყენება შეიძლება იმ კონსტრუქციებში, რომლებსაც წაეყენება კოროზიამედეგობის, ელექტროიზოლატორული თვისებებისა და არამაგნიტურობის სპეციალური მოთხოვნები.

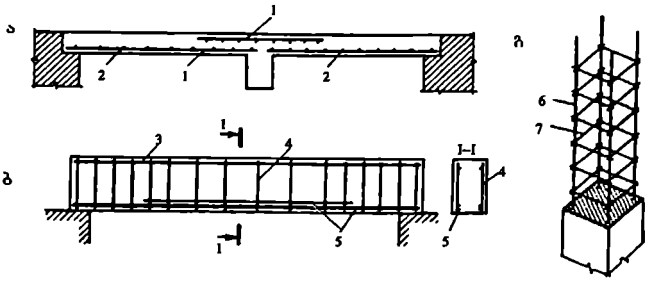
რკინაბეტონის კონსტრუქციებში, დანიშნულების მიხედვით, არის მუშა და სამონტაჟო (კონსტრუქციული) არმატურა. მუშა არმატურა ლაგდება გაანგარიშების მიხედვით, კონსტრუქციაში გამჭიმავი ძაბვების ასატანად და შეკუმშული ბეტონის გასაძლიერებლად. იგი შეიძლება იყოს გრძივი და განივი. სამონტაჟო არმატურა ლაგდება კონსტრუქციული და ტექნოლოგიური მოსაზრების მიხედვით: უზრუნველყოფს მუშა არმატურის საპროექტო მდებარეობის დაფიქსირებას, ცალკეულ ღეროებს შორის ძალვების თანაბარ განაწილებას, ბეტონის შეკლებისა და ტემპერატურული ცვლილებებისაგან წარმოქმნილი, ანგარიშით გაუთვალისწინებელი ძალვების ატანას და სხვა.

ასაწყობ კონსტრუქციებზე, ასაწევად, ტრანსპორტირებისათვის და ასაწყობად, ჩაეტანება სამონტაჟო ყულფები ან მილები. ასაწყობი ელემენტების ერთმანეთთან დასაკავშირებლად გამოიყენება ლითონის ჩასატანებელი დეტალები. მთლიანად არმატურა – მუშა, სამონტაჟო, ასაწევი ყულფები და ჩასატანებელი დეტალები ერთიანდება საარმატურო ნაკეთობებად (კარკასები და ბადეები), რომლებიც შეიძლება იყოს ხელით შეკრული ან შედუღებით დამზადებული.

არმატურა შეიძლება დაიყოს შემდეგი ნიშნით:

ა) დამზადების მიხედვით – ცხლად გლინული ღეროვანი არმატურა, დიამეტრით 6...40 მმ, და მავთულოვანი არმატურა, მიღებული ცივად გამოჭიმვით

3...8 მმ დიამეტრით. 10 მმ და მეტი დიამეტრის ღეროვანი არმატურა გამოდის ღეროების სახით, უფრო მცირე დიამეტრის, 1300კგ-მდე მასის, ხვეულის (ბუხტის) სახით.




ნახ. 2.5. რკინაბეტონის ელემენტების დაარმატურება:
ა – ფილა; ბ – კოჭი; გ – სვეტი; 1 – ფილის გრძივი მუშა არმატურა;
2 – კონსტრუქციული; 3 – სამონტაჟო; 4 – კოჭის განივი არმატურა (ცალული);
5 – კოჭის გრძივი მუშა არმატურა; 6 – სვეტის გრძივი მუშა არმატურა;
7 – სვეტის განივი არმატურა

ბ) ზედაპირის პროფილის მიხედვით – გლუვი და პერიოდული პროფილის (ნახ. 2.6). პერიოდული პროფილის არმატურა ძირითადია, რადგან ბეტონთან უკეთესი შეჭიდულობა აქვს, თუმცა ციკლური (მრავალჯერ განმეორებადი) დატვირთვის მოქმედებისას ნაშვერებთან ხდება ძაბვათა კონცენტრაცია, რის გამოც არმატურის წინაღობა მცირდება.

გ) გამოყენების მიხედვით – დაძაბული არმატურა (წინაწარ დაძაბულ რკინაბეტონის ელემენტში) და დაუძაბავი (ჩვეულებრივ რკინაბეტონში).

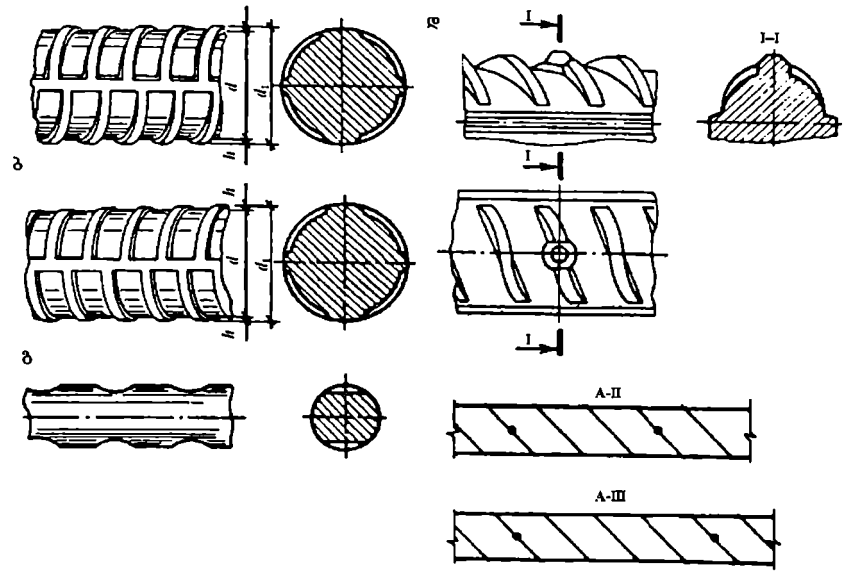
გარდა ზემომოყვანილი მოქნილი არმატურისა, საჭიროების შემთხვევაში გამოიყენება ხისტი (თვითმზიდი) არმატურა, ფოლადის გლინული სორტამენტის ან მცირე ზომის განივკვეთის კუთხოვანებით შეკრული კარკასის სახით.

არმატურის კლასიფიკაცია ხდება, აგრეთვე, კლასების მიხედვით, რომლებიც აერთიანებს ერთნაირი სიმტკიცისა და დეფორმატული თვისებების ფოლადებს, ამასთან, ერთი და იმავე კლასს შეიძლება ეკუთვნოდეს სხვადასხვა ქიმიური შედგენილობის (მარკის) ფოლადი.

ღეროვანი არმატურა აღინიშნება A ასოთი, ხოლო კლასი – რომაული ციფრით, რაც მეტია ციფრი, მით მეტია არმატურის სიმტკიცე:

– A–I კლასის – გლუვი, ცხლად გლინული, გამოიყენება როგორც სამონტაჟო;
– A–II, A–III, A–IV, A–V, A–VI კლასის – პერიოდული პროფილის, ცხლად გლინული: A–II – გამოიყენება სამონტაჟო არმატურად ან თუ A–III კლასის არმატურის გამოყენება არ არის ხელსაყრელი – მუშა არმატურად; A–III – მუშა არმატურად, მხოლოდ დაუძაბავ რკინაბეტონში; A–IV და მეტი კლასის – იშვიათად, ხელით შეკრულ კარკასებში, ჩვეულებრივ რკინაბეტონში, ძირითადად კი წინასწარ დაძაბულ კონსტრუქციებში.

– $A_T$–III, $A_T$–IV, $A_T$–V, $A_T$–VI, $A_T$–VII კლასის – პერიოდული პროფილის, თერმულად გამტკიცებული, გამოიყენება მხოლოდ წინასწარ დაძაბულ კონსტრუქციებში.




ნახ. 2.6. პერიოდული პროფილის არმატურა:
ა – A–II კლასის ღეროვანი არმატურა; ბ – A–III...A–IV კლასის ღეროვანი არმატურა; გ – მაღალი სიმტკიცის $B_p$–II კლასის მავთულოვანი არმატურა; დ – მარკირების გლინული ნიშნები, რომელთა შორის განლაგებული წიბოს (ნაშვერის) რაოდენობა ასახავს არმატურის კლასს

ღეროვანი არმატურის დამატებითი თვისებების აღსანიშნავად შემოტანილია შემდეგი აღნიშვნები: „C“ აღნიშნავს შედუღებადობას ($A_T$–III C), „K“ აღნიშნავს კოროზიამედეგობას ($A_T$–IV K), პატარა „c“ აღნიშნავს არმატურას, რომელიც გამოიყენება დაბალი ტემპერატურის პირობებში მომუშავე ელემენტებისათვის ($A_C$–II).

მავთულოვანი არმატურა აღინიშნება B ასოთი და იყოფა ორ კლასად: $B_p$–I– ჩვეულებრივი საარმატურო მავთული, პერიოდული პროფილის (შეჭყლეტილი ან ხვეულად დაკაწრული), დაბალნახშირბადიანი, გამოიყენება ხელით შეკრული და შედუღებული ბადეების დასამზადებლად; B–II, $B_p$–II – გლუვი და პერიოდული პროფილის, მაღალი სიმტკიცის (მრავალჯერ ცივად გამოჭიმული) მავთული, ძირითადად გამოიყენება წინასწარ დაძაბულ კონსტრუქციებში, როგორც გრძივი, მუშა არმატურა.

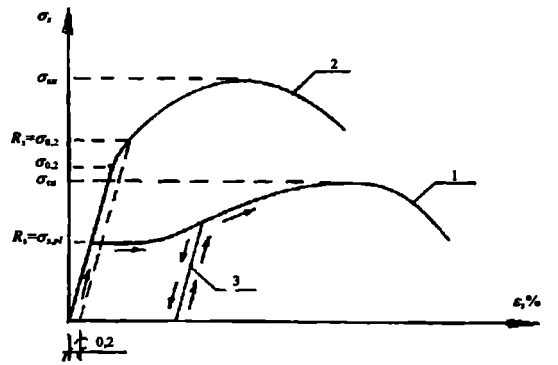
ცალკეული მავთულებით დაარმატურება შრომატევადია და ამიტომ ისინი გაერთიანებულია (შეგრეხილი) 1,5...5 მმ დიამეტრის მავთულებით K–7 შვიდმავთულიან და K–19 ცხრამეტმავთულიან ბაგირებად.

### 2.1.4.6.2. არმატურის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები

არმატურის თვისებები დამოკიდებულია ფოლადის ქიმიურ შედგენილობაზე, აგრეთვე მისი დამზადებისა და დამუშავების ხერხზე. საარმატურო ფოლადის შედგენილობაში შედის ნახშირბადი 0,2...0,8%-მდე და მალეგირებელი დანამატები. ნახშირბადის რაოდენობის ზრდა იწვევს სიმტკიცის ზრდას, დეფორმაციულობასა და შედუღებადობის შემცირებას. მალეგირებელი დანამატები მნიშვნელოვნად ცვლის ფოლადის თვისებებს. მაგალითად, მანგანუმი და ქრომი ზრდის სიმტკიცეს დეფორმაციულობის მცირე შემცირებით, კაჟბადიც ზრდის სიმტკიცეს, მაგრამ აუარესებს შედუღებადობას და ა.შ.

ფოლადის ქიმიური შედგენილობის განმსაზღვრელია მარკა. მაგალითად, A–III კლასის არმატურის ფოლადის 25Г2С მარკაში, რიცხვი „25" აღნიშნავს ნახშირბადის შემცველობას მეასედ პროცენტში (0,25%), „Г2"–ფოლადი ლეგირებულია მანგანუმით 2%-მდე რაოდენობით, „С" – ფოლადი კაჟბადსაც შეიცავს (რადგან С-ს შემდეგ ციფრი არ არის, ე.ი. ეს ნივთიერება 1%-მდეა). ფოლადის სხვა მარკებში შეიძლება იყოს ქრომი (Х), ტიტანი (Т), ცირკონიუმი (Ц), ნიკელი (N), მოლიბდენი (М).

საარმატურო ფოლადის სიმტკიცისა და დეფორმაციის მახასიათებლები განისაზღვრება სტანდარტული ნიმუშების გაჭიმვაზე გამოცდის შედეგად მიღებული „$\sigma-\varepsilon$" დიაგრამის მიხედვით (ნახ. 2.7).




ნახ. 2.7. საარმატურო ფოლადის „ძაბვა–დეფორმაციის" („$\sigma_s-\varepsilon_s$") დიაგრამა:
1 – რბილი ფოლადი, 2 – მტკიცე ფოლადი,
3 – მექანიკური გამოჭიმვით განმტკიცებული ფოლადი

დიაგრამიდან ჩანს, რომ რბილ ფოლადს აქვს ნათლად გამოხატული დენადობის ბაქანი, მტკიცე ფოლადის დენადობა ნათლად არ არის გამოხატული. საარმატურო ფოლადის სიმტკიცის მახასიათებელია $R_s$. რბილი ფოლადისათვის ეს არის დენადობის ზღვარი $\sigma_{s,pl}$, მტკიცე ფოლადისათვის – $\sigma_{0,2}$, ტოლი ძაბვისა, რომლის დროს ნარჩენი დეფორმაციები უდრის 0,2%. ფოლადის სიმტკიცის

ზღვრული სიდიდეა $\sigma_{su}$ (დროებითი წინაღობა) და ზღვრული წაგრძელება გაწყვეტისას $\varepsilon_{su}$, რომელიც ფოლადის პლასტიკური თვისებების გამომსახველია. სიმტკიცისა და დეფორმაციულობის გარდა რიგ შემთხვევაში საჭირო ხდება სხვა თვისებების გათვალისწინებაც: შედუღებადობა, რეოლოგიური თვისებები (ფოლადის ცოცვადობა დიდი ძაბვების წარმოქმნისას ან მუდმივი, დაფიქსირებული სიგრძის ნიმუშში ძაბვის შემცირება), დაღლილობითი რღვევა, მაღალი ან დაბალი ტემპერატურისადმი მედეგობა და სხვა.

ჩვეულებრივი, ცხლად გლინული რბილი საარმატურო ფოლადის სიმტკიცის გაზრდა შესაძლებელია თერმული განმტკიცებით და მექანიკური გაჭიმვით. თერმული განმტკიცებისას არმატურას გაახურებენ 800°C-მდე და ზეთში სწრაფად გააცივებენ, შემდეგ ისევ გაახურებენ 300...400°C-მდე, შემდეგ თანდათან გაცივებით. მექანიკური გამოჭიმვისას არმატურა წაგრძელდება 3...5%-ით და კრისტალური გისოსის სტრუქტურული ცვლილების გამო განმტკიცდება.

ყველა სახის საარმატურო ფოლადის სიმტკიცისა და დეფორმაციის მახასიათებლები, კლასებისა და დიამეტრის მიხედვით, მოცემულია სათანადო ნორმებში (ცხრილი 2.3)

ცხრილი 2.3

არმატურის ნორმატიული და საანგარიშო წინაღობები

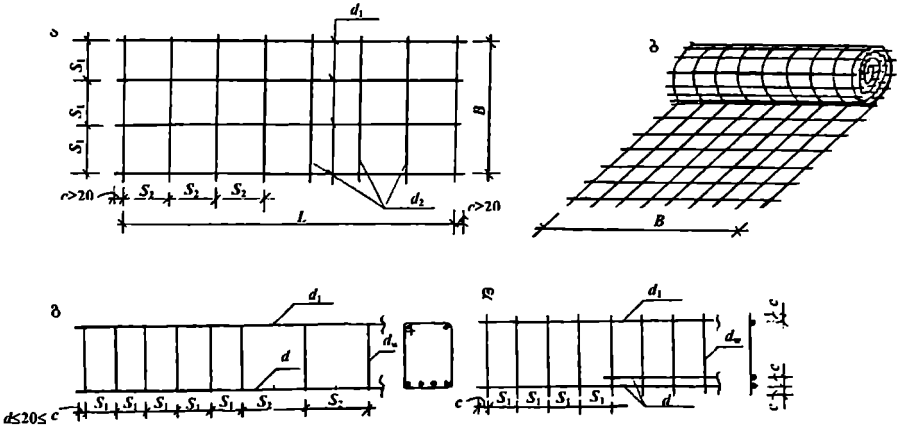
| არმატურის კლასი | ნორმატიული წინაღობა, $R_{sn}$ მპა | საანგარიშო წინაღობა, მპა | | | დრეკადობის მოდული $E_b \cdot 10^{-4}$, მპა |
|---|---|---|---|---|---|
| | | გაჭიმვაზე | | კუმშვაზე $R_{sc}$ | |
| | | გრძივი $R_s$ | განივი $R_{sw}$ | | |
| A-I | 236 | 225 | 175 | 225 | 21 |
| A-II | 295 | 280 | 225 | 280 | 21 |
| A-III. Ø6...8 | 390 | 355 | 285 | 355 | 20 |
| Ø10...40 | | 365 | 290 | 365 | |
| A-IV | 590 | 510 | 405 | 450 | 19 |
| A-V | 785 | 680 | 545 | 500 | 19 |
| Bp-I Ø 5 | 395 | 360 | 260 | 360 | 17 |
| B-II Ø 5 | 1335 | 1110 | – | – | 20 |
| Bp-II Ø 5 | 1255 | 1045 | – | – | 20 |
| K-7 Ø 15 | 1295 | 1080 | – | – | 18 |

### 2.1.4.6.3. არმატურის ნაკეთობები

არმატურა გამოიყენება არა მარტო როგორც ცალკეული ღეროები ან მავთულები, არამედ ძირითადად ხელით შეკრული ან შედუღებული ბადეებისა და კარკასების სახით. ამ უკანასკნელთა დამზადების ინდუსტრიალიზაციის შესაძლებლობა მათ დიდ უპირატესობას ანიჭებს.

ბადეებით დაარმატურება ხდება ბრტყელი ფილების ან თხელკედლიან სივრცითი კონსტრუქციების, მუშა არმატურა შეიძლება იყოს გრძივი ან განივი მიმართულების, აგრეთვე, ორივე მიმართულებისაც. მუშა არმატურის მართობული

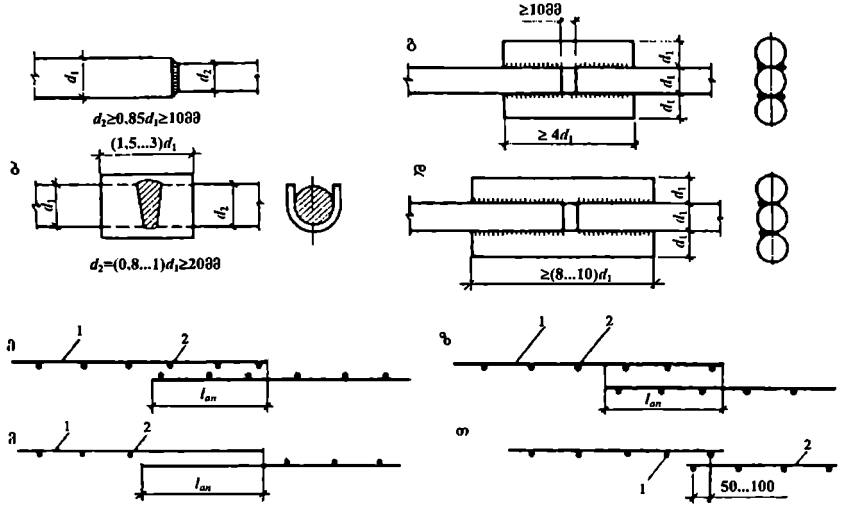
მიმართულებით განლაგებულია გამანაწილებელი (სამონტაჟო) ღეროები (ნახ. 2.8). მუშა არმატურის დიამეტრისა და განლაგების მიხედვით მზადდება ბრტყელი ბადეები. თუ გრძივი არმატურის დიამეტრი 8 მმ და ნაკლებია, მზადდება გრძელი ბადეები, რომლებიც შემდეგ დაიხვევა რულონების სახით.




ნახ. 2.8. არმატურის ნაკეთობები:
ა – ბრტყელი ბადე; ბ – რულონური ბადე; გ – ხელით შეკრული სივრცითი კარკასი; დ–შედუღებული კარკასი

არმატურის კარკასები გამოიყენება ღეროვანი ელემენტების (კოჭი, სვეტი, ჩარჩო, წამწე) დასაარმატურებლად. მონოლითურ რკინაბეტონში გამოიყენება როგორც ხელით შეკრული სივრცული კარკასი, რომელიც უშუალოდ სამშენებლო მოედანზე მზადდება, ასევე, ბრტყელი, შედუღებული კარკასები, რომლებიც მზადდება ქარხანაში. შემდეგ, ადგილზე, ყალიბებში ჩაწყობისას, ორი, სამი, ან საჭიროების შემთხვევაში, ოთხი კარკასი ერთიანდება სივრცით კარკასად – რამდენიმე ადგილას მოკლე ღეროების მიდუღებით. კარკასებში განივი არმატურის დიამეტრი დამოკიდებულია გრძივი მუშა არმატურის d დიამეტრზე, აიღება 3...10მმ, არა უმეტესი d/3...d/4-ისა. სამონტაჟო არმატურის დიამეტრი 2...10 მმ-ით მეტია, ვიდრე განივი არმატურის დიამეტრი.

დაუძაბავი არმატურის გადაბმა წარმოებს გადადებით ან პირაპირა და აბაზანური შედუღებით. გადადებით შეერთება დასაშვებია A–I, A–II და A–III კლასის ღეროებისათვის მხოლოდ იმ კვეთებში, სადაც გამჭიმავი ძალა არ მოქმედებს, თანაც ერთ კვეთში შესაძლებელია გადადებით გადაიბას მთელი არმატურის მხოლოდ 50% (გლუვი არმატურისას – 25%). ღეროების გადადების სიგრძეა 20...30 d. ქარხნებში 10 მმ და მეტი დიამეტრის არმატურის შეერთება ხდება კონტაქტურ-პირაპირა შედუღებით, სპეციალურ დანადგარებზე. არმატურის ნაკეთობების ან ასაწყობი ელემენტების მონტაჟისას, კვანძებში ხდება არმატურის გადაბმა: რკალური (d<20 მმ) ან აბაზანური (d ≥20 მმ) შედუღებით (ნახ. 2.9). უკანასკნელ ხანს გაერცელდა არმატურის ხრახნიანი ქუროებით შეერთება.




ნახ. 2.9. დაუძაბავი არმატურის შედუღებული პირაპირები და ბადეების გადაბმა: ა – კონტაქტურ-პირაპირა; ბ – აბაზანური; გ, დ – რკალური (ორმხრივი და ცალმხრივი ფლანგური ნაკერით); ე – ბადეების გადადებით შეერთება გლუვი და პერიოდული პროფილის, მუშა მიმართულებით და არამუშა მიმართულებით

### 2.1.5. რკინაბეტონის კოროზია

რკინაბეტონის კოროზია გულისხმობს ბეტონის კოროზიას და აქედან გამომდინარე შედეგს – არმატურის კოროზიას. ბეტონის კოროზიამედეგობა დამოკიდებულია მის სიმტკიცეზე, სიმკვრივეზე, ცემენტისა და აგრესიული გარემოს თვისებებზე.

კოროზიის თავიდან ასაცილებლად საჭიროა გარემოს აგრესიულობის შემცირება, სპეციალურ შემკვრელზე დამზადებული მკვრივი ბეტონის გამოყენება, ბეტონის ზედაპირზე სპეციალური დამცველი დაფარვის მოწყობა, ელემენტის ბზარმედეგობის გაზრდა, ბეტონის დამცველი შრის საკმარისი სისქის უზრუნველყოფა.

ბეტონის დამცველი შრე, არმატურის კოროზიისაგან დასაცავად, გრძივი, მუშა არმატურისათვის აიღება: არანაკლები არმატურის ღეროს ან ბაგირის დიამეტრის ნახევრისა და არა უმცირეს – 10 მმ-სა – 100 მმ და ნაკლები სისქის ფილებსა და კედლებში; 150 მმ-სა – 100 მმ-ზე მეტი სისქის ფილებში, კედლებსა და 250 მმ-ზე ნაკლები სიმაღლის კოჭებში; 20 მმ-სა – 250 მმ და მეტი სიმაღლის კოჭებში, წიბოებსა და სვეტებში; 35 მმ-სა – რკინაბეტონის მონოლითური საძირკვლების ქვედა არმატურისათვის, თუ იგი ბეტონის მომზადებაზე (შრეზე) ეყრდნობა, თუ არა – არა უმცირესი 70 მმ-ისა. განივი, კონსტრუქციული და გამანაწილებელი არმატურისათვის ბეტონის დამცველი შრის სისქე აიღება არა უმცირეს შესაბამისი

არმატურის დიამეტრისა და არა უმცირეს 10 მმ-სა, როდესაც $h$<250 მმ-ზე და 15 მმ-სა, როდესაც $h$≥250 მმ. ელემენტის ბოლოდან (ტორსიდან) გრძივი, მუშა არმატურის ბოლომდე დაშორება აიღება 10, 15 და 20 მმ, შესაბამისად 9, 12 და 12 მ-ზე გრძელი ელემენტებისათვის. წინასწარ დაძაბულ ელემენტებში არმატურის ბოლოებთან (საყრდენებთან) დამცველი შრე აიღება 2...3d და არანაკლებ 40 მმ-ისა. აგრესიულ გარემოში, მაღალი ტექნოლოგიური ტემპერატურის ან მაღალი ტენიანობის პირობებში მომუშავე რკინაბეტონის კონსტრუქციებისათვის დამცველი შრის სისქე იზრდება 5...15 მმ-ით.

## 2.1.6. რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების საფუძვლები

### 2.1.6.1. გაანგარიშების მეთოდები

რკინაბეტონი რთული სამშენებლო მასალაა, რადგან შედგება ერთმანეთისგან განსხვავებული ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მქონე მასალებისაგან – ბეტონისა და ფოლადისაგან. კონსტრუქციების ექსპლუატაციისას წარმოქმნილი არადრეკადი (პლასტიკური) დეფორმაციების და გაჭიმულ ზონაში ბზარების წარმოქმნის გამო ძნელდება დრეკადი მასალებისათვის განკუთვნილი გაანგარიშების მეთოდების გამოყენება. ამიტომაა, რომ რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების თანამედროვე მეთოდები ძირითადად ეყრდნობა ექსპერიმენტულ მონაცემებს, მყარი, დეფორმირებადი სხეულის მექანიკის კანონებს და სხვადასხვა სიდიდის დატვირთვის მოქმედების შესაბამის, ელემენტში აღძრულ რეალურ დაძაბულ მდგომარეობას.

რკინაბეტონის გაანგარიშების მეოდების განვითარებისა და სრულყოფის პროცესი ხასიათდება სამი ძირითადი ეტაპით: პირველი ეტაპია, როდესაც რკინაბეტონს ანგარიშობდნენ უკვე არსებული ქვისა და თუჯის კონსტრუქციების ანალოგიით – დასაშვებ ძაბვათა მეთოდით. ამ მეთოდით გაანგარიშებისას უნდა შესრულებულიყო პირობა $\sigma \le \sigma_{დ}$, აქ $\sigma$ გარე დატვირთვისაგან აღძრული ძაბვაა, ხოლო $\sigma_{დ}$ ძაბვის მაქსიმალური დასაშვები სიდიდეა, რომელიც რეალური მაქსიმალური წინაღობის 50%-მდე სიდიდეს წარმოადგენდა. როგორც ვხედავთ, გამოუყენებელი რჩებოდა რკინაბეტონის ელემენტის რეალური ზიდვის უნარის მნიშვნელოვანი ნაწილი, კონსტრუქცია გამოდიოდა დიდი კვეთისა და არაეკონომიური.

მეორე ეტაპია – მრღვევ ძალეათა მეთოდი, სადაც ექსპერიმენტით ან თეორიულად განისაზღვრებოდა ის ზღვრული ძალები, რისი ატანაც შეეძლო კონსტრუქციას, რომელიც, გაყოფილი ერთიანი მარაგის კოეფიციენტზე, მეტი უნდა ყოფილიყო გარე დატვირთვებით აღძრულ შესაბამის ძალვაზე

$$N \le N_{ზ}/K_1; \quad M \le M_{ზ}/K_1,$$

აქ $N$ და $M$ გარე დატვირთვის მიხედვით გამოთვლილი ძალებია, ხოლო $N_{ზ}$ და $M_{ზ}$ ის მაქსიმალური ძალვა, რისი ატანაც შეეძლო კვეთს. ამ მეთოდის უარყოფითი მხარე იყო ერთიანი $K_1$ მარაგის კოეფიციენტი, რომელიც აიღებოდა

მაშინდელი ნორმებიდან და სრულად ვერ ითვალისწინებდა კონსტრუქციაზე მოქმედი მრავალნაირი ფაქტორების გავლენას.

1955 წლიდან რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშება წარმოებს ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდით, რომელიც საფუძვლად დაედო შესაბამის ახალ სამშენებლო ნორმებსა და წესებს. ეს მეთოდი მრღვევ ძალვათა მეთოდის შემდგომი განვითარებაა, სადაც ნათლად არის განსაზღვრული ის ზღვრული მდგომარეობები, რომლებიც შეიძლება დაუდგეს კონსტრუქციას. ყოველი ზღვრული მდგომარეობის მიხედვით გაანგარიშებისას გაითვალისწინება შესაბამისი მარაგის კოეფიციენტები.

ზღვრულ მდგომარეობად იგულისხმება კონსტრუქციის ისეთი მდგომარეობა, რომლის დადგომისას მისი შემდგომი ექსპლუატაცია საერთოდ შეუძლებელია ან ნორმალური ექსპლუატაციაა შეუძლებელი, იმის გამო, რომ: კონსტრუქცია ირღვევა, კარგავს მდგრადობას (ზღვრული მდგომარეობის პირველი ჯგუფი), წარმოიქმნება ბზარები, როდესაც ნორმებით არ არის დაშვებული, ბზარები გაიხსნება ნორმებით დასაშვებზე მეტად, განვითარდება ნორმებით დაუშვებელი სიდიდის ჩაღუნვა, ჩამაგრებული კვეთის მობრუნება, რხევის ამპლიტუდები და სხვა (მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობები). როგორც ვხედავთ, დადგინდა ზღვრულ მდგომარეობათა ორი ჯგუფი: პირველი – ზიდვის უნარის მიხედვით, მეორე – ნორმალური ექსპლუატაციისათვის გამოსადეგობის მიხედვით.

პირველი ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშება ძირითადია და გამოიყენება კვეთის შერჩევისა და სიმტკიცის უზრუნველყოფისათვის. მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მიხედვით გაიანგარიშება კონსტრუქციები, რომელთა ექსპლუატაციის სპეციფიკის მიხედვით აუცილებელია სათანადო ბზარმედეგობისა და სიხისტის უზრუნველყოფაც.

იმისათვის, რომ არ დაიშვას არც ერთი ზღვრული მდგომარეობა, შემოღებულია კოეფიციენტების სისტემა, რომელიც ითვალისწინებს კონსტრუქციაზე მოქმედი ყველა ფაქტორის შესაძლო არახელსაყრელ გადახრას: დატვირთვის საიმედოობის კოეფიციენტები; ბეტონისა და არმატურის წინაღობის საიმედოობის კოეფიციენტები; შენობებისა და ნაგებობების დანიშნულების მიხედვით პასუხისმგებლობის ხარისხის საიმედოობის კოეფიციენტი; მასალის მუშაობის პირობების კოეფიციენტები, რომლებიც შეაფასებენ მასალის მუშაობის ისეთ პირობებს, რომელთა გათვალისწინება უშუალოდ ანგარიშში შეუძლებელია.

### 2.1.6.2. დატვირთვები და ზემოქმედებები

კონსტრუქციების დამზადების, ტრანსპორტირების, მონტაჟისა და ექსპლუატაციის დროს მასზე მოქმედებს სხვადასხვა სახის დატვირთვა.

დატვირთვა მოქმედების ხანგრძლივობის მიხედვით არის – მუდმივი და დროებითი (ხანგრძლივი, ხანმოკლე და განსაკუთრებული);

მუდმივი დატვირთვაა – მზიდი და შემომფარგველელი კონსტრუქციების საკუთარი მასისაგან გამოწვეული დატვირთვა, გრუნტის წონა და დაწნევა, წინასწარ მომკუმშავი ძალა;

დროებითი ხანგრძლივი დატვირთვებია: სტაციონარული დანადგარებისა და მანქანების წონა; იმ სითხის, მყარი ან ფხვიერი მასის წონა, რომელიც დანადგარებშია მოთავსებული; დატვირთვა გამოწვეული საწყობებში, წიგნსაცავებში, მაცივრებსა და სხვა მსგავს ნაგებობებში სართულშორის გადახურვაზე დაწყობილი მასალებისაგან.

დროებით, ხანმოკლე დატვირთვებს განეკუთვნება: ადამიანებისაგან, თოვლისაგან, ქარისაგან, ამწე-სატრანსპორტო მანქანებისაგან გამოწვეული დატვირთვა. აგრეთვე, კონსტრუქციის მონტაჟისა და რემონტისას აღძრული დატვირთვა.

განსაკუთრებული დატვირთვა შეიძლება აღიძრას სეისმური ან აფეთქების ზემოქმედების, აგრეთვე ტექნოლოგიური პროცესის დარღვევის (ავარიის) შედეგად.

ჩაღუნვასა და ბზარმედეგობაზე გაანგარიშებისას ზოგჯერ საჭირო ხდება ხანმოკლე დროებითი დატვირთვის ნაწილის ხანგრძლივი დატვირთვისადმი მიკუთვნება. ეს არის 30...60% თოვლი და 50...70% ხიდურა ამწეებისაგან გამოწვეული დატვირთვა.

ზღვრული მდგომარეობების მიხედვით გაანგარიშებისას დატვირთვა სიდიდის მიხედვით იყოფა ნორმატიულ და საანგარიშო დატვირთვად. ნორმატიულია $F_n$ დატვირთვა, რომელიც ნაგებობის ნორმალური ექსპლუატაციისას კონსტრუქციაზე მოქმედ შესაძლო დატვირთვებიდან საშუალოა ან მაქსიმალური და შეტანილია სათანადო ნორმებში. ამ ფაქტიური დატვირთვის ნორმატიული მნიშვნელობიდან შესაძლო გადახრის გათვალისწინება ხდება დატვირთვის მიხედვით საიმედოობის $\gamma_f$ კოეფიციენტის საშუალებით. მიიღება საანგარიშო დატვირთვა $F = \gamma_f \cdot F_n$.

პირველი ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშებისას $\gamma_f$ მიიღება: მუდმივი დატვირთვისას – 1,1...1,3; დროებითისთვის – 1,2...1,4; თოვლის დატვირთვისათვის – 1,4...1.6. თუ კონსტრუქციის მასის შემცირება იწვევს მისი მუშაობის გაუარესებას (მაგალითად საყრდენი კედლის გადაყირავებაზე გაანგარიშებისას), მაშინ – $\gamma_f$ =0,8...0,9.

მეორე ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშებისას $\gamma_f = 1$. ამით შემცირებულია ამგვარი მდგომარეობის დადგომის საშიშროება, რადგან გაანგარიშება ხდება ფაქტობრივად ნორმატიულ (საექსპლუატაციო) დატვირთვაზე, რომელიც ნაკლებია საანგარიშოზე.

შენობისა და ნაგებობების ექსპლუატაციისას ყველა დატვირთვა შეიძლება მოქმედებდეს კონსტრუქციაზე სხვადასხვა შეხამებით. გაანგარიშება ხდება დატვირთვების ყველაზე არახელსაყრელ შეხამებაზე. ნორმებით გათვალისწინებულია ორი სახის შეხამება: ძირითადი – მუდმივი, ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვა და განსაკუთრებული – მუდმივი, ხანგრძლივი, ხანმოკლე და ერთ-ერთი განსაკუთრებული დატვირთვა. ამ დატვირთვის ერთდროულად მაქსიმალური სიდიდით მოქმედების ალბათობის გათვალისწინება ხდება შეხამების $\psi_1$ (ხანგრძლივი დატვირთვა) და $\psi_2$ (ხანმოკლე დატვირთვა) კოეფიციენტებით. თუ შეხამებაში მხოლოდ ერთი დროებითი (ხანგრძლივი ან ხანმოკლე) დატვირთვაა

შეყვანილი, მაშინ $\psi_1=\psi_2=1$. თუ ორი და მეტი დროებითი დატვირთვაა – $\psi_1=0,95$ და $\psi_2=0,9$. თუ გვაქვს დატვირთვების განსაკუთრებული შეხამება, მაშინ ხანმოკლე დატვირთვა მიიღება კოეფიციენტით $\psi_2=0,8$, ხანგრძლივი – $\psi_1=0,95$. განსაკუთრებული – შემცირების გარეშე.

### 2.1.6.3. ბეტონისა და არმატურის ნორმატიული და საანგარიშო წინაღობები

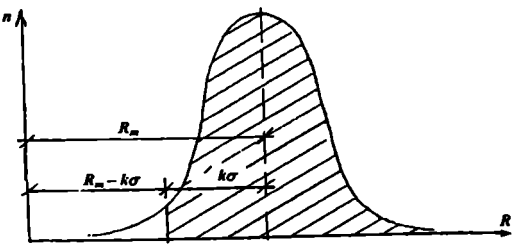
ბეტონის სიმტკიცის მახასიათებელები, მისი სტრუქტურის მნიშვნელოვანი არაერთგვაროვნების გამო, ცვალებადია. ამიტომ კონსტრუქციის სათანადო საიმედოობის უზრუნველსაყოფად გაანგარიშებისას უნდა გავითვალისწინოთ ბეტონის სიმტკიცის ისეთი მნიშვნელობები, რომლებიც უმრავლეს შემთხვევაში ნაკლები იქნება, ვიდრე განხორციელებულ კონსტრუქციაში ბეტონის შესაძლო ფაქტიური სიმტკიცე. სიმტკიცის ცვალებადობა გამოისახება სტატისტიკური მრუდით (ნახ. 2.10), რომელიც ასახავს $n$ რაოდენობის ბეტონის კუბების გამოცდის შედეგად მიღებულ სიმტკიცეთა ცვალებადობას. სიმტკიცის საშუალო მნიშვნელობა $R_m$ ასე გამოითვლება

$$R_m = \left(n_1 R_1 + n_2 R_2 + \ldots + n_k R_k\right)/n \qquad (2.12)$$

აქ $n_1, n_2, \ldots, n_k$ კუბების რაოდენობაა, რომელთა გამოცდის შედეგად მიღებულია შესაბამისად $R_1, R_2, \ldots, R_k$ სიმტკიცე. ყველა ეს სიმტკიცის მაჩვენებელი გადახრილია სიმტკიცის საშუალო მნიშვნელობის ორივე მხარეს და დიდი რაოდენობის კუბების გამოცდისას მრუდი თითქმის სიმეტრიულია. თანაც, რაც მეტია სიმტკიცის მაჩვენებლის გადახრა საშუალოდან, მით ნაკლებია შესაბამისი სიმტკიცის კუბების რაოდენობა. სიმტკიცის ცვალებადობა ხასიათდება საშუალო კვადრატული გადახრის ანუ $\sigma$ სტანდარტის საშუალებით

$$\sigma = \sqrt{\frac{n_1\Delta_1^2 + n_2\Delta_2^2 + \ldots + n_k\Delta_k^2}{n_1 + n_2 + \ldots + n_k}}, \qquad (2.13)$$

სადაც $\Delta_i = R_i - R_m$.




ნახ. 2.10. ბეტონის სიმტკიცის განაწილების მრუდი

სტანდარტის გამოთვლის შემდეგ, ალბათობის თეორიის მიხედვით, შესაძლებელია სიმტკიცის ისეთი $R_{min}$ მინიმალური სიმტკიცის გამოთვლა, რომლის ალბათობის საიმედოობა იქნება წინასწარ დანიშნულის ტოლი

$$R_{min} = R_m - k\sigma = R_m\left(1 - k\frac{\sigma}{R_m}\right) = R_m(1 - k\nu). \qquad (2.14)$$

$\nu = \sigma / R_m$ არის ცვალებადობის კოეფიციენტი, ანუ ვარიაციის კოეფიციენტი, $k$ – საიმედოობის მაჩვენებელი.

ვარიაციის ν კოეფიციენტი გამოითვლება ყოველი კონკრეტული ქარხნისათვის. რაც ნაკლებია კოეფიციენტის სიდიდე, მით სტაბილურია ბეტონის სიმტკიცე. ნორმების მიხედვით მიღებულია კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობა ν=0,135, რომლის დროსაც ბეტონის ხარისხი დამაკმაყოფილებელია, ხოლო – $k$ =1,64, რაც ნიშნავს, რომ $R_{min}$-ზე ნაკლებ სიმტკიცეს კუბების მხოლოდ 5% აჩვენებს. ასეთნაირად გამოთელილი $R_{min}$ არის ბეტონის სიმტკიცის ძირითადი მახასიათებელი, აღინიშნება $B$-თი და მას კლასი ეწოდება. მაშასადამე, კლასი ბეტონის სიმტკიცის ის კონტროლირებული მინიმუმია, რომლის ალბათობის საიმედოობა არის 0,95. სხვანაირად რომ ვთქვათ, 100 გამოცდილი კუბიდან (150X150X150 მმ წიბოთი, 20±2°C ტემპერატურის და არა უმცირეს 90% ტენიანობის პირობებში გამყარებული ბეტონის კუბების 28-ე დღეზე გამოცდით) 95 კუბი იქნება ასეთი და მეტი სიმტკიცის, ხოლო 5 კუბის სიმტკიცე იქნება კონტროლირებულ მინიმუმზე (კლასზე) ნაკლები. ბეტონის კლასის მნიშვნელობა შეტანილია ნორმებში, ე.ი. იგი ბეტონის კუბური სიმტკიცის $R_n$ ნორმატიული მნიშვნელობაა და (2.14)-ის მიხედვით გამოითვლება ფორმულით

$$R_n = B = R_m(1 - 1.64\nu). \qquad (2.15)$$

მაშასადამე, ბეტონის კუბური სიმტკიცის $R_n$ ნორმატიული მნიშვნელობის სიდიდე რიცხობრივად ბეტონის კლასის ტოლია.

რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტების დროს, გაანგარიშებისას სარგებლობენ ბეტონის პრიზმული სიმტკიცის ნორმატიული მნიშვნელობით. იგი გამოითელება კუბური სიმტკიცის ნორმატიულ მნიშვნელობასთან დამოკიდებულებით, (2.2) ფორმულის მიხედვით

$$R_{b,n} = R_n(0,77 - 0.001R_n) \geq 0.72R_n. \qquad (2.16)$$

$R_{b,n}$-ის მნიშვნელობები, ბეტონის კლასების მიხედვით მოცემულია ნორმების სათანადო ცხრილებში (ცხრილი 2.1).

ანალოგიურად გამოითვლება ღერძული გაჭიმვაზე ბეტონის ნორმატიული წინაღობა (სიმტკიცე)

$$R_{bt,n} = R_{bt,m}(1 - 1,64\nu). \qquad (2.17)$$

$R_{bt,n}$-ის მნიშვნელობები, ბეტონის კლასის მიხედვით, მოცემულია ნორმებში (ცხრ. 2.1).

ზემოგანხილულიდან ჩანს, რომ ბეტონის სიმტკიცის ცვალებადობას ითვალისწინებენ ალბათური მეთოდებით. მაგრამ რეალური კონსტრუქციების დამზადებისას მოსალოდნელია სხვადასხვა ფაქტორის გავლენა (მაგალითად, ბეტონის ნარევის გადაზიდვა, ბეტონის ჩალაგება ყალიბში, ვიბრირება, გამყარება), რის გამოც ბეტონის ფაქტიური სიმტკიცე განსხვავებული იქნება

ნორმატიული მნიშვნელობებისაგან. შესაძლებელია, აგრეთვე, დამზადებული რკინაბეტონის ელემენტების ფაქტიური გეომეტრიული ზომების განსხვავება დაპროექტების დროს მიღებულისაგან. ამ გადახრის სტატისტიკური მეთოდებით გათვალისწინება ჯერ ვერ ხერხდება. ამიტომ, ბეტონის წინაღობის მნიშვნელობის შესაძლო გადახრა უშუალოდ კონსტრუქციებში, გათვალისწინებულია სპეციალური საიმედოობის $\gamma_b$ კოეფიციენტით. ბეტონის ნორმატიული წინაღობის გაყოფით $\gamma_b$ კოეფიციენტზე მიიღება წინაღობის ის $R_b$ საანგარიშო მნიშვნელობა, რომელიც უზრუნველყოფს დასაპროექტებელი კონსტრუქციის სრულ საიმედოობას და გამოიყენება სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას:

კუმშვისას – $R_b = R_{bn}/\gamma_{bc}$ ; გაჭიმვისას – $R_{bt} = R_{bt,n}/\gamma_{bt}$ . (3.6)

პირველი ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით, კონსტრუქციების კუმშვაზე გაანგარიშებისას $\gamma_{bc}$ =1,3; ხოლო გაჭიმვაზე გაანგარიშებისას – $\gamma_{bt}$ =1,5. მეორე ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშებისას – $\gamma_{bc}=\gamma_{bt}=1$. მაშასადამე, დეფორმაციებზე გაანგარიშებისას ბეტონის საანგარიშო წინაღობები $R_{b.ser}$ და $R_{bt.ser}$, ფაქტობრივად ტოლია ნორმატიული წინაღობებისა.

საარმატურო ფოლადისათვის $R_{s,n}$ ნორმატიულ წინაღობად მიიღება სიმტკიცის ის კონტროლირებული მინიმალური მნიშვნელობა, რომელიც დადგენილია სათანადო სტანდარტით და მოწმდება ქარხნის ლაბორატორიაში: ღეროვანი არმატურისთვის, მაღალი სიმტკიცის მავთულისა და საარმატურო ბაგირებისათვის $R_{sn}$ ტოლია ფიზიკური ან პირობითი დენადობის ზღვარის, ჩვეულებრივი მავთულოვანი არმატურისათვის – დროებითი წინაღობის 0,75-ის. საარმატურო ფოლადის ნორმატიული წინაღობა, ისევე როგორც ბეტონისათვის, მიიღება ალბათობის 0,95 საიმედოობით.

პირველი და მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობებისათვის არმატურის საანგარიშო $R_s$ და $R_{s.ser}$ წინაღობა მიიღება ნორმატიული წინაღობის გაყოფით სათანადო საიმედოობის კოეფიციენტზე

$$R_s = R_{sn}/\gamma_s . \qquad (2.18)$$

$\gamma_s$-ს მნიშვნელობა პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობებისათვის A–I და A–II კლასის ღეროვანი არმატურისათვის არის 1,05; A–III კლასის არმატურისათვის – 1,07...1,1; დანარჩენი კლასების ღეროვანი არმატურისათვის – 1,15...1,20. მავთულოვანი არმატურისათვის – 1,2. მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობებისათვის $\gamma_s$=1,0. ასევე არმატურის საანგარიშო წინაღობა მრავლდება მუშაობის პირობების $\gamma_{si}$ კოეფიციენტზე.

### 2.1.6.4. ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშებების ძირითადი დებულებები

ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშება ხდება ზიდვის უნარისა (პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობები) და ნორმალური ექსპლუატაციისათვის გამოსადეგობის მიხედვით (მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობები).

კონსტრუქციებსა და მათ შემადგენელ ელემენტებს, ზღრული მდგომარეობის მიხედვით, როგორც წესი, გაიანგარიშებენ დამზადების, ტრანსპორტირების, აგებისა და ექსპლუატაციის სტადიისათვის. თანაც, საანგარიშო სქემა, ყველა შემთხვევაში, უნდა შეესაბამებოდეს კონსტრუქციის რეალურ დაძაბულ მდგომარეობას.

პირველი ჯგუფის ზღრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშებისას უნდა შესრულდეს პირობა

$$F \le F_u. \tag{2.19}$$

ამ უტოლობის მარცხენა მხარეს საანგარიშო ძალეაა (M, N ან Q), იმ შესაძლო მაქსიმალური ძალეის ტოლი, რომელიც განსახილველ კვეთში აღიძრება საანგარიშო დატვირთვის ან ზემოქმედების ყველაზე არახელსაყრელი შეხამებისას. საანგარიშო დატვირთვა მიიღება ნორმატიული დატვირთვის გამრავლებით: დატვირთვის საიმედოობის, შეხამებისა და შენობა-ნაგებობების დანიშნულების მიხედვით საიმედოობის შესაბამის კოეფიციენტებზე. უტოლობის მარჯვენა მხარესაა კონსტრუქციის ზიდვის უნარი, ანუ ის $F_u$ შესაბამისი მაქსიმალური (საანგარიშო) ძალეა, რისი ატანაც შეუძლია კვეთს. $F_u$ ფუნქციაა: კვეთის ფორმისა და ზომების, ბეტონისა და არმატურის საანგარიშო წინაღობების, მასალათა მუშაობის პირობების კოეფიციენტების, რომლებიც კონსტრუქციის დამზადებისა და ექსპლუატაციის არახელსაყრელ პირობებს ითვალისწინებენ.

მეორე ჯგუფის ზღრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშებისას დაცული უნდა იყოს შემდეგი პირობები:

ა) ბზარების წარმოქმნის მიხედვით გაანგარიშებისას (ბზარმედეგობის I კატეგორიის მოთხოვნა)

$$F \le F_{crc}. \tag{2.20}$$

$F$ საანგარიშო ან ნორმატიული დატვირთვებით აღძრული ძალეაა, ხოლო $F_{crc}$ – იმავე ძალეის ის მნიშვნელობა, რომლის მოქმედებისას წარმოიქმნება ბზარები;

ბ) წარმოქმნილი ბზარების დახურვის პირობაზე გაანგარიშება (ბზარმედეგობის II კატეგორიის მოთხოვნა) გულისხმობს, რომ რიგ შემთხვევაში მთლიანი ნორმატიული დატვირთვით გამოწვეული ბზარები უნდა დაიხუროს ხანმოკლე დატვირთვის მოხსნის შემდეგ. ეს მოხდება, თუ გაჭიმულ ზონაში არმატურა იმუშაებს დრეკადად, ე.ი.

$$\sigma_{sp} + \sigma_s \le 0.8 R_{s,ser}. \tag{2.21}$$

$\sigma_{sp}, \sigma_s$ წინასწარ მომკუმშავი ძალისა და სრული დატვირთვისაგან გაჭიმულ არმატურაში გამოწვეული ძაბვაა;

გ) რკინაბეტონის ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალურ და დახრილ კვეთებში ბზარის გახსნის სიდიდის მიხედვით გაანგარიშებისას (ბზარმედეგობის III კატეგორიის მოთხოვნა)

$$a_{crc} \le a_{crc,u} \cong 0.05...0.3 \text{ მმ}. \tag{2.22}$$

$a_{crc}$ არის ბზარის გახსნის სიდიდე ნორმატიული დატვირთვისაგან, $a_{crc,u}$ – ნორმებით დადგენილი, ბზარების გახსნის მაქსიმალური სიდიდე;

დ) საერთო დეფორმაციების (ჩაღუნვის) მიხედვით გაანგარიშებისას

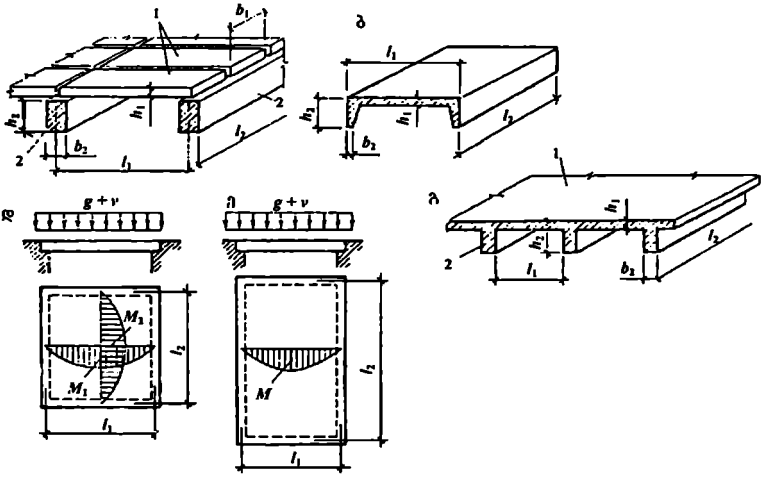
$$f \le f_u = \frac{l}{200}...\frac{l}{600}. \tag{2.23}$$

აქ $f$ არის ნორმატიული დატვირთვით გამოწვეული ჩაღუნვა, $f_u$ – აღნიშნული კონსტრუქციისათვის ნორმებით დადგენილი ზღვრული ჩაღუნვა, $l$ – ღუნვადი ელემენტის მალი.

### 2.1.7. ჩვეულებრივი (დაუძაბავი) რკინაბეტონის ელემენტების კონსტრუირება და სიმტკიცეზე გაანგარიშება

#### 2.1.7.1. ღუნვადი ელემენტების კონსტრუქციული თავისებურებები

ღუნვადი ელემენტებია ფილები და კოჭები. ფილა ღუნვადი ელემენტია, რომლის $h_1$ სისქე გაცილებით მცირეა $l_1$ მალზე და $b_1$ სიგანეზე (ნახ. 2.11,ა). კოჭის განივკვეთის ზომები ($h_2$ სიმაღლე და $b_2$ სიგანე) მნიშვნელოვნად ნაკლებია $l_2$ მალზე. ფილებისათვის აიღება $h/l$=1/20....1/40 და ნაკლები. კოჭებისათვის $h/l$=1/8...1/20, ხოლო $b/h$=0,25...0,5. კოჭები და ფილები გამოიყენება, როგორც ცალკეული კონსტრუქციული ელემენტები, ასევე ერთმანეთთან დაკავშირებული, როდესაც ქმნიან, მაგალითად, ერთიან, სართულთშორისი გადახურვის კონსტრუქციას (ნახ. 2.11,გ).

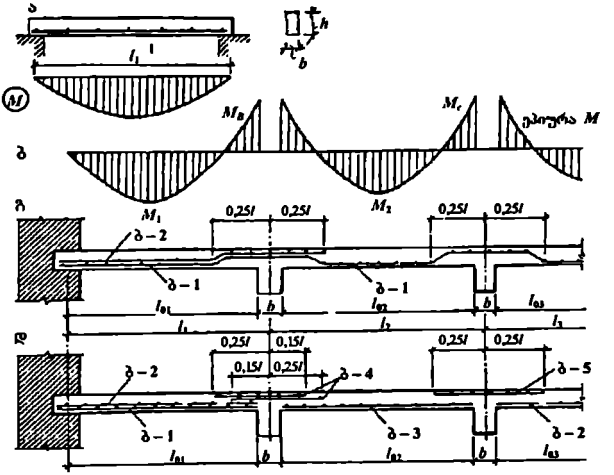



ნახ. 2.11. რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტები:
ა – ასაწყობი გადახურვა; ბ – ასაწყობი წიბოვანი პანელი; გ – მონოლითური გადახურვა; დ – კონტურზე დაყრდნობილი ფილის სქემა; ე – კოჭური ფილის სქემა: 1 – ფილა; 2 – კოჭი.

ფილები შეიძლება იყოს კოჭური და კონტურზე დაყრდნობილი. თუ ფილა ოთხივე კიდით ეყრდნობა და მიმდებარე გვერდების სიგრძეთა შეფარდება არის 2:1 ან ნაკლები, მაშინ ფილა იღუნება ორი მიმართულებით და მას კონტურზე დაყრდნობილი ფილა ეწოდება. როდესაც გვერდების სიგრძეთა შეფარდება მეტია, ვიდრე 2:1, მაშინ იგი მუშაობს (იღუნება) მხოლოდ ერთი, მოკლე გვერდების მიმართულებით და ამიტომ მას კოჭური ფილა ეწოდება. კოჭურია, აგრეთვე,

ყველა ის ფილა, რომელიც ეყრდნობა მხოლოდ ორი, ერთმანეთის მოპირდაპირე გვერდით. ფილის მინიმალური სისქე, მონოლითურ დახურვაში, მიღებულია 40 მმ, ხოლო სამოქალაქო შენობების სართულთშორის გადახურვაში აიღება 50 მმ, სამრეწველოში – 60 მმ, გადახურვის ასაწყობ პანელებში, რომლებიც ქარხნებში მზადდება, ფილის სისქე შეიძლება იყოს 25...30 მმ.

ფილების დაარმატურება ხდება ძირითადად შედუღებული, რულონური (ხვეული) ან ხელით შეკრული და შედუღებული ბრტყელი ბადეებით (ნახ. 2.12). ძირითადად ბადის გრძივი მიმართულებით ლაგდება მუშა არმატურა, რომელიც გაანგარიშებით შეირჩევა.

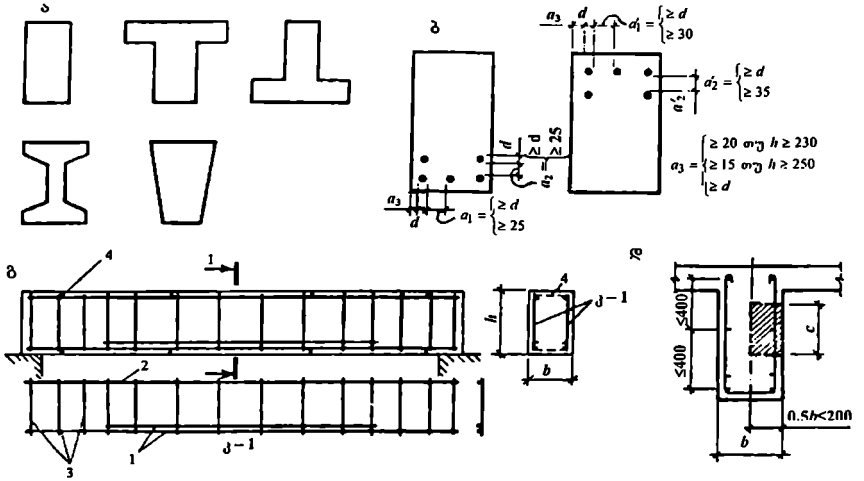



ნახ. 2.12. რკინაბეტონის მონოლითური მრავალმალიანი ფილის დაარმატურება:
ა – ერთმალიანი, საყრდენებზე თავისუფლად დაყრდნობილი; ბ – მღუნავი მომენტების ეპიურა; გ – მრავალმალიანი – რულონური ბადეები, გრძივი მუშა არმატურით; დ – იგივე, განივი მუშა არმატურით

განივი მიმართულებით ლაგდება, უპირატესად, გამანაწილებელი არმატურა, რომლის დიამეტრი და ბიჯი კონსტრუქციული მოსაზრებით ინიშნება. მუშა არმატურა ლაგდება გაჭიმულ კიდესთან, მღუნავი ეპიურის შესაბამისად. თუ ფილა კონტურზე დაყრდნობილია, მაშინ მუშა არმატურა ჩალაგდება ორივე მიმართულებით. შედუღებული რულონური ბადეები მზადდება $B_p$–I კლასის მავთულოვანი არმატურისაგან, დიამეტრით 3...5 მმ. 6...10 მმ დიამეტრის ღეროვანი A–III კლასის არმატურა გამოიყენება, როგორც რულონურ ბადეში (მუშა არმატურის განივი მიმართულებით განლაგება), ასევე ბრტყელ, შედუღებულ ბადეებში. ხელით შეკრული ბრტყელი ბადე მზადდება A–I და A–III კლასის 6...10 მმ-ის ღეროვანი არმატურით ან სქელ ფილებში A–III კლასის 12 მმ და მეტი დიამეტრის ღეროებით. მუშა ღეროებს შორის დაშორებაა 100...200 მმ. გამანაწილებელი, 3...6 მმ დიამეტრის არმატურა ლაგდება ყოველ 250...300 მმ-ზე, მაგრამ არაუშორეს 350 მმ-ისა. ფილის დაარმატურებისას, თუ ეს გაანგარიშებით

შესაძლებელია, ღეროების ნაწილს (არა უმეტეს მუშა არმატურის 50–60%-ისა), ფოლადის ეკონომიის მიზნით, შეწყვეტენ მალში. ბეტონის დამცველი შრე მუშა არმატურისათვის აიღება არანაკლები 10 მმ-ისა, 100 მმ-ზე უფრო სქელ ფილებში – არა უმცირეს 15 მმ-სა.

რკინაბეტონის კოჭების განივი კვეთის ფორმა უმრავლეს შემთხვევაში მართკუთხაა, თუმცა გეხვდება T–სებრი, Ⱶ-სებრი და ტრაპეციის ფორმის კვეთები (ნახ. 2.13). კოჭის განივი კვეთის სიმაღლე აიღება 50 მმ-ის ჯერადი, თუ იგი 600 მმ და ნაკლებია, ხოლო თუ უფრო დიდი სიმაღლისაა – 100 მმ-ის ჯერადი.




ნახ. 2.13. კოჭების განივი კვეთის სახეობა და დაარმატურება:
ა – განივი კვეთის ფორმები; ბ –კვეთში გრძივი არმატურის განლაგება;
გ – ერთმალიანი რკინაბეტონის კოჭის დაარმატურება; დ – დამატებითი გრძივი არმატურა კოჭის გეერდით წახნაგზე, როდესაც $h$>700 მმ–ზე;
1 – მუშა არმატურა; 2 – სამონტაჟო არმატურა; 3 – განივი ღეროები;
4 – არმატურის ბრტყელი კარკასების შემაერთებელი ღეროები

კოჭების დაარმატურება ხდება გრძივი მუშა არმატურით, ძირითადად A–III კლასის ფოლადის 12...32 მმ ღეროებით, იშვიათად A–II კლასის არმატურით. განივ არმატურად გამოიყენება A–I, A–II ან A–III კლასის 6...10 მმ ღეროვანი ან $B_p$–I კლასის 3...5 მმ დიამეტრის მავთულოვანი არმატურა. სამონტაჟო არმატურად ძირითადად აიღება 10...12 მმ A–I კლასის არმატურა. გრძივი, განივი და სამონტაჟო ღეროები გაერთიანებულია შედუღებულ, ბრტყელ ან ხელით შეკრულ სივრცით კარკასებად. ყალიბში ჩაწყობილი რამდენიმე ბრტყელი კარკასი, მოკლე ღეროების მიდუღებით, ერთიანდება სივრცულ კარკასად. მუშა არმატურა გაჭიმულ ზონაში შეიძლება ჩალაგდეს ერთ ან ორ რიგად, ერთმანეთისგან ისეთი დაშორებით, რომ შესაძლებელი გახდეს ბეტონის მჭიდრო, თანაბარი ჩალაგება, მისი არმატურასთან საკმარისი შეჭიდულობის უზრუნველსაყოფად. ამისთვის საჭიროა მუშა ღეროებს

შორის სიმაღლეში დაშორება იყოს არანაკლები ღეროს უდიდესი დიამეტრისა; დაბეტონების გასაადვილებლად ქვედა არმატურისათვის – არანაკლები 25 მმ-სა, ზედასათვის – 35 მმ-ისა. სიგანე შორის ღეროებს შორის მანძილი რეკომენდებულია ქვედა არმატურისათვის – 25 მმ, ზედასთვის – 30 მმ. განივი არმატურის რაოდენობა, დიამეტრი და მათ შორის მანძილი მიიღება გაანგარიშებით ან კონსტრუქციული მოსაზრებით. კოჭებსა და გადახურვის წიბოებში, როდესაც განივკვეთის სიმაღლე $h \le 150$ მმ, აგრეთვე მრავალსიღრუიან პანელებში სიმაღლით $h<300$ მმ-ზე, განივი არმატურა შეიძლება არ მოეწყოს. დანარჩენ შემთხვევებში განივი არმატურა აუცილებელია. როდესაც კოჭის განივკვეთის სიმაღლე $h \le 450$ მმ განივ არმატურებს შორის მანძილი, საყრდენებიდან მალის 1/4 ნაწილზე აიღება არა უმეტეს $h/2$-ისა, მაგრამ არა უმეტეს 150 მმ-ისა; კოჭებისათვის, როდესაც $h>450$ მმ-ზე – არა უმეტეს $h/3$-ისა, მაგრამ არა უმეტეს 500 მმ-ისა. მალის შუა ნაწილში, როდესაც $h>300$ მმ-ზე – არა უმეტეს $(3/4)h$-ისა და არა უმეტეს 500 მმ-ისა. თუ კოჭის განივი კვეთის სიმაღლე $h>700$ მმ-ზე, განივი არმატურის თავისუფალი სიგრძის შესამცირებლად, სიმაღლის ყოველ 400 მმ-ზე ლაგდება გრძივი სამონტაჟო ღეროები, საერთო ფართობით გრძივი მუშა არმატურის განივკვეთების ფართობის არანაკლებ 0,1%-ისა. ხელით შეკრულ სივრცულ კარკასებში განივ არმატურას ცალუღები ეწოდება.

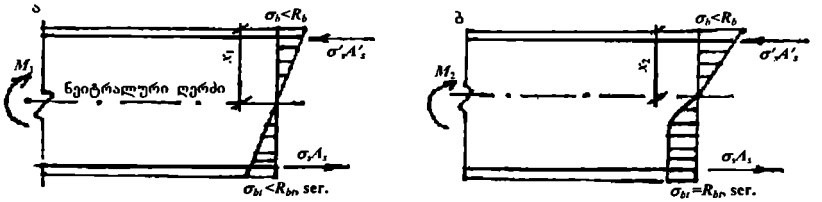
ღუნვადი ელემენტების დაპროექტებისას, ერთი და იმავე ზიდვის უნარის მიღწევა შესაძლებელია კვეთის გეომეტრიული ზომების (ძირითადად სიმაღლის) და დაარმატურების პროცენტის $\mu\% = (A_s / bh_0) \cdot 100$ სათანადო შერჩევით. ეკონომიკური მოსაზრების მიხედვით, ელემენტის განივი კვეთის გაზრდით შეიძლება არმატურის რაოდენობის (განივკვეთის ჯამური ფართობის) შემცირება და პირიქით, დაარმატურების პროცენტის გაზრდით შეიძლება ელემენტის განივი კვეთის სიმაღლის შემცირება. რკინაბეტონის კონსტრუქციის დაპროექტებისას განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს სწორი დაარმატურება: დადგინდეს დაარმატურების ოპტიმალური პროცენტი გამომდინარე იმ მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობიდან, რომელთა ფარგლებიდან გამოსვლა, როგორც ტექნიკურად, ისე ეკონომიკურად გაუმართლებელია. ნორმების მიხედვით, ღუნვადი ელემენტებისათვის მუშა გაჭიმული არმატურით დაარმატურების მინიმალური პროცენტია $\mu_{min}\%=0,05\%$. თუ გაანგარიშებით გამოვიდა ამ რიცხვზე ნაკლები, არმატურა მხედველობაში არ მიიღება, ე.ი. იანგარიშება, როგორც დაუარმატურებელი ბეტონის ელემენტი. დაარმატურების მაქსიმალური პროცენტი დამოკიდებულია ბეტონის კლასზე, არმატურის კლასზე, დიამეტრზე და მოცემულია ნორმებში. დაპროექტების პრაქტიკით მიღებულია, რომ $\mu_{max}\%=3\%$-ს. დაპროექტების გამოცდილების მიხედვით ფილებისათვის დაარმატურების ოპტიმალური პროცენტია $\mu_{opt}\%=0,3...0,6\%$, კოჭებისათვის – $\mu_{opt}\%=1...2\%$.

### 2.1.7.2. ღუნვადი ელემენტის ნორმალური კვეთის დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობათა სტადიები

დატვირთვის ქვეშ რკინაბეტონის კონსტრუქციების რეალური დაძაბული მდგომარეობის დადგენა შესაძლებელია მხოლოდ ცდებით, რომლის მიხედვით ღუნვადი ელემენტის თანდათანობითი დატვირთვისას, ნულიდან მრღვევ სიდიდემდე, ბეტონისა და არმატურის თვისებების მნიშვნელოვანი განსხვავების გამო, ნებისმიერ კვეთში ძაბვები იცვლება განსხვავებულად, არა მარტო რაოდენობრივად, არამედ ხარისხობრივადაც.

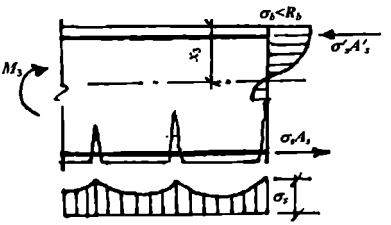
ნორმალური კვეთისათვის განასხვავებენ დაძაბული მდგომარეობის სამ დამახასიათებელ სტადიას.

I სტადია. დატვირთვის ჯერ კიდევ მცირე სიდიდისას ბეტონი და არმატურა კვეთში მუშაობს დრეკადად (ნახ. 2.14,ა). სტადიის ბოლოს (ნახ. 2.14,ბ) გაჭიმულ ბეტონში ვითარდება არადრეკადი დეფორმაციები (მართკუთხა ეპიურა) და ძაბვა უტოლდება ზღვრულ სიდიდეს $(\sigma_{bt} = R_{bt\,ser})$.




ნახ. 2.14. ღუნვადი ელემენტის კვეთის დაძაბული მდგომარეობის I სტადია

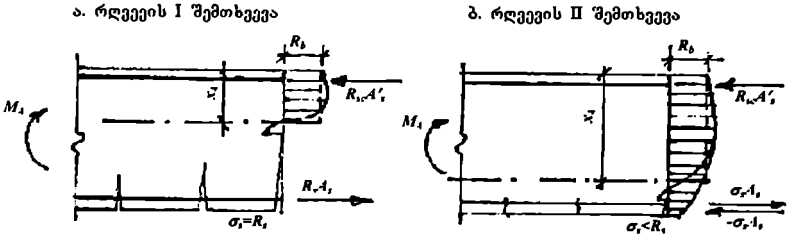
II სტადია. დატვირთვის შემდგომი გაზრდისას გაჭიმულ ბეტონში წარმოიქმნა ბზარი, ე.ი $\sigma_{bt}$=0. შეკუმშულ ბეტონში, შეკუმშულ არმატურასა და გაჭიმულ არმატურაში (ნაჩვენებია ნახაზზე არმატურაში გამჭიმავი ძაბვების ეპიურა) ძაბვას ჯერ არ მიუღწევია თავისი ზღვრული მნიშვნელობისათვის. II სტადია არის ექსპლუატაციის შესაბამისი დაძაბული მდგომარეობა.




ნახ. 2.15. დაძაბული მდგომარეობის II სტადია

III სტადია. ეს რღვევის სტადიაა. მოსალოდნელია რღვევის ორი შემთხვევა: I შემთხვევის დროს (ნახ. 2.16,ა) ჯერ გაჭიმულ არმატურაში აღწევს ძაბვა ზღვრულ

მნიშვნელობას (დენადობას), ხოლო შემდეგ, გაჭიმული არმატურის პლასტიკური დეფორმაციის გამო, შეკუმშულ ზონაში – ბეტონსა და არმატურაში. რღვევის II შემთხვევა (ნახ. 2.16,ბ) მოსალოდნელია, როდესაც კვეთის გაჭიმულ ზონაში ბზარმედეგობის გასაზრდელად ან სხვა მოსაზრებით ჩალაგებულია ჭარბი რაოდენობის არმატურა. მაშინ ძაბვა ზღრულ მნიშვნელობას აღწევს ჯერ შეკუმშულ ზონაში, ბეტონსა და არმატურაში, მაგრამ სანამ ძაბვა გაჭიმულ არმატურაშიც მიაღწევდეს ზღვრულ მნიშვნელობას, შეკუმშული ბეტონი იმსხერევა (პლასტიკური დეფორმაციების სიმცირის გამო) და კვეთიც წყვეტს წინააღმდეგობას. გაჭიმულ ზონაში შესაძლებელია იმდენად ჭარბი არმატურა აღმოჩნდეს, რომ ბეტონი მთლიანად მთელ კვეთში შეიკუმშოს. ცხადია, რღვევის II შემთხვევის შესაბამისი დაარმატურება არაეკონომიურია, რადგან გაჭიმული არმატურის შესაძლებლობები სრულად არ არის გამოყენებული.



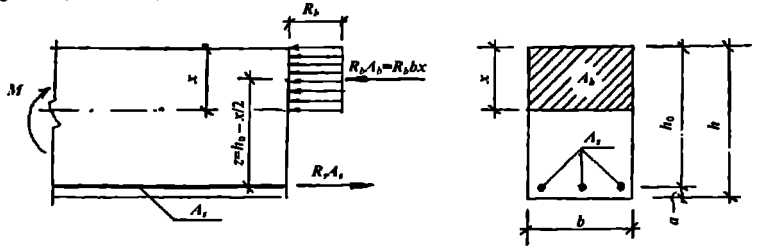

ნახ. 2.16. ღუნვადი ელემენტის კვეთის დაძაბული მდგომარეობის III სტადია

დაძაბული მდგომარეობის I სტადიის დასასრული საფუძვლად უდევს ბზარების წარმოქმნის მიხედვით გაანგარიშებას (II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობა). II სტადია საფუძვლად უდევს გაანგარიშებას, ექსპლუატაციის პირობებში ბზარების გახსნის სიდიდის მიხედვით და ჩაღუნვაზე (II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობები). III სტადიის მიხედვით რკინაბეტონის ელემენტის კვეთი იანგარიშება სიმტკიცეზე (პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობა).

### 2.1.7.3. ღუნვადი ელემენტის ნორმალური, მართკუთხა, ცალფაარმატურიანი კვეთის გაანგარიშება სიმტკიცის მიხედვით

რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტის ღერძის მიმართ ნორმალურ კვეთში გარე დატვირთვებისაგან აღძრული მომენტის მოქმედება გამოიხატება გამჭიმავი და მკუმშავი ძაბვების წარმოქმნით. როდესაც გამჭიმავი ძაბვის ასატანად კვეთის გაჭიმულ მხარეს ჩალაგებულია არმატურა, ხოლო შეკუმშულ ზონაში ძაბვა გადაეცემა მხოლოდ ბეტონს, ასეთ კვეთს ცალფაარმატურიანი ეწოდება. რკინაბეტონისათვის დამახასიათებელია სწორედ ამგვარი კვეთი, რადგან ხელსაყრელია კუმშვაზე მუშაობდეს მხოლოდ ბეტონი. შეკუმშულ ზონაში უნდა იყოს მხოლოდ სამონტაჟო არმატურა, რომელიც ინიშნება კონსტრუქციული მოსაზრებით.

როგორც 2.1.7.2 პარაგრაფში იყო აღნიშნული, სიმტკიცეზე გაანგარიშებას საფუძვლად უდევს დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის III სტადია. იმისათვის, რომ მივიღოთ საანგარიშო სქემა, განსახილველ კვეთს მოვაცილოთ ელემენტის მარჯვენა მხარე და მისი გავლენა შევცვალოთ სათანადო შიდა ძალებით (ნახ. 2.17).




ნახ. 2.17. ღუნეადი ელემენტის ცალფაარმატურიანი კვეთის საანგარიშო სქემა

იმის გამო, რომ კვეთში ძაბვების რეალური განაწილება საკმაოდ რთულია, გამოიყენება ექსპერიმენტულად დასაბუთებული გამარტივება: ა) შეკუმშულ ბეტონში ძაბვების სიდიდე ზღვრული მდგომარეობისას ტოლია $R_b$ საანგარიშო წინაღობისა; ბ) შეკუმშულ ზონაში ძაბვის ნამდვილი განაწილების ეპიურა შეცვლილია მართკუთხა ეპიურით, ანუ ბეტონის შეკუმშულ ფართობზე ძაბვა თანაბრად არის განაწილებული. ასეთი ეპიურის გამოყენება მხოლოდ 2...8% ცდომილებას იძლევა, მაგრამ მნიშვნელოვნად მარტივდება საანგარიშო გამოსახულებები; გ) გაჭიმულ ზონაში ბზარის თავზე არსებული ბეტონის გამჭიმავი ძაბვა, სიმცირის გამო, მხედველობაში არ მიიღება; დ) ზღვრულ მდგომარეობისას გაჭიმულ არმატურაში ძაბვა მიიღება $R_s$ საანგარიშო წინაღობის ტოლი.

ელემენტი რღვევის წინ ზღვრულ წონასწორობაშია, ე.ი. მის მიმართ სამართლიანია წონასწორობის პირობები: $\sum X=0$, $\sum Y=0$ და $\sum M=0$. ჩავთვალოთ ელემენტის ღერძი X ღერძად. მაშინ $\sum X=0$ (X ღერძზე ყველა ძალის გეგმილების ჯამი უდრის ნულს), პირობიდან გვექნება

$$R_bbx-R_sA_s=0,\ \text{საიდანაც}\ x=R_sA_s/R_bb; \tag{2.24}$$

აქ $b$ არის მართკუთხა კვეთის სიგანე, $x$–კვეთის შეკუმშული ზონის სიმაღლე. თუ კვეთის შიდა ძალების მომენტების ჯამს ავიღებთ გაჭიმული არმატურის კვეთის სიმძიმის ცენტრის ან ბეტონის შეკუმშული ზონის სიმძიმის ცენტრის მიმართ, წონასწორობის პირობიდან $\sum M=0$ გვექნება

$$M=R_bbx(h_0-x/2);\qquad M=R_sA_s(h_0-x/2); \tag{2.25}$$

შევცვალოთ ტოლობა უტოლობით, მივიღებთ კვეთის სიმტკიცის პირობას, რადგან თუ გარე დატვირთვის საანგარიშო $M$ მომენტი ნაკლებია შიდა საანგარიშო ძალების მომენტების ჯამზე, კვეთის სიმტკიცე უზრუნველყოფილია:

$$M\le R_bbx(h_0-x/2), \tag{2.26}$$

$$M \le R_s A_s (h_0 - x/2). \qquad (2.27)$$

(2.24) გამოსახულების ორივე მხარე გავყოთ $h_0$-ზე, მივიღებთ

$$\frac{x}{h_0} = \xi = \frac{R_s A_s}{R_b b h_0} = \mu \frac{R_s}{R_b}, \qquad (2.28)$$

სადაც $\mu = A_s / bh_0$ დაარმატურების კოეფიციენტია. თუ მას გავამრავლებთ 100-ზე, მივიღებთ კვეთის დაარმატურების პროცენტს – $\mu$ %-ს; $\xi = x/h_0$ არის კვეთში ბეტონის შეკუმშული ზონის ფარდობითი სიმაღლე. დაპროექტების დროს მოსახერხებელია $\xi$ და $\mu$ უგანზომილებო სიდიდეებით ოპერირება, რადგან შესაძლებელია მათი ტაბულირება და სიდიდეთა ზღვარის დადგენა. დაარმატურების პირობიდან ცნობილია, რომ $\mu_{min}$%=0,05%, ხოლო $\mu_{max}$%=3%-ს. დაპროექტების გამოცდილებიდან ფილებისათვის ოპტიმალურია დაარმატურების პროცენტი 0,3...0,6%, კოჭებისათვის – 1...2%. შეკუმშული ზონის ფარდობითი სიმაღლე განსაზღვრაეს თუ რამდენად რაციონალურად არის ელემენტი დაარმატურებული და კვეთის რღვევის რომელ შემთხვევას აქვს ადგილი: I შემთხვევა $(\xi \le \xi_R)$, როდესაც კვეთში ძაბვა ზღვრულ მნიშვნელობას აღწევს ჯერ არმატურაში და შემდგომ ბეტონში, თუ II შემთხვევა $(\xi > \xi_R)$, $\xi$ იმდენად დიდია, რომ კვეთის რღვევა იწყება შეკუმშული ბეტონის მსხვრევით და არმატურის შესაძლებლობა გამოუყენებელი რჩება. $\xi_R$ კვეთის შეკუმშული ზონის სასაზღვრო ფარდობითი სიმაღლეა, რომლის დროსაც შეკუმშულ ბეტონსა და გაჭიმულ არმატურაში ძაბვა ერთდროულად აღწევს $R_b$ და $R_s$ საანგარიშო წინაღობას. ექსპერიმენტებით დადგენილია შეკუმშული ზონის $\xi$ ფარდობითი სიმაღლის დამოკიდებულება გაჭიმული არმატურის დეფორმაციასთან, რის საფუძველზეც

$$\xi_R = \frac{\omega}{1 + \frac{R_s}{R_{sc}}\left(1 - \frac{\omega}{1.1}\right)}, \qquad (2.29)$$

სადაც $\omega = \alpha - 0{,}008 R_b$ ($\alpha$=0,85 მძიმე ბეტონისთვის, $\alpha$=0,8 – მსუბუქისთვის), $R_b$, $R_s$, $R_{sc}$ საანგარიშო წინაღობებია ბეტონში, გაჭიმულ და შეკუმშულ არმატურაში.

I შემთხვევა $(\xi \le \xi_R)$.

პრაქტიკული გაანგარიშების გამარტივებისათვის (2.26) და (2.27) ფორმულებში შემოღებულია უგანზომილებო პარამეტრები. მაგალითად, (2.26) ფორმულაში თუ გავითვალისწინებთ, რომ $x = \xi h_0$ და ფრჩხილებს გარეთ გავიტანთ $h_0$-ს, მივიღებთ

$$M = R_b b h_0^2 \xi (1 - 0{,}5\xi) = A_0 R_b b h_0^2, \qquad (2.30)$$

სადაც $A_0 = \xi(1 - 0{,}5\xi)$; $\xi = 1 - \sqrt{1 - 2A_0}$; $h_0 = \sqrt{M/(A_0 R_b b)}$.

ანალოგიურად, (2.27) ფორმულის გარდაქმნით მივიღებთ

$$M = R_s A_s h_0 (1 - 0{,}5\xi) = R_s A_s h_0 \eta, \qquad (2.31)$$

აქ $\eta = 1 - 0{,}5\xi$ (2.31)-დან

$$A_s = M / R_s \eta h_0. \qquad (2.32)$$

მიღებული ფორმულები სამართლიანია, თუ სრულდება პირობა

$$A_0 = \xi(1-0{,}5\xi) \le A_R = \xi_R(1-0{,}5\xi_R). \quad (2.33)$$

მაქსიმალური მომენტი რისი ატანაც შეუძლია ცალფაარმატურიან კვეთს

$$M_{max} = A_R R_b b h_0^2. \quad (2.34)$$

$\xi, A_R, \eta$ უგანზომილებო სიდიდეები ურთიერთკავშირშია და საკმარისია გავიანგარიშოთ ან დავნიშნოთ ერთ-ერთი, რომ დანარჩენი ცნობილია სპეციალურად შედგენილი ცხრილის მიხედვით (დანართი 2.1.5).

II შემთხვევა – $(\xi > \xi_R)$. საანგარიშო ფორმულები იგივეა, რაც I შემთხვევისას, ოღონდ, რადგან გაჭიმულ არმატურაში ძაბვა ვერ აღწევს $R_s$ წინაღობას, საანგარიშო ფორმულაში მის ნაცვლად ჩაისმება $\sigma_s$

$$M \le R_b b x(h_0 - x/2); \quad (2.35)$$

$$M \le \sigma_s A_s(h_0 - x/2); \quad (2.36)$$

$$\sigma_s A_s = R_b b x; \quad x = \sigma_s A_s / R_b b. \quad (2.37)$$

როდესაც რკინაბეტონის ელემენტის ბეტონის კლასია B30 და ნაკლები, ხოლო არმატურა A–III და ნაკლები კლასისაა, $\sigma_s$ გამოითვლება ემპირიული ფორმულით

$$\sigma_s = \left(2\frac{1-\xi}{1-\xi_R} - 1\right)R_s. \quad (2.38)$$

პრაქტიკული გაანგარიშებისას შეკუმშული ზონის ფარდობით სიმაღლეს იღებენ $\xi_R$ სასაზღვრო სიდიდის ტოლს. მაშინ მომენტი, რომელსაც აიტანს კვეთი, იქნება

$$\overline{M} = R_b b h_0^2 \xi_R(1-0{,}5\xi_R) = A_R R_b b h_0^2. \quad (2.39)$$

შევადარებთ მას გარე საანგარიშო დატვირთვისაგან წარმოქმნილ $M$ მომენტს და თუ პირობა $M \le \overline{M}$ დაცულია, კვეთის სიმტკიცე უზრუნველყოფილია.

### 2.1.7.4. ღუნვადი ელემენტის ნორმალური, მართკუთხა, ორფაარმატურიანი კვეთის გაანგარიშება სიმტკიცის მიხედვით

ორფაარმატურიანია კვეთი, როდესაც მუშა არმატურა განლაგებულია როგორც გაჭიმულ, ისე შეკუმშულ ზონაში. თუ დავუშვებთ, რომ შეკუმშულ ზონაში საანგარიშო არმატურის ფართობი ნულის ტოლია, მაშინ გვექნება ცალფაარმატურიანი კვეთი. რკინაბეტონისათვის უფრო დამახასიათებელია ამგვარი კვეთი, რადგან კუმშვაზე ხელსაყრელია მუშაობდეს მხოლოდ ბეტონი. შეკუმშულ ზონაში უნდა იყოს მხოლოდ სამონტაჟო არმატურა, რომელიც ინიშნება კონსტრუქციული მოსაზრებით.

თუ ცალფაარმატურიან კვეთს არ ძალუძს აიტანოს გარე დატვირთვისაგან აღძრული მომენტი იმის გამო, რომ შეკუმშული ბეტონი ვერ უძლებს შესაბამის მკუმშავ ძალას, მაშინ მოსალოდნელია კვეთის რღვევა შეკუმშული ბეტონის მსხვრევის გამო (რღვევის II შემთხვევა). ეს შესაძლებელია მოხდეს შეკუმშული ბეტონის დაბალი სიმტკიცის, განიკვეთის მცირე გეომეტრიული ზომების ან

გაჭიმული არმატურის დიდი რაოდენობის (ჭარბარმატურიანი კვეთი) შედეგად. ეს უმრავლეს შემთხვევაში სასურველი არ არის კონსტრუქციული და ეკონომიკური მოსაზრებით, ამიტომ მიმართავენ შეკუმშული ზონის გაძლიერებას – უფრო მტკიცე ბეტონის გამოყენებით, კვეთის ზომების გაზრდით (იზრდება შეკუმშული ზონის ფართობი – მცირდება მკუმშაეი ძაბვა) ან მუშა არმატურის ჩალაგებით შეკუმშულ ზონაში. იმ შემთხვევაში, როდესაც გამოყენებული ბეტონის სიმტკიცე ნორმებით რეკომენდებულს შეესაბამება, ან რაიმე მიზეზით არ შეიძლება მისი გაზრდა, ხოლო კონსტრუქციის განივკვეთის ზომების შეცვლა არქიტექტურული ან კონსტრუქციული მოსაზრებით შეუძლებელია, მაშინ რჩება მხოლოდ მუშა არმატურის ჩალაგება შეკუმშულ ზონაში, ე.ი. ვიღებთ ორფაარმატურიან კვეთს. ასეთი კვეთი არაეკონომიურია: 1) შეკუმშულ ზონაში საჭიროა უფრო ძვირი მუშა არმატურის კლასი – A–III, მაშინ, როდესაც კონსტრუქციული არმატურისათვის A–I-იც საქმარისია; 2) მუშა არმატურის რაოდენობა და დიამეტრი შეიძლება კონსტრუქციულზე მეტი აღმოჩნდეს; 3) განივი არმატურა შეკუმშულ ზონაში უნდა ჩალაგდეს უფრო ხშირად (ბიჯი 15d ხელით შეკრულ კარკასში და 20d – შედუღებულში), რომ შეკუმშულ მუშა არმატურას არ მიეცეს ამობურცვის საშუალება.

აღსანიშნავია ის გარემოება, რომ არმატურის გამოყენება შეკუმშულ ზონაში შეზღუდულია ბეტონის მცირე დეფორმირებადობის გამო, რადგან ღეროვანი არმატურა ბეტონის რღვევის შემდეგ კუმშვაზე დამოუკიდებლად ვერ იმუშავებს – მხოლოდ აიღუნება. ბეტონის საშუალო ზღვრული ფარდობითი დეფორმაცია $\varepsilon_{bu}$ = 0,002-ს. ამ დროს არმატურაშიც განვითარდება იმავე სიდიდის $\varepsilon_s$ დეფორმაცია, რადგან იგი ბეტონთან ერთად იკუმშება. გამოვთვალოთ შესაბამისი $\sigma_{sc}$ ძაბვა არმატურაში

$$\sigma_{sc} = \varepsilon_s E_s = \varepsilon_{bu} \cdot E_s = 0{,}002 \cdot 2 \cdot 10^5 = 400 \text{ მგპა}. \qquad (2.40)$$

გამოთვლის შედეგად ჩანს, თუ შეკუმშულ ზონაში ჩავალაგებთ ისეთ არმატურას, რომლის წინაღობა ნაკლებია ან ტოლი 400 მგპა-ზე (A–II, A–III–კლასი), მაშინ მისი შესაძლებლობები, მთლიანად გამოიყენება. თუ A–IV–კლასის არმატურას გამოვიყენებთ – მაშინ ნაწილობრივ. ხანგრძლივი დატვირთვის მოქმედებისას, როდესაც $\gamma_b$<1, მაშინ $\varepsilon_{bu}$=0,0025. ცხადია, ამ დროს, მაქსიმალურად შესაძლებელი ძაბვა შეკუმშულ არმატურაში $\sigma_{sc}$ = 500 მგპა-ს.

საანგარიშო სქემა ორფაარმატურიანი მართკუთხა კვეთისათვის მოცემულია 2.18 ნახაზზე. სიმტკიცის საანგარიშო ფორმულა (სიმტკიცის პირობა) ჩაიწერება $\sum M = 0$ წონასწორობის პირობიდან

$$M \le M_b + M'_s = R_b b x\left(h_0 - \frac{x}{2}\right) + R_{sc} A'_s (h_0 - a') = A_0 R_b b h_0^2 + R_{sc} A'_s (h_0 - a') \qquad (2.41)$$

აქ $M_b$ არის მომენტი, რომლის ატანა შეუძლია შეკუმშულ ბეტონს და მის შესაბამის გაჭიმულ არმატურას;

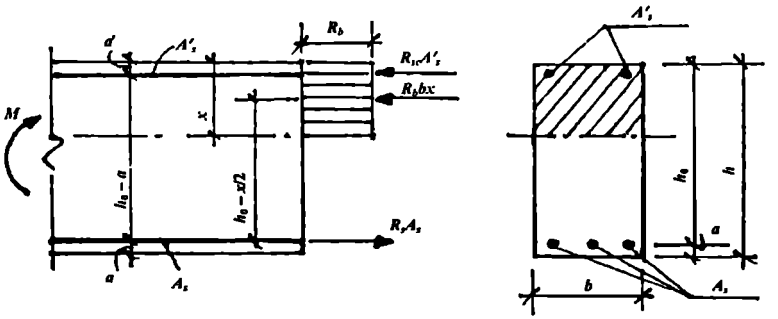
$M'_s$ –მომენტი, რომლის ატანა შეუძლია შეკუმშულ არმატურას და გაჭიმული არმატურის დარჩენილ ნაწილს.

პირობიდან $\sum X = 0$, გამოვთვლით ბეტონის შეკუმშული ზონის სიმაღლეს

$$R_b bx + R_{sc} A'_s = R_s A_s,$$

საიდანაც

$$x = \frac{R_s A_s - R_{sc} A'_s}{R_b b}. \qquad (2.42)$$




ნახ. 2.18. ღუნვადი ელემენტის ორფაარმატურიანი კვეთის საანგარიშო სქემა

ორფაარმატურიანი კვეთის სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას შეიძლება შეგეხვდეს ორი ტიპის ამოცანა: 1. შეკუმშულმა ბეტონმა ამოწურა თავისი შესაძლებლობები ანუ ბეტონს გადაეცემა მკუმშავი ძალის ის ნაწილი, რისი ატანაც მას შეუძლია, ხოლო დანარჩენი ძალის ასატანად ლაგდება შეკუმშული არმატურა, რომლის რაოდენობა უცნობია და უნდა გამოვთვალოთ; 2. შეკუმშულ ზონაში ჩალაგებული არმატურის რაოდენობა წინასწარ არის დანიშნული კონსტრუქციული მოსაზრებით ან იმის გამო, რომ ელემენტზე მოქმედებს ცვლადი ნიშნის მღუნავი მომენტები.

პირველი ტიპის ამოცანის გადაწყვეტისათვის ცნობილია, რომ $\xi = \xi_R$, ე.ი. $A_0 = A_R$. მაშინ შიდა და გარე მომენტების ტოლობიდან გვაქვს

$$M'_s = R_{sc} A'_s (h_0 - a') = M - M_b = M - A_0 R_b b h_0^2 = M - A_R R_b b h_0^2,$$

საიდანაც

$$A'_s = \frac{M - A_R R_b b h_0^2}{R_{sc}(h_0 - a')}. \qquad (2.43)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $x = x_R = \xi_R h_0$, მაშინ პირობიდან $\sum X = 0$ (ფორმულა 2.42) განვსაზღვრავთ გაჭიმული არმატურის $A_s$ ფართობს

$$A_s = \frac{R_{sc} A'_s + R_b b \xi_R h_0}{R_s}; \qquad (2.44)$$

მეორე ტიპის ამოცანის ამოხსნისათვის, როდესაც ცნობილია $A'_s$, პირობიდან $\sum M = 0$, განვსაზღვრავთ $A_0$-ს (ფორმულა 2.41).

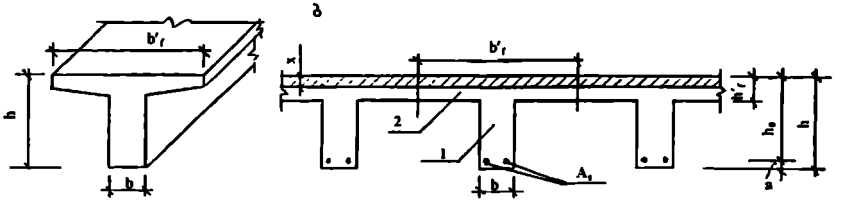
$$A_0 = \frac{M - R_{sc} A'_s (h_0 - a')}{R_b b h_0^2}. \qquad (2.45)$$

$A_0$-ის მიხედვით სათანადო ცხრილიდან (დანართი 2.1.5) მოვძებნით შესაბამის $\xi$-ს, გავითვალისწინებთ, რომ $x = \xi h_0$, შევიტანთ (2.44) გამოსახულებაში და განვსაზღვრავთ გაჭიმული არმატურის ფართობს

$$A_s = \frac{R_c A'_s + R_b b \xi h_0}{R_s}. \qquad (2.46)$$

### 2.1.7.5. T-სებრი კვეთის ელემენტები

T-სებრი განივი კვეთის ელემენტები ფართოდ გამოიყენება მონოლითურ ცალკეული კოჭის (ნახ. 2.19,ა), პანელის სახით ან როგორც მონოლითური სართულთაშორისი გადახურვის შემადგენელი ნაწილი (ნახ. 2.19,ბ). ცდებით დადგენილია, რომ წიბოსაგან დაშორებულ თაროს ბოჭკოებში მკუმშავი ძაბვა მცირდება. ამიტომ ნორმები ზღუდავს თაროს შეერილების სიდიდეს – წიბოდან ორივე მხარეს. იგი უნდა იყოს არა უმეტესი მალის 1/6-ისა და არა უმეტესი: ა) თუ $h'_f \geq 0.1h$–წიბოებს შორის მანძილის ნახევრისა (ნახ. 2.19,ბ), ბ) თუ $h'_f < 0,1h - 6h'_f$-ისა.




ნახ. 2.19. T-სებრი კვეთის ღუნვადი ელემენტები:
1– წიბო; 2 – თარო

ცალკეულ T-სებრი განიეკვეთის კოჭებში თაროს კონსოლური შეერილების და $b'_f$ სიგანის სიდიდე აიღება: ა) თუ $h'_f \geq 0,1h - 6h'_f$; $b'_f = b + 12h'_f$; ბ) თუ $h'_f < 0,05h$ თაროს შეერილები მხედველობაში არ მიიღება და განიხილება როგორც $b$ სიგანის სწორკუთხა კვეთი.

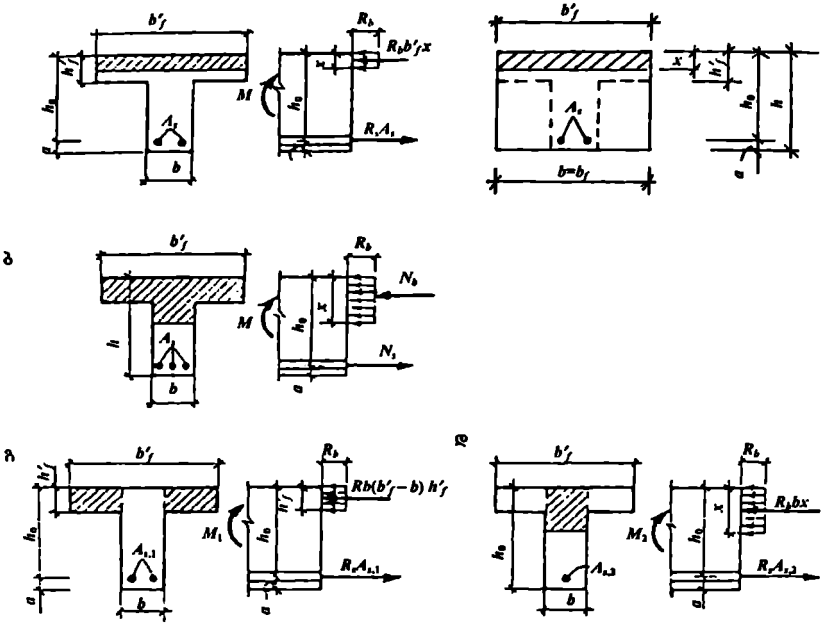
T-სებრი განიეკვეთის კოჭის სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას განიხილავენ ორ შემთხვევას: შეკუმშული ზონა თაროს ფარგლებშია $(x \leq h'_f)$ (ნახ. 2.20,ა) ან მოიცავს წიბოს ნაწილსაც $(x > h'_f)$ (ნახ. 2.20,ბ).

შემთხვევა 1 $(x \leq h'_f)$ გვხვდება, როდესაც თაროს სისქე საკმარისია გარე დატვირთვისაგან აღძრული მკუმშავი ძაბვების ასატანად. ამ შემთხვევის დასადგენად უნდა შესრულდეს პირობა

$$M \leq \overline{M}_{x=h'_f} = R_b b'_f h'_f (h_0 - x/2). \qquad (2.47)$$

ასეთი ტიპის T-სებრი კვეთი იანგარიშება, როგორც ცალფაარმატურიანი მართკუთხა კვეთი, რომლის ზომებია $b'_f \times h$, რადგან გაჭიმული ბეტონის ფართობი ზიდვის უნარზე (სიმტკიცეზე) გავლენას არ ახდენს.

გაანგარიშებისათვის იყენებენ (2.35), (2.37) და (2.38) ფორმულებს, რომლებშიც სწორკუთხა კვეთის $b$ სიგანე შეცვლილია T-სებრი კვეთის თაროს $b'_f$ სიგანით:




ნახ. 2.20. T-სებრი კვეთის საანგარიშო სქემები

$$R_b b'_f x - R_s A_s = 0, \tag{2.48}$$

$$M \le R_b b'_f x (h_0 - x/2), \tag{2.49}$$

$$M \le R_s A_s (h_0 - x/2). \tag{2.50}$$

(2.48)-დან შეკუმშული ზონის სიმაღლე $x = R_s A_s / R_b b'_f$ ; $x$-ის მნიშვნელობას თუ შევიტანთ (2.50)-ში გავიგებთ არმატურის საჭირო ფართობს

$$A_s = \frac{M}{R_s (h_0 - x/2)}. \tag{2.51}$$

შემდეგ (2.47)-ის მიხედვით შევამოწმებთ კვეთის სიმტკიცეს.

შემთხვევა 2 $\left(x > H_f\right)$ გვექნება თუ ზემოთ მოყვანილი პირობა არ შესრულდა. მაშინ საანგარიშო სქემა იყოფა ორ ნაწილად (ნახ. 2.20, გ). სიმტკიცის პირობა იქნება $M \le \overline{M}_1 + \overline{M}_2$. თითოეული იანგარიშება, როგორც მართკუთხა განივი კვეთის ღუნვადი ელემენტი: 1. $\overline{M}_1$-ის შემთხვევაში შეკუმშული ზონა არის თაროს შვერილების ფართობი $\left(b'_f - b\right) \cdot H_f$, კვეთის სიმაღლეა $h$. განისაზღვრება შესაბამისი ზღვრული $\overline{M}_1$ მომენტი და არმატურის $A_{s1}$ ფართობი. 2. $\overline{M}_2$-ის გამოთვლისას შეკუმშული ზონის ფართობია $b \cdot x$, კვეთის სიმაღლე – $h$. აქაც განისაზღვრება შესაბამისი ზღვრული $\overline{M}_2$ მომენტი და არმატურის $A_{s2}$ ფართობი. ცხადია, T-სებრი

კეეთის გაჭიმული, მუშა არმატურის განივი კეეთის ჯამური ფართობი იქნება $A_{s1}+A_{s2}$.

2.20, გ ნახაზიდან გვექნება:

$$\overline{M}_1 = R_b(b'_f - b)h'_f(h_0 - h'_f/2), \tag{2.52}$$

$$\overline{M}_1 = R_s A_{s,1}(h_0 - h'_f/2). \tag{2.53}$$

თუ განვსაზღვრავთ (2.52)-დან $\overline{M}_1$-ს, მაშინ (2.53)-დან გვექნება

$$A_{s,1} = \frac{\overline{M}_1}{R_s(h_0 - h'_f/2)}. \tag{2.54}$$

ანალოგიურად, 2.20, დ ნახაზიდან –

$$\overline{M}_2 = R_b bx(h_0 - x/2) = R_b bh_0^2 A_0.$$

საიდანაც $A_0 = \frac{\overline{M}_2}{R_b bh_0^2}$; ცხრილიდან (დანართი 2.1.5) მოვძებნოთ შესაბამის $\eta$-ს. მაშინ გამოსახულებიდან $\overline{M}_2 \le R_s A_{s,2} h_0 \eta$ გვექნება $A_{s,2} = \frac{\overline{M}_2}{R_s h_0 \eta}$; საბოლოოდ $A_s = A_{s,1} + A_{s,2}$

### 2.1.7.6. ღუნვადი ელემენტის დახრილი კვეთის გაანგარიშება სიმტკიცის მიხედვით

#### 2.1.7.6.1. ძირითადი საანგარიშო დებულებები

ღუნვად ელემენტებში საყრდენებთან, განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ერთობლივი მოქმედებით, წარმოიქმნება მთავარი გამჭიმავი და მთავარი მკუმშავი ძაბვები

$$\sigma_{\substack{mt\\mc}} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2}{4} - \tau_{xy}^2}. \tag{2.55}$$

აქ $\sigma_x$ და $\sigma_y$ $x$ და $y$ ღერძების მიმართ ნორმალური ძაბვებია;

$\tau_{xy}$ – მხები ძაბვები ($x$ ღერძი, იმაეე ელემენტის გრძივი ღერძია).

ელემენტში მოსალოდნელია დახრილი ბზარის წარმოქმნა, ხოლო არასაკმარისი არმატურის შემთხვევაში – რღვევა, თუ მთავარი გამჭიმავი $\sigma_{mt}$ ძაბვა მიაღწევს ზღვრულ $R_{bt}$-ს მნიშვნელობას, ხოლო თუ მთავარი მკუმშავი $\sigma_{mc}$ ძაბვა – ზღვრულ $R_b$ სიდიდეს, მაშინ დახრილ ბზარებს შორის მოთავსებული ბეტონის ზოლი დაირღვევა კუმშვისაგან. ბზარის დახრის კუთხე დამოკიდებულია ელემენტის დაარმატურების სახეობაზე, განივი კვეთის ზომებზე, ბეტონისა და არმატურის სიმტკიცის მახასიათებლებზე და საყრდენთან ახლოს შეყურსული დატვირთვის არსებობაზე.

მართალია, დახრილი ბზარი წარმოიქმნება $M$ მომენტისა და $Q$ განივი ძალის ერთობლივი მოქმედებით, მაგრამ დახრილი კვეთის გაანგარიშება

სიმტკიცეზე ხდება ცალკე განივი ძალისა და ცალკე მღუნავი მომენტის მოქმედებაზე.

დახრილ ბზარებს შორის ბეტონის ზოლის სიმტკიცე მთავარი მკუმშავი ძაბვების მიხედვით, უზრუნველყოფილია თუ დაცულია შემდეგი პირობა

$$Q \le 0{,}3\varphi_{w1}\varphi_{b1}R_b b h_0 . \qquad (2.56)$$

$\varphi_{w1}$ კოეფიციენტი ითვალისწინებს საკიდების გავლენას, $\varphi_{b1}$ კოეფიციენტი – ბეტონის სიმტკიცის გავლენას, ორივე კი გამოითვლება ნორმების მიხედვით. თუ ზემოთ მოყვანილი პირობა არ სრულდება, მაშინ საჭიროა ელემენტის განივკვეთის გეომეტრიული ზომების გაზრდა.

დახრილ ბზარზე ელემენტის სიმტკიცე $M$ მომენტის მოქმედების გამო უზრუნველყოფილია, თუ დახრილი ბზარის დასაწყისში გრძივი მუშა არმატურა საკმარისია უშუალოდ აქ გაელებულ ნორმალურ კვეთში მოქმედი მღუნავი მომენტის ასატანად, ამავე დროს, ეს არმატურა საყრდენზე საიმედოდ არის ჩაანკერებული (ჩამაგრებული), ნორმების სათანადო კონსტრუქციული რეკომენდაციების გათვალისწინებით, მაშინ მღუნავი მომენტის მოქმედების მიხედვით დახრილი კვეთის სიმტკიცეზე გაანგარიშება არ არის საჭიროებული.

### 2.1.7.6.2. მართკუთხაკვეთიანი ელემენტის დახრილი კვეთის გაანგარიშება სიმტკიცეზე განივი ძალის მიხედვით

დახრილი ბზარი ელემენტში არ წარმოიქმნება თუ დაცულია პირობა

$$\sigma_{mt} \le \gamma_{b3} R_{bt,ser} . \qquad (2.57)$$

აქ მძიმე ბეტონისათვის $\gamma_{b3}$=0,6, მსუბუქი ბეტონისათვის – $\gamma_{b3}$=0,4. იგი ითვალისწინებს დახრილ კვეთში ბეტონის ორღერძა დატვირთვის გავლენას მის ბზარმედეგობაზე. მართლაც, თუ გაჭიმულ ელემენტს მეორე მიმართულებით შეეკუმშავთ, იგი აღმოჩნდება ორღერძა დატვირთვის ქვეშ (გაჭიმვა-კუმშვა, ისევე, როგორც დახრილ კვეთშია მთავარი გამჭიმავი და მთავარი მკუმშავი ძაბვების ერთდროული მოქმედებით). ვიცით, რომ მკუმშავი ძალა თავისი მოქმედების მართობი მიმართულებით იწვევს გაჭიმვის დეფორმაციას, ე.ი. გამჭიმავ ძაბვას, რომელიც ემატება უშუალოდ გამჭიმავი ძალისაგან წარმოქმნილ გამჭიმავ ძაბვას და კვეთში აღიძერება უფრო მეტი გამჭიმავი ძაბვა, ვიდრე მხოლოდ გაჭიმვის (ერთღერძა დატვირთვის) დროს იყო მოსალოდნელი; $R_{bt,ser}$ ბეტონის საანგარიშო წინაღობაა გაჭიმვაზე, როდესაც საიმედოობის კოეფიციენტი $\gamma_{bt}=1$, ე.ი. ფაქტობრივად ნორმატიული წინაღობაა.

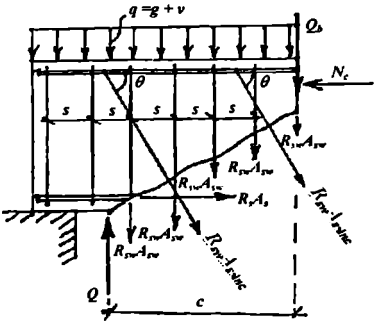
ზემოთ მოყვანილი (2.57) პირობა თუ არ შესრულდა, მაშინ გაჩნდება დახრილი ბზარი და საჭიროა მასზე გამავალი დახრილი კვეთის გაანგარიშება სიმტკიცეზე. დახრილ კვეთში იმდენი არმატურა უნდა ჩალაგდეს, ისეთი ბიჯით, რომ უზრუნველყოფილი იქნეს მისი სიმტკიცე.

განვიხილოთ დახრილი კვეთის საანგარიშო სქემა, ისევე, როგორც ეს იყო ნორმალური კვეთის დროს: გავკვეთოთ ელემენტი დახრილ ბზარზე, მოვდოთ

შესაბამისი ძალა და განივიხილოთ მარცხენა მხარის (ნაწილის) წონასწორობა. პირობიდან $\sum y = 0$ ($y$ ღერძი ელემენტის გრძივი $x$ ღერძის მართობია). შეცვალოთ ტოლობა უტოლობით, მივიღებთ დახრილი კვეთის სიმტკიცის პირობას

$$Q \le Q_{sw} + Q_{s,inc} + Q_b = \sum R_{sw} A_{sw} + \sum R_{sw} A_{s,inc} \sin\theta + Q_b . \qquad (2.58)$$

აქ $Q$ გარე საანგარიშო დატვირთვისაგან აღძრული მაქსიმალური განივი ძალაა დახრილი კვეთის ფარგლებში;




ნახ. 2.21. ღუნვადი ელემენტის დახრილი კვეთის საანგარიშო სქემა

$Q_{sw}$ და $Q_{s,inc}$ განივი ძალებია, რომელთა ატანა შეუძლია განივ და აღუნულ არმატურებს; $Q_b$ არის განივი ძალა, რისი ატანაც შეუძლია შეკუმშულ ბეტონს დახრილ კვეთში. ემპირიული გამოკვლევით მართკუთხა კვეთისა და მძიმე ბეტონისათვის

$$Q_b = \frac{\varphi_{b2} R_{bt} b h_0^2}{c} = \frac{M_b}{c}, \qquad (2.59)$$

მაგრამ, არა უმეტესი $2{,}5 R_{bt} b h_0$ და არა უმცირესი $0{,}6 R_{bt} b h_0$.

$c$ დახრილი ბზარის პროექციაა ელემენტის ღერძზე; $A_{sw}$ და $A_{s,inc}$ განივი არმატურისა და აღუნული ღეროების განივკვეთის ფართობებია განივი არმატურის განლაგების ერთ სიბრტყესა და აღუნვის ერთ სიბრტყეში; $\theta$ აღუნული ღეროს დახრის კუთხეა ელემენტის ღერძთან; $\varphi_{b2}$ – ექსპერიმენტული კოეფიციენტია დამოკიდებული ბეტონის სახეობაზე. მძიმე ბეტონისათვის $\varphi_{b2} = 2{,}0$; $R_{sw} = 0{,}8 R_s$ არის განივი არმატურისა და აღუნული ღეროების საშუალო საანგარიშო წინაღობა დახრილ ბზარში. რადგან დახრილი ბზარის გახსნის სიდიდე ელემენტის გაჭიმული კიდედან ბზარის წვეროსაკენ თანდათან მცირდება, ამიტომ დახრილ ბზარში განლაგებულ განივ და დახრილ არმატურებში ძაბვები არათანაბრადაა განაწილებული (ბზარის წვეროსთან განლაგებულ არმატურებში – ნაკლებია ზღვრულ მნიშვნელობაზე). ამ უთანაბრობის გასათვალისწინებლად გამოყენებულია არმატურის საშუალო საანგარიშო $R_{sw} = 0{,}8 R_s$ წინაღობა.

### 2.1.7.6.3. განივად დაარმატურებული ელემენტების დახრილი კვეთის გაანგარიშება

დაპროექტების პრაქტიკაში ძირითადად გაურცელებულია განივი დაარმატურება საკიდების (ცალუღების) მეშვეობით აღუნული ღეროების გარეშე. ასეთი შემთხვევისათვის (2.58) საანგარიშო პირობა დაიწერება შემდეგნაირად

$$Q \le Q_{sb} = Q_{sw} + Q_b . \qquad (2.60)$$

თუ განივი ღეროები ერთნაირი დიამეტრისაა და განლაგებულია ერთნაირი ბიჯით, მაშინ შეიძლება მათი განხილვა, როგორც ელემენტის სიგრძეზე უწყვეტად განაწილებულ განივ დაარმატურებად $q_{sw}$ ინტენსიურობით, ხოლო $Q_{sw}$ განისაზღვრება ფორმულით

$$Q_{sw} = q_{sw} c , \qquad (2.61)$$

სადაც $c$ არის დახრილი ბზარის ელემენტის ღერძზე პროექციის სიდიდე;

$q_{sw}$ – ძალა მოსული ელემენტის სიგრძის ერთეულზე, რომლებსაც აიტანს განივი ღეროები, დახრილი ბზარის ფარგლებში

$$q_{sw} = \frac{R_{sw} \cdot n \cdot A_{sw,1}}{s} . \qquad (2.62)$$

აქ $A_{sw,1}$ ერთი განივი ღეროს განივკვეთის ფართობია; $n$ – განივი ღეროების რაოდენობა ელემენტის ღერძისადმი ნორმალურ ერთ სიბრტყეში; $s$ – განივი არმატურის ბიჯი.

(2.59) და (2.61)-ის გათვალისწინებით (2.60) გამოსახულება მიიღებს სახეს

$$Q_{sb} = Q_{sw} + Q_b = q_{sw} \cdot c + \frac{M_b}{c} . \qquad (2.63)$$

(2.63) ფორმულიდან ჩანს, რომ დახრილი ბზარის $c$ პროექციის გაზრდით იზრდება განივი არმატურის (საკიდების) მიერ ატანილი განივი ძალა, ხოლო ბეტონის მიერ ატანილი-მცირდება. იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ საშიში დახრილი ბზარის პროექცია $c_0$, რომლის დროს განივ არმატურას და შეკუმშულ ბეტონს ერთობლივად შეუძლიათ აიტანონ უმცირესი განივი ძალა, გამოვიყენოთ ფუნქციის ექსტრემუმის განსაზღვრის წესი ანუ $Q_{sb}$-ს კერძო წარმოებული $c_0$-ით გავუტოლოთ ნულს

$$\frac{\partial Q_{sb}}{\partial c_0} = q_{sw} - \frac{M_b}{c_0^2} = 0 , \text{ საიდანაც}$$

$$c_0 = \sqrt{\frac{M_b}{q_{sw}}} = \sqrt{\frac{\varphi_{b2} R_{bt} b h_0^2}{q_{sw}}} . \qquad (2.64)$$

ცდების მონაცემების საფუძველზე, ნორმების რეკომენდაციით, $c_0$-ს დანიშვნისას უნდა იყოს დაცული პირობა $h_0 < c_0 < 2h_0$.

იმისათვის, რომ გამოვრიცხოთ ორ მეზობელ განივ არმატურის (საკიდებს) შორის დახრილი ბზარის წარმოქმნა საჭიროა, რომ განივი ძალა ამ მონაკვეთზე უნდა აიტანოს მხოლოდ ბეტონმა ანუ დაკმაყოფილდეს პირობა

$$Q \le Q_b = \frac{\varphi_{b2} R_{bt} b h_0^2}{c}. \qquad (2.65)$$

თუ ჩავთვლით, რომ $c = s$ და შემოვიტანთ 0,75 კოეფიციენტს, რომელიც ითვალისწინებს საკიდების დაყენებისას მოსალოდნელ უზუსტობებს. მივიღებთ საკიდების $s$ ბიჯის მაქსიმალურ სიდიდეს, რომლის დროს დახრილი ბზარი არ გაიყლის ორ მეზობელ საკიდს შორის

$$S_{\max} = \frac{0{,}75\varphi_{b2} R_{bt} b h_0^2}{Q}. \qquad (2.66)$$

რკინაბეტონის კონსტრუქციების ნორმების [1] მიხედვით, განივ ღეროებს შორის მანძილი უნდა აკმაყოფილებდეს, აგრეთვე, კონსტრუქციულ მოთხოვნებს: საყრდენებთან, მალის მეოთხედ მანძილზე, თანაბრად განაწილებული დატვირთვის მოქმედებისას, განივი არმატურის ბიჯი უნდა იყოს: როდესაც ელემენტის კვეთის სიმაღლე $h = 450$ მმ – არაუმეტეს $h/2$ და არაუმეტეს 150მმ. თუ $h > 450$ მმ – არაუმეტეს $h/3$ და არაუმეტეს 500მმ. მალის დანარჩენ (შუა) ნაწილში – ელემენტის კვეთის სიმაღლე თუ $h > 300$ მმ – განივი არმატურა ეწყობა ბიჯით არაუმეტეს $(3/4)h$ და არაუმეტეს 500მმ. იმისათვის, რომ განივმა არმატურამ (საკიდმა) იმუშაოს სააგანარიშო $R_{sw}$ წინაღობით, მისი ბოლოები უნდა იყოს საიმედოდ დამაგრებული (დაანკერებული). ეს კი მიიღწევა განივი არმატურის მიდუღებით გრძივ არმატურასთან.

### 2.1.7.6.4. განივად დაუარმატურებელი დახრილი კვეთის გაანგარიშება

რკინაბეტონის ზოგიერთ კონსტრუქციაში (მაგალითად, მთლიანი ფილები, კოჭები კვეთის სიმაღლით 150მმ-მდე, მრავალსიღრუიანი პანელები კვეთის სიმაღლით $h \le 300$ მმ) დასაშვებია, რომ განივი არმატურა არ გამოიყენოთ. ამ შემთხვევაში დახრილი კვეთის სიმტკიცეზე გაანგარიშება ხდება (2.47) პირობიდან თუ დავუშვებთ, რომ $Q_{sw} = Q_{s,inc} = 0$. ე.ი. განივ ძალას აიტანს მხოლოდ ბეტონი.

ცდების შედეგების გათვალისწინებით, განივ ძალას, რომელსაც აიტანს ბეტონი (2.49) ფორმულის ანალოგიურად გამოვთვლით პირობით

$$Q_b = \frac{\varphi_{b4} R_{bt} b h_0^2}{c}. \qquad (2.67)$$

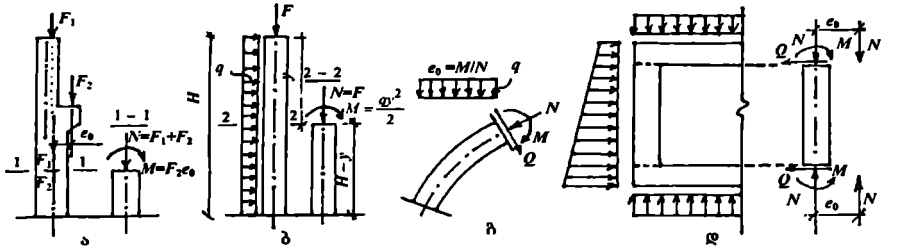
მაგრამ არა უმეტეს $2{,}5 R_{bt} b h_0$ და არაუმცირეს $0{,}6 R_{bt} b h_0$.

(2.67) ფორმულის განსხვავება (2.59)-გან არის ის, რომ განივი არმატურის არმქონე ელემენტის უსაფრთხოებისათვის ბეტონის სახეობის გამთვალისწინებელი $\varphi_{b2}$ კოეფიციენტის მაგივრად აიღება $\varphi_{b4}$ კოეფიციენტი, რომელიც შემცირებული სიდიდისაა – $\varphi_{b4} = 1{,}5$.

ცნობილია, რომ ფართო ფილებში მხები ძაბვა შუიდან იზრდება კიდეებისკენ, ამიტომ ამ ძაბვის ასატანად ფილების კიდეებში ათავსებენ სპეციალურ განივ არმატურას.

### 2.1.7.7. გარეცენტრულად შეკუმშული ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშების საფუძვლები

გარეცენტრულად იკუმშება რკინაბეტონის ელემენტი, რომლისაც მკუმშავი ძალა მოდებულია კვეთის სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ღერძის გარეთ, გარკვეული $e_0$ მანძილით, რომელსაც ექსცენტრისიტეტი ეწოდება. მაგალითად, სამრეწველო შენობის სვეტი ხიდურა ამწის ზემოქმედების ქვეშ (ნახ. 2.22,ა). გარე დატვირთვისაგან, თუ ელემენტში ერთდროულად აღიძერება $N$ გრძივი ძალა და $M$ მღუნავი მომენტი, ეს ეკვივალენტურია გარეცენტრული კუმშვისა. მაგალითად, სვეტი, რომელსაც გადაეცემა $N$ მკუმშავი ძალა სახურავის მზიდი ელემენტისაგან და $q$ ქარის დატვირთვა, რომელიც იწვევს სვეტის გაღუნვას (ნახ. 2.22,ბ), ან მიწისქვეშა ოთხკუთხა რეზერვუარის კედელი, რომელზეც ერთდროულად მოქმედებს გრუნტის ვერტიკალური და ჰორიზონტალური დაწოლა. გარეცენტრულად შეკუმშულია, აგრეთვე, თაღი, ჩარჩოს სვეტი, უირიბანო წამწის ზედა სარტყელი და ა.შ. (ნახ. 2.22,გ,დ).



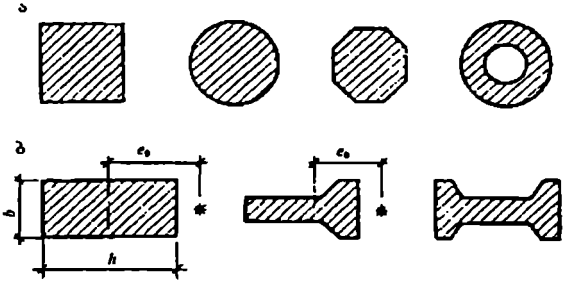

ნახ. 2.22. გარეცენტრულად შეკუმშული ელემენტები

იმ შემთხვევაში, როდესაც $N$ ძალის მოდების წერტილი ემთხვევა განივი კვეთის სიმძიმის ცენტრს, მაშინ გვაქვს „ცენტრალური კუმშვა“. ფაქტიურად აქაც არის რაღაც $e_a$ ექსცენტრისიტეტი, გამოწვეული – შემთხვევითი ჰორიზონტალური ძალებით, ელემენტის საწყისი სიმრუდით (დამზადების უზუსტობა), მონტაჟის უზუსტობით, კვეთში ბეტონის არაერთგვაროვნობით, არმატურის განლაგების უზუსტობით, თანაბრად განაწილებული დატვირთვის უთანაბრობით, რის გამოც ტოლქმედი $N$ მკუმშავი ძალა არ არის ზუსტად ცენტრში მოდებული. რადგან $e_a$-ს გამოთვლა ვერ ხერხდება, უწოდებენ „შემთხვევით ექსცენტრისიტეტს“ და აიღება უდიდესის ტოლი შემდეგი მნიშვნელობებიდან: $e_a=l/600$; $e_a=h/30$, სადაც $l$ ელემენტის სიგრძეა, ხოლო $h$ – განივი კვეთის სიმაღლე.

#### 2.1.7.7.1. შეკუმშული ელემენტების კონსტრუქციული თავისებურებები

შეკუმშული ელემენტების განივი კვეთი აიღება მათი მუშაობის სახეობის მიხედვით: შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტით მომუშავე ელემენტებისათვის აიღება ძირითადად კვადრატული, წრიული ან მრავალკუთხა ფორმის, შესაძლებელია

შიგნით სიცარიელით (ნახ. 2.23,ა). საანგარიშო ექსცენტრისიტეტით მომუშავე ელემენტებისათვის გამოიყენება სწორკუთხა, T-სებრი ან I-სებრი, განივთარებული მღუნავი მომენტის მოქმედების სიბრტყის გასწვრივ (ნახ. 2.23, ბ). ძირითადად გავრცელებულია სწორკუთხა კვეთი გვერდების შეფარდებით $h = (1{,}3 \ldots 3{,}0)b$. განივი კვეთის ზომები განისაზღვრება ანგარიშით და ყალიბისა და დაარმატურების უნიფიკაციისათვის აიღება 50მმ ჯერადი თუ კვეთის ზომა არ აღემატება 500მმ-ს და 100მმ-ის ჯერადი თუ აღემატება. დაბეტონების ხარისხის შესანარჩუნებლად მონოლითური სვეტების განივი კვეთის ზომები ნაკლები 250მმ-ზე არ არის რეკომენდებული.

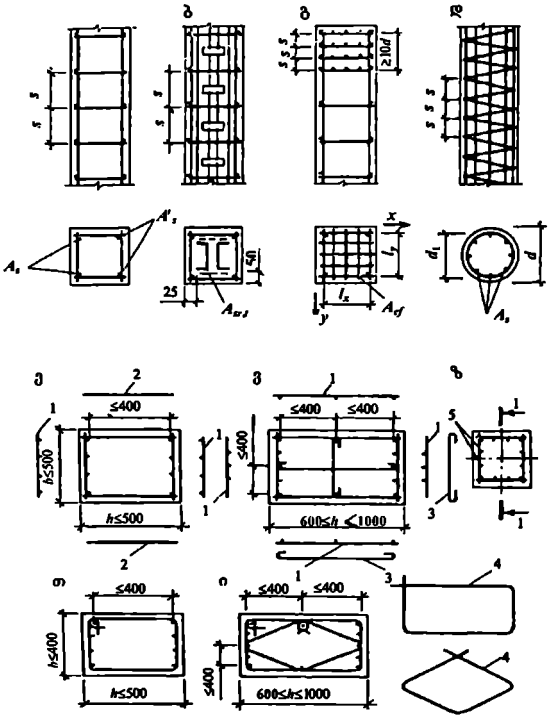



ნახ. 2.23. გარეცენტრულად შეკუმშული ელემენტების განივი კვეთები

შეკუმშულ სვეტებში გამოიყენება B15...B30 კლასის ბეტონი. უკანასკნელ ხანს დამუშავებული და პრაქტიკაში დანერგილია პროექტები, რომლებშიც გამოყენებულია უფრო მაღალი კლასის ბეტონები, რაც მასალების მნიშვნელოვანი ეკონომიის საშუალებას იძლევა, განსაკუთრებით შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტით მომუშავე ელემენტებში.

შეკუმშული ელემენტების დაარმატურების სისტემა დამოკიდებულია გრძივი და განივი არმატურის სახეობაზე: გრძივი მიმართულებით დაარმატურება შეიძლება მოქნილი ან ხისტი არმატურით (ნახ. 2.24, ა,ბ), განივი მიმართულებით – საკიდებით (ცალუღებით), ბადეებითა და სპირალური არმატურით (ნახ. 2.24, გ,დ). ეს უკანასკნელი გაანგარიშებაში გაითვალისწინება გრძივ მუშა არმატურასთან ერთად.

შეკუმშული ელემენტების დაარმატურება ხდება ძირითადად დაუძაბავი A-II და A-III კლასის არმატურით. გრძივი, მუშა არმატურა გამოიყენება არა უმეტეს 40მმ დიამეტრის და არა უმცირეს, 16მმ – ასაწყობ და 12მმ მონოლითურ ელემენტებში. 40მმ-ზე მეტი დიამეტრის არმატურა ძნელად დასამუშავებელია, ხოლო 12...16მმ-ზე ნაკლები დიამეტრის ღეროები ვერ უზრუნველყოფს არმატურის კარკასის სათანადო სიხისტეს. წინასწარ დაძაბული არმატურა გამოიყენება დიდი ექსცენტრისიტეტით მომუშავე ელემენტებში, როდესაც გაჭიმულ ზონაში მოსალოდნელია მნიშვნელოვანი ბზარების წარმოქმნა, აგრეთვე, დიდი მოქნილობის ელემენტებში, რაც აუმჯობესებს მათ მუშაობას დამზადების, ტრანსპორტირებისა და მონტაჟის დროს, როდესაც მათ უხდებათ მუშაობა განივ ღუნვაზე.




ნახ. 2.24. შეკუმშული ელემენტების დაარმატურება:
ა – მოქნილი არმატურით, ბ – ხისტი არმატურით, გ – განივი ბადეებით, დ – სპირალური განივი არმატურით, ე, ვ, ზ – შედუღებული კარკასებით, თ, ი – ხელით შეკრული კარკასებით;
1 – შედუღებული ბრტყელი კარკასი, 2 – შემაერთებელი ღერო, 3 – სარჭი (შპილკა), 4 – ხელით შეკრული ცალუღები. 1-1 – $e_0$ ექსცენტრისიტეტის მდებარეობის სიბრტყე.

სასურველია ერთნაირი დიამეტრის გრძივი მუშა არმატურის გამოყენება. შეიძლება განსხვავებული, მხოლოდ ორი სახის დიამეტრის გამოყენება, სადაც დიდი დიამეტრის ღეროები უნდა მოთავსდეს კუთხეებში. არმატურის დამცავი შრე აიღება არა უმცირესი არმატურის ღეროს დიამეტრისა და არა უმეტესი 20 მმ-ის. გრძივ ღეროებს შორის მანძილი შუქში აიღება არა უმცირესი 30 მმ-ისა ასაწყობ და არა უმცირესი 50 მმ-ისა მონოლითურ სვეტებში ვერტიკალური დაბეტონებისას. ორივე შემთხვევაში არა უმცირეს ღეროს დიამეტრისა. გრძივ ღეროებს შორის მაქსიმალური დასაშვები დაშორებაა 400 მმ.

შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტით მომუშავე ელემენტებში გრძივი არმატურა განლაგდება თანაბრად, კვეთის პერიმეტრზე ღეროების კუთხეებში აუცილებელი განლაგებით. თუ კვეთის ზომებია 40×40 სმ-მდე, შესაძლებელია მხოლოდ ოთხი ღეროს გამოყენება, თუ მეტია 400 მმ-ზე, საჭიროა შუალედური ღეროების

გათვალისწინება. როდესაც შეკუმშული ელემენტი მუშაობს $e_0$ საანგარიშო ექსცენტრისიტეტით მომენტის მოქმედების სიბრტყის გასწვრივ განვითარებული განივი კვეთით, გრძივი მუშა ღეროები განლაგდება მცირე წიბოს გასწვრივ. კვეთში მუშა არმატურა შეიძლება განლაგებული იყოს სიმეტრიულად ($A_s = A'_s$) ან არასიმეტრიულად ($A_s \neq A'_s$) კვეთის სიმძიმის ცენტრის მიმართ. დაარმატურების პირველ ვარიანტს მიმართავენ გრძივი ძალის მცირე ექსცენტრისიტეტით მოქმედების შემთხვევაში ან როდესაც კვეთში გარე დატვირთვისაგან აღიძვრება დაახლოებით ტოლი სიდიდისა და განსხვავებული ნიშნის (საპირისპირო მიმართულების) მომენტები, სიმეტრიული დაარმატურება უფრო მარტივი დასამზადებელია, მაგრამ არაეკონომიური, გრძივი ძალის დიდი ექსცენტრისიტეტით მოქმედებისას.

განივი არმატურა (ცალუღები) შეკუმშულ ელემენტებში მაგრდება გრძივ მუშა არმატურის ღეროებზე იმ კონსტრუქციული მოსაზრებით, რომ უზრუნველყოს მუშა არმატურის საპროექტო განლაგება, თავიდან იქნეს აცილებული არმატურის შეკუმშულ ღეროებში გამობურცვა, გარე მკუმშავი დატვირთვის ზემოქმედების გამო და საჭიროების შემთხვევაში აიტანოს განივი ძალები. გამომდინარე ზემოთქმულიდან, ცალუღებს შორის დაშორება ინიშნება: თუ შეკუმშულ არმატურაში საანგარიშო წინაღობა კუმშვაზე $R_{sc} \leq 400$ მგპა – არა უმეტეს 500მმ და არა უმეტეს $20d$ შედუღებულ კარკასებში, ხოლო ხელით შეკრულ კარკასებში – არა უმეტეს $15d$; თუ $R_{sc} \geq 450$ მგპა – არა უმეტეს 400მმ და არა უმეტეს $15d$ შედუღებულ და $12d$ ხელით შეკრულ კარკასებში. გრძივი მუშა არმატურის გადადებით გადაბმის შემთხვევაში – არა უმეტეს $10d$. იმ შემთხვევაში, როდესაც ელემენტის გრძივი მუშა არმატურით დაარმატურების პროცენტი მეტია 3%-ზე, ცალუღები ეწყობა არა უმეტეს $10d$ და 300მმ დაშორებით. ყველა შემთხვევაში ცალუღების ბიჯი მრგვალდება 50მმ-ის ჯერად ზომაზე.

გრძივი და განივი არმატურა შეკუმშულ ელემენტებში გაერთიანებულია სივრცულ, ხელით შეკრულ და შედუღებულ კარკასებად. შედუღებული სივრცული კარკასი შექმნილია ბრტყელი შედუღებული კარკასებით, განლაგებული სვეტის მოპირდაპირე მცირე ზომის წახნაგების გასწვრივ და ერთმანეთთან დაკავშირებული განივი შემაერთებელი ღეროებით, რომლებიც წერტილოვანი შედუღებით მიერთებულია კუთხის გრძივ ღეროებთან. აღნიშნულ, გამაერთიანებელ განივ ღეროებს შორის მანძილი აიღება არა უმეტეს 400მმ.

ხელით შეკრული სივრცული კარკასი კეთდება თუ გრძივ მუშა არმატურას შემოედება ჩაკეტილი ცალუღები. ამასთან, გრძივი ღეროები ერთის გამოშვებით მაინც უნდა განლაგდეს ცალუღების გადაღუნვის ადგილას, ხოლო გადაღუნვებს შორის მანძილი უნდა იყოს არა უმეტესი 400მმ ელემენტის სიგანეზე (ნახ. 2.24,ი).

სარჭები (შპილკები) შეიძლება არ გაკეთდეს თუ სვეტის წახნაგების სიგანე 500მმ და ნაკლებია, თუ გრძივი არმატურის ღეროების რაოდენობა ამ წახნაგებთან არ აჭარბებს ოთხს (ნახ. 2.24, ე,თ).

გრძივ, მუშა არმატურად მიზანშეწონილია A-III, $A_T$-III და A-II კლასის ცხლადნაგლინი ფოლადის გამოყენება. აქ მაქსიმალური მკუმშავი ძაბვების

სიდიდე დამოკიდებულია ბეტონის ზღვრულ კუმშვადობაზე – $R_{ж} = 400$ მპა (ხანგრძლივი დატვირთვისას $R_{ж} = 500$ მპა). ამიტომ შეკუმშულ ელემენტში ისეთი არმატურის გამოყენება, რომლის ზღვრული საანგარიშო წინაღობა $R_s > R_{ж}$ არ არის მიზანშეწონილი, რადგან ამ დროს ფოლადის სიმტკიცის შესაძლებლობა არ იქნება ბოლომდე გამოყენებული.

შეკუმშული ელემენტის გრძივი, მუშა არმატურით გაჯერება განისაზღვრება დაარმატურების კოეფიციენტით (პროცენტით) $\mu(\mu\%)$. შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტით შეკუმშულ ელემენტში $\mu = (A_s + A'_s)/bh_0$; ხოლო საანგარიშო ექსცენტრისიტეტის შემთხვევაში $\mu = A_s/bh_0$ და $\mu' = A'_s/bh_0$ ანუ თუ პირველ შემთხვევაში $\mu$ იანგარიშება კვეთის მთლიანი, ჯამური არმატურის განივკვეთის ფართობის მიხედვით, მეორე შემთხვევაში – ცალკე გაჭიმული და ცალკე შეკუმშული ფართობის მიხედვით. ეკონომიკური მოსაზრების გამო, დაარმატურების ოპტიმალური პროცენტია 1...2%. 3%-ზე მეტი დაარმატურების პროცენტი არ არის რეკომენდებული.

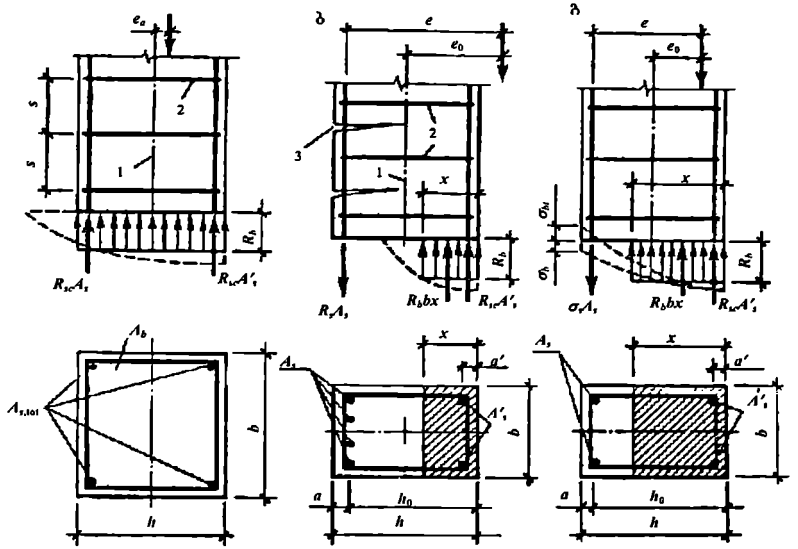
დაარმატურების მინიმალური პროცენტის დადგენა დამოკიდებულია ელემენტის მოქნილობაზე, უზრუნველყოფს გაანგარიშებით გაუთვალისწინებელი ზემოქმედების (ტემპერატურის, ჯდენის და სხვა) ატანას, აგვარიდებს ბზარების წარმოქმნისაგან მყიფე რღვევას. საანგარიშო ექსცენტრისიტეტით შეკუმშულ ელემენტებში დაარმატურების მინიმალური პროცენტი $A_s$ გაჭიმული და $A'_s$ შეკუმშული არმატურის განივკვეთის ფართობის მიხედვით იცვლება 0,05...0.25%-ის ფარგლებში. შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტის შემთხვევისას – ორჯერ მეტია, განივკვეთში ჩალაგებული არმატურის ჯამური $(A_s + A'_s)$ ფართობის მიხედვით.

### 2.1.7.7.2. შეკუმშული ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშების საფუძვლები

შეკუმშული ელემენტების გაანგარიშება ძირითადად ხდება პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობების მიხედვით.

განვიხილოთ შეკუმშული ელემენტების კვეთის დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობებს გრძივი ძალის მოქმედების ექსცენტრისიტეტის სიდიდის მიხედვით, შეეადგინთ შესაბამის საანგარიშო სქემებს და რკინაბეტონის ღუნეადი ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშების ანალოგიურად, მათი კონსტრუქციული თავისებურებების გათვალისწინებით, სათანადო გაანგარიშებით შევარჩევთ მუშა არმატურას და კვეთს ვამოწმებთ სიმტკიცის მიხედვით.

როგორც დასაწყისში აღვნიშნეთ, შეკუმშული ელემენტები ძირითადად განიცდის გარეცენტრულ კუმშვას – შემთხვევითი ან საანგარიშო სიდიდის ექსცენტრისიტეტით. ექსპერიმენტებით დადგენილია, რომ ამ დროს კვეთის დაძაბული მდგომარეობა მნიშვნელოვნად განსხვავებულია. შესაბამისად განსხვავებულია მათი საანგარიშო სქემებიც, რაც ნათლად ჩანს 2.25 ნახაზზე. ცხადია, განსხვავებული იქნება მათი გაანგარიშების ხერხებიც, თუმცა გაანგარიშების ზოგადი მეთოდი რკინაბეტონის ყველა ელემენტისათვის საერთოა.



ნახ. 2.25. გარეცენტრულად შეკუმშული ელემენტების საანგარიშო სქემები:
ა – შემთხვევითი, ბ – დიდი, გ – მცირე ექსცენტრისიტეტების შემთხვევა

### 2.1.7.7.2.1. შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტით შეკუმშული ელემენტის სიმტკიცეზე გაანგარიშების საფუძვლები

ცდებით დადგენილია, რომ შედარებით მოკლე შეკუმშული ელემენტების ზღვრული წინაღობა, როდესაც გრძივი მკუმშავი ძალა მოდებულია განივი კვეთის სიმძიმის ცენტრში, წარმოადგენს ბეტონისა და გრძივი არმატურის წინაღობათა ჯამს. ამ დროს ბეტონი აღწევს თავის ზღვრულ სიმტკიცეს კუმშვაზე, ხოლო არმატურა – დენადობის ზღვარს. ამას განაპირობებს ის არადრეკადი (ძირითადად პლასტიკური) დეფორმაცია, რაც წარმოიშობა ბეტონში.

შედარებით გრძელ (მოქნილ) შეკუმშულ ელემენტებში ზიდვის უნარზე (სიმტკიცეზე) მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს შემთხვევითი $e_a$ ექსცენტრისიტეტი, გრძივი ღუნვის შესაძლო წარმოქმნა და დატკეპნის ხანგრძლივი მოქმედება, რომელთა გავლენასაც ითვალისწინებენ სათანადო $\varphi$ კოეფიციენტით.

აღსანიშნავია, რომ სტატიკურად რკვეადი შეკუმშული კონსტრუქციების გაანგარიშებისას $e_0$ საანგარიშო და $e_a$ შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტები ჯამდება, ხოლო სტატიკურად ურკვეი კონსტრუქციების გაანგარიშებისას $e_a$ მხედველობაში არ მიიღება, პლასტიკური დეფორმაციებისაგან ძალეათა გადანაწილების გამო.

იმ შემთხვევაში, როდესაც ელემენტის საანგარიშო სიგრძე $l_0 \le 20h$ ($h$ განივი კვეთის სიმაღლეა), ასეთი ელემენტის კვეთის სიმტკიცეზე გაანგარიშება ხდება შემდეგი ფორმულით:

$$N \le m\varphi[R_b A_b + R_{sc}(A_s + A'_s)], \tag{2.68}$$

სადაც $N$ საანგარიშო გრძივი მკუმშავი ძალაა; $A_b = bh_0$ – განივი კვეთის ფართობი; $m$ – კოეფიციენტი (როდესაც $h \le 200$ მმ – $m$=0,9; თუ $h > 200$ მმ – $m$=1); $\varphi$ კოეფიციენტი ითვალისწინებს ელემენტის მოქნილობას, დატვირთვის ხანგრძლივობას, დაარმატურების სახეობას და გამოითვლება ნორმებში მოცემული ემპირიული ფორმულით:

$$\varphi = \varphi_b + 2(\varphi_{sb} - \varphi_b)\frac{R_{sc}(A_s + A'_s)}{R_b A_b} \le \varphi_{sb}.$$

$\varphi_b$ და $\varphi_{sb}$ აიღება სათანადო ცხრილებიდან (დანართი. 2.1.13).

თუ განივი კვეთის ზომები დანიშნულია, მაშინ გაიანგარიშება არმატურის ჯამური ფართობი

$$A_s + A'_s = \frac{N}{m\varphi R_{sc}} - \frac{A_b R_b}{R_{sc}}. \tag{2.69}$$

თუ საჭიროა ელემენტის განივი კვეთის $b$ და $h$ ზომების განსაზღვრა, მაშინ წინასწარ დანიშნავენ $\varphi$=$m$=1 და $\mu$ %=1%. იმის გამო, რომ $A_s + A'_s = \mu A_b$ განისაზღვრება განივი კვეთის $A_b$ ფართობი (2.68)-დან

$$A_b = \frac{N}{R_b + \mu R_{sc}} \tag{2.70}$$

შემდეგ კონსტრუქციული მოსაზრებით დანიშნავენ $b$-ს ან $h$-ს და $A_b$-ს მიხედვით შეარჩევენ განივკვეთის მეორე ზომას. ამ ზომებისათვის შეირჩევა $l_0/h$, $\varphi$, $m$ და ისე განისაზღვრება არმატურის ჯამური $(A_s + A'_s)$ ფართობი (2.69)-ის მიხედვით.

თუ დაარმატურების პროცენტი გამოვიდა $\mu$ %=1...2%, კვეთი შერჩეულია დამაკმაყოფილებლად, თუ არა, საჭიროა განივი კვეთის $b$ და $h$ სიდიდეების კორექტირება (შემცირება ან გაზრდა).

### 2.1.7.7.2.2. საანგარიშო $e_0$ ექსცენტრისიტეტით შეკუმშული ელემენტის სიმტკიცეზე გაანგარიშების საფუძვლები

ცდებით დადგენილია, რომ გარეცენტრულად შეკუმშული ელემენტები, დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის III სტადიაზე, ნორმალურ კვეთზე ირღვევა ორნაირად, იმის მიხედვით, როგორ არის დაარმატურებული გაჭიმული და შეკუმშული ზონა და რა სიდიდისაა გრძივი მკუმშავი ძალის $e_0$ ექსცენტრისიტეტი.

I შემთხვევაა, როდესაც გვაქვს დიდი ექსცენტრისიტეტი, ხოლო გაჭიმულ ზონაში ჩალაგებულია ნორმალური რაოდენობის არმატურა (არ გვაქვს ჭარბარმატურიანი კვეთი ბზარმედეგობის გასაზრდელად). ამ დროს მღუნავი მომენტის გაელენა უფრო მნიშვნელოვანია, ვიდრე მკუმშავი ძალისა და კვეთი ირღვევა, როგორც ღუნვად ელემენტში: ჯერ გაჭიმულ არმატურაში ძაბვა აღწევს ზღვრულ მნიშვნელობას (დენადობას), შემდეგ შეკუმშულ ბეტონში, რის გამოც იგი იმსხვრევა (ნახ. 2.25,ბ);

II შემთხვევისას ექსცენტრისიტეტი მცირეა და მკუმშავი ძალის გავლენა კვეთის დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობაზე უფრო მნიშვნელოვანია, ვიდრე მღუნავი მომენტისა. აქაც მოსალოდნელია ორი ვარიანტი: თუ ძალა კვეთის გულის შიგნით არის მოდებული, მაშინ მთელი კვეთი იკუმშება არათანაბრად, ხოლო თუ ექსცენტრისიტეტი მეტია და მკუმშავი ძალა მოდებულია კვეთის გულის გარეთ, მაშინ ძალის მოდების წერტილიდან კვეთის უფრო მოშორებულ კიდეზე წარმოშობა გამჭიმავი ძაბვა (მნიშვნელოვნად ნაკლები $R_s$ საანგარიშო სიდიდეზე). გარეცენტრული კუმშვის მეორე შემთხვევის დროს ელემენტი ირღვევა კვეთის შეკუმშულ (ან, მეტად შეკუმშულ) ნაწილში ბეტონსა და არმატურაში ძაბვის საანგარიშო მნიშვნელობის მიღწევით და, როგორც შედეგი, ბეტონის დამსხვრევით. ამ დროს კვეთის გაჭიმულ (ან, ნაკლებად შეკუმშულ) ნაწილში განლაგებული არმატურა იჭიმება ან იკუმშება, ოღონდ ძაბვა, როგორც წესი, ვერ აღწევს თავის საანგარიშო ზღვრულ მნიშვნელობას (ნახ. 2.25,გ).

გარეცენტრულად შეკუმშული ელემენტების კვეთის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას ანალოგიურია ღუნვადი ელემენტების კვეთის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის III სტადიისა, ამიტომ გაანგარიშებაც სიმტკიცეზე წარმოებს ღუნვადი, ორფაარმატურიანი კვეთის ანალოგიურად, სადაც გარე დატვირთვის მიერ აღძრული მომენტი $M = N \cdot e$. $e$ მანძილია $N$ მკუმშავი ძალიდან იმ წერტილამდე, რომლის მიმართაც აიღებენ მომენტების ჯამს $-\sum M = 0$. უმრავლეს შემთხვევაში ეს წერტილია გაჭიმული ან შეკუმშული არმატურის განივკვეთის სიმძიმის ცენტრი. ასევე, ღუნვადი ელემენტის ანალოგიურად, კვეთის შეკუმშული ზონის ფარდობითი სიმაღლის მიხედვით, შეიძლება დადგინდეს გარეცენტრული კუმშვის პირველი და მეორე შემთხვევა:

გარეცენტრული კუმშვის I შემთხვევაა (დიდი ექსცენტრისიტეტის შემთხვევა), როდესაც შეკუმშული ზონის ფარდობითი სიმაღლე $\xi \le \xi_R$;

გარეცენტრული კუმშვის II შემთხვევაა (მცირე ექსცენტრისიტეტის შემთხვევა), როდესაც შეკუმშული ზონის ფარდობითი სიმაღლე $\xi > \xi_R$;

გარეცენტრული კუმშვის I შემთხვევის საანგარიშო სქემა მოცემულია ნახ. 2.25,ბ-ზე. ელემენტის მართკუთხა კვეთის სიმტკიცის პირობა ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$N \cdot e \le M_b + M'_s = R_b bx(h - x/2) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'), \qquad (2.71)$$

სადაც $M_b$ არის მომენტი, რომელსაც აიტანს შეკუმშული ზონის ბეტონი, $M'_s$ – მომენტი, რომელსაც აიტანს შეკუმშული არმატურა. $e = e_0 + h/2 - a$ მანძილია $N$ გრძივი ძალიდან სამომენტო წერტილამდე (ამ შემთხვევაში გაჭიმული არმატურის კვეთის სიმძიმის ცენტრამდე).

კვეთის შეკუმშული ზონის $x$ სიმაღლე განისაზღვრება წონასწორობის პირობიდან $\sum x = 0$ (ელემენტზე მოქმედი ყველა ძალის პროექციების ჯამი $x$ ღერძზე უდრის ნულს).

$$N = N_b + N'_s - N_s = R_b bx + R_{sc} A'_s - R_s A_s. \qquad (2.72)$$

ამის შემდეგ გაანგარიშება ანალოგიურია ღუნვადი, ორფაარმატურიანი კვეთის გაანგარიშებისა.

გარეცენტრული კუმშვის II შემთხვევისას (ნახ. 2.25,გ), კვეთის სიმტკიცის პირობა გამოითვლება (2.71)-ის მიხედვით, ხოლო ბეტონის შეკუმშული ზონის სიმაღლე – $\sum x = 0$ წონასწორობის პირობიდან

$$N = R_b bx + R_{sc} A'_s - \sigma_s A_s . \qquad (2.73)$$

აქ გაჭიმულ არმატურაში $\sigma_s$ ძაბვა ნაკლებია $R_s$ ზღვრულ მნიშვნელობაზე და გამოითვლება ემპირიული ფორმულით

$$\sigma_s = \left[ 2\frac{(1-\xi)}{(1-\xi_R)} - 1 \right] R_s . \qquad (2.74)$$

ნორმებით დასაშვებია, რომ გარეცენტრული კუმშვის II შემთხვევა გამოვიანგარიშოთ I შემთხვევისათვის გამოყენებული ფორმულებით, ოღონდ $\xi$ უნდა შეიცვალოს $\xi_R$-ით.

მოქნილი შეკუმშული ელემენტები, როდესაც მოქნილობა $\lambda = l_0 / i \geq 14$ (სწორკუთხა კვეთის ელემენტებისათვის $\lambda = l_0 / h \geq 4$), გარეცენტრულად მოდებული გრძივი ძალის მოქმედებით იღუნება და საწყისი $e_0$ ექსცენტრისიტეტი დატვირთვის პროცესში იზრდება, რის გამოც იზრდება გარე დატვირთვისაგან წარმოქმნილი $M = N \cdot e_0$ მღუნავი მომენტი და რღვევა მიმდინარეობს უფრო ნაკლები $N$ მკუმშავი ძალით, ვიდრე შედარებით მოკლე (არამოქნილი) ელემენტში. მოქნილობის განსაზღვრისას ელემენტის საანგარიშო $l_0$ სიგრძე მიიღება $0,5l$ – ელემენტის ორივე ბოლოს ხისტი ჩამაგრებისას; $0,7l$ – როდესაც ერთი ბოლო ხისტად არის ჩამაგრებული, მეორე – სახსრულად; $l$ – ორივე ბოლოს სახსრული ჩამაგრების დროს, ხოლო $2l$, როდესაც შეკუმშული ელემენტი მხოლოდ ერთი ბოლოთია ხისტად ჩამაგრებული, მეორე კი თავისუფალია (კონსოლი). $l$ – ელემენტის გეომეტრიული სიგრძეა.

მოქნილობისას გაღუნვის გავლენა შეკუმშული ელემენტის ზიდვის უნარზე იანგარიშება დეფორმირებული სქემის მიხედვით, არადრეკადი დეფორმაციისა და ბზარების წარმოქმნის გათვალისწინებით. ამ მეთოდის სირთულის გამო, გაღუნვის გავლენა ზიდვის უნარზე ნორმების რეკომენდაციით ხდება – $e_0$ ექსცენტრისიტეტის $\eta$ კოეფიციენტზე გამრავლებით, რომელიც გამოითვლება ფორმულით

$$\eta = \frac{1}{1 - N / N_{cr}} ; \quad 1 < \eta \leq 2,5 . \qquad (2.75)$$

აქ $N$ არის გარეცენტრულად მკუმშავი საანგარიშო ძალა; $N_{cr}$ –პირობითი კრიტიკული ძალა, რომლის მოქმედებისას მოსალოდნელია შეკუმშული ელემენტის მდგრადობის დაკარგვა. იგი გამოითვლება ნორმებში [1] მოყვანილი ფორმულით.

თუ მოქნილობა $\lambda_i = l_0 / i \leq 14$ (მართკუთხა კვეთისთვის $\lambda_h = l_0 / h \leq 4$), მაშინ $\eta$=1. იმ შემთხვევაში, როდესაც $\lambda_i > 14$ $(\lambda_h > 4)$, საანგარიშო ექსცენტრისიტეტი – $e_{0\eta} = e_0 \cdot \eta + e_a$ სტატიკურად რკვევად კონსტრუქციაში და $e_{0\eta} = e_0 \eta$ სტატიკურად ურკვევში.

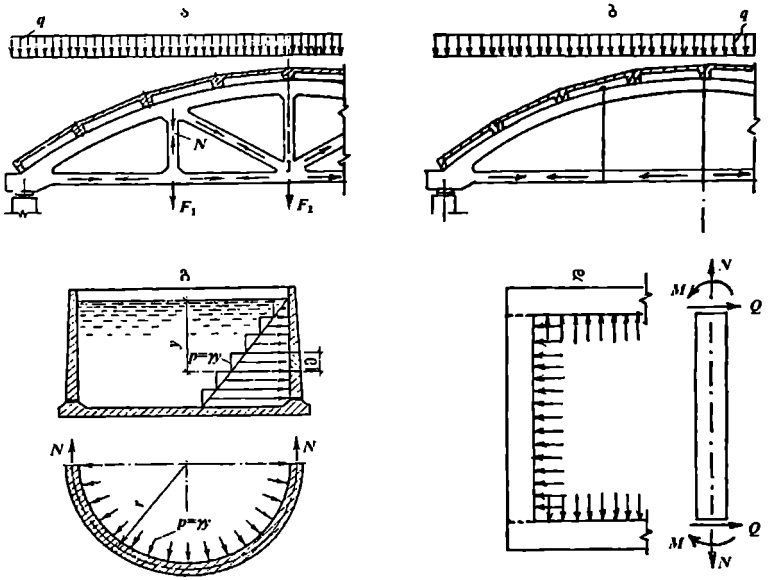
თუ აღმოჩნდება, რომ $N_{cr}$ პირობითი კრიტიკული ძალა ნაკლებია $N$ საანგარიშო მკუმშავ ძალაზე ანუ $\eta \leq 0$, მაშინ საჭიროა ელემენტის განივკვეთის

ზომები გაიზარდოს არანაკლებ ერთი მოდულით (50მმ) ან საჭიროების შემთხვევაში – მეტითაც.

### 2.1.7.8. გაჭიმული ელემენტის სიმტკიცეზე გაანგარიშების საფუძვლები

გაჭიმული შეიძლება იყოს ელემენტები ცენტრალურად ან გარეცენტრულად, რასაც გამჭიმავი ძალის მდებარეობა აჩვენებს კვეთში: განიყი კვეთის ცენტრშია მოდებული, თუ რაიმე $e_0$ ექსცენტრისიტეტით.

ცენტრალურად გაჭიმულია ირიბნებიანი წამწის ქვედა სარტყელი და ზოგიერთი ირიბანა, თაღის შემკოჭი, წრიული კვეთის რეზერვუარი და სხვა (ნახ. 2.26,ა,ბ,გ). გარეცენტრულად გაჭიმულია მიწისზედა მართკუთხა კვეთის რეზერვუარის კედლები, შიგ მოთავსებული სითხის პიდროსტატიკური დაწოლის გამო (ნახ. 2.26,დ), წამწის ქვედა სარტყელი და თაღის შემკოჭი, როდესაც მათზე მოქმედებს კვანძებს შორის მოდებული ვერტიკალური დატვირთვა.




ნახ. 2.26. რკინაბეტონის გაჭიმული ელემენტები
ა – წამწის ქვედა სარტყელი; ბ – თაღის შემკოჭი;
გ – ცილინდრული რეზერვუარი; დ – სწორკუთხა რეზერვუარი

ცენტრალურად გაჭიმული რკინაბეტონის ელემენტების დაარმატურება წარმოებს ცალკეული ღეროებით შეკრული კარკასით ან შედუღებული ბრტყელი კარკასებით კვეთში თანაბრად განლაგებული გრძივი მუშა არმატურით. გრძივი არმატურის ღეროების დიამეტრი იცვლება ფართო დიაპაზონში – მავთულოვანი არმატურიდან, ღეროვანი არმატურის 32მმ დიამეტრამდე. თუმცა ცენტრალურად

გაჭიმული ელემენტების ბზარმედეგობის უზრუნველსაყოფად მიზანშეწონილია დიდი რაოდენობის მცირე დიამეტრის ღეროების გამოყენება ანუ უპირატესობა ენიჭება კვეთში არმატურის დისპერსიულ (თანაბრად განაწილებულ) განლაგებას. ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტები გამოიყენება, როგორც წესი, წინასწარ დაძაბული, რაც მათი ბზარმედეგობის გაზრდის რადიკალური საშუალებაა. დაძაბულ არმატურას კვეთში ათავსებენ სიმეტრიულად, რომ დაძაბვისას ელემენტი გარეცენტრულად არ მოიკუმშოს.

გარეცენტრულად გაჭიმული ელემენტების დაარმატურება ანალოგიურია გარეცენტრულად შეკუმშული ან ღუნვადი ელემენტების დაარმატურების: გრძივი მუშა არმატურა განთავსდება კვეთის იმ წახნაგების გასწვრივ, რომლებიც პერპენდიკულარულია ღუნვის სიბრტყისა და შეკრულია ცალუღებით (საკიდებით). მუშა არმატურის გადაბმა მხოლოდ შედუღებით წარმოებს. განივი არმატურა (ცალუღები) ჩვეულებრივ ეწყობა კონსტრუქციულად ისე, რომ შემოეკლოს ყველა გრძივ ღეროს. განივ არმატურებს შორის დაშორება აიღება არა უმეტესი კვეთის უმცირესი გვერდის გაორმაგებული სიდიდისა – $S \le 2b$. საჭიროების შემთხვევაში, ბზარმედეგობის გასაზრდელად მიმართავენ წინასწარ დაძაბვას.

ჩვეულებრივ, დაუძაბავ ელემენტებში გამოიყენება B15...B25 კლასის ბეტონი, წინასწარ დაძაბულში – არანაკლები B25 კლასისა. კონსტრუქციებში, რომლებიც სითხის დაწოლის ქვეშ მუშაობს, დაუძაბავ არმატურად გამოიყენება A-II და A-III კლასის არმატურა, ხოლო დაძაბულ არმატურად – მაღალი სიმტკიცის მავთულები, ბაგირები და ცხლადნაგლინი A-V, A-VI, $A_T$-V, $A_T$-VI კლასის არმატურა.

დაარმატურების მინიმალური პროცენტი მიიღება ბზარის გახსნის გამო კონსტრუქციის უეცარი დარღვევის შესაძლებლობის გამორიცხვის პირობიდან და ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტებისათვის მიიღება 0,1%-ის ტოლი, გარეცენტრულად გაჭიმული ელემენტებისათვის – 0,05%.

### 2.1.7.8.1. ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშების საფუძვლები

ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტები დატვირთვის ქვეშ განიცდიან დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის სამი სახის სტადიას ისევე, როგორც ღუნვადი ელემენტები: I სტადია – ბეტონში ბზარის წარმოქმნამდე, II სტადია – ბზარების წარმოქმნის შემდეგ, როდესაც მუშა არმატურაში ძაბვას ჯერ არ მიუღწევია ზღვრულ წინაღობამდე და III სტადია – კვეთის ზიდვის უნარის ამოწურვა (რღვევა), არმატურაში ძაბვის ზღვრული მნიშვნელობების მიღწევის გამო. ზღვრული მდგომარეობის მიღწევისას, ცენტრალურად გაჭიმულ ელემენტში წარმოქმნილია და გახსნილი კვეთში გამჭოლი ბზარები. ამიტომ, პირველი ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით, სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას ბეტონის გაჭიმვაზე მუშაობა მხედველობაში არ მიიღება და გრძივ, გამჭიმავ ძალას აიტანს მხოლოდ არმატურა.

ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტის საანგარიშო სქემის (ნახ. 2.27, ა) მიხედვით სიმტკიცე უზრუნველყოფილია თუ სრულდება პირობა:

– დაუძაბავი ელემენტებისათვის

$$N \le R_s A_s, \tag{2.76}$$

– წინასწარ დაძაბული ელემენტებისათვის

$$N \le \gamma_{s6} R_{sp} A_{sp} + R_s A_s. \tag{2.77}$$

აქ $N$ გარე დატვირთვისაგან აღძრული საანგარიშო გამჭიმავი ძალაა;

$R_s, R_{sp}$ – დაუძაბავი და დაძაბული არმატურის საანგარიშო წინაღობა;

$A_s, A_{sp}$ – შესაბამისად დაუძაბავი და დაძაბული არმატურის განივკვეთის ფართობი;

$\gamma_{s6}$ – კოეფიციენტია, რომელიც ითვალისწინებს მაღალი სიმტკიცის არმატურის მუშაობას პირობით დენადობაზე უფრო მაღალი ძაბვების შემთხვევაში.

### 2.1.7.8.2. გარეცენტრულად გაჭიმული ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშების საფუძვლები

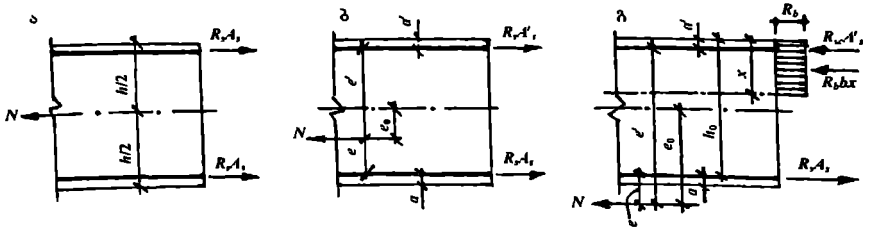
როგორც ნახ. 2.26,დ-დან ჩანს გარეცენტრული გაჭიმვა არის ცენტრალურად გამჭიმავი ძალისა და მღუნავი მომენტის ერთდროული მოქმედების შედეგი, ისევე, როგორც გარეცენტრული კუმშვისას – ცენტრალური მკუმშავი ძალისა და მღუნავი მომენტის ერთდროული მოქმედება.

გარეცენტრული გაჭიმვის დროსაც არის დაძაბული მდგომარეობის ორი შემთხვევა: I შემთხვევა, როდესაც გამჭიმავი ძალა მოდებულია ელემენტის კვეთში ჩალაგებულ არმატურის სიმძიმის ცენტრებს შორის და II შემთხვევა – გარეთ.

გარეცენტრული გაჭიმვის I შემთხვევის დროს მთელი კვეთი იჭიმება, ოღონდ არათანაბრად, ხოლო II შემთხვევისას, კვეთის დაძაბული მდგომარეობა ანალოგიურია გარეცენტრული კუმშვის I შემთხვევისა – კვეთის ერთი კიდე გაჭიმულია, მეორე – შეკუმშული (ნახ. 2.27, ბ), იმ განსხვავებით, რომ გამჭიმავი ძალა აქ მოდებულია კვეთის მეორე მხარეს და მოქმედებს საწინააღმდეგო მიმართულებით.

შემთხვევა I (ნახ. 2.27,ბ). კვეთის სიმტკიცის პირობა მიიღება, თუ შიდა ძალების მომენტების ჯამს ავიღებთ $A_s$ და $A'_s$ არმატურის განივკვეთის სიმძიმის ცენტრის მიმართ

$$N \cdot e' \le R_s A_s (h_0 - a'); \quad N \cdot e \le R_s A'_s (h_0 - a'). \tag{2.78}$$




ნახ. 2.27. გაჭიმული ელემენტების საანგარიშო სქემები:
ა – ცენტრალური გაჭიმვა; ბ – გარეცენტრული გაჭიმვის I შემთხვევა; გ – გარეცენტრული გაჭიმვის II შემთხვევა

ეს ფორმულები გამოიყენება კვეთის ზიდვის უნარის შესამოწმებლად, როდესაც არმატურის განიკვეთის ფართობი რაიმე მოსაზრებით დანიშნულია. იმ შემთხვევაში, როდესაც საჭიროა არმატურის $A_s$ და $A'_s$ ფართობის გამოთვლა კვეთის სიმტკიცის პირობიდან, (2.78) უტოლობებიდან გვექნება

$$A_s = \frac{N \cdot e'}{R_s(h_0 - a')}; \quad A'_s = \frac{N \cdot e}{R_s(h_0 - a')}. \tag{2.79}$$

შემთხვევა II (ნახ. 2.27,გ). კვეთის სიმტკიცის პირობა ჩაიწერება გარე საანგარიშო $M$ მომენტისა და შიდა ძალების ზღვრული მომენტების ჯამის შედარებით. შიდა ძალების მომენტები აიღება გაჭიმული არმატურის განიკვეთის სიმძიმის ცენტრის მიმართ.

$$N \cdot e \le M_b + M'_s = R_b bx(h_0 - x/2) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'). \tag{2.80}$$

ღუნვადი ელემენტის ანალოგიურად (2.80) გადაიწერება

$$Ne \le A_0 R_b b h_0^2 + R_{sc} A'_s (h_0 - a'). \tag{2.81}$$

ბეტონის შეკუმშული ზონის $x$ სიმაღლე განისაზღვრება $\Sigma X=0$ პირობიდან

$$N + R_b bx + R_{sc} A'_s - R_s A_s = 0. \tag{2.82}$$

კვეთის ზიდვის უნარის შემოწმებისას (2.82)-დან განისაზღვრება $x$-ის სიდიდე და ჩაისმება (2.80)-ში.

არმატურის განიკვეთის ფართობის განსაზღვრისას, იმისათვის, რომ არმატურის ჯამური ($A_s+A'_s$) ფართობი იყოს მინიმალური, უნდა ავიღოთ შეკუმშული ზონის მაქსიმალური სიმაღლე ე.ი. $x= x_R= \xi_R h_0$, ხოლო $A_0=A_R$. მაშინ (2.81)-დან განისაზღვრება შეკუმშული $A'_s$ არმატურის ფართობი

$$A'_s = \frac{Ne - A_R R_b b h_0^2}{R_{sc}(h_0 - a')}. \tag{2.83}$$

გაჭიმული $A_s$ არმატურის ფართობი გამოითვლება (2.82) გამოსახულებიდან

$$A_s = \frac{N}{R_s} + \frac{R_b b \xi_R h_0}{R_s} + \frac{R_{sc} A'_s}{R_s}. \tag{2.84}$$

თუ აღმოჩნდა, რომ ანგარიშით შეკუმშული არმატურა საჭირო არ არის ($A'_s \le 0$), ან მისი რაოდენობა საკმარისი არ არის კონსტრუქციული მოსაზრებით ($A'_s \le \mu_{min} b h_0$), მაშინ აიღება $A'_s=\mu_{min} b h_0$. მიღებული $A'_s$-ის მიხედვით გამოითვლება შესაბამისი $A_0$ (2.81)-დან

$$A_0 = \frac{N \cdot e - R_{sc} A'_s (h_0 - a')}{R_b b h_0^2}. \tag{2.85}$$

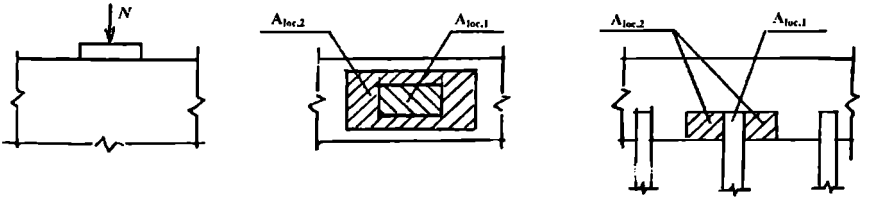
ცხრილიდან (დანართი 2.1.5) მოიძებნება $A_0$-ის შესაბამისი $\xi$ და (2.84)-ის ანალოგიით

$$A_s = \frac{N}{R_s} + \frac{R_b b \xi\ h_0}{R_s} + \frac{R_{sc} A'_s}{R_s}. \tag{2.86}$$

ბზარმედეგობის უზრუნველსაყოფად ცენტრალურად და გარეცენტრულად (I შემთხვევა) გაჭიმული ელემენტები მზადდება წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონისაგან.

### 2.1.7.9. გაანგარიშება ადგილობრივ კუმშვაზე (თელვაზე)

თუ მკუმშავი ძალა ერთი ელემენტიდან მეორეს გადაეცემა არა მთელ ფართობზე, არამედ მის ნაწილზე, მაგალითად, კოჭის ან წამწის დაყრდნობა სვეტზე ან კედელზე, მაშინ ასეთი დაყრდნობისას შეკუმშული ბეტონი მუშაობს თელვაზე, განიცდის მიმართულებით დეფორმაციის განვითარების შეზღუდულ პირობებში, რის გამოც ბეტონის წინაღობა იზრდება.




ნახ. 2.28. რკინაბეტონის ელემენტების თელვაზე გაანგარიშებისათვის

თელვაზე მომუშავე რკინაბეტონის სვეტის ან კედლის სიმტკიცის პირობა ჩაიწერება:

$$N \le \Psi R_{b,loc} A_{loc,1}, \qquad (2.87)$$

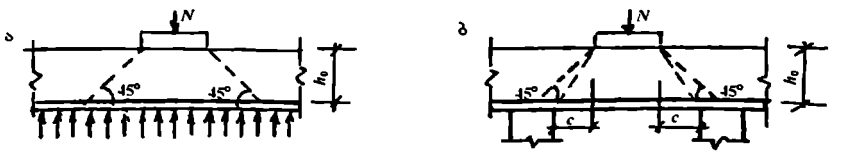
სადაც $N$ მკუმშავი ძალაა, $\Psi$ – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ადგილობრივი დატვირთვის განაწილებას დაყრდნობის ფართობზე – თანაბრად ($\Psi = 1$) ან არათანაბრად ($\Psi = 0.75$); $R_{b,loc}$ – ბეტონის წინაღობა თელვაზე. $A_{loc,1}$ – უშუალოდ თელვის ფართობი.

### 2.1.7.10. გაანგარიშება ჩაჭყლეტაზე

ფილის კონსტრუქციები, მაგალითად, უკოჭო გადახურვები, საძირკვლები სვეტებს ქვეშ, ხიმინჯების როსტვერკები და ა.შ. შეზღუდულ ფართობზე მოქმედი თანაბრად განაწილებილი დატვირთვის მოქმედებისას, შეიძლება დაირღვეს ჩაჭყლეტის გამო. ცდებმა აჩვენა, რომ ჩაჭყლეტა ხდება წაკვეთილი პირამიდის ზედაპირზე, რომლის მცირე ფუძე წარმოადგენს ფართობს, რომელზეც მოქმედებს ჩამჭყლეტი ძალვა, გვერდითი წახნაგები დახრილია ჰორიზონტის მიმართ 45° კუთხით, ხოლო სიმაღლე ტოლია ფილის მუშა სიმაღლის (ნახ. 2.29).

ფილის გაანგარიშება (განივი არმატურის გარეშე) ჩაჭყლეტაზე ხდება პირობით

$$F \le \alpha R_{bt} u_m h_0, \qquad (2.88)$$




ნახ. 2.29. ფილის და როსტვერკის ჩაჭყლეტაზე გაანგარიშებისათვის

სადაც $F$ ჩამჭყლეტი ძალაა, ტოლი $N$-ს გამოკლებული რეაქციული დატვირთვა მოქმედი ჩაჭყლეტის პირამიდის დიდ ფუძეზე. $\alpha$ – ექსპერიმენტული კოეფიციენტი. მძიმე ბეტონისათვის $\alpha = 1$; $u_m$ – ჩაჭყლეტის პირამიდის ზედა და ქვედა ფუძის პერიმეტრების საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა.

თუ გვაქვს ხიმინჯებზე დაყრდნობილი როსტვერკი (ნახ. 2.29, ბ) ჩაჭყლეტა შეიძლება მოხდეს პირამიდაზე, რომლის გვერდითი წახნაგები დახრილია 45°-ზე უფრო მეტად, მაშინ ფილის სიდების უნარი იზრდება და (2.88) პირობის მარჯვენა მხარე მრაელდება $h_0/c$-ზე ($c$-ს მნიშვნელობა იხილეთ ნახ. 2.29, ბ-ზე).

## 2.1.8. წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტების თავისებურებები

### 2.1.8.1. წინასწარი დაძაბვის არსი, დადებითი თვისებები

წინასწარ დაძაბულია რკინაბეტონის კონსტრუქცია, რომელშიც წინასწარ, ექსპლუატაციამდე, ხელოვნურად შექმნილია გაანგარიშებით დადგენილი სიდიდის საწყისი ძაბვა მხოლოდ გაჭიმული ან მთლიანად, ყველა არმატურაში, რის გამოც კეთში ბეტონი მოკუმშულია ნაწილობრივ ან მთლიანად.

წინასწარ დაძაბულ რკინაბეტონის ელემენტში ბეტონის მოკუმშვა წინასწარ დადგენილი $\sigma_{bp}$ სიდიდით ხორციელდება მაღალი სიმტკიცის არმატურის წინასწარი გაჭიმვით, რომელსაც ბეტონის გამყარების შემდეგ (ან უკვე გამყარებულ ბეტონზე ჩამაგრების შემდეგ) დამჭიმავი მოწყობილობიდან გაუშვებენ. იგი ცდილობს დაუბრუნდეს პირვანდელ მდგომარეობას (არმატურა დაჭიმულია დრეკადობის ფარგლებში) და კუმშავს ბეტონს. არმატურის ბეტონში გასხლტას ეწინააღმდეგება ან მათი ურთიერთშეჭიდულობის ძალები, ან შეჭიდულობის არასაკმარისობის შემთხვევაში, არმატურის ბოლოების სხვადასხვა ხერხით დაანკერება (დამაგრება).

წინასწარ დაძაბული კონსტრუქციების უპირატესობა დაუძაბავთან შედარებით შემდეგია:

1. იზრდება ელემენტის ბზარმედეგობა (წინასწარი დაძაბვის უპირატესი მიზეზი). თუ ელემენტში ბზარის წარმოქმნა არ არის ნორმებით ნებადართული, მაშინ ბეტონში წინასწარ აღძრული მომკუმშავი ძაბვა, ყველა დანაკარგის გათვალისწინებით, უნდა იყოს მეტი გარე დატვირთვისაგან გამოწვეულ გამჭიმავ ძაბვებზე. თუ ბზარების შეზღუდული სიგანით გახსნა დასაშვებია – ეს მხოლოდ დატვირთვის შედარებით დიდი მნიშვნელობისას;
2. იქმნება მაღალი სიმტკიცის არმატურის გამოყენების შესაძლებლობა. ჩვეულებრივ, რკინაბეტონში ბზარების მნიშვნელოვანი სიდიდით (ნორმებით დასაშვებზე მეტი) გახსნის საშიშროების გამო მუშა არმატურად გამოიყენება მხოლოდ ცხლად გლინული, რბილი ფოლადის, შედარებით დაბალი სიმტკიცის A–II და A–III კლასის არმატურა, რომელთა ძაბვა და, შესაბამისად, დეფორმაცია საექსპლუატაციო დატვირთვების მოქმედებისას ისეთია, რომ ბეტონში ბზარების გახსნის სიდიდე არ აღემატება ნორმებით დასაშვებს.

წინასწარ დაძაბულ ელემენტებში, დიდი ბზარმედეგობის გამო, ეს შეზღუდვა აღარ არის. მაღალი სიმტკიცის არმატურის გამოყენება ეკონომიკურად ხელსაყრელია, რადგან სიმტკიცის ზრდასთან ერთად მისი ღირებულება უფრო ნაკლები ინტენსიურობით იზრდება, ამიტომ, რაც მეტია არმატურის სიმტკიცე, მისი ხვედრითი ღირებულება მცირდება. ამის გამოა, რომ მაღალი სიმტკიცის არმატურის გამოყენებით 50%-მდე მცირდება მისი ხარჯი, შესაბამისად მცირდება ღირებულებაც.

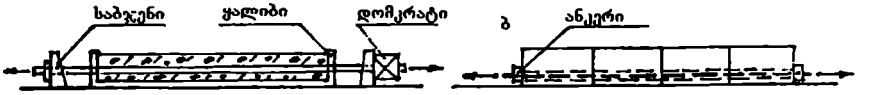
3. წინასწარი დაძაბვით იზრდება ელემენტის სიხისტე, მაშასადამე მცირდება ჩაღუნვაც (დაახლოებით ოთხჯერ);
4. იზრდება კონსტრუქციის ამტანობა მრავალგზის განმეორებადი დატვირთვის ზემოქმედებისას. რის გამოც წარმატებით გამოიყენება დინამიკური დატვირთვის ასატანად და სეისმურ რაიონებში მშენებლობისას;
5. მაღალი ბზარმედეგობის გამო, იზრდება მისი ექსპლუატაციის ხანგრძლივობა, განსაკუთრებით აგრესიულ გარემოში;
6. მაღალი კლასის არმატურის გამოყენება მაღალი კლასის ბეტონის გამოყენების საშუალებას იძლევა: შესაძლებელი ხდება ელემენტის განივკვეთის ზომების შემცირება (ამას ხელს უწყობს სიხისტის გაზრდაც). ამით მცირდება ბეტონის ხარჯი, რაც მთავარია მცირდება კონსტრუქციის მასა;
7. ფართოვდება რკინაბეტონის გამოყენების შესაძლებლობა იქ, სადაც ძირითადად გამოიყენება დეფიციტური ლითონი ან ხე. მაგალითად, სადაწნეო მილსადენები, რეზერვუარები, რკინიგზის შპალები და ა.შ.

ჩამოთვლილი ბევრი ღირსება იმდენად მნიშვნელოვანია, რომ მიუხედავად დამზადების პროცესის შრომატევადობისა, ყალიბის კონსტრუქციის გართულებისა, წინასწარი მოკუმშვის დროს ბეტონის დამსხვრევის საშიშროებისა, ბეტონში არმატურის შესაძლო დასხლეტისა, წინასწარ დაძაბული კონსტრუქციის გამოყენება ხელსაყრელია როგორც კონსტრუქციული, ასევე ეკონომიკური მოსაზრებითაც.

### 2.1.8.2. წინასწარი დაძაბვის ხერხები

რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაძაბვა ხდება ძირითადად სამი ხერხით: ა) არმატურის დაჭიმვა საბჯენებზე, ბ) არმატურის დაჭიმვა მზა, სუსტად დაარმატურებულ ბეტონზე და გ) თვითდაძაბვა გაფართოებადი ბეტონის გამოყენებით.

დაძაბვა საბჯენებზე უფრო გავრცელებულია და გამოიყენება მცირე და საშუალო ზომის კონსტრუქციების წინასწარ დასაძაბავად. მაღალი სიმტკიცის არმატურას ჩაალაგებენ ყალიბში და დაჭიმავენ მის გარეთ მოთავსებულ სტაციონარულ საბჯენებზე (ნახ. 2.30,ა). დაბეტონებისა და ბეტონის მიერ საპროექტო სიმტკიცის 50%-ის მიღწევის შემდეგ არმატურას აუშვებენ საბჯენებიდან. იგი ცდილობს დაუბრუნდეს პირვანდელ მდგომარეობას, ბეტონთან შეჭიდულობის ძალების ან სპეციალური საანკერო მოწყობილობების მეშვეობით კუმშავს ბეტონს.




ნახ. 2.30. რკინაბეტონის ელემენტების წინასწარი დაძაბვის ხერხები:
ა – საბჯენებზე დაძაბვა; ბ – დაძაბვა ბეტონზე

ბეტონზე დაძაბვისას (ნახ. 2.30,ბ) დიდი ზომის კონსტრუქციებს ამზადებენ ბეტონის ან სუსტად დაარმატურებული ელემენტებით, ტოვებენ მათში ხვრელებს ან არხებს. შემდეგ ამ ხვრელებში გაატარებენ მაღალი სიმტკიცის ღეროვან არმატურას, მავთულის კონებს ან ბაგირებს, დაძაბავენ უშუალოდ მზა ბეტონის ელემენტზე და ჩაამაგრებენ ბოლოებს სპეციალური საანკერო მოწყობილობით, რადგან არმატურასა და ბეტონს შორის არავითარი შეჭიდულობა არ არის. ბოლოს ხვრელებს ამოავსებენ მაღალი სიმტკიცის ცემენტის ხსნარით, არმატურის კოროზიისაგან დასაცავად.

საბჯენებზე არმატურას გაჭიმავენ მექანიკური, ელექტროთერმული ან ელექტროთერმომექანიკური ხერხით. ბეტონზე დაძაბვისას კი იყენებენ მხოლოდ მექანიკურ ხერხს.

ელემენტების თვითდაძაბვა ძირითადად ხდება სივრცული, თხელკედლიანი კონსტრუქციებისათვის. სათანადო ყალიბში თავსდება არმატურის ბადე და ჩაისხმება გაფართოებად ცემენტზე დამზადებული ბეტონი. გამყარებისას ბეტონი ფართოვდება და გაჭიმავს ბადის მავთულებს. გამყარების შემდეგ ბეტონისაგან წინასწარ გაჭიმული არმატურა ცდილობს დაუბრუნდეს თავის პირვანდელ მდგომარეობას და კუმშავს ბეტონს. აქ დაძაბვა ხდება კონსტრუქციის ორი ურთიერთმართობული მიმართულებით, ე.ი. ხდება სივრცული დაძაბვა.

### 2.1.8.3. წინასწარი ძაბვების დანაკარგები

წინასწარ დაძაბულ კონსტრუქციაში ძაბვები არ რჩება მუდმივი სიდიდის. დამზადებისა და ექსპლუატაციის პროცესში იკარგება ძაბვის 30%-მდე. ელემენტის დამზადებისა და მოკუმშვისას დანაკარგებია – პირველადი დანაკარგები, ბეტონის მოკუმშვის შემდეგ – მეორადი დანაკარგები. ძაბვათა დანაკარგების მიზეზებია:

1. $\sigma_1$ – საბჯენებზე დაძაბვის დროს არმატურაში ძაბვის რელაქსაციით;
2. $\sigma_2$ – თერმული გამოორთქლისას არმატურასა და ანკერებში ტემპერატურული დეფორმაციის სხვაობით;
3. $\sigma_3$ – ანკერების ელემენტების მოთელვის, დეფორმაციისა და ჟერის გამო;
4. $\sigma_4$ – არმატურის ხახუნით ხვრელის (არხების) კედლებთან ან დამჭიმავი მანქანის ლილვთან;
5. $\sigma_5$ – ფოლადის ყალიბის დეფორმაციის გამო;
6. $\sigma_6$ – ბეტონის სწრაფდენადი ცოცვადობით მოკუმშვის პროცესში;
7. $\sigma_7$ – არმატურაში ძაბვის რელაქსაციით ბეტონზე დაძაბვისას;
8. $\sigma_8$ – ბეტონის გამყარების დროს შეკლებით გამოწვეული დანაკარგი;

9. $\sigma_9$ – ბეტონის ხანგრძლივი ცოცვადობით გამოწვეული დანაკარგი;
10. $\sigma_{10}$ – წრიული ან სპირალური არმატურის ქცევაში ბეტონის მოთელვით, წრიული კვეთის ბეტონის ელემენტებზე (რეზერვუარი, მილსადენი) წინასწარ დამძაბავი არმატურის დახვევისას;
11. $\sigma_{11}$ – კონსტრუქციის ცალკეული ელემენტებით აწყობისას პირაპირებში ბეტონის მოთელვით.

ყველა ამ დანაკარგს ნორმებში შეესაბამება სათანადო სიდიდე ან ფორმულა, რომლის მიხედვითაც იანგარიშება დანაკარგის რიცხვითი მნიშვნელობა.

საბჯენებზე დაძაბვისას გაანგარიშებაში ითვალისწინებენ:

პირველად დანაკარგებად – $\sigma_{loss,1} = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4 + \sigma_5 + \sigma_6$;

მეორად დანაკარგებად – $\sigma_{loss,2} = \sigma_8 + \sigma_9$.

ბეტონზე დაძაბვის დროს:

პირველადი დანაკარგია – $\sigma_{loss,1} = \sigma_3 + \sigma_4$;

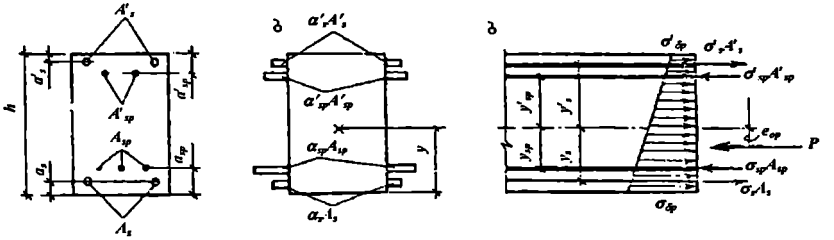
მეორადი დანაკარგებია – $\sigma_{loss,2} = \sigma_7 + \sigma_8 + \sigma_9 + \sigma_{10} + \sigma_{11}$.

სრული დანაკარგები – $\sigma_{loss} = \sigma_{loss,1} + \sigma_{loss,2}$.

ნორმების მიხედვით, დანაკარგების მინიმალური ჯამური საანგარიშო მნიშვნელობაა 100 მპა.

### 2.1.8.4. ძაბვები ბეტონში და არმატურაში წინასწარი დაძაბვისას

წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტებისას საჭიროა ძაბვის ცოდნა ბეტონსა და არმატურაში კონსტრუქციის დამზადების, ტრანსპორტირების, მონტაჟისა და ექსპლუატაციის დროს. ღერძის მიმართ ნორმალურ კვეთებში ძაბვები განისაზღვრება, როგორც დრეკადი მასალისათვის, მასალათა გამძლეობის ფორმულებით. ამ დროს წინასწარ მომკუმშავი $P$ ძალა განიხილება, როგორც გარე დატვირთვა, ხოლო საანგარიშოდ მიღებულია დაყვანილი კვეთი, რომელიც შედგება ბეტონის ფართობისაგან, არხებით შესუსტებების გათვალისწინებითა და მთელი არმატურის (დაძაბულის და დაუძაბავის) ეკვივალენტური ბეტონის ფართობისაგან (ნახ. 2.31).




ნახ. 2.31. ბეტონში წინასწარი დაძაბვისაგან აღძრული ძაბვების განსაზღვრისათვის:
ა – გრძივი არმატურის განლაგება; ბ – დაყვანილი კვეთი;
გ – ძალვათა სქემა წინასწარ დაძაბული ელემენტის კვეთში

არმატურის ფართობის ეკვივალენტური ბეტონის ფართობი მიიღება არმატურისა და ბეტონის დეფორმაციების ტოლობიდან, დრეკადობის მოდულების შეფარდების $\alpha_s = E_s/E_b$, დახმარებით.

დაყვანილი კვეთის $A_{red}$ ფართობი, $S_{red}$ სტატიკური მომენტი და $I_{red}$ ინერციის მომენტი განისაზღვრება შემდეგი ფორმულების საშუალებით

$$A_{red} = A_b + \alpha_s A_s + \alpha'_s A'_s + \alpha_{sp} A_{sp} + \alpha'_{sp} A'_{sp}, \tag{2.89}$$

$$S_{red} = S_b + \alpha_s A_s a_s + \alpha'_s A'_s (h - a'_s) + \alpha_{sp} A_{sp} a_{sp} + \alpha'_{sp} A'_{sp} (h - a'_{sp}), \tag{2.90}$$

$$I_{red} = I_b + \alpha_s A_s Y_s^2 + \alpha'_s A'_s (Y'_s)^2 + \alpha_{sp} A_{sp} Y_{sp}^2 + \alpha'_{sp} A'_{sp} (Y'_{sp})^2. \tag{2.91}$$

მანძილი დაყვანილი კვეთის სიმძიმის ცენტრიდან გაჭიმულ წიბომდე

$$Y = S_{red}/A_{red}. \tag{2.92}$$

ბეტონის წინასწარი დაძაბვის ძალა მიღებულია, როგორც დაძაბულ და დაიძაბავ არმატურებში აღძრული ძალების ტოლქმედი

$$P = \sigma_{sp} A_{sp} + \sigma'_{sp} A'_{sp} - \sigma_s A_s - \sigma'_s A'_s. \tag{2.93}$$

ამ ძალვის $e_{op}$ ექსცენტრისიტეტი, დაყვანილი კვეთის სიმძიმის ცენტრის მიმართ განისაზღვრება ტოლქმედისა და შემადგენელი ძალვების მომენტების ტოლობის პირობიდან (ნახ. 2.31, გ)

$$e_{op} = \frac{\sigma_{sp} A_{sp} Y_{sp} - \sigma'_{sp} A'_{sp} Y'_{sp} - \sigma_s A_s Y_s + \sigma'_s A'_s Y'_s}{P}. \tag{2.94}$$

ნორმალური ძაბვა ბეტონში წინასწარი მოკუმშვისაგან განისაზღვრება, როგორც გარეცენტრულად შეკუმშულ დრეკად სხეულში

$$\sigma_{bp} = \frac{P}{A_{red}} \pm \frac{P e_{op} Y_l}{I_{red}}. \tag{2.95}$$

(2.91), (2.94) და (2.95) ფორმულებში მიღებულია შემდეგი აღნიშვნები: $\sigma_{sp}(\sigma'_{sp})$ – ძაბვები წინასწარ დაძაბულ, გაჭიმულ (შეკუმშულ) არმატურაში დაძაბვის სტადიაში პირველადი დანაკარგების გათვალისწინებით $\sigma_{sp} - \sigma_{loss.1}(\sigma'_{sp} - \sigma'_{loss.1})$, ხოლო ექსპლუატაციის სტადიაში – სრული დანაკარგების გათვალისწინებით; $\sigma_s(\sigma'_s)$ – მკუმშავი ძაბვები დაუძაბავ არმატურაში, დაძაბვის სტადიაში ტოლია ძაბვათა დანაკარგის ბეტონის სწრაფდენადი ცოცვადობისაგან $\sigma_s = \sigma_6(\sigma'_s = \sigma'_6)$, ხოლო ექსპლუატაციის სტადიაში – ბეტონის შეკლებისა და ცოცვადობის გამო დანაკარგების გათვალისწინებით $\sigma_s = \sigma_6 + \sigma_8 + \sigma_9 (\sigma'_s = \sigma'_6 + \sigma'_8 + \sigma'_9)$; $Y_l$ – მანძილი დაყვანილი კვეთის ცენტრიდან კვეთის იმ შრემდე, რომელშიც განისაზღვრება ძაბვა.

წინასწარ დაძაბული კონსტრუქციების დამზადებისას საჭიროა, ხელსაწყოების მეშვეობით, დაჭიმვის საკონტროლო ძალვის სიდიდის ცოდნა წინასწარ დაძაბულ არმატურაში. არმატურაში საკონტროლო $\sigma_{con.l}$ ძაბვა, რომელიც საბჯენებზე დაძაბვისას კონტროლდება დაძაბვის დამთავრებისას, განისაზღვრება ანკერების $\sigma_3$ დეფორმაციის და დაძაბული არმატურის დამძაბავ ხელსაწყოს ლილეზე

ხახუნისაგან $\sigma_4$ ძაბვის დანაკარგის გათვალისწინებით (თუ დაძაბვის შესაბამისი ხერხია გამოყენებული)

$$\sigma_{con.1} = \sigma_{sp} - \sigma_3 - \sigma_4; \quad \sigma'_{con.1} = \sigma'_{sp} - \sigma'_3 - \sigma'_4. \tag{2.96}$$

ბეტონზე დაძაბვისას, ძალების ნაწილი იხარჯება ბეტონის მოკუმშვაზე. საკონტროლი ძაბვები დაძაბული არმატურაში იქნება

$$\sigma_{con.2} = \sigma_{sp} - \alpha\sigma_{bp}, \qquad \sigma'_{con.2} = \sigma'_{sp} - \alpha'\sigma'_{bp} \tag{2.97}$$

სადაც $\sigma_{bp}(\sigma'_{bp})$ – ძაბვებია ბეტონში $s$ და $s'$ არმატურების განიეკეეთის სიმძიმის ცენტრების დონეზე $P$ დამძაბავი ძალის მოქმედებისაგან, ძაბვების პირველადი დანაკარგების გათვალისწინებით.

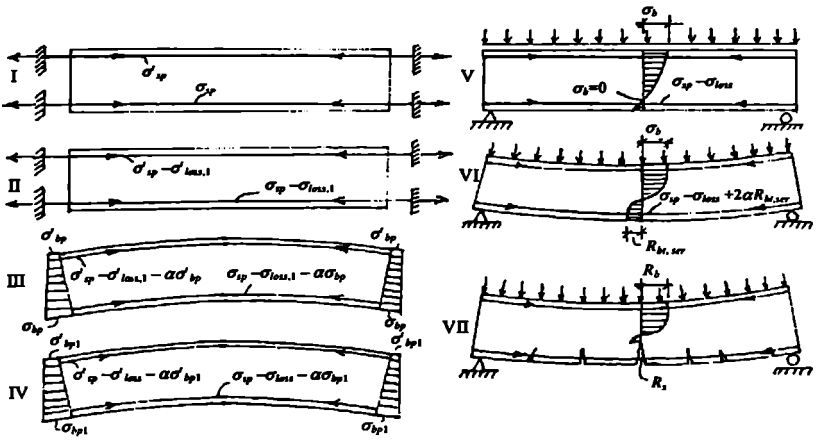
### 2.1.8.5 წინასწარ დაძაბული ღუნვადი კონსტრუქციის ნორმალური კვეთის დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობათა მიმდევრობა (ეტაპები)

საბჯენებზე დაძაბულ ღუნვად ელემენტებში, არმატურის დაჭიმვიდან ელემენტის რღვევამდე, ძაბვები არმატურასა და ბეტონში იცვლება 2.32 ნახაზზე მოცემული მიმდევრობით.

ნახ. 2.32-ზე ჩანს, რომ წინასწარი დაძაბვისას არმატურაში ჯერ საკონტროლო სიდიდის ძაბვები წარმოიქმნება (I ეტაპი), შემდეგ იწყება ჯერ პირველადი, შემდეგ მეორადი დანაკარგები, რომლებიც გამოიკლდება პირვანდელ საკონტროლო $\sigma_{sp}$ ძაბვას (II ეტაპი). III და IV ეტაპზე არმატურაში არსებულ ძაბვას აკლდება ბეტონის კუმშვის დეფორმაციის შესაბამისი $\alpha\sigma_{bp}$ და $\alpha\sigma_{bp1}$ ძაბვები. V ეტაპზე ღუნვად ელემენტზე მოდებულია იმ სიდიდის გარე დატვირთვა, რომლის მიერ აღძრული გამჭიმავი ძაბვა გაჭიმული არმატურის დონეზე, წინასწარი მოკუმშვისაგან ბეტონში აღძრული შემკუმშავი ძაბვის ტოლია. ე.ი. გაჭიმულ ზონაში წინასწარი დაძაბვა გაბათილდება. VI ეტაპზე, დატვირთვის მომატებით მუშაობას იწყებს გაჭიმული ბეტონიც, რომელშიც ძაბვა აღწევს თავის ზღვრულ $R_{bt.ser}$ მნიშვნელობას. ბოლო, VII ეტაპზე, გაჭიმულ ზონაში ჩნდება ბზარები, გაჭიმულ არმატურაში ძაბვა ხდება ზღვრული – $R_s$, ამასობაში შეკუმშულ ბეტონშიც ძაბვა უტოლდება ზღვრულ $R_b$ სიდიდეს, ხოლო შეკუმშულ არმატურაში – $\sigma_{sc} = R_{sc} - \sigma'_{sp}$ და ელემენტი ირღვევა.

ნახ. 2.32-ზე ისიც ნათლად ჩანს, რომ, I-დან VI ეტაპის ჩათვლით, მდგომარეობა შეესაბამება კვეთის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის I სტადიას, რომლის დროსაც უბზაროდ მომუშავე ელემენტები იანგარიშება II ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით. VII ეტაპის დასაწყისი, როდესაც ბზარები წარმოიქმნება, მაგრამ ძაბვას არმატურასა და ბეტონში ჯერ არ მიუღწევია ზღვრული მნიშვნელობისათვის – შეესაბამება II სტადიას ანუ საექსპლუატაციო სტადიას, რომლის დროსაც ხდება ბზარებით მომუშავე ელემენტების გაანგარიშება II ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით. VII ეტაპის ბოლო, როდესაც ძაბვა ბეტონშიცა და არმატურაშიც ზღვრულ მნიშვნელობას აღწევს – შეესაბამება III

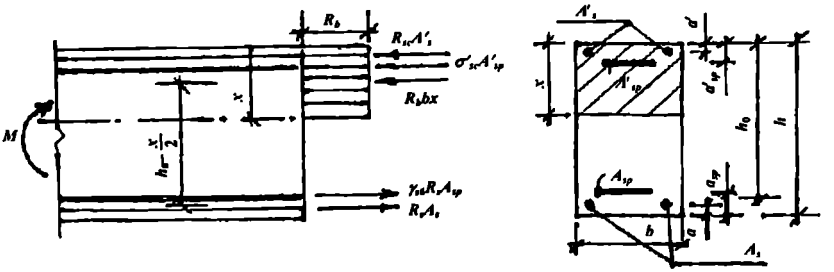
სტადიას ანუ რღვევის სტადიას, რომლის დროსაც წინასწარ დაძაბულ რკინაბეტონის ელემენტებს ანგარიშობენ I ჯგუფის ზღრულ მდგომარეობათა მიხედვით, კერძოდ, სიმტკიცეზე.




ნახ. 2.32. წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტის კეცოის დაძაბული მდგომარეობის ეტაპები

### 2.1.8.6. წინასწარ დაძაბული ღუნვადი ელემენტის კეეთის გაანგარიშება სიმტკიცეზე

გაანგარიშება სიმტკიცეზე ანალოგიურია ორფაარმატურიანი კეეთის გაანგარიშებისა, ოღონდ წონასწორობის პირობიდან დაწერილ სიმტკიცის პირობაში ჩაემატება ახალი წევრები – გაჭიმული და შეკუმშული ზონის წინასწარ დაძაბულ არმატურაში აღძრული ძალეები. საანგარიშო სქემას აქეს შემდეგი სახე (ნახ. 2.33).



ნახ. 2.33. წინასწარ დაძაბული ღუნვადი ელემენტის სიმტკიცეზე საანგარი'შო სქემა

წონასწორობის პირობიდან $\sum M = 0$, გვექნება

$$M \le R_b bx\left(h_0 - \frac{x}{2}\right) + R_{sc}A'_s(h_0 - d') + \sigma'_{sc}A'_{sp}(h_0 - d'_{sp}). \qquad (2.98)$$

ძაბვა შეკუმშულ ზონაში განლაგებულ დაძაბ'ულ არმატ'ურაში $\sigma'_{sc} = R_{sc} - \gamma_{sp}\sigma'_{sp}$.

$\gamma_{sp}$ არმატ'ურის წინასწ'არი დაძაბვის სიზ'უსტის კოეფიციენტია, აიღება ნორმებიდან.

წონასწორობის პირობიდან $\sum X = 0$, გვექნება

$$R_s A_s + \gamma_{s6}R_s A_{sp} - R_b bx - R_{sc}A'_s - \sigma'_{sc}A'_{sp} = 0, \qquad (2.99)$$

(2.99)-დან გვექნება

$$x = \frac{R_s A_s + \gamma_{s6}R_s A_{sp} - R_{sc}A'_s - \sigma'_{sc}A'_{sp}}{R_b b}. \qquad (2.100)$$

$\gamma_{s6}$ არმატ'ურის მუ'შაობის პირობების კოეფიციენტია დაძაბ'ული არმატ'ურისათვის, აიღება ნორმებიდან [1].

### 2.1.9. რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების საფუძვლები მეორე ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით

რკინაბეტონის კონსტრ'უქციების დაპროექტებისას საჭიროა არა მარტო სიმტკიცესა და მდგრადობაზე გაანგარი'შება (პირველი ჯგ'უფის ზღვრული მდგომარეობები), არამედ საკმარისი ბზარმედეგობისა და სიხისტის უ'ზრუნველყოფაც.

ბზარმედეგობის ქვეშ იგ'ულისხმება კონსტრუქციის წინააღმდეგობა ბზარების წარმოქმნისა და გახსნის მიმართ. იმისდა მიხედვით თ'უ რა პირობებ'ში მ'უშაობს და რა სახის არმატ'ურა გამოიყენება, რკინაბეტონის კონსტრ'უქციებს წაეყენება ბზარმედეგობის სამი კატეგორიის მოთხოვნა: I – არ დაი'შვება ბზარების წარმოქმნა; II – დასაშვებია სიგანეში შეზღ'უდული სიდიდის ხანმოკლე ბზარის გახსნა ($a_{crc,1} \le 0{,}2$ მმ), იმ პირობით, რომ შემდგომში იგი საიმედოდ დაიხ'ურება, III – დასაშვებია სიგანეში 'შეზღ'უდული სიდიდის ხანმოკლე ($a_{crc,1} \le 0{,}4$ მმ) და ხანგრძლივი ($a_{crc,2} \le 0{,}3$ მმ) ბზარის გახსნა.

ბზარების ხანმოკლე გახსნა ხდება მ'უდმივი, ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვის მოქმედებისაგან, ხოლო ხანგრძლივი გახსნა – მხოლოდ მ'უდმივი და ხანგრძლივი დატვირთვის მოქმედებისას.

პირველი კატეგორიის მოთხოვნის უზრ'უნველსაყოფად, გაანგარიშება ხდება საანგარიშო დატვირთვებზე, საიმედოობის კოეფიციენტით $\gamma_f > 1$, ისევე როგორც ზიდვის უნარზე გაანგარიშებისას, ხოლო მეორე და მესამე კატეგორიის მოთხოვნების მიხედვით გაანგარიშება ხდება საანგარიშო დატვირთვებზე, როდესაც დატვირთვის მიხედვით საიმედოობის კოეფიციენტი $\gamma_f = 1$ (ფაქტიურად, ნორმატიულ დატვირთვებზე).

პირველი კატეგორიის მოთხოვნის შესაბამისად იანგარიშება წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის კონსტრ'უქციები, რომლებიც მ'უშაობს სითხის ან აირის

დაწნევის ქვეშ (რეზერვუარები, სადაწნეო მილები), აგრეთვე კონსტრუქციები, რომლების ექსპლუატაცია ხდება გრუნტის წყლების დონეზე დაბლა, მთლიანად გაჭიმული ელემენტებით. სხვა წინასწარ დაძაბული კონსტრუქციები, იმისდა მიხედვით თუ როგორ პირობებში უხდება მუშაობა და რა სახის არმატურაა გამოყენებული, უნდა პასუხობდეს მეორე ან მესამე კატეგორიის მოთხოვნებს. რკინაბეტონის ყველა წინასწარ დაუძაბავი კონსტრუქცია უნდა პასუხობდეს ბზარმედეგობის მესამე კატეგორიის მოთხოვნებს.

რკინაბეტონის კონსტრუქციებში, გარდა ნორმალური და დახრილი ბზარებისა, შეიძლება წარმოიქმნას გრძივი ბზარებიც. მათი გახსნის შესაზღუდავად საჭიროა სპეციალური განივი არმატურის დაყენება, ხოლო წინასწარ დაძაბულ კონსტრუქციებში ბეტონში ძაბვა მოკუმშვის სტადიაზე იზღუდება $(0,65\ldots0,85)R_{bp}$ მნიშვნელობით.

### 2.1.9.1. გაანგარიშება ბზარების წარმოქმნის მიხედვით

ბზარების წარმოქმნის მიხედვით გაანგარიშებისას, მიიღება ელემენტის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის Iბ სტადია, ამასთან ითვლება სამართლიანად კვეთების ბრტყელი დეფორმაციის ჰიპოთეზა, ყველაზე გაჭიმულ შრეში ფარდობითი წაგრძელება ითვლება ბეტონის ზღვრული გაჭიმვადობის ტოლი – $\varepsilon_{bt,u}=\dfrac{R_{bt,ser}}{\nu_t E_b}=\dfrac{2R_{bt,ser}}{E_b}$, ძაბვები ბეტონის გაჭიმულ ზონაში განაწილებულია თანაბრად და ტოლია $R_{bt,ser}$ (იხ. ნახ. 2.14,ბ). ამ მომენტში დაძაბულ არმატურაში ძაბვა უდრის ჯამს წინასწარი დაძაბვის მნიშვნელობის (დანაკარგებისა და დაძაბვის სიზუსტის კოეფიციენტის გათვალისწინებით) და გამჭიმავი ძაბვისა, რომლებიც წარმოქმნილია გარე გამჭიმავი ძალის მოქმედებით, წინასწარი დაძაბვის სიდიდის გადალახვის შემდეგ: $(\sigma_{sp}-\sigma_{loss})\gamma_{sp}+2\alpha R_{bt,ser}$. დაუძაბავ არმატურაში ძაბვა ტოლია – $(\sigma_g+\sigma_9)+2\alpha R_{bt,ser}$ ანუ ბეტონის შეკლებისა $(\sigma_g)$ და ცოცვადობისგან $(\sigma_9)$ მკუმშავი ძაბვისა და გარე გამჭიმავი ძალისაგან არმატურაში განვითარებული გამჭიმავი ძაბვის წანამატის ალგებრულ ჯამის.

რკინაბეტონის ელემენტში ბზარები არ წარმოიშობა თუ გარე დატვირთვისგან წარმოქმნილი: გაჭიმვისას $N$ ძალა და ღუნვისას $M$ მღუნავი მომენტი, არ გადააჭარბებენ შესაბამის ძალვას, რომელსაც კვეთი აიტანს ბზარების წარმოქმნის მომენტში.

ა) გაჭიმულ ელემენტებში

$$N\le N_{crc}=R_{bt,ser}(A_b+2\alpha A_s)+P; \qquad (2.101)$$

ბ) ღუნვად ელემენტებში

$$M\le M_{crc}=M_1+M_2=R_{bt,ser}W_{pl}+P(r+e_{op}), \qquad (2.102)$$

სადაც $2\alpha=E_s/(\nu_t E_b)=E_s/(0,5E_b)$;

$P$ წინასწარ მომკუმშავი ძალაა. დაუძაბავი რკინაბეტონის ელემენტების გაანგარიშებისას $P=0$;

$M_1$ – მომენტი, რომელიც კვეთის განაპირა შრეში მომკუმშავ ძალვას ამცირებს ნულამდე;

$M_2$ – მომენტი, რომელიც იმავე შრეში გამჭიმავ ძაბვებს ზრდის ნულიდან $R_{bt,ser}$ – სიდიდემდე;

$e_{op}$ – $P$ მომკუმშავი ძალის ექსცენტრისიტეტი;

$r$ – მანძილი, დაყვანილი კვეთის გაჭიმული კიდედან, კვეთის გულის უშორესი წერტილიდან, ამავე კვეთის სიმძიმის ცენტრამდე;

$N_{crc}$ და $M_{crc}$ – შესაბამისად, გამჭიმავი ძალის და მღუნავი მომენტის ის სიდიდე, რომლის დროსაც ელემენტის გაჭიმულ ზონაში წარმოიქმნება ბზარები.

### 2.1.9.2. გაანგარიშება ბზარების დახურვის მიხედვით

რკინაბეტონის იმ კონსტრუქციების ნორმალური ექსპლუატაციისათვის, რომლებსაც ბზარმედეგობის მეორე კატეგორიის მოთხოვნა წაეყენება, საჭიროა უზრუნველვყოთ ნორმალური და დახრილი ბზარების საიმედო დახურვა ხანმოკლე დატვირთვის მოხსნის შემდეგ. ბზარის დახურვის აუცილებლობა გამოწვეულია იმით, რომ ასეთი კონსტრუქციების არმატურის კოროზიისათვის უფრო მეტად საშიშია ბზარის ხანგრძლივი გახსნა.

ბზარმედეგობის მეორე კატეგორიის მოთხოვნა, რომ შესრულდეს, სრული დატვირთვისაგან (მუდმივი, ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვა) არმატურაში უნდა აღიძრას მხოლოდ დრეკადი დეფორმაცია, ეს შესაძლებელია, თუ წინასწარი მოკუმშვისაგან აღძრულ $\sigma_{sp}$ ძაბვისა და სრული გარე დატვირთვისაგან აღძრული $\sigma_s$ ძაბვის ჯამისათვის შესრულდება პირობა

$$\sigma_{sp} + \sigma_s \le 0{,}8 R_{s,ser}. \qquad (2.103)$$

ბზარის დახურვის შემდეგ მასში უნდა შენარჩუნდეს მკუმშავი ძაბვა არანაკლები 0,5 მგპა.

დახრილი ბზარის საიმედო დახურვისათვის საჭიროა, რომ ორივე მთავარი ძაბვა ბეტონში $\sigma_{mt}$ და $\sigma_{mc}$ (იხ. ფორმულა 2.55) დაყვანილი კვეთის სიმძიმის ცენტრში, მუდმივი და ხანგრძლივი დატვირთვების მოქმედებისას უნდა იყოს მკუმშავი, სიდიდით არანაკლები 0,5 მგპ-სა. ეს მოთხოვნა შეიძლება უზრუნველვყოთ კონსტრუქციის განივი არმატურის წინასწარი დაძაბვით.

### 2.1.9.3. გაანგარიშება ბზარების გახსნის სიდიდის მიხედვით

ბზარის გახსნის სიდიდის მიხედვით გაანგარიშება ხდება დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის II სტადიისათვის, ნორმატიულ დატვირთვებზე ანუ როდესაც დატვირთვის საიმედოობის კოეფიციენტი $\gamma_f = 1$. გაანგარიშების მიზანია, გამოვთვალოთ ბზარის გახსნის $a_{crc}$ სიდიდე, რომელიც ნაკლები იქნება ზღვრულ დასაშვებ $a_{crc,u}$ სიდიდეზე, რომლის დროს უზრუნველყოფილია შენობის ნორმალური ექსპლუატაცია, არმატურის კოროზიამედეგობა და მთელი კონსტრუქციის ხანგამძლეობა. მაშასადამე უნდა შესრულდეს პირობა

$$a_{crc} \le a_{crc,u} = 0{,}05\ldots0{,}3(0{,}4)\ \text{მმ}.$$

თუ გაანგარიშებით მიღებული ბზარის გახსნის სიგანე მეტი აღმოჩნდა დასაშვებზე, მაშინ უმატებენ წინასწარ მომკუმშავ ძალვას, აიღებენ უფრო მაღალი კლასის ბეტონს ან ზრდიან ელემენტის განივი კვეთის გეომეტრიულ ზომებს.

რკინაბეტონის დაპროექტების ნორმების რეკომენდაციით, ელემენტის ღერძისადმი ნორმალური ბზარების გახსნის $a_{crc}$ სიდიდე გამოითვლება ემპირიული ფორმულით

$$a_{crc} = 20(3{,}5 - 100\mu)\delta\varphi_l\eta\frac{\sigma_s}{E_s}\sqrt[3]{d}\,. \qquad (2.104)$$

აქ $\mu$ გაჭიმული არმატურით დაარმატურების კოეფიციენტია, აიღება არა უმეტესი 0,02; $\delta$ – კოეფიციენტი, რომელიც ღუნვადი და გარეცენტრულად შეკუმშული ელემენტებისათვის აიღება 1-ის ტოლი, გაჭიმულისათვის – 1,2; $\varphi_l$ – კოეფიციენტი, დამოკიდებული დატვირთვის ზემოქმედების ხანგრძლივობაზე, ბეტონის სახეობასა და მდგომარეობაზე: ხანმოკლე დატვირთვაზე $\varphi_l = 1$, მუდმივი და ხანგრძლივი დატვირთვისას $\varphi_l = 1{,}5$; $\eta$ – კოეფიციენტი, რომელიც მიიღება ტოლი: პერიოდული პროფილის არმატურისათვის $\eta = 1$, გლუვისათვის – $\eta = 1{,}3$; $\sigma_s$ ძაბვაა გაჭიმულ არმატურაში: $\sigma_s = N/A_s$ – ცენტრალურად გაჭიმულ დაუძაბავ ელემენტში, $\sigma_s = (N-P)/(A_{sp}+A_s)$ – წინასწარ დაძაბულში, წინასწარ დაუძაბავ ღუნვად ელემენტში – $\sigma_s = M/A_s z$ ($z$ კვეთში შიდა წყვილძალის მხარია), წინასწარ დაძაბულში – $\sigma_s = [M - P(z - e_{sp})]/[(A_{sp}+A_s)z]$ ($e_{sp}$ – მომკუმშავი $P$ ძალის დაშორებაა გაჭიმული არმატურის სიმძიმის ცენტრამდე).

როგორც ვხედავთ, (2.104)-ის მიხედვით, ნორმალური ბზარის გახსნის სიდიდე დამოკიდებულია – ძაბვაზე, რომელიც აღიძვრება გაჭიმულ არმატურაში, კვეთის დაარმატურების პროცენტზე, არმატურის სახეობასა და დიამეტრზე, დატვირთვის მოქმედების ხანგრძლივობაზე. იმისათვის, რომ ბზარის გახსნის სიგანე შემცირდეს, საჭიროა გავზარდოთ მუშა არმატურის რაოდენობა, შევამციროთ ღეროების დიამეტრი, გამოვიყენოთ პერიოდული პროფილის არმატურა.

ბზარის გახსნის ჯამური სიდიდე იქნება

$$a_{crc} = a_{crc,1} - a_{crc,2} + a_{crc,3}\,, \qquad (2.105)$$

სადაც $a_{crc,1}$ – ბზარის გახსნის სიდიდეა, მთელი დატვირთვის ხანმოკლე მოქმედებით;

$a_{crc,2}$ – ბზარის გახსნის სიდიდე – მუდმივი და ხანმოკლე დატვირთვის ხანმოკლე მოქმედებით;

$a_{crc,3}$ – ბზარის გახსნის სიდიდე – მუდმივი და ხანგრძლივი დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედებით.

დახრილი ბზარის გახსნის სიდიდე გაიანგარიშება, როდესაც არ სრულდება პირობა $\sigma_{st} \le \gamma_{b3}R_{bt,ser}$ (იხ. 2.57 ფორმულა). დახრილი ბზარის გახსნის სიდიდეზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს განივი არმატურა, ხოლო გრძივი არმატურის

გავლენა უმნიშვნელოა. აქაც, დახრილი ბზარის გახსნის სიგანე იანგარიშება ნორმებით რეკომენდებული ემპირიული ფორმულით

$$a_{crc} = \varphi_l \frac{0{,}6\sigma_{sw} d_w \eta}{E_s \frac{d_w}{h_0} + 0{,}15 E_b (1 + 2\alpha\mu_w)}. \qquad (2.106)$$

აქ $\varphi_l$ და $\eta$ იგივე კოეფიციენტებია, რაც (2.104) გამოსახულებაში; $d_w, \sigma_{sw}$ – დიამეტრი და ძაბვა განივ არმატურაში; $\mu_w = A_{sw}/bs$ – განივი არმატურით დაარმატურების კოეფიციენტი, $s$ – განივი არმატურის ბიჯი.

### 2.1.9.4. რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშება საერთო გადაადგილებაზე (ჩაღუნვაზე)

რკინაბეტონის კონსტრუქციების საერთო გადაადგილებაზე (დეფორმაციაზე) გაანგარიშების მიზანია, კონსტრუქციის ჩაღუნვის შეზღუდვა ისეთ ზღვრულ სიდიდემდე, რომელიც არ შეცელის მის საექსპლუატაციო თვისებებს. უნდა დაკმაყოფილდეს პირობა

$$f \le f_u, \qquad (2.107)$$

აქ $f$ ჩაღუნვაა საანგარიშო დატვირთვისაგან, როდესაც $\gamma_f = 1$ (ნორმატიული დატვირთვა);

$f_u$ – ნორმების მიერ დაშვებული ზღვრული ჩაღუნვა, რომელიც დადგენილია ტექნოლოგიური, კონსტრუქციული, ესთეტიკური და სხვა მოთხოვნით: დახურვისა და გადახურვის ბრტყელი პანელებისათვის, როდესაც $\ell \le 6$ მ – $\ell/200$, როდესაც $6 < \ell \le 7{,}5$ მ – 3 სმ, თუ $\ell > 7{,}5$ მ – $\ell/250$; ამწისქვეშა კოჭებისათვის $f_u = \ell/600$ და ა.შ.

ნორმების რეკომენდაციით ჩაღუნვის გაანგარიშება ხდება სიმრუდის მეშვეობით, სამშენებლო მექანიკის მეთოდებით. მოსახერხებელია მორის ინტეგრალი

$$f = \int_0^{\ell} \overline{M}_x \left(\frac{1}{r}\right)_x dx, \qquad (2.108)$$

სადაც $\overline{M}_x$ ერთეული ძალით გამოწვეული მომენტია $x$ კვეთში, მოდებული ჩაღუნვის მიმართულებით; $\left(\frac{1}{r}\right)_x$ – ელემენტის სიმრუდე $x$ კვეთში იმ დატვირთვისაგან, რომლისთვისაც გამოითვლება ჩაღუნვა.

გაანგარიშების გასამარტივებლად სიმრუდე შეიძლება გამოითვალოს ქვედაზე დაძაბულ კვეთში და ჩაეთვალოთ, რომ იცვლება მღუნავი მომენტის პროპორციულად. ასეთი დაშვება ნორმებში ნებადართულია მუდმივი კვეთის ელემენტებისათვის (კოჭებისათვის) და ჩაღუნვის ფორმულა მიიღებს შემდეგ სახეს

$$f = \varphi_m \left(\frac{1}{r}\right) \ell_0^2. \qquad (2.109)$$

აქ $\varphi_m$ კოეფიციენტია დამოკიდებული ელემენტის დაყრდნობისა და დატვირთვის სქემაზე. მაგალითად, თავისუფლად დაყრდნობილი კოჭისათვის, თანაბრად განაწილებული დატვირთვისას $\varphi_m = 5/48$; მალის შუაში შეყურსული დატვირთვისას – $\varphi_m = 1/12$; კოჭის ბოლოებში ტოლი მომენტების მოქმედებისას – $\varphi_m = 1/8$; $1/r$ – გაჭიმული ზონაში უბზაროდ ან ბზარებით მომუშავე ელემენტის სიმრუდეა; $l_0$ – კოჭის საანგარიშო მალი.

ღუნვად და გარეცენტრულად შეკუმშულ ელემენტებში, რომლებიც მუშაობენ ბზარების გარეშე, სიმრუდე გამოითვლება, როგორც მთლიანი ტანისათვის, ბეტონის ცოცვადობისაგან დეფორმაციის ზრდის გათვალისწინებით

$$\frac{1}{r} = \frac{M\varphi_{b2}}{\varphi_{b1}E_b I_{red}}, \tag{2.110}$$

სადაც $\varphi_{b2}$ ბეტონის ცოცვადობის გამთვალისწინებელი კოეფიციენტია. ხანმოკლე დატვირთვისას $\varphi_{b2} = 1$, მუდმივი და ხანგრძლივი დატვირთვებისათვის, როდესაც გარემოს ტენიანობა 40...75% – $\varphi_{n2} = 2$, ხოლო 40%-ზე ნაკლები ტენიანობისას – $\varphi_{b2} = 3$; $\varphi_{b1}$ კოეფიციენტი ითვალისწინებს ხანმოკლე ცოცვადობისაგან სიმრუდის გაზრდას. მძიმე ბეტონებისთვის $\varphi_{b1} = 0{,}85$.

სრული ჩაღუნვა წინასწარი მოკუმშვისა და გარე დატვირთვის მოქმედებისაგან

$$f = f_1 + f_2 - f_3 - f_4, \tag{2.111}$$

სადაც $f_1$ სრული ნორმატიული დატვირთვის ხანმოკლე მოქმედებით გამოწვეული ჩაღუნვაა;

$f_2$ – მუდმივი და ხანგრძლივი დატვირთვის მოქმედებით გამოწვეული ჩაღუნვა;

$f_3$ – მოკუმშვისაგან გამოწვეული აღუნვა;

$f_4$ – მოკუმშვის დროს აღუნვის ნაზრდი ბეტონის შეკლებისა და ცოცვადობისაგან.

ბზარებით მომუშავე ღუნვად ელემენტებში სიმრუდე გამოითვლება ფორმულით

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{zh_0}\left(\frac{\Psi_s}{E_s A_s} + \frac{\Psi_b}{\nu E_b A_b}\right) - \frac{N_{tot}\Psi_s}{E_s A_s h_0}, \tag{2.112}$$

სადაც $M$ კვეთში მოქმედი ყველა ძალის მომენტების ჯამია გაჭიმული არმატურის სიმძიმის ცენტრის მიმართ; $N_{tot}$ – ელემენტზე მოდებული მკუმშავი ძალა ან წინასწარი მომკუმშავი ძალვა; $z$ – კვეთში შიდა წყვილძალის მხარი; $\Psi_s$ – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ბზარებს შორის ბეტონის გაჭიმვაზე მუშაობას, $\Psi_s = \varepsilon_{sm}/\varepsilon_s$ და გამოითვლება ემპირიული ფორმულით; $\Psi_b$ – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს შეკუმშულ ბეტონში დეფორმაციის არათანაბარ განაწილებას ელემენტის ბზარებიან მონაკვეთზე, $\Psi_b = \varepsilon_{bm}/\varepsilon_b = 0{,}9$; $\nu$ – კოეფიციენტი, რომელიც ბეტონის არადრეკად დეფორმაციას ითვალისწინებს. ხანმოკლე დატვირთვისას $\nu = 0{,}45$, ხანგრძლივი მოქმედებისას $\nu = 0{,}15$.

გაჭიმულ ზონაში ბზარებიანი რკინაბეტონის კოჭის ჩაღუნვა იქნება

$$f = f_1 - f_2 + f_3 - f_4, \qquad (2.113)$$

აქ $f_1$ მთელი დატვირთვის ხანმოკლე მოქმედებით გამოწვეული ჩაღუნვაა;

$f_2$ – მუდმივი და ხანმოკლე დატვირთვების ხანმოკლე მოქმედებით გამოწვეული ჩაღუნვა;

$f_3$ – მუდმივი და ხანგრძლივი დატვიროვების ხანგრძლივი მოქმედებით გამოწვეული ჩაღუნვა;

$f_4$ – ბეტონის შეკლებისა და წინასწარი მომკუმშავი ძალის შესაბამისი ცოცვადობისაგან გამოწვეული აღუნვა.

## 2.1.10. რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტება

### 2.1.10.1 შენობებისა და ნაგებობების რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტების ზოგადი პრინციპები

ნებისმიერი ობიექტის (სამრეწველო, სამოქალაქო და სხვა დანიშნულების) პროექტის დამუშავება ხდება შემკვეთის მიერ შედგენილი დაპროექტების მოცემულობის საფუძველზე და შედგება: ობიექტის ბრტყელი და მოცულობითი დაგეგმარებისა და კონსტრუქციული გადაწყვეტისაგან, მისი სტატიკური (საჭიროების შემთხვევაში – დინამიკური) გაანგარიშებისაგან, ცალკეული ელემენტების კვეთის შერჩევისა და კონსტრუირებისაგან.

რაციონალური გადაწყვეტილება მიიღება დაპროექტების რამდენიმე შესაძლო ვარიანტის შედარების საფუძველზე: ეკონომიკური, მასალატევადობის, შრომის დანახარჯების, ენერგეტიკული და სხვა რესურსების ხარჯვისა და მშენებლობის ინდუსტრიალიზაციის ხარისხის მაჩვენებლების მიხედვით.

სტატიკური გაანგარიშებისას წარმოებს საანგარიშო სქემების დანიშვნა, რომელიც უნდა შეესაბამებოდეს კონსტრუქციის რეალურ მუშაობას: გარე დატვირთვების სიდიდისა და მდებარეობის დადგენა და M, N, Q შიგა ძალვების განსაზღვრა კონსტრუქციის დამახასიათებელ და საშიშ კვეთებში.

ელემენტების კვეთის შერჩევა და გაანგარიშება არის: ნორმალური განივი კვეთის რაციონალური ფორმის, ბეტონისა და არმატურის ოპტიმალური კლასის შერჩევა, მუშა არმატურის განივკვეთის ფართობის გაანგარიშება, ნორმების მოთხოვნის შესაბამისად სიმტკიცის, ბზარმედეგობისა და სიხისტის მიხედვით.

კონსტრუირება გულისხმობს: ელემენტსა და ცალკეულ განივკვეთში მუშა და სამონტაჟო (კონსტრუქციული) არმატურის განლაგებას, მთლიანად კონსტრუქციის და მისი ცალკეული ელემენტების დაარმატურების, ელემენტების შეერთების კვანძების მუშა ნახაზების დამუშავებასა და გამოხაზვას.

მშენებლობის ინდუსტრიალიზაცია გულისხმობს მშენებლობის რითმულ, კომპლექსურ-მექანიზებულ პროცესად, ხოლო მომავალში, ავტომატიზებულ ტექნოლოგიურ პროცესად გადაქცევას. მონოლითური რკინაბეტონით ინდუსტრიული მშენებლობა ხორციელდება ბეტონის ნაზავის ცენტრალიზებულად დამზადებით ბეტონის ავტომატიზებულ ქარხნებში. მათი ჩაწყობა, შემჭიდროვება და დამუშავება

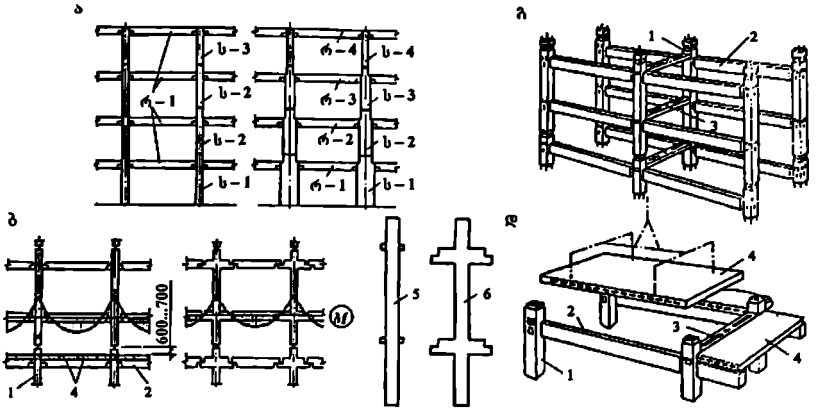
თანამედროვე ავტომატიზებული მეთოდების მიხედვით, ქარხნებში დამზადებული არმატურის კარკასების, ბადეების და არმატურის ბლოკების, ასაწყობ-დასაშლელი ინვენტარული ყალიბების, შეფიცვრებისა და ხარაჩოების გამოყენებით.

ინდუსტრიული მშენებლობა უფრო სრულად ხორციელდება ასაწყობი რკინაბეტონის გამოყენებით. მაგრამ ასაწყობი და მონოლითური რკინაბეტონის კონსტრუქციების ღირებულების შედარება ადასტურებს, რომ ასაწყობი კონსტრუქციები ღირებულების მიხედვით ხელსაყრელია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ მათი დამზადება ხდება მინიმალური ტიპოზომებით, დიდი რაოდენობითა და მაღალი დონის მექანიზებულ ქარხნებში. ასაწყობი კონსტრუქციების რენტაბელობის მთავარი პირობაა ელემენტების უნიფიკაცია და ტიპიზაცია, რაც თანამედროვე სამშენებლო დაპროექტების ზოგად პრინციპს წარმოადგენს.

უნიფიკაცია არის ნაგებობების ძირითადი ზომების, ასაწყობი ელემენტების გაბარიტული ზომების, დაკვალვის საკოორდინატო ღერძებთან მათი მიბმის, ელემენტების შეერთების კვანძების, აგრეთვე, დატვირთვის ერთნაირ სქემაზე დაყვანა. უნიფიკაციის საფუძველი არის ერთიანი სამოდულო სისტემა, რომელიც ზომების გრადაციის ძირითად მოდულად (ერთეულად) 100 მმ-ს მიიჩნევს. არის გამსხვილებული მოდულები, თავის მხრივ, 100 მმ-ის ჯერადი. მაგალითად, ერთსართულიანი სამრეწველო შენობების მალისა და სვეტების ბიჯის მოდულია 6 მ (მალი – 18, 24, 30 მ და მეტი, ბიჯი – 6, 12, 18 მ); სიმაღლე იატაკიდან მზიდი კონსტრუქციის ქვედა კიდემდე ჯერადია 0,6 მ-ის; სამოქალაქო შენობებში სვეტების ბადის ზომების გამსხვილებული მოდელია 0,2 მ, ხოლო სართულის სიმაღლის – 0,3 მ.

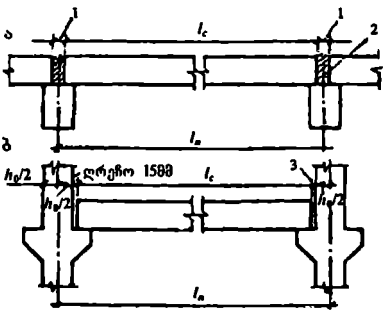
კონსტრუქციების ასაწყობ ელემენტებად დაყოფა ხდება შემდეგი მოთხოვნების გათვალისწინებით: ა) ელემენტების დამზადების ტექნოლოგიურობა და კონკრეტული პირობებისათვის გადაზიდვის ტრანსპორტაბელობა; ბ) შესაძლო მაქსიმალური ზომების შეზღუდვა დამზადების, ტრანსპორტირებისა და მონტაჟისას გამოყენებული მანქანებისა და მექანიზმების ტვირთამწეობის მიხედვით; გ) მონტაჟის ტექნოლოგიის სიმარტივე და მონტაჟის დროს შედუღებისა და ნაკერების დამონოლითების მინიმუმამდე დაყვანა. მაგალითად, მრავალსართულიანი შენობის დაყოფა ხდება ისე, რომ ცალკეული ელემენტის მასა არ აღემატებოდეს 3...5 ტ-ს (ნახ. 2.34).

შენობა-ნაგებობების გაბარიტული ზომების შესაბამისად, უნიფიცირებულია ცალკეული ელემენტების გეომეტრიული ზომები, რომლებიც მიღებულია, როგორც ტიპობრივი, შემდგომში მასობრივი, ქარხნული დამზადებისათვის. ზიდვის უნარის ცვლილება ხორციელდება ბეტონის კლასისა და კვეთის დაარმატურების პროცენტის ცვლილებით. სხვადასხვა ტიპის უნიფიცირებული ელემენტი გაერთიანებულია სახელმწიფო სტანდარტებში და კატალოგის სახით გამოშვებულია დამამზადებელი ქარხნის მიერ. უნიფიკაცია და ტიპიზაცია ერცელდება, აგრეთვე, მთლიანად შენობებისა და ნაგებობების დაპროექტებაზე. ასეთი ტიპობრივი პროექტის გამოყენებისას აღარ არის საჭირო დამატებითი გაანგარიშება. საკმარისია მისი მიბმა კონკრეტულ პირობებთან.




ნახ. 2.34. მრავალსართულიანი შენობის კარკასის დაყოფა ასაწყობ ელემენტებად:
1 – სვეტი; 2 – რიგელი; 3 – გრძივი მიმართულების სვეტებშორისი ფილა;
4 – გადახურვის პანელი; 5 – ხაზოვანი ჯრის სვეტი; 6 – სვეტი გამოშვერილი კონსოლებით

ტიპობრივი კონსტრუქციების ურთიერთდასაკავშირებლად ნორმებით გათვალისწინებულია ზომების სამი კატეგორია: ნომინალური, კონსტრუქციული და რეალური (ნატურული). ნომინალურია დაკვალვის ღერძებს შორის მანძილი (ნახ. 2.35), კონსტრუქციული – ნომინალურს გამოკლებული ღრეჩოების ან ნაკერების სიგანე. რეალურია ზომა, რომელიც განსხვავდება კონსტრუქციულისაგან დამზადებისას დაშვებული უზუსტობით. უკანასკნელს ეწოდება დაშვება, იგი ნორმირებულია (3...10 მმ).




ნახ. 2.35. ასაწყობი ელემენტების ნომინალური და კონსტრუქციული ზომები:
ა – ფილა; ბ – რიგელი; 1 – ღრეჩო 30 მმ; 2 – ხსნარით შევსება; 3 – ღრეჩო 15 მმ

ასაწყობ კონსტრუქციებს, უნიფიკაციისა და ტიპიზაციის გარდა, მოეთხოვება ტექნოლოგიურობა, რომელიც, რიგ შემთხვევაში, კონსტრუქციის ტიპის შერჩევისას

გადამწყვეტია. მაგალითად, მრავალსართულიანი კარკასის ცალკეულ ელემენტებად დანაწევრებისას მუდმივკვეთიანი სვეტები უფრო მისაღებია დამზადების სიმარტივის გამო, ვიდრე სვეტები კონსოლებით (ნახ. 2.34), თუმცა უკანასკნელი უფრო შეესაბამება კარკასის სტატიკური მუშაობის პირობას. მონტაჟის გასაადვილებლად სვეტების პირაპირები ეწყობა იატაკიდან 60–70 სმ-ზე მიუხედავად იმისა, რომ კარკასის სტატიკური მუშაობის პირობის მიხედვით უფრო რაციონალურია იგი მოეწყოს სართულის სიმაღლის შუაში, სადაც მღუნავი მომენტის სიდიდე მინიმალურია.

რკინაბეტონის ასაწყობი კონსტრუქციების დაპროექტების თავისებურებაა მათი გაანგარიშება აწევის, შენახვისა (დასაწყობების) და მონტაჟისას. ამ შემთხვევაში საანგარიშო სქემა შესაძლებელია მნიშვნელოვნად განსხვავდებოდეს ექსპლუატაციისას მიღებულ საანგარიშო სქემისაგან. მაშასადამე, დაძაბული მდგომარეობაც განსხვავებული იქნება, რის უგულებელყოფამ შესაძლებელია ელემენტისათვის რომელიმე ზღვრული მდგომარეობის დადგომა გამოიწვიოს. გამომდინარე შესაბამისი საანგარიშო სქემიდან, სამონტაჟო მარყუჟების, ასაწევი ნახვრეტებისა და დასაწყობებისას სხვადასხვა სადების მდებარეობაც განისაზღვრება გაანგარიშებით – საკუთარი მასისაგან გამოწვეულ დატვირთვაზე, დინამიკურობის კოეფიციენტის გათვალისწინებით, რომელიც ტოლია ტრანსპორტირებისას 1,6-ის, აწევისა და მონტაჟისას – 1,4-ის.

სამშენებლო კონსტრუქციების დაპროექტების ერთ-ერთ მთავარ პრინციპს წარმოადგენს რაციონალური და ოპტიმალური კონსტრუქციების დაპროექტება.

რაციონალური ეწოდება კონსტრუქციებს ან მათ ელემენტებს, რომლებიც პასუხობს ყველა ნორმატიულ მოთხოვნას და $f(x)_{min}$ მიზნობრივი ფუნქციის მინიმალურ მნიშვნელობას ერთი და იმავე სახეობისა და კლასის მასალებისათვის, განიეკვეთის ყველა შესაძლო ფორმისა და გეომეტრიული ზომის გათვალისწინებით.

ოპტიმალურია ისეთი კონსტრუქციები, რომლებიც, აგრეთვე, პასუხობენ ყველა ნორმატიულ მოთხოვნას და $f(x)_{min}$ მიზნობრივი ფუნქციის მინიმალურ მნიშვნელობას. იგი შეირჩევა სხვადასხვა სახის და კლასის მასალისაგან დამზადებული ყველა ტიპის რაციონალური კონსტრუქციის ანალიზის საფუძველზე.

ოპტიმიზაციის კრიტერიუმები შეიძლება იყოს სხვადასხვა: საერთო სამეურნეო დანახარჯები, შრომატევადობა, მასალატევადობა, ენერგოტევადობა და ა.შ. ოპტიმიზაციის კრიტერიუმების ერთდროული გათვალისწინება, რომელთა მოთხოვნები ურთიერთსაწინააღმდეგოც შეიძლება აღმოჩნდეს, რთული მათემატიკური ამოცანაა თანამედროვე გამოთვლითი ტექნიკის გამოყენების შემთხვევაშიც. ამიტომ მიზანშეწონილია გათვალისწინებული იქნეს ოპტიმიზაციის მხოლოდ ერთი პარამეტრი, მაგალითად, საერთო-სამეურნეო დანახარჯები. ამ შემთხვევაში ამოცანა მარტივდება, თუ ოპტიმალურობის კრიტერიუმად აიღება ფულადი დანახარჯების მიზნობრივი ფუნქცია, რომლის პარამეტრების შერჩევის გზით მიიღწევა ფუნქციის მინიმიზაცია

$$C_i + E_k k_i = \min. \qquad (2.114)$$

$C_i$ არის კონსტრუქციის ღირებულება „საქმეში" და საექსპლუატაციო დანახარჯები;

$k_i$ – სამშენებლო ბაზის შესაქმნელი ერთდროული დანახარჯები;

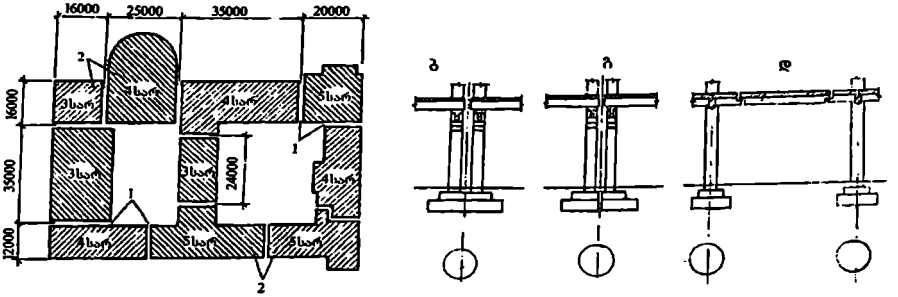
$E_n$ – დარგის რენტაბელობის კოეფიციენტი.

მას შემდეგ, რაც დადგინდება კონსტრუქციის თვითღირებულება და შეირჩევა საანგარიშო მინიმალური ღირებულების ($C_{min}$) მქონე კონსტრუქცია, რომელიც მინიმალური გაძვირებისას პასუხობს აგრეთვე უნიფიკაციისა და სტანდარტიზაციის მოთხოვნებს, შესაძლებელი ხდება გამოითვალოს კონსტრუქციის საანგარიშო ღირებულება „საქმეში" (2.114)-ის მიხედვით.

ანალოგიურად შეიძლება გადაწყდეს ელემენტების ოპტიმიზაციის ამოცანები სხვა კრიტერიუმების მიხედვითაც: შრომატევადობის მინიმიზაცია, მინიმალური მასის კონსტრუქციის დაპროექტება და სხვა.

ხშირ შემთხვევაში, ზოგიერთი გარე ზემოქმედებისაგან, კონსტრუქციაში წარმოიქმნება რთული დაძაბული მდგომარეობა, რომლის გასათვალისწინებლად. ასევე რთული თეორიული გაანგარიშების ნაცვლად, მიმართავენ კონსტრუქციულ ღონისძიებებს, რაც საგრძნობლად ამარტივებს და, ამავე დროს, საიმედოს ხდის კონსტრუქციის დაპროექტების შედეგებს. ასეთ კონსტრუქციულ ღონისძიებებს მიეკუთვნება დეფორმაციული ნაკერების მოწყობაც, რასაც წარმატებით მიმართავენ შენობა-ნაგებობების მზიდ კონსტრუქციებზე არაძალისმიერი ზემოქმედებისაგან გამოწვეული დეფორმაციების შედეგად აღძრული დამატებითი ძალვის შესამცირებლად.

რკინაბეტონის კონსტრუქციები, გარე დატვირთვით გამოწვეული დეფორმაციების გარდა, განიცდიან არაძალისმიერ დეფორმაციას, გამოწვეულს გარემოს ტემპერატურისა და ტენიანობის ზემოქმედებისაგან. ტემპერატურის ზრდის ან შემცირების შედეგად ელემენტი ფართოვდება ან იკუმშება. ჰაერზე გამყარებისას ბეტონი მოცულობაში კლებულობს (შეკლება) და უფრო მეტად, თუ ჰაერის ტენიანობა მცირეა. გარდა ამისა, თუ ნაგებობა დაყრდნობილია არაერთგვაროვან ან დაჯდომად გრუნტზე, ან სართულიანობაა განსხვავებული, მაშასადამე დატვირთვა გრუნტზე განსხვავებულია ერთი შენობის ფარგლებში, მაშინ ხდება საძირკვლის ფუძის არათანაბარი დაჯდომა და შენობის ნაწილები ერთმანეთის მიმართ დაიძვრის. რადგან რკინაბეტონის კონსტრუქციები უმრავლეს შემთხვევაში სტატიკურად ურკვევია, ზემოთ ჩამოთვლილი დეფორმაციების გამო წარმოიქმნება დამატებითი ძაბვები, რომლებიც ხშირად ბზარების მნიშვნელოვანი გახსნის ან სულაც კონსტრუქციის დაზიანების მიზეზიც შეიძლება გახდეს. ამ ძაბვების შესამცირებლად დიდი ზომის ან განსხვავებული სართულიანობის შენობები დაიყოფა სიგრძესა და სიგანეში ცალკეულ ბლოკებად ტემპერატურულ – შეკლებისა და დაჯდომის ნაკერებით (ნახ. 2.36,ა). სეისმურად აქტიურ რაიონში აგებული შენობებიც, გეგმაში რთული მოხაზულობის ან განსხვავებული სართულიანობის შემთხვევაში, დაიყოფა შეძლებისდაგვარად ერთნაირი სიხისტისა და მასის ბლოკებად ანტისეისმური ნაკერებით, რომლებიც უმრავლეს შემთხვევაში ტემპერატურულ ან დაჯდომის ნაკერებს ემთხვევა.




ნახ. 2.36. დეფორმაციული ნაკერები:
ა – რთული ფორმის და განსხვავებული სართულიანობის შენობებში დეფორმაციული ნაკერების განლაგება; ბ, გ, დ – ნაკერების განხორციელება შეწყვილებული სვეტებით. 1 – ნაკერი; 2 – დეფორმაციული ბლოკი

ტემპერატურულ-შეკლების ნაკერები, რომელთა სიგანე 2...3სმ-ია, ძირითადად სრულდება შეწყვილებული სვეტებით, რომლებიც საერთო საძირკველს ეყრდნობა (ნახ. 2.36,ბ). დაჯდომის ნაკერებიც შეწყვილებული სვეტებით ეწყობა, ოღონდ ცალ-ცალკე საძირკვლებზე დაყრდნობით (ნახ. 2.36,გ). დაპროექტების პრაქტიკაში გამოიყენება დაჯდომის ნაკერად ისეთი კონსტრუქციული გადაწყვეტაც, რომელიც მოცემულია ნახ. 2.36,დ-ზე.

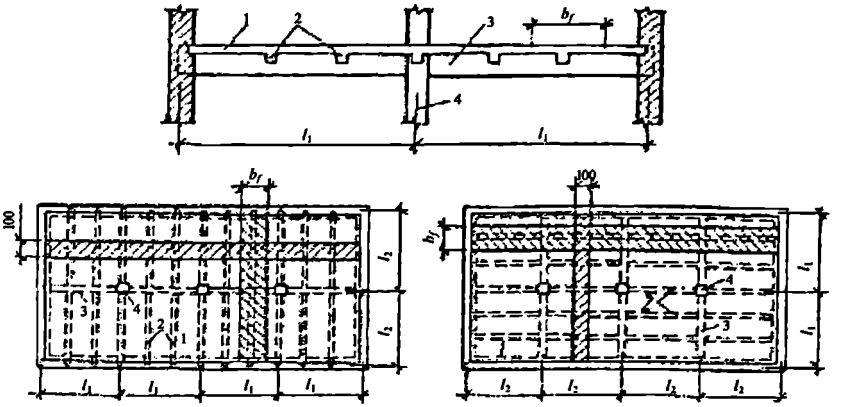
### 2.1.10.2. ბრტყელი სართულთშორისი გადახურვები

საცხოვრებელ, საზოგადოებრივ და საწარმოო შენობებში სართულთშორისი გადახურვა ძირითადად რკინაბეტონის კონსტრუქციებით ხორციელდება. აგების ხერხის მიხედვით, რკინაბეტონის გადახურვაა: მონოლითური, ასაწყობი და ასაწყობ-მონოლითური. კონსტრუქციული სქემის მიხედვით – კოჭოვანი და უკოჭო.

კონსტრუქციული სქემისა და აგების ხერხის მიხედვით, რკინაბეტონის სართულთშორისი ბრტყელი გადახურვის კლასიფიკაცია შემდეგია: წიბოვანი (კოჭოვანი) მონოლითური გადახურვა კოჭური ფილებით; წიბოვანი მონოლითური გადახურვა კონტურზე დაყრდნობილი ფილებით; კოჭოვანი ასაწყობი პანელური გადახურვა; კოჭოვანი ასაწყობ-მონოლითური გადახურვა; მონოლითური უკოჭო გადახურვა; ასაწყობი უკოჭო გადახურვა.

#### 2.1.10.2.1. მონოლითური წიბოვანი გადახურვა კოჭური ფილებით

გადახურვა შედგება ერთი მიმართულებით (უფრო განიერი მიმართულებით) სვეტებზე და გარე კედლებზე დაყრდნობილი მთავარი კოჭებისაგან, რომლებზეც მეორე მიმართულებით დაყრდნობილია დამხმარე (მეორეხარისხოვანი) კოჭები, ხოლო ამ ორივე მიმართულების კოჭებზე დაბეტონებულია მთლიანი ფილა, რომელიც კოჭებთან ერთად ქმნის ერთიან, მთლიან მონოლითურ-წიბოვან კონსტრუქციას (ნახ. 2.37).




ნახ. 2.37. მონოლითური წიბოვანი სართულთშორისი გადახურვა კოჭური ფილებით:
1 – ფილა; 2 – დამხმარე კოჭი; 3 – მთაეარი კოჭი; 4 – სვეტი

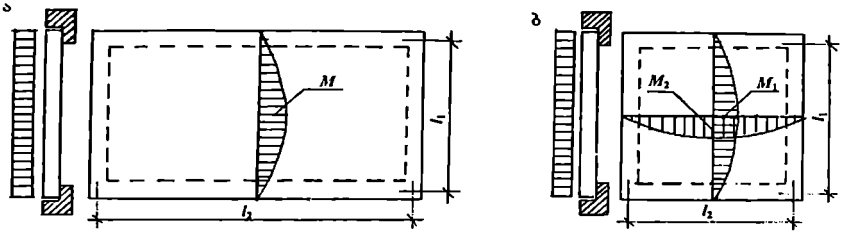
მთაეარი კოჭის მალი აიღება $l_p$=5...8მ, განივი კვეთის სიმაღლე $h_p = (1/10...1/15)\, l_p$, დამხმარე კოჭის მალი – $l_m = 4...7$ მ, კვეთის სიმაღლე $h_m = (1/12...1/20)\, l_m$, ორივე მიმართულების კოჭების განივკვეთის სიგანე $b = (0{,}3...0{,}5)h$. მონოლითური ფილის სისქე აიღება ბეტონისა და არმატურის მინიმალური ხარჯის პირობიდან, მაგრამ არა უმცირესი: სახურაეისათვის 40 მმ, სამოქალაქო დანიშნულების შენობების სართულთშორის გადახურვაში – 50 მმ, სამრეწველო ნაგებობებში – 60 მმ.

მთაეარი და დამხმარე კოჭების განლაგება, მალი და განივი კვეთის ზომები დაინიშნება ტექნოლოგიური, ეკონომიკური, არქიტექტურული და კონსტრუქციული მოთხოვნების შესაბამისად.

გადახურვას ეწოდება „წიბოვანი“, რადგან გადახურვის მთლიანი ფილისათვის კოჭები წარმოადგენს სიხისტის წიბოებს, რომლებიც თავიანთ თავზე იღებენ მთელი სართულთშორისი გადახურვის დატვირთვას; ფილები „კოჭურია“, რადგან წიბოებზე დაყრდნობის ფარგლებში ფილის გვერდების სიდიდეთა შეფარდება $l_2/l_1 > 2$ და ღუნვაზე მუშაობს, მხოლოდ მოკლე გვერდის მიმართულებით, როგორც კოჭი, რადგან ამ მიმართულებით ფილის გრძივი სიხისტე ანუ წინააღმდეგობა გაცილებით მეტია (ნახ. 2.38,ა). გრძელი გვერდის მიმართულებით აღძრული მომენტი იმდენად მცირეა, რომ იგი მხედველობაში არ მიიღება. თუ გვერდების შეფარდება $l_2/l_1 \le 2$, მაშინ ფილა ღუნვაზე მუშაობს ორივე გვერდის მიმართულებით (ნახ. 2.38,ბ) და ფილას ეწოდება „კონტურზე დაყრდნობილი“, ხოლო გადახურვა იქნება მონოლითური წიბოვანი გადახურვა კონტურზე დაყრდნობილი ფილებით.

ფილის გაანგარიშებისათვის გამოიყოფა 1 მ სიგანის ზოლი მთელს გადახურვაზე (ნახ. 4.37), მიმართული დამხმარე კოჭების მართობულად, რომლებიც

ამ ფილის საყრდენებს წარმოადგენს და მას განიხილავენ, როგორც მრავალმალიან კოჭს, რომელზეც მოქმედებს თანაბრად განაწილებული $g$ მუდმივი და $V$ დროებითი დატვირთვა. ზღვრული წონასწორობის მეთოდით, საშიშ კვეთებში გამოითვლება მაქსიმალური ძალვები ($M$ და $Q$), რომელთა მიხედვით სიმტკიცის პირობიდან შეირჩევა მუშა არმატურა.




ნახ. 2.38 ღუნვაზე მომუშავე ფილების სქემები:
ა –კოჭური ფილა; ბ –კონტურზე დაყრდნობილი ფილა

ზღვრული წონასწორობის მეთოდი ითვალისწინებს ძალვათა გადანაწილებას ცალკეულ კვეთებს შორის მასალების (ძირითადად არმატურის) ალასტიკური დეფორმაციების გამო.

მღუნავი მომენტი განაპირა მალში და პირველ შუალედურ საყრდენზე იქნება

$$M_1 = (g+v)\ell_{01}^2/11 = -M_B. \qquad (2.115)$$

შუა მალებსა და შუალედურ საყრდენებზე

$$M_2 = (g+v)\ell_{02}^2/16 = -M_c. \qquad (2.116)$$

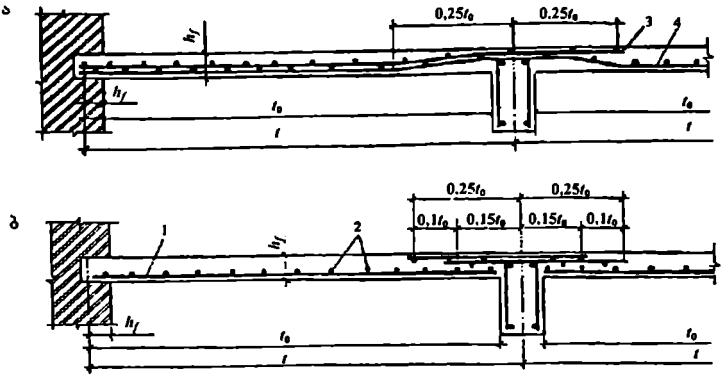
აქ $\ell_{01}$ და $\ell_{02}$ განაპირა და შუა მალების საანგარიშო სიდიდეა.

ფილის დაარმატურება ხდება შედუღებული რულონური ან ბრტყელი ბადეებით, სადაც მუშა არმატურაა A–III კლასის, ხოლო გამანაწილებელი – $B_p$– I კლასის. არასტანდარტული ზომების ან რთული კონფიგურაციის გადახურვა შეიძლება შესრულდეს ხელით შეკრული ბადეებითაც. რულონური ბადეებით დაარმატურება ხდება უწყვეტად, სადაც ბადე (გრძივი მუშა არმატურით) გაიშლება დამხმარე კოჭების მართობულად (ნახ. 2.39,ა). ბრტყელი ბადეებით დაარმატურებისას ბადეები (განივი მუშა არმატურით) ცალ-ცალკე ჩალაგდება დამხმარე კოჭების გასწვრივ, მალსა და საყრდენებზე (ნახ. 2.39,ბ).

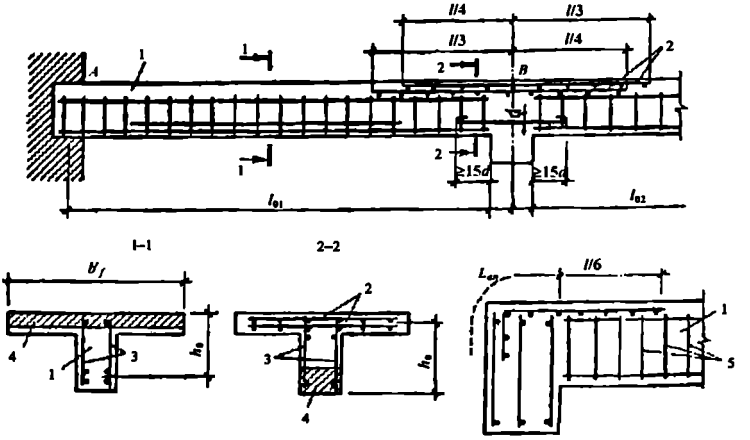
დამხმარე კოჭები, როგორც საყრდენი, ფილასთან ერთად ქმნის ერთიან, მონოლითურ კონსტრუქციას, ამიტომ მათი განივი კვეთი T-სებრია, სადაც ფილა წარმოადგენს თაროებს, სიგანით $b'_f$-ს (ნახ. 2.40).

დამხმარე კოჭი, ისევე, როგორც ფილა, წარმოადგენს მრავალმალიან უჭრ კოჭს, რომელიც ეყრდნობა მთავარ კოჭებს. მას $b'_f$ სიგანის ფილის ზოლისა და საკუთარი მასისაგან გადაეცემა თანაბრად განაწილებული დატვირთვა. მღუნავი მომენტისა და განივი ძალის განსაზღვრა კოჭის ყველაზე მეტად დაძაბულ

კეთებში ხდება, ასევე, ზღვრული წონასწორობის მეთოდით ძალვათა გადანაწილების გათვალისწინებით. ამ ძალვების მიხედვით სიმტკიცის პირობიდან შეირჩევა სათანადო გრძივი და განივი მუშა არმატურა, ისევე, როგორც მრავალმალიან ფილაში.




ნახ. 2.39. ფილების დაარმატურება:
ა–რულონური ბადეებით; ბ–ბრტყელი ბადეებით




ნახ. 2.40. დამხმარე კოჭის დაარმატურება:
1 – დამხმარე კოჭი; 2 – ბადეები საყრდენზე; 3 – არმატურის კარკასები; 4 – ბეტონის შეკუმშული ზონა; 5 – განივი ღეროები

დამხმარე კოჭები დაარმატურდება შედუღებული კარკასებითა და ბადეებით ან ცალკეული ღეროებით (ხელით შეკრული კარკასები) (ნახ. 2.40). ბრტყელი კარკასები რამდენიმე მოკლე ღეროს მიდუღებით შეიკერება სივრცულ კარკასად და ჩალაგდება მალში. გრძივი, მუშა არმატურა გაჭიმულ ზონაში, ხოლო

საყრდენის (მთავარი კოჭი) თაგზე – მოკლე კარკასი ან ვიწრო ($b$=400...600 მმ) ბადე გრძივი მუშა არმატურით. კარკასში გრძივი მუშა და სამონტაჟო არმატურა აიღება A– II, A– III კლასის, დიამეტრით არა უმცირესი 10 მმ-სა. განივი ღეროები ანუ ცალუღები – A-I, A– II, $B_p$– I კლასის, დიამეტრით 5...12 მმ.

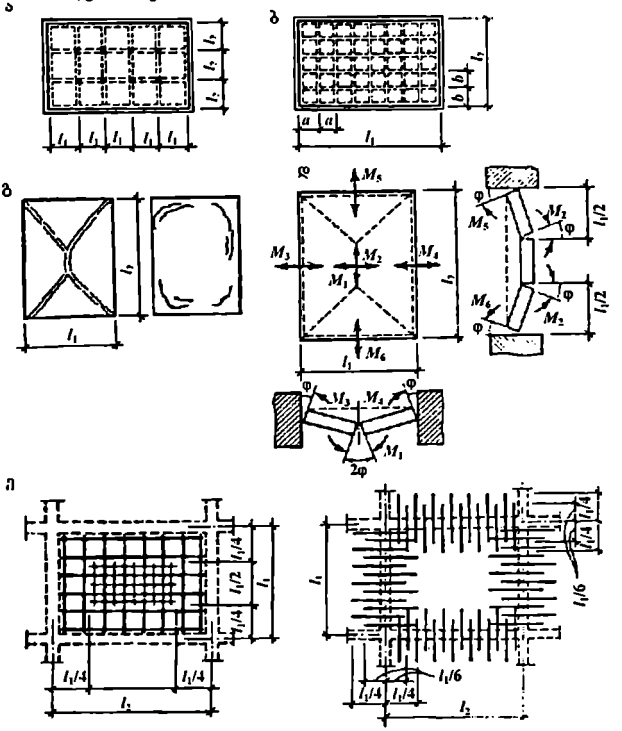
მთავარი კოჭი გაიანგარიშება და დაპროექტდება დამხმარე კოჭის ანალოგიურად, სულ მცირე განსხვავებით: ა) მთავარ კოჭზე, როგორც უჭრ კონსტრუქციაზე, მოქმედებს დამხმარე კოჭებისაგან გადმოცემული შეყურსული ძალა და საკუთარი მასისაგან თანაბრად განაწილებული დატვირთვა. ბ) დაარმატურება ხდება მხოლოდ კარკასით, როგორც მალში, ისე საყრდენების (სვეტების) თავზე.

### 2.1.10.2.2. მონოლითური წიბოვანი გადახურვა კონტურზე დაყრდნობილი ფილებით

წიბოვანი გადახურვა, კონტურზე დაყრდნობილი ფილებით (ნახ. 2.41), შედგება ურთიერთგადამკვეთი კოჭებისაგან, რომლებიც უშუალოდ ეყრდნობა სვეტებსა და კედლებს. ამ კოჭებზე დაყრდნობილი და მათთან მონოლითურადაა მიერთებული მთლიანი ფილა. ასეთი გადახურვა გამოიყენება ძირითადად არქიტექტურული მოსაზრებით, მაგალითად, ვესტიბიულების, დარბაზების გადასახურავად, თუმცა მონოლითურ, კოჭოვანი ფილებით გადახურვასთან შედარებით ნაკლებად ეკონომიურია.

ორივე მიმართულების კოჭებს აქვს განივკვეთის ერთნაირი სიმაღლე და მალები – 4...6 მ. ფილის სისქე დამოკიდებულია ცალკეული ფილის მალსა (კოჭებს შორის მანძილი) და დატვირთვის სიდიდეზე, აიღება 8...14სმ. თუ საჭიროა გადახურვა მოეწყოს შუალედური სვეტების გარეშე (მაგალითად სასტუმროს ვესტიბიული), მაშინ კოჭებს შორის მანძილი ორივე მიმართულებით აიღება 2 მ-ზე ნაკლები. ასეთ გადახურვას კესონური გადახურვა ეწოდება (ნახ. 2.41,ბ). რადგან ასეთ გადახურვაში საკუთრივ ფილის გვერდების შეფარდება $l_2/l_1 \le 2$ (ჩვეულებრივ იღებენ $l_2/l_1 = 1...1{,}5$), ამიტომ გარე დატვირთვისაგან ფილაში აღძრული ორივე მიმართულების მომენტების სიდიდე ერთი რიგისაა და ფილის ზიდვის უნარზე ერთნაირად ახდენს გაელენას, ე.ი. ფილა მუშაობს ორივე მიმართულებით, როგორც კონტურზე დაყრდნობილი ფილა. ასეთი ფილების რღვევის დამახასიათებელი სქემა, თანაბრად განაწილებული დატვირთვის მოქმედებისას, დადგენილი ექსპერიმენტებით, ნაჩვენებია (ნახ. 2.41,გ, დ)-ზე. ფილის ქვედა სიბრტყეზე ბზარები მიმართულია კუთხის ბისექტრისის გასწვრივ და ერთდება ან ცენტრში (თუ ფილის გვერდების შეფარდება $l_2/l_1 = 1$) ან გრძელი გვერდის პარალელური მიმართულების ბზარით (კეხით). ფილის ზედა სიბრტყეზე, თუ კონტურზე ხისტად არის ჩამაგრებული (შუა ფილები), ბზარი გაჰყვება საყრდენებს და შეიკერება, ოღონდ კუთხეებში მას აქვს ბისექტრისის მართობული მომრგვალება. ფილის იმ კიდეზე, რომელიც თავისუფლად არის დაყრდნობილი კედელზე (განაპირა ფილები), ცხადია, კეთის თავისუფლად მობრუნების შესაძლებლობის გამო, ბზარი არ გაჩნდება. აღნიშნული ბზარები, როდესაც გადაიქცევა პლასტიკურ

სახსრებად, მიეიღებთ ფილის რღვევის სქემას, ე.ი. ფილა აღმოჩნდება ზღვრული წონასწორობის მდგომარეობაში.




ნახ. 2.41. მონოლითური, წიბოვანი გადახურვა კონტურზე დაყრდნობილი ფილებით:
ა – სვეტების არსებობისას; ბ – უსვეტო, კესონური გადახურვა; გ – ფილის რღვევის სქემა; დ – კონტურზე დაყრდნობილი ფილის საანგარიშო სქემა; ე – ფილის დაარმატურება (ქვედა და ზედა ბადეები)

ფილის ზღვრული წონასწორობის უზრუნველსაყოფად აუცილებელია და საკმარისი, რომ პლასტიკურ სახსრებში (რღვევის სქემა) ადგილი ჰქონდეს გარე და შიდა ძალვების $W_q$ და $W_M$ მუშაობათა ტოლობას შესაძლო გადაადგილებებზე. ზოგადი შემთხვევისათვის, როდესაც ფილა ოთხივე საყრდენზე ხისტად არის ჩამაგრებული, ფილაში აღიძვრება ექვსი ზღვრული მომენტი, იქ სადაც გაჩნდება პლასტიკური სახსრები: ოთხი საყრდენებზე (ზევიდან), ორი მალში (ქვევიდან) რღვევის სქემის მიხედვით (იხ. ნახ. 2.41,გ,დ). თანაბრად განაწილებული $q=(g+v)$ დატვირთვისათვის წონასწორობის პირობა ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$W_q = \int_A qy dA = W_M = \sum_{i=1}^{6} M_i \varphi_i \ell_i ; \quad (i=1\ldots6), \qquad (2.117)$$

აქ $y$ გადაადგილებაა გარე დატვირთვისაგან განსახილველ წერტილში;

$M_i$ – $i$-ური პლასტიკური სახსარის ერთეულ სიგრძეზე მოსული ზღვრული მომენტი;

$\varphi_i$ – $i$-ურ პლასტიკურ სახსარში დისკოების ურთიერთ მობრუნების კუთხე;

$\ell_i$ – $i$-ური პლასტიკური სახსრის სიგრძე.

2.41,გ ნახაზიდან ჩანს, რომ $\int_A qydA$ წარმოადგენს ფილის გარე დატვირთვისაგან გამოწვეული გადაადგილების ფიგურის მოცულობას

$$V = f\ell_1(3\ell_2 - \ell_1)/6, \tag{2.118}$$

სადაც $f$ ფილის შუაში ჩაღუნვაა. მაშინ გარე $q$ დატვირთვის მიერ შესრულებული მუშაობა გამოითვლება

$$W_q = qf\ell_1(3\ell_2 - \ell_1)/6. \tag{2.119}$$

შიდა ძალვის $M_i$ მღუნავი მომენტების მუშაობა შესაძლო გადაადგილებაზე – $\varphi_i$ მობრუნების კუთხეზე იქნება

$$W_M = \sum_{i=1}^{6} M\varphi\ell = (2M_1\varphi + M_3\varphi + M_4\varphi)\ell_2 + (2M_2\varphi + M_5\varphi + M_6\varphi)\ell_1. \tag{2.120}$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $\varphi$ კუთხე მცირე სიდიდეა – $\varphi \cong tg\varphi = 2f/\ell_1$ და ჩავსვამთ (2.119) და (2.120) მნიშვნელობებს (2.117) გამოსახულებაში და შევკვეცავთ $\varphi$-ზე, გვექნება

$$q\ell_1^2(3\ell_2 - \ell_1)/12 = (2M_1 + M_3 + M_4)\ell_2 + (2M_2 + M_5 + M_6)\ell_1. \tag{2.121}$$

ზოგადი შემთხვევისათვის გვაქვს ექვსი უცნობი, მაგრამ თუ წინასწარ დავნიშნავთ მათ შეფარდებას ერთ-ერთ მომენტთან, მივიღებთ ერთუცნობიან განტოლებას.

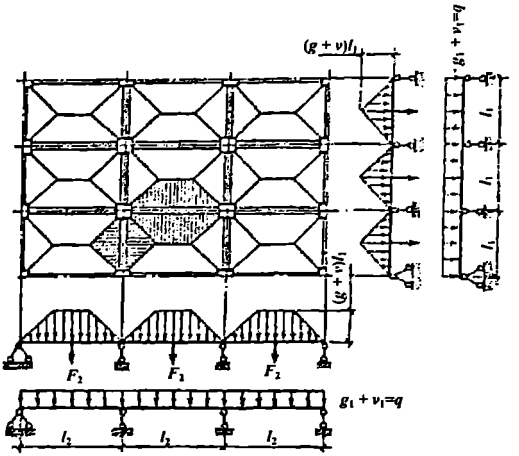
პრაქტიკული გაანგარიშებისას მუდმივი სისქისა და დაარმატურების ფილებისათვის $M_1 = M_2 = M_3 = M_4 = M_5 = M_6$.

თუ ფილა ოთხივე ან რომელიმე გვერდზე თავისუფლად არის დაყრდნობილი (მაგალითად, კედელზე), მაშინ შესაბამისი მომენტი უდრის ნულს და გაანგარიშება მარტივდება.

მიღებული ზღვრული მომენტების მიხედვით ცნობილი წესით შეირჩევა არმატურის საჭირო ფართობი.

გაანგარიშებით მიღებული მუშა არმატურა განლაგდება რღვევის სქემის შესაბამისად: მალის არმატურა (ბადე ორიეე მიმართულების მუშა არმატურით) ლაგდება ფილის ქვედა ნაწილში, ხოლო საყრდენებთან (კოჭების თავზე) – ზედა ნაწილში (ნახ. 2.41,ე,ვ). თუ ფილის მალი 2,5 მ-ზე მეტია მალის დაარმატურება ხდება ორი ერთნაირი ბადით. ეკონომიისათვის ერთი ბადე მოყვანილია საყრდენამდე, ხოლო მეორე წყდება საყრდენიდან $l_1/4$ მანძილზე თუ ფილა საყრდენზე ჩამაგრებულია და $l_1/8$-ზე – თუ ფილის კიდე თავისუფლად არის დაყრდნობილი. კოჭების (საყრდენების) თავზე მოთავსებული ბადის მუშა არმატურის ღეროები მიმართულია კოჭების მართობულად და ყოველი მეორე გადადის მალში $l_1/4$ ან $l_1/6$ მანძილზე.

კოჭები გაიანგარიშება, როგორც მრავალმალიანი უჭრი კოჭი ზღერული წონასწორობის მეთოდით. მას გადაეცემა – ფილისაგან, სამკუთხა და ტრაპეციული დატვირთვა რღვევის სქემის შესაბამისი ბლოკების ფართობიდან, თანაბრად განაწილებული $q=(g+\nu)$ საკუთარი წონისაგან და გადახურვაზე მოსული იმ დატვირთვისაგან, რომელიც უშუალოდ კოჭზეა განლაგებული (ნახ. 2.42).




ნახ. 2.42. დატვირთვების განაწილება გადახურვის კოჭებზე

მომენტები განაპირა მალში და პირველ შუალედურ საყრდენზე იქნება

$$M=0{,}7M_0+g\ell^2/11=-M_B. \qquad (2.122)$$

შუა მალებსა და საყრდენებზე

$$M=0{,}5M_0+g\ell^2/16=-M_C. \qquad (2.123)$$

აქ $M_0$ მომენტია ორ საყრდენზე თავისუფლად დაყრდნობილ კოჭში:

სამკუთხა დატვირთვისას –

$$M_0=(g+\nu)\ell_1^2/12, \qquad (2.124)$$

ტრაპეციული დატვირთვისას –

$$M_0=(g+\nu)\ell_1(3\ell_2^2-\ell_1^2)/24. \qquad (2.125)$$

განივი ძალები ასეთნაირად დატვირთულ კოჭებში იქნება

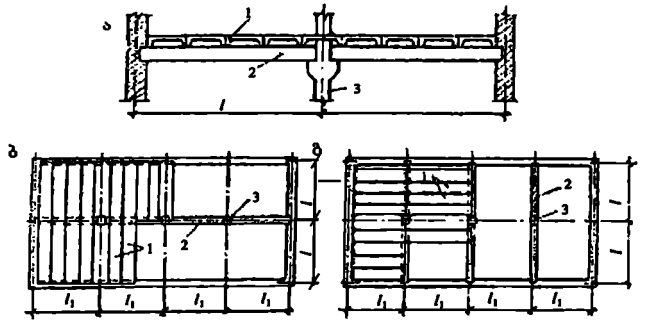
$$Q_A=0{,}5Q_0-M_B/\ell;\quad Q_b^{\text{მარც}}=0{,}5Q_0+M_B/\ell;\quad Q_B^{\text{მარჯ}}=Q_c^{\text{მარც}}=Q_c^{\text{მარჯ}}=0{,}5Q_0. \qquad (2.126)$$

სადაც $Q_0$ განივი ძალაა თავისუფლად დაყრდნობილ კოჭში შესაბამისი დატვირთვის დროს.

გრძივი მუშა არმატურის საჭირო ფართობი მალში განისაზღვრება, როგორც $T$-სებრ კვეთში, საყრდენზე – როგორც სწორკუთხა კვეთში. დაარმატურება ისეთივეა, როგორც კოჭურფილებიანი მონოლითური წიბოვანი გადახურვის მთავარ კოჭში.

### 2.1.10.2.3. ასაწყობი კოჭოვან-პანელური გადახურვა

ასაწყობი კოჭოვან-პანელური გადახურვა შედგება გადახურვის ასაწყობი მთლიანკვეთიანი, ღრუტანიანი ან წიბოვანი პანელებისაგან, რომლებიც ეყრდნობა შენობის განივად ან გრძივად განლაგებულ რიგელებს (კოჭებს). რიგელები, თავის მხრივ, ეყრდნობა სვეტებს (სრული კარკასის შემთხვევაში) ან შიგა სვეტებსა და გარე (კონტურის) კედლებს (არასრული კარკასი) (ნახ. 2.43).




ნახ. 2.43. ასაწყობი კოჭური გადახურვის კონსტრუქციული სქემები: ა, გ – რიგელების განივი განლაგება; ბ – რიგელების გრძივი განლაგება; 1 – გადახურვის პანელები; 2 – რიგელი; 3 – სვეტები

გადახურვის დაპროექტება გულისხმობს შენობის, ტექნოლოგიური დანიშნულების მიხედვით, გადახურვის გაერთმთლიანებას (სვეტების ბიჯის, რიგელების მიმართულების, რიგელებისა და პანელების ტიპის შერჩევასა და მათ ურთიერთკავშირს), რიგელებისა და პანელების გაანგარიშებასა და კონსტრუირებას (დაარმატურებას).

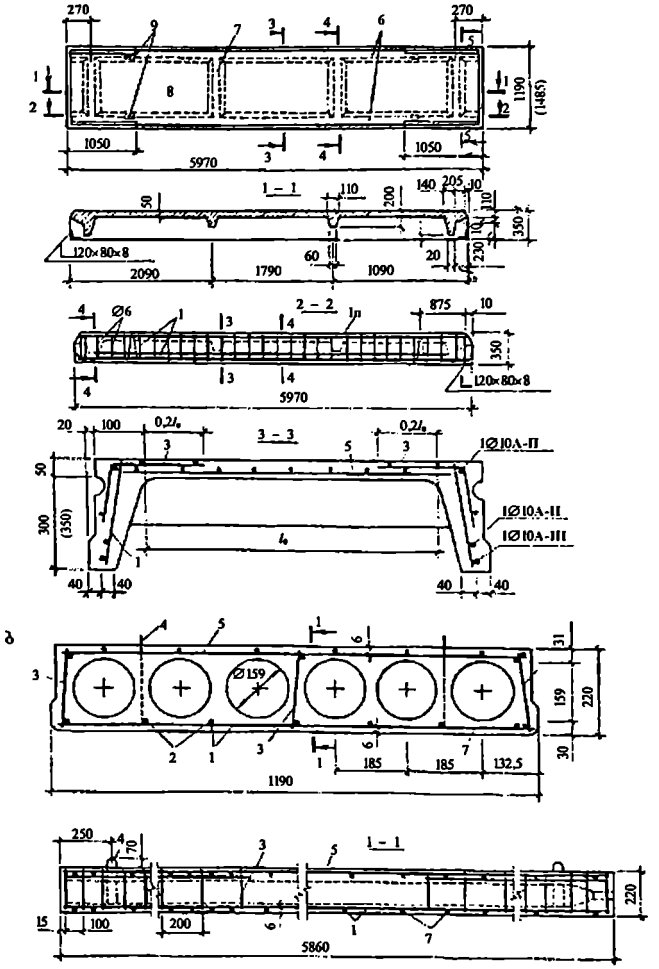
სვეტების ბიჯის შერჩევისას ხელმძღვანელობენ ასაწყობი ელემენტების ტიპიზაციისა და უნიფიკაციის პრინციპებით. რიგელების განივი განლაგება უფრო ხელსაყრელია, ვიდრე შენობის გრძივი მიმართულებით, რადგან ამ დროს შენობის სიხისტე განივი მიმართულებით იზრდება, რაც მნიშვნელოვანია მრავალსართულიანი შენობების მშენებლობისას, განსაკუთრებით სეისმურ რაიონებში. გადახურვის კონსტრუქციული სქემის დადგენისათვის უნდა დამუშავდეს რამდენიმე ვარიანტი, ხოლო შემდეგ ეკონომიკური მაჩვენებლების მიხედვით შეირჩევა ოპტიმალური.

მთელი გადახურვების ღირებულების 65% მოდის პანელებზე, ამიტომ მათ რაციონალურ გადაწყვეტას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება.

გადახურვის ასაწყობი პანელები ეყრდნობა რიგელებს და მუშაობს ღუნვაზე. მასალების ხარჯის შესამცირებლად დაპროექტდება მთლიანი, ღრუტანიანი და წიბოვანი პანელები (ნახ. 2.44).

ღრუტანიანი პანელები ძირითადად გამოიყენება სამოქალაქო დანიშნულების შენობებში, რადგან ბრტყელი ჭერის მოწყობაა შესაძლებელი. ფართო გამოყენება ჰპოვა წრიულსიღრუეებიანმა პანელმა – სიგანით 1,2...2,4 მ და კვეთის სიმაღლით

20...24 სმ. ოვალურსიღრუებიანი პანელი, მასალების ხარჯის მიხედვით, უფრო ხელსაყრელია, მაგრამ ნაკლებად ტექნოლოგიურია და ამიტომ იშვიათად იყენებენ.

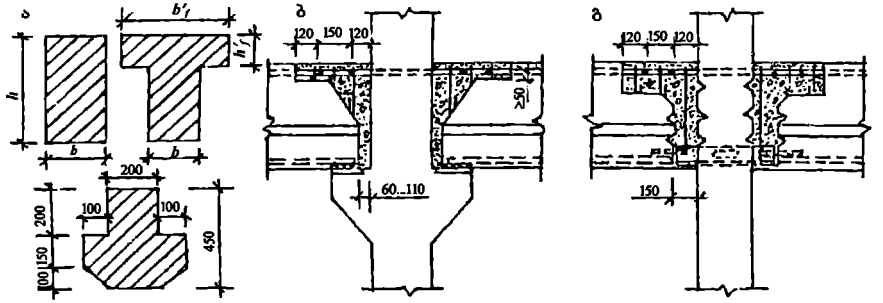



ნახ. 2.44. წიბოვანი და ღრუტანიანი პანელის ზომები და დაარმატურება:
ა – წიბოვანი პანელი; ბ – ღრუტანიანი პანელი

მთლიანი სისქის პანელები ძირითადად გეხვდება საცხოვრებელ და სხვა სამოქალაქო დანიშნულების შენობებში. გამოიყენება ძირითადად ორშრიანი, სისქით 8...16 სმ. გეგმაში 6,0x3,2 მ, პანელების მასაა 5000...6000 კგ. შესაძლებელია გადაიხუროს მთლიანად ოთახი. მასალების ხარჯისა და საკუთარი მასის მიხედვით ნაკლებად ეკონომიკურია.

წიბოვანი პანელები ძირითადად გამოიყენება სამრეწველო შენობებში, რადგან ბრტყელი ჭერის მოწყობა აუცილებელი არ არის, ხოლო ამ შენობებში მოსალოდნელ დიდი დატვირთვის ასატანად პანელის განივკვეთის სიმაღლე შეიძლება გაიზარდოს 35...45 სმ-მდე. ამწე მექანიზმებისა და სატრანსპორტო საშუალებების შესაძლებლობების გათვალისწინებით, გამოიყენება პანელები ზომით: (1,2; 1,5; 3,0)×6 მ და (1,2; 1,5; 3,0)×12 მ. 12-მეტრიანი პანელი სრულდება წინასწარ დაძაბული, სადაც გამოიყენება მაღალი სიმტკიცის არმატურა ($B_p$–II, A–IV, A–V, $A_T$–VI. K–7 კლასის) და ბეტონი (B20, B30 კლასის), რაც მასალების ეკონომიის დამატებით შესაძლებლობას იძლევა.

პანელების გაანგარიშება ხდება, როგორც ორ საყრდენზე თავისუფლად დაყრდნობილი, T-სებრი (წიბოვანი პანელები), I-სებრი (ღრუ პანელები) კვეთის კოჭის, თანაბრად განაწილებულ დატვირთვაზე.




ნახ. 2.45. რიგელის განივკვეთის ფორმები და რიგელის სვეტთან შეერთების კონსტრუქცია:
ა – რიგელის განივკვეთები; ბ – ხისტი შეერთება სვეტის მოკლე კონსოლებზე; გ – ხისტი შეერთება კონსოლების გარეშე

მრავალსართულიან, კარკასულ შენობებში რიგელები და სვეტები ჩარჩოვანი კონსტრუქციის ელემენტებია და მათში ძალვები ($M$, $N$ და $Q$) გამოითვლება ჩარჩოს გაანგარიშების შედეგად. რიგელის განივკვეთის ფორმა შეიძლება იყოს მართკუთხა, T-სებრი (თაროთი ზევით ან ქვევით) (ნახ. 2.45,ა). არასრული კარკასის შემთხვევაში, როდესაც განაპირა მალში რიგელი თავისუფლად ეყრდნობა მზიდ კედელს, მალების სიგრძის განსხვავება არ აღემატება 20%-ს და დროებითი დატვირთვა არ არის დიდი, მაშინ რიგელი შეიძლება განვიხილოთ, როგორც მრავალმალიანი უჭრი კოჭი. დაარმატურებაც შესაბამისი იქნება, ოღონდ საჭიროა გაანგარიშების საფუძველზე უზრუნველყოფილი იქნეს კვანძებში რიგელებისა და სვეტების სათანადო ურთიერთკავშირი (ნახ. 2.45,ბ,გ). რაც შეეხება სვეტს, მასში არმატურის ფართობის გაანგარიშება და შესაბამისად დაარმატურება ხდება, როგორც სწორკუთხა კვეთის გარეცენტრულად შეკუმშულ ელემენტში.

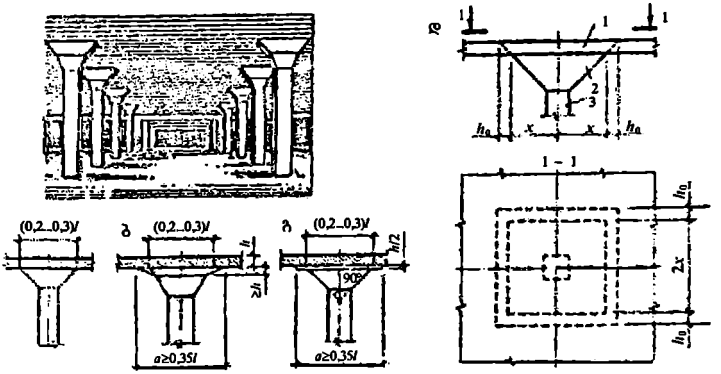
### 2.1.10.2.4. რკინაბეტონის უკოჭო გადახურვა

რკინაბეტონის უკოჭო სართულთშორისი გადახურვა წარმოადგენს ფილას, რომელიც ეყრდნობა უშუალოდ სვეტის გაფართოებულ ბოლოს – კაპიტელს. კაპიტელი ამცირებს ფილის საანგარიშო მალს, ფილასთან ერთად ეწინააღმდეგება საყრდენთან აღძრულ განივ ძალას და უზრუნველყოფს ფილის სვეტთან ხისტ შეერთებას.

უკოჭო გადახურვების უპირატესობა კოჭოვანთან შედარებით არის ის, რომ გადახურვის სისქის კონსტრუქციული სიმცირე შესაძლებლობას იძლევა შემცირდეს მრავალსართულიანი შენობის სიმაღლე. ეს სეისმურ რაიონში მშენებლობისას ხელსაყრელია სეისმური ზემოქმედების შესამცირებლად; მცირდება კედლების სიმაღლე, ე.ი. მცირდება მასალის ხარჯი; უკოჭო გადახურვას არა აქვს ნაშვერები, რაც შენობის უკეთ განათებისა და ვენტილაციისათვის მნიშვნელოვანია; ადვილდება კომუნიკაციის გაყვანა და თბოიზოლაციის მოწყობა; უკოჭო გადახურვა 6...9 მ მალისა და 10 კნ/მ²-მდე სასარგებლო დატვირთვისას უფრო ეკონომიურია საერთო დანახარჯების მიხედვით, ვიდრე კოჭოვანი გადახურვა. ამიტომ ასეთი გადახურვა ფართოდ გამოიყენება მაღაზიების, ავტოგარაჟების, მრავალსართულიანი საწყობების, რესტორნების, სასტუმროს ვესტიბიულების, თეატრის ფოიესა და სხვა მსგავსი შენობების მშენებლობისას.

მონოლითური უკოჭო გადახურვა წარმოადგენს გადახურვის მთლიან ფილას, რომელიც მონოლითურად არის დაკავშირებული სვეტის კაპიტელთან (ნახ. 2.46).

ფილის სისქე აიღება ($1/32...1/35$)$l$. კაპიტელი შეიძლება იყოს სამი სახის: I ტიპი, როდესაც დატვირთვა 10 კნ/მ²-მდეა (ნახ. 2.46,ა), II და III ტიპის 10 კნ/მ²-ზე მეტი დატვირთვისას (ნახ. 2.46,ბ,გ).

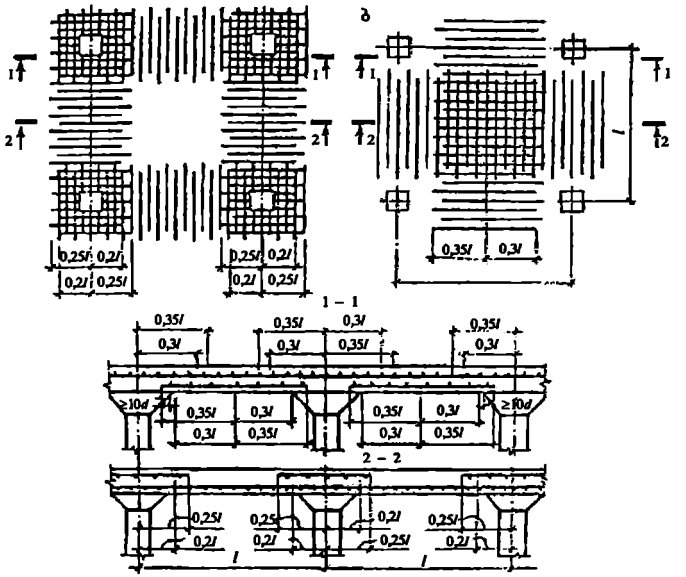



ნახ. 2.46. მონოლითური უკოჭო გადახურვა:
ა,ბ,გ – კაპიტელის ტიპები; დ – ფილის ჩაჯრაზე გაანგარიშებისათვის;
1 – ფილა; 2 – კაპიტელი; 3 – სვეტი

კაპიტელი იანგარიშება ჩაჭყლეტაზე სვეტზე ფილებიდან გადმოცემულ დატვირთვაზე. ფილისათვის ყველაზე საშიშია მალის გასწვრივ ზოლზე მოქმედი

დატვირთვა. სიმტკიცეზე გაიანგარიშება ზღვრული წონასწორობის მეთოდით, ექსპერიმენტებით დადგენილი რღვევის სქემის მიხედვით.

გადახურვის ფილის დაარმატურება ხდება რულონური ან ბრტყელი შედუღებული ბადეებით, მღუნავი მომენტების ეპიურების მიხედვით. მალის მომენტების ასატანად, ბადეები ლაგდება ფილის ქვედა კიდესთან, ხოლო საყრდენი მომენტებისა – ფილის ზედა კიდესთან. (ნახ. 2.47-ზე ნაჩვენებია ბადეების მხოლოდ მუშა არმატურების განლაგება).



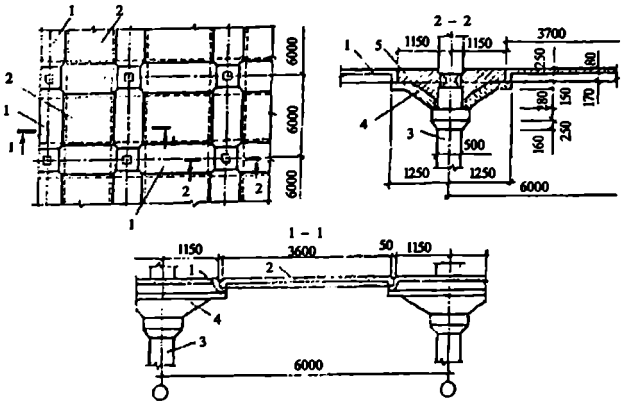

ნახ. 2.47. მონოლითური უკოჭო გადახურვის დაარმატურება:
ა – ბადეები ფილის ზედა ზონაში; ბ – ბადეები ფილის ქვედა ზონაში

ასაწყობი, უკოჭო გადახურვა შედგება ორიენ მიმართულებით განლაგებულ კაპიტელსზედა ფილების, მალის ფილებისა და სვეტებისაგან, ამ უკანასკნელის თავზე მოთავსებულია ასაწყობი კაპიტელი (ნახ. 2.48).

ფილები შეიძლება იყოს წიბოვანი ან ღრუტანიანი. გეგმაში კაპიტელი წარმოადგენს კვადრატული ფორმის ღრუ წაკვეთილ პირამიდას – სვეტის თავზე წამოსაცმელი ნახვრეტით. კაპიტელსზედა ფილა კაპიტელს უკავშირდება ხისტად, ფილიდან გამოშვერილი არმატურის მიდუღებით კაპიტელის ჩასატანებელი დეტალის ფირფიტასთან. მალის ფილები კაპიტელსზედა ფილებს ეყრდნობა თავისუფლად (სახსრულად). კაპიტელი ეყრდნობა სვეტის თავზე მოწყობილ მოკლე კონსოლს და ჩასატანებელი დეტალების მიდუღებით დამაგრდება.

ასაწყობი, უკოჭო გადახურვა იანგარიშება ორიენ მიმართულებით, როგორც მრავალსართულიანი შენობის ჩარჩოვანი სისტემა, სადაც რიგელებს წარმოადგენს

კაპიტელსზედა ფილა, ღგარებს – სვეტები კაპიტელთან ერთად. დაარმატურებაც შესაბამისად ხდება, როგორც ჩარჩოს რიგელის, მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების მოქმედების შესაბამისად. მალის ფილა (შუა ფილები) თავისუფლად ეყრდნობა ორივე მიმართულების კაპიტელსზედა ფილებს და იანგარიშება, როგორც კონტურზე დაყრდნობილი ფილა, ზღვრული წონასწორობის მეთოდით. დაარმატურება ხდება ფილის ქვედა კიდესთან ჩალაგებული ბრტყელი ბადეებით, რომლებშიც მუშა არმატურა ორივე მიმართულებითაა განლაგებული.



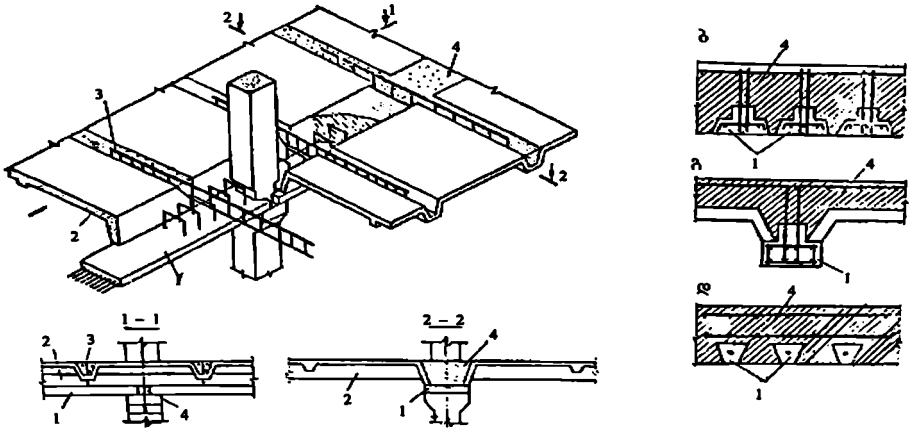

ნახ. 2.48. ასაწყობი უკოჭო გადახურვა:
I – კაპიტელსზედა ფილა; 2 – მალის ფილა; 3 – სვეტი;
4 – ასაწყობი ღრუ კაპიტელი; 5 – დამონოლითების ბეტონი

### 2.1.10.2.5. ასაწყობ-მონოლითური კოჭოვანი გადახურვა

ასაწყობ-მონოლითურ კონსტრუქციაში გაერთიანებულია ასაწყობი და მონოლითური რკინაბეტონის დადებითი თვისებები. ასაწყობი ელემენტებისაგან აგებული გადახურვა წარმოადგენს ყალიბს შემდგომ მშენებლობის ადგილზე დამატებით ჩალაგებულ არმატურისა და ბეტონისათვის. მონოლითური ბეტონის გამყარების შემდეგ კონსტრუქცია მუშაობს, როგორც ერთიანი.

ასაწყობ-მონოლითური კონსტრუქციები გამოიყენება, ახლად ასაგებ შენობებში, როდესაც ტიპობრივი, სტანდარტული ასაწყობი ელემენტების ზიდვის უნარი საკმარისი არ არის და, ასევე, ექსპლუატაციაში მყოფ ნაგებობებში, როდესაც რეკონსტრუქციისას საჭიროა ცალკეული არსებული ელემენტის ზიდვის უნარის გაზრდა.

ასაწყობ-მონოლითური გადახურვა, ხშირ შემთხვევაში, ეკონომიურიც არის ასაწყობ ან მონოლითურ გადახურვასთან შედარებით: არ საჭიროებს სპეციალურ ყალიბებს, ქარგილებსა და ხარაჩოებს; ადვილად შეიძლება მონოლითური ნაწილის წინასწარი დაძაბვა; საყრდენებთან არმატურის ნაშვერების ურთიერთმიდუღებით მარტივად მიმდინარეობს ასაწყობი მზიდი ელემენტის მთლიან, უჯრ კონსტრუქციად გარდაქმნა.




ნახ. 2.49. კოჭოვანი ასაწყობ–მონოლითური გადახურვა:
1, 2 – ასაწყობი ელემენტები (კოჭის ძირი, კოჭები, წიბოვანი ფილა);
3 – საყრდენსზედა შეერთების არმატურის კარკასი;
4 – დამონოლითების ბეტონი

ასაწყობი და მონოლითური რკინაბეტონის ურთიერთშეხამების მიხედვით გამოიყენება გადახურვები: ა) ასაწყობი კონსტრუქციები მთლიანად აიტანს სამონტაჟო დატვირთვას და მონოლითური რკინაბეტონის მასის დატვირთვას. ამიტომ საჭირო აღარ არის ყალიბებისა და დროებითი საყრდენების მოწყობა (ნახ. 2.49,ა); ბ) ასაწყობ ელემენტებს შეუძლია აიტანოს მონტაჟისა და მონოლითური რკინაბეტონის მასისაგან გადმოცემული დატვირთვის მხოლოდ ნაწილი, ამიტომ საჭიროა აგების პროცესში დროებითი საყრდენების მოწყობა. ასეთ გადახურვა'ში სასურველია ისეთი კონსტრუირება, რომ ძაბვის მიხედვით ნეიტრალური ღერძი მოხვდეს მონოლითურ ნაწილ'ში (ნახ. 2.49,ბ,გ); გ) ასაწყობი ელემენტები მხოლოდ მუშა არმატურის როლს ასრულებს. მაშინ მონოლითური რკინაბეტონი კვეთის მთელ სიმაღლეზეა. აგებისას საჭიროა ყალიბებისა და დროებითი საყრდენების მოწყობა (ნახ. 2.49,დ).

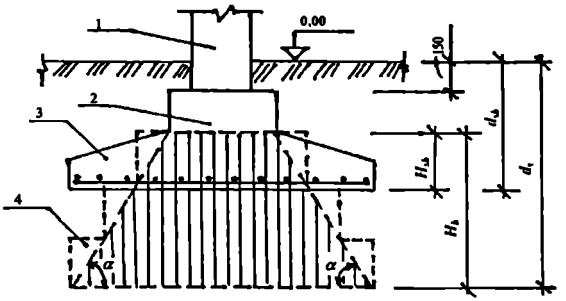
ასაწყობ-მონოლითური გადახურვის ასაწყობი ელემენტები, რომლებიც ყალიბად გამოიყენება, გაიანგარიშება სამონტაჟო დატვირთვაზე, მონოლითური რკინაბეტონისა და საკუთარ მასაზე, როგორც თავისუფლად დაყრდნობილი კოჭები. ამ დატვირთვის ასატანად, ჩალაგებულ არმატურასთან ერთად, ასაწყობ ელემენტებში ლაგდება ძირითადი მუშა და კონსტრუქციული არმატურა, რომელიც ექსპლუატაციისას უზრუნველყოფს მთელი კონსტრუქციის ზიდვის უნარს.

ექსპლუატაციის სტადიაში გადახურვის ზიდვის უნარის გაანგარიშება ხდება ზღვრული წონასწორობის მეთოდით, როგორც ერთიანი, სტატიკურად ურკვევი კონსტრუქციისა.

### 2.1.10.3. რკინაბეტონის საძირკვლები

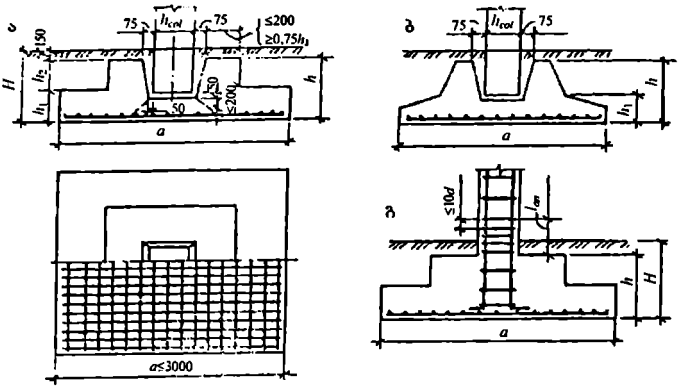
საძირკველი შენობისა და ნაგებობის მიწისქვეშა კონსტრუქციაა, რომლის მეშვეობით ნაგებობაზე მოსული მთლიანი დატვირთვა გადაეცემა გრუნტს (საძირკვლის ფუძეს).

შენობის კედლიდან ან სვეტიდან გადაცემული დატვირთვა გრუნტში ერცელდება გარკვეული $\alpha$ კუთხით (ნახ. 2.50). ამ დახრილი სიბრტყეებით გრუნტის ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე შემოფარგლული ფართობი, ტოლი საძირკლის ფუძის გაანგარიშებით მიღებული ფართობისა, განსაზღვრავს ჩვეულებრივი ბეტონის ან ყორებეტონის საძირკლის $d_s$ ჩაღრმავებას, რადგან ბეტონის საძირკველი მუშაობს მხოლოდ კუმშვაზე. რკინაბეტონის საძირკლის უპირატესობაა ის, რომ მისი მიწყობა შესაძლებელია მცირე $d_{s,s}$ ჩაღრმავებით, რადგან შეუძლია იმუშაოს გრუნტის რეაქტიული ძალებით გამოწვეულ ღუნვაზე. რადგან საძირკლის მოწყობა მთელი შენობის ღირებულების 4...6%-ს შეადგენს, მნიშვნელოვანია ის ეკონომიკური ეფექტი, რომელიც რკინაბეტონის საძირკლის მოწყობით მიიღწევა: ნაკლებია მიწის სამუშაოები, ნაკლებია ბეტონის დანახარჯი და შესაძლებელია მიწისქვეშა სამუშაოები (ნულოვანი ციკლი) დასრულდეს მთლიანად (გრუნტის ქვაბულში უკან ჩაყრით) სვეტების მონტაჟის ან კედლების ამოყვანის სამუშაოების დაწყებამდე. რკინაბეტონის საძირკლის რაციონალური გადაწყვეტა დამოკიდებულია საძირკლის ტიპისა და აგების ტექნოლოგიური ხერხის შერჩევაზე.

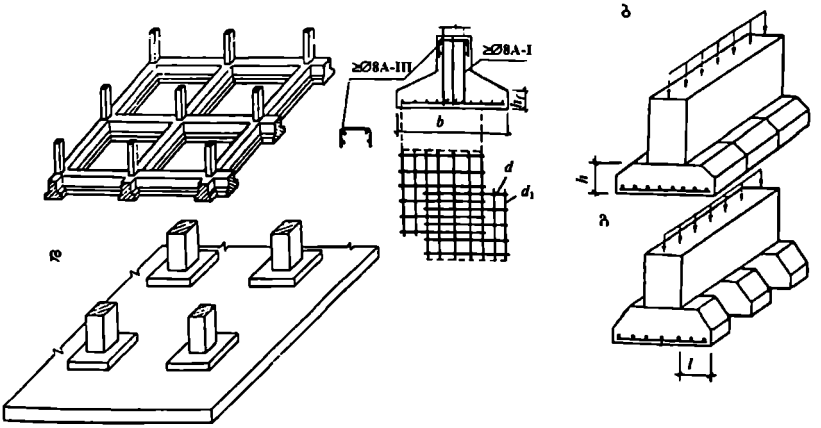



ნახ. 2.50. ბეტონისა და რკინაბეტონის საძირკლების შედარება:
1 – სვეტი; 2 – სვეტსქვედა ბლოკი; 3 – რკინაბეტონის საძირკველი;
4 – ბეტონის საძირკველი

მცირე ჩაღრმავების რკინაბეტონის საძირკველი შეიძლება იყო სამი ტიპის: ა) ცალკეული (ნახ. 2.51) – თითოეული სვეტის ქვეშ; ბ) ლენტური (ნახ. 2.52,ა,ბ,გ) – შენობის ერთი ან ორივე მიმართულებით, სვეტების შედარებით ხშირი რიგისა და კედლის ქვეშ, განსაკუთრებით, როდესაც დიდი დატვირთვაა ან გრუნტია არაერთგვაროვანი; გ) მთლიანი (ნახ. 2.52,დ) – შენობის ქვეშ მთლიანი ფილის სახით, სუსტი გრუნტის შემთხვევაში.




ნახ. 2.51. ცალკეული, ცენტრალურად დატვირთული რკინაბეტონის საძირკვლები:
ა – მონოლითური საძირკველი ასაწყობი სვეტის ქვეშ; ბ – ასაწყობი საძირკველი ასაწყობი სვეტის ქვეშ; გ – მონოლითური საძირკველი მონოლითური სვეტის ქვეშ




ნახ. 2.52. რკინაბეტონის ლენტური და მთლიანი საძირკვლები:
ა – მონოლითური ჯვარედინი ლენტური საძირკველი სვეტების ქვეშ;
ბ – ასაწყობი ლენტური საძირკვლები (ღრეჩოების გარეშე) კედლის ქვეშ;
გ – ასაწყობი ლენტური საძირკვლები ღრეჩოებით;
დ – მთლიანი მონოლითური საძირკველი სვეტების ქვეშ

### 2.1.10.3.1. რკინაბეტონის ცალკეული საძირკვლები

ცალკეული საძირკვლები ეწყობა სვეტების საკმაოდ დაშორებით განლაგებისას, როდესაც სვეტზე მოსული დატვირთვა არ არის განსაკუთრებით

დიდი, ხოლო გრუნტის სიმტკიცე საკმარისია. სვეტისაგან გადმოცემული დატვირთვის განლაგების მიხედვით, იგი შეიძლება იყოს ცენტრალურად ან გარეცენტრულად დატვირთული. ცენტრალურად დატვირთული საძირკველი ჩვეულებრივ, გეგმაში კვადრატული ფორმისაა, თუ სხვა მიწისქვეშა კონსტრუქცია არ უშლის ხელს, ხოლო გარეცენტრულად დატვირთული საძირკველი გეგმაში მართკუთხაა, მომენტის მოქმედების სიბრტყის პარალელური მიმართულებით, უფრო დიდი გვერდით. ამ შემთხვევაში გვერდების შეფარდება აიღება 0,6...0,8 ფარგლებში.

ცალკეული საძირკველი საფეხურიანი ან პირამიდულია (ნახ. 2.51, ა,ბ). პირამიდული უფრო ეკონომიურია, მაგრამ დამზადების სიმარტივის გამო გავრცელებულია საფეხურიანი: იგი შეიძლება ეყრდნობოდეს უშუალოდ გრუნტს, ან ბეტონის, ღორღის, ქვიშის წინასწარ მომზადებულ 10 სმ-იან ფენას.

დამზადების ხერხის მიხედვით, საძირკველი არის მონოლითური ან ასაწყობი. ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების მიხედვით, მონოლითური საძირკვლის ღირებულება ნაკლებია ასაწყობზე. ასაწყობის გამოყენება მიზანშეწონილია იმ მშენებლობაზე, რომელიც მთლიანად ასაწყობი კონსტრუქციებით ხორციელდება, თანაც თუ საკმაოდ დიდი რაოდენობის საძირკველია საჭირო; ასევე თუ მშენებლობის ვადებია შეზღუდული; ზამთრის პერიოდში ან რთულ პიდროგეოლოგიურ პირობებში მშენებლობისას. ასაწყობი საძირკველი გამოიყენება მხოლოდ ასაწყობი სვეტების ქვეშ, მონოლითური – როგორც ასაწყობი, ისე მონოლითური სვეტებისას. ასაწყობი სვეტი ხისტად უერთდება საძირკველს სპეციალურ ბუდეში (ჭიქა) ჩადგმით და შემდგომში ცემენტის ხსნარით ჩამაგრებით. ჭიქის კედლები შეიძლება არ დაარმატურდეს, თუ საძირკვლის თავში მისი სისქე მეტია 200 მმ-ზე და ჭიქის სიღრმის 0,7 მ-ზე. თუ არა – ჭიქის კედლები უნდა დაარმატურდეს (ნახ. 2.53,ბ).

მონოლითური საძირკვლის შეერთება მონოლითურ სვეტთან სრულდება სვეტის გრძივი მუშა არმატურის შედუღებით ან გადადებით შეერთებით საძირკვლიდან სპეციალურად დატოვებულ არმატურის ნაშვერებთან, რომელთა განიკვეთის ჯამური ფართობი (სასურველია ცალკეული ღეროების დიამეტრიც) ისეთივეა, რაც სვეტში (ნახ. 2.51,გ).

ცალკეული საძირკვლების გაანგარიშება ხდება ორ ეტაპად: 1) დაყრდნობის (ფუძის) ფართობის განსაზღვრა გრუნტის საანგარიშო წინაღობის მიხედვით. ეს ნიშნავს, რომ საძირკვლის ფუძეზე მოქმედი დატვირთვისაგან (სვეტისაგან გადმოცემული $N$ ძალა და საძირკვლისა და მის საფეხურზე დაყრილი გრუნტის მასა) აღძრული საშუალო ძაბვა ნაკლები უნდა იყოს გრუნტის საანგარიშო $R$ წინაღობაზე. 2) თვით საძირკვლის ტანის გაანგარიშება ბეტონისა და არმატურის სიმტკიცის მიხედვით (საძირკვლის სიმაღლის და საფეხურების ზომების დადგენა, გაანგარიშებული გაჭიმული არმატურის ფართობის მიხედვით არმატურის ღეროების რაოდენობისა და დიამეტრის შერჩევა). საძირკვლის სიმაღლის დადგენა ხდება სვეტისაგან გადმოცემული $N$ ძალით ბეტონის ტანის ჩაჭრის პირობიდან, ხოლო არმატურა შეირჩევა საძირკვლის ფუძიდან საძირკველზე, როგორც კონსოლზე გრუნტის რეაქტიული დატვირთვისაგან აღძრული მომენტის მიხედვით. საანგარიშო სქემა მოცემულია ნახ. 2.53-ზე.

საძირკვლის ძირის გაანგარიშება ხდება იმ დაშვებით, რომ საძირკვლის ძირზე გარე დატვირთვისაგან აღძრული რეაქტიული დაწოლა განაწილებულია წრფივი კანონით. მაგალითად, ცენტრალური კუმშვისას – სწორკუთხა ეპიურის სახით (ნახ. 2.53,ა). სინამდვილეში რეაქტიული დაწოლის განაწილება დამოკიდებულია გრუნტის თვისებებზე, საძირკვლის სიხისტეზე და უფრო რთულად ნაწილდება, მაგრამ მიღებული დაშვება ამარტივებს გაანგარიშებას.

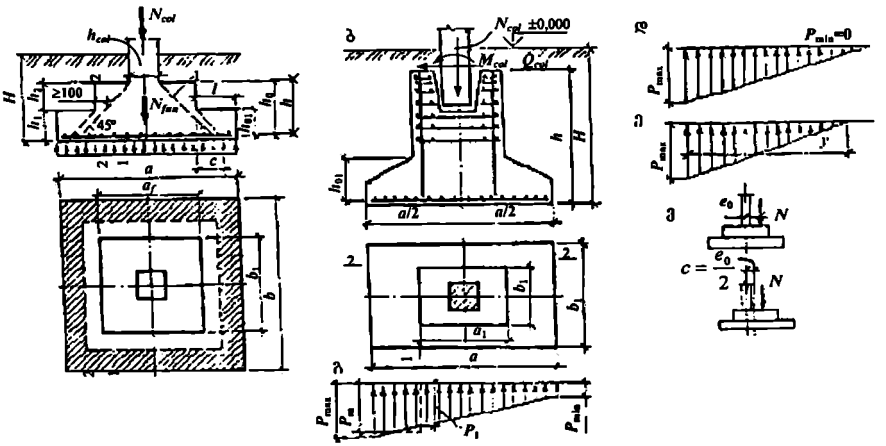
საძირკვლის დაყრდნობის (ფუძის) $A$ ფართობი იანგარიშება პირობიდან

$$(N_{col} + N_{fun})/A \le R, \qquad (2.127)$$

სადაც $N_{col}$ სვეტისაგან გადმოცემული ცენტრალურად მოქმედი ძალაა, დატვირთვის მიხედვით საიმედოობის კოეფიციენტით $\gamma_f = 1$, რადგან ფუძის ანგარიში დამყარებულია დეფორმაციის ანგარიშზე; $N_{fun}$ – საძირკვლისა და მასზე მდებარე გრუნტის წონა; $R$ – გრუნტის პირობითი წინაღობა.

თუ საძირკვლის ძირის ჩაღრმავებას აღვნიშნავთ $H$-ით, ხოლო საძირკვლის ბეტონისა და მის საფეხურზე მდებარე გრუნტის საშუალო კუთრ წონას $\gamma_m = 20$ კნ/მ$^3$, (2.127)-დან მივიღებთ საძირკვლის ფუძის $A$ ფართობს

$$(N_{col} + AH\gamma_m)/A \le R, \text{ აქედან } A \ge N_{col}/(R - \gamma_m H). \qquad (2.128)$$




ნახ. 2.53. ცალკეული საძირკვლების საანგარიშო სქემები:
ა – ცენტრალურად დატვირთული;
ბ – გარეცენტრულად დატვირთული;
გ, დ, ე – საძირკვლის კიდეების გრუნტზე დაწოლის ძაბვათა ეპიურები. შესაბამისად: გ – ხიდურა ამწის ტვირთამწეობა ≥75 ტ;
დ – ხიდურა ამწის ტვირთამწეობა <75 ტ;
ე – ხიდურა ამწის გარეშე;
ვ – საძირკველზე დატვირთვის ექსცენტრისიტეტის შემცირება სვეტის მიმართ საძირკვლის გვერდზე გაწევით

საძირკვლის დაყრდნობის $A$ ფართობის მიხედვით, შევარჩევთ საძირკვლის ფუძის ზომებს და ვამრგვალებთ სამოდულო ზომის ჯერად სიდიდეებამდე.

საძირკლის ტანის გაანგარიშება, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ნიშნავს ჩაჭყლეტაზე გაანგარიშებით საძირკლის სიმაღლის განსაზღვრას. როგორც ცნობილია, ბეტონის ჩაჭყლეტა ხდება პირამიდის ზედაპირის მიხედვით, რომლის გვერდითი წახნაგები სვეტიდან იწყება და დახრილია ძირის მიმართ 45°-ით. აქვე აღვნიშნავთ, რომ თუ ჩაჭყლეტის პირამიდის ფუძე გამოდის საძირკლის გაანგარიშებული ფუძის ფარგლებიდან, მაშინ ჩაჭყლეტაზე გაანგარიშება საჭირო არ არის.

ჩამჭყლეტ საანგარიშო $F$ ძალად მიიღება სვეტზე მოქმედ $N_{col}$ ძალას გამოკლებული გრუნტის რეაქტიული $p$ ძალა, რომელიც თანაბრად არის განაწილებული ჩაჭყლეტის პირამიდის ქვედა ფუძის ფართობზე. კვადრატული განივკვეთის სვეტის შემთხვევაში, აღნიშნული ფუძის ფართობი იქნება $(h_{col}+2h_0)^2$, მაშინ

$$F = N_{col} - p(h_{col}+2h_0)^2, \tag{2.129}$$

სადაც $N_{col}$ არის სვეტზე მოსული საანგარიშო ძალვა საიმედოობის კოეფიციენტით $\gamma_f > 1$. $p$ გრუნტის რეაქტიული ძალა აღძრული გრძივი საანგარიშო ძალვისაგან საძირკლისა და მის საფეხურებზე მდებარე გრუნტის წონის გაუთვალისწინებლად.

ჩაჭყლეტაზე სიმტკიცის პირობა ჩაიწერება (2.88)-ის ანალოგიურად

$$F \le R_{bt} u_m h_0, \tag{2.130}$$

სადაც $u_m$ – ჩაჭყლეტის წაკვეთილი პირამიდის ზედა და ქვედა ფუძეების პერიმეტრების საშუალო არითმეტიკულია

$$u_m = [4h_{col} + 4(h_{col}+2h_0)]/2 = 4(h_{col}+h_0), \tag{2.131}$$

მაშინ საძირკლის მუშა სიმაღლე

$$h_0 = -\frac{h_{col}}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{\frac{N_{col}}{R_{bt}+p}}. \tag{2.132}$$

მაშასადამე საძირკლის სრული სიმაღლე იქნება $h = h_0 + a_h$ (ნახ. 2.53,ა).

საძირკლის დაარმატურება ხდება 1–1 და 2–2 ნორმალურ კვეთებში მომენტების განსაზღვრით, როგორც კონსოლებში

$$M_{1-1} = 0.125p(a-h_{col})^2 b; \quad M_{2-2} = 0.125p(a-a_1)^2 b. \tag{2.133}$$

ამ მომენტის მიხედვით განსაზღვრული $A_{s1}$ და $A_{s2}$ არმატურის ფართობებიდან აიღება უდიდესი და, არმატურის დიამეტრისა და რაოდენობის შერჩევით, ბრტყელი ბადის სახით, ლაგდება საძირკლის ფუძეში (ნახ. 2.53,ა).

საძირკლები, რომლებიც განლაგებულია გარეცენტრულად შეკუმშული სვეტების ქვეშ, განიცდის $N$ ნორმალური ძალის, $M$ მღუნავი მომენტისა და $Q$ განივი ძალის ზემოქმედებას (ნახ. 2.53, ბ). ასეთი საძირკლები ძირითადად დაპროექტდება სწორკუთხა ფუძით, დიდი ზომით მღუნავი მომენტის მოქმედების სიბრტყის გასწვრივ.

დაყრდნობის ფართობი აიღება, როგორც ცენტრალური კუმშვის დროს (2.128-ის მიხედვით, ოღონდ 1,2...1,6 კოეფიციენტებით, რომელიც ითვალისწინებს მღუნაეი მომენტის გავლენას

$$A = (1{,}2 \ldots 1{,}6)\, N_{col} / (R - \gamma_m H). \qquad (2.134)$$

თუ გავითვალისწინებთ ფუძის გეერდების შეფარდებას $b/a = (0{,}6 \ldots 0{,}8)$, დავადგენთ საძირკვლის გრუნტზე დაყრდნობის ფუძის გეერდების სიდიდეებს.

გრუნტში აღძრული მაქსიმალური და მინიმალური რეაქტიული დაწოლა საძირკვლის კიდეებში, როგორც $N$ გრძივი ძალითა და $M$ მომენტით დატვირთულ ტანში იქნება

$$P_{\substack{\max \\ \min}} = \frac{N_{tot}}{A} \pm \frac{M_{tot}}{W} = \frac{N_{tot}}{ab}\left(1 \pm \frac{6e_0}{a}\right), \qquad (2.135)$$

სადაც $N_{tot}$ და $M_{tot}$ ნორმალური ძალა და მღუნავი მომენტია საძირკვლის ფუძის დონეზე და გამოითვლება კოეფიციენტი $\gamma_f = 1$ გათვალისწინებით

$$N_{tot} = N_{col} + A\gamma_m H; \quad M_{tot} = M_{col} + Q_{col} h. \qquad (2.136)$$

აქ $e_0$ გრძივი ძალის ექსცენტრისიტეტია $e_0 = M_{tot}/N_{tot}$; $W$ საძირკვლის ფუძის წინაღობის მომენტია $W = ba^2/6$.

გრუნტის მაქსიმალური რეაქტიული დაწოლა $p_{\max} \le 1{,}2R$ გრუნტის წინაღობაზე (იმისათვის, რომ გამოირიცხოს გრუნტში პლასტიკური დეფორმაციების წარმოქმნა), ხოლო საშუალო დაწოლა – $p_m \le R$. სამრეწველო შენობებში, სადაც ამწის ტვირთამწეობა მეტია 75 ტ-ზე, $p_{\min} \ge 0{,}25 p_{\max}$ (ნახ. 2.53,გ). თუ ტვირთამწეობა ნაკლებია 75 ტ-ზე – $p_{\min} \ge 0$.

$N$ გრძივი ძალის $e_0$ ექსცენტრისიტეტის შესამცირებლად, დიდი მღუნავი მომენტის მოქმედებისას, მიზანშეწონილია საძირკვლის გვერდზე გაწევა სეტის ღერძის მიმართ (ნახ. 2.53, ე). ჩვეულებრივ გაწევის სიდიდე $c = e_0/2$.

გარეცენტრულად დატვირთული საძირკვლის სიმაღლის გაანგარიშება ხდება ჩაჭყლეტაზე ისევე, როგორც ცენტრალურად შეკუმშული საძირკვლის. ქვედა საფეხური და სვეტის ჩამაგრების ჭიქის ძირი გაანგარიშებით უნდა შემოწმდეს ჩაჭყლეტაზე. გარდა ამისა, ქვედა საფეხური უნდა შემოწმდეს იმ პირობის მიხედვით, რომ განივი ძალის ატანა უნდა შეძლოს მხოლოდ ბეტონმა, რადგან განივი არმატურა არ გამოიყენება.

საძირკვლის მუშა არმატურის გამოსათვლელად ჯერ უნდა განისაზღვროს გრუნტის რეაქტიული უკუწნევა $N_{col}$, $M_{col}$ და $Q_{col}$ ძალვების მოქმედებისაგან საძირკვლის წონის გაუთვალისწინებლად.

$$M = M_{col} + Q_{col} h; \quad e_0 = M/N_{col}; \quad P_{\substack{\max \\ \min}} = \frac{N_{col}}{ab}\left(1 \pm \frac{6e_0}{a}\right), \qquad (2.137)$$

შემდეგ გამოითვლება მომენტები 1–1 და 2–2 კვეთებში (ნახ. 2.53, ბ)

$$M_{1-1} = P_{m1}(a - a_1)^2 b/8, \text{ სადაც } P_{m1} = (P_{\max} + P_1)/2; \qquad (2.138)$$

$$M_{2-2} = P_m (b - b_1)^2 a/8, \text{ სადაც } P_m = N_{col}/(ab). \qquad (2.139)$$

მომენტების განსაზღვრის შემდეგ, გამოითვლება აღნიშნულ კვეთებში არმატურის საჭირო ფართობები – გამოსახულებით

$$A_{si} = M_i/(0{,}9 h_{oi} R_s) \qquad (2.140)$$

და უდიდესის მიხედვით შეირჩევა მუშა არმატურის დიამეტრი და რაოდენობა.

### 2.1.10.3.2. ლენტური საძირკველი

ლენტური საძირკველი დაპროექტდება როგორც მონოლითური, ისე ასაწყობი. ამ უკანასკნელს მზიდი კედლების ქვეშ ენიჭება უპირატესობა. ასაწყობი ლენტური საძირკვლის ცალკეული ბლოკი შეიძლება იყოს ტრაპეციული (ნახ. 2.52,ბ,გ) ან მართკუთხა განივი კვეთის, მთლიანი, წიბოვანი ან სიცარიელეებით. მზიდი კედლების ქვეშ ლენტური საძირკვლის სიგანე იანგარიშება კედლისაგან გადმოცემული ნორმატიული დატვირთვით აღძრული ძაბვის გრუნტის $R$ წინაღობასთან შედარებით. თუ გაანგარიშებით მიღებული სიგანე ნაკლებია, ვიდრე ტიპობრივი კონსტრუქციების კატალოგიდან აღებული ასაწყობი საძირკვლის ბლოკის სიგანე, აიღებენ უკანასკნელს, მაგრამ მათ განალაგებენ კედლების ქვეშ, ერთმანეთისაგან გარკვეული დაშორებით (ნახ. 2.52,გ).

საძირკვლის ბლოკი გაიანგარიშება სიმტკიცეზე მხოლოდ განივი მიმართულებით, როგორც კონსოლი, რომელზეც მოქმედებს გრუნტის თანაბრად განაწილებული რეაქტიული ძალა. დაარმატურება წარმოებს შედუღებული ბადეებით, რომლის მუშა არმატურა განლაგებულია ბლოკის განივი მიმართულებით. ბლოკის სიმაღლე ინიშნება პირობიდან, რომ განივი ძალა უნდა აიტანოს მხოლოდ ბეტონმა. აიღება არა უმცირესი 200 მმ-ისა.

ხშირად განლაგებული სვეტების ქვეშ ლენტური საძირკველი ძირითადად სრულდება მონოლითური (ნახ. 2.52,ა). განივი მიმართულებით საძირკველი იანგარიშება, როგორც ასაწყობი საძირკვლის კონსოლური ბლოკი, ხოლო გრძივი მიმართულებით, როგორც დრეკად ფუძეზე მდებარე მრავალმალიანი უჯრი კოჭი, რომელზეც მოქმედებს სვეტებისაგან გადმოცემული შეყურსულ ძალთა სისტემა და საწინააღმდეგო მიმართულების გრუნტის თანაბრად განაწილებული რეაქტიული დატვირთვა. თუ საძირკვლის კვეთის ზომები მნიშვნელოვანი სიდიდისაა, ხოლო სვეტები ერთმანეთთან ახლოსაა განლაგებული, საძირკველი შეიძლება განვიხილოთ, როგორც აბსოლუტურად ხისტი ელემენტი. გამოთვლილი $M$ მღუნავი მომენტისა და $Q$ განივი ძალის მიხედვით გაიანგარიშება ლენტური საძირკველი, როგორც $\perp$–სებრი კვეთიანი კოჭი ნორმალური და დახრილი კვეთის სიმტკიცეზე. შერჩეული სრული გრძივი მუშა არმატურის 60...70% ჩალაგდება წიბოში, ხოლო 30...40% – თაროს შვერილებში.

### 2.1.10.3.3. მთლიანი საძირკველი

მთლიანი საძირკველი შენობის ქვეშ გამოიყენება იმ შემთხვევაში, თუ გრუნტის დაბალი სიმტკიცის გამო ცალკეული ან ლენტური საძირკვლების დაყრდნობის ფართოებები ერთმანეთს გადაკვეთს. მთლიანი საძირკვლის ფილა, სართულთშორისი გადახურვის ანალოგიურად, შეიძლება იყოს წიბოვანი კოჭური ფილებით, წიბოვანი, კონტურზე დაყრდნობილი ფილებით და უკოჭო (ნახ. 2.52,დ). წიბოვან საძირკვლებში წიბოები განლაგებულია მთლიანი ფილის თავზე, ხოლო ფილა ეყრდნობა გრუნტს. სვეტები ეყრდნობა წიბოების გადაკვეთაზე (ნახ. 2.52,ა-ზე გამოხაზული ლენტური საძირკვლების ქვეშ მთლიანი ფილა რომ წარმოვიდგინოთ).

სამშენებლო პრაქტიკაში უფრო მეტად გაურცელებულია უკოჭო მთლიანი ფილა, რომელზეც სვეტები ეყრდნობა არა უშუალოდ ფილას, არამედ მართკუთხა

ან ტრაპეციული კაპიტელის მსგავს რკინაბეტონის ქვესაგებს. ფილის სისქე აიღება სვეტებს შორის მანძილის 1/6. ასეთი საძირკველი რეკომენდებულია, როდესაც სვეტზე მოსული დატვირთვა არ აღემატება 10 მგნ-ს.

ნებისმიერი ტიპის მთლიანი საძირკველი მიახლოებით შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც გადმობრუნებული რკინაბეტონის სართულთშორისი გადახურვა, სადაც სვეტები ან კედლები წარმოდგენილია, როგორც საყრდენი, ხოლო საძირკვლის ელემენტები (წიბო, ფილა) განიცდის ღუნვას, ქვევიდან მოქმედი გრუნტის თანაბრად განაწილებული რეაქტიული დაწოლისაგან. არაერთგვაროვანი გრუნტის შემთხვევაში, მთლიანი საძირკველი შედარებით ზუსტად გაიანგარიშება, როგორც დრეკად ფუძეზე მდებარე ფილა სათანადო საგების კოეფიციენტით. შედარებით ზუსტი, თუ მიახლოებითი, ინჟინრული გაანგარიშებისას, გამოითვლება საძირკველში აღძრული ძალვები ($M$ მღუნავი მომენტები და $Q$ განივი ძალები) და საშიშ კვეთებში განისაზღვრება არმატურის ფართობი. დაარმატურება წარმოებს შედუღებული ბადეებითა და კარკასებით მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების მოქმედების მიმართულებისა და სიდიდის შესაბამისად, როგორც რკინაბეტონის წიბოვან ან უკოჭო სართულთშორის გადახურვებში.

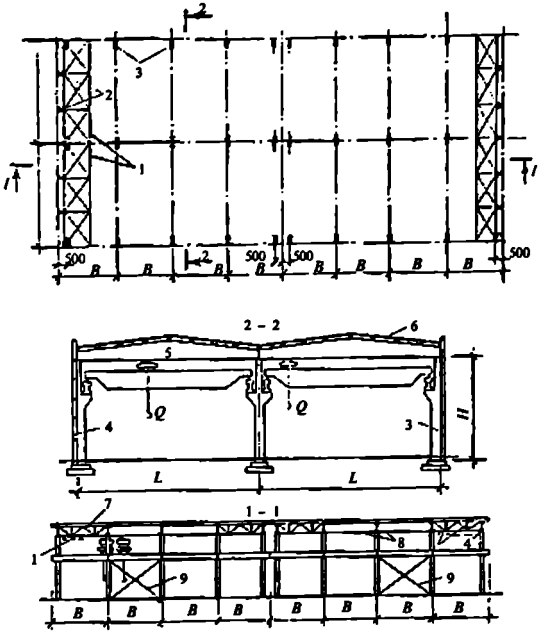
### 2.1.11. ერთსართულიანი სამრეწველო შენობების რკინაბეტონის კონსტრუქციები

ერთსართულიანი სამრეწველო შენობები ფართოდ არის გავრცელებული მეტალურგიულ, მანქანათმშენებლობისა და მრეწველობის სხვა დარგებში, სადაც საჭიროა მძიმე და დიდგაბარიტიანი დანადგარები, რომელთა განთავსება მრავალსართულიან შენობაში არაეკონომიურია, როგორც საშენი მასალების ხარჯის, ისე საწარმოო ტექნოლოგიური პროცესის წარმართვის თვალსაზრისითაც. ასეთი შენობები შეიძლება იყოს: ერთმალიანი და მრავალმალიანი, ხიდურა და შეკიდული ამწეებით; ფარნითა და უფარნოდ.

სასურველია ერთსართულიანი სამრეწველო შენობა დაპროექტდეს გეგმაში მართკუთხა, ერთნაირი მალებით, ერთნაირი სიმაღლის. მზიდი კარკასი ძირითადად აიგება ასწყობი რკინაბეტონისაგან, რადგან იგი ეკონომიკურად ხელსაყრელია. ლითონის კარკასი გამოიყენება განსაკუთრებით დიდი მალების შემთხვევაში, 18 მ-ზე მაღალ შენობებში და დიდი ტვირთამწეობის ხიდურა ამწეების არსებობისას. შესაძლებელია სვეტები იყოს რკინაბეტონის, ხოლო გადახურვის (სანივნიო) და ამწისქვეშა კოჭის კონსტრუქციები – ლითონის.

ერთსართულიანი სამრეწველო შენობის კონსტრუქციული სქემაა მზიდი კარკასი, რომელიც შედგება ბრტყელი ელემენტებისაგან: საძირკველში ხისტად ჩამაგრებული სვეტები, მათზე დაყრდნობილი გადახურვის ელემენტები (კოჭი, წამწე, თაღი), რომლებზეც, თავის მხრივ, ეყრდნობა დახურვის პანელები. გადახურვის ელემენტი შეიძლება იყოს სივრცითი კონსტრუქციაც (მაგალითად, ცილინდრული გარსი). იგი ეკონომიკურად ხელსაყრელია: გადაიხურება დიდი სივრცე, ბეტონი და არმატურა 30%-ით ნაკლები იხარჯება, მაგრამ

დასამზადებლად რთულია და ამიტომ უპირატესობა ენიჭება კარკასს შედგენილს ბრტყელი, კოჭური სქემით მომუშავე ელემენტებისაგან.




ნახ. 2.54. ერთსართულიანი სამრეწველო შენობების კონსტრუქციული სქემა:
1 – ჰორიზონტალური კავშირები; 2 – ტორსის ფახვერკის დგარები;
3 – სვეტი; 4 – კედლის პანელები; 5 – სანივნივო კონსტრუქცია
(ორქანობიანი კოჭი); 6 – დახურვის პანელები; 7 – ვერტიკალური კავშირები
გადახურვის კოჭებში; 8 – განბჯენი; 9 – სვეტების ვერტიკალური კავშირები

გარემოს ტემპერატურული ცვლილებების შედეგად, კარკასში აღძრული დამატებითი ძაბვის შესამცირებლად, შენობას ყოფენ ტემპერატურულ ბლოკებად. ბლოკის მაქსიმალური ზომაა: გამთბარ შენობაში – 72 მ, გაუმთბარში – 48 მ. ხშირ შემთხვევაში ხელსაყრელია უფრო დიდი ზომის ბლოკი. მაშინ კარკასი იანგარიშება ტემპერატურულ ზემოქმედებაზე. ტემპერატურული ნაკერი სრულდება შეწყვილებული სვეტებით, მათი დაკვალვის ღერძთან სათანადო მიბმით.

### 2.1.11.1. შენობის კონსტრუქციული სქემის გაერთმთლიანება

კონსტრუქციული სქემის გაერთმთლიანება იწყება გეგმაში სვეტების ბადის შერჩევითა და შენობის შიდა გაბარიტების დადგენით. რადგან შენობა ასაწყობი რკინაბეტონით აიგება, ამიტომ საჭიროა ვისარგებლოთ სახელმწიფო სტანდარტებით. ტიპოზომების მინიმალური რაოდენობისა და ტიპობრივი ელემენტების გამოყენების მოთხოვნების შესასრულებლად, ხელსაყრელია სვეტების ბადის შემდეგი

უნიფიცირებული ზომები: ხიდურა ამწის გარეშე მომუშაეე ელემენტებში $L \times B$=12x6: 18x12; 24x12 მ, სიმაღლე (მანძილი საძირკლის თავიდან დახურვის მზიდი, სანიენიო კონსტრუქციის ძირამდე) $H$=3,6...14,4 მ, (1,2 მ ჯერადი); შენობაში, რომელშიც ხიდურა ამწე მუშაობს: 18x12; 24x12; 30x12 მ; სიმაღლე $H$=8,4...18მ. პრაქტიკაში გავრცელებული საწარმოო პროცესების მიხედვით ძირითადად გამოიყენება 18x12 და 24x12 მ; სიმაღლით – 10,8 მ. სეეტების განლაგების უფრო გამსხვილებული ბადე გამართლებულია საწარმოო ფართობის გაზრდის მიზნით ან სხვა სპეციალური ტექნოლოგიური მოთხოვნით. ტორსის კედელთან, სადაც კარკასის სეეტებს შორის მანძილი 12 მ და მეტია, კედლის 6 – მეტრიანი პანელებისა და ალაყაფის კარების ალათების დასამაგრებლად, ყოველ 6 მ-ზე გამოიყენება ე.წ. ფახვერკის დგარები, რომლებიც დაყრდნობილია დამოუკიდებელ ცალკეულ საძირკვლებზე. იგი შეიძლება იყოს შედარებით მცირე განივკვეთის რკინაბეტონის სვეტი ან ლითონის სორტამენტი.

ელემენტების მაქსიმალური ტიპიზაციისათვის მიღებულია შენობის დაკვალვის გრძივ და განივ ღერძებთან კარკასის შემდეგნაირი მიბმა: განაპირა სვეტები დაკვალვის გრძივ ღერძებთან (ნახ. 2.55,ა): ა) ნულოვანი (დაკვალვის ღერძი ემთხვევა სვეტის გარეთა კიდეს), როდესაც სვეტების ბიჯი $B$=6...12 მ და ხიდურა ამწე არ არის, ან ხიდურა ამწე არის, მაგრამ სვეტების ბიჯი $B$=6 მ, ხოლო შენობის სიმაღლე $H \le 16{,}2$ მ და ამწის ტვირთამწეობა $Q \le 30$ ტ; ბ) 250 მმ-იანი მიბმა (დაკვალვის ღერძი სვეტის გარე კიდედან შიგნით არის შემოწეული 250 მმ-ით), როდესაც სვეტების ბიჯი $B$=6 მ, ხოლო $H$>16 მ-ზე და $Q$>30 ტ, ან ნებისმიერი $H$ და $Q$-სთვის, თუ სვეტების ბიჯი $B$=12 მ (ნახ. 2.55,ბ); გ) განივი მიმართულების დაკვალვის ღერძთან განაპირა სვეტი ორიენტირებულია 500 მმ-იანი მიბმით (სვეტის ღერძსა და დაკვალვის ღერძს შორის მანძილი 500 მმ-ია) (ნახ. 2.55,გ). შუა სვეტის ღერძი ემთხვევა დაკვალვის ღერძს. იგივეა ტემპერატურულ ნაკერში წყვილი სვეტის მიბმა განივ დაკვალვის ღერძთან.

შენობის სიმაღლე დამოკიდებულია საწარმოს ტექნოლოგიურ პროცესზე და იანგარიშება ამწის რელსის თავის წინასწარ დანიშნული $H_{cr}$-ის მიხედვით (სხვა ზომები სიმაღლის მიხედვით მოცემულია ნახ. 2.55,დ-ზე).

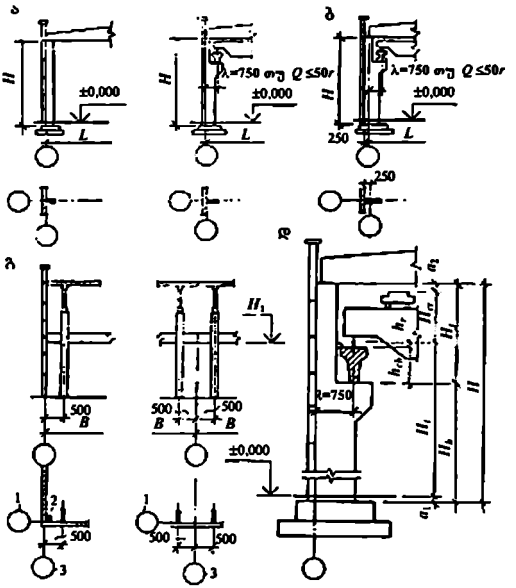
$$H_b = H_1 - h_r - h_{cb} + a_1; \quad H_t = H_{cr} + h_r + h_{cb} + a_2.$$

$$H = H_b + H_t.$$

გარდა ამისა, შენობის სრულ $H$ სიმაღლეს განსაზღვრავს ტიპობრივი საკედლე პანელებისა და ფანჯრის ალათების განლაგება სიმაღლის მიხედვით.

ბრტყელი გადახურვა ძირითადად ეწყობა კარკასის რიგელებზე განლაგებული დახურვის პანელებით, რომლებზეც მათი დამონოლითების შემდგომ სრულდება ჰიდროსაიზოლაციო სამუშაოები. რიგელები შეიძლება იყოს სანიენიო კოჭები (18 მ-მდე მალის შემთხვევაში. იშვიათად 24 მ-ზე), სანიენიო წამწეები (18...24 მ. დასაშვებია 30 მ-ზე) და სანივნიო თაღები (30...36 მ და მეტი მალისათვის). მათი განლაგება შეიძლება იყოს შენობის განივი ან გრძივი მიმართულებით. განივი განლაგება უფრო ხელსაყრელია შენობის განივი სიხისტის უზრუნველსაყოფად.

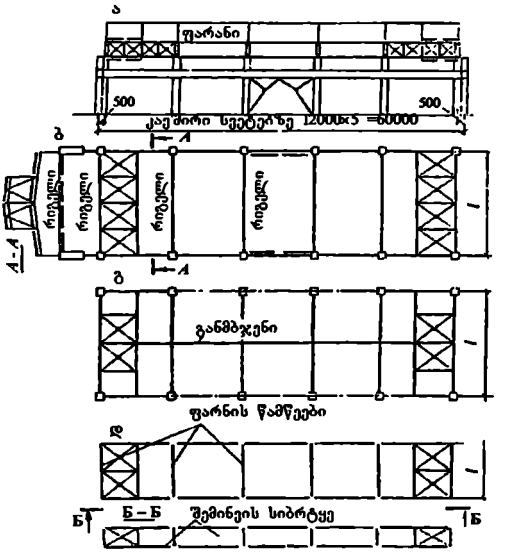
თუ სვეტების ბიჯი 6 ან 12 მ-ია, რიგელები უშუალოდ სვეტებზე ეყრდნობა, მაშასადამე, მათზე გრძივი მიმართულებით დაყრდნობილი დახურვის პანელების მალი შესაბამისად იქნება 6 ან 12 მ. თუ სვეტების ბიჯია 12 ან 18 მ, მაშინ სვეტებზე გრძივი მიმართულებით ლაგდება 12 ან 18 მ მალის ნივნიექვეშა კონსტრუქცია (კოჭი ან წამწე), რომელზეც შემდეგ ეყრდნობა სანივნიეო კონსტრუქცია. ამით შესაძლებლობა იქმნება გამოიყენონ 6 და 9 მ-იანი დახურვის პანელები. არის შემთხვევა, როდესაც განაპირა სვეტების ბიჯია 6 მ, ხოლო შუა სვეტებისა – 12 მ ან 18 მ. 12 მ-იან სვეტების ბიჯის შემთხვევაში ნივნიექვეშა კონსტრუქცია გამოიყენება მხოლოდ მაშინ, თუ შეკიდული ტრანსპორტია ან შეკიდული ჭერის მოწყობაა საჭირო. 18 მ ბიჯის შემთხვევაში, როგორც წესი, გამოიყენება ნივნიექვეშა კონსტრუქციები.




ნახ. 2.55. სვეტების მიბმა დაკვალვის ღერძებთან:
1–გრძივი რიგის ღერძი; 2–ფახვერკის დგარი; 3–განივი რიგის ღერძი

ერთსართულიან სამრეწველო შენობაზე, გარდა ვერტიკალურისა, მოქმედებს პორიზონტალური დატვირთვა (ქარი, სეისმური ზემოქმედება). ამ დატვირთვამ მნიშვნელოვანი დეფორმაცია, რომ არ გამოიწვიოს საჭიროა შენობის სივრცული სიხისტის უზრუნველყოფა. განივი მიმართულებით სიხისტე განისაზღვრება გაანგარიშებით და განივი ჩარჩოს სათანადო კონსტრუქციული მოწყობით: სვეტები ხისტად არის ჩამაგრებული საძირკველში, ხოლო თვით სვეტის განივი კვეთის სათანადოდ შერჩეული ზომები უზრუნველყოფს მის საკმარის სიხისტეს ღუნვაზე. ამიტომ განივი მიმართულებით სპეციალური კავშირების მოწყობა საჭირო არ

არის. გრძივი მიმართულებით სიხისტის ასეთი უზრუნველყოფა ხელსაყრელი არ არის. უკეთესია ამ მიმართულებით შემცირდეს სვეტების განივი კვეთის ზომები, ხოლო საერთო სიხისტის გასაზრდელად გამოყენებული იქნეს ვერტიკალური კავშირები, რისთვისაც შენობის ტემპერატურული ბლოკის შუაში გრძივი მიმართულებით განაპირა რიგის ორი მეზობელი სვეტის ლითონის ჩასატანებელ დეტალებზე მიედუღება კუთხოვანებისაგან შედგენილი ჯვარედინი წამწე (ნახ. 2.54), ხოლო სვეტების შუა რიგში და განაპირა რიგის 12 მ-იანი ბიჯისას პორტალური წამწე (ნახ. 2.56,ა).




ნახ. 2.56. დახურვის კავშირების სქემები:
ა – ვერტიკალური კავშირები; ბ – პორიზონტალური კავშირები რიგელის ქვედა სარტყლის დონეზე; გ – პორიზონტალური კავშირები რიგელის ზედა სარტყლის დონეზე; დ – კავშირები ფარანზე

მთელი კარკასის სივრცითი სიხისტის უზრუნველყოფასთან ერთად, აუცილებელია რიგელებისა და ფარნის მთლიანი სიხისტის უზრუნველყოფა, მათი მუშაობის სიბრტყის მართობული მიმართულებით, რაც, აგრეთვე, სრულდება ვერტიკალური კავშირების საშუალებით (ნახ. 2.56,ა). რიგელისა და ფარნის ცალკეული შეკუმშული და გაჭიმული ელემენტების სიხისტის უზრუნველყოფა კი ხდება ლითონის კუთხოვანებისაგან შედგენილი პორიზონტალური კავშირების საშუალებით (ნახ. 2.56,ბ,გ,დ).

### 2.1.11.2. განივი ჩარჩოს გაანგარიშების საფუძვლები

განივი ჩარჩოს სტატიკური გაანგარიშების მიზანია გარე დატვირთვისაგან მის ელემენტებში აღძრული ძალვებისა და გადაადგილებების განსაზღვრა. დახურვის ფილები, რომლებიც ეყრდნობა რიგელებს, მასთან ჩასატანებელი დეტალების მიდუღებითა და ფილებს შორის ნაკერების დამონოლითებით, ქმნიან ერთიან ხისტ დიაფრაგმას, აკავშირებენ ერთმანეთთან ცალკეულ ჩარჩოებს და გადააქცევენ ერთიან სივრცით კონსტრუქციად. თუ დატვირთვა მოქმედებს ერთდროულად შენობის (ტემპერატურული ბლოკის) ყველა განივ ჩარჩოზე (საკუთარი მასის, ქარის, თოვლის დატვირთვა), მაშინ განივი ჩარჩოები შეიძლება ეიანგარიშოთ ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად, როგორც ბრტყელი ჩარჩოვანი კონსტრუქცია. თუ დატვირთვა მოქმედებს მხოლოდ ერთ განივ ჩარჩოზე (ამწისაგან გადაცემული დატვირთვა), მაშინ, რადგან მეზობელი ჩარჩოებიც იღებს მონაწილეობას აღნიშნული დატვირთვის ასატანად, გაანგარიშებაში მხედველობაში მიიღება კარკასის სივრცითი მუშაობა.

ერთსართულიანი სამრეწველო შენობის განივი ჩარჩო იანგარიშება შემდეგი დატვირთვების ზემოქმედებაზე: ა) მუდმივი – დახურვის ფილების, მასზე მოწყობილი პიდროიზოლაციის, გადახურვის სანიენივე კონსტრუქციის, ფარნის, სვეტებზე შეკიდული საკედლე პანელების, ამწისქვეშა კოჭების, სვეტების და ა.შ. ე.ი. მთელი კარკასის საკუთარი მასისაგან გამოწვეული დატვირთვა; ბ) დროებითი (ხანგრძლივი და ხანმოკლე). ხანგრძლივ, დროებით დატვირთვას განეკუთვნება: სტაციონარული დანადგარებისა და ერთი ხიდურა ამწის (0,6 კოეფიციენტით) წონა, თოვლის დატვირთვის ნაწილი (იმ რეგიონებში მშენებლობისას, სადაც ხანგრძლივი ზამთარი იცის). ხანმოკლე დროებით დატვირთვად ითვლება: ორი ერთმანეთთან მიახლოვებული ხიდურა ამწისაგან გადმოცემული დატვირთვა, თოვლის მთლიანი ან ნაწილის დატვირთვა და ქარის დატვირთვა. საჭიროების შემთხვევაში, ჩარჩოს გაანგარიშებისას მხედველობაში იღებენ განსაკუთრებულ დატვირთვასაც: სეისმური (მიწისძერის შედეგად გამოწვეული), ტექნოლოგიური დანადგარის შესაძლო ავარიისაგან, საძირკვლის ფუძის ქვეშ გრუნტის ჩაჯდომით და ა.შ. როგორც ვხედავთ, გაანგარიშება ხდება დატვირთვების ძირითად და განსაკუთრებულ შეხამებაზე. ნორმების მიხედვით, ძირითადი შეხამების დროს ერთდროულად მოქმედებს: მუდმივი, დროებითი ხანგრძლივი და ერთი (შეხამების 1-ის ტოლი კოეფიციენტით) ან ორი და მეტი (შეხამების 0,9 კოეფიციენტით) ხანმოკლე დატვირთვა. განსაკუთრებული შეხამების დროს ამ დატვირთვებს ემატება განსაკუთრებული დატვირთვა გამრავლებული 0,8 შეხამების კოეფიციენტზე.

ჩარჩოს სტატიკური გაანგარიშებისათვის გამოიყენება სამშენებლო მექანიკის ერთ-ერთი მეთოდი. თუ გავითვალისწინებთ იმ გარემოებას, რომ უმრავლეს შემთხვევებში სანივნივე კონსტრუქციები (კოჭი, წამწე, თაღი) ერთ დონეზეა განლაგებული, ხოლო მათი სიხისტე მუშაობის სიბრტყეში მნიშვნელოვნად დიდია სვეტების სიხისტეზე, მაშინ ჩარჩოს გაანგარიშება ხელსაყრელია განხორციელდეს გადაადგილების მეთოდით. სათანადო ძირითადი საანგარიშო სისტემა იქნება განივი ჩარჩო, სადაც საძირკველში ხისტად ჩამაგრებულ სვეტებზე სახსრულად დაკავშირებულია უსასრულოდ დიდი სიხისტის მქონე რიგელები, ხოლო

ჰორიზონტალური მიმართულებით გადაადგილების შესაზღუდავად შემოტანილია ჰორიზონტალური ბმა, სახსრული საყრდენის სახით. ძირითად სისტემაში ჰორიზონტალური რეაქციის გამოთვლის შემდეგ იგი გადანაწილდება ცალკეულ სვეტებში მათი სიხისტის პროპორციულად და გაანგარიშება დადის ცალკეულ სვეტებში *M*, *N* და *Q* ძალვების განსაზღვრაზე, როგორც საძირკველში ხისტად ჩამაგრებულ კონსოლში, რომელზეც მოქმედებს მასზე მოსული გარე დატვირთვა და მთელი განივი ჩარჩოს რეაქციული ძალის ნაწილი. ძალვების მიღებული სიდიდეები სვეტების დამახასიათებელი კვეთებისათვის (სვეტის თავთან, სვეტზე ამწისწვეშა კოჭის დაყრდნობის კვეთი და სვეტის საძირკველთან ჩამაგრების კვეთი) ჩაიწერება ცხრილის სახით და აღნიშნულ კვეთებში ძალვების (*M*, *N*, *Q*) საანგარიშო შეხამების (ძირითადი ან განსაკუთრებული) შესაბამისი სიდიდის ძალვების მიხედვით სიმტკიცის პირობიდან შეირჩევა სათანადო არმატურა, როგორც გარეცენტრულად შეკუმშულ ელემენტში.

პრაქტიკული გაანგარიშებისას არმატურის შესარჩევად საკმარისია განისაზღვროს *N* და *M* ძალვების შემდეგი ყველაზე არახელსაყრელი შეხამება: ა) ყველაზე დიდი დადებითი მღუნავი მომენტი $M_{max}$ და შესაბამისი გრძივი *N* ძალვა; ბ) ყველაზე დიდი აბსოლუტური მნიშვნელობის უარყოფითი მღუნავი მომენტი $M_{min}$ და შესაბამისი *N* მკუმშავი ძალვა; გ) ყველაზე დიდი მნიშვნელობის *N* მკუმშავი ძალვა და მისი შესაბამისი *M* მღუნავი მომენტი. ყველა ამ შეხამებისას გამოითვლება შესაბამისი *Q* განივი ძალვა.

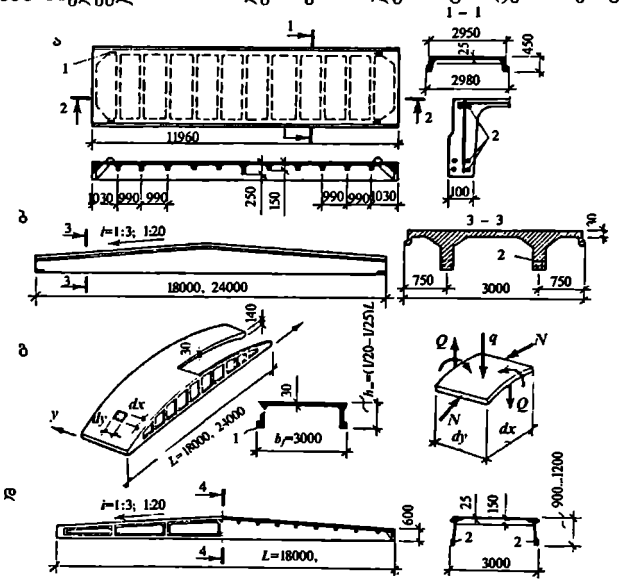
### 2.1.11.3. დახურვის რკინაბეტონის პანელები

ერთსართულიან სამრეწველო შენობებში დახურვის პანელებად ძირითადად გამოიყენება ტიპობრივი წიბოვანი პანელები (ნახ. 2.57,ა) 6 და 12 მ მალით. სიგანე 3 მ (ფარნიანი დახურვისას – ჩასამატებელი პანელი 1,5 მ სიგანის). წიბოები განლაგებულია გრძივი და განივი მიმართულებით. გრძივი წიბოების ზომებია 100x450 მმ. განივი წიბოების – 40x50 მმ, თაროს სისქე 25...30 მმ. ტიპობრივი წიბოვანი პანელები სრულდება წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონისაგან. წინასწარ დაძაბული არმატურა (ცალკეული მაღალი კლასის ფოლადის ღეროები ან ბაგირები) ჩალაგებულია გრძივ წიბოებში. განივი წიბოს დაარმატურება წარმოებს შედუღებული კარკასებით, ხოლო თაროსი – შედუღებული რულონური ბადეებით. ბეტონი აიღება B22,5...B30 კლასის. პანელის საკუთარი მასის 25%-მდე შესამცირებლად რეკომენდებულია მსუბუქი ბეტონის ($\rho_m$=1800 კგ/მ$^3$) გამოყენება.

პანელი სიმტკიცეზე იანგარიშება, როგორც ორ საყრდენზე თავისუფლად დაყრდნობილი T-სებრი განივკვეთის კოჭი, რომელზედაც მოქმედებს მუდმივი (პანელის მასა ჰიდროიზოლაციასთან ერთად) და დროებითი (თოვლი) დატვირთვა. განივი წიბოების ერთმანეთთან დაშორების მიხედვით თარო იანგარიშება, როგორც კოჭური ან, როგორც კონტურზე დაყრდნობილი ფილა.

ორკონსოლიანი П-სებრი ფილები მზადდება 3x6 მ და 3x12 მ ზომით, რიგელების განივი განლაგებისას ან, 3x18 მ და 3x24 მ – რიგელების გრძივი განლაგებისას. პანელი შედგება ერთმანეთთან 1,5 მ დაშორებული ორი გრძივი წიბოსა და თაროს კონსოლური შეერილებისაგან (ნახ. 2.57,ბ). განივი მიმართულებით

მღუნავი მომენტის შემცირების გამო განივი წიბო არ უკეთდება, რაც დამზადებას აადვილებს. 12 მ მალის შემთხვევისას, წინასწარ დაძაბული გრძივი წიბოები ცალკე მზადდება B40 კლასის ბეტონისაგან, შემდეგ დაბეტონდება თარო, რომლის წიბოებთან კავშირი ხორციელდება წიბოებიდან არმატურის ნაშვერებითა და ბეტონის შეჭიდულობით. ცალ-ცალკე დაბეტონებისას თაროში შესაძლებელია, უფრო იაფი B15 კლასის ბეტონის გამოყენება. 3x6 მ ზომის პანელი მზადდება, როგორც ცალ-ცალკე, აგრეთვე ერთიანი დაბეტონებით. გრძივი, წინასწარ დაძაბული არმატურა ლაგდება წიბოებში, ხოლო თაროს დაარმატურება ხდება ბადეებით. გრძივი მიმართულებით პანელი იანგარიშება, როგორც ორ საყრდენზე თავისუფლად დაყრდნობილი T-სებრი განივკვეთის კოჭი. განივი მიმართულებით გაანგარიშებისას მხედველობაში მიიღება კონსოლების განმტკივრითავი გავლენა.




ნახ. 2.57. გადახურვის პანელების კონსტრუქციები:
1 – სამონტაჟო მარყუჟები; 2 – დაძაბული არმატურა

მსხვილგაბარიტიანი რკინაბეტონის კამარისებური პანელი წარმოადგენს მოკლე ცილინდრულ გარსს გრძივი, წინასწარ დაძაბული სეგმენტური მოხაზულობის წიბოებით (დიაფრაგმებით) (ნახ. 2.57,გ). გარსის სისქეა 30...50 მმ. გეგმაში ზომებია 3x18 მ და 3x24 მ. გამოიყენება რიგელების გრძივად განლაგების შემთხვევაში. დიაფრაგმების კედლის მინიმალური სისქეა 40 მმ და გაძლიერებულია ვერტიკალური სიხისტის წიბოებით. გრძივი, წინასწარ დაძაბული არმატურა მოთავსებულია დიაფრაგმების ქვედა, გაჭიმულ ნაწილში. დიაფრაგმის კედლის დაარმატურება ხდება მხოლოდ დაყრდნობის მიმდებარე ზონაში, შედუღებული კარკასებით. სიხისტის წიბოებში ალაგებენ ცალკეულ ღეროებს, ხოლო გარსი

დაარმატურდება ანგარიშით მიღებული შედუღებული ბადეებით. კამარისებური პანელი ეკონომიურია, შედარებით ადვილად დასამზადებელი. ნაკლია მრუდხაზოვან ზედაპირზე ბურულის (ჰიდროიზოლაციის) მოწყობის შრომატევადობა.

ნაკლებად ქანობიანი გადახურვა ხორციელდება П-ს ტიპის პანელით, ზომით 3x18 მ და 3x24 მ (ნახ. 2.57.დ). მისი უპირატესობა კამარისებურ პანელთან არის ბურულის შედარებით ადვილი მოწყობა. საერთო დანახარჯებისა და დამზადების შრომატევადობის მიხედვით, ეს პანელები ერთნაირია.

### 2.1.11.4. რკინაბეტონის სანივნივო კონსტრუქციები

ერთსართულიან სამრეწველო შენობებში, მალების ზრდის მიხედვით, სანივნივო კონსტრუქციებად გამოიყენება კოჭები, წამწეები და თაღები. ნივნივექვეშა კონსტრუქციებად – კოჭები და წამწეები. თითოეული სანივნივო კონსტრუქციის გამოყენების მიზანშეწონილობა დამოკიდებულია ტექნიკურ-ეკონომიკურ ანალიზზე. იმის გამო, რომ ერთსართულიან სამრეწველო შენობა ძირითადად აიგება ასაწყობი კონსტრუქციებით და გეომეტრიული ზომები ექვემდებარება ერთიან სამოდულო სისტემას, სანივნივო კონსტრუქცია შეირჩევა ტიპობრივი კონსტრუქციების სათანადო კატალოგებიდან.

#### 2.1.11.4.1. სანივნივო კოჭები

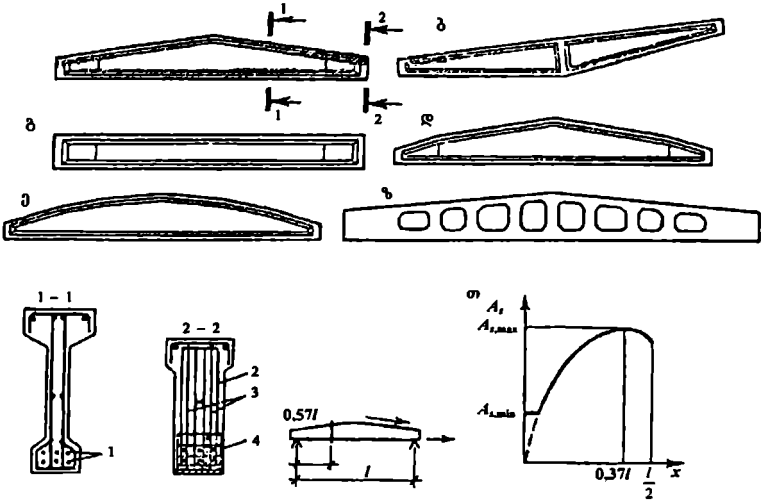
სანივნივო კოჭები გამოიყენება 6, 9, 12 და 18 მ მალის გადასახურავად. იმის მიხედვით, თუ როგორია სახურავის გადაწყვეტა კოჭები შეიძლება იყოს მუდმივი კვეთის (პარალელური ზედა და ქვედა თაროებით), ერთქანობიანი, ორქანობიანი – მთლიანკედლიანი ან კედელში ღიობებით (კომუნიკაციების გასატარებლად).

პარალელურთაროებიანი კოჭის უპირატესობაა ის, რომ მარტივია დასამზადებლად. გამოიყენება ჰორიზონტალური გადახურვისას. ერთქანობიანი კოჭები ძირითადად 6 ან 9 მ მალის შემთხვევაში გამოიყენება, ისიც ძირითადად, შენობაზე მიშენებული ნაგებობის გადასახურავად. კოჭები ტეხილი ან მრუდხაზოვანი ზედა თაროთი, ეკონომიურობის მიუხედავად, არ არის გავრცელებული, დამზადების რთული ტექნოლოგიის გამო.

ყველაზე გავრცელებულია გადახურვის სანივნივო კონსტრუქცია – ორქანობიანი კოჭი. ზედა თაროს შუიდან საყრდენებისაკენ დახრაა 1:12. თუ მცირე დახრის სახურავია საჭირო – 1:30. მიუხედავად იმისა, რომ საჭიროა არმატურის ცვლადი კვეთის კარკასის გამოყენება, ორქანობიანი კოჭი, მასალების ხარჯვის მიხედვით, ყველაზე ეკონომიურია 18 მ მალის გადასახურავად. 12 მ-იანი ორქანობიანი კოჭები გამოიყენება როგორც განივი, ისე გრძივი მიმართულებით. 18 მ-იანი კოჭი – შენობის განივი მიმართულებით, რომლებზეც ეწყობა 3x6 მ ან 3x12 მ ზომის დახურვის პანელები.

მასალის ეკონომიისათვის კოჭების კვეთია Т–სებრი ($l$=6; 9 მ) და $\mathrm{I}$-სებრი ($l$=12; 18 მ). ზედა თაროს სიგანე აიღება მასზე დახურვის პანელის დაყრდნობის, ტრანსპორტირებისა და მონტაჟის დროს მდგრადობის პირობიდან – $(1/50...1/60)l$. ეს დაახლოებით 200...400 მმ-ია. ქვედა თაროს სიგანე (200...300 მმ) აიღება მასში მუშა

არმატურის განლაგების, წინასწარი დაძაბვისას აღძრული მკუმშავი ძაბვის ატანისა და სვეტზე დაყრდნობის პირობიდან. კოჭის ვერტიკალური კედლის სისქე აიღება 60...80 მმ დამზადების სიადვილისა და განივი არმატურის განლაგების პირობიდან. საყრდენებთან კოჭის ვერტიკალური კედელი (წიბო) სქელდება ქვედა თაროს სიგანემდე საყრდენი რეაქციის ასატანად და წინასწარ დაძაბული არმატურისაგან საანკერო ზონის სიმტკიცისა და ბზარმედეგობის უზრუნველსაყოფად. ბეტონი აიღება B22,5... B40 კლასის.




ნახ. 2.58. ა...ზ – გადახურეის სანიენიეო კოჭები; თ – ორქანობიანი კოჭის გაანგარიშებისას არმატურის საანგარიშო ფართობი მალში: 1 – დაძაბული არმატურა; 2 – არმატურის კარკასი საყრდენთან; 3 – ჩასატანებელი დეტალის ანკერები; 4 – საყრდენთან განლაგებული ვერტიკალური ბადეები

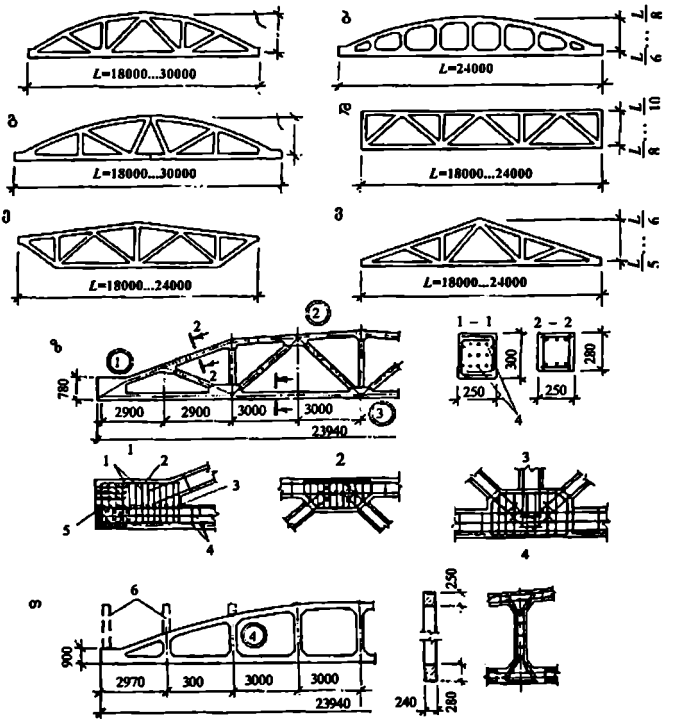
სანიენიეო კოჭები იანგარიშება, როგორც ორ საყრდენზე თავისუფლად დაყრდნობილი T-სებრი კვეთის კოჭები, დახურვის ფილებისაგან გადმოცემული შეყურსული და საკუთარი მასით გამოწვეული თანაბრად განაწილებული დატვირთვის ზემოქმედებაზე. გასათვალისწინებელია ის გარემოება, რომ მიუხედავად მალის შუაში მაქსიმალური მღუნავი მომენტის მოქმედებისა, საშიში კვეთი, სადაც მეტი არმატურაა საჭირო, მდებარეობს სახურავის 1:12 დახრისას საყრდენიდან 0,37*l* მანძილზე. ეს გამოწვეულია იმით, რომ მალის შუიდან საყრდენებისაკენ კვეთის სიმაღლე უფრო ინტენსიურად მცირდება, ვიდრე მღუნავი მომენტი.

### 2.1.11.4.2. სანიენიეო წამწვები

რკინაბეტონის სანიენიეო წამწვები, როგორც რიგელები, გამოიყენება სამრეწველო და საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობებში 18, 24, 30 მ მალის

გადასახურაჟად. 6 და 12 მ ბიჯით. უფრო დიდი მალის გადასახურავად წამწეები არაეკონომიკურია. როგორც მასალის ხარჯის, ისე ტრანსპორტირებისა და მონტაჟის თვალსაზრისით.

სანიენიო წამწის მოხაზულობა დახურვის სახეობასა და მთელი შენობის გაერთმთლიანების პრინციპზეა დამოკიდებული. ძირითადად გამოიყენება წამწეების ტიპობრივი სახეობები, თუმცა არატიპობრივი ნაგებობებისათვის შეიძლება დამზდეს წამწის არატიპობრივი კონსტრუქცია (ნახ. 2.59).




ნახ. 2.59. რკინაბეტონის სანიენიო წამწეების კონსტრუქციები:
1 – საყრდენი კვეთის განივი არმატურა; 2 – კონტურის ღეროები;
3 – დამატებითი ბადე; 4 – დაძაბული არმატურა; 5 – საყრდენთან განლაგებული ვერტიკალური ბადეები; 6 – დგარები, ბრტყელი გადახურვის მოსაწყობად

ნახ. 2.59-ზე ნაჩვენებია სეგმენტური ირიბნებიანი წამწე ტეხილი ზედა სარტყლით, ზედა სარტყლის თაღური მოხაზულობის უირიბანო წამწე, ბრტყელი გადახურვისათვის პარალელურსარტყლებიანი ირიბნებიანი წამწე, არატიპობრივი გადაწყვეტისათვის, თაღური წამწე შემცირებული რაოდენობის ირიბნებით, პოლიგონური, სამკუთხა, ქვედა ტეხილი სარტყლით.

სტატიკური მუშაობის თვალსაზრისით ყველაზე ხელსაყრელია სეგმენტური და თაღური ირიბნებიანი წამწეები, რადგან მალის გასწვრივ სარტყლებში ძალვა მცირედ იცვლება, ხოლო დგარებსა და ირიბნებში უმნიშვნელო სიდიდისაა. თუმცა თვით კონსტრუქციის დამზადება და დახრილი სახურავის მოწყობა საკმაოდ შრომატევადია. ამ მხრივ უფრო ხელსაყრელია თაღოვანი მოხაზულობის უირიბანო წამწე, რომელიც გარდა იმისა, რომ ადვილია დასამზადებლად, ხელსაყრელია წამწეებს შორის სივრცის კომუნიკაციების განსათავსებლად და ტექნიკური სართულის მოსაწყობად (პარალელურსარტყლებიანი უირიბანო წამწე). ასეთი წამწეების უარყოფითი მხარეა ის, რომ დგარებსა და სარტყლებში წარმოიშობა მნიშვნელოვანი სიდიდის მღუნავი მომენტები, რომელთა ასატანად საჭირო ხდება კვანძებში დამატებითი არმატურის ჩალაგება.

რკინაბეტონის წამწეების დაბეტონება ხდება ერთიანად (უირიბანო და მცირე მალის ირიბნებიანი წამწეები) და წინასწარ დამზადებული ირიბნებითა და დგარებით, რომლებიც ჩაიდგმება ყალიბებში არმატურის ნაშვერებით და შემდეგ ხდება ზედა და ქვედა სარტყლის დაარმატურება და დაბეტონება.

წამწის სიმაღლე მალის შუაში აიღება (1/6...1/10)*l*. ზედა სარტყლის განიკუთის სიგანე ფილების დაყრდნობის, მონტაჟისა და გადაზიდვის დროს თავისი სიბრტყიდან მდგრადობის პირობიდან აიღება (1/70...1/80)*l*. ქვედა სარტყლის კუთის სიგანე იგივეა რაც ზედა სარტყლის, კუთის სიმაღლე აიღება გრძივი მუშა არმატურის განლაგების პირობიდან. ირიბნებისა და დგარების განიკუთის ზომები და დაარმატურება შეირჩევა გაანგარიშებით, ოღონდ ჰორიზონტალური დაბეტონების გასაადვილებლად, კუთის სიგანე აიღება ისეთივე, როგორიც ზედა და ქვედა სარტყლის სიგანეა.

წამწეები მზადდება B22,5...B50 კლასის ბეტონისაგან. ქვედა, წინასწარ დაძაბულ სარტყელში გამოიყენება A–IV, A–V, A–VI, Aт–IV, Aт–V კლასის ღეროვანი არმატურა და K–7 კლასის ბაგირები. ზედა სარტყელსა და გისოსის ელემენტებში გამოიყენება ჩვეულებრივი A–II და A–III კლასის ღეროვანი არმატურისაგან დამზადებული შედუღებული კარკასები.

წამწეები, როგორც სტატიკურად რკვეადი (ირიბნებიანი წამწეები), ასევე სტატიკურად ურკვეელი (უირიბნო წამწეები) იანგარიშება საექსპლუატაციო დატვირთვასა და ძალვებზე, რომლებიც წარმოიქმნება ტრასპორტირებისა და მონტაჟისას. დატვირთვა ბურულისაგან, დახურვის პანელისაგან, საკუთარი მასისა და თოვლისაგან, მოდებულია წამწის ზედა სარტყლის ირიბნებსა და დგარებთან შეერთების კვანძებში, როგორც შეყურსული ძალების სისტემა. შეკიდული ჭერის ან შეკიდული ამწის დატვირთვა მოდებულია ქვედა სარტყლის კვანძებში.

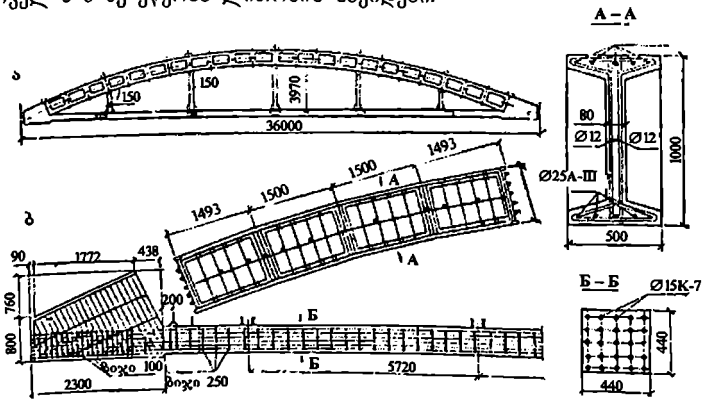
სტატიკური გაანგარიშებით გამოითვლება წამწის ელემენტებში აღძრული ძალვები, რომელთა მიხედვით ხდება ამ ელემენტებში კვეთების გაანგარიშება. ზედა სარტყელი იანგარიშება, როგორც გარეცენტრულად შეკუმშული ელემენტი, შემთხვევითი ან საანგარიშო ექსცენტრისიტეტით, ქვედა სარტყელი, როგორც ცენტრალურად გაჭიმული, ხოლო დგარები და ირიბნები – კუმშვაზე ან გაჭიმვაზე. წამწეების გასაანგარიშებლად ეგმ-ისთვის შედგენილია პროგრამები, რომელთა გამოყენებით შესაძლებელია კონსტრუქციის ოპტიმალური ვარიანტის შერჩევა.

### 2.1.11.4.3. რკინაბეტონის სანიენივო თაღები

რკინაბეტონის სანიენივო თაღი წარმოადგენს მრუდწირულ, განმბჯენიან კონსტრუქციას, რომლის საყრდენების გადაადგილება შეზღუდულია რკინაბეტონის ან ლითონის შემკოჭით. შემკოჭში წარმოიქმნება განმბჯენი ძალა (გამჭიმავი ძალა), რომელიც უზრუნველყოფს თაღის გარეცენტრულ კუმშვაზე მუშაობას. უსახსრო თაღის გამოყენებისას განმბჯენი ძალა ძირითადად გადაეცემა სპეციალურ საძირკვლებს.

ერთსართულიან სამრეწველო შენობაში რკინაბეტონის თაღები გამოიყენება საშუალო და დიდი მალების გადასახურავად ($l \geq 30$ მ). მშენებლობის პრაქტიკაში ცნობილია ანგარის ან სპორტული დანიშნულების ნაგებობების 100 მ-ზე მეტი სიდიდის მალის გადახურვის მაგალითი.

რკინაბეტონის თაღი შეიძლება იყოს სამსახსრიანი, ორსახსრიანი და უსახსრო. ძირითადად გამოიყენება ორსახსრიანი თაღი – შემკოჭით. თაღის მოხაზულობა სასურველია ემთხვეოდეს დატვირთვის წნევის წირს, რადგან ასეთ თაღში აღძრული მომენტი მინიმალური სიდიდისაა. პრაქტიკაში გამოიყენება წრიული მოხაზულობის თაღი, რომელიც დასამზადებლად ადვილია და შემადგენელი ელემენტების მინიმალური რაოდენობის ტიპოზომებია საჭირო. თაღი მზადდება ასაწყობი ან მონოლითური. ძირითადად გამოიყენება ასაწყობი თაღები (ნახ. 2.60,ა), რომელთა აწევის ისარი $f = (1/5...1/8)l$, განივი კვეთის სიმაღლე $h=(1/30...1/50)l$, ხოლო სიგანე $b=(0,4...0,5)h$. გამოიყენება მართკუთხა ან I-სებრი კვეთის, სიმეტრიულად დაარმატურებული. I-სებრი ელემენტის კედელში შეიძლება მოეწყოს ღიობი კომუნიკაციების გასატარებლად. ასაწყობი თაღების ცალკეული ელემენტი 6 მ სიგრძისაა. ისინი ერთმანეთს უკავშირდება არმატურის ნაშვერების აბაზანური შედუღებით, ნაკერების შემდგომი დამონოლითებით. თაღებზე დაეწყობა და ჩასატანებელი დეტალებით მიდუღდება 6...12 მ მალის დახურვის პანელები, რომლებიც ამავე დროს ჰორიზონტალურ კავშირსაც წარმოადგენს. რკინაბეტონის შემკოჭები სრულდება წინასწარ დაძაბული. შემკოჭის ჩაზნექის შესამცირებლად მალის ყოველ 6 მ-ზე ეწყობა ლითონის საკიდები.




ნახ. 2.60. რკინაბეტონის ორსახსრიანი თაღი შემკოჭით

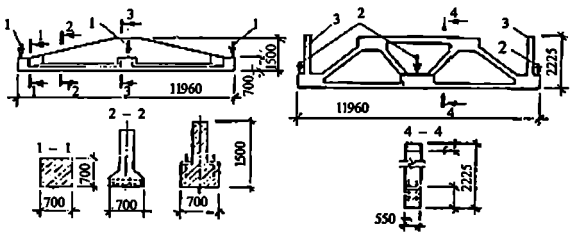
თაღების დასამზადებლად გამოიყენება B22,5...B40 კლასის ბეტონი. მუშა არმატურა A–III კლასის, შემკოჭი – წინასწარ დაძაბული A–IV და მაღალი კლასის ღეროვანი არმატურისაგან. გამოიყენება, აგრეთვე, მავთულოვანი არმატურა Bp–II კლასის და ბაგირები – K–7, K–19.

თაღში აღძრული ძალვები იანგარიშება სამშენებლო მექანიკის მეთოდებით, როგორც სტატიკურად რკეევადი (სამსახსრიანი თაღი) და ურკეეი (ორსახსრიანი და უსახსრო) კონსტრუქციები. დატვირთვა: საკუთარი მასის, დახურვის პანელების, ბურულის მასისა და თოვლის განაწილებული დატვირთვა, შეკიდული ამწისაგან დატვირთვა თაღს გადაეცემა შეეურსული ძალის სახით.

სხვადასხვა დატვირთვისაგან თაღის კვეთებში აღძრული ძალვები ჩაიწერება ცხრილის სახით და დატვირთვების ყველაზე არახელსაყრელი შეხამებისათვის დადგინდება ძალვების აბსოლუტური მნიშვნელობის მაქსიმალური სიდიდე. ამ ძალვების მიხედვით თაღში, როგორც გარეცენტრულად შეკუმშულ ელემენტში, ხოლო შემკოჭში, როგორც ცენტრალურად გაჭიმულ ელემენტში (შემკოჭში აღძრული მომენტი სიმცირის გამო მხედველობაში არ მიიღება), სიმტკიცის პირობიდან შეირჩევა სათანადო არმატურა. შემკოჭი გაიანგარიშება ბზარმედეგობაზეც. თაღის დაარმატურება მოცემულია ნახ. 2.60,ბ-ზე.

### 2.1.11.4.4. ნივნივქვეშა კონსტრუქციები

ნივნივქვეშა კონსტრუქციები ლაგდება შენობის გრძივი მიმართულებით სვეტებზე და წარმოადგენს შუალედური სანივნივე კონსტრუქციის ან დიდი ზომის დახურვის პანელის საყრდენს. ასეთი კონსტრუქციების მალი ტოლია სვეტების ბიჯის – 12 ან 18მ. ძირითადად გამოიყენება კოჭი ან წამწე (ნახ. 2.61). ნივნივქვეშა კონსტრუქციების გაანგარიშება, კონსტრუირება, გამოყენებული მასალები სანივნიეო კოჭისა და წამწის ანალოგიურია.



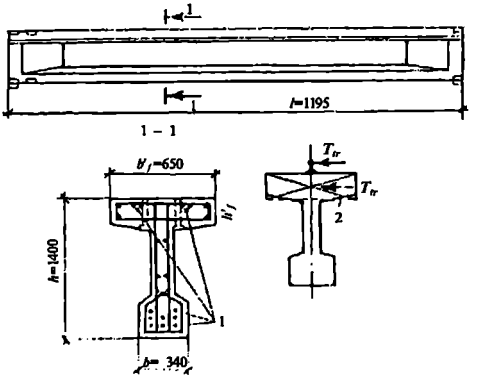

ნახ. 2.61. ნივნივქვეშა კოჭი და წამწე:
1 – სანივნიეო კოჭების რეაქცია; 2 – სანივნიეო წამწეების რეაქცია;
3 – დგარები გადახურვის პანელების დასაყრდნობად

### 2.1.11.5. რკინაბეტონის ამწისქვეშა კოჭი

ერთსართულიან სამრეწველო შენობებში ამწისქვეშა კოჭი, რომელზედაც მოწყობილია ხიდურა ამწის სავალი გზა (რელსები), ეყრდნობა სვეტების მოკლე კონსოლებს (სვეტის გაგანიერებულ ნაწილს). რკინაბეტონის ამწისქვეშა კოჭები,

ლითონის ხარჯის მიხედვით, ეკონომიკურია ფოლადის კოჭთან შედარებით (50%-მდე). გამოიყენება მხოლოდ საშუალო და მსუბუქი რეჟიმის (ტვირთამწეობა $Q \le 30$ტ) ხიდურა ამწეებისათვის. საშუალო და მძიმე რეჟიმის ამწეების დროს, როდესაც $Q > 30$ ტ-ზე, გამოიყენება ლითონის (ფოლადის) ამწისქვეშა კოჭი.

რკინაბეტონის ამწისქვეშა კოჭი, მისი მონტაჟის გასაადვილებლად, მზადდება, როგორც ორ საყრდენზე თავისუფლად დაყრდნობილი მუდმივკვეთიანი კოჭი (ნახ. 2.62). კოჭის მალი ტოლია სვეტების ბიჯისა – 6 ან 12 მ. კვეთის სიმაღლეა $(1/8...1/10)l$. 6 მ მალის კოჭის განივკვეთის ფორმა T-სებრია. 12 მ მალისას, გაჭიმული, წინასწარ დაძაბული არმატურის განლაგების პირობების მიხედვით საჭირო ხდება გაჭიმული ზონის გაგანიერება და ამიტომ გამოიყენება $\overline{I}$-სებრი კვეთი. ზედა, სიგანეში განვითარებული თარო გარდა იმისა, რომ მუშაობს კუმშვაზე, ზრდის კოჭის სიხისტეს ჰორიზონტალური მიმართულებით – ამწის ურიკის დამუხრუჭების ძალის ასატანად და ადვილი ხდება ამწის საჟალი გზის მონტაჟი, უმჯობესდება ხიდურა ამწის ექსპლუატაციის პირობები. ზედა თაროს სისქე აიღება $h'_f = (1/7...1/8)h$, სიგანე – $b'_f = (1/10...1/20)l = 500...650$ მმ. კოჭები მზადდება წინასწარ დაძაბული. გამოიყენება ბეტონი B22,5...B40 კლასის. არმატურა მაღალი კლასის ღეროვანი (A–IV და მეტი), მავთულოვანი Bp–II კლასის და ბაგირი – K–7.




ნახ. 2.62. ამწისქვეშა კოჭის კონსტრუქცია:
1 – დაძაბული არმატურა; 2 – საანგარიშო განივი კვეთი

კოჭის დამაგრება სვეტზე ხდება კოჭის საყრდენზე ჩატანებული ფოლადის ფირფიტის ნახვრეტებში გატარებული ჭანჭიკების მეშვეობით, ქანჩისა და საყელურის შემდგომი მიდუღებით. ამწის დამუხრუჭების ძალების სვეტზე გადაცემა ხორციელდება სიხისტის წიბოებით (ფოლადის ფირფიტა), რომლებიც სვეტისა და ამწისქვეშა კოჭის ლითონის ჩასატანებელ დეტალებზე მიედუღება. ამწის საჟალი გზის (რელსის) კოჭის ზედა თაროსთან დამაგრება სპეციალური ფოლადის ზესადებებითა და თაროში არსებულ ნახვრეტებში გატარებული ჭანჭიკებით ხორციელდება.

ამწისქვეშა კოჭზე მოქმედებს კოჭის საკუთარი მასა (რელსის მასასთან ერთად) და ხიდურა ამწის თვლების ვერტიკალური დაწოლა. ჰორიზონტალური

მიმართულებით მოქმედებს დამუხრუჭების ჰორიზონტალური ძალა, რომელიც რეალურად მოდებულია რელსის თავზე, მაგრამ საანგარიშო სქემაში იგულისხმება მოდებული კოჭის ზედა თაროს სისქის შუაში. კოჭი გაიანგარიშება სიმტკიცესა და გამძლეობაზე (მოძრავი ამწის მრავალჯერადი დინამიკური ზემოქმედების გამო), აგრეთვე ბზარმედეგობასა და დეფორმაციაზე. ვერტიკალურ დატვირთვაზე საანგარიშო კვეთია T-სებრი ან ⊥-სებრი. დამუხრუჭების ძალაზე იანგარიშება კოჭის მხოლოდ ზედა თარო, ჰორიზონტალური მიმართულებით, როგორც ორ მეზობელ სვეტზე მიყრდნობილი კოჭი. ამწისაგან ამწისქვეშა კოჭზე გადმოცემული მოძრავი დატვირთვისაგან აღძრული მღუნავი მომენტისა და განივი ძალის გამოსათვლელად აიგება მოძრავი ერთეული ძალის გავლენის წირები და ორი ერთმანეთზე მიდებული ამწის თვლების არახელსაყრელი მდებარეობისათვის გამოითვლება სათანადო $M$ და $Q$.

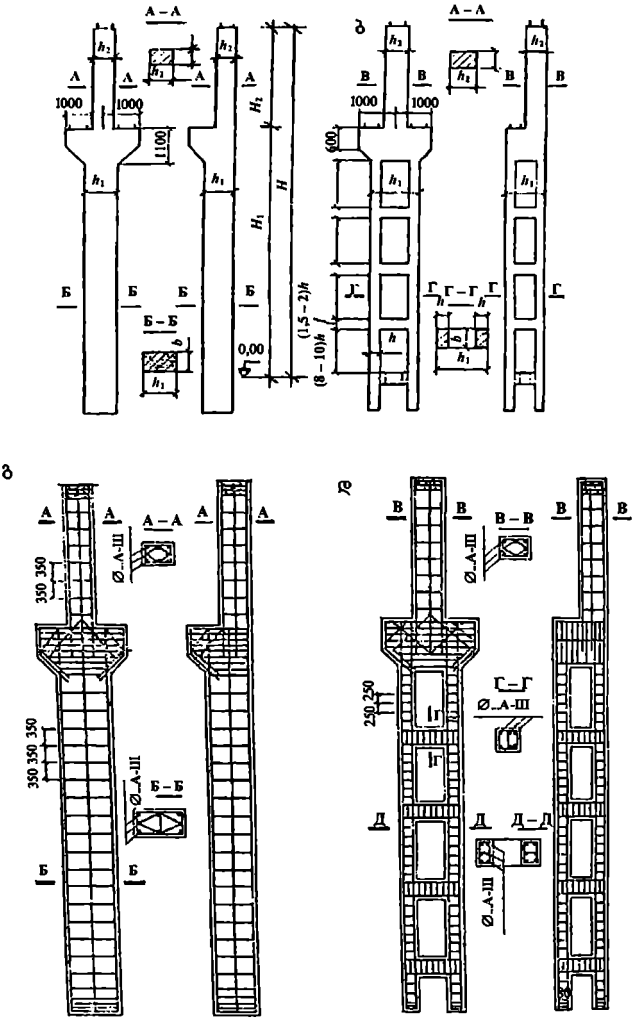
ამწისქვეშა კოჭის დაარმატურება ხდება ისევე, როგორც ნებისმიერი ⊥-სებრი კვეთის წინასწარ დაძაბული კოჭის.

### 2.1.11.6. ერთსართულიანი სამრეწველო შენობის რკინაბეტონის სვეტები

ერთსართულიან სამრეწველო შენობებში რკინაბეტონის ასაწყობი, ტიპობრივი კონსტრუქციის სვეტები გამოიყენება, როგორც განივი ჩარჩოს დგარები, იმ შემთხვევაში, თუ შენობის სიმაღლე $h \le 18$ მ, სვეტების ბიჯი $B \le 12$ მ და ამწის ტვირთამწეობა $Q \le 50$ ტ. აღნიშნული პარამეტრების უფრო დიდი მნიშვნელობისას გამოიყენება ფოლადის შედგენილი სვეტები. ერთსართულიანი სამრეწველო შენობის კარკასის სვეტები შეიძლება იყოს მთლიანკვეთიანი და ორტოტა (ნახ. 2.63, ა,ბ). ორტოტა სვეტები, მასალის ხარჯის მიხედვით, უფრო ეკონომიურია, მაგრამ – შედარებით რთულად დასამზადებელი. გამოიყენება ძირითადად მთლიანი, მართკუთხა კვეთის მოკლეკონსოლებიანი სვეტები. დამზადების ტექნოლოგიის სრულყოფის შემთხვევაში პერსპექტიულია ⊥-სებრი კვეთის სვეტების გამოყენება.

მთლიანკვეთიანი სვეტები გამოყენება, როდესაც $H \le 10.8$ მ, $B < 12$ მ და $Q \le 30$ ტ. ორტოტა სვეტი ხელსაყრელია, როდესაც $H > 10,8$ მ, $B \ge 12$ მ და $Q > 30$ ტ, აგრეთვე, მთლიანკვეთიანი სვეტის ქვედა ნაწილის (განიერი ნაწილის) განივკვეთის, გაანგარიშებით მიღებული, სიმაღლე მეტია 1 მ-ზე. თუ შენობაში ხიდურა ამწე არ არის, სვეტები მიიღება მუდმივი კვეთის მთელ სიმაღლეზე. სვეტების საყალიბე ნახაზი და დაარმატურება მოცემულია ნახ. 2.63-ზე. ტიპობრივ მთლიანკვეთიან სვეტებში კვეთის ზომები მიიღება სიმტკიცესა და სიხისტეზე გაანგარიშებით და სვეტების ბიჯის (6 ან 12 მ) მიხედვით. განაპირა სვეტის ამწისზედა ნაწილის კვეთის სიმაღლე $h_2$=360 ან 600 მმ; შუა სვეტებში – $h_2$=500 ან 600 მმ. სვეტების განივკვეთის სიგანე ყველგან ერთნაირია და $b$=400, 500 ან 600 მმ. მოკლე–კონსოლებიანი სვეტის ამწისქვედა ნაწილის კვეთის სიმაღლე, ზიდვის უნარისა და სიხისტის მიხედვით, აიღება $h_1=(1/10...1/14)H_1$. ორტოტა განაპირა სვეტის ამწისზედა ნაწილი ისეთივეა, როგორც მთლიანკვეთიან სვეტში. ქვედა ნაწილის კვეთის სიმაღლე სიმტკიცესა და სიხისტეზე გაანგარიშების მიხედვით: განაპირა სვეტში $h_1$=1000...1300 მმ, შუა სვეტში – $h_1$=1200...1600 მმ. კვეთის სიგანე ყველგან

ერთნაირია $b$=500...600 მმ, გარდა ამისა, უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას $b$=($l$/25...$l$/30)$H$.




ნახ. 2.63. ერთსართულიანი სამრეწველო შენობის სვეტები:
ა – მთლიანკვეთიანი სვეტი; ბ – ორტოტა სვეტი; გ – მთლიანკვეთიანი სვეტის დაარმატურება; დ – ორტოტა სვეტის დაარმატურება

ერთსართულიანი სამრეწველო შენობის სვეტები, როგორც წესი, საძირკველში ხისტად არის ჩამაგრებული, სვეტის კონსტრუქციის შესაბამისი ხერხით.

სვეტების გაანგარიშება ხდება განივი ჩარჩოს სიბრტყეში, როგორც საძირკველში ხისტად ჩამაგრებულ ღეროსი (მთლიანკვეთიანი სვეტი) ან

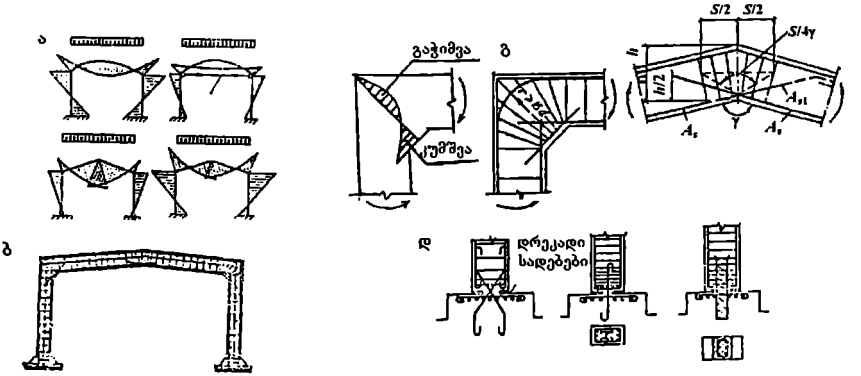
მრავალსართულიანი ჩარჩოსი (ორტოტა სვეტის ქვედა ნაწილი). სვეტები გაიანგარიშება, აგრეთვე, ჩარჩოს მუშაობის სიბრტყის მართობული მიმართულებითაც $N_{max}$ გრძივი ძალის შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტით მოქმედებაზე.

ერთსართულიანი სამრეწველო შენობის სვეტების ქვეშ ეწყობა რკინაბეტონის საძირკვლები, რომლებიც დაპროექტდება, როგორც გარეცენტრულად დატვირთული ცალკეული საძირკვლები.

### 2.1.11.7. ერთსართულიანი სამრეწველო შენობის მონოლითური კარკასი

ერთსართულიანი სამრეწველო შენობები, მონოლითური რკინაბეტონის მზიდი კარკასით, შედარებით იშვიათად გამოიყენება. ძირითადად არასტანდარტული ზომების ან დატვირთვების შემთხვევაში.

ასეთ შენობებში ძირითადი მზიდი კონსტრუქციაა განივი ჩარჩო (ნახ. 2.64). მზიდი, განივი ჩარჩო წრფივი რიგელით გამოიყენება 12...15 მ მალებისას, ტეხილი რიგელი შემკოჭის გარეშე – 15...18 მ მალის შემთხვევაში, ხოლო, როდესაც მალი $L \geq 24$ მ – შემკოჭით. ჩარჩო ტეხილი რიგელით ხელსაყრელია თხელკედლიანი სივრცითი გადახურვისას (ძირითადად მოკლე ცილინდრული გარსი), როგორც დიაფრაგმა. შემკოჭი ეწინააღმდეგება დგარების თავის ჰორიზონტალურ გადაადგილებას, ამცირებს დგარებსა და რიგელებში მომენტებისა და განივი ძალების სიდიდეს. შესაბამისად, მცირდება ამ ძალვების ზემოქმედება საძირკველზე.




ნახ. 2.64. ერთსართულიანი შენობის მონოლითური განივი ჩარჩო:
ა – მონოლითური ჩარჩოს ვარიანტები რაციონალური კონსტრუქციის შერჩევისათვის; ბ – ჩარჩოს დაარმატურება; გ – კვანძების დაარმატურება; დ – სვეტის საძირკველში სახსრული ჩამაგრების ვარიანტები

განივი ჩარჩოს საძირკველთან შეერთება შეიძლება იყოს ხისტი და სახსრული. ძირითადად მიმართავენ ხისტ შეერთებას, მაგრამ თუ დგარებში აღიძერება მნიშვნელოვანი სიდიდის ძალვა, ხოლო გრუნტი შედარებით სუსტია, ჯობია სახსრული შეერთების მოწყობა.

მზიდი ჩარჩოს კონსტრუირებისას განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა კვანძების დაარმატურებასა და სვეტის საძირკველში ჩამაგრების მოწყობას.

### 2.1.12. მრავალსართულიანი კარკასული და პანელური შენობების კონსტრუქციები

დიდ ქალაქებში მოსახლეობის მკვეთრი ზრდის გამო აუცილებელია სამოქალაქო, საზოგადოებრივი და სამრეწველო დანიშნულების შენობების სართულიანობის გაზრდა. მაგრამ, შენობის სართულების რაოდენობა უნდა დაინიშნოს ტექნიკურ-ეკონომიკური ანალიზისა და ქალაქის პერსპექტიული განვითარების გეგმის მიხედვით. მრავალსართულიანი შენობები პირობითად იყოფა შემდეგ კატეგორიებად: I – 9...16 სართული (საერთო სიმაღლე $H<50$ მ), II – 17...25 სართული ($50<H<75$ მ), III – 26...40 სართული ($75<H<100$ მ) და მაღლივი შენობები – 40 სართულზე მეტი ($H>100$ მ). მსოფლიოს დიდ ქალაქებში საკმაო რაოდენობის 100..150 – სართულიანი მაღლივი შენობა აშენდა. მაღლივი შენობების მშენებლობა (მაგალითად, 100-სართულიანის) თითქმის 10-ჯერ უფრო ძვირია, ვიდრე 8-სართულიანის, რაც გამოწვეულია კონსტრუქციული გადაწყვეტისა და ექსპლუატაციის გართულებით, კომუნიკაციების განთავსების სირთულით (სალიფტე მეურნეობა, წყალმომარაგება, ვენტილაცია, ენერგოუზრუნველყოფა და ა.შ.). ასეთი შენობები ხელს უშლის ქუჩების განიავებას, მაღალია ხანძარსაშიშროება და სხვა, მაგრამ, მიწის გაძვირებისა და ადგილის სიმცირის გამო, მაინც შენდება.

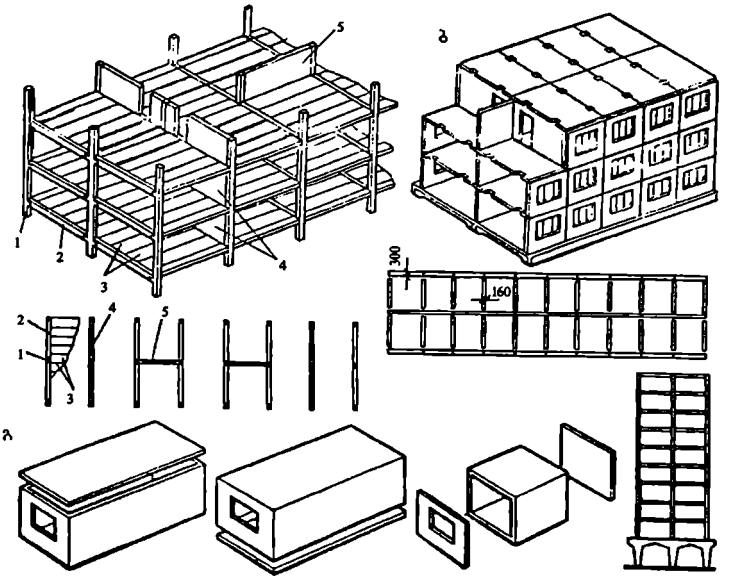
#### 2.1.12.1. მრავალსართულიანი შენობების კონსტრუქციული სქემები

მრავალსართულიანი შენობები, კონსტრუქციული სქემის მიხედვით, შეიძლება დაიყოს კარკასულ, პანელურ, მოცულობით – ბლოკურ და კომბინირებულ შენობებად (ნახ. 2.65). ნებისმიერი ტიპი შეირჩევა შენობის ფუნქციური დანიშნულების, ინდუსტრიული ბაზის არსებობის, შესაძლო სართულიანობის, ეკონომიკისა და მშენებლობის წარმოების პირობების მიხედვით.

კარკასული შენობები გამოიყენება, როდესაც საჭიროა შეიქმნას დიდი ფართობის სათავსები, გადახურვაში ტექნოლოგიური ღიობების მოწყობა და სეისმურად აქტიურ ზონაში საწარმოო, საზოგადოებრივი და ადმინისტრაციული დანიშნულების შენობების მშენებლობა. კარკასული შენობის მზიდი კონსტრუქციაა რკინაბეტონის კარკასი (მაღლივ შენობაში – ფოლადის. უკანასკნელ ხანს, განსაკუთრებით მაღალი სიმტკიცის ბეტონის გამოყენებით – რკინაბეტონის). ნაგებობაზე მოქმედი მთელი დატვირთვა გადაეცემა მზიდ კარკასს, რომელიც უზრუნველყოფს შენობის სიმტკიცესა და მდგრადობას მასზე მოქმედი ნებისმიერი დატვირთვის ზემოქმედებისას. რკინაბეტონის კარკასი შედგება სვეტების, რიგელების, სიხისტის ვერტიკალური ელემენტების, დიაფრაგმებისა და სართულთშორის გადახურვისაგან (ნახ. 2.65,ა).

საცხოვრებელ სახლებში, სასტუმროებში საჭიროა შიდა კედლების ხშირი განლაგება. შიდა კედლები უზრუნველყოფენ სათანადო ბგერაიზოლაციას, ხოლო გარე კედლები გარემოსაგან შემომზღუდავ ფუნქციას. ასეთი კედლები მზადდება ძირითადად რკინაბეტონის პანელების სახით. სპეციალურად დატოვებული არმატურის

ღეროებით უკავშირდება ერთმანეთს, დამონოლითდება წვრილმარცვლოვანი ბეტონით და წარმოიქმნება სივრცითი სისტემა, რომელიც გათვლილია შენობაზე მოქმედი ჰორიზონტალური და ვერტიკალური დატვირთვის ასატანად. ასეთ შენობებს პანელური ეწოდება (ნახ. 2.65,ბ). 20 სართულამდე სიმაღლის შენობებში მათი გამოყენება შედარებით ეკონომიურია, მაგრამ შეზღუდულია არქიტექტურული გამომსახველობის მიხედვით, რადგან ნაგებობა გამოდის ერთფეროვანი და უსახო. 20 სართულზე მაღალ შენობებში უფრო ხელსაყრელია კარკასის გამოყენება ან დამატებითი, მონოლითური სიხისტის ბირთვის (ლიფტების შახტების, კიბის უჯრედების) გამოყენება, რომელიც დაპროექტდება ჰორიზონტალური დატვირთვის (ქარი, სეისმური ზემოქმედება) ასატანად.




ნახ. 2.65. მრავალსართულიანი შენობების კონსტრუქციული სქემები:
1 – სვეტი, 2 – რიგელი, 3 – სართულთშორისი გადახურვა,
4, 5 – განივი და გრძივი დიაფრაგმები

პანელური შენობების შემდგომი განვითარების შედეგია მოცულობითი ბლოკები, დამზადებული ოთახის ან ბინის მოცულობის (ნახ. 2.65,გ) და კომბინირებული კონსტრუქციები (პირველი ერთი ან ორი სართული კარკასი, ხოლო შემდეგი პანელური კონსტრუქციის სართულები). ასეთმა კონსტრუქციებმა ვერ პოვა გავრცელება, მათ შორის საქართველოშიც – არქიტექტურულ-გეგმარებითი შესაძლებლობის შეზღუდულობისა და ძვირად ღირებული, სპეციალური საქარხნო ბაზის, სატრანსპორტო და სამონტაჟო მექანიზმების საჭიროების გამო.

### 2.1.12.2. მრავალსართულიანი სამრეწველო შენობების კონსტრუქციები

მრავალსართულიანი სამრეწველო შენობები გამოიყენება ისეთი საწარმოებისათვის, სადაც მოსახერხებელია განხორციელდეს ვერტიკალური საწარმოო პროცესები და მცირე მასისა და გაბარიტების დანადგარებია. ასეთებია – კვების და ქიმიური მრეწველობის, ხელსაწყოთმშენებლობის, ლაბორატორიული და საწარმოთა ადმინისტრაციული კორპუსები და სხვა. სამრეწველო შენობების საერთო რაოდენობის მეოთხედი მრავალსართულიანია.

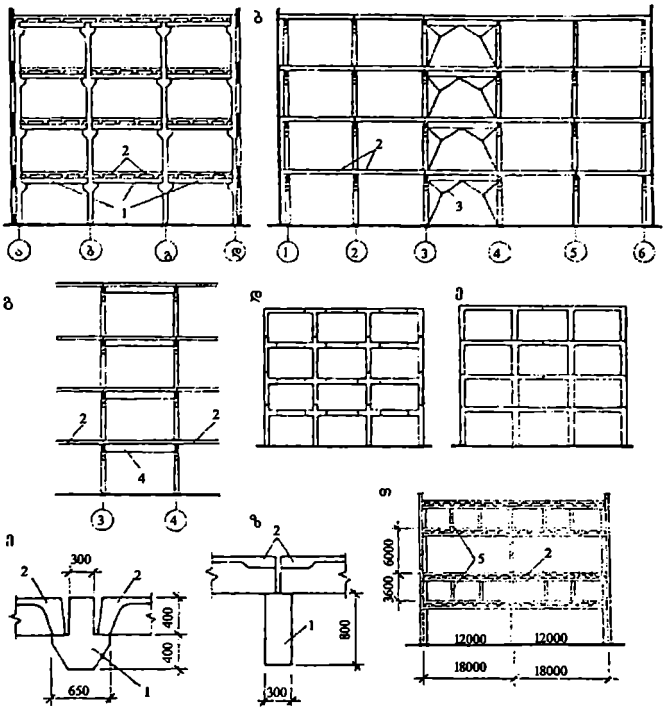
ტექნოლოგიური პროცესის შესაბამისად, ასეთი შენობები 3...7-სართულიანია. სათანადო კონსტრუქციული უზრუნველყოფისა და ეკონომიკური გაანგარიშების საფუძველზე შესაძლებელია 8...10-სართულიანის მშენებლობა. შენობა ძირითადად კარკასულია, სადაც შენობის განივი მიმართულებით სიმტკიცესა და მდგრადობას უზრუნველყოფს განივი ჩარჩო ხისტი კვანძებით, ხოლო გრძივი მიმართულებით – სვეტებზე მოწყობილი ლითონის ვერტიკალური კავშირები ან სვეტებთან ხისტად ჩამაგრებული გრძივი მიმართულების რიგელები (ნახ. 2.66). ელემენტების უნიფიკაციის და სტანდარტიზაციის მოთხოვნების მიხედვით, სვეტების ბადე გეგმაში აიღება: 6x6, 9x6, 12x6 მ. მთლიანი შენობის სიგანეა 12...60 მ. სართულის სიმაღლე აიღება 1.2 მ-ის ჯერადი, ტექნოლოგიური პროცესის საჭიროების მიხედვით.

მრავალსართულიანი ასაწყობი ჩარჩოების დანაწევრება ხდება სხვადასხვანაირად. უფრო მეტად გავრცელებულია სწორ და ჯვარისებრ ელემენტებად დანაწევრება (ნახ. 2.66,დ), როდესაც სვეტისა და რიგელის პირაპირები გამოტანილია კვანძიდან მინიმალური მომენტის მოქმედების კვეთებთან. დანაწევრება ხელსაყრელია, როდესაც ასაწყობი კონსტრუქციის ტიპი მინიმალურია (ნახ. 2.66,ე). მეორე ვარიანტი სეისმურ ზონაში მშენებლობისას უფრო ხელსაყრელია, მაგრამ შედარებით რთული დასამზადებელი და გადასაზიდია.

ასაწყობი სვეტები შეიძლება იყოს ერთი, ორი ან სამი სართულის სიმაღლის. პირაპირები ეწყობა ხისტი, მუშა არმატურის ნაშვერების აბაზანური შედუღებით და შემდგომში დამონოლითებით. სვეტის განივკვეთის ზომებია 400x400 და 600x600 მმ. ბეტონი – B20... B50 კლასის.

ასაწყობი რიგელები მზადდება მართკუთხა ან ⊥-სებრი განივი კვეთით. მართკუთხა რიგელზე გადახურვის პანელები ეწყობა ზევიდან, ⊥-სებრი კვეთის რიგელზე – თაროზე დაყრდნობით (ნახ. 2.66,ვ,ზ). რიგელები მალით 6 მ მზადდება წინასწარდაძაბაული ან დაძაბული. შესაბამისად, ბეტონის კლასია B15...B25, რიგელები მალით 9 და 12 – მხოლოდ წინასწარ დაძაბული, ბეტონი B20, B30, B40 კლასის. გადახურვის გავრცელებული ელემენტია 1500 მმ სიგანის წიბოვანი პანელი, ძირითადად, წინასწარ დაძაბული. პანელები დამონოლითების შემდეგ ქმნიან ერთიან ხისტ დისკოს, გადასცემენ გრძივ ძალებს კავშირებს და ამავე დროს თვითონაც უზრუნველყოფენ სივრცითი კარკასის მდგრადობას გრძივი მიმართულებით.

იმ შემთხვევაში, როდესაც ტექნოლოგიური პროცესის პირობების მიხედვით, საჭიროა გეგმაში სვეტების დიდი ზომების ბადე (მაგალითად, უნივერმაღის საეჭრო დარბაზი, საგამოფენო დარბაზი და სხვა), მაშინ შენობა დაპროექტდება ერთი ან რამდენიმე წამწესშიგა სართულით (ნახ. 2.66,თ). აქ რიგელად გამოიყენება უირიბანო




ნახ. 2.66. მრავალსართულიანი სამრეწველო შენობების კონსტრუქციები: 1 – განივი ჩარჩოს რიგელი; 2 – გადახურვის ფილები; 3 – გრძივი, ვერტიკალური კაუშირები; 4 –გრძივი რიგელები; 5–პარელელურსარტყელებიანი ეირიბანო წამწეები

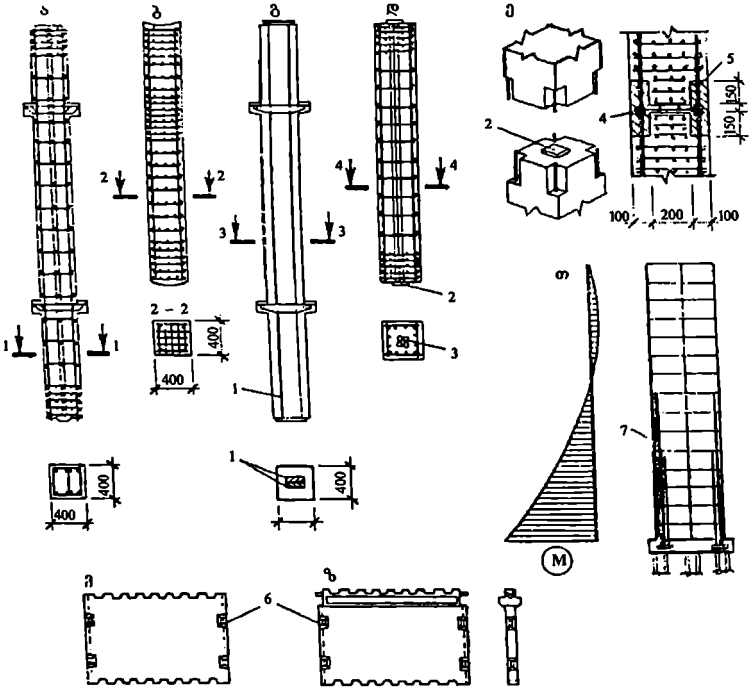
წამწე პარალელური სარტყელებით, რომელიც სვეტებთან ხისტად არის დაკავშირებული. წამწესშიგა სართული გამოიყენება საწყობად (მაგალითად, უნივერმაღში) ან საწარმოო სათავსოდ. მრავალსართულიან სამრეწველო შენობებში, სადაც განთავსებულია ხორცკომბინატი, რძის პროდუქტებისა და თევზის გადამამუშავებელი საწარმოები, მაცივრები, გარაჟები და ა.შ., სადაც საჭიროა ბრტყელი ჭერი ტემპერატურისა და ჰაერის თანაბრად გასანაწილებლად, კოჭოვანი გადახურვის ნაცვლად გამოიყენება უკოჭო გადახურვა.

### 2.1.12.3. მრავალსართულიანი სამოქალაქო შენობების კონსტრუქციები

სამოქალაქო მშენებლობაში მრავალსართულიანი შენობები გამოიყენება საეჯრო დაწესებულებების (უნივერმაღი), სასტუმროების, ადმინისტრაციული, საცხოვრებელი სახლების და ა.შ. მშენებლობისას. კონსტრუქციული გადაწყვეტა ძირითადად კარკასულია. ჩვეულებრივ, ეს არის ჩარჩოვანი ან ჩარჩოვან-კაუშირებიანი

სისტემა. ვერტიკალური მზიდი ელემენტი აქ არის სვეტები, დიაფრაგმები და სიხისტის ბირთვები. ეს ორი უკანასკნელი კავშირის როლსაც ასრულებს.

სვეტებად გამოიყენება უნიფიცირებული, ტიპობრივი კონსტრუქცია განივკვეთის ზომებით 400x400 მმ (ნახ. 2.67,ა). რადგან ქვედა სართულების სვეტებზე დატვირთვა უფრო დიდია, ამიტომ მათი ზიდვის უნარის გასაზრდელად გამოიყენება მაღალი კლასის ბეტონი (B50...B60) და დაარმატურების მაღალი პროცენტი ($\mu$%=15%-მდე) (ნახ. 67,ბ,გ). თუ სართულების რაოდენობა 16-ზე მეტია, შეიძლება ხისტი არმატურის (შველერი, I-სებრი) გამოყენება, რაც ფოლადის დიდ ხარჯს მოითხოვს. ამიტომ, ქვედა სართულების სვეტების გასაძლიერებლად შეიძლება მაღალი სიმტკიცის მოქნილი არმატურის გულაგის გამოყენება (ნახ. 2.67,დ). ასაწყობი სვეტი შეიძლება 4 სართულის სიმაღლის იყოს, მაშინ ტრანსპორტირების, მონტაჟისა და ექსპლუატაციისას სიხისტის გასაზრდელად მას წინასწარ ძაბავენ. სვეტების შეერთება წარმოებს არმატურის ღეროების ნაშვერების აბაზანური შედუღებით (ნახ. 2.67,ე).




ნახ. 2.67. მრავალსართულიანი სამოქალაქო შენობის კარკასის კონსტრუქციები

1 – ლითონის ზოლოვანი ფურცელი; 2 – მაცენტრებელი სადები; 3 – მაღალი სიმტკიცის არმატურის გულაგი; 4 – აბაზანური შედუღება; 5 – დამატებითი ცალუღი; 6 – სვეტებთან დამაკავშირებელი ჩასატანებელი დეტალი, რომელიც მუშაობს ძვრაზე; 7 – წინასწარ დაძაბული არმატურა

დიაფრაგმები, რომლებიც ძირითადად ჰორიზონტალურ დატვირთვაზე მუშაობს, მზადდება 140...180 მმ სისქის რკინაბეტონის პანელების სახით (ნახ. 2.67,ვ,ზ), თავსდება სვეტებს შორის და უკავშირდება მათ ჩასატანებელი დეტალების მიდულებით. დიაფრაგმებია ბრტყელი და ორკონსოლიანი. პირველი ლაგდება სივრცული ჩარჩოს გრძივი მიმართულებით, გადახურვის პანელების ღერძების პარალელურად, ხოლო ორკონსოლიანი – განივი მიმართულებით და უთავსდება რიგელს. დიაფრაგმის სვეტებთან მიერთების ნაკერების დამონოლითება ხდება ცემენტის დუღაბით (ვერტიკალური ნაკერი) და წვრილმარცვლოვანი ბეტონით (ჰორიზონტალური ნაკერი). სართულების მიხედვით ერთრიგად განლაგებული დიაფრაგმები მთლიანად მუშაობს, როგორც მონოლითური სვეტები. დიაფრაგმების სისტემა უზრუნველყოფს მთელი შენობის სიმტკიცეს და სივრცულ სიხისტეს, სეისმური ზემოქმედების დროს ეწინააღმდეგება გრეხას. დიაფრაგმა ძირითადად განიცდის კუმშვას, მაგრამ მნიშვნელოვანი სიდიდის ჰორიზონტალური დატვირთვისას შეიძლება ამ უკანასკნელის ნაწილი გაიჭიმოს, მაშინ მას წინასწარ ძაბავენ (ნახ. 2.67,თ).

სიხისტის ბირთვი შეიძლება იყოს მონოლითური (ძირითადად) ან ასაწყობი. ეს არის კოლოფისებრი კვეთის, ჰორიზონტალურ დატვირთვაზე გაანგარიშებული რკინაბეტონის ვერტიკალური კონსტრუქცია (ლიფტების შახტა ან კიბის უჯრედი), რომელთან სახსრულად არის დაკავშირებული ჩარჩოს რიგელები. ეს უკანასკნელი მუშაობს მხოლოდ ვერტიკალურ დატვირთვაზე. გეგმაში რთული მოხაზულობის ან დიდი სიგრძის შენობაში შეიძლება იყოს რამდენიმე სიხისტის ბირთვი.

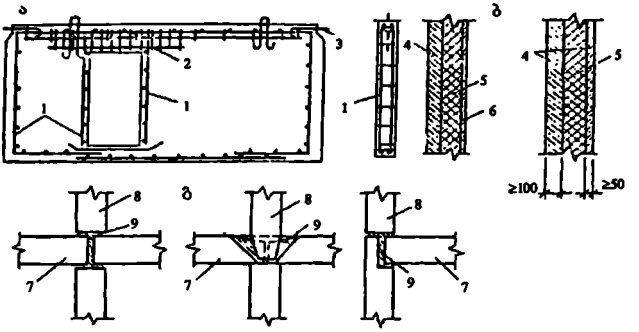
ჩარჩოს რიგელები და მათზე დაწყობილი პანელები ქმნის ასაწყობ, კოჭოვან სართულთშორის გადახურვას. პანელები ძირითადად გამოიყენება მრავალსიღრუიანი, სისქით 220 მმ. დამონოლითების შემდეგ ძვრაზე საიმედოდ მუშაობისათვის, პანელების კიდეებზე დატოვებულია ღრმულები, რომლებშიც დასამონოლითებლად ჩასხმული წვრილმარცვლოვანი ბეტონი გამყარების შემდეგ მუშაობს, როგორც სოგმანი.

ჩარჩოვან-კავშირებიან კარკასში გრძივი მიმართულების სვეტებს შორის ეწყობა წინასწარ დაძაბული ბრტყელი პანელები, რომლებიც ნაშვერებით ეყრდნობა განივი მიმართულების რიგელებს და ასრულებს კავშირების როლს.

საცხოვრებელი სახლების კონსტრუქცია, როდესაც საჭიროა ხშირად განლაგებული განივი და გრძივი მიმართულების კედლები, სრულდება რკინაბეტონის პანელებისაგან, რომლებიც საიმედო ნაკერების მოწყობით ქმნიან ხისტ სივრცულ სისტემას, რომელსაც შეუძლია აიტანოს შენობაზე მოსული დატვირთვა. ასეთი შენობები სრულდება უკარკასოდ.

პანელურ შენობებში შეიძლება იყოს განივი, გრძივი, ან ორივე მიმართულების მზიდი პანელები. განივი მიმართულების მზიდი კედლები უფრო ხელსაყრელია, რადგან მათზე ეყრდნობა სართულთშუა გადახურვის პანელი. ამ შემთხვევაში გრძივი მიმართულების გარეთა კედლები ასრულებს მხოლოდ გარემოსაგან შემომზღუდავ ფუნქციას, ამიტომ რეკომენდებულია მსუბუქი ბეტონის გამოყენება. შიდა მზიდი კედლის პანელები (ნახ. 2.68) მზადდება B15 კლასის მძიმე ბეტონისაგან, ერთფენოვანი. პანელის სისქე მიიღება სიმტკიცის, ბგერაიზოლაციისა და ხანძარმედეგობის პირობიდან. დაარმატურება ხდება ბადეებით, პანელის ორივე სიბრტყესთან, კონსტრუქციული არმატურით, რომლის განივკვეთის ჯამური ფართობი

პანელის კედის 1 გრძივ მეტრზე 0,2 სმ²-ის ტოლია. გარე არამზიდი საკედლე პანელები მზადდება ერთფენოვანი, მსუბუქი ბეტონისაგან, ხოლო მზიდი გარეთა პანელი – ორფენოვანი ან სამფენოვანი, რომლის ერთი ფენა მზიდია და მზადდება მძიმე ბეტონისაგან, სხვა ფენები ბგერა და თბოსაიზოლაციოა. გადახურვის პანელები მრავალსიღრუიანია. კედლის მზიდი პანელების განლაგებისა და მათზე დაყრდნობის მიხედვით, გადახურვის პანელები იანგარიშება როგორც ოთხ, სამ ან ორ საყრდენზე თავისუფლად დაყრდნობილი ფილები. ნახ. 2.68-ზე მოცემულია კედლის პანელებისა და გადახურვის ფილების შეერთება. შეერთების საიმედოობა უზრუნველყოფს შენობის სიმტკიცეს და სივრცულ სიხისტეს.




ნახ. 2.68. პანელური შენობების კონსტრუქციები:
ა – შიდა მზიდი საკედლე პანელი; ბ–გარე ორფა და სამფა მზიდი საკედლე პანელის კედეი; გ – შიდა და გარე საკედლე პანელების და გადახურვის პანელების პირაპირები; 1 – არმატურის ვერტიკალური კარკასი; 2 – კარკასი – ზღუდარი; 3 – არმატურის ნაშეერები მეზობელ პანელთან შედუღებით შესაერთებლად; 4 – მძიმე ბეტონის ფენა; 5 – თბოსაიზოლაციო ფენა; 6 – მოპირკეთების ფენა; 7 – გადახურვის პანელები; 8 – კედლის პანელები; 9 – ცემენტის ხსნარი

### 2.1.12.4. მრავალსართულიანი შენობის გაანგარიშების საფუძვლები

თანამედროვე მრავალსართულიანი შენობა წარმოადგენს რთულ სივრცულ სისტემას, რომელიც შედგება სხვადასხვა ელემენტისა და შეერთებისაგან, რომელთა პარამეტრები (სიხისტე, დეფორმაციები, ძაბვები და სხვა) იცვლება დატვირთვის პროცესში. ასეთი შენობების გაანგარიშება ყველა კონსტრუქციული თავისებურების, დატვირთვისა და ზემოქმედების ხასიათის გათვალისწინებით რთულ ამოცანას წარმოადგენს. ამიტომ რეალური ნაგებობა გაანგარიშებისათვის იცვლება შესაძლოდ მიახლოებული იდეალიზებული სქემით. დაპროექტებისას, დეფორმირების მხოლოდ ძირითადი თავისებურებების გათვალისწინებისასაც კი, გაანგარიშებისათვის საჭიროა გამოთვლითი ტექნიკა. მთელ რიგ კონკრეტულ შემთხვევებში გამოიყენებენ შესაძლოდ გამარტივებულ საანგარიშო სქემებს. მაგალითად, შენობის სივრცულ სისტემას დაყოფენ შემადგენელ ნაწილებად და თითოეულს ანგარიშობენ ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად, უშუალოდ მათზე მოსულ დატვირთვაზე, როგორც ბრტყელ

სისტემას. ამ შემთხვევაში, გაანგარიშების დროს დამპროექტებელს შესაძლებლობა ეძლევა გამოიყენოს კარგად ცნობილი ინჟინრული მეთოდები და დამხმარე ცხრილები. ასეთი მიდგომა ხშირად ნაყოფიერია კონსტრუქციებში აღძრული ძალვების წინასწარი, მიახლოებითი შეფასებისათვის.

მრავალსართულიანი შენობების კონსტრუქციები იანგარიშება დატვირთვების ძირითად და განსაკუთრებულ შეხამებაზე. ამასთან, საჭიროა მხედველობაში ვიქონიოთ, რომ 40 მ-ზე მაღალი შენობის გაანგარიშებისას ქარის სტატიკურ დატვირთვასთან ერთად გასათვალისწინებელია ამავე დატვირთვის დინამიკური ზემოქმედებაც. ანლოგიურად ხდება სეისმური დატვირთვის დინამიკური ეფექტის გათვალისწინება.

### 2.1.12.4.1. ჩარჩოვანი კარკასის გაანგარიშება

ჩარჩოვანი სისტემის კარკასის ინჟინრული გაანგარიშება ხდება შემდეგი თანმიმდევრობით: ანალოგიური კონსტრუქციების დაპროექტების გამოცდილების საფუძველზე, წინასწარ დაინიშნება ელემენტების კვეთის გეომეტრიული ზომები. განისაზღვრება ყველა ის დატვირთვა, რაც შენობაზე მოქმედებს: სართულთშორის გადახურვაზე მოქმედი ვერტიკალური, მუდმივი და დროებითი დატვირთვა, როგორც ზედაპირზე თანაბრად განაწილებული, ხოლო ქარისა და სეისმური დატვირთვა, როგორც ჰორიზონტალური, სართულთშორისი გადახურვის დონეზე მოდებული შეკრული ძალების სახით. რიგელისა და სვეტების განიკვეთის ადრე დანიშნული გეომეტრიული ზომების შემოწმება შეიძლება მიახლოებითი ანგარიშით. მაგალითად, რიგელის კვეთს განსაზღვრავენ საყრდენი მომენტის მიხედვით

$$M = (0{,}6...0{,}7)M_0; \qquad M_0 = (g+\nu)l_0^2/8. \tag{2.41}$$

აქ $M_0$, ორ საყრდენზე თავისუფლად დაყრდნობილ კოჭში აღძრული მაქსიმალური მომენტია;

$g$ და $\nu$ – მუდმივი და დროებითი საანგარიშო დატვირთვა რიგელის 1 გრძივ მეტრზე;

$l_0$– რიგელის საანგარიშო მალი;

კვეთის $h_0$ მუშა სიმაღლე და $b$ სიგანე განისაზღვრება ფორმულით

$$h_0 = 1{,}8\sqrt{M/(R_b b)}; \qquad b = (0{,}3...0{,}4)h. \tag{2.42}$$

სვეტის კვეთის ფართობი იქნება

$$A_{col} = (1{,}2...1{,}5)N/R_b; \tag{2.43}$$

კოეფიციენტი 1,2...1,5 ითვალისწინებს სვეტში მღუნავი მომენტის გაელენას; $N$ გრძივი ძალაა, გადმოცემული სვეტზე გადახურვის შესაბამისი ფართობიდან.

გაანგარიშების საფუძველზე მიღებულ სვეტისა და რიგელის გეომეტრიულ ზომებს დაიყვანენ უნიფიცირებულ ზომებზე და შეუთანხმებენ ერთმანეთს, გამომდინარე კვანძის კონსტრუქციის მოწყობის შესაძლებლობიდან. შემდეგ იანგარიშება რიგელისა და სვეტების გრძივი სიხისტე, როგორც ბეტონის ელემენტებისათვის. მიღებული შედეგები შეჰყავთ კომპიუტერის სათანადო პროგრამაში და კვანძების დამყოლობისა თუ სხვა ფაქტორების გათვალისწინებით გამოითვლება რკინაბეტონის

კარკასის ელემენტებში აღძრული ძალვები. ამ ძალვების მიხედვით ელემენტის სიმტკიცისა და სიხისტის პირობიდან ხდება მუშა არმატურის განივკვეთის ფართობის განსაზღვრა და კონსტრუქციის სათანადო დაარმატურება.

მიახლოებითი ინჟინრული მეთოდით სივრცითი ჩარჩოვანი კარკასის გაანგარიშებისას, მას ყოფენ ცალკეულ ბრტყელ ჩარჩოებად და ანგარიშობენ უშუალოდ მათზე მოსულ ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ დატვირთვებზე.

ვერტიკალურ დატვირთვაზე გაანგარიშებისას, თუ კარკასული შენობის მრავალსართულიან და მრავალმალიან ჩარჩოებს აქვს ტოლი სიდიდის მალები (ან განსხვავებული 20%-მდე), სართულების ერთნაირი სიმაღლე და ერთნაირი დატვირთვა სართულებზე (რაც უმრავლეს შემთხვევაში ასეა), მაშინ ასეთი ჩარჩოების ყველა კვანძი, განლაგებული ერთ ვერტიკალზე, განიცდის დაახლოებით ერთნაირი კუთხით შემობრუნებას, რის გამოც წარმოიქმნება ერთნაირი კვანძური მომენტები, რომელთა ეპიურის ნულოვანი წერტილები იქნება სართულის სიმაღლის შუაში (ნახ. 2.69,ა). ამ შემთხვევაში მრავალსართულიანი ჩარჩო შეიძლება დაიყოს სამი ტიპის ერთსართულიან ჩარჩოებად (ნახ. 2.69,ბ): ზედა, შუა და ქვედა სართულისა. თითოეული ამ ჩარჩოს გაანგარიშება შეიძლება ცხრილების [2] დახმარებით მუდმივი და დროებითი დატვირთვის ყველაზე არახელსაყრელი შეხამებისათვის.

ჩარჩოს რიგელებში საყრდენებზე მღუნავი მომენტები გამოითვლება ფორმულით

$$M = (\alpha g + \beta V)l^2, \qquad (2.44)$$

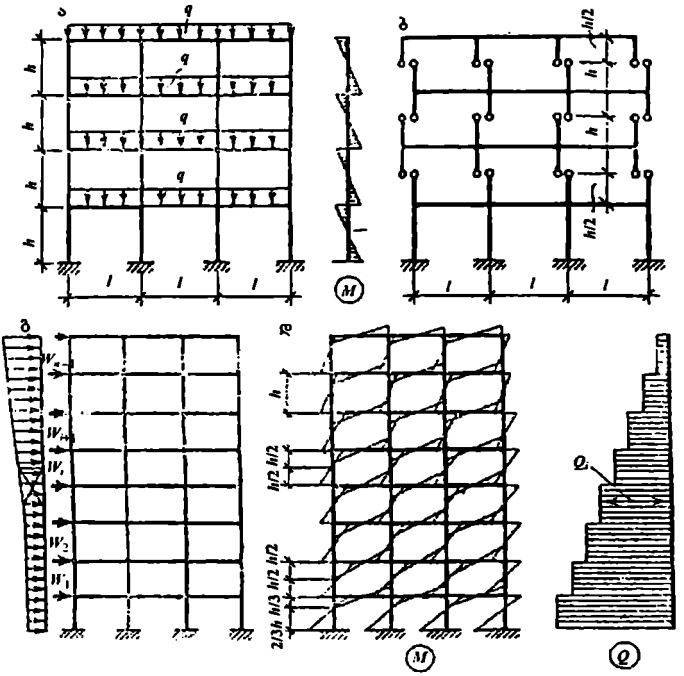
სადაც $\alpha$ და $\beta$ დანართი 2.1.14 ცხრილებში მოცემული კოეფიციენტებია შესაბამისად $g$ მუდმივი და $V$ დროებითი დატვირთვისათვის, დამოკიდებული მალების რაოდენობაზე, დატვირთვის სქემასა და რიგელისა და სვეტის სიხისტეების შეფარდებაზე; $l$–რიგელის მალის ნომინალური ზომაა (სვეტების ღერძებს შორის მანძილი).

რიგელის მალში მომენტი განისაზღვრება, როგორც ორ საყრდენზე ოავისუფლად დაყრდნობილ კოჭში, რომელზედაც გარდა გარე მუდმივი და დროებითი დატვირთვისა, ბოლოებზე მოდებულია უკვე განსაზღვრული საყრდენი მომენტები. დატვირთვის განლაგების სხვადასხვა შესაძლო ვარიანტისათვის განისაზღვრება მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების მომველები ეპიურები და მათი მაქსიმალური სიდიდეების მიხედვით, სიმტკიცის პირობიდან, გაიანგარიშება შესაბამისი კვეთები.

სვეტებში მღუნავი მომენტის სიდიდეები განისაზღვრება, როგორც კვანძში რიგელების საყრდენი მომენტების სხვაობა, განაწილებული სვეტების გრძივი სიხისტეების პროპორციულად. შემდეგ $N$ გრძივი ძალისა და $M$ მღუნავი მომენტის მიხედვით განაპირა და შუა სვეტები იანგარიშება, როგორც გარეცენტრულად შეკუმშული ელემენტები.

ჰორიზონტალურ დატვირთვაზე ჩარჩოს ინჟინრული გაანგარიშება ხდება შემდეგნაირად: ერთ ბრტყელ ჩარჩოზე მოქმედი ქარის განაწილებული დატვირთვა იცვლება ეკვივალენტური შეყურსული $W_i$ ძალებით, რომლებიც გამოთვლილია, როგორც $i$-ური სართულთშორისი გადახურვის ზეგით და ქვეგით, ნახევარი

სართულებით, მარჯვნივ და მარცხნივ, ნახევარი ბიჯებით, შემოფარგლულ ფართობზე მოქმედი, განაწილებული ქარის დატვირთვის ტოლქმედი და მოდებულია ყოველი სართულთშორისი გადახურვის დონეზე (ნახ. 2.69,გ). ამ შემთხვევაში ყველა სართულის სვეტებში, გარდა პირველი სართულისა, მღუნავი მომენტის ეპიურის ნულოვანი წერტილები მიახლოებით ითვლება განლაგებულად სართულის სიმაღლის შუაში. პირველი სართულის სვეტებში კი, ვითვალისწინებთ იმ გარემოებას, რომ სვეტები საძირკვლებში ჩამაგრებულია ხისტად და მღუნავი მომენტის ეპიურის ნულოვანი წერტილები განლაგებულია ჩამაგრების კვეთიდან (2/3)$h$ მანძილზე (ნახ. 2.69,დ).




ნახ. 2.69. მრავალსართულიანი კარკასის, როგორც ჩარჩოს გაანგარიშებისათვის: ვერტიკალურ (ა, ბ) და ჰორიზონტალურ (გ, დ) დატვირთვაზე. $M$ მომენტისა და $Q$ განივი ძალის ეპიურები

ნებისმიერი $i$-ურ სართულზე ჩარჩოში აღძრული $Q_i$ განივი ძალა არის მის ზემოთ განლაგებული, ჩვენ მიერ უკვე გამოთვლილი, ჰორიზონტალური ძალების ჯამი

$$Q_i = W_i + W_{i+1} + \ldots + W_{n-1} + W_n. \qquad (2.45)$$

იგი ნაწილდება სართულის (იარუსის) სვეტებს შორის მათი სიხისტეების პროპორციულად

$$Q_{col} = Q_i B_i / \sum_1^m B_i . \qquad (2.46)$$

აქ $B_i$ , $i$-ური სართულის განსახილველი სვეტის სიხისტეა; $m$ – $i$-ურ სართულზე სვეტების რაოდენობა, ხოლო $\sum_1^m B_i$ – $i$-ურ სართულზე განლაგებული ყველა, $m$ რაოდენობის, სვეტის ჯამური სიხისტე.

ჩარჩოს განაპირა სვეტების კვანძებში ჩამაგრება უფრო დაბალი ხარისხისაა, ვიდრე შუა სვეტებისა, ამიტომ მათზე მოდის მთელ სართულზე აღძრული $Q_i$ განივი ძალის ნაკლები წილი, რაც გათვალისწინებულია სპეციალური $\beta < 1$ კოეფიციენტით [2].

გამოთვლილი $Q_{col}$ განივი ძალები მოდებულია სვეტების მღუნავი მომენტის ეპიურის ნულოვან წერტილებში, ამიტომ ყველა სართულის სვეტში, გარდა პირველი სართულისა, გამოითვლება მღუნავი მომენტის სიდიდე სვეტის სართულთშორის გადახურვასთან შეერთების ზედა და ქვედა კვეთში

$$M_{col} = Q_{col} \cdot h/2. \qquad (2.47)$$

პირველი სართულის სვეტების ზედა კვეთში $M_{col1}$ და ქვედა კვეთში $M_{col2}$ იქნება

$$M_{col1} = Q_{col} \cdot h/3; \quad M_{col2} = Q_{col} \cdot 2h/3. \qquad (2.48)$$

ამის შემდეგ ქარის ჰორიზონტალური დაწნეხისაგან რიგელებში აღძრული საყრდენი მომენტები იანგარიშება კვანძების წონასწორობის პირობიდან.

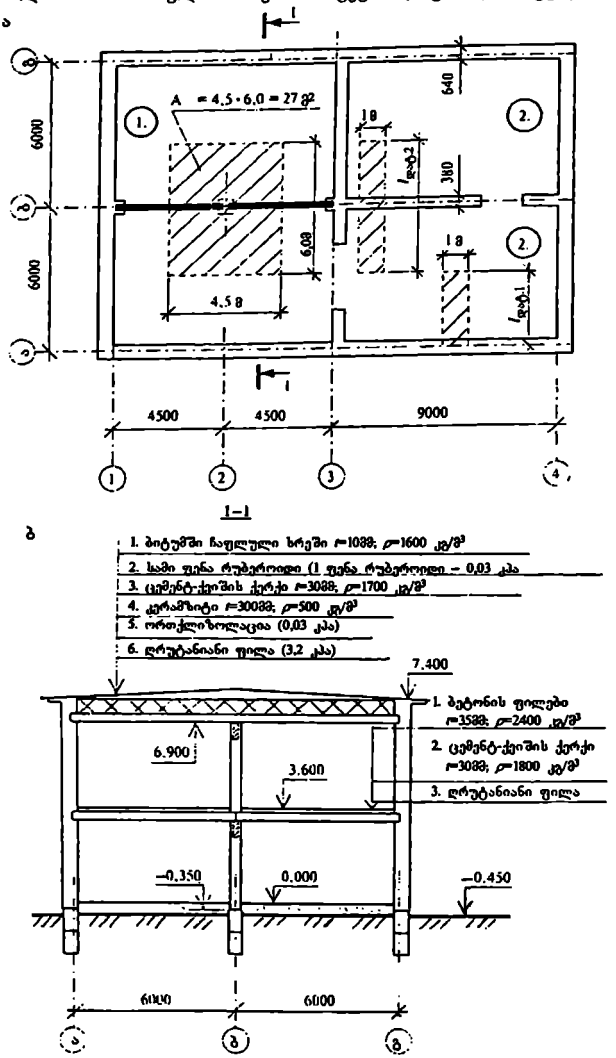
ანალოგიურად გამოითვლება მრავალსართულიანი შენობა სეისმურ ზემოქმედებაზე. ჯერ დავთვალით ყოველი სართულის გადახურვის დონეზე მასების ჯამურ სიდიდეს და შენობას წარმოვადგენთ, როგორც საძირკველში ხისტად ჩამაგრებულ კონსოლურ ღეროს – სართულთშორისი გადახურვების დონეზე შეყურსული მასებით. ამ მასების შესაბამისი სეისმური ძალების გამოთვლის შემდეგ ისევე, როგორც ქარის დატვირთვაზე გაანგარიშებისას, მათ შეყურსული ძალის სახით მოვდებთ ჩარჩოს სართულთშორისი გადახურვის დონეზე და ვანგარიშობთ შესაბამის ძალვებს. იმის მიხედვით, თუ ამ ორი სახის ჰორიზონტალური დატვირთვიდან (ქარის და სეისმური ზემოქმედების), რომელი იძლევა უფრო მეტ ძალვებს, მას შევიტანთ საერთო დატვირთვების ცხრილში და ამ ძალვების არახელსაყრელი შეხამებით, გამოვთვლით მაქსიმალურ ძალვებს.

სათანადო მაქსიმალური ძალვების მიხედვით, რიგელი, როგორც ღუნვადი ელემენტი გაიანგარიშება $M$ და $Q$ ძალვაზე ნორმალური და დახრილი კვეთების სიმტკიცის მიხედვით, ხოლო სვეტები, როგორც გარეცენტრულად შეკუმშული ელემენტები, მღუნავი $M$ მომენტისა და შესაბამისი გრძივი $N$ ძალის მოქმედებაზე.

### 2.1.13. რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების მაგალითები

რკინაბეტონის ელემენტების გაანგარიშებამდე მოვიყვანოთ სართულთშორის გადახურვაზე მოქმედი დატვირთვის განსაზღვრის მეთოდიკა კონკრეტული მონაცემების მიხედვით.

განვიხილოთ ორსართულიანი შენობის გეგმა და ჭრილი მოცემული ნახ. 2.70-ზე.




ნახ. 2.70. ა) პირველი და მეორე სართულის გეგმა ბ) ჭრილი 1 – 1

როგორც ნახაზიდან ჩანს, პირველი და მეორე სართული, სათავსების განაწილების მიხედვით, იდენტურია: 1...3 ღერძებში სავაჭრო დარბაზი, 3...4 ღერძებში – ადმინისტრაციული და საყოფაცხოვრებო სათავსები.

იმისათვის, რომ რომელიმე მზიდ კონსტრუქციაზე მოსული დატვირთვა განისაზღვროს, უნდა გამოიყოს, ეგრეთ წოდებული, დატვირთვის ფართობი. ნახ.

2.70-ზე ჩანს, რომ სვეტს უშუალოდ დატვირთვა გადაეცემა ფართობიდან, რომელიც შემოფარგლულია სვეტიდან ორივე მიმართულებით, ნახევარ-ნახევარი მალით (იხ. დაშტრიხული ფართობი). კოჭის გაანგარიშების დროსაც დატვირთვა იკრიბება იმავე ფართობიდან, ოღონდ უშუალოდ კოჭის მიმდებარე ფართობიდან ღერძ „ა–ბ“ მიმართულებით, ნახევარ-ნახევარ მალზე, კოჭის მთელ სიგრძეზე (ღერძი „1–2“), ანალოგიურად გამოიყოფა „დატვირთვის ფართობები“, რომლიდანაც შუა და განაპირა კედლის 1 მეტრს გადაეცემა სართულთშორისი გადახურვიდან (ნახ. 2.70-ზე ისიც დაშტრიხულია). ცხადია, რომ სვეტსა და კედლებს გადაეცემა დატვირთვა სახურავიდანაც, რისი გათვალისწინებაც საჭიროა არა მარტო ამ კონსტრუქციების, არამედ საძირკვლების გასაანგარიშებლადაც.

დატვირთვის ნორმებიდან [6] ამოკრეფილი სიდიდეებისა და ნახ. 2.70-ის მიხედვით, სახურავისა და სართულშორისი გადახურვის 1 მ² ფართობიდან გადმოცემული დატვირთვა მოცემულია ცხრილების სახით (ცხრილი 2.4 და ცხრილი 2.5).

ცხრილი 2.4

1. დატვირთვა გადმოცემული დახურვის 1 მ²-დან

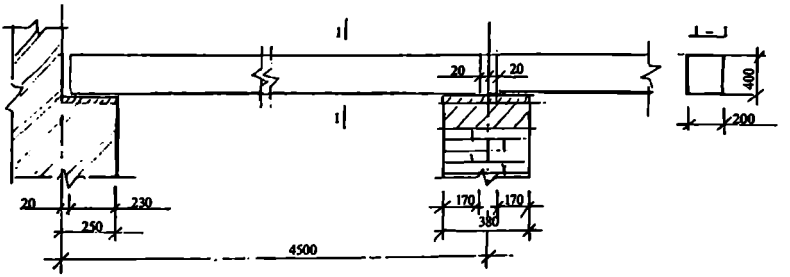
| № | დატვირთვები | გაანგარიშება | ნორმატ. დატვირთვა, კპა | $\gamma_f$ | საანგარიშო დატვირთვა, კპა |
|---|---|---|---|---|---|
| I. მუდმივი დატვირთვები | | | | | |
| 1 | ბიტუმში ჩაფლული ხრეში | 0,01·16 | 0,16 | 1,3 | 0,21 |
| 2 | სამი ფენა რუბეროიდი | 0,03·3 (ფენა) | 0,09 | 1,3 | 0,12 |
| 3 | ცემენტ-ქვიშის ქერქი | 0,03·17 | 0,51 | 1,3 | 0,66 |
| 4 | კერამზიტის ფენა | 0,30·5 | 1,50 | 1,3 | 1,95 |
| 5 | ორთქლიზოლაცია | – | 0,03 | 1,3 | 0,04 |
| 6 | ღრუტანიანი ფილა | – | 3,2 | 1,1 | 3,52 |
| | სულ | – | $g_n$ = 5,49 კპა | | $g$ = 6,5 კპა |
| II. დროებითი დატვირთვა | | | | | |
| 1. | თოელის დატვირთვა | $S_n = S_q \cdot \mu \cdot 0,7 =$ $= 2,4 \cdot 1 \cdot 0,7$ | $S_n$ = 1,68 კპა | 1,4 | $S$ = 2,352 ≈ ≈ 2,4 კპა |
| სრული დატვირთვა სახურავის 1მ²-დან | | $q_n^{\text{დახურ.}}$ = 7,17 კპა | | $q^{\text{დახურ.}}$ = 8,9 კპა | |

ცხრილი 2.5

2. დატვირთვა გადაცემული სართულშორისი გადახურვის 1 მ²-დან

| № | დატვირთვები | გაანგარიშება | ნორმატ. დატვირთვა, კპა | $\gamma_f$ | საანგარიშო დატვირთვა, კპა |
|---|---|---|---|---|---|
| I. მუდმივი დატვირთვები | | | | | |
| 1 | ბეტონის ფილები | 0,035·24 | 0,84 | 1,2 | 1,01 |
| 2 | ცემენტ-ქვიშის ქერქი | 0,03·18 | 0,54 | 1,3 | 0,7 |
| 3 | ღრუტანიანი ფილა | – | 3,2 | 1,1 | 3,52 |
| | სულ | – | $q_n^{\text{პერდ.}}$ = 4,58 კპა | | $q^{\text{პერდ.}}$ = 5,23 კპა |
| II. დროებითი დატვირთვა (СНиП 2.01.07–85-დან) | | | | | |
| 1 | დროებითი დატვრთვა სავაჭრო დარბაზებში | – | $P_n$ = 4,0 კპა | 1,2 | $P$ = 4,8 კპა |
| 2 | დატვირთვა ტიხრებისაგან | – | 0,5 | 1,1 | 0,55 |
| სრული დატვირთვა გადახურვის 1მ²-დან | | $q_n^{\text{პერდ.}}$ = 9,08 კპა | | $q^{\text{პერდ.}}$ = 10,58 კპა | |

მაგალითი 2.1.13.1. გაეიანგარიშოთ სიმტკიცეზე და დავაარმატუროთ სართულშორისი გადახურვის რკინაბეტონის კოჭი, რომელიც განთავსებულია 1-2 ღერძებს შორის (ნახ. 2.70). კოჭი ეყრდნობა აგურის სვეტსა და პილასტრს. კოჭის დაყრდნობის სქემა მოცემულია 2.71 ნახაზზე. კვეთი სწორკუთხაა 200×400მმ.




ნახ. 2.71. კოჭის დაყრდნობის სქემა

მალის ნომინალურის სიდიდეა $l = 4500$ მმ.

გადაწყვეტა

1. შეეკრიბოთ დატვირთვა მოსული კოჭის ერთ გრძივ მეტრზე:

ა) გადახურვის 1 მ$^2$ ფართობზე მოსული დატვირთვა (2.4) და (2.5) ცხრილების მიხედვით – $q_{\text{გად}} = 10{,}58$ კპა (კნ/მ$^2$);

ბ) დატვირთვა კოჭის საკუთარი წონისაგან (რკინაბეტონის კუთრი წონაა $\gamma = 25$ კნ/მ$^3$) $g_{\text{კოჭი}} = bh \cdot \gamma\gamma_f = 0{,}2 \cdot 0{,}4 \cdot 25 \cdot 1{,}1 = 2{,}2$ კნ/მ;

გ) კოჭის ერთ მეტრზე დატვირთვა საკუთარი წონის, დატვირთვის ფართობის სიგრძის $l = 6$ მ და პასუხისმგებლობის ხარისხის $\gamma_n = 0.95$-ის გათვალისწინებით

$$q = (q_{\text{გად}} \cdot l_{\text{დატ}} + g_{\text{კოჭი}})\gamma_n = (10{,}58 \cdot 6 + 2{,}2) \cdot 0{,}95 = 65{,}68 \cdot 0{,}95 = 62{,}34 \text{ კნ/მ};$$

2. განესაზღვროთ კოჭის საანგარიშო მალი (ნახ. 2.71)

$$l_0 = l - 40 - a_{\text{დაყრ}}/2 - a'_{\text{დაყრ}}/2 = 4500 - 40 - 230/2 - 170/2 = 4260 \text{ მმ} = 4{,}26 \text{მ}.$$

3. სტატიკური გაანგარიშების მიხედვით, როგორც საყრდენებზე თავისუფლად დაყრდნობილ კოჭში თანაბრად განაწილებული $q$ დატვირთვისას განესაზღვრავთ $M$ მღუნავ მომენტს და $Q$ განივ ძალას

$$M = ql_0^2/8 = 62{,}34 \cdot 4{,}26^2/8 = 141{,}42 \text{ კნ·მ};$$

$$Q = ql_0/2 = 62{,}34 \cdot 4{,}26/2 = 132{,}78 \text{ კნ}.$$

4. მიეიღოთ ბეტონი მძიმე, B35 კლასის. მუშაობის პირობების კოეფიციენტი $\gamma_{b2} = 0{,}9$; არმატურა ღეროვანი, A-III კლასის. სიმტკიცის მახასიათებლები [1] (დანართი 2.1.3 და 2.1.4)

$$R_b = 19{,}5 \text{ მპა}; \quad R_{bt} = 1{,}3 \text{ მპა}, \quad E_b = 34{,}5 \cdot 10^3 \text{ მპა};$$

$$R_s = 365 \text{ მპა}; \quad R_{sw} = 285 \text{ მპა}, \quad E_s = 20 \cdot 10^4 \text{ მპა}.$$

5. კვეთის გაჭიმული კიდედან გრძივი მუშა არმატურის სიმძიმის ცენტრამდე მანძილი ავიღოთ $a = 5$ სმ, მაშინ კვეთის მუშა სიმაღლე

$$h_0 = h - a = 40 - 5 = 35 \text{ სმ.}$$

6. განვსაზღვროთ $A_0$ კოეფიციენტი

$$A_0 = \frac{M}{R_b \gamma_{b2} b h_0^2} = \frac{14142}{1{,}95 \cdot 0{,}9 \cdot 20 \cdot 35^2} = 0{,}329.$$

7. ცხრილი 2.7-ის მიხედვით დავადგენთ, რომ $A_0$ ნაკლებია მის ზღვრულ $A_R$ მნიშვნელობაზე. $A_0 = 0.329 < A_R = 0{,}405$.

8. ცხრილი 2.6-ით $A_0 = 0{,}329$-ის უახლოესი მნიშვნელობის შესაბამის $A_0$-ის მიხედვით მოვძებნით $\eta = 0{,}79$.

ცხრილი 2.6

$\xi$, $\eta$, $A_0$ კოეფიციენტების მნიშვნელობები

| $\xi$ | $\eta(\xi)$ | $A_0(\alpha_m)$ | $\xi$ | $\eta(\xi)$ | $A_0(\alpha_m)$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0,01 | 0,995 | 0,01 | 0,37 | 0,815 | 0,301 |
| 0,02 | 0,99 | 0,02 | 0,38 | 0,81 | 0,309 |
| 0,03 | 0,985 | 0,03 | 0,39 | 9,805 | 0,314 |
| 0,04 | 0,98 | 0,039 | 0,4 | 0,8 | 0,32 |
| 0,05 | 0,975 | 0,048 | 0,41 | 0,795 | 0,326 |
| 0,06 | 0,97 | 0,058 | 0,42 | 0,79 | 0,332 |
| 0,07 | 0,965 | 0,067 | 0,43 | 0,785 | 0,337 |
| 0,08 | 0,96 | 0,077 | 0,44 | 0,78 | 0,343 |
| 0,09 | 0,955 | 0,085 | 0,45 | 0,775 | 0,349 |
| 0,1 | 0,95 | 0,095 | 0,46 | 0,777 | 0,354 |
| 0.11 | 0,945 | 0,104 | 0,147 | 0,765 | 0,359 |
| 0,12 | 0,94 | 0,113 | 0,48 | 0,76 | 0,365 |
| 0,13 | 0,935 | 0,121 | 0,49 | 0,755 | 0,37 |
| 0,14 | 0,93 | 0,13 | 0,5 | 0,75 | 0,375 |
| 0,15 | 0,925 | 0,139 | 0,51 | 0,745 | 0,38 |
| 0.16 | 0,92 | 0,147 | 0,52 | 0,74 | 0.385 |
| 0,17 | 0,915 | 0,155 | 0,53 | 0,735 | 0,39 |
| 0,18 | 0,91 | 0,164 | 0,54 | 0,73 | 0,394 |
| 0,19 | 0,905 | 0,172 | 0,55 | 0,725 | 0,399 |
| 0,2 | 0,9 | 0,18 | 0,56 | 0,72 | 0,403 |
| 0,21 | 0,895 | 0,188 | 0,57 | 0,715 | 0,408 |
| 0,22 | 0,89 | 0,196 | 0,58 | 0,71 | 0,412 |
| 0,23 | 0,885 | 0,203 | 0,59 | 0,705 | 0,416 |
| 0,24 | 0,88 | 0,211 | 0,6 | 0,7 | 0,42 |
| 0,25 | 0,875 | 0,219 | 0,61 | 0,695 | 0,424 |
| 0,26 | 0,87 | 0,226 | 0,62 | 0,69 | 0,428 |
| 0,27 | 0,865 | 0,236 | 0,63 | 0,685 | 0,432 |
| 0,28 | 0,86 | 0,241 | 0,64 | 0,68 | 0,435 |
| 0,29 | 0,855 | 0,248 | 0,65 | 0,675 | 0,439 |
| 0,3 | 0,85 | 0,255 | 0,66 | 0,67 | 0,442 |
| 0,31 | 0,845 | 0,262 | 0,67 | 0,665 | 0,446 |
| 0,32 | 0,84 | 0,269 | 0,68 | 0,66 | 0,449 |
| 0,33 | 0,835 | 0,275 | 0,69 | 0,655 | 0,452 |
| 0,34 | 0,83 | 0,282 | 0,7 | 0,65 | 0,455 |
| 0,35 | 0,825 | 0,289 | | | |
| 0,36 | 0,82 | 0,295 | | | |

9. განესაზღეროთ არმატურის საჭირო ფართობი

$$A_s = \frac{M}{R_s \eta h_0} = \frac{14142}{36{,}5 \cdot 0{,}79 \cdot 35} = 14{,}01 \text{ სმ}^2.$$

შეეარჩევთ დანართი 2.1.6-ის მიხედვით, 2Ø32. A-III. $A_s = 16.08$ სმ$^2$ (ან 4Ø22. A-III. $A_s = 15{,}2$ სმ$^2$).

10. შეეამოწმოთ კოჭის დაარმატურების პროცენტი

$$\mu = \frac{A_s}{bh_0} \cdot 100 = \frac{16.08}{20 \cdot 35} \cdot 100 = 2{,}3\% > \mu_{min} = 0{,}05\%.$$

11. განესაზღეროთ სამონტაჟო არმატურა

$A'_s \approx 0{,}1 A_s = 0{,}1 \cdot 16.08 = 1{,}608$ სმ$^2$. მივიღოთ 2Ø12 A-III. $A_s = 2{,}26$ სმ$^2$.

განივი არმატურის დიამეტრი

$d_{sw} \geq 0{,}25 d_s = 0{,}25 \cdot 32 = 8$ მმ.

ე.ი. დავნიშნოთ განივი არმატურა Ø8. A-III, $A_{sw} = 1{,}01$ სმ$^2$.

12. კოჭის დაარმატურება ხდება კარკასით, სადაც

ა) განივი ღეროების საყრდენებთან განლაგების სიგრძეა – $l/4 = 4500/4 = 1125$ მმ.

ბ) საყრდენებთან განივი ღეროების ბიჯია – $s = h/2 = 400/2 = 200$ მმ, რაც მეტია 150 მმ-ზე, რომელიც რეკომენდებულია ნორმებით, ე.ი. ვიღებთ $s = 150$ მმ.

გ) კოჭის შუა ნაწილში ბიჯი $s = (3/4) \cdot h = (3/4) \cdot 400 = 300$ მმ<500მმ.

ნახ. 2.72-ზე ნაჩვენებია არმატურის კარკასის კონსტრუქცია და კეთის დაარმატურება.

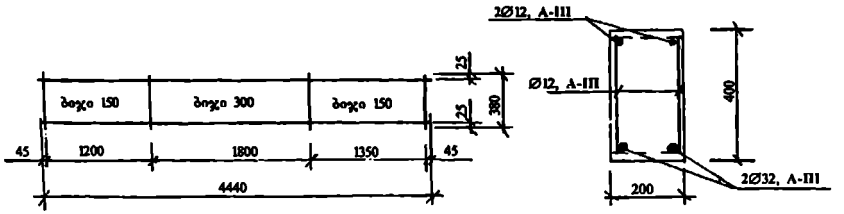
ცხრილი 2.7

$\xi$ და $A_0$-ის ზღვრული მნიშვნელობები

| არმატურის კლასი. კოეფიციენტები | | ბეტონის კლასი კუმშვის მიხედვით | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | B12,5 | B15 | B20 | B25 | B30 | B35 | B40 |
| A-III | $\xi_R$ | 0.662 | 0.652 | 0.627 | 0.604 | 0.582 | 0.564 | 0.542 |
| Bp-I | $A_{OR}$ | 0,443 | 0,440 | 0,430 | 0,422 | 0,413 | 0,405 | 0,395 |
| A-II | $\xi_R$ | 0,689 | 0,680 | 0.650 | 0,632 | 0,610 | 0.592 | 0,591 |
| | $A_{OR}$ | 0.452 | 0,449 | 0,439 | 0,432 | 0,424 | 0.417 | 0,408 |
| A-I | $\xi_R$ | 0,708 | 0,698 | 0,694 | 0,652 | 0,630 | 0,612 | 0,591 |
| | $A_{OR}$ | 0,457 | 0,455 | 0.447 | 0,439 | 0.432 | 0,425 | 0,416 |
| A-III$_B$ | $\xi_R$ | | 0,71 | 0,68 | 0.66 | 0.66 | 0,62 | 0,60 |
| | $A_{OR}$ | | 0,458 | 0,449 | 0,442 | 0,435 | 0,428 | 0,420 |
| A-IV | $\xi_R$ | | 0,59 | 0.56 | 0.54 | 0,51 | 0,50 | 0,48 |
| | $A_{OR}$ | | 0,416 | 0,403 | 0,394 | 0.380 | 0,375 | 0,365 |
| A-V | $\xi_R$ | | | 0,54 | 0.52 | 0,50 | 0,48 | 0,46 |
| | $A_{OR}$ | | | 0,394 | 0,385 | 0,375 | 0,365 | 0,354 |
| B-II, Bp-II | $\xi_R$ | | | 0,51 | 0,48 | 0.46 | 9,45 | 0842 |
| | $A_{OR}$ | | | 0,380 | 0.365 | 0,354 | 0,349 | -,332 |

ცხრილი 2.8

| დიამეტრი მმ | განივი კვეთის ფართობი, სმ², ღეროების რაოდენობის მიხედვით | | | | | | | | | ღეროს 1 მ მასა კგ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | |
| 3 | 0,071 | 0,14 | 0,21 | 0,28 | 0,35 | 0,42 | 0,49 | 0,57 | 0,64 | 0,055 |
| 4 | 0.126 | 0,25 | 0,36 | 0.50 | 0,63 | 0,76 | 0,88 | 1,01 | 1,13 | 0,099 |
| 5 | 0,196 | 0,39 | 0,59 | 0,79 | 0,98 | 1,18 | 1,37 | 1,57 | 1,77 | 0,154 |
| 6 | 0.283 | 0.57 | 0,85 | 1,13 | 1,42 | 1,7 | 1,98 | 2,26 | 2,55 | 0,222 |
| 7 | 0.385 | 0,77 | 1,15 | 1,54 | 1,92 | 2,31 | 2,69 | 3,08 | 3,46 | 0,302 |
| 8 | 0.503 | 1,01 | 1,51 | 2,01 | 2,51 | 3,02 | 3,52 | 4,02 | 4,53 | 0,395 |
| 10 | 0,785 | 1,57 | 2,36 | 3,14 | 3,93 | 4,71 | 5,5 | 6,28 | 7,07 | 0,617 |
| 12 | 1,131 | 2,26 | 4,63 | 4,52 | 5,65 | 6,79 | 7,92 | 9,05 | 10,18 | 0,888 |
| 14 | 1,539 | 3,08 | 4,63 | 6,16 | 7,69 | 9,23 | 10,77 | 12,31 | 13,85 | 1,208 |
| 16 | 2,011 | 4,02 | 6,03 | 8,04 | 10,05 | 12,06 | 14,07 | 16,08 | 18,1 | 1,578 |
| 18 | 2.545 | 5,09 | 7,63 | 10,18 | 12,72 | 15,27 | 17,81 | 20,36 | 22,9 | 1,998 |
| 20 | 3,142 | 6,28 | 9,41 | 12,56 | 15,71 | 18,85 | 21,99 | 25,14 | 28,28 | 2,466 |
| 22 | 3,801 | 7,60 | 11,40 | 15.20 | 19,0 | 22,81 | 26,61 | 30,41 | 34,21 | 2,984 |
| 25 | 4.909 | 9,82 | 14,73 | 19,63 | 24,54 | 29,45 | 34,36 | 39,27 | 43,13 | 3,84 |
| 28 | 6,158 | 12,32 | 18,47 | 24,63 | 30,79 | 36,95 | 43,10 | 49,26 | 55,42 | 4,83 |
| 32 | 8,042 | 16,08 | 34,13 | 32,17 | 40,21 | 48,25 | 56,30 | 64,34 | 72,38 | 6,31 |
| 36 | 10,18 | 20,36 | 30,54 | 40,72 | 50,90 | 61,08 | 71,26 | 81,44 | 91,62 | 7,99 |
| 49 | 15.560 | 25,12 | 37,68 | 50.24 | 62,80 | 75,36 | 87,36 | 87,92 | 100,48 | 9,805 |




ნახ. 2.72. არმატურის კარკასი და კვეთის დაარმატურება

13. შევამოწმოთ პირობა – განივი ძალის მოქმედების შედეგად წარმოიქმნება დახრილი ბზარი თუ არა:

$$Q \le Q_{b,min} = \varphi_{b3}(1+\varphi_f+\varphi_n)R_{bt}\gamma_{b2}\cdot bh_0 = 0{,}6\cdot 1\cdot 0{,}13\cdot 0{,}9\cdot 20\cdot 35 = 49{,}14 \text{ კნ}.$$

$$Q = 132{,}78 \text{ კნ} > Q_{b,min} = 49{,}14 \text{ კნ}.$$

აქ $\varphi_{b3} = 0{,}6$ (მძიმე ბეტონისათვის); $\varphi_f = 0$ (რადგან კოჭი სწორკუთხაა), $\varphi_n = 0$ (რადგან ჩვეულებრივი, წინასწარ დაუძაბავი ელემენტია).

როგორც ვხედავთ, პირობის შეუსრულებლობის გამო, დახრილი ბზარი წარმოიქმნება, ე.ი. საჭიროა დახრილი კვეთის სიმტკიცის უზრუნველყოფა.

14. გამოვთვალოთ საანგარიშო დახრილ კვეთში გრძივ მეტრზე მოსული განივი ძალება $q_{sw}$, რომელსაც აიტანს განივი ღეროები

$$q_{sw} = \frac{R_{sw} A_{sw}}{s} = \frac{28{,}5 \cdot 1.01}{15} = 1{,}92 \quad \text{კნ/სმ.}$$

15. საშიში დახრილი კვეთის პროექცია პორიზონტალურ ღერძზე იქნება

$$c_0 = \sqrt{\frac{\varphi_{b2}(1+\varphi_f+\varphi_n) R_{bt} \gamma_{b2} b h_0^2}{q_{sw}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1 \cdot 0{,}13 \cdot 0{,}9 \cdot 20 \cdot 35^2}{1{,}92}} = 54{,}64 \quad \text{სმ.}$$

რადგან $c_0 \le 2h_0 = 2 \cdot 35 = 70$ სმ, ამიტომ ანგარიშში ვითვალისწინებთ დახრილი ბზარიანი კვეთის უფრო მოკლე პროექციას – ე.ი. $c = c_0 = 54{,}64$ სმ.

16. გამოვთვალოთ განსახილველ დახრილ კვეთში ბეტონის მიერ ატანილი განივი ძალა

$$Q_b = \frac{\varphi_{b2}(1+\varphi_f+\varphi_n) R_{bt} \gamma_{b2} b h_0^2}{c} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 0{,}13 \cdot 0{,}9 \cdot 20 \cdot 35^2}{54{,}64} = 104{,}9 \text{ კნ.}$$

რადგან გარე დატვირთვისაგან აღძრული განივი ძალა $Q = 132{,}78$ კნ მეტია, ვიდრე განივი ძალა რისი ატანა შეუძლია მარტო ბეტონს ($Q_b = 104{,}9$ კნ), ამიტომ უნდა განისაზღვროს ის განივი ძალა რისი ატანაც შეუძლია განივ არმატურას

$$Q_{sw} = q_{sw} \cdot c_0 = 1{,}92 \cdot 54{,}64 = 104{,}9 \text{ კნ.}$$

17. შევადაროთ დატვირთვისაგან აღძრული $Q$ განივი ძალა იმ განივ ძალას რისი ატანაც შეუძლია ბეტონსა და განივ არმატურას

$$Q = 132{,}78 \text{ კნ} \le Q_b + Q_{sw} = 104{,}9 + 104.9 = 209{,}8 \text{ კნ;}$$

რაც ნიშნავს, რომ დახრილ ბზარზე კვეთის სიმტკიცე უზრუნველყოფილია.

18. შევამოწმოთ კოჭის განივი კვეთის ზომები საკმარისია თუ არა მთავარი მკუმშავი ძაბვების ასატანად

$$Q \le 0{,}3 \varphi_{w1} \cdot \varphi_{b1} R_b \cdot \gamma_{b2} b h_0 .$$

აქ $\varphi_{w1} = 1 + 5\alpha\mu_w$; $\alpha = \frac{E_s}{E_b} = \frac{20 \cdot 10^4}{345 \cdot 10^3} = 5{,}8$; $\mu_w = \frac{A_{sw}}{bs} = \frac{1.01}{20 \cdot 15} = 0.00337$.

მაშასადამე $\varphi_{w1} = 1 + 5 \cdot 5{,}8 \cdot 0.00337 = 1{,}098 < 1{,}3$.

$\varphi_{b1} = 1 - \beta R_b \gamma_{b2} = 1 - 0{,}01 \cdot 19.5 \cdot 0{,}9 = 0.825$ (მძიმე ბეტონისთვის $\beta = 0{,}01$)

ჩავსვათ მიღებული სიდიდეები პირობაში

$$Q = 132{,}78 \le 0{,}3 \cdot 1{,}098 \cdot 0{,}825 \cdot 1{,}95 \cdot 0.9 \cdot 20 \cdot 35 = 370{,}9 \text{ კნ.}$$

პირობა დაკმაყოფილებულია, ე.ი. მთავარი მკუმშავი ძაბვების მიხედვით კოჭის განივკვეთის ზომები საკმარისია დახრილ ბზარებს შორის ზოლის კუმშვაზე სიმტკიცის უზრუნველსაყოფად.

დასკვნა. განვახორციელოთ სართულთშორისი გადახურვის რკინაბეტონის კოჭი – განივკვეთით 200×400მმ, დაარმატურებული გრძივი მუშა არმატურით – 2Ø32, A-III, სამონტაჟო არმატურით – 2Ø12,A-III და განივი არმატურით – Ø8, A-III, ბიჯით – $s = 150$ მმ საყრდენებთან მალის მეოთხედ ნაწილზე და ბიჯით $s = 300$ მმ მალის შუა ნაწილში.

მაგალითი 2.1.13.2. მაგალითი 2.1.13.1-ის მონაცემების მიხედვით, გავიანგარიშოთ რკინაბეტონის სვეტი, რომელიც მდებარეობს ნახ. 2.70-ზე გამოსახულ შენობის „2“

ღერძზე (აგურის სვეტის ადგილას) და რომელსაც გადაეცემა დატვირთვა სართულშორისი გადახურვისაგან, დახურვისაგან, კოჭის საკუთარი წონისა და თვით სვეტის საკუთარი წონისაგან. სვეტზე მოსული დატვირთვის მიხედვით, იგი მუშაობს შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტით. სვეტის განივკვეთის ზომებია 300×300მმ. დაარმატურება სიმეტრიული, ე.ი. $A_s = A'_s$. ორივე სართულის სვეტის სიმაღლე $H = 7{,}25$ მ. კოეფიციენტი პასუხისმგებლობის ხარისხის მიხედვით – $\gamma_n = 0{,}95$.

გადაწყვეტა:

I. შევკრიბოთ სვეტზე მოქმედი საანგარიშო დატვირთვა ($N$ სრული და $N_l$ ხანგრძლივად მოქმედი).

ა) რკინაბეტონის სვეტის საკუთარი წონისაგან გამოწვეული დატვირთვა

ნორმატიული $N^n_{სვ} = bhH\gamma_{რკბ} = 0{,}3 \cdot 0{,}3 \cdot 7{,}25 \cdot 25 = 16{,}31$ კნ.

საანგარიშო $N_{სვ} = 16{,}31 \cdot 1{,}1 = 17{,}94$ კნ.

ბ) სრული დატვირთვა სვეტის ძირში

$$N = q_{დახ} \cdot A_{დატ} + q_{ვადახ} \cdot A_{დატ.} + n_{კოჭ} \cdot N_{კოჭ} + N_{სვ} =$$
$$= 8{,}9 \cdot 27 + 10{,}58 \cdot 27 + 2 \cdot 9{,}9 + 17{,}94 = 563{,}7 \text{ კნ.}$$

(აქ $q_{დახ}$, $q_{ვადახ}$, $A_{დატ.}$, $N_{კოჭ}$ – აღებულია 2.1.13.1 მაგალითიდან).

გ) განვსაზღვროთ ხანგრძლივად მოქმედი დატვირთვა.

ცხრილი 2.5-ის მიხედვით სავაჭრო დარბაზების გადახურვაზე მოქმედი ხანგრძლივი ნორმატიული დატვირთვაა $P^n_l = 1{,}4$ კპა, ხოლო სრული დატვირთვა $P^n = 4{,}0$ კპა. დატვირთვის მიხედვით საიმედოობის კოეფიციენტი $\gamma_f = 1{,}2$. ჩავთვალოთ, რომ $S$ თოვლის დატვირთვის 30% ხანგრძლივია, მაშინ გვექნება

$$N_l = N - 0{,}3SA_{დატ} - P^n\gamma_f A_{დატ} + P^n_l\gamma_f A_{დატ} = 563{,}7 - 0{,}3 \cdot 2{,}1 \cdot 27 -$$
$$- 4 \cdot 1{,}2 \cdot 27 + 1{,}4 \cdot 1{,}2 \cdot 27 = 462{,}45 \text{ კნ.}$$

$\gamma_n = 0{,}95$ კოეფიციენტის გათვალისწინებით

$$N = 563{,}7 \cdot 0{,}95 = 535{,}52 \text{ კნ;}$$
$$N_l = 462{,}45 \cdot 0{,}95 = 439{,}33 \text{ კნ.}$$

2. დავნიშნოთ სვეტის ბეტონი – მძიმე, B20 კლასის, $\gamma_{b2} = 0{,}9$; გრძივი მუშა არმატურა – A-III კლასის, განივი – $B_p$-I. ბეტონის საანგარიშო წინაღობა $R_b = 11{,}5$ მგპა; არმატურის კუმშვისას – $R_{sc} = 365$ მგპა.

3. განვსაზღვროთ სვეტის საანგარიშო სიგრძე. რადგან სართულთშორის გადახურვის დონეზე სვეტი ითვლება სახსრულად ჩამაგრებულად ისევე, როგორც დაყრდნობის ძირთან, ამიტომ პირველი სართულის სვეტის საანგარიშო სიგრძე $l_0 = l = 3{,}6$ მ.

4. განვსაზღვროთ შეფარდებები

$$l_0/h = 360/30 = 12 < 20,$$
$$N_l/N = 439{,}33/535{,}52 = 0{,}82$$

5. დანართი 2.1.13-ის მიხედვით, ინტერპოლაციით განვსაზღვრავთ $\varphi_b = 0{,}868$, $\varphi_r = 0{,}888$.

6. მივიღოთ წინასწარ დაარმატურების კოეფიციენტი $\mu = 0{,}01$ და განვსაზღვროთ $\alpha$ კოეფიციენტი

$$\alpha = R_{sc}\mu/(R_b\gamma_{b2}) = 36{,}5\cdot 0{,}01/(1{,}15\cdot 0{,}9) = 0{,}353.$$

7. გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი იქნება

$$\varphi = \varphi_b + 2(\varphi_r - \varphi_b)\alpha = 0{,}868 + 2(0{,}888 - 0{,}868)0{,}353 = 0{,}882.$$

8. გავიანგარიშოთ საჭირო არმატურის ფართობი

$$(A_s + A'_s) = \frac{\frac{N}{\varphi} - R_b\gamma_{b2}bh}{R_{sc}} = \frac{\frac{535{,}52}{0{,}882} - 1{,}15\cdot 0{,}9\cdot 30\cdot 30}{36{,}5} < 0.$$

რადგან არმატურის საჭირო ფართობი გამოვიდა უარყოფითი სიდიდე ეს ნიშნავს, რომ არმატურა ანგარიშით საჭირო არ არის, ამიტომ იგი უნდა მივიღოთ კონსტრუქციული მოთხოვნების თანახმად: უზრუნველვყოთ დაარმატურების მინიმალური პროცენტი, ხოლო, რადგან სვეტის განივკვეთის მინიმალური ზომაა მეტი 250 მმ-ზე, არმატურის დიამეტრი უნდა დავნიშნოთ არა ნაკლები 16 მმ-ისა.

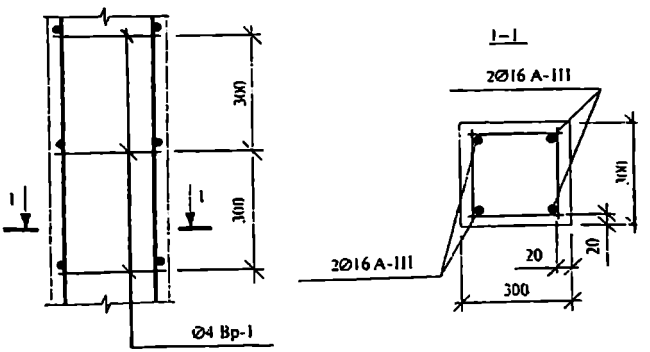
მივიღოთ 4Ø16, A-III, $A_s = 8.04$ სმ$^2$.

დაარმატურების პროცენტი $\mu = (A_s + A'_s)\cdot 100/bh = 8{,}04\cdot 100/30\cdot 30 = 0{,}893\%$, რაც მეტია ვიდრე $\mu_{min} = 0{,}4\%$, ხოლო ნაკლები მაქსიმალურ $\mu_{max} = 3\%$-ზე.

9. დავნიშნოთ განივი არმატურის დიამეტრი და ბიჯი.

$$d_{sw} \geq 0.25d_s = 0.25\cdot 16 = 4\text{ მმ},$$ ე.ი. ვიღებთ Ø4, $B_p$-I.

განივი არმატურის ბიჯიც დამოკიდებულია გრძივი არმატურის დიამეტრზე. $S \leq 20d_s = 20\cdot 16 = 320$ მმ. დაეამრგვალოთ და მივიღოთ $S = 300$ მმ.




ნახ. 2.73

## 2.2. ქვისა და არმოქვის კონსტრუქციები

### 2.2.1. ზოგადი ცნობები

ქვის კონსტრუქციები (ქვის წყობა) შედგება ბუნებრივი ან ხელოვნური ქვებისაგან, რომლებიც დულაბის მეშვეობით გაერთიანებულია ერთიან, მონოლითურ სხეულად.

ქვის კონსტრუქცია მრავალი საუკუნის მანძილზე ერთ-ერთი მთავარი სამშენებლო მასალაა. საქართველოში დღემდე მოღწეულია მნიშვნელოვანი ნაგებობები: ტაძრები, თავდაცვითი ციხეები, ხიდები და სხვა, რომლებიც აგებულია კირის დულაბზე ბუნებრივი ქვის წყობით, რომელთაც დღემდე არ დაუკარგავს სათანადო სიმტკიცე. აგურის, კერამიკული ქვისა და ბეტონის ბლოკების ინდუსტრიული წესით დამზადებამ შესაძლებელი გახადა ხელოვნური ქვის წყობით აგებულიყო სამოქალაქო და სამრეწველო დანიშნულების ნაგებობები.

ქვის კონსტრუქციის დადებითი თვისებებია — ცეცხლმედეგობა, ხანგამძლეობა, კარგი თბო- და ბგერაიზოლაცია და მცირე საექსპლუატაციო ხარჯები; ქვის მასალები ძირითადად ადგილობრივად მოიპოვება და მზადდება. უარყოფით თვისებებს მიეწერება დიდი საკუთარი მასა და მშენებლობისას ხელით შრომის მნიშვნელოვანი დანახარჯები. ამ უკანასკნელის ნაწილობრივი გამოსწორება შეიძლება ქვის მსხვილი ბლოკების ან გამსხვილებული პანელების გამოყენებით, რომელთა ადგილზე დალაგება ხდება სათანადო მექანიზმების საშუალებით.

იმ შემთხვევაში, როდესაც საჭიროა ქვის კონსტრუქციის ზიდვის უნარის გაზრდა, მიმართავენ წყობის დაარმატურების მეშვეობით გაძლიერების სხვადასხვა მეთოდს. დაარმატურებულ წყობას ეწოდება არმოქვის კონსტრუქციები. ქვის წყობის დაარმატურებით შესაძლებელი ხდება მშენებლობაში გაფართოვდეს ქვის კონსტრუქციების გამოყენების სფერო.

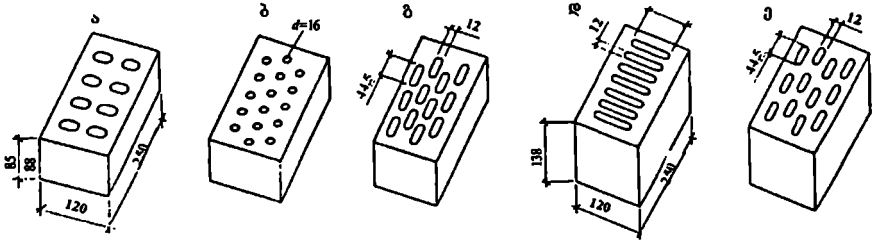
### 2.2.2. ქვისა და არმოქვის კონსტრუქციების მასალები

ქვის მასალები. წყობისათვის გამოიყენება ბუნებრივი ქვის ცალკეული სწორი ფორმის ბლოკები და უფორმო ყორქვა, რომლის მასა 40 კგ-მდეა და ხელოვნური ცალობითი ქვა და ქვის ნაკეთობები (აგური, კერამიკული ქვები, ბეტონის ბლოკები) — დამზადებული საქარხნო პირობებში.

ქვის მასალების კლასიფიკაცია ხდება: 1) წარმოშობის მიხედვით; ა) ბუნებრივი ქვები, რომლებიც მოიპოვება ქვის კარიერებში, როდესაც სწორი ფორმის ბლოკები გამოიხერხება მთის ან დანალექი მტკიცე ქანების მასივებიდან; ყორქვა — ამ მასივების აფეთქების შედეგად ან სწორი ფორმის ქვების დახერხვისას ნარჩენების სახით; ბ) ხელოვნური ქვები ფორმებში დაწნეხილი თიხის გამოწვით (აგური, კერამიკული ქვები) და გამოწვის გარეშე დამზადებული (სილიკატური და წიდისაგან დამზადებული აგურები, ბეტონის ბლოკები — დამზადებული მძიმე და მსუბუქი ბეტონისაგან); 2) სტრუქტურის მიხედვით გვაქვს: ა) მთლიანი აგური და ქვის ბლოკები; ბ) ღრუ აგური და კერამიკული ქვა, სიღრუეთა სხვადასხვა ფორმით (ნახ. 2.74).

მძიმე, ბუნებრიული ქანების (კირქვა, ქვიშაქვა, გრანიტი, ბაზალტი, მარმარილო) ბლოკები ძირითადად გამოიყენება კედლების მოსაპირკეთებლად. მძიმე, დიდი

ზომის ბლოკები გამოიყენება ლენტურ საძირკვლებში, ხოლო მსუბუქი ქანების ბლოკები (ტუფი, კირქვა, ნიჟარქვა) – მზიდ და ტიხრის კედლებში. ნებისმიერი ქანის ყორექვა გამოიყენება საძირკვლებში ან, ზოგჯერ, არასაპასუხისმგებლო შენობების კედლის წყობაშიც.




ნახ. 2.74. ღრუ აგური და კერამიკული ქვები:
ა – აგური ჩვეულებრივი, ნახევრად მშრალი დაწნეხის, არაგამჭოლი სიღრუეებით;
ბ –კერამიკული აგური პლასტიკური დაწნეხის, მრგვალი სიღრუეებით; გ – იგივე, ღრეჩოსებრი სიღრუეებით; დ – კერამიკული ქვა განივი სიღრუეებით;
ე – კერამიკული ქვა გრძივი სიღრუეებით

მზიდ კედლებსა და ბოძებში გამოიყენება ძირითადად აგური. იგი შეიძლება იყოს ჩვეულებრივი თიხის, მთლიანი ან ღრუ, სილიკატური, დიატომიტის ან ტრეპელის, პლასტიკური ან ნახევრად მშრალი დაწნეხით დამზადებული და კერამიკულის შემდგომი გამოწვით.

ჩვეულებრივ, კერამიკულ (თიხის) აგურს ამზადებენ ზომებით 250x120x65 მმ, მოდულურს კი – 250x120x88 მმ. ჩვეულებრივი აგური არის მთლიანიც და სიღრუეებითაც. მოდულური – მხოლოდ სიღრუეებით (ნახ. 2.74,ა,ბ,გ). წყობის ხელით შესასრულებლად გამოიყენება, აგრეთვე, კერამიკული ქვები – ზომებით 250x120x138მმ. განივი ან გრძივი სიღრუეებით (ნახ. 2.74,დ,ე), ბეტონის მთლიანი ან ღრუ ბლოკები, ზომით 390x190x188 მმ, რომლებიც მზადდება, როგორც მძიმე, ისე მსუბუქი ბეტონისაგან. მძიმე ბეტონისაგან დამზადებულ მსხვილ ბლოკებს, ზომით 2380x400x580მმ, იყენებენ ძირითადად საკედლე წყობისათვის.

მზიდ კონსტრუქციაში გამოყენებული ქვის ძირითადი მახასიათებელია სიმტკიცე, რომელიც წარმოადგენს ნიმუშების დროებით წინაღობას კუმშვაზე (მგპა). გარდა ამისა, ზოგჯერ საჭიროა განისაზღვროს ქვის სიმტკიცე გაჭიმვაზე ღუნვის დროს. წყობაში გამოიყენება ქვები მარკით 4-დან 1000 კგძ/სმ$^2$ (0,4...100 მგპა). წყობაში გამოიყენება B3,5... B30 კლასის ბეტონის ბლოკები. ქვები მარკით 4...50 ითვლება, რომ მცირე სიმტკიცისაა, მარკით 75...200 – საშუალო სიმტკიცის, ხოლო მარკით 250...1000 – მაღალი სიმტკიცის. ქვის მარკის ან ბეტონის კლასის შერჩევა ხდება ქვის კონსტრუქციის სიმტკიცის პირობიდან.

ქვის მასალებს, გარდა სიმტკიცისა, მოეთხოვება ყინვამედეგობა, წყალუჟონადობა, სიმკვრივე, სიღრუეთა გარკვეული პროცენტი და სხვა.

**დუღაბი (ხსნარი).** დუღაბი შედგება აქტიური მჭიდა მასალისაგან (ცემენტი, კირი, ცემენტ-კირი, ცემენტ-თიხა) და ინერტული (შემსები) ქვიშისაგან. გარკვეული

რაოდენობის წყალია საჭირო, რომ მჭიდა მასალამ დაიწყოს გამკვრივება (ჰიდრატაცია), ხოლო მოხმარების (წყობის შესრულების) დროს იყოს საკმარისად პლასტიკური. დუღაბი ცალკეულ ქვებს კრავს ერთ მთლიან მონოლითად (წყობად), გადასცემს რა გარე დატვირთვისაგან აღძრულ ძალას ერთი ქვიდან მეორეზე. იგი შეავსებს რა ქვებს შორის ნაკერებს, უზრუნველყოფს წყობის მთლიანობას და იცავს შენობას ატმოსფერული ზემოქმედების (ქარი, წვიმა) შიგნით შეღწევისაგან. ცემენტიანი დუღაბი მოითხოვს მჭიდა მასალის შედარებით მეტ ხარჯს, რადგან მცირე რაოდენობის ცემენტის დროს დუღაბი ხისტია და წყობისათვის ძნელად მოსახმარი. ასეთ დუღაბს ძირითადად მოიხმარენ საძირკველებსა და გრუნტის წყლების დონის დაბლა მოთავსებულ კონსტრუქციებში. დუღაბის ადვილად მოხმარებისათვის იგი უნდა იყოს პლასტიკური, რათა გაიშალოს წყობაში თხელ, თანაბარი სისქის ფენად, დაფაროს წყობის უსწორმასწორო ზედაპირი, რაც ზრდის წყობის ხარისხს და კალატოზის მწარმოებლობას. დუღაბის პლასტიკურობისათვის რეკომენდებულია მასში გარკვეული რაოდენობის პლასტიფიკატორის (კირი, თიხა, სპეციალური პლასტიფიკატორი) შეყვანა. სამწუხაროდ, ხშირად დუღაბის პლასტიკურობას ზედმეტი წყლის მეშვეობით აღწევენ, რაც ამცირებს მის სიმტკიცეს. ეს კი სეისმურ რაიონებში მშენებლობის დროს დაუშვებელია.

სიმტკიცის მიხედვით განასხვავებენ: მძიმე (სიმკვრივე მშრალ მდგომარეობაში 1500კგ/მ$^3$ და მეტი) და მსუბუქ (სიმკვრივე მშრალ მდგომარეობაში 1500კგ/მ$^3$ ნაკლები) დუღაბებს. მძიმე დუღაბისათვის იხმარება შემსვსებად კვარცისა და კირქვის ქვიშა, ხოლო მსუბუქისათვის – ტუფისა და პემზის ქვიშა.

გამყარების შემდეგ დუღაბი უნდა იყოს წინასწარ დანიშნული სიმტკიცის და გარემოს ზემოქმედების მიმართ მედეგი. დუღაბის სიმტკიცე ხასიათდება მარკით – დროებითი წინაღობით კუმშვაზე (მგპა) კუბებისა, რომელთა გვერდების ზომაა 70x70x70 მმ, გამყარების ვადა 28 დღე. ნორმებით დადგენილია დუღაბის მარკები 0,4...20 მგპა.

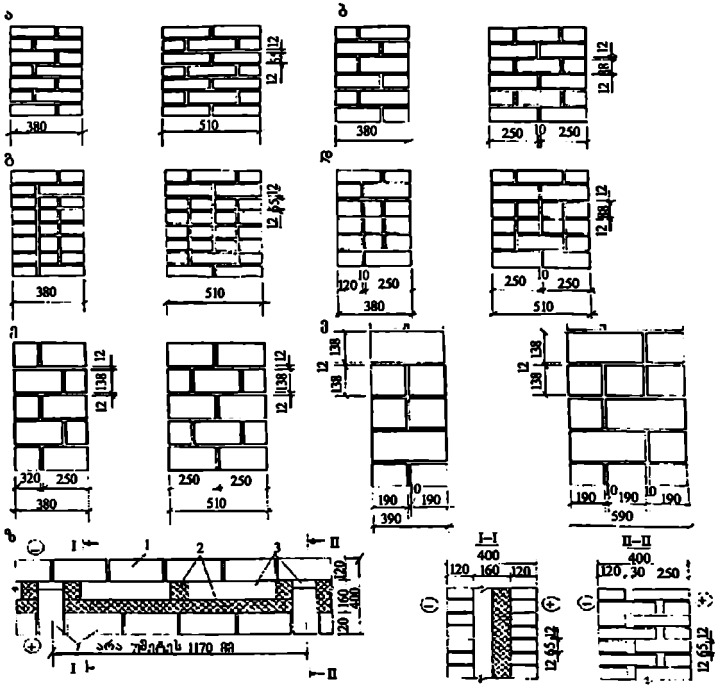
დუღაბის მარკის დანიშვნა ხდება ნაგებობის ხანმედეგობის, სიმტკიცისა და ექსპლუატაციის პირობების გათვალისწინებით. შენობათა კედლების წყობაში უფრო ხშირად გამოიყენება 10...100 მარკის დუღაბი. დაარმატურებულ (არმოქვის) კონსტრუქციებსა და შენობებში, რომლებიც სეისმურად აქტიურ რაიონში შენდება, გამოიყენება დუღაბი, არანაკლები 25 მარკისა. ახლად დაგებული ან გაყინვის შემდეგ გალღობილი დუღაბის სიმტკიცე პრაქტიკულად ნულის ტოლია.

**არმატურა.** ქვის კონსტრუქციის დასაარმატურებლად (არმოქვის კონსტრუქციები) გამოიყენება: ბადეებით წყობის განივი მიმართულებით დაარმატურებისას – ცხლად გლინული გლუვი ზედაპირის, ღეროვანი A–I კლასის არმატურა ($d$=6...8 მმ) ან პერიოდული პროფილის, B$_p$–I კლასის საარმატურე მავთული ($d$=3...8 მმ). წყობის გრძივი მიმართულებით კარკასებით დაარმატურებისას – გრძივ მუშა და განივ კონსტრუქციულ არმატურად გამოიყენება ღეროვანი A–I და A–II კლასის არმატურა და B$_p$–I კლასის მავთულოვანი არმატურა დიამეტრით 5...8 მმ. ჩასატანებელი დეტალები, ფოლადის გარსაკრი საჭიროა დამზადდეს ფოლადის გლინული ფურცლებისა და სორტამენტისაგან.

### 2.2.3. აგურისა და ქვის ბლოკების წყობა

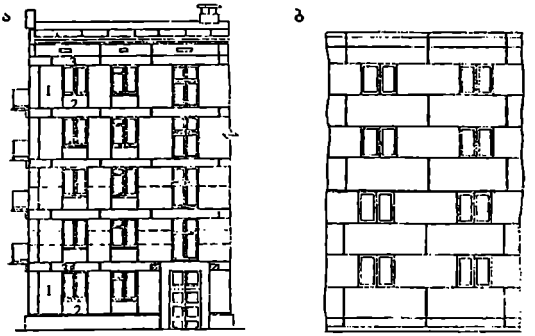
შიდა და გარე კედლების ქვის წყობის ტიპი და მასალა შეირჩევა მშენებლობის რაიონის კლიმატური პირობებისა და ადგილობრივი ქვის მასალის არსებობის მიხედვით, აგრეთვე, შენობის დანიშნულებისა და სათავსების ტემპერატურულ-ტენიანობის რეჟიმის მიხედვით.

სტრუქტურის მიხედვით კედლის წყობა განსხვავდება: ქვის ერთი მასალით შესრულებული მთლიანი წყობა; მრავალფენოვანი, რომელიც შედგება ორი ან მეტი ფენისაგან და სრულდება ერთი ან სხვადასხვა ქვის მასალისაგან; შემსუბუქებული წყობა, სადაც მხიდი კედლის ნაწილი შეცელილია იზოლაციის ფილებით – მსუბუქი ან უჯრედოვანი ბეტონის ბლოკებით. აგურის მთლიანი წყობა სრულდება გადაბმის ერთრიგა ან მრავალრიგა სისტემით (ნახ. 2.75,ა,ბ,გ,დ). კერამიკული, ბეტონისა და ბუნებრივი ქვის წყობის გადაბმა ნაჩვენებია ნახ. 2.75,ე,ვ-ზე; შემსუბუქებული წყობის ერთ-ერთი ტიპი – ნახ. 2.75,ზ-ზე.




ნახ. 2.75. აგურის, ხელოვნური და ბუნებრივი ქვის წყობა:
ა – წყობა ჩვეულებრივი აგურის ჯაჭვური გადაბმით; ბ – იმავე 88 მმ სისქის აგურისაგან; გ – წყობა ჩვეულებრივი აგურის მრავალრიგა გადაბმით; დ – იმავე 88 მმ სისქის აგურისაგან; ე – წყობა ღრუ კერამიკული ქვისაგან; ვ – ბუნებრივი ქვის ან ბეტონის ბლოკის წყობა (გეგმა); ზ – შემსუბუქებული წყობა. 1 – აგური; 2 – დამათბუნებელი მასალის ფილა; 3 – სიცარიელე

მსხვილი ბლოკებით შესრულებული კედლების ჭრა დამოკიდებულია საროულის სიმაღლეზე, ფანჯრის ღიობების ზომასა და მშენებლობაზე არსებული ამწე-მექანიზმების ტვირთამწეობაზე. ორრიგა ჭრა (ნახ. 2.76,ა) ძირითადი გადაწყვეტაა გარე მზიდი კედლის წყობისათვის. ორბლოკიანი (ლენტური) ჭრა (ნახ. 2.76,ბ) გამოიყენება თვითმზიდ გარე კედლებში. სამ და ოთხრიგა ჭრა (ნახ. 2.76,ა–პუნქტირი) გამოიყენება მზიდ და თვითმზიდ გარე და შიდა კედლებში აგურის, ბუნებრივი ქვის ან მცირე ზომის სილიკატური ბლოკებისაგან გამსხვილებული პანელების შემთხვევაში.




ნახ. 2.76. მსხვილი ბლოკებით აგებული შენობის ფასადის ფრაგმენტი:
ა – ორრიგა ჭრა; ბ – ორბლოკიანი (ლენტური) ჭრა.
1 – შუაკედლისის ბლოკი; 2 – ფანჯრისქვეშა ბლოკი; 3 – ხიდუდარის ბლოკი

### 2.2.4. დაუარმატურებელი წყობის სიმტკიცე და დეფორმაციულობა

ქვის წყობის სიმტკიცე დამოკიდებულია ქვისა და დუღაბის სიმტკიცესა და დეფორმაციულობაზე, ქვის ზომასა და ფორმაზე, დუღაბის პლასტიკურობაზე, ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ნაკერების შევსების ხარისხზე, დუღაბის ქვასთან შეჭიდულობაზე, წყობაში ქვების გადაბმის სახეობასა და ხარისხზე, კალატოზის კვალიფიკაციასა და სხვა ფაქტორებზე.

ცდებით დადგენილია, რომ ცალკეული აგური (ქვის ბლოკი), ცენტრალურად შეკუმშულ წყობაშიც კი, არ ეყრდნობა მეორე აგურის ზედაპირს მთელი ფართობით, რადგან არც აგურს აქვს იდეალურად სწორი ზედაპირი და არც დუღაბია ჰორიზონტალურ ნაკერში ერთნაირი სისქისა და სიმკვრივის. ამის შედეგია, რომ აგურის (ქვის) ზედა და ქვედა ზედაპირზე დაწნევა არათანაბრად არის განაწილებული და იგი განიცდის ღუნვას, გარეცენტრულ კუმშვას ან ახლეჩას, რის გამოც აღიძვრება გამჭიმავი ძაბვა. რადგან ჰორიზონტალურ ნაკერში დუღაბის ცოცვადობისაგან გამოწვეული განივი დეფორმაცია მნიშვნელოვნად აღემატება ქვის განივ დეფორმაციას, ამიტომ ქვაში წარმოიქმნება დამატებითი გამჭიმავი ძაბვა, რაც უფრო მეტად ამცირებს წყობის სიმტკიცეს. ჰორიზონტალურ ნაკერებში დუღაბის სისქის გაზრდით შეიძლება აგურიდან აგურზე დატვირთვის თანაბარი გადაცემის მიღწევა, მაგრამ სქელი ფენის დუღაბი იწყებს დამოუკიდებლად კუმშვაზე მუშაობას და მისი შედარებით ნაკლები სიმტკიცის გამო, მცირდება წყობის სიმტკიცეც.

ამიტომ ნაკერის ოპტიმალურ სისქედ იღებენ 10...12 მმ-ს. აგურის წყობაში წარმოქმნილი რთული დაძაბული მდგომარეობის გამო წყობის სიმტკიცე სუსტი დულაბის გამოყენებისას შეადგენს აგურის სიმტკიცის 10...15%-ს, ხოლო მტკიცე დულაბისას – 30...40%-ს. წყობის ვიბრირების შესაძლებლობის შემთხვევაში მიიღწევა ნაკერების დულაბით შეჭესება, იზრდება წყობის ხარისხი და სიმტკიცე (1,5...2-ჯერ).

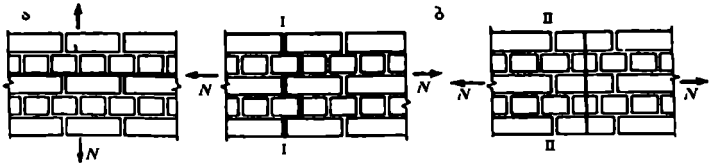
წყობის სიმტკიცესა და დეფორმაციაზე მსჯელობა ეფუძნება მრავალრიცხოვანი ცდის მონაცემებს. ნორმებით, წყობის სიმტკიცის ძირითად მახასიათებლებად მიღებულია: $R_u$ დროებითი წინაღობა კუმშვაზე (სიმტკიცის ზღვარის საშუალო სიდიდე); $R$ საანგარიშო წინაღობა ღერძულ კუმშვაზე; $R_t$ საანგარიშო წინაღობა ღერძულ გაჭიმვაზე; $R_{tb}$ საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე ღუნვის დროს (იგივეა, რაც მთავარი გამჭიმავი ძაბვა $R_{tr}$); $R_{sq}$ საანგარიშო წინაღობა ჭრაზე.

$R_u$ დროებითი წინაღობა კუმშვაზე მიიღება ქვისა და დულაბის სხვადასხვა მახასიათებლიანი, დიდი რაოდენობის წყობის სტანდარტული ნიმუშის კუმშვაზე გამოცდით. $R$ საანგარიშო წინაღობა ღერძულ კუმშვაზე მიიღება $R_u$ დროებითი წინაღობის საიმედოობის $k$ კოეფიციენტზე გაყოფით ($R= R_u/k$). ყველა სახის წყობისათვის k=2.

ქვისა და დულაბის მარკის (სიმტკიცის) მიხედვით, წყობის $R$ საანგარიშო წინაღობა ღერძულ კუმშვაზე მგპა-ობით, მოცემულია დანართ 2.2.1-ში.

ქვის სხვადასხვა კონსტრუქციის გაანგარიშებისას წყობის საანგარიშო წინაღობა, საჭიროების შემთხვევაში, მრაელდება მუშაობის პირობების $\gamma_c$ კოეფიციენტზე, რომელიც დამოკიდებულია კონსტრუქციის სახეობაზე, ქვის მასალაზე, დულაბის გამყარების პირობებზე და სხვა. მაგალითად, მცირე ფართობის კვეთის ბოძებისა და ზღუდარებისათვის, როდესაც $A \le 0.3$ მ$^2$ – $\gamma_c$=0,8, ხოლო მსხვილი ბლოკებისა და ქვებისათვის, რომლებიც დამზადებულია მძიმე ბეტონისაგან – $\gamma_c$=1,1.

საანგარიშო წინაღობები გაჭიმვაზე – $R_t$, გაჭიმვაზე ღუნვისას – $R_{tb}(R_{tr})$ და ჭრაზე – $R_{sq}$, დამოკიდებულია იმაზე, თუ როგორია წყობის რღვევის სქემა. წყობის გაჭიმვაზე მუშაობისას გამჭიმავი ძალის მოქმედების მიხედვით მოსალოდნელია რღვევის ორი შემთხვევა: რღვევა გადაუბმელ კვეთზე ანუ წყობის ჰორიზონტალურ ნაკერსა და გადაბმულ კვეთზე, ვერტიკალური ნაკერის გასწვრივ (იხ. დანართი 2.2.2 და ნახ. 2.77).




ნახ. 2.77. წყობის რღვევის სქემა გაჭიმვისას:
ა – გადაუბმელ ნაკერზე; ბ – გადაბმულ ნაკერზე (I–I – რღვევა დულაბზე; II–II – რღვევა ქვაზე)

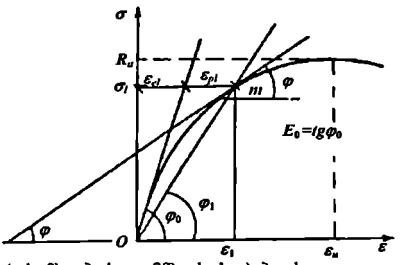
მეორე სახის რღვევისას წყობა შეიძლება დაირღვეს დულაბზე (I–I) ან ქვაზე (II–II). გადაუბმელ ნაკერზე წყობის სიმტკიცე დამოკიდებულია დულაბის ქვასთან

შეჭიდულობაზე და იგი ნაკლებია, ვიდრე გადაბმული კეთის სიმტკიცე, რომელსაც განსაზღვრავს დუღაბის ან ქვის სიმტკიცე.

გაჭიმვაზე ან გაჭიმვაზე ღუნვისას ქვის წყობა მუშაობს შესაბამისად: სითხის ცილინდრულ რეზერვუარში, გარეცენტრულად შეკუმშულ კედლებსა და ბოძებში, ხოლო ჭრაზე (ძვრაზე) – საყრდენი კედლის კონტრფორსებში, განაპირა ზღუდარებში და სხვა.

წყობის დეფორმაციის სურათს იძლევა $\sigma$ ძაბვასა და $\varepsilon$ ფარდობით დეფორმაციას შორის დამოკიდებულების გრაფიკი (ნახ. 2.78), სადაც ჩანს, რომ წყობა წარმოადგენს დრეკად-პლასტიკურ სხეულს, რადგან გარკვეული $\sigma_1$ ძაბვის შესაბამისი $\varepsilon_1$ სრული დეფორმაცია არის $\varepsilon_{el}$ დრეკადი და $\varepsilon_{pl}$ არადრეკადი (პლასტიკური) დეფორმაციების ჯამი, ე.ი.

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_{el} + \varepsilon_{pl}.$$




ნახ. 2.78. აგურის წყობის კუმშვისას ძაბვასა და დეფორმაციას შორის დამოკიდებულება

„$\sigma$–$\varepsilon$“ დიაგრამის მიხედვით წყობა მხოლოდ მცირე სიდიდის დატვირთვისას (0,2 $R_u$-მდე) მუშაობს დრეკადად (გრაფიკის შესაბამისი მონაკვეთი უახლოვდება წრფეს). დატვირთვის შემდგომი გაზრდისას, გრაფიკი მრუდდება, ე.ი. გამოვლინდება არადრეკადი ანუ პლასტიკური დეფორმაცია, რაც ძირითადად გამოწვეულია ნაკერებში დუღაბის ცოცვადობით.

დრეკადი დეფორმაციების მახასიათებელია დრეკადობის საწყისი მოდული $E_0 = \sigma / \varepsilon$, რომელიც გეომეტრიულად გამოისახება, როგორც $E_0 = tg\varphi_0$. ცდებით დადგენილია, რომ $E_0 = \alpha R_u$, სადაც $\alpha$ წყობის დრეკადი თვისების გამთვალისწინებელი კოეფიციენტია, დამოკიდებული დუღაბის მარკასა და წყობის სახეობაზე და იცვლება 350...1000-ის ფარგლებში. დატვირთვის ზრდასთან ერთად მოდული მცირდება, რაც ჩანს ნებისმიერი $\sigma_1$ და $\varepsilon_1$-ის მაგალითზე: იგი დამოკიდებული ხდება დატვირთვაზე და უდრის $E = tg\varphi = d\sigma / d\varepsilon$ გამოთვლის გამარტივებისათვის დეფორმაციის მოდულად იღებენ დეფორმაციის მრუდის განსახილველ $m$ და კოორდინატთა სათავის $O$ წერტილებზე გატარებული წრფის მიერ აბსცისათა ღერძთან შექმნილი კუთხის ტანგენსს ე.ი. $E = \sigma_1 / \varepsilon_1 = tg\varphi_1$. წყობის სიმტკიცეზე პრაქტიკული გაანგარიშებისას $E = 0{,}5E_0$. გრძივი და განივი ძალების მოქმედებისას დეფორმაციაზე გაანგარიშებისათვის ან ქვის კონსტრუქციების რხევის პერიოდის

გამოთვლისათვის $E = 0{,}8E_0$. წყობის ფარდობითი დეფორმაცია გამოითვლება ფორმულით

$$\varepsilon = \nu\sigma / E .$$

აქ $\sigma$ არის $\varepsilon$-ის შესაბამისი ძაბვა; $\nu$-წყობაში ცოცვადობის გაელენის გამთვალისწინებელი კოეფიციენტი. აგურის წყობისათვის $\nu$=2,2.

### 2.2.5. ქვის წყობის კონსტრუქციების გაანგარიშება ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით

ქვისა და არმოქვის კონსტრუქციების გაანგარიშება ხდება ორი ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით: პირველი – სიმტკიცისა და მდგრადობის, მეორე – ბზარმედეგობის (ბზარების წარმოქმნა და გახსნა) და საერთო დეფორმაციების მიხედვით. პირველი ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით, გაანგარიშება საეალდებულოა ყოველთვის, ყველა სახის კონსტრუქციისათვის. მეორე ჯგუფის მიხედვით გაანგარიშდება ის კონსტრუქციები, რომლებშიც არ შეიძლება ბზარების წარმოქმნა (რეზერვუარების მოპირკეთება) ან დასაშვებია ბზარების გახსნა მხოლოდ შეზღუდული სიდიდით (დიდი ექსცენტრისიტეტით მომუშაე გარეცენტრულად შეკუმშული ელემენტები). თუ დეფორმაციების სიდიდე შეზღუდულია ერთად მომუშაე კონსტრუქციების ერთობლიეი მუშაობის პირობიდან (კარკასული შენობის თვითმზიდი კედლებით შევსება), მაშინ ანგარიში წარმოებს საერთო დეფორმაციის (ჩაღუნვის) მიხედვით. გაანგარიშების მიზანია კონსტრუქციის სათანადო კვეთის შერჩევა ან მოცემული კვეთის სიმტკიცის შემოწმება. გამოთელილი ძაბვა, დეფორმაცია და ბზარის გახსნის სიდიდე არ უნდა აჭარბებდეს ნორმებით დაშვებულ ზღვრულ სიდიდეებს.

#### 2.2.5.1. ცენტრალური კუმშვა

ითვლება, რომ ცენტრალური კუმშვისას ძაბვები ელემენტის კვეთში განაწილებულია თანაბრად. ასეთი ელემენტების რღვევა დამოკიდებულია მის მოქნილობაზეც: მოკლე ელემენტები ირღვევა წყობის სიმტკიცის ამოწურვის შედეგად ($\sigma = R_u$), გრძელი (მოქნილი) ელემენტები – მდგრადობის დაკარგვით, როდესაც კრიტიკული ძაბვა ნაკლებია წყობის ზღვრულ წინაღობაზე ($\sigma_{cr} < R_u$).

ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშება ხდება ფორმულით

$$N \le m_g \varphi R A , \qquad (2.49)$$

სადაც $N$ საანგარიშო გრძივი მკუმშავი ძალაა; $m_g = \eta N_g / N$ – წყობის ზიდვის უნარზე დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედების შედეგად გამოწვეული გაღუნვის გაელენის კოეფიციენტი, რომელიც ფაქტიურად ასახავს დუღაბის ცოცვადობის გაელენას; $\eta$ კოეფიციენტი დამოკიდებულია ელემენტის მოქნილობაზე და წყობის სახეობაზე. აიღება დანართი 2.2.6-დან; $R$ – წყობის კუმშვაზე საანგარიშო წინაღობა; $A$ – ელემენტის განიეი კვეთის ფართობი; $\varphi$ – გრძივი ღუნვის

კოეფიციენტი, დამოკიდებული წყობის დრეკადობის მახასიათებელ'ზე და ელემენტის მოქნილობაზე ($\lambda_h = l_0 / h$); $\eta$, $m_g$ და $\lambda_h$ სიდიდეები განისაზღვრება ნორმების სათანადო ცხრილების მიხედვით [7] (დანართები 2.2.6 და 2.2.7).

ცენტრალურად შეკუმშული დაუარმატურებელი ელემენტების კვეთების შერჩევა ხდება თანდათანობით მიახლოებით. დაინიშნება ნორმების შესაბამისად ქვისა და დუღაბის სახეობა, მარკა, დანართი 2.2.1-ის მიხედვით მოინახება წყობის საანგარიშო სიმტკიცე კუმშვაზე. პირველი მიახლოებით დაინიშნება $m_g$=1 და $\varphi$=0,9 და სიმტკიცის (2.49) ფორმულიდან განისაზღვრება კედლის ან ბოძის განივი კვეთის ზომები. დადგენილი გეომეტრიული ზომების მიხედვით გაიანგარიშება ელემენტის მოქნილობა, [7]-დან შესაბამისი ცხრილის მეშვეობით დაზუსტდება $m_g$ და $\varphi$-ს მნიშვნელობა და ჩატარდება გაანგარიშება ხელმეორედ. წყობის პარამეტრების წინასწარ დანიშნული სიდიდეები პრაქტიკული გაანგარიშების გამოცდილების შედეგად აიღება, ამიტომ მეორე მიახლოება ძირითადად დამაკმაყოფილებელ შედეგს იძლევა.

### 2.2.5.2. გარეცენტრული კუმშვა

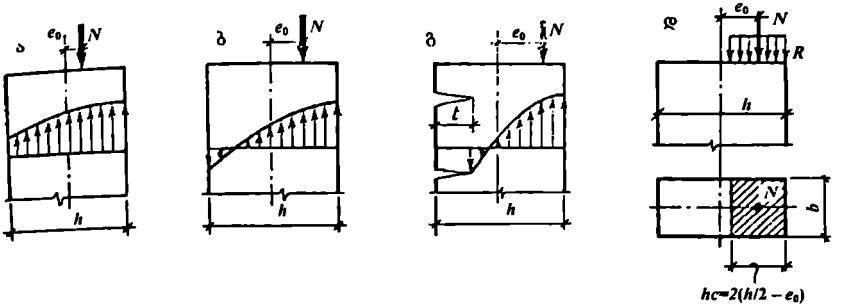
გარეცენტრულ კუმშვაზე მუშაობს ქვის კონსტრუქციები, როდესაც გრძივი მკუმშავი ძალა მოდებულია კვეთის სიმძიმის ცენტრის გარეთ. ცდებით დადგენილია, რომ კვეთის დაძაბული მდგომარეობა დამოკიდებულია გრძივი ძალის ცენტრიდან დაშორების ($e_0$ ექსცენტრისიტეტის) სიდიდეზე. მცირე ექსცენტრისიტეტისას მთელი კვეთი შეკუმშულია, მაგრამ ძაბვა განაწილებულია არათანაბრად. ექსცენტრისიტეტის გაზრდით ნაკლებად შეკუმშულ კიდესთან შეიძლება აღიძრას გამჭიმავი ძაბვა, რასაც მოჰყვება $t$ სიღრმის ბზარის წარმოქმნა და კუმშვაზე მუშაობს კვეთის მხოლოდ $h-t$ ნაწილი (ნახ. 2.79,გ).

როდესაც კვეთში ძაბვა არათანაბრად არის განაწილებული, წყობაში ძაბვა დროებით წინაღობას მიაღწევს პირველად მეტად დაძაბულ კიდეზე, მაგრამ ზიდვის უნარი ამით არ ამოიწურება, რადგან განვითარდება ცოცვადობისაგან მნიშვნელოვანი პლასტიკური დეფორმაციები, რის გამოც დაძაბული კიდედან ძაბვები გადანაწილდება ნაკლებად დაძაბული კიდისაკენ და კვეთის მუშაობა უახლოვდება ცენტრალურ კუმშვას. ეს ნიშნავს, რომ კვეთის ზიდვის უნარი იზრდება. ეს ზრდა გამოიხატება $\omega$ კოეფიციენტით. აგურის წყობისათვის $\omega$=1+ $e_0/h$≤1,45. ცენტრალური კუმშვის დროს $\omega$=1.

გარეცენტრულ კუმშვაზე წყობის სიმტკიცის გაანგარიშებისას, კვეთის დაძაბული მდგომარეობის სირთულის გამო, სარგებლობენ ემპირიული ფორმულით, შემდეგი დაშვებების გათვალისწინებით: გაჭიმული ზონა (თუ იგი არსებობს) არ მიიღება მხედველობაში; შეკუმშულ ზონაში ძაბვა ითვლება თანაბრად განაწილებულად და მისი სიმძიმის ცენტრი ემთხვევა $N$ გრძივი ძალის მოდების წერტილს (ნახ. 2.79,დ). სიმტკიცის პირობა შემდეგნაირად გამოისახება:

$$N \le m_g \varphi_1 R A_c \omega . \qquad (22.50)$$

აქ $m_g$ იგივეა, რაც ცენტრალური კუმშვისას. იგი ხანგრძლივი დატვირთვისა და დუღაბის ცოცვადობის გამთვალისწინებელი კოეფიციენტია. თუ განივი კვეთის ზომა მეტია 30 სმ-ზე – $m_g$=1;




ნახ. 2.79. გარეცენტრული კუმშვისას ძაბვათა ეპიურები და საანგარიშო სქემა:
ა, ბ, გ – ძაბვის ეპიურის ცვლილება ექსცენტრისიტეტის ზრდისას;
დ – კვეთის საანგარიშო სქემა

$N$ არის გრძივი საანგარიშო ძალა;

$\varphi_1$, გრძივი ღუნვის კოეფიციენტია გარეცენტრული კუმშვისას. გამოითვლება, როგორც მთელი კვეთის მიხედვით გრძივი ღუნვის $\varphi$ კოეფიციენტისა და კვეთის მხოლოდ შეკუმშული ნაწილის შესაბამისი $\varphi_c$ გრძივი ღუნვის კოეფიციენტის საშუალო არითმეტიკული სიდიდე – $\varphi_1=(\varphi+\varphi_c)/2$;

$A_c = A(1-2e_0/h)$ კვეთის შეკუმშული ნაწილის ფართობია.

როდესაც ელემენტის სისქე 250 მმ და ნაკლებია, მაშინ $e_0$ ექსცენტრისიტეტს ემატება $e_a$ შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტი, რომელიც წყობის ვერტიკალიდან გადახრის ან დატვირთვის მოდების წერტილის არაზუსტი დაფიქსირების შედეგად წარმოიქმნება. მაშასადამე,

$$e_0 = M/N + e_a .$$

მზიდი კედლისათვის $e_a$=2 სმ-ს, თვითმზიდი კედლისათვის $e_a$=1 სმ-ს.

ბზარის გახსნის სიგანე და სიღრმე წყობაში ნორმებით შეზღუდულია. რადგან ბზარების წარმოქმნა $e_0$ ექსცენტრისიტეტის სიდიდეზეა დამოკიდებული, ამიტომ ნორმებით დადგენილია მისი ზღვრული მნიშვნელობები: დატვირთვების ძირითადი შეხამებისას $e_0 \le 0{,}9y$, ხოლო განსაკუთრებული შეხამებისათვის $e_0 \le 0{,}95y$ ($y$ მანძილია კვეთის სიმძიმის ცენტრიდან კვეთის მეტად შეკუმშულ კიდემდე). როდესაც $e_0 \le 0{,}7y$, გარეცენტრულად შეკუმშულ ელემენტებს ანგარიშობენ მხოლოდ სიმტკიცეზე, თუ ეს პირობა არ სრულდება, საჭიროა გაჭიმული ზონის გაანგარიშება წყობის პორიზონტალურ ნაკერებში ბზარის გახსნის სიდიდეზეც.

### 2.2.5.3. ადგილობრივი კუმშვა (თელვა)

როდესაც კონსტრუქცია (კოჭი, სვეტი და სხვა) ეყრდნობა ქვის წყობის კვეთის მხოლოდ ნაწილს, გვაქვს ადგილობრივი კუმშვა. ამ შემთხვევაში წყობის წინაღობა უფრო დიდია, ვიდრე ღერძული კუმშვის დროს (როდესაც დატვირთულია მთელი განივკვეთი), რადგან გარდა იმ ფართობისა, რომელზედაც

დატვირთვა უშუალოდ მოქმედებს, დეფორმაციას განიცდის მოსაზღვრე ფაროობიც, ე.ი. ისიც იღებს მონაწილეობას მუშაობაში. ამ შემთხვევაში წყობის სიმტკიცე მოწმდება გამოსახულებით

$$N_{loc} \le \psi k R_{loc} A_{loc}, \qquad (2.51)$$

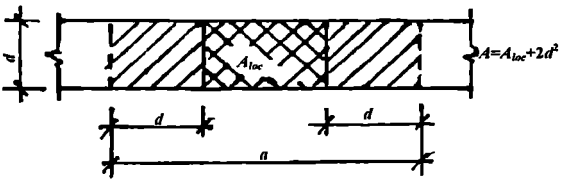
სადაც $N_{loc}$ ადგილობრივი კუმშვისას გრძივი მკუმშავი ძალაა;

$\psi$ არის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ადგილობრივი კუმშვის დაწნევის ეპიურის სახეს: თანაბრად განაწილებული დაწნევისას, დატვირთვა წყობას გადაეცემა გამანაწილებელი ფილის მეშვეობით და $\psi$ =1. როდესაც დატვირთვა გადაეცემა დუღაბის ფენის მეშვეობით, დაწნევის ეპიურა სამკუთხაა და $\psi$ =0,5-ს;

$k$ კოეფიციენტი ითვალისწინებს მასალის პლასტიკურ თვისებებს;

$R_{loc} = \xi R$ არის ადგილობრივი კუმშვისას წყობის წინაღობა.

აქ $R$ ღერძულ კუმშვაზე წყობის წინაღობაა; $\xi = \sqrt[3]{A / A_{loc}}$



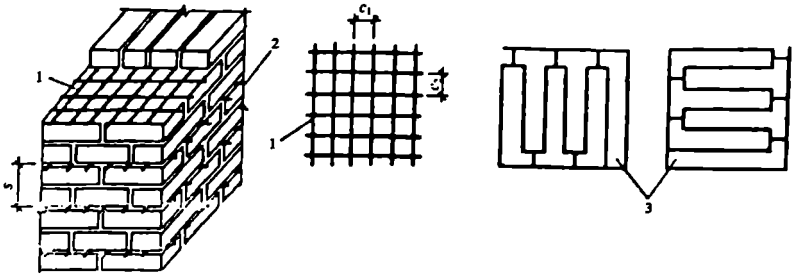

ნახ. 2.80. ადგილობრივი კუმშვისაგან წყობის დაძაბული ფართობი

თუ ადგილობრივ დატვირთვასთან (კოჭის, წამწის საყრდენი რეაქციები) ერთად წყობაზე მოქმედებს კედლის მთელ ფართობზე განაწილებული დატვირთვაც (ზემოთ მდებარე წყობის მასისაგან და ამ წყობაზე გადაცემული გარე დატვირთვა), მაშინ გაანგარიშება თელეაზე ტარდება ცალ-ცალკე – ჯერ მხოლოდ ადგილობრივ დატვირთვაზე, შემდეგ ადგილობრივი და მთლიანი დატვირთვის ჯამზე.

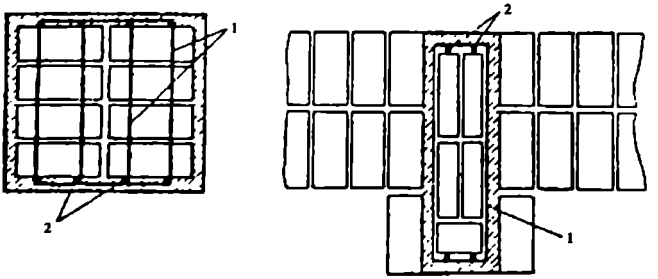
ქვის კონსტრუქციების გაანგარიშება ღუნვაზე, გაჭიმვაზე, ჭრასა და აგრეთვე მეორე ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობების მიხედვით (ბზარმედეგობასა და დეფორმაციებზე), იშვიათად ხდება, ისიც, ძირითადად შემოწმების სახით, საჭიროების შემთხვევაში. ამ დროს ქვის კონსტრუქციები განიხილება მუშაობის დრეკად სტადიაში და გამოიყენება ნორმებით რეკომენდებული შესაბამისი მეთოდიკა.

### 2.2.6. დაარმატურებული ქვის წყობის (არმოქვის) კონსტრუქციები

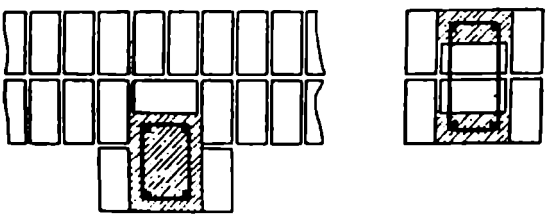
ქვის კონსტრუქციების ზიდვის უნარის გასაზრდელად იყენებენ გაძლიერების შემდეგ ხერხებს: განივი დაარმატურება – არმატურის ბადეების განლაგებით წყობის ჰორიზონტალურ ნაკერებში (ნახ. 2.81); გრძივი დაარმატურება – არმატურის ღეროების განლაგებით წყობის გარედან, ან წყობის შიგნით, ელემენტის გრძივი მიმართულებით (ნახ. 2.82); წყობაში რკინაბეტონის ჩართვა – ე.წ. კომპლექსური კონსტრუქციები (ნახ. 2.83); წყობის გაძლიერება, მისი რკინაბეტონისაგან ან ლითონის კუთხოვანებისაგან განხორციელებულ გარსაკრში (სალტეში) ჩასმით (ნახ. 2.84).



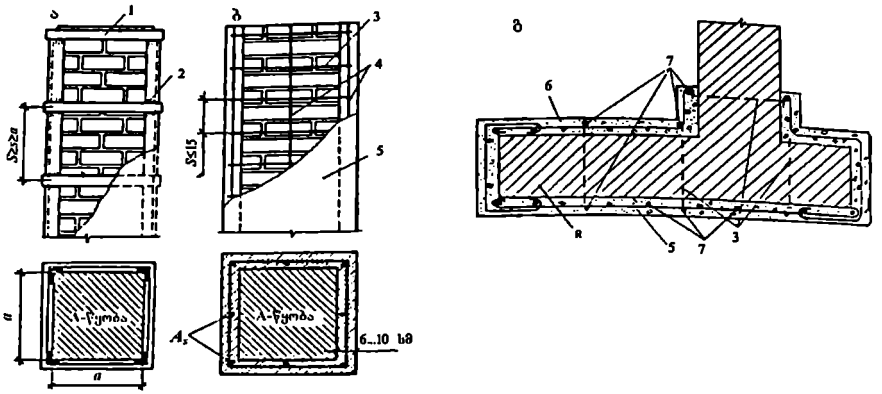

ნახ. 2.81. ქვის კონსტრუქციის განივი დაარმატურება:
1 – მართკუთხა ბადე; 2 – არმატურის ბადის ნაშეერები, მისი განლაგების გაკონტროლებისათვის; 3 –„ზიგზაგის“ ტიპის ბადე




ნახ. 2.82. ქვის კონსტრუქციის გრძივი დაარმატურება:
ა – არმატურის წყობის გარეთ განლაგება; ბ – არმატურის წყობის შიგნით განლაგება; 1 – განივი არმატურა (ცალკულები); 2 – გრძივი მუშა არმატურა



ნახ. 2.83. კომპლექსური კონსტრუქციის განივი კვეთის სქემები:
ა – რკინაბეტონის ცალმხრივი განლაგება; ბ–რკინაბეტონის წყობის შიგნით განლაგება




ნახ. 2.84. ბოძებისა და კედლის სალტით გაძლიერების სქემა:
ა – ლითონის სალტე; ბ – რკინაბეტონის სალტე; გ – კედლის გაძლიერება რკინაბეტონის სალტით. 1 – ლითონის თამასა; 2 – შედუღება; 3 – განივი არმატურა Ø4...10 მმ; 4 – მუშა არმატურა Ø5...12 მმ; 5 – ბეტონი B7,5... B15 კლასის; 6 – არმატურის ბადე; 7 – გრძივი არმატურა; 8 – კედლის წყობა

### 2.2.6.1. ბადეებით დაარმატურებული წყობა

ბადეებით დაარმატურება (ნახ. 2.81) გამოიყენება მცირე მოქნილობის $\lambda_h = l_0 / h \le 15$, ძლიერად დატვირთულ ბოძებსა ან ზღუდარებში, როდესაც გრძივი ძალა მოქმედებს მცირე ექსცენტრისიტეტით და მისი მოდების წერტილი არ გამოდის კვეთის გულის გარეთ (მართკუთხა კვეთისათვის $e_0 \le 0{,}17h$.). თუ ზემოთ მოყვანილი პირობები არ სრულდება, მაშინ კვეთში წარმოიშობა გამჭიმავი ძაბვები, რისი ატანაც ჰორიზონტალურ ბადეს არ შეუძლია, ე.ი. იგი ვერ გააძლიერებს წყობას.

ბადეებით დაარმატურებული ქვის წყობის ზიდვის უნარი იზრდება იმის გამო, რომ ბადის არმატურის ღეროები ჩაერთვება გაჭიმვაზე მუშაობაში, ეწინააღმდეგება წყობის განივი მიმართულებით გაფართოებას ანუ ვერტიკალური ბზარების წარმოქმნასა და რღვევას.

ბადეები არმატურის დიამეტრის მიხედვით შეიძლება იყოს მართკუთხა, ჯვარედინად განლაგებული ღეროებით, დიამეტრით 3...6 მმ, ბიჯით არა უმეტეს 12 სმ-სა და არა უმცირეს 3 სმ-ისა. ამ შემთხვევაში არმატურის დიამეტრის სიდიდის შეხლუდვა გამოწვეულია წყობის ნაკერის სისქის შეზღუდვით (10...12 მმ). საჭიროა, რომ ბადე დაფარული იყოს დუღაბის არა ნაკლები 4 მმ სისქის ფენით.

ბადეები ზიგზაგისებურად განლაგებული ღეროებით მზადდება 3...8 მმ დიამეტრის არმატურისაგან, რომელიც ბადეში ორიენტირებულია მხოლოდ ერთი მიმართულებით. ამიტომ ბადეები ლაგდება ორ მეზობელ ჰორიზონტალურ ნაკერში, ღეროების საპირისპირო მიმართულების დაცვით. ქვის წყობა ბადეებით

დაარმატურდება ყოველ 40 სმ-ზე, ან ჩვეულებრივი აგურის წყობაში, ყოველი ხუთი რიგის შემდეგ. ბადეებში გამოიყენება A–I და $B_p$–I კლასის არმატურა. წყობის ბადეებით დაარმატურების მინიმალური პროცენტია $\mu$=0,1%, ხოლო მაქსიმალური – არა უმეტეს 1%-ისა. დუღაბის მარკა აიღება არა უმცირეს 50-ისა.

ბადეებით დაარმატურებული წყობის საანგარიშო წინაღობა $R_{sk}$ დამოკიდებულია დუღაბის მარკაზე, არმატურის $R_s$ წინაღობაზე, დაუარმატურებელი ქვის წყობის კუმშვის $R$ საანგარიშო წინაღობაზე, $\mu$ დაარმატურების პროცენტსა და გარეცენტრული კუმშვისას გრძივი ძალის $e_0$ ექსცენტრისიტეტზე. ცენტრალური კუმშვისას 50 და მეტი მარკის დუღაბისათვის იგი გამოითვლება ფორმულით

$$R_{sk} = R + \frac{2\mu R_s}{100} \le 2R; \qquad (2.52)$$

გარეცენტრულად შეკუმშული, არმირებული წყობის საანგარიშო წინაღობა იმავე მარკის დუღაბებისათვის გამოითვლება ფორმულით

$$R_{sk} = R + \frac{2\mu R_s}{100}\left(1 - \frac{2e_0}{y}\right) \le 2R\,. \qquad (2.53)$$

აქ $y$ მანძილია კვეთის სიმძიმის ცენტრიდან შეკუმშული ზონის კიდემდე.

ბადეებით დაარმატურებული ცენტრალურად და მცირე ექსცენტრისიტეტით გარეცენტრულად შეკუმშული ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშება ხდება დაუარმატურებელი წყობის ანალოგიური ფორმულების საშუალებით, ოღონდ ქვის წყობის $R$ საანგარიშო წინაღობის ნაცვლად ჩასმულია დაარმატურებული წყობის $R_{sk}$ საანგარიშო წინაღობა.

### 2.2.6.2. გრძივი ღეროებით დაარმატურებული წყობა

გრძივი დაარმატურება (ნახ. 2.82) გამოიყენება ძირითადად დიდი მოქნილობის $(\lambda_h = l_0/h > 15)$, ძლიერად დატვირთულ ბოძებსა და ზღუდარებში, აგრეთვე დიდი ექსცენტრისიტეტით მომუშავე გარეცენტრულად შეკუმშულ ელემენტებში. გრძივი არმატურა ლაგდება წყობის გარეთ, ცემენტის ხსნარით შესვების ქვეშ, ასევე წყობის შიგნით სპეციალურ ღარებში, რომლებიც შემდეგ იზსება დუღაბით. გამოიყენება A–I, A–II და $B_p$–I კლასის არმატურა არა ნაკლები 3 მმ დიამეტრის გაჭიმულ ზონაში და არანაკლები 8 მმ-ისა – შეკუმშულ ზონაში. წყობისა და გრძივი ღეროების ერთობლივი მუშაობა უზრუნველყოფილია A–I კლასის არმატურის ან $B_p$–I კლასის 3...6 მმ დიამეტრის ცივად ჭიმული მავთულის განივი საკიდებით (ცალულებით). საკიდებს შორის მანძილი აიღება არა უმეტეს 15d-სი გრძივი არმატურის წყობის გარედან მოთავსებისას და არა უმეტეს 20 d-სი, როდესაც გრძივი არმატურა წყობის შიგნით არის განლაგებული. გრძივი არმატურით დაარმატურების მინიმალური პროცენტი: 0.1% შეკუმშულის და 0.05% – გაჭიმულის. არმატურის კოროზიისაგან დასაცავად იყენებენ დუღაბის შრეს, არა ნაკლებ 50-ისა.

გრძივად დაარმატურებული, ცარცხენტრულად შეკუმშული არმოქვის კონსტრუქცია ისევე მუშაობს, როგორც რკინაბეტონის. ამიტომ მათი გაანგარიშების მეთოდიკაც ისეთივეა.

ცენტრალურად შეკუმშულ და ღუნვად ელემენტებში, იმ დროს, როდესაც არმატურაში ძაბვა მიაღწევს დენადობის ზღვარს (საანგარიშო წინაღობა) წყობის წინაღობა გამოყენებულია მხოლოდ 85%-ით, რის შემდეგაც არმატურისა და წყობის ერთობლივი მუშაობა წყდება და ელემენტი ირღვევა. ეს გარემოება ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშების ფორმულაში, რომელიც ანალოგიურია შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტით შეკუმშული რკინაბეტონის ელემენტის გაანგარიშების ფორმულისა, აისახება ქვის წყობის საანგარიშო წინაღობის წინ 0,85 კოეფიციენტის შემოტანით

$$N \le m_g \varphi (0{,}85RA + R_{sc}A'_s). \qquad (2.54)$$

აქ $N$ საანგარიშო გრძივი ძალაა;

$R$, $R_{sc}$ – წყობისა და შეკუმშული არმატურის საანგარიშო წინაღობა;

$A$, $A'_s$ – წყობისა და შეკუმშული არმატურის განივკვეთის ფართობი;

$m_g$ , $\varphi$ – იგივე კოეფიციენტებია, რაც დაუარმატურებელი წყობისათვის.

აღსანიშნავია, რომ ცენტრალურად შეკუმშულ ელემენტში გრძივ დაარმატურებას მიმართავენ გამონაკლის შემთხვევებში, წყობის ზიდვის უნარის გასაზრდელად. ამ დროს ხელასაყრელია და უფრო მარტივი, გაიზარდოს წყობის განივკვეთის ზომები ან მოხდეს ბადეებით განივი დაარმატურება.

### 2.2.6.3. კომპლექსურად დაარმატურებული წყობა

კომპლექსურია კონსტრუქცია, როდესაც ქვის წყობაში ჩართულია რკინაბეტონის ელემენტი (ნახ.2.83), რომელიც მუშაობს წყობასთან ერთად. ღუნვად და გარეცენტრულად შეკუმშულ ელემენტებში რეკომენდებულია რკინაბეტონის ელემენტის მოწყობა წყობის გარედან, გაჭიმულ მხარეს. ბეტონის ჩასხმის ხარისხის შემოწმებაც ასე უფრო ადვილია.

კომპლექსური დაარმატურება გამოიყენება, როდესაც საჭიროა ქვის წყობის ზიდვის უნარის მნიშვნელოვანი გაზრდა, ძლიერად დატვირთულ ცენტრალურად და გარეცენტრულად შეკუმშულ ელემენტში, განივი კვეთის ზომების შესამცირებლად.

კომპლექსურ კონსტრუქციაში გამოიყენება ბეტონი არა უმეტეს B15 კლასისა, A–II, A–III კლასის გრძივი არმატურა, რომლის განივკვეთის ფართობი აიღება ბეტონის ფართობის არანაკლებ 0,2% და არა უმეტეს 1,5%-ისა.

კომპლექსური კონსტრუქციის გაანგარიშება ანალოგიურია გრძივად დაარმატურებული არმოქვის კონსტრუქციებისა. მაგალითად, ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების სიმტკიცე იანგარიშება ფორმულით

$$N \le \varphi [0{,}85m_g (RA + R_b A_b) + R_{sc} A'_s]. \qquad (2.55)$$

რადგან კომპლექსური კონსტრუქციის აგება საკმაოდ შრომატევადია, მას იყენებენ ი'შვიათად, ძირითადად სეისმურ რაიონებში მშენებლობისას.

### 2.2.6.4. გარსაკრავით გაძლიერებული წყობა

ქვის წყობის ზიდვის უნარის გაზრდის ყველაზე ეფექტური მეთოდია მისი რკინაბეტონის ან ლითონის გარსაკრავში (სალტეში) ჩასმა (ნახ. 2.84). გარსაკრავი ეწინააღმდეგება წყობის განივი მიმართულებით გაფართოებას, რაც მკვეთრად ზრდის მის წინაღობას გრძივი ძალის მოქმედების მიმართ.

რკინაბეტონის გარსაკრავი სრულდება B15, B20 კლასის ბეტონისა და გრძივი (ვერტიკალური) არმატურისაგან. განივი არმატურა გრძივს უკავშირდება შედუღებით ყოველ 6...10 სმ-ის დაშორებით. ასეთი არმატურის კარკასი ბეტონის ნაცვლად შეიძლება დაიფაროს გარედან ცემენტის დულაბითაც.

ლითონის გარსაკრავი შედგება კუთხოვანებისაგან, რომლებიც ვერტიკალურად დაყენებულია ბოძის ან ზღუდარის კიდეებზე და თამასებისაგან (ლითონის ფირფიტები), რომლებიც განივად მიედუღება კუთხოვანებს. თამასებს შორის მანძილი აიღება არა უმეტეს 50 სმ-სა. გარსაკრავი, დაყენების შემდეგ, კოროზიისაგან დასაცავად დაიფარება 50...75 მარკის დულაბის 25...30 მმ სისქის ფენით.

გარსაკრავით გაძლიერებული ცენტრალურად და გარეცენტრულად (მცირე ექსცენტრისიტეტით) შეკუმშული კონსტრუქციების ზიდვის უნარი შემოწმდება შემდეგი ფორმულებით:

რკინაბეტონის გარსაკრავის შემთხვევაში

$$N \le \psi\varphi\left[\left(m_g m_k R + \eta \frac{3\mu}{1+\mu}\frac{R_{sw}}{100}\right)A + m_b R_b A_b + R_{sc} A'_s\right], \qquad (2.56)$$

ფოლადის გარსაკრავის დროს

$$N \le \psi\varphi\left[\left(m_g m_k R + \eta \frac{2.5\mu}{1+2,5\mu}\frac{R_{sw}}{100}\right)A + R_{sc} A'_s\right], \qquad (2.57)$$

სადაც $N$ გრძივი ძალაა; $\psi$, $\eta$ – კოეფიციენტები, ცენტრალური კუმშვისას ცალ-ცალკე უდრის ერთს, $\varphi$ – გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი; $m_g$ – კოეფიციენტი, ითვალისწინებს დატვირთვის ხანგრძლივობის გავლენას; $m_k$, $m_b$ წყობისა და ბეტონის მუშაობის პირობების კოეფიციენტებია; $R_{sw}$ – თამასის ან განივი არმატურის (ცალუღის) საანგარიშო წინაღობა; $R_{sc}$ – კუთხოვანების ან გრძივი არმატურის საანგარიშო წინაღობა კუმშვისას; $A'_s$ – გრძივი კუთხოვანების ან არმატურის ღეროების განივკვეთის ფართობები; $A_b$ – ბეტონის კვეთის ფართობი; $\mu = \dfrac{2A_{sw}(h+b)}{hbs}$ – ელემენტის განივი თამასებით ან ცალუღებით დაარმატურების პროცენტი.

როდესაც გარეცენტრულად შეკუმშულ ელემენტში ექსცენტრისიტეტი გამოდის კვეთის გულის ფარგლებს გარეთ, მაშინ წყობის გაძლიერება გარსაკრავით ნაკლებად ეფექტურია.

### 2.2.7. ქვის კონსტრუქციების გაანგარიშების მაგალითები

მაგალითი 2.2.7.1. გაიანგარიშოთ ცენტრალურად შეკუმშული აგურის სვეტი, რომელიც მდებარეობს ორსართულიანი შენობის „2“ და „ბ“ ღერძების გადაკვეთაზე

(ნახ. 2.70). საჭიროა შეირჩეს განივკვეთის ზომები და შემოწმდეს სიმტკიცის მიხედვით.

ცხრილების (2.4) და (2.5) მიხედვით, აღნიშნული შენობის სახურავისა და სართულთშორისი გადახურვის 1 მ²-ზე მოსული ნორმატიული და საანგარიშო დატვირთვებია: 1. სახურავიდან გადმოცემული სრული ნორმატიული დატვირთვა $q_n^{\text{სახ}} = 7{,}17$ კპა, საანგარიშო – $q^{\text{სახ}} = 8.9$ კპა.

2. სართულშორისი გადახურვიდან გადმოცემული სრული ნორმატიული დატვირთვა $q_n^{\text{გად}} = 9{,}08$ კპა, საანგარიშო – $q^{\text{გად}} = 10{,}58$ პკა.

3. განესაზღვროთ დატვირთვა აგურის სვეტის საკუთარი წონისაგან: წინასწარ დავუშვათ აგურის სვეტის განივკვეთის ზომები $b_c h_c = 510 \times 510$ მმ. ნახ. 2.70-ის მიხედვით ორივე სართულის სვეტის სიმაღლე $H = 6{,}9 + 0{,}35 = 7{,}25$ მ. აგურის წყობის საშუალო სიმკვრივეა $\rho = 1800$ კგ/მ³, მაშინ კუთრი წონა $\gamma = 18$ კნ/მ³. სვეტის წონისაგან გადმოცემული ნორმატიული დატვირთვა

$$N_n = b_c \cdot h_c \cdot H\gamma = 0{,}51 \cdot 0{,}51 \cdot 7{,}25 \cdot 18 = 33{,}94 \text{ კნ}.$$

4. დატვირთვა სასხვენო და სართულთშორისი გადახურვის რკინაბეტონის კოჭებისაგან, რომლებიც ეყრდნობა უშუალოდ გასაანგარიშებელ სვეტს. კოჭების განივკვეთის ზომებია $bh = 200 \times 400$ მმ. რკინაბეტონის საშუალო სიმკვრივეა $\rho = 2500$ კგ/მ³ (კუთრი წონა $\gamma = 25$ კნ/მ³). კოჭის სიგრძეა $l = 4{,}5$ მ. სვეტზე გადაეცემა დატვირთვა ორივე მხრიდან ნახევარ-ნახევარი კოჭისაგან (ანუ ერთი კოჭისაგან)

$$N_n^{\text{კოჭი}} = bh \cdot l\gamma = 0{,}2 \cdot 0{,}4 \cdot 4{,}5 \cdot 25 = 9{,}0 \text{ კნ}.$$

5. სრული ნორმატიული დატვირთვა, რომელიც გადაეცემა სვეტს შეიკრიბება დატვირთვის ფართობიდან (ნახ. 2.70 დაშტრიხული), რომელიც უდრის $A' = 4{,}5 \cdot 6{,}0 = 27$ მ².

$$N_n = q_n^{\text{სახ}} \cdot A + q_n^{\text{გად}} \cdot A + n_{\text{კოჭ}} N_n^{\text{კოჭ}} + N_n^{\text{სვებ}} = 7{,}17 \cdot 27 + 9{,}08 \cdot 27 + 2 \cdot 9{,}0 + 33{,}94 =$$
$$= 193{,}59 + 245{,}16 + 18{,}0 + 33{,}94 = 490{,}69 \text{ კნ}.$$

6. სრული საანგარიშო დატვირთვა

$$N = q_n^{\text{სახ}} \cdot A + q_n^{\text{გად}} \cdot A + n_{\text{კოჭ}} N_n^{\text{კოჭ}} + N_n^{\text{სვებ}} = 8{,}9 \cdot 27 + 10{,}58 \cdot 27 + 2 \cdot 9{,}0 \cdot 1{,}1 + 33{,}94 \cdot 1{,}1 =$$
$$= 240{,}3 + 285{,}66 + 19{,}8 + 37{,}33 = 583{,}09 \text{ კნ}.$$

აღსანიშნავია, რომ ყველა საანგარიშო დატვირთვა უნდა გამრავლდეს, შენობის პასუხისმგებლობის მიხედვით, საიმედოობის კოეფიციენტზე $\gamma_n = 0{,}95$, რაც შეესაბამება უმრავლეს საცხოვრებელ და საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობებს. მაშასადამე $N = 583{,}09 \cdot 0{,}95 = 553{,}94$ კნ.

სვეტის საანგარიშო სქემაა ბოლოებში სახსრულად ჩამაგრებული ღერო, რომლის სიმაღლე უდრის ჩამაგრებებს შორის მანძილს. ჩვენს შემთხვევაში სართულის სიმაღლეს ე.ი. $l_0 = H = 3{,}6$ მ.

გადაწყვეტა.

1. დავნიშნოთ მასალები: მთლიანტანიანი თიხის აგური – მარკით M100; დულაბი-ცემენტ-კირის მჭიდა მასალაზე, მარკით M75. დანართი 2.2.1-ის მიხედვით შევარჩევთ წყობის საანგარიშო წინაღობას კუმშვაზე $R = 1{,}7$ მპა=0,17 კნ/სმ².

2. დანართი 2.2.5-ის მიხედვით განვსაზღვრავთ წყობის დრეკად მახასიათებელს $\alpha = 1000$, რომელზედაც დამოკიდებულია კუმშვაზე გაანგარიშებისას $\varphi$ კოეფიციენტი. იგი, თავის მხრივ, აიღება ცხრილი 2.9-დან $\lambda_h$ მოქნილობის მიხედვით.

ცხრილი 2.9

$\eta$ და $\varphi$ კოეფიციენტის მნიშვნელობები. [7]-ის 18 და 20 ცხრილი

| მოქნილობა | | $\eta$ კოეფიციენტი დაუარმატურებელი წყობისათვის | $\varphi$ კოეფიციენტი წყობის $\alpha$ დრეკადი მახასიათებლების მიხედვით | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\lambda_h$ | $\lambda_r$ | | $\alpha$=1500 | $\alpha$=1000 | $\alpha$=750 | $\alpha$=500 | $\alpha$=350 |
| 6 | 21 | 0 | 0,98 | 0,98 | 0,95 | 0,91 | 0,88 |
| 8 | 28 | 0 | 0,95 | 0,92 | 0,90 | 0,85 | 0,80 |
| 10 | 35 | 0 | 0,92 | 0,88 | 0,84 | 0,79 | 0,72 |
| 12 | 42 | 0,04 | 0,88 | 0,84 | 0,79 | 0,72 | 0,64 |
| 14 | 49 | 0,08 | 0,85 | 0,79 | 0,73 | 0,66 | 0,57 |
| 16 | 56 | 0,12 | 0,81 | 0,74 | 0,68 | 0,59 | 0,50 |
| 18 | 63 | 0,15 | 0,77 | 0,70 | 0,63 | 0,53 | 0,45 |
| 20 | 70 | 0,20 | 0,73 | 0,65 | 0,58 | 0,48 | 0,40 |
| 22 | 76 | 0,24 | 0,69 | 0,61 | 0,53 | 0,43 | 0,35 |
| 24 | 83 | 0,27 | 0,65 | 0,56 | 0,49 | 0,39 | 0,32 |
| 26 | 90 | 0,31 | 0,61 | 0,52 | 0,45 | 0,36 | 0,29 |
| 30 | 104 | – | 0,53 | 0,45 | 0,39 | 0,32 | 0,25 |

3. წინასწარ დავნიშნოთ გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი $\varphi = 0,8$ და $m_g = 1,0$. განვსაზღვროთ სვეტის განივკვეთის საჭირო ფართობი

$$A = \frac{N}{m_g \varphi R} = \frac{553,94}{1 \cdot 0,8 \cdot 0,17} = 4073,09 \text{ სმ}^2.$$

4. განივკვეთის დანიშნული ზომებია 510×510მმ. კვეთის ფაქტიური ფართობია $A = bh = 51 \cdot 51 = 2601$ სმ$^2$=0,2606მ$^2$, რაც ნაკლებია 0,3მ$^2$ ე.ი. მუშაობის პირობების კოეფიციენტი $\gamma_c = 0,8$.

5. განვსაზღვროთ სვეტის მოქნილობა $\lambda_h = l_0/h = 360/51 = 7.06$.

6. 2.9 ცხრილის მიხედვით ვნახულობთ გრძივი ღუნვის კოეფიციენტს $\varphi = 0,95$ (განსაზღვრულია ინტერპოლაციით).

7. რადგან სვეტის კვეთის უმცირესი ზომა $h > 30$ სმ-ზე. ამიტომ $m_g = 1$.

8. შევამოწმოთ მიღებული განივკვეთის სიმტკიცე

$$N = 583,09 \text{ კნ} > \Phi = m_g \varphi R A = 1 \cdot 0,95 \cdot 0,17 \cdot 2601 \cdot 0,8 = 336,05 \text{ კნ}.$$

დასკვნა. სვეტის ზიდვის უნარი არ არის უზრუნველყოფილი.

9. გაეზარდოთ სვეტის განივკვეთის ზომები 640×640მმ. კვეთის ფაქტიური ფართობი იქნება $A = bh = 64 \cdot 64 = 4096$ სმ$^2$=0,4096მ$^2$. იგი მეტია 0,3მ$^2$, ამიტომ მუშაობის პირობების კოეფიციენტი $\gamma_c = 1$.

10. განვსაზღვროთ სვეტის მოქნილობა $\lambda_h = l_0/h = 360/64 = 5,63$.

11. 2.9 ცხრილის მიხედვით გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი $\varphi = 0,98$.

12. შევამოწმოთ განმეორებით დანიშნული კვეთის სიმტკიცე

$$N = 583,09 \text{ კნ} < \Phi = m_g \varphi R A = 1,0 \cdot 0,98 \cdot 0,17 \cdot 4073 = 678,56 \text{ კნ}.$$

დასკვნა. სვეტის ზიდვის უნარი უზრუნველყოფილია.

**მაგალითი 2.2.7.2.** არქიტექტურული მოსაზრებით საჭიროა წინა მაგალითში გაანგარიშებული აგურის სვეტის განივკვეთის ზომების შემცირება 510×510მმ-მდე. აგური ისეთივეა: თიხის, მთლიანტანიანი, მარკით M100, დუღაბი უფრო მაღალი მარკის – M100, რადგან ზომები უნდა შემცირდეს. მაშინ წყობის საანგარიშო წინაღობა გაიზრდება და $R = 1{,}8$ მპა=0,18კნ/სმ$^2$. დრეკადობის მახასიათებელი იგივეა – $\alpha = 1000$.

1. შემცირებული განივკვეთის აგურის სვეტის ზიდვის უნარი

$$\Phi = m_g \varphi R \gamma_c A = 1 \cdot 0{,}95 \cdot 0{,}18 \cdot 0{,}8 \cdot 2601 = 355{,}82 \text{ კნ}.$$

$$N = 583{,}09 \text{ კნ} > 355{,}82 \text{ კნ}.$$

როგორც ვხედავთ, შემცირებული განივკვეთის სვეტის ზიდვის უნარი, მიუხედავად დუღაბის წინაღობის გაზრდისა, არ არის უზრუნველყოფილი.

2. სვეტის ზიდვის უნარის გასაზრდელად მივმართოთ წყობის ბადით დაარმატურებას. ავიღოთ ბადე Ø3, Bp-I, რომელსაც ვდებთ აგურის წყობის ყოველ რიგში. ბადეებს შორის მანძილია $c = 7{,}7$ სმ.

3. დანართი 2.1.4-დან ამოვიწეროთ არმატურის ნორმატიული და საანგარიშო წინაღობები: $R_{sn} = 410$ მპა, $R_s = 375$მპა. არმატურის ღეროს განივკვეთის ფართობია $A_{s1} = 0{,}071$ სმ$^2$. მავთულოვანი არმატურის წინაღობები ნორმების [7] მიხედვით უნდა გამრავლდეს მუშაობის პირობების კოეფიციენტზე $\gamma_{cs} = 0{,}6$.

$$R_{sn}\gamma_{cs} = 410 \cdot 0{,}6 = 246 \text{ მპა} = 24{,}6 \text{ კნ/სმ}^2;$$

$$R_s\gamma_{cs} = 375 \cdot 0{,}6 = 225 \text{ მპა} = 22{,}5 \text{ კნ/სმ}^2.$$

4. განესაზღვროთ სვეტზე მოსული საანგარიშო დატვირთვის შეფარდება მის ზიდვის უნართან $a = N/\Phi = 583{,}09/355{,}82 = 1{,}64$, რომელიც აჩვენებს თუ რამდენჯერ უნდა გაიზარდოს წყობის საანგარიშო წინაღობა სვეტის სიმტკიცის უზრუნველსაყოფად.

5. განვსაზღვროთ დაარმატურებული წყობის საჭირო საანგარიშო წინაღობა $R_{sk} = R \cdot a = 0{,}18 \cdot 1{,}64 = 0{,}2952$ კნ/სმ$^2$.

6. მიღებული მნიშვნელობა გაეუტოლოთ საანგარიშო წინაღობას

$$R_{sk} = 0{,}2952 = R + \frac{2\mu R_s \gamma_{cs}}{100} = 0{,}18 \cdot 0{,}8 + \frac{2\mu \cdot 22{,}5}{100},$$

რომლიდანაც გამოითვლება დაარმატურების საჭიროა $\mu\%$

$$\mu\% = \frac{(R_{sk} - R\gamma_c)100}{2R_s\gamma_{cs}} = \frac{(0{,}2952 - 0{,}18 \cdot 0{,}8)}{2 \cdot 22{,}5} = 0{,}336\%.$$

7. განესაზღვროთ ბადეში არმატურის ღეროების $c$ ბიჯი

$$\mu = 0{,}336\% = (2A_{cr}/cs)100.$$

აქედან

$$S = \frac{2A_{s1} \cdot 100}{\mu c} = \frac{2 \cdot 0{,}071 \cdot 100}{0{,}336 \cdot 7{,}7} = 5{,}49 \text{ სმ}.$$

მივიღოთ წყობის დაარმატურების ბადე Ø3, Bp-I, არმატურის ღეროების ბიჯით $S = 60$ მმ.

8. დავაზუსტოთ მიღებული დაარმატურების პროცენტი

$$\mu = \frac{2A_u}{sc} \cdot 100 = \frac{2 \cdot 0{,}071}{6{,}0 \cdot 7{,}7} \cdot 100 = 0{,}307\% .$$

9. დავაზუსტოთ დაარმატურების შედეგად წყობის საანგარიშო $R_{sk}$ წინაღობა

$$R_{sk} = R\gamma_c + \frac{2\mu R_s \gamma_{cs}}{100} = 0{,}18 \cdot 0{,}8 + \frac{2 \cdot 0{.}307 \cdot 22{,}5}{100} = 0{,}282 \text{ კნ/სმ}^2.$$

10. შევამოწმოთ დაარმატურების პროცენტის სიდიდე

$$\mu = 0{,}282\% > \mu_{min} = 0{,}1\%;\ \mu_{max} = 50R\gamma_c / R_s\gamma_{cs} = 50 \cdot 0{,}18 \cdot 0{,}8/22{,}5 = 0{,}32\%;$$

მიღებული $\mu = 0{,}282 < \mu_{max} = 0{,}32\%$.

11. განვსაზღვროთ დაარმატურებული წყობის $\alpha_{sk}$ დრეკადი მახასიათებელი

$$\alpha_{sk} = \alpha R_u \Big/ R_{sku} = 1000 \frac{0{,}288}{0{,}4264} = 675{,}4 ,$$

სადაც $R_u = kR\gamma_c = 2 \cdot 0{,}18 \cdot 0.8 = 0{,}288$ კნ/სმ$^2$

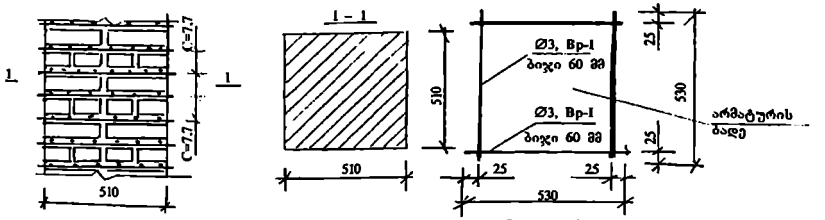
$$R_{sku} = kR\gamma_c + \frac{2 \cdot R_{sn} \cdot \gamma_{cs} \cdot \mu}{100} = 0{,}288 + \frac{2 \cdot 24{,}6 \cdot 0{,}282}{100} = 0{,}4264 \text{ კნ/სმ}^2.$$

12. ცხრილი 2.9-დან განვსაზღვრავთ გრძივი ღუნვის კოეფიციენტს წყობის დრეკადი მახასიათებლის $\alpha_{sk} = 675{,}4$ გათვალისწინებით და მოქნილობით $\lambda_h = 360/51 = 7.0$; $\varphi = 0{.}9025$.

13. შევამოწმოთ სვეტის ზიდვის უნარი (სიმტკიცე)

$$N = 583{,}09 \text{ კნ} < \Phi = m_g \varphi R_{sk} A = 1 \cdot 0{,}9025 \cdot 0{.}282 \cdot 2601 = 661.96 \text{ კნ}.$$

სვეტის ზიდვის უნარი უზრუნველყოფილია. მივიღოთ სვეტის განივკვეთის ზომები 510×510მმ. თიხის, მთლიანტანიანი აგურის, მარკით M100, ცემენტ-კირის დგლაბი M100 მარკის. დაარმატურებული აგურის ყოველ რიგში ბადეებით Ø3, Bp-I, ბიჯი 60 მმ ორივე მიმართულებით.




ნახ. 2.85. აგურის სვეტის დაარმატურება

## ლიტერატურა თავი 2-სათვის


1. საქართველოს სამშენებლო ნორმები და წესები – ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციები. პნ 03.01 - 09. თბ. 2009.
2. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. Общий курс. М.: Стройиздат, 1998.
3. Бондаренко В.М., Бакиров Р.О., Назаренко В.Г., Римшин В.И. Железобетонные и каменные конструкции. Москва, "Высшая школа", 2002 .
4. ნ. ნინუა. რკინაბეტონის კონსტრუქციები. სახელმძღვანელო. თბილისი. „განათლება“, 1988.
5. Попов Н.Н., Чариев М. Железобетонные и каменные конструкции. Москва, "Высшая школа", 1996.
6. Строительные нормы и правила. Нагрузки и воздействия (СНиП 2.01.07-85). М.: 1987.
7. Строительные нормы и правила. Каменные и армокаменные конструкции. Нормы проектирования. (СНиП II-22-81). М. 1983.
8. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81). М.: 1989.
9. Строительные нормы и правила. Основания зданий и сооружений. СНиП 2.01.01-85. М.: 1985.
10. გ. ჯაფარიძე. რკინაბეტონისა და ქვის კონსტრიუქციები. სახელმძღვანელო. თბილისი, „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2008.

# თავი 3. ლითონის კონსტრუქციები

## 3.1. ლითონის კონსტრუქციები გამოყენების სფერო

ლითონის კონსტრუქციები (ძირითადად ფოლადის კონსტრუქციები) ფართოდ გამოიყენება მშენებლობაში. მათი გამოყენების მიზანშეწონილობა უფრო იზრდება შენობებისა და ნაგებობების მალებისა და სიმაღლის, დატვირთვისა და სხვა ზემოქმედების ზრდასთან ერთად.

ლითონის კონსტრუქციები სახეობებისა და დანიშნულების მიხედვით შეიძლება დაიყოს:

1. სამრეწველო შენობებისათვის (ძირითადად ერთსართულიანი) გამოყენებული კონსტრუქციები. ტექნიკურ-ეკონომიკური თვალსაზრისით, ერთსართულიან სამრეწველო შენობებში ლითონის კონსტრუქციების გამოყენება ხელსაყრელია: ა) სვეტებისათვის, როდესაც შენობის სიმაღლე იატაკიდან წამწის ქვედა კიდემდე მეტია 14,4მ-ზე; ბ) თუ სვეტების ბიჯი უდრის ან მეტია 12,0მ-ზე; გ) სეისმურ რაიონებში მშენებლობისას (ბალიანობა 8...9 ბალი); დ) ხიდურა ამწის ტვირთამწეობა ტოლია ან მეტია 50ტ-ზე ან ამწის რეჟიმია განსაკუთრებით მძიმე; ე) სანივნივო და ნივნივქვეშა კონსტრუქციებისათვის, როდესაც მათი მალი ტოლია ან მეტი 30მ-ზე; 3) ამწისქვეშა კოჭებისათვის როდესაც მალი $\ell \geq 12,0$ მ-ზე, ხოლო ამწის ტვირთამწეობა აღემატება 30ტ-ს, ან მუშაობის რეჟიმია მძიმე; ზ) სვეტებისა და წამწეების ვერტიკალური და ჰორიზონტალური კავშირებისათვის, ფანრების მოსაწყობად; თ) როდესაც მშენებლობა ხორციელდება ძნელად მისადგომ რაიონებში.

2. შენობათა დიდმალიანი გადახურვებისათვის (40...100მ და მეტი). მაგალითად, სანახაობათა, სპორტული, სავაჭრო ან სხვა დანიშნულების (ანგარი, გარაჟი, თვითმფრინავმშენებლობის ასაწყობი საამქროები და ა.შ.) ნაგებობები.

3. ხიდებისათვის: რკინიგზის ხიდებში, თუ მალი 27,6 მ-ზე მეტია, ქალაქის და აეტოტრანსპორტის ხიდებში დაიშვება თუ მალი 42 მ-ზე მეტია. ძნელად მისასვლელ რაიონებში ძირითადად გამოიყენება ლითონის ხიდები.

4. ფურცლოვანი კონსტრუქციების მშენებლობისას: რეზერვუარებში, გაზგოლდერებში (აირსაცავი), ბუნკერებსა და სილოსებში, დიდი დიამეტრის მილსადენებში.

5. კოშკებსა და ანძებში. ესენია: ტელე და რადიოკავშირის ანძები, შუქურები და განათების კოშკები, ელექტროგადამცემი ხაზების საყრდენები, წყალსაწნეო კოშკები, მიწის დიდ სიღრმეზე საბურღავი კოშკები, საკვამლე მილები და ა.შ.

6. მრავალსართულიანი შენობების კარკასებში ფოლადის კონსტრუქციები გამოიყენება, როდესაც განსაკუთრებით დიდი დატვირთვაა გადახურვაზე და იმ შემთხვევაში, როდესაც სვეტებს შორის მანძილი 10-დან 18 მ-მდეა.

## 3.2. ლითონის კონსტრუქციების დადებითი და უარყოფითი თვისებები

ლითონის კონსტრუქციების დადებითი თვისებებია:

1. დიდი საიმედოობა და ხანგამძლეობა, რაც შედეგია ლითონის, როგორც კონსტრუქციული მასალის ერთგვაროვნებისა და სიმტკიცის მაღალი მახასიათებლების –

დრეკადობის მოდული $E = 2{,}1 \cdot 10^5$ მპა, დენადობის ზღვარი $\sigma_y = 230 \ldots 750$ მპა, დროებითი (ზღვრული) წინაღობა $\sigma_u = 380 \ldots 850$ მპა, საშუალო სიმკვრივე $\rho = 7850$ კგ/მ$^3$.

გარდა ამისა, დატვირთვის ქვეშ ფოლადი მუშაობს შედარებით მცირე დეფორმაციით (დაახლოებით 0,2%) დრეკადად (ნახ. 3.1, I მონაკვეთი), რაც დასაშვებია ნორმალური ექსპლუატაციისას, ხოლო მნიშვნელოვნად დიდი დეფორმაციით – პლასტიკურად (II მონაკვეთი) და დრეკად-პლასტიკურად (III მონაკვეთი), რაც ზიდვის უნარის საიმედო რეზერვს წარმოადგენს.

ფოლადი კარგად მუშაობს როგორც სტატიკურ, ისე დინამიკურ დატვირთვებზე;

2. სიმსუბუქე. მაღალი სიმტკიცის გამო, ფოლადისაგან დამზადებული კონსტრუქციები 1,5...2-ჯერ უფრო მსუბუქია ხისაზე, 8...12-ჯერ ბეტონისა და 20-ჯერ აგურის კონსტრუქციაზე, ხოლო ალუმინის შენადნობებისაგან დამზადებული კონსტრუქცია ფოლადისაზე მსუბუქია 2...2,5-ჯერ;

3. ინდუსტრიულობა. ფოლადის მასალა და მისგან დამზადებული კონსტრუქციები მზადდება სპეციალიზებულ ქარხნებში, სადაც ხელით მუშაობა მინიმუმამდეა დაყვანილი;

4. წყალ და აირშეუღწევობა, რაც განპირობებულია ფოლადის მაღალი სიმკვრივით. ეს თვისებები გამოყენებულია ფურცლოვან კონსტრუქციებში;

5. აწყობადობა და აწყობ-დაშლადობა, რაც ელემენტების ჭანჭიკებით შეერთების შესაძლებლობის შედეგია.

ლითონის კონსტრუქციების უარყოფითი თვისებები:

1. ფოლადი დეფიციტური მასალაა. იგი გამოიყენება მეურნეობის უამრავ დარგში. ზოგან იგი ფაქტიურად შეუცვლელია, ამიტომ მშენებლობაში გამოიყენება მხოლოდ მაშინ, როდესაც ეს გამართლებულია ტექნიკურ-ეკონომიკურად;

2. ფოლადი სუსტი კოროზიამედეგია. მისი ზედაპირული შრეები გარემოს გავლენისაგან (ტენიანობა, აირი, მარილები) განიცდის ჟანგვას და დროთა განმავლობაში – დაშლას. ამიტომ საჭიროებს სხვადასხვა მეთოდით საკმაოდ ძვირად ღირებულ დაცვას. შეიძლება ფოლადის ნაცვლად გამოვიყენოთ ალუმინის შენადნობები, რომელიც ბევრად მაღალი კოროზიამედეგი მასალაა, მაგრამ მისი ღირებულება ფოლადისაზე მნიშვნელოვნად მაღალია;

3. დაბალი ცეცხლმედეგობა. 500°C-ზე მაღალ ტემპერატურაზე ფოლადი, ხოლო 200°C-ზე მაღალზე – ალუმინის შენადნობი, კარგავს ზიდვის უნარს. ამიტომ შესაბამის შემთხვევაში ლითონის კონსტრუქციები საჭიროებს საიმედო თბოიზოლაციას (ცეცხლიზოლაციას);

4. მაღალი ღირებულება. ფოლადის კონსტრუქციები მნიშვნელოვნად ძვირია რკინაბეტონისაზე. ეს განსხვავება შედარებით მცირდება ფოლადის კონსტრუქციების სიმსუბუქით.

## 3.3. მასალები ლითონის კონსტრუქციებისათვის

ლითონის კონსტრუქციების ძირითად მასალას წარმოადგენს გაგლინული ფოლადი. ფოლადის სხმული და ალუმინის შენადნობები. ძირითადად გამოიყენება (95%-მდე) გაგლინული ფოლადი.

### 3.3.1. ფოლადი

ფოლადი რკინისა და ნახშირბადის შენადნობია – მცირე რაოდენობის შენარევთან ერთად, რომელიც შეყვება მადნიდან ან წარმოიქმნება გამოდნობის პროცესში და მალეგირებელი დანამატები, რომლებიც სპეციალურად შეჰყავთ ფოლადის თვისებების გასაუმჯობესებლად.

ფოლადები იყოფა ნახშირბადოვან და ლეგირებულ ფოლადებად. ნახშირბადოვანი ფოლადიც, ნახშირბადის რაოდენობის მიხედვით, იყოფა მცირენახშირბადოვან (0,09...0,23% ნახშირბადი), საშუალონახშირბადოვან (0,24...0,5%) და მაღალნახშირბადოვან (0,51...1,2%) ფოლადად. მშენებლობაში გამოიყენება ძირითადად მცირენახშირბადოვანი ფოლადი, რომელსაც აქვს მაღალი პლასტიკურობა და ახასიათებს კარგი შედუღებადობა. ლეგირებული ფოლადიც იყოფა სამ ჯგუფად: მცირედლეგირებული (მალეგირებელი დანამატების ჯამი არ აღემატება 2,5%-ს), საშუალოდლეგირებული (2,6...10%) და მაღალლეგირებული (10%-ზე მეტი). მშენებლობაში გამოიყენება ძირითადად მცირედლეგირებული ფოლადი.

ლითონის კონსტრუქციებში გამოყენებულ ფოლადს ძირითადად აწარმოებენ ორი ხერხით: მარტენის ღუმელში გამოდნობით და კონვერტორში ჟანგბადის განქარვით. თანამედროვე მეტალურგიაში ხშირად მარტენის ღუმელის ნაცვლად გამოიყენება ელექტრორკალური ღუმელი, რომელშიც დნობის ტემპერატურა წარმოიქმნება ნახშირის ელექტროღუმელში მაღალი ძალის ელექტროდენის გატარებით. ამ ორი მეთოდით წარმოებული ფოლადი თავისი ხარისხითა და მექანიკური თვისებებით პრაქტიკულად ერთნაირია, მაგრამ ჟანგბად-კონვერტორული მეთოდით ფოლადის წარმოება უფრო მარტივია და იაფი.

### 3.3.2. ფოლადის სიმტკიცე და დეფორმირება

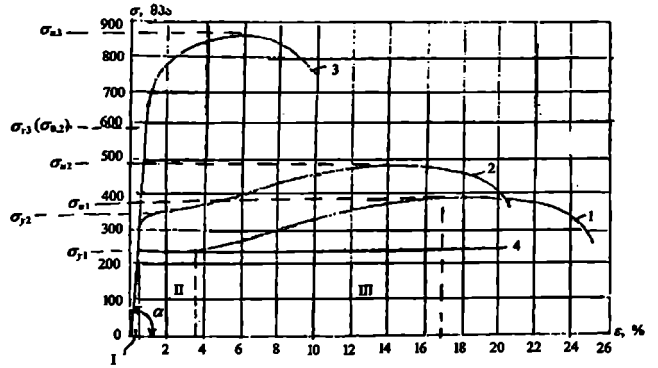
ლითონის სამშენებლო კონსტრუქციების ხარისხი და საიმედოობა მნიშვნელოვანწილად დამოკიდებულია ფოლადის, როგორც მასალის ხარისხზე, მექანიკურ თვისებებსა და შედუღებადობაზე.

ფოლადის მექანიკური თვისებაა: წინააღმდეგობა გაუწიოს სტატიკურ ძალოვან ზემოქმედებას (ამ წინაღობის მახასიათებელია დროებითი, ზღვრული წინაღობა $\sigma_u$ და დენადობის ზღვარი $\sigma_y$); წინააღმდეგობა გაუწიოს დინამიკურ ზემოქმედებას და მყიფე რღვევას (დარტყმითი სიბლანტე); პლასტიკურობა (ფარდობითი წაგრძელება); განშრევებისადმი წინაღობა (ციე მდგომარეობაში გადაღუნვის შესაძლებლობა).

ფოლადის შედუღებადობა დამოკიდებულია ქიმიურ შედგენილობასა და წარმოების ტექნოლოგიაზე. ფოლადის მნიშვნელოვან თვისებას წარმოადგენს

დეფორმაციულობა, რის გამოც იგი მუშაობს როგორც დრეკადად, ასევე დრეკად-პლასტიკურად და პლასტიკურად, რაც ერთ-ერთი მთავარი პირობაა ფოლადის სამშენებლო კონსტრუქციებში გამოსაყენებლად.

ფოლადის სიმტკიცისა და დეფორმაციულობის გამოკვლევა ხდება ექსპერიმენტით, როდესაც მის ნიმუშებს ცდიან გაჭიმვაზე დატვირთვის თანდათანობით მომატებით. ყოველ ეტაპზე ხელსაწყოთი იზომება წაგრძელება (დეფორმაცია) $\Delta l$, გამოითვლება შესაბამისი ფარდობითი დეფორმაცია $\varepsilon = \Delta l / l$ (აქ $l$ არის გამოსაცდელი ნიმუშის იმ მონაკვეთის სიგრძე, რომელიც განიცდის გაჭიმვას) და გადაიზომება აბსცისთა ღერძზე (ნახ. 3.1). ორდინატთა ღერძზე გადაიზომება დატვირთვის შესაბამისი ძაბვა $\sigma = N/A$ ($N$ – დატვირთვა, $A$ – ნიმუშის განივკვეთის ფართობი).




ნახ. 3.1. ფოლადის გაჭიმვის $\sigma - \varepsilon$ დიაგრამა
1 – ფოლადის C 235; 2 – ფოლადის C 245; 3 – ფოლადი C 590;
4 – პრანდტლის იდეალიზებული გრაფიკი;
$\sigma_y$ – დენადობის ზღვარი; $\sigma_u$ – დროებითი (ზღვრული) წინაღობა.

ნახ. 3.1-ის მიხედვით ფოლადის ნიმუში, სანამ მასში ძაბვა მიაღწევს $\sigma_y$ დენადობის ზღვარს, მუშაობს პრაქტიკულად დრეკადად (I უბანი). ამ დროს დეფორმაცია დაახლოებით 0,2%-ის ტოლია. შემდეგ ვითარდება დიდი დეფორმაცია, ხოლო ძაბვა რჩება მუდმივი სიდიდის. განვითარდება პლასტიკური დეფორმაცია, რაც გრაფიკზე აისახება ჰორიზონტალური მონაკვეთით ანუ წარმოიქმნება დენადობის ბაქანი (II უბანი). როდესაც ფარდობითი დეფორმაცია მიაღწევს 2,5%-ს, მასალის დენადობა შეწყდება და ნიმუში ისევე იწყებს წინაღობას – იზრდება ძაბვა. ეს გამოწვეულია ფოლადის სტრუქტურული ცვლილებით და ეწოდება თვითგანმტკიცების სტადია. ამ დროს მასალა მუშაობს, როგორც დრეკად-პლასტიკური (III უბანი). დატვირთვის თანდათან გაზრდით ძაბვის სიდიდე მიაღწევს $\sigma_u$ დროებით წინაღობას, რომელიც შეესაბამება დატვირთვის ზღვრულ მნიშვნელობას, რომლის დადგომის შემდეგ ნიმუშში ცხადად ჩანს კეთის შემცირება, წარმოიშობა ეგრეთ წოდებული „ყელი“ და ნიმუში გაწყდება.

მაღალი სიმტკიცის ფოლადის გამოცდისას (ნახ. 3.1-ზე გრაფიკი 3) პლასტიკური დეფორმაცია იზრდება თანდათან, ძაბვის ზრდასთან ერთად ისე, რომ დენადობის ბაქანი არ წარმოიქმნება. ასეთი ფოლადის პირობითი დენადობის ზღვარის შესაბამისია ის ძაბვა, რომლის დროსაც ნარჩენი დეფორმაცია მიაღწევს 0,2%-ს, მაშინ $\sigma_y = \sigma_{0,2}$.

სამშენებლო პრაქტიკაში გაერცელებული კონსტრუქციების გაანგარიშებისას ითვლება, რომ მათი ძირითადი ნაწილი ექსპლუატაციის დროს მუშაობს დრეკადად ე.ი. მასში წინაღობის მაქსიმალური ძაბვა განისაზღვრება $\sigma_y$ დენადობის ზღვარით. შესაბამისად კონსტრუქციის მასალის – ფოლადის ნორმატიული წინაღობა $\sigma_{yn}$ აიღება დენადობის ზღვარის მიხედვით, ხოლო საანგარიშო მნიშვნელობა $\sigma_y$ – ნორმატიული წინაღობის შეფარდებით საიმედოობის $\gamma_n$ კოეფიციენტზე და გამრავლებით მუშაობის პირობების $\gamma_c$ კოეფიციენტზე.

ზოგიერთ შემთხვევაში, გაანგარიშებისას საჭიროა გამოვიყენოთ ნორმატიული და საანგარიშო წინაღობები $\sigma_u$ დროებითი წინაღობის მიხედვით ($R_{un}$ და $R_u$);

ფოლადის ნორმატიული და საანგარიშო წინაღობები, ფოლადის ქიმიურ შედგენილობაზე (მარკა), ნაგლინის სახეობასა (ფურცლოვანი თუ ფასონური) და კედლის სისქეზე დამოკიდებულებით მოცემულია სათანადო ნორმებსა და წესებში [4]. ამავე ნორმებშია $\gamma_n$ საიმედოობისა და $\gamma_c$ მუშაობის პირობების გამთვალისწინებელი კოეფიციენტების სიდიდეები.

მთელი რიგი გაანგარიშებებისათვის და განსაკუთრებით $\sigma$ ძაბვასა და $\varepsilon$ ფარდობითი დეფორმაციის ურთიერთკავშირის დასამყარებლად მასალათა გამძლეობის ცნობილ ტოლობაში $\sigma = \varepsilon E$ საჭიროა დრეკადობის $E$ მოდულის ცოდნა. ფოლადის დრეკადობის მოდული რიცხობრივად ტოლია ნახ. 3.1-ზე გამოხაზული დიაგრამის დრეკადი უბნის აბსცისის ღერძთან დახრის $\alpha$ კუთხის ტანგენსის – $E = tg\alpha$. მშენებლობაში გამოყენებული ფოლადისათვის დრეკადობის მოდულის სიდიდეები მოცემულია სათანადო ნორმებში [4].

მშენებლობაში ფართოდ გამოყენებული ფოლადის ფიზიკურ-მექანიკური ზოგიერთი მახასიათებლის რიცხვითი მნიშვნელობებია:

- ფოლადის სიმკვრივე $\rho = 7850$ კგ/მ$^3$;
- დრეკადობის მოდული $E = 2,06 \cdot 10^5$ მპა $= 2,06 \cdot 10^7$ ნ/სმ$^2$;
- ძვრის მოდული $G = 0,81 \cdot 10^5$ მპა $= 0,81 \cdot 10^7$ ნ/სმ$^2$;
- პუასონის კოეფიციენტი $\nu = 0,3$.

### 3.3.3. ფოლადების ქიმიური შედგენილობა (მარკა) და პირობითი აღნიშვნები

ფოლადის კონსტრუქციები სირთულის, პასუხისმგებლობის ხარისხისა და ექსპლუატაციის პირობების მიხედვით, იყოფა ოთხ ჯგუფად. პირველი ჯგუფის კონსტრუქციები განიცდის უფრო რთულ დაძაბულ მდგომარეობას, ვიდრე მომდევნო

ჯგუფისა, მეოთხე ჯგუფის კონსტრუქციები ჩვეულებრივი, ყველაზე მარტივად დაძაბული კონსტრუქციებია. შესაბამისად ხდება ფოლადის შერჩევა ნორმების მიხედვით მშენებლობის ყოველი კონკრეტული შემთხვევისათვის [4].

ფოლადის აღნიშვნა (კლასი) მოცემულია მათი დენადობის ზღვარის – $\sigma_y$-ს მიხედვით. ამჟამად შემოღებულია შემდეგი აღნიშვნები:

1. მცირენახშირბადიანი, ჩვეულებრივი სიმტკიცის ფოლადი ($\sigma_y < 290$ მპა) – С235, С245, С255, С275, С255 და სხვა.
2. ამაღლებული (მომატებული) სიმტკიცის ფოლადი ($290 \le \sigma_y < 400$ მპა) – С345, С345Т და სხვა;
3. მაღალი სიმტკიცის ფოლადია – С390, С390Т, С440, С590 და სხვა.

ფოლადის კლასში „С“ ნიშნავს „ფოლადს“ (Сталь), სამნიშნა რიცხვი დენადობის ზღვარს, გამოსახულს მეგაპასკალებით (ერთეულთა საერთაშორისო სისტემის – SI-ს მიხედვით). Т ნიშნავს – თერმულად განმტკიცებულს (გაუმჯობესებულს).

ევროპული სტანდარტის *EN*-ის შესაბამისად სამშენებლო კონსტრუქციებში გამოყენებული ფოლადი 1993 წლიდან აღინიშნება BSEN 10025, BSEN 10025, BSEN 10210, BSEN 10219. 2003 წელს გამოვიდა მოდიფიცირებული ფოლადის აღნიშვნა, რომელიც მოიცავს ყველა სახის ფოლადს, რომელიც მშენებლობაში გამოიყენება. ესენია: S275, S275IR, S275IO, S275I2, S355, S555IR, S355IO, S355I2 და სხვა. ამ აღნიშვნაში „S“ ნიშნავს „ფოლადს“ (Steel). მომდევნო სამნიშნა რიცხვი – $\sigma_y$ დენადობის ზღვარს მეგაპასკალებში, IR – ოთახის ტემპერატურაზე საკმარისი დარტყმითი სიბლანტის უზრუნველყოფას, IO – იგივე 0°C ტემპერატურაზე, I2 – უარყოფით – 20°C ტემპერატურაზე დარტყმითი სიბლანტის უზრუნველყოფას.

ზემოთმოცემული ფოლადის ქიმიური შედგენილობის საბაზო მარკას წარმოადგენს „Ст-3“ (ევროპაშიც დაახლოებით ასეთი მარკის ფოლადი გამოიყენება). აღნიშნული მარკის ძირითადი შემადგენელი, რკინასთან ერთად, არის ნახშირბადი (Y), რომელიც ზრდის დენადობის ზღვარს და სიმტკიცეს, მაგრამ აუარესებს პლასტიკურობასა და შედუღებადობას. ამიტომ მშენებლობაში ძირითადად გამოიყენება მცირენახშირბადიანი (0,12...0,22%) ფოლადი. გარდა ნახშირბადისა, ფოლადების შედგენილობაში შეჰყავთ ისეთი მალეგირებელი დანამატები, რომლებიც აუმჯობესებს ფოლადის ზოგიერთ მახასიათებელს.

კაუბადი (С) (0,05...0,3%) – იწვევს ფოლადის განუანგვას. ზრდის სიმტკიცეს, მაგრამ ნაწილობრივ ამცირებს შედუღებადობას, კოროზიამედეგობას, დარტყმით სიბლანტეს. კაუბადის მაუნე გაელენა კომპენსირდება მანგანუმის შედარებით დიდი რაოდენობით ლეგირებით.

მანგანუმი (Г) (0,3...0,65%) ზრდის სიმტკიცეს პლასტიკურობის მცირე დადაბლებით.

სპილენძი (Д) – ოდნავ ზრდის სიმტკიცეს, ზრდის კოროზიამედეგობას, იწვევს ფოლადის დაბერებას.

ალუმინი (Ю) – კარგად განუანგავს ფოლადს, ანეიტრალებს ფოსფორის მაუნე გაელენას, მნიშვნელოვნად ზრდის დარტყმით სიბლანტეს.

ფოლადის მექანიკური თვისებები მნიშვნელოვნად უმჯობესდება ისეთი

მალეგირებელი დანამატების შეტანით, როგორებიცაა: ნიკელი (Н), ქრომი (Х), ვანადიუმი (Ф), ვოლფრამი (В), ბორი (Б), მოლობდენი (М). მაგრამ სამშენებლო ფოლადებში ამ დანამატების გამოყენება შეზღუდულია მათი დეფიციტურობისა და მაღალი ღირებულების გამო.

როგორც ვხედავთ, მალეგირებელი დანამატები ცვლის ფოლადის სხვადასხვა თვისებას. ზოგი ზრდის სიმტკიცეს (ნახშირბადი, კაუბადი, მანგანუმი), მაგრამ ამცირებს პლასტიკურობას; ზრდის კოროზიამედეგობას (სპილენძი), დარტყმით სიმტკიცეს (ალუმინი), ბორი და მოლიბდენი ააღვილებს წრთობას, რადგან გაცივებისას ფოლადი არ ხდება მსხვრევადი. არის მინარევი, რომელიც აადვილებს შედუღებას, ზრდის პლასტიკურობას და ა.შ. რადგან მალეგირებელი დანამატი აუმჯობესებს რომელიმე თვისებას, მაგრამ შეიძლება გააუარესოს სხვა თვისება, ამიტომ მათი ურთიერთშეფარდება და რაოდენობა ზუსტად უნდა შეესაბამებოდეს სტანდარტის მიერ რეკომენდებულს.

მალეგირებელი დანამატების სახეობა და რაოდენობა აისახება ფოლადის მარკის (ქიმიური შედგენილობის) აღნიშვნაში. მაგალითად, ფოლადის 15Г2СХНД-ში ნახშირბადია 0,15%, მანგანუმი (Г) 1-დან 2%-მდე, კაუბადი (С) – 1%-მდე, ქრომი (Х), ნიკელი (Н) და სპილენძი (Д), თითოეული არა უმეტეს 1%-ისა (თუ მალეგირებელი დანამატის რაოდენობაა 0,3...1%-მდე – ციფრით არ აღინიშნება. 0,3% ნაკლები დანამატი მარკაში საერთოდ არ აღინიშნება).

მარკის აღნიშნაში, აგრეთვე, ნაჩვენებია, თუ როგორი ტექნოლოგიით არის ფოლადი დამზადებული და რომელ კატეგორიას მიეკუთვნება. მაგალითად, თუ ფოლადი განუჟანგავია, მარკის აღნიშვნას ერთვის „КП“ („მდუღარე“), ნახევრად განუჟანგავს – „ПСП“ (ნახევრად მშვიდი), თუ ფოლადი განჟანგულია – „СП“ (მშვიდი).

კატეგორიის აღმნიშვნელი ციფრი, რომელიც მარკის ბოლოშია მოცემული, აღნიშნავს თუ როგორი ტემპერატურისას (+20°С-დან –20°С-მდე) არის დარტყმითი სიბლანტე გამოცდილი და უზრუნველყოფილი.

მშენებლობაში ხშირად გამოყენებული მცირენახშირბადოვანი ფოლადი დაყოფილია ექვს კატეგორიად. მაგალითად: განუჟანგავს ამზადებენ მე-2 კატეგორიის ფოლადისაგან და იგი აღინიშნება ВСт3кп2, ნახევრად განუჟანგაეი – ВСт3псп6 (ე.ი. მეექვსე კატეგორიის ფოლადია), მანგანუმის შემცველი ფოლადი ძირითადად მეხუთე კატეგორიისაა. მაგალითად, ВСт3.Гпсп5, ВСт3Гсп5.

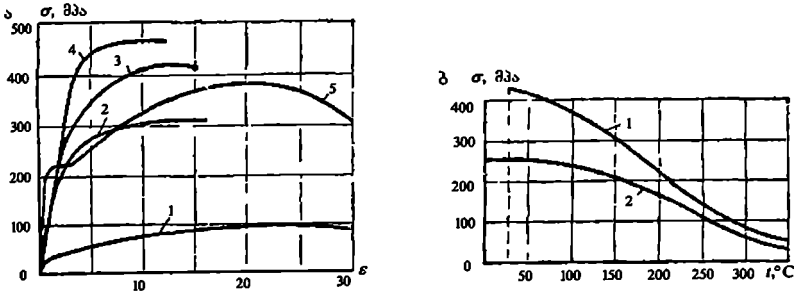
მცირენახშირბადიანი ფოლადი არის სამი ჯგუფის: А – გარანტირებული მექანიკური თვისებებით, Б – გარანტირებული ქიმიური შედგენილობით და В – გარანტირებული ორივე თვისებით. სამშენებლო ფოლადი, მისი პასუხისმგებლობით მაღალი ხარისხის გამო, გამოიყენება მხოლოდ В ჯგუფის. თუ მარკის წინ არ იწერება А,Б ან В, ეს ნიშნავს, რომ ასეთი ფოლადი განსაკუთრებულია და, როგორც წესი, მიეწოდება მხოლოდ В-ს შესაბამისი გარანტიით (10Г2С; 14Г2; 15ХСНД).

ყველა სამშენებლო ფოლადის არასასურველი მინარევებია ფოსფორი, გოგირდი, ჟანგბადი, წყალბადი და სუფთა აზოტი, რომლებიც ამცირებს ფოლადის

ხარისხს: მცირდება ერთგვაროვნება, იზრდება სიმყიფე, უარესდება შედუღებადობა. მაგალითად, ფოსფორი ზრდის ფოლადის მსხვრევადობას დაბალ ტემპერატურაზე, გოგირდი ზრდის მსხვრევადობას, ოღონდ მაღალ ტემპერატურაზე (800...1000°C). ამიტომ არის, რომ ფოლადის გამოდნობისას მკაცრად უნდა იქნეს დაცული ტექნოლოგია, რაც არასასურველი მინარევების მინიმუმამდე დაყვანას გულისხმობს. მათი რაოდენობა მკაცრად არის შეზღუდული. მაგალითად, ფოსფორი და გოგირდი არ უნდა აჭარბებდეს 0,04...0,05%-ს, თავისუფალი აზოტი – 0,008%-ს. შედუღებისას სხვადასხვა მეთოდით იზღუდება მაგნე აირების (ჟანგბადი, წყალბადი, აზოტი) ზემოქმედება.

### 3.3.4. ალუმინის შენადნობები

ალუმინი, ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მიხედვით, მნიშვნელოვნად განსხვავდება ფოლადისგან. მისი სიმკვრივეა $\rho = 2{,}7$ ტ/მ$^3$ ანუ თითქმის სამჯერ ნაკლებია, ვიდრე ფოლადის სიმკვრივე ($\rho_ფ = 7{,}85$ ტ/მ$^3$). ალუმინის გრძივი დრეკადობის მოდული $E = 7{,}1 \cdot 10^4$ მპა-ს, ხოლო ძვრის მოდული $G = 2{,}7 \cdot 10^4$ მპა-ს, რაც დაახლოებით სამჯერ ნაკლებია ფოლადისაზე. ალუმინს არ აღენიშნება დენადობის ბაქანი $\sigma - \varepsilon$ გრაფიკზე (ნახ. 3.2). დრეკადი დეფორმაციების წრფე პირდაპირ გადადის დრეკად-პლასტიკური დეფორმაციების მრუდში. ალუმინი ძალიან პლასტიკურია. წაგრძელება გაგლეჯისას 40...50%-ს აღწევს, მაგრამ მისი სიმტკიცე საკმაოდ დაბალია $\sigma_в = 60 \ldots 70$ მპა-ს, ხოლო პირობითი დენადობის ზღვარი $\sigma_{0.2} = 20 \ldots 30$ მპა-ს. სუფთა ალუმინი პაერზე სწრაფად იფარება ჟანგის აფსკით, რომელიც ხელს უშლის დაჟანგვის პროცესის შემდგომ განვითარებას.




ნახ. 3.2. ა) ალუმინის შენადნობების გაჭიმვის დიაგრამები
1 – სუფთა ალუმინი; 2 – АМ-6; 3 – АВ-Т4; 4 – Д16-Т; 5 – ფოლადი Ст-3.
ბ) Д16-Т შენადნობის მექანიკური მახასიათებლები ტემპერატურის ცვლილებისას.
1 – სიმტკიცის ზღვარი; 2 – დენადობის ზღვარი.

იმის გამო, რომ ტექნიკურად სუფთა ალუმინი დაბალი სიმტკიცისაა სამშენებლო კონსტრუქციებში პრაქტიკულად არ გამოიყენება. მისი სიმტკიცის

მნიშვნელოვნად გაზრდა მიიღწევა მანგანუმით, მაგნიუმით, სპილენძით, კაუბადით, თუთიით, ტიტანითა და სხვა მალეგირებელი დანამატებით. მართალია, ამ დროს სიმტკიცე მატულობს თითქმის 5-ჯერ, მაგრამ ფარდობითი წაგრძელება (დეფორმაციულობა) მცირდება 2...3-ჯერ.

ალუმინის მრავალკომპონენტიანი შენადნობების (Al-Mg-Si; Al-Cu-Mg; Al-Mg-Zn) მნიშვნელოვანი თვისებაა სიმტკიცის ზრდა (400 მპა-მდე), თერმული განმტკიცების შედეგად (შენადნობის ხელოვნური დაძველება). აღსანიშნავია, რომ ამ დროს ფარდობითი წაგრძელება შეადგენს მხოლოდ 5...10%-ს. თერმული განმტკიცება საკმაოდ ფაქიზი ტექნოლოგიური პროცესია, რადგან ტემპერატურის ერთდროული ზრდა სუფთა ალუმინის სიმტკიცის დაქვეითებას იწვევს და 300°C-ის შემდეგ თითქმის ნულს უტოლდება. ყველა შენადნობის ქიმიური შედგენილობა მოცემულია სათანადო მარკის აღნიშვნით, ხოლო სამშენებლო კონსტრუქციებში რეკომენდებული მარკები მოცემულია შესაბამის ნორმებში [5].

ალუმინის შენადნობების მთავარი ღირსებაა უმნიშვნელო მასა, მაღალი კოროზიამედეგობა, კარგად მუშაობს დაბალ (უარყოფით) ტემპერატურისას, ანტიმაგნიტურია, დარტყმისას არ წარმოქმნის ნაპერწკალს, ხანგამძლეობა და კარგი გარეგნული ფაქტურა განსაზღვრავს ალუმინის შენადნობების კონსტრუქციების გამოყენების არეს.

ძირითადი უარყოფითი თვისებები, რომლის გამო სამშენებლო კონსტრუქციებში ალუმინის გამოყენება საკმაოდ შეზღუდულია, არის დეფიციტურობა, მაღალი ღირებულება და დაბალი სიხისტე. ამიტომ მათი გამოყენება მზიდ კონსტრუქციებში ხდება მხოლოდ განსაკუთრებულ შემთხვევაში, სათანადო დასაბუთებით.

როგორც ფოლადის, ასევე ალუმინის შენადნობის გამოყენების მიზანშეწონილობა უნდა მოხდეს შესაბამისი ტექნიკურ-ეკონომიკური გათვლის საფუძველზე, ხოლო შერჩევა – სათანადო ნორმების მითითების თანახმად.

### 3.4. ლითონის კონსტრუქციების გაანგარიშების ძირითადი დებულებები

ლითონის კონსტრუქციები გაიანგარიშება ყველა სახის ძალოვან ზემოქმედებაზე, ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით (იხ. სახელმძღვანელოს I თავი).

განვიხილოთ ლითონის კონსტრუქციებისათვის დამახასიათებელი თავისებურებები, რომლებიც შეგვხვდება გაანგარიშებისას.

ლითონის $R_{yn}$ ნორმატიული წინაღობა, როგორც წესი, აიღება დენადობის ზღვარის უმცირესი მნიშვნელობის ტოლი, რომელიც გარანტირებულია შესაბამისი ალბათური საიმედოობით (0,95) და ტექნიკური პირობებით, ე.ი. $R_{yn} = \sigma_y$.

იმ შემთხვევაში, როდესაც გაჭიმული ელემენტის ექსპლუატაცია მას შემდეგაც შესაძლებელია, როდესაც ლითონი მიაღწევს დენადობის ზღვარს, ნორმატიული წინაღობად მიიღება $R_{un}$ ანუ გაჭიმვაზე დროებითი წინაღობის უმცირესი მნიშვნელობა, ე.ი. $R_{yn} = \sigma_u$. $R_y$ ან $R_u$ საანგარიშო წინაღობა (დენადობის ზღვარის ან დროებითი, ზღვრული წინაღობის მიხედვით) განისაზღვრება

ნორმატიული მნიშვნელობების გაყოფით მასალის საიმედოობის კოეფიციენტზე $\gamma_m > 1$; სხვადასხვა მარკის ლითონებისათვის $\gamma_m$ იცვლება 1,025-დან 1,15-მდე.

ნაგებობის, კონსტრუქციების ან ცალკეული ელემენტის, აგრეთვე, შეერთებების მუშაობის თავისებურებები, რომლებიც პირდაპირ ანგარიშში არ აისახება, მაგრამ გაელენას ახდენს მათ საექსპლუატაციო თვისებებზე, გაითვალისწინება $\gamma_c$ მუშაობის პირობების კოეფიციენტის შემოტანით, რომლის სიდიდე იცვლება 0,9-დან 0,75-მდე.

თუ კონსტრუქციის ელემენტები გაიანგარიშება სიმტკიცეზე დროებითი წინაღობის მიხედვით. მაშინ დამატებით საჭიროა $\gamma_u = 1{,}3$ საიმედოობის კოეფიციენტის გათვალისწინება.

ცხრილი 3.1

| ფოლადის მარკა | ნაგლინის სახეობა | ნაგლინის სისქე, მმ | საანგარიშო წინაღობა, მპა | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $R_y$(დენ.) | $R_u$(ზღვრ.) | $R_s$(ძვრა) | $R_p$(თელ.) |
| 18სპ, 18Გსპ | ფურცელი | 4...20 | 230 | 360 | 133 | 336 |
| 18Გსპ | " | 21...30 | 220 | 360 | 128 | 336 |
| 18Გსპ | | 31...40 | 230 | 380 | 133 | 355 |
| 18სპ, 18Გპс, 18Გსპ | ფასონური | 4...20 | 240 | 360 | 139 | 336 |
| ВСт3სპ5–1 | ფურცელი | 4...10 | 240 | 370 | 139 | 346 |
| ВСт3Гсп5–1 | " | 11...20 | 230 | 360 | 133 | 336 |
| | ფასონური | 4...10 | 250 | 370 | 145 | 346 |
| | " | 11...20 | 240 | 360 | 139 | 336 |
| ВСт3სპ5–2 | ფურცელი | 4...10 | 270 | 370 | 157 | 346 |
| ВСт3Гсп5–2 | " | 11...20 | 260 | 260 | 151 | 336 |
| | ფასონური | 4...10 | 280 | 280 | 162 | 355 |
| | " | 11...20 | 270 | 270 | 157 | 346 |
| 09Г2С–1 | ფურცელი | 4...10 | 335 | 480 | 194 | 445 |
| | " | 11...20 | 315 | 460 | 183 | 427 |
| | ფასონური | 4...10 | 335 | 480 | 194 | 445 |
| | " | 11...20 | 315 | 460 | 183 | 427 |
| 09Г2С–2 | ფურცელი | 4...10 | 355 | 500 | 206 | 464 |
| | " | 11...20 | 335 | 480 | 194 | 445 |
| | ფასონური | 4...10 | 360 | 505 | 209 | 473 |
| | " | 11...20 | 345 | 490 | 200 | 455 |
| 14Г2 | ფურცელი | 4...9 | 320 | 440 | 186 | 418 |
| | " | 10...32 | 310 | 430 | 180 | 209 |
| | ფასონური | 4...9 | 320 | 440 | 186 | 418 |
| | " | 10...32 | 310 | 430 | 180 | 409 |
| ВСт3სპ6, | ფურცელი | 4...20 | 225 | 350 | 131 | 336 |
| ВСт3სპ5, | " | 21-40 | 215 | 350 | 125 | 336 |
| ВСт3Гсп5 | ფასონური | 4...20 | 235 | 350 | 136 | 336 |
| | " | 21...40 | 215 | 350 | 125 | 336 |
| 09Г2 | ფურცელი | 4...20 | 290 | 420 | 168 | 400 |
| | " | 21...32 | 280 | 420 | 162 | 400 |
| | ფასონური | 4...20 | 290 | 420 | 168 | 400 |
| | " | 21...32 | 280 | 420 | 162 | 400 |

როდესაც ფოლადის კონსტრუქციები დამზადებულია პროფილოვანი ნაგლინის ან მილებისაგან, მათთვის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვისას, კუმშვისას და ღუნვაზე განისაზღვრება დენადობის ზღვარის მიხედვით $R_y = R_{yn}/\gamma_m$, იგივე, დროებითი წინაღობის მიხედვით – $R_u = R_{un}/\gamma_m$, ძვრის დროს $R_s = 0{,}58R_y$, თელვისას $R_p = R_{pn}/\gamma_m$. საანგარიშო წინაღობის განსაზღვრისას გასათვალისწინებელია ის

გარემოება, რომ სხვადასხვა ფოლადის მექანიკური თვისებები დამოკიდებულია ნაგლინის სახეობასა და სისქეზე, რაც კარგად ჩანს ცხრილ 3.1-ში.

### 3.4.1. ცენტრალურად გაჭიმული და ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტები

– ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტები.

ასეთი ელემენტების მუშაობა დატვირთვის ზემოქმედების ქვეშ, მთლიანად შეესაბამება ფოლადის, როგორც მასალის გაჭიმვაზე მუშაობის დიაგრამას (ნახ. 2.1).

ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების ზიდვის უნარის (სიმტკიცის) მიხედვით შემოწმება ძირითადია პირველი ჯგუფის ზღერულ მდგომარეობებს შორის, რომელიც გამოისახება შემდეგნაირად

$$\sigma = N/A_n \le R_y\gamma_c , \qquad (3.1)$$

სადაც $\sigma$ ძაბვაა ცენტრალურად გაჭიმულ ელემენტში;

$N$ – გამჭიმავი ძალა ელემენტში საანგარიშო დატვირთვისაგან;

$A_n$ – შესამოწმებელი ელემენტის განივი კვეთის ფართობი, შესუსტების გამოკლებით (კვეთის ნეტო ფართობი);

$R_y$ – ლითონის საანგარიშო წინაღობა;

$\gamma_c$ – ელემენტის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი.

გაანგარიშება (3.1) ფორმულის მიხედვით არ უშვებს პლასტიკური დეფორმაციების წარმოქმნას შესუსტებულ კვეთში.

თუ გაჭიმული ელემენტი დამზადებულია ისეთი ფოლადისაგან, რომლისთვის შეფარდება $R_u/\gamma_u > R_y$, ხოლო ექსპლუატაცია შესაძლებელია მას შემდეგაც, როდესაც ლითონი მიაღწევს დენადობის ზღვარს, მაშინ გაანგარიშება ხდება ფორმულით

$$\sigma = N/A_n \le R_u\gamma_c/\gamma_u , \qquad (3.2)$$

სადაც $\gamma_u$ საიმედოობის კოეფიციენტია ($\gamma_u = 1{,}3$).

გაჭიმული ელემენტები, სიმტკიცის გარდა, უზრუნველყოფილი უნდა იყოს საკმარისი სიხისტით, რათა ტრანსპორტირებისა და მონტაჟისას თავიდან ავიცილოთ მათი დაზიანება, ექსპლუატაციის პროცესში საკუთარი წონისაგან არ მოხდეს დასაშვებზე უფრო დიდი ჩაღუნვა და დინამიკური ზემოქმედების შემთხვევაში ავიცილოთ მნიშვნელოვანი ვიბრაცია. ამიტომ უნდა შემოწმდეს გაჭიმული ელემენტების მოქნილობა, რომ მან არ გადააჭარბოს ნორმებით დასაშვებ $\lambda_u$ სიდიდეს (იხ. ცხრილი 3.2).

ცხრილი 3.2

| № | კონსტრუქციის ელემენტები | მაქსიმალური დასაშვები მოქნილობა $\lambda_u$ | |
|---|---|---|---|
| | | სტატიკური დატვირთვისას | დინამიკური დატვირთვისას |
| 1. | ბრტყელი წამწის ქვედა სარტყელი და საყრდენი ირიბანა | 400 | 250 |
| 2. | წამწის სხვა გაჭიმული ელემენტები | 400 | 350 |
| 3. | ამწისქვეშა კოჭის და წამწის ქვედა სარტყელი | – | 150 |
| 4. | სვეტებს შორის ვერტიკალური კავშირები | 300 | 300 |
| 5. | კავშირების სხვა ელემენტები | 400 | 400 |

მოქნილობის შემოწმება ხდება გამოსახულებით

$$\lambda = \ell_{ef} / i \le \lambda_u , \qquad (3.3)$$

აქ $\ell_{ef}$ ელემენტის საანგარიშო სიგრძეა;

$i$ – განივი კვეთის ინერციის რადიუსი.

– ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტები.

ასეთი ელემენტების გაანგარიშება ხდება პირველი ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით სიმტკიცეზე. ამასთან, თუ ელემენტის სიგრძე აღემატება განივი კვეთის უმცირეს ზომას არა უმეტეს 5...6-ჯერ (მოკლე ელემენტი), მაშინ სიმტკიცეზე შემოწმება ხდება (3.1) ფორმულით, ხოლო უფრო გრძელი (მოქნილი) ელემენტები უნდა შემოწმდეს ფორმის მდგრადობის მიხედვით, ფორმულით

$$\sigma = N / A \cdot \varphi \le R_y \gamma_c , \qquad (3.4)$$

სადაც $A$ განივი კვეთის მთლიანი ფართობია, შესუსტებებიანად (ბრუტო);

$\varphi$ – გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი, დამოკიდებული $\lambda$ მოქნილობაზე, განისაზღვრება ცხრილი 3.3-დან. გრძივი ღუნვის $\varphi$ კოეფიციენტის შემოტანას ის აზრი აქვს, რომ იგი ამცირებს საანგარიშო წინაღობას მდგრადობის დაკარგვის შესაბამის კრიტიკულ ძაბვამდე ანუ უზრუნველყოფს ღეროს მდგრად წონასწორობას, ამავე დროს ითვალისწინებს შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტის გაელენასაც. (შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტი შეიძლება წარმოიქმნას დატვირთვის არათანაბარი განაწილებით ან შეკუმშული ღეროს საწყისი გაღუნვით).

ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტის მუშაობა მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული ბოლოების ჩამაგრებასა და დატვირთვის მოდების ხერხზე. ცხრილ 3.3-ში მოცემულია $\varphi$ კოეფიციენტების მნიშვნელობები, განსაზღვრული გრძივი ღუნვის ძირითადი შემთხვევისათვის, როდესაც ღერო ბოლოებით ჩამაგრებულია სახსრულად. თუ ელემენტებს ერთნაირი განივკვეთი აქვთ, მაგრამ ბოლოები სხვადასხვანაირად ჩამაგრებულია და ცენტრალურად მკუმშავი ძალები განსხვავებულად არის მოდებული, მაშინ მათთვის კრიტიკული ძაბვის სიდიდე მკვეთრად განსხვავებულია, ამიტომ გრძივი ღუნვის $\varphi$ კოეფიციენტებიც განსხვავებული მნიშვნელობის იქნება.

პრაქტიკული გაანგარიშების გამარტივებისათვის შეკუმშული ელემენტის ბოლოების ჩამაგრებისა და დატვირთვის მოდების ხერხის გავლენის გათვალისწინება ხდება სიგრძის დაყვანის $\mu$ კოეფიციენტის შემოტანით (ცხრილი 3.4), რომელზედაც ელემენტის გეომეტრიული $\ell_c$ სიგრძის გამრაელებით მივიღებთ საანგარიშო (დაყვანილ) სიგრძეს

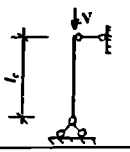
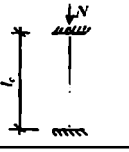
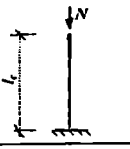
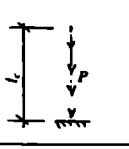
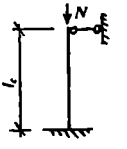
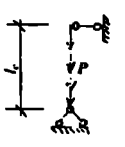
$$\ell_{ef} = \mu \ell_c . \qquad (3.5)$$

ამით ნებისმიერი ჩამაგრებისა და ცენტრალურად მკუმშავი დატვირთვის მოდების შემთხვევა დაიყვანება ძირითად შემთხვევაზე, როდესაც ღეროს ბოლოები ჩამაგრებულია სახსრულად, ე.ი. ცხრილი 3.3-ით სარგებლობა შესაძლებელი გახდება.

ცხრილი 3.3

| ელემენტის მოქნილობა | $\varphi$ კოეფიციენტის მნიშვნელობა $R_y$-ის მიხედვით | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 200 | 240 | 280 | 320 | 360 | 400 |
| 10 | 0,988 | 0,987 | 0,985 | 0,984 | 0,983 | 0,982 |
| 20 | 0,967 | 0,962 | 0,959 | 0,955 | 0,952 | 0,949 |
| 30 | 0,939 | 0,931 | 0,924 | 0,917 | 0,911 | 0,905 |
| 40 | 0,906 | 0,894 | 0,883 | 0,873 | 0,863 | 0,854 |
| 50 | 0,869 | 0,852 | 0,836 | 0,822 | 0,809 | 0,796 |
| 60 | 0,827 | 0,805 | 0,785 | 0,766 | 0,749 | 0,721 |
| 70 | 0,782 | 0,754 | 0,724 | 0,687 | 0,654 | 0,623 |
| 80 | 0,734 | 0,686 | 0,641 | 0,602 | 0,566 | 0,532 |
| 90 | 0,665 | 0,612 | 0,565 | 0,522 | 0,483 | 0,447 |
| 100 | 0,599 | 0,542 | 0,493 | 0,448 | 0,408 | 0,369 |
| 110 | 0,537 | 0,478 | 0,427 | 0,381 | 0,338 | 0,306 |
| 120 | 0,479 | 0,419 | 0,366 | 0,321 | 0,287 | 0,260 |
| 130 | 0,425 | 0,364 | 0,313 | 0,276 | 0,247 | 0,223 |
| 140 | 0,376 | 0,315 | 0,272 | 0,240 | 0,215 | 0,195 |
| 150 | 0,328 | 0,276 | 0,239 | 0,211 | 0,189 | 0,171 |
| 160 | 0,290 | 0,244 | 0,212 | 0,187 | 0,167 | 0,152 |
| 170 | 0,259 | 0,218 | 0,189 | 0,167 | 0,150 | 0,136 |
| 180 | 0,233 | 0,196 | 0,170 | 0,150 | 0,135 | 0,123 |
| 190 | 0,210 | 0,177 | 0,154 | 0,136 | 0,125 | 0,111 |
| 200 | 0,191 | 0,161 | 0,140 | 0,124 | 0,111 | 0,101 |
| 210 | 0,174 | 0,147 | 0,128 | 0,113 | 0,102 | 0,093 |
| 220 | 0,160 | 0,135 | 0,118 | 0,104 | 0,094 | 0,086 |

ცხრილი 3.4

| საანგარიშო სქემა | $\mu$ | საანგარიშო სქემა | $\mu$ |
|---|---|---|---|
|  | 1 |  | 0.5 |
|  | 2 |  | 1,12 |
|  | 0,7 |  | 0,725 |

შეკუმშული ელემენტების მოქნილობა შეზღუდულია, რადგან დიდი მოქნილობისას შესაძლებელია მათი მნიშვნელოვანი ჩაღუნვა საკუთარი წონისაგან, შეიძლება მკვეთრად გაიღუნონ შემთხვევითი ზემოქმედებისაგან და განიცადონ

ძლიერი ვიბრაცია დინამიკური დატვირთვისაგან. შეზღუდვის პირობა ანალოგიურია გაჭიმვის (3.3), ოღონდ ზღვრული დასაშვები მოქნილობის ($\lambda_{uc}$) მნიშვნელობა განსხვავებულია და მოცემულია სათანადო ნორმებში [4], ე.ი.

$$\lambda_c = \ell_{ef} / i \le \lambda_{uc} .$$

აქ $i$ განივი კვეთის უმცირესი ინერციის რადიუსია.

### 3.4.2. ღუნვადი ელემენტები

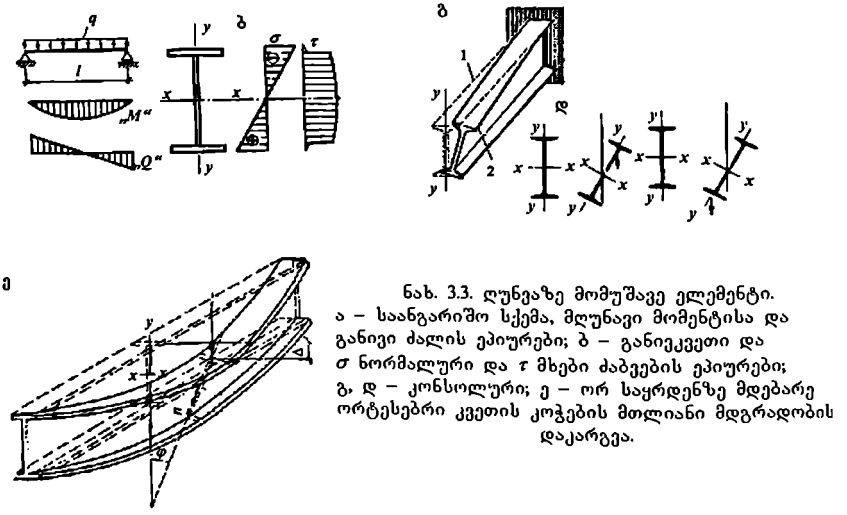
ღუნვადი ელემენტები გაიანგარიშება პირველი ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით სიმტკიცესა და მდგრადობაზე, ხოლო მეორე ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით – სიხისტეზე ანუ ჩაღუნვაზე.

ღუნვადი ელემენტების სიმტკიცე მოწმდება ნორმალური, მხები და დაყვანილი ძაბვების მიხედვით.

#### – სიმტკიცის შემოწმება ნორმალური ძაბვის მიხედვით

თუ კოჭი მუშაობს ღუნვაზე მხოლოდ ერთ მთავარ სიბრტყეში (ნახ. 3.3, ა,ბ), მაშინ $\sigma$ ნორმალური ძაბვების ეპიურა სამკუთხაა, რომლის მიხედვით მაქსიმალური სიდიდის ძაბვა წარმოიქმნება კვეთის განაპირა ბოჭკოებში. სიმტკიცის პირობა ნორმალური ძაბვის მიხედვით ჩაიწერება შემდეგნაირად

$$\sigma = M / W_{n,\min} \le R_y \gamma_c , \qquad (3.6)$$




ნახ. 3.3. ღუნვაზე მომუშავე ელემენტი.
ა – საანგარიშო სქემა, მღუნავი მომენტისა და განივი ძალის ეპიურები; ბ – განივკვეთი და $\sigma$ ნორმალური და $\tau$ მხები ძაბვების ეპიურები; გ, დ – კონსოლური; ე – ორ საყრდენზე მდებარე ორტესებრი კვეთის კოჭების მთლიანი მდგრადობის დაკარგვა.

სადაც $W_{n,\min}$ კვეთის უმცირესი წინაღობის მომენტია შესუსტების გათვალისწინებით. ცხადია, აღნიშნული შემოწმება ხდება იმ კვეთში, სადაც მომენტი მაქსიმალური სიდიდისაა.

(3.6) ფორმულით სიმტკიცის გაანგარიშება არ ვრცელდება კოჭებზე პერფორირებული და მაღალი მოქნილობის კედლიო, აგრეთვე ამწისქვეშა კოჭებზე.

– სიმტკიცის შემოწმება მხები ძაბვის მიხედვით

ღუნვად ელემენტების სიმტკიცე მხები ძაბვის მიხედვით მოწმდება $Q$ განივი ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობის კვეთში ფორმულით

$$\tau = QS/(It) \le R_s\gamma_c , \qquad (3.7)$$

სადაც $S$ კვეთის დაძრული ნაწილის სტატიკური მომენტია (ბრუტო) ნეიტრალური ღერძის მიმართ;

$I$ – მთელი კვეთის ინერციის მომენტი იმავე ღერძის მიმართ;

$t$ –ელემენტის სისქე იმ ადგილას, სადაც მოწმდება მხები ძაბვა (ჩვეულებრივ, ეს არის კვეთის კედლის სისქე ნეიტრალურ ღერძთან);

$R_s$ – ძვრაზე ფოლადის საანგარიშო წინაღობა.

– სიმტკიცის შემოწმება დაყვანილი ძაბვის მიხედვით

კოჭის იმ ადგილებში, სადაც ერთდროულად მოქმედებს ნორმალური და მხები ძაბვა, სიმტკიცეს ამოწმებენ დაყვანილი ძაბვის მიხედვით, ენერგეტიკული მეთოდით

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} \le 1{,}15R_y\gamma_c , \qquad (3.8)$$

სადაც $\sigma_x$ ნორმალური ძაბვაა ღუნვადი ელემენტის კვეთის სიბრტყის მიმართ. მოქმედებს ელემენტის $x$ ღერძის გასწვრივ;

$\sigma_y$ – ელემენტის ღერძის მიმართ პერპენდიკულარული მიმართულების ძაბვა (ძირითადად ადგილობრივი ძაბვა);

$\tau_{xy}$ – მხები ძაბვაა.

– გაანგარიშება სიმტკიცეზე პლასტიკური დეფორმაციების გათვალისწინებით

ზემოთ განხილული გაანგარიშება სიმტკიცეზე სამართლიანია ღუნვადი ელემენტის დრეკად სტადიაში მუშაობისას. არის შემთხვევა, როდესაც საჭიროა განისაზღვროს ღუნვადი ელემენტის ზიდვის უნარი ანუ ზღვრული დატვირთვა, რომლის ატანა შეუძლია ელემენტს, როდესაც ნორმალური ძაბვა გაუტოლდება $R_u$ დროებით წინაღობას. თუ ელემენტი დამზადებულია პლასტიკური (მცირენახშირბადიანი) ფოლადისაგან, დრეკადი დეფორმაციის ამოწურვის შემდეგ ვითარდება პლასტიკური დეფორმაცია, რომელიც ვრცელდება კვეთის სიღრმეში, მოიცავს მთელ კვეთს და წარმოიქმნება ე.წ. „პლასტიკური სახსარი“. ამ დროს კვეთის ყველა შრე იმყოფება დენადობის სტადიაში, რის გამოც ელემენტს შეუძლია შემობრუნდეს ნეიტრალური ღერძის ირგვლივ, როგორც სახსრის ღერძის გარშემო. ჩვეულებრივ სახსართან შედარებით, პლასტიკურ სახსარში მომენტი ნულს კი არ უდრის, არამედ მუდმივი სიდიდისაა და შეიძლება მიაღწიოს შესაბამისი კვეთისთვის მაქსიმალურ სიდიდეს, რისი ატანაც შეუძლია კვეთს.

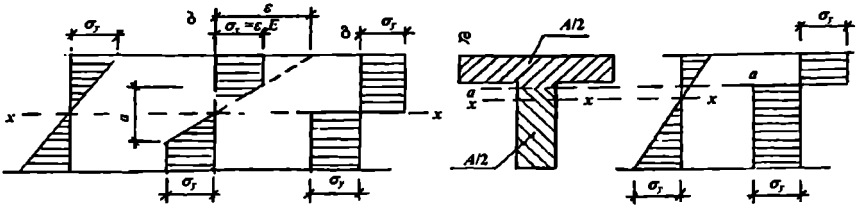
თუ წარმოვიდგენთ, რომ ფოლადი იდეალურად დრეკად-პლასტიკური მასალაა და $\sigma - \varepsilon$ გრაფიკს პრანდტლის იდეალიზებული ფორმა აქვს (ნახ. 3.1), მაშინ

კვეთის ყველა შრეში ძაბვა უდრის $\sigma_y$ დენადობის ზღვარს და კვეთში ასეთი მდგომარეობის შესაბამის ძაბვათა ეპიურას აქვს ორი სწორკუთხედის ფორმა, დენადობის ზღვარის $\sigma_y$ ორდინატებით (ნახ. 3.4, გ).

შიდა ძალების ზღვრული მომენტი განისაზღვრება გამოსახულებით

$$M = \sigma_y \int_A ydA = \sigma_y \cdot 2S, \qquad (3.9)$$

სადაც $S$ კვეთის ნახევარის სტატიკური მომენტია ნეიტრალური ღერძის მიმართ, რომელიც სიმეტრიულ კვეთში ემთხვევა სიმძიმის ცენტრზე გამავალ ღერძს, ხოლო არასიმეტრიულ კვეთს ყოფს ტოლი ფართობის ნაწილებად და არ ემთხვევა სიმძიმის ცენტრზე გამავალ ღერძს (ნახ. 3.4, დ).




ნახ. 3.4. ღუნვადი ელემენტის კვეთში ძაბვების ეპიურის ცვლილება ღუნვისას.
ა – დრეკადი მდგომარეობა; ბ – დრეკად-პლასტიკური მდგომარეობა დრეკადი ბირთვით; გ – პლასტიკურობის სახსარი; დ – დრეკადი მდგომარეობა და პლასტიკური სახსარი არასიმეტრიული კვეთის შემთხვევაში.

თუ (3.9) ფორმულას შევადარებთ ჩვეულებრივ დრეკადი მუშაობის შესაბამის ფორმულას $M = \sigma_y W$, სადაც, ასევე, ზღვრული მომენტია, ოღონდ მუშაობის დრეკადი სტადიის ბოლოსთვის გამოთვლილი, ვნახავთ, რომ $2S$ იგივეა, რაც კვეთის პლასტიკური წინაღობის მომენტი – $W_{pl} = 2S$.

$W_{pl}$ პლასტიკური წინაღობის მომენტი უფრო დიდია, ვიდრე $W$ დრეკადი წინაღობის მომენტი და განსხვავება მათ შორის მით მეტია, რაც მეტი მასალაა განლაგებული ნეიტრალურ ღერძთან. მაგალითად, სწორკუთხა კვეთისათვის $W_{pl} = 1{,}5W$, ნაგლინი შველერისა და ორტესებრი კვეთისთვის, როდესაც მათი გაღუნვა ხდება კედლის სიბრტყეში $W_{pl} = 1{,}12W$, ხოლო თაროების პარალელურ სიბრტყეში გაღუნვისას $W_{pl} = 1{,}2W$

რბილი ფოლადის მუშაობის ფაქტიური დიაგრამა განსხვავდება პრანდტლის იდეალიზებული დიაგრამისაგან, მაგრამ ეს განსხვავება უმნიშვნელო გაელენას ახდენს ზღვრული პლასტიკური მომენტის სიდიდეზე (არა უმეტეს 1...2%), ისიც სიმტკიცის მარაგის სასარგებლოდ.

პლასტიკური სახსრის წარმოქმნის შემდეგ სტატიკურად რკვეულ, ჭრილ კოჭებში დატვირთვის შემდგომი გაზრდა შეუძლებელია, რადგან დგება პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობა ძალიან დიდი პლასტიკური დეფორმაციის

განვითარების გამო. სტატიკურად ურკვევ კოჭებში (ერთიანი მრავალმალიანი კოჭი) პლასტიკური დეფორმაცია კვეთებს შორის მომენტების გადანაწილების შესაძლებლობას იძლევა, მუშაობას აგრძელებს შედარებით დაუტვირთავი კვეთები, პლასტიკური სახსრის წარმოქმნა ნიშნავს სტატიკური ურკვევობის შემცირებას და ამიტომ დატვირთვა შეიძლება გაიზარდოს მანამდე, სანამ იმდენ კვეთში არ გაჩნდება პლასტიკური სახსარი, რამდენიც საკმარისია სტატიკური ურკვევობის ამოწურვისა და კოჭის მექანიზმად გადასაქცევად. როგორც ვხედავთ, პლასტიკური დეფორმაციის გათვალისწინება სტატიკურად ურკვევ კონსტრუქციებში რეალური ზიდვის უნარის გამოვლენის შესაძლებლობას იძლევა, რითაც მცირდება კვეთის ზომები, იზოგება მასალა და საერთოდ კონსტრუქცია უფრო ეკონომიური გამოდის.

– ელემენტების შემოწმება საერთო მდგრადობის მიხედვით.

საერთო მდგრადობის მიხედვით, ღუნვადი ელემენტის შემოწმება წარმოადგენს გაანგარიშებას პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობით.

დატვირთვის ზემოქმედებისას, განივი კვეთის ინერციის ერთ-ერთი მთავარი ღერძის სიბრტყეში, ღუნვადი ელემენტი (კოჭი) იღუნება ამ სიბრტყის გასწვრივ მანამდე, სანამ დატვირთვის სიდიდე არ მიაღწევს ერთგვარ კრიტიკულ მნიშვნელობას. შემდეგ კოჭი გამოდის ღუნვის სიბრტყიდან და იღუნება პერპენდიკულარულ სიბრტყეში ან იწყებს გრეხას (ნახ. 3.3, გ, დ, ე). ამ მოვლენას ეწოდება საერთო მდგრადობის დაკარგვა, ხოლო შესაბამის მღუნავ მომენტს – კრიტიკული მომენტი. ამ დროს კვეთის თაროებში ვითარდება პლასტიკური დეფორმაცია და კოჭი კარგავს ზიდვის უნარს დატვირთვაზე, რომელიც უმნიშვნელოდ მეტია კრიტიკულზე.

საერთო მდგრადობის შემოწმება დაიყვანება ამ დროს წარმოქმნილი ძაბვის შედარებაზე კრიტიკულ ძაბვასთან

$$\sigma = M/W \le \sigma_{cr}. \qquad (3.10)$$

$\sigma_{cr}$ კრიტიკული ძაბვა დაკავშირებულია მასალის (ფოლადის) $R_y$ საანგარიშო წინაღობასთან, ე.წ. „$\varphi_b$ კოჭურ“ კოეფიციენტის საშუალებით ($\varphi_b = \sigma_{cr}/R_y$), რის შედეგად ღუნვადი ელემენტის საერთო მდგრადობის შემოწმება ხდება ფორმულით

$$\sigma = M/(\varphi_b W) \le R_y \gamma_c. \qquad (3.11)$$

კრიტიკულ ძაბვაზე, მაშასადამე $\varphi_b$ კოეფიციენტზე გავლენას ახდენს შემდეგი ფაქტორები: ა) დატვირთვის მდებარეობა კვეთის სიმაღლის მიხედვით; დატვირთვა, განლაგებული კოჭის ზედა სარტყელზე, ზრდის გრეხას, განლაგებული ქვედა სარტყელზე – ამცირებს (ნახ. 3.3, გ); ბ) განივი კვეთის ფორმა: რაც განიერია სარტყლები, მით მეტია კრიტიკული ძაბვის სიდიდე და მით მდგრადია ღუნვადი ელემენტი (კოჭი); გ) კოჭის საანგარიშო სქემა – ერთმალიანია, მრავალმალიანი თუ კონსოლი; კოჭის შესაძლო გვერდითი გადახრის საწინააღმდეგოდ მალში, ზედა სარტყლის ჩამაგრებით, შესაძლებელია კრიტიკული ძაბვის სიდიდის მნიშვნელოვნად გაზრდა; დ) დატვირთვის სახეობა: შეყურსულია დატვირთვა თუ განაწილებული; ე) ფოლადის მარკა, რადგან ყველა მარკის ფოლადისათვის კრიტიკული ძაბვა ერთნაირია, ხოლო საანგარიშო წინაღობები – განსხვავებული.

$\varphi_b$ კოჭური კოეფიციენტის სიდიდე ელემენტის დრეკადი მუშაობისას განისაზღვრება ფორმულით

$$\varphi_b = \frac{\sigma_{ст}}{R_y} = \Psi \frac{I_y}{I_x}\left(\frac{h}{\ell_{ef}}\right)^2 \frac{E}{R_y}. \qquad (3.12)$$

აქ $\Psi$ კოეფიციენტი გამოითვლება ნორმების [4] მიხედვით, თუ როგორია დატვირთვა და სად არის მოდებული, როგორ არის დამაგრებული შეკუმშული სარტყელი; $I_x$ და $I_y$ – ინერციის მომენტებია კვეთის მთავარი $x$ და $y$ ღერძების სიბრტყეში; $h$ – კვეთის სიმაღლე; $\ell_{ef}$ – კოჭის მალი ან შეკუმშულ სარტყელში ჩამაგრებებს შორის საანგარიშო სიგრძე.

თუ $\varphi_b \le 0{,}85$, მაშინ მასალა მუშაობს დრეკადად. როდესაც $\varphi_b > 0{,}85$ მასალაში ვითარდება პლასტიკური დეფორმაცია და დეფორმაციის მოდული მცირდება. ამიტომ $\varphi_b$ კოეფიციენტი უნდა შესწორდეს ნორმების მიხედვით ([4], დანართი 7*).

ღუნვადი ელემენტების სრული მდგრადობის მიხედვით შემოწმება არ არის საჭირო: ა) თუ თანაბრად განაწილებული სტატიკური დატვირთვა კოჭს გადაეცემა მთლიანი ხისტი ფენილით, რომელიც განუწყვეტლად ეყრდნობა შეკუმშულ სარტყელს და საიმედოდ არის მასთან მიერთებული. ფენილი შეიძლება იყოს ფოლადის ბრტყელი ან ტალღოვანი ფურცელი, რკინაბეტონის ან არმობეტონის ფილები, კოჭოვანი უჯრედის ელემენტები; ბ) სიმეტრიული ორტესებრი კვეთის კოჭების ან განვითარებული შეკუმშული სარტყლით, როდესაც კოჭის საანგარიშო $l_{ef}$ სიგრძის შეფარდება შეკუმშული სარტყლის $b'_f$ სიგანესთან არ არის მეტი ნორმებში რეკომენდებულზე ([4], ცხრილი 8*).

### – ღუნვადი ელემენტების შემოწმება საერთო დეფორმაციების მიხედვით

გაანგარიშება გულისხმობს მეორე ჯგუფის ზღერული მდგომარეობის მიხედვით ჩაღუნვის სიდიდის შეზღუდვას არასასურველი შეხამების (კომბინაციის) ნორმატიული დატვირთვისაგან. აღნიშნული ჩაღუნვის სიდიდე არ უნდა იყოს მეტი, ვიდრე შესაბამისი ნორმებით ან ტექნიკური პირობებით არის დაშვებული. გაანგარიშება ხდება მუშაობის დრეკად სტადიაში.

ფოლადის კონსტრუქციებში მოწმდება ჩაღუნვის არა აბსოლუტური, არამედ ფარდობითი ჩაღუნვა ანუ $f$ ჩაღუნვის შეფარდება $\ell$ მალთან:

$$f/\ell \le [f/\ell]. \qquad (3.13)$$

კოჭების $f$ ჩაღუნვა იანგარიშება ნორმატიული დატვირთვისაგან სამშენებლო მექანიკის ფორმულებით – კოჭის საანგარიშო სქემისა და დატვირთვის სახეობის მიხედვით, ყოველგვარი შესუსტებების გაუთვალისწინებლად. მაგალითად, ორ საყრდენზე თავისუფლად დაყრდნობილი კოჭისათვის, როდესაც $q$ ინტენსიურობის დატვირთვა განაწილებულია თანაბრად

$$f = \frac{5}{384}\,\frac{q\ell^4}{EI}, \qquad (3.14)$$

სადაც $\ell$ კოჭის მალია; $EI$ – კოჭის სიხისტე.

შეფარდება $[f/\ell]$ ანუ ჩაღუნვის ზღვრული დასაშვები სიდიდე, დამოკიდებულია ელემენტის დანიშნულებაზე, მისი მუშაობის პირობებზე და ძირითადად განისაზღვრება ექსპლუატაციის მოსახერხებლობის პირობით. იცვლება 1/150, 1/200-დან ფურცლოვანი ფენილით დაწყებული, დამთავრებული ამწისქვეშა კოჭით მსუბუქი, საშუალო და მძიმე რეჟიმით მომუშავე ამწისათვის: 1/400, 1/500 და 1/600-მდე [4].

### 3.4.3. გარეცენტრულად გაჭიმული და გარეცენტრულად შეკუმშული ელემენტები

– გარეცენტრულად გაჭიმულია ელემენტები, რომელთაც ერთდროულად უხდება მუშაობა გაჭიმვასა და ღუნვაზე, როგორც ელემენტის კვეთის ცენტრის გარეთ მოდებული გამჭიმავი ძალისაგან, ასევე ცენტრალურად მოდებული გამჭიმავი ძალისა და განივი ღუნვის გამომწვევი ძალის ერთდროული მოქმედებით.

ამ დროს ორივე ძალოვანი ზემოქმედებისაგან წარმოქმნილი ნორმალური ძაბვები ჯამდება და მიაღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას კვეთის განაპირა შრეებში.

ასეთი ელემენტების სიმტკიცეზე შემოწმება ხდება ფორმულით

$$\sigma = N/A_n + M/W_n \le R_y\gamma_c . \qquad (3.15)$$

სიმტკიცის შემოწმება შეუსუსტებელი კვეთის გარეცენტრულად გაჭიმულ ელემენტებში, რომლებზეც უშუალოდ არ მოქმედებს დინამიკური დატვირთვა, საჭიროა პლასტიკური დეფორმაციის გათვალისწინებითაც, როგორც ეს ნორმებშია მოცემული ([4], პუნქტი 5.25).

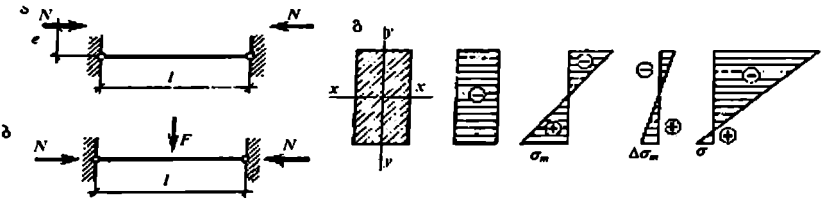
– გარეცენტრულად შეკუმშულია ელემენტები, რომლებზეც მკუმშავი ძალა მოდებულია კვეთის ცენტრის გარეთ გარკვეული $e$ მანძილით ($e$ – ექსცენტრისიტეტია) ან როდესაც ცენტრალურად მკუმშავ გრძივ ძალასთან ერთად მოდებულია ღუნვის გამომწვევი განივი დატვირთვა. ორივე შემთხვევაში ელემენტი განიცდის ღუნვას კუმშვასთან ერთად (ნახ. 3.5).

ზღვრულ მდგომარეობაში გარეცენტრულად შეკუმშული ელემენტის მუშაობა ერთგვარად განსხვავდება შეკუმშულ-გაღუნული ელემენტის მუშაობისაგან, თუმცა გაანგარიშების გასამარტივებლად ამ უკანასკნელის მუშაობა გატოლებულია გარეცენტრულად შეკუმშულ ელემენტებთან ექსცენტრისიტეტით $e = \frac{M}{N}$.

ძალთა დამოუკიდებელი მოქმედების პრინციპი, გარეცენტრული კუმშვისას, მიუღებელია მუშაობის დრეკად სტადიაშიც, რადგან ელემენტის ჩაღუნვის გამო წარმოიქმნება (კუმშვა-ღუნვისას) ან იზრდება (გარეცენტრული კუმშვისას) ექსცენტრისიტეტი, რის გამოც იზრდება მღუნავი მომენტი და შესაბამისად ძაბვა $\Delta\sigma_m$ სიდიდით (ნახ. 3.5, გ).

გარეცენტრულად შეკუმშული ელემენტები მოწმდება სიმტკიცესა და მდგრადობაზე. სიმტკიცეზე შემოწმება ხდება (3.15) ფორმულით, მაგრამ აღსანიშნავია, რომ ასეთი შემოწმება მაინც მიახლოებითია, რადგან ძაბვის სიდიდე

რამდენადმე შემცირებულია, იმიტომ, რომ მხედველობაში არ მიიღება ელემენტის დამატებითი ჩაღუნვის გამო მღუნავი მომენტის გაზრდა.




ნახ. 3.5. ელემენტის მუშაობა გარეცენტრულ კუმშვაზე

გარეცენტრულად შეკუმშული ელემენტებისათვის ძირითადია მდგრადობაზე შემოწმება: მომენტის მოქმედებისა და მოქმედების გარეთა სიბრტყეებში.

მუდმივი განივკვეთის ელემენტების მდგრადობის შემოწმება მღუნავი მომენტის მოქმედების სიბრტყეში წარმოებს ფორმულით

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_e A} \le R_y \gamma_c , \tag{3.16}$$

სადაც $N$ გრძივი მკუმშავი ძალეაა, მოდებული $e = \frac{M}{N}$ ექსცენტრისიტეტით; $A$ – ელემენტის ბრუტო (მთლიანი) განივი კვეთის ფართობი; $\varphi_e$ – გარეცენტრულად შეკუმშული ელემენტის მდგრადობის შესაძლო დაკარგვის გამო, ზიდვის უნარის შემამცირებელი კოეფიციენტი. მას ისეთივე აზრი აქვს, როგორც სხვა კოეფიციენტებს, რომლებიც ითვალისწინებს რაიმე მიზეზის გამო ძაბვის შემცირებას (მაგალითად სააგნარიშო წინაღობა), $\varphi_e = \frac{\sigma^e_{cr}}{R_y}$, სადაც $\sigma^e_{cr}$ გარეცენტრულად შეკუმშული ელემენტის კრიტიკული ძაბვაა.

ლითონის კონსტრუქციების ნორმებში [4] (ცხრ. 74 და ცხრ. 75-ის) მიხედვით $\varphi_e$ შეირჩევა $\bar{\lambda}$ პირობითი მოქნილობის და $m_{ef}$ დაყვანილი ფარდობით ექსცენტრისიტეტზე დამოკიდებულებით:

პირობითი მოქნილობა – $$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{R_y / E} \tag{3.17}$$

დაყვანილი ფარდობითი ექსცენტრისიტეტი – $$m_{ef} = m\eta . \tag{3.18}$$

(3.18) ფორმულაში $m$ – ფარდობითი ექსცენტრისიტეტია; $\eta$ – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს განივკვეთის ფორმის გავლენას. მოცემულია ნორმებში [4] (ცხრ. 73).

პრაქტიკული გაანგარიშებისათვის მოსახერხებელია არა $e$ ექსცენტრისიტეტის აბსოლუტური სიდიდის გამოყენება, არამედ კვეთის ბირთვის $\rho = \frac{W}{A}$ დაშორებასთან შეფარდება

$$m = \frac{e}{\rho} = \frac{M}{N} \cdot \frac{A}{W_c} = \frac{M}{W_c} \cdot \frac{A}{N} = \frac{\sigma_u}{\sigma_c}. \qquad (3.19)$$

აქ $W_c$ – გამოითვლება ყველაზე მეტად შეკუმშული შრის მიმართ. როგორც (3.19) ფორმულიდან ჩანს, ფარდობითი $m$ ექსცენტრისიტეტი აჩვენებს ღუნვისა და კუმშვისაგან აღძრული ძაბვების შეფარდებას.

მღუნავი მომენტის მოქმედების გარეთ (პერპენდიკულარულ სიბრტყეში) მდგრადობა მოწმდება შემდეგი ფორმულით

$$\sigma = \frac{N}{c\varphi_y A} \le R_y \gamma_c, \qquad (3.20)$$

სადაც $\varphi_y$ გრძივი ღუნვის კოეფიციენტია და აიღება, როგორც ცენტრალური კუმშვისას ცხრილი 3.3-ის მიხედვით. $c$ კოეფიციენტს $\varphi_y$ დაჰყავს სივრცითი მდგრადობის დაკარგვის პირობაზე და შეირჩევა ნორმების [4] პუნქტ 5.31-ის მიხედვით, $x-x$ ღერძის მიმართ ფარდობით ექსცენტრისიტეტზე დამოკიდებულებით.

### 3.5. ლითონის ნაკეთობათა სორტამენტი

ლითონის კონსტრუქციებს ამზადებენ ელემენტებისაგან, რომლებიც, თავის მხრივ, მიღებულია ფოლადის გაგლინვით (ფურცლოვანი ფოლადი, ფასონური გლინული), დაწნეხით (ალუმინის შენადნობებისაგან) ან გაგლინული ფურცლის ცივად გადაღუნვით.

ფურცლოვანი ფოლადი (ნახ. 3.6, ა) ლითონის კონსტრუქციების 40...60%-ს მოიცავს. მისი კლასიფიკაცია შეიძლება შემდეგნაირად:

ა) სქელფურცლოვანი ფოლადი, სისქით 4-დან 160 მმ-მდე, სიგანით 600-დან 3800 მმ-მდე (ხშირად გამოყენებული ფურცლის სიგანე 2400 მმ-ს არ აღემატება). გამოიყენება ძირითადად შედგენილ კოჭებში, სვეტებში, ჩარჩოებში და სხვა;

ბ) თხელფურცლოვანი ფოლადი, სისქით 4 მმ-მდე, გამოიყენება გაღუნული და დაშტამპული თხელკედლიანი ელემენტებისათვის, სახურავის პროფილოვანი ან ტალღოვანი ფურცლებისათვის;

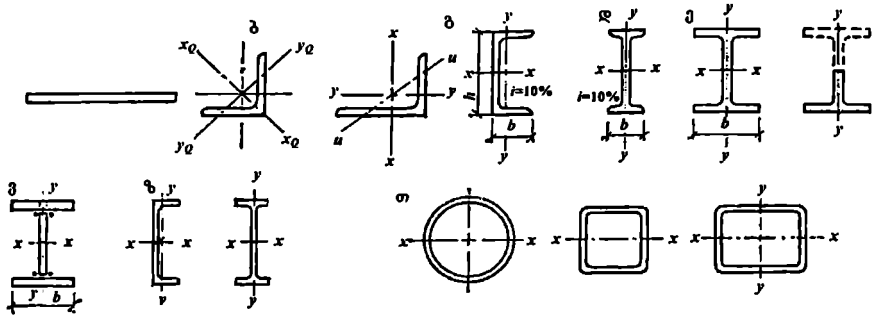
გ) უნივერსალური ფურცლოვანი ფოლადი – სისქით 6-დან 60 მმ-მდე, სიგანით 200-დან 1050 მმ-მდე, სიგრძით 5-დან 12 მ-მდე. ამ ფურცლებს აქვს გაგლინული, სწორი კიდეები, რითაც მათგან ელემენტების დამზადება ნაკლებად შრომატევადია, არ საჭიროებს კიდეების ჩამოჭრასა და გასწორებას.

კუთხოვანები – ტოლთაროიანი და განსხვავებული თაროიანი (ნახ. 3.6, ბ) გაიგლინება დიდი რაოდენობის განსხვავებული სორტამენტით. ძალიან მცირე სიდიდის 1...15 სმ$^2$ განივკვეთის ფართობიდან, ძლიერი პროფილების – ფართობით 140 სმ$^2$-მდე.

შველერები – გამოიყენება, ძირითადად შეწყვილებული, კოჭებსა და სვეტებში, მისი გეომეტრიული მახასიათებელია კვეთის სიმაღლე სანტიმეტრებში, რომელიც მის ნომერს შეესაბამება. იცვლება N5-დან N40-მდე (ნახ. 3.6, გ).

ორტესებრი – ძირითადად კოჭის პროფილია. არის: ჩვეულებრივი – N10-დან N60-მდე და ფართოთაროებიანი, თაროების პარალელური წიბოებით. იგლინება

სამი სახის: ნორმალური (Б) გამოიყენება კოჭებისათვის, განსაკუთრებით ფართოთაროებიანი (Ш) და სვეტებისათვის (К). Б და Ш კოჭის ორტესებრი პროფილის სიმაღლე აღწევს 1000 მმ-მდე. თაროს სიგანის შეფარდება პროფილის სიმაღლესთან იცვლება $b:h=1:1,65$-დან 1:1,25-მდე. К (სვეტის) პროფილებისათვის $b:h\cong 1:1$, რაც უზრუნველყოფს სვეტის მდგრადობას განივკვეთის ორივე $x$ და $y$ ღერძების გასწვრივ (ნახ. 3.6, დ, ე).




ნახ. 3.6. გაგლინული პროფილების ძირითადი სახეობები:
ა – ფურცლოვანი ფოლადი; ბ – კუთხოვანა; გ – შველერი; დ – ორტესებრი;
ე – ფართოთაროებიანი ორტესებრი; ვ – გაგლინული ფურცლოვანი ფოლადისაგან შედგენილი ორტესებრი პროფილი; ზ – თხელკედლიანი გაგლინული პროფილი;
თ – მილები: წრიული ცხლადგლინული, კვადრატული და სწორკუთხა გაღუნული და შედუღებული ფურცლოვანი ფოლადისაგან.

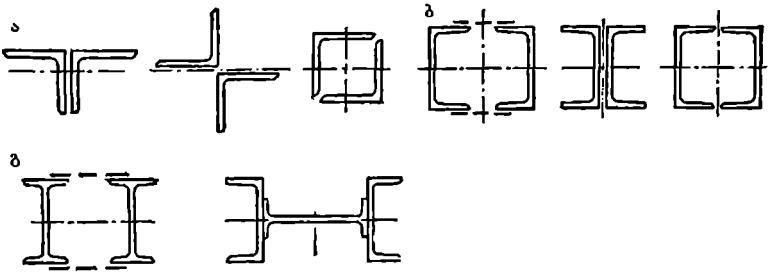
თხელკედლიანი პროფილები (ნახ. 3.6, ზ) გაიგლინება ძირითადად ორტესებრი კვეთის, განსაკუთრებით თხელი კედლებით. გამოიყენება ფახვერკის ელემენტებად, კოჭებში მცირე დატვირთვისას და სხვა. 14...20%-ით ეკონომიურია სქელკედლიანთან შედარებით. სიმაღლე იცვლება 120-დან 300-მმ-მდე.

მილები, რომლებიც გამოიყენება მშენებლობაში (ნახ. 3.7, თ) არის: წრიულკვეთიანი, კვადრატული და სწორკუთხა. ცხლადგლინული, უნაკერო მრგვალი მილების დიამეტრია 25-დან 550მმ-მდე. კედლის სისქე – 2,5-დან 75მმ-მდე. გამოიყენება რადიო და ტელეანძების კონსტრუქციებში. ელექტროშედუღებით დამზადებული (ფურცლის გაღუნვით და შედუღებით) მილებია დიამეტრით 80-დან 1420 მმ-მდე, კედლის სისქით 1-დან 16 მმ-მდე. გამოიყენება გისოსებიან კონსტრუქციებში: ანძებში, სანიენივო წამწეებსა და სტრუტურულ კონსტრუქციებში.

სწორკუთხა მილები სრულდება ფურცლების გაღუნვითა და ელექტროშედუღებით. კვადრატული გვერდის ზომაა – 80-დან 180 მმ-მდე, სწორკუთხასი 60×100-დან 140×180 მმ-მდე. ამ მილების კედლის სისქე იცვლება 3-დან 8 მმ-მდე. ეს პროფილები ძირითადად გამოიყენება მსუბუქ გადახურვაში (წამწეში გრძივებად), ფახვერკის კვანძებში, ვიტრაჟებში.

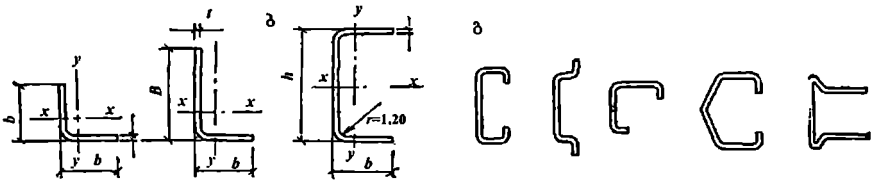
ზემოთ ჩამოთვლილი გაგლინული პროფილის ელემენტებისაგან მზადდება მსუბუქი, ღია ან ჩაკეტილი კონტურის ღეროები, რომლებიც გამოიყენება წამწის

ელემენტებში, ცალკეული კოჭების ან სეტებისათვის. ზოგიერთი მათგანი მოცემულია ნახ. 3.7-ზე.

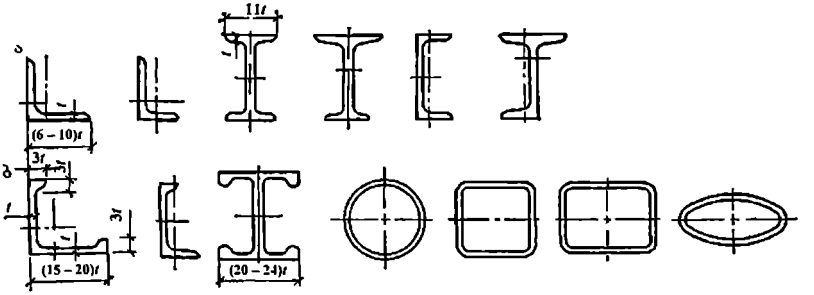



ნახ. 3.7. გაგლინული პროფილებით ღეროების (ელემენტების) შედგენა:
ა – წამწის ელემენტები; ბ – კოჭები; გ – სეტები.

ცივადნაღუნი პროფილები მზადდება ფურცლოვანი ფოლადის ლენტის ან ზოლისაგან – სისქით 1-დან 8 მმ-მდე. მათი გამოყენება მიზანშეწონილია შენობების დახურვის მსუბუქ კონსტრუქციებში. ცელიან რა გაგლინულ პროფილებს, მიიღწევა ლითონის 10% ეკონომია. ინდივიდუალური შეკვეთის მიხედვით შეიძლება დამზადდეს მრავალნაირი პროფილი. ზოგიერთი მათგანი მოცემულია ნახ. 3.8-ზე.




ნახ. 3.8. ცივად ნაღუნი პროფილები




ნახ. 3.9. ალუმინის შენადნობის პროფილები

ალუმინის შენადნობისაგან სამშენებლო პროფილები (ნახ. 3.9) მიიღება გაგლინვით, დაწნეხითა და ჩამოსხმით. გაგლინვა წარმოებს ცხელ ან ცივ

მდგომარეობაში. ფურცლები იგლინება 10,5 მმ-ის სისქემდე. სიგანით 2000 მმ-მდე, სიგრძით 7 მ. ფასონური პროფილები მზადდება ცხელი დაწნეხით ჰიდრავლიკურ წნეხზე. პროფილის ზომები შეზღუდულია საქარხნო დანადგარის შესაძლებლობებიდან გამომდინარე. მზადდება განივკვეთის ფართობით 0,5-დან 300 სმ$^2$-მდე. გაღუნული პროფილები მზადდება ფურცლის ლენტისაგან – სისქით 4 მმ-მდე. კვეთის ზომებისა და თაროების მდგრადობის გასაზრდელად პროფილები მზადდება თაროს ბოლოში გასქელებული, რაც იძლევა საშუალებას თაროს სიგანის შეფარდება თავისსავე სისქესთან შესრულდეს 9,5-დან 21-მდე.

გაგლინული პროფილების ჩამონათვალს, მათი განივკვეთის ფორმის, გეომეტრიული მახასიათებლების, ერთეული სიგრძის მასის, კვეთის სტატიკური, წინაღობის და ინერციის მომენტების ორივე ღერძის მიმართ, კვეთის კედლისა და თაროების სისქის და სხვა მრავალი მონაცემის ჩვენებით ეწოდება სორტამენტი (იხ. დანართი).

### 3.6. ლითონის ელემენტებისა და კონსტრუქციების შეერთებები

ლითონის კონსტრუქციები, უმეტეს შემთხვევაში, დიდი ზომისაა და მშენებლობის ადგილას მისი მიტანა გართულებულია. ამიტომ ეს კონსტრუქციები მზადდება ცალკეული, ადვილად გადასატანი ნაწილებისაგან და უშუალოდ მშენებლობაზე ხდება მათი შეერთება (დამონტაჟება). თვითონ ეს ნაწილებიცა და მთლიანი კონსტრუქციები შედგება უფრო მცირე ზომის ელემენტებისა და კვანძებისაგან, რომელთა შეერთებით ქარხნებში ან უშუალოდ მშენებლობაზე მზადდება მთლიანი კონსტრუქცია.

ლითონის კონსტრუქციებისა და მათი ცალკეული ელემენტების შეერთება ხდება შედუღებით, ჭანჭიკებისა და ი შვიათად მოქლონების საშუალებით. უკანასკნელ ხანს ყურადღება მიიქცია დაწებებითა და მირჩილვით შეერთების შესაძლებლობამ (ძირითადად ალუმინის კონსტრუქციებში).

#### 3.6.1. შედუღებით შეერთება

ალუმინის კონსტრუქციებში შედუღებით შეერთებამ ვერ მიიღო ფართო გავრცელება სპეციფიური სირთულეების გამო. უფრო გამოიყენება ელექტრო-შედუღება ინერტიული აირის – არგონის გარემოში. არგონი იცავს შედუღებას ჰაერის მავნე გაჟანგისაგან და წინააღმდეგობას უწევს ძნელადდნობადი აფსკის წარმოშობას. ელემენტების შეერთების კონსტრუქციული ფორმა ანალოგიურია ფოლადის კონსტრუქციების შეერთებისა, მაგრამ თერმულად განმტკიცებული ალუმინის შენადნობების შედუღებით შეერთების გაანგარიშებისას მხედველობაშია მისაღები ის გარემოება, რომ შედუღების ადგილას, მაღალი ტემპერატურის გამო, იკარგება განმტკიცების ეფექტი და ლითონის მექანიკური წინაღობა მცირდება. ამის გამო ზოგჯერ მიმართავენ შედუღებული კონსტრუქციის მეორად განმტკიცებას, რაც ძნელად განსახორციელებელია და ძვირი, ამიტომ მას ი შვიათად იყენებენ.

ფოლადის კონსტრუქციებში ელემენტების შეერთების 90%-ზე მეტი სრულდება ელექტროშედუღებით, რაც გამოწვეულია ამ სახის შეერთების დიდი

უპირატესობით. ჭანჭიკებით ან მოქლონებით შეერთებულ კონსტრუქციებთან შედარებით მასა ნაკლებია 15...20%-ით, ნაკლებია შრომატევადობა და დანახარჯები, იზრდება სიხისტე და ჰერმეტულობა, შედუღების მოწყობილობა უფრო მარტივია, ვიდრე დამოქლონებისათვისაა საჭირო.

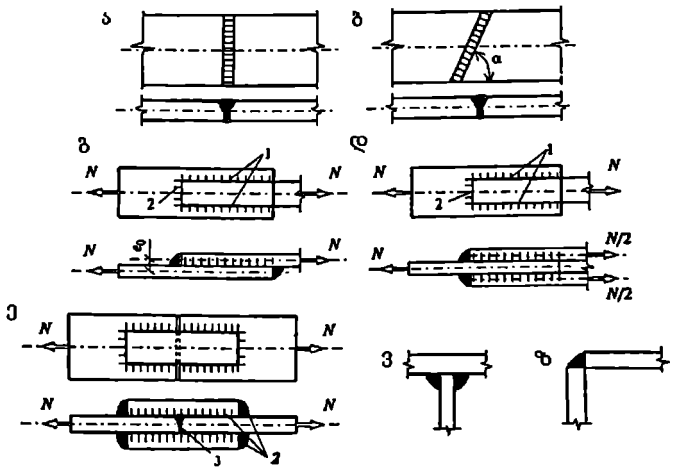
ლითონის ელემენტების შესაერთებლად მიმართავენ ხელით ელექტრო-შედუღებას, ავტომატურ და ნახევრადავტომატურ შედუღებას ფლუსის ფენის ქვეშ, შედუღებას ნახშირორჟანგის აირის გარემოში, არგონის გარემოში და სხვა.

ხელით შედუღებისას გამოიყენება ელექტროდები სპეციალური შემოგოზვით, რომელიც დნება ელექტროდის მაეთულთან ერთად ელექტრორკალის მაღალ ტემპერატურაზე და წარმოქმნის ერთგვარ თხელ ფენას (ქერქს) ჰაერიდან ჟანგბადის და აზოტის მავნე ზემოქმედებისაგან დასაცავად. თანაც, ჩაღვენთილი ლითონი ნელა ცივდება და ხარისხიანი გამოდის. ავტომატური და ნახევრადავტომატური შედუღებისას ელექტროდად გამოიყენება მხოლოდ ლითონის მაეთული, რომელიც შედუღების ზონაში მიეწოდება ავტომატურად, ხოლო ნაკერის დაცვა ხდება ასევე ავტომატურად, ფლუსის მიწოდებით, რომელიც წარმოადგენს გრანულირებულ წიდას. ნახევრადავტომატური შედუღების განსხვავება ავტომატურისაგან არის ის, რომ შემდუღებელი მოწყობილობის გადაადგილება ნაკერის გასწვრივ ხდება ხელით.

ნახშირორჟანგის აირის გარემოში შედუღებისას დამცველია აირი, რომელიც ნაკერს იცავს ჰაერის მავნე ზემოქმედებისაგან.

შედუღებისას გამოიყენება სხვადასხვა მარკის ელექტროდები (Э42А, Э45А, Э50А, Э60А), შესადუღებელი ელემენტების ექსპლუატაციისას დაძაბული მდგომარეობისა და კლიმატური პირობების მიხედვით.

განასხვავებენ შემდეგი სახის შედუღებით შეერთებას: პირაპირა, გადადებით, კომბინირებული და და პირდგმულად (ნახ. 3.10).




ნახ. 3.10. ა – სწორი პირაპირა; ბ – ირიბი პირაპირა; გ, დ – არასიმეტრიული და სიმეტრიული გადადებით; ე – კომბინირებული; 3 – პირდგმული ტესებრი; ზ – პირდგმული კუთხური. 1 – ფლანგური კუთხური; 2 – ფრონტალური კუთხური; 3 – პირაპირა ნაკერი.

შედუღებისას მოსალოდნელია წუნი. მაგალითად, შედუღების ნაკერის თავსა და ბოლოში ელექტროდის მიახლოებისას და მოცილებისას, მოსალოდნელია თვით ნაკერის არათანაბარი სისქე, დაბალი ან მაღალი ტემპერატურის მაენე გაელენა და ა.შ. ამიტომ, როგორც წესი, ნაკერი უნდა შემოწმდეს ვიზუალურად ან ფიზიკური მეთოდებით (რენტგენი ან ულტრაბგერა) და უხარისხო ნაკერი ხელახლა უნდა შედუღდეს.

შედუღების ნაკერის გაანგარიშება ხდება გაჭიმვაზე, კუმშვაზე, მღუნავი მომენტის მოქმედებაზე.

გაჭიმვასა და კუმშვაზე ნაკერის სიმტკიცე იანგარიშება საერთო ფორმულით

$$\sigma_w = \frac{N}{t\ell_w} \le R_{wy}\gamma_c, \qquad (3.21)$$

აქ $\ell_w$ ნაკერის საანგარიშო სიგრძეა. $\ell_w = \ell - 2t$ (დამოკიდებულია შედუღების ტექნოლოგიაზე. ზოგჯერ $\ell_w = \ell$);

$t$ – ნაკერის საანგარიშო სისქე, შესაერთებელი ელემენტების უმცირესი სისქის ტოლი;

$R_{wy}$ – პირაპირა შეერთებისას ნაკერის საანგარიშო წინაღობა. გაჭიმვაზე, ღუნვაზე, ხელით და ნახევრადავტომატური შედუღებისას და ნაკერის ხარისხის მხოლოდ ვიზუალური შემოწმებისას $R_{wy} = 0{,}8R_y$, დანარჩენი შემთხვევის დროს – $R_{wy} = R_y$.

შედუღებით შეერთებაზე თუ მოქმედებს მღუნავი მომენტი სიბრტყეში, რომელიც პერპენდიკულარულია შეერთების ნაკერის სიბრტყის, გაანგარიშება ხდება ფორმულით

$$\sigma_w = \frac{M}{W_w} = \frac{6M}{t\ell_w^2} \le R_{wy}\gamma_c, \qquad (3.22)$$

სადაც $\sigma_w$ ნაკერში აღძრული ძაბვაა მღუნავი მომენტის მოქმედებისას;

$W_w = \frac{t\ell_e^2}{6}$ – ნაკერის კვეთის წინაღობის მომენტი.

### 3.6.2. ჭანჭიკებით შეერთება

ჭანჭიკებს ძირითადად იყენებენ ლითონის კონსტრუქციების ცალკეული ნაწილების შესაერთებლად – მონტაჟისათვის.

შედუღებით შეერთებასთან შედარებით, ჭანჭიკებით შეერთება უფრო მასალატევადია ანუ მეტი ფოლადი გამოიყენება, ნახვრეტები ჭანჭიკებისათვის ასუსტებს შესაერთებელი ელემენტების კვეთებს, მაგრამ შეერთების განსახორციელებლად გაცილებით მარტივია, რადგან არ საჭიროებს შესადუღებელ მოწყობილობას.

განასხვავებენ უხე'ში, ნორმალური და მაღალი სიზუსტის ჭანჭიკებს (C, B და A კლასი, სიზუსტის მიხედვით). მასალის მიხედვით არის: ჩვეულებრივი,

დაბალნახშირბადიანი ფოლადისაგან დამზადებული (გამოჩარხული) და მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკები. ჭანჭიკები იყოფა კლასებად და აღინიშნება ორი ციფრით. მაგალითად, 4.8-დან 8.8-ს ჩათვლით – ჩვეულებრივი და 10.9 კლასის მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებისათვის. კლასის აღნიშვნაში, პირველი ციფრი გამრავლებული 10-ზე შეესაბამება ჭანჭიკის მასალის დროებით წინაღობას (სიმტკიცის მინიმალური მნიშვნელობა კნ/სმ$^2$), ხოლო ციფრების ერთმანეთზე გადამრავლებით მიიღებთ დენადობის ზღვარს (კნ/სმ$^2$). მეორე ციფრი გამრავლებული 10-ზე შეესაბამება დენადობის ზღვარის შეფარდებას დროებით წინაღობაზე ($\sigma_y/\sigma_u$) გამოსახულს პროცენტებში. რეკომენდებულია კონსტრუქციებში ძირითადად 5.6 კლასის ჭანჭიკების გამოყენება.

უხეში და ნორმალური სიზუსტის ჭანჭიკებს ერთმანეთისაგან განასხვაებს თავიანთი ნომინალური დიამეტრის სიდიდიდან სხვადასხვა გადახრა. ჭანჭიკები თავსდება ნახერეტებში, რომელთა დიამეტრი 2...3 მმ-ით მეტია ჭანჭიკისაზე (B და C სიზუსტის კლასი). ასეთი შეერთებისას ჭანჭიკები მუშაობს არათანაბრად, იზრდება შეერთების დეფორმატულობა. ასეთი ჭანჭიკები იხმარება სამონტაჟო შეერთებისას, სადაც ჭანჭიკი მუშაობს გაჭიმვაზე ან მხოლოდ დასამაგრებლად გამოიყენება (ნახ. 3.11, ბ).

მაღალი სიზუსტის ჭანჭიკებს გამოჩარხვის შედეგად აქვს ზუსტად ცილინდრული ფორმა და დიამეტრის სიდიდის განსხვავება ნომინალურისაგან მინიმალურია და მკაცრად არის ნორმირებული. ასეთი ჭანჭიკებისათვის ნახვრეტის დიამეტრი მხოლოდ 0,3 მმ-ით მეტია ჭანჭიკის დიამეტრზე. ცხადია ასეთი შეერთება უფრო საიმედოა (სიზუსტის A კლასი), დეფორმაცია და დამყოლობა მინიმალური. თუმცა მაღალი სიზუსტის მოთხოვნის გამო – გართულებული. ასეთ შეერთებებში ჭანჭიკები მუშაობს ჭრასა და თელვაზე (ნახ. 3.11, ა).

მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკები ჩვეულებრივი სიზუსტისაა და ჩაიდება უფრო დიდი დიამეტრის ნახვრეტში, ვიდრე მისი დიამეტრია. ასეთი ჭანჭიკების ქანჩებს უჭერენ სპეციალური გასაღებით, რომელიც მოჭერის ძალის კონტროლის საშუალებას იძლევა. შეერთება მუშაობს ხახუნის ძალის ხარჯზე, რომელიც წარმოიქმნება შესაერთებელ ფურცლებს შორის (ნახ. 3.11, გ). ხახუნის ძალების გასაზრდელად, შესაერთებელი ელემენტების ზედაპირები გასუფთავებულია და დამუშავებული ცეცხლის ალით, სპეციალური აპარატის საშუალებით საფანტის ჭავლით და არ იღებება.

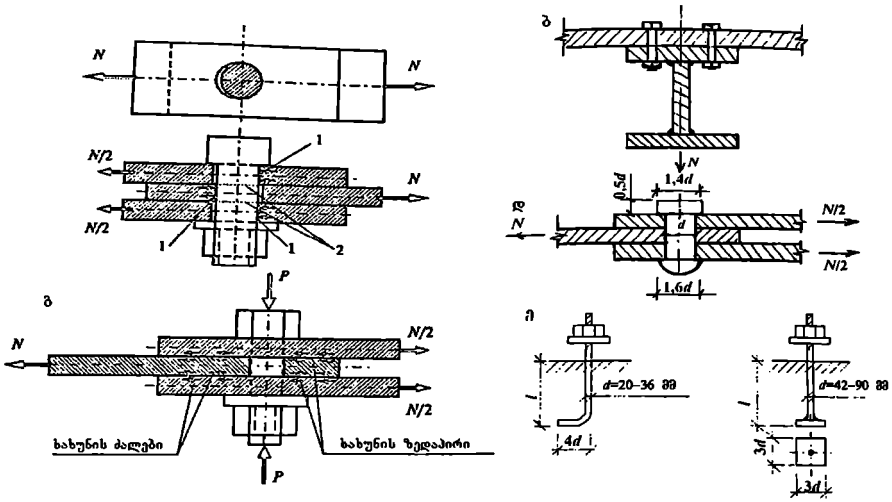
ჭანჭიკები დასამაგრებელ ფურცლებზე შეიძლება განლაგდეს ერთრიგად ან ჭადრაკულად, მათ ცენტრებს შორის და ფურცლის ან გაგლინული ელემენტის კიდემდე მანძილების, ნორმებით რეკომენდებული სიდიდეების მკაცრად დაცვით, მოქმედი ძალის მიმართულების გათვალისწინებით.

საანგარიშო ძალვა $N_b$, რომელიც შეუძლია აიტანოს ერთმა ჭანჭიკმა გაიანგარიშება შემდეგი ფორმულებით:

ჭრაზე – $N_b = R_{bs}\gamma_b A n_s$; (3.23)

თელვაზე – $N_b = R_{bp}\gamma_b d\sum t$; (3.24)

გაჭიმვაზე – $N_b = R_{bt}A_{bn}$, (3.25)




ნახ. 3.11. ა – შეერთების მუშაობა ძერაზე; ბ – შეერთების მუშაობა გაჭიმვაზე; გ – შეერთება მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებით; დ – მოქლონებიო შეერთება; ე – საძირკვლის ჭანჭიკები. 1 – ფურცლების მოთელვის ზედაპირები; 2 – ჭანჭიკის ჭრის ზედაპირები.

სადაც $R_{bs}$, $R_{bp}$ და $R_{bt}$ – ჭანჭიკებით შეერთების საანგარიშო წინაღობებია შესაბამისად ჭრაზე, თელვასა და გაჭიმვაზე. აიღება ნორმებიდან [4];

$d$ – ჭანჭიკის ღეროს გარე დიამეტრი;

$A = \frac{\pi d^2}{4}$ – ჭანჭიკის ღეროს განივკვეთის საანგარიშო ფართობი;

$A_{bn}$ – ჭანჭიკის ღეროს განივკვეთის ფართობი – ნეტო (აიღება [4]-დან);

$\sum l$ – ერთი მიმართულებით მოთელილი ელემენტების უმცირესი ჯამური სისქე;

$n_s$ – ერთი ჭანჭიკის საანგარიშო ჭრის რაოდენობა;

$\gamma_b$ – შეერთების მუშაობის პირობების გამთვალისწინებელი კოეფიციენტია, აიღება ნორმებიდან [4].

ჭანჭიკების რაოდენობა შეერთებაში $N$ გრძივი ძალის მოქმედებისას განისაზღვრება ფორმულით

$$n \geq \frac{N}{\gamma_c N_{\min}}. \qquad (3.26)$$

აქ $N_{\min}$ ერთ ჭაკჭიკზე მოსული საანგარიშო ძალეის მინიმალური მნიშვნელობა განსაზღვრული ჭრაზე, თელვასა და გაჭიმვაზე სიმტკიცის პირობიდან (3.23), (3.24) და (3.25)-ის მიხედვით.

ერთი მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკით შეკრულ ელემენტების ურთიერთხახუნით გამოწვეული საანგარიშო ძალვა, რისი ატანაც ხახუნის თითოეულ ზედაპირს შეუძლია, გამოისახება ფორმულით

$$Q_{bh} = \frac{R_{bh} \cdot \gamma_b \cdot A_{bn} \cdot \mu}{\gamma_h}, \qquad (2.27)$$

სადაც $R_{bh} = 0,7R_{bun}$, მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკის საანგარიშო წინაღობაა გაჭიმვაზე ($R_{bun}$ – ჭანჭიკის უმცირესი დროებითი (ზღვრული) წინაღობაა. მოცემულია ნორმებში [4]);

$\gamma_b$ – შეერთების მუშაობის პირობების გამთვალისწინებელი კოეფიციენტი დამოკიდებული ჭანჭიკების $n$ რაოდენობაზე, თუ $n < 5 - \gamma_b = 0,8$; როდესაც $n = 5...9 - \gamma_b = 0,9$; თუ $n > 9 - \gamma_b = 1,0$;

$A_{bn}$ – ჭანჭიკის განიკვეთის ნეტო ფართობი;

$\mu$ – ხახუნის კოეფიციენტი, აიღება ნორმებიდან [4];

$\gamma_h$ – შეერთების საიმედოობის კოეფიციენტი.

ქანჩის მოჭერით წარმოშობილი, მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკის $P$ გამჭიმავი ძალა კონტროლდება ქანჩის ჩახრახნის მომენტით ან მობრუნების კუთხის მიხედვით და გამოითვლება ფორმულით

$$P = R_{bh} \cdot A_{bn}. \qquad (3.28)$$

შეერთებაში მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკების რაოდენობა

$$n \geq \frac{N}{Q_{bh} k \gamma_c}; \qquad (3.29)$$

აქ $k$ – შესაერთებელი ელემენტების ურთიერთხახუნის ზედაპირების რაოდენობაა;

$\gamma_c$ – ჭანჭიკის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი.

ლითონის სვეტის, ბეტონის ან რკინაბეტონის საძირკველთან შეერთება (ჩამაგრება) ხდება საანკერო ჭანჭიკებით (ნახ. 3.11,ე). ასეთი ჭანჭიკების დიამეტრი აიღება 12-დან 140 მმ-მდე. საძირკველში მათი ჩაანკერების $l$ სიგრძე დამოკიდებულია ჭანჭიკების კონსტრუქციასა და დიამეტრზე. ჩვეულებრივ აიღება $l = (35...40)d$.

საძირკვლის ჭანჭიკები მუშაობს გაჭიმვაზე, რომელიც აღიძერება სვეტისაგან საძირკველზე მღუნავი მომენტის გადაცემის გამო. ცენრალურად შეკუმშული სვეტებისათვის გამჭიმავი ძალა პირობითად აიღება სვეტში აღძრული მკუმშავი ძალვის 16%, რითაც ითვალისწინებენ სვეტში შემთხვევით წარმოქმნილი მომენტისაგან ჭანჭიკის გაჭიმვის შესაძლებლობას.

მოქლონებით შეერთება გამოიყენება ალუმინის შენადნობების კონსტრუქციებში (ნახ. 2.11, დ). ალუმინის პლასტიკურობა ააღვილებს ცივ დამოქლონებას, რომლის დროს მოქლონის ღერო ადვილად ავსებს ნახვრეტს.

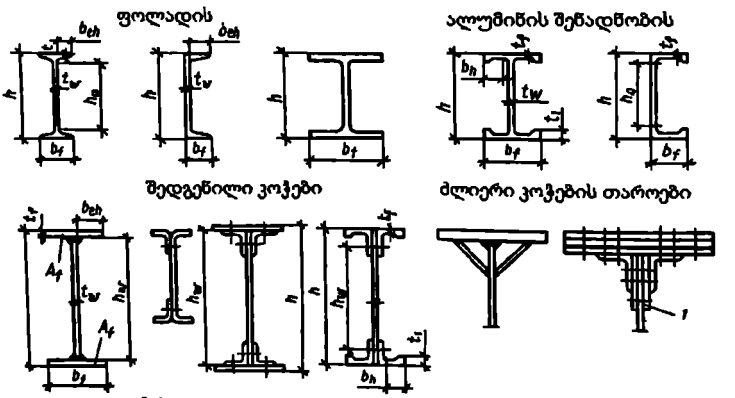
ფოლადის კონსტრუქციების მოქლონებით შეერთება პრაქტიკაში აღარ გამოიყენება. ექსპლუატაციაში მყოფი მოქლონებით შეერთება ანგარიშით უნდა შემოწმდეს, რომელიც პრინციპულად არ განსხვავდება ჭანჭიკებით შეერთების გაანგარიშებისაგან. მოქლონების საანგარიშო წინაღობა ჭრაზე, თელვასა და გაჭიმვაზე შესაძლებელია ავიღოთ ძველი, იმდროინდელი ნორმების მიხედვით.

## 3.7. ლითონის ღუნვადი ელემენტები. კოჭები და კოჭოვანი კონსტრუქციები

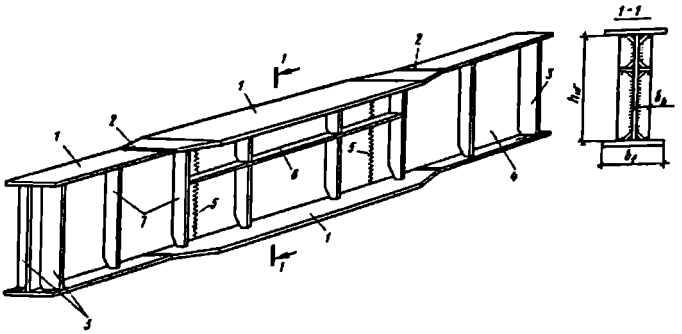
კოჭები – ღუნვადი ელემენტებია, რომლებითაც გადაიხურება გარკვეული სიდიდის მალები (დაყრდნობის ცენტრებს შორის მანძილი). ფოლადის კოჭები გამოიყენება როგორც ცალკეული, დამოუკიდებელი კონსტრუქცია (სამრეწველო შენობაში ამწისქვეშა კოჭები), ასევე კოჭების კომპლექსურ სისტემაში: კოჭოვან უჯრედში, სართულთშორისი და დახურვის კონსტრუქციებში, ხიდების სავალი ნაწილის მზიდი კონსტრუქციების სახით და სხვა. ფოლადის კოჭების გავრცელებას ხელს უწყობს მისი სიმსუბუქე და მონტაჟის სიმარტივე, დიდი დატვირთვების გადაცემის შესაძლებლობა და დინამიკურ დატვირთვაზე კარგი მუშაობა. ამჟამად, ინდივიდუალური მშენებლობის გაზრდის გამო, გავრცელდა სამოქალაქო მშენებლობაშიც, როდესაც საჭიროა არასტანდარტული ზომისა და ფორმის კოჭის გამოყენება.

კვეთის ტიპის მიხედვით კოჭები არის გაგლინული (ორტესებრი, შველერი) და შედგენილი, ფურცლების შედუღებით (ნახ. 3.12). ეკონომიკური მოსაზრებით, უპირატესობა გაგლინულ კოჭებს ენიჭება, მაგრამ, როდესაც მისი ზიდვის უნარი საკმარისი არ არის, მიმართავენ შედუღებით შედგენილ კოჭებს. შედუღებული კოჭი ფორმით გაგლინულ, ფართოთაროებიან კოჭს ჰგავს, ოღონდ კოჭის კედლის სიმაღლე შეიძლება რამდენჯერმე მეტი იყოს თაროების სიგანეზე, მაშინ როდესაც სვეტებისათვის გამოყენებულ გაგლინულ ან შედგენილ ორტესებრ პროფილს კედლის სიმაღლე და თაროების სიგანე თითქმის ერთნაირი აქვს.

დიდი მალისა და დატვირთვის შემთხვევაში, კოჭის კედლის მდგრადობის უზრუნველსაყოფად მიდუღდება სიხისტის განივი წიბოები. თუ საკმარისი არ აღმოჩნდა – გრძივი წიბოებიც (ნახ. 3.13). სიხისტის წიბოების მოწყობის აუცილებლობა კოჭის საერთო და ადგილობრივ მდგრადობაზე გაანგარიშებით უნდა დადგინდეს.




ნახ. 3.12. ლითონის კოჭების განივკვეთის ტიპები



ნახ. 3.13. სიხისტის წიბოებიანი, შედუღებით შედგენილი კოჭი
1 – ჰორიზონტალური ფურცელი; 2 – ჰორიზონტალური ფურცლების შეერთების ნაკერი; 3 – საყრდენის სიხისტის წიბო; 4 – ვერტიკალური ფურცელი; 5 – ვერტიკალური ფურცლების შეერთების ნაკერი; 6 – ჰორიზონტალური სიხისტის წიბო; 7 – ვერტიკალური (განივი) სიხისტის წიბოები

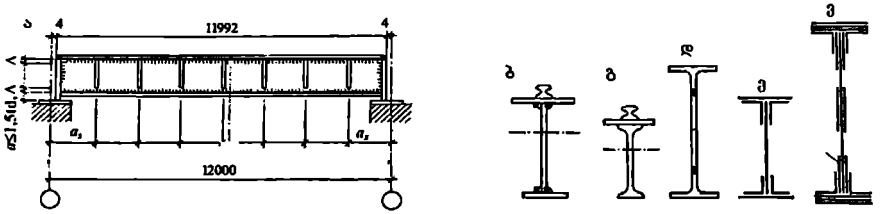
სტატიკური მუშაობის მიხედვით არსებობს ორ საყრდენზე თავისუფლად დაყრდნობილი, ერთმალიანი ჭრილი და მრავალმალიანი უჭრი კოჭები. უჭრ კოჭებს იშვიათად იყენებენ, მხოლოდ სათანადო დასაბუთებით, რადგან ძალიან მგრძნობიარეა საყრდენების არათანაბარი ჯდენისა და ტემპერატურის ცვლილების მიმართ, რის გამოც წარმოიშობა დამატებითი ძაბვები. ამ მხრივ, ერთმალიანი, ჭრილი კოჭის უპირატესობა თვალსაჩინოა. თანაც მათი დამზადება, მონტაჟი და ექსპლუატაცია გაცილებით მარტივია.

### 3.7.1. ამწისქვეშა კოჭები

ფოლადის ჭრილი კოჭების გამოყენების კლასიკური მაგალითია ამწისქვეშა კოჭები. ისინი გამოიყენება სამრეწველო შენობებში, სადაც სვეტების მოკლე კონსოლებზე დაყრდნობილ ამწისქვეშა კოჭებზე დამაგრებულია რელსები, რომელზედაც, შენობის გრძივი მიმართულებით, მოძრაობს ხიდურა ამწე. ამწისქვეშა კოჭების მუშაობის თავისებურებაა ის, რომ გარდა ვერტიკალური სტატიკური დატვირთვისა (ხიდურა ამწის წონისა და ტვირთისაგან), განიცდის დინამიკურ ზემოქმედებას ამწის მოძრაობისაგან და ჰორიზონტალურ დატვირთვას, ამწისა და მასზე მოძრავი ურიკას დამუხრუჭებისაგან წარმოქმნილი ინერციის ძალებისაგან.

გავრცელებულია ძირითადად ჭრილი ამწისქვეშა კოჭები მალით 6 და 12 მ. 6მ მალისა და 10 ტონამდე ტვირთამწეობის ამწის შემთხვევაში ძირითადად გამოიყენება გაგლინული ორტესებრი კოჭები, ზედა თაროზე დადუღებული შედარებით განიერი ფოლადის ფურცლით. 12 მ მალის შემთხვევაში გამოიყენება შედგენილი კოჭები. მათში უფრო რაციონალურია ისეთი შედგენილი კოჭი, რომელშიც თაროებად გამოიყენება ორტესებრი გაგლინული კოჭის ღერძის გასწვრივ შუაში გაჭრით მიღებული ნახევარი, ხოლო კედლად – ფურცლოვანი ფოლადი. ასეთი კოჭების უპირატესობაა, ის, რომ ფოლადის ხარჯით არ განსხვავდება სხვა შედგენილი კოჭებისაგან, ამავე დროს, ზედა თაროს კედელთან

შედუღების ნაკერი არ არის, რომლის დაზიანება ფურცლოვანი ფოლადისაგან შედგენილი კოჭის მთავარი ნაკლია. 3.14 ნახაზზე ნაჩვენებია ამწისქვეშა, სიხისტის წიბოებიანი, კოჭის გვერდხედი და განივკვეთის ზოგიერთი ტიპი.

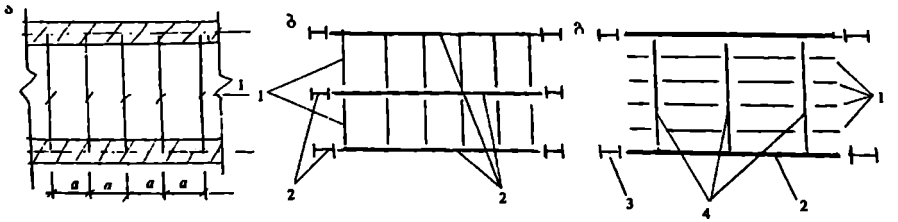



ნახ. 3.14. ამწისქვეშა კოჭი და განივკვეთის შესაძლო ტიპები:
ა – ერთმალიანი შედგენილი ამწისქვეშა კოჭი; ბ – შედუღებით შედგენილი;
გ – გაგლინული; დ – ტესებრი კვეთის გაჭრით შედგენილი თაროები;
ე, ვ – ჭანჭიკებით შედგენილი ჩვეულებრივი და დიდმალიანი ძლიერი კოჭი.

### 3.7.2. კოჭოვანი უჯრედი

შედუღებით შეერთებული კოჭები უფრო ხშირად წარმოქმნის მზიდი კოჭების სისტემას, რომელიც გამოიყენება გადახურვის კონსტრუქციაში – კოჭოვან უჯრედში. კოჭოვანი უჯრედი გვხვდება სამრეწველო, სატრანსპორტო, ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებში სართულთშორისი გადახურვების სახით. პრაქტიკაში გამოიყენება სამი სახის კოჭოვანი უჯრედი: მარტივი, ნორმალური და გართულებული.

მარტივია უჯრედი, როდესაც კედლებზე ლაგდება ე.წ. ფენილის კოჭები და მათზე ეწყობა ფენილი და იატაკი (ნახ. 3.15,ა); ნორმალურ უჯრედში ფენილი განლაგებულია ფენილის კოჭებზე (ძირითადად გაგლინული კოჭი), რომლებიც, თავის მხრივ, ეყრდნობა მთავარ კოჭებს (ძირითადად შედგენილი კოჭები) და ეს უკანაკნელი კი – სვეტებს, საწარმოო შენობაში – კარკასის ელემენტს ან სხვა მზიდ კონსტრუქციას (ნახ. 3.15, ბ). გართულებული უჯრედია, როდესაც კოჭების სისტემა შემდეგნაირია: ფენილი მოწყობილია ფენილის კოჭებზე, რომლებიც ეყრდნობა დამხმარე კოჭებს, დამხმარე კოჭები – მთავარ კოჭს და ეს უკანასკნელი სვეტებს ან კარკასის ელემენტებს (ნახ. 3.15, გ).




ნახ. 3.15. კოჭოვანი უჯრედის ვარიანტები.
1 – ფენილის კოჭები; 2 – მთავარი კოჭები; 3 – სვეტები;
4 – დამხმარე კოჭები.

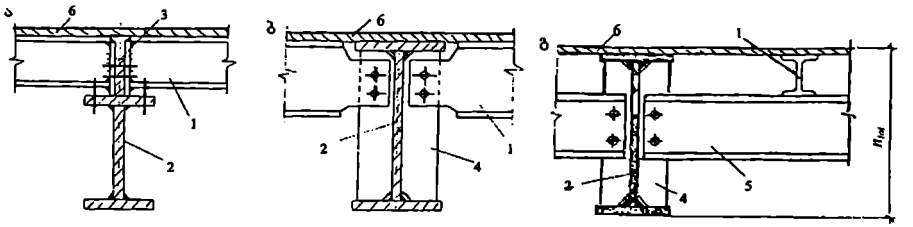
კოჭოვანი უჯრედის ტიპის შერჩევისას უპირატესობა ენიჭება მარტივ სქემას, როდესაც დატვირთვის გადაცემა კედელზე ან სვეტებზე არის უმოკლესი. ხშირად ხდება, რომ შეირჩევა ერთ-ერთი კოჭის გაერცელებული ნომერი ან სახეობა, კოჭებს შორის მანძილი და დანარჩენი კოჭების კვეთები და მალები შეირჩევა ამ კოჭის (უფრო ხშირად ფენილის კოჭის) სრულად გამოყენების პირობიდან. კონსტრუირების ასეთი მიდგომისას დანახარჯები მინიმალურია.

ფენილისა და დამხმარე კოჭებად ჩვეულებრივ გამოიყენება ფოლადის გაგლინული ორტესებრი პროფილის. ფენილის კოჭებს შორის მანძილი ინიშნება შესაძლოდ მაქსიმალური (0,6...1,6 მ), გამომდინარე ფურცლოვანი ფოლადის ფენილის სიმტკიცისა და სიხისტის სრულად გამოყენების შესაძლებლობიდან, რომლის სისქე აიღება დატვირთვის სიდიდის მიხედვით – 6-დან 10 მმ-მდე. თუ ფენილად რკინაბეტონის ფილებია გამოყენებული, მაშინ ფენილის კოჭებს შორის მანძილია 2...3,5 მ. დამხმარე კოჭებს შორის მანძილს, ჩვეულებრივ, ნიშნავენ 2...4 მ. ეს დაშორება უნდა იყოს მთავარი კოჭის მალის ჯერადი, რომელიც აიღება $l = 6...9$ მ. საერთოდ, ისე უნდა მოხდეს კოჭოვანი უჯრედის გაერთმთლიანება, რომ კოჭების საერთო ჯამი იყოს მინიმალური.

დატვირთვა კოჭოვანი უჯრედის ფურცლოვანი ფოლადის ფენილზე მოსალოდნელია 50 კნ/მ$^2$-მდე, ხოლო მაქსიმალურად დასაშვები ჩაღუნვაა $f/l \le 1/150$. თუ დატვირთვა 50 კნ/მ$^2$-ზე ნაკლებია, მაშინ თავისუფლად დაყრდნობილი ფენილის სიმტკიცე უზრუნველყოფილია კოჭებს შორის რეკომენდებული მანძილების დაცვისას და მოწმდება მხოლოდ დეფორმაციაზე (ჩაღუნვაზე).

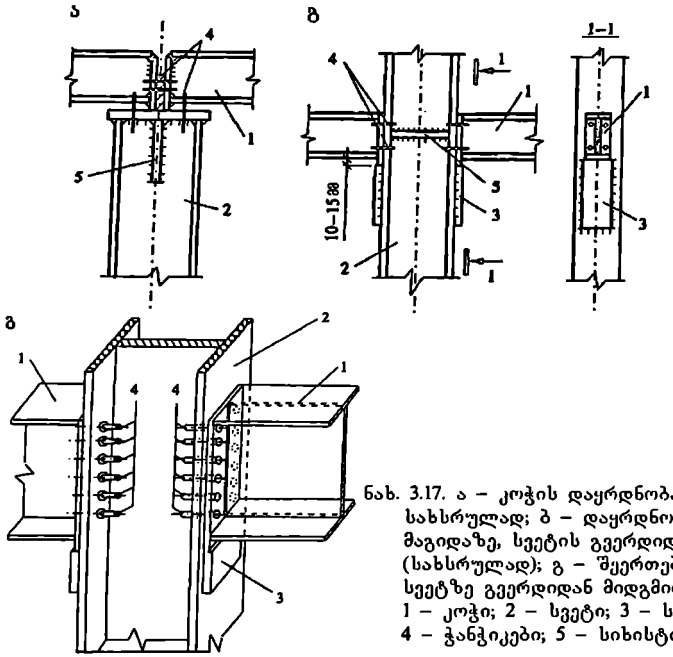
კოჭების ურთიერთშეუღლება (მიმაგრება) კოჭოვან უჯრედში ხდება: სართულებად (ზევიდან დაყრდნობით), ერთ დონეზე და დადაბლებულად (ნახ. 3.16).

ცხადია, ყველაზე მარტივია სართულებად შეუღლება, მაგრამ ამ დროს გადახურვის სამშენებლო სიმაღლე მაქსიმალურია. კოჭების ერთ დონეზე შეუღლებისას გადახურვის სიმაღლე მცირდება ან გადახურვის წინასწარ დანიშნული სიდიდისას შესაძლებელია მთავარი კოჭის სიმაღლის გაზრდა, თუმცა დაყრდნობის კონსტრუქცია რთულდება. დადაბლებული შეუღლება გამოიყენება მხოლოდ გართულებული ტიპის კოჭოვან უჯრედში.




ნახ. 3.16. კოჭების შეუღლება:
ა – ზევიდან დაყრდნობით; ბ – ერთ დონეზე; გ – დადაბლებულად.
1 – ფენილის კოჭი; 2 – მთავარი კოჭი; 3 – ფოლადის შუადი;
4 – მთავარი კოჭის სიხისტის წიბო; 5 – დამხმარე კოჭი; 6 – ფენილი.

კოჭოვანი უჯრედის მთავარი კოჭის ფოლადის სვეტზე დაყრდნობა ძირითადად სრულდება სახსრულად (ნახ. 3.17, ა, ბ), გამოიყენება ხისტი შეერთებაც (ნახ. 3.17, გ).




ნახ. 3.17. ა – კოჭის დაყრდნობა სვეტის თავზე სახსრულად; ბ – დაყრდნობა საყრდენ მაგიდაზე, სვეტის გვერდიდან მიდგმით (სახსრულად); გ – შეერთება ხისტად კოჭის სვეტზე გვერდიდან მიდგმით.
1 – კოჭი; 2 – სვეტი; 3 – საყრდენი მაგიდა; 4 – ჭანჭიკები; 5 – სიხისტის წიბოები.

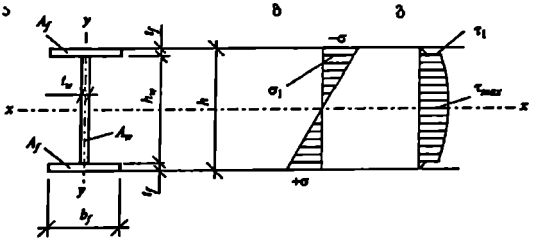
გარდა ზემოჩამოთვლილი კოჭებისა, არსებობს ფოლადის კოჭების სხვა სახეობებიც: პერფორირებული, წრიული სიღრუეებით კედელში, წინასწარ დაძაბული, სხვადასხვა ფოლადის ფურცლებით კედელსა და თაროებში და სხვა.

### 3.7.3. ფოლადის კოჭების გაანგარიშების საფუძვლები

კოჭოვანი უჯრედის სქემისა და ზომების დადგენის, მუდმივი და დროებითი დატვირთვის გამოთვლის შემდეგ სრულდება კოჭების გაანგარიშება იმ მიმდევრობით, როგორც გადაეცემა დატვირთვა: ფენილის კოჭის, დამხმარე კოჭისა და მთავარი კოჭის. გაანგარიშება იწყება თითოეულის საანგარიშო სქემის გამოხაზვით (ჭრილი, უჭრი), დატვირთვის განლაგებითა და სიდიდის მიხედვით. შემდეგ გამოითვლება საანგარიშო დატვირთვისაგან აღძრული $M$ მღუნავი მომენტი და $Q$ განივი ძალა კოჭის კვეთებში. $M$ და $Q$-ს მაქსიმალური მნიშვნელობებისათვის შეირჩევა სათანადო კვეთები, რომლებიც მოწმდება ზიდვის უნარის (პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობა) და დეფორმაციის მიხედვით (მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობა).

გამოყენებული ფოლადის თვისებები და კოჭების განიკვეთის ფორმა განსაზღვრავს კოჭების მუშაობისა და გაანგარიშებების თავისებურებებს.

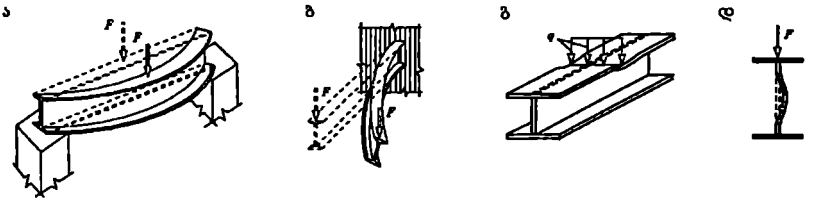
1. გარე დატვირთვისაგან კოჭში ვითარდება $\sigma_x$ ნორმალური და $\tau_x$ მხები ძაბვები. როგორც ნახ. 3.18-ზეა ნაჩვენები მათი განაწილება ადასტურებს კოჭების დრეკად მუშაობას ექსპლუატაციისას.




ნახ. 3.18. ძაბვები ფოლადის ორტესებრ კოჭში

ფოლადის კოჭების კვეთების სიმტკიცის შემოწმება ნორმალური და მხები ძაბვების მიხედვით არის ერთ-ერთი ძირითადი გაანგარიშება.

2. დატვირთვის ზემოქმედებისას კოჭებში მოსალოდნელია საერთო მდგრადობის დაკარგვა (ნახ. 3.19, ა,ბ). ანუ კოჭებმა შეიძლება დაკარგოს თავდაპირველი ფორმა: გაიღუნოს ჰორიზონტალური მიმართულებით და დაიგრიხოს ვერტიკალურ სიბრტყეში.




ნახ. 3.19. კოჭების საერთო და ადგილობრივი მდგრადობის დაკარგვა

3. მაღალი კვეთის თხელკედლიან ან ფართო თაროებიან კვეთებში მოსალოდნელია ადგილობრივი მდგრადობის დაკარგვა – მაგი გამრუდება კოჭის მცირე მონაკვეთზე (ნახ. 3.19, გ, დ). კოჭის ვერტიკალური მიმართულებით ჩაღუნვა ნორმალურია, ოღონდ ნორმებით განსაზღვრულ სიდიდეზე ნაკლებად.

4. კოჭის ნორმალურ რეჟიმში მუშაობისას მასში შეიძლება განვითარდეს ისეთი სიდიდის დეფორმაცია (ჩაღუნვა), რომელიც გააძნელებს კონსტრუქციის ნორმალურ ექსპლუატაციას. ამიტომ საჭიროა კოჭი მუშაობის დრეკად სტადიაში, ნორმატიული დატვირთვის ზემოქმედებისას, შემოწმდეს ჩაღუნვის მიხედვით.

### 3.7.3.1. კოჭების გაანგარიშება სიმტკიცეზე

კოჭის (საერთოდ ღუნვადი ელემენტის) სიმტკიცეზე გაანგარიშება ნიშნავს შეიზღუდოს იმ ძაბვების მნიშვნელობა, რომლებიც წარმოიქმნება გარე დატვირთვის ზემოქმედებისაგან.

ა) ნორმალური ძაბვის მიხედვით სიმტკიცის პირობაა

$$\sigma_x = \frac{M}{W_{n,\min}} \le R_y \gamma_c , \qquad (3.30)$$

სადაც $M$ მღუნავი მომენტია საანგარიშო განივკვეთში;

$W_{n,\min}$ – კვეთის მინიმალური წინაღობის მომენტი, ნეტო. თუ კვეთში შემასუსტებელი ნახვრეტები (ჭანჭიკებისათვის) არ არის, მაშინ $W_{n,\min} = W_x$-ს ანუ მთელი კვეთის (ბრუტო) წინაღობის მომენტს;

$R_y$ – კოჭში გამოყენებული ფოლადის დენადობის ზღვარი;

$\gamma_c$ – მუშაობის პირობების კოეფიციენტი.

როდესაც სიმტკიცის პირობიდან კვეთის შერჩევის ამოცანაა გადასაწყვეტი, იქცევიან შემდეგნაირად: ა) შეირჩევა კოჭების ბიჯი (მათ შორის მანძილი), გამოითვლება მუდმივი და დროებითი დატვირთვა, დაინიშნება კოჭის საანგარიშო სქემა და სამშენებლო მექანიკის ცნობილი მეთოდით აიგება $M$ მღუნავი მომენტებისა და $Q$ განივი ძალების ეპიურები. ნორმებიდან აიღება ფოლადის $R_y$ დენადობის ზღვარი და მუშაობის პირობების $\gamma_c$ კოეფიციენტი. შემდეგ მაქსიმალური მომენტის მიხედვით (3.30) გამოსახულებიდან განისაზღვრება $W_x$

$$W_x = \frac{M}{R_y \gamma_c} . \qquad (3.31)$$

შესაბამისი სორტამენტიდან ნახულობენ ორტესებრი პროფილის შესაბამის ნომერს, რომლის $W_x$ ტოლია ან ცოტა მეტი (3.31)-ით მიღებულზე. შერჩეული ნომრის შესაბამისი მონაცემების მიხედვით კვეთს ამოწმებენ სიმტკიცისა და მდგრადობის მიხედვით.

ბ) მხები ძაბვის მიხედვით სიმტკიცის პირობაა

$$\tau = \frac{QS_x}{I_x t} \le R_s \gamma_c . \qquad (3.32)$$

აქ $Q$ განივი ძალაა მოქმედი საანგარიშო კვეთში;

$S_x$ – განივი კვეთის დაძრული ნაწილის ფართობის სტატიკური მომენტი ნეიტრალური ღერძის მიმართ;

$I_x$ – კვეთის ინერციის მომენტი ნეიტრალური ღერძის მიმართ;

$t$ – განივკვეთის კედლის სისქე;

$R_s$ – ფოლადის საანგარიშო წინაღობა ძერაზე; $R_s = 0{,}58 R_y$.

თუ კვეთი შესუსტებულია ნახვრეტებით (3.32)-დან გამოთვლილი $\tau$ უნდა გამრავლდეს $\alpha$ კოეფიციენტზე. $\alpha = a/(a-d)$. აქ $a$ – ნახვრეტების ბიჯია, $d$ – ნახვრეტის დიამეტრი.

გაგლინული ორტესებრი პროფილის მხებ ძაბვაზე შემოწმება შეიძლება არ მოხდეს თუ ის არ არის შესუსტებული ნახვრეტებით და თუ მოქმედებს მხოლოდ თანაბრად განაწილებული დატვირთვა.

### 3.7.3.2. გაანგარიშება საერთო მდგრადობაზე

როდესაც კოჭის განივკვეთის სიმაღლე მნიშვნელოვანია და თაროები სიგანეში ვიწრო, მოსალოდნელია კოჭის გვერდით, ჰორიზონტალურ სიბრტყეში გაღუნვა და ამავე დროს „მოგრეხვა“ (ნახ. 3.19). ე.ი. ხდება საერთო მდგრადობის დაკარგვა. ეს არ მოხდება, თუ კოჭის ზედა სარტყელი (თარო) საიმედოდ არის დაკავშირებული სხვა კოჭების ზედა თაროსთან, საერთო ხისტი ფენილით.

საერთო მდგრადობის დაკარგვა მოწმდება ფორმულით:

$$\sigma = \frac{M}{\varphi_b W_c} \le R_y \gamma_c, \tag{3.33}$$

სადაც $W_c$ კოჭის შეკუმშული თაროს წინაღობის მომენტია;

$\varphi_b$ – კოეფიციენტი განსაზღვრული ნორმების [4] მიხედვით.

$\varphi_b$ კოეფიციენტის განსაზღვრისას კოჭის $l_{ef}$ საანგარიშო სიგრძედ მიიღება მანძილი შეკუმშული თაროს ჩამაგრების წერტილებს შორის, რომლებიც ეწყობა გეგრდითი გადაადგილების შესაზღუდავად.

### 3.7.3.3. გაანგარიშება ადგილობრივ მდგრადობაზე

ადგილობრივი მდგრადობის დაკარგვაა მოსალოდნელი, როდესაც შეკუმშულ სარტყელ'ზე (თაროზე) უშუალოდ მოქმედებს შეყურსული დატვირთვა ან თუ კოჭის საყრდენი კვეთები არ არის გაძლიერებული სიხისტის წიბოებით.

ადგილობრივი მდგრადობის დაკარგვის შესაძლებლობა მოწმდება ფორმულით

$$\sigma_{loc} = \frac{F}{t_f l_{ef}} \le R_y \gamma_c. \tag{3.34}$$

აქ $\sigma_{loc}$ ადგილობრივი (ლოკალური) ძაბვაა;

$F$ – შეყურსული დატვირთვის (ძალის) საანგარიშო მნიშვნელობა;

$l_{ef}$ – დატვირთვის განაწილების პირობითი სიგრძე; $l_{ef} = b + 2t_f$ ($b$ თაროს სიგანეა, $t_f$ – თაროს სისქე).

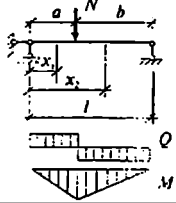
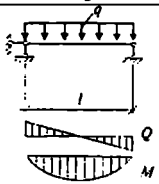
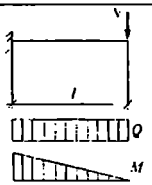
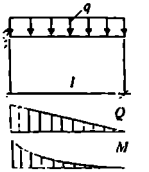
### 3.7.3.4. გაანგარიშება დეფორმაციების მიხედვით

არის შემთხვევა, როდესაც კოჭების სიმტკიცე და მდგრადობა უზრუნველყოფილია, მაგრამ მისი ექსპლუატაცია არ შეიძლება, რადგან არ არის უზრუნველყოფილი სიხისტის მიხედვით. ეს ნიშნავს, რომ ასეთი კოჭების ჩაღუნვა ნორმებით დასაშვებზე მეტია.

კოჭების საანგარიშო სქემისა და დატვირთვის განლაგების მიხედვით, სამშენებლო მექანიკის მეთოდით გამოითვლება $f$ ჩაღუნვა, რომელიც ნაკლები ან ტოლი უნდა იყოს $f_u$-მაქსიმალურად დასაშვებ სიდიდეზე.

$$f \le f_u.$$

ცხრილი 3.6

| № | დატვირთვის სქემა და ეპიურები | საყრდენი რეაქცია | მღუნავი მომენტი | ჩაღუნვა |
|---|---|---|---|---|
| 1 |   | $R_A = Nb/l$<br>$R_B = Na/l$ | $M_a = Nbx_1/l$<br>$M_a = Na(l-x_2)/l$<br>$M_{max} = Nab/l$ | $f_{max} = \frac{1}{48}\cdot\frac{Nl^3}{EI}$<br>როცა $a = l/2$ |
| 2 |   | $R_A = ql/2$<br>$R_B = ql/2$ | $M_{max} = ql^2/8$ | $f_{max} = \frac{5}{384}\cdot\frac{ql^4}{EI}$ |
| 3 |   | $R_A = N$ | $M_{max} = -Nl$ | $f_{max} = \frac{Nl^3}{3EI}$ |
| 4 |   | $R_A = ql$ | $M_{max} = -ql^2/2$ | $f_{max} = \frac{ql^4}{8EI}$ |

მაგალითად, ორ საყრდენზე თავისუფლად დაყრდნობილი კოჭისათვის, როდესაც დატვირთვა თანაბრად არის განაწილებული, ჩაღუნვის საანგარიშო ფორმულა

$$f = \frac{5}{384}\frac{q^n l_{ef}^4}{EI_x}, \qquad (3.35)$$

$E$ ფოლადის დრეკადობის მოდულია;

$I_x$ – ჩაღუნვის ღერძისადმი კვეთის ინერციის მომენტი;

$q^n$ – კოჭზე თანაბრად განაწილებული ნორმატიული გრძივი დატვირთვის ინტენსიურობა;

$l_{ef}$ – კოჭის ვერტიკალური მიმართულებით ჩამაგრების წერტილებს შორის მანძილი – მალი.

კოჭის სხვადასხვა დატვირთვისა და საანგარიშო სქემის მიხედვით, საყრდენი რეაქციები, მღუნავი მომენტი და ჩაღუნვა მოცემულია ცხრილ 3.6-ში.

ზღვრული ჩაღუნვა ყოველი კონკრეტული შემთხვევისათვის აიღება ნორმებიდან. ამ დროს გათვალისწინებულია მალის სიდიდე, ტექნოლოგიური, კონსტრუქციული, ფიზიოლოგიური და ესთეტიკური ფაქტორი და მოთხოვნა.

იმ შემთხვევაში თუ ჩაღუნვის პირობა არ სრულდება უნდა გაიზარდოს კოჭის კვეთის სიმაღლე. ცხრილ 3.7-ში მოცემულია დასაშვები ჩაღუნვები მალისაგან დამოკიდებულებით.

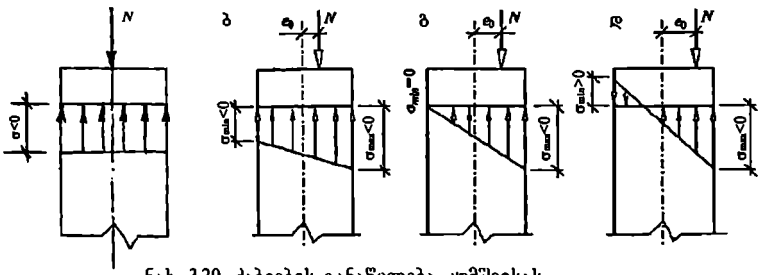
ცხრილი 3.7

| მალი $l$ | ზღვრული ჩაღუნვა $f_u$ | ჩაღუნვის განსაზღვრისას დატვირთვების გათვალისწინება |
|---|---|---|
| $l \le 1$ მ | $l/120$ | ჩაღუნვების გაანგარიშება ხდება მუდმივი და დროებითი ხანგრძლივი ნორმატიული დატვირთვების მიხედვით. |
| $l = 3$ მ | $l/150$ | |
| $l = 6$ მ | $l/200$ | |
| $l = 12 \ldots 24$ მ | $l/250$ | |
| $l = 24 \ldots 36$ მ | $l/300$ | |

## 3.8. ფოლადის შეკუმშული ელემენტები

შეკუმშული ელემენტებია სვეტები, წამწის ზედა სარტყელი და გისოსის ზოგიერთი ელემენტი. სვეტები დატვირთვას ზემოგანლაგებული კონსტრუქციიდან (მაგალითად, სართულთშორისი გადახურვიდან) გადასცემს საძირკვლებს ან ქვემოდან განლაგებულ კონსტრუქციებს, რომლებსაც ეყრდნობიან. წამწეში, როგორც ღეროებისაგან შედგენილ ღუნვად კონსტრუქციაში იკუმშება ზედა სარტყელი, დგარები და დაღმავალი ირიბნები.

დატვირთვის მდებარეობის მიხედვით არის ცენტრალურად და გარეცენტრულად შეკუმშული სვეტები (ელემენტები, ღეროები). თუ დატვირთვის ტოლქმედი მოდებულია განივკვეთის სიმძიმის ცენტრში და მიმართულებით ემთხვევა სვეტის ღერძს – ელემენტი ცენტრალურადაა შეკუმშული, თუ ცენტრის გარეთ – გარეცენტრულად (ნახ. 3.20).




ნახ. 3.20. ძაბვების განაწილება კუმშვისას
ა – ცენტრალური კუმშვა; ბ, გ, დ – გარეცენტრული კუმშვა სხვადასხვა სიდიდის $e_0$ ექსცენტრისიტეტისას

ყველა შეკუმშული ელემენტი, მათ შორის ცენტრალურად შეკუმშულიც, განიცდის გრძივ ღუნვას. ეს დამოკიდებულია შეკუმშული ღეროს მოქნილობაზე, რომელიც ფორმულის სახით შემდეგნაირად გამოისახება $\lambda_i = l_0/i$. აქ $l_0$ შეკუმშული

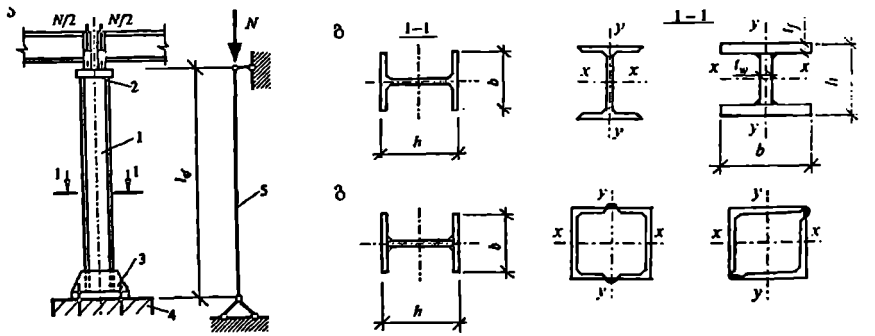
ღეროს საანგარიშო სიგრძეა, დამოკიდებული ბოლოების ჩამაგრებაზე – $l_0 = \mu l$ . $l$ ღეროს გეომეტრიული სიგრძეა, $\mu$ აიღება ცხრილ 3.8-დან; $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$ – კვეთის ინერციის უმცირესი რადიუსი.

ცხრილი 3.8

| ღეროს ბოლოების ჩამაგრების სქემა | |  |  |  |  |
|---|---|---|---|---|---|
| $\mu$ | ფოლადისა და რკინაბეტონის ღერო | $\mu = 1,0$ | $\mu = 0,7$ | $\mu = 0,5$ | $\mu = 2,0$ |
| | ხის ღერო | $\mu = 1,0$ | $\mu = 0,8$ | $\mu = 0,65$ | $\mu = 2,2$ |

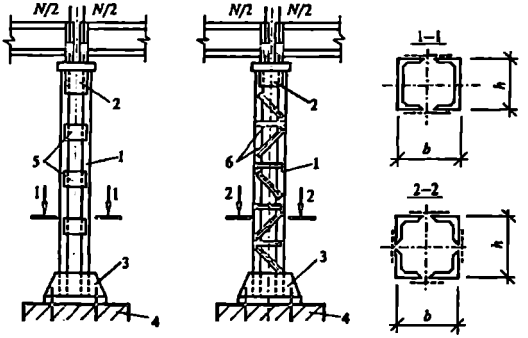
ფოლადის შეკუმშული ელემენტები ძირითადად მოქნილია, ამიტომ გრძივი ღუნვა ანუ საერთო მდგრადობის დაკარგვა, ყოველთვის არის მოსალოდნელი და ამიტომ ამ გარემოებას გაანგარიშებისას ითვალისწინებენ შესაბამის $\varphi$ კოეფიციენტით, რომელიც მოქნილობის მიხედვით მოცემულია ნორმებში. შეკუმშულმა ელემენტმა შეიძლება განიცადოს ადგილობრივი მდგრადობის დაკარგვა, მაგრამ მის საწინააღმდეგოდ გამოიყენება განივი სიხისტის წიბოების მიდუღება.

ფოლადის შეკუმშული ელემენტები – სვეტები ფართოდ გამოიყენება მშენებლობაში. ისინი უფრო ძვირია ვიდრე ხის, რკინაბეტონისა და ქვის სვეტები, მაგრამ არის შემთხვევები, როგორც ადრე აღვნიშნეთ, 18 მ-ზე მაღალი სამრეწველო შენობებში, ხიდურა ამწის დიდი მალის ან მძიმე რეჟიმით ექსპლუატაციისას, მას უპირატესობა ენიჭება. ზოგჯერ ფოლადის სვეტი გამოიყენება იმიტომ, რომ გაგლინული პროფილის ფოლადის გამოყენება სვეტად ადვილია, რაც შეიძლება ეკონომიკურად ხელსაყრელიც კი გამოდგეს.

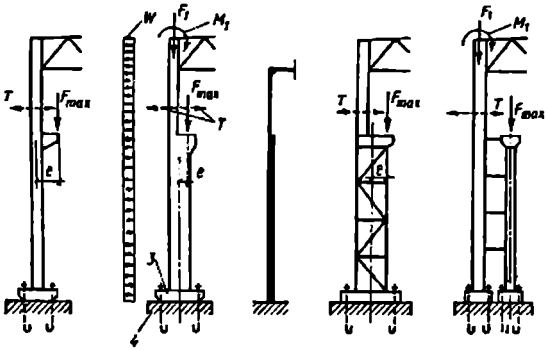



ნახ. 3.21. მთლიანკედლიანი ცენტრალურად შეკუმშული სვეტი
1 – სვეტის ღერო; 2 – სვეტის თავი; 3 – სვეტის ბაზა; 4 – საძირკველი;
5 – საანგარიშო სქემა

ფოლადის სვეტები შეიძლება იყოს მთლიანკვეთიანი, უმრავლეს შემთხვევაში ფართოთაროებიანი ორტესებრი პროფილის, აგრეთვე შედგენილი, ორი ერთმანეთზე მიდუღებული შველერით ან კუთხოვანით (ნახ. 3.21). განგმირკედლიანი სვეტები შედგენილია ორი შველერისა და თამასებისაგან ან ოთხი კუთხოვანისგან, რომლებიც ერთმანეთთან დაკავშირებულია ასევე მცირე ზომის კუთხოვანების გისოსით (ნახ. 3.22).




ნახ. 3.22. განგმირკედლიანი ცენტრალურად შეკუმშული სვეტები.
1 – სვეტის ღერო; 2 – სვეტის თავი; 3 – სვეტის ბაზა; 4 – საძირკველი;
5 – თამასა; 6 – კუთხოვანა.




ნახ. 3.23. გარეცენტრულად შეკუმშული სვეტები

### 3.8.1. შეკუმშული ელემენტების გაანგარიშება

ა) ცენტრალურად შეკუმშული ფოლადის სვეტების გაანგარიშება

ზემოაღნიშნულის შესაბამისად ფოლადის სვეტები უნდა გაანგარიშდეს სიმტკიცისა და საერთო მდგრადობის დაკარგვის მიხედვით. ამასთან საჭიროა შეიზღუდოს სვეტის ღეროს მოქნილობა.

სიმტკიცეზე გაანგარიშება სრულდება ფორმულით

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \le R_y \gamma_c , \qquad (3.36)$$

სადაც $\sigma$ სვეტის განიკვეთში აღძრული ნორმალური ძაბვაა;

$N$ – საანგარიშო გრძივი ძალა;

$A_n$ – განივკვეთის ფართობი ნეტო ანუ ფართობი შესუსტებების (მაგალითად, ჭანჭიკებისათვის ნახვრეტების) გათვალისწინებით;

$R_y$ – დენადობის ზღვარის მიხედვით ფოლადის საანგარიშო წინაღობა;

$\gamma_c$ – მუშაობის პირობების კოეფიციენტი.

რადგან ფოლადის სვეტის ზიდვის უნარი ამოიწურება უმრავლეს შემთხვევაში გრძივი ღუნვისაგან, ამიტომ ღეროს განივი კვეთის ზომები შეირჩევა მდგრადობაზე გაანგარიშების პირობიდან.

მდგრადობაზე გაანგარიშება სრულდება ფორმულით

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A} \le R_y \gamma_c . \tag{3.37}$$

აქ $\varphi$ გრძივი ღუნვის კოეფიციენტია;

$A$ – განივკვეთის სრული (ბრუტო) ფართობი.

მიუხედავად იმისა, სიმტკიცეზე სრულდება გაანგარიშება თუ მდგრადობაზე, ნორმები ზღუდავს სვეტის ღეროს მოქნილობას, რომელიც არ უნდა იყოს ზღვრულზე მეტი.

მოქნილობის შემოწმება ხდება პირობით

$$\lambda = \frac{l_0}{i} \le \lambda_u , \tag{3.38}$$

$l_0 = \mu l$ სვეტის საანგარიშო სიგრძეა ($\mu$ აიღება ცხრილი 3.8-დან);

$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$ – განივკვეთის ინერციის რადიუსი.

ცენტრალურად შეკუმშული სვეტის ღეროს კვეთის შერჩევისას ჯერ საჭიროა შეირჩეს საანგარიშო სქემა, დადგინდეს ღეროს $l_{ef} = \mu l$ საანგარიშო სიგრძე, დაინიშნოს განივკვეთის პროფილი და გამოყენებული ფოლადი (მაგალითად, C235-დან C345-მდე), ნორმებიდან შეირჩევა $\gamma_c$ მუშაობის პირობების კოეფიციენტი და (3.37) ფორმულიდან განისაზღვრება განივკვეთის საჭირო ფართობი

$$A = \frac{N}{\varphi R_y \gamma_c} . \tag{3.39}$$

$\varphi$-ს განსასაზღვრავად საჭიროა წინასწარ, დაპროექტების გამოცდილების მიხედვით მივიღოთ მოქნილობა (ჩვეულებრივ – 70-დან 100-მდე) და ნორმების შესაბამისი ცხრილიდან შეირჩეს $\varphi$-ს მნიშვნელობა.

მიღებული $\lambda$ მოქნილობის მიხედვით (3.38)-დან განისაზღვრება კვეთის საჭირო $i$ ინერციის რადიუსი $i = l_{ef}/\lambda$ და (3.39)-ის მიხედვით განსაზღვრული კვეთის ფართობისა და გამოთვლილი ინერციის რადიუსის მიხედვით შეირჩევა სორტამენტიდან სათანადო კვეთი თავისი მახასიათებლებით ($A$, $i_x$, $i_y$).

მიღებული კვეთის მიხედვით ხდება სიმტკიცისა (3.36) და მდგრადობის (3.37) შემოწმება და საჭიროების შემთხვევაში – ზომების კორექტირება.

ბ) გარეცენტრულად შეკუმშული სვეტის გაანგარიშება.

გარეცენტრულად შეკუმშული სვეტი ძირითადად არის ერთსართულიანი სამრეწველო შენობის კარკასის ელემენტი, სადაც მოძრაობს ხიდურა ამწე, რომლისგანაც სვეტს გადაეცემა დატვირთვა გარეცენტრულად. სამრეწველო შენობის კარკასის განივი ჩარჩოს საკმაოდ რთული გაანგარიშებისას ხდება სვეტის, როგორც ამ ჩარჩოს შემადგენელი ელემენტის გაანგარიშება.

ზოგადად თუ ჩავთვლით, რომ გარეცენტრულად შეკუმშული ელემენტი (სვეტი, დგარი, ღერო) მუშაობს დრეკად ფარგლებში (უმრავლეს შემთხვევაში – ასეა) შეიძლება ვისარგებლოთ სიმტკიცის შემდეგი პირობით

$$\frac{N}{A_n} \pm \frac{M_x}{W_{xn}} \pm \frac{M_y}{W_{yn}} \le R_y \gamma_c , \qquad (3.40)$$

სადაც $N$, $M_x$, $M_y$ კეთ'ში მოქმედი გრძივი ძალა და $x$ და $y$ ღერძების სიბრტყეში მოქმედი მღუნავი მომენტებია;

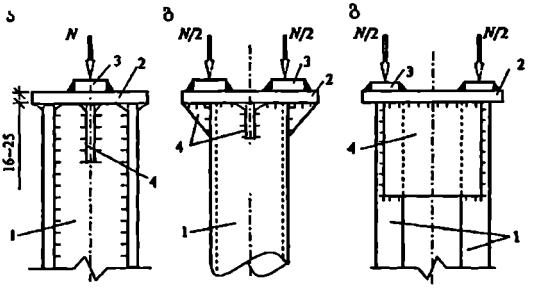
$A_n$, $W_{xn}$, $W_{yn}$ – კვეთის ნეტო ფართობი და $x$ და $y$ ღერძების მიმართ კვეთის წინაღობის მომენტები.

გარეცენტრულად შეკუმშული სვეტის გაანგარიშება მდგრადობაზე ანალოგიურია ცენტრალურად შეკუმშულისა

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_e A} \le R_y \gamma_c . \qquad (3.41)$$

აქ $\varphi_e$ განისაზღვრება პირობითი მოქნილობისა და ფარდობითი ექსცენტრისიტეტის (იხილეთ ნორმები [4]) მიხედვით და შეირჩევა ნორმების სათანადო ცხრილიდან.

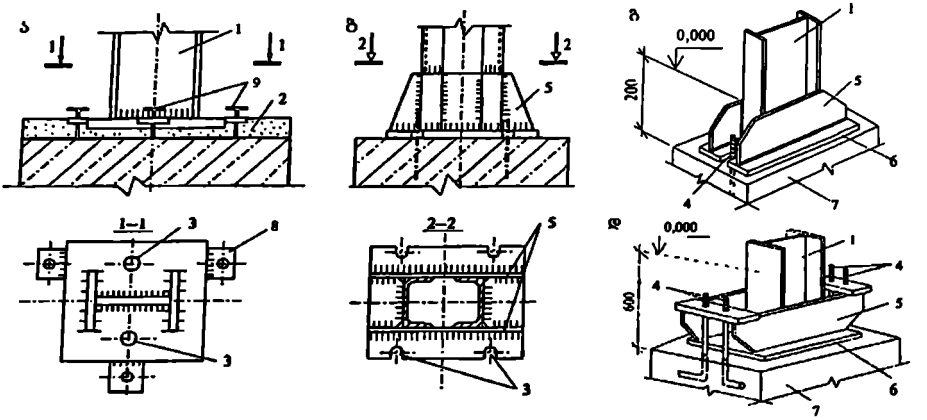
გაანგარიშების შემდეგ სრულდება სვეტის კონსტრუირება, რაც გამოიხატება ძირითადი სამი ელემენტის (ღერო, თავი, ბაზა) მუშა ნახაზებში ასახვით. სვეტის ღეროს კონსტრუქცია მოცემულია 3.21, 3.22 და 3.23 ნახაზებზე. ხოლო სვეტის თავის – ნახ. 3.24-ზე, სვეტის ბაზის – ნახ. 3.25-ზე.




ნახ. 3.24. სვეტის თავი: ა – ორტესებრი კვეთის; ბ – მილი; გ – ოთხი კუთხოვანა. 1 – სვეტის ღერო; 2 – საყრდენი ფილა; 3 – დაცენტერის ფირფიტა; 4 – სიხისტის წიბო.

საჭიროების შემთხვევაში (საესკიზო დაპროექტებისას) სვეტის განივკვეთის ზომები შეიძლება დაინიშნოს გაანგარიშების გარეშე თუ დავუშვებთ სვეტის ჩვეულებრივ მოქნილობას $\lambda \approx 60 \ldots 90$ (არა უმეტესი 120-სა). მაგალითად, თუ გვაქვს სვეტი ფართოთაროებიანი ორტესებრი კვეთის, ზომებით $b \cong h$, სადაც მოქნილობა $\lambda = 60$ გვექნება

$$\lambda = \frac{l}{i} \approx \frac{l}{0{,}24b} ;$$



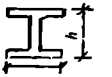
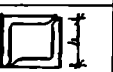
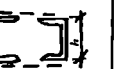
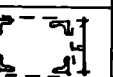

ნახ. 3.25. მთლიანი და შედგენილი კვეთის სვეტების ბაზები.
ა – ბაზა ტრავერსის გარეშე; ბ – ბაზა ტრავერსით; გ – სვეტის საძირკველთან სახსრული დამაგრება; დ – სვეტის საძირკველთან ხისტი დამაგრება. 1 – სვეტი; 2 – დამონოლითების ბეტონი; 3 – საანკერო ჭანჭიკების ნახვრეტები; 4 – საანკერო ჭანჭიკები; 5 – ტრავერსები; 6 – სვეტის ბაზის საყრდენი ფილა; 7 – ბეტონის საძირკველი; 8 – საყრდენ ფილაზე მიდუღებული თამასა ჭანჭიკის დასაყენებელი ნახვრეტით; 9 – სვეტის დასაყენებელი ჭანჭიკები

საიდანაც

$$b \approx \frac{l}{0{,}24\lambda} = \frac{l}{0{,}24 \cdot 60} \approx \frac{l}{14{,}4} \approx h\,.$$

ამგვარად გამოთვლილი ზომები პრაქტიკაში გავრცელებული სვეტებისათვის მოცემულია ცხრილ 3.9-ში.

ცხრილი 3.9

| № | კვეთის დასახელება | ესკიზი | დაახლოებითი გაბარიტის ზომები მოქნილობისას | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | $\lambda = 60$ | $\lambda = 90$ | $\lambda = 120$ |
| 1 | ფართოფარფლიანი შედგენილი ორტესებრი |  | $b \approx h \approx \frac{l}{14}$ | $b \approx h \approx \frac{l}{21}$ | $b \approx h \approx \frac{l}{29}$ |
| 2 | მილი |  | $d_{\text{საშ}} = \frac{l}{21}$ | $d_{\text{საშ}} = \frac{l}{31}$ | $d_{\text{საშ}} = \frac{l}{42}$ |
| 3 | ორი კუთხოვანასგან შეკრული |  | $b \approx h \approx \frac{l}{24}$ | $b \approx h \approx \frac{l}{36}$ | $b \approx h \approx \frac{l}{48}$ |
| 4 | გამჯოლი ორი შველერისაგან |  | $b \approx h \approx \frac{l}{23}$ | $b \approx h \approx \frac{l}{34}$ | $b \approx h \approx \frac{l}{45}$ |
| 5 | გამჯოლი ოთხი კუთხოვანასაგან |  | $b \approx h \approx \frac{l}{26}$ | $b \approx h \approx \frac{l}{39}$ | $b \approx h \approx \frac{l}{52}$ |

## 3.9. ფოლადის გაჭიმული ელემენტები

სამშენებლო კონსტრუქციებიდან გაჭიმვაზე მუშაობს ძირითადად ფოლადის და ხის კონსტრუქციები, უფრო იშვიათად წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციები.

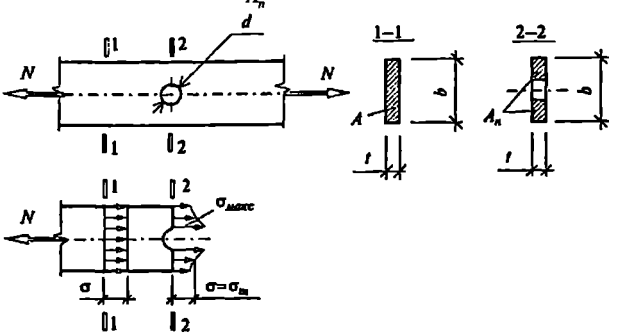
ფოლადის გაჭიმული ელემენტებია წამწის ქვედა სარტყელი და გისოსის ზოგიერთი ელემენტი, თაღების საკოჭი, ცილინდრული რეზერვუარის კედელი, წამწის ან თაღის საკიდები.

გაჭიმული ელემენტები იყოფა: ცენტრალურად და გარეცენტრულად გაჭიმულ ელემენტებად. ცენტრალურად იჭიმება ელემენტი, როდესაც გამჭიმავი ძალა მოდებულია განიკვეთის სიმძიმის ცენტრში და მიმართულება ემთხვევა ელემენტის ღერძს. გარეცენტრულია თუ გამჭიმავი ძალა მოდებულია კვეთის ცენტრის გარეთ. ფოლადის გაჭიმული ელემენტები შეიძლება განეიხილოთ კუმშვის ანალოგიურ შემთხვევად (ძალის მიმართულებაშია მხოლოდ განსხვავება) იმ სპეციფიკით, რომ გაჭიმული ელემენტები მდგრადია, არ განეითარდება გრძივი ღუნვა, ამიტომ მდგრადობაზე გაანგარიშებას არ საჭიროებს.

ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტის გაანგარიშებისას ითვლება, რომ კვეთში აღიძერება თანაბრად განაწილებული გამჭიმავი ძაბვები (ნახ. 3.26). მაგრამ ნახვრეტების ან ჩაჭრების არსებობა ამცირებს განივი კვეთის ფართობს, მათ ახლოს ხდება ძაბვათა კონცენტრაცია, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს დარღვევა (გაწყვეტა). ძაბვათა კონცენტრაცია, რომ რამდენადმე შერბილდეს ნახვრეტები ან ჩაჭრები უნდა შესრულდეს მდოვრედ (გლუვი კიდეებით). მახვილი კუთხეების გარეშე. ცხადია ელემენტის რღვევა მოსალოდნელია კვეთზე, რომელიც შესუსტებულია ანუ უმცირესი $A_n$ ფართობის კვეთზე. თუ ნახვრეტები ან ჩაჭრები არ არის $A_n = A$-ს – კვეთის სრულ ფართობს.

ცენტრალური გაჭიმვისას სიმტკიცეზე გაანგარიშება ხდება ფორმულით

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \le R_y \gamma_c . \qquad (3.42)$$




ნახ. 3.26. ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტის საანგარიშო სქემა

ფორმულა 3.42-ში მოცემული სიდიდეები იგივეა, რაც ცენტრალური კუმშვისას: $N$ მაქსიმალური გამჭიმავი ძალაა, $A_n$ – კვეთის ნეტო ფართობი, $R_y$ – ფოლადის დენადობის ზღვარი; $\gamma_c$ – მუშაობის პირობების კოეფიციენტი.

საკმაოდ გრძელმა გაჭიმულმა ელემენტებმა, ძალიან დიდი მოქნილობის გამო, შეიძლება დაკარგოს პირვანდელი ფორმა (გაიღუნოს), რაც გააძნელებს მათ შემდგომ გამოყენებას. ამიტომ საჭიროა მოქნილობის შემოწმება ფორმულით

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i} \le \lambda_u . \qquad (3.43)$$

ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტის კვეთის შერჩევა ხდება:

1. შეირჩევა ფოლადის სიმტკიცე ნორმების [4] რეკომენდაციის მიხედვით;
2. შეირჩევა სათანადო ცხრილიდან მუშაობის პირობების კოეფიციენტის სიდიდე;
3. განისაზღვრება განივი კვეთის საჭირო ფართობი (3.42)-დან

$$A_n = \frac{N}{R_y \gamma_c} . \qquad (3.44)$$

4. თუ კვეთი შესუსტებული არ არის $A_n = A$;
5. თუ კვეთის შესუსტებულია, მაშინ კვეთის საერთო ფართობი იქნება $A_n$-ს დამატებული შესუსტების ფართობი, რომლის მიხედვითაც შეირჩევა ფაქტიური ბრუტო და ნეტო ფართობები და შესაბამისი კვეთის ინერციის რადიუსი;
6. შემოწმდება შერჩეული ელემენტის მოქნილობა: $\lambda = \frac{l_{ef}}{i} \le \lambda_u$;
7. შემოწმდება შერჩეული კვეთის სიმტკიცე $\sigma = \frac{N}{A_n} \le R_y \gamma_c$.

ამით კვეთის შერჩევა და გაანგარიშებაც დამთავრებულია.

## 3.10. ფოლადის წამწვები

### 3.10.1. ფოლადის წამწის კონსტრუქციული თავისებურებები

წამწე არის გისოსოვანი კონსტრუქცია, რომლის ღეროების ბოლოები შეერთებულია კვანძებად და წარმოქმნიან გეომეტრიულად უცვლელ სისტემას. ბრტყელი წამწეები გამოიყენება დიდმალიანი სამრეწველო და სამოქალაქო შენობების გადასახურავად. სივრცული წამწეა ვერტიკალურად დადგმული მაღალი ძაბვის ელექტროგადაცემის ხაზის საყრდენები, ანძები და სხვა.

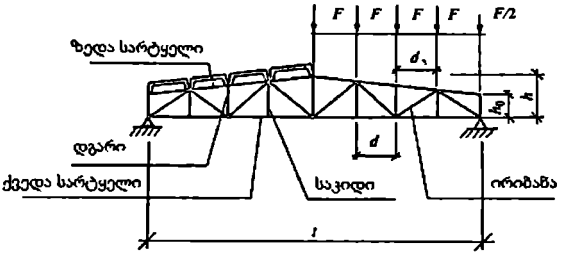
დიდი მალის გადასახურავად წამწის უპირატესობა უფრო მარტივი კონსტრუქციის – კოჭთან შედარებით არის მისი ეკონომიურობა: მთლიანი კვეთის გისოსური კონსტრუქციით შეცვლის გამო.

წამწე, ისევე როგორც კოჭი, მუშაობს განივ ღუნვაზე. რადგან დატვირთვა წამწეზე მოდებულია შეყურსულ ძალთა სისტემის სახით წამწის კვანძებში, ხოლო ამ კვანძებში ღეროები შეერთებულია სახსრულად, ამიტომ წამწის ელემენტები განიცდიან ცენტრალურ კუმშვას ან გაჭიმვას.

წამწის ძირითადი მახასიათებლებია: ზედა სარტყლის მოხაზულობა, მთავარი გეომეტრიული ზომები და ელემენტების კონსტრუქცია. ეს ელემენტებია: ზედა და ქვედა სარტყელი, გისოსის დგარები, საკიდები, ირიბანები. განაპირა ელემენტებს ეწოდება საყრდენი დგარები და ირიბანები.

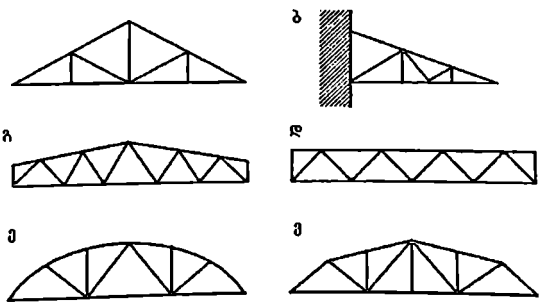
წამწის ძირითადი გეომეტრიული ზომებია: $l$ – მალი (დაყრდნობის ცენტრებს შორის მანძილი); $d$ – პანელის ზომა (კვანძებს შორის მანძილი, რომელიც ძირითადად ერთნაირია ზედა და ქვედა სარტყლის კვანძებს შორის, ან შედარებით ორჯერ მეტია ქვედა სარტყლის, ვიდრე ზედა სარტყლის კვანძებს შორის); $h$ – წამწის სიმაღლე კეხში; $h_0$ – წამწის სიმაღლე საყრდენზე (ნახ. 3.27).

პანელის ზომა $d$ დამოკიდებულია დახურვის რკინაბეტონის პანელის სიგანეზე ან ფოლადის გრძივების ბიჯზე. უმრავლეს შემთხვევაში $d = 3000$, იშვიათად $d = 1500$ მმ. წამწის დაპროექტებისას ცდილობენ მისი ზომების უნიფიცირებას, რომ საჭიროების შემთხვევაში გაადვილდეს მისი შემდგომი შეცვლა და რეკონსტრუქცია.




ნახ. 3.27. წამწის გეომეტრიული ზომები და გისოსის ელემენტები

წამწის ზედა სარტყლის მოხაზულობა ძირითადად დამოკიდებულია მის დანიშნულებაზე, დახურვის სახეობაზე, მუშაობის სტატიკურ სქემაზე და ა.შ. გავრცელებულია – სამკუთხა, ტრაპეციული, პოლიგონური მოხაზულობისა და პარალელურსარტყლებიანი წამწე (ნახ. 3.28). სასურველია, რომ ზედა სარტყლის მოხაზულობა დაემთხვეს დატვირთვის შესაბამისი მომენტების ეპიურის მოხაზულობას. ამიტომ, თუ წამწეზე მოქმედებს თანაბრად განაწილებული დატვირთვა, მასალების ხარჯის მიხედვით ყველაზე ეკონომიურია წამწის ზედა სარტყლის თაღური (კვადრატული პარაბოლა) ან მისი შემცველელი პოლიგონული მოხაზულობა.




ნახ. 3.28. წამწეების ზედა სარტყლის მოხაზულობები
ა – სამკუთხა; ბ – სამკუთხა კონსოლური; გ – ტრაპეციული; დ – პარალელურსარტყლებიანი; ე) მრუდხაზოვანი (თაღური); ვ – პოლიგონური.

პოლიგონული ან თაღური წამწეები ძირითადად გამოიყენება დიდი მალის ან დიდი დატვირთვის შემთხვევაში, რადგან საკუთარი წონისაგან დატვირთვა მნიშვნელოვნად ნაკლებია, ვიდრე სხვა ტიპის წამწეებში.

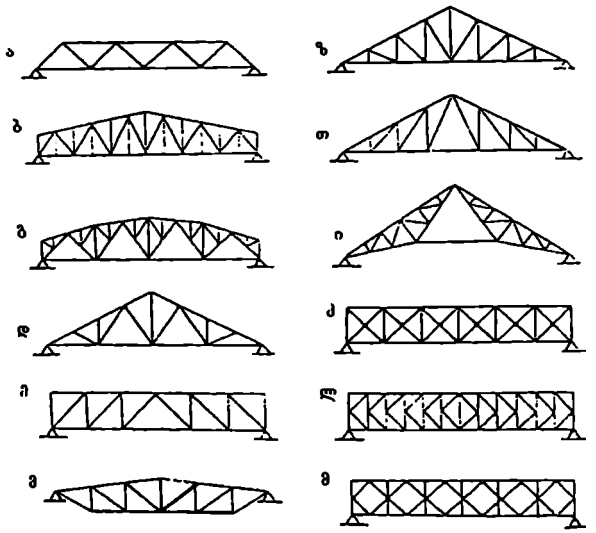
პარალელურსარტყლებიან წამწეს აქვს შედარებით მარტივი სქემა, რაც სასურველია ქარხანაში მისი დამზადების ტექნოლოგიის სიმარტივისათვის, ამიტომ იგი უფრო ხშირად გამოიყენება. თუმცა წყლის გადაყვანის საკითხი ცალკე გადაწყვეტას მოითხოვს.

ტრაპეციული მოხაზულობის წამწე ძირითადად გამოიყენება რულონური ბურულის მოწყობისას, როდესაც წყლის გადასაყვანად საკმარისია ზედა სარტყელის მცირე დახრა.

სამკუთხა წამწეები გამოიყენება მხოლოდ ფოლადის ტალღოვანი ფურცლების, კრამიტის ან სხვა მასალებისაგან გადახურვის მოწყობისას, როდესაც საჭიროა სახურავის მკვეთრი (25...45°) დახრა.

გისოსი უზრუნველყოფს წამწის გეომეტრიულ უცვლელობას და შეყურსული დატვირთვის კვანძურ გადაცემას. გისოსის სისტემაზეა დამოკიდებული წამწის მასა, დამზადების შრომატევადობა და გარეგნული შესახედაობა (ნახ. 3.29).

გისოსის სისტემის შერჩევისას უპირატესობა ენიჭება, ისეთ სისტემას, რომელშიც ღეროების ჯამური სიგრძე, ღეროებისა და კვანძების რაოდენობა მინიმალურია, უფრო გრძელია გაჭიმული ელემენტები და უფრო მოკლე სიგრძის, შეკუმშული ელემენტები. ყველაფერი ეს უზრუნველყოფს წამწის დამზადების შრომატევადობის შემცირებას. ყველაზე უკეთესია სამკუთხა გისოსი ოლონდ სარტყლის პანელის სიგრძე (კვანძებს შორის მანძილი) შეიძლება იმდენად დიდი

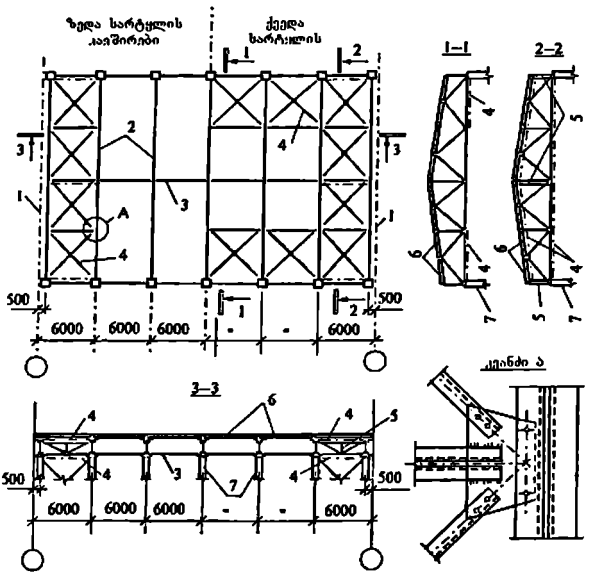



ნახ. 3.29. წამწის გისოსის სისტემები

აღმოჩნდეს, რომ საჭირო გახდეს კედლისგარეთა დატვირთვა, რაც გამოიწვევს სარტყლის გაღუნვას. მაშინ სამკუთხა გისოსს უმატებენ დგარებს და აუცილებლობის შემთხვევაში – საკიდებსაც (ნახ. 3.29, ბ, დ). ირიბნებიანი წამწის დამახასიათებელი თვისებაა, რომ ირიბნებში წარმოიქმნება ერთი ნიშნის, ხოლო დგარებში საწინააღმდეგო ძალვა. მაგალითად, აღმავალი ირიბნები განიცდის გაჭიმვას, შესაბამისი კვანძის დგარები – კუმშვას, დაღმავალი ირიბნები – კუმშვას, შესაბამისი დგარები – გაჭიმვას. საკიდები, რომელზედაც ჩამოკიდებულია ქვედა სარტყელი, ხოლო საჭიროების შემთხვევაში დამატებითი დატვირთვა (შეკიდული ჭერი, ტელფერი და სხვა) – მუშაობს გაჭიმვაზე. ზოგჯერ დატვირთვის კვანძებში გადაცემის უზრუნველსაყოფად იყენებენ გისოსების შპრენგელურ სისტემას (ნახ. 3.29, გ). აღსანიშნავია, რომ პარალელურ სარტყელებიან და ტრაპეციულ წამწეებში დაღმავალი ირიბანები გაჭიმულია, ხოლო აღმავალი – შეკუმშული. სამკუთხა წამწეში პირიქით: დაღმავალი ირიბანები იკუმშება, აღმავალი იჭიმება. ამიტომ პირველისთვის რაციონალურია გისოსების სისტემა დაღმავალი ირიბნებით (უფრო მოკლე შეკუმშული დგარებით და გრძელი გაჭიმული ირიბნებით). სამკუთხა წამწეშიც ასეთივე გისოსია რაციონალური, ოღონდ იმიტომ, რომ გისოსების ღეროების ჯამური სიგრძე მინიმალურია და კვანძები უფრო კონსტრუქციული. ნახევრადირიბნებიან და რომბისებურ (ნახ. 3.29, ლ, მ) გისოსებს ახასიათებს დიდი სიხისტე და მიზანშეწონილია მათი გამოყენება, როდესაც წამწეზე მოქმედებს დიდი განივი ძალა. თუ წამწეზე მოქმედებს დატვირთვა, რომელიც იცვლის ნიშანს (მაგალითად, ქარის დატვირთვა), გამოიყენება ჯვარული გისოსი (ნახ. 3.29, კ), რომლის ღეროები მუშაობს მხოლოდ გაჭიმვაზე, ხოლო კუმშვაზე მუშაობისას გაიღუნება და გამოერთვება მუშაობიდან. ასეთი გისოსი გამოიყენება კავშირის წამწეებში, კოშკებში, ხიდებსა და ანძებში.

გადახურვის წამწეზე მოქმედი დატვირთვისაგან იგი განიცდის ჩაღუნვას, რის გამოც შეიძლება გაძნელდეს ნორმალური ექსპლუატაცია, ამიტომ ჩაღუნვის შესამცირებლად 36 მ-ზე მეტი მალისა და ბრტყელი გადახურვისას – ნებისმიერი სიდიდის მალის შემთხვევაში, რეკომენდებულია წამწე დამზადდეს არა ჰორიზონტალური, არამედ შეაფრული ქვედა სარტყლით ანუ სამშენებლო აწევით, რომლის სიდიდე მიიღება ნორმატიული დატვირთვისაგან გამოწვეული ჩაღუნვის სიდიდეს დამატებული მალის 1/200.

თუ დიდი მალის წამწეებს თავის სიბრტყეში მუშაობისას დიდი სიხისტე აქვს, თავის სიბრტყის გარეთ სიხისტე უმნიშვნელოა, ამიტომ ადვილად შეიძლება დაკარგოს საერთო მდგრადობა. წამწის სიერცული სიხისტის უზრუნველსაყოფად შენობის ტემპერატურული ბლოკის თავსა და ბოლოში, ორ წამწეს შორის, ეწყობა ზედა და ქვედა სარტყლებს შორის ჰორიზონტალური და წამწეების დგარებს შორის ვერტიკალური კავშირები, რომლებიც თავის მხრივ წარმოადგენს გეომეტრიულად უცვლელ ღეროვან სისტემას – ჯვარედინ ირიბნებიან წამწეს, რომელიც ძირითადად შედუღებით უკავშირდება გადახურვის სანიენიეო წამწეებს (ნახ.3.30). თუ გადახურვის წამწეებზე ეყრდნობა რკინაბეტონის წიბოვანი პანელები, მაშინ ისინი ასრულებს ზედა სარტყლის ჰორიზონტალური კავშირების როლს.



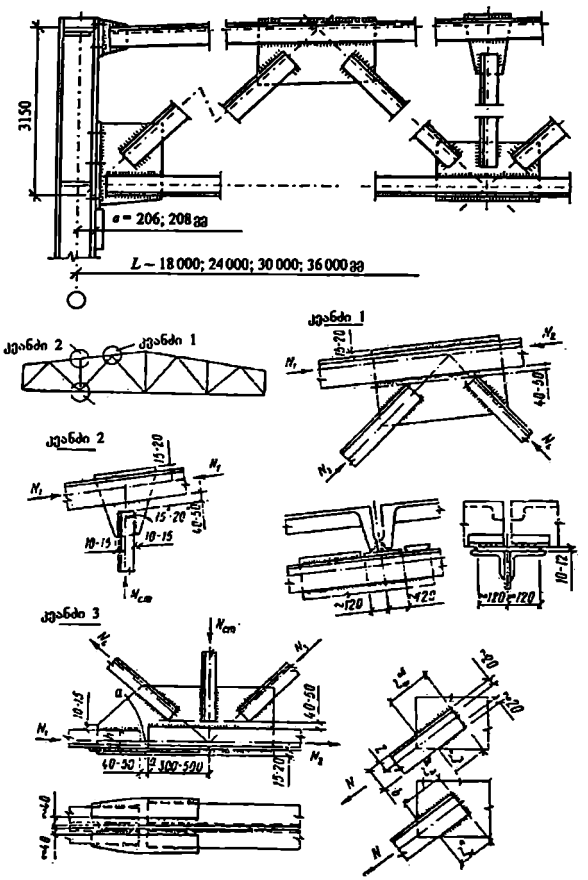

ნახ. 3.30. წამწის კავშირები რკინაბეტონის დახურვის პანელების შემთხვევისათვის

1 – ტემპერატურული ნაკერი; 2 – წამწეები; 3 – განმბჯენები; 4 – ჰორიზონტალური კავშირები; 5 – ვერტიკალური კავშირები; 6 – რკინაბეტონის პანელები; 7 – რკინაბეტონის სვეტები.

იმისათვის, რომ წამწის ღეროებმა იმუშაონ მხოლოდ ღერძულ ძალვაზე (კუმშვა ან გაჭიმვა), დიდი ყურადღება ეთმობა წამწის კვანძების მოწყობას. პირველ რიგში საჭიროა კვანძის ცენტრში გადაიკვეთოს მასში შემავალი ღეროების კვეთის სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ღერძები. ამ ღეროების კვანძში შემაერთებელი ფირფიტის – ფასონურას ფორმა შეესაბამება ღეროების მათზე მიდუღების შესაძლებლობას და ლითონის მინიმალურ დანახარჯს. კვანძში გისოსის ელემენტები ფასონურაზე მიდუღდება ორი ფლანგური და ერთი შუბლა ნაკერით ისე, რომ ღეროს ბოლოსა და სათანადო სარტყელს შორის დარჩეს 40...50 მმ-ის ტოლი მანძილი, ხოლო თვით სარტყლის პირაპირის მოწყობისას შესაერთებელ ელემენტებს შორის ასევე მანძილი იყოს 45...50 მმ. ნახ. 3.31-ზე წარმოდგენილია წამწის კვანძების კონსტრუქცია.

ადგილებში, სადაც სარტყლის განივკვეთი იცვლება (ნახ. 3.31, კვანძი 3), ან სამონტაჟო კვანძში, სადაც ორი ნახევარი წამწე ერთდება, შეპირაპირების კვეთი გადაიფარება ფოლადის ფურცლის ან კუთხოვანა ზესადების მიდუღებით (ნახ. 3.32).

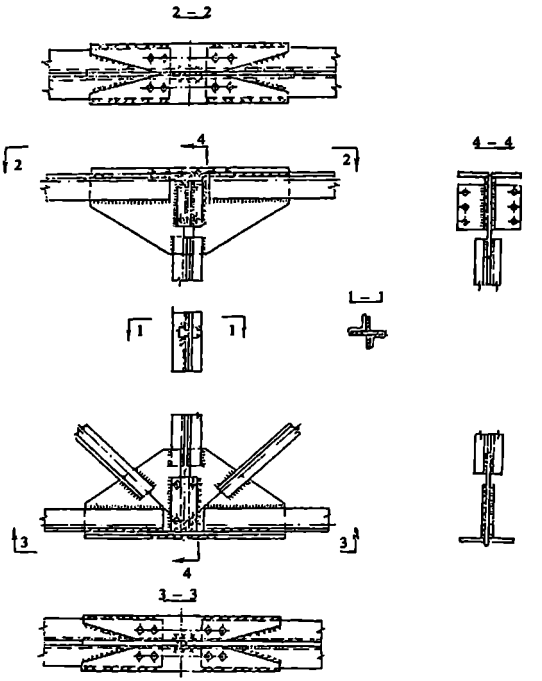
წამწის საყრდენი კვანძების დამუშავებისას საჭიროა საყრდენის მასალის გათვალისწინება (კედელი, ფოლადის ან რკინაბეტონის სვეტის), დაყრდნობის ტიპი (სახსრული, ხისტი), აგრეთვე საყრდენზე წამწის დატვირთვის გადაცემა საყრდენი




ნახ. 3.31. წამწის შუალედური და სვეტთან მიერთების კვანძები შეწყვილებული კუთხოვანებით შედგენილი ღეროებით

ფილის ცენტრში (ნახ. 3.33, ა, ბ). სახსრული დაყრდნობისას, როდესაც წამწე საყრდენზე ზევიდან არის დაყრდნობილი, ხშირად გამოიყენება კვანძები, რომლებიც ნაჩვენებია ნახ. 3.33, ა,ბ-ზე. სვეტზე გვერდიდან დაყრდნობისას საყრდენ მაგიდაზე (ფირფიტაზე) (ნახ. 3.33, გ), შეიძლება როგორც სახსრულად, ასევე ხისტად.

წამწის სიმაღლე შუაში იცვლება $h=(1/5\cdots1/4)l$ ფარგლებში, მაგრამ პარალელურსატყლებიან და ტრაპეციულ წამწეებში – $h=(1/9\cdots1/7)l$. წამწის სიმაღლის დანიშვნისას გასათვალისწინებელია ტრანსპორტირებაც. რკინიგზით გადაზიდვისას $h\le3,8$ მ. ტრაპეციული წამწის სიმაღლე საყრდენთან დამოკიდებულია

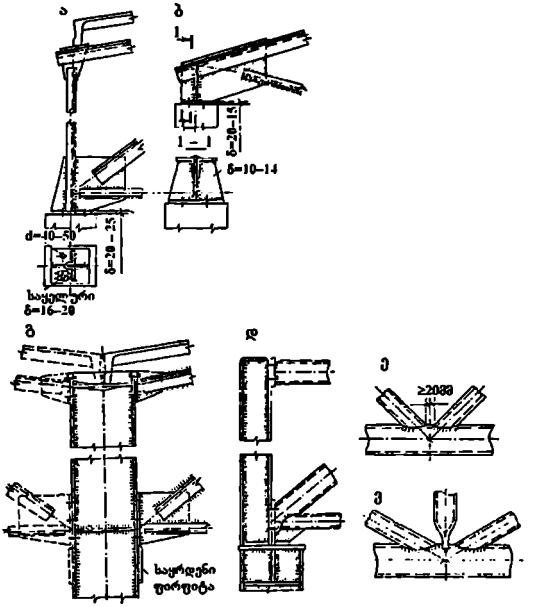



ნახ. 3.32. წამწის შუაში ორი ნახევარწამწის შეერთების პირაპირები ზედა და ქვედა სარტყელზე

წამწის შუაში სიმაღლესა და დახურვის დახრაზე. ჩვეულებრივ აიღება მალის 1/17···1/13 ფარგლებში. უნიფიცირებულ წამწეებში პანელის (კვანძებს შორის მანძილი) ზომაა $d = 3000$ მმ, სიმაღლე – $h = 2250$, 2400, 3150 მმ. ირიბნების დახრა 35...45°.

ფოლადის წამწეები მალისა და დატვირთვის სიდიდის მიხედვით იყოფა მსუბუქ და მძიმე წამწეებად. მსუბუქი წამწე გამოიყენება თუ მალი $l \leq 50$ მ და დატვირთვა 50 კნ-მდე. მძიმე (ხიდის წამწეები, დიდმალიანი გადახურვის წამწეები) – როდესაც მალი $l \geq 100$ მ-მდეა, ხოლო მოძრავი ტრანსპორტი გადასცემს დინამიკურ დატვირთვას.

ჩვეულებრივი, მსუბუქი წამწეები დამუშავებულია მალებისათვის: 18, 24, 30, 36 მ. შესაძლებელია 42 მეტრიც, მაგრამ აქ მას კონკურენციას უწევს თაღი. ე.ი. მსუბუქი წამწის ძირითადი მალებია $l = 24...36$ მ. დიდი მალის წამწეების დაპროექტება ხდება მძიმე წამწეებისათვის დამუშავებული მეთოდებით.




ნახ. 3.33. ა, ბ. გ – წამწეების საყრდენი კვანძები; დ, ე, ვ – მილებით შედგენილი წამწის ფოლადის სეტთან სახსროვანი შეერთება და შუალედური კვანძები.

### 3.10.2. ფოლადის წამწის გაანგარიშების საფუძვლები

ნებისმიერი მასალისაგან (ფოლადი, ხე, რკინაბეტონი) დამზადებული წამწის გაანგარიშების მიმდევრობა შემდეგია:

1. კონსტრუქციული მოსაზრებით შეირჩევა მასალა, სარტყლების მოხაზულობა, გისოსის სისტემა და უნდა მოხდეს წამწის გაერთმთლიანება (მიბმა) იმ შენობასთან ან ნაგებობასთან, რომლის გადახურვისათვისაც გამოიყენება.

2. განისაზღვრება დატვირთვები, რომლებსაც წარმოვიდგენთ, როგორც კვანძებში მოდებულ შეყურსულ ძალებს. დატვირთვებია: წამწის, კაეშირებისა და საფარის (დახურვის) წონა (მუდმივი დატვირთვა) და თოვლის ზემოქმედება (დროებითი დატვირთვა).

3. სამშენებლო მექანიკის მეთოდით (ანალიზური-კვანძების ამოკვეთა, გრაფიკული-მაქსველ-კრემონას დიაგრამის აგება) განისაზღვრება წამწის ღეროებში ძალვები (მკუმშავი ან გამჭიმავი).

4. ღეროში აღძრული ძალვის მიხედვით შეირჩევა მისი განივკვეთი. გაანგარიშებისას ღეროები განიხილება, როგორც ცენტრალურად შეკუმშული ან გაჭიმული.

5. გაანგარიშებით დადგინდება ღეროების ურთიერთკავშირი კვანძებში.

6. სრულდება წამწის საბოლოო კონსტრუირება.

ფოლადის წამწეების დაპროექტებისას გასათვალისწინებელია ზოგიერთი თავისებურება: ღეროები შეიძლება იყოს ცალკეული (მცირე მალისა და მცირე დატვირთვისას) ან შეწყვილებული კუთხოვანები, აგრეთვე მილები (წრიული ან სწორკუთხა). მილი უფრო ეკონომიურია მასალის ხარჯის მიხედვით, მაგრამ კვანძებში მათი შეერთება გაცილებით შრომატევადია, ვიდრე კუთხოვანების.

იმისათვის, რომ უზრუნველვყოთ წამწის ელემენტები საკუთარი მასისაგან გამოწვეული ზედმეტი ჩაღუნვისაგან, ხოლო გისოსის ღეროები გაღუნვისაგან ტრანსპორტირებისა და მონტაჟისას, აგრეთვე დინამიკური დატვირთვის გამო ვიბრაციისაგან, საჭიროა შეკუმშული სარტყლის, საყრდენი დგარებისა და საყრდენი ირიბანას მოქნილობა $\lambda \le 120$. სხვა შეკუმშული ელემენტებისათვის – $\lambda \le 150$, კაუშირის წამწის მოქნილობა – $\lambda \le 200$.

მოქნილობაზე დამოკიდებულია, აგრეთვე, შეკუმშული ღეროების ზიდვის უნარიც. მაშასადამე დამოკიდებულია ამ ღეროების საანგარიშო სიგრძეზე.

ღეროების გეომეტრიულ $l$, სიგრძედ მიიღება კვანძების ცენტრებს შორის მანძილი, ხოლო საანგარიშოდ სიგრძედ – წამწის სიბრტყეში გისოსის ღეროებისათვის (გარდა საყრდენი ირიბანასა და დგარისა) $l_{ox} = 0{,}8l$. წამწის სიბრტყის პერპენდიკულარული მიმართულებით $l_{oy} = l$. ნახ. 3.31-ზე ნაჩვენებია წამწის ღეროს კონსტრუქცია შედგენილი შეწყვილებული კუთხოვანებით, რომლებიც მუშაობს ცენტრალურ კუმშვასა და გაჭიმვაზე. მათი სიმტკიცეზე, მდგრადობასა და მოქნილობაზე გაანგარიშება ანალოგიურია წინა პარაგრაფებში (3.7 და 3.8) მოცემული გაანგარიშებებისა, განხილულია აგრეთვე რიცხვით მაგალითებში.

წამწის კონსტრუირებისას საჭიროა ზოგიერთი აუცილებელი პირობის დაცვა:

1. კვანძებში შემავალი ღეროების ღერძები უნდა გადაიკვეთოს ერთ წერტილში, რომელსაც კვანძის ცენტრი ეწოდება. თუ ეს არ მოხდა, მაშინ კვანძში აღიძვრება მღუნავი მომენტი, რაც მკვეთრად გააუარესებს მის მუშაობას და აისახება მთელი წამწის დაძაბულ მდგომარეობაზე;

2. ზედა სარტყელის კუთხოვანები ყუით უნდა იყოს მიმართული ზევით. ღეროების განიკეთის სიმძიმის ცენტრი უნდა ემთხვეოდეს წამწის ღერძულ ხაზზე გამავალ სიბრტყეს;

3. გისოსის ღეროების კიდე არ უნდა იყოს მიდებული კვანძში ერთმანეთთან, ასევე სარტყელთან. მათ შორის დაშორება აიღება არა უმცირეს 50 მმ-სა. ეს საჭიროა იმიტომ რომ ფასონურ ფურცელზე მათი მიდუღებისას ზედმეტი ძაბვა არ წარმოიქმნას;

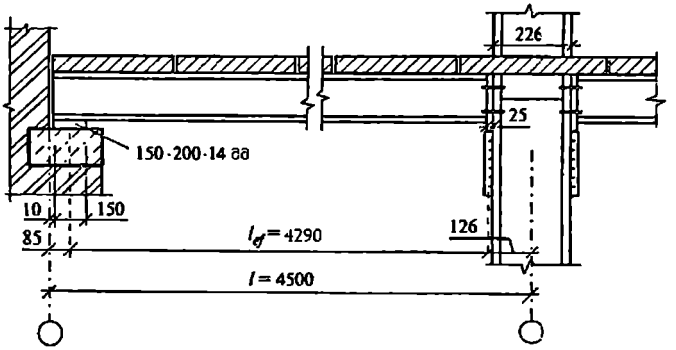
4. წამწის გისოსის ელემენტებისათვის აიღება გაგლინული კუთხოვანები თაროების ზომით არანაკლებ 50×50×5 მმ-ისა, გაანგარიშებიდან დამოუკიდებლად;

5. შეწყვილებული კუთხოვანების ერთობლივი მუშაობისათვის ღეროებში, კუთხოვანებს შორის, ჩაეტანება (მიდუღდება) სპეციალური ფირფიტები (შუადები), რომელთა შორის მანძილი შეკუმშულ ღეროებში აიღება არაუმეტეს $40i$-სა, გაჭიმულ ღეროებში – $80i$-ს. აქ $i$ არის ერთი კუთხოვანას ინერციის რადიუსი $y-y$ ღერძის მიმართ (აიღება სორტამენტიდან).

6. ფასონური ფურცლის სისქე, რომელ'ხედაც მიედ'ეღება კვანძში შემაეალი ღეროები, აიღება ყველა კვანძში ერთნაირი, ხოლო სიდიდე დამოკიდებულია ღეროებში აღძრულ უდიდეს მკუმშავ ან გამჭიმავ ძალვაზე (თუ $N \le 200$ კნ – $t = 8$ მმ; $N = 200 \ldots 500$ კნ – $t = 10$ მმ; $N = 500 \ldots 750$ კნ – $t = 12$ მმ).

## 3.11. ლითონის კონსტრუქციების გაანგარიშების მაგალითები

მაგალითი 3.1. გავიანგარიშოთ გადახურვის ფოლადის კოჭი, გაგლინული ორტესებრი კვეთის, ნომინალური მალით $l = 4{,}5$ მ. კოჭი დაყრდნობილია ერთი ბოლოთი კედლის პილიასტრზე (კედლის გაგანიერებული ნაწილი), ხოლო მეორე ბოლოთი – ფოლადის სვეტზე (ნახ. 3.34). კოჭები განლაგებულია ბიჯით $s = 6$ მ. ე.ი. ერთ კოჭს გადაეცემა გადახურვის $l \times s = 4{,}5 \times 6.0$ მ ფართობიდან შეკრებილი დატვირთვა.




ნახ. 3.34. ფოლადის კოჭის დაყრდნობის სქემა

მოცემ'ულია გადახურვის 1 მ$^2$-ზე მოქმედი სრ'ული ნორმატი'ული დატვირთვა $q_n^{\text{გადახ}} = 9{,}08$ კპა, საანგარიშო $q^{\text{გადახ}} = 10{,}58$ კპა. კოჭის ერთი გრძივი მეტრის საკუთარი წონა საორიენტაციოდ მივიღოთ $g_n^{\text{კოჭ}} = 0{,}50$ კნ/მ. დატვირთვის საიმედოობის კოეფიციენტი ნორმებიდან – $\gamma_f = 1{,}05$. მაშინ საკუთარი წონის საანგარიშო მნიშვნელობა იქნება $g^{\text{კოჭ}} = g_n^{\text{კოჭ}} \cdot \gamma_f = 0{,}5 \cdot 1{,}05 = 0{,}53$ კნ/მ. შენობის კაპიტალურობის ხარისხის გამთვალისწინებელი კოეფიციენტია $\gamma = 0{,}95$.

ბ ა დ ა წ ყ ვ ე ტ ა:

1. გამოვთვალოთ კოჭის 1 გრძივ მეტრზე მოსული დატვირთვა:

– ნორმატი'ული მ'უდმივი – $q_n = q_n^{\text{გადახ}} + g_n^{\text{კოჭ}} = 9{,}08 \cdot 6 + 0{,}5 = 54.98$ კნ/მ $= 0{,}5498$ კნ/სმ;

– ნორმატი'ული დროებითი ხანგრძლივი დატვირთვა სრ'ული ხანგრძლივი დატვირთვა საეაჭრო დარბაზებში $P_n = 4{,}0$ მპა. შემცირებ'ული დროებითი დატვირთვა – $P_{n,\ell} = 1{,}4$ კპა ([10] ცხრილი 3).

$$q_{n,\ell} = q_n - p_n \cdot s + P_{n,\ell} \cdot s = 54{,}98 - 4{,}0 \cdot 6{,}0 + 1{,}4 \cdot 6{,}0 = 29{,}38 \text{ კნ/მ} = 0{,}3938 \text{ კნ/მმ};$$

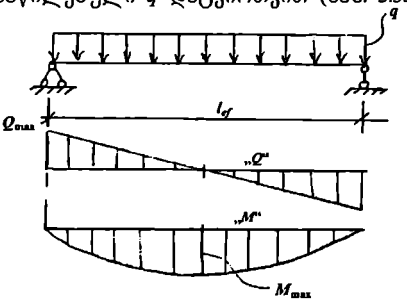
- საანგარიშო დატვირთვა $q = q^{\text{ბიდან}} \cdot s + g^{\text{კოჭ}} = 10{,}57 \cdot 6{,}0 + 0{,}53 = 64{,}01$ კნ/მ;
- საანგარიშო დატვირთვა შენობის პასუხისმგებლობის ხარისხის გამთვალისწინებელი $\gamma_n = 0{,}95$ კოეფიციენტის გათვალისწინებით

$$q = 64{,}01 \cdot 0{,}95 = 60{,}81 \text{ კნ/მ}.$$

2. წინასწარ დანიშნული დასაყრდენი ფირფიტისა და კოჭის საყრდენი სიხისტის წიბოს ზომების გათვალისწინებით (იხ. ნახ. 3.34). ვიანგარიშოთ კოჭის საანგარიშო სიგრძე

$$l_{ef} = l - 85 - 126 = 4500 - 85 - 126 = 4289 \text{ მმ} = 4{,}29 \text{ მ}.$$

3. კოჭის საანგარიშო სქემა იქნება: ორ საყრდენზე თავისუფლად დაყრდნობილი კოჭი თანაბრად განაწილებული $q$ დატვირთვით (ნახ. 3.35).




ნახ. 3.35. კოჭის საანგარიშო სქემა

მაქსიმალური განივი ძალა $Q_{max} = q \cdot l_{ef}/2 = 60{,}81 \cdot 4{,}29/2 = 130{,}44$ კნ.

მაქსიმალური მღუნავი მომენტი $M_{max} = q \cdot l_{ef}^2/8 = 60{,}81 \cdot 4{,}29^2/8 = 139{,}89$ კნ·მ.

4. კოჭის მასალად შევარჩიოთ ფოლადი C245. კოჭი გაგლინული პროფილისაა, კედლის სისქით 20 მმ-მდე, მაშინ ნორმებიდან [4] დენადობის ზღვარია $R_y = 240$ მპა $= 24{,}0$ კნ/სმ². მუშაობის პირობების კოეფიციენტი $\gamma_c = 0{,}9$, რადგან კოჭი სავაჭრო დარბაზის გადახურვისაა.

5. გამოვთვალოთ კოჭის კვეთის საჭირო წინაღობის მომენტი ნორმალური ძაბვების მიხედვით სიმტკიცის პირობიდან

$$W_x = \frac{M}{R_y \gamma_c} = \frac{13989}{24 \cdot 0{,}9} = 647{,}64 \text{ სმ}^3.$$

6. სორტამენტის (ТУ 14-2-24-72) მიხედვით მოვძებნით ორტესებრ პროფილს თაროების პარალელური წიბოებით ⌶35Б2-ს, რომლის $W_x = 662{,}2$ სმ³, ინერციის მომენტი – $I_x = 11550$ სმ⁴, სტატიკური მომენტი $S_x = 373$ სმ³; პროფილის კედლის სისქე $t = 10$ მმ, კვეთის სიმაღლე $h = 349$ მმ, სიგანე $b = 155$ მმ, ერთი გრძივი მეტრის მასა $m = 43{,}3$ კგ/მ, რადგან შერჩეული კოჭის პარამეტრები ახლოსაა წინასწარ დანიშნულთან, ამიტომ დატვირთვას საკუთარი წონისაგან ეტოვებთ შეუცვლელად.

7. შევამოწმოთ კოჭი მხები ძაბვის მიხედვით

$$\tau = \frac{Q \cdot S_x}{I_x \cdot t} = \frac{130{,}44 \cdot 373}{11550 \cdot 1.0} = 4{,}21 \text{ კნ/სმ}^2.$$

ფოლადის წინაღობა ძერაზე $R_s = 0{,}58R_y$, მაშინ

$$\tau = 4{,}21 \text{ კნ/სმ}^2 \le R_s\gamma_c = 0{,}58 \cdot 24{,}0 \cdot 0{,}9 = 12{,}53 \text{ კნ/სმ}^2.$$

როგორც ვხედავთ, კოჭის სიმტკიცე მხებ ძაბვაზე უზრუნველყოფილია.

რადგან კოჭზე დალაგებულია (დამაგრებული) რკინაბეტონის ფილები და არ მოქმედებს უშუალოდ კოჭზე შეყურსული ძალა, ამიტომ კოჭის საერთო და ადგილობრივ მდგრადობაზე შემოწმება აღარ არის საჭირო.

8. შევამოწმოთ კოჭის სიხისტე.

გასაანგარიშებელი კოჭის ზღვრული ჩაღუნვა კონსტრუქციული მოთხოვნების მიხედვით $f_4 = \ell_{ef}/150 = 429/150 = 2.86$ სმ.

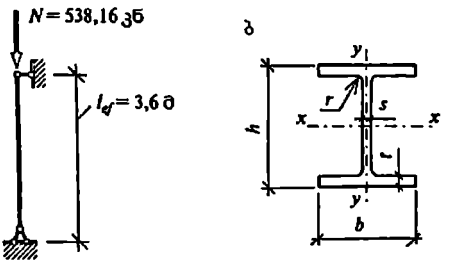
გამოვთვალოთ ჩაღუნვა მთლიანი ნორმატიული დატვირთვისაგან $q_n = 0{,}5498$ კნ/სმ.

$$f = \frac{5q_n\ell_{ef}^4}{384EI_x} = \frac{5 \cdot 0{,}5498 \cdot 429^4}{384 \cdot 2{,}06 \cdot 10^4 \cdot 11550} = 1{,}02 \text{ სმ} < 2{,}86 \text{ სმ}.$$

აქ $E = 2{,}06 \cdot 10^4$ კნ/სმ$^2$ –არჩეული ფოლადის დრეკადობის მოდულია.

დასკვნა. რადგან სიმტკიცისა და სიხისტის მიხედვით კოჭის გამოსადეგობა დადასტურებულია გაანგარიშებით, კოჭს ვტოვებთ ორტესებრს I 35Б2-ს.

მაგალითი 3.2. გაიანგარიშოთ ფოლადის სვეტი, რომელიც წარმოადგენს, გაგლინულ, ორტესებრი პროფილის კვეთიან, პარალელურწიბოებიანი თაროებით, დგარს (ნახ. 3.36, ბ). იგი განიცდის ცენტრალურ კუმშვას. დატვირთვა $N = 566{,}48$ კნ. კოეფიციენტი შენობის პასუხისმგებლობის ხარისხის მიხედვით $\gamma_n = 0{,}95$, რომლის გათვალისწინებით $N = 566{,}48 \cdot 0{,}95 = 538{,}16$ კნ. სვეტი ორი სართულის სიმაღლისაა, მაგრამ მის საანგარიშო სიმაღლედ მიიღება ერთი სართულის ტოლი, რადგან სვეტი ჩამაგრებულია სართულშორის გადახურვაში – $l_{ef} = 3{,}6$ მ. სვეტის საანგარიშო სქემა მოცემულია ნახ. 3.36, ა-ზე.




ნახ. 3.36. სვეტის საანგარიშო სქემა და განიკვეთი

**გადაწყვეტა:**

1. მივიღოთ სვეტის მასალად C245 ფოლადი. ნორმებით საანგარიშო დენადობის ზღვარია $R_y = 240$ მპა=24კნ/სმ² ([4] ცხრილი 51);

2. მდგრადობაზე გაანგარიშების პირობიდან, დავნიშნოთ ნორმების მიხედვით მუშაობის პირობების კოეფიციენტი $\gamma_c = 1{,}0$. წინასწარ დავნიშნოთ სვეტის მოქნილობა $\lambda = 100$, რასაც შეესაბამება გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი $\varphi = 0{,}542$. გამოვთვალოთ კვეთის საჭირო ფართობი

$$A = \frac{N}{\varphi R_y \gamma_c} = \frac{538{,}16}{0{,}542 \cdot 24 \cdot 1{,}0} = 41{,}37 \text{ სმ}^2.$$

3. $\lambda = 100$ მოქნილობის მიხედვით კვეთის მინიმალური ინერციის რადიუსი $i = \frac{l_{ef}}{\lambda} = 360/100 = 3{,}6$ სმ.

4. კვეთის საჭირო ფართობისა და მინიმალური ინერციის რადიუსის მიხედვით გაგლინული ორტესებრი კვეთის, პარალელურწახნაგებიანი თაროებით, პროფილის სორტამენტიდან, შესაბამისია ორტესებრი კვეთი 23Ш1, რომლის მახასიათებლებია: $A = 46{,}08$ სმ², $i_x = 9{,}62$ სმ, $i_y = 3{,}67$ სმ.

5. შევამოწმოთ შერჩეული პროფილი:

– განვსაზღვროთ ფაქტიური მოქნილობა $y-y$ ღერძის მიმართ (ამ ღერძის მიმართ ინერციის რადიუსი უფრო მცირეა) – $\lambda_{y-y} = l_{ef}/i_y = 360/3{,}67 = 98{,}09$.

– ფაქტიური მოქნილობის მიხედვით განვსაზღვრავთ გრძივი ღუნვის კოეფიციენტს – $\varphi = 0{,}556$ ([4] ცხრილი 72).

– შევამოწმოთ სვეტი მოქნილობის მიხედვით. ზღვრული მოქნილობაა $\lambda_u = 180 - 60a$. აქ $a = N/\varphi A R_y \gamma_c = 538{,}16/0{,}556 \cdot 46{,}08 \cdot 24 \cdot 1{,}0 = 0{,}875$. $\lambda_u = 180 - 60 \cdot 0.875 = 127{,}5$; $\lambda_y = 98{,}09 < \lambda_u = 127{,}5$. მოქნილობა ნორმის ფარგლებშია.

– შევამოწმოთ მდგრადობა

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A} = \frac{538{,}16}{0{,}556 \cdot 46{,}08} = 21{,}00 \text{ კნ} \le R_y \gamma_c = 24 \cdot 1{,}0 = 24 \text{ კნ/სმ}^2.$$

მდგრადობის პირობაც დაკმაყოფილებულია.

დასკვნა. გაანგარიშებით სიმტკიცის, მდგრადობისა და მოქნილობის პირობები დაკმაყოფილებულია, ამიტომ სვეტის კვეთად ვტოვებთ პარალელურ-თაროებიან ორტესებრ კვეთს, 23Ш1-ს.

მაგალითი 3.3. შევარჩიოთ ფოლადის საკიდის განივკვეთი, რომელიც წარმოადგენს ფურცლოვან ფოლადს (ნახ. 3.37). საკიდი ცენტრალურად გაჭიმულია, $N = 200$ კნ, $\gamma_n = 1{,}0$.

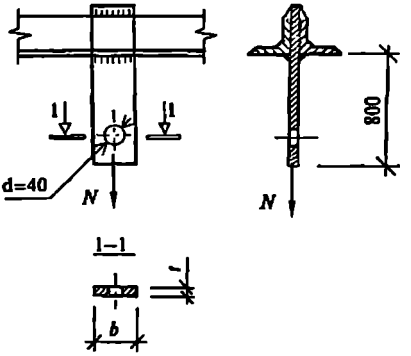
**გადაწყვეტა:**

1. ავიღოთ ფოლადი C245. საანგარიშო წინაღობით დენადობის მიხედვით $R_y = 240$ მპა=24,0კნ/სმ². მუშაობის პირობების კოეფიციენტი $\gamma_c = 0{,}9$;

2. განვსაზღვროთ განივკვეთის საჭირო ფართობი-ნეტო, სიმტკიცის პირობიდან

$$A_n = \frac{N}{R_y \gamma_c} = \frac{200}{24 \cdot 0{,}9} = 9{,}26 \text{ სმ}^2;$$

3. საკიდის ფოლადის ფურცლის სისქე ავიღოთ $t = 0.8$ სმ და გამოვთვალოთ შესუსტების ფართობი. $A_{შეს} = td = 0{,}8 \cdot 4 = 3{,}2$ სმ$^2$ ($d$ ნახვრეტის დიამეტრია);




ნახ. 3.37.

4. განვსაზღვროთ ფურცლის განიკვეთის ფართობი შესუსტების ჩათვლით

$$A_{ხვ} = A_n + A_{შეს} = 9{,}26 + 3{,}2 = 12{,}46 \text{ სმ}^2;$$

5. განვსაზღვროთ საკიდის სიგანე და დავნიშნოთ კვეთის ზომები

$$b_{ხვ} = A_{ხვ} / t = 12.46/0.8 = 15{,}58 \text{ სმ}.$$

მივიღოთ საკიდის კვეთი 8×160 მმ.

6. განვსაზღვროთ მიღებული ფურცლის განიკვეთის ნეტო ფართობი და შევამოწმოთ საკიდი სიმტკიცის მიხედვით

$$A_n = bt - td = 16 \cdot 0{,}8 - 0{,}8 \cdot 4 = 9{,}6 \text{ სმ}^2.$$

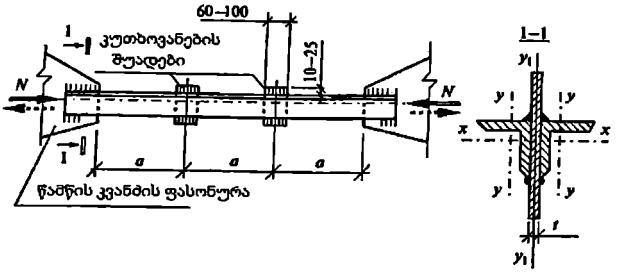
$$\sigma = \frac{N}{A_n} = \frac{200}{9{,}6} = 20.8 \text{ კნ/სმ}^2 \le R_y \gamma_c = 24 \cdot 0{,}9 = 21.6 \text{ კნ/სმ}^2.$$

კვეთის სიმტკიცე უზრუნველყოფილია, ხოლო მოქნილობა ნორმების მიხედვით ცენტრალურად გაჭიმული საკიდისათვის არ არის შეზღუდული ([4] ცხრილი 20).

დასკვნა. მივიღოთ საკიდი ფურცლოვანი C245 ფოლადისაგან განიკვეთის ზომებით 8×160 მმ.

**მაგალითი 3.4.** შევარჩიოთ ფოლადის წამწის გაჭიმული ღეროს განივი კვეთი (ნახ. 3.38). ღეროზე მოქმედებს გამჭიმავი ძალა $N = 200$ კნ.

ღეროს გეომეტრიული სიგრძეა (კვანძებს შორის მანძილი) $l = 3000$ მმ. ზღერული მოქნილობა $\lambda_u = 400$. ფასონურას (კვანძის ფასონური ფირფიტა, რომელსაც მიედუღება კუთხოვანები – ღერო) სისქეა $t = 10$ მმ.




ნახ. 3.38. წამწის ღერო

გადაწყვეტა:

1. ღეროს მასალად შევარჩიოთ C245. საანგარიშო წინაღობა დენადობის მიხედვით $R_y = 240$ მპა=24,0 კნ/სმ²;

2. განვსაზღვრავთ მუშაობის პირობების კოეფიციენტს $\gamma_c = 0{,}95$.

3. განვსაზღვრავთ ღეროს საანგარიშო სიგრძეს:

– საანგარიშო სიგრძე წამწის სიბრტყეში – $l_{ef,x} = 0{,}8l = 0{,}8 \cdot 3000 = 2400$ მმ;

– საანგარიშო სიგრძე წამწის სიბრტყის პერპენდიკულარულ სიბრტყეში $l_{ef,y} = l = 3000$ მმ;

4. გამოვთვლით ღეროს განივკვეთის საჭირო ფართობს სიმტკიცის პირობიდან

$$A = \frac{N}{R_y \gamma_c} = \frac{200}{24 \cdot 0{,}95} = 8{,}77 \text{ სმ}^2;$$

5. სორტამენტის მიხედვით ვირჩევთ კუთხოვანებს, იმის გათვალისწინებით, რომ ღეროში ორი კუთხოვანაა.

ერთი კუთხოვანას ფართობი იქნება $A_1 = 8{,}77/2 = 4{,}29$ სმ². ვირჩევთ კუთხოვანას 50×50×5, რომლისთვისაც $A_1 = 4{,}8$ სმ²; $i_x = 1{,}92$ სმ; $i_y = 2{,}45$ სმ. შეწყვილებული კუთხოვანების კვეთის ჯამური ფართობი $A_n = 9{,}6$ სმ².

6. შევამოწმოთ მიღებული გადაწყვეტილების მართებულობა

ა) შემოწმება სიმტკიცეზე

$$\sigma = \frac{N}{A_n} = \frac{200}{9{,}6} = 20{,}8 \le R_y \gamma_c = 24 \cdot 0{,}95 = 22{,}8 \text{ კნ/სმ}^2.$$

სიმტკიცე უზრუნველყოფილია.

ბ) შემოწმება მოქნილობაზე

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i_x} = \frac{240}{1{,}92} = 125 < \lambda_u = 400;$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{300}{2{,}45} = 122{,}4 < \lambda_u = 400$$

მოქნილობა ნორმის ფარგლებშია.

დასკვნა. ღეროს კვეთს ვიღებთ შემდგარს ორი კუთხოვანისაგან 50×50×5. მასალა – ფოლადი C245.

მაგალითი 3.5. შევარჩიოთ წამწის შეკუმშული ღეროს განივი კვეთი (ნახ. 3.38). ღეროზე მოქმედებს მკუმშავი ძალა $N = 359$ კნ, გეომეტრიული სიგრძეა $l = 4520$ მმ, ზღერული მოქნილობა $\lambda_u = 210 - 60\alpha$, ფასონურას სისქე $t = 10$ მმ.

ბადაწყვეტა:

1. ნორმების [4] მიხედვით შევარჩიოთ ფოლადი C345-1. საანგარიშო წინაღობა დენადობის მიხედვით $R_y = 335$ მპა=33,5 კნ/სმ².

2. გამოვთვალოთ მუშაობის პირობების კოეფიციენტი. ჩავთვალოთ, რომ ღეროს მოქნილობა იქნება 60-ზე მეტი. მაშინ ნორმებიდან $\gamma_c = 0,8$.

3. ღეროს საანგარიშო სიგრძე

– წამწის სიბრტყეში $l_{ef,x} = 0,8l = 0,8 \cdot 4520 = 3616$ მმ.

– წამწის პერპენდიკულარულ სიბრტყეში $l_{ef,y} = l = 4520$ მმ.

4. მდგრადობის პირობიდან განესაზღვროთ ღეროს განივკვეთის საჭირო ფართობი, რისთვისაც წინასწარ ვნიშნავთ მის მოქნილობას $\lambda = 100$ და ვნახულობთ ცხრილ 3.10-დან შესაბამის გრძივი ღუნვის კოეფიციენტს $\varphi = 0,433$

$$A = \frac{N}{\varphi R_y \gamma_c} = \frac{359}{0,433 \cdot 33,5 \cdot 0,8} = 30,94 \text{ სმ}^2.$$

ცხრილი 3.10

| მოქნილობა, $\lambda$ | გრძივი ღუნვის $\varphi$ კოეფიციენტი ფოლადისათვის საანგარიშო წინაღობით $R_y$, მპა | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 200 | 240 | 280 | 320 | 360 | 400 |
| 10 | 988 | 987 | 985 | 984 | 983 | 092 |
| 20 | 967 | 962 | 959 | 955 | 952 | 949 |
| 30 | 939 | 931 | 924 | 917 | 911 | 905 |
| 40 | 906 | 894 | 883 | 873 | 863 | 854 |
| 50 | 869 | 852 | 836 | 822 | 809 | 796 |
| 60 | 827 | 805 | 785 | 766 | 749 | 721 |
| 70 | 782 | 754 | 724 | 697 | 654 | 623 |
| 80 | 734 | 686 | 641 | 602 | 566 | 532 |
| 90 | 665 | 612 | 565 | 522 | 483 | 447 |
| 100 | 559 | 542 | 393 | 448 | 408 | 369 |
| 110 | 537 | 478 | 427 | 381 | 338 | 306 |
| 120 | 479 | 419 | 366 | 321 | 287 | 260 |
| 130 | 425 | 364 | 313 | 276 | 247 | 223 |
| 140 | 376 | 315 | 272 | 240 | 215 | 195 |
| 150 | 328 | 276 | 239 | 211 | 189 | 172 |
| 160 | 290 | 244 | 212 | 187 | 167 | 152 |
| 170 | 258 | 218 | 189 | 167 | 150 | 136 |
| 180 | 233 | 196 | 170 | 150 | 135 | 123 |
| 190 | 210 | 177 | 154 | 136 | 122 | 111 |
| 200 | 191 | 161 | 140 | 124 | 111 | 101 |
| 201 | 174 | 147 | 128 | 113 | 102 | 093 |
| 220 | 160 | 135 | 118 | 104 | 094 | 086 |

შენიშვნა: ცხრილში $\varphi$ კოეფიციენტის მნიშვნელობები გაზრდილია 1000-ჯერ.

5. გამოვთვალოთ კეთის საჭირო ინერციის რადიუსები

$$i_x = \frac{l_{o,x}}{\lambda} = \frac{361,6}{100} = 3,61 \text{ სმ}; \quad i_{y1} = \frac{l_{o,y}}{\lambda} = \frac{452}{100} = 4,52 \text{ სმ}.$$

6. სორტამენტიდან ვარჩეეთ კუთხოვანებს სამი პარამეტრის მიხედვით $A$, $i_x$ და $i_{y1}$; გავითვალისწინოთ, რომ ღერო შედგენილია ორი კუთხოვანისაგან, მაშინ ერთის საჭირო ფართობია $A_1 = 30,94/2 = 15,47$ სმ². სორტამენტიდან მოვნახავთ კუთხოვანას 110×110×8 შესაბამისად $A_{1y} = 17,2$ სმ²; $i_x = 3,39$ სმ, $i_y = 4,87$ სმ.

7. შევამოწმოთ მიღებული გადაწყვეტილება

ა) განვსაზღვროთ მოქნილობები $x$ და $y$ ღერძების მიმართულებით

$$\lambda_x = \frac{l_{o,x}}{i_x} = \frac{361,6}{3,39} = 106,7; \quad \lambda_y = \frac{l_{o,y}}{i_y} = \frac{452}{4,87} = 92,8 \text{ სმ}.$$

ბ) მაქსიმალური მოქნილობის ($\lambda = 106,7$) მიხედვით განვსაზღვრავთ გრძივი ღუნვის კოეფიციენტს $\varphi = 0,389$.

გ) განვსაზღვროთ $\alpha$ კოეფიციენტი

$$\alpha = \frac{N}{\varphi A R_y \gamma_c} = \frac{359}{0,389 \cdot 34,4 \cdot 33,5 \cdot 0,8} = 1,0 > 0,5.$$

რადგან $\alpha$ გამოვიდა 0,5-ზე მეტი – ვიღებთ $\alpha = 1,0$.

დ) განვსაზღვროთ ზღვრული მოქნილობა

$$\lambda_u = 210 - 60\alpha = 210 - 60 \cdot 1,0 = 150.$$

შერჩეული ღეროს მაქსიმალური მოქნილობაა $\lambda_{მაქს} = 106,7 < 150$. ე.ი. ღეროს მოქნილობა ნორმების ფარგლებშია.

ე) ვამოწმებთ მდგრადობას

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A} = \frac{359}{0,389 \cdot 34,4} = 26,8 \le R_y \gamma_c = 33,5 \cdot 0,8 = 26,9 \text{ კნ/სმ}^2.$$

მდგრადობა უზრუნველყოფილია.

დასკვნა. მივიღოთ ღეროს განივკვეთი ორი კუთხოვანასაგან 110×110×8, ფოლადი C345-1.

ლიტერატურა თავი 3-სათვის


1. Горев В.В., Филиппов В.В., Уваров Б.Ю. и др. Металлические конструкции. Т. 1. Элементы конструкций. М.: «Высшая школа». 2004.
2. გ. ფარცხალაძე, ი. მშვენიერაძე. ლითონის კონსტრუქციები. წიგნი I. კონსტრუქციული ელემენტები. ბათუმი. ბათ. სახ. უნივერსიტეტი. 2009.
3. ს. ესაძე. ლითონის კონსტრუქციები. თბილისი, სტუ. 2008.
4. Строительные нормы и правила. Стальные конструкции (СНиП II-23-81*). М.: 1990.
5. Строительные нормы и правила. Алюминиевые конструкции. Нормы проектирования (СНиП II-24-74). «Стройиздат». 1975.
6. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81*), М.: 1989.
7. Беленя В.А., Ведеников Г.С., Коштун Б.Н. и др. Металлические конструкции. М.: Стройиздат. 1985.
8. Иванов-Дятлов Н.Г., Деллос К.П., Иванов-Дятлов А.И. и др. Строительные конструкции. М.: «Высшая школа». 1986.
9. Справочник проектировщика. Металлические конструкции. М.: Стройиздат, 1980.
10. Строительные нормы и правила. Нагрузки и воздействия (СНиП 2.01.07-85). М.: 1987.

# თავი 4. ხის და პლასტმასის კონსტრუქციები

## 4.1. ხის კონსტრუქციები

ხის კონსტრუქციებში გამოიყენება ძირითადად წიწვოვანი ჯიშის მერქანი, რადგან ხე იზრდება სწორხაზოვნად, აქვს კარგი მექანიკური თვისებები, ნაკლებად ლპება და კარგად ეწინააღმდეგება ზოგიერთ აგრესიულ გარემოს. ხის მასალაა – მორები (დაუხერხავი) და დახერხილი – ძელი, ფიცარი, სამშენებლო ფანერა.

მშენებლობისათვის გამოიყენება მორები, დიამეტრით 140...240 მმ, სიგრძით 4-დან 6,5 მ-მდე (0.5 მ-ის გრადაციით). დახერხილი მასალა: ფიცარი – სიგანე 60...250 მმ. სისქე 100 მმ-მდე; ძელი – სიგანე და სისქე 130...250 მმ; ძელაკი – სიგანე და სისქე 100 მმ-მდე. დახერხილი მასალის სიგრძე აიღება 1,0...6,5 მ-მდე; სამშენებლო ფანერა არის სხვადასხვა მარკის, დაწებების მასალისა და გარემოსადმი (ძირითადი ტენის) წინაღობის მიხედვით. გამოყენების მიხედვით გავრცელებულია ფანერა სისქით 5, 8, 9, 10, 12, 15, 16 მმ. ხე-ტყის სამშენებლო მასალის სტანდარტული სორტამენტი მოცემულია ნორმებში [2].

თანამედროვე ინდუსტრიული მეთოდებით დამზადებულმა ხის კონსტრუქციებმა, თავისი ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლებით, ზოგიერთ შემთხვევაში შეიძლება კონკურენცია გაუწიოს რკინაბეტონის ასაწყობ კონსტრუქციებს. მათი გამოყენებით შეიძლება დაიზოგოს ფოლადი და ცემენტი, ნაგებობის საერთო მასის მნიშვნელოვანი შემცირებით.

ხის კონსტრუქციების გამოყენება მიზანშეწონილია შემდეგი ობიექტების მშენებლობისას:

– სანახაობითი, სავაჭრო, საგამოფენო და სპორტული დანიშნულების ნაგებობები (დიდი მალების გადახურვის შესაძლებლობა);

– დროებითი დანიშნულების სამრეწველო შენობები და საინჟინრო ნაგებობები მშენებარე ობიექტებზე, აგრეთვე ხე-ტყის დამზადებისა და მერქნის დამამუშავებელ წარმოებებში;

– ქიმიური მრეწველობის საწარმოო შენობები და სასაწყობო ნაგებობები, სადაც ხე-ტყის კონსტრუქციები უფრო მედეგია კოროზიის მიმართ, ვიდრე ფოლადი და რკინაბეტონი;

– სხვადასხვა დანიშნულების სასოფლო-სამეურნეო შენობები და ნაგებობები;

– საცხოვრებელი და სამოქალაქო დანიშნულების სახურავები. სართულიანობის მიუხედავად;

– ორსართულიან შენობებსა და ნაგებობებში სართულთშორისი და სასხვენო გადახურვა;

– სპეციალური დანიშნულების ნაგებობები, სადაც შეზღუდულია ან გამორიცხულია ლითონის გამოყენება.

ბოლო დროს იქ, სადაც ხე-ტყე საწარმოო დანიშნულებისათვის გამოიყენება და განეითარებულია შესაბამისი საწარმოები, ფართოდ გამოიყენება სპეციალურად დამუშავებული (გაჟღენთილი) ხის მასალა, წყალმედეგი ფანერა და დაწებებული ხის კონსტრუქციები.

მზიდი კონსტრუქციებისათვის უპირატესად გამოიყენება ფიჭვი, ნაძვი, კედარი,

სოჭი, ლარიქსი. ხის მაგარი ჯიშები (მუხა, წიფელი, არყის ხე) მხოლოდ საპასუხისმგებლო მცირე დეტალების დასამზადებლად (წინწკიმელი, სადები – საყრდენი, შუასადები). რბილი ფოთლოვანი ხის ჯიშები გამოიყენება ძირითადად დროებითი ნაგებობების მშენებლობისათვის, აგრეთვე ხარაჩოებისა და ყალიბებისათვის.

### 4.1.1. ხის მასალის დადებითი და უარყოფითი თვისებები

ხის მერქნის, როგორც სამშენებლო მასალის, დადებითი თვისებებია:

1. კონსტრუქციული ხარისხის მაღალი მაჩვენებელი – ზღვრული სიმტკიცის შეფარდება საშუალო სიმკვრივესთან საკმაოდ მაღალია;

2. თბოგამტარობის დაბალი კოეფიციენტი, რაც საშუალებას იძლევა ხე-ტყე, როგორც კონსტრუქციულ, ასევე თბოსაიზოლაციო მასალად გამოვიყენოთ;

3. ტემპერატურული გაფართოების კოეფიციენტის მცირე სიდიდე;

4. ქიმიური ზემოქმედებისადმი მედეგობა;

5. კარგი პლასტიკური და აკუსტიკური თვისებები, მოპირკეთებისათვის შეუცვლელი მასალაა;

6. საკმარისი ხანმედეგობა თუ დაცულია ანტისეპტიკური და ცეცხლდამცველი შესაბამისი ღონისძიებებით;

7. საწარმოო უპირატესობანი: მასალის მოპოვებისა და დამუშავების სიმარტივე, მშენებლობის სეზონური შეუზღუდავობა და აგების სიჩქარე.

უარყოფითი მხარეებია:

1. ეკოლოგიის მოთხოვნების შესაბამისად ხე-ტყის მოპოვების შეზღუდვა;

2. გარემოს ტემპერატურულ და ტენიანობის ცვლილებაზე მკვეთრი რეაქცია: მნიშვნელოვნად იცვლება მექანიკური მახასიათებლები;

3. მერქნის არაერთგვაროვანი აგებულება, ბუნებრივი ნაკლოვანებების (ნახეთქი, კორძი, ბოჭკოების განლაგება) გავლენა სიმტკიცეზე, დეფორმაციულობასა და ხანმედეგობაზე;

4. დალპობისაკენ მიდრეკილება ანუ შესაბამის არახელსაყრელი პირობებში ხისდამარღვეველი სოკოებით დაზიანების შესაძლებლობა;

5. ადვილად იწვის, ცეცხლისადმი პრაქტიკულად წინაღობის უქონლობა.

ზემოჩამოთვლილი უარყოფითი მხარეების შემცირებისათვის დამუშავებულია და გამოიყენება შესაბამისი პროფილაქტიკური ღონისძიებები: ანტისეპტიკური დამუშავება, ცეცხლმედეგი ნივთიერებით გაჟღენთვა, მაღალი ტემპერატურისაგან დაცვის კონსტრუქციული ღონისძიებების განხორციელება და სხვა.

### 4.1.2. მოთხოვნები მშენებლობაში გამოყენებული ხის კონსტრუქციებისადმი

ექსპლუატაციის, გარემოს ტემპერატურული და ტენიანობის პირობებისაგან დამოკიდებულებით ხის კონსტრუქციები იყოფა შემდეგ ჯგუფებად:

ჯგუფი $A(A_1, A_2, A_3)$ – კონსტრუქციები გამთბარი სათავსოების შიგნით გამოსაყენებლად;

ჯგუფი Б (Б1, Б2) – კონსტრუქციები გაუმობარი (ცივი) სათავსოებს შიგნით გამოსაყენებლად;

ჯგუფი В – კონსტრუქციები ღია ჰაერზე;

ჯგუფი Г (Г1, Г2, Г3) – გრუნტში ან გრუნტთან შეხებაში მყოფი კონსტრუქციები;

ჯგუფი Д (Д1, Д2) – კონსტრუქციები, რომლებიც მუდმივად განიცდის დასველებას ან იმყოფება წყალში.

ყველა ცალკეული ჯგუფის კონსტრუქციისათვის სათანადო ნორმებითა და წესებით [2] მიერ დადგენილია მოთხოვნები, რომლებიც უზრუნველყოფენ დასაპროექტებელი ნაგებობის საიმედოობასა და ხანმედეგობას.

რადგან ხის მასალას თან ახლავს ბუნებრივი ნაკლოვანებები, რომლებიც სხვადასხვა ელემენტებზე განსხვავებულ გავლენას ახდენს ამიტომ ნორმებით დადგენილია ხის კონსტრუქციების სამი კატეგორია, მათი პასუხისმგებლობის ხარისხის მიხედვით. პირველ კატეგორიას მიეკუთვნება გაჭიმული ელემენტები და ღუნვადი ელემენტების გაჭიმული ზონა; მეორე კატეგორიას – შეკუმშული ელემენტები და ღუნვადი ელემენტების შეკუმშული და ნაკლებად დაძაბული ზონები: მესამე კატეგორიას მიეკუთვნება, ძირითადად, არასაპასუხისმგებლო ელემენტები, რომელთა დაზიანება გავლენას ვერ მოახდენს მთელი მზიდი კონსტრუქციის სიმტკიცესა და მდგრადობაზე. თითოეული ამ კატეგორიის კონსტრუქციისათვის ნორმებით დადგენილია აღნიშნული ნაკლოვანებების სია და ზღვრული დასაშვები სიდიდეები, რისი დაცვაც აუცილებელია და უზრუნველყოფს ხის კონსტრუქციების საიმედოობას.

ნორმების რეკომენდაციით, ხის კონსტრუქციების არახელსაყრელ გარემოსა და ცეცხლისაგან დასაცავად, ქიმიური და სხვა სახის დამცველი ღონისძიებების გარდა, საჭიროა კონსტრუქციული ღონისძიებების გატარება:

– ხის კონსტრუქციისათვის გამოყენებული უნდა იქნეს მშრალი (გამომშრალი) მასალა, შემდგომი დატენიანებისაგან აუცილებელი დაცვით;

– ხის კონსტრუქციების განიავება და მათი გამოშრობისა და თბური რეჟიმის დაცვა ექსპლუატაციისას;

– იმ ადგილებში, სადაც მოსალოდნელია კონსტრუქციის დასველება, მათი წყალიზოლაციისა და ორთქლიზოლაციის უზრუნველყოფა.

### 4.13. ხის მასალის მექანიკური მახასიათებლები

მერქნის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები დამოკიდებულია ხის ჯიშზე, ტენიანობაზე, ტემპერატურაზე, დატვირთვის სახეობაზე (გაჭიმვა, კუმშვა, ღუნვა, თლვა, გახლეჩა), დატვირთვის მიმართულებაზე – ბოჭკოების გასწვრივ და განივად, დატვირთვის ხანგრძლივ მოქმედებაზე.

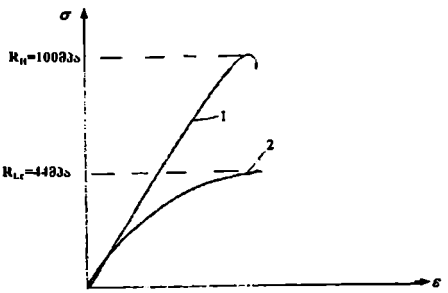
ხის მასალის მექანიკურ მახასიათებლებზე გავლენას ახდენს მერქნის ბუნებრივი ნაკლოვანებები (ბზარები, კორძები და ბოჭკოების ირიბი მიმართულება), ამიტომ გამოცდისათვის იყენებენ მცირე ზომის, სუფთა ნიმუშებს, რომლებიც არ შეიცავს აღნიშნულ ნაკლოვანებებს. ნიმუშების ზომები და ცდის ჩატარების წესი

განსაზღვრულია ნორმებით [2]. ხის მასალისა და ფანერის ნიმუშების გამოცდა ხდება სპეციალურ წნეხებზე, სხვადასხვა სახის დაძაბულ მდგომარეობაზე (გაჭიმვა, კუმშვა, ღუნვა, ახლეჩა). $R_m$ ნორმატიული წინაღობის დადგენა ხდება დროებითი წინაღობის (სიმტკიცის) მიხედვით – 0,95 უზრუნველყოფით. გამოცდისას დაცული უნდა იყოს ნორმალური ტემპერატურა და მასალის 12% ტენიანობა.

$R_t$ საანგარიშო წინაღობა მიიღება $R_m$ ნორმატიული წინაღობის გაყოფით მასალის საიმედოობის $\gamma_f$ კოეფიციენტზე – $R_t = R_m/\gamma_t$. საიმედოობის $\gamma_f$ კოეფიციენტით ითვალისწინებენ ფაქტორებს, რომლებიც ამცირებს მერქნის წინაღობას კონსტრუქციებში: დაძაბული მდგომარეობა, მასალის სტრუქტურის არაერთგვაროვნება, მერქნის დეფექტი და ნაკლოვანებები, მასშტაბის ფაქტორი, ღატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედება.

ამგვარად, მერქნის ბოჭკოების გასწვრივ ნიმუშების სიმტკიცეზე გამოცდის შედეგებია: გაჭიმვაზე – 80...100 მპა; კუმშვაზე – 40...50 მპა; განივი ღუნვისას გაჭიმვაზე – 70...80 მპა; ახლეჩაზე – 7,0 მპა.

ნახ. 4.1-ზე „$\sigma-\varepsilon$“ დამოკიდებულების დიაგრამაზე მოცემულ ფიჭვის მერქნის ბოჭკოების გაჭიმვასა და კუმშვაზე მუშაობის გრაფიკები, სადაც ჩანს, რომ გაჭიმვისას მერქანის გაჭიმვაზე დეფორმაცია იცვლება სწორხაზოვნად და იგი მუშაობს, როგორც დრეკადი მასალა. კუმშვისას, ღატვირთვის ზრდასთან ერთად, დეფორმაცია საკმაოდ სწრაფად ამჟღავნებს არადრეკად თვისებებს და მერქანი მუშაობს, როგორც დრეკად-პლასტიკური მასალა.




ნახ. 4.1. მერქნის ბოჭკოების გასწვრივ მუშაობის დიაგრამა
1 – გაჭიმვა; 2 – კუმშვა. $R_u$ – ზღერული წინაღობა გაჭიმვისას; $R_u$ – ზღრული წინაღობა კუმშვისას

მერქანი ძერაზე (ახლეჩაზე) მუშაობს სუსტად და რღვევა ვითარდება მყიფედ.

დიდი ნიმუშების და მთლიანად კონსტრუქციის გამოცდით მიღებული წინაღობები მნიშვნელოვნად განსხვავდება მცირე ზომის, სუფთა ნიმუშების გამოცდების შედეგებისაგან, რაც გათვალისწინებულია ნორმებით დადგენილი საანგარიშო წინაღობების დანიშვნისას. როგორც წესი, ეს წინაღობები მნიშვნელოვნად ნაკლებია მცირე ზომის სუფთა ნიმუშების გამოცდით მიღებულ სიდიდეებზე.

ცხრილ 4.1-ში მოცემულია მერქნის საანგარიშო წინაღობები ფიჭვისა და ნაძვის ბოჭკოების გასწვრივ ღუნვის, გაჭიმვის, კუმშვისა და თელვის მიხედვით. ბოჭკოების განივად გამოცდისას $R_t$ წინაღობას მიწერილი აქვს ინდექსი „90“.

იმ შემთხვევაში, როდესაც ხის კონსტრუქციის ექსპლუატაციის პირობები სტანდარტულისაგან განსხვავებულია, საანგარიშო წინაღობას ამრავლებენ $m_i$ მუშაობის პირობების კოეფიციენტებზე, რომლებიც ითვალისწინებს: ჰაერის

ტენიანობას ($m_в$); გაზრდილ ტემპერატურას ($m_т$); დატვირთვის ხანგრძლივობას ($m_л$) და სახეობას (ქარი, სეისმიკა, სამონტაჟო) ($m_н$); დაწებებული მსხვილგაბარიტიანი ელემენტის კვეთის სიმაღლის გაელენას ($m_в$); დაწებებული კონსტრუქციის შრეების სისქეს ($m_{сл}$); კონსტრუქციის გაღუნული ელემენტების სიმრუდის რადიუსს ($m_{rн}$); შესუსტებებს ნახერტებისა და ჭდობისაგან ($m_о$), წნევის ქვეშ ანტიპირენებით (ცეცხლ და წყალდამცველი ქიმიური დაცვა) ღრმა გაჟღენთას ($m_з$). ამ კოეფიციენტების სიდიდეები მოცემულია ნორმებში [2]. როგორც ვხედავთ, ასეთ შემთხვევებში საანგარიშო წინაღობა $R_t = (R_m/\gamma_t)m_t$.

ცხრილი 4.1

| დაძაბული მდგომარეობა და ელემენტების მახასიათებლები | აღნიშვნები | საანგარიშო წინაღობა, მპა, ხის ხარისხისათვის | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 |
| 1. ღუნვა. კუმშვა და თელვა ბოჭკოების გასწვრივ | $R_t$ | | | |
| ა) სწორკითხა ელემენტი კვეთის სიმაღლით 50 სმ-მდე (გარდა „ბ" და „გ" პუნქტებში მითითებულისა) | ($R_ღ$, $R_კ$, $R_თ$) | 14 | 13 | 8,5 |
| ბ) სწორკუთხა ელემენტი კვეთის 11-დან 13 სმ-მდე სიგანით და 11-დან 50 სმ-მდე სიმაღლით | $R_t$ ($R_ღ$, $R_კ$, $R_თ$) | 15 | 14 | 10 |
| გ) სწორკუთხა ელემენტი კვეთის სიგანით 13 სმ-ზე მეტი და სიმაღლით 13-დან 50 სმ-მდე | $R_t$ ($R_ღ$, $R_კ$, $R_თ$) | 16 | 15 | 11 |
| დ) წრიული კვეთის ელემენტი საანგარიშო კვეთში ჩაჭრის გარეშე | $R_t$ ($R_ღ$, $R_კ$, $R_თ$) | – | 16 | 10 |
| 2. გაჭიმვა ბოჭკოების გასწვრივ | | | | |
| ა) მთლიანი ელემენტი | $R_{tl}$ ($R_გ$) | 10 | 7 | – |
| ბ) დაწებებული ელემენტი | $R_{tl}$($R_გ$) | 12 | 9 | – |
| 3. კუმშვა და თელვა მთელ კვეთის ფართობზე ბოჭკოების განივად | $R_{c90}$, $R_{t90}$ ($R_{კ90}$), ($R_{თ90}$) | 1,8 | 1,8 | 1,8 |
| 4. ახლერა ბოჭკოების გასწვრივ | | | | |
| ა) მთლიანი ელემენტის ღუნვისას | $R_{tzb}$ ($R_{ახ}$) | 1,8 | 1,6 | 1,6 |
| ბ) დაწებებული ელემენტის ღუნვისას | $R_{tzb}$($R_{ახ}$) | 1,6 | 1,5 | 1,5 |
| 5. ახლერა ბოჭკოების განივად | | | | |
| ა) მთლიანი ელემენტის შეერთებისას | $R_{tz90}$, ($R_{ახ90}$) | 1,0 | 0,8 | 0,6 |
| ბ) დაწებებული ელემენტის შეერთებისას | $R_{tz90}$ ($R_{ახ90}$) | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| შენიშვნა: სხვა ჯიშის მერქნის გამოყენებისას ცხრილ 4.1-ში მოცემული საანგარიშო წინაღობები უნდა გამრავლდეს $m_n$ გადამყვან კოეფიციენტზე (დანართი 4.3). | | | | |

მერქნის დრეკადობის მოდული, ბოჭკოების გრძივი მიმართულებით $E = 10000$ მპა და განივი მიმართულებით $E_{90} = 400$ მპა, საჭიროა გამრავლდეს მუშაობის პირობების $m_в$, $m_т$ და $m_л$ კოეფიციენტებზე, რათა შესაბამისად გათვალისწინებული იქნეს: ტენიანობის, ტემპერატურის გაზრდისა და დატვირთვის ხანგრძლივობის გაელენა.

მერქნის საშუალო სიმკვრივე ხის ჯიშისა და ტენიანობის მიხედვით მერყეობს 500-დან 800 კგ/მ$^3$-ის ფარგლებში.

### 4.1.4. ხის ელემენტების გაანგარიშების პრინციპები

#### 4.1.4.1. ცენტრალურად გაჭიმული და ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტები

გაჭიმვაზე მუშაობს წამწის ქვედა სარტყელი, გისოსის ღეროები, გამჭოლი სეტყვების გისოსის ელემენტები.

ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების სიმტკიცე მოწმდება ფორმულით

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \le R_n, \tag{4.1}$$

სადაც $A_n$ განიეი კვეთის ფართობია – შესუსტებების გამოკლებით (ნეტო).

$A_n$ ფართობის გამოთვლისას შესუსტებები, რომლებიც განლაგებულია 2,0 მ-მდე სიგრძის მონაკვეთზე, მიიღება, როგორც ერთ განიკვეთში თავმოყრილი, რათა თავიდან იქნეს აცილებული ელემენტის გაგლეჯა, რომელიც ზიგზაგით გაივლის ამ შესუსტებებზე. ნახვრეტებითა და ჭდობით შესუსტებული გაჭიმული ელემენტების სიმტკიცე დამატებით მცირდება ძაბვები კონცენტრაციის გამო, რისი გათვალისწინებაც ხდება მასალის საანგარიშო წინაღობის შემცირებით $\gamma_{t8} = 0.8$ მუშაობის პირობების კოეფიციენტით. გაჭიმული ელემენტის განივკვეთის წინასწარი შერჩევისას, ითვალისწინებენ მის შესაძლო შესუსტებას – ფორმულით $A = K_w N/R_n$, სადაც $A$ არის კვეთის საჭირო ბრუტო ფართობი; $K_w = 1{,}25 \ldots 1{,}5$ – კვეთის შესუსტების კოეფიციენტი.

– კუმშვაზე მუშაობს დგარები, წამწის ზედა სარტყელი და გისოსის ზოგიერთი ღერო, აგრეთვე სხვა გამჭოლი კონსტრუქციების ღეროები.

ხის შეკუმშული ელემენტები, მათი მაღალი მოქნილობის გამო, იანგარიშება მდგრადობაზე, მაგრამ განსაკუთრებით შესუსტებულ კვეთებში ან მოკლე ღეროებში, როდესაც სიგრძის შეფარდება კვეთის უმცირეს ზომასთან არის არა უმეტესი 7-სა, საჭიროა სიმტკიცეზე შემოწმებაც.

ცენტრალურად შეკუმშულ ელემენტს სიმტკიცეზე ამოწმებენ გაჭიმული ელემენტის ანალოგიურად

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \le R_t, \tag{4.2}$$

ცენტრალურად შეკუმშულ ელემენტს მდგრადობაზე ამოწმებენ ფორმულით

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A_{cf}} \le R_t, \tag{4.3}$$

სადაც $A_{cf}$ ელემენტის განივკვეთის საანგარიშო ფართობია, დამოკიდებული სა'შიში კვეთის შესუსტებებზე: თუ შესუსტება არ აღემატება $A$ ბრუტო ფართობის მეოთხედს – $0{,}25A$-ს, $A_{cf} = A$. თუ შესუსტება მეტია $0{,}25A$-ზე – $A_{cf} = \frac{4A_n}{3}$; თუ შესუსტება სიმეტრიულია და გამოდის კვეთის წიბოზე – $A_{cf} = A_n$; როდესაც შესუსტება არასიმეტრიულია და გამოდის კვეთის წიბოზე, ელემენტები იანგარიშება, როგორც გარეცენტრულად შეკუმშული; $\varphi$ გრძივი ღუნვის კოეფიციენტია დამოკიდებული ელემენტის მოქნილობაზე.

როდესაც ელემენტის მოქნილობა $\lambda \le 70$

$$\varphi = 1 - 0{,}8(\lambda/100)^2 \qquad (4.4)$$

როდესაც ელემენტის მოქნილობა $\lambda > 70$

$$\varphi = \frac{3000}{\lambda^2}. \qquad (4.5)$$

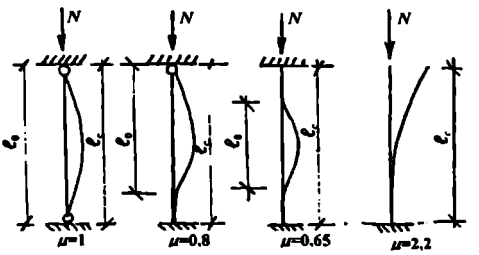
სრულკვეთიანი ელემენტის მოქნილობაა $\lambda = \frac{\ell_0}{i}$; $i - \sqrt{I/A}$ – ელემენტის კვეთის ინერციის რადიუსი; $I$ და $A$ – კვეთის ინერციის მომენტი და ბრუტო ფართობი. ელემენტის სწორკუთხა კვეთისათვის ზომებით $b \times h - i_x = 0{,}289h$ და $i_y = 0{,}289b$; $d$ დიამეტრის წრიული კვეთისათვის – $i = 0{,}25d$.

ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტის $\ell_0$ საანგარიშო (დაყვანილი) სიგრძე დამოკიდებულია მისი ბოლოების ჩამაგრებაზე. იანგარიშება $\ell_e$ თავისუფალი სიგრძის გამრავლებით დაყვანის $\mu$ კოეფიციენტზე (ნახ. 4.2).

საკუთარი წონით გაღუნვისა და შესაძლო ვიბრირების თავიდან ასაცილებლად გრძელ, შეკუმშულ ელემენტებს ამოწმებენ მოქნილობის მიხედვით:

$$\lambda \le [\lambda].$$

$[\lambda]$ დასაშვები მოქნილობაა, რომლის მნიშვნელობა დამოკიდებულია ელემენტების დანიშნულებაზე: სვეტებისათვის, წამწის სარტყლებისათვის, საყრდენი ირიბანებისა და გისოსის დგარებისათვის – $[\lambda] = 120$; სხვა სახის შეკუმშული ელემენტებისათვის – $[\lambda] = 150$; კავშირებისათვის – $[\lambda] = 200$.



ნახ. 4.2. სიგრძის დაყვანილი $\mu$ კოეფიციენტები

თუ მთლიანი კვეთის ელემენტების ზიდვის უნარი არ არის საკმარისი, იყენებენ შედგენილ ელემენტებს (რამდენიმე ელემენტი დაკავშირებულია: უშუალოდ (პაკეტი), შუასადებით ან ზესადებებით), რომელთა დამყოლობა მნიშვნელოვანია და ამიტომ, გარდა სიმტკიცისა და მდგრადობისა, საჭიროა მოქნილობის შემოწმება ნაკერების პარალელური $y-y$ ღერძის მიმართ.

### 4.1.4.2. ღუნვადი ელემენტები

ღუნვადი ელემენტებია სხვადასხვა დანიშნულების კოჭები, გრძივები და დახურვის ელემენტები. გაანგარიშებას აწარმოებენ სიმტკიცესა და მდგრადობაზე (პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობა) და ჩაღუნვაზე (მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობა).

ღუნვადი ელემენტების სიმტკიცე მოწმდება ნორმალური და მხები ძაბვების მიხედვით.

ნორმალური ძაბვის მიხედვით სიმტკიცის პირობაა

$$\sigma \le \frac{M}{W_n} \le R_t, \tag{4.6}$$

სადაც $W_n$ განივი კვეთის ნეტო წინაღობის მომენტია.

მხები ძაბვის მიხედვით სიმტკიცის პირობაა

$$\tau \le \frac{QS}{Ib} \le R_{ms}, \tag{4.7}$$

აქ $S$ განივი კვეთის დაძერადი ნაწილის სტატიკური მომენტია ნეიტრალური ღერძის მიმართ; $b$ – განივი კვეთის სიგანე იმ დონეზე, რომელზეც ხდება ძაბვის განსაზღვრა.

ღუნვადი ელემენტის კვეთის შერჩევა ხდება ძირითადად $\sigma$ ნორმალური ძაბვის მიხედვით. (4.6) ფორმულიდან განისაზღვრება $W = M/R_t$, შემდეგ დაინიშნება კვეთის $b$ სიგანე და გამოითვლება სწორკუთხა კვეთის $h$ სიმაღლე გამოსახულებიდან $W = \frac{bh^2}{6}$; $h = \sqrt{6W/b}$. შემდეგ აწარმოებენ მიღებული $h$ სიდიდის კორექტირებას სორტამენტის მიხედვით და მოწმდება სიმტკიცე და მდგრადობა.

სწორკუთხა კვეთის ხის ღუნვადი ელემენტის საერთო მდგრადობა შემოწმდება ფორმულით

$$\sigma = \frac{M}{\varphi_b W} \le R_t. \tag{4.8}$$

სწორკუთხა კვეთის, ცვლადი სიმაღლის ღუნვადი ელემენტებისათვის, რომლებიც სახსრულად არიან ჩამაგრებული ღუნვის სიბრტყის გარეთ, გადაადგილებისა და გრძივი ღერძის ირგვლივ საყრდენ კვეთებში მობრუნების საწინააღმდეგოდ

$$\varphi_b = 140\frac{b^2}{\ell_c h} K_f, \tag{4.9}$$

სადაც $\ell_c$ ელემენტის საყრდენ კვეთებს შორის მანძილია; თუ კვეთის შეკუმშული კიდე ჩამაგრებულია საყრდენ კვეთებს შორის – ამ ჩამაგრების წერტილებს შორის; $h$ – კვეთის მაქსიმალური სიმაღლე $\ell_c$ უბანზე; $K_f$ – კოეფიციენტი დამოკიდებული $\ell_c$ უბანზე აღძრული მომენტების ეპიურის ფორმაზე, განისაზღვრება ნორმების [2] მიხედვით.

ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება საერთო დეფორმაციის მიხედვით, მდგომარეობს გარე ნორმატიული დატვირთვისაგან ფარდობითი ჩაღუნვის განსაზღვრაში.

იმის გამო, რომ ხის მერქანი დაბალმოდულიანი მასალაა, მთლიანი ან დაწებებული კვეთის ელემენტების ჩაღუნვა სახსრულად დაყრდნობილი და კონსოლური ღუნვადი ელემენტებისათვის გამოითვლება ფორმულითა

$$f = \frac{f_0}{K}\left[1 + C\left(\frac{h}{\ell}\right)^2\right], \tag{4.10}$$

აქ $f_0 = \alpha q_n \ell^3/EI$ მუდმივი კვეთის კოჭის ჩაღუნვაა, ძვრის დეფორმაციის გაუთვალისწინებლად. ორ საყრდენზე თავისუფლად დაყრდნობილ კოჭში $q_n$ თანაბრად

განაწილებული დატვირთვისას $\alpha = \frac{5}{384}\ell$, ე.ი. $f_0 = \frac{5}{384}q_n\ell^4/EI$; $h$ – უდიდესი კვეთის სიმაღლეა; $K$ – კოეფიციენტი ითვალისწინებს კოჭის კვეთის სიმაღლის ცვლის გავლენას (მუდმივი კვეთის კოჭებისათვის $K=1$); $C$ – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს განივი ძალისაგან წარმოქმნილი ძვრის დეფორაციის გავლენას ($K$ და $C$ განისაზღვრება ნორმების [2] მიხედვით).

ღუნვადი ელემენტების შემოწმება ჩაღუნვაზე წარმოებს მისი ფარდობითი მნიშვნელობის მიხედვით $f/\ell \le [f/\ell]$; სადაც $[f/\ell]$ ზღვრული დასაშვები ფარდობითი ჩაღუნვაა, რომელთა მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილ 4.2-ში.

ცხრილი 4.2

| № | კონსტრუქციის ელემენტები | $[f/\ell]$არა უმეტეს |
|---|---|---|
| 1 | სართულთშორისი გადახურვის კოჭები | 1/250 |
| 2 | სასხვენო გადახურვის კოჭები | 1/200 |
| 3 | დახურვის გრძივები, სანიენიე საყრდენები (ფეხი) | 1/200 |
| 4 | კონსოლური კოჭები | 1/150 |
| 5 | წამწეები, დაწებებული კოჭები (კონსოლურის გარდა) | 1/300 |
| 6 | ფილები | 1/250 |
| 7 | მოლარტყვა (მაგ. ნიენივების), ფენილი | 1/150 |
| 8 | ენდოვას მზიდი ელემენტები | 1/400 |
| 9 | პანელი და ფახვერკის ელემენტები | 1/250 |

### 4.1.4.3. გარეცენტრულად გაჭიმული და გარეცენტრულად შეკუმშული ელემენტები

გარეცენტრულად გაჭიმული (ან შეკუმშული) ელემენტები განიცდიან მღუნავი მომენტისა და გრძივი გამჭიმავი (ან მკუმშავი) ძალის ერთდროულ ზემოქმედებას.

გარეცენტრულად გაჭიმულია, მაგალითად, წამწის ქვედა სარტყელი დაუცენტრავი კვანძებით ან თუ წამწის ქვედა კვანძებს შორის მოდებულია ვერტიკალური ძალა. გარეცენტრულად შეკუმშულია ხის თაღები, ჩარჩოები, წამწის ზედა სარტყელი – კვანძებს შორის მოდებული დატვირთვით და სხვა.

ელემენტებში მღუნავი მომენტი წარმოიქმნება განივი დატვირთვისაგან (ნახ. 4.3,ბ), გარეცენტრულად მოდებული გრძივი ძალებისაგან ან განივკვეთის არასიმეტრიული შესუსტების შემთხვევაში (ნახ. 4.4,ა,გ,დ). გაანგარიშებისას მხედველობაში მიიღება მღუნავი მომენტისა და გრძივი ძალის ერთობლივი ზემოქმედება.

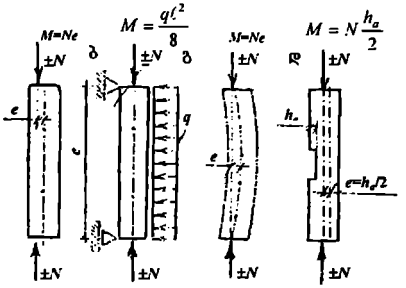
ამგვარად, გარეცენტრულად გაჭიმული ელემენტების სიმტკიცეზე შემოწმება ხდება ფორმულით

$$\sigma = \frac{N}{A_n} + \frac{MR_u}{W_n R_t} \le R_u, \qquad (4.11)$$

სადაც შეფარდება $R_u/R_t$ საშუალებას იძლევა ძაბვები ღუნვისა და გაჭიმვისაგან დავიყვანოთ ერთი სახის ძაბვაზე იმისათვის, რომ შესაძლებლობა მოგვეცეს მისი შედარებისა გაჭიმვაზე $R_u$ საანგარიშო წინაღობასთან.

გარეცენტრულად შეკუმშული ელემენტების სიმტკიცის პირობა ჩაიწერება შემდეგნაირად

$$\sigma = \frac{N}{A_n} + \frac{M_d}{W_n} \le R_t . \qquad (4.12)$$




ნახ. 3.3. მკუმშავი (გამჭიმავი) ძალისა და მღუნავი მომენტის ერთდროული მოქმედების სქემები: ა – გარეცენტრული გრძივი ძალა; ბ – გრძივი და განივი დატვირთვა; გ – საწყისი გაღუნვის არსებობა; დ – კეთის არასიმეტრიული შესუსტება (ამონაჭერი)

აქ $M_d$ განივი და გრძივი ძალების მოქმედებით გამოწვეული მღუნავი მომენტია, რომელიც გამოითვლება დეფორმირებული სქემის მიხედვით; სახსრულად დაყრდნობილი და კონსოლური ელემენტებისათვის $M_d = M/\xi$, სადაც $\xi$ – კოეფიციენტი ითვალისწინებს გრძივი ძალის მიერ გამოწვეულ დამატებით მღუნავ მომენტს

$$\xi = 1 - \frac{N}{\varphi A R_t}, \qquad (4.13)$$

აქ $\varphi$ გრძივი ღუნვის კოეფიციენტია, განისაზღვრება (4.5) ფორმულით $\left(\varphi = \frac{3000}{\lambda^2}\right)$.

გარეცენტრულად შეკუმშული ელემენტები მოწმდება, აგრეთვე, ბრტყელი ფორმის დეფორმირების მდგრადობაზე

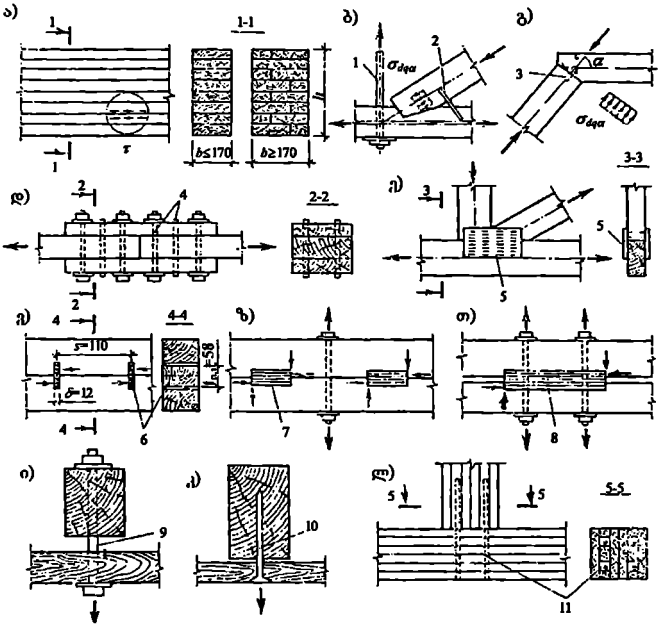
$$\frac{N}{\varphi A R_t} + \left(\frac{M_d}{\varphi_b W R_t}\right)^n \le 1, \qquad (4.14)$$

სადაც $A$ სიგრძის $\ell_c$ უბანზე განივკვეთის ბრუტო ფართობია; $n = 2$ – ელემენტებისათვის, რომელთა გაჭიმული ზონა არ არის დამაგრებული დეფორმირების სიბრტყის გარეთ და $n = 1$, იმ ელემენტებისათვის, რომლებიც ამკარადაა დამაგრებული; $\varphi_b$ ელემენტის $\ell_c$ სიგრძის უბნისათვის დეფორმირების სიბრტყის გარეთ გრძივი ღუნვის კოეფიციენტია, გამოითვლება (4.9) ფორმულით $\left(\varphi_b = 140\frac{b^2}{\ell_c h} K_f\right)$.

### 4.1.5. კონსტრუქციების ელემენტების შეერთება

ხე-ტყის სორტამენტი შეზღუდულია, როგორც კვეთის სიდიდით, ასევე სიგრძეშიც. თანამედროვე ხის კონსტრუქციები, რომლებსაც მნიშვნელოვანი სიდიდის მალის გადახურვა და შესაბამისი ზიდვის უნარი მოეთხოვება, შეიძლება დამზადდეს ელემენტების შეერთებით (გადაბმით) სიგრძესა და სიგანეში (კვეთში), ასევე კვანძებში საჭირო კუთხით.

ხის ელემენტების შეერთება ხდება: დაწებებით. წინწკიმალით (ხის ცილინდრული ღერო, ლურსმანი, შურუპი (სჭვალი), ჭანჭიკი), ჩაჭრით, მიბჯენით, კავშირებით – გაჭიმული ელემენტებით (ცალუღი, ჩანგალი, ჭანჭიკი) და სხვა (ნახ. 4.4).



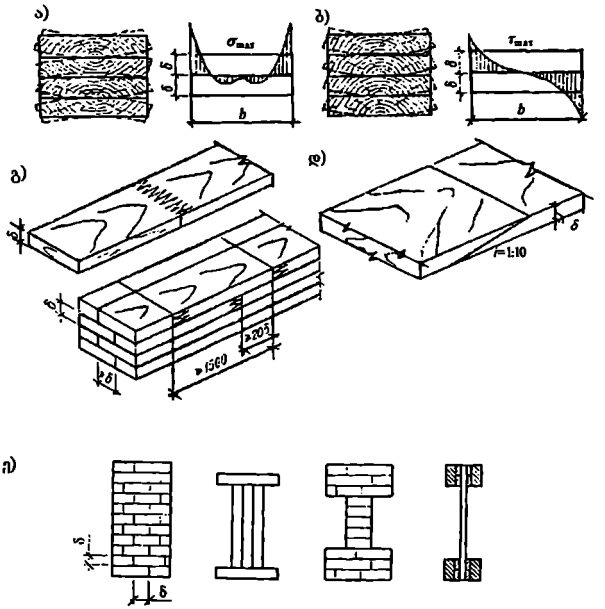

ნახ. 4.4. ხის კონსტრუქციების ელემენტების შეერთების ძირითადი სახეობები
ა – დაწებებული; ბ – ჭდობით; გ – შუბლა მიბჯენით; დ – ცილინდრული წირწკიმალით; ე – ლითონის დაკბილული ფირფიტით; ვ – ფირფიტისებრი წირწკიმალით; ზ – ხის პრიზმული წირწკიმალით; თ – ხუნდებით; ი – გაჭიმული კავშირი; კ – ამოძრობაზე მომუშავე კავშირები; ლ – ჩაწებებული ფოლადის ღეროებით; 1 – ფოლადის შემკოჭი (ჭიმი); 2 – ფოლადის ჩანგალი; 3 – მანჭვალი (ღერო) ; 4 – ცილინდრული წირწკიმალი; 5 – ფოლადის დაკბილ'ული ფირფიტა; 6 – მუხის ან არყის ფირფიტისებრი წირწკიმალი; 7, 8 – ხის პრიზმული სოგმანი და ხუნდი.

დიდი მნიშვნელობა აქვს შეერთების რღვევის ხასიათს. უფრო ხელსაყრელია შეერთება, რომელიც პასუხობს სიბლანტის (დამყოლობის) მოთხოვნებს ანუ რღვევა

მიმდინარეობს თანდათან, პლასტიკური დეფორმაციის განვითარებით. ასეთი შეერთების სიმტკიცეს განაპირობებს მერქნის წინაღობა თელვაზე. ნაკლებად ხელსაყრელია მყიფე რღვევა, რომელსაც შეიძლება მიჰყვეს ზიდვის უნარის მყისიერი დაკარგვა და ნაგებობის ავარია. შეერთების მყიფე რღვევა შეიძლება განხორციელდეს მერქნის გახეთქისაგან, ახლეჩისა და გაგლეჯისაგან. ბლანტ-დამყოლი კავშირების უპირატესობაა ის რომ ერთი კავშირის გამორთვისას ძალა გადანაწილდება დანარჩენ კავშირებზე რითაც უზრუნველყოფილია შეერთების მუშაობის საიმედოობა.

### 4.1.5.1. შეერთება დაწებებით

დაწებებით შეერთებას აქვს რიგი უპირატესობებისა: ა) პრაქტიკულად არ არის დამყოლობა შეერთების ადგილას, რაც საშუალებას იძლევა დაწებებული ელემენტები ეიანგარიშოთ როგორც მთლიანი; ბ) შესაძლებლობა – მცირე ზომის ხის ნაჭრებისგან შეიქმნას დიდი, რაციონალური ფორმის კვეთის, დიდი სიგრძის, რაციონალური მოხაზულობის კონსტრუქცია; გ) შესაძლებელია კვეთის სიმაღლის სხვადასხვა დაძაბულობის დონეზე შესაბამისი ხარისხის მერქანის გამოყენება; დ) არ საჭიროებს ლითონის ელემენტებს, არ არის დასუსტებული კვეთი ნახვრეტებისაგან; ე) ზოგიერთი აგრესიულ გარემოსადმი კარგი წინაღობა; ვ) ტექნოლოგიურობა; ზ) წარმოების პროცესის მაღალი მექანიზაციისა და ავტომატიზაციის შესაძლებლობა.




ნახ. 4.5. დაწებებით შეერთების ძირითადი სახეობები
ა – აგლეჯაზე მომუშავე, წლიური ფენების შეთანხმებით; ბ – იგივე, ძერაზე მომუშავე; გ, დ – ფიცრებისა და დაწებებული ბლოკების კბილანა და გადადებით შეერთება; ე – დაწებებული კოჭის კვეთები პირიზონტალურად და ვერტიკალურად განლაგებული ფიცრებითა და ფანერის კედლით.

დაწებებული ხის კონსტრუქციების დამზადება დასაშვებია მხოლოდ ქარხნული წესით. გამოიყენება ძირითადად წიწვოვანი ჯიშები, ტენიანობით არა უმეტეს 8...15%-ისა. დასაწებებელი ფიცრების სისქე, გარანდვის გათვალისწინებით, აიღება არა უმეტესი 33 მმ-სა. მხოლოდ სწორხაზოვან ელემენტებში დაიშვება 42 მმ. უფრო სქელი ფიცრების გამოყენებისას შეიძლება დაწებების შრის სიმტკიცის დარღვევა – ფიცრების შემდგომი გამოშრობის პროცესში დაბრეცის გამო. დაწებების წინ ფიცრებს რანდაყენ 3 მმ სისქეზე ზედაპირების კარგი კონტაქტისათვის. ფიცრებისა და დაწებებული ბლოკების შეერთების ძირითადი ხერხია კბილანა შეერთება (ნახ. 4.5, გ). კბილანები ფიცრებს ან ბლოკებს უკეთდება შეერთების ადგილას. ასეთი შეერთების პირაპირებს შორის მანძილი ერთ ფიცარზე აიღება – არანაკლები 1,5მ-სა, მეზობელ ფიცრებში – ფიცრის სისქის ოცმაგი მანძილით. ფანერის ფურცლებს ხშირად აწებებენ გადადებით, კიდეების ირიბი ჩაჭრით (ნახ. 4.5,დ). ასეთი შეერთების სიმტკიცე ნაკლებია, ვიდრე მთლიანი ფანერის, რასაც გაანგარიშებისას ითვალისწინებენ მუშაობის პირობების $\gamma_p = 0,6$ კოეფიციენტით.

წებოს შერჩევა ხდება კონსტრუქციის ექსპლუატაციის პირობების მიხედვით. წებოების სახესხვაობა მრავალია. ძირითადად გამოიყენება წყალმედეგი, სინთეტიკური წებოები, რომელთა მარკები მიიღება ნორმების [2] მიხედვით. ლითონთან შესაერთებლად ხმარობენ ეპოქსიდურ წებოს.

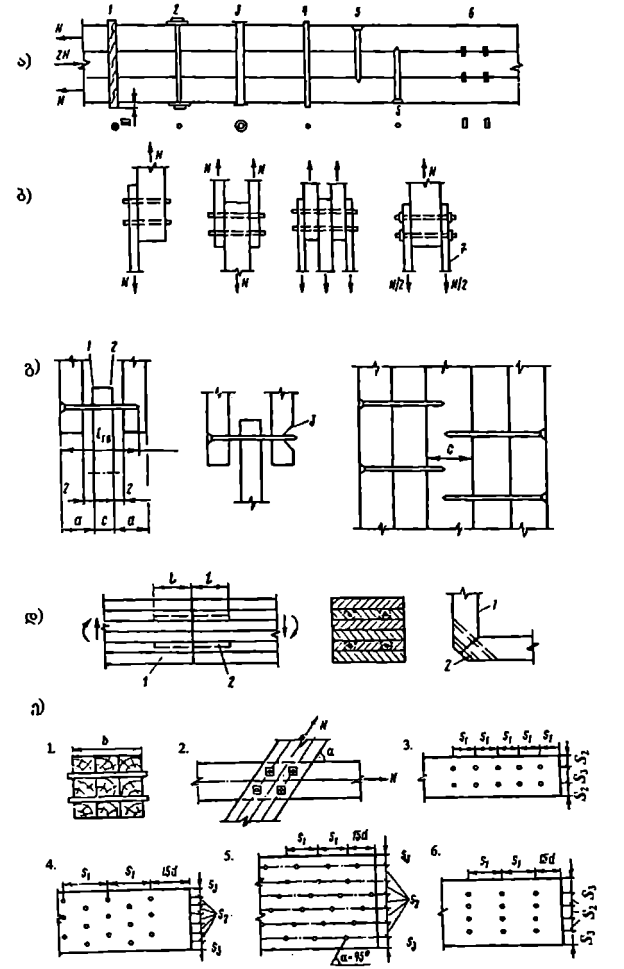
დაწებებული კონსტრუქციების დაწებების ნაკერის წინაღობა ძვრასა და ახლესაზე მეტია თვით მერქნის სათანადო სიმტკიცეზე. ამიტომ ასეთი კონსტრუქციები გაიანგარიშება, როგორც ერთიანი ხის ელემენტი.

### 4.1.5.2. შეერთება წირწკიმალით

შეერთება ხდება, ძირითადად, ფოლადის ან მაგარი ხის (მუხა) ცილინდრული ღეროებით, რომლებსაც ჩააჭედავენ იმავე ან ოდნავ მცირე (0,2...0,5 მმ-ით) დიამეტრის ნახვრეტში და ბოლოებს მოუსწორებენ ელემენტის ზედაპირის დონეზე. გამოიყენება, აგრეთვე, ჭანჭიკები, ლურსმანი, შურუპი (სჭვალი), ფირფიტა და სხვა (ნახ. 4.6). შესაერთებელი მერქნის გამოშრობისა და დაბრეცისაგან შეერთების დარღვევის საწინააღმდეგოდ აუცილებლად გამოიყენება წირწკიმალის საერთო რაოდენობიდან 25%-მდე მოსაჭერი ჭანჭიკები, მაგრამ არა უმცირეს სამისა, პირაპირის ორივე მხრიდან.

ლურსმნებით შეერთება გამოიყენება ძირითადად დროებითი ტიპისა და დამხმარე ნაგებობებისათვის. ძირითად მზიდ კონსტრუქციებში არ არის მიზანშეწონილი, რადგან დროთა განმავლობაში შეერთება იწყებს ცოცვას (იზრდება დეფორმაცია დატვირთვის გაუზრდელად). აღსანიშნავია, რომ ლურსმანი ჩასობისას ამკვრივებს მერქანს და ზრდის მის წინაღობას თელვაზე, ბოჭკოების განივი მიმართულებით.

შურუპების (სჭვალების) გამოყენება ნებადართულია მხოლოდ ფოლადის ან ბაკელიტებული ფანერის ზესადებებთან ერთად. საჭიროა შურუპის ნახვრეტში მჭიდროდ მოთავსება, რასაც უზრუნველყოფს ნახვრეტის დიამეტრი, რომელიც ტოლია 0,8*d*-სი. *d* შურუპის დიამეტრია. შურუპებისა და ლურსმნების განლაგება და მათი გაანგარიშება ისეთივეა, რაც ცილინდრული წირწკიმალის შეერთებისას.



ნახ. 4.6. ა – წირწკიმალის სახეობები: 1 – მუხის წირწკიმალი; 2 – ჭანჭიკი;
3 – წირწკიმალი – მილი; 4 – ფოლადის წირწკიმალი; 5 – ლურსმნები;
6 – ფირფიტა წირწკიმალი; 7 – ფოლადის სადები;
ბ – ერთ-, ორ- და მრავალჭრიანი წირწკიმალით შეერთება;
გ – ლურსმნის ჩასობის სქემები: ყრუ, გამჭოლი და შემხვედრი;
1, 2 პირველი და მეორე ჭრა; 3 – გამონახლენი;
დ – შეერთება ჩაწებებული ღეროებით: გრძივი და კუთხის მიმართულებით;
1 – შესაერთებელი ელემენტები; 2 – ფოლადის არმატურის ღეროები.
ე – წირწკიმალისა და ლურსმნების განლაგება და შეერთების ზოგიერთი
სახეობა. 1 – ელემენტის გრძივი შეერთება; 2 – შეერთება კუთხით;
3 – წირწკიმალის რიგობრივი განლაგება; 4 – ჭადრაკული განლაგება;
5 – განლაგება ირიბ რიგებად; 6 – ლურსმნების რიგობრივი განლაგება.

დატეირთვის მოქმედების მიხედვით წირწკიმალით შეერთება შეიძლება იყოს: სიმეტრიული და არასიმეტრიული, ხოლო ჭრის სიბრტყის რაოდენობის მიხედვით ერთ-, ორ- და მრავალჭრიანი. წირწკიმალებს შორის დაშორება რეგლამენტებულია, რადგან მათი ხშირი განლაგება იწვევს მერქანის ახლეჩას.

წირწკიმალით შეერთება, ისევე როგორც ჩაჭრით შეერთება, ითვლება დამყოლ შეერთებად, რადგან რღვევისას განიცდის მნიშვნელოვან დეფორმაციებს (დაახლოებით 10...15 მმ).

შესაერთებელი ელემენტების დაძვრისას წირწკიმალები მუშაობს ღუნვაზე, ხოლო მერქანი ნახვრეტის კედლების თელვაზე, ახლეჩასა და გახეთქაზე ნახვრეტებს შორის. ცილინდრული წირწკიმალის ზიდვის უნარის განმსაზღვრელი ფორმულები მოცემულია ნორმებში [2]. ანალოგიურია ლურსმნებით შეერთების გაანგარიშება. აქ განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა ლურსმნების განლაგებას ბოჭკოების გასწვრივ და განივად.

მერქანის თელვაზე გაანგარიშებისას ხის ჯიშებისა და ექსპლუატაციის პირობების განსხვავებებს ითვალისწინებენ მუშაობის პირობების კოეფიციენტებით ისევე, როგორც მერქნის საანგარიშო წინაღობის განსაზღვრისას ($K = \gamma_{t1}$, $\gamma_{t2}$, $\gamma_{t3}$, $\gamma_r$). როდესაც წირწკიმალი მუშაობს ჭრაზე, მაშინ ერთ ჭრაზე წირწკიმალის $T$ ზიდვის უნარს ამრავლებენ $K_a K$, ხოლო ღუნვაზე ანგარიშისას – $\sqrt{K_a K}$-ზე. მაგალითად, სიმეტრიული შეერთებისას, როდესაც წირწკიმალი მუშაობს ჭრაზე, შუა ელემენტების თელვაზე გაანგარიშებლად ძალა $T = 0{,}5cdK_a K$, განაპირა ელემენტებისათვის – $T = 0{,}8adK_a K$. როდესაც წირწკიმალი მუშაობს ღუნვაზე, მაშინ მერქნის თელვაზე გასაანგარიშებლად ძალა $T = (1{,}8d^2 + 0{,}02a^2)\sqrt{K_a K} \le 2{,}5d^2\sqrt{K_a K}$ შეერთებაში წირწკიმალის საჭირო რაოდენობა იქნება

$$n \ge N/(T_{\min} \cdot n_f), \qquad (4.15)$$

სადაც $T_{\min}$ – წირწკიმალის ერთ ჭრაზე მინიმალური საანგარიშო ზიდვის უნარია;

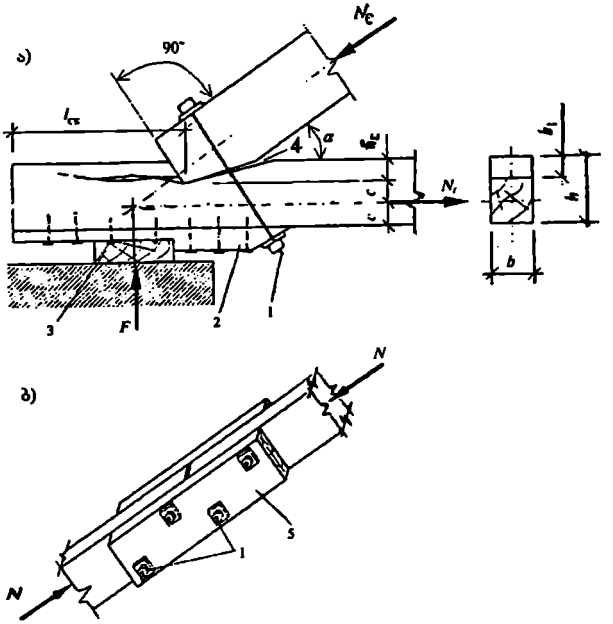
$n_f$ – ჭრების რაოდენობა; $K_a$ – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს $N$ ძალაზე მერქნის ბოჭკოების მიმართულებებს შორის $\alpha$ კუთხის გაელენას, დამოკიდებულია $\alpha$ კუთხეზე, წირწკიმალის მასალასა და დიამეტრზე. აიღება ნორმებიდან [2].

წირწკიმალის განლაგება შეიძლება იყოს სწორ რიგობრივად და ჭადრაკულად. ლურსმნებს აჭედებენ 45°-ით დახრილ ირიბ რიგზე. ყველა წირწკიმალს შორის მანძილი ნორმირებულია.

### 4.1.5.3. შეერთება ჭდობით (ჩაჭრით)

ჩაჭრით შეერთებისას ძალა ერთი ელემენტიდან მეორეს გადაეცემა უშუალოდ შეხების სიბრტყით, შუალედური კავშირების გარეშე. ჩაჭრით შეერთებას ძირითადად მიმართავენ ხის ძელით ან მორებით შედგენილ კონსტრუქციებში. ხშირად წამწის საყრდენ კვანძში იყენებენ შუბლა ჩაჭრას ერთი კბილით (ნახ. 4.7, ა). ორი შეკუმშული ელემენტის შესაერთებლად, მაგალითად, წამწის ზედა სარტყელში

გამოიყენება მარტივი შუბლა დაყრდნობა (ნახ. 4.7, ბ), სადაც ძალვა გადაეცემა უშუალო კონტაქტით. შესაერთებელი ელემენტების დასაფიქსირებლად, პირაპირის ორივე მხრიდან აყენებენ ფიცრის სადებებს და შეაერთებენ ერთმანეთთან 12...14 მმ დიამეტრის ჭანჭიკებით. შეერთების კონსტრუირებისას შუბლა ჩაჭრისას საჭიროა: შეერთების კვანძი ისე უნდა დაიცენტროს, რომ გაჭიმული ელემენტები სუსტი კვეთის ღერძს დაემთხვეს. ამ დროს აღარ წარმოიქმნება ღუნვის დამატებითი ძაბვა; თელვის ფართობი უნდა იყოს მიმდებარე შეკუმშული ელემენტის ღერძის მართობულად და დაიცენტროს მის მიმართ; ჩაჭრის სიღრმე $h_c$ საყრდენ კვანძში მიიღება ელემენტის კვეთის $h$ სიმაღლის (ან $D$ დიამეტრის) არა უმეტეს 1/3-სა, ხოლო შუალედურ კვანძებში – არა უმეტეს 1/4-სა, მაგრამ არანაკლები 2 სმ ძელებსა და არანაკლები 3 სმ მორებში. ახლეჩის ფართობის სიგრძედ მიიღება $1{,}5h \le \ell_{ck} \le 10h_c$.




ნახ. 4.7. ა – ხის ძელაკების შუბლა შეერთება ჩაჭრის ერთი კბილით.
ბ – შეერთება შუბლა დაყრდნობით. 1 – მოსაჭიმი ჭანჭიკი;
2 – კოჭის საყრდენი ფიცარი; 3 – კედელზე დასყრდნობი ძელაკი;
4 – ღრეჩო; 5 – შუბლა პირაპირის სადებები.

შუბლა ჩაჭრას წამწის საყრდენ კვანძში გაიანგარიშებენ თელვაზე (თელვის ფართობის მიხედვით), შეკუმშული ღეროდან გადმოცემულ $N_c$ მკუმშავ ძალაზე

$$\sigma = N_c / A_c = N_c \cos\alpha / (bh_c) \le R_{ta}, \qquad (4.16)$$

აქ $h_c$ – ჩაჭრის სიღრმეა, $\ell_{ck}$ – ახლეჩის სიგრძე, $b$ – წამწის ღეროს განივკვეთის სიგანე (ნახ. 4.7).

ახლეჩაზე გაანგარიშება წარმოებს, ახლეჩის ფართობის მიხედვით $N_c$ ძალის ჰორიზონტალური პროექციის მოქმედებაზე, რომელიც ტოლია წამწის ქვედა სარტყელის განაპირა პანელში აღძრული $N_t$ გამჭიმავი ძალის

$$\sigma = N_c \sin\alpha / A_c = N_c \cos\alpha / (b\ell_{sk}) \le R_{tsm}, \qquad (4.17)$$

სადაც $N_c$ საანგარიშო მკუმშავი ძალაა კვანძის ჭდობაში ჩადგმულ ელემენტში; $b$ – წამწის ღეროს განივკვეთის სიგანე; $\alpha$ – შეკუმშულ (ზედა) და გაჭიმულ (ქვედა) ელემენტებს შორის კუთხე; $A_c$ – თელვის ფართობი; $R_{tsm} = R_{ts} \Big/ \left(1 - \beta \frac{\ell_{sk}}{e}\right)$ – ახლეჩის ფართობზე, მერქნის ბოჭკოების გასწვრივ ახლეჩაზე საანგარიშო წინაღობის საშუალო მნიშვნელობა; $e$ – ახლეჩის ძალის მხარი: სიმეტრიული ჭდობისას მიიღება $e = 0{,}5h$, $\beta$ – კვანძში მოქმედი ძალების განლაგების განსახილველი სქემის შესაბამისი კოეფიციენტი. ამ კერძო შემთხვევისათვის $\beta = 0{,}25$.

ჭდობის თელვასა და ახლეჩაზე, ძირითადი შემოწმების გარდა, ამოწმებენ: შემკოჭ ჭანჭიკს – კვანძის ავარიული მუშაობის შემთხვევისათვის, ლურსმნებით საყრდენი ფიცრის დამაგრებას წამწის ქვედა სარტყელზე და საყრდენ ძელაკს თელვაზე, წამწის $F$ ვერტიკალური რეაქციის ძალის ზემოქმედებაზე.

### 4.1.6. ხის და ხე-ლითონის კონსტრუქციები

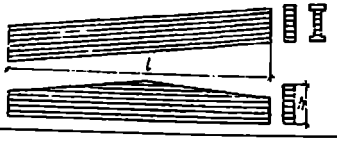
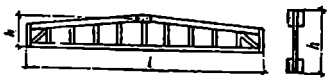
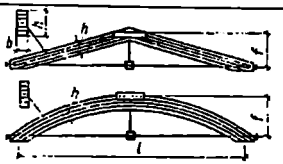
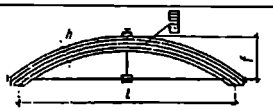
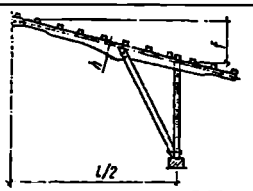
ხის კონსტრუქციები ძირითადად გამოყენება შენობა-ნაგებობების დახურვისას, სადაც მათი მცირე საკუთარი წონა განსაკუთრებით ეფექტურია.

შენობა-ნაგებობების გადახურვის მზიდ კონსტრუქციებში გამოიყენება სხვადასხვა სახის ხის დაწებებული და მთლიანი კოჭები, თაღები, სამსახსრიანი ჩარჩოები და წამწეები. თანამედროვე მშენებლობაში გამოყენებულ ასეთ მზიდ კონსტრუქციებს წარმოადგენს ქარხნული წესით დამზადებული ინდუსტრიული კონსტრუქციები, რომლებსაც განეკუთვნება დაწებებული კოჭები, თაღები, ჩარჩოები, მსხვილპანელური ხე-ლითონის წამწეები – დაწებებული ზედა სარტყელით, შედარებით იშვიათად, ძელაკებისა და ფიცრებისაგან დამზადებული წამწეები.

გადახურვის მთლიანი ხის მზიდი კონსტრუქციებიდან კოჭის ტიპის გამოიყენება 12 მ-მდე მალით, შემკოჭიანი თაღები და ჩარჩოები – 18 მ-მდე. პრაქტიკაში გამოყენებული მთლიანი ხის კონსტრუქციათა სქემები, ძირითადი პარამეტრების მაჩვენებლებით მოცემულია ცხრილ 4.3-ში.

გამჭოლ კონსტრუქციებს წარმოადგენს სხვადასხვა ტიპის წამწეები, რომლებიც ძირითადად გამოიყენება 12...30 მ მალის გადახურვებში. 24...60 მ მალის გადახურვებში – უფრო სამსახსრიანი გისოსებიანი თაღები შემკოჭებით, რომლებიც ხელსაყრელია გარაჟების, ანგარებისა და სხვა მსგავსი შენობების გადასახურავად. წამწეების სქემებისა და ტიპების შერჩევა ხდება არქიტექტურული გამომსახველობის, საწარმოო და საექსპლუატაციო მოთხოვნების მიხედვით. აგრეთვე, ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშების საფუძველზე. ხის გამჭოლი, ბრტყელი კონსტრუქციების ძირითადი სქემები მოცემულია ცხრილ 4.4-ში.

დაწებებული ხის ბრტყელი კონსტრუქციების ძირითადი სქემები

| კონსტრუქცია, გამოყენება | საანგარიშო სქემა | გეომეტრიული ზომები |
|---|---|---|
| ფიცრების დაწებებული პაკეტების სწორკუთხა და ორტესებრი კვეთის მზიდი კოჭები |  | $l$ = 6...12 მ<br>$h/l$ = 1/8...1/12<br>$k_{გახ}$ = 6...4;<br>$k_{ლით}$ = 1,5%. |
| დახურვის მზიდი კოჭები დაწებებული ფიცრებით. კოჭის კედელი ფანერის |  | $l$ = 6...12 მ<br>$h/l$ = 1/8...1/12<br>$k_{გახ}$ = 4...3;<br>$k_{ლით}$ = 1%. |
| დაწებებული კოჭების და ფიცრის პაკეტის სამსახსრიანი თაღები ფოლადის შემკოჭით – დახურვის მზიდი კონსტრუქცია |  | $l$ = 12...18 მ<br>$h/l$ = 1/30...1/50;<br>$f/l$ = 1/2...1/7;<br>$k_{გახ}$ = 4...2;<br>$k_{ლით}$ = 20...25%. |
| ფიცრების დაწებებული პაკეტის ორსახსრიანი თაღები-დახურვის მზიდი კონსტრუქცია |  | $l$ = 12...18 მ<br>$h/l$ = 1/30...1/50;<br>$f/l$ = 1/2...1/7;<br>$k_{გახ}$ = 4...2;<br>$k_{ლით}$ = 20...25%. |
| დაწებებული ელემენტებისაგან შედგენილი სამსახსრიანი ჩარჩო-კარკასის მზიდი კონსტრუქცია |  | $l$ = 12...18 მ<br>$f/l$ = 1/8...1/3;<br>$h/l$ = 1/30...1/35;<br>$k_{გახ}$ = 5...4;<br>$k_{ლით}$ = 20...25%. |

შენობის დანიშნულებისა და დახურვის ტიპის (ცივია თუ თბილი, სხვენით თუ უსხვენოდ) მიხედვით და დახურვის (ბურულის) მასალისაგან დამოკიდებულებით, სახურავის ფორმა მიიღება ერთქანობიანი ან ორქანობიანი.

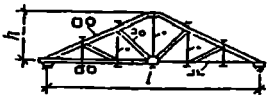
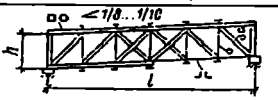
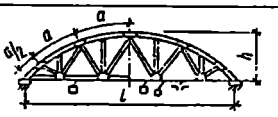
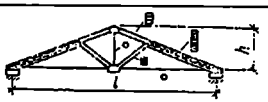
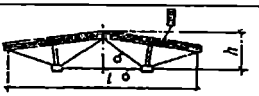
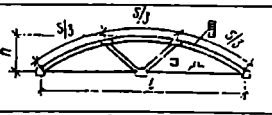
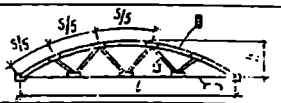
4.3 და 4.4 ცხრილებში: $k_{გახ}$ კოეფიციენტია, რომელიც პირობით ერთეულებში ასახავს, ერთეული დატვირთვის და გადახურვის ერთეული ფართობის ან მალის მიხედვით, მასალის ხარჯს, $k_{ლით}$ – კოეფიციენტი, რომელიც განსაზღვრავს ლითონის ხარჯს პროცენტებში, კონსტრუქციის მთლიან მასასთან შეფარდებით. რაც ნაკლებია $k_{გახ}$ და $k_{ლით}$ – მით ეკონომიურია კონსტრუქცია.

მშენებლობის პრაქტიკაში შედარებით ფართო გავრცელება ჰპოვა ხე-ლითონის წამწეებმა, რომლებშიც შეკუმშული და შეკუმშულ-გაღუნული ელემენტები მთლიანი

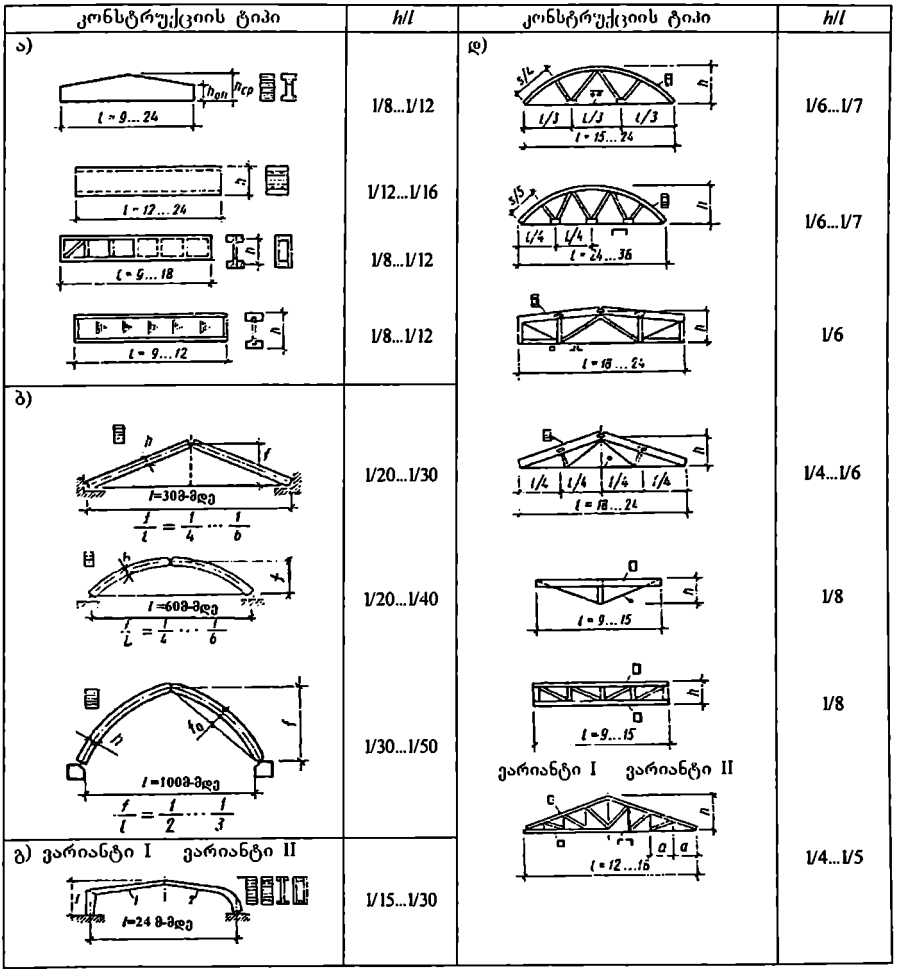
ან დაწებებული ხისაა, გაჭიმული ელემენტები –წრიული კვეთის ფოლადის ღერო ან კუთხოვანა.

ცხრილი 4.4

ბრტყელი, გამჭოლი ხის კონსტრუქციების ძირითადი სქემები

| დასახელება | საანგარიშო სქემა | გეომეტრიული ზომები |
|---|---|---|
| წამწეები მორებითა და ძელებით შუბლა ჭდობით. ხის (ა) და ფოლადის (ბ) ქვედა სარტყლით |  ა) ბ) | $l$ = 12...18 მ; $h/l$ = 1/5...1/4; $k_{მას}$ = 6...4,5; ა) $k_{ლით}$ = 15...20%; ბ) $k_{ლით}$ = 25...35%. |
| იგივე, პარალელური სარტყლებით |  ა) ბ) | $l$ = 12...24 მ; $h/l$ = 1/6; $k_{მას}$ = 6...4,5; ა) $k_{ლით}$ = 15...20%; ბ) $k_{ლით}$ = 25...35%. |
| წირწკიმალით შეერთებული ძელებისაგან დამზადებული წამწე ტეხილი ზედა სარტყლით, ხის (ა) და ფოლადის (ბ) ქვედა სარტყლით |  ა) ბ) | $l$ = 18...30 მ; $h/l$ = 1/6...1/7; $k_{მას}$ = 5...3; ა) $k_{ლით}$ = 12...18%; ბ) $k_{ლით}$ = 25...35%. |
| ხე-ლითონის შპრენგელური წამწე, დაწებებული ბლოკებით (დახურვის მზიდი კონსტრუქციები) |  | $l$ = 9...15 მ; $f/l$ = 1/7...1/4; $h/l$ = 1/30...1/20; $k_{მას}$ = 4...3,5; $k_{ლით}$ = 20...30%. |
| ხე-ლითონის წამწეები ზედა სარტყელი დაწებებული ბლოკებისაგან (სამკუთხა დოინჯებით) |  | $l$ = 12...18 მ; $h/l$ = 1/6...1/4; $k_{მას}$ = 4...3,5; $k_{ლით}$ = 25...30%. |
| იგივე, ხუთკუთხა წამწე ზედა სარტყლის დონეზე დაყრდნობით |  | $l$ = 12...14 მ; $h/l$ = 1/7...1/6; $k_{მას}$ = 4...3,5; $k_{ლით}$ = 25...35%. |
| ხე-ლითონის სეგმენტური წამწე სამი დაწებებული ბლოკისაგან დამზადებული ზედა სარტყლით |  | $l$ = 12...24 მ; $h/l$ = 1/7...1/6; $k_{მას}$ = 2,5...3,0; $k_{ლით}$ = 30...35%. |
| იგივე, ხუთი ბლოკისაგან დამზადებული |  | $l$ = 12...24 მ. – |
| სამსახსრიანი, გისოსებიანი თაღები სეგმენტური წამწეებით |  | $l$ = 30...60 მ; $f/l$ = 1/6...1/4; $h/l$ = 1/25...1/15; $k_{მას}$ = 5...3; $k_{ლით}$ = 7...12% (შემკოჭის გარეშე); $k_{ლით}$ = 20...25%. (შემკოჭით). |

გარდა მარტივი კონსტრუქციებისა, ხისა დ ხე-ლითონის კონსტრუქციები მზადდება ქარხნული წესით. ნახ. 4.8-ზე მოცემულია ასეთი კონსტრუქციების სახეობა და პარამეტრები




ნახ. 4.8. ხისა და ხე-ლითონის ინდუსტრიული მზიდი კონსტრუქციები
ა – კოჭები (ფიცრისგან დაწებებული; იგივე დაარმატურებული; ფანერის, დაწებებული წიბოებით; ტალღოვანი კედლით); ბ – თაღები (სამკუთხა; წრიული მოხაზულობის; ისრისებური); გ – ფიცარშეწებებული ჩარჩო (I ვარ. – სწორხაზოვანი ელემენტებით; II ვარ. – მრუდხაზოვანი, დაწებებული); დ – წამწეები (სეგმენტური, ხუთკუთხა; სამკუთხა, შპრენგელური, პარალელური სატყლებით) დამზადებული მორებით ან ძელებით, ელემენტების შეერთება ჭდობით.

### 4.1.6.1. განივ ღუნვაზე მომუშავე ხის კოჭები

ხის კოჭები ძირითადად გამოიყენება მცირესართულიან შენობებში სართულშორისი და სასხვენო გადასახურავში, ქანობიან სახურავებში, სამრეწველო შენობებში, სადაც ქიმიურად აგრესიული გარემოა, რკინაბეტონის მონოლითური კონსტრუქციების აგებისას შეფიცვრის ან ყალიბის დასაყრდნობად, დროებით ნაგებობებში.

კოჭები მზადდება მთლიანი ან შედგენილი მერქნისაგან: ადგილზე ლურსმნებით ან ხის წირწკიმალით, ქარხნებში – შედგენილი დაწებებული (ფიცრებით ან ფიცრებითა და სამშენებლო ფანერით). მთლიანი კოჭებით გადაიხურება 6 მ-დე მალი, დაწებებულით – 15...18 მ. შეიძლება 24 მეტრიც.

კოჭები შეიძლება იყოს მუდმივი სიმაღლის, ორქანობიანი ამ ერთქანობიანი ქვედა ჰორიზონტალური ძირით, ორქანობიანი ტეხილი მოხაზულობის ან ზედა, რკალური მოხაზულობის. კვეთის ფორმაა სწორკუთხა ან ორტესებრი (ნახ. 4.9, ბ,გ) კვეთის სიგანე ჩვეულებრივ აიღება არა უმეტესი 17 სმ-სა, სიმაღლე ორქანობიანისთვის $h_{max} = \ell/10$, მუდმივკვეთიანი კოჭებისათვის – $h = \ell/12$, რკალური მოხაზულობის – $\ell/15$. ცვლადგანივკვეთიანი კოჭის კვეთის სიმაღლე საყრდენთან არანაკლები $0{,}4h_{max}$.

კოჭების საერთო მდგრადობის უზრუნველყოფის მიღწევა შეიძლება თუ მუდმივი სიმაღლისას $h/b \le 6$, ხოლო ცვლადი კვეთის შემთხვევაში $h_{max}/b \le 8{,}5$, სადაც $b$ – კოჭის კვეთის სიგანეა. ორტესებრი კვეთისათვის დამატებით საჭიროა, რომ $h_f/b_f \le 6$, ხოლო $b_f \ge 0{,}5b$, და აიღება არა უმცირესი 80 მმ-სა (იხ. ნახ. 4.9, ბ). კოჭების დამზადებისას რეკომენდებულია სამშენებლო აწევა $\ell/200$-ის ტოლი.

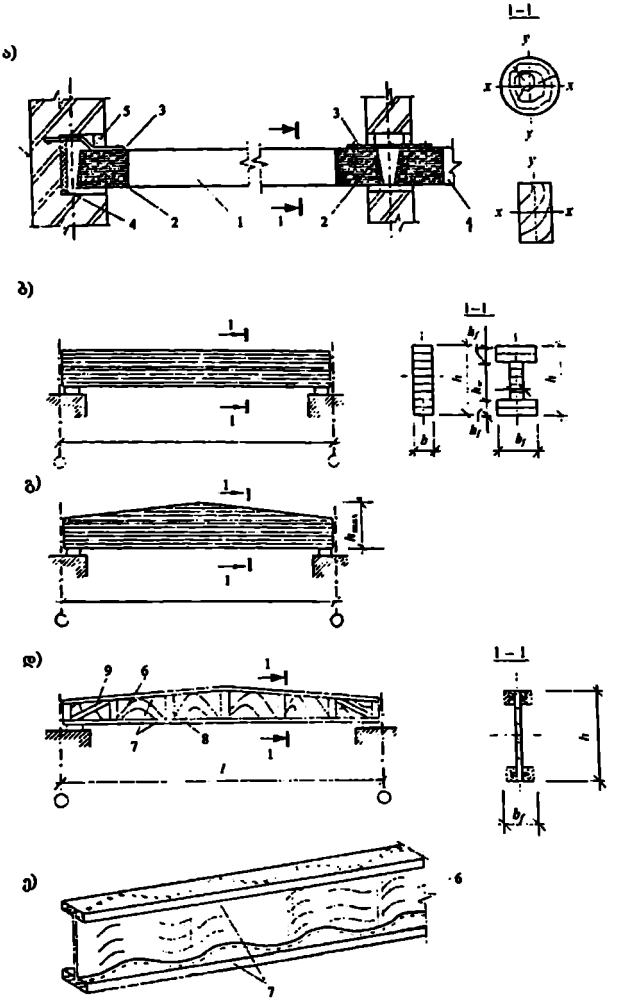
როდესაც საჭიროა კვეთის მინიმალური სიმაღლის უზრუნველყოფა ან მაღალი ხარისხის მერქნის ეკონომია, მიმართავენ კოჭის დაარმატურებას. ფოლადის არმატურის ღეროები, ფიცრებთან ერთად, ჩაწებდება კვეთის კიდეებში, სადაც ძაბვა მაქსიმალურია. ფოლადის ღეროების ჯამური ფართობი აიღება კოჭის განივი კვეთის საერთო ფართობის 0,02...0,04 ნაწილის ტოლი.

ხის ღუნვადი ელემენტები თითქმის შეუცვლელია შენობის დახურვის კონსტრუქციებში. მაგალითად, ცივ დახურვებში (ნახ. 4.10) რუნოლური საფარის ქვეშ იყენებენ ორმაგ საგებს: პირველი, ქვედა მუშა საგები კეთდება 25...30 მმ სისქის ფიცრებით ან ძელაკებით, ზედა, დამცველი – ფიცრებით, სისქით 16...19მმ. სანიენიეო ფეხები და გრძივები ფიცრის ან ძელაკებისაა.

თბილი გადახურვა, გარდა ზემოჩამოთვლილი ელემენტებისა, შედგება დამათბუნებელი ფენისაგან, რომელიც კეთდება თბოსაიზოლაციო მასალისაგან. კონსტრუქცია მოცემულია ნახ. 4.11-ზე.

გადახურვის ელემენტების ზომები მიიღება სათანადო გაანგარიშების საფუძველზე.

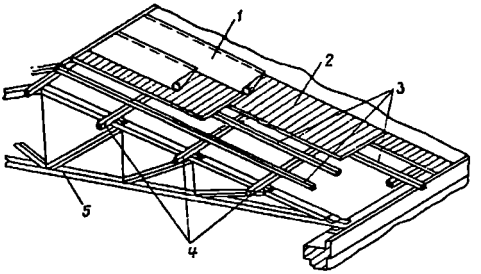
დაწებებული კოჭები მზადდება ფიცრებით ან ფიცრებითა და ფანერით, რომლებიც ერთმანეთთან შეწებდება სინთეტიკური წებოთი (წებოს სახეობა და მარკები იხ. შესაბამის ნორმებში [2]). ასეთი კოჭი შეიძლება იყოს 15 მ მალის



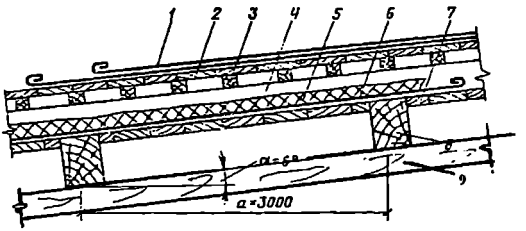

ნახ. 4.9. ა – ხის კოჭის დაყრდნობა აგურის კედლებზე;
ბ, გ – დაწებებული კოჭები; დ, ე – კოჭები ფანერის კედლებით;
1 – კოჭი; 2 – ორი ფენა ტოლი; 3 – ზოლოვანი ფოლადის ანკერი;
4 – თბოიზოლაცია; 5 – ცემენტ-ქვიშის ხსნარი; 6 – ფანერის ტალღური კედელი; 7 – კოჭის სარტყელები (თაროები); 8 – სიხისტის წიბოები;
9 – საყრდენი ირიბი ლარტყა (დოინჯი).

(შესაძლებელია უფრო დიდი მალიც), უფრო ძლიერი კვეთის, ე.ი. უფრო მაღალი ზიდვის უნარის. შესაძლებელია ერთ კოჭში სხვადასხვა ხარისხისა და სიმტკიცის მერქნის გამოყენება – კოჭის დაძაბული მდგომარეობის შესაბამისად, რაც

ეკონომიკურ შედეგს იძლევა. კოჭები შეიძლება იყოს მუდმივი კვეთის, ქანობით, სწორკუთხა და ტესებრი კვეთის (ნახ. 4.9, ბ, გ). აგრეთვე ტესებრი კვეთის კედელად ფანერა, ხოლო ოთხკუთხედად დაწებებული სარტყლები (ნახ. 4.9, დ,ე).



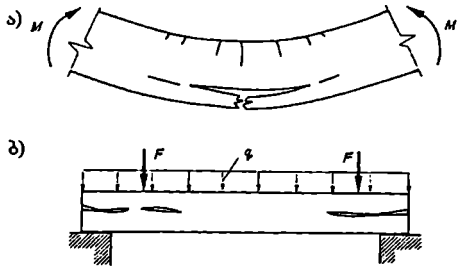

ნახ. 4.10. წამწეებზე მოწყობილი ციცი გადახურვა ხის ელემენტებით
1 – რულონური საფარი; 2 – საგები; 3 – სანივნივე „ფეხები“;
4 – გრძივები; 5 – ხის წამწე




ნახ. 4.11. დათბუნებული გადახურვა
1 – რუბეროიდი; 2 – დამცველი საგები; 3 – მუშა საგები; 4 – სანიენივე „ფეხები“; 5 – მინერალური ქეჩა (დამათბუნებელი); 6 – ორთქლიზოლაცია; 7 – შეფიცვრა; 8 – გრძივი; 9 – წამწის ზედა სარტყელი.

ხის კოჭები გაიანგარიშება სიმტკიცის, მდგრადობისა და სიხისტის მიხედვით საანგარიშო და ნორმატიულ დატვირთვებზე.

ხის კოჭების რღვევას, განივი ღუნვისას, ძირითადად იწვევს გაჭიმული ბოჭკოების გაგლეჯა (ნახ. 4.12, ა), რომლის დროსაც გაჭიმულ და შეკუმშულ ბოჭკოებში აღიძვრება მაქსიმალური $\sigma$ ნორმალური ძაბვა, ხოლო დრეკად დეფორმაციასთან ერთად – პლასტიკური დეფორმაციაც. უფრო იშვიათად, რღვევა შეიძლება მოხდეს კოჭის ნაწილების ურთიერთ დაძვრით, მაქსიმალური მხები ძაბვების გამო, რომლებიც აღიძვრება ძირითადად $Q$ განივი ძალისაგან, რომლის მაქსიმალური მნიშვნელობაა საყრდენებთან (ნახ. 4.12, ბ). ასეთი რღვევის შესაძლებლობა უფრო იზრდება, თუ გვაქვს შედარებით მოკლე კოჭი $\ell/h \leq 5$ და საყრდენებთან ახლოს განლაგებულია მნიშვნელოვანი სიდიდის შეყურსული დატვირთვა.




ნახ. 4.12. ა – ხის კოჭის რღვევა მღუნავი მომენტისაგან;
ბ – რღვევა განივი ძალისაგან

ხის ღუნვადი კონსტრუქციების კოჭების, გაანგარიშება სიმტკიცეზე წარმოებს მუშაობის დრეკად სტადიაზე, ნორმალური და მხები ძაბვების მიხედვით, ფოლადის კონსტრუქციების სიმტკიცეზე გაანგარიშების ანალოგიურად. საანგარიშო ფორმულებიც იგივეა. ცხადია, განსხვავებულია მასალის (მერქნის) საანგარიშო წინაღობა. მუშაობის პირობებისა და საიმედოობის კოეფიციენტები, რომლებიც აიღება სათანადო ნორმებიდან [2].

გაანგარიშება სიმტკიცეზე, ნორმალური ძაბვების მიხედვით, სრულდება ფორმულით

$$\sigma = \frac{M}{W} \le R_t, \tag{4.18}$$

სადაც $M$ საანგარიშო მღუნავი მომენტია;

$R_t$ – საანგარიშო წინაღობა ღუნვისას (ცხრილი 4.1);

$W$ – განივკვეთის საანგარიშო წინაღობის მომენტი. თუ კვეთი შესუსტებულია $W = W_{nt}$ (წინაღობის მომენტი ნეტო).

გაანგარიშება სიმტკიცეზე, ძვრის (ახლეჩის) მიხედვით მხები ძაბვების განსაზღვრით, ხორციელდება ფორმულით

$$\tau = \frac{QS}{Ib} \le R_{tsb}. \tag{4.19}$$

სადაც $Q$ – საანგარიშო განივი ძალაა;

$I$ – კვეთის ინერციის მომენტი ნეიტრალური ღერძის მიმართ;

$S$ – კვეთის დაძრული ნაწილის სტატიკური მომენტი ნეიტრალური ღერძის მიმართ;

$R_{tsb}$ – მერქნის წინაღობა ახლეჩაზე (ცხრილი 4.1).

კვეთის შერჩევისას გამოითვლება მოქმედი დატვირთვისაგან აღძრული $M$ მღუნავი მომენტი და (4.18) ფორმულიდან განისაზღვრება საჭირო საანგარიშო წინაღობის მომენტი $W_x = M/R_t m_i$ ($m_i$ ექსპლუატაციის პირობების კოეფიციენტია). დაინიშნება კოჭის $b$ სიგანე და გამოითვლება კვეთის საჭირო სიმაღლე $h = \sqrt{6W/b}$ (რადგან $W = bh^2/6$). თუ კოჭად გამოიყენება მორი, მაშინ რადგან $W \approx 0{,}1d^3 - d = \sqrt[3]{W/0{,}1}$;

მიღებული $b$ და $h$ ან $d$-ს მიხედვით, ხის მასალის სორტამენტიდან შეირჩევა სათანადო კვეთი და შემოწმდება ნორმალური და მხები ძაბვების მიხედვით (4.18) ან (4.19) ფორმულებით.

იმ შემთხვევაში თუ მოსალოდნელია კოჭის საერთო მდგრადობის დაკარგვა, უნდა დაკმაყოფილდეს პირობა

$$\sigma = \frac{M}{\varphi_M W} \le R_c, \tag{4.20}$$

სადაც $M$ საანგარიშო მღუნავი მომენტია კოჭის ვერტიკალური ან ჰორიზონტალური მიმართულებით კოჭის ჩამაგრებებს შორის $\ell_{საანგ}$ უბანზე;

$W$ – კვეთის საანგარიშო წინაღობის მომენტი იმავე $\ell_{საანგ}$ უბანზე;

$\varphi_M$ – კოეფიციენტი გამოითვლება ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებით კოჭის ჩამაგრების მიხედვით ნორმებიდან [2].

დეფორმაციაზე ანგარიშით შეიზღუდება კოჭის ჩაღუნვა, რაც ხის ღუნვადი ელემენტებისათვის მნიშვნელოვანია, რადგან მისი დრეკადობის მოდული ბოჭკოების გასწვრივ $E = 10000$ მპა, 20-ჯერ ნაკლებია ფოლადისაზე. უნდა შესრულდეს პირობა $f = f_u$, სადაც $f_u$ ზღვრული დასაშვები ჩაღუნვაა განსაზღვრული ნორმების მიხედვით (ცხრილი 3.2), ხოლო $f$ ჩაღუნვაა დამოკიდებული დატვირთვის განლაგებაზე და კოჭის საანგარიშო სქემაზე. ორ საყრდენზე თავისუფლად დაყრდნობილი კოჭისთვის თანაბრად განაწილებული დატვირთვისას ჩაღუნვა გამოითვლება ცნობილი ფორმულით

$$f = \frac{5}{384}\frac{q_n \ell_0^4}{EI_x}. \tag{4.21}$$

სადაც $q_n$ თანაბრად განაწილებული ნორმატიული დატვირთვის ინტენსიურობაა;

$\ell_0$ – კოჭის საანგარიშო მალი;

$E$ – მერქნის დრეკადობის მოდული ბოჭკოების გასწვრივ;

$I_x$ – კვეთის ინერციის მომენტი ღუნვის ღერძის მიმართ.

კოჭის კონსტრუირებისას საჭიროა შემდეგი წესების დაცვა:

1. კოჭის კვეთის შერჩევისას განივკვეთის ზომები უნდა შეირჩეს ხე-ტყისა და დახერხილი მასალის სორტამენტის მიხედვით;

2. მთელი მერქნის შემთხვევაში კოჭის საყრდენთან დასაშვებია შეჭრა (სიმაღლის შემცირება) $a = 0{,}25h$ სიმაღლეზე და $c \equiv h > 2a$ სიგრძეზე;

3. ღუნვადი ელემენტების წახნაგზე არ შეიძლება შეჭრებით, ღარით ან ნახვრეტით კვეთის შესუსტება;

4. არ შეიძლება კაპიტალურ კედელში კოჭის ყრუ ჩამაგრება;

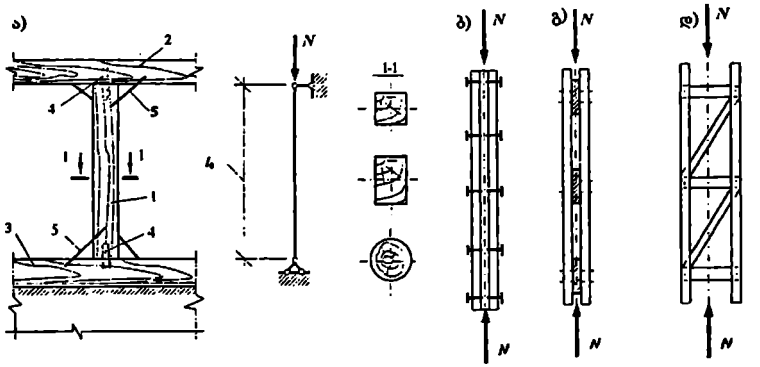
5. კოჭის დაყრდნობა აგურის, ბეტონისა და ა.შ. კედლებზე უნდა მოხდეს ჰიდროსაიზოლაციო მასალის (ორი ფენა ტოლი ან რუბეროიდი) მეშვეობით. კოჭის თავსა და ბოლოში, დაყრდნობის უბანზე, უნდა ჩატარდეს ანტისეპტიკური დამუშავება;

6. ფიცრებისაგან დაწებებული კოჭის კვეთის ზომები უნდა დაინიშნოს: $h = (1/10 \cdots 1/12)\ell$; $h/b \le 6$ – სწორკუთხა კვეთებისას; ტესებრ კვეთებისათვის $h/b_{თარ} \le 6$; $b_{კედ} \ge h_{თარ}/2$; $h_{თარ} = (1/6 \cdots 1/10)h$; $h_{კედ}/b_{კედ} \le 6$;

7. დაწებებული კოჭების კვეთის განაპირა ფიცრები შეიძლება იყოს უფრო მაღალი ხარისხის, რომლის მიხედვით შეირჩევა საანგარიშო წინაღობა.

### 4.1.6.2. კუმშვაზე მომუშავე ხის კონსტრუქციები. სვეტები

ხის სვეტები გამოიყენება ხის სახლის, სასოფლო-სამეურნეო ნაგებობების, საწყობებისა და დროებითი შენობების მშენებლობისას. სვეტები შეიძლება იყოს მთლიანი კვეთის (ნახ. 4.13, ა) ან შედგენილი (ნახ. 4.13, ბ, გ, დ) (ნახ. 4.14).




ნახ. 4.13. ა – მთლიანი სვეტი; ბ – ფიცრების პაკეტი; გ – ღერო მოკლე შუადებით; დ – ღერო გამჭოლი გისოსით: 1 – დგარი; 2 – განივა (ზეწარი); 3 – წოლანა; 4 – მანჭვალი (ფოლადის ღერო); 5 – ჩანგალი.

#### – მთლიანკვეთიანი დგარები

მთლიანი კვეთის ხის სვეტები, მათი მშენებლობაში გამოყენების სპეციფიკიდან გამომდინარე, მუშაობს ძირითადად ცენტრალურ კუმშვაზე.

ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტის სიმტკიცის პირობაა

$$N \le \varphi A R_t , \qquad (4.22)$$

სადაც $N$ საანგარიშო გრძივი ძალაა;

$A$ – კვეთის საანგარიშო ფართობი. შესუსტებული კვეთისთვის $A = A_{net}$;

$R_t$ – მერქნის საანგარიშო წინაღობა კუმშვაზე (ცხრილი 4.1);

$\varphi$ – გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი, დამოკიდებულია ელემენტის $\lambda = \ell_0 / i$ მოქნილობაზე და განისაზღვრება ნორმებიდან [2].

სვეტის განივკვეთის შერჩევისას სარგებლობენ (4.22) ფორმულით, საიდანაც გამოითვლება კვეთის ფართობი

$$A = \frac{N}{\varphi R_t}, \qquad (4.23)$$

კვადრატული კვეთისათვის გვერდის ზომა $a = \sqrt{A}$, ან წრიული კვეთისათვის, დიამეტრი

$d = \sqrt{4A/\pi}$, მიღებულ შედეგს ამრგვალებენ მეტობით, შეარჩევენ სორტამენტიდან და (4.22) ფორმულით ამოწმებენ სიმტკიცეზე.

სვეტი მოქნილობაზე შემოწმდება ფორმულით

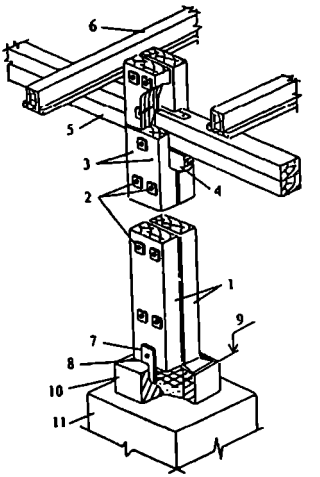
$$\lambda = \ell_0 / i \le \lambda_u, \qquad (4.24)$$

სადაც $\ell_0$ ელემენტის საანგარიშო სიგრძეა და განისაზღვრება ბოლოების ჩამაგრების მიხედვით (იხ. ნახ. 4.2); $i$ – კვეთის ინერციის რადიუსი აიღება ნორმებიდან [2]; $\lambda_u$ – ზღვრული დასაშვები მოქნილობა, რომელიც ხისათვის $\lambda_u = 120$. თუ მოქნილობის პირობა არ დაკმაყოფილდა, კვეთის ზომებს ზრდიან და ხელმეორედ ამოწმებენ.

**შედგენილი კვეთის დგარები**

ზოგჯერ უფრო ხელსაყრელია მთლიანი კვეთის დგარების ნაცვლად შედგენილი კვეთის დგარების გამოყენება, რადგან მცირდება ელემენტის მოქნილობა, შესაძლებელია რამდენიმე ფიცრის, ძელაკის ან მორის შეერთებით ზიდვის უნარის მნიშვნელოვანი გაზრდა.

პრაქტიკაში გამოიყენება შედგენილი კვეთის შეკუმშული ელემენტების ტიპები: ღერო-პაკეტი, რამდენიმე ელემენტისაგან შედგენილი, რომლებიც მთელ სიგრძეზე ერთმანეთთან მჭიდროდ არიან განლაგებული (ნახ. 4.13, ბ) (ნახ. 4.14). ფიცრები მოკლე, დამაკავშირებელი შუადებით (ნახ. 4.13, გ) და გისოსებიანი დგარები (ნახ. 4.13, დ), (ნახ. 4.16).




ნახ. 4.14. ჭანჭიკებით შეერთებული შედგენილი დგარი.
1 – დგარის ცალკეული ღეროები (ძელები); 2 – ჭანჭიკები; 3 – ლურსმნები; 4 – კოჭის ქვესაგები; 5 – გრძივი; 6 – კოჭი; 7 – ფოლადის ზოლოვანი ფურცლის ანკერი; 8 – ტოლი; 9 – იატაკის დონე; 10 – ბეტონის ქუსლი; 11 - საძირკველი

შედგენილი კვეთის ღეროებისათვის მოქნილობა განისაზღვრება შეერთებების დამყოლობის გათვალისწინებით (დაყვანილი მოქნილობა). ფიცრის პაკეტის შედგენილი კვეთის დგარისათვის, როდესაც შემაერთებელ ჭანჭიკებს შორის დაშორება მეტია ფიცრის შვიდმაგ სისქეზე, დაყვანილი მოქნილობა განისაზღვრება

$$\lambda_{\text{დაყ}} = \mu_y \lambda_y , \tag{4.25}$$

სადაც $\lambda_y$ ცალკეული ღეროს მოქნილობაა $y-y$ ღერძის მიმართ;

$\mu_y$ – ღეროების შეერთებების დამყოლობის კოეფიციენტი.

$$\mu_y = \sqrt{1 + K_c \frac{bhn_{\text{ნაკ}}}{\ell_0^2 n_c}} . \tag{4.26}$$

აქ $b$, $h$ დგარის განივკვეთის სიგანე და სიმაღლეა, სმ-ში;

$\ell_0$ – ელემენტის საანგარიშო სიგრძე, მ-ში;

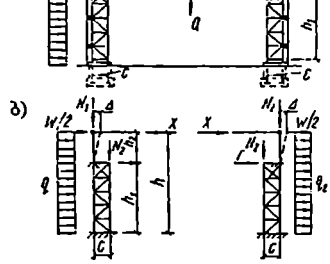
$K_c$ – შეერთების დამყოლობის კოეფიციენტი გამოითვლება ნორმების ([2] ცხრილი 12) მიხედვით;

$n_{\text{ნაკ}}$ – ელემენტის კვეთში შემაერთებელი ნაკერის რაოდენობა;

$n_c$ – ერთ ნაკერში კაუშირების შეჯრის საანგარიშო რაოდენობა.

ნაკერების დამყოლობა ამცირებს ელემენტის ზიდვის უნარს. როდესაც შეერთება ხდება დაწებებით, დამყოლობა პრაქტიკულად აღარ არსებობს.

სვეტების კონსტრუირებისას, როდესაც იგი ეყრდნობა ბეტონის საძირკველს, ან აგურის (ბლოკის) კედელს, საჭიროა სვეტსა და საყრდენს შორის იზოლაციის მოწყობა, ხოლო სვეტის ქვედა საყრდენი ბოლოს ანტისეპტიკური დამუშავება. სვეტის დამაგრება საძირკველთან ხორციელდება ფოლადის ზოლოვანის ფურცლის ანკერებით, ხოლო ხის ელემენტებთან შეუღლების ან დაყრდნობისას – ფოლადის მანჭვალითა და დამატებით ჩანგლებით.




ნახ. 4.15. მთლიანად ხის შენობის განივი ჩარჩო
ა – განივი ჩარჩოს სქემა გისოსებიანი დგარებით; ბ – ჩარჩოზე მოქმედი ძალვების სქემა.

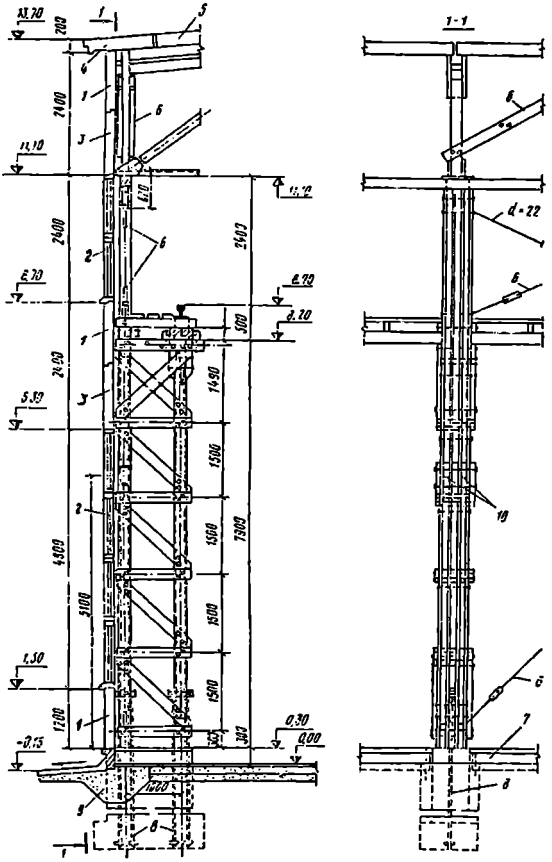
### – გისოსებიანი დგარები

ხის გისოსებიანი დგარები გამოიყენება მთლიანად ხის მასალისაგან აგებულ (ძირითადად დროებითი დანიშნულების) შენობებში. გისოსებიანი დგარების კვეთის მნიშვნელოვანი სიმაღლე მთელი შენობის განივი მიმართულებით მდგრადობის უზრუნველყოფის შესაძლებლობას იძლევა. ნახ. 4.15-ზე მოცემულია ასეთი შენობის ხის განივი ჩარჩო გისოსებიანი დგარებით და მასზე მოქმედი ძალვების სქემა.

გისოსებიანი ხის დგარის გრძივ ღეროებს შორის მანძილი აიღება დგარის სიმაღლის 1/5...1/8-ის ფარგლებში. გრძივ ღეროებად გამოიყენება ორმაგი ძელები ან მორები, ხოლო გისოსის ელემენტები თაესდება ამ ძელებს ან მორებს შორის

ღრეჩოში და მაგრდება მაოზე ჭანჭიკებით. ნახ. 4.16-ზე მოცემულია გისოსებიანი დგარის კონსტრუქცია – მთლიანად ხისაგან აგებული საწარმოო შენობისათვის, რომელშიც მოძრაობს ხიდურა ამწე.

დგარს საძირკველთან ამაგრებენ ფოლადის ანკერებით, რომლებიც საძირკვლის დაბეტონებისას არის ჩატანებული (ნახ. 4.16).



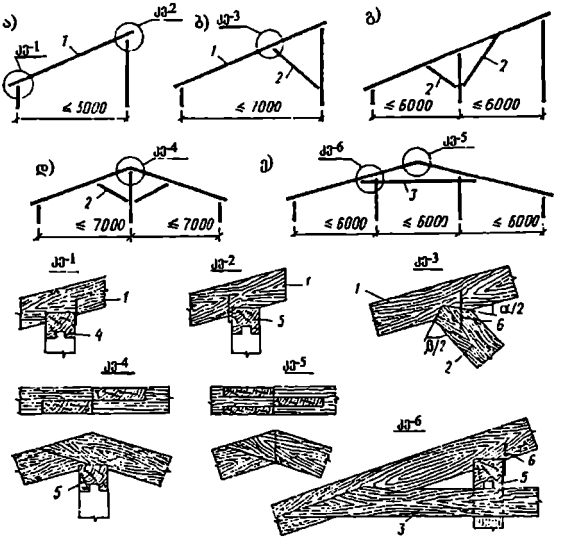

ნახ. 4.16. გისოსებიანი დგარის კონსტრუქცია
1 – კედლის პანელი; 2 – ფანჯრის პანელი; 3 – პანელი – ზღუდარი; 4 – კარნიზის პანელი; 5 – დახურვის (სახურავის) პანელი; 6 – ვერტიკალური კავშირები; 7 – ცოკოლის სარტყელი; 8 – საანკერო ჭანჭიკი; 9 – წიდის ნაყარი (შეესება); 10 – დგარის ცალკეული გრძივი ღეროს პირაპირი.

გისოსებიანი დგარები გაიანგარიშება ვერტიკალურ (სანიენიე კონსტრუქციის, დახურვის, ბურულის, საკუთარი წონის და თოვლის ზემოქმედება) და პორიზონტალურ დატვირთვაზე (ქარისა და ამწეების განივი მიმართულებით დამუხრუჭების ძალების

ზემოქმედება). იგულისხმება, რომ შედგენილი დგარის ერთ გრძივ ღეროზე მოქმედი ვერტიკალური დატვირთვა უშუალოდ გადაეცემა საძირკველს ისე, რომ მეორე გრძივ ღეროში არ იწვევს არავითარ ძალვას, ხოლო მეორე ღეროში ძალვა აღიძვრება ხიდურა ამწისაგან გადაცემული ვერტიკალური დატვირთვისა და საკუთარი მასისაგან. სამრეწველო შენობის განივ ჩარჩოში, რომლის დგარს წარმოადგენს გისოსებიანი შედგენილი სვეტი, რიგელი (უმრავლეს შემთხვევაში წამწე) დგარზე დაყრდნობილია სახსრულად, ამიტომ დგარში რიგელისაგან მომენტი არ წარმოიქმნება. დგარის გისოსების გაანგარიშება ქარის პორიზონტალურ დატვირთვაზე წარმოებს პარალელურსარტყლებიანი ხშირწიბოებიანი წამწის ანალოგიურად.

### 4.1.6.3. ნივნივის კონსტრუქციები

ხის კონსტრუქციების ერთ-ერთი გავრცელებული და მარტივი კონსტრუქციაა შებობა-ნაგებობების ნივნიეური გადახურვები. ეს კონსტრუქციაა ძირითადი მზიდი, რომელზედაც ეწყობა ბურულის (დახურვის) საფუძველი — ხის გრძივებისა და ფენილის სახით.

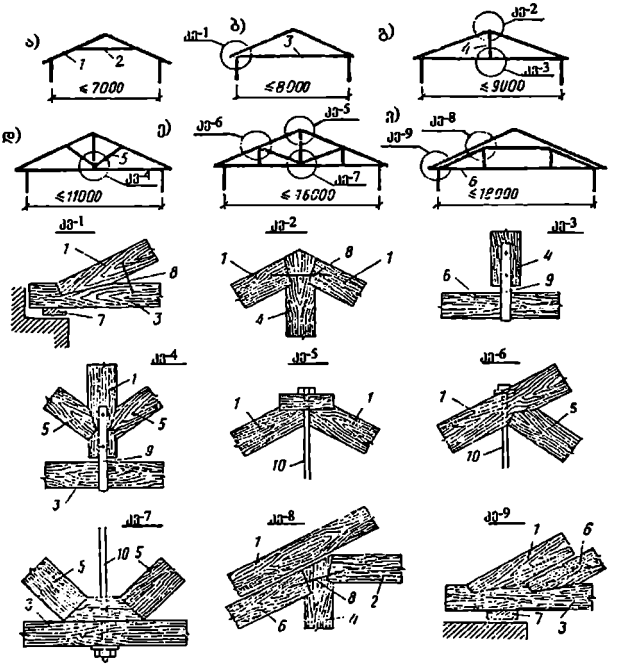



ნახ. 4.17. დაყრდნობილი ნივნივა. კონსტრუქციული სქემები და კვანძები. ა, ბ, გ — ერთქანობიანი; დ, ე — ორქანობიანი.
1 — ნივნივის ფეხი; 2 — დოინჯი; 3 — რიგელი; 4 — სარტყელი; 5 — გრძივი; 6 — ლითონის კაეი (ჩანგალი).

ნივნივი, მუშაობის პრინციპის მიხედვით, იყოფა დაყრდობილ და კიდულ კონსტრუქციად. პირველი წარმოადგენს ერთმალიან, მაუერლატზე ან მზიდი კედლების სარტყელზე თავისუფლად დაყრდნობილ კოჭს (ნახ. 4.17, ა). შედარებით დიდი მალის

შემთხვევაში იყენებენ შუალედურ ირიბ საყრდენებს (დოინჯებს) (ნახ. 4.17, ბ, გ). ოუ მალია 4...7 მ იყენებენ ერთქანობიან გადახურვაში, მაგრამ შუა მზიდი კედლის არსებობისას – ორქანობიან დაყრდნობილ ნივნივებს (ნახ. 4.17, დ,ე). დაყრდნობილი ნივნივური კონსტრუქციის ელემენტები მზადდება მორებით, ძელებით ან ფიცრებით.

კიდული ნივნივები გამოიყენება ორქანობიან გადახურვაში უფრო დიდი მალების (6...18 მ) შემთხვევაში. მუშაობის სტატიკური სქემის მიხედვით, წარმოადგენს განმბჯენიან კონსტრუქციას (სამკუთხა თაღი), რომლის განმბჯენი გაღაეცემა რიგელს ან შემკოჭს (ნახ. 4.18, ა, ბ) ან შედარებით მარტივ წამწეს (ნახ. 4.18, გ, დ, ე, ვ). კიდული ნივნივური სისტემის ელემენტები მზადდება ძირითადად მორებითა და ძელებით. კვანძების დეტალები მოცემულია ნახ. 4.18-ზე.




ნახ. 4.18. კიდული ნივნივები. კონსტრუქციული სქემა და კვანძები.
ა, ბ – სამკუთხა თაღის სქემა; გ, დ, ე, ვ – წამწის სქემა.
1 – ნივნივის ფეხი; 2 – რიგელი; 3 – შემკოჭი; 4 – დგარი (ვეგი);
5 – დოინჯი; 6 – ნივნიექვეშა ფეხი; 7 – მაუერლატი; 8 – ლითონის კაჟი (ჩანგალი); 9 – ლითონის ცალული; 10 – ლითონის საკიდარი.

ნივნივურ მზიდ კონსტრუქციაზე ეყრდნობა დახურვის ფენილი და მოლარტყეა (დახურვის კონსტრუქცია მოცემულია 4.10 და 4.11 ნახაზებზე), რომლებიც თავის მხრივ წარმოადგენს ბურულის საფუძვლის საყრდენს. ბურულის საფუძვლის კონსტრუქცია დამოკიდებულია თვით ბურულის სახეობაზე. მაგალითად, რულონური ფურცლის (მაგ. მოთუთიებული ფოლადის ფურცლები) ქვეშ

საფუძველი ეწყობა მეჩხრად განლაგებული ფიცრებით ან ძელაკებისაგან მოლარტყვით. ასეთი ტალღური გადახურვა ეწყობა შეწყვილებულ ძელაკებზე (ზეწარი), რომლებიც ეყრდნობა ნიენიებს და ქმნის საფუძველს დახურვისათვის.

### 4.1.6.4. ხის ღეროვანი სისტემები. წამწეები

ხის წამწეები გამოიყენება შენობა-ნაგებობების გადასახურავად – მალით 9...30 მ (შესაძლებელია 50 მ-მდე), ხიდურ გადასავალში და გადასასვლელში 9...18 მ მალით.

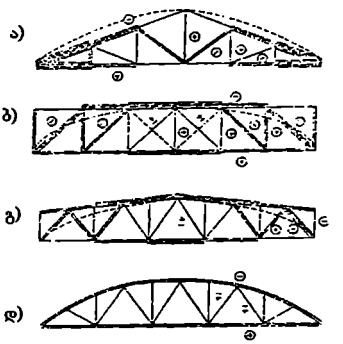
ხის წამწეები ძირითადად გამოიყენება ერთმალიანი, სახსრულად დაყრდნობილი; დამზადების მიხედვით შეიძლება იყოს ქარხნული და მშენებლობის ადგილას დამზადებული; მოხაზულობა – სამკუთხა, პოლიგონური (მრავალკუთხა), სეგმენტური და პარალელურსარტყლებიანი; მასალების მიხედვით – ხისა და ხე-ლითონის, მთლიანი და დაწებებული ელემენტებით (ძირითადად ზედა სარტყელი); კვანძებში ღეროების შეერთების მიხედვით: ჩაჭრებით (ჭდობით), წინწკიმალით, შეწებებული, მანჭვალით დამაგრებული და სხვა.

სამკუთხა წამწეების სარტყლებში ძალვა საყრდენებისკენ მკვეთრად იზრდება. გისოსის ელემენტებში პირიქით, ძალვა იზრდება მალის შუაში. დაღმავალი ირიბნები შეკუმშულია, ღგარები – გაჭიმული. სამკუთხა წამწეები, სხვა მოხაზულობის წამწეებთან შედარებით, 1,5-ჯერ მძიმეა, მაგრამ მათი კონსტრუქცია მარტივია და დამზადება ხელმისაწვდომია თითქმის ნებისმიერ პირობებში (ნახ. 4.19, ა).

პარალელურსარტყლებიან წამწეში, თანაბრად განაწილებული დატვირთვის მოქმედებისას, სარტყლებში ძალვა იზრდება საყრდენებიდან შუისაკენ, ხოლო გისოსის ელემენტებში – საყრდენებისკენ; ამასთან, აღმავალი ირიბნები ყოველთვის შეკუმშულია, გისოსის დგარები გაჭიმული (ნახ. 4.19, ბ).

ტრაპეციული წამწეები, ზედა სარტყლის მცირე დახრით ($\ell/10...\ell/12$), ძალვის განაწილებით, შუალედური ადგილი აქვთ სამკუთხა და პარალელურსარტყელიან წამწეებს შორის. უფრო მეტად იტვირთება სარტყლები მალის შუაში. აღმავალი ირიბნები იკუმშება, დაღმავალი – იჭიმება (ნახ. 4.19, გ).

სეგმენტურ წამწეში, სრული დატვირთვის მოქმედებისას, ზედა და ქვედა სარტყლებში ძალვა პრაქტიკულად ერთნაირია, გისოსის ელემენტებში ძალვა უმნიშვნელო სიდიდისაა. ასეთი წამწეების კონსტრუქცია შედარებით მარტივია: სარტყლები მუდმივი კვეთისაა, გისოსი მსუბუქია, კვანძებში შეერთება – მარტივი (ნახ. 4.19, დ). შედარებით გაძნელებულია გაღუნული ზედა სარტყლის დამზადება, მაგრამ შესაძლებლობის შემთხვევაში შეიძლება შეიცვალოს



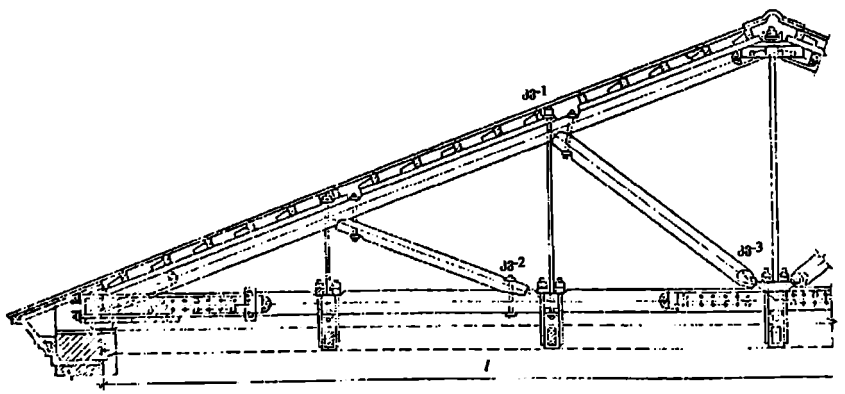

ნახ. 4.19. ხის წამწეების ძირითადი სქემები მოხაზულობის მიხედვით. ა – სამკუთხა; ბ – პარალელური სარტყლებით; გ – ტრაპეციული; დ – სეგმენტური. (დამატებითი ხაზები ნიშნავს ძალვის ზრდას; პუნქტირი – თანაბრად განაწილებული მუდმივი დატვირთვის წნევის წირია)

პოლიგონური (მრავალკუთხა) ზედა სარტყელით (კვანძებს შორის სარტყლის პანელი სწორხაზოვანია).

წამწის ცალმხრივი დატვირთვისას, ყველა წამწის (გარდა სამკუთხისა) ირიბანებში, რომლებიც მალის შუაშია, შეიძლება შეიცვალოს ძალვის ნიშანი, რისი გათვალისწინება საჭიროა კვანძების დაპროექტებისას ან შეიძლება გისოსის სისტემაში დავაყენოთ შებრუნებული ირიბანები (ნახ. 4.19, ბ. ირიბნები წყვეტილი ხაზით).

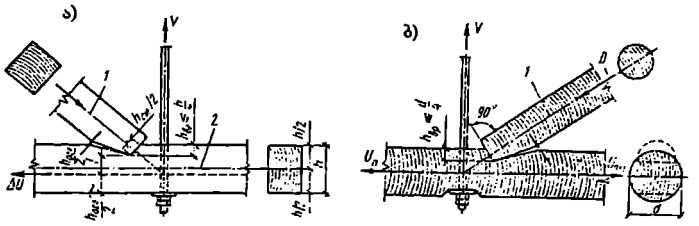
წამწის პანელების (კვანძებს შორის მონაკვეთი) რაოდენობა დამოკიდებულია მალის სიდიდეზე, ზედა სარტყელის მოხაზულობასა და წამწეზე მოქმედი შეყურსული ძალების ბიჯზე. ცხადია, პანელების რაოდენობა სასურველია იყოს მინიმალური, დამზადების შრომატევადობის შესამცირებლად. წამწეზე დატვირთვა ძირითადად გადაეცემა კვანძებში, რადგან კვანძებსშორისი დატვირთვა მოითხოვს სარტყლების გაძლიერებას, თუმცა დაწებებულ სეგმენტურ წამწეებში კვანძებსშორისი დატვირთვა არც თუ საშიშია, ამიტომ დახურვის გრძივები (ზეწარი) შეიძლება დაეყრდნოს ზედა სარტყელს, კვანძების განლაგებისაგან დამოუკიდებლად. ასეთ წამწეებში, რომელთა მალი 24 მ-მდეა, ზედა პანელი აიღება 3 მ-ს ჯერადი. ქვედა სარტყელში, რადგან მუშაობს გაჭიმვაზე, პანელის სიგრძე შეიძლება უფრო დიდი, რაც ამცირებს საკვანძო შეერთებების რაოდენობას და წამწე გამოდის უფრო მარტივი და ეკონომიური.

– წამწეები, რომელთა ელემენტები შეერთებულია შუბლა ჭდობით, მოხაზულობის მიხედვით შეიძლება იყოს სამკუთხა, – ტრაპეციული და პარალელური სარტყლებით (ნახ. 4.20). სარტყლები და გისოსის შეკუმშული ელემენტები სრულდება მორებისა და ძელებისაგან, ხოლო გაჭიმული დგარები და ირიბანები – წრიული კვეთის ფოლადისაგან.



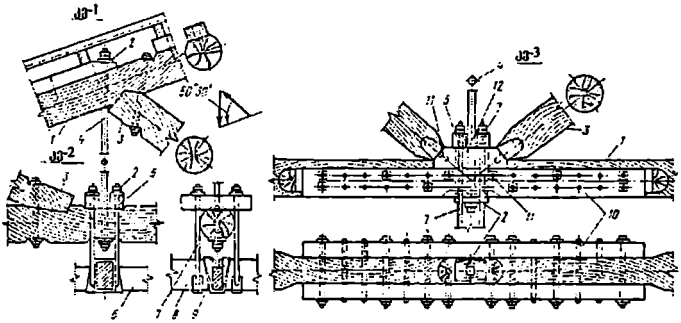

ნახ. 4.20. სამკუთხა წამწე შეკრული მორებით შუბლა ჭდობით

წამწის ზედა სარტყლის საყრდენ პანელში თუ ძალვა 200...250 კნ-მდეა, საყრდენი კვანძი სრულდება ერთი ჭდობით (ერთ „კბილზე") (ნახ. 4.20 და ნახ. 4.21). უფრო დიდი ძალვის მოქმედებისას – შუბლა მიყრდნობით ფოლადის სამაგრებითა



ნახ. 4.21. შუალედური კვანძის გადაწყვეტა ძელისა და მორის წამწეებში
1 – ირიბანას გეომეტრიული ღერძი; 2 – იგივე ქვედა სარტყელის.

და ცალუღებით. ქვედა სარტყელში ძალვის შესამცირებლად კვანძში ძელების ელემენტების დაცენტრვა ხდება სარტყლის შესუსტებული კვეთის ცენტრის მიმართ (ნახ. 4.21, ა). მორების ელემენტების დაცენტრვა კვანძში მორების ღერძების გადაკვეთაზე. ქვედა სარტყელის გადაბმა (პირაპირი) ხორციელდება ხის სადებების ჭანჭიკებით მოჭერითა და ფოლადის წრიული კვეთის ღეროებით (წირწკიმალით) (ნახ. 4.22. კვანძი 3). ზედა სარტყელის კეხში გადაბმა ხორციელდება მორის (ან ძელის) ბოლოების მიბჯენით, წყვილი ხის სადებით და არანაკლები ორ-ორი ჭანჭიკით დამაგრებით პირაპირის ორივე მხარეზე. დანარჩენი კვანძების მოწყობა ნაჩვენებია ნახ. 4.22-ზე.



ნახ. 4.22. სამკუთხა წამწის კვანძების დეტალები ჭდობით შეერთებისას
1 – ზედა სარტყელი; 2 – საყელური; 3 – ირიბანა; 4 – მჭიმი; 5 – სადები ძელაკი; 6 – დამხმარე კოჭი; 7 – საკიდი ღერო; 8 – დახურვის გრძივი (ზეწარი); 9 – ჩამოსაკიდი ცალუღი; 10 – ხის სადები; 11 – მანჭვალი; 12 საყრდენი ბალიში

დროთა განმავლობაში წამწე დატვირთვის გამო განიცდის ჩაღუნვას (ჩაკიდებას) რის საწინააღმდეგოდ ახორციელებენ წამწის სამშენებლო აწევას, სიდიდით არანაკლები მალის 1/200-ისა. სამშენებლო აწევა ხორციელდება დამზადების დროს წამწის ქვედა სარტყლის „გადატეხით“ ერთ ან ორ კვანძში.

წამწის გაანგარიშება წარმოებს კვანძებში ღეროების სახსრული შეერთებისა და მუდმივი და დროებითი დატვირთვის კვანძებში მოქმედების დაშვებით.

კვანძური დატვირთვა წამწეში, რომელსაც აქვს ერთნაირი სიგრძის ზედა სარტყლების პანელები, შესაძლებელია შემდეგი ფორმულებით განისაზღვროს

– წამწისა და დახურვის საკუთარი წონით

$$G = g_{\text{დახ}} \frac{s}{a_s} b + \frac{g_{\text{წ}}}{2} \cdot \frac{\ell}{a_s} b = \frac{\ell}{a_s} \left( g_{\text{დახ}} \frac{S}{\ell} + \frac{g_{\text{წ}}}{2} \right) b. \qquad (4.27)$$

– თოვლის დატვირთვა

$$P = \frac{\ell}{a_s} b P_n, \qquad (4.28)$$

სადაც $g_{\text{დახ}}$ – დახურვის ზედაპირის 1 მ² ფართობის წონაა, ნ/მ²; $P$ – თოვლის საანგარიშო დატვირთვა დახურვის ჰორიზონტალურ პროექციაზე, ნ/მ²; $g_{\text{წ}}$ – ერთი წამწის შესაბამისი გადახურვის 1 მ² ფართობზე მოსული საკუთარი წონის ნორმატიული სიდიდეა, რომელიც გამოითვლება ფორმულით

$$g_{\text{წ}}^{n} = \frac{(g_n + P_n)}{\left[1000/(K_{\text{საკ.წონა}}\,\ell) - 1\right]}. \qquad (4.29)$$

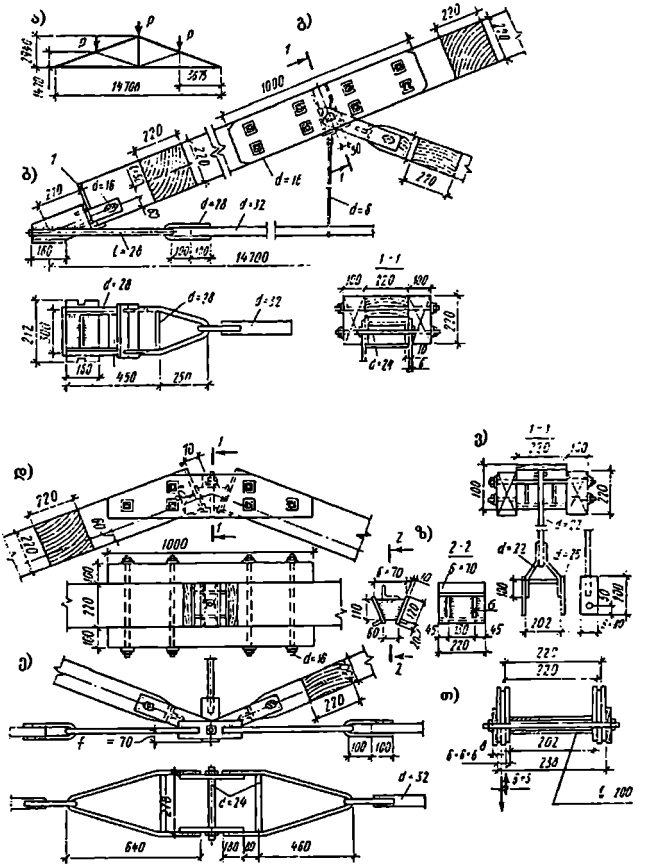
აქ $g_n$, $P_n$ – თანაბრად განაწილებული ნორმატიული მუდმივი და დროებითი დატვირთვაა მოსული წამწეზე; $K_{\text{საკ.წონა}}$ – კონსტრუქციის საკუთარი წონის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია კონსტრუქციის სახეობაზე, მის საანგარიშო სქემასა და დატვირთვაზე; $\ell$ – მალის საანგარიშო სიგრძე; $s$ – ზედა სარტყელის სიგრძე; $b$ – წამწეების ბიჯი; $a_s$ – ზედა სარტყლის პანელების რაოდენობა.

წამწის ელემენტებში ძალვების გამოთვლა ხორციელდება სამშენებლო მექანიკის ცნობილი გრაფიკული ან ანალიზური ხერხით, რის შემდეგ საბოლოოდ განისაზღვრება წამწის კონსტრუქციული სქემა, ელემენტების შეერთების ხერხი, გისოსის ელემენტების სიგრძე და ბოლოს შეირჩევა სარტყლებისა და გისოსის ღეროების განივი კვეთები.

### 4.1.6.5. ხე-ლითონის წამწეები მთლიანი ძელების ზედა სარტყლით

წამწეების თანამედროვე კონსტრუქციაა ქარხნული დამზადების ხე-ლითონის წამწე, რომლის ზედა სარტყელი და გისოსის შეკუმშული ელემენტები დამზადებულია ხისაგან, ხოლო ქვედა სარტყელი და გისოსის გაჭიმული ელემენტები – ფოლადის მცირე კვეთის პროფილის ან წრიული განივკვეთის ფოლადის ღეროსაგან. ხე-ლითონის წამწეებია: სამკუთხა, ტრაპეციული და მრავალკუთხა მოხაზულობის ზედა სარტყელით. გამოიყენება ძირითადად 12...24 მ მალის გადასახურავად. დამზადების ტექნოლოგია შედარებით ადვილია. სიმარტივით გამოირჩევა სამკუთხა წამწე მთლიანი ძელის ზედა სარტყლით, წრიული კვეთის ფოლადის ღეროს ქვედა სარტყლითა და ლითონის კვანძური შეერთებებით (ნახ. 4.23). იმის გამო, რომ მერქნის გამო'შრობისა და კვანძებში ხის მოთელვისაგან წამწის დეფორმაციულობა მცირეა, ამიტომ შესაძლებელია გაუკეთდეს მცირე სამშენებლო აწევა. ზედა სარტყლის პანელებში კვანძებს შორის მოქმედი დატვირთვისაგან აღძრული მღუნავი მომენტის შესამცირებლად მათი კვანძების კონსტრუირება ხდება ისეთნაირად, რომ ნორმალური ძალვა აღძრული ზედა სარტყელის მთელ სიგრძეზე

მოქმედებდეს ექსცენტრისიტეტით, რის გამოც ნორმალური ძალისაგან წარმოიშვას საწინააღმდეგო ნიშნის მომენტი.

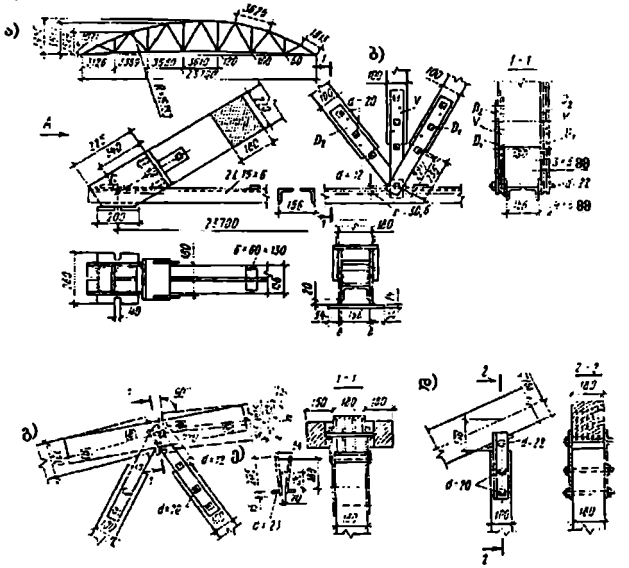


ნახ. 4.23. ხე-ლითონის წამწე მთლიანი ძელის ზედა სარტყელით
ა – საანგარიშო სქემა; ბ – საყრდენი კვანძი; გ – ირიბანას ზედა სარტყელთან შეერთების კვანძი; 1 – ზოლოვანი ფურცელი (ნაზოლი); დ – კეხის კვანძი; ე – ქვედა სარტყლის შუალედური კვანძი; ვ – დგარის დამაგრება კეხის კვანძში; ზ – კვანძის შუა სადები; თ – კვანძის ჭანჭიკი.

ხე-ლითონის წამწეები ზედა სარტყლის მრავალკუთხა (სეგმენტური) მოხაზულობით, როდესაც ზედა სარტყელი მთლიანი ძელებით არის შედგენილი (ნახ. 4.24), გამოიყენება 18...30 მ-მდე მალის გადასახურავად. გისოსი შედგენილია სამკუთხა ირიბანებითა და დამატებით დგარებით. ეს უკანასკნელი საჭიროა ზედა სარტყლის პანელის სიგრძის შესამცირებლად. ზედა სარტყლის ელემენტები შედგენილია ერთნაირი სიგრძის ძელებით, გარდა საყრდენი პანელისა, სადაც

სიგრძე ორჯერ ნაკლებია. ზედა სარტყლის გადატეხის ადგილები ემთხვევა ირიბნების ბოლოებს, სადაც ეწყობა კვანძები, რის გამოც ირიბნები მუშაობს გაჭიმვაზე. დგარები შეკუმშულია იმ დატვირთვით, რომელიც მოქმედებს ზედა სარტყლის კვანძებში. ქვედა სარტყელია გლინული პროფილი-კუთხოვანები, დანარჩენი ელემენტები განხორციელებულია ხის ძელაკებისაგან. ზედა სარტყლის კვანძები შეკრულია წყვილი ხის სადებებით ჭანჭიკების საშუალებით. ირიბანების სარტყელებთან მიერთება ხდება ძელაკებზე წინასწარ დამაგრებული ფოლადის სადებებით, რომლებიც წამოეცმება კვანძის ჭანჭიკზე, რომელიც გაყრილია სარტყელზე დამაგრებულ ფოლადის შუასადებში (ნახ. 4.24, ბ).

მრავალკუთხა წამწეებში დაშვებულია დახურვის საყრდენი გრძივების (ზეწარის) მოთავსება კვანძებს შორისაც. იმ მომენტის შესამცირებლად, რომელიც ზედა სარტყელში კვანძებსშორისი ადგილობრივი დატვირთვისაგან წარმოიქმნება, კვანძში ელემენტების დამაგრება ხდება ექსცენტრისიტეტით (ნახ. 4.24, გ), რაც შებრუნებულ მომენტის წარმოქმნას გამოიწვევს. ზედა სარტყელის პანელები იანგარიშება, როგორც გარეცენტრულად შეკუმშული ელემენტი, ქვედა სარტყელი – როგორც ცენტრალურად გაჭიმული.




ნახ. 4.24. მრავალკუთხა (სეგმენტური) წამწე მთლიანი ძელების ზედა სარტყლით

ა – საყრდენი კვანძი; ბ – ქვედა სარტყლის შუალედური კვანძი; გ – ზედა სარტყელთან ირიბნების მიერთება; დ – ზედა სარტყელთან დგარის მიერთება; ე – გისოსის ელემენტების სარტყლებთან მიერთებისათვის ლითონის შუასადებები

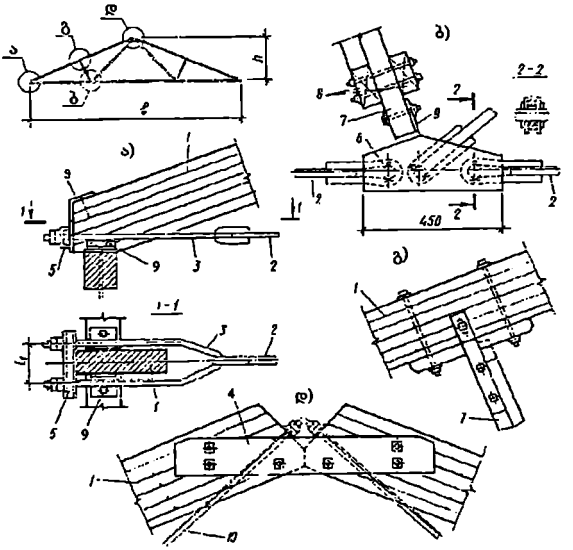
მრავალკუთხა წამწეებისათვის ცალკეულ ელემენტებს ამზადებენ შაბლონის დახმარებით, ხოლო თვით წამწის აწყობა – ჰორიზონალურ მდგომარეობაში კონდუქტორული შაბლონის გამოყენებით ხორციელდება.

მრავალკუთხა წამწეების დადებითი თვისებაა ისიც, რომ ზედა სარტყლის ელემენტები ერთნაირია, ხოლო კვანძები – სტანდარტული. ნაკლებად მგრძნობიარეა დეფორმაციის მიმართ, რომელიც განვითარდება წამწის სიბრტყეში. სამაგიეროდ, თავისი სიბრტყის გარეთ აქვს დაბალი სიხისტე – ზედა სარტყლის დიდი რაოდენობის კვანძების გამო.

### 4.1.6.6. ხე-ლითონის წამწეები ხის დაწებებული ზედა სარტყლით

წამწის ზედა სარტყლისათვის ხის დაწებებული, ძლიერი კვეთის ბლოკების გამოყენება პანელების სიგრძის 5...6 მ-დე გაზრდის საშუალებას იძლევა. ეს ამარტივებს წამწის კონსტრუქციას კვანძებისა და გისოსის ღეროების შემცირების ხარჯზე, იწვევს დამზადების შრომატევადობის შემცირებას და ინდუსტრიულობის გაზრდას.

4.25 ნახაზზე ნაჩვენებია სამკუთხა წამწე ქვედა თავისი შემადგენელი ელემენტით.

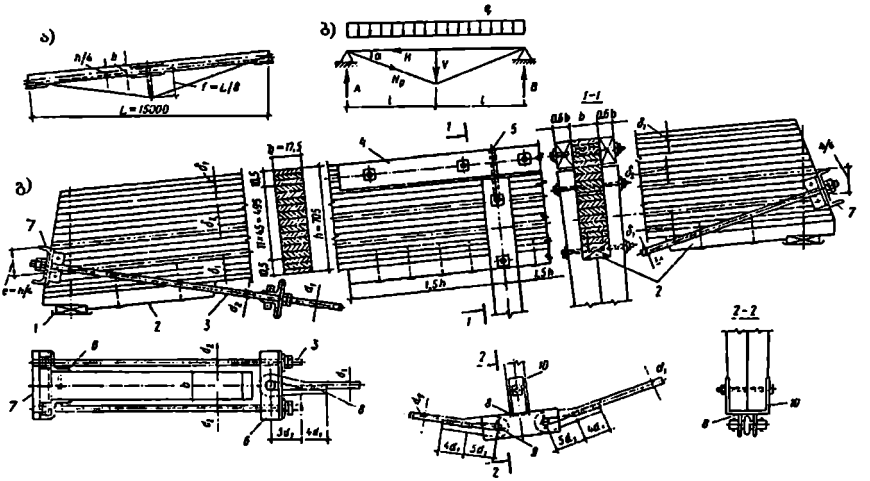



ნახ. 4.25. სამკუთხა ხე-ლითონის წამწე დაწებებული ზედა სარტყლით
1 – ფიცრებისაგან დაწებებული ზედა სარტყელი; 2 – წრიული კვეთის ფოლადის ღეროს ქვედა სარტყელი; 3 – ფოლადის ცალღუი; 4 – ნახევარწამწეების შემაერთებელი ზესადები ფიცრები ჭანჭიკებით შეკრული; 5 – ფოლადის ტრაეერსი და ჩანგალი ქვედა სარტყლის დასამაგრებლად; 6 – ქვედა სარტყლის შუალედური კვანძის ფოლადის ფირფიტაზე სარტყლისა და ირიბანას დამაკავშირებელი ყულფები და ლილვაკები; 7 – ხის დგარი; 8 – წამწეებს შორის ვერტიკალური, გრძივი კავშირები; 9 – წამწის ცალკეული ელემენტების სამაგრი ფოლადის ფირფიტები და ჭანჭიკები; 10 – წრიული განივკვეთის ფოლადის ირიბანა.

ასეთ წამწეებს შორის ყველაზე მარტივი კონსტრუქციისა შპრენგელური წამწეები, ხის დაწებებული ბლოკების გამოყენებით, ზედა სარტყელისათვის.

გამოიყენება 15 მ-მდე მალის გადასახურავად სამრეწველო შენობებში, ხიდურა გადასასვლელებში და მაღალი ესტაკადის მალის ნაშენში (იხ. ცხრილი 4.4, სქემა 4). ზედა სარტყელი დამზადებულია ფიცრების მრავალშრიანი პაკეტის სახით. იგი ძირითადად არის უჯრი საანგარიშო სქემის, რაც ხელსაყრელია განივი კეეთის შესამცირებლად.

ნახ. 4.26. ნაჩვენებია ერთქანობიანი შპრენგელური წამწის კონსტრუქცია, მალით 15 მ. მისი ზედა სარტყელი შედგება ორი დაწებებული კოჭისაგან, მალით 7,5 მ, რომლებიც შეპირაპირდება შუბლა შეერთებით დგარის თავზე, ფიცრის სადებების მეშვეობითა და ჭანჭიკების მოჭერით.

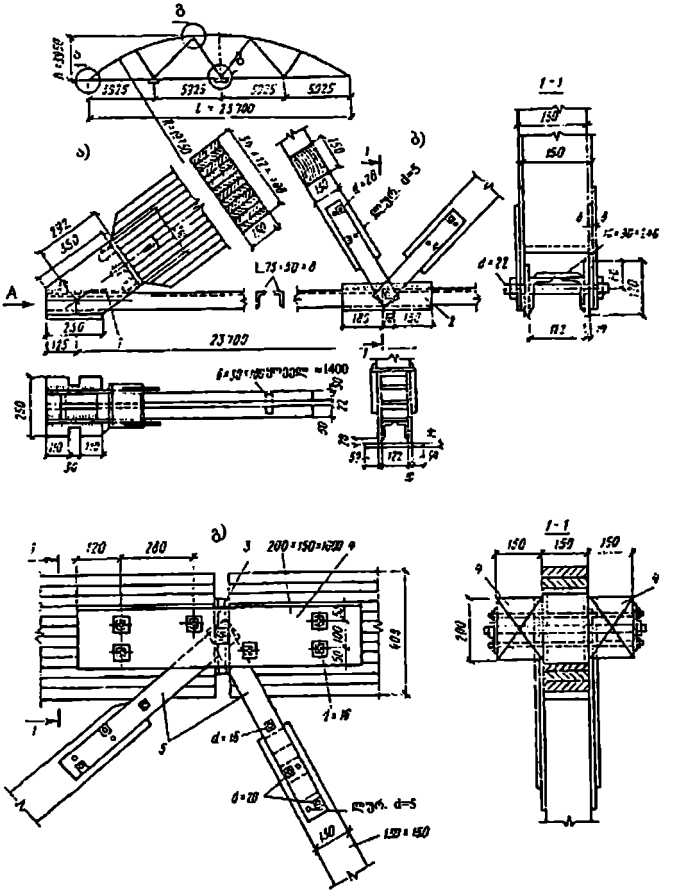



ნახ. 4.26. ხე-ლითონის შპრენგელური წამწე ხის დაწებებული ბლოკების ზედა სარტყლით.
ა – შპრენგელის სქემა; ბ – საანგარიშო სქემა; გ – კვანძები; 1 – ტოლი; 2 – კოჭის საყრდენი ბალიში; 3 – საყრდენი მჭიმები ($d_1$=42 მმ, $d_2$=39 მმ); 4 – ხის ფიცრის სადები დაწებებული ბლოკების შესაერთებლად; 5 – ზედა სარტყლის ელემენტებს (ბლოკებს) შორის ზედა ღრეჩო; 6 – კუთხოვანები; 7 – შეელერი; 8 – შედუღება; 9 – ლილვაკი (მჭიმების წამოსაცმელი); ($d_b$ =1,5$d_1$); 10 – ფოლადის ზოლოვანი ფურცელი (ხის დგარის შესაკრავი).

შპრენგელის ზედა სარტყელზე საყრდენი მჭიმებისაგან ჰორიზონტალური მომკუმშავი ძალა მოდებულია კვეთის ღერძის მიმართ ექსცენტრულად, რითაც იქმნება განმტვირთავი მომენტი გარე დატვირთვისაგან აღძრული მომენტის საწინააღმდეგო ნიშნის. ექსცენტრისიტეტის წარმოქმნის კონსტრუქციული ღონისძიებაა კვანძში სარტყლის ზედა კიდედან ღრეჩოს მოწყობა.

მასალების ხარჯის მიხედვით, უფრო რაციონალურია ხე-ლითონის სეგმენტური წამწე ზედა სარტყლისათვის ხის მრუდწირული მოხაზულობის დაწებებული ბლოკების გამოყენებით (ცხრილი 4.4, სქემა 7, ნახ. 4.27). ასეთი წამწეები მზადდება ქარხანაში. სხვა ტიპის წამწეებთან შედარებით, აქვთ ნაკლები საკუთარი მასა

(საკუთარი მასის კოეფიციენტი $K_{სა} = 2,5...3,0$). ჩვეულებრივ, ასეთი წამწის სიმაღლე შუაში $h \approx \ell/6$. მაშინ, ზედა სარტყლის სიმრუდის რადიუსი აიღება $R \approx (5/6)\ell$. აქ $\ell$ წამწის მალია.




ნახ. 4.27. სეგმენტური ხე-ლითონის წამწე დაწებებული ზედა სარტყელით.
1 – საყრდენი კვანძის ფოლადის ბუნიკი; 2 – იგივე ქვედა სარტყლის;
3 – ფოლადის პირაპირ შიდა სადები; 4, 5 – ხის და ფოლადის წყვილი სადებები.

სეგმენტურ წამწეებში ირიბანები ნაკლებად არის დაძაბული, ამიტომ კვანძები კონსტრუირდება მარტივი შეერთებით. ზედა სარტყლის მრუდხაზოვანი მოხაზულობის გამო, მცირე სიდიდისაა კვანძებს შორისი დატვირთვისაგან აღძრული მომენტი.

სტანდარტიზაციის მიზნით, ზედა სარტყლის ბლოკები მზადდება ერთნაირი. შემდეგ, სხვადასხვა მალების შემთხვევისათვის, გამსხვილებული აწყობისას ადგილზე შეაჭრიან ბოლოებს და ასე მოხდება სათანადო შეუღლება პირაპირებში. შეწებებული ზედა სარტყლის პაკეტის კუმშვაზე მდგრადობის უზრუნველსაყოფად, კვეთის სიმაღლის შეფარდებას სიგანესთან იღებენ არა უმეტეს 4-ისა. ბლოკის სიგრძეს – არა უმეტეს 6.5 მ. ირიბანები დამზადებულია მთლიანი ან დაწებებული ხისგან, რომლებსაც თავსა და ბოლოში ჭანჭიკებითა და ლურსმნებით ემაგრება წყვილი ფოლადის ზოლოვანი ფურცელი. ამ ფურცლებით ჭანჭიკების მეშვეობით მაგრდება ზედა და ქვედა სარტყელზე. ირიბანების კვეთის სიგანე ისეთივეა, როგორც ზედა სარტყელის. წამწის ქვედა სარტყელი შედგენილია ორი კუთხოვანისაგან და ორი სტანდარტული ბლოკისაგან, რომლებიც შედუღებით მიერთებულია ფოლადის საყრდენ ბუნიკთან და ერთმანეთთან, მალის შუაში მოწყობილ პირაპირში. ნახ. 4.27-ზე ნათლად ჩანს ცალკეული ელემენტების ურთიერთკავშირის კონსტრუქციული თავისებურებები.

სეგმენტური ხე-ლითონის წამწეებით, ზედა ხის დაწებებული სარტყელით შესაძლებელია გადაიხუროს საკმაოდ დიდი მალიც (70 მ-მდე). შეიძლება საჭირო გახდეს გისოსის ღეროების დამატება.

ზოგადად, ხე-ლითონის წამწის გაანგარიშება წარმოებს მუდმივი დატვირთვის (საკუთარი და მასზე დაყრდნობილი კონსტრუქციების წონა), დროებითი დატვირთვის (თოელი, ქარი, მოძრავი – ხიდებისათვის) და საჭიროების შემთხვევაში, ერთ-ერთი განსაკუთრებული დატვირთვის, არახელსაყრელ შეხამებაზე. ღეროებში ძალვა გამოითვლება ჩვეულებრივი, სამშენებლო მექანიკის მეთოდით, როგორც სტატიკურად რკვევად სისტემაში. იმ შემთხვევაში, როდესაც ზედა სარტყელზე მოქმედებს კვანძებს შორის განლაგებული დატვირთვა, კვეთს ამოწმებენ, როგორც შეკუმშულ-გაღუნულ ელემენტს, ასევე ქვედა გაჭიმულ, მოქნილ, ფოლადის სარტყელს – გაჭიმვაზე ღუნვასთან ერთად, ითვალისწინებენ რა ქვედა სარტყლის საკუთარი წონის დატვირთვასაც. შემოწმება ხდება სიმტკიცეზე ცნობილი ფორმულით

$$\sigma = \frac{N}{A_n} + \frac{M}{W_{n,\min}} \le R_y \gamma_c , \qquad (4.30)$$

სადაც $R_y$ – ხის ან ფოლადის საანგარიშო წინაღობაა; $\gamma_c$ – შესაბამისი მუშაობის პირობების კოეფიციენტი. გისოსის ელემენტების შემოწმება ხდება კუმშვისას სიმტკიცესა და მდგრადობაზე, გაჭიმვისას – ცენტრალურ გაჭიმვაზე, ფორმულებით

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \le R_c ; \quad \sigma = \frac{N}{\varphi A_{ef}} \le R_c ; \quad \sigma = \frac{N}{A_n} \le R_u . \qquad (4.31)$$

ჩაღუნვაზე წამწეს არ ამოწმებენ რადგან მისი კვეთის სიმაღლის მალთან რეკომენდებული შეფარდება უზრუნველყოფს, რომ ჩაღუნვამ არ გადააჭარბოს დასაშვებ ზღვრულ სიდიდეს.

### 4.1.6.7. დაწებებული ხის თაღების კონსტრუქციები

ხის მთლიანი ან დაწებებული თაღები გამოიყენება შედარებით დიდი მალების გადასახურავად სანახაობრივ, სავაჭრო და სპორტულ ნაგებობებში. ძირითადად –

სასოფლო-სამეურნეო დანიშნულების სახელოსნოების, საწყობებისა და სამრეწველო შენობების მშენებლობისას. ისინი კარგად მუშაობენ ქარის დატვირთვაზე და უზრუნველყოფენ შენობის მდგრადობას განივი მიმართულებით.

თაღები სრულდება დაწებებული ფიცრების, სწორკუთხა კვეთის ბლოკებისაგან. შესაძლებელია მათ ჰქონდეთ წრიული ან შეისრული მოხაზულობა. ძირითადად გამოიყენება სამსახსრიანი და ორსახსრიანი თაღები. განმბჯენი გადაეცემა ბეტონის ან რკინაბეტონის საძირკველებს ან კონტრფორსებს, ზოგიერთ შემთხვევაში ფოლადის შემკოჭებს. ამ უკანასკნელს უკეთებენ საკიდებს, რომ არ ჩაიღუნოს.

დაწებებული თაღები, მალით 24 მ-მდე, სრულდება შემკოჭით. შესაძლებელია უფრო დიდი მალის – 40...100 მ, გამოიყენება რომლებიც ძირითადად მზადდება სამსახსრიანი, ნახევართაღების სახით, გადაზიდვის სიადვილის გამო. მალის შუაში თაღის აწევის ისარი აიღება $f = (1/8 \ldots 1/6)\ell$, ხოლო კვეთის სიმაღლე $\frac{1}{30}\ell$-მდე. წრიული მოხაზულობის თაღის რადიუსი აიღება

$$R = (\ell^2 + 4f^2)/8f$$

სამსახსრიანი თაღის კლიტის კვანძი შეიძლება განხორციელდეს ხის ან ფოლადის ზესადებებით – ჭანჭიკების საშუალებით. შემკოჭია წრიული კვეთის ან პროფილოვანი ფოლადისაგან. ნახ. 4.28 მოცემულია ფიცრებისაგან დაწებებული წრიული მოხაზულობის ზოგიერთი თაღის სქემა. მათ შორის 12 მ მალის დახურვის რეალური კონსტრუქცია (ნახ. 4.28, ვ), რომელიც წარმოადგენს სამსახსრიან, ფიცრებისაგან დაწებებულ წრიული მოხაზულობის, სწორკუთხა კვეთის (13×25,2სმ) თაღს. თაღების ბიჯია 6 მ, რომლებზეც მაგრდება გრძივები და შეფიცერა ბურულის მოსაწყობად. ნახევართაღების კლიტის კვანძში შეერთება ხორციელდება ფოლადის კუთხოვანა სადებებით, ჭანჭიკების მეშვეობით, განმბჯენი საყრდენთან გადაეცემა რკინაბეტონის საძირკველს, ფოლადის ზოლოვანი ფურცლის ანკერით.

ხის თაღების გაანგარიშება ხორციელდება სამშენებლო მექანიკის მეთოდებით დროებითი დატვირთვის ორი განლაგებისათვის: ა) დატვირთვა თანაბრად არის განაწილებული მთელ მალზე; ბ) იგივე – ნახევარ მალზე.

ძალვები ნებისმიერ კვეთში იქნება

$$\left.\begin{aligned} M &= M_0 - Hy \\ N &= H\cos\alpha + Q_0 \sin\alpha \\ Q &= Q_0 \cos\alpha - H\sin\alpha, \end{aligned}\right\} \qquad (4.32)$$

სადაც $H$ –განმბჯენია; $y$ – განსახილველ კვეთში თაღის ღერძის წერტილის ორდინატა; $\alpha$ – იმავე წერტილში $N$ გრძივი ძალის დახრის კუთხეა, ჰორიზონტალურ ხაზთან.

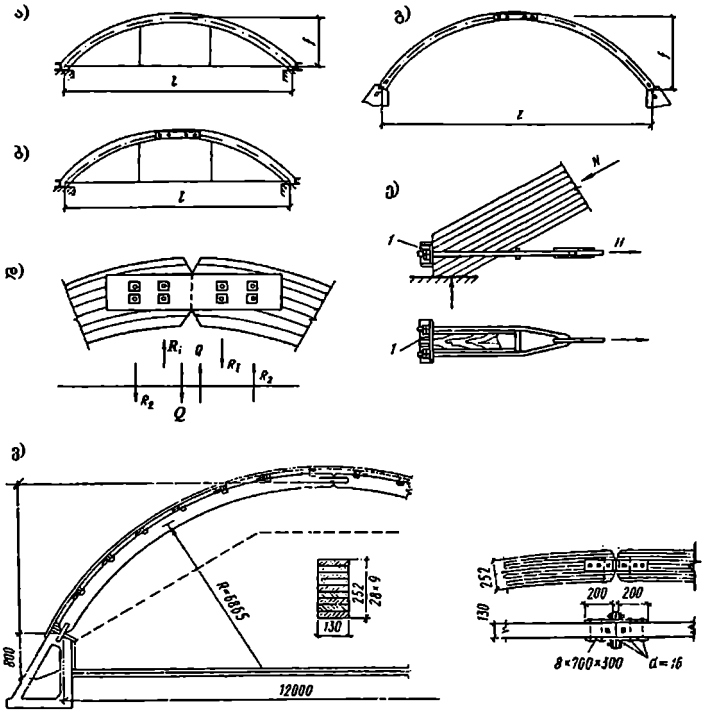
განივი კვეთის შერჩევა ხდება თაღის, როგორც გარეცენტრულად შეკუმშული ელემენტის, $M$ მღუნავი მომენტისა და $N$ გრძივი ძალის ერთობლივ მოქმედებაზე გარე დატვირთვის ყველაზე არახელსაყრელი შეხამებისათვის.

კვეთის სიმტკიცეზე შემოწმება ხდება პირობით

$$\frac{N}{A} + \frac{M}{\xi W} \le R_c, \qquad (4.33)$$

სადაც $M$ და $N$ შესაბამისად მღუნავი მომენტი და გრძივი ძალაა საანგარიშო დატვირთვისაგან; $A$, $W$ – განივი კვეთის ფართობი და წინაღობის მომენტი; $R_c$ – მერქნის საანგარიშო წინაღობა კუმშვაზე.

$\xi$ – კოეფიციენტია, რომელიც ითვალისწინებს გრძივი ძალისაგან წარმოქმნილი დამატებითი მომენტის გავლენას კვეთის სიმტკიცეზე. აიღება ნორმებიდან.

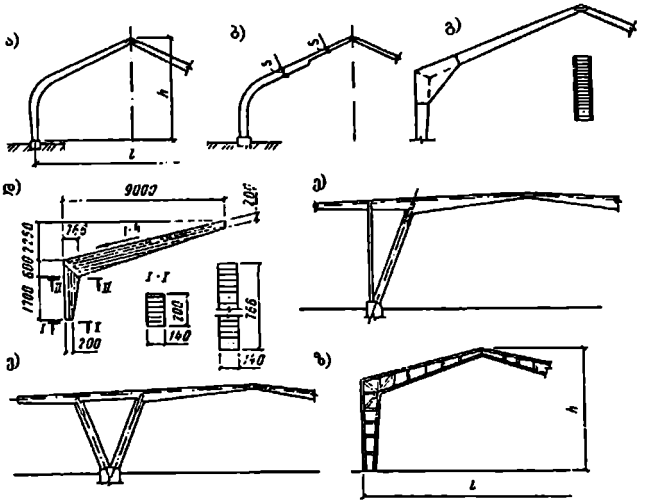



ნახ. 4.28. დაწებებული ხის თაღები.
ა – ორსახსრიანი წრიული მოხაზულობის, შემკოჭვით; ბ – იგივე სამსახსრიანი; გ – სამსახსრიანი შელმართიანი თაღი შემკოჭვის გარეშე; დ, ე – კლიტის და საყრდენი კვანძები; 3 – სამსახსრიანი თაღი – დახურვის რეალური კონსტრუქცია.

თუ თაღები არ არის შეკრული დახურვის ელემენტებითა და კავშირებით, მაშინ საჭიროა მათი მდგრადობის შემოწმება მუშაობის სიბრტყის გარეთ.

### 4.1.6.8. დაწებებული ხის ჩარჩოები

დაწებებული ხის ჩარჩოები მზადდება ძირითადად ფიცრებისაგან დაწებებული გაღუნული ან სწორხაზოვანი ელემენტებით (ნახ. 4.29). ჩარჩოს მიერ გადახურული მალი 12...18 მ ფარგლებშია, თუმცა ცნობილია უფრო დიდი მალების გადახურვაც.



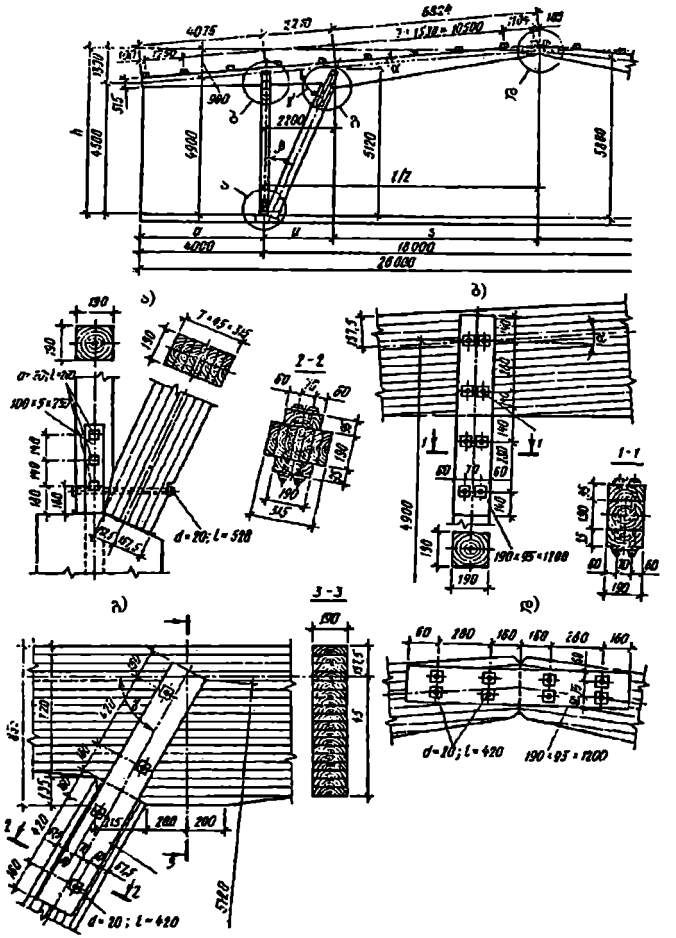

ნახ. 4.29. ხის დაწებებული ჩარჩოების სქემები.
ა – ხის დაწებებული, ცვლადი კვეთის, ბ – იგივე, კვეთის სიმაღლის საფეხუროვანი ცვლილებით; გ – კარნიზული კვანძით და ფანერის სადებებით; დ – კარნიზული კვანძი კბილანა კოტათი; ე – კონსოლებით და რიგელით დგარზე და დოინჯზე დაყრდნობით; ვ – იგივე ოღონდ რიგელები ეყრდნობა მხოლოდ დოინჯებს; ზ – ფანერით დაწებებული.

ხის ჩარჩოვანი კონსტრუქციები გამოიყენება ძირითადად სასოფლო-სამეურნეო მშენებლობაში. ჩვეულებრივ, სამსახსრიანი, სახსრებით საყრდენებსა და კლიტეში, ხოლო დგარების რიგელთან დაკავშირება ხდება ხისტი კვანძებით, რაც კონსტრუქციის განივ მდგრადობას უზრუნველყოფს. ჩარჩოები, ისევე როგორც თაღები, განმბჯენიანი კონსტრუქციებია, მუშაობს კუმშვაზე ღუნვასთან ერთად. მაგრამ, თუ თაღები უპირატესად განიცდის კუმშვას, ჩარჩოებში, პირიქით, ძირითადია მღუნავი მომენტისაგან წარმოქმნილი ძაბვა.

სამსახსრიანი ჩარჩოს თავისებურებაა ის, რომ ყველაზე დიდი მღუნავი მომენტი წარმოიქმნება რიგელისა და დგარის შეერთების ზონაში (კარნიზული კვანძები), მაგრამ განმბჯენის განმტვირთველი მოქმედებისაგან რიგელში მომენტი მცირდება.

სამსახსრიანი ჩარჩოები გაღუნული ელემენტებით (ნახ. 4.29, ა,ბ) სრულდება ქარხნებში, თხელი (16...20მმ) ფიცრებისაგან, ცვლადკვეთიანი. მისი დამზადება უფრო შრომატევადია, ვიდრე დაწებებული ფიცრებისაგან სწორხაზოვანი ელემენტებით (ნახ. 4.29, ე,ვ,ზ), რომლებიც უფრო ტექნოლოგიურია, მაგრამ კარნიზული კვანძია უფრო რთული შესასრულებელი. მასში მოქმედებს მაქსიმალური მღუნავი მომენტი. 12...18 მ მალის ჩარჩოების კარნიზული კვანძები სრულდება დაბაკელიტებული ფანერის სადებებით ან კბილანა კოტებით (ნახ. 4.29, გ,დ). რაციონალურია ჩარჩოები კონსოლიანი რიგელებით, რომლებიც საყრდენებთან სახსრულად არის შეერთებული.

აქ კონსოლები წარმოადგენს რიგელების განმტვირთველს (ნახ. 4.29, ე, ვ). ფანერის დაწებებული ჩარჩოები უფრო ეკონომიურია მერქნის ხარჯის მიხედვით, მაგრამ მათი დამზადება უფრო შრომატევადია, რადგან მათ აქვთ განიეკეეთი ორტავრის ან კოლოფისებური ფორმის, საჭიროებს სიხისტის წიბოებს (ნახ. 4.29, ზ).




ნახ. 4.30. დაწებებული ჩარჩოს კონსტრუქცია. საერთო ხედი და კვანძები

ნახ. 4.30-ზე მოცემულია რეალური, ასაწყობი ხის დაწებებული ჩარჩოს კონსტრუქცია 18 მ მალის, ორი ოთხმეტრიანი კონსოლით. ჩარჩოები განლაგებულია შენობის გასწვრივ 6 მ ბიჯით. სახურავი შედგება გრძივებისა და მათზე მოწყობილი ფარებისაგან. გრძივები წარმოადგენს შეწყვილებულ ფიცრებს, რომლებიც წედება რამდენიმე ჩარჩოს, ე.ი. მათი კონსტრუქციაა უჯრი კოჭი. გრძივები დალაგებულია

ჩარჩოების ყოველ 1,5 მ-ზე შენობის გრძივი მიმართულებით მდგრადობისათვის ვერტიკალური დგარების სიბრტყეში დაყენებულია ვერტიკალური კავშირები ირიბანების სახით, რომლებიც აერთიანებს ჩარჩოებს წყვილ-წყვილად თითო მალის გამოტოვებით. დგარები საძირკველთან მაგრდება ორი ზოლოვანი ფოლადის ანკერის მეშვეობით (ნახ. 4.30, კვანძი ა).

აღნიშნული ჩარჩოს გაანგარიშება ხდება როგორც სამსახსრიანი კონსტრუქციის, დატვირთვების სხვადასხვა შეხამებაზე. როდესაც ჩარჩოზე მოქმედებს თანაბრად განაწილებული, მთელ რიგელზე $q$ ინტენსიურობის დატვირთვა (გრძივები ხშირად არის განლაგებული ჩარჩოებზე), მაშინ საყრდენი რეაქცია $R$ გამოითვლება, როგორც სტატიკურად რკეცვად სისტემაში

$$R = q(0{,}5\ell + a). \tag{4.34}$$

ჩარჩოს განმბჯენი

$$H = \left[ R\frac{\ell}{2} - \frac{q}{2}(0{,}5\ell + a)^2 \right] \Big/ h. \tag{4.35}$$

აქ $h$ სიმაღლეა საყრდენ და კლიტის სახსრებს შორის (იხ. ნახ. 4.30).

ჩარჩოს ელემენტებში გრძივი ძალები გამოითვლება შემდეგნაირად:

გრძივი მკუმშავი ძალა: დოინჯებში – $D = -H/\sin\beta$; (4.36)

დგარებში – $V = -R - D\cos\beta$. (4.37)

რიგელის, კლიტის სახსრის მიმდებარე კვეთში

$$N_c = -H\cos\alpha. \tag{4.38}$$

„გ“ კვანძის კვეთში შიდა მხრიდან

$$N_გ^შ = N_c - q\left(\frac{\ell}{2} - a\right)\sin\alpha. \tag{4.39}$$

იმავე კვანძის კვეთში გარეთა მხრიდან

$$N_გ^გ = N_გ^შ - D\cos\gamma. \tag{4.40}$$

მღუნავი მომენტი რიგელის საყრდენ კვეთებში (დგარსა და დოინჯზე დაყრდნობის კვეთებში. ნახ. 4.30 კვანძი „ბ“ და კვანძი „გ“).

$$M_ბ = qa^2/2; \qquad M_გ = qs^2/2 + Hstg\alpha. \tag{4.41}$$

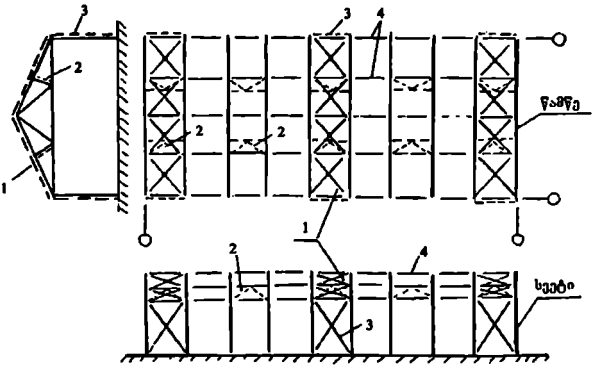
თოელის დატვირთვისაგან ძალვები განისაზღვრება ჩარჩოს ნახევარზე თოელის დატვირთვის მოქმედებისათვის (ყველაზე არახელსაყრელი განლაგება). მღუნავი მომენტი და გრძივი ძალები ჩარჩოს ელემენტებში, ქარის ჰორიზონტალური დატვირთვისგანაც, ანალოგიურად გამოითვლება, ისე როგორც თანაბრად განაწილებული დატვირთვისაგან.

ჩარჩოს ცალკეული ელემენტის კვეთის შერჩევა ხდება საანგარიშო ძალვის მიხედვით, დატვირთვების ძირითადი და განსაკუთრებული შეხამების გათვალისწინებით. რადგან მღუნავი მომენტი რიგელის სიგრძის გასწვრივ იცვლება, ამიტომ კვეთის შემოწმება ხდება სხვადასხვა მდგომარეობათა მიხედვით ხორციელდება როგორც შეკუმშულ-გაღუნული (კარკასული კუმშვა) მთლიანი კვეთის ელემენტებისათვის, მუშაობის პირობების კოეფიციენტის გათვალისწინებით.

დგარი იანგარიშება, როგორც გარეცენტრულად შეკუმშული ელემენტი საკუთარი წონის, თოვლისა და ქარის ზემოქმედებაზე. ამიტომ დგარის შეერთება რიგელთან, გარდა შუბლა მიბჯენისა, წარმოებს წყვილი ფოლადის სადებებით, რომლებიც შეკრულია ორჭრა ჭანჭიკებით და შეუძლია აიტანოს გამჭიმაყი ძაბვა წარმოქმნილი მღუნაყი მომენტებისგან (იხ. ნახ. 4.30, კვანძი „ბ“). ჩარჩოს დოინჯები განიცდის მხოლოდ კუმშვას, ამიტომ მათ რიგელთან აერთებენ შუბლა მიბჯენით, ხოლო სადებები დამაგრებულია მხოლოდ სამონტაჟო ჭანჭიკებით (ნახ. 4.30, კვანძი „გ“). კლიტის კვანძში წარმოქმნილ განივ ძალაზე მუშაობს ფოლადის სადები და ჭანჭიკები (ნახ. 4.30, კვანძი „დ“). დგარები და დოინჯები ეყრდნობა საძირკველს უშუალოდ ტორსის კვეთით, რომლის ქვეშ საჭიროა ბეტონის სიმტკიცის შემოწმება ადგილობრივ კუმშვაზე.

### 4.1.6.9. ხის ბრტყელი კონსტრუქციების სიერცითი სიხისტის უზრუნველყოფა

ხის ბრტყელ კონსტრუქციებს (კოჭები, წამწეები და სხვა) შორის მოწყობილი კავშირების ტიპები და განლაგება, რომლებიც უზრუნველყოფს მათ სივრცულ სიხისტესა და მდგრადობას, დამოკიდებულია შენობა-ნაგებობების და კონსტრუქციის სახეობასა და მუშაობის პირობებზე. მაგალითად, ხიდურა გადასასვლელებში, საშუალო და შედარებით დიდი სიდიდის მალის წამწეებში, ჩვეულებრივ ეწყობა გრძივი, ჰორიზონტალური კავშირები ზედა და ქვედა სარტყლების გასწვრივ და განივი კავშირები ყოველ 3...8 მ-ზე.




ნახ. 4.31. შენობის ხის კარკასის კავშირები
1 – განივი ქანობიანი; 2 – გრძივი ვერტიკალური;
3 – კავშირები სვეტებს შორის; 4 – განმბჯენები.

შენობების დახურვის სანიენივო კოჭებსა და წამწეებში, მათ ტორსებთან და ყოველ 20...30 მ-ზე შენობის სიგრძის გასწვრივ, წამწის ზედა სარტყლის ან კოჭებისათვის შეკუმშული კიდის დონეზე, აერთიანებენ წამწეებს (კოჭებს) წყვილ-წყვილად, ყოველი შემდეგი ერთის გამოტოვებით (ნახ. 4.31).

შენობის გრძივი მიმართულებით მოქმედი ჰორიზონტალური დატვირთვისათვის (მაგალითად, შეკიდული ამწე-მექანიზმებისაგან) გადახურვის მზიდი კონსტრუქციის ქვედა სარტყლის დონეზე ეწყობა განივი ჰორიზონტალური კავშირები.

### 4.1.6.10. ხის სივრცითი კონსტრუქციები

შენობის დახურვის ხის სივრცითი კონსტრუქციების ტიპის შერჩევა ხდება გადასახურავი სათავსოს გეგმისა და მათი დაყრდნობის პირობების მიხედვით.

ხის სივრცითი დახურვის ძირითად კონსტრუქციულ ელემენტს წარმოადგენს:

კამარები, რომლებიც ეყრდნობა სწორკუთხა შენობის გრძივ კედლებს;

ნაოჭოვანი კონსტრუქციები და კამარა-გარსები, რომლებიც ეყრდნობა შენობის ტორსის კედლებს;

გუმბათი, რომელიც ეყრდნობა გეგმაში წრიული ფორმის შენობის მთელ კონტურზე;

ყველა იმ სივრცითი კონსტრუქციის გადაწყვეტა ხდება თხელკედლიანი გარსის, წიბოვანი გარსის ან ნაოჭოვანი კონსტრუქციისა და ბადისებრი გარსის სახით.

ბრტყელი, მზიდი კონსტრუქციებისაგან განსხვავებით, სივრცითი კონსტრუქციების ერთი, რომელიმე ელემენტის მწყობრიდან გამოსვლა არ იწვევს მთელი კონსტრუქციის რღვევას, რადგან გვერდითი ელემენტები, რომლებიც სივრცულად არიან დაკავშირებული დაზიანებულ ელემენტთან, ჩაერთვება დამატებითი ძალვების ასატანად. აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ ხის სივრცითი კონსტრუქციებით გადახურვა ისეთი ნაგებობის, სადაც მაღალი ტენიანობაა, არ არის მიზანშეწონილი. ხის სივრცითი კონსტრუქციების ძირითადი სახეობები მოცემულია ცხრილ 4.5-ში.

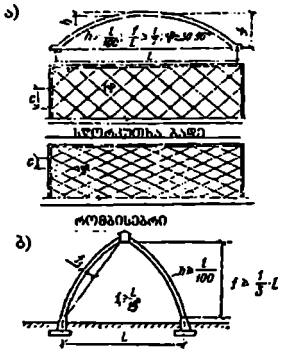
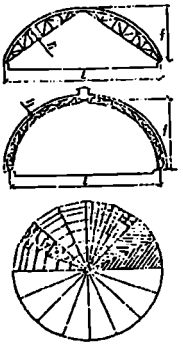
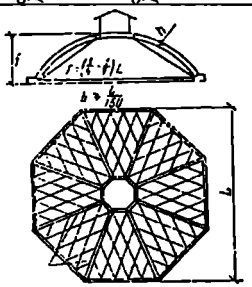
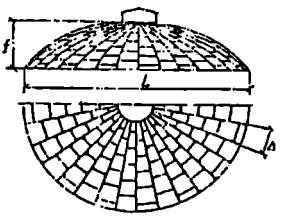
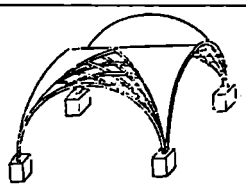
#### 4.1.6.10.1. ქარგილ-ბადურა კამარები

ქარგილ-ბადურა კამარები სივრცითი კონსტრუქციებია, შედგენილი სტანდარტული მრუდხაზოვანი შედგენილი წიბოებით (ირიბებით), რომლებიც განლაგებულია ტეხილ, ხრახნულად მიმართულ, ურთიერთგადამკვეთ ხაზებზე. ასეთი სივრცული გადახურვის დადებითი მხარეებია: წიბოების ცალკეული ელემენტების (ირიბების) სტანდარტულობა, რაც მათი ინდუსტრიულად დამზადების საშუალებას იძლევა; იმავე ელემენტების არც თუ დიდი ზომები და მასა, რაც აადვილებს მათ ტრანსპორტირებას, კამარის აწყობის სიმარტივე და მცირე ვადები, შესაძლებლობა ბურულის ფარების უშუალოდ წიბოებზე დაწყობა და დამაგრების სიმარტივე. კამარების წიბოების აწყობისას უფრო ადვილია მათი სწორკუთხა ურთიერთ დაკავშირება, მაგრამ თუ მალი მეტია 15 მ-ზე და თოელის დატვირთვა 1000 ნ/მ²-ზე მეტი, მაშინ წიბოებში წარმოიქმნება მნიშვნელოვანი ამხლეჩი ძალვა, ამიტომ 15 მ-ზე მეტი მალის შემთხვევაში რეკომენდებულია წიბოების რომბული ბადე (იხ. ცხრილი 4.5). კამარის განმბჯენი გადაეცემა ფოლადის შემკოჭებს ან უშუალოდ საძირკველს.

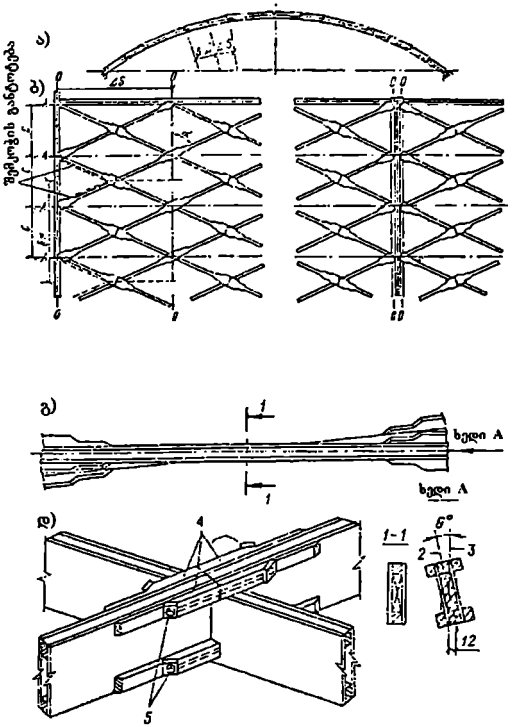
წიბოების ცალკეული სტანდარტული ელემენტების შეერთება (კვანძები) თუ ხორციელდება მხოლოდ ხის ელემენტების მეშვეობით, მაშინ მალსა და ელემენტის სიგრძეზე დამოკიდებულებით კამარას მოხაზულობა შეიძლება იყოს წრიული, ისრისებური ან ნაოჭოვანი. როდესაც მალი 20 მ-ზე მეტია და თოელის

დატვირთვა დიდი, წიბოების ცალკეული ელემენტის (ირიბას) სიგრძე ჩვეულებრივ მეტია ძელების სტანდარტულ სიგრძეზე და ამიტომ წიბოს აღნიშნული ელემენტები მზადდება ფიცრებისაგან დაწებებული.

ცხრილი 4.5

| კონსტრუქციის სქემა | მალი | კონსტრუქციის სქემა | მალი |
|---|---|---|---|
|  | |  | |
| ქარგილ-ბადური კამარები<br>ა) წრიული მოხაზულობის<br>ბ) ისრული მოხაზულობის | 12-80 მ | გუმბათები შეკრული კამარების სახით | 18-80 მ |
|  | |  | |
| ქარგილ-ბადური გუმბათი ცენტრში შეკრული კამარებით<br>$f = (1/4...1/7)L$ | 100 მ-მდე | თხელკედლიანი გუმბათი-გარსი დაწებებული ფანერის ელემენტებით<br>$f = (1/2...1/5)L$ | 100 მ-მდე |
|  | | | |
| ქარგილ-ბადური ჯვარისებრი კამარები $f = (1/2...1/5)L$ | 12–30 მ | | |

მთლიანად გადახურვის კონსტრუირებისას, შენობის ტორსებში ეწყობა თაღები. თუ შენობა საკმაოდ წაგრძელებულია, ეწყობა შეალედური თაღები, რითაც იზრდება გადახურვის სიხისტე. ასეთ თაღებს შორის მანძილი არ უნდა იყოს მეტი კამარის მალის 1,5 სიდიდეზე.




ნახ. 4.32. ქარგილ-ბადურა კამარა
ა – კამარის განიე ჭრილი; ბ – წიბოების რომბისებრი ბადის განშლა; გ – წიბოს ელემენტის (ირიბას) საერთო სედი:
დ) ელემენტების შეერთებისა და წიბოების გადაკვეთის კვანძი:
1 – ელემენტის კეთი; 2 – ტორსის კეთის ღერძი; 3 – შუა კეთის ღერძი; 4 – სადებები; 5 – სპეციალური ფოლადის დეტალები.

ნახ. 4.32-ზე მოცემულია დიდი მალის გადახურვის სქემა და წიბოს დაწებებული ცალკეული ელემენტი და მათი შეერთების უსახსრო კვანძი. როგორც ნახ. 4.32, გ-ზე არის ნაჩვენები, ელემენტს ბოლოებში უკეთდება ორი საფეხურიანი სადები, ხოლო გამჭიმავი ძალა, წარმოქმნილი მღუნავი მომენტისაგან, გადაეცემა ფოლადის ღეროებს, რომლებიც ჩადებულია ტორსული სადებების სპეციალურ ნახვრეტებში. კვანძის ასეთი გადაწყვეტა იძლევა მღუნავი მომენტის სრულად ატანისა და წიბოს ცალკეული ელემენტების შეერთების კვანძის უძრაობის შესაძლებლობას.

### 4.1.6.10.2. გუმბათოვანი დახურვის კონსტრუქცია

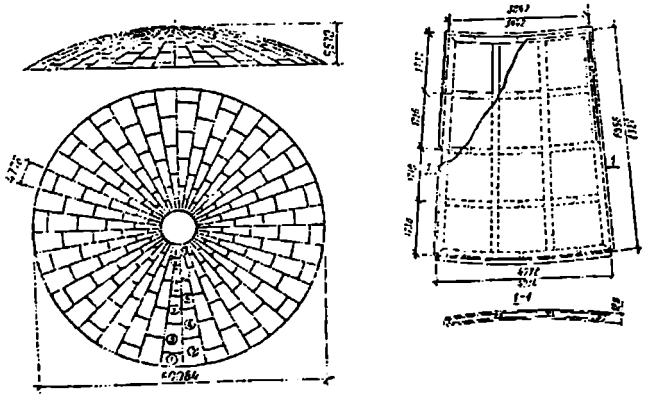
გუმბათით გადახურვებს მიმართავენ ცირკის, მანეჟის, გამოფენის პავილიონის, გადახურული ბაზრებისა და სხვა მსგავსი შენობების თავზე, რომლებსაც აქვთ წრიული ან მრავალკუთხა მოხაზულობის გეგმა.

სფერული ზედაპირისა და კამარებით შეკრული გუმბათები შეიძლება აიგოს, როგორც თხელკედლიანი ან წიბოვანი გარსები, ასევე ქარგილ-ბადურა გუმბათები.

გუმბათის მზიდ ელემენტებად შესაძლებელია გამოვიყენოთ ბრტყელი სისტემები-სამსახსრიანი თაღები, განლაგებული წრიულ ან მრავალკუთხა გეგმაზე.

ამჟამად გარსი-გუმბათები აიგება დაწებებული ან ფანერადაწებებული ელემენტებით. მაგალითად, სანკტ-პეტერბურგის საინჟინრო-სამშენებლო ინსტიტუტში 1970-იანი წლების ბოლოს, დაპროექტდა ექსპერიმენტული თხელკედლიანი გარსი-გუმბათი 60 მ დიამეტრით, ასაწყობი ფანერადაწებებული ელემენტებისაგან. გუმბათის მთლიანი და ელემენტის კონსტრუქციული სქემები წარმოდგენილია ნახ. 4.33-ზე.

გუმბათი შედგება მსხვილი, ტრაპეციული ფორმის, სხვადასხვა ტიპოზომის ფანერადაწებებული ელემენტისაგან. თითოეულ მათგანს (ბლოკს) აქვს შიდა და გარე გლუვი ზედაპირი – წარმოქმნილი ცალკეული ელემენტის ხის წიბოებზე დაწებებული ფანერით. დამათბუნებელი ფენა ეწყობა ამ ზედაპირებს შორის. მერიდიანული და წრიული მიმართულებით, ბლოკები ერთმანეთს უერთდება შურუპებით (სჭვალებით) და დახურული (ყრუ) ლითონის წირწკიმალით წებოზე. ასეთი ტიპის ფანერადაწებებული გუმბათის აგება შესაძლებელია მხოლოდ მაშინ, როდესაც ცენტრალური კუთხე აღემატება 104°-ს.



ნახ. 4.33. ა – ფანერადაწებებული ელემენტებისაგან შედგენილი გუმბათის სქემა; ბ – ფანერადაწებებული ელემენტის კონსტრუქცია.

მოსკოვის საინჟინრო-სამშენებლო უნივერსიტეტში დამუშავებულია 60 მ მალის გუმბათი, რომელიც ეყრდნობა რკინაბეტონის კარკასს. გუმბათი შედგება 32 დაწებებული, წრიული მოხაზულობის თაღისაგან, ზედა შეკუმშული, 3 მეტრიანი ხის რგოლით, რომელზედაც მიეყრდნობა თაღები და ქვედა რკინაბეტონის

საყრდენი რგოლით, რომელიც იჭიმება თაღებისაგან გადმოცემული განმბჯენების ზემოქმედების გამო. დახურვის შემომფარგლელი ნაწილი შესრულებულია დათბუნებული, ფანერადაწებებული ფარებით, რომლებიც დაწყობილი და დამაგრებულია თაღებზე და ურთიერთშორის ლურსმნებით ან შურუპებით. ასეთი გუმბათის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები საკმაოდ ეფექტურია – დახურვის მასაა 56 კგ გეგმაში 1 მ$^2$ ფართობზე.

საკმაოდ პერსპექტიულია ქარგილ-ბადურა გუმბათები ურთიერთშეკრული კამარებით. ასეთი გუმბათი გეგმაში ქმნის სწორ მრაეალკუთხედს და შედგება სექტორებისაგან, რომლებიც, თავის მხრივ, წარმოადგენს ცილინდრული კამარას ნაწილს. მოსაზღვრე სექტორები ერთმანეთს უკავშირდება წიბოების სპეციალური სისტემით, ე.წ. გურტებით. თუ გამოვიყენებთ ცელადი სიგანის გურტებს, რაც შეესაბამება გუმბათის მზიდ ბადეში წიბოების ხრახნულ განლაგებას (ტრაექტორიას), მაშინ შეიძლება მკვეთრად შემცირდეს წიბოების ცალკეული ელემენტების – ირიბების ტიპო-ზომების ცვლის საჭიროება და გაიზარდოს ამ ელემენტების სტანდარტულობის ხარისხი.

საზღვარგარეთ გუმბათური გადახურვა საკმაოდ ხშირად გამოიყენება. მაგალითად, ქ. მიუნხენში 1966 წელს აშენდა ცირკი 3200 მაყურებელზე. გეგმაში ეს შენობა ოცკუთხედია, 50 მ რადიუსის წრეში ჩახაზული. ცირკის გუმბათი შექმნილია 24 ხის დაწებებული თაღოვანი წიბოთი, თითოეული სიგრძით 26 მ და კვეთით – 18×105 სმ. ამ თაღებზე დაწყობილი და დამაგრებულია ფანერადაწებებული პანელები.

1970 წ. ამერიკის შეერთებულ შტატებში დაპროექტდა ყველაზე დიდი – 257 მ მალის გუმბათური გადახურვის კონსტრუქცია. მისი სიმაღლეა 76 მ. მთავარი, მზიდი ელემენტია რადიალური მიმართულებით განლაგებული წიბოები-თაღები ცვლადი, სამკუთხა, კოლოფისებური განივი კვეთით, რომლის მაქსიმალური სიმაღლეა 334 სმ. ამ წიბოების სამკუთხა კვეთის ხის დაწებებული სარტყლები მუდმივი კვეთისაა სიმაღლით 61 სმ. ზედა სარტყლები წარმოადგენს ერთ პაკეტს სიგანით (ქვედა კიდეში) 91 სმ, ქვედა სარტყელი შედგება ორი პაკეტისაგან. თითოეული სიგანით 36 სმ. წიბოების სამკუთხა კვეთის გვერდითი კედლები შესრულებულია ფანერისაგან, სისქით 76 მმ და გაძლიერებულია შიგნით ჩაწებებული სიხისტის წიბოებით.

გუმბათის განმბჯენს აიტანს სწორკუთხა, კოლოფისებრი კვეთის, საყრდენი რგოლი, რომელიც შედგენილია დაწებებული ხის მასალისაგან. ეს რგოლი წინასწარ დაძაბულია, მის კვეთში ჩალაგებული შესაბამისი კვეთისა და რაოდენობის ფოლადის ბაგირების მეშვეობით.

თაღურ წიბოებს შორის მოთავსებული და დამაგრებულია ხის დაწებებული ცალკეული ელემენტებისაგან – ირიბებისაგან შედგენილი რომბისებური ბადე. დახურვა განხორციელებულია დათბუნებული, ფანერადაწებებული პანელებით. პანელებზე ზევიდან ეწყობა ალუმინის ფურცლები.

ასეთი გადახურვის 1 მ$^2$-ის ღირებულება ექვსჯერ ნაკლებია 40...45 მ მალის რკინაბეტონის თხელკედლიანი გარსით გადახურვის ღირებულებასთან შედარებით.

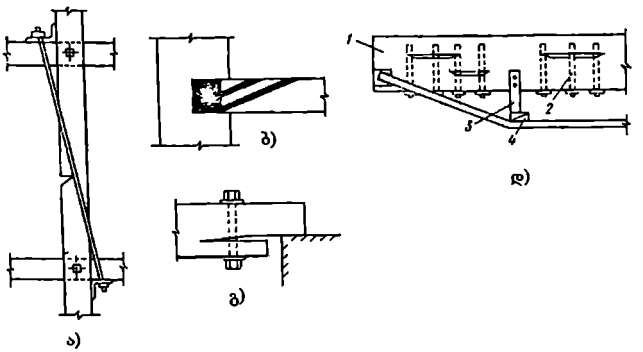
### 4.1.6.11. ხის კონსტრუქციების გაძლიერების მეთოდები

ხის კონსტრუქციების ხანგრძლივი ექსპლუატაციის შედეგად შესაძლებელია საჭირო გახდეს მათი გაძლიერება. განსაკუთრებით ასეთი აუცილებლობა წარმოიქმნება შენობებისა და ნაგებობების რეკონსტრუქციის ან კაპიტალური რემონტის დროს. შესაძლებელია გაძლიერება დასჭირდეს მთელ კონსტრუქციას ან მის ცალკეულ ელემენტს.

გაძლიერების მეთოდის შერჩევას განსაზღვრავს მრავალი ფაქტორი: გაძლიერების მიზანი, ხის კონსტრუქციებისა და მთელი შენობის მდგომარეობა, არის თუ არა საკმარისი სივრცე და შესაძლებლობა გამაგრება-გაძლიერების, ელემენტების განთავსების, შემდგომი ექსპლუატაციის პირობები და სხვა.

გაძლიერების მეთოდების კლასიფიკაცია ხდება სხვადასხვა ნიშნის მიხედვით. მაგალითად, იმის მიხედვით, გაძლიერება ცვლის თუ არა ხის კონსტრუქციის მუშაობის სტატიკურ სქემას, გაძლიერება დროებითია თუ სტაციონალური.

გაძლიერება კონსტრუქციის სტატიკური სქემის შეუცვლელად ხორციელდება შემდეგი მეთოდებით: დამატებითი სამაგრი ელემენტების დაყენება (ჭანჭიკი, ლურსმანი, შურუპი (სჭვალი), კავი, ცალუღი და სხვა); დამატებითი მზიდი კონსტრუქციის დაყენება, რომელიც განტვირთავს ძირითად, დაზიანებულ ან ღეფექტებიან კონსტრუქციას; ფოლადის ღეროვანი ან პროფილოვანი მჭიმის დაყენება (ნახ. 4.34, ა); პროტეზებით, რომელიც წარმოადგენს სპეციალურ კონსტრუქციას, ცვლის გასამაგრებელი ელემენტის დეფექტურ ნაწილს (ნახ. 4.34, ბ) და ჩაერთვება ძირითადი ელემენტის მუშაობაში, როგორც განახლებული ელემენტი. პროტეზი შეიქმნება წინასწარ მომზადებულ ნახვრეტებში ეპოქსიდის ფისზე დამზადებულ პოლიმერბეტონის ჩაჭირხნით; სხვადასხვა შედგენილობის წებოების დახმარებით ბზარებისა (ნახეთქების) და დაუწებებელი ნაკერების შევსება. ზოგიერთ შემთხვევაში




ნახ. 4.34. ხის კონსტრუქციების გაძლიერების სქემები
ა – გაძლიერება მჭიმით; ბ – პროტეზებით; გ – მომჭიმაეი ჭანჭიკებით;
დ – ფოლადის ღეროებითა და ჭანჭიკებით. 1 – ფიცრების დაწებებული ბლოკი, ნაკერებზე განშრევებული; 2 – ჩაწებებული ჭანჭიკები;
3 – შპრენგელური სისტემის დგარი; 4 – სოლები.

საჭირო ხდება გაკეთებულ ნახვრეტებში წებოს ჩაჭირხნა, ხშირად – ნახეთქების მოჭიმვა, რისთვისაც ხმარობენ ცალუღებსა და მომჭიმავ ჭანჭიკებს (ნახ. 4.34, გ); შიდა ნახეთქების დასამაგრებლად წარმოებს ჭანჭიკების ჩაწებება (ნახ. 4.34,დ); ფიცრებით დამატებითი ჯვარედინი შემოსვა (ჭანჭიკებით, ლურსმნებით ან შურუპებით).

გაძლიერება, მუშაობის სტატიკური სქემის შეცვლით, ხშირად ხორციელდება დამატებითი დგარის შედგმით. მაგალითად, ორ საყრდენზე დაყრდნობილ კოჭს შუაში უკეთებენ საყრდენს, იგი გადაიქცევა ორმალიან კოჭად, ორჯერ ნაკლები სიგრძის მალით, რითაც მნიშვნელოვნად იზრდება კოჭის ზიდვის უნარი; თაღის გაძლიერებისათვის შესაძლებელია მისი სეგმენტურ წამწედ გადაქცევა; კოჭის, ჩარჩოს რიგელის ან სამსახსრიანი სისტემის – შპრენგელურ წამწედ ორი დგარით (ნახ. 4.34, დ).

ზოგიერთ შემთხვევაში შესაძლებელია საჭირო გახდეს ხის კონსტრუქციების გასაძლიერებლად ორი მეთოდის გამოყენება. მაგალითად, კოჭის შპრენგელურ წამწედ გადაქცევა და ფიცრების დაწებებული ბლოკის ჩაწებებული ჭანჭიკებით გაძლიერება (ნახ. 4.34, დ).

## 4.2. პლასტმასების კონსტრუქციები

პლასტიკური მასა (პლასტმასა) არის მასალა, რომლის მთავარ კომპონენტს წარმოადგენს სინთეზური პოლიმერი, ჩვეულებრივ წარმოდგენილი, როგორც გამყარებული ფისი. იგი ასრულებს შემკვრელის (შემაკავშირებელის) როლს და ძირითადად განსაზღვრავს პლასტმასის ტექნოლოგიურ და ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს.

პლასტმასა კომპოზიციური მასალაა, რომელშიც ფისის გარდა შედის: გამამყარებელი; შემვსებები, რომლებიც მიზანდასახულად განსაზღვრავს მასალების თვისებებს და ამცირებს ფისის ხარჯს; პლასტიფიკატორი, რომელიც აუმჯობესებს ტექნოლოგიურ თვისებებს და მასალის ხანგამძლეობას; სტაბილიზატორი – ამცირებს მასალის დაძველებას; ფორების წარმომქმნელი – არეგულირებს საშუალო სიმკვრივეს; ფერის მიმცემი ნივთიერება და სხვა.

პლასტმასების კლასიფიკაცია შეიძლება: დანიშნულების მიხედვით – კონსტრუქციული, ჰიდრო- და თბოიზოლატორები; დეფორმაციულობის მიხედვით – ხისტი და მოქნილი; დამზადების, ფისების, შემვსებების, დაარმატურების მიხედვით და სხვა.

პლასტმასებისაგან დამზადებული სამშენებლო კონსტრუქციები მაღალეფექტურია, რაც განპირობებულია რიგი დადებითი თვისებით:

1. მაღალი სიმტკიცის მახასიათებლები – სიმტკიცე გაგლეჯაზე 500...900 მპა შეხამებულია დაბალ საშუალო სიმკვრიეესთან (5...10-ჯერ ნაკლებია რკინაბეტონთან შედარებით;

2. მაღალი ქიმიური მედეგობა კოროზიისა და გარემოს აგრესიული ზემოქმედებისადმი;

3. დამზადებისა და მონტაჟის შედარებითი სიმარტივე;

4. კონსტრუქციული პლასტმასის დამზადებისათვის ნედლეულის მოპოვების

ფართო შესაძლებლობები (ნაეთობი, აირი, ქვანახშირი, მერქანი, კვარცის ქვიშა და სხვა).

დადებით თვისებებთან ერთად საჭიროა მათი უარყოფითი თვისებების გათვალისწინება:

1. დაბალი სიხისტე, რაც განპირობებულია საკმაოდ დაბალი დრეკადობის მოდულით (რამდენჯერმე ნაკლები, ვიდრე მერქნის დრეკადობის მოდული);

2. მაღალი ცოცვადობა უმრავლეს პლასტმასის კონსტრუქციაში დაკვირვებით დადგინდა, რომ დეფორმაციები იზრდება ხანგრძლივი დროის განმავლობაში;

3. არასაკმარისი ექსპერიმენტული გამოკვლევები პლასტმასისაგან დამზადებული სამშენებლო კონსტრუქციების, განსაკუთრებით, დროის განმავლობაში ამ კონსტრუქციების ქცევის შესახებ;

4. პლასტმასების დამზადების მაღალი ფასი, რაც სხვა უარყოფით თვისებებთან ერთად მკვეთრად ამცირებს მათი გამოყენების შესაძლებლობას მშენებლობაში.

კონსტრუქციული პლასტმასების საფუძველს წარმოადგენს მაღალმოლეკულური შენაერთები – პოლიმერები, რომელთაც ერთნაირი, მრავალჯერგანმეორებადი სტრუქტურული ელემენტები აქვთ.

კონსტრუქციული პლასტმასები, ჩვეულებრივ, შედგება პოლიმერისა და შემვსებისგან (მინაბოჭკო, მერქნის ბოჭკო, ასბესტის ბოჭკო და სხვა). მაღალი კონსტრუქციული თვისებები აქვს მინაპლასტიკებს. ისინი შეიძლება იყოს: გამჭვირვალე და გაუმჭვირვალე. ასევე მრავალნაირია ხის თხელი ფირფიტა ან ხის ბოჭკოები გაჟღენთილი სინთეზური ფისებით, შემდგომში სხვადასხვა ტემპერატურაზე და წნევის ქვეშ გამყარებით.

მშენებლობაში პლასტმასის გამოყენებით შეიძლება კონსტრუქციის წონის შემცირება; დამზადებაზე შრომითი დანახარჯების დაზოგვა მექანიზაციისა და ავტომატიზაციის ფართო დანერგვის შესაძლებლობით; შესაძლებელია მზიდი კონსტრუქციების ხარისხის გაზრდა (მაგალითად, ხესთან შედარებით პლასტმასების უფრო ერთგვაროვანი მასალაა, თუმცა ხანგრძლივ დატვირთვაზე შედარებით ცუდად მუშაობს), მშენებლობის ვადების შემცირება; ლითონის, ხის, ცემენტის და სხვა მასალების დაზოგვა; ზოგიერთ აგრესიულ გარემოში ხანგამძლეობის გაზრდა.

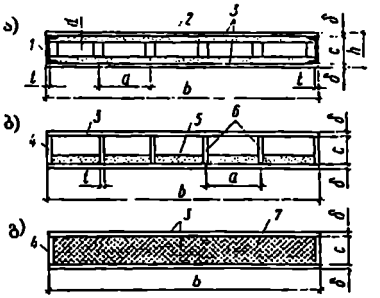
იმის მიხედვით, თუ როგორი შედგენილობის მასალაა, ექსპლუატაციის როგორ პირობებში უხდება მუშაობა და რა მოთხოვნები წაეყენება, პლასტმასების ფიზიკურ-მექანიკური და საექსპლუატაციო თვისებები მნიშვნელოვნად განსხვავებულია.

მასალები, რომლებიც გამოიყენება მზიდ კონსტრუქციებში, ხასიათდება მაღალი სიმტკიცითა და შედარებით დაბალი სიხისტით. მაგალითად, მინაპლასტებს, რომლებიც ქაოტურად არის დაარმატურებული ლითონის ან სხვა მასალის ფიბრით, დროებითი წინაღობა აქვს $\sigma_{წ} = 50 \ldots 200$ მპა, ხოლო დრეკადობის მოდული – $E = 3000 \ldots 5000$ მპა. თუ დაარმატურება გაჭიმული ბოჭკოების გასწვრივად არის მიმართული, შესაბამისად $\sigma_{წ} = 1000$ მპა და $E = 30000 \ldots 50000$ მპა. სინთეზური ფისებით გაჟღენთილი ხის ფირფიტებისაგან შედგენილი მასალისათვის $\sigma_{წ} = 90 \ldots 260$ მპა-ს, ხოლო $E = 10000 \ldots 20000$ მპა.

### 4.2.1. შემომფარგველი კონსტრუქციები პლასტმასების გამოყენებით

შემომფარგველ კონსტრუქციად გამოიყენება სამფენოვანი დახურვისა და კედლის პანელები, რომლებიც შედგება გარეთა და შიდა თხელი ფურცლებისაგან, რომლებიც ასრულებენ მზიდ და დამცველ ფუნქციებს, შუაშია თბოიზოლაციის ფენა (ნახ. 4.35). გარე და შიდა დამცავი ფურცლის მასალად გამოიყენება მინაპლასტი, ორგმინა, ვინიპლასტი, ალუმინი. შუა, დამათბუნებელ შრეში – ქაფპლასტი და სხვა მინერალური ბამბის ნაკეთობები, რომლებსაც აქვს მაღალი თბოსაიზოლაციო თვისებები. მოჩარჩოების მასალა იგივეა, რაც დამცავი ფურცლების. პანელის ცალკეულ ელემენტებს ერთმანეთთან აერთებენ ძირითადად სინთეტიკური წებოთი.

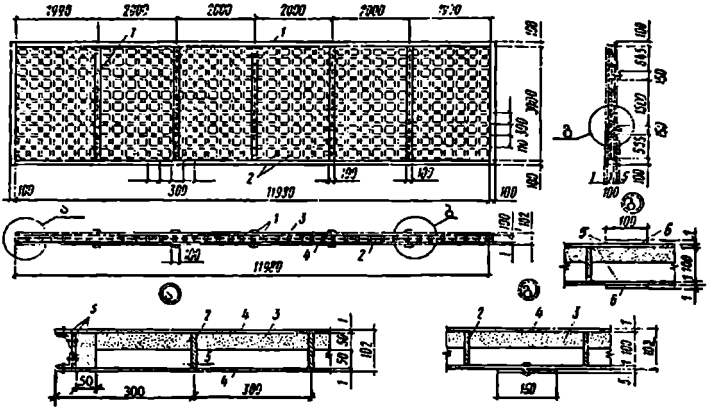
განასხვაებენ შემომფარგველი, დახურვისა და კედლების პანელების სამ ტიპს: კონტურზე მზიდი მოჩარჩოებით, ხშირწიბოვანი და მთლიანად შევსებული დამცველ გარე ფურცლებს შორის. კონტურზე მზიდი მოჩარჩოებისას (ნახ. 4.35, ა). კონტური იცავს პანელს მექანიკური დაზიანებისაგან დამზადების, ტრანსპორტირებისა და მონტაჟის დროს და თავის თავზე იღებს ძერის ძალებს პანელის გაღუნვისას. აქ შუა შევსება იცავს გარე ფურცლებს ამობურცვისაგან და იღებს მონაწილეობას პანელის ადგილობრივ ღუნვაზე მუშაობისას; ხშირწიბოებიან პანელებში (ნახ. 4.35, ბ), უჯრედები ზომით 100...600 მმ-მდე შეივსება მერქანბოჭკოვანი ფილებით; მთლიანად შევსებულ პანელებში (ნახ. 4.35, გ) შუა ფენად იყენებენ შედარებით იაფ და საკმაოდ მტკიცე პოლისტიროლის ქაფპლასტებს. კონტურის მოჩარჩოება აქ მხოლოდ მექანიკური დაზიანებისაგან დასაცავად ხდება.




ნახ. 4.35. დახურვისა და კედლების სამფენოვანი პანელები. 1 – მზიდი მოჩარჩოება; 2 – ქაფპლასტი სიცარიელეებით; 3 – გარე ფურცლები; 4 – დამცველი გარსაცმი; 5 – დამათბუნებელი; 6 – მერქანბოჭკოს ფილის გრძივი წიბოები; 7 – მთლიანი შუალედური ფენა (ქაფპლასტი).

მსგავსი სამფენოვანი პანელები შეიძლება გამოიყენონ შედარებით დიდი მალების გადასახურავად. მაგალითად, ნახ. 4.36-ზე ნაჩვენები, გამსხვილებული, სამფენოვანი პანელი, მალით 12 მ, აეროვაგზალის გადასახურავად. პანელი შედგენილია ექსი ცალკეული 2000×3000 მმ ზომის ფილით, სისქით 102 მმ. გარე, შემონაკერია ალუმინის 1 მმ სისქის ფურცელი, შიდა ფენაა ხშირწიბოებიანი დაბაკელიტებული ფანერის ფიჭისებრი უჯრედები და ქაფპლასტი, სიმკვრივით $\rho = 100$ კგ/მ³. დანარჩენი ზომები მოცემულია ნახაზზე.

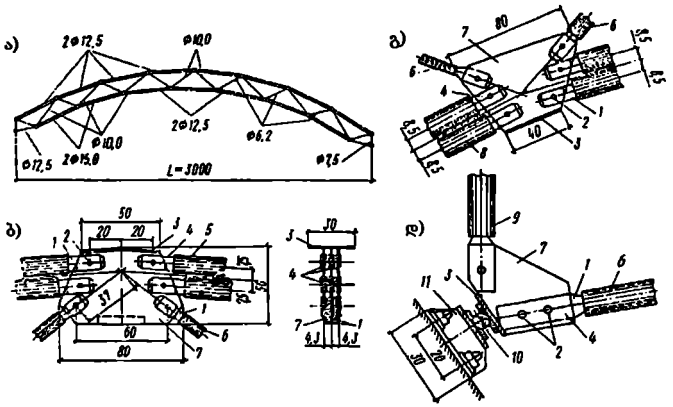
სამრეწველო შენობებში, სადაც ქიმიურად აგრესიული წარმოებაა და შესაბამისად გარემოც აგრესიული, გადახურვის მზიდ კონსტრუქციებში შესაძლებელია და ეკონომიკურად ხელსაყრელი, პოლიეთერული მინაპლასტის პროფილური ელემენტების, კერძოდ, მილების გამოყენება.



ნახ. 4.36. სამფენოვანი გამსხვილებული პანელი.
1 – პირაპირები; 2 – დაბაკელიტებული ფანერის წიბოები; 3 – ქაფპლასტი; 4 – ალუმინის შემონაფენის ფურცელი; 5 – წებო; 6 – სადებები.

### 4.2.2. მინაპლასტის დიდმალიანი თაღი

გადახურვის დიდმალიანი მზიდი კონსტრუქციის მაგალითად გამოდგება ნახ. 4.37-ზე მოცემული გამჭოლი, თაღოვანი წამწე – მალით 30 მ, შედგენილი მინაპლასტის მილებისაგან, ბიჯით 6,0 მ. წამწის ზედა და ქვედა სარტყლები შედგება ორ-ორი



ნახ. 4.37. გამჭოლი თაღური წამწე მინაპლასტის მილებისაგან.
ა – გეომეტრიული სქემა და თაღის კვეთი; ბ – ზედა, კეხის კვანძი; გ – ქვედა კვანძი; დ – საყრდენი კვანძი. 1 – სადები; 2 – ჭანჭიკი; 3 – შემაერთებელი თამასა; 4 – საყელურა-სადები; 5 – ზედა სარტყლის ღერო; 6 – ირიბანა; 7 – ფასონურა (ღეროების შემაერთებელი ფურცელი); 8 – ქვედა სარტყლის ღერო; 9 – საყრდენი ღერო; 10 - სახსარი; 11 – სახსრის მისაყრდნობი, რომელიც უძრაობად არის დამაგრებული საძირკველზე.

პარალელურად, ერთმანეთის თავზე, წამწის სიბრტყეში განლაგებული მილებისაგან (ნახ. 4.37, ბ, გ). გრძივი ღუნვის გაელენის შესამცირებლად ზედა სარტყლის ელემენტები აიღება შესაძლებლად მოკლე. მათი კვეთი მილისებრია. ასეთ კვეთს ყველა მიმართულებით ერთნაირი ინერციის მომენტი აქვს, ხოლო სიხისტე – უფრო მაღალი, ვიდრე სხვა პროფილის განივკვეთის ტოლი ფართობის მქონე ღეროს. ეს მასალის ეკონომიის საშუალებას იძლევა. კონსტრუქციისათვის აღებულია მილები 62...150 მმ შიდა დიამეტრით, კედლის სისქე 4...6 მმ. იმის გათვალისწინებით, რომ დიდი მალის წამწის კვანძებში წარმოიქმნება მნიშვნელოვანი სიდიდის ძალები, ფასონურებად (კვანძში ღეროების დასამაგრებელი ფურცელი) აიღება ფურცლოვანი მინატექსტოლიტი, რომელზედაც ღეროები ბოლოებში დაწებებული სადებებით მაგრდება – 30 მმ დიამეტრის პლასტმასის ჭანჭიკებით. ფასონურები კვანძში ერთმანეთთან მაგრდება თამასით (ნახ. 4.37, ბ, გ, დ, პოზიცია 3). წამწეების სივრცული მდგრადობის უზრუნველყოფა ხორციელდება წამწეების შესაბამის კვანძებს შორის განმბჯენების ჩამაგრებით.

### 4.2.3. პნევმატიკური სამშენებლო კონსტრუქციები

პნევმატიკური სამშენებლო კონსტრუქციებია, რომლებშიც ზიდვის უნარი უზრუნველყოფილია ჰაერის ჭარბი დაწნევით.

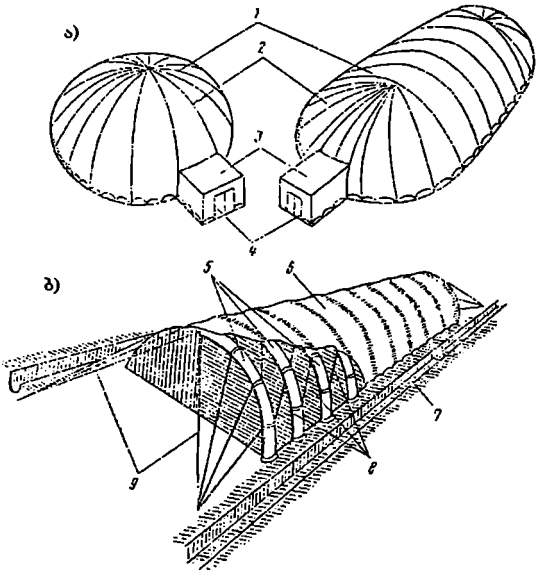
პნევმატიკური კონსტრუქციის ძირითადი ელემენტია გარსი ჰაერშეუღწევადი ქსოვილის ან აფსკისაგან. ასეთ გარსებში ჰაერის ჭარბი დაწნევით შეიქმნება წინასწარი დაძაბვა, რის მეშვეობითაც ხდება გარსის საპროექტო მდგომარეობის შენარჩუნება, მასზე გარე ძალოვანი ზემოქმედებისას.

პნევმატიკური კონსტრუქციები შეიძლება იყოს ჰაერდაყრდნობისა და პნევმოკარკასული (ნახ. 4.38). ჰაერდაყრდნობის კონსტრუქციის მდგრადობის უზრუნველყოფა ხდება მთლიან გარსში ჰაერის გაანგარიშებით განსაზღვრული ჭარბი დაწნევით 500...1500 პასკალის ფარგლებში. პნევმოკარკასული კონსტრუქცია შედგება პნევმატიკური კარკასისა და გარედან შემომფარგვლელი ქსოვილის ან დაარმატურებული აფსკის გარსისგან. ასეთი კარკასის მდგრადობის შენარჩუნებისათვის მის ელემენტებში საჭიროა შეიქმნას ჭარბი დაწნევა 0,05...1,0 მპა (ძირითადად – 0,1...0,3 მპა).

პნევმატიკური სამშენებლო კონსტრუქციების დადებითი თვისებებია: მცირე სიმკვრივე (0,3...1,5 კგ/მ$^3$), მისი აწყობა შეიძლება ძალიან სწრაფად (რამდენიმე საათში) ყოველგვარი დამხმარე მოწყობილობის გარეშე; დაკეცილ მდგომარეობაში კომპაქტურია და გადაზიდვა მარტივი; შესაძლებელია გადაიხუროს მნიშვნელოვანი ფართობი შუალედური საყრდენების გარეშე. სამაგიეროდ, ასეთი კონსტრუქციები სუსტად ეწინააღმდეგება მექანიკურ დაზიანებებს (დარტყმა, გახვრეტა და სხვა), ახასიათებს დიდი დეფორმაციულობა დატვირთვის ზემოქმედებისას, ადვილად იწვის და დაბალი ხანგამძლეობისაა (ექსპლუატაციის არა უმეტესი 10 წლისა).

პნევმატიკური სამშენებლო კონსტრუქციები ძირითადად გამოიყენება, როგორც ასაწყობ-დასაშლელი, შემომფარგვლელი დროებითი სამრეწველო, საწყობების,

ტრანსპორტის, საყოფაცხოვრებო და სასოფლო-სამეურნეო დანიშნულების ნაგებობებად. განსაკუთრებით მოსახერხებელია ახლად ასათვისებელ, მათ შორის, სეისმურად აქტიურ რაიონებში. მათი გამოყენება შეიძლება დიდი გაბარიტების მქონე ნაგებობების აგებისას, როგორც ყალიბი ან შუალედური საყრდენი. მოსახერხებელია აირების შესანახ დროებით საცავად.




ნახ. 4.38. პნევმატიკური სამშენებლო კონსტრუქციები
ა – ჰაერდაყრდნობის კონსტრუქციები; ბ – პნევმოკარკასული კონსტრუქციები; 1 – ძირითადი სათავსი; 2 – სამონტაჟო ნაკერი; 3 – რაბი; 4 – შესასვლელი; 5 – პნევმოთაღები; 6 – დახურვა; 7 – წყალარინების თხრილი; 8 – კავშირი თაღებს შორის; 9 – ტორსული მჭიმები.

ჰაერდაყრდნობის კონსტრუქციებისათვის მოსახერხებელია სფერული გუმბათი, ცილინდრული კამარების ბოლოებში სფერული ან ცილინდრული ტორსებით (ნახ. 4.38, ა). ასეთი კონსტრუქციებით შეიძლება გადაიხუროს 12...50 მ მალის სათავსები. საკმაოდ ეკონომიურია მასალებისა და აგების დანახარჯების მიხედვით, მაგრამ მათი ექსპლუატაციისას საჭიროა სისტემატური კონტროლი შიდა ჭარბი დაწნევის შენარჩუნებისათვის, გარეთა გარსი ადვილად დასაზიანებელია. უხერხულობას ქმნის შესასვლელი რაბის ყოველდღიური საჭიროება, რაც აფერხებს ნაგებობის შიგნით თავისუფლად შესვლას. შიდა წნევა (ძირითადად 500 პა), რომელსაც ადამიანები ვერ გრძნობენ, ადვილად შეიძლება დავიცვათ სტაბილურ დონეზე მარტივი მოწყობილობით, მაგალითად, დაბალი სიძლიერის აეტომატური მართვის ცენტრიდანული ვენტილატორებით. მასალად გამოიყენება ჰაერშეუღწევადი

დარეზინებული (რეზინით გაჟღენთილი) ქსოვილები – დაფარული სინთეტიკური ფისებით. გამოიყენება, აგრეთვე, დაარმატურებული აფსკი. ქსოვილები და აფსკები შეიძლება იყოს ერთმაგი და მრავალმაგი, დათბუნებული მოქნილი, ფოროვანი სინთეზური მასალებით.

ჰაერდაყრდნობის კონსტრუქციის მონტაჟი იწყება გარსის მიწაზე დამაგრებით (ანკერების გრუნტში ან საძირკველში ჩამაგრება, მიწაზე დამაგრებული გარსის ძირში მოწყობილი სპეციალური საყრდენი მილის შევსება წყლით ან ქვიშით) და რაბის ალუმინის კარკასის მოწყობით, რომელზეც დაედება გარსის ქსოვილი (ან აფსკი). შემდეგ გარსში შიგნიდან ჰაერს უბერავენ, რომელიც მას მოიყვანს საპროექტო მდგომარეობაში.

ეკონომიკური გათვლებით, პნევმატიკური სამშენებლო კონსტრუქციების ღირებულება ტრადიციული მასალებისაგან აგებული კონსტრუქციებთან შედარებით 2...3-ჯერ ნაკლებია, ხოლო ჰაერდაყრდობის კონსტრუქციების ღირებულება 3...4-ჯერ ნაკლებია, ვიდრე პნევმოკარკასული კონსტრუქციებისა.

პნევმოკარკასული კონსტრუქციის ელემენტები მზადდება პნევმოკოჭებისა და პნევმოდგარების სახით, სიგრძით 3...6 მ. ასევე, პნევმოთაღების სახით, მალით 6...12 მ, ნახევარწრიული მოხაზულობის, წრიული კეეთის რადიუსით 10...30 სმ (ნახ. 4.38, ბ).

თაღების ფორმის გაღუნული, მილოვანი ბალონები მზადდება მაღალხარისხოვანი სინთეზური დარეზინებული ქსოვილისა ან რეზინის კამერისაგან, რომლებსაც აქვს ქსოვილის გარსაცმი. თაღების სტაბილური ფორმის უზრუნველყოფა ხდება მათში ჰაერის მაღალი, ჭარბი დაწნევით.

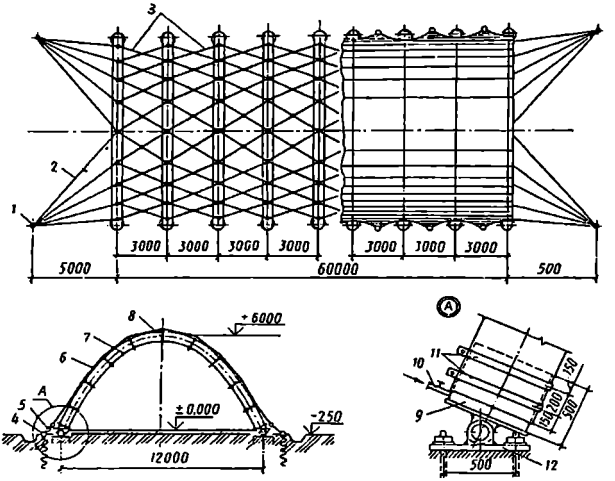
პნევმოთაღები ეყრდნობა უშუალოდ საძირკველს ან სპეციალურ ბუნიკს სახსრულად. თაღის განმბჯენი გადაეცემა შემკოჭავ მჭიმს ან კონტფორსებიან საძირკველს. მონტაჟისას სამშენებლო მოედანზე საძირკველებზე ამაგრებენ კარკასის ელემენტებს, მათზე დაადებენ და დაამაგრებენ შემომფარგველელ გარსს. შემდეგ კარკასის ელემენტებში შეუბერაენ ჰაერს და ჰაერის საანგარიშო წნევის მიღწევისას კარკასი გარსთან ერთად აიწევა და დაიკავებს საპროექტო მდებარეობას.

პნევმოკარკასული კონსტრუქციები შედარებით რთული დასამზადებელია და უფრო ძვირი, მაგრამ ექსპლუატაცია უფრო საიმედოა და მოსახერხებელი. რადგან პნევმოკარკასული კონსტრუქციების ზიდვის უნარი შეზღუდულია, ამიტომ მათი მალი აიღება 20...25 მ-მდე.

ნახ. 4.39-ზე ნაჩვენებია პნევმოკარკასული კონსტრუქციის სქემა – მალით 12 მ, სიგრძით 60 მ. პნევმოთაღების ბიჯია 3,0 მ. აიღება შემომფარგველელი ქსოვილის რაციონალურად გამოყენების პირობიდან. ბალონის დიამეტრია 60 სმ. მილოვან თაღებში ჰაერის ჭარბი დაწნეაა 0.05 მპა. მთელი კონსტრუქციის მასაა 5,0 ტ.

დამხმარე ელემენტები – მჭიმები, ჭანჭიკები, ანკერები და სხვა მზადდება ფოლადისაგან, ძირითადად ВСт3. საყრდენზე პნევმოთაღს აქვს ქსოვილის ცილინდრი, რომელიც წამოცმულია საყრდენ ჭიქაზე. შემომფარგველელი გარსის დამაგრება საძირკველზე ხდება ქსოვილში ჩატანებული ბაგირით, რომელსაც ბოლოზე აქვს სპეციალური მარყუჟები – ანკერზე წამოსაცმელად. ანკერებია ლითონის მილისაგან ხრახნული ფრთებით, დიამეტრით 100 მმ და სიგრძით 1,2 მ, რომელსაც

ჩახრახნავენ უშუალოდ ფუძეში. ანკერები განლაგებულია ბიჯით 3,0 მ, პნევმოთაღების საყრდენებს შორის.

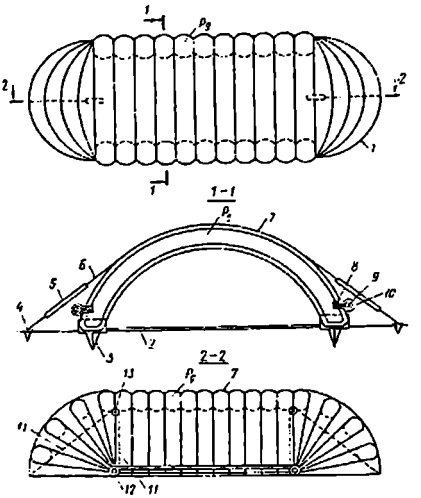



ნახ. 4.39. პნევმოკარკასული კონსტრუქციის სქემა
1 – ტორსის მჭიმების ანკერი; 2, 3 – გრძივი მოქნილი კავშირები; 4 – შემომფარგლელი გარსის დამაგრების ანკერი; 5 – გარსის მჭიმების ანკერები; 6 – შემომფარგლელი გარსი; 7 – პნევმოთაღი; 8 – კავშირების დასამაგრებელი ცალუღი; 9 – ქუსლის (საყრდენის) ლითონის ჭიქა; 10 – ჰაერის დამჭირხნავი შტუცერი ვენტილით; 11 – პნევმოთაღის ქუსლის ჭიქასთან დამამაგრებელი ცალუღი; 12 – საყრდენი.

პნევმოკარკასული კონსტრუქციები შესაძლებელია განხორციელდეს პნევმობლოკების გამოყენებითაც, რომლებსაც აქვს დიდი განივი კვეთი, განლაგებულია ერთმანეთთან მიჯრით ჩაწყობილი და ქმნიან ერთიან მზიდ და შემომფარგლელ კონსტრუქციას. პნევმობლოკები ძირითადად მზადდება, მილოვანი კვეთის ორსახსრიანი თაღების სახით. გადახურვის თავსა და ბოლოში მოწყობილია ბაგირებითა და ბლოკების სისტემით ასაწევ-დასახური ჭიშკარი (ასევე პნევმობლოკებისაგან). მთლიანი კონსტრუქცია მიწაზე დამაგრებულია ლითონის მჭიმებით, ქარის ზემოქმედების საწინააღმდეგოდ (ნახ. 4.40).

პნევმატიკური კონსტრუქციები გაიანგარიშება ძირითადი დატვირთვის (საკუთარი წონა, თოვლი, ქარი) და შინაგანი წნევის ყველაზე არახელსაყრელ შეხამებაზე. ამავე დროს გასათვალისწინებელია კონსტრუქციის ნებისმიერ ადგილას 10006 შეყურსული ძალის მოქმედება (მომსახურე ადამიანის წონა ხელსაწყოებთან ერთად). გაანგარიშება წარმოებს სიმტკიცის, მდგრადობისა და დეფორმაციის მიხედვით. უკანასკნელი გულისხმობს ჩაღუნვის სიდიდის ისეთ შეზღუდვას, რომლის დროსაც შენარჩუნდება დადებითი სიმრუდე. დატვირთვის საანგარიშო მნიშვნელობა მიიღება სათანადო ნორმებით დადგენილი

საიმედოობის კოეფიციენტის გათვალისწინებით. კონსტრუქციის შიდა ჭარბი წნევისათვის საიმედოობის კოეფიციენტი $\gamma_f = 1.2$.




ნახ. 4.40. პნევმოკასკასული ნაგებობა ორსახსრიანი თაღის პნევმობლოკებისაგან.
1 – ტორსის პნევმობალონი; 2 – იატაკი; 3, 4 – დეროვანი (მანჭვალი) ანკერები; 5 – მჭიმები; 6 – ქარის საწინააღმდეგო მჭიმები; 7 – პნევმობალონი; 8 – ბალონის ზედა ნაწილის გარემოსთან შესაერთებელი მილყელი; 9 – თითოეული თაღის აეტონომიური ონკანი; 10 – ყველა მილყელის შესაერთებელი ჰაერის შლანგი; 11 – ჭიშკრის ასაწევ-დასახური ბაგირი; 12 – საყრდენი სახსარი; 13 – ზედა სახსარი და ბლოკი ჭიშკრის ბაგირისათვის.

ყველა ტიპის პნევმატიკური გარსის სიმტკიცე უნდა შემოწმდეს პირობაზე, რომ გარსის ნებისმიერ ადგილას, არახელსაყრელი შეხამების საანგარიშო დატვირთვების ზემოქმედებისაგან გამოწვეული გამჭიმავი ძაბვა ნაკლები უნდა იყოს ქსოვილის ან აფსკის რულონის სიგრძის მიმართულების $R_0$ და განივი მიმართულების $R_y$, წინაღობაზე

$$\sigma_{max} \le R_0 : R_y. \qquad (4.42)$$

ჰაერდაყრდნობის კონსტრუქციების გარსში მაქსიმალური გამჭიმავი ძაბვა მიახლოებით იანგარიშება საკუთარი წონისა და გაჭიმვადობის გაუთვალისწინებლად ფორმულებით:

ცილინდრული ზედაპირის გარსში მსახველის პარალელური (სწორი ხაზის) მიმართულებით:

$$\sigma_{max} = (P + q_w)r \le R_0. \qquad (4.43)$$

სფერული ზედაპირის გარსში წრიული (პორიზინტალური) და მერიდიონალური (ვერტიკალური) კვეთებში

$$\sigma_{max} = (P + q_{w.})r/2 \le R_0; \quad \sigma_{max} = (P + q_{w.} - q_s)r/2 \le R_y, \tag{4.44}$$

სადაც $P$ ჰაერის შიდა ჭარბი დაწნევაა; $q_{w.}$ – ქარის მაქსიმალური გაწოვის სიდიდე (მიუთითებს ქარის გაწოვისას დატვირთვის საპირისპირო მოქმედებას); $q_s$ – თოვლის დატვირთვა; $r$ – კონსტრუქციის სიმრუდის რადიუსი (მეტრებში).

სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას, გარსზე მოქმედ ჯამურ დატვირთვაში მხედველობაში არ მიიღება თოვლისა და ქარის აქტიური დატვირთვა, რადგან მათი მოქმედებისას გარსში აღძრული ძაბვები მცირდება. ამრიგად, ჯამური დატვირთვა

$$\sum P = (P + q_{w.} - g),$$

სადაც $g$ – კონსტრუქციის საკუთარი წონაა.

დეფორმაციაზე შემოწმების პირობაა პნევმოკონსტრუქციამ შეინარჩუნოს დადებითი სიმრუდე და ზღვრული ჩაღუნვის შეზღუდვა.

პირველი პირობა რომ შესრულდეს, მაშინ შიდა ჭარბი დაწნევის მინიმალური მნიშვნელობა უნდა განისაზღვროს ქარის აქტიური დაწნევის მაქსიმალური საანგარიშო $q_{w*}$-ის მიხედვით $P \ge q_{w*}$; თოვლის დატვირთვის მიხედვით – $P \ge q_s$. თუ ეს პირობები არ შესრულდა, მაშინ კონსტრუქციის გარსი დაუშვებელი სიდიდით დაიბრიცება.

ზღვრული სიდიდის ჩაღუნვა პნევმოკონსტრუქციებისათვის ჯერ ნორმირებული არ არის. მართალია, პნევმატიკური კონსტრუქციების ჩაღუნვა მნიშვნელოვნად მეტია, ვიდრე ხისტი მასალებისაგან აგებულ კონსტრუქციებში (0,2...0,3მ), მაგრამ საჭიროა, ჩაღუნვებმა ხელი არ უნდა შეუშალოს ნაგებობისა და სათავსოს ნორმალურ ექსპლუატაციას.

მაქსიმალური ჩაღუნვა სფერული ჰაერდასაყრდენი კონსტრუქციისათვის გამოითვლება თოვლის ან ადამიანისაგან გამოწვეული შეყურსული დატვირთვის მოქმედების შედეგად

$$f = \frac{3}{5} \cdot \frac{P_1}{\mathrm{Pr}}, \tag{4.49}$$

სადაც $P_1$ თოვლის ან მომსახურე ადამიანის (1 კნ) შეყურსული დატვირთვაა.

პნევმოკარკასული კონსტრუქციების ელემენტებში მღუნავი მომენტი, გრძივი და განივი ძალები გამოითვლება სამშენებლო მექანიკის ჩვეულებრივი მეთოდებით. ყველა გარე დატვირთვისა და შიდა ჭარბი დაწნევის ყველაზე არახელსაყრელი შეხამებისათვის გამოითვლება მაქსიმალური გამჭიმავი ძაბვა გარსში და (4.42) პირობის მიხედვით არ უნდა აჭარბებდეს მასალის საანგარიშო წინაღობას.

პნევმოელემენტები არ დაკარგავს მდგრადობას თუ შიდა მომენტი და ძალები არ არის ნაკლები გარე დატვირთვისაგან აღძრულ ანალოგიურ ძალვებზე, რაც მოწმდება ფორმულით

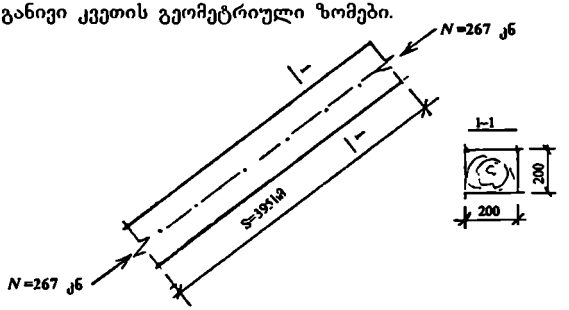
$$M \le P\pi^2 r^3/4. \tag{4.46}$$

პნევმოელემენტებში ნაოჭები ან ნაკეცები რომ არ გაჩნდეს, გარსში ჯამური დატვირთვისა და წინასწარი დაძაბვისაგან (შიდა ჭარბი დაწნევა) ძაბვათა ჯამი უნდა იყოს დადებითი, ე.ი. $\sum \sigma_{min} + \sigma_{r.} \ge 0$.

პნევმოკარკასული სამშენებლო კონსტრუქციების ჩაღუნვას ამოწმებენ სამშენებლო მექანიკის სათანადო მეთოდებით.

## 4.3. ხის კონსტრუქციების გაანგარიშების მაგალითები

მაგალითი 4.1. ხე-ლითონის სამკუთხა წამწის ზედა სარტყელია მთლიანი ხის ძელი, რომლის მასალაა 1 ხარისხის ფიჭვი. ზედა სარტყელი, კვანძებში მოდებული გარე დატვირთვის ზემოქმედების შედეგად, განიცდის ცენტრალურ კუმშვას. წამწის ღეროებში ძალვის გაანგარიშებით დადგენილია, რომ ზედა სარტყლის პანელში აღძრული მკუმშავი ძალა $N = 26{,}7 \cdot 10^4$ ნ. ელემენტის სიგრძე ანუ კვანძების ცენტრებს შორის მანძილია $S = 3{,}95$ მ. საჭიროა განისაზღვროს სარტყლის განივი კვეთის გეომეტრიული ზომები.




ნახ. 4.41. ცენტრალურად შეკუმშული ხე-ლითონის წამწის ზედა სარტყლის პანელი

**გადაწყვეტა:**

გავითვალისწინოთ ხის წამწის კაპიტალურობა $\gamma = 0{,}95$ კოეფიციენტით

$$N = 267 \cdot 0{,}95 = 253{,}65 \text{ კნ}.$$

1. ცხრილი 4.1-ის მიხედვით განვსაზღვროთ მერქნის წინაღობა კუმშვაზე – $R_t = 16$ მპა=1,6 კნ/სმ² (ჩავთვალოთ, რომ კვეთის ზომები მეტია 13 სმ-ზე). მუშაობის პირობების კოეფიციენტი ავიღოთ ერთის ტოლი – $\gamma_c = 1{,}0$.

2. წინასწარ დავნიშნოთ გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი $\varphi = 0{,}8$ [1] და განვსაზღვროთ კვეთის საჭირო ფართობი მდგრადობის პირობიდან

$$A = \frac{N}{\varphi R_t} = \frac{253{,}65}{0{,}8 \cdot 1{,}6} = 198{,}16 \text{ სმ}^2.$$

სორტამენტში (ცხრილი 4.7) მოცემული ზომების გათვალისწინებით დგარის განიკვეთის ზომები მივიღოთ $b \times h = 200 \times 200$ მმ. კვეთის ფაქტიური ფართობი იქნება $A = 400$ სმ². რადგან ელემენტს არ აქვს ჩაჭრა და სხვა შესუსტებები, საანგარიშო ფართობი $A_{ნტ} = A = 400$ სმ².

3. განვსაზღვროთ კვეთის ინერციის რადიუსები სიმეტრიის $x$ და $y$ ღერძების მიმართ

$$i_x = 0{,}289h = 0{,}289 \cdot 20 = 5.78 \text{ სმ};$$

$$i_y = 0{,}289b = 0{,}289 \cdot 20 = 5{,}78 \text{ სმ}.$$

4. შერჩეული კვეთის შესაბამისად, ვსაზღვრავთ დგარის მოქნილობას და გრძივი ღუნვის კოეფიციენტს, უმცირესი ინერციის რადიუსის მიხედვით $\lambda = \ell_0 / i_y = 395/5.78 = 68.3$. ზღვრული მოქნილობა ნორმების ([2]-ის ცხრილი 14) მიხედვით $\lambda_u = 120$. ე.ი. ფაქტიური მოქნილობა ($\lambda = 68,3$) ნორმის ფარგლებშია.

გრძივი ღუნვის $\varphi$ კოეფიციენტი გამოვთვალოთ ფორმულით

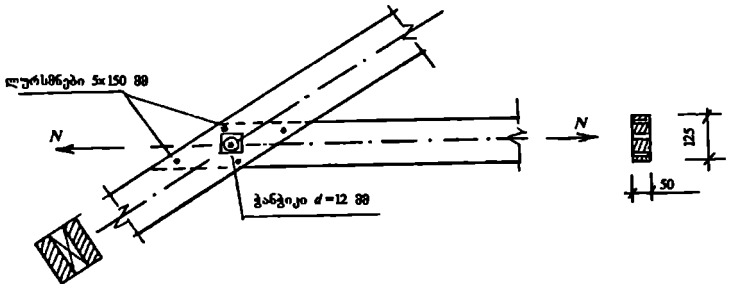
$$\varphi = 1 - 0,8(\lambda/100)^2 = 1 - 0,8(68,3/100)^2 = 0,534.$$

5. შევამოწმოთ დგარის (სვეტის) მდგრადობა

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A} = \frac{253,65}{0.534 \cdot 400} = 1,19 \text{ კნ/სმ}^2 < R_t = 1,6 \text{ კნ/სმ}^2.$$

დასკვნა. რადგან მდგრადობის პირობა უზრუნველყოფილია, ელემენტის კვეთს ვტოვებთ 200×200 მმ. მერქანი – 1 ხარისხის ფიჭვი.

მაგალითი 4.2. შევამოწმოთ სამკუთხა, უირიბნო წამწის ხის ცენტრალურად გაჭიმული შემკოჭის სიმტკიცე და მოქნილობა, რომელიც წამოადგენს ფიცარს კვეთით 50×125 მმ, მიმაგრებულს სანივნივო წამწის ზედა სარტყელთან – ჭანჭიკით $d = 12$ მმ და ოთხი ლურსმნით $d = 5$ მმ, $\ell = 150$ მმ (ნახ. 4.42). მერქანია-ფიჭვი, ხარისხი I. შემკოჭში აღძრული ძალა $N = 34,0$ კნ, $\gamma_n = 0,95$.




ნახ. 4.42. შემკოჭის დამაგრება წამწის ზედა სარტყელზე

შემკოჭის საანგარიშო სიგრძეა $\ell_0 = 2,5$ მ.

**ბადაწყვეტა:**

1. გამჭიმავი ძალა შემკოჭში პასუხისმგებლობის ხარისხის $\gamma_n$ კოეფიციენტის გათვალისწინებით $N = 34,0 \cdot 0.95 = 32,3$ კნ.

2. განვსაზღვროთ მერქნის წინაღობა გაჭიმვაზე ბოჭკოების გასწვრივ

$$R_p = 10 \text{ მპა} = 1,0 \text{ კნ/სმ}^2 \text{ (ცხრილი 4.1).}$$

3. მუშაობის პირობების კოეფიციენტი $m_p = 1,0$; შესუსტებული გაჭიმული ელემენტისათვის $m_0 = 0,8$ (ნორმები [2] ცხრილი 5 და პუნქტი 3.2).

4. გამოვთვალოთ კვეთის ნეტო ფართობი

$$A_m = A - A_{\text{ვაკ}} = 5 \cdot 12,5 - (5 \cdot 1,2 + 5 \cdot 0,5 \cdot 4) = 46,5 \text{ სმ}^2.$$

5. შევამოწმოთ შემკოჭის სიმტკიცე

$$A = \frac{N}{A_n} = \frac{32,3}{46,5} = 0,695 \text{ კნ/სმ}^2 < R_a m_a m_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 0,8 \text{ კნ/სმ}^2.$$

სიმტკიცე გაჭიმვაზე უზრუნველყოფილია.

7. განვსაზღვროთ შემკოჭის კვეთის ინერციის რადიუსი (ცხრილი 4.6).

$$i_x = 0,289h = 0,289 \cdot 12,5 = 3,61 \text{ სმ};$$

$$i_y = 0,289b = 0,289 \cdot 5 = 1,445 \text{ სმ}.$$

7. ნორმებიდან ([2] ცხრილი 14) წამწის გაჭიმული ელემენტებისათვის, მათ შორის შემკოჭისათვის ზღვრული მოქნილობა $\lambda_u = 200$; შევამოწმოთ შემკოჭის მოქნილობა

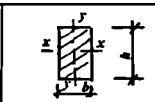
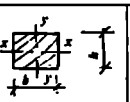
$$\lambda_x = \ell_0 / i_x = 250/3,61 = 69,25 < 200;$$

$$\lambda_y = \ell_0 / i_y = 250/1,445 = 173 < 200.$$

დასკვნა: შემკოჭის სიმტკიცე და მოქნილობა ნორმების მოთხოვნის შესაბამისია.

ცხრილი 4.6

სწორკუთხა და წრიული კვეთების გეომეტრიული მახასიათებლები

| ელემენტის კვეთი |  |  |  |  |
|---|---|---|---|---|
| $A$ | $bh$ | $bh$ | $\frac{\pi D^2}{4}$ | $\frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4}$ |
| $I_x$ | $\frac{bh^3}{12}$ | $\frac{b^4}{12}$ | $\frac{\pi D^4}{64}$ | $\frac{\pi D^4}{64} - \frac{\pi d^4}{64}$ |
| $I_y$ | $\frac{hb^3}{12}$ | $\frac{b^4}{12}$ | $\frac{\pi D^4}{64}$ | $\frac{\pi D^4}{64} - \frac{\pi d^4}{64}$ |
| $i_x$ | $0,289h$ | $0,289h$ | $0,25D$ | $0,25\sqrt{D^2 - d^2}$ |
| $i_y$ | $0,289b$ | $0,289b$ | $0,25D$ | $0,25\sqrt{D^2 - d^2}$ |

მაგალითი 4.3. შევარჩიოთ საცხოვრებელი სახლის გადახურვის ხის კოჭის განივი კვეთის ზომები; კოჭების დაყრდნობის სქემა მოცემულია 4.43 ნახაზზე. კოჭების ბიჯი $a = 1,2$ მ.

გადახურვის 1 მ$^2$ მოსული დატვირთვაა: ნორმატიული $q_n^{\text{ნორმ}} = 3,5$ კპა, საანგარიშო – $q^{\text{ნორმ}} = 4,48$ კპა. ნორმებიდან [7] საცხოვრებელ ბინაში დროებითი დატვირთვაა გადახურვაზე $V_n = 1,5$ კპა, შემცირებული მნიშვნელობა $q_m = 0,3$ კპა. დატვირთვის ფართობის სიგრძე ტოლია კოჭების ბიჯის – $\ell_{\text{დატ}} = 1,2$ მ.

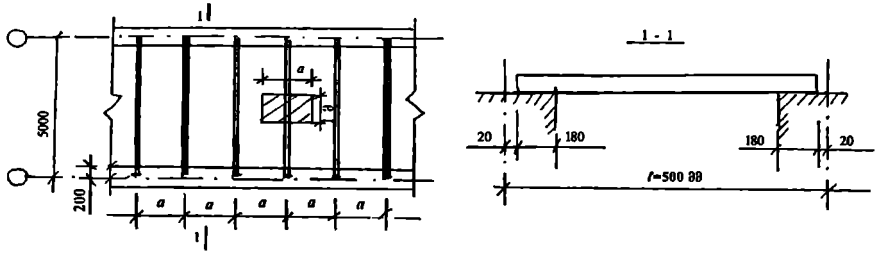
**გადაწყვეტა:**

1. წინასწარ 1 გრძივი მეტრი კოჭის საკუთარი წონა ავიღოთ $g_n^{\text{კოჭ}} = 0,25$ კნ/მ; $\gamma_f = 1,1$. ე.ი. $g^{\text{კოჭ}} = g_n^{\text{კოჭ}} \cdot \gamma_f = 0,25 \cdot 1,1 = 0,275$ კნ/მ.

2. შევკრიბოთ კოჭის ერთ მეტრზე მოსული დატვირთვა საკუთარი წონის გათვალისწინებით

$$q_n = g_n^{\text{ბალ}} \cdot \ell_{\text{დატ}} + g_n^{\text{კოჭ}} = 3{,}5 \cdot 1.2 + 0{,}25 = 4{,}45 \quad \text{კნ/მ};$$

$$q = g^{\text{ბალ}} \cdot \ell_{\text{დატ}} + g^{\text{კოჭ}} = 4{,}48 \cdot 1{,}2 + 0{,}275 = 5{,}65 \quad \text{კნ/მ}.$$




ნახ. 4.43. კოჭების განლაგების და საანგარიშო სქემა.

საანგარიშო დატვირთვა კოჭის 1 მ-ზე შენობის პასუხისმგებლობის ხარისხის კოეფიციენტის $\gamma_n = 0{,}95$ გათვალისწინებით – $q = 5{,}65 \cdot 0{,}95 = 5{,}37$ კნ/მ.

3. კოჭის საანგარიშო სიგრძე

$$\ell_0 = 5000 - 20 - 20 - 180/2 - 180/2 = 4780 \quad \text{მმ}.$$

4. კოჭის საანგარიშო სქემის მიხედვით გამოვთვალოთ მაქსიმალური მღუნავი მომენტი და განივი ძალა

$$M = q\ell_0^2/8 = 5{,}37 \cdot 4{,}78^2/8 = 15{,}34 \quad \text{კნ·მ}. \quad Q = q\ell_0/2 = 5{,}37 \cdot 4{,}78/2 = 12{,}83 \text{ კნ}.$$

5. ავირჩიოთ მასალად მეორე ხარისხის კედარი. ნორმების [2] მიხედვით მუშაობის პირობების კოეფიციენტია $m_B = 1{,}0$; ჩავთვალოთ, რომ კოჭის განივკვეთის ზომა არ გადააჭარბებს 13 სმ-ს და განვსაზღვროთ საანგარიშო წინაღობა: ღუნვისას $R_i = 15$ მპა=1,5 კნ/სმ², ახლეჩაზე $R_{isb} = 1{,}6$ მპა=0,16 კნ/სმ². ნორმების [2] ცხრილ 4-დან განვსაზღვრავთ გარდამავალ კოეფიციენტს – ფიჭვის მერქანიდან კედარის მერქანზე გადასასვლელად – $m_n = 0{,}9$. მაშინ მერქანის წინაღობა იქნება:

ღუნვისას $R_i = 15 \cdot 0.9 = 13{,}5$ მპა = 1,35 კნ/სმ²;

ახლეჩაზე $R_{isb} = 1{,}6 \cdot 0{,}9 = 1{,}44$ მპა = 0,144 კნ/სმ².

6. კვეთის საჭირო წინაღობის მომენტი

$$W_x = M/R_i = 1534/1{,}35 = 1136{,}3 \text{ სმ}^3.$$

7. დავნიშნოთ კოჭის კვეთის სიგანე $b = 15$ სმ. მაშინ პირობიდან $W_x = \dfrac{bh^2}{6}$, გამოვთვალოთ კვეთის $h$ სიმაღლეს

$$h = \sqrt{\frac{6W_x}{b}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 1136{,}3}{15}} = 21{,}32 \quad \text{სმ}.$$

დახერხილი ხე-ტყის სორტამენტიდან (ცხრილი 4.7) შევარჩევთ $b \times h = 15 \times 22{,}5$ სმ.

8. მიღებული კვეთის შემოწმება სიმტკიცის მიხედვით:

ა) განვსაზღვროთ 15×22,5 სმ ზომის განივკვეთის $W_x$ წინაღობის მომენტის, $S_x$ ინერციის სტატიკური მომენტისა და $I_x$ ინერციის მომენტის ფაქტიური სიდიდეები

$$W_x = \frac{bh^2}{6} = \frac{15 \cdot 22,5}{6} = 1265,6 \text{ სმ}^3;$$

$$S_x = 0,5bh \cdot \frac{h}{4} = 0,5 \cdot 15 \cdot 22,5 \cdot \frac{22,5}{4} = 949,2 \text{ სმ}^3;$$

$$I_x = \frac{bh^3}{12} = \frac{15 \cdot 22,5^3}{12} = 14238,3 \text{ სმ}^4.$$

ცხრილი 4.7

ხის კონსტრუქციებისათვის რეკომენდებული დახერხილი ხე-ტყის სორტამენტი

| სისქე მმ | სიგანე, მმ | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 |
| 19 | 100 | 135 | 150 | – | – | – | – |
| 22 | 100 | 135 | 150 | 175 | 200 | 225 | |
| 25 | 100 | 135 | 150 | 175 | 200 | 225 | |
| 32 | 100 | 135 | 150 | 175 | 200 | 225 | |
| 40 | 100 | 135 | 150 | 175 | 200 | 225 | |
| 44 | 100 | 135 | 150 | 175 | 200 | 225 | |
| 50 | 100 | 135 | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 |
| 60 | 100 | 135 | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 |
| 75 | 100 | 135 | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 |
| 100 | 100 | 135 | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 |
| 125 | 100 | 135 | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 |
| 150 | 100 | 135 | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 |
| 175 | – | – | – | 175 | 200 | 225 | 250 |
| 200 | – | – | – | – | 200 | 225 | 250 |
| 250 | – | – | – | – | – | – | 250 |

ბ) შევამოწმოთ კოჭის სიმტკიცე ნორმალური ძაბვის მიხედვით

$$\sigma = \frac{M}{W_x} = \frac{1534}{1265,6} = 1,21 \text{ კნ/სმ}^2 < R_t = 1,35 \text{ კნ/სმ}^2.$$

გ) შევამოწმოთ კოჭის სიმტკიცე მხები ძაბვის მიხედვით

$$\tau = \frac{QS_x}{I_x \cdot b} = \frac{12,83 \cdot 949,2}{14238,3 \cdot 15} = 0.057 \text{ კნ/სმ}^2 < R_{ცb} = 0,144 \text{ კნ/სმ}^2.$$

სიმტკიცე ნორმალური და მხები ძაბვების მიხედვით უზრუნველყოფილია.

9. განვსაზღვროთ ჩაღუნვა კონსტრუქციული მოთხოვნების მიხედვით. ჩაღუნვის განსასაზღვრავად საჭიროა მყრქნის დრეკადობის მოდული, რომელიც ბოჭკოების გასწვრივ უდრის $E = 10000$ მპა = 1000 კნ/სმ$^2$. ჩაღუნვა უნდა განისაზღვროს კოჭზე მოსული მთელი ნორმატიული დატვირთვისათვის – $q_n = 0,0445$ კნ/სმ (იხ. მაგალითის პუნქტი 2)

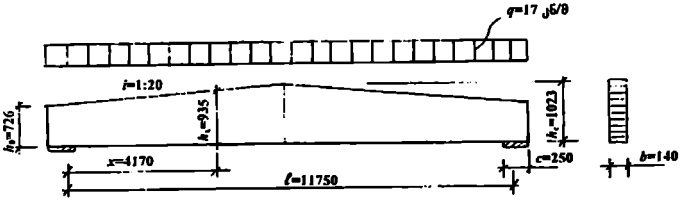
$$f = \frac{5 \cdot q_n \ell_0^4}{384 E I_x} = \frac{5 \cdot 0.0445 \cdot 478^4}{384 \cdot 1000 \cdot 14238{,}3} = 2{,}12 \text{ სმ.}$$

ნორმების მიხედვით კონსტრუქციული მოთხოვნებით ზღვრული ჩაღუნვა

$$f_n = \ell/150 = 500/150 = 3{,}3 \text{ სმ.}$$

ჩვენს შემთხვევაში $f = 2{,}12$ სმ $< f_u = 3{,}3$ სმ. ე.ი. კოჭის ჩაღუნვა ნორმატიული დატვირთვისაგან ნორმების ფარგლებშია.

მაგალითი 4.4. დავაპროექტოთ ორქანობიანი, სწორკუთხა კვეთის ფიცრებისაგან დაწებებული კოჭი მალით $\ell = 11{,}75$ მ. დახურვა დათბუნებული ფილებით, სიგანით 1,5 მ. ბურული – რულონური. ორქანობიანი კოჭის ზედა კიდის დახრაა $i = 1:20$ (ნახ. 4.44)




ნახ. 4.44. დაწებებული ხის დახურვის კოჭი

კოჭზე მოქმედი დატვირთვები: საანგარიშო $q = 17$ კნ/მ, ნორმატიული $q_n = 13$ კნ/მ.

მასალა – 2-ე და 3-ე ხარისხის, 33 მმ სისქის, გარანდული მშრალი ფიჭვის ფიცრები. 2-ე ხარისხის ფიცრები გამოიყენება გაჭიმულ და შეკუმშულ ზონებში, განივი კვეთის სიმაღლის 0,15 სიმაღლეზე ([2], პ. 6.19).

ექსპლუატაციის პირობები – გამთბარ შიდა სათავსოში ტემპერატურა $t = 35°C$-ს, ჰაერის ფარდობითი ტენიანობაა 60-დან 75%-მდე. ასეთ პირობებში $m_\varepsilon = 1$ ([2], ცხრ. 5).

კოჭის სიგანე ავიღოთ $b = 140$ მმ, მალის შუაში კვეთის სიმაღლე $h_c = 1023$ მმ ანუ $\ell/11{,}6 > \ell/15$, მაშინ საყრდენზე კვეთის სიმაღლე $h_0 = 726$ მმ.

1. საანგარიშო კვეთის შემოწმება მაქსიმალურ ნორმალურ ძაბვაზე.

განვსაზღვროთ საანგარიშო კვეთის მდებარეობა

$$x = \ell h_0/(2h_c) = 1175 \cdot 72{,}6/(2 \cdot 102{,}3) = 417 \text{ სმ ([3]. პ. 6.12).}$$

საანგარიშო კვეთის სიმაღლე

$$h_x = h_0 + ix = 72{,}6 + 417 \cdot 0{,}05 = 93{,}5 \text{ სმ.}$$

საანგარიშო მღუნავი მომენტი

$$M_x = q(\ell - x)x/2 = 17(11{,}75 - 4{,}17)4{,}17/2 = 268{,}7 \text{ კნ·მ.}$$

საანგარიშო წინაღობას ღუნვასა და კუმშვაზე დაეწინშნაეთ [2]-ის პ.პ. 3.1 და 3.2-ის მიხედვით, მუშაობის პირობების $m_b$, $m_g$, $m_{c_1}$ კოეფიციენტებისა და

დანიშნულების მიხედვით საიმედოობის $\gamma_n$ კოეფიციენტის (СТ СЭВ 384-76) გათვალისწინებით.

$$R_t = 15 m_b m_g m_{c1} / \gamma_n = 15 \cdot 1 \cdot 0{,}86 \cdot 1/0{,}95 = 13{,}6 \text{ მპა}.$$

საანგარიშო კვეთში ძაბვა იქნება

$$\sigma_x = M_x / W_x = 268{,}7 \cdot 10^6 / 20{,}4 \cdot 10^6 = 13{,}2 < 13{,}6 \text{ მპა},$$

აქ საანგარიშო კვეთის წინაღობის მომენტი $W_x = bh_x^2/6 = 140 \cdot 935^6/6 = 20{,}4 \cdot 10^6$ მმ$^3$.

საანგარიშო კვეთში სიმტკიცის პირობა ნორმალური ძაბვის მიხედვით დაკმაყოფილებულია.

2. საყრდენი კვეთის შემოწმება ახლეჭის მიხედვით $Q$ განივი ძალის მოქმედებაზე.

საყრდენზე განივი ძალა $Q = q\ell/2 = 17 \cdot 11{,}75/2 = 99{,}9$ კნ.

2-ე ხარისხის ფიჭვის საანგარიშო წინაღობა ახლეჭაზე

$$R_{zsb} = 1{,}5 m_B m_{c1} / \gamma_n = 1.5 \cdot 1 \cdot 1/0{,}95 = 1{,}58 \text{ მპა}.$$

ამხლეჭი ძაბვა

$$\sigma_{zsb} = QS_{kp} / (I_{kp} b_{საანგ}) = 99{,}9 \cdot 10^3 \cdot 3/(2 \cdot 726 \cdot 140) = 1.48 < 1{,}58 \text{ მპა}.$$

3. დაყრდნობის ფართობის შემოწმება თელვაზე

$$\sigma_{loc} = Q/(cb) = 99{,}9 \cdot 10^3/(250 \cdot 140) = 2{,}85 < R_{ilocg0}/\gamma_n = 3/0{,}95 = 3{,}2 \text{ მპა}.$$

4. კოჭის შეკუმშული კიდის დამაგრება ხორციელდება ზედ დაწყობილი ფილებით ყოველ 2·1,5 მეტრზე ანუ $\ell_p = 300 < 140 b^2/h_c m_g = 140 \cdot 14^2/(102{,}3 \cdot 0{,}85) = 315$ ([2], პ. 4,25). ამ პირობის შესრულებისას კოჭის ბრტყელი ფორმის მდგრადობის შემოწმება არ არის საჭირო.

5. კოჭის ჩაღუნვის შემოწმება მალის შუაში.

ორქანობიანი ხის კოჭის ჩაღუნვა იანგარიშება ფორმულით ([2] პ. 4.32, 4.33)

$$f = \left(\frac{f_0}{k}\right)\left[1 + C\left(\frac{h_c}{\ell}\right)^2\right].$$

აქ $k$ კვეთის ცელის გაელენის კოეფიციენტია;

$$k = 0{,}15 + 0{,}85 h_0/h_c = 0{,}15 + 0{,}85 \cdot 72.6/102{,}3 = 0.753;$$

$C$ – განივი ძალისაგან გამოწვეული ძერის დეფორმაციის გაელენის კოეფიციენტი; $C = 15{,}4 + 3{,}8 h_0/h_c = 18{,}1$;

$f_0$ – კოჭის უდიდესი $h_c$ სიმაღლის, მუდმივკვეთიანი კოჭის ჩაღუნვა, ძერის გაუთვალისწინებლად

$$f_0 = \frac{5}{384}\frac{q_n \ell^4}{EI} = 5 \cdot 13 \cdot 11{,}75^4 \cdot 10^{12} \cdot 12/(384 \cdot 10 \cdot 140 \cdot 1{,}023^3 \cdot 10^{12}) = 25{,}7 \text{ მმ}.$$

სათანადო პარამეტრების ჩასმის შემდეგ გამოვთვლით კოჭის მაქსიმალურ ჩაღუნვას

$$f = (25{,}7/0{,}753)\left[1 + 18{,}1\left(1{,}023 \cdot 10^3/11{,}75 \cdot 10^3\right)^2\right] = 38{,}8 \text{ მმ}.$$

ფარდობითი ჩაღუნვა $f/\ell = 38{,}8/11750 = 1/303 < 1/300$ ([2] ცხრ. 16).

კოჭის სიხისტე უზრუნველყოფილია.

მაგალითი 4.5. დასაპროექტებელია ხის დაწებებული ორქანობიანი კოჭი სახელოსნოს დასახურავად. შენობის მალი $\ell = 12$ მ, კოჭის ბიჯის შენობის გრძივი მიმართულებით $a = 4{,}5$ მ.

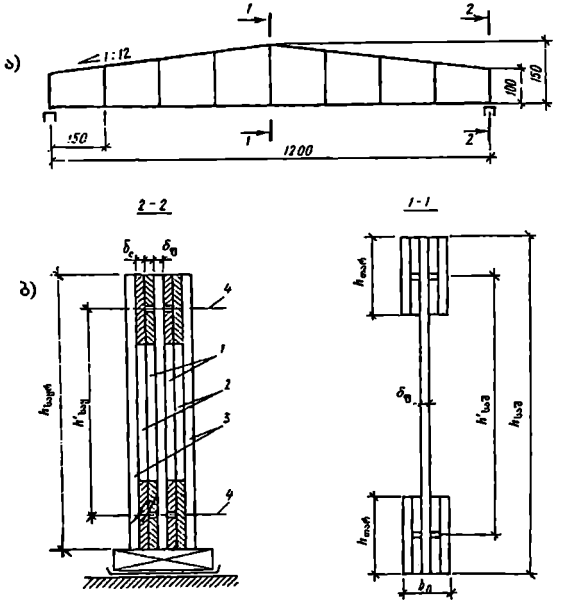
შენობის ექსპლუატაციის ტემპერატურულ-ტენიანობის რეჟიმია AI. [2]-ს ცხრილი 1-დან სათავსოში ტემპერატურა 35°C-მდე, ტენიანობა 60%-მდე; დაწებებული კონსტრუქციისათვის მერქნის მაქსიმალური ტენიანობა – 9%. კოჭის სარტყლების მასალაა II ხარისხის ფიჭვის ფიცრები, კედელი – არყის ფანერა ФСФ მარკის, ხარისხი B/BB.

დახურვის ელემენტების (გრძივები, მოლარტყეა, დამათბუნებელი, ბურული) წონა დახურვის 1 მ²-ზე უდრის $g_{\text{დახ}} = 0{,}81$ კნ/მ².

თოვლის დროებითი დატვირთვაა $S = 1{,}0$ კნ/მ².

1. **კოჭის კონსტრუქციული სქემის შერჩევა.**

ავიღოთ დაწებებული ორქანობიანი კოჭი დაწებებული ფანერის კედლით. ზედა სარტყლის დახრაა $i = 1/12$. კოჭის სიმაღლე მალის შუაში $h = \ell/8 = 1{,}5$ მ; საყრდენზე – $h_0 = h - i\ell/2 = 1{,}5 - 0{,}5 = 1{,}0$ მ (ნახ. 4.45).




ნახ. 4.45. ფანერადაწებებული კოჭი
ა – კოჭის გეომეტრიული სქემა; ბ – კოჭის განივი ჭრილები (1-1-ზე სიხისტის წიბოები არ არის ნაჩვენები); 1 – სიხისტის წიბოები; 2 – დაწებებული შუასადებები; 3 – სადებები ჭანჭიკებით დამაგრებული; 4 – ჭანჭიკების ღერძი

წინასწარი გაანგარიშებებისათვის მივიღოთ ხის ფიცრებისაგან დაწებებული სარტყლების სიმაღლე $h_{\text{ს}} = 15$ სმ; ფიცრების სისქე, გარანდვის გათვალისწინებით, $\delta_{\text{ფ}} = 3{,}4$ სმ, შიდა ფიცრებს შორის ღრეჩო $c = 1$ სმ, სარტყლის სიგანე $h_{\text{ს}} = 15$ სმ (ფანერის სისქის ჩათვლით).

2. დატვირთვის განსაზღვრა.

კოჭის ნორმატიული დატვირთვა 1 გრძივ მეტრზე: დახურვის წონისაგან $g_n^{\text{დახ}} = 0{,}81 \cdot a = 0{,}81 \cdot 4{,}5 = 3{,}6$ კნ/გრძმ; თოვლის საფარისაგან $S_n = 0{,}1 \cdot a = 1{,}0 \cdot 4{,}5 = 4{,}5$ კნ/გრძმ.

დატვირთვა 1 გრძივ მეტრზე კოჭის საკუთარი წონისაგან.

ა) დატვირთვა სარტყლებისაგან (ფანერის გარეშე). იხ. ნახ. 4.45.

გამოვთვალოთ სარტყლის განივკვეთის ფართობი ფანერის გარეშე

$$A^{\text{ხე}}_{\text{სარტ.}} = 2h_n^{\text{გარ}} \cdot \delta_n + 4h_n^{\text{შიდა}} \cdot \delta_n = 2 \cdot 15 \cdot 3{,}4 + 4 \cdot 7 \cdot 3{,}4 = 102 + 95{,}2 = 197{,}2 \text{ სმ}^2.$$

ორიეე სარტყელის 1 მ სიგრძის წონა იქნება $\gamma^{\text{ხე}}_{\text{კონს}} = 5$ კნ/მ³-ს გათვალისწინებით

$$g^{\text{საკ.წ.}}_{n.\text{სარტ.}} = 2A^{\text{ხე}}_{\text{სარტ.}} \cdot \gamma^{\text{ხე}}_{\text{კ.წ.}} \cdot 1{,}0 = 2 \cdot 0{,}01972 \cdot 5{,}0 \cdot 1{,}0 = 0{,}1972 \text{ კნ/გრძ.მ.}$$

ბ) კედლის ფანერის 1 გრძ. მეტრის წონისათვის ფანერის საშუალო სიმაღლე $\frac{1{,}5 + 1{,}0}{2} = 1{,}25$ მ. გავამრავლოთ ფანერის სისქეზე $\delta_{\text{ფ}} = 1{,}4$ სმ=0,014 მ და გავამრავლოთ ფანერის კუთრ წონაზე (იხ. [2], დანართი 3). არყის ხის დაბაკელიტებული ფანერისათვის $\gamma^{\text{ფ}}_{\text{კ.წ.}} = 10{,}0$ კნ/მ³

$$g^{\text{საკ.წ.}}_{n\,\text{ფან.}} = h^{\text{ფ}}_{\text{ს.ე.}} \cdot \delta_{\text{ფ}} \cdot \gamma^{\text{ფ}}_{\text{კ.წ.}} \cdot 1{,}0 = 1{,}25 \cdot 0{,}014 \cdot 1{,}0 \cdot 10{,}0 = 0{,}175 \text{ კნ/გრძ.მ.}$$

კოჭის საკუთარი წონისაგან 1 გრძივ მეტრზე დატვირთვა

$$g^{\text{კოჭი}}_{n.\text{ხ.წ.}} = g^{\text{ხ.წ.}}_{n.\text{სარტყ.}} + g^{\text{ხ.წ.}}_{n.\text{ფან.}} = 0.1972 + 0{,}175 = 0.3722 \text{ კნ/გრძ.მ.}$$

კოჭის 1 გრძივ მეტრზე ჯამური ნორმატიული დატვირთვა იქნება

$$g^{\text{კოჭი}}_n = g^{\text{დახ.}}_n + S^{\text{თოვლი}}_n + g^{\text{კოჭი}}_{n.\text{ხ.წ.}} = 3{,}6 + 4{,}5 + 0.37 = 8{,}5 \text{ კნ/გრძ.მ.}$$

კოჭის 1 გრძივ მეტრზე საანგარიშო დატვირთვა

$$q = g^{\text{დახ.}}_n \cdot 1{,}13 + S^{\text{თოვლი}}_n \cdot 1{,}4 + g^{\text{კოჭი}}_{n.\text{ხ.წ.}} \cdot 1{,}1 = 3{,}6 \cdot 1{,}13 + 4.5 \cdot 1{,}4 + 0.37 \cdot 1{,}1 =$$

$$= 4{,}068 + 6{,}3 + 0{,}407 = 10{,}8 \text{ კნ/გრძ.მ.}$$

3. კოჭის საყრდენიდან საანგარიშო კვეთამდე (ყველაზე საშიში კვეთი) მანძილის განსაზღვრა

$$x = \left(\sqrt{\eta^2 + \eta} - \eta\right)\ell; \quad \eta = \frac{h'_{\text{საყრ}}}{\ell i}; \quad i = tg\alpha = \frac{1}{12}.$$

$h'_{\text{საყრ}}$ – საყრდენ კვეთში სარტყლების ცენტრებს შორის მანძილია

$$h'_{\text{საყრ}} = h_{\text{საყრ}} - h_{\text{სატყ}} = 100 - 15 = 85 \text{ სმ} = 0{,}85 \text{ მ.}$$

$$\eta = \frac{0{,}85}{12 \cdot 1/12} = 0{,}85,$$

$$x = \left(\sqrt{0{,}85^2 + 0.85} - 0{,}85\right)1200 = 485 \text{ სმ.}$$

მაშასადამე, ცელადი კვეთის კოჭში, ზედა სარტყლის დახრით $i = tg\alpha = 1/12$, მალით $\ell = 12$ მ. მთელ მალზე თანაბრად განაწილებული დატვირთვის მოქმედებისას, საშიში (საანგარიშო) კვეთი საყრდენიდან დაშორებულია 4,85 მ მანძილზე.

4. გარე დატვირთვისაგან კოჭში მოქმედი ძალვების განსაზღვრა

მღუნავი მომენტი $M_x$

$$M_x = \frac{q\ell}{2}\cdot x - qx\cdot\frac{x}{2} = \frac{q\ell x}{2}\left(1-\frac{x}{\ell}\right) = \frac{qx}{2}(\ell - x) = \frac{10{,}8\cdot 4{,}85}{2}(12-4{,}85) = 187{,}26 \text{ კნ·მ};$$

სარტყლების ცენტრებს შორის მანძილი საანგარიშო კვეთში

$$h'_x = h'_{საყ} + x\,tg\alpha = 85 + 485\cdot 0{,}0833 = 125{,}4 \text{ სმ}.$$

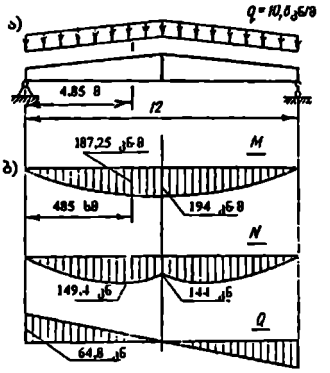
გრძივი $N_x$ გამჭიმავი ძალა

$$N_x = M_x / h'_x = 187{,}26/125{,}4 = 149{,}3 \text{ კნ}.$$

განივი $Q$ ძალა

$$Q = q\ell/2 = 10{,}8\cdot 12/2 = 64{,}8 \text{ კნ}.$$

ძალვათა ეპიურები მოცემულია ნახ. 4.46-ზე.




ნახ. 4.46. კოჭში საანგარიშო ძალვების განაწილება.
ა – საანგარიშო სქემა;
ბ – საანგარიშო ძალვების ($M$, $N$, $Q$) ეპიურები.

5. საანგარიშო კვეთში სიმტკიცის შემოწმება ნორმალური $\sigma$ ძაბვის მიხედვით.

ქვედა, გაჭიმული სარტყლის განივკვეთის საჭირო ფართობი

$$A_{საყ} = N_x / R_y = 149{,}3\cdot 10^3\cdot 10^4/9\cdot 10^6 = 165{,}9 \text{ სმ}^2.$$

საანგარიშო კვეთის მთლიანი სიმაღლე

$$h_x = h'_x + h_{სარტ.} = 125{,}4 + 15 = 140{,}4 \text{ სმ}.$$

დაყვანილი კვეთის ინერციის მომენტი

$$I_{xg} = I_{სხ}\cdot\frac{E_ხ}{E_ფ} + I_{ფან}; \quad E_ფ = 9000 \text{ მპა}; \quad E_{სხ} = 10000 \text{ მპა}.$$

$$I_{xg} = \left[15\cdot 3{,}4\cdot 4\left(\frac{125{,}4}{2}\right)^2 + 7\cdot 3{,}4\cdot 4\left(\frac{140{,}4-7}{2}\right)^2 + 7\cdot 3{,}4\cdot 4\left(\frac{110{,}4+7}{2}\right)^2\right]\cdot 1{,}1 +$$

$$+\frac{1{,}4\cdot 140.4^3}{12} = (801983{,}16 + 42353432 + 328029{,}68)1{,}1 + 322885{,}16 = 2031786 \text{ სმ}^4.$$

საანგარიშო დაყვანილი კვეთის წინაღობის მომენტი

$$W_{xg} = \frac{2I_{xg}}{h_x} = \frac{2\cdot 2031786}{140{,}4} = 28942 \text{ სმ}^3.$$

სიმტკიცის პირობა საანგარიშო კვეთში ნორმალური $\sigma$ ძაბვის მიხედვით

$$\sigma = \frac{M_x}{W_{xg}} = \frac{187{,}26\cdot 10^3\cdot 10^{-6}}{28942\cdot 10^{-6}} = 6{,}47 \text{ მპა} < R_y = 9{,}0 \text{ მპა}.$$

ნორმალური ძაბვის მიხედვით კვეთის სიმტკიცე უზრუნველყოფილია.

6. კოჭის კედლის სიმტკიცის შემოწმება მხები $\tau$ ძაბვის მიხედვით.

შემოწმება საჭიროა კოჭის საყრდენ კვეთში სადაც განივი ძალა მაქსიმალურია. მხები ძაბვა გამოითვლება ნეიტრალური ღერძის გასწვრივ.

$$\tau = \frac{QS_{ჯ}}{I_{ჯ} \cdot b_{ხარტ}} \le R_{ı.ჭრ}^{ფან}.$$

მაქსიმალური განივი ძალა $Q = 64.8$ კნ.

საყრდენი კეთის სიმაღლე $h_ს = 100$ სმ.

$S_{ჯ}$ – კეთის დაძრული ნაწილის ფართობის სტატიკური მომენტია ნეიტრალური ღერძის მიმართ;

$I_{ჯ}$ – იმავე ფართობის ინერციის მომენტი.

$$S_{ჯ} = [15 \cdot 3,4 \cdot 2(50 - 7,5) + 7 \cdot 3,4 \cdot 2(50 - 3,5) + 7 \cdot 3,4 \cdot 2(50 - 15 + 3,5)] \cdot 1,1 +$$

$$+ 1,4 \cdot 50 \cdot \frac{50}{2} = 10968 \text{ სმ}^3.$$

$$I_{ჯ} = \left[ 15 \cdot 3,4 \cdot 4\left(\frac{85}{2}\right)^2 + 7 \cdot 3,4 \cdot 4(50 - 3,5)^2 + 7 \cdot 3,4 \cdot 4(50 - 15 + 3,5)^2 \right] \cdot 1,1 +$$

$$+ 1,4 \cdot 100^3 \cdot \frac{1}{12} = 903641 \text{ სმ}^4.$$

ჩავსვათ მიღებული სიდიდეები $\tau$-ს ფორმულაში

$$\tau = \frac{64 \cdot 8 \cdot 10^3 \cdot 10968 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-6}}{903641 \cdot 1,4 \cdot 10^{-10}} = 5,6 \text{ მპა} < R_{ı.ჭრ}^{ფან} = 6.0 \text{ მპა}.$$

კოჭის ფანერის კედლის სიმტკიცე მხებ ძაბვაზე (ჭრაზე) უზრუნველყოფილია.

7. კოჭის ფანერის კედლის სიმტკიცის შემოწმება მთავარი გამჭიმავი ძაბვების მიხედვით.

ფანერის კედლის შემოწმება სიმტკიცის მიხედვით წარმოებს ფორმულით

$$\sigma_{mt} = \frac{\sigma_{კედ}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{კედ}}{2}\right)^2 + \tau_{კედ}^2} \le R_{ıα}^{ფან},$$

სადაც $R_{ıα}^{ფან}$ ფანერის საანგარიშო წინაღობაა გაჭიმვაზე $\alpha$ კუთხის მიმართულებით, აიღება [2]-ის მიხედვით;

$\sigma_{კედ}$ – კოჭის ღუნვისაგან ფანერის კედელში აღძრული ნორმალური ძაბვაა.

$$\sigma_{კედ} = \frac{M_x}{I_{xჯ}}\left(\frac{h_x}{2} - h_{ხარტ}\right) = \frac{187,26 \cdot 10^3 \cdot 10^{-6}}{2031786 \cdot 10^{-8}}\left(\frac{140.4}{2} - 15\right) \cdot 10^{-2} = 5,084 \text{ მპა}.$$

განივი ძალა საანგარიშო კეთში ($x = 485$ სმ)

$$Q_x = \frac{Q_{max}\left(\frac{ℓ}{2} - x\right)}{ℓ/2} = \frac{64,8(600 - 485)}{600} = 12,4 \text{ კნ}.$$

$$S_{xჯ} = 15 \cdot 3,4 \cdot 2(140,4/2 - 7,5) + 7 \cdot 3,4 \cdot 2(140,4/2 - 3,5) +$$

$$+ 7 \cdot 3,4 \cdot 2(140,4/2 - 15 + 3,5) + 0,9 \cdot 1,4 \cdot 15(140,4/2 - 7,5) = 13549 \text{ სმ}^3.$$

$$\tau_{კედ} = \frac{Q_x \cdot S_{xჯ}}{I_{xჯ} \cdot \delta_{ფ}} = \frac{12,4 \cdot 10^3 \cdot 13549 \cdot 10^{-6}}{2031786 \cdot 10^{-8} \cdot 1,4} \cdot 10^{-6} = 0,59 \text{ მპა}.$$

$$tg2\alpha = \frac{2\tau_{\text{კედ}}}{\sigma_{\text{კედ}}} = \frac{2\cdot 0{,}59}{5{,}084} = 0{,}232. \quad 2\alpha = 13^\circ; \quad \alpha = 6^\circ 30'.$$

შეიდფუნიოვანი ფანერისათვის, როდესაც $\alpha = 6^\circ 30'$, შესაბამისი $R_{ta}^{\text{ფან6}}$ საანგარიშო წინაღობა [2]-ის დანართ 5, ნახ. 17-ის გრაფიკის მიხედვით $R_{ta}^{\text{ფან6}} = 12{,}5$ მპა.

ამრიგად, მთავარი გამჭიმავი ძაბვის მიხედვით კოჭის კედლის სიმტკიცის პირობა

$$\sigma_{mt} = \frac{\sigma_{\text{კედ}}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\text{კედ}}}{2}\right)^2 + \tau_{\text{კედ}}^2} = \frac{5{,}084}{2} + \sqrt{\left(\frac{5{,}084}{2}\right)^2 + 0{,}59^2} = 2{,}54 + 2{,}61 = 5{,}15 \text{ მპა}.$$

$\sigma_{mt} = 5{,}15$ მპა$< R_{ta}^{\text{ფ}} = 12{,}5$ მპა. პირობა დაკმაყოფილებულია.

8. კოჭის კედლის მდგრადობის შემოწმება ნორმალური და მხები ძაბვების მოქმედებისას.

გაანგარიშება საჭიროა თუ კოჭის კედლის სუფთა სიმაღლის შეფარდება მის სისქესთან $h_{\text{კედ}}/\delta > 50$. ჩვენს შემთხვევაში ცვლადი კვეთის კოჭის შუაში ეს შეფარდება იქნება $(150-30)/1{,}4 = 86$, ხოლო საანგარიშო კვეთში – $(140{,}4-30)/1{,}4 = 70$.

კედლის მდგრადობა შესამოწმებელია, ფორმულით ([2], ფორ. (48)):

$$\frac{\sigma_{\text{კედ}}}{K_\sigma (100\delta_{\text{ფ}}/h_{\text{კედ}})^2} + \frac{\tau_{\text{კედ}}}{K_{\text{r}} (100\delta_{\text{ფ}}/h_{\text{საანგ}})^2} \le 1.$$

საანგარიშო კვეთში: $\sigma_{\text{კედ}} = 5{,}084$ მპა; $\tau_{\text{კედ}} = 0{,}59$ მპა; $h_{\text{კედ}} = 110{,}4$ სმ. $a_{\text{ჯან}} = 150$ სმ, $\gamma = a_{\text{ჯან}}/h_{\text{კედ}} = 150/110{,}4 \approx 1{,}35$.

ხის კონსტრუქციების ნორმებსა და წესებში [2] დანართი 5-ის მე-18 და მე-19 ცხრილიდან $K_\sigma = 18$ მპა, $K_{\text{r}} = 3{,}2$ მპა. საბოლოოდ გვექნება

$$\frac{5{,}084}{18(100\cdot 1{,}4/110{,}4)^2} + \frac{0{,}59}{3{,}2(100\cdot 1{,}4/110{,}4)^2} = 0{,}176 + 0{,}115 = 0{,}29 < 1{,}0.$$

კოჭის ფანერის კედლის მდგრადობა უზრუნველყოფილია.

9. მალის შუაში კოჭის ჩაღუნვის განსაზღვრა.

ხის დაწებებული, ცვლადი კვეთის კოჭის მალის შუაში ჩაღუნვა განისაზღვრება ფორმულით

$$f = (f_0/K)[1 + c(h/\ell)^2].$$

აქ $f_0$ კოჭის ჩაღუნვაა ძერის დეფორმაციის გაუთვალისწინებლად, დამოკიდებული მხოლოდ კოჭის საანგარიშო სქემაზე;

$K$ – კოეფიციენტი ითვალისწინებს კვეთის ცვლას კოჭის მალის გასწვრივ.

ხის ფიცრებითა და ფანერით დაწებებული კონსტრუქციების სიხისტე ნორმების მიხედვით უდრის $0{,}7E_{\text{ხ.პ}}I_{\text{ხ.პ}}$, ხოლო კოჭის კვეთის ცვლის გამთვალისწინებელი კოეფიციენტი $K$ და განივი ძალისაგან გამოწვეული ძერის გამთვალისწინებელი კოეფიციენტი $C$ ([2]. დანართი 4, ცხრილი 3) გამოითვლება შემდეგნაირად:

$$K = 0{,}4 + 0{,}6\beta; \quad \beta = \frac{h_{\text{საყრ}}}{h_{\text{ჯან}}} = \frac{100}{150} = 0{,}67; \quad c = (45{,}3 - 6{,}9\beta)\gamma.$$

$\gamma$ – სარტყლების განიეკეეთის ფართობის შეფარდება კოჭის კედლის განიეკეეთის ფართობთან.

გამოსახულებებში შემავალი წევრების შესაბამისი სიდიდეების გამოთვლითა და შემდგომ გათვალისწინებით მივიღებთ

$$\gamma = \frac{2A_{\text{ს.ტ}}}{A_{\text{კედ}}} = \frac{2\cdot 197.2}{(150-15)1,4} = 2,08\,; \quad K = 0,4 + 0.6\cdot 0,67 = 0,8\,,$$

$$c = (45,3 - 6,9\cdot 0,67)\cdot 2,08 = 84,6\,.$$

ჩაღუნება, ორ საყრდენზე თავისუფლად დაყრდნობილ კოჭში, როდესაც დატვირთვა თანაბრადაა განაწილებული მთელი მალის გასწერივ

$$f_0 = \frac{5}{384}\frac{q_n \ell^4}{0,7E_{\text{ბ}}I_{\text{დაყ}h/2}}\,.$$

აქ $I_{\text{დაყ}h/2}$ არის კოჭის შუა, მაქსიმალური სიმაღლის კვეთის დაყვანილი ინერციის მომენტი ნეიტრალური ღერძის მიმართ. განვსაზღვროთ საანგარიშო კვეთში გამოთვლილის ანალოგიურად.

$$I_{\text{დაყ}h/2} = I_{\text{ბის}}\frac{E_{\text{ბ}}}{E_{\text{ფ}}} + I_{\text{ფან}} = \left[15\cdot 3,4\cdot 4\left(\frac{150-15}{2}\right)^2 + 7\cdot 3,4\cdot 4\left(\frac{150-7}{2}\right)^2 +\right.$$

$$\left. + 7\cdot 3,4\cdot 4\left(\frac{150}{2} - 15 + \frac{7}{2}\right)^2\right]\cdot 1,1 + \frac{1,4\cdot 150^3}{12} = (929475 + 486686.2 + 383870.2)\cdot 1,1 +$$

$$+ 393750 = 1800031,4\cdot 1,1 + 393750 = 2373784,5 \text{ სმ}^4.$$

ჩავსვათ $f_0$-ის გამოსახულებაში შესაბამისი სიდიდეები

$$f_0 = \frac{5}{384}\frac{8,5\cdot 10^3\cdot 12^4}{0,7\cdot 10000\cdot 10^6\cdot 2373784.5\cdot 10^{-8}} = 0,0138 \text{ მ} = 1,38 \text{ სმ}.$$

საბოლოოდ ჩაღუნება

$$f = \frac{1,38}{0,8}\left[1 + 84,6\left(\frac{1,5}{12}\right)^2\right] = 4,0 \text{ სმ} < \frac{\ell}{200} = \frac{1200}{200} = 6.0 \text{ სმ}.$$

კოჭის დამზადებისას სასურველია სამშენებლო აწევა $\ell/300 = 1200/300 = 4$ სმ.

## ლიტერატურა თავი 4-სათვის


1. თ. ხმელიძე. ხისა და პლასტმასის სამშენებლო კონსტრუქციები. თბილისი. 2008.
2. Строительные нормы и правила. Нормы проектирования. Деревянные конструкции (СНиП II-25-80). Москва. 1983.
3. Пособие по проектированию деревянных конструкции (к СНиП II-25-80). М.: 1986.
4. Сетков В.И., Сербин Е.П. Строительные конструкции, расчет и конструирование. М.: «Инфра-М», 2007.
5. Иванов-Дятлов И.Г., Деллос К.П., Иванов-Дятлов А.И. и др. Строительные конструкции (учебник для вузов). М.: Высшая школа, 1986.
6. Берлинов М.В., Ягупов Б.А. Строительные конструкции. М.: Агропромиздат, 1990.
7. Строительные нормы и правила. Нагрузки и воздействия (СНиП 2.01.07-85). М.: 1987.
8. თ. ხმელიძე. ხის კონსტრუქციები. „ტექნიკური უნივერსიტეტი“. თბილისი. 2015.

დანართი 2.1.1

## ძირითადი ასოითი აღნიშვნები

### ძალები გარე დატვირთვებისა და ზემოქმედებისაგან ელემენტის განივკვეთში

$M$ – მღუნაიი მომენტი;
$N$ – გრძივი ძალა;
$Q$ – განივი ძალა;
$T$ – მგრეხი მომენტი

### წინასწარ დაძაბული ელემენტის მახასიათებლები

$P$ – წინასწარი მოკუმშვის ძალა, ელემენტის მუშაობის განსახილველი სტადიის შესაბამისი წინასწარი ძაბვების კარგვის გათვალისწინებით;
$\sigma_{sp}$, $\sigma'_{sp}$ – წინასწარი ძაბვები $S$ და $S'$ დაძაბულ არმატურაში შესაბამისად, ბეტონის მოკუმშვამდე (საბჯენებზე არმატურის დაჭიმვისას) ან ბეტონის წინასწარი ძაბვების ჩაქრობის დროს ელემენტზე გარე ფაქტორიეი ან პირობითი ძალების ზემოქმედებით. განისაზღვრება ელემენტის მუშაობის განსახილველი სტადიის შესაბამისი წინასწარი ძაბვების კარგვის გათვალისწინებით არმატურაში;
$\sigma_{bp}$ – ბეტონის მკუმშავი ძაბვები წინასწარი მოკუმშვის სტადიაზე. განისაზღერება ელემენტის მუშაობის განსახილველი სტადიის შესაბამისი არმატურის წინასწარი ძაბვების კარგვის გათვალისწინებით;
$\gamma_{sp}$ – არმატურის დაჭიმვის სიზუსტის კოეფიციენტი.

### მასალების მახასიათებლები

$R_b$, $R_{b,ser}$ – ბეტონის საანგარიშო წინაღობა ღერძულ კუმშვაზე შესაბამისად პირველი და მეორე ჯგუფის ზღერული მდგომარეობისათვის;
$R_{bt}$, $R_{bt,ser}$ – ბეტონის საანგარიშო წინაღობა ღერძულ გაჭიმვაზე შესაბამისად პირველი და მეორე ჯგუფის ზღერული მდგომარეობისათვის:
$R_{b,loc}$ – ბეტონის საანგარიშო წინაღობა თელვაზე;
$R_{bp}$ – ბეტონის სიმტკიცე მომკუმშავი ძალის გადაცემის დროს;
$R_s$, $R_{s,ser}$ – არმატურის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე შესაბამისად პირველი და მეორე ჯგუფის ზღერული მდგომარეობისათვის;
$R_{sw}$ – განივი არმატურის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე;
$R_{sc}$ – არმატურის საანგარიშო წინაღობა კუმშვაზე პირველი ჯგუფის ზღერული მდგომარეობისათვის;
$E_b$ – ბეტონის საწყისი დრეკადობის მოდული კუმშვისა და გაჭიმვისას;
$E_s$ – არმატურის დრეკადობის მოდული.

### გრძივი არმატურის მდებარეობის მახასიათებლები ელემენტის განივკვეთში

$S$ – გრძივი არმატურის აღნიშვნა, რომელიც მდებარეობს:
ა) იმ კვეთების გაჭიმულ ზონაში, რომელთაც გააჩნიათ გარე დატვირთვისაგან შეკუმშული და გაჭიმული ზონა;

ბ) გარე დატვირთვით მთლიანად შეკუმშული კვეთის ნაკლებ შეკუმშულ წახნაგთან;

გ) გარე დატვირთვის მოქმედებით მთლიანად გაჭიმულ კვეთში; გარეცენტრულად გაჭიმული ელემენტების კვეთის მეტად გაჭიმულ წახნაგთან;

ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების მთელ განივკვეთში.

$S$ – გრძივი არმატურის აღნიშვნა, რომელიც მდებარეობს:

ა) შეკუმშულ ზონაში, როდესაც გარე დატვირთვის მოქმედებით კვეთს გააჩნია შეკუმშული და გაჭიმული ზონა;

ბ) გარე დატვირთვით მთლიანად შეკუმშული კვეთის უფრო შეკუმშულ წახნაგთან;

გ) კვეთის ნაკლებდაძაბულ გაჭიმულ წახნაგთან, როდესაც გარეცენტრულად გაჭიმული ელემენტის მთელი კვეთი გაჭიმულია.

## გეომეტრიული მახასიათებლები

$b$ – მართკუთხა კვეთის სიგანე; ტესებრი და ორტესებრი კვეთის წიბოს სიგანე;

$b_f, b'_f$ – ტესებრი და ორტესებრი კვეთის გაჭიმულ და შეკუმშულ ზონაში მდებარე თაროს სიგანე;

$h$ – კვეთის სიმაღლე;

$h_f, h'_f$ – ტესებრი და ორტესებრი კვეთის გაჭიმულ და შეკუმშულ ზონაში მდებარე თაროს სიმაღლე;

$a, a'$ – შესაბამისად $S$ და $S'$ არმატურის ძალვების ტოლქმედის დაშორება მათი უახლოესი წახნაგიდან;

$h_0, h'_0$ – კვეთის მუშა სიმაღლე, რომელიც შესაბამისად ტოლია $h-a$ და $h-a'$;

– ბეტონის შეკუმშული ზონის სიმაღლე;

$\xi$ – ბეტონის შეკუმშული ზონის ფარდობითი სიმაღლე, ტოლი $\frac{x}{h_0}$;

– საკიდებს შორის მანძილი, რომელიც იზომება ელემენტის გრძივად;

– გრძივი $N$ ძალის ექსცენტრისიტეტი დაყვანილი კვეთის სიმძიმის ცენტრის მიმართ;

$e_{op}$ – წინასწარი $P$ მომკუმშავი ძალვის ექსცენტრისიტეტი დაყვანილი კვეთის სიმძიმის ცენტრის მიმართ;

– $N$ გრძივი ძალისა და $P$ წინასწარი მომკუმშავი ძალის ტოლქმედის ექსცენტრისიტეტი დაყვანილი კვეთის სიმძიმის ცენტრის მიმართ;

$e, e'$ – მანძილები $N$ გრძივი ძალიდან შესაბამისად $S$ და $S'$ არმატურის ძალვების ტოლქმედებამდე;

$e_s, e_{sp}$ – მანძილები შესაბამისად $N$ გრძივი ძალისა და $P$ წინასწარი მომკუმშავი ძალვის მოდების წერტილიდან $S$ არმატურის განივკვეთის ფართობის სიმძიმის ცენტრამდე;

$l$ – ელემენტის მალი;

$l_0$ – საანგარიშო სიგრძე ელემენტისა, რომელიც განიცდის მკუმშავი გრძივი ძალის მოქმედებას;

– ელემენტის განივკვეთის ინერციის რადიუსი ელემენტის კვეთის ცენტრალური ღერძის მიმართ;

$d$ – საარმატურე ფოლადის ღეროების ნომინალური დიამეტრი;

$A_s, A'_s$ – შესაბამისად $S$ და $S'$ არმატურის (დაუძაბავის, ან დაუძაბავი და დაძაბულის) კვეთის ფართობები;

$A_{sp}$, $A'_{sp}$ – დაძაბული $S$ და $S'$ არმატურის კვეთის ფართობები;

$A_{sw}$ – დახრილ კვეთზე გამავალი, ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმალურ ერთ სიბრტყეში მდებარე საკიდების კვეთის ფართობი;

$A_{s,inc}$ – დახრილ კვეთზე გამავალი, ელემენტის გრძივი ღერძისადმი დახრილ ერთ სიბრტყეში მდებარე აღუნული ღეროების კვეთის ფართობი;

$\mu$ – დაარმატურების კოეფიციენტი. იგი განისაზღვრება, როგორც $S$ არმატურის განივკვეთის ფართობის შეფარდება ელემენტის განივკვეთის ფართობთან (გაჭიმული და შეკუმშული ოაროების შეერილების გაუთვალისწინებლად);

$A$ – ელემენტის განივკვეთის მთელი ბეტონის ფართობი;

$A_b$ – ბეტონის შეკუმშული ზონის კვეთის ფართობი;

$A_{bt}$ – ბეტონის გაჭიმული ზონის კვეთის ფართობი;

$A_{red}$ – ელემენტის დაყვანილი კვეთის ფართობი;

$A_{loc\,1}$ – ბეტონის თელვის ფართობი;

$S_{b0}$, $S'_{b0}$ – შესაბამისად გაჭიმული და შეკუმშული ზონის ბეტონის კვეთის ფართობის სტატიკური მომენტი ნულოვანი ხაზის მიმართ;

$S_{s0}$, $S'_{s0}$ – შესაბამისად $S$ და $S'$ არმატურის კვეთის ფართობების სტატიკური მო-მენტი ნულოვანი ხაზის მიმართ;

$I$ – ბეტონის კვეთის ინერციის მომენტი ელემენტის კვეთის ცენტრალური ღერძის მიმართ;

$I_{red}$ – ელემენტის დაყვანილი კვეთის ინერციის მომენტი მის სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ღერძის მიმართ;

$I_s$ – არმატურის კვეთის ფართობის ინერციის მომენტი ელემენტის კვეთის ცენტრალური ღერძის მიმართ;

$I_{b0}$ – შეკუმშული ზონის ბეტონის კვეთის ფართობის ინერციის მომენტი ნულოვანი ხაზის მიმართ;

$I_{s0}$, $I'_{s0}$ – ინერციის მომენტები შესაბამისად $S$ და $S'$ არმატურის კვეთის ფართო-ბებისა ნულოვანი ხაზის მიმართ;

$W_{red}$ – ელემენტის დაყვანილი კვეთის წინაღობის მომენტი გაჭიმული კიდურა ბოჭკოსათვის (განისაზღვრება როგორც დრეკადი მასალისათვის).

ცხრილი 2.12

| წინაღობის სახეობა | ბეტონი | ბეტონის ნორმატიული წინაღობები $R_{bn}$ და $R_{bt,n}$; ბეტონის წინაღობები $R_{b,ser}$ და $R_{bt,ser}$ მუორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისას შემდეგი კლასებისათვის სიმტკიცის მიხედვით კუმშვაზე | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | B1 | B1,5 | B2 | B2,5 | B3,5 | B5 | B7,5 | B10 | B12,5 | B15 | B20 | B25 | B30 | B35 | B40 | B45 | B50 | B55 | B60 |
| $R_{bn}$ და $R_{b,ser}$ ღერძული კუმშვა | მსხვილ და წვრილმარცვლოვანი | – | – | – | – | 2,7 | 3,5 | 5,5 | 7,5 | 9,5 | 11,0 | 15,0 | 18,5 | 22,0 | 25,5 | 29,0 | 32,0 | 36,0 | 39,5 | 43,0 |
| | მსუბუქი | – | – | – | 0,19 | 2,7 | 3,5 | 5,5 | 7,5 | 9,5 | 11,0 | 15,0 | 18,5 | 22,0 | 25,5 | 29,0 | – | – | – | – |
| $R_{bt,n}$ და $R_{bt,ser}$ ღერძული გაჭიმვა | მსხვილ | – | – | – | – | 0,39 | 0,55 | 0,7 | 0,85 | 1,00 | 1,15 | 1,40 | 1,60 | 1,80 | 1,95 | 2,10 | 2,20 | 2,30 | 2,40 | 2,50 |
| | წვრილმარცვლოვანი: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | A ჯგუფის | – | – | – | – | 0,39 | 0,55 | 0,70 | 0,85 | 1,00 | 1,15 | 1,40 | 1,60 | 1,80 | 1,95 | 2,10 | – | – | – | – |
| | Б ჯგუფის | – | – | – | | 0,26 | 0,40 | 0,60 | 0,70 | 0,85 | 0,95 | 1,15 | 1,35 | 1,5 | – | – | – | – | – | – |
| | В ჯგუფის | – | – | – | – | – | – | – | – | – | 1,15 | 1,40 | 1,60 | 1,80 | 1,95 | 2,10 | 2,20 | 2,30 | 2,40 | 2,50 |
| | მსუბუქი: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | მკვრივი წვრილი შემვსებით | – | – | – | 0,29 | 0,39 | 0,55 | 0,70 | 0,85 | 1,00 | 1,15 | 1,40 | 1,60 | 1,80 | 1,95 | 2,10 | – | – | – | – |
| | ფოროვანი წვრილი შემვსებით | – | – | – | 0,29 | 0,39 | 0,55 | 0,70 | 0,85 | 1,00 | 1,10 | 1,20 | 1,35 | 1,50 | 1,65 | 1,80 | – | – | – | – |

დანართი 2.13

## ბეტონის საანგარიშო წინაღობები $R_b$ და $R_{bt}$, კლასების მიხედვით

| წინაღობის სახეობა | ბეტონი | ბეტონის კლასი კუმშვის მიხედვით | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | B3,5 | B5 | B7,5 | B10 | B12,5 | B15 | B20 | B25 | B30 | B35 | B40 | B45 | B50 | B55 | B60 |
| ღერძული კუმშვა (პრიზმული სიმტკიცე) $R_b$ | მძიმე და წერილ-მარცვლოვანი | 2,1 | 2,80 | 4,50 | 6,00 | 7,50 | 8,50 | 11,5 | 14,5 | 17.0 | 19,5 | 22,0 | 25,0 | 27,5 | 30 | 33 |
| | მსუბუქი | 2,1 | 2,80 | 4,50 | 6,00 | 7,50 | 8,50 | 11,5 | 14,5 | 17,0 | 19,5 | 22,0 | – | – | – | – |
| | უჯრედოვანი | 2,2 | 3,10 | 4,50 | 6,00 | 7,00 | 7,70 | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| ღერძული გაჭიმვა $R_{bt}$ | მძიმე წერილმარცვლოვანი ჯგუფების: | 0,260 | 0,370 | 0,480 | 0,570 | 0,660 | 0,75 | 0,90 | 1,05 | 1,20 | 1,30 | 1,40 | 1,45 | 1.55 | 1,60 | 1,65 |
| | ა. | 0,260 | 0,370 | 0,480 | 0,570 | 0,660 | 0,75 | 0,90 | 1.05 | 1,20 | 1,30 | 1.40 | – | – | – | – |
| | ბ. | 0,170 | 0,270 | 0,40 | 0,45 | 0,57 | 0.64 | 0,77 | 0,90 | 1,00 | – | – | – | – | – | – |
| | გ. | – | – | – | – | – | 0.75 | 0,90 | 1,05 | 1,20 | 1,30 | 1,40 | 1,45 | 1.55 | 1,60 | 1,65 |
| | მსუბუქი წვრილი შემსებით: | | | | | | | | | | | | | | | |
| | მჭიდრო | 0,260 | 0,370 | 0,480 | 0,570 | 0,660 | 0,75 | 0,90 | 1,05 | 1,20 | 1,30 | 1,40 | – | – | – | – |
| | ფოროვანი | 0,260 | 0,370 | 0,480 | 0,570 | 0,660 | 0,74 | 0,80 | 0,90 | 1,00 | 1,10 | 1,20 | – | – | – | – |
| | უჯრედოვანი | 0,180 | 0,240 | 0,28 | 0.39 | 0,44 | 0,46 | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| საწყისი დრეკადობის მოდული $E_b$ მგპა | მძიმე ბეტონი ბუნებრივი გამყარების | $9,5\cdot10^3$ | $13\cdot10^3$ | $16\cdot10^3$ | $18\cdot10^3$ | $21\cdot10^3$ | $23\cdot10^3$ | $27\cdot10^3$ | $30\cdot10^3$ | $32,5\cdot10^3$ | $34\cdot10^3$ | $36\cdot10^3$ | $37,5\cdot10^3$ | $39\cdot10^3$ | $39,5\cdot10^3$ | $40\cdot10^3$ |

## არმატურის ნორმატიული და საანგარიშო წინაღობები, დრეკადობის მოდული, მგპა.

| არმატურის კლასი | დიამეტრი $d$ მმ | ნორმატიული $R_{sn}$ და საანგარიშო წინაღობა $R_{s,ser}$ მეორე ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშებისას | საანგარიშო წინაღობა პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისათვის | | | დრეკადობის მოდული $E_s$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | გაჭიმვა | | კუმშვა $R_{sc}$ | |
| | | | გრძივი. განივი, დახრილი კვეთის $M$ მომენტზე გაანგარიშებისას $R_s$ | განივი, დახრილი კვეთის $Q$ განივ ძალაზე გაანგარიშებისას $R_{sw}$ | | |
| ღეროვანი | | | | | | |
| A-I | 6...22 | 235 | 225 | 175 | 225 | $2{,}1\cdot10^5$ |
| A-II | 10...32 | 295 | 280 | 225 | 280 | $2{,}1\ 10^5$ |
| A-III | 6...8 | 390 | 355 | 285* | 355 | $2\ 10^5$ |
| A-III | 10...40 | 390 | 365 | 290* | 365 | $2\ 10^5$ |
| $A\text{-}III_B$ კონტროლით: წაგრძელებაზე | 20...40 | 540 | 490 | 390 | 200 | $1{,}8\cdot10^5$ |
| ძაბვასა და წაგრძელებაზე | 20...40 | 540 | 450 | 360 | 200 | $1{,}8\ 10^5$ |
| A-IV | 10...32 | 590 | 510 | 405 | 400 | $1.9\cdot10^5$ |
| A-V | 10...32 | 785 | 680 | 545 | 400 | $1{,}9\cdot10^5$ |
| A-VI | 10...32 | 980 | 815 | 650 | 400 | $1{,}9\ 10^5$ |
| მავთულოვანი | | | | | | |
| $B_p$-I | 3 | 410 | 375 | 270(300**) | 375 | $1{,}7\cdot10^5$ |
| | 4 | 405 | 365 | 265(296**) | 365 | $1{,}7\cdot10^5$ |
| | 5 | 395 | 360 | 260(290**) | 360 | $1{,}7\cdot10^5$ |
| B-II | 3 | 1490 | 1240 | 990 | 400 | $2\cdot10^5$ |
| | 4 | 1410 | 1180 | 940 | 400 | $2\cdot10^5$ |
| | 5 | 1335 | 1110 | 890 | 400 | $2\cdot10^5$ |
| | 6 | 1255 | 1050 | 835 | 400 | $2\ 10^5$ |
| | 7 | 1175 | 980 | 785 | 400 | $2\cdot10^5$ |
| | 8 | 1100 | 915 | 730 | 400 | $2\cdot10^5$ |
| $B_p$-II | 3 | 1460 | 1215 | 970 | 400 | $2\cdot10^5$ |
| | 4 | 1370 | 1145 | 915 | 400 | $2\cdot10^5$ |
| | 5 | 1250 | 1045 | 835 | 400 | $2\cdot10^5$ |
| | 6 | 1175 | 980 | 785 | 400 | $2\ 10^5$ |
| | 7 | 1100 | 915 | 730 | 400 | $2\cdot10^5$ |
| | 8 | 1020 | 850 | 680 | 400 | $2\cdot10^5$ |
| ბაგირები | | | | | | |
| K-7 | 6 | 1450 | 1210 | 965 | 400 | $1{,}8\cdot10^5$ |
| | 9 | 1370 | 1145 | 915 | 400 | $1{,}5\cdot10^5$ |
| | 12 | 1335 | 1110 | 890 | 400 | $1{,}5\cdot10^5$ |
| | 15 | 1295 | 1080 | 865 | 400 | $1{,}5\cdot10^5$ |
| K-19 | 14 | 1410 | 1175 | 940 | 400 | $1{,}5\cdot10^5$ |

* – შედუღებულ კარკასებში A-III კლასის არმატურის ცალუღებისათვის, რომელთა დიამეტრი ნაკლებია გრძივი არმატურის დიამეტრის 1/3-ზე, $R_{sw}$=255 მგპა.

** – არმატურის ხელით შეკრულ კარკასებში გამოყენებისას.

დანართი 2.1.5

ξ, η და $A_0$ კოეფიციენტების ცხრილი რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტების სიმტკიცეზე გასაანგარიშებლად

| $\xi=x/h_0$ | $\eta=z_b/h_0$ | $A_0$ | $\xi=x/h_0$ | $\eta=z_b/h_0$ | $A_0$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0,01 | 0,995 | 0,01 | 0,36 | 0,82 | 0,295 |
| 0,02 | 0,99 | 0,02 | 0,37 | 0,815 | 0,301 |
| 0,03 | 0,985 | 0,03 | 0,38 | 0,81 | 0,309 |
| 0,04 | 0,98 | 0,039 | 0,39 | 0,805 | 0,314 |
| 0,05 | 0,975 | 0,048 | 0,4 | 0,8 | 0,32 |
| 0,06 | 0,97 | 0,058 | 0,41 | 0,795 | 0,326 |
| 0,07 | 0,965 | 0,067 | 0,42 | 0,79 | 0,332 |
| 0,08 | 0,96 | 0,077 | 0,43 | 0,785 | 0,337 |
| 0,09 | 0,955 | 0,085 | 0,44 | 0,78 | 0,343 |
| 0,1 | 0,95 | 0,095 | 0,45 | 0,775 | 0,349 |
| 0,11 | 0,945 | 0.104 | 0,46 | 0,77 | 0,354 |
| 0,12 | 0,94 | 0.118 | 0,47 | 0,765 | 0,359 |
| 0,13 | 0,935 | 0,121 | 0.48 | 0,76 | 0,365 |
| 0,14 | 0,93 | 0,13 | 0,49 | 0,755 | 0,37 |
| 0,15 | 0.925 | 0,139 | 0,5 | 0,75 | 0,375 |
| 0,16 | 0,92 | 0,147 | 0,51 | 0,745 | 0.38 |
| 0,17 | 0.915 | 0,155 | 0,52 | 0.74 | 0,385 |
| 0,18 | 0,91 | 0,164 | 0,53 | 0,735 | 0,39 |
| 0,19 | 0.905 | 0,172 | 0,54 | 0,73 | 0,394 |
| 0,2 | 0,9 | 0,18 | 0,55 | 0,725 | 0,399 |
| 0,21 | 0,895 | 0,188 | 0,56 | 0,72 | 0,403 |
| 0,22 | 0,89 | 0,196 | 0,57 | 0,715 | 0,408 |
| 0,23 | 0,885 | 0,203 | 0,58 | 0,71 | 0,412 |
| 0,24 | 0,88 | 0,211 | 0,59 | 0,705 | 0,416 |
| 0,25 | 0,875 | 0,219 | 0,6 | 0,7 | 0,42 |
| 0,26 | 0,87 | 0,226 | 0,61 | 0.695 | 0,424 |
| 0,27 | 0,865 | 0,236 | 0,62 | 0.69 | 0,428 |
| 0,28 | 0,86 | 0,241 | 0,63 | 0,685 | 0,432 |
| 0,29 | 0,855 | 0,248 | 0,64 | 0,68 | 0,435 |
| 0,3 | 0,85 | 0,255 | 0,65 | 0,675 | 0,439 |
| 0,31 | 0,845 | 0,262 | 0,66 | 0,67 | 0,442 |
| 0,32 | 0,84 | 0,269 | 0,67 | 0,665 | 0,446 |
| 0,33 | 0,835 | 0,275 | 0,68 | 0,66 | 0,449 |
| 0,34 | 0,83 | 0,282 | 0,69 | 0,655 | 0,452 |
| 0,35 | 0,825 | 0,289 | 0,7 | 0,65 | 0,455 |

დანართი 2.1.6

| დიამეტრი მმ-ში | არმატურის განივკვეთის ფართობი As სმ²-ში<br>არმატურის ღეროების რაოდენობის მიხედვით კიდის მინიმალური სიგანე *b* | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 გრძ.მ-ის წონა | დიამეტრი მმ-ში |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | | 9 | | 10 | | | |
| | As | As | b | As | b | As | b | As | b | As | b | As | b | As | b | As | b | As | | |
| 3 | 0.071 | 0.14 | – | 0.21 | – | 0.28 | – | 0.35 | – | 0.42 | – | 0.49 | – | 0.56 | – | 0.64 | – | 0.71 | 0.055 | 3 |
| 3.5 | 0.096 | 0.19 | | 0.29 | – | 0.38 | – | 0.48 | | 0.58 | | 0.67 | – | 0.77 | | 0.86 | | 0.96 | 0.075 | 3.5 |
| 4 | 0.130 | 0.25 | | 0.38 | – | 0.51 | – | 0.63 | – | 0.75 | | 0.88 | | 1.01 | – | 1.13 | | 1.26 | 0.099 | 4 |
| 4.5 | 0.159 | 0.32 | | 0.48 | | 0.64 | – | 0.80 | – | 0.95 | | 1.11 | | 1,27 | – | 1.43 | – | 1.59 | 0.125 | 4.5 |
| 5 | 0.200 | 0.39 | | 0.59 | | 0.79 | – | 0.98 | | 1.18 | – | 1.38 | – | 1.57 | | 1.77 | – | 1.96 | 0.155 | 5 |
| 5.5 | 0.238 | 0.48 | – | 0.71 | | 0.95 | – | 1.19 | – | 1.43 | | 1.66 | – | 1.90 | – | 2.14 | – | 2.38 | 0.188 | 5.5 |
| 6 | 0.28 | 0.57 | | 0.85 | | 1.13 | | 1.41 | – | 1.70 | | 1.98 | – | 2.26 | – | 2.54 | | 2.83 | 0.222 | 6 |
| 8 | 0.50 | 1.01 | – | 1.51 | – | 2.01 | – | 2.51 | – | 3.01 | – | 3.51 | – | 4.02 | – | 4.52 | – | 5.03 | 0.395 | 8 |
| 10 | 0.79 | 1.57 | 13 | 2.36 | 17 | 3.14 | 20 | 3.93 | 24 | 4.71 | 27 | 5.50 | 31 | 6.28 | 34 | 7.07 | 38 | 7.85 | 0.620 | 10 |
| 12 | 1.13 | 2.26 | 14 | 3.39 | 18 | 4.52 | 21 | 5.65 | 25 | 6.79 | 29 | 7.92 | 33 | 9.05 | 36 | 10.18 | 40 | 11.31 | 0.890 | 12 |
| 14 | 1.54 | 3.08 | 15 | 4.62 | 19 | 6.16 | 22 | 7.70 | 26 | 9.24 | 30 | 10.78 | 34 | 12.31 | 38 | 13.85 | 42 | 15.39 | 1.210 | 14 |
| 16 | 2.01 | 4.02 | 15 | 6.03 | 19 | 8.04 | 23 | 10.05 | 28 | 12.06 | 32 | 14.07 | 36 | 16.08 | 40 | 18.10 | 44 | 20.11 | 1.580 | 16 |
| 18 | 2.54 | 5.09 | 16 | 7.63 | 20 | 10.18 | 24 | 12.72 | 29 | 15.27 | 33 | 17.81 | 37 | 20.36 | 42 | 22.90 | 46 | 25.45 | 2.000 | 18 |
| 20 | 3.14 | 6.28 | 16 | 9.43 | 21 | 12.57 | 25 | 15.71 | 30 | 18.85 | 34 | 21.99 | 39 | 25.13 | 43 | 28.27 | 48 | 31.42 | 2.470 | 20 |
| 22 | 3.80 | 7.60 | 17 | 11.40 | 22 | 15.21 | 26 | 19.01 | 31 | 22.81 | 36 | 26.61 | 41 | 30.41 | 45 | 34.21 | 50 | 38.01 | 2.980 | 22 |
| 24 | 4.52 | 9.05 | 18 | 13.67 | 23 | 18.10 | 27 | 22.62 | 32 | 27.14 | 37 | 31.67 | 42 | 36.19 | 47 | 40.71 | 52 | 45.24 | 3.550 | 24 |
| 25 | 4.91 | 9.82 | 18 | 14.73 | 23 | 19.64 | 28 | 24.54 | 33 | 29.44 | 38 | 34.36 | 43 | 39.27 | 48 | 44.18 | 53 | 49.09 | 3.850 | 25 |
| 28 | 6.16 | 12.32 | 19 | 18.47 | 25 | 24.63 | 31 | 30.79 | 36 | 36.95 | 42 | 43.10 | 47 | 49.26 | 53 | 55.42 | 59 | 61.58 | 4.830 | 28 |
| 30 | 7.07 | 14.14 | 20 | 21.21 | 26 | 28.27 | 32 | 35.34 | 38 | 42.41 | 44 | 49.48 | 50 | 56.55 | 56 | 63.62 | 62 | 70.68 | 5.550 | 30 |
| 32 | 8.04 | 16.09 | 21 | 24.13 | 28 | 32.17 | 34 | 40.21 | 41 | 48.26 | 47 | 56.30 | 53 | 64.34 | 60 | 72.38 | 66 | 80.43 | 6.310 | 32 |
| 36 | 10.18 | 20.36 | 23 | 30.54 | 31 | 40.72 | 38 | 50.89 | 45 | 61.07 | 52 | 71.25 | 59 | 81.43 | 67 | 91.61 | 74 | 101.79 | 7.990 | 36 |
| 40 | 12.57 | 25.13 | 25 | 37.70 | 33 | 50.27 | 41 | 62.83 | 49 | 75.40 | 57 | 87.96 | 65 | 100.53 | 73 | 113.10 | 81 | 125.41 | 9.870 | 40 |

დანართი 2.1.7

| წინაღობის სახეობა | ბეტონი | საანგარიშო წინაღობა ღერძულ გაჭიმვაზე პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისათვის, როდესაც ბეტონის კლასი სიმტკიცის მიხედვით გაჭიმვაზე არის: | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $B_t$ 0,8 | $B_t$ 1,2 | $B_t$ 1,6 | $B_t$ 2,0 | $B_t$ 2,4 | $B_t$ 2,8 | $B_t$ 3,2 |
| ღერძული გაჭიმვა $R_{bt}$ | მძიმე, დამძაბავი, წერილმარცვლოვანი და მსუბუქი | 0,62 | 0,93 | 1,25 | 1,55 | 1,85 | 2,15 | 2,45 |

დანართი 2.1.8

| № | ფაქტორები, რომლებიც განსაზღვრავენ ბეტონის მუშაობის პირობების კოეფიციენტების გამოყენებას | მუშაობის პირობების კოეფიციენტი | |
|---|---|---|---|
| | | პირობითი აღნიშვნა | რიცხვითი მნიშვნელობა |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. | მრავალჯერგანმეორებადი დატვირთვა | $\gamma_{b1}$ | იხ. ცხრ. 16 СНиП 2.03.01-84 |
| 2. | დატვირთვის მოქმედების ხანგრძლივობა: | | |
| | ა) მუდმივი, ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვის გათვალისწინებით, გარდა არახანგრძლივ მოქმედი დატვირთვებისა, რომელთა მოქმედების სრული ხანგრძლივობა ექსპლუატაციის პერიოდში მცირეა (მაგალითად, ამწე-სატრანსპორტო საშუალებების, ქარის; დატვირთვები, რომლებიც წარმოიქმნება დამზადების, ტრანსპორტირებისა და მონტაჟის დროს), აგრეთვე განსაკუთრებული დატვირთვების გათვალისწინებით, რომლებიც გამოწვეულია დაჯდომადი, გაჯირჯვებული, მარად გაყინული და სხვ. გრუნტების დეფორმაციისაგან. | $\gamma_{b2}$ | |
| | მძიმე, წერილმარცვლოვანი და მსუბუქი ბეტონებისათვის ბუნებრივ პირობებში და თბური დამუშავებით გამყარების შემთხვევაში: | | |
| | ბეტონის სიმტკიცის ზრდისათვის ხელსაყრელ პირობებში კონსტრუქციის ექსპლუატაციისას (მაგალითად. წყალქვეშ, ტენიან გრუნტში, ან როდესაც ჰაერის ტენიანობა 75%-ზე მეტია); | | 1,0 |
| | სხვა შემთხვევებში: | | 0,90 |
| | უჯრედოვანი და დაფოროვნებული ბეტონებისათვის ექსპლუატაციის პირობების მიუხედავად. | | 0,85 |
| | ბ) დატვირთვების თანწყობაში იმ ხანმოკლე და განსაკუთრებული* დატვირთვების გათვალისწინებით, რომლებიც 2 ა პოზიციაში მითითებული არ არის, ყოველგვარი ბეტონებისათვის. | | 1,1 |
| 3. | ვერტიკალურ მდგომარეობაში კონსტრუქციის დაბეტონების შემთხვევაში (დაბეტონების შრის სიმაღლე მეტია 1,5 მ-ზე) ბეტონებისათვის: | $\gamma_{b3}$ | |
| | მძიმე, წერილმარცვლოვანი, მსუბუქი | | 0,85 |
| | უჯრედოვანი და დაფოროვნებული | | 0,80 |

დანართი 2.1.8 (გაგრძელება)

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| 4. | რთული ორღერძა დაძაბული მდგომარეობის „კუმშვა-გაჭიმვა“ გაელენა ბეტონის სიმტკიცეზე | $\gamma_{b4}$ | იხ. მუხლი 4.11, СНиП 2.03.01-84 |
| 5. | მონოლითური ბეტონის და რკინაბეტონის სვეტების დაბეტონება, რომელთა კვეთის უმცირესი ზომა 30 სმ-ზე ნაკლებია | $\gamma_{b5}$ | 0,85 |
| 6. | მონაცელეობით გაყინვა და გალხობა | $\gamma_{b6}$ | იხ. ცხრ. 18, СНиП 2.03.01-84 |
| 7. | მზის რადიაციისაგან დაუცველი კონსტრუქციების ექსპლუატაცია IV კლიმატურ ქვერაიონში СНиП 2.01.01-82-ის მიხედვით | $\gamma_{b7}$ | 0,85 |
| 8. | კონსტრუქციის წინასწარი მოკუმშვის სტადია:<br>ა) მაეთულოვანი არმატურით:<br>მსუბუქი ბეტონისათვის<br>სხვა ბეტონისათვის<br>ბ) ღეროვანი არმატურით:<br>მსუბუქი ბეტონისათვის<br>სხვა ბეტონისათვის | $\gamma_{b8}$ | <br><br>1,25<br>1,10<br><br>1,35<br>1,20 |
| 9. | ბეტონის კონსტრუქციები | $\gamma_{b9}$ | 0,90 |
| 10. | ბეტონის კონსტრუქციები მაღალი სიმტკიცის ბეტონზე $\gamma_{b8}$ კოეფიციენტის გათვალისწინებით | $\gamma_{b10}$ | $(0,3+\omega)\leq 1$. იხ. მუხლი 3.12, СНиП 2.03.01-84 |
| 11. | უჯრედოვანი ბეტონის ტენიანობა %-ობით:<br>10 და ნაკლები<br>25 და მეტი<br>10-ზე მეტი და 25-ზე ნაკლები | $\gamma_{b11}$ | 1,0<br>0,5<br>ინტერპოლაციით |
| 12. | ასაწყობი ელემენტების პირაპირების დასამონოლითებელი ბეტონი, როდესაც ნაკერის სისქე ნაკლებია კვეთის უმცირესი ზომის 1/5-ზე და 10 სმ-ზე | $\gamma_{b12}$ | 1,15 |

* როდესაც შემოგეყავს დამატებითი მუშაობის პირობების კოეფიციენტი, რაც დაკავშირებულია განსაკუთრებული დატვირთვის გათვალისწინებასთან სათანადო ნორმატიული დოკუმენტების მიხედვით (მაგალითად, სეისმური დატვირთვების გათვალისწინება), $\gamma_{b2}$=1,0.

| კონსტრუქციების მუშაობის პირობები | რკინაბეტონის კონსტრუქციების ბზარმედეგობისადმი წაყენებულ მოთხოვნათა კატეგორია და ზღვრულად დასაშვები ბზარის გახსნის სიგანე $a_{crc1}$ და $a_{crc2}$, მმ, როდესაც უზრუნველყოფილია შეუღწევადობა |
|---|---|
| 1. ელემენტები, რომლებიც განიცდიან სითხეებისა და გაზის დაწნევას: მთლიანად გაჭიმული კვეთით | პირველი კატეგორია* |
| ნაწილობრივ შეკუმშული კვეთით | მესამე კატეგორია: $a_{crc1}$=0,3; $a_{crc2}$=0,2. |
| 2. ელემენტები, რომლებიც განიცდიან ფხვიერი მასალის დაწოლას | მესამე კატეგორია: $a_{crc1}$=0,3; $a_{crc2}$=0,2. |

* ეს კონსტრუქციები უნდა განხორციელდეს წინასწარი დაძაბვით. როდესაც მათი აგება დაშვებულია (სპეციალური დასაბუთებით) დაუძაბავად, ბზარმედეგობის მიხედვით წაეყენებათ მესამე კატეგორიის მოთხოვნა.

დანართი 2.1.10

| კონსტრუქციების ექსპლუატაციის პირობები | რკინაბეტონის კონსტრუქციების ბზარმედეგობისადმი წაყენებულ მოთხოვნათა კატეგორია და ზღვრულად დასაშვებ ბზარის გახსნის სიგანე $a_{crc1}$ და $a_{crc2}$, მმ, როდესაც უზრუნველყოფილია არმატურის უვნებლობა | | |
|---|---|---|---|
| | ღეროვანი არმატურისა A–I, A–II, A–III, $A–III_в$, A–IV; მაეთულოვანი არმატურისა Bp–I კლასის | ღეროვანი არმატურისა A–V, A–VI, კლასის; მაეთულოვანი არმატურისა B–II და Bp–II, K – 7 და K – 19 კლასისა, როდესაც მაეთულის დიამეტრი 3.5მმ და მეტია | მაეთულოვანი არმატურისა B–II, Bp–II და K – 7, როდესაც მაეთულის დიამეტრი 3 მმ და ნაკლებია |
| 1. დახურულ შენობაში | მე-3 კატეგორია: $a_{crc1}$=0,4; $a_{crc2}$=0,3 | მე-3 კატეგორია: $a_{crc1}$=0,3; $a_{crc2}$=0,2 | მე-3 კატეგორია: $a_{crc1}$=0,2; $a_{crc2}$=0,1 |
| 2. ღია ჰაერზე და გრუნტში | მე-3 კატეგორია: $a_{crc1}$=0,4; $a_{crc2}$=0,3 | მე-3 კატეგორია: $a_{crc1}$=0,2; $a_{crc2}$=0,1 | 2-ე კატეგორია: $a_{crc1}$=0,2 |
| 3. გრუნტში; ცვლადი დონის გრუნტის წყლების არსებობისას | მე-3 კატეგორია: $a_{crc1}$=0,3; $a_{crc2}$=0,2 | მე-3 კატეგორია: $a_{crc1}$=0,2 | მე-2 კატეგორია: $a_{crc1}$=0,1 |

შენიშვნა: ბაგირების მაეთულების დიამეტრში იგულისხმება გარე ფენის მაეთულები.

| რკინაბეტონის კონსტრუქციების ბზარმედეგობასადმი წაყენებულ მოთხოვნათა კატეგორია | დატვირთვები და $\gamma_f$ საიმედოობის კოეფიციენტი ბზარმედეგობაზე გაანგარიშებისათვის | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ბზარების წარმოქმნის მიხედვით | ბზარების გახსნის მიხედვით | | ბზარების დახურვის მიხედვით |
| | | ხანმოკლე | ხანგრძლივი | |
| 1 | მუდმივი, ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვები, როდესაც $\gamma_f > 1$* | | | |
| 2 | მუდმივი, ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვები, როდესაც $\gamma_f > 1$* (გაანგარიშება ხდება ბზარების ხანმოკლე გახსნისა და მათი დახურვის მიხედვით შემოწმების საკიროების დასადგენად) | მუდმივი, ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვები, როდესაც $\gamma_f = 1$ | | მუდმივი და ხანგრძლივი დატვირთვები, როდესაც $\gamma_f = 1$ |
| 3 | მუდმივი, ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვები, როდესაც $\gamma_f = 1$ (გაანგარიშება ხდება ბზარების გახსნის მიხედვით შემოწმების საჭიროების დასადგენად) | იგივე | მუდმივი და ხანგრძლივი დატვირთვები, როდესაც $\gamma_f = 1$ | |

* კოეფიციენტი $\gamma_f$ მიიღება როგორც სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას.

შენიშვნები: 1. ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვები მიიღება СНиП 2.03.01-84. 1. 12 მუხლის მიხედვით; 2. ბზარების წარმოქმნის მიხედვით გაანგარიშებისას განსაკუთრებულ დატვირთვებს ითვალისწინებენ მაშინ, როდესაც ბზარების არსებობა იწვევს კატასტრო-ფულ მდგომარეობას (აფეთქება, ხანძარი და სხვ.).



| | კონსტრუქციების ელემენტები | $f_{lim}$ ზღვრულად დასაშვები ჩაღუნვები |
|---|---|---|
| 1. | ამწისქვეშა კოჭები: | |
| | ა) ხელის ამწეები | $l/500$ |
| | ბ) ელექტრული ამწეებისათვის | $l/600$ |
| 2. | გადახურვები ბრტყელი ჭერით და სახურავის ელემენტები (გარდა მე-4 პოზიციაში მითითებულისა), რომელთა მალი | |
| | ა) $l < 6$ მ; | $l/200$ |
| | ბ) $6 \le l \le 7{,}5$ მ; | 3 სმ |
| | გ) $l > 7{,}5$ . | $l/250$ |
| 3. | გადახურვები წიბოვანი ჭერით და კიბის ელემენტები მალებით: | |
| | ა) $l < 5$ მ; | $l/200$ |
| | ბ) $5\text{მ} \le l \le 10$ მ; | 2,5 სმ |
| | გ) $l > 10$ მ. | $l/400$ |
| 4. | კიდული საკეტლე პანელები სიბრტყის გარეთ გაანგარიშებისას, რომელთა მალი | |
| | ა) $l < 6$ მ; | $l/200$ |
| | ბ) $6\text{მ} \le l \le 7{,}5$ მ; | 3 სმ |
| | გ) $l > 7{,}5$ მ. | $l/250$ |
| 5. | საწარმოო დანიშნულების სასოფლო-სამეურნეო შენობების სახურავის ელემენტები მალებით: | |
| | ა) $l < 6$ მ; | $l/150$ |
| | ბ) $6 \le l \le 7{,}5$ მ; | 4 სმ |
| | გ) $l > 7{,}5$ მ. | $l/200$ |

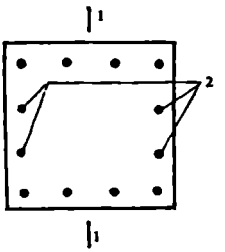
აღნიშვნები: $l$ – კოჭის ან ფილის მალი; კონსოლებისათვის $l = 2l_1$, სადაც $l_1$ არის კონსოლის შეერი.

ცხრილი 2.1.13

გრძივი ღუნეის კოეფიციენტები

| $\frac{N_l}{N}$ | $\varphi_b$ კოეფიციენტები $l_0/h$ სიდიდეებისათვის | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |
| 0 | 0,93 | 0,92 | 0,91 | 0,9 | 0,89 | 0,88 | 0,86 | 0,84 |
| 0,5 | 0,92 | 0,91 | 0,9 | 0,89 | 0,86 | 0,82 | 0,78 | 0,72 |
| 1 | 0,92 | 0,91 | 0,89 | 0,86 | 0,82 | 0,76 | 0,69 | 0,61 |

| $\frac{N_l}{N}$ | $\varphi_b$ კოეფიციენტები $l_0/h$ სიდიდეებისათვის | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |
| ა. როდესაც განსახილველი სიბრტყის პარალელურ წახნაგებთან განლაგებული შუალედური ღეროების ფართობი ნაკლებია $\frac{1}{3}(A_s + A'_s)$-ზე | | | | | | | | |
| 0 | 0,93 | 0,92 | 0,91 | 0,9 | 0,89 | 0,88 | 0,86 | 0,84 |
| 0,5 | 0,92 | 0,92 | 0,91 | 0,89 | 0,88 | 0,86 | 0,83 | 0,79 |
| 1 | 0,92 | 0,91 | 0,9 | 0,89 | 0,87 | 0,84 | 0,79 | 0,74 |
| ბ. როდესაც განსახილველი სიბრტყის პარალელურ წახნაგებთან განლაგებული შუალედური ღეროების ფართობი ტოლია ან მეტი $\frac{1}{3}(A_s + A'_s)$-ზე | | | | | | | | |
| 0 | 0,92 | 0,92 | 0,91 | 0,89 | 0,87 | 0,85 | 0,82 | 0,79 |
| 0,5 | 0,92 | 0,91 | 0,9 | 0,88 | 0,85 | 0,81 | 0,76 | 0,71 |
| 1 | 0,92 | 0,91 | 0,89 | 0,86 | 0,82 | 0,77 | 0,7 | 0,63 |




1 – 1 არის განსახილველი სიბრტყე.

2 – შუალედური ღეროები.

ცხრილში მიღებული აღნიშვნები:

$N_l$ – გრძივი ძალა, გამოწვეული მუდმივი და ხანგრძლივი დროებითი დატვირთვებით;

$N$ – გრძივი ძალა, გამოწვეული სრული საანგარიშო დატვირთვით.

## მრავალსართულიანი მრავალმალიანი ჩარჩოების მიახლოებითი გაანგარიშებისათვის რიგელების მღუნავი მომენტების განსასაზღვრავი კოეფიციენტების ცხრილები

$$i_{ზ} = \frac{B_{ზ}}{l_{ზ}}; \quad i_{ქვ} = \frac{B_{ქვ}}{l_{ქვ}}; \quad i_{რ} = \frac{B_{რ}}{l}.$$

რიგელის საყრდენი მომენტები იანგარიშება ფორმულით

$$M = (\alpha g + \beta V)l^2$$

სადაც $\alpha$ და $\beta$ არის ცხრილის კოეფიციენტები შესაბამისად მუდმივი და დროებითი დატვირთვების სქემისათვის და კვანძში დგარების გრძივ სიხისტეთა ფარდობისა რიგელის გრძივ სიხისტესთან;

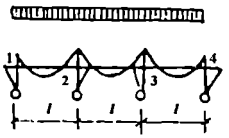
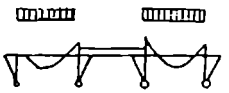
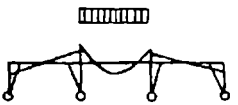
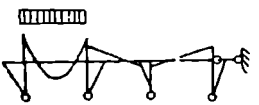
$i_{ზ}$ – რიგელზედა დგარის გრძივი სიხისტე;

$i_{ქვ}$ – ქვედა დგარის გრძივი სიხისტე;

$i_{რ}$ – რიგელის გრძივი სიხისტე.

ზედა სართულის სამმალიანი ჩარჩო

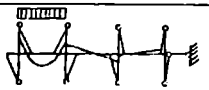
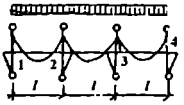
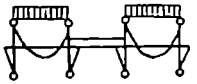
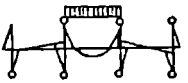
ცხრილი 1

| დატვირთვის სქემა და მომენტების ეპიურა | $\frac{i_{ქვ}}{i_{რ}}$ | რიგელების საყრდენი მომენტები | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | $M_{12}$ | $M_{21}$ | $M_{23}$ | $M_{32}$ |
|   | 0,25 | 0,025 | 0,099 | 0,093 | – |
| | 0,5 | 0,038 | 0,098 | 0,089 | – |
| | 1 | 0,052 | 0,095 | 0,086 | – |
| | 1,5 | 0,059 | 0,093 | 0,085 | – |
|  | 0,25 | 0,032 | 0,059 | 0,034 | – |
| | 0,5 | 0,047 | 0,064 | 0,026 | – |
| | 1 | 0,061 | 0,069 | 0,017 | – |
| | 1,5 | 0,067 | 0,072 | 0,013 | – |
|  | 0,25 | 0,007 | 0,04 | 0,059 | – |
| | 0,5 | 0,009 | 0,034 | 0,064 | – |
| | 1 | 0,009 | 0,026 | 0,069 | – |
| | 1,5 | 0,008 | 0,021 | 0,072 | – |
|  | 0,25 | 0,03 | 0,069 | 0,049 | 0,015 |
| | 0,5 | 0,045 | 0,071 | 0,039 | 0,013 |
| | 1 | 0,059 | 0,073 | 0,028 | 0,011 |
| | 1,5 | 0,065 | 0,075 | 0,022 | 0,009 |

დანართი 2.1.14 (გაგრძელება)

შუალედური სართულების სამმალიანი ჩარჩო

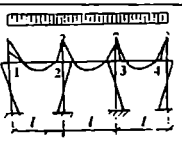
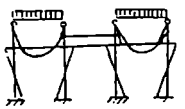
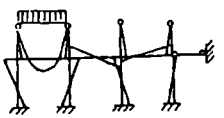
ცხრილი 2

| დატვირთვის სქემა და მომენტების ეპიურა | $\frac{i_{ქვ} + i_{ზ}}{i_{რ}}$ | რიგელების საყრდენი მომენტები | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | $M_{12}$ | $M_{21}$ | $M_{23}$ | $M_{32}$ |
|  | 0,5 | 0,045 | 0,07 | 0,039 | 0,013 |
| | 1 | 0,059 | 0,073 | 0,028 | 0,011 |
| | 2 | 0,069 | 0,075 | 0,019 | 0,008 |
| | 3 | 0,074 | 0,077 | 0,014 | 0,006 |
|  | 0,5 | 0,038 | 0,098 | 0,089 | – |
| | 1 | 0,052 | 0,095 | 0,080 | – |
| | 2 | 0,063 | 0,092 | 0,085 | – |
| | 3 | 0,068 | 0,089 | 0,084 | – |
|  | 0,5 | 0,047 | 0,004 | 0,026 | – |
| | 1 | 0,060 | 0,069 | 0,017 | – |
| | 2 | 0,070 | 0,074 | 0,011 | – |
| | 3 | 0,074 | 0,076 | 0,008 | – |
|  | 0,5 | 0,009 | 0,034 | 0,004 | – |
| | 1 | 0,008 | 0,026 | 0,069 | – |
| | 2 | 0,007 | 0,018 | 0,074 | – |
| | 3 | 0,006 | 0,013 | 0,076 | – |

დანართი 2.1.14 (გაგრძელება)

პირველი (ქვედა) სართულის სამმალიანი ჩარჩო

ცხრილი 3

| დატვირთვის სქემა და მომენტების ეპიურა | $\frac{i_{ქვ} + 1{,}5i_{ზ}}{i_{რ}}$ | რიგელების საყრდენი მომენტები | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | $M_{12}$ | $M_{21}$ | $M_{23}$ | $M_{32}$ |
|  | 0,5 | 0,070 | 0,099 | 0,092 | – |
| | 1 | 0.044 | 0.097 | 0.088 | – |
| | 2 | 0,057 | 0.086 | 0.086 | – |
| | 3 | 0.063 | 0.085 | 0.085 | – |
| | 5 | 0.069 | 0.084 | 0,084 | – |
|  | 0,5 | 0,038 | 0,061 | 0,031 | – |
| | 1 | 0,053 | 0.060 | 0,022 | – |
| | 2 | 0,065 | 0,071 | 0,014 | – |
| | 3 | 0,070 | 0,074 | 0,011 | – |
| | 5 | 0,076 | 0,077 | 0,007 | – |
|  | 0,5 | 0,008 | 0,038 | 0,051 | – |
| | 1 | 0,009 | 0,034 | 0,066 | – |
| | 2 | 0,008 | 0,023 | 0,071 | – |
| | 3 | 0,007 | 0,018 | 0,074 | – |
| | 5 | 0,007 | 0,013 | 0,077 | – |
|  | 0,5 | 0,036 | 0,070 | 0,045 | 0,014 |
| | 1 | 0,051 | 0,072 | 0,034 | 0,012 |
| | 2 | 0,064 | 0,074 | 0,024 | 0,010 |
| | 3 | 0,07 | 0,076 | 0,018 | 0,007 |
| | 5 | 0,075 | 0,078 | 0,013 | 0,006 |

ა. ყველა სახის აგურისა და კერამიკული ქვის წყობის $R$ (მგპა) საანგარიშო წინაღობა კუმშვაზე

| აგურის ან ქვის მარკა | დულაბის მარკა | | | | | | | | დულაბის სიმტკიცე მგპა | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 200 | 150 | 100 | 75 | 50 | 25 | 10 | 4 | 0,2 | 0 |
| 300 | 3,9 | 3,6 | 3,3 | 3,0 | 2,8 | 2,5 | 2,2 | 1,8 | 1,7 | 1,5 |
| 250 | 3,6 | 3,3 | 3,0 | 2,8 | 2,5 | 2,2 | 1,9 | 1,6 | 1,5 | 1,3 |
| 200 | 3,2 | 3,0 | 2,7 | 2,5 | 2,2 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,0 |
| 150 | 2,6 | 2,4 | 2,2 | 2,0 | 1,8 | 1,5 | 1,3 | 1,2 | 1,0 | 0,8 |
| 125 | | 2,2 | 2,0 | 1,9 | 1,7 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 0,9 | 0,7 |
| 100 | | 2,0 | 1,8 | 1,7 | 1,5 | 1,3 | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,6 |
| 75 | | | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,1 | 0,9 | 0,7 | 0,6 | 0,5 |
| 50 | | | | 1,1 | 1,0 | 0,9 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,35 |
| 35 | | | | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,45 | 0,4 | 0,25 |



ბ. აგურისა და სწორი ფორმის ქვების წყობის საანგარიშო წინაღობა (მგპა), წყობის გაჭიმვაზე, ჭრაზე ან ღუნვაზე გაანგარიშებისას, როდესაც რღვევის ბზარი გადის აგურზე ან ქვაზე

| დაძაბული მდგომარეობა | ქვის მარკა | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 200 | 150 | 100 | 75 | 50 | 35 | 25 | 15 | 10 |
| ღერძული გაჭიმვა $R_t$ | 0,25 | 0,2 | 0,18 | 0,13 | 0,1 | 0,08 | 0,06 | 0,06 | 0,03 |
| გაჭიმვა ღუნვისას და მთავარი გამჭიმავი ძაბვები $R_{tb}$, $R_{bw}$ | 0,4 | 0,3 | 0,25 | 0,2 | 0,16 | 0,12 | 0,1 | 0,07 | 0,05 |
| ჭრა $R_{sq}$ | 1,0 | 0,8 | 0,65 | 0,55 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,14 | 0,09 |

დანართი 2.2.3

## არმატურის საანგარიშო წინაღობა დაარმატურებულ წყობაში

| დაარმატურების სახეობა | საანგარიშო წინაღობა $R_s$, კგძ/სმ² | | | |
|---|---|---|---|---|
| | A–I კლასის ფოლადი | A–II კლასის ფოლადი | Bp–I კლასის ჩვეულებრივი მავთული | |
| | | | $d \le 5,5$ მმ | $d \ge 6$ მმ |
| 1. ბადეები | 1500 | – | 2000 | 1800 |
| 2. გრძივი არმატურა წყობაში და კომპლექსურ კონსტრუქციებში: | | | | |
| ა) გრძივი არმატურა | 1900 | 2400 | 3100 | 2500 |
| ბ) აღუნული და განიე არმატურა | 1700 | 2150 | 2200 | 1750 |
| 3. გარსაკრით გაძლიერებული კონსტრუქციებისათვის: | | | | |
| ა) განიე არმატურა | 1500 | 1900 | 2000 | 1800 |
| ბ) გრძივი არმატურა, როდესაც დატვირთვა უშუალოდ გარსაკარს არ გადაეცემა | 430 | 550 | – | – |
| გ) იგივე, როდესაც დატვირთვა გარსაკარს გადაეცემა ერთი მხრიდან | 1300 | 1600 | – | – |
| დ) იგივე, როდესაც დატვირთვა გარსაკარს გადაეცემა ორი მხრიდან | 1900 | 2400 | – | – |
| 4. ანკერები და კავშირები წყობაში: | | | | |
| ა) დულაბზე მარკით ≥25 | 1900 | 2400 | 3100 | 2500 |
| ბ) დულაბზე მარკით 4-10 | 1050 | 1950 | 2200 | 1800 |

შენიშვნა: სხვა კლასების არმატურის საანგარიშო წინაღობა არ მიიღება მეტი, ვიდრე A–II კლასის ან ჩვეულებრივი საარმატურე მავთულისათვის შესაბამისად.

დანართი 2.2.4

## გრძივი ღუნვის $\varphi$ კოეფიციენტი

| $\lambda_u^h$ | $\lambda_u^r$ | გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი, $\varphi$ | $\lambda_u^h$ | $\lambda_u^r$ | გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი, $\varphi$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 14,0 | 1,00 | 15 | 52,5 | 0,77 |
| 5 | 17,5 | 0,98 | 16 | 56.0 | 0,74 |
| 6 | 21,0 | 0,96 | 18 | 68.0 | 0,70 |
| 7 | 24,5 | 0,94 | 20 | 70,0 | 0,65 |
| 8 | 28,0 | 0,92 | 22 | 76,0 | 0.61 |
| 9 | 31,5 | 0,90 | 24 | 83,0 | 0,56 |
| 10 | 35,0 | 0,88 | 26 | 90,0 | 0,52 |
| 11 | 38,5 | 0,86 | 28 | 97,0 | 0,49 |
| 12 | 42,0 | 0,84 | 30 | 104,0 | 0,45 |
| 13 | 45,5 | 0,81 | | | |
| 14 | 49,0 | 0,79 | | | |

## წყობის დრეკადი მახასიათებელი ($\alpha$)

| წყობის სახეობა | წყობის დრეკადი მახასიათებელი ($\alpha$) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | დუღაბის შემდეგი მარკებისას | | | დუღაბის შემდეგი სიმტკიცისას | |
| | 200-25 | 10 | 4 | 2 კგძ/სმ² | 0 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1. წყობა მსხვილი ბლოკებისაგან, რომლებიც დამზადებულია მძიმე ან მსხვილფოროვანი ბეტონით მძიმე შემვსებებზე ან ბუნებრივი ქვისაგან ($\gamma \geq 1800$ კგ/მ³) | 1500 | 1000 | 750 | 750 | 500 |
| 2. მძიმე ბეტონისა და ბუნებრივი ქვის წყობა, ყორე წყობა | 1500 | 1000 | 750 | 500 | 350 |
| 3. წყობა მსხვილი ბლოკებისაგან, რომლებიც დამზადებულია მსუბუქი ბუნებრივი ქვისა და მსუბუქი, სილიკატური, ავტოკლავური უჯრედოვანი ბეტონის და მსხვილფოროვანი ბეტონისაგან მსუბუქ შემვსებებზე | 750 | 750 | 500 | 500 | 350 |
| 4. უჯრედოვანი, ნაცარბეტონისაგან (არაავტოკლავური) დამზადებული მსხვილი ბლოკებისაგან წყობა | 500 | 500 | 350 | 350 | 350 |
| 5. კერამიკული ქვის, პლასტიკურად წნეხილი ჩვეულებრივი და ღრუტანიანი აგურის, მსუბუქი ბეტონის ქვისა და მსუბუქი ბუნებრივი ქვის წყობა | 1000 | 750 | 500 | 350 | 200 |
| 6. სილიკატური აგურის წყობა | 750 | 500 | 350 | 350 | 200 |
| 7. ნახევრად მშრალად წნეხილი ჩვეულებრივი და ღრუტანიანი თიხის აგურის წყობა | 500 | 500 | 350 | 350 | 200 |

შენიშვნები. 1. ელემენტებისათვის, რომელთა მოქნილობა $\frac{l_0}{r} \leq 28$ ან $\frac{l_0}{h} \leq 8$, გრძივი ღუნვის კოეფიციენტის დადგენისას დასაშვებია ყოველგვარი აგურის წყობისათვის დრეკადი მახასიათებლების სიდიდე მიღებულ იქნეს ისე, როგორც პლასტიკურად წნეხილი აგურის წყობისათვის; 2. ცხრილის მე-5 და მე-7 მუხლებში მითითებულ აგურის წყობის დრეკადი მახასიათებლების მნიშვნელობები ვრცელდება ვიბროაგურის პანელებსა და წყობაზე; 3. ყორებეტონის დრეკადი მახასიათებელი მიიღება $\alpha = 2000$. 4. მსუბუქ დუღაბზე წყობისათვის $\alpha$ დრეკადი მახასიათებელი მიიღება ცხრილში მოყვანილი სიდიდეების გამრავლების გზით შემასწორებელ კოეფიციენტზე 0,7.

დანართი 2.2.6

## $\eta$ და $\varphi$ კოეფიციენტების მნიშვნელობები

| მოქნილობა | | $\eta$ კოეფიციენტი დაუარმატურებელი წყობისთვის | $\varphi$ კოეფიციენტი წყობის დრეკადი თვისებების მიხედვით | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\lambda_h$ | $\lambda_i$ | | $\alpha$=1500 | $\alpha$=1000 | $\alpha$=750 | $\alpha$=500 | $\alpha$=350 |
| 6 | 21 | 0 | 0,98 | 0,96 | 0,95 | 0,91 | 0,88 |
| 8 | 28 | 0 | 0,95 | 0,92 | 0,90 | 0,85 | 0,8 |
| 10 | 35 | 0 | 0.92 | 0,88 | 0,84 | 0,79 | 0,72 |
| 12 | 42 | 0,04 | 0,88 | 0,84 | 0,79 | 0,72 | 0,64 |
| 14 | 49 | 0,08 | 0,85 | 0,79 | 0,73 | 0,66 | 0,57 |
| 16 | 56 | 0,12 | 0,81 | 0,74 | 0,68 | 0,59 | 0,5 |
| 18 | 63 | 0,15 | 0,77 | 0,7 | 0,63 | 0,53 | 0,45 |
| 22 | 76 | 0,24 | 0,69 | 0,61 | 0,53 | 0,43 | 0,35 |
| 26 | 90 | 0,31 | 0,61 | 0,52 | 0,45 | 0,36 | 0,29 |
| 30 | 104 | | 0.53 | 0,45 | 0,39 | 0,32 | 0,25 |

დანართი 2.2.7

## $\eta$ კოეფიციენტი

| $\lambda_h$ | $\lambda_i$ | $\eta$ კოეფიციენტები წყობისათვის, რომელიც შესრულდება | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | თიხის აგურზე, ყოველგვარი ბუნებრივი ქვისაგან, მძიმე ბეტონის ქვებისა და მსხვილი ბლოკებისაგან | | სილიკატურ აგურზე, მსუბუქი და უჯრედოვანი ბეტონის ქვისა და მსხვილი ბლოკებისაგან | |
| | | გრძივი დაარმატურების პროცენტებისას | | | |
| | | 0,1% და ნაკლები | 0,3% და მეტი | 0,1% და ნაკლები | 0,3% და მეტი |
| 10 | 35 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 42 | 0,04 | 0,03 | 0,05 | 0.03 |
| 14 | 49 | 0,08 | 0.07 | 0.09 | 0,08 |
| 16 | 56 | 0,12 | 0.09 | 0.14 | 0,11 |
| 18 | 63 | 0.15 | 0,13 | 0,19 | 0.15 |
| 20 | 70 | 0.20 | 0.16 | 0,24 | 0,19 |
| 22 | 76 | 0,24 | 0,20 | 0,29 | 0,22 |
| 24 | 83 | 0,27 | 0,23 | 0.33 | 0,26 |
| 26 | 90 | 0,31 | 0,26 | 0,38 | 0.30 |

შენიშვნა: უარმატურო წყობისათვის $\eta$ კოეფიციენტი მიიღება როგორც დაარმატურებისას ≤0,1%. 0,1%-ზე მეტი და 0,3%-ზე ნაკლები დაარმატურებისას $\eta$ დადგინდება ინტერპოლაციით.

დანართი 2.2.8

## $\omega$ კოეფიციენტი

| წყობის სახეობა | $\omega$ კვეთისათვის | |
|---|---|---|
| | ნებისმიერი | მართკუთხა |
| 1. წყობის ყველა სახეობისათვის, გარდა ქვემოთ დასახელებულისა | $1+\frac{l_0}{3y}\le 1{,}25$ | $1+\frac{l_0}{1{,}5h}\le 1{,}25$ |
| 2. უჯრედოვანი და მსხვილფოროვან ბეტონისაგან დამზადებული ქვისა და მსხვილი ბლოკების; ბუნებრივი ქვის (ყორე წყობისთვის) | 1 | 1 |

შენიშვნა: $h$ კვეთის სიმაღლე; $y$ – მანძილი კვეთის სიმძიმის ცენტრიდან კვეთის კიდემდე უქსცენტრისიტეტის მხარეს; თუ $3y \le 1{,}5h$, $\omega$ კოეფიციენტის განსაზღვრისას $3y$-ის ნაცვლად მიიღება $1{,}5h$.

დანართი 2.2.9

## წყობის მუშაობის პირობების $m_{ბზ}$ კოეფიციენტები ბზარების გახსნის მიხედვით გაანგარიშებისას

| წყობის დახასიათება და მუშაობის პირობები | $m_{ბზ}$ სიდიდე კონსტრუქციის საიმედოობის შემდეგი ხარისხისათვის | | |
|---|---|---|---|
| | I | II | III |
| 1. უარმატურო, გარეცენტრულად დატვირთული და გაჭიმული წყობა | 1,5 | 2,0 | 3,0 |
| 2. იგივე, დეკორატიული მოპირკეთებით (კონსტრუქციული მოთხოვნები) | 1,2 | 1,2 | – |

შედუღებით და ჭანჭიკებით შეერთების ფოლადების ნორმატიული და საანგარიშო წინაღობები ГОСТ 27772-88 მიხედვით კნ/სმ²

| ფოლადი | ნაგლინის სახეობა | სისქე მმ | $R_{yn}/R_{un}$ | $R_y$ | $R_p$ | $R_s$ | $R_{wz}$ | $R_{bp}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C235 | ფურც. ფასონ. | 20-მდე | 23,5/35 | 23 | 35 | 13,5 | 16 | 47,5 |
| | ფურც. ფასონ. | 21 - 40 | 22,5/36 | 22 | 35 | 12,5 | 16 | 47,5 |
| | ფურცლოვანი | 41 -100 | 21,5/36 | 21 | 35 | 12 | 16 | 47,5 |
| C245 | ფურც. ფასონ. | 2 - 20 | 24,5/37 | 24 | 36 | 14 | 16,5 | 48,5 |
| | ფურცლოვანი | 21-30 | 23,5/37 | 23 | 36 | 13,5 | 16,5 | 48,5 |
| C255 | ფურცლოვანი | 4 -10 | 24,5/38 | 24 | 37 | 14 | 17 | 50 |
| | ფასონური | 4 -10 | 25,5/38 | 25 | 37 | 14,5 | 17 | 50 |
| | ფურცლოვანი | 11-20 | 24,5/37 | 24 | 36 | 14 | 16,5 | 48,5 |
| | ფასონური | 21-40 | 23,5/37 | 23 | 36 | 13,5 | 16,5 | 18,5 |
| C275 | ფურც. ფასონ. | 2 - 10 | 27,5/38 | 27 | 37 | 15,5 | 17 | 50 |
| | ფურცლოვანი | 11-20 | 26,5/37 | 26 | 36 | 15 | 16,5 | 48,5 |
| | ფასონური | 11-20 | 27,5/38 | 27 | 37 | 15,5 | 17 | 50 |
| C285 | ფურცლოვანი | 4-10 | 27,5/39 | 27 | 38 | 15,5 | 17,5 | 51,5 |
| | “_“ | 11-20 | 26,5/38 | 26 | 37 | 15 | 17 | 50 |
| | ფასონური | 4-10 | 28,5/40 | 28 | 39 | 16 | 18 | 52,5 |
| | “_“ | 11-20 | 27,5/39 | 27 | 38 | 15,5 | 17,5 | 51,5 |
| C345 | ფურც. ფასონ. | 2-10 | 34,5/49 | 33,5 | 48 | 19,5 | 22 | 64,5 |
| | | 11-20 | 32,5/47 | 31,5 | 46 | 18 | 21 | 62 |
| | | 21-40 | 30,5/46 | 30 | 45 | 17,5 | 20,5 | 60,5 |
| C375 | ფურც. ფასონ. | 2-10 | 37,5/51 | 36,5 | 50 | 21 | 23 | 67 |
| | | 11-20 | 35,5/49 | 34,5 | 48 | 20 | 22 | 64,5 |
| | | 21-40 | 33,5/48 | 32,5 | 47 | 19 | 21,5 | 63 |
| C390 | ფურცლოვანი | 4-50 | 39/54 | 38 | 52,5 | 22 | 24,5 | 71 |
| C440 | “_“ | 4-30 | 44/59 | 43 | 57,5 | 25 | 26.5 | 77,5 |
| | | 31-50 | 41/57 | 40 | 55,5 | 23 | 25,5 | 75 |
| C590 | “_“ | 10-36 | 54/63,5 | 51,5 | 62 | 30 | 28,5 | 83 |

შენიშვნა: 1. C345 და C375 ფოლადებისთვის ფურცლოვანი და ფასონური ნაგლინის მახასიათებლები ემთხვევა.

2. C390, C440, C590 ფოლადებისგან ნაგლინი არ მზადდება.

დანართი 3.1, ა

## თერმულად განუმტკიცებელი ალუმინის შენადნობების საანგარიშო წინაღობები

| დაძაბული მდგომარეობა | აღნიშვნები | საანგარიშო წინაღობა $R$, მპა | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | АД1М | АМцМ | АМг2М | АМг2Н2 | | სხვული АД8 |
| | | | | | შურცელი | ღეროები | |
| გაჭიმვა, კუმშვა, ღუნვა | $R$ | 25 | 40 | 70 | 125 | 145 | 135 |
| ძერა | $R_z$ | 15 | 25 | 40 | 75 | 90 | 80 |
| ტორსული ზედაპირის მოთელვა (მორგების არსებობისას) | $R_p$ | 40 | 65 | 110 | 200 | 230 | 215 |
| ადგილობრივი თელვა მჭიდრო შეხებისაგან | $R_{lp}$ | 20 | 30 | 50 | 90 | 110 | 105 |
| გაჭიმვა დაწნეხილი ნახევარფაბრიკატების სისქის მიმართულებით | $R_{th}$ | 25 | 40 | 70 | 125 | | |

დანართი 3.1, ბ

## თერმულად განმტკიცებული ალუმინის შენადნობების საანგარიშო წინაღობები

| დაძაბული მდგომარეობა | აღნიშვნები | საანგარიშო წინაღობა $R$, მპა | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | АД31Т, АД31Т4 | АД31Т5 | АД31Т1 | 1935Т | 1925, 1915 | 1915Т |
| გაჭიმვა, კუმშვა, ღუნვა | $R$ | 55 | 100 | 120 | 140 | 175 | 195 |
| ძერა | $R_z$ | 35 | 60 | 75 | 85 | 105 | 120 |
| ტორსული ზედაპირის მოთელვა (მორგების არსებობისას) | $R_p$ | 90 | 160 | 190 | 225 | 280 | 310 |
| ადგილობრივი თელვა მჭიდრო შეხებისაგან | $R_{lp}$ | 40 | 75 | 90 | 105 | 130 | 145 |
| გაჭიმვა დაწნეხილი ნახევარფაბრიკატების სისქის მიმართულებით | $R_{th}$ | 55 | 100 | 120 | 50 | 50 | 50 |

დანართი 3.2

## ჭანჭიკების წინაღობა ჭრასა და გაჭიმვაზე

| დაძაბული მდგომარეობა | ჭანჭიკების საანგარიშო წინაღობა კნ/სმ². კლასით | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 4,6 | 4,8 | 5,6 | 5,8 | 6,6 | 8,8 | 10,9 |
| ჭრა $R_{bs}$ | 15 | 16 | 19 | 20 | 23 | 32 | 40 |
| გაჭიმვა $R_{bt}$ | 17 | 16 | 21 | 20 | 25 | 40 | 50 |

დანართი 3.2.ა

## მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკების მექანიკური თვისებები

| ჭანჭიკის ნომინალური დიამეტრი $d$ მმ | ნორმატიული დროებითი წინაღობა $R_{bun}$ კნ/სმ² ჭანჭიკების ფოლადებისაგან | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40Х | 30Х3МФ | 30Х2НМФА | 35Х2АФ |
| 16...27 | 110 | 135 | 135 | - |
| 30 | 95 | 120 | | 120 |
| 36 | 75 | 110 | - | - |

დანართი 3.3

## $\gamma_c$ მუშაობის პირობების კოეფიციენტები

| კონსტრუქციის ელემენტები | მუშაობ. პირობ. კოეფიც. $\gamma_c$ |
|---|---|
| 1. თეატრების, კლუბების, კინოთეატრების დარბაზების, ტრიბუნების, მაღაზიების, წიგნსაცავების, არქივების ქვეშ გადახურვის მთლიანი კოჭები და წამწეების შეკუმშული ელემენტები, როდესაც გადახურვის წონა ტოლია ან მეტი დროებით დატვირთვაზე | 0,9 |
| 2. საზოგადოებრივი შენობების სვეტები და წყალსაწნეო კოშკების საყრდენები | 0,95 |
| 3. დახურვის ან გადახურვის წამწეების (მაგ. სანიენიე და მსგავსი წამწეები) გისოსების შეკუმშული ელემენტები (გარდა საყრდენებისა), რომლებიც შედგენილია ტესებრი კვეთის ელემენტებისაგან და კუთხოვანებისაგან, მოქნილობით $\lambda \geq 60$ | 0,8 |
| 4. მთლიანი კოჭები საერთო მდგრადობაზე გაანგარიშებისას. როდესაც $\varphi_b < 1,0$ | 0,95 |
| 5. შემკოჭი, საწევი, საჭიმარი, საკიდარი, შესრულებული ნაგლინი ფოლადისგან | 0,9 |
| 6. დახურვის და გადახურვის ღეროვანი კონსტრუქციების ელემენტები: | |
| ა) შეკუმშული (მილოვანი კვეთების გარდა) მდგრადობაზე გაანგარიშებისას | 0,95 |
| ბ) გაჭიმული, შედუღებულ კონსტრუქციაში | 0,95 |
| გ) გაჭიმული, შეკუმშული, აგრეთვე პირაპირების ზესადებები ჭანჭიკებით შეერთებულ კონსტრუქციებში (გარდა მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებისა) ფოლადისაგან, დენადობის ზღვარით 44 კნ/სმ²-მდე, როდესაც მოქმედებს სტატიკური დატვირთვა და გაანგარიშება ხდება სიმტკიცეზე | 1,05<br>1,05 |
| 7. მთლიანი, შედგენილი კოჭები, სვეტები, აგრეთვე პირაპირების ზესადებები ფოლადისაგან დენადობის ზღვარით 44 კნ/სმ²-მდე, რომლებზეც მოქმედებს სტატიკური დატვირთვა და შესრულებულია ჭანჭიკებით | |

| კონსტრუქციის ელემენტები | მუშაობ. პირობ. კოეფიც. $\gamma_c$ |
|---|---|
| შეერთების მეშვეობით (გარდა მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებისა) და გაანგარიშება ხდება სიმტკიცეზე | 1,1 |
| 8. გაგლინული და შედუღებული ელემენტების კვეთები, აგრეთვე ზესადებები ფოლადისაგან დენადობის ზღვარით 44 კნ/სმ$^2$-მდე, პირაპირების (შეერთების) ადგილას, რომლებიც შესრულებულია ჭანჭიკებით (გარდა მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებისა), სტატიკური დატვირთვის ზემოქმედებისას, როდესაც გაანგარიშება ხდება სიმტკიცეზე: | |
| ა) მთლიანი კოჭები და სვეტები | 1,1 |
| ბ) დახურვისა და გადახურვის ღეროვანი კონსტრუქციები | 1,05 |
| 9. ერთეული კუთხოვანებისაგან შედგენილი შეკუმშული ელემენტები, რომლებიც მიმაგრებულია მხოლოდ ერთი თაროთი (არათანაბართაროიანი კუთხოვანასთვის, როდესაც მიმაგრებულია მცირე თაროთი) | 0,75 |
| 10. ფოლადის საყრდენი ფილები (დენადობის ზღვარით 28,5კნ/სმ$^2$-მდე, როდესაც მოქმედებს სტატიკური დატვირთვა), სისქით, მმ-ით: | |
| ა) 40 მმ-მდე, | 1,2 |
| ბ) 40-დან 60 მმ-მდე | 1,15 |
| გ) 60-დან 80 მმ-მდე | 1,1 |

შენიშვნები: 1. მუშაობის პირობების სხვადასხვა კოეფიციენტი, როდესაც $\gamma_c < 1$, გაანგარიშებისას ერთდროულად მხედველობაში არ მიიღება;

2. მუშაობის პირობების კოეფიციენტები მოცემული პუნქტებში: 1 და 6, გ; 1 და 7; 1 და 8; 2 და 7; 2 და 8, ა; 3 და 6, გ, გაანგარიშებისას მხედველობაში მიიღება ერთდროულად;

3. მუშაობის პირობების კოეფიციენტები მოცემული პუნქტებში: 3; 4; 6, ა, გ; 7; 8 და 9, აგრეთვე პუნქტ 5 და 6, ბ-ში (გარდა შედუღებით შეერთებული (შეპირაპირებული) კონსტრუქციისა) აღნიშნული ელემენტების შეერთებების გაანგარიშებისას მხედველობაში არ მიიღება;

4. შემთხვევებში, რომლებიც არ არის აღნიშნული ამ ცხრილში, მუშაობის პირობების კოეფიციენტი $\gamma_c = 1$.

## ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების გრძივი ღუნვის $\varphi$ კოეფიციენტი, ფოლადის საანგარიშო წინაღობისას

$R_y = 20$ კნ/სმ²

| მოქნილობა | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 939 | 936 | 932 | 929 | 926 | 923 | 919 | 916 | 913 | 909 |
| 40 | 906 | 903 | 899 | 896 | 893 | 889 | 885 | 881 | 877 | 873 |
| 50 | 869 | 865 | 861 | 856 | 852 | 848 | 844 | 840 | 835 | 831 |
| 60 | 827 | 823 | 818 | 814 | 809 | 805 | 800 | 796 | 791 | 787 |
| 70 | 782 | 777 | 772 | 768 | 763 | 758 | 753 | 748 | 744 | 739 |
| 80 | 734 | 727 | 720 | 713 | 706 | 700 | 693 | 686 | 679 | 672 |
| 90 | 665 | 658 | 652 | 645 | 639 | 632 | 625 | 619 | 612 | 606 |
| 100 | 599 | 593 | 587 | 580 | 574 | 568 | 526 | 556 | 459 | 543 |
| 110 | 537 | 531 | 525 | 520 | 514 | 508 | 502 | 496 | 491 | 485 |
| 120 | 479 | 474 | 468 | 463 | 457 | 452 | 477 | 441 | 436 | 430 |
| 130 | 425 | 420 | 415 | 410 | 405 | 401 | 396 | 391 | 386 | 381 |
| 140 | 376 | 371 | 366 | 362 | 327 | 352 | 347 | 342 | 338 | 333 |
| 150 | 328 | 324 | 320 | 317 | 313 | 309 | 305 | 301 | 298 | 294 |

$R_y = 24$ კნ/სმ²

| მოქნილობა | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 931 | 928 | 924 | 920 | 916 | 913 | 909 | 905 | 901 | 898 |
| 40 | 894 | 890 | 886 | 882 | 878 | 874 | 870 | 865 | 861 | 857 |
| 50 | 852 | 847 | 843 | 838 | 833 | 829 | 824 | 819 | 814 | 810 |
| 60 | 805 | 800 | 796 | 790 | 785 | 780 | 774 | 769 | 764 | 759 |
| 70 | 754 | 747 | 740 | 734 | 727 | 720 | 713 | 706 | 700 | 693 |
| 80 | 686 | 679 | 671 | 664 | 656 | 649 | 642 | 634 | 627 | 619 |
| 90 | 612 | 605 | 598 | 591 | 584 | 577 | 570 | 563 | 556 | 549 |
| 100 | 542 | 536 | 529 | 523 | 516 | 510 | 504 | 497 | 491 | 484 |
| 110 | 478 | 472 | 466 | 460 | 454 | 449 | 443 | 437 | 431 | 425 |
| 120 | 419 | 414 | 408 | 403 | 397 | 392 | 386 | 381 | 375 | 370 |
| 130 | 364 | 359 | 354 | 349 | 344 | 340 | 335 | 330 | 325 | 320 |
| 140 | 315 | 311 | 307 | 303 | 299 | 296 | 292 | 288 | 284 | 280 |
| 150 | 276 | 273 | 270 | 266 | 263 | 260 | 257 | 254 | 250 | 247 |

$R_y = 28$ კნ/სმ²

| მოქნილობა | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 924 | 920 | 916 | 911 | 907 | 903 | 899 | 895 | 891 | 887 |
| 40 | 883 | 787 | 873 | 869 | 864 | 860 | 856 | 850 | 845 | 840 |
| 50 | 836 | 831 | 826 | 821 | 816 | 811 | 805 | 800 | 795 | 790 |
| 60 | 785 | 779 | 773 | 767 | 762 | 755 | 748 | 743 | 736 | 730 |
| 70 | 724 | 716 | 707 | 699 | 691 | 683 | 674 | 666 | 658 | 649 |
| 80 | 641 | 633 | 626 | 618 | 611 | 603 | 595 | 588 | 580 | 573 |
| 90 | 565 | 558 | 551 | 543 | 536 | 529 | 522 | 518 | 507 | 500 |
| 100 | 493 | 486 | 480 | 473 | 467 | 460 | 453 | 447 | 440 | 434 |
| 110 | 427 | 421 | 415 | 409 | 403 | 397 | 390 | 384 | 378 | 379 |
| 120 | 366 | 361 | 355 | 350 | 345 | 340 | 334 | 329 | 324 | 318 |
| 130 | 313 | 309 | 305 | 301 | 297 | 293 | 288 | 284 | 280 | 276 |

$R_y = 32$ კნ/სმ²

| მოქნილობა | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 917 | 912 | 908 | 903 | 899 | 894 | 890 | 886 | 881 | 878 |
| 40 | 873 | 868 | 863 | 858 | 853 | 848 | 842 | 837 | 832 | 827 |
| 50 | 822 | 816 | 811 | 805 | 800 | 794 | 788 | 783 | 777 | 772 |
| 60 | 766 | 758 | 750 | 742 | 734 | 727 | 729 | 711 | 703 | 695 |
| 70 | 687 | 679 | 670 | 662 | 653 | 645 | 636 | 628 | 619 | 611 |
| 80 | 602 | 594 | 586 | 578 | 570 | 562 | 554 | 546 | 538 | 530 |
| 90 | 522 | 514 | 507 | 499 | 492 | 485 | 478 | 470 | 463 | 455 |
| 100 | 448 | 441 | 435 | 428 | 421 | 415 | 408 | 401 | 394 | 388 |
| 110 | 381 | 375 | 369 | 363 | 357 | 351 | 345 | 339 | 333 | 327 |
| 120 | 321 | 317 | 312 | 308 | 303 | 299 | 294 | 290 | 285 | 281 |
| 130 | 276 | 272 | 269 | 265 | 262 | 258 | 254 | 251 | 247 | 244 |
| 140 | 240 | 237 | 234 | 231 | 228 | 226 | 223 | 220 | 217 | 214 |
| 150 | 211 | 209 | 207 | 204 | 202 | 199 | 197 | 194 | 192 | 189 |

$R_y = 36$ კნ/სმ²

| მოქნილობა | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 911 | 906 | 901 | 897 | 892 | 887 | 882 | 877 | 873 | 868 |
| 40 | 863 | 858 | 852 | 847 | 841 | 836 | 831 | 825 | 820 | 814 |
| 50 | 809 | 803 | 798 | 791 | 785 | 779 | 773 | 767 | 761 | 755 |
| 60 | 749 | 740 | 730 | 721 | 711 | 702 | 692 | 683 | 673 | 664 |
| 70 | 654 | 645 | 636 | 628 | 619 | 610 | 601 | 592 | 584 | 575 |
| 80 | 566 | 558 | 549 | 541 | 533 | 525 | 516 | 508 | 500 | 491 |
| 90 | 483 | 476 | 468 | 461 | 453 | 446 | 438 | 431 | 423 | 416 |
| 100 | 408 | 401 | 394 | 387 | 380 | 373 | 366 | 359 | 352 | 345 |
| 110 | 338 | 333 | 328 | 323 | 318 | 313 | 307 | 302 | 297 | 292 |
| 120 | 287 | 283 | 279 | 275 | 271 | 267 | 263 | 259 | 255 | 251 |
| 130 | 247 | 244 | 241 | 237 | 234 | 231 | 228 | 225 | 221 | 218 |
| 140 | 215 | 212 | 210 | 207 | 205 | 202 | 199 | 197 | 194 | 192 |
| 150 | 189 | 187 | 185 | 182 | 180 | 178 | 176 | 174 | 171 | 169 |

$R_y = 40$ კნ/სმ²

| მოქნილობა | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 905 | 900 | 895 | 890 | 885 | 880 | 874 | 869 | 864 | 859 |
| 40 | 854 | 848 | 842 | 837 | 831 | 825 | 819 | 813 | 808 | 802 |
| 50 | 796 | 789 | 781 | 774 | 766 | 759 | 751 | 744 | 736 | 729 |
| 60 | 721 | 711 | 701 | 692 | 682 | 672 | 662 | 652 | 643 | 633 |
| 70 | 623 | 614 | 605 | 596 | 687 | 578 | 568 | 559 | 550 | 541 |
| 80 | 532 | 524 | 515 | 507 | 498 | 490 | 481 | 473 | 464 | 456 |
| 90 | 447 | 439 | 431 | 424 | 416 | 408 | 400 | 392 | 385 | 377 |
| 100 | 369 | 363 | 356 | 350 | 344 | 338 | 331 | 325 | 319 | 312 |
| 110 | 306 | 301 | 297 | 292 | 288 | 283 | 278 | 274 | 269 | 265 |
| 120 | 260 | 256 | 253 | 249 | 245 | 241 | 238 | 234 | 230 | 227 |
| 130 | 223 | 220 | 217 | 215 | 212 | 209 | 206 | 203 | 201 | 198 |
| 140 | 195 | 193 | 190 | 188 | 185 | 183 | 181 | 178 | 176 | 173 |
| 150 | 171 | 169 | 167 | 165 | 163 | 162 | 160 | 158 | 156 | 154 |

შენიშვნა: კოეფიციენტის მნიშვნელობები გაზრდილია 1000-ჯერ.

დანართი 3.5

$\varphi_e$ კოეფიციენტი გარეცენტრულად შეკუმშული მთლიანკედლიანი ღეროების მდგრადობაზე შესამოწმებლად მომენტების მოქმედების სიბრტყეში, რომელიც ემთხვევა სიმეტრიის სიბრტყეს

| პირობითი მოქნილობა $\bar{\lambda} = \sqrt{R_y / E}$ | $\varphi_e$ – დაყვანილი ფარდობითი $m_{ef}$ ექსცენტრისიტეტის მიხედვით | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,1 | 0 5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 4,0 |
| 0,5 | 967 | 850 | 722 | 620 | 538 | 469 | 417 | 337 |
| 1,0 | 925 | 778 | 653 | 563 | 484 | 427 | 382 | 307 |
| 1,5 | 875 | 716 | 593 | 507 | 439 | 388 | 347 | 283 |
| 2,0 | 813 | 653 | 536 | 457 | 397 | 352 | 315 | 260 |
| 0,5 | 742 | 587 | 480 | 410 | 357 | 317 | 287 | 238 |
| 3,0 | 667 | 520 | 425 | 365 | 320 | 287 | 260 | 217 |
| 3,5 | 587 | 455 | 375 | 325 | 287 | 258 | 233 | 198 |
| 4,0 | 505 | 394 | 330 | 289 | 256 | 232 | 212 | 181 |
| 4,5 | 418 | 342 | 288 | 257 | 229 | 208 | 192 | 165 |
| 5,0 | 354 | 295 | 253 | 225 | 205 | 188 | 175 | 150 |
| 5,5 | 302 | 256 | 224 | 200 | 184 | 170 | 158 | 138 |
| 6,0 | 258 | 223 | 198 | 178 | 166 | 153 | 145 | 128 |

დანართი 3.5-ის გაგრძელება

| პირობითი მოქნილობა $\bar{\lambda} = \sqrt{R_y / E}$ | $\varphi_e$ – დაყვანილი ფარდობითი $m_{ef}$ ექსცენტრისიტეტის მიხედვით | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5,0 | 6,0 | 7,0 | 8,0 | 10 | 12 | 14 | 17 |
| 0,5 | 280 | 237 | 210 | 183 | 150 | 125 | 106 | 090 |
| 1,0 | 259 | 225 | 196 | 175 | 142 | 121 | 103 | 086 |
| 1,5 | 240 | 207 | 182 | 163 | 134 | 114 | 099 | 082 |
| 2,0 | 222 | 193 | 170 | 153 | 125 | 107 | 094 | 079 |
| 2,5 | 204 | 178 | 158 | 144 | 118 | 101 | 090 | 076 |
| 3,0 | 187 | 166 | 147 | 135 | 112 | 097 | 086 | 073 |
| 3,5 | 172 | 153 | 137 | 125 | 106 | 092 | 082 | 069 |
| 4,0 | 158 | 140 | 127 | 118 | 098 | 088 | 078 | 066 |
| 4,5 | 146 | 130 | 118 | 110 | 093 | 083 | 075 | 064 |
| 5,0 | 135 | 120 | 111 | 103 | 088 | 079 | 072 | 062 |
| 5,5 | 125 | 112 | 104 | 095 | 084 | 075 | 069 | 060 |
| 6,0 | 115 | 104 | 096 | 089 | 079 | 072 | 066 | 057 |

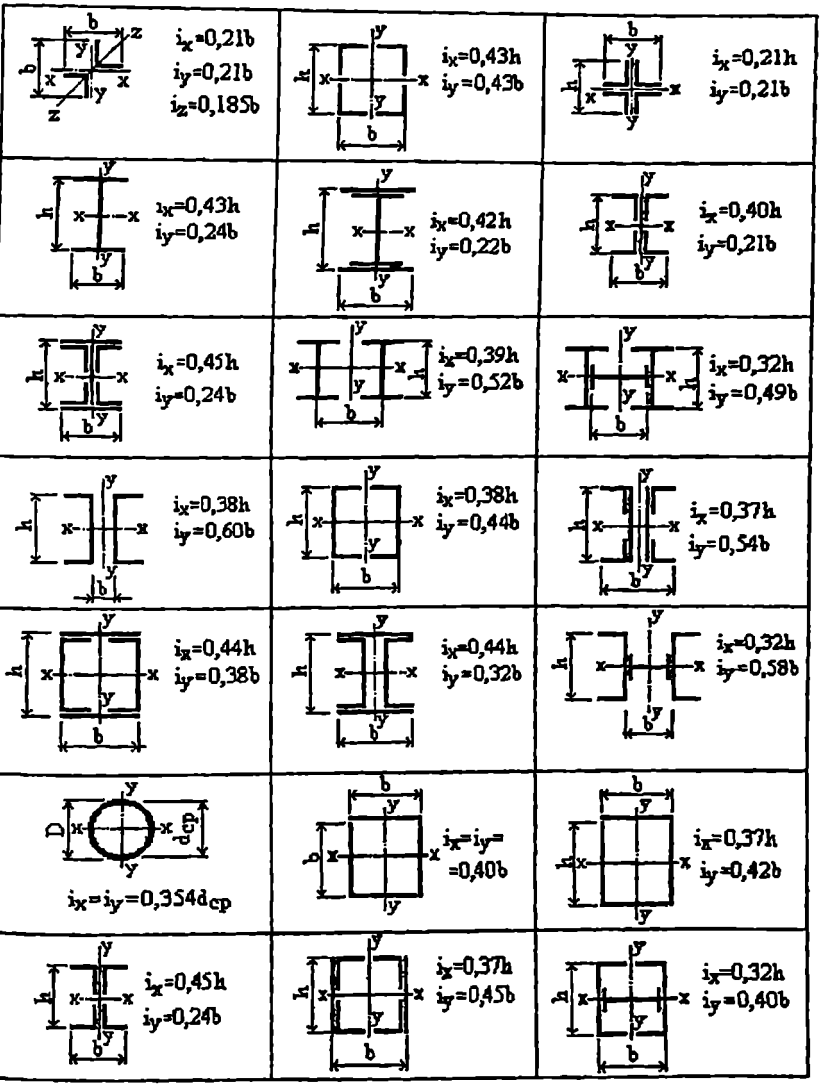
დანართი 3.6

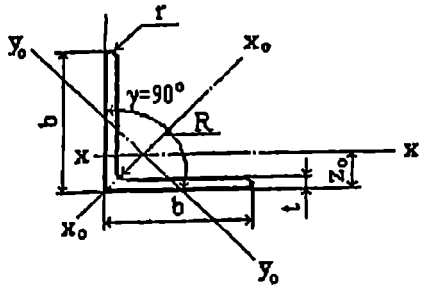
## შეკუმშული ელემენტების ზღვრული მოქნილობა

| კონსტრუქციის ელემენტები | ზღვრული მოქნილობა |
|---|---|
| 1. სარტყლები, საყრდენი ირიბანები და საყრდენი რეაქციის გადამცემი დგარები: | |
| ა) მილებისა და შეწყვილებული კუთხოვანებით დამზადებულ ბრტყელი წამწეების, სტრუქტურული კონსტრუქციების და სივრცული კონსტრუქციების, სიმაღლით 5,0 მ-მდე; | $180–60\alpha$ |
| ბ) სივრცული კონსტრუქციები დამზადებული ცალკეული კუთხოვანებით, სივრცული კონსტრუქციები დამზადებული მილებით და შეწყვილებული კუთხოვანებით, სიმაღლით >5,0 მ. | 120 |
| 2. ელემენტები, გარდა პოზიცია 1-ში მითითებულისა: | |
| ა) ბრტყელი წამწეები, სივრცული და სტრუქტურული შედუღებული კონსტრუქციები ცალკეული (ერთეული) კუთხოვანებისაგან, სივრცული და სტრუქტურული კონსტრუქციები მილებისა და შეწყვილებული კუთხოვანებისაგან | $210–60\alpha$ |
| ბ) ჭანჭიკებით შეერთებული სივრცული და სტრუქტურული კონსტრუქციები შედგენილი ცალკეული კუთხოვანებისაგან | $220–40\alpha$ |
| 3. წამწეების ზედა სარტყლები, დაუმაგრებელი მონტაჟის პროცესში (მონტაჟის დასრულების შემდეგ ზღვრული მოქნილობა მიიღება, როგორც პუნქტ 1-ში) | 220 |
| 4. ძირითადი სვეტები | $180–60\alpha$ |
| 5. მეორეხარისხოვანი სვეტები (ფახვერკის, ფარანის დგარები და ა.შ.), სვეტების გისოსების ელემენტები, სვეტებს შორის ვერტიკალური კავშირების ელემენტები (სვეტის ამწქვეშა ნაწილში) | $210–60\alpha$ |
| 6. კავშირების ელემენტები (გარდა პ. 5-ში მითითებულისა), აგრეთვე ღეროები, რომლებიც ამცირებენ შეკუმშული ელემენტის საანგარიშო სიგრძეს და სხვა დაუტვირთავი ელემენტები | 200 |

შენიშვნა: $\alpha = N/(\varphi A R_y \gamma_c)$ – კოეფიციენტი მიიღება არანაკლები 0,5-სა (აუცილებელ შემთხვევაში $\varphi$-ს ნაცვლად აიღება $\varphi_e$).

ძველის ინერციის $i_x$ და $i_y$ რადიუსების მიახლოებითი მნიშვნელობები






ცხრილი П11-I. კუთხოვანები ფოლადის, ცხლად გლინული, ტოლთაროებიანი, ГОСТ 8509-93 მიხედვით

აღნიშვნის მაგალითი: *L 50 X 50 X 4/ГОСТ 8509 – 93*

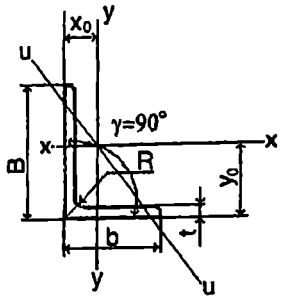
| ზომები, მმ | | | | კუთხოვანას წრფივი სიმკვრივე კგ/მ | განივი კვეთის ფართობი სმ² | საცნობარო მონაცემები ღერძებისათვის | | | | | | $z_0$ სმ | $l_y$, სმ $a$ ღრეჩოს მიხედვით, მმ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | $x-x$ | | $x_0-x_0$ | | $y_0-y_0$ | | | | | |
| $b$ | $t$ | $R$ | $r$ | | | $I_x$, სმ⁴ | $i_x$, სმ | $I_{x0}$, სმ⁴ | $i_{x0}$ სმ | $I_{y0}$, სმ⁴ | $i_{y0}$, სმ⁴ | | 8 | 10 | 12 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 40 | 4 | 5 | 1,7 | 2,42 | 3,08 | 4,58 | 1,22 | 7,26 | 1,53 | 1,90 | 0,78 | 1,13 | 1,96 | 2,04 | 2,12 |
| | 5 | | | 2,98 | 3,79 | 5,53 | 1,21 | 8,75 | 1,52 | 2,30 | 0,78 | 1,17 | 1,98 | 2,05 | 2,53 |
| 45 | 4 | 5 | 1,7 | 2,73 | 3,48 | 6,63 | 1,38 | 10,52 | 1,74 | 2,74 | 0,89 | 1,26 | 2,16 | 2,24 | 2,32 |
| | 5 | | | 3,37 | 4,29 | 8,03 | 1,37 | 12,74 | 1,72 | 3,33 | 0,88 | 1,30 | 2,18 | 2,26 | 2,34 |
| 50 | 4 | 5,5 | | 3,05 | 3,89 | 9,21 | 1,54 | 14,63 | 1,94 | 3,80 | 0,99 | 1,38 | 2,35 | 2,43 | 2,51 |
| | 5 | | 1,8 | 3,77 | 4,80 | 11,20 | 1,53 | 17,77 | 1,92 | 4,63 | 0,98 | 1,42 | 2,38 | 2,45 | 2,53 |
| 50 | 6 | 5,5 | | 4,47 | 5,69 | 13,07 | 1,52 | 20,72 | 1,91 | 5,43 | 0,98 | 1,46 | | | |
| 56 | 4 | 6 | 2 | 3,44 | 4,38 | 13,10 | 1,73 | 20,79 | 2,18 | 5,41 | 1,11 | 1,52 | 2,58 | 2,66 | 2,73 |
| | 5 | | | 4,25 | 5,41 | 15,97 | 1,72 | 25,36 | 2,16 | 6,59 | 1,10 | 1,57 | 2,61 | 2,72 | 2,77 |

დანართი 3.8, ა გაგრძელება

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 63 | 4 | 7 | 2,3 | 3,90 | 4,96 | 18,86 | 1,95 | 29,90 | 2,45 | 7,81 | 1,25 | 1,69 | 2,86 | 2,91 | 3,01 |
| | 5 | | | 4,81 | 6,13 | 23,10 | 1,94 | 36,60 | 2,44 | 9,52 | 1,25 | 1,74 | 2,89 | 2,96 | 3,04 |
| | 6 | | | 5,72 | 7,28 | 27,06 | 1,93 | 42,94 | 2,43 | 11,18 | 1,24 | 1,78 | 2,90 | 2,99 | 3,06 |
| 70 | 5 | 8 | 2,7 | 5,38 | 6,86 | 31,94 | 2,16 | 50,67 | 2,72 | 13,22 | 1,39 | 1,90 | 3,16 | 3,23 | 3,30 |
| | 6 | | | 6,39 | 8,15 | 37,58 | 2,15 | 59,64 | 2,71 | 15,52 | 1,38 | 1,94 | 3,18 | 3,25 | 3,33 |
| | 7 | | | 7,39 | 9,42 | 42,98 | 2,14 | 68,19 | 2,69 | 17,77 | 1,37 | 1,99 | 3,20 | 3,28 | 3,36 |
| | 8 | | | 8,37 | 10,67 | 48,16 | 2,12 | 76,35 | 2,68 | 19,97 | 1,37 | 2,02 | 3,22 | 3,29 | 3,37 |
| 75 | 5 | 9 | 3 | 5,80 | 7,39 | 39,53 | 2,31 | 62,65 | 2,91 | 16,41 | 1,49 | 2,02 | 3,35 | 3,42 | 2,49 |
| | 6 | | | 6,89 | 8,78 | 46,57 | 2,30 | 73,87 | 2,90 | 19,28 | 1,48 | 2,06 | 3,37 | 3,44 | 3,52 |
| | 7 | | | 7,96 | 10,15 | 53,34 | 2,29 | 84,61 | 2,89 | 22,07 | 1,47 | 2,10 | 3,40 | 3,47 | 3,54 |
| | 8 | | | 9,02 | 11,50 | 59,84 | 2,28 | 94,89 | 2,87 | 24,80 | 1,47 | 2,15 | 3,43 | 3,50 | 3,57 |
| | 9 | | | 10,07 | 12,83 | 66,10 | 2,27 | 104,72 | 2,86 | 27,48 | 1,46 | 2,18 | 3,44 | 3,51 | 3,59 |
| 80 | 6 | 9 | 3 | 7,36 | 9,38 | 56,97 | 2,47 | 90,40 | 3,11 | 23,54 | 1,58 | 2,19 | 3,58 | 3,65 | 3,72 |
| | 7 | | | 8,51 | 10,85 | 65,31 | 2,45 | 103,66 | 3,09 | 26,97 | 1,58 | 2,23 | 3,60 | 3,67 | 3,75 |
| | 8 | | | 9,65 | 12,30 | 73,36 | 2,44 | 116,39 | 3,08 | 30,32 | 1,57 | 2,27 | 3,62 | 3,69 | 3,77 |
| 90 | 6 | 10 | 3,3 | 8,33 | 10,61 | 82,10 | 2,78 | 130,22 | 3,50 | 33,97 | 1,79 | 2,43 | 3,64 | 4,04 | 4,11 |
| | 7 | | | 9,64 | 12,28 | 94,30 | 2,77 | 149,67 | 3,49 | 38,94 | 1,78 | 2,47 | 3,99 | 4,06 | 4,13 |
| | 8 | | | 10,93 | 13,93 | 106,11 | 2,76 | 168,42 | 3,48 | 43,80 | 1,77 | 2,51 | 4,01 | 4,08 | 4,16 |
| | 9 | | | 12,20 | 15,60 | 118,00 | 2,75 | 186,00 | 3,46 | 48,60 | 1,77 | 2,55 | 4,04 | 4,11 | 4,18 |
| 100 | 7 | 12 | 4 | 10,79 | 13,75 | 130,59 | 3,08 | 207,01 | 3,88 | 54,16 | 1,98 | 2,71 | 4,38 | 4,45 | 4,52 |
| | 8 | | | 12,25 | 15,60 | 147,19 | 3,07 | 233,46 | 3,87 | 60,92 | 1,98 | 2,75 | 4,40 | 4,47 | 4,54 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 14 | 12 | 4 | 20,63 | 26,28 | 237,15 | 3,00 | 374,98 | 3,78 | 99,32 | 1,94 | 2,99 | 4,53 | 4,60 | 4,68 |
| | 16 | | | 23,30 | 29,68 | 263,82 | 2,98 | 416,04 | 3,74 | 111,6 | 1,94 | 3,06 | 4,57 | 4,64 | 4,72 |
| 110 | 7 | 12 | 4 | 11,89 | 15,15 | 175,61 | 3,40 | 278,54 | 4,29 | 72,68 | 2,19 | 2,96 | 4,78 | 4,85 | 4,92 |
| | 8 | | | 13,50 | 17,20 | 198,17 | 3,39 | 314,51 | 4,28 | 81,83 | 2,18 | 3 | 4,80 | 4,87 | 4,95 |
| 125 | 8 | 14 | 4,6 | 15,46 | 19,69 | 294,36 | 3,87 | 466,76 | 4,87 | 121,96 | 2,49 | 3,36 | 5,39 | 5,46 | 5,55 |
| | 9 | | | 17,30 | 22,00 | 327,48 | 3,86 | 520,0 | 4,86 | 135,38 | 2,48 | 3,40 | 5,41 | 5,48 | 5,56 |
| | 10 | | | 19,10 | 24,33 | 359,82 | 3,85 | 571,04 | 4,84 | 148,59 | 2,47 | 3,45 | 5,44 | 5,52 | 5,58 |
| | 12 | | | 22,68 | 28,89 | 422,23 | 3,82 | 670,02 | 4,82 | 174,43 | 2,46 | 3,53 | 5,48 | 5,55 | 5,62 |
| | 14 | | | 26,20 | 33,37 | 481,76 | 3,80 | 763,90 | 4,78 | 199,62 | 2,45 | 3,61 | 5,52 | 5,60 | 5,67 |
| | 16 | | | 29,65 | 37,77 | 538,56 | 3,78 | 852,84 | 4,75 | 224,29 | 2,44 | 3,68 | 5,56 | 5,63 | 5,72 |
| 140 | 9 | 14 | 4,6 | 19,41 | 24,72 | 465,72 | 4,34 | 739,42 | 5,47 | 192,03 | 2,79 | 3,78 | 6,02 | 6,10 | 6,16 |
| | 10 | | | 21,45 | 27,33 | 512,29 | 4,33 | 813,62 | 5,46 | 210,96 | 2,78 | 3,82 | 6,05 | 6,12 | 6,19 |
| | 12 | | | 25,50 | 32,49 | 602,49 | 4,31 | 956,98 | 5,43 | 248,01 | 2,76 | 3,90 | 6,08 | 6,15 | 6,25 |
| 160 | 10 | 16 | 5,3 | 24,67 | 31,43 | 774,24 | 4,96 | 1229,10 | 6,25 | 319,3 | 3,19 | 4,30 | 6,84 | 6,91 | 6,97 |
| | 11 | | | 27,02 | 34,42 | 844,21 | 4,95 | 1340,66 | 6,24 | 347,77 | 3,18 | 4,35 | 6,86 | 6,93 | 7,00 |
| | 12 | | | 28,35 | 37,39 | 912,89 | 4,94 | 1450,00 | 6,23 | 375,78 | 3,17 | 4,39 | 6,88 | 6,95 | 7,02 |
| | 14 | | | 33,97 | 43,57 | 1046,47 | 4,92 | 1662,13 | 6,20 | 430,84 | 3,16 | 4,47 | 6,91 | 6,98 | 7,05 |
| | 16 | | | 38,52 | 49,07 | 1175,19 | 4,89 | 1865,73 | 6,17 | 484,64 | 3,14 | 4,55 | 6,95 | 7,03 | 7,10 |
| | 18 | | | 43,01 | 54,79 | 1290,24 | 4,87 | 2061,03 | 6,13 | 537,46 | 3,13 | 4,63 | 7,00 | 7,07 | 7,14 |
| | 20 | | | 47,44 | 60,40 | 1418,85 | 4,85 | 2248,26 | 6,10 | 589,43 | 3,12 | 4,70 | 7,04 | 7,11 | 7,18 |
| 180 | 11 | 16 | 5,3 | 30,47 | 38,80 | 1216,44 | 5,60 | 1933,10 | 7,06 | 499,78 | 3,59 | 4,85 | 7,67 | 7,74 | 7,81 |
| | 12 | | | 33,12 | 42,19 | 1316,62 | 5,59 | 2092,78 | 7,04 | 540,45 | 3,58 | 4,89 | 7,69 | 7,76 | 7,83 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 200 | 12 | 18 | 6 | 36,97 | 47,10 | 1822,78 | 6,22 | 2896,16 | 7,84 | 749,40 | 3,99 | 5,37 | 8,48 | 8,55 | 8,62 |
| | 13 | | | 39,92 | 50,85 | 1960,77 | 6,21 | 3116,18 | 7,83 | 805,35 | 3,98 | 5,42 | 8,50 | 8,58 | 8,64 |
| | 14 | | | 42,80 | 54,60 | 2097 | 6,20 | 3333 | 7,81 | 861. | 3,97 | 5,46 | 8,52 | 8,60 | 8,66 |
| | 16 | | | 48,65 | 61,98 | 2362,57 | 6,17 | 3755,39 | 7,78 | 969,74 | 3,96 | 5,54 | 8,56 | 8,64 | 8,70 |
| | 20 | | | 60,08 | 76,54 | 2871,47 | 6,12 | 4560,42 | 7,72 | 1181,92 | 3,93 | 5,70 | 8,65 | 8,72 | 8,79 |
| | 25 | | | 74,02 | 94,29 | 3466,21 | 6,06 | 5494,04 | 7,63 | 1438,38 | 3,91 | 5,89 | 8,74 | 8,81 | 8,88 |
| | 30 | | | 87,56 | 111,54 | 4019,60 | 6,00 | 6351,05 | 7,55 | 1688,16 | 3,89 | 6,07 | 8,83 | 8,90 | 8,97 |
| 220 | 14 | 21 | 7 | 47,40 | 60,38 | 2814,36 | 6,83 | 4470,15 | 8,60 | 1158,56 | 4,38 | 5,91 | 9,31 | 9,37 | 9,45 |
| | 16 | | | 53,83 | 68,58 | 3175,44 | 6,80 | 5045,37 | 8,58 | 1305,52 | 4,36 | 6,02 | 9,35 | 9,42 | 9,49 |
| 250 | 16 | 24 | 8 | 61,55 | 78,40 | 4717,10 | 7,76 | 7492,10 | 9,78 | 1942,09 | 4,98 | 6,75 | 10,55 | 10,62 | 10,68 |
| | 18 | | | 68,86 | 87,72 | 5247,24 | 7,73 | 8336,69 | 9,75 | 2157,78 | 4,96 | 6,83 | 10,58 | 10,65 | 10,72 |
| | 20 | | | 76,1 | 96,96 | 5764,87 | 7,71 | 9159,73 | 9,72 | 2370,01 | 4,94 | 6,91 | 10,62 | 10,69 | 10,76 |
| | 22 | | | 83,31 | 106,12 | 6270,32 | 7,69 | 9961,60 | 9,69 | 2579,04 | 4,93 | 7 | 10,67 | 10,74 | 10,81 |
| | 25 | | | 93,97 | 119,71 | 7006,39 | 7,65 | 11125,52 | 9,64 | 2887,26 | 4,91 | 7,11 | 10,72 | 10,79 | 10,86 |
| | 28 | | | 104,50 | 133,12 | 7716,86 | 7,61 | 12243,84 | 9,59 | 3189,89 | 4,90 | 7,23 | 10,78 | 10,85 | 10,92 |
| | 30 | | | 111,44 | 141,96 | 8176,82 | 7,59 | 12964,66 | 9,56 | 3388,98 | 4,89 | 7,31 | 10,82 | 10,89 | 10,96 |

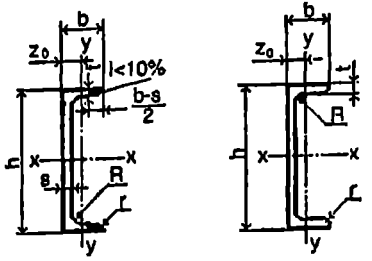



ცხრილი ГП1-2. კუთხოვანები ფოლადის, ცხლად გლინული არათანაბართარაზებიანი, ГОСТ 8510-93 მიხედვით

აღნიშვნის მაგალითი: ∟*63 Х 40 Х 4 ГОСТ 8510 – 86*

| ზომები, მმ | | | | კუთხოვანას წრფივი სიმკვრივე კგ/მ | განივი კვეთის ფართობი სმ² | საანგარიშო მონაცემები ღერძებისათვის | | | | | $x_0$ სმ | $y_0$ სმ | ინერციის $i_y$ რადიუსი, სმ $a$ ღრეჩოს მიხედვით, მმ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | $x - x$ | | $y - y$ | | $u - u$ | | |  | | |  | | |
| $B$ | $b$ | $t$ | $R$ | | | $I_x$, სმ⁴ | $i_x$, სმ | $I_y$, სმ⁴ | $i_y$, სმ | $i_{min}$, სმ | | | 8 | 10 | 12 | 8 | 10 | 12 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 63 | 40 | 4 | 7 | 3,17 | 4,04 | 16,33 | 2,01 | 5,16 | 1,13 | 0,87 | 0,91 | 2,03 | 1,73 | 1,81 | 1,89 | 3,15 | 3,23 | 3,31 |
| | | 5 | | 3,91 | 4,98 | 19,91 | 2 | 6,26 | 1,12 | 0,86 | 0,95 | 2,08 | 1,75 | 1,83 | 1,91 | 3,19 | 3,26 | 3,34 |
| | | 6 | | 4,63 | 5,90 | 23,31 | 1,99 | 7,29 | 1,11 | 0,86 | 0,99 | 2,12 | 1,78 | 1,89 | 1,94 | 3,21 | 3,29 | 3,36 |
| | | 8 | | 6,03 | 7,68 | 29,60 | 1,96 | 9,15 | 1,09 | 0,85 | 1,07 | 2,20 | 1,83 | 1,91 | 1,99 | 3,26 | 3,34 | 3,42 |
| 75 | 50 | 5 | 8 | 4,79 | 6,11 | 34,81 | 2,39 | 12,47 | 1,43 | 1,09 | 1,17 | 2,39 | 2,13 | 2,21 | 2,28 | 3,67 | 3,75 | 3,83 |
| | | 6 | | 5,69 | 7,25 | 40,92 | 2,38 | 14,60 | 1,42 | 1,08 | 1,21 | 2,44 | 2,15 | 2,22 | 2,30 | 3,70 | 3,78 | 3,86 |
| | | 8 | | 7,43 | 9,47 | 52,38 | 2,35 | 18,52 | 1,40 | 1,07 | 1,29 | 2,52 | 2,19 | 2,27 | 2,37 | 3,75 | 3,83 | 3,91 |
| 80 | 50 | 5 | 8 | 4,99 | 6,36 | 41,64 | 2,56 | 12,68 | 1,41 | 1,09 | 1,13 | 2,60 | 2,09 | 2,16 | 2,23 | 3,94 | 4,02 | 4,11 |
| | | 6 | | 5,92 | 7,55 | 48,98 | 2,55 | 14,85 | 1,40 | 1,08 | 1,17 | 2,65 | 2,10 | 2,18 | 2,26 | 3,90 | 4,05 | 4,13 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 90 | 56 | 5,5 | 9 | 6,17 | 7,86 | 65,28 | 2,88 | 19,67 | 1,58 | 1,22 | 1,26 | 2,92 | 2,29 | 2,36 | 2,44 | 4,40 | 4,47 | 4,55 |
| | | 6 | | 6,70 | 8,54 | 70,58 | 2,88 | 21,22 | 1,58 | 1,22 | 1,28 | 2,95 | 2,30 | 2,38 | 2,45 | 4,42 | 4,49 | 4,57 |
| | | 8 | | 8,77 | 11,18 | 90,87 | 2,85 | 27,08 | 1,56 | 1,21 | 1,36 | 3,04 | 2,35 | 2,43 | 2,51 | 4,47 | 4,52 | 4,62 |
| 100 | 63 | 6 | 10 | 7,53 | 9,59 | 98,29 | 3,20 | 30,58 | 1,79 | 1,38 | 1,42 | 3,23 | 2,55 | 2,52 | 2,70 | 4,84 | 4,92 | 4,99 |
| | | 7 | | 8,70 | 11,09 | 112,9 | 3,19 | 34,99 | 1,78 | 1,37 | 1,46 | 3,28 | 2,57 | 2,64 | 2,72 | 4,87 | 4,95 | 5,02 |
| | | 8 | | 9,87 | 12,57 | 127,0 | 3,18 | 39,21 | 1,77 | 1,36 | 1,50 | 3,32 | 2,59 | 2,66 | 2,74 | 4,89 | 4,97 | 5,04 |
| | | 10 | | 12,14 | 15,47 | 133,8 | 3,15 | 47,13 | 1,75 | 1,35 | 1,58 | 3,40 | 2,64 | 2,71 | 2,79 | 4,94 | 5,01 | 5,09 |
| 110 | 70 | 6,5 | 10 | 8,98 | 11,45 | 142,4 | 3,53 | 45,61 | 2,00 | 1,53 | 1,58 | 3,55 | 2,81 | 2,88 | 2,96 | 5,30 | 5,37 | 5,44 |
| | | 8 | | 10,93 | 13,93 | 171,5 | 3,51 | 54,64 | 1,98 | 1,52 | 1,64 | 3,61 | 2,84 | 2,92 | 2,99 | 5,33 | 5,41 | 5,49 |
| 125 | 80 | 7 | 11 | 11,04 | 14,06 | 226,5 | 4,01 | 73,73 | 2,29 | 1,76 | 1,80 | 4,01 | 3,17 | 3,24 | 3,31 | 5,96 | 6,04 | 6,11 |
| | | 8 | | 12,53 | 15,96 | 255,6 | 4,00 | 82,95 | 2,28 | 1,75 | 1,84 | 4,05 | 3,19 | 3,27 | 3,34 | 5,98 | 6,06 | 6,13 |
| | | 10 | | 15,47 | 19,70 | 311,6 | 3,98 | 100,5 | 2,26 | 1,74 | 1,92 | 4,14 | 3,23 | 3,31 | 3,38 | 6,04 | 6,11 | 6,19 |
| | | 12 | | 18,34 | 23,36 | 364,8 | 3,95 | 116,8 | 2,24 | 1,72 | 2,00 | 4,22 | 3,28 | 3,35 | 3,43 | 6,08 | 6,15 | 6,23 |
| 140 | 90 | 8 | 12 | 14,13 | 18,00 | 363,7 | 4,49 | 119,8 | 2,58 | 1,98 | 2,03 | 4,49 | 3,55 | 3,61 | 3,69 | 6,64 | 6,72 | 6,79 |
| | | 10 | | 17,46 | 22,24 | 444,5 | 4,47 | 145,5 | 2,56 | 1,96 | 2,12 | 4,58 | 3,60 | 3,67 | 3,74 | 6,69 | 6,77 | 6,84 |
| 160 | 100 | 9 | 13 | 17,96 | 22,87 | 606,0 | 5,15 | 186,0 | 2,85 | 2,20 | 2,24 | 5,19 | 3,87 | 3,95 | 4,02 | 7,60 | 7,67 | 7,75 |
| | | 10 | | 19,85 | 25,28 | 666,6 | 5,13 | 204,1 | 2,84 | 2,19 | 2,28 | 5,23 | 3,90 | 3,97 | 4,04 | 7,62 | 7,69 | 7,77 |
| | | 12 | | 23,58 | 30,04 | 784,2 | 5,11 | 238,8 | 2,82 | 2,18 | 2,36 | 5,32 | 3,95 | 4,02 | 4,09 | 7,67 | 7,75 | 7,82 |
| | | 14 | | 27,26 | 34,72 | 897,2 | 5,08 | 271,6 | 2,80 | 2,16 | 2,43 | 5,40 | 3,98 | 4,05 | 4,13 | 7,71 | 7,78 | 7,86 |
| 180 | 110 | 10 | 14 | 22,24 | 28,33 | 952,3 | 5,80 | 276,4 | 3,12 | 2,42 | 2,44 | 5,88 | 4,22 | 4,29 | 4,36 | 8,55 | 8,62 | 8,69 |
| | | 12 | | 26,44 | 33,69 | 1123 | 5,77 | 324,1 | 3,10 | 2,40 | 2,52 | 5,97 | 4,26 | 4,33 | 4,40 | 8,59 | 8,67 | 8,75 |
| 200 | 125 | 11 | 14 | 27,37 | 34,87 | 1449 | 6,45 | 446,4 | 3,58 | 2,75 | 2,79 | 6,50 | 4,79 | 4,86 | 4,93 | 9,44 | 9,51 | 9,59 |
| | | 12 | | 29,74 | 37,89 | 1568 | 6,43 | 481,9 | 3,57 | 2,74 | 2,83 | 6,54 | 4,81 | 4,88 | 4,95 | 9,46 | 9,54 | 9,62 |
| | | 14 | | 34,43 | 43,87 | 1801 | 6,41 | 550,8 | 3,54 | 2,73 | 2,91 | 6,62 | 4,85 | 4,92 | 4,99 | 9,50 | 9,58 | 9,65 |
| | | 16 | | 39,07 | 49,77 | 2026 | 6,38 | 616,7 | 3,52 | 2,72 | 2,99 | 6,71 | 4,89 | 4,95 | 5,03 | 9,55 | 9,69 | 9,70 |
| 250 | 160 | 12 | 18 | 37,9 | 48,32 | 3147 | 8,07 | 1032 | 4,62 | 3,64 | 3,53 | 7,97 | 6,07 | 6,13 | 6,20 | 11,62 | 11,71 | 11,70 |
| | | 16 | | 49,9 | 63,59 | 4091 | 8,02 | 1333 | 4,58 | 3,50 | 3,69 | 8,14 | 6,14 | 6,21 | 6,27 | 11,73 | 11,78 | 11,86 |
| | | 18 | | 55,8 | 71,13 | 4545 | 7,99 | 1475 | 4,56 | 3,49 | 3,77 | 8,23 | 6,18 | 6,24 | 6,31 | 11,76 | 11,84 | 11,91 |
| | | 20 | | 61,7 | 78,54 | 4987 | 7,97 | 1613 | 4,53 | 3,48 | 3,85 | 8,31 | 6,20 | 6,28 | 6,35 | 11,81 | 11,88 | 11,95 |



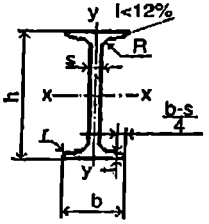

ცხრილი П11-3. ცხლად გლინული ფოლადის შველერები, ГОСТ 8240-93 მიხედვით

აღნიშვნის მაგალითი: [ *20/ ГОСТ 8240 – 93;* [ *20П/ ГОСТ 8240 – 93*

| № შველერის | ზომები, მმ | | | | | | წრფივი სიმკვრივე კგ/მ | განივი კვეთის ფართობი სმ² | საანგარიშო მონაცემები ღერძებისათვის | | | | | | | $z_0$ სმ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | x - x | | | | y - y | | | |
| | h | b | s | t | R | r | | | $I_x$, სმ⁴ | $W_x$, სმ³ | $i_x$, სმ | $S_x$, სმ³ | $I_y$, სმ⁴ | $W_y$, სმ³ | $i_y$, სმ | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| შველერები თაროების შიდა წიბოების დახრით | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 100 | 46 | 4,5 | 7,6 | 7 | 3 | 8,59 | 10,90 | 174 | 34,8 | 3,99 | 20,4 | 20,40 | 6,46 | 1,37 | 1,44 |
| 12 | 120 | 52 | 4,8 | 7,8 | 7,5 | 3 | 10,4 | 13,30 | 304 | 50,6 | 4,78 | 29,6 | 31,2 | 8,52 | 1,53 | 1,54 |
| 14 | 140 | 58 | 4,9 | 8,1 | 8 | 3 | 12,3 | 16,60 | 491 | 70,2 | 5,60 | 40,8 | 45,4 | 11,0 | 1,70 | 1,67 |
| 16 | 160 | 64 | 5 | 8,4 | 8,5 | 3,5 | 14,2 | 18,10 | 747 | 93,4 | 6,42 | 54,1 | 63,3 | 13,8 | 1,87 | 1,80 |
| 18 | 180 | 70 | 5,1 | 8,7 | 9 | 3,5 | 16,3 | 20,7 | 1090 | 121 | 7,24 | 69,8 | 86 | 17 | 2,04 | 1,94 |
| 20 | 200 | 76 | 5,2 | 9 | 9,5 | 4 | 18,4 | 23,4 | 1520 | 152 | 8,07 | 87,8 | 113 | 20,5 | 2,20 | 2,07 |
| 22 | 220 | 82 | 5,4 | 9,5 | 10 | 4 | 21 | 26,7 | 2110 | 192 | 8,89 | 110 | 151 | 25,1 | 2,37 | 2,21 |
| 24 | 240 | 90 | 5,6 | 10,0 | 10,5 | 4 | 24 | 30,6 | 2900 | 242 | 9,73 | 139 | 208 | 31,6 | 2,60 | 2,42 |
| 27 | 270 | 95 | 6 | 10,5 | 11 | 4,5 | 27,7 | 35,2 | 4160 | 308 | 10,90 | 178 | 262 | 37,3 | 2,73 | 2,47 |
| 30 | 300 | 100 | 6,5 | 11 | 12 | 5 | 31,8 | 40,5 | 5810 | 387 | 12,00 | 224 | 327 | 43,6 | 2,84 | 2,52 |
| 40 | 400 | 115 | 8 | 13,5 | 15,0 | 6 | 48,3 | 61,5 | 15 220 | 761 | 15,70 | 444 | 642 | 73,4 | 3,23 | 2,75 |

დანართი 3.8, გ გაგრძელება

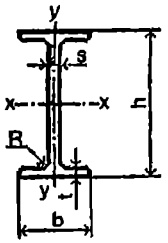
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10П | 100 | 46 | 4,5 | 7,6 | 7 | 4 | 8,59 | 10,9 | 175 | 34,9 | 3,99 | 20,5 | 22,6 | 7,37 | 1,44 | 1,53 |
| 12П | 120 | 52 | 4,8 | 7,8 | 7,5 | 4,5 | 10,4 | 13,3 | 305 | 50,8 | 4,79 | 29,7 | 34,9 | 9,84 | 1,62 | 1,66 |
| 14П | 140 | 58 | 4,9 | 8,1 | 8 | 4,5 | 12,3 | 15,6 | 493 | 70,4 | 5,61 | 40,8 | 51,5 | 12,9 | 1,81 | 1,82 |
| 16П | 160 | 64 | 5 | 8,4 | 8,5 | 5 | 14,2 | 18,1 | 750 | 93,8 | 6,44 | 54,3 | 72,8 | 16,4 | 2 | 1,97 |
| 18П | 180 | 70 | 5,1 | 8,7 | 9 | 5 | 16,3 | 20,7 | 1090 | 121,0 | 7,26 | 70 | 100,0 | 20,6 | 2,20 | 2,14 |
| 20П | 200 | 76 | 5,2 | 9,0 | 9,5 | 5,5 | 18,4 | 23,4 | 1530 | 153,0 | 8,08 | 88 | 134 | 25,2 | 2,39 | 2,30 |
| 22П | 220 | 82 | 5,4 | 9,5 | 10 | 6 | 21 | 26,7 | 2120 | 193,0 | 8,90 | 111 | 178 | 31 | 2,58 | 2,47 |
| 24П | 240 | 90 | 5,6 | 10,0 | 10,5 | 6 | 24 | 30,6 | 2910 | 243,0 | 9,75 | 139 | 248 | 39,5 | 2,85 | 2,72 |
| 27П | 270 | 95 | 6 | 10,5 | 11 | 6,5 | 27,7 | 35,2 | 4180 | 310,0 | 10,90 | 178 | 314 | 46,7 | 2,99 | 2,78 |
| 30П | 300 | 100 | 6,5 | 11,0 | 12 | 7 | 31,8 | 40,5 | 5830 | 389,0 | 12,00 | 224 | 393 | 54,8 | 3,12 | 2,83 |
| 40П | 400 | 115 | 8 | 13,5 | 15 | 9 | 48,3 | 61,5 | 15 260 | 763,0 | 15,8 | 445 | 760 | 88,9 | 3,51 | 3,05 |




ცხრილი ГОСТ 8239-89 ცხლად გლინული ფოლადის ორტესებრი კოჭები

აღნიშვნის მაგალითი: *Двутавр 30 ГОСТ 8239–89*

| კოჭის ნომერი | ზომები, მმ | | | | | | წრფივი სიმკვრივე კგ/მ | ჭრილის ფართობი სმ² | საანგარიშო მონაცემები ღერძებისათვის | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | x - x | | | | y - y | | |
| | h | b | s | t | R | r | | | $I_x$, სმ⁴ | $W_x$, სმ³ | $i_x$, სმ | $S_x$, სმ³ | $I_y$, სმ⁴ | $W_y$, სმ³ | $i_y$, სმ |
| 10 | 100 | 55 | 4,5 | 7,2 | 7 | 2,5 | 9,48 | 12 | 198 | 39,7 | 4,06 | 23,0 | 17,9 | 6,49 | 1,22 |
| 12 | 120 | 64 | 4,8 | 7,3 | 7,5 | 3 | 11,5 | 14,7 | 350 | 58,4 | 4,88 | 33,7 | 27,9 | 8,72 | 1,38 |
| 14 | 140 | 73 | 4,9 | 7,5 | 8,0 | 3 | 13,7 | 17,4 | 572 | 61,7 | 5,73 | 46,8 | 41,9 | 11,50 | 1,55 |
| 16 | 160 | 81 | 5 | 7,8 | 6,5 | 3,5 | 15,9 | 20,2 | 873 | 109 | 6,57 | 62,3 | 58,6 | 14,50 | 1,70 |
| 18 | 180 | 90 | 5,1 | 8,1 | 9 | 3,5 | 18,4 | 23,4 | 1290 | 143 | 7,42 | 81,4 | 82,6 | 18,40 | 1,88 |
| 20 | 200 | 100 | 5,2 | 8,4 | 9,5 | 4 | 21 | 26,8 | 1840 | 184 | 8,28 | 104 | 115 | 23,10 | 2,07 |
| 22 | 220 | 110 | 5,4 | 8,7 | 10 | 4 | 24 | 30,6 | 2550 | 232 | 9,13 | 131 | 157 | 28,60 | 2,27 |
| 24 | 240 | 115 | 5,6 | 9,5 | 10,5 | 4 | 27,3 | 34,8 | 3460 | 289 | 9,97 | 163 | 198 | 34,50 | 2,37 |
| 27 | 270 | 125 | 6 | 9,8 | 11 | 4,5 | 31,5 | 40,2 | 5010 | 371 | 11,2 | 210 | 260 | 41,50 | 2,54 |
| 30 | 300 | 135 | 6,5 | 10,2 | 12 | 5 | 36,5 | 46,5 | 7080 | 472 | 12,3 | 268 | 337 | 49,90 | 2,69 |
| 33 | 330 | 140 | 7 | 11,2 | 13 | 5 | 42,2 | 53,8 | 9840 | 597 | 13,5 | 339 | 419 | 59,90 | 2,79 |
| 36 | 360 | 145 | 7,5 | 12,3 | 14 | 6 | 48,6 | 61,9 | 13 380 | 743 | 14,7 | 423 | 516 | 71,10 | 2,89 |
| 40 | 400 | 155 | 8,3 | 13 | 15 | 6 | 57 | 72,6 | 19 062 | 953 | 16,2 | 545 | 667 | 86,10 | 3,03 |
| 45 | 450 | 160 | 9 | 14,2 | 16 | 7 | 66,5 | 84,7 | 27 696 | 1231 | 18,1 | 708 | 808 | 101 | 3,09 |
| 50 | 500 | 170 | 10 | 15,2 | 17 | 7 | 78,5 | 100 | 39 727 | 1589 | 19,9 | 919 | 1043 | 123 | 3,23 |
| 55 | 550 | 180 | 11 | 16,5 | 18 | 7 | 92,6 | 118 | 55 962 | 2035 | 21,8 | 1181 | 1356 | 151 | 3,39 |
| 60 | 600 | 190 | 12 | 17,8 | 20 | 8 | 108 | 138 | 78 806 | 2560 | 23,6 | 1491 | 1725 | 182 | 3,54 |




ცხრილი П11-5. ცხლად ნაგლინი ფოლადის ორტესებრი კოჭები, თაროების პარალელური წიბოებით ГОСТ 26020-83 მისედვით

აღნიშვნის მაგალითი: *I 40 К1 / ГОСТ 26020 – 83*

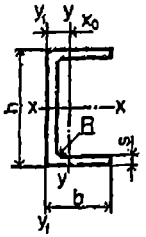
| № პროფილის | წრფივი სიმკვრივე კგ/მ | ზომები, მმ | | | | | კვეთის ფართობი სმ² | საცნობარო მონაცემები ღერძებისათვის | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | x - x | | | | y - y | | |
| | | h | b | s | t | R | | $I_x$, სმ⁴ | $W_x$, სმ³ | $S_x$, სმ³ | $i_x$, სმ | $I_y$, სმ⁴ | $W_y$, სმ³ | $i_y$, სმ |
| ნორმალური ორტესებრი პროფილი | | | | | | | | | | | | | | |
| 10Б1 | 8,1 | 100,0 | 55 | 4,1 | 5,7 | 7 | 10,32 | 171 | 34,2 | 19,7 | 4,07 | 16,9 | 5,8 | 1,24 |
| 12Б1 | 8,7 | 117,6 | 64 | 3,8 | 5,1 | | 11,03 | 257 | 43,8 | 24,9 | 4,83 | 22,4 | 7 | 1,42 |
| 12Б2 | 10,4 | 120,0 | 64 | 4,4 | 6,3 | | 13,21 | 318 | 53,0 | 30,4 | 4,90 | 27,7 | 8,6 | 1,45 |
| 14Б1 | 10,5 | 137,4 | 73 | 3,8 | 5,6 | | 13,39 | 435 | 63,3 | 35,8 | 5,70 | 36,4 | 10 | 1,65 |
| 14Б2 | 12,9 | 140,0 | 73 | 4,7 | 6,9 | | 16,43 | 541 | 77,3 | 44,2 | 5,74 | 44,9 | 12,3 | 1,65 |
| 16Б1 | 12,7 | 157 | 82 | 4 | 5,9 | 9 | 16,18 | 689 | 87,8 | 49,5 | 6,53 | 54,4 | 13,3 | 1,83 |
| 16Б2 | 15,8 | 160 | 82 | 5 | 7,4 | | 20,09 | 869 | 108,7 | 61,9 | 6,58 | 68,3 | 16,6 | 1,84 |
| 18Б1 | 15,4 | 177 | 91 | 4,3 | 6,5 | | 19,58 | 1063 | 120,1 | 67,7 | 7,37 | 81,9 | 18 | 2,04 |
| 18Б2 | 18,8 | 180 | 91 | 5,3 | 8 | | 23,95 | 1317 | 146,3 | 83,2 | 7,41 | 100,8 | 22,2 | 2,05 |
| 20Б1 | 22,4 | 200 | 100 | 5,6 | 8,5 | 12 | 28,49 | 1943 | 194,3 | 110,3 | 8,26 | 142,3 | 28,5 | 2,23 |
| 23Б1 | 25,8 | 230 | 110 | 5,6 | 9 | | 32,91 | 2996 | 260,5 | 147,2 | 9,54 | 200,3 | 36,4 | 2,47 |
| 26Б1 | 28 | 258 | 120 | 5,8 | 8,5 | | 35,62 | 4024 | 312,0 | 176,6 | 10,63 | 245,6 | 40,9 | 2,63 |
| 26Б2 | 31,2 | 261 | 120 | 6 | 10 | | 39,70 | 4654 | 356,6 | 201,5 | 10,83 | 288,8 | 48,1 | 2,70 |
| 30Б1 | 32,9 | 296 | 140 | 5,8 | 8,5 | 15 | 41,92 | 6328 | 427,0 | 240,0 | 12,29 | 390,0 | 55,7 | 3,05 |
| 30Б2 | 36,6 | 299 | 140 | 6,0 | 10 | | 46,67 | 7293 | 487,8 | 273,8 | 12,50 | 458,6 | 65,5 | 3,13 |

| № პროფილის | წრფივი სიმკვრივე კგ/მ | ზომები, მმ | | | | | კვეთის ფართობი სმ² | საანგარიშო მონაცემები ღერძებისათვის | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | x-x | | | | y-y | | |
| | | h | b | s | t | R | | $I_x$, სმ⁴ | $W_x$, სმ³ | $S_x$, სმ³ | $i_x$, სმ | $I_y$, სმ⁴ | $W_y$, სმ³ | $i_y$, სმ |
| 35Б1 | 38,9 | 346 | 155 | 6,2 | 8,5 | 18 | 49,53 | 10060 | 581,7 | 328,6 | 14,25 | 529,6 | 68,3 | 3,27 |
| 35Б2 | 43,3 | 349 | 155 | 6,5 | 10 | | 55,17 | 11550 | 662,2 | 373 | 14,47 | 622,9 | 80,4 | 3,36 |
| 40Б1 | 48,1 | 392 | 165 | 7 | 9,5 | 21 | 61,25 | 15 750 | 803,6 | 456 | 16,03 | 714,9 | 86,7 | 3,42 |
| 40Б2 | 54,7 | 396 | 165 | 7,5 | 11,5 | | 69,72 | 18 530 | 935,7 | 529,7 | 16,30 | 865 | 104,8 | 3,52 |
| 45Б1 | 59,8 | 443 | 180 | 7,8 | 11 | | 76,23 | 24 940 | 1125,8 | 639,5 | 18,09 | 1073,7 | 119,3 | 3,75 |
| 45Б2 | 67,5 | 447 | 180 | 8,4 | 13 | | 85,96 | 28 870 | 1291,9 | 732,9 | 18,32 | 1269 | 141 | 3,84 |
| 50Б1 | 73,0 | 492 | 200 | 8,8 | 12 | | 92,98 | 37 160 | 1511 | 860,4 | 19,99 | 1606 | 160,6 | 4,16 |
| 50Б2 | 80,7 | 496 | 200 | 9,2 | 14 | | 102,80 | 42 390 | 1709 | 970,2 | 20,30 | 1873 | 187,3 | 4,27 |
| 55Б1 | 89 | 543 | 220 | 9,5 | 13,5 | 24 | 113,37 | 55 680 | 2051 | 1165 | 22,16 | 2404 | 218,6 | 4,61 |
| 55Б2 | 97 | 547 | 220 | 10 | 15,5 | | 124,75 | 62 790 | 2296 | 1302 | 22,43 | 2760 | 250,9 | 4,70 |
| 60Б1 | 106,2 | 593 | 230 | 10,5 | 15,5 | | 135,26 | 78 760 | 2656 | 1512 | 24,13 | 3154 | 274,3 | 4,83 |
| 60Б2 | 115,6 | 597 | 230 | 11 | 17,5 | | 147,30 | 87 640 | 2936 | 1669 | 24,39 | 3561 | 309,6 | 4,92 |
| 70Б1 | 129,3 | 691 | 260 | 12 | 15,5 | | 164,70 | 125 930 | 3645 | 2095 | 27,65 | 4556 | 350,5 | 5,26 |
| 70Б2 | 144,2 | 697 | 260 | 12,5 | 18,5 | | 183,60 | 145 912 | 4187 | 2393 | 28,19 | 5437 | 418,3 | 5,44 |
| 80Б1 | 159,5 | 791 | 280 | 13,5 | 17 | 26 | 203,20 | 199 500 | 5044 | 2917 | 31,33 | 6244 | 446,0 | 5,54 |
| 80Б2 | 177,9 | 798 | 280 | 14 | 20,5 | | 226,60 | 232 200 | 5820 | 3343 | 32,01 | 7527 | 537,6 | 5,76 |
| 90Б1 | 194 | 893 | 300 | 15 | 18,5 | 30 | 247,10 | 304 400 | 6817 | 3964 | 35,09 | 8365 | 557,6 | 5,82 |
| 90Б2 | 213,8 | 900 | 300 | 15,5 | 22 | | 272,40 | 349 200 | 7760 | 4480 | 35,80 | 9943 | 662,8 | 6,04 |
| 100Б1 | 230,6 | 990 | 320 | 16 | 21 | | 293,82 | 446 000 | 9011 | 5234 | 38,96 | 11 520 | 719,9 | 6,26 |
| 100Б2 | 258,2 | 998 | 320 | 17 | 25 | | 328,90 | 516 400 | 10 350 | 5980 | 39,62 | 13 710 | 856,9 | 6,46 |
| 100Б3 | 285,7 | 1006 | 320 | 18 | 29 | | 364,00 | 597 700 | 11 680 | 6739 | 40,18 | 15 900 | 993,9 | 6,61 |
| 100Б4 | 314,5 | 1013 | 320 | 19,5 | 32,5 | | 400,60 | 655 400 | 12 940 | 7470 | 40,45 | 17 830 | 1114,3 | 6,67 |

დანართი 3.8, ე გაგრძელება

| № პროფილის | წრფივი სიმკვრივე კგ/მ | ზომები, მმ | | | | | კვეთის ფართობი სმ² | საანგარიშო მონაცემები ღერძებისათვის | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | x - x | | | | y - y | | |
| | | h | b | s | t | R | | $I_x$, სმ⁴ | $W_x$, სმ³ | $S_x$, სმ³ | $i_x$, სმ | $I_y$ სმ⁴ | $W_y$, სმ³ | $i_y$, სმ |
| ფართოთაროებიანი ორტესებრი პროფილი | | | | | | | | | | | | | | |
| 20Ш1 | 30,6 | 196 | 193 | 6 | 9 | 13 | 38,95 | 2660 | 275 | 153 | 8,26 | 507 | 67,6 | 3,61 |
| 23Ш1 | 36,2 | 226 | 155 | 6,5 | 10 | 14 | 46,06 | 4260 | 377 | 210 | 9,62 | 622 | 80,2 | 3,67 |
| 26Ш1 | 42,7 | 251 | 180 | 7 | 10 | 16 | 54,37 | 6225 | 496 | 276 | 10,70 | 974 | 108,2 | 4,23 |
| 26Ш2 | 49,2 | 255 | 180 | 7,5 | 12 | | 62,73 | 7429 | 583 | 325 | 10,88 | 1168 | 129,8 | 4,31 |
| 30Ш1 | 53,6 | 291 | 200 | 8 | 11 | 18 | 68,31 | 10 400 | 715 | 398 | 12,34 | 1470 | 147,0 | 4,64 |
| 30Ш2 | 61 | 295 | 200 | 8,5 | 13 | | 77,65 | 12 200 | 827 | 462 | 12,53 | 1737 | 173,7 | 4,73 |
| 30Ш3 | 68,3 | 299 | 200 | 9 | 15 | | 87 | 14 040 | 939 | 526 | 12,70 | 2004 | 200,4 | 4,80 |
| 35Ш1 | 75,1 | 338 | 250 | 9,5 | 12,5 | 20 | 95,67 | 19 790 | 1171 | 651 | 14,38 | 3260 | 261 | 5,84 |
| 35Ш2 | 82,2 | 341 | 250 | 10,0 | 14 | | 104,74 | 22 070 | 1295 | 721 | 14,52 | 3650 | 292 | 5,90 |
| 35Ш3 | 91,30 | 345 | 250 | 10,5 | 16 | | 116,30 | 25 140 | 1458 | 813 | 14,70 | 4170 | 334 | 5,99 |
| 40Ш1 | 96,1 | 388 | 300 | 9,5 | 14 | 22 | 122,40 | 34 360 | 1771 | 976 | 16,76 | 6306 | 420 | 7,18 |
| 40Ш2 | 111,1 | 392 | 300 | 11,5 | 16 | | 141,60 | 39 700 | 2025 | 1125 | 16,75 | 7209 | 481 | 7,14 |
| 40Ш3 | 123,4 | 396 | 300 | 12,5 | 18 | | 157,20 | 44 740 | 2260 | 1259 | 16,87 | 8111 | 541 | 7,18 |
| 50Ш1 | 114,4 | 484 | 300 | 11 | 15 | 26 | 145,70 | 60 930 | 2518 | 1403 | 20,45 | 6762 | 451 | 6,81 |
| 50Ш2 | 138,7 | 489 | 300 | 14,5 | 17,5 | | 176,60 | 75 530 | 2967 | 1676 | 20,26 | 7900 | 526 | 6,69 |
| 50Ш3 | 156,4 | 495 | 300 | 15,5 | 20,5 | | 199,20 | 84 200 | 3402 | 1923 | 20,56 | 9520 | 617 | 6,81 |
| 50Ш4 | 174,1 | 501 | 300 | 16,5 | 23,5 | | 221,70 | 96 150 | 3838 | 2173 | 20,82 | 10 600 | 707 | 6,92 |
| 60Ш1 | 142,1 | 580 | 320 | 12 | 17 | 28 | 181,10 | 107 300 | 3701 | 2068 | 24,35 | 9302 | 581 | 7,17 |
| 60Ш2 | 176,9 | 587 | 320 | 15 | 20,5 | | 225,30 | 131 800 | 4490 | 2544 | 24,19 | 11 230 | 702 | 7,06 |
| 60Ш3 | 205,5 | 595 | 320 | 18 | 24,5 | | 261,80 | 156 900 | 5273 | 2997 | 24,48 | 13 420 | 839 | 7,16 |
| 60Ш4 | 234,2 | 603 | 320 | 20 | 28,5 | | 298,34 | 182 500 | 6055 | 3455 | 24,73 | 15 620 | 976 | 7,23 |
| 70Ш1 | 169,9 | 683 | 320 | 13,5 | 19 | 30 | 216,40 | 172 000 | 5036 | 2843 | 28,19 | 10 400 | 650 | 6,93 |
| 70Ш2 | 197,6 | 691 | 320 | 15 | 23 | | 251,70 | 205 500 | 5949 | 3360 | 28,58 | 12 590 | 787 | 7,07 |
| 70Ш3 | 235,4 | 700 | 320 | 18 | 27,.5 | | 299,80 | 247 100 | 7059 | 4017 | 28,72 | 15 070 | 942 | 7,09 |
| 70Ш4 | 268,1 | 708 | 320 | 20,5 | 31,5 | | 341,60 | 284 400 | 8033 | 5498 | 28,85 | 17 270 | 1079 | 7,11 |

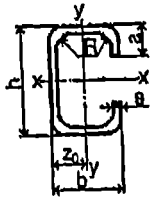
| № პროფილის | წრფივი სიმკვრივე კგ/მ | ზომები, მმ | | | | | ჭრილის ფართობი სმ² | საანგარიშო მონაცემები ღერძებისათვის | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | x - x | | | | y - y | | |
| | | h | b | s | t | R | | $I_x$, სმ⁴ | $W_x$, სმ³ | $S_x$, სმ³ | $i_x$, სმ | $I_y$, სმ⁴ | $W_y$, სმ³ | $i_y$, სმ |
| სვეტის ორტესებრი პროფილი | | | | | | | | | | | | | | |
| 20K1 | 41,5 | 195 | 200 | 6,5 | 10 | 13 | 52,82 | 3820 | 392 | 216 | 8,50 | 1334 | 133 | 5,03 |
| 20K2 | 46,9 | 198 | 200 | 7 | 11,5 | 13 | 59,70 | 4422 | 447 | 247 | 8,61 | 1534 | 153 | 5,07 |
| 23K1 | 52,2 | 227 | 240 | 7 | 10,5 | 14 | 66,51 | 6589 | 580 | 318 | 9,95 | 2421 | 202 | 6,03 |
| 23K2 | 59,5 | 230 | 240 | 8 | 12 | 14 | 75,77 | 7601 | 661 | 365 | 10,02 | 2766 | 231 | 6,04 |
| 26K1 | 65,2 | 255 | 260 | 8 | 12 | 16 | 83,08 | 10 300 | 809 | 445 | 11,14 | 3517 | 271 | 6,51 |
| 26K2 | 73,2 | 258 | 260 | 9 | 13,5 | 16 | 93,19 | 11 700 | 907 | 501 | 11,21 | 3957 | 304 | 6,52 |
| 26K3 | 83,1 | 262 | 260 | 10 | 15,5 | 16 | 105,90 | 13 560 | 1035 | 576 | 11,32 | 4544 | 349 | 6,55 |
| 30K1 | 84,8 | 296 | 300 | 9 | 13,5 | 18 | 108,00 | 18 110 | 1223 | 672 | 12,95 | 6079 | 405 | 7,50 |
| 30K2 | 96,3 | 300 | 300 | 10 | 15,5 | 18 | 122,70 | 20 930 | 1395 | 771 | 13,06 | 6980 | 465 | 7,54 |
| 30K3 | 108,9 | 304 | 300 | 11,5 | 17,5 | 18 | 138,72 | 23 910 | 1573 | 874 | 13,12 | 7881 | 525 | 7,54 |
| 35K1 | 109,7 | 343 | 350 | 10 | 15,0 | 20 | 139,70 | 31 610 | 1843 | 1010 | 15,04 | 10 720 | 613 | 8,76 |
| 35K2 | 125,9 | 348 | 350 | 11 | 17,5 | 20 | 160,40 | 37 090 | 2132 | 1173 | 15,21 | 12 510 | 715 | 8,83 |
| 35K3 | 144,5 | 353 | 350 | 13 | 20,0 | 20 | 184,10 | 42 970 | 2435 | 1351 | 15,28 | 14 300 | 817 | 8,81 |
| 40K1 | 138,0 | 393 | 400 | 11 | 16,5 | 22 | 175,80 | 52 400 | 2664 | 1457 | 17,26 | 17 610 | 880 | 10 |
| 40K2 | 165,6 | 400 | 400 | 13 | 20,0 | 22 | 210,96 | 64 140 | 3207 | 1767 | 17,44 | 21 350 | 1067 | 10,06 |
| 40K3 | 202,3 | 409 | 400 | 16 | 24,5 | 22 | 257,80 | 80 040 | 3914 | 2180 | 17,62 | 26 150 | 1307 | 10,07 |
| 40K4 | 242,2 | 419 | 400 | 19 | 29,5 | 22 | 308,60 | 98 340 | 4694 | 2642 | 17,85 | 31 500 | 1575 | 10,10 |
| 40K5 | 291,2 | 431 | 400 | 23 | 35,5 | 22 | 371,00 | 121 570 | 5642 | 3217 | 18,10 | 37 910 | 1896 | 10,11 |



ცხრილი П11-7. ფოლადის ნალუნი თანაბართაროებიანი შველერები, ГОСТ 8278-83* მიხედვით

აღნიშვნის მაგალითი: ნალ. [ *160×80×5 / ГОСТ 8278–83** ]

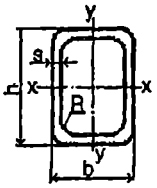
| ზომები, მმ | | | | წრფივი სიმკვრივე კგ/მ | კვეთის ფართობი სმ² | საცნობარო მონაცემები ღერძებისათვის | | | | | | | $x_0$, სმ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | x - x | | | | y - y | | | |
| $h$ | $b$ | $s$ | $R$, არა უმეტესი | | | $I_x$, სმ⁴ | $W_x$, სმ³ | $i_x$, სმ | $S_x$, სმ³ | $I_y$, სმ⁴ | $W_y$, სმ³ | $i_y$, სმ | |
| 60 | 32 | 3 | 4 | 26,7 | 3,40 | 18,31 | 6,10 | 2,32 | 3,62 | 3,38 | 1,52 | 1,00 | 0,97 |
| 80 | 50 | 4 | 6 | 5,18 | 6,60 | 65,98 | 16,50 | 3,16 | 9,65 | 16,60 | 4,48 | 1,58 | 1,60 |
| 100 | 50 | 3 | 4 | 4,47 | 5,68 | 87,88 | 15,57 | 3,93 | 10,24 | 14,05 | 3,90 | 1,57 | 1,39 |
| 120 | 60 | 4 | 6 | 7,07 | 9 | 198,65 | 33,11 | 4,70 | 19,37 | 31,91 | 7,42 | 1,88 | 1,70 |
| 120 | 60 | 5 | 7 | 8,71 | 11,09 | 239,63 | 39,94 | 4,67 | 23,60 | 38,73 | 9,10 | 1,87 | 1,74 |
| 140 | 60 | 4 | 6 | 7,70 | 9,80 | 285,42 | 40,77 | 5,39 | 24,08 | 33,57 | 7,59 | 1,85 | 1,57 |
| 160 | 80 | 4 | 6 | 9,58 | 12,20 | 489,16 | 61,14 | 6,33 | 35,42 | 78,01 | 13,44 | 2,53 | 2,20 |
| 160 | 80 | 5 | 7 | 11,85 | 15,09 | 595,66 | 74,46 | 6,28 | 43,45 | 95,40 | 16,57 | 2,51 | 2,24 |
| 180 | 80 | 5 | 7 | 13,68 | 16,09 | 784,86 | 87,21 | 6,98 | 51,24 | 99,15 | 16,86 | 2,48 | 2,12 |
| 200 | 80 | 4 | 6 | 10,83 | 13,81 | 823,48 | 82,35 | 7,72 | 48,43 | 83,67 | 13,86 | 2,46 | 1,96 |
| 200 | 80 | 5 | 7 | 13,42 | 17,09 | 1006,26 | 100,63 | 7,67 | 59,54 | 102,45 | 17,10 | 2,45 | 2,01 |
| 250 | 125 | 6 | 9 | 22 | 28,10 | 2720 | 218 | 9,85 | 126 | 399 | 45,50 | 3,77 | 3,23 |
| 300 | 100 | 8 | 12 | 29,53 | 37,62 | 4694,84 | 312,98 | 11,17 | 189,27 | 327,88 | 42,94 | 2,95 | 2,37 |




ცხრილი II11-8. ფოლადის ნალუნი თანაბართაროვებიანი C-სებრი, პრიფილი, ГОСТ 8282-83* მიხედვით

ადნიშვნის მაგალითი: ნალ. С *300×60×5 / ГОСТ 8282– 83**

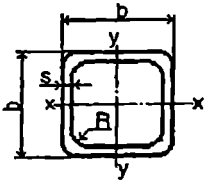
| ზომები, მმ | | | | | წრფივი სიმკვრივე კგ/მ | კვეთის ფართობი სმ² | საცნობარო მონაცემები ღერძებისათვის | | | | | | $x_0$, სმ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | x - x | | | y - y | | | |
| h | b | u | s | R, არა უმეტესი | | | $I_x$, სმ⁴ | $W_x$, სმ³ | $i_x$, სმ | $I_y$, სმ⁴ | $W_y$, სმ³ | $i_y$, სმ | |
| 62 | 66 | 17,5 | 3 | 4,5 | 4,89 | 6,23 | 40,14 | 12,95 | 2,54 | 36,65 | 9,61 | 2,39 | 2,89 |
| 65 | 32 | 8 | 1 | 1,5 | 1,08 | 1,38 | 9,38 | 2,69 | 2,61 | 1,89 | 0,88 | 1,17 | 1,05 |
| 65 | 32 | 8 | 1,6 | 3 | 1,66 | 2,11 | 13,92 | 4,28 | 2,57 | 2,70 | 1,25 | 1,13 | 1,04 |
| 100 | 50 | 10 | 2 | 3 | 3,22 | 4,12 | 65,59 | 13,12 | 4 | 12,64 | 3,60 | 1,76 | 1,56 |
| 100 | 80 | 35 | 5 | 7,5 | 11,53 | 14,68 | 220,49 | 44,11 | 3,87 | 33,57 | 30,47 | 3,02 | 3,62 |
| 120 | 55 | 18 | 5 | 7,5 | 9,15 | 11,66 | 245,74 | 40,96 | 4,59 | 42,52 | 11,65 | 1,91 | 1,85 |
| 160 | 50 | 20 | 3 | 4,5 | 6,56 | 8,36 | 306,37 | 38,30 | 6,05 | 27,17 | 7,74 | 1,80 | 1,49 |
| 160 | 60 | 32 | 4 | 6 | 9,87 | 12,57 | 462,01 | 37,75 | 6,05 | 65,78 | 7,16 | 2,29 | 2,14 |
| 300 | 60 | 50 | 5 | 7,5 | 19,12 | 24,36 | 2861,55 | 190,77 | 10,84 | 125,61 | 30,42 | 2,27 | 1,87 |
| 400 | 160 | 50 | 3 | 4,5 | 18,85 | 24,01 | 6073,68 | 303,68 | 15,91 | 884,54 | 80,83 | 6,07 | 5,06 |
| 400 | 160 | 60 | 4 | 10 | 25,33 | 32,27 | 8028,19 | 401,41 | 15,77 | 1219,71 | 113,92 | 6,15 | 5,29 |
| 550 | 65 | 30 | 4 | 6 | 22,41 | 28,55 | 10258,72 | 373,04 | 18,96 | 110,32 | 20,64 | 1,97 | 1,16 |
| 410 | 65 | 30 | 4 | 6 | 18,01 | 22,95 | 4872,87 | 237,70 | 14,57 | 103,88 | 20,33 | 2,13 | 1,39 |




ცხრილი П11-9. ფოლადის ნაღუნი, ჩაკეტილი, შელუღებული, სწორკუთხა პროფილი, ГОСТ 25577-83* მიხედვით

აღნიშვნის მაგალითი: სწორკ. ნაღ. *180×75×5 / ГОСТ 25577–83**

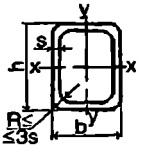
| ზომები, მმ | | | | წრფივი სიმკვრივე კგ/მ | ქვეთის ფართობი სმ² | საცნობარო მონაცემები ღერძებისათვის | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | *x - x* | | | | *y - y* | | | |
| *h* | *h* | *s* | *R* | | | $I_x$, სმ⁴ | $W_x$, სმ³ | $i_x$, სმ | $S_x$, სმ³ | $I_y$, სმ⁴ | $W_y$, სმ³ | $i_y$, სმ | $S_y$, სმ³ |
| ფოლადისაგან: ***Вст3пс, Вст3кп, ГОСТ 380-88*** | | | | | | | | | | | | | |
| 180 | 125 | 5 | 12 | 22,18 | 28,26 | 1265,94 | 140,66 | 6,69 | 85,20 | 726,58 | 116,25 | 5,07 | 66,63 |
| 180 | 75 | 5 | 12 | 18,26 | 23,26 | 883,02 | 98,11 | 6,16 | 63,33 | 226,38 | 60,37 | 3,12 | 34,44 |
| 160 | 120 | 3 | 6 | 12,60 | 16,05 | 601,73 | 75,22 | 6,12 | 44,69 | 388,86 | 64,81 | 4,92 | 36,67 |
| 97 | 80 | 3 | 6 | 7,76 | 9,87 | 134,73 | 27,78 | 3,69 | 21,99 | 100,45 | 25,11 | 3,19 | 14,50 |
| ფოლადისაგან: *Вст3пс ГОСТ 380 - 88, 09Г2 ГОСТ 19281 - 89* | | | | | | | | | | | | | |
| 230 | 100 | 8 | 22 | 36,64 | 46,47 | 2804,05 | 243,88 | 7,75 | 159,76 | 770,24 | 154,05 | 4,06 | 89,73 |
| 230 | 100 | 5 | 22 | 23,47 | 29,90 | 1868,01 | 162,44 | 7,90 | 104,48 | 525,05 | 105,01 | 4,19 | 59,31 |
| 160 | 130 | 7 | 18 | 28,30 | 36,06 | 1263,31 | 157,91 | 5,92 | 96,54 | 921,02 | 141,70 | 5,05 | 83,99 |
| 150 | 100 | 8 | 22 | 27,02 | 34,42 | 959,61 | 127,96 | 5,28 | 81,39 | 513,87 | 102,77 | 3,86 | 61,77 |




ცხრილი П11-10. ფოლადის ნაღუნი, ჩაკეტილი, შედუღებული, კვადრატული პროფილი, ГОСТ 25577-83* მიხედვით

აღნიშვნის მაგალითი: სწორკ. ნაღ. *140x5 / ГОСТ 25577–83**

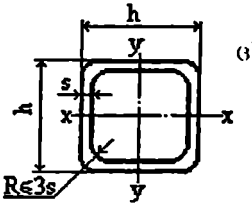
| ზომები, მმ | | | წრფივი სიმკვრივე კგ/მ | ქეთის ფართობი სმ² | საცნობარო მონაცემები ღერძებისათვის | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | x - x | | | |
| *h* | *s* | *R*, არა უმეტეს | | | $I_x$, სმ⁴ | $W_x$, სმ³ | $i_x$, სმ | $S_x$, სმ³ |
| ფოლადებისაგან: *ВСт3* кп, *ВСт3* пс *ГОСТ 380 - 88* | | | | | | | | |
| 110 | 3 | 6 | 9,79 | 121,45 | 233,59 | 42,47 | 4,33 | 24,70 |
| 100 | 4 | 8 | 11,50 | 14,70 | 234 | 48,90 | 3,87 | 26 |
| ფოლადებისაგან: *ВСт3* пс *ГОСТ 380 - 88*, *09Г2 ГОСТ 19281 - 89* | | | | | | | | |
| 150 | 8 | 22 | 32,86 | 41,86 | 1329,97 | 177,23 | 5,64 | 107,63 |
| 140 | 8 | 22 | 30,36 | 38,67 | 1055,26 | 150,75 | 5,22 | 92,08 |
| 140 | 7 | 18 | 27,21 | 34,66 | 974,21 | 139,17 | 5,30 | 83,87 |
| 140 | 5 | 12 | 20,22 | 25,76 | 780,54 | 108,62 | 5,43 | 64,01 |
| 110 | 6 | 14 | 18,22 | 23,31 | 398,80 | 72,51 | 4,15 | 43,91 |
| 100 | 5 | 12 | 13,94 | 17,76 | 255,57 | 51,11 | 3,79 | 30,76 |
| 100 | 4 | 10 | 11,47 | 14,54 | 215,73 | 43,15 | 3,85 | 25,59 |
| 80 | 4 | 10 | 8,90 | 11,34 | 104,21 | 26,05 | 3,03 | 15,69 |




ცხრილი П11-11. ნაღუნი, ჩაკეცილი, შედუღებული, სწორკუთხა პროფილი, ТУ 36-2287-80 მიხედვით

აღნიშვნის მაგალითი:. *h×b×s / ТУ 36-2287 80*

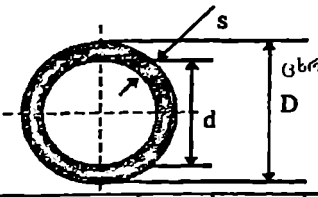
| ზომები, მმ | | | წრფივი სიმკვრივე კგ/მ | ქვეთის ფართობი სმ² | საანგარიშო მონაცემები ღერძებისათვის | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | x-x | | | y-y | | |
| h | b | s | | | $I_x$, სმ⁴ | $W_x$, სმ³ | $i_x$, სმ | $I_y$, სმ⁴ | $W_y$, სმ³ | $i_y$, სმ |
| 100 | 60 | 4 | 9,55 | 12,16 | 162,6 | 32,5 | 3,66 | 72,2 | 24,1 | 2,44 |
| | | 5 | 11,78 | 15 | 196,2 | 39,2 | 3,62 | 86,2 | 28,7 | 2,40 |
| | | 6 | 13,94 | 17,76 | 227,4 | 45,5 | 3,58 | 99 | 33 | 2,36 |
| 120 | 80 | 4 | 12,06 | 15,36 | 309 | 51,5 | 4,48 | 164 | 41 | 3,27 |
| | | 5 | 14,92 | 19 | 375,6 | 62,6 | 4,44 | 198 | 49,5 | 3,23 |
| | | 6 | 17,71 | 22,56 | 438,2 | 73,0 | 4,40 | 229 | 57,2 | 3,19 |
| 140 | 60 | 4 | 12,06 | 15,36 | 375,3 | 53,6 | 4,94 | 97,3 | 32,4 | 2,52 |
| | | 5 | 14,92 | 19 | 456,6 | 65,2 | 4,90 | 117 | 39 | 2,48 |
| | | 6 | 17,71 | 22,56 | 533,1 | 76,2 | 4,86 | 134 | 44,7 | 2,43 |
| 140 | 100 | 4 | 14,57 | 18,56 | 523,4 | 74,8 | 5,31 | 310,1 | 62 | 4,09 |
| | | 5 | 18,06 | 23 | 638,9 | 91,3 | 5,27 | 376,9 | 75,4 | 4,05 |
| | | 6 | 21,48 | 27,36 | 748,7 | 106,9 | 5,23 | 439,7 | 88 | 4,01 |
| | | 7 | 24,84 | 31,64 | 835,1 | 121,8 | 5,19 | 498,9 | 99,8 | 3,97 |
| 160 | 80 | 4 | 14,57 | 18,56 | 623,5 | 77,9 | 5,80 | 210 | 52,5 | 3,36 |
| | | 5 | 18,06 | 23 | 761,9 | 95,2 | 5,75 | 253,9 | 63,5 | 3,32 |
| | | 6 | 21,48 | 27,36 | 893,5 | 111,6 | 5,71 | 294,9 | 73,7 | 3,28 |
| | | 7 | 24,84 | 31,64 | 1018,9 | 127,3 | 5,67 | 332,9 | 83,2 | 3,24 |
| 160 | 120 | 4 | 17,08 | 21,76 | 818,3 | 102,3 | 6,13 | 524,4 | 87,4 | 4,91 |
| | | 5 | 21,19 | 27 | 1002,2 | 125,2 | 6,09 | 640,2 | 105,7 | 4,87 |
| | | 6 | 25,24 | 32,16 | 1178,3 | 147,2 | 6,05 | 750,4 | 125,1 | 4,83 |
| | | 7 | 29,20 | 37,24 | 1346,9 | 168,3 | 6,01 | 855 | 142,5 | 4,79 |
| | | 8 | 33,16 | 42,24 | 1508,1 | 188,5 | 5,97 | 954,2 | 159 | 4,75 |
| 180 | 60 | 5 | 18,06 | 23 | 868,9 | 96,5 | 6,15 | 147 | 49 | 2,53 |
| | | 6 | 21,48 | 27,36 | 1019,3 | 113,2 | 6,10 | 169 | 56,4 | 2,48 |
| | | 7 | 22,84 | 31,64 | 1162,5 | 129,2 | 6,06 | 189,4 | 63,1 | 2,44 |
| 180 | 100 | 6 | 25,24 | 32,16 | 1382,8 | 153,6 | 6,55 | 545,9 | 109,2 | 4,12 |
| | | 7 | 29,20 | 37,24 | 1581,7 | 175,7 | 6,51 | 620,1 | 124 | 4,08 |
| | | 8 | 33,16 | 42,24 | 1772,3 | 196,9 | 6,48 | 690 | 138 | 4,04 |
| 180 | 140 | 5 | 24,30 | 31 | 1481,5 | 164,6 | 6,91 | 1003,6 | 143,4 | 5,69 |
| | | 6 | 29,01 | 36,96 | 1746,2 | 194 | 6,87 | 1180 | 168,6 | 5,65 |
| | | 7 | 33,63 | 42,84 | 2001 | 222,3 | 6,83 | 1348,8 | 192,7 | 5,61 |
| | | 8 | 38,18 | 48,64 | 2246 | 249,5 | 6,79 | 1510,3 | 215,8 | 5,57 |
| 200 | 160 | 5 | 27,47 | 35 | 2092,9 | 209,3 | 7,73 | 1482,9 | 185,4 | 6,51 |
| | | 6 | 32,78 | 41,76 | 2471,5 | 247,1 | 7,69 | 1747,8 | 218,5 | 6,47 |
| | | 7 | 38 | 48,44 | 2837,5 | 283,7 | 7,65 | 2002,8 | 250,4 | 6,43 |
| | | 8 | 43,20 | 55,04 | 3191,2 | 319,1 | 7,61 | 2248,1 | 281 | 6,39 |




ცხრილი П11-12. ნაღუნი, ჩაკეტილი, შედუღებული, კვადრატული პროფილი, ТУ 36-2287-80 მიხედვით

აღნიშვნის მაგალითი: კვ. *h×b×s / ТУ 36-2287 80*

| ზომები, მმ | | წრფივი სიმკვრივე კგ/მ | კვეთის ფართობი სმ² | საანგარიშო მონაცემები ღერძებისათვის | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | *x - x* და *y - y* | | |
| *h* | *s* | | | $I_x = I_y$, სმ⁴ | $W_x = W_y$, სმ³ | $i_x = i_y$, სმ |
| 80 | 3 | 7,26 | 9,24 | 91,4 | 22,8 | 3,14 |
| | 4 | 9,54 | 12,16 | 117,3 | 29,3 | 3,10 |
| | 5 | 11,77 | 15 | 141,2 | 35,3 | 3,07 |
| | 6 | 13,94 | 17,76 | 163,1 | 40,7 | 3,03 |
| 100 | 3 | 9,13 | 11,64 | 182,7 | 36,5 | 3,96 |
| | 4 | 12,05 | 15,36 | 236,3 | 47,2 | 3,92 |
| | 5 | 14,92 | 19 | 286,5 | 57,3 | 3,89 |
| | 6 | 17,71 | 22,56 | 333,5 | 66,7 | 3,84 |
| 120 | 3 | 11,02 | 14,04 | 320,5 | 53,4 | 4,77 |
| | 4 | 14,57 | 18,56 | 416,7 | 69,4 | 4,74 |
| | 5 | 18,06 | 23 | 507,9 | 84,6 | 4,69 |
| | 6 | 21,48 | 27,36 | 594,2 | 99 | 4,66 |
| 140 | 4 | 17,08 | 21,76 | 671,3 | 95,9 | 5,55 |
| | 5 | 21,19 | 27 | 821,2 | 117,3 | 5,51 |
| | 6 | 25,24 | 32,16 | 964,3 | 137,7 | 5,48 |
| | 7 | 29,23 | 37,24 | 1100,9 | 157,2 | 5,44 |
| | 8 | 33,16 | 42,24 | 1231,1 | 175,8 | 5,39 |
| 160 | 4 | 19,6 | 24,96 | 1013 | 126,6 | 6,37 |
| | 5 | 24,33 | 31 | 1242,5 | 155,3 | 6,33 |
| | 6 | 29,01 | 36,96 | 1463,1 | 182,8 | 6,29 |
| | 7 | 33,63 | 42,84 | 1647,9 | 209,3 | 6,25 |
| | 8 | 38,18 | 48,64 | 1878,1 | 234,7 | 6,21 |
| 180 | 5 | 27,47 | 35 | 1787,9 | 198,6 | 7,15 |
| | 6 | 32,78 | 41,76 | 2109,7 | 234,4 | 7,11 |
| | 7 | 38,02 | 48,44 | 2420,2 | 268,9 | 7,07 |
| | 8 | 43,21 | 55,04 | 2719,7 | 302,1 | 7,03 |



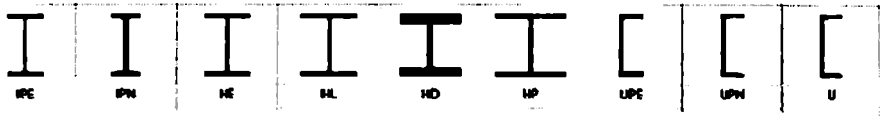

ცხრილი П11-13. ფოლადის მილები ელექტრო'შედ'ულებით, სწორნაკერიანი, ГОСТ 10704-91 მიხედვით

| ზომები, მმ | | წრფივი სიმკვრივე კგ/მ | კვეთის ფართობი სმ² | ინერციის რადიუსი სმ | ზომები, მმ | | წრფივი სიმკვრივე კგ/მ | კვეთის ფართობი სმ² | ინერციის რადიუსი სმ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *D* | *s* | | | | *D* | *s* | | | |
| 63,5 | 3,5 | 5,2 | 6,6 | 2,1 | 168 | 5,0 | 20,1 | 25,6 | 5,8 |
| | 3,8 | 5.6 | 7,1 | 2,1 | | 5,5 | 22,0 | 28,1 | 5,8 |
| 70 | 3,5 | 5,7 | 7,3 | 2,4 | | 6,0 | 24,0 | 30,5 | 5,7 |
| | 3,8 | 6,2 | 7,9 | 2,4 | | 7,0 | 27,8 | 35,4 | 5,7 |
| | 4,0 | 6,5 | 8,3 | 2,3 | 219 | 5,0 | 26,4 | 33,6 | 7,6 |
| 76 | 4,0 | 7,1 | 9,0 | 2,6 | | 6,0 | 31,5 | 40,2 | 7,5 |
| | 4,5 | 7,9 | 10,1 | 2,5 | | 7,0 | 36,6 | 46,6 | 7,5 |
| | 5,0 | 8,8 | 11,1 | 2,5 | | 8,0 | 41,6 | 53,0 | 7,5 |
| | 5,5 | 9,6 | 12,2 | 2,3 | | 9,0 | 46,6 | 59,4 | 7,4 |
| 89 | 4,0 | 8,4 | 10,7 | 3,0 | | 10,0 | 51,5 | 65,6 | 7,4 |
| | 4,5 | 9,4 | 11,9 | 3,0 | | 12,0 | 61,3 | 78,0 | 7,3 |
| | 5,0 | 10,4 | 13,2 | 3,0 | 273 | 7,0 | 45,9 | 58,5 | 9,4 |
| | 5,5 | 11,3 | 14,4 | 3,0 | | 8,0 | 52,3 | 66,6 | 9,4 |
| 102 | 4,0 | 9,7 | 12,3 | 3,5 | 325 | 7,0 | 54,9 | 69,9 | 11,2 |
| | 4,5 | 10,8 | 13,8 | 3,5 | | 8,0 | 62,5 | 79,6 | 11,2 |
| | 5,0 | 12,0 | 15,2 | 3,4 | | 9,0 | 70,1 | 89,3 | 11,2 |
| 108 | 4,0 | 10,3 | 13,1 | 3,7 | 426 | 6,0 | 62,1 | 79,2 | 14,9 |
| | 4,5 | 11,5 | 14,6 | 3,7 | | 7,0 | 72,3 | 92,1 | 14,8 |
| | 5,0 | 12,7 | 16,2 | 3,7 | | 8,0 | 82,5 | 105,0 | 14,8 |
| | 5,5 | 13,9 | 17,7 | 3,6 | | 9,0 | 92,6 | 118,0 | 14,8 |
| 114 | 4,5 | 12,2 | 15,5 | 3,9 | | 10,0 | 102,6 | 131,0 | 14,7 |
| | 5,0 | 13,4 | 17,1 | 3,9 | 530 | 9,0 | 115,6 | 147,0 | 18,4 |
| | 5,5 | 14,7 | 18,8 | 3,8 | | 10,0 | 128,2 | 163,0 | 18,4 |
| 127 | 4,5 | 13,6 | 17,3 | 4,3 | | 11,0 | 140,8 | 179,0 | 18,4 |
| | 5,0 | 15,0 | 19,2 | 4,3 | | 12,0 | 153,3 | 197,0 | 18,3 |
| | 5,5 | 16,5 | 21,0 | 4,3 | 630 | 7,0 | 107,5 | 137,0 | 22,0 |
| 133 | 4,5 | 14,3 | 18,2 | 4,6 | | 8,0 | 122,7 | 153,0 | 22,0 |
| | 5,0 | 15,8 | 20,1 | 4,5 | | 9,0 | 137,8 | 175,0 | 22,0 |
| | 5,5 | 17,3 | 22,0 | 4,5 | | 10,0 | 152,9 | 195,0 | 21,9 |
| 152 | 4,5 | 16,4 | 20,8 | 5,2 | | 11,0 | 167,9 | 214,0 | 21,9 |
| | 5,0 | 18,1 | 23,1 | 5,2 | | 12,0 | 182,9 | 233,0 | 21,8 |
| | 5,5 | 19,9 | 25,3 | 5,2 | | | | | |

# European section ranges 1

Nominal sizes: depth in mm

## ევროპული პროფილები (სია 1)




| Depth სიმაღლე, მმ | Parallel flange I sections სორტესები პარალელური თაროებით | Taper flange I sections სორტესები დახრილი თაროების პარალელური წახნაგებით | Wide flange beams ფართოთაროებიანი სორტესები | Extra wide flange beams გაფართოებული ფართოთაროებიანი სორტესები | Wide flange columns სვეტის სორტესები | Wide flange bearing piles ფართოთაროებიანი მზიდი ხიმინჯები | Parallel flange channels პარალელური თაროებით წახნაგებით | Taper flange channels დახრილი თაროებით წახნაგებით | Taper flange channels დახრილი თაროებით წახნაგებით |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 40 | | | | | | | | | U 40 |
| 50 | | | | | | | | | U 50 |
| 60 | | | | | | | | UPN 50 | U 60 |
| 65 | | | | | | | | UPN 65 | U 65 |
| 80 | IPE 80 | IPN 80 | | | | | UPE 80 | UPN 80 | |
| 100 | IPE 100 | IPN 100 | HE 100 | | | | UPE 100 | UPN 100 | |
| 120 | IPE 120 | IPN 120 | HE 120 | | | | UPE 120 | UPN 120 | |
| 140 | IPE 140 | IPN 140 | HE 140 | | | | UPE 140 | UPN 140 | |
| 160 | IPE 160 | IPN 160 | HE 160 | | | | UPE 160 | UPN 160 | |
| 180 | IPE 180 | IPN 180 | HE 180 | | | | UPE 180 | UPN 180 | |
| 200 | IPE 200 | IPN 200 | HE 200 | | | HP 200 | UPE 200 | UPN 200 | |
| 220 | IPE 220 | IPN 220 | HE 220 | | | HP 220 | UPE 220 | UPN 220 | |
| 240 | IPE 240 | IPN 240 | HE 240 | | | | UPE 240 | UPN 240 | |
| 260 | | | | | | | | | |
| 260 | | IPN 260 | HE 260 | | HD 260 | HP 260 | | UPN 260 | |
| 270 | IPE 270 | | | | | | UPE 270 | UPN 280 | |
| 280 | | IPN 280 | HE 280 | | | | | | |
| 300 | IPE 300 | IPN 300 | HE 300 | | | HP 305 | UPE 300 | UPN 300 | |
| 320 | | IPN 320 | HE 320 | | HD 320 | HP 320 | | UPN 320 | |
| 330 | IPE 330 | | | | | | UPE 330 | | |
| 340 | | IPN 340 | HE 340 | | | | | | |
| 360 | IPE 360 | IPN 360 | HE 360 | | HD 360 | HP 360 | UPE 360 | UPN 350 | |
| 380 | | IPN 380 | | | | | | UPN 380 | |
| 400 | IPE 400 | IPN 400 | HE 400 | | HD 400 | HP 400 | UPE 400 | UPN 400 | |
| 450 | IPE 450 | IPN 450 | HE 450 | | | | | | |
| 500 | IPE 500 | IPN 500 | HE 500 | | | | | | |
| 550 | IPE 550 | IPN 550 | HE 550 | | | | | | |
| 600 | IPE 600 | IPN 600 | HE 600 | | | | | | |
| 650 | | | HE 650 | | | | | | |
| 700 | | | HE 700 | | | | | | |
| 750 | IPE 750 | | | | | | | | |
| 800 | | | HE 800 | | | | | | |
| 900 | | | HE 900 | | | | | | |
| 920 | | | | HL 920 | | | | | |
| 1000 | | | HE 1000 | HL 1000 | | | | | |
| 1100 | | | | HL 1100 | | | | | |

# European section ranges 2

Nominal sizes: depth/ diameter in mm

## ევროპული პროფილები (სია 2)




| Depth/ Diameter | Equal leg angles | Unequal leg angles | Flat bars (width for FL) | Square bars with rounded edges | Square bars with sharp edges | Hot rolled steel bars | Equal flange tees |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| სიმაღლე, დიამეტრი მმ | თანაბართა-როიანი კუთხოვანა | არათანაბართაროიანი კუთხოვანა | ფურცელი | კვადრატი მომრგვალებული წიბოებით | კვადრატი სწორკუთხა წახნაგებით | გაგლინული წრიული ქვეთი | ტოლთაროვანი ტესებრი ქვეთი |
| 10 | | | | | | R 10 | |
| 20 | L 20 | | 20 | | | ↕ | |
| 25 | L 25 | | ↕ | | | ↕ | |
| 30 | L 30 | | ↕ | | 30 | ↕ | T30 |
| 35 | L 35 | | ↕ | | 35 | ↕ | T35 |
| 40 | L 40 | | ↕ | | | ↕ | T40 |
| 45 | L 45 | | ↕ | 45 | 45 | ↕ | |
| 50 | L 50 | | ↕ | 50 | 50 | ↕ | T50 |
| 55 | L 55 | | ↕ | 55 | 55 | ↕ | |
| 60 | L 60 | | ↕ | 60 | 60 | ↕ | T60 |
| 65 | L 65 | | ↕ | 65 | | ↕ | |
| 70 | L 70 | | ↕ | 70 | | ↕ | T70 |
| 75 | L 75 | | ↕ | | | ↕ | |
| 80 | L 80 | | ↕ | 80 | | ↕ | T80 |
| 85 | | | ↕ | 85 | | ↕ | |
| 90 | L 90 | | ↕ | | 90 | ↕ | |
| 95 | | | ↕ | 95 | | ↕ | |
| 100 | L 100 | L 100 | ↕ | 100 | 100 | ↕ | |
| 110 | L 110 | L 110 | ↕ | | 110 | ↕ | |
| 120 | L 120 | L 120 | ↕ | | 120 | ↕ | |
| 125 | | L 125 | ↕ | | | ↕ | |
| 130 | | L 130 | ↕ | | | R 130 | |
| 140 | | L 140 | ↕ | 140 | | | |
| 150 | L 150 | L 150 | ↕ | 150 | | | |
| 160 | L 160 | | ↕ | 160 | | | |
| 170 | | | 170 | | | | |
| 180 | L 180 | | 180 | | | | |
| 200 | L 200 | L 200 | ↕ | | | | |
| 203 | | | ↕ | | | | |
| 220 | | | ↕ | | | | |
| 250 | L 250 | | ↕ | | | | |
| 300 | | | ↕ | | | | |
| 350 | | | ↕ | | | | |
| 400 | | | 400 | | | | |

# Castellated beams

## პერფორირებული ორტესებრი პროფილები



Castellated beam with circular openings
პერფორირებული ორტესებრი წრიული ნახვრეტებით



Castellated beam with hexagonal openings
პერფორირებული ორტესები ექვსკუთხა ნახვრეტებით



Castellated beam with octagonal openings
პერფორირებული ორტესები რვაკუთხა ნახვრეტებით



Castellated beam with sinusoidal openings "Angelina"
პერფორირებული ორტესები სინუსოიდური ნახვრეტებით „ანგელინა"

| IPE | HE | HL |
|---|---|---|
| | Base profile<br>ბაზური პროფილი | |
| 200 | | |
| 220 | | |
| 240 | | |
| | 260 | |
| 270 | | |
| | 280 | |
| 300 | 300 | |
| | 320 | |
| 330 | | |
| | 340 | |
| 360 | 360 | |
| 400 | 400 | |
| 450 | 450 | |
| 500 | 500 | |
| 550 | 550 | |
| 600 | 600 | |
| | 650 | |
| | 700 | |
| 750 | | |
| | 800 | |
| | 900 | |
| | | 920 |
| | 1000 | 1000 |
| | | 1100 |

# Selection of IFB and SFB beams

**Integrated Floor Beam IFB; Slim Floor Beam SFB**
**Beams built-up from hot-rolled sections and plates**

## შედგენილი ორტესებრი IFB და SFB.

გადახურვის შედუღებული ორტესებრი **IFB; SFB** ორტესებრი შემცირებული სისქის, გადახურვისათვის. შედუღებული ორტესებრი გაგლინული პროფილისა და ფურცლისაგან







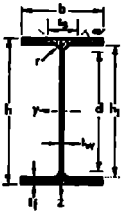
IFB

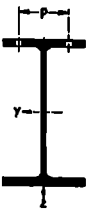
SFB

| Type A beams<br>A ტიპის ორტესებრი | | Type B beams<br>B ტიპის ორტესებრი | | Beams<br>ორტესებრი |
|---|---|---|---|---|
| | | | | HE 140 ▪ ▭ |
| | | | | HE 160 ▪ ▭ |
| | | | | HE 180 ▪ ▭ |
| | | | | HE 200 ▪ ▭ |
| | 1/2 HE 220 ▪ ▭ | | | HE 220 ▪ ▭ |
| | 1/2 HE 240 ▪ ▭ | | | HE 240 ▪ ▭ |
| | 1/2 HE 260 ▪ ▭ | | | HE 260 ▪ ▭ |
| | 1/2 HE 280 ▪ ▭ | 1/2 HE 280 ▪ ▭ | | HE 280 ▪ ▭ |
| | 1/2 HE 300 ▪ ▭ | 1/2 HE 300 ▪ ▭ | | HE 300 ▪ ▭ |
| | 1/2 HE 320 ▪ ▭ | | | HE 320 ▪ ▭ |
| | 1/2 HE 340 ▪ ▭ | | | |
| | 1/2 HE 360 ▪ ▭ | | 1/2 HP 360 ▪ ▭ | |
| 1/2 IPE 400 ▪ ▭ | 1/2 HE 400 ▪ ▭ | | 1/2 HP 400 ▪ ▭ | |
| 1/2 IPE 450 ▪ ▭ | 1/2 HE 450 ▪ ▭ | | | |
| 1/2 IPE 500 ▪ ▭ | 1/2 HE 500 ▪ ▭ | | | |
| 1/2 IPE 550 ▪ ▭ | 1/2 HE 550 ▪ ▭ | | | |
| 1/2 IPE 600 ▪ ▭ | 1/2 HE 600 ▪ ▭ | | | |
| | 1/2 HE 650 ▪ ▭ | | | |

# European I beams

Dimensions: IPE 80 - 600 in accordance with former standard EU 19-57
IPE AA 80 - 550, IPE A 80 - 600, IPE O 180 - 600, IPE 750 in accordance with AM standard
Tolerances: EN 10034 : 1993
Surface condition: according to EN 10163-3 : 2004, class C, subclass 1




## ევროპული ორტესებრი პროფილი I

**ზომები IPE-80-600; EU 19-57 სტანდარტის შესაბამისად; IPE AA80-550; IPE A80-600, IPE 750; ძარხნის სტანდარტის შესაბამისად დაშვებები: EN10034: 1993. ზედაპირისადმი მოთხოვნა EN 10163-3 მიხედვით კლასი C, ქვეკლასი 1**

| Designation<br>აღნიშვნა | | Dimensions<br>ზომები | | | | | | | | Dimensions for detailing<br>კონსტრუქციული ზომები | | | Surface<br>ზედაპირის ფართობი | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | A | | | Ø | $p_{min}$ | $p_{min}$ | $A_s$ | $A_s$ |
| | kg/m | h | b | $t_w$ | $t_f$ | r | cm²<br>x10² | $h_w$ | d | | | | m²/m | m²/t |
| **IPE AA 80*** | | 78 | 46 | | 4,2 | 5,0 | 6,31 | 66,6 | 59,6 | | | | 0,325 | 65,62 |
| IPE A 80-* | | 78 | 46 | | 4,2 | 5,0 | 6,38 | 66,6 | 59,6 | | | | 0,325 | 64,90 |
| **IPE 80*** | | 80 | 46 | | 5,2 | 5,0 | 7,64 | 66,6 | 59,6 | | | | 0,328 | 54,64 |
| **IPE AA 100*** | 6,7 | 97,6 | | | | 7,0 | 8,56 | 88,6 | | | | | 0,396 | |
| IPE A 100-* | 6,9 | 98 | | | | 7,0 | 8,8 | 88,6 | | | | | 0,397 | |
| **IPE 100*** | 8,1 | 100 | | | | 7,0 | 10,3 | 88,6 | | | | | 0,400 | |
| **IPE AA 120*** | | 117 | 64 | 3,8 | 4,8 | 7,0 | 10,7 | 107,4 | | | | | 0,470 | 56,26 |
| IPE A 120-* | | 117,6 | 64 | 3,8 | 5,1 | 7,0 | 11,0 | 107,4 | | | | | 0,472 | 54,47 |
| **IPE 120** | | 120 | 64 | 4,4 | 6,3 | 7,0 | 13,2 | 107,4 | | | | | 0,475 | 45,82 |
| **IPE AA 140*** | | 136,6 | 73 | 3,8 | 5,2 | 7,0 | 12,8 | 126,2 | 112,2 | | | | 0,546 | 54,26 |
| IPE A 140-* | | 137,4 | 73 | 3,8 | 5,6 | 7,0 | 13,4 | 126,2 | 112,2 | | | | 0,547 | 52,05 |
| **IPE 140** | | 140 | 73 | 4,7 | 6,9 | 7,0 | 16,4 | 126,2 | 112,2 | | | | 0,551 | 42,70 |
| **IPE AA 160*** | | 156,4 | 82 | 4,0 | | 7,0 | 15,4 | | 131,2 | | | | 0,621 | 50,40 |
| IPE A 160-* | | 157 | 82 | 4,0 | | 9,0 | 16,2 | | 127,2 | | | | 0,619 | 48,70 |
| **IPE 160** | | 160 | 82 | 5,0 | | 9,0 | 20,1 | | 127,2 | | | | 0,623 | 39,47 |
| **IPE AA 180*** | | 176,4 | 91 | 4,3 | 6,2 | 9,0 | 19,0 | 164,0 | 146,0 | M 10 | 48 | 48 | 0,693 | 46,27 |
| IPE A 180-* | | 177 | 91 | 4,3 | 6,5 | 9,0 | 19,6 | 164,0 | 146,0 | M 10 | 48 | 48 | 0,694 | 45,15 |
| **IPE 180** | | 180 | 91 | 5,3 | 8,0 | 9,0 | 23,9 | 164,0 | 146,0 | M 10 | 48 | 48 | 0,698 | 37,13 |
| IPE O 180-* | | 182 | 92 | 6,0 | 9,0 | 9,0 | 27,1 | 164,0 | 146,0 | M 10 | 50 | 50 | 0,705 | 33,12 |
| IPE AA 200* | | 196,4 | 100 | 4,5 | | 12,0 | | 183,0 | 159,0 | M 10 | 54 | 56 | 0,763 | 42,51 |
| **IPE A 200-*** | | 197 | 100 | 4,5 | | 12,0 | | 183,0 | 159,0 | M 10 | 54 | 58 | 0,764 | 41,49 |
| IPE 200 | | 200 | 100 | 5,6 | | 12,0 | | 183,0 | 159,0 | M 10 | 54 | 58 | 0,768 | 34,36 |
| IPE O 200+ | | 202 | 102 | 6,2 | | 12,0 | | 183,0 | 159,0 | M 10 | 56 | 60 | 0,779 | 31,05 |
| **IPE AA 220*** | 21,2 | | | | | 12,0 | | 201,6 | 177,6 | M 12 | 60 | 62 | 0,843 | 39,78 |
| IPE A 220-* | 22,2 | | | | | 12,0 | | 201,6 | 177,6 | M 12 | 60 | 62 | 0,843 | 38,02 |
| **IPE 220** | 26,2 | | | | | 12,0 | | 201,6 | 177,6 | M 12 | 60 | 62 | 0,848 | 32,36 |
| IPE O 220+ | 28,4 | | | | | 12,0 | | 201,6 | 177,6 | M 10 | 58 | 66 | 0,858 | 29,24 |

- Minimum order for the S235 JR grade of delivery conditions page 222; for any other grade 40t or upon agreement.
- Minimum order 40t per section and grade or upon agreement.
- Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.

ზომები და 414-417 / Dimensions 414-417

ბეჭდვებზე

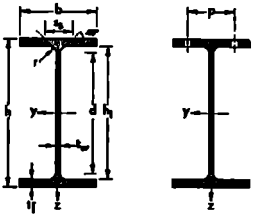
Section properties / ხაზოვნობები მახასიათებლები

| Designation აღნიშვნა | | | strong axis y-y ღერძი y-y | | | | weak axis z-z ღერძი z-z | | | | | | Classification კლასიფიკაცია EN 1993-1-1: 2005 Pure bending წმინდა ღუნვა | | | Pure compression წმინდა კუმშვა | | | EN 10025-2: 2004 | EN 10025-4: 2004 | EN 10225: 2001 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | G | h | $W_{el,y}$ | $W_{pl,y}$ | i | $A_w$ | b | $W_{el,z}$ | $W_{pl,z}$ | t | $z_s$ | t | r | S235 | S355 | S460 | S235 | S355 | S460 | | | |
| | კგ/მ | $mm^4$ x$10^4$ | $mm^3$ x$10^3$ | $mm^3$ x$10^3$ | mm x10 | $mm^2$ x$10^2$ | $mm^4$ x$10^4$ | $mm^3$ x$10^3$ | $mm^3$ x$10^3$ | mm x10 | mm | $mm^4$ x$10^4$ | $mm^5$ x$10^4$ | | | | | | | | | |
| **IPE AA 80** | 4,9 | 64,1 | 16,4 | 18,9 | 3,19 | 3,00 | 6,85 | 2,90 | 4,7 | 1,04 | 17,5 | 0,40 | 0,09 | | | | | | | | | |
| IPE A 80 | 5,0 | 64,4 | 16,5 | 19,0 | 3,18 | 3,07 | 6,85 | 2,99 | 4,7 | 1,04 | 17,6 | 0,42 | 0,09 | | | | | | | | | |
| **IPE 80** | 6,0 | 80,1 | 20,0 | 23,2 | 3,24 | 3,58 | 8,49 | 3,69 | 5,8 | 1,05 | 20,1 | 0,70 | 0,12 | | | | | | | | | |
| **IPE AA 100** | | 136 | 27,9 | 31,9 | 3,98 | 4,40 | 12,8 | 4,57 | 7,2 | 1,21 | 20,8 | 0,73 | 0,27 | | | | | | | | | |
| IPE A 100 | | 141 | 28,0 | 32,0 | 4,01 | 4,44 | 12,7 | 4,77 | 7,5 | 1,22 | 21,2 | 0,77 | 0,23 | | | | | | | | | |
| **IPE 100** | | 171 | 34,2 | 39,4 | 4,07 | 5,08 | 15,9 | 5,79 | 9,2 | 1,24 | 23,7 | 1,20 | 0,35 | | | | | | | | | |
| **IPE AA 120** | 8,4 | 244 | 41,7 | 47,6 | 4,79 | 5,36 | 21,1 | 6,59 | 10,4 | 1,41 | 21,6 | 0,95 | 0,66 | | | | | | | | | |
| IPE A 120 | 8,7 | 247 | 43,6 | 49,9 | 4,83 | 5,41 | 22,4 | 7,00 | 11,0 | 1,42 | 22,2 | 1,04 | 0,71 | | | | | | | | | |
| **IPE 120** | 10,4 | 318 | 53,0 | 60,7 | 4,90 | 6,31 | 27,7 | 8,65 | 13,6 | 1,43 | 25,2 | 1,74 | 0,89 | | | | | | | | | |
| **IPE AA 140** | 10,1 | 407 | 59,7 | 67,6 | 5,64 | 6,14 | 33,8 | 9,37 | 14,5 | 1,63 | 22,4 | 1,10 | | | | | | | | | | |
| IPE A 140 | 10,5 | 415 | 60,9 | 71,0 | 5,70 | 6,21 | 35,4 | 10,0 | 15,5 | 1,65 | 23,1 | 1,19 | | | | | | | | | | |
| **IPE 140** | 12,9 | 541 | 77,3 | 88,3 | 5,74 | 7,64 | 44,9 | 12,3 | 19,3 | 1,85 | 26,7 | 2,45 | | | | | | | | | | |
| **IPE AA 160** | 12,1 | 646 | 82,6 | 93,3 | 6,47 | 7,24 | 51,6 | 12,6 | 19,6 | 1,83 | 23,4 | 1,57 | 2,93 | | | | | | | | | |
| IPE A 160 | 12,7 | 669 | 87,0 | 99,1 | 6,52 | 7,60 | 54,4 | 13,3 | 20,7 | 1,92 | 24,0 | 1,76 | 3,30 | | | 4 | | | | | | |
| **IPE 160** | 15,8 | 869 | 109 | 124 | 6,58 | 9,66 | 68,3 | 16,7 | 26,1 | 1,84 | 30,3 | 3,60 | 3,96 | | | 2 | | | | | | |
| **IPE AA 180** | 14,9 | 1020 | 116 | 131 | 7,32 | 9,13 | 78,1 | 17,2 | 26,7 | 2,03 | 27,2 | 2,48 | 5,64 | | | | | | | | | |
| IPE A 180 | 15,4 | 1063 | 120 | 135 | 7,37 | 9,29 | 81,9 | 18,0 | 28,0 | 2,05 | 27,6 | 2,70 | 5,93 | | | | | | | | | |
| **IPE 180** | 18,8 | 1317 | 146 | 166 | 7,42 | 11,3 | 101 | 22,2 | 34,6 | 2,05 | 31,8 | 4,79 | 7,43 | | | | | | | | | |
| IPE O 180 | 21,2 | 1505 | 165 | 189 | 7,45 | 12,7 | 117 | 25,5 | 39,9 | 2,08 | 34,5 | 6,76 | 8,74 | | | | | | | | | |
| IPE AA 200 | 18,0 | 1538 | 156 | 178 | 8,19 | 12,4 | 117 | 23,9 | 36,6 | 2,21 | 32,0 | 3,96 | 10,1 | | | | | | | ✓ | | |
| **IPE A 200** | 18,4 | 1591 | 162 | 182 | 8,23 | 11,5 | 117 | 23,4 | 36,5 | 2,23 | 32,6 | 4,11 | 10,5 | | | 4 | | ✓ | ✓ | ✓ | | |
| IPE 200 | 22,4 | 1943 | 194 | 221 | 8,26 | 14,0 | 142 | 28,5 | 44,6 | 2,24 | 36,7 | 6,98 | 13,0 | | | 3 | | ✓ | | | | |
| **IPE O 200** | 25,1 | 2211 | 219 | 249 | 8,32 | 15,5 | 169 | 33,1 | 51,9 | 2,30 | 39,3 | 9,45 | 15,6 | | | 2 | | ✓ | ✓ | | | |
| **IPE AA 220** | 21,2 | 2219 | 205 | 230 | 9,07 | 12,8 | 165 | 29,9 | 46,5 | 2,47 | 33,6 | 5,02 | 17,9 | | | | | | | | | |
| IPE A 220 | 22,2 | 2317 | 214 | 240 | 9,05 | 13,6 | 171 | 31,2 | 48,5 | 2,48 | 34,5 | 5,48 | 18,7 | | | | | | | | | |
| **IPE 220** | 26,2 | 2772 | 252 | 285 | 9,11 | 15,9 | 205 | 37,3 | 58,1 | 2,48 | 38,4 | 9,07 | 22,7 | | | | | | | | | |
| IPE O 220 | 29,4 | 3134 | 282 | 321 | 9,16 | 17,7 | 240 | 42,6 | 66,8 | 2,53 | 41,1 | 12,9 | 26,9 | | | | | | | | | |

- $W_{el}$ for plastic design the shape must belong to class 1 or 2 according to the required moment capacity. See page 209
- $W_{pl}$ for plastic design the shape must belong to class 1 or 2 according to the required moment capacity. See page 209
- [illegible] See page 208

# European I beams (continued)

Dimensions: IPE 80 - 600 in accordance with former standard EU 19-57
IPE AA 80 - 550, IPE A 80 - 600, IPE O 180 - 600, IPE 750 in accordance with AM standard
Tolerances: EN 10034: 1993
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1




## ევროპული ორტესებრი პროფილი 1 (გაბარძელება)

**ზომები IPE-80-600: EU 19-57 სტანდარტის შესაბამისად. IPE AA80-550; IPE A80-600; IPE O180-600; IPE 750 ძარხნის სტანდარტით დაშვებები: EN10034:1993. ზოთხოვნა ზედაპირისადმი EN 10163-3 :2004 მიხედვით კლასი C, ქვეკლასი 1**

| Designation<br>აღნიშვნა | Dimensions<br>ზომები | | | | | | | Dimensions for detailing<br>კონსტრუქციული ზომები | | | | | Surface<br>ზედაპირის ფართობი | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | A | h | d | | | | | Ac |
| | kg/m | mm | mm | mm | mm | mm | $mm^2$ x$10^2$ | mm | mm | | mm | mm | $m^2/m$ | $m^2/t$ |
| IPE AA 240* | 24,9 | 236,4 | 120 | 4,8 | 8,0 | 15,0 | 31,7 | 220,4 | 190,4 | M 12 | 64 | 68 | 0,917 | 36,86 |
| IPE A 240- | 26,2 | 237 | 120 | 5,2 | 8,3 | 15,0 | 33,3 | 220,4 | 190,4 | M 12 | 64 | 68 | 0,918 | 35,10 |
| **IPE 240** | 30,7 | 240 | 120 | 6,2 | 9,8 | 15,0 | 39,1 | 220,4 | 190,4 | M 12 | 66 | 68 | 0,922 | 30,02 |
| IPE O 240+ | 34,3 | 242 | 122 | 7,0 | 10,8 | 15,0 | 43,7 | 220,4 | 190,4 | M 12 | 66 | 70 | 0,932 | 27,17 |
| IPE A 270- | 30,7 | 267 | 135 | 5,5 | 8,7 | 15,0 | 39,2 | 249,6 | 219,6 | M 16 | 70 | | 1,037 | 33,75 |
| **IPE 270** | 36,1 | 270 | 135 | 6,6 | 10,2 | 15,0 | 45,9 | 249,6 | 219,6 | M 16 | 72 | | 1,041 | 28,86 |
| IPE O 270+ | 42,3 | 274 | 136 | 7,5 | 12,2 | 15,0 | 53,8 | 249,6 | 219,6 | M 16 | 72 | | 1,051 | 24,88 |
| IPE A 300- | 38,9 | 297 | 150 | | 9,2 | 15,0 | 46,5 | 278,6 | 248,6 | M 16 | 72 | 86 | 1,156 | 31,65 |
| **IPE 300** | 42,2 | 300 | 150 | | 10,7 | 15,0 | 53,8 | 278,6 | 248,6 | M 16 | 72 | 86 | 1,160 | 27,46 |
| IPE O 300+ | 49,3 | 304 | 152 | | 12,7 | 15,0 | 62,8 | 278,6 | 248,6 | M 16 | 74 | 88 | 1,174 | 23,81 |
| IPE A 330- | 43,0 | 327 | 160 | 6,5 | 10,0 | 18,0 | 54,7 | 307,0 | 271,0 | M 16 | 78 | 96 | 1,250 | 29,09 |
| **IPE 330** | 49,1 | 330 | 160 | 7,5 | 11,5 | 18,0 | 62,6 | 307,0 | 271,0 | M 16 | 78 | 96 | 1,254 | 25,52 |
| IPE O 330+ | 57,0 | 334 | 162 | 8,5 | 13,5 | 18,0 | 72,6 | 307,0 | 271,0 | M 16 | 80 | 98 | 1,268 | 22,24 |
| IPE A 360- | 50,2 | 357,6 | 170 | 6,6 | 11,5 | 18,0 | 64,0 | 334,6 | 298,6 | M 22 | 86 | 88 | 1,351 | 26,91 |
| **IPE 360** | 57,1 | 360 | 170 | 8,0 | 12,7 | 18,0 | 72,7 | 334,6 | 298,6 | M 22 | 88 | 88 | 1,353 | 23,70 |
| IPE O 360+ | 66,0 | 364 | 172 | 9,2 | 14,7 | 18,0 | 84,1 | 334,6 | 298,6 | M 22 | 90 | 90 | 1,367 | 20,69 |
| IPE A 400- | 57,4 | 397 | 180 | 7,0 | 12,0 | 21,0 | 73,1 | 373,0 | 331,0 | M 22 | 94 | 98 | 1,464 | 25,51 |
| **IPE 400** | 66,3 | 400 | 180 | 8,6 | 13,5 | 21,0 | 84,5 | 373,0 | 331,0 | M 22 | 96 | 98 | 1,467 | 22,12 |
| IPE O 400+ | 75,7 | 404 | 182 | 9,7 | 15,5 | 21,0 | 96,4 | 373,0 | 331,0 | M 22 | 98 | 100 | 1,481 | 19,57 |
| IPE A 450- | 67,2 | 447 | 190 | 7,6 | 13,1 | 21,0 | 85,6 | 420,8 | 378,8 | M 24 | 100 | 102 | 1,603 | 23,87 |
| **IPE 450** | 77,6 | 450 | 190 | 9,4 | 14,6 | 21,0 | 98,8 | 420,8 | 378,8 | M 24 | 100 | 102 | 1,605 | 20,69 |
| IPE O 450+ | 92,4 | 456 | 192 | 11,0 | 17,6 | 21,0 | 118 | 420,8 | 378,8 | M 24 | 102 | 104 | 1,622 | 17,56 |
| IPE A 500- | 79,4 | 497 | 200 | 8,4 | 14,5 | 21,0 | | 468,0 | 426,0 | M 24 | 100 | | 1,741 | 21,94 |
| **IPE 500** | 90,7 | 500 | 200 | 10,2 | 16,0 | 21,0 | | 468,0 | 426,0 | M 24 | 102 | | 1,744 | 19,23 |
| IPE O 500+ | 107 | 506 | 202 | 12,0 | 19,0 | 21,0 | | 468,0 | 426,0 | M 24 | 104 | | 1,760 | 16,4 |

Commercial minimum order for S235 JR of dimensions as in section page 222 pour toute autre qualité 40t ou suivant accord.
Commercial minimum order per section and grade 40t or upon agreement.
Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitant un accord préalable

- Minimum order for the S235 JR grade of delivery conditions page 222, for any other grade 40t or upon agreement.
- Minimum order 40t per section and grade or upon agreement.
- Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.

Минимальный заказ для марки стали S235 JR см. страницу условий поставки 222, для любой другой марки стали 40тонн или по согласованию.
Минимальный заказ 40тонн одного профиля и марки или по согласованию.
Минимальный тоннаж и условия поставки по согласованию.

Notation 414-417 გამოსარტებები 414-417 გვერდებზე

/ Section properties / ხაცნობარო მნიშვნელობები

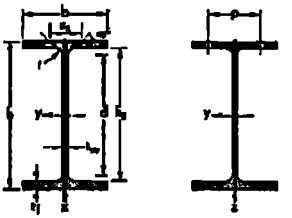
Classification კლასიფიკაცია EN 1993-1-1:2005

| Designation აღნიშვნა | G კგ/მ | strong axis y-y ღერძი y-y | | | | | weak axis z-z ღერძი z-z | | | | | | Pure bending სუფთა ღუნვა y-y | | | Pure compression სუფთა კუმშვა | | | EN 10025-2 2004 | EN 10025-4 2004 | EN 10225:2001 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $I_y$ | $W_{el,y}$ | $W_{pl,y}$ | $i_y$ | $A_v$ | $I_z$ | $W_{el,z}$ | $W_{pl,z}$ | $i_z$ | $s_z$ | $I_t$ | $I_w$ | S235 | S355 | S460 | S235 | S355 | S460 | | | |
| | | სმ⁴ | სმ³ | სმ³ | სმ | სმ² | სმ⁴ | სმ³ | სმ³ | სმ | სმ | სმ⁴ | სმ⁶ | | | | | | | | | |
| | | x10⁴ | x10³ | x10³ | x10 | x10² | x10⁴ | x10³ | x10³ | x10 | | x10⁴ | x10⁹ | | | | | | | | | |
| **IPE AA 240** | | | | **298** | **9,97** | **15,3** | **231** | **38,6** | **60,0** | **2,70** | **38,4** | **7,33** | **30,1** | | | | | | | | | |
| IPE A 240 | | 3230 | | 312 | 9,94 | | 240 | 40,0 | 62,4 | 2,68 | 37,8 | 8,22 | 31,3 | | | | | | | | | |
| **IPE 240** | | **3892** | | **367** | **9,97** | | **284** | **47,3** | **73,9** | **2,69** | **43,4** | **12,9** | **37,4** | | | | | | | | | |
| IPE O 240 | | 4580 | | | 9,9 | | | 53,9 | | 2,74 | | 17,2 | | | | | | | | | | |
| IPE A 270 | | | | 418 | 11,2 | 17,8 | 318 | 53,0 | 82,9 | 2,82 | | 10,0 | 56,5 | | | | | | | | | |
| **IPE 270** | | **5790** | **429** | **484** | **11,2** | **22,1** | **420** | **62,2** | **97,0** | **3,02** | **44,6** | **15,9** | **70,6** | | | | | | | | | |
| IPE O 270 | | | | 575 | | | | 75,5 | | | | | 87,6 | | | | | | | | | |
| **IPE 300** | | | | **628** | **12,5** | **25,7** | **604** | **80,5** | | | | **20,1** | | | | | | | | | | |
| IPE O 300 | | | | 794 | 12,6 | | 745 | 99,1 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 1020 | | | 31,9 | | 80,2 | 125 | | 47,6 | | 117 | | | | | | | | | |
| | | **11770** | **713** | **804** | **13,7** | **30,8** | **788** | **98,5** | **154** | **3,55** | **51,6** | **28,2** | **199** | | | | | | | | | |
| | | 13910 | | | | 31,0 | | 117,9 | | | | | | | | | | | | | | |
| IPE A 360 | | | | | 13,7 | 29,6 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **IPE 360** | | **16270** | **904** | **1019** | **15,0** | **35,1** | **1043** | | | **3,79** | **54,5** | **37,3** | | | | | | | | | | |
| IPE O 360 | | 19220 | | | 15 | | | | | | 63,7 | 70,1 | | | | | | | | | | |
| IPE A 400 | 57,4 | | 1021 | | | 37,6 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **IPE 400** | **66,3** | **23130** | **1160** | **1307** | **16,6** | **42,7** | **1318** | **146** | **229** | **3,95** | **60,2** | **51,1** | **490** | | | | | | | | | |
| IPE O 400 | 75,7 | 26750 | | 1502 | 16,7 | 46,0 | 1556 | | | | 69,3 | | 559 | | | | | | | | | |
| IPE A 450 | 07,2 | 29750 | | 1494 | 18,7 | | 1562 | 176 | | | | | | | | | | | | | | |
| **IPE 450** | **77,6** | **33740** | **1500** | **1702** | **18,5** | **50,9** | **1676** | **176** | **276** | **4,12** | **63,2** | **66,9** | | | | | | | | | | |
| IPE O 450 | 87,4 | 40870 | 1793 | 2046 | 18,7 | 59,6 | 2009 | 211 | | 4,1 | 70,8 | | | | | | | | | | | |
| IPE A 500 | 79,4 | 37930 | 1739 | | 20,4 | 45,4 | | 194 | 302 | 4,45 | 72,0 | | | | | | | | | | | |
| **IPE 500** | **90,7** | **48200** | **1930** | **2194** | **20,4** | **59,9** | **2142** | **214** | **336** | **4,31** | **66,8** | **89,3** | | | | | | | | | | |
| IPE O 500 | | 57960 | | | 20,6 | | 2632 | | | | | 110 | | | | | | | | | | |

- [illegible] cross-section [illegible]
- $W_{pl}$ for plastic design, the shape must belong to class 1 or 2 according to the required rotation capacity. See page 209
- [illegible]

# European I beams (continued)

Dimensions: IPE 80 - 600 in accordance with former standard EU 19-57
IPE AA 80 - 550, IPE A 80 - 600, IPE O 180 - 600, IPE 750 in accordance with AM standard
Tolerances: EN 10034: 1993
Surface condition according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1



## ევროპული ორტესებრი პროფილი 1 (გაბარძელება)
## ზომები IPE-80-600; EU 19-57 სტანდარტის შესაბამისად
## IPE AA80-550; IPE A80-600; IPE O180-600; IPE 750 ძარხნის სტანდარტით.
დაშვებები: EN10034:1993. მოთხოვნა ზედაპირისადმი EN 10163-3:2004 მიხედვით
კლასი C, ქვეკლასი 1

| Designation აღნიშვნა | Dimensions ზომები | | | | | | | | Dimensions for detailing კონსტრუქციული ზომები | | | | | Surface ზედაპირის ფართობი | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | h | b | | | | A | | d | | | | | | |
| | კგ/მ | მმ | მმ | მმ | მმ | მმ | მმ² x10² | მმ | მმ | | მმ | მმ | | მ²/მ | მ²/ტ |
| IPE A 550* | 92,1 | 547 | | 9,0 | 15,7 | 24,0 | 117 | 535,6 | 467,6 | M 24 | 106 | | | | 20,46 |
| IPE 550 | 106 | 550 | | 11,1 | 17,2 | 24,0 | 134 | 535,6 | 467,6 | M 24 | 110 | | | | 17,78 |
| IPE O 550* | 123 | 556 | | 12,7 | 20,2 | 24,0 | 156 | 535,6 | 467,6 | M 24 | 110 | | | | 15,45 |
| IPE A 600* | 108 | 597 | 220 | 9,8 | 17,5 | 24,0 | 137 | 562,0 | 514,0 | M 27 | | 116 | | 2,013 | 18,72 |
| IPE 600 | 122 | 600 | 220 | 12,0 | 19,0 | 24,0 | 156 | 562,0 | 514,0 | M 27 | | 116 | | 2,015 | 16,45 |
| IPE O 600* | 154 | 610 | 220 | 15,0 | 24,0 | 24,0 | 197 | 562,0 | 514,0 | M 27 | | 122 | | 2,045 | 13,28 |
| IPE 750 x 137* | 137 | 753 | 263 | | 17,0 | 17,0 | 175 | 709,0 | 685,0 | M 27 | 102 | 162 | | 2,506 | 18,29 |
| IPE 750 x 147 | 147 | 753 | 263 | | 17,0 | 17,0 | 188 | 709,0 | 685,0 | M 27 | 104 | 164 | | 2,510 | 17,08 |
| IPE 750 x 173* | 173 | 762 | 267 | | 21,6 | 17,0 | 221 | 709,8 | 684,8 | M 27 | 104 | 166 | | 2,534 | 14,58 |
| IPE 750 x 196* | 196 | 770 | 268 | | 25,4 | 17,0 | 251 | 709,8 | 684,8 | M 27 | 106 | 166 | | 2,553 | 13,04 |

Notations pages 414-417 / განმარტებები 414-417 გვერდებზე

Section properties / ხაზოვანი მახასიათებლები

| Designation<br>აღნიშვნა | G | I<sub>y</sub> | W<sub>el,y</sub> | W<sub>pl,y</sub> | i<sub>y</sub> | A<sub>vz</sub> | I<sub>z</sub> | W<sub>el,z</sub> | W<sub>pl,z</sub> | i<sub>z</sub> | $s_y$ | I<sub>t</sub> | I<sub>w</sub> |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | kg/m | cm⁴ | cm³ | cm³ | cm | cm² | cm⁴ | cm³ | cm³ | cm | cm | cm⁴ | cm⁶ |
| | | x10⁴ | x10³ | x10³ | x10 | x10² | x10⁴ | x10³ | x10³ | x10 | | x10⁴ | x10⁶ |
| **IPE A 550** | **92,1** | **59980** | **2193** | **2475** | **22,6** | **60,3** | **2432** | **232** | **362** | **4,55** | **68,5** | **86,5** | **1710** |
| IPE 550 | 106 | 67120 | | 2787 | | | | | 406 | 4,45 | 72,0 | 123 | 1940 |
| **IPE O 550** | **123** | **79160** | **2847** | **3263** | **22,5** | **82,7** | **3224** | **304** | **481** | **4,55** | **81,2** | **188** | **2302** |
| **IPE A 600** | **108** | **82920** | **2778** | **3141** | **24,6** | **70,1** | **3116** | **283** | **442** | **4,77** | **72,9** | **119** | **2607** |
| IPE 600 | 122 | 92080 | 3069 | 3512 | 24,3 | 83,0 | 3387 | 306 | 466 | 4,76 | 78,1 | 166 | 2840 |
| **IPE O 600** | **154** | **118300** | **3879** | **4471** | **24,5** | **104** | **4521** | **404** | **640** | **4,79** | **91,1** | **318** | **3860** |
| **IPE 750 x 137** | **137** | **159900** | **4246** | **4865** | **30,3** | **92,9** | **5166** | **393** | **614** | **5,44** | **65,4** | **137** | **6980** |
| IPE 750 | 161 | 197500 | 5026 | 5810 | 30,2 | 95 | 5959 | 439 | 691 | 5,31 | 67,1 | 193 | 7710 |
| **IPE 750 x 173** | **173** | **205800** | **5402** | **6218** | **30,5** | **116** | **6873** | **515** | **810** | **5,57** | **77,5** | **274** | **9391** |
| IPE 750 x 196 | 196 | 229200 | 6114 | 7110 | 30,9 | 116 | 6873 | 515 | 809 | 5,57 | 77,5 | 406 | 10200 |

Classification
კლასიფიკაცია
EN 1993-1-1: 2005

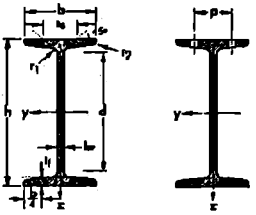
| Pure bending<br>ხეთქა y-y | | | Pure compression<br>ხეთქა კუმშვა | | | EN 10025-2: 2004 | EN 10025-4: 2004 | EN 10225:2001 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S235 | S355 | S460 | S235 | S355 | S460 | | | |
| | | 2 | 4 | 4 | 4 | ✓ | ✓ | ✓ |
| | | | | | | ✓ | | |
| | | | 2 | 4 | 4 | ✓ | HI | HI |
| | | | | 4 | 4 | ✓ | ✓ | ✓ |
| | | | | 4 | 4 | ✓ | | HI |
| | | | 2 | 4 | 4 | ✓ | HI | HI |
| | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| | | | | | | | | ✓ |
| | | | | | 4 | ✓ | HI | HI |
| | | | | | 4 | | | |

HI = HISTAR

- W<sub>pl</sub> for plastic design, the shape must belong to class 1 or 2 according to the requirements of section 5. See page 209
- W<sub>el</sub> for plastic design, the shape must belong to class 1 or 2 according to the requirements of section 5. See page 209

# European standard beams

Flange slope: 14%
Dimensions: IPN 80 - IPN 550 DIN 1025-1 1995, NF A 45-209: 1983
IPN 600 DIN 1025-1, 1963
Tolerances: EN 10024: 1995
Surface condition, according to EN 10163-3, 2004, class C, subclass 1




## ევროპული ნორმალური ორტესებრი პროფილი

თაროს დახრა:14%; ზომები IPE-80-550; DIN 1025-1:1995, NF A45-209:1983, IPN 600. DIN 1025-1:1963. დაშვებები: EN10024:1995. მოთხოვნა ზედაპირისადმი EN 10163-3:2004 მიხედვით

კლასი C, ქვეკლასი 1

| Designation<br>აღნიშვნა | Dimensions<br>ზომები | | | | | | | | Dimensions for detailing<br>კონსტრუქციული ზომები | | | | Surface<br>ზედაპირის ფართობი | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | $r_2$ | A | $r_1$ | | $p_{min}$ | $p_{max}$ | $A_s$ | $A_c$ |
| | kg/m | mm | mm | mm | mm | mm | mm | $mm^2$ x$10^2$ | mm | | mm | mm | $m^2/m$ | $m^2/t$ |
| IPN 80* | 5,94 | 80 | 42 | | 5,9 | | | | | | | | 0,304 | 51,09 |
| IPN 100* | 8,34 | 100 | 50 | | 6,8 | | 2,7 | 10,6 | 75,7 | | | | 0,370 | 44,47 |
| IPN 120* | 11,1 | 120 | 58 | | 7,7 | | 3,1 | 14,2 | 92,4 | | | | 0,439 | 39,38 |
| IPN 140* | 14,3 | 140 | 66 | | 8,6 | | 3,4 | 18,2 | 109,1 | | | | 0,502 | 34,94 |
| IPN 160* | 17,9 | 160 | 74 | | 9,5 | | 3,8 | 22,8 | 125,8 | | | | 0,575 | 32,13 |
| IPN 180* | 21,9 | 180 | 82 | | 10,4 | | 4,1 | 27,9 | 142,4 | | | | 0,640 | 29,22 |
| IPN 200* | 26,2 | 200 | 90 | | 11,3 | | 4,5 | 33,4 | 159,1 | | - | | 0,709 | 27,04 |
| IPN 220* | 31,1 | 220 | 98 | | 12,2 | | 4,9 | 39,5 | 175,8 | M 10 | 50 | | 0,775 | 24,90 |
| IPN 240* | 36,2 | 240 | 106 | | 13,1 | | 5,2 | 46,1 | 192,5 | M 10 | 54 | | 0,844 | 23,32 |
| IPN 260* | 41,9 | 260 | 113 | | 14,1 | | 5,6 | 53,3 | 208,9 | M 12 | 62 | | 0,906 | 21,65 |
| IPN 280* | 47,9 | 280 | 119 | | 15,2 | | 6,1 | 61,0 | 225,1 | M 12 | 68 | | 0,966 | 20,17 |
| IPN 300* | 54,2 | 300 | 125 | 10,8 | 16,2 | 10,8 | 6,5 | 69,0 | 241,8 | M 12 | 70 | 74 | 1,03 | 19,02 |
| IPN 320* | 61,0 | 320 | 131 | 11,5 | 17,3 | 11,5 | 6,9 | 77,7 | 257,9 | M 12 | 70 | 80 | 1,09 | 17,87 |
| IPN 340* | 68,0 | 340 | 137 | 12,2 | 18,3 | 12,2 | 7,3 | 86,7 | 274,3 | M 12 | 78 | 86 | 1,15 | 16,90 |
| IPN 360* | 76,1 | 360 | 143 | 13 | 19,5 | 13 | 7,8 | 97,0 | 290,7 | M 12 | 78 | 92 | 1,21 | 15,89 |
| IPN 380* | 84,0 | 380 | 149 | 13,7 | 20,5 | 13,7 | 8,2 | 107 | 306,7 | M 16 | 84 | 86 | 1,27 | 15,12 |
| IPN 400* | 92,4 | 400 | 155 | | 21,6 | | | | 322,9 | M 16 | 86 | 92 | 1,33 | 14,36 |
| IPN 450* | 115 | 450 | 170 | | 24,3 | | | | 363,6 | M 16 | 92 | 100 | 1,48 | 12,83 |
| IPN 500* | 141 | 500 | 185 | | 27 | | | | 404,3 | M 20 | 102 | 110 | 1,63 | 11,60 |
| IPN 550* | 166 | 550 | 200 | | 30 | | | | 445,6 | M 22 | 112 | 118 | 1,80 | 10,80 |
| IPN 600* | 199 | 600 | | | | | | | 485,8 | M 24 | | | | |

To make maximum efficient use of steel, the most economical sections are available.
Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.
Please contact Tata Steel Europe for tolerances and availability.

Notations page 414-417 / გაწმარტებები 414-417 გვერდებზე

/ Section properties /ხაცნობარო მნიშვნელობები

| Designation აღნიშვნა | G | $I_y$ | $W_{el,y}$ | $W_{pl,y}$ | $i_y$ | $A_v$ | $I_z$ | $W_{el,z}$ | $W_{pl,z}$ | $I_t$ | $x_s$ | $I_w$ | $I_z$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | kg/m | $cm^4$ | $cm^3$ | $cm^3$ | cm | $cm^2$ | $cm^4$ | $cm^3$ | $cm^3$ | cm | cm | $cm^6$ | $cm^4$ |
| | | x10⁴ | x10³ | x10³ | x10 | x10² | x10⁴ | x10³ | x10³ | x10 | | x10⁴ | x10³ |
| **IPN 80** | 5,94 | 77,8 | 19,5 | 22,8 | 3,20 | 3,41 | 6,29 | 3,00 | 5,00 | 0,91 | 21,6 | 0,87 | 0,09 |
| **IPN 100** | 8,34 | | 34,2 | 39,8 | 4,01 | 4,85 | 12,2 | 4,88 | 8,10 | 1,07 | 25,0 | 1,60 | 0,27 |
| IPN 120 | | | 53,7 | 62,6 | 4,8 | 6,93 | 21,5 | 7,41 | 12,4 | 1,31 | 30,4 | 2,71 | 0,59 |
| **IPN 140** | | | 81,9 | 95,4 | 5,61 | 8,65 | 35,2 | 10,7 | 17,9 | 1,40 | 31,8 | 4,32 | 1,54 |
| IPN 160 | | 916 | | 140 | | 10,83 | | 14,8 | 24,4 | 1,55 | 35,2 | 6,57 | 3,14 |
| **IPN 180** | | 1450 | | 187 | 7,20 | 13,35 | 81,3 | 19,8 | 33,2 | 1,71 | 38,6 | 9,58 | 5,92 |
| **IPN 200** | 26,2 | 2140 | 214 | 250 | 8,00 | 16,03 | 117 | 26,0 | 43,5 | 1,87 | 42,0 | 13,5 | 10,5 |
| IPN 220 | 31 | 3060 | 278 | 324 | 8,85 | 19,06 | 162 | | 58,1 | 2,02 | | 19,6 | 15,6 |
| **IPN 240** | 36,2 | 4250 | 354 | 412 | 9,59 | 22,33 | 221 | 41,7 | 70,0 | 2,20 | 48,9 | 25,0 | 28,7 |
| IPN 260 | | 5740 | | | | 25,69 | 292 | 54,2 | 89,3 | 2,42 | 53,6 | | 40,1 |
| **IPN 280** | | 7590 | 542 | 632 | 11,1 | 30,18 | 364 | 61,2 | 103 | 2,45 | 56,4 | 44,2 | 64,6 |
| **IPN 300** | 54,2 | 9800 | 653 | 762 | 11,9 | 34,58 | 451 | 72,2 | | 2,56 | 60,1 | 56,8 | 91,8 |
| IPN 320 | 61,5 | | 781 | 914 | 12,7 | 39,23 | 555 | 84,7 | | 2,63 | 63,9 | | |
| **IPN 340** | 68,0 | 15700 | 923 | 1080 | 13,5 | 44,27 | 674 | 98,4 | 166 | 2,80 | 67,6 | 90,4 | 176 |
| IPN 360 | 76,1 | 19610 | 1090 | 1271 | 14,3 | 49,29 | 818 | | 194 | 2,86 | 71,6 | | 249 |
| **IPN 380** | 84,0 | 24010 | 1260 | 1482 | 15,0 | 55,55 | 975 | | 221 | 3,02 | 75,4 | | 319 |
| **IPN 400** | | 29210 | 1460 | 1714 | 15,7 | 61,69 | 1160 | 149 | 253 | 3,13 | 79,3 | 170 | 420 |
| IPN 450 | | 45850 | 2040 | 2400 | 17,7 | 77,79 | 1730 | 205 | 341 | 3,44 | 88,8 | 297 | 701 |
| **IPN 500** | | 68740 | 2750 | 3240 | 19,6 | 95,60 | 2480 | 268 | 456 | 3,72 | 98,5 | 402 | 1400 |
| IPN 550 | | | 3670 | 4340 | | | 3490 | | 592 | 4,02 | 107,8 | | |
| IPN 600 | | 134000 | | | | | | | | | | | |

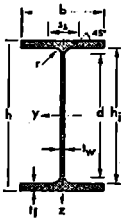
Classification
კლასიფიკაცია
EN 1993-1-1:2005

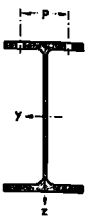
| Pure bending სუფთა ღუნვა | | Pure compression სუფთა კუმშვა | | EN 10025-2:2004 | EN 10025-4:2004 | EN 10225:2001 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| S235 | S355 | S235 | S355 | | | |

- W_el,y for plastic design, the web must belong to class 1 or 2 according to the reduced flange area. See page 204
- W_pl,y for plastic design, the web must belong to class 1 according to the reduced flange area. See page 204

# European wide flange beams

Dim.: HE A, HE B and HE M 100 - 1000 in accordance with former standard EU 53-62; HE 1000 with $G_{HE} > G_{HEM}$ in accordance with ASTM A 6/A 6M - 07
HE C in accordance with PN-H-93452: 2005, HE AA 100-1000 in accordance with AM standard
Tolerances: EN 10034: 1993 HE 100 - 900, HE 1000 AA-M
ASTM A 6/A 6M - 07 HE 1000 with $G_{HE} > G_{HEM}$
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1




## ევროპული ფართოთაროებიანი ორტესებრი პროფილი

## ზომები: HEA, HE B, HE M 100-1000 EU53-62 შესაბამისად: HE 1000 $G_{HE} < G_{HEM}$ ASTMA6/A6M-07 შესაბამისად, HE C PN-H – 93452:2005; შესაბამისად, HE AA 100-1000 ძარხნის სტანდარტის შესაბამისად. დაშვებები: EN10034:1993 – HE 100-900; HE 1000AA-M, ASTMA 6/A6M-07

## HE 1000 $G_{HE} > G_{HEM}$; მოთხოვნები ზედაპირისადმი EN 10163-3:2004 მიხედვით კლასი C, ქვეკლასი 1

| Designation აღნიშვნა | Dimensions ზომები | | | | | | | Dimensions for detailing კონსტრუქციული ზომები | | | | | surface ზედაპირის ფართობი | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | G | h | b | | | | A | $h_i$ | d | Ø | $r_{min}$ | $R_{max}$ | $A_s$ | $A_g$ |
| | კგ/მ | მმ | მმ | მმ | მმ | მმ | მმ² x10² | მმ | მმ | | მმ | მმ | მ²/მ | მ²/ტ |
| HE 100 AA* | 12,2 | | 100 | | | | | 80 | | M 10 | | | | |
| | 16,7 | | 100 | | | | | 80 | | M 10 | | | | |
| HE 100 B | 20,4 | 100 | 100 | | | | | 80 | | M 10 | | | | |
| HE 100 C* | 30,0 | 100 | 100 | | | | | 80 | | M 10 | | | | |
| HE 100 M | | | 106 | | | | | 80 | | M 10 | | | | |
| HE 120 AA* | | 109 | | | | | | | | M 12 | 58 | 68 | 0,669 | |
| HE 120 A | | | | | | | | | | M 12 | 58 | 68 | 0,677 | |
| HE 120 B | | | | | | | | | | M 12 | 60 | 68 | 0,686 | |
| HE 120 C* | | | | | | | | | | M 12 | 63 | 72 | 0,702 | |
| HE 120 M | | | | | | | | | | M 12 | 66 | 74 | 0,738 | |
| HE 140 AA* | | | | | | | | | | M 16 | 64 | | | |
| | | | | | | | | | | | 64 | | | |
| | | 140 | | | | | | | | M 16 | 66 | | 0,805 | 23,88 |
| HE 140 A | | 150 | | | | | | | | | | | 0,813 | 21,21 |
| HE 140 M | | 160 | | | | | | | | M 16 | | | 0,857 | 13,56 |
| HE 160 AA* | | 148 | 160 | | | | 30,4 | | 104 | M 20 | 76 | 84 | 0,901 | |
| | | 152 | 160 | | | | 38,8 | | 104 | M 20 | 76 | 84 | 0,906 | |
| HE 160 B | | 160 | 160 | | | | 54,3 | | 104 | M 20 | 80 | 84 | 0,918 | |
| HE 160 C* | | | 163 | | | | 75,4 | | 104 | M 20 | 84 | 88 | 0,934 | |
| HE 160 M | | 180 | 166 | | | | 97,1 | | 104 | M 20 | 86 | 90 | 0,970 | 12,74 |
| HE 180 AA* | | | 180 | | | | | | | M 24 | | | | 35,51 |
| | | | 180 | 6 | | | | | | M 24 | | | | 20,03 |
| HE 180 B | | 180 | 180 | 8,5 | | | | | | M 24 | | | | 20,75 |
| HE 180 C* | | | 183 | | | | | | | M 24 | | | | |
| HE 180 M | 88,9 | 200 | 186 | | | | | | | M 24 | | | | |
| HE 200 AA* | | 186 | 200 | | | | | 170 | | M 27 | 96 | 100 | | |
| | | | 200 | | | | | 170 | | M 27 | 96 | 100 | | 26,82 |
| HE 200 B | | 200 | 200 | | | | | 170 | 134 | M 27 | 100 | 100 | | 18,78 |
| HE 200 C* | | | 203 | | | | | 170 | 134 | M 27 | 104 | 104 | | 14,56 |
| HE 200 M | | 220 | 206 | | | | | 170 | 134 | M 27 | 106 | 106 | | 11,67 |

* Not available from the S235JR/J0 quality of material, conditions on page 228, but only in the S355J0 quality grade 40 or specially ordered material with shortages and delivery conditions upon agreement.

Notations pages 414-417 / განმარტებები 414-417 გვერდებზე

Section properties / საცნობარო მნიშვნელობები

Classification კლასიფიკაცია EN 1993-1-1 2005

| Designation აღნიშვნა | G | $I_y$ | Strong axis y-y ღერძი y-y $W_{el,y}$ | $W_{pl,y}$ | $i_y$ | $A_w$ | Weak axis z-z ღერძი z-z $I_z$ | $W_{el,z}$ | $W_{pl,z}$ | $i_z$ | $x_s$ | $I_t$ | $I_w$ | Pure bending სუფთა ღუნვა y-y | | | Pure compression სუფთა კუმშვა | | | EN 10025-2: 2004 | EN 10025-4 2004 | EN 10225:2001 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | კგ/მ | $სმ^4$ | $სმ^3$ | $სმ^3$ | სმ | $სმ^2$ | $სმ^4$ | $სმ^3$ | $სმ^3$ | სმ | სმ | $სმ^4$ | $სმ^6$ | S235 | S355 | S460 | S235 | S355 | S460 | | | |
| | | x10⁴ | x10³ | x10³ | x10 | x10² | x10⁴ | x10³ | x10³ | x10 | | x10⁴ | x10⁵ | | | | | | | | | |
| **HE 100 AA** | | | **51,98** | **58,36** | **3,89** | **6,15** | **92,06** | **18,41** | **28,44** | **2,43** | **29,26** | **2,51** | **1,68** | | | | | | | | | |
| HE 100 A | 16,7 | | 49,0 | 55,9 | 3,87 | 7,56 | | 17,76 | | 2,41 | 29,60 | 3,24 | 1,68 | | | | | | | | | |
| **HE 100 B** | **20,4** | | **89,91** | **104,2** | **4,16** | **9,04** | **167,3** | **33,45** | **51,42** | **2,53** | **40,06** | **9,25** | **3,38** | | | | | | | | | |
| HE 100 C | 30,9 | | 132,9 | | | 13,59 | 276,4 | 54,26 | 82,59 | | 53,07 | 20,20 | 6,16 | | | | | | | | | |
| **HE 100 M** | **41,8** | | **190,4** | **235,8** | **4,63** | **18,04** | **399,2** | **75,31** | **116,3** | **2,74** | **66,06** | **68,21** | **9,93** | | | | | | | | | |
| **HE 120 AA** | | | **75,85** | **84,12** | **4,72** | **6,90** | **158,8** | **26,47** | **40,62** | **2,93** | **29,26** | **2,78** | **4,24** | | | | | | | | | |
| HE 120 A | | | 106,3 | 119,5 | | 13,46 | 230,9 | 38,48 | | | 39,96 | 5,02 | | | | | | | | | | |
| **HE 120 B** | | **864,4** | **144,1** | **165,2** | **5,04** | **10,96** | **317,5** | **52,92** | **80,97** | **3,06** | **42,56** | **13,84** | **9,41** | | | | | | | | | |
| HE 120 C | | 1368 | 178 | | 5,27 | 15,97 | 692,2 | 90 | 142,2 | | 65,46 | | 12 | | | | | | | | | |
| **HE 120 M** | | **2018** | **288,2** | **350,6** | **5,51** | **21,15** | **702,8** | **111,6** | **171,6** | **3,25** | **68,56** | **91,66** | **24,79** | | | | | | | | | |
| **HE 140 AA** | | **719,5** | **112,4** | **123,8** | **5,59** | **7,92** | **274,8** | **39,26** | **59,93** | **3,45** | **30,36** | **3,54** | **10,21** | **2** | **3** | **3** | **2** | **3** | **3** | ✓ | ✓ | ✓ |
| HE 140 A | | 1033 | 155,4 | 173,5 | 5,73 | 10,12 | 389,3 | 55,62 | 84,85 | 3,52 | 30,56 | 8,16 | 14,06 | | | | | | | | | ✓ |
| **HE 140 B** | | **1509** | **215,6** | **245,4** | **5,93** | **13,08** | **549,7** | **78,52** | **119,8** | **3,58** | **45,06** | **20,06** | **22,48** | | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| HE 140 C | | | 345,3 | | | 16,63 | 933,1 | 134 | 177,7 | 3,66 | 59,56 | | 39,64 | | | | | | | | | |
| **HE 140 M** | | | **411,4** | **493,8** | **6,39** | **24,46** | **1144** | **156,8** | **240,5** | **3,77** | **71,06** | **120,0** | **54,33** | | | | | | | | | |
| **HE 160 AA** | | | **173,4** | **190,4** | **6,50** | **10,38** | **478,7** | **59,84** | **91,36** | **3,97** | **36,07** | **6,33** | **23,75** | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 616,6 | | | 3,98 | 69 | | | | | | | | | | | |
| **HE 160 B** | | | **311,5** | **354,0** | **6,78** | **17,59** | **889,2** | **111,2** | **170,0** | **4,05** | **51,57** | **31,24** | **47,94** | | | | | | | | | |
| | | | 455,8 | 519,0 | | 21,65 | 1363 | | 254,0 | | | 77,27 | | | | | | | | | | |
| **HE 160 M** | | **5098** | **566,5** | **674,6** | **7,25** | **30,81** | **1759** | **211,9** | **325,5** | **4,26** | **77,57** | **162,4** | **108,1** | | | | | | | | | |
| **HE 180 AA** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 180 A | | | | | | | | | 166,5 | | | | | | | | | | | | | |
| **HE 180 B** | **51,2** | | **425,7** | **481,4** | **7,66** | **20,24** | **1363** | **151,4** | **231,0** | **4,57** | **54,07** | **42,16** | **93,75** | | | | | | | | | |
| HE 180 C | 69,5 | | 583,5 | 675,0 | 7,85 | 27,20 | | 212,5 | 324,0 | | 57,07 | 102, | 141,9 | | | | | | | | | |
| **HE 180 M** | **88,9** | | **748,3** | **883,4** | **8,13** | **34,65** | **2580** | **277,4** | **425,2** | **4,77** | **80,07** | **203,3** | **199,3** | | | | | | | | | |
| **HE 200 AA** | **34,6** | **2944** | | | **8,17** | **15,45** | **1068** | **106,8** | **163,2** | **4,92** | **42,59** | **12,69** | **84,49** | **2** | **3** | **3** | | | | | | |
| HE 200 A | | 3692 | | | 8,25 | 19,05 | | | 202,8 | | | | | | | | | | | | | |
| **HE 200 B** | | **5696** | **569,6** | **642,5** | **8,54** | **24,83** | **2003** | **200,3** | **305,8** | **5,07** | **60,09** | **59,28** | **171,1** | | | | | | | | | |
| HE 200 C | | 8043 | 736,2 | | 8,77 | 32,78 | 2945 | 275,5 | 421,2 | 5,17 | 75,64 | 95 | 251,7 | | | | | | | | | |
| **HE 200 M** | | **10640** | **967,4** | **1135** | **9,00** | **41,03** | **3651** | **354,5** | **543,2** | **5,27** | **86,09** | **259,4** | **346,3** | | | | | | | | | |

For plastic design, the equipment belong to class 1 or 2 according to the adopted rotation capacity. See page 459

# European wide flange beams (continued)

Dim. HEA, HEB and HE M 100 - 1000 in accordance with former standard EU 53-62, HE 1000 with $G_{HE} > G_{HEM}$ in accordance with ASTMA 6/A6M - 07
HE C in conformance with PN-H-93452:2005, HE AA 100-1000 in conformance with AM standard
Tolerances: EN 10034:1993 – HE 100 - 900, HE 1000 AA-M;
ASTM A 6/A 6M - 07 HE 1000 with $G_{HE} > G_{HEM}$
Surface condition according to EN 10163-3:2004, class C, subclass 1

## ევროპული ფართოთაროვებიანი ორტესებრი პროფილი (გაგრძელება)

**ზომები: HEA, HE B, HE M 100-1000 EU53-62 შესაბამისად; HE 1000 $G_{HE} > G_{HEM}$ ASTMA6/A6M-07 შესაბამისად, HE C PN-H-93452:2005 შესაბამისად, HE AA 100-1000 ძარხნის სტანდარტის შესაბამისად.**
**დაშვებები: EN10034:1993 – HE 100-900; HE 1000AA-M, ASTMA 6/A6M-07-HE 1000 $G_{HE} > G_{HEM}$**
**მოთხოვნები ზედაპირისადმი EN 10163-3:2004. კლასი C, ქვეკლასი 1**

| Designation<br>აღნიშვნა | Dimensions<br>ზომები | | | | | | Dimensions for detailing<br>კონსტრუქციული ზომები | | | | | | Surface<br>ზედაპირის ფართობი | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | G | | b | $t_1$ | | | A | h | d | Ø | | | A | A |
| | კგ/მ | in | in | in | in | in | $in^2$<br>$x10^{-1}$ | in | in | | in | in | $m^2/m$ | $m^2/t$ |
| HE 320 AA* | 40,4 | 205 | 220 | | | | 51,5 | 108 | | M 27 | 98 | | 1,247 | |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | | | [illegible] | |
| HE 320 B | | 220 | 220 | | | | 91,0 | 108 | | M 27 | 100 | | 1,270 | |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | | [illegible] | | | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | |
| HE 320 M | | 240 | 226 | | | | 149,4 | | | M 27 | 108 | | 1,322 | |
| HE 240 AA* | 47,4 | 224 | 240 | | | 21 | 60,4 | 206 | 164 | M 27 | | 138 | 1,359 | 28,67 |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| HE 240 B | 83,2 | 240 | 240 | | | 21 | 106,0 | 208 | 164 | M 27 | | 138 | 1,384 | 16,63 |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| HE 240 M | 157 | 270 | 248 | | | 21 | 199,6 | 306 | 164 | M 27 | | | 1,460 | 9,318 |
| HE 260 AA* | 54,1 | | 260 | | | | 69,0 | 225 | | M 27 | | 158 | | 27,22 |
| [illegible] | | | [illegible] | | [illegible] | | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | | [illegible] | | [illegible] |
| HE 260 B | | 260 | 260 | | 17,5 | 24 | 118,4 | 225 | | M 27 | | 158 | 1,499 | 16,13 |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | | [illegible] | | |
| HE 260 M | 172 | 290 | 268 | | 32,5 | 24 | 219,6 | 225 | | M 27 | 122 | 166 | | 9,133 |
| HE 280 AA* | | | 280 | 7 | | | 78,0 | 244 | 196 | M 27 | | | 1,593 | 26,01 |
| [illegible] | | | [illegible] | [illegible] | | | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | [illegible] | [illegible] |
| HE 280 B | | 280 | 280 | 10,5 | | | 131,4 | 244 | 190 | M 27 | | | 1,616 | 12,69 |
| [illegible] | | | [illegible] | [illegible] | | | | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | [illegible] | |
| HE 280 M | 189 | | 288 | 18,5 | | | | 244 | 196 | M 27 | | 186 | 1,694 | 8,984 |
| HE 300 AA* | | 283 | 300 | | 10,5 | | 88,9 | 282 | 208 | M 27 | 116 | 190 | 1,705 | |
| [illegible] | | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | |
| HE 300 B | 117 | 300 | 300 | | | 27 | 149,1 | 282 | 208 | M 27 | 120 | 198 | 1,732 | 14,80 |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| HE 300 M | 239 | 340 | 310 | 21 | 39 | 27 | 303,1 | 282 | 208 | M 27 | 132 | 208 | 1,832 | 7,699 |
| HE 320 AA* | | 301 | 300 | | | | 94,6 | | 225 | M 27 | | 198 | 1,740 | |
| [illegible] | | [illegible] | [illegible] | | | | [illegible] | | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | [illegible] | |
| HE 320 B | | 320 | 300 | | 20,5 | | | | 225 | M 27 | | 198 | 1,771 | |
| [illegible] | | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | | | | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | [illegible] | |
| HE 320 M | | 359 | 309 | | | | | | | M 27 | | 204 | 1,866 | |

[illegible]

Notations pages 414-417 / განმარტებები 414-417 გვერდებზე

section properties / სიცნობადი მნიშვნელობები

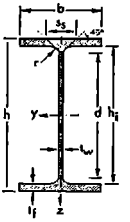
| Designation<br>აღნიშვნა | | | Strong axis y-y<br>ღერძი y-y | | | | Weak axis z-z<br>ღერძი z-z | | | | | | | Classification<br>კლასიფიკაცია<br>EN 1993-1-1 2005 | | | | | | EN 10025-2 2004 | EN 10025-6 2004 | EN 10225:2001 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | | Pure bending<br>ხუთი ღერძი<br>y-y | | | Pure compression<br>ხუთი ღერძი | | | | | |
| | G | $I_y$ | $W_{el,y}$ | $W_{pl,y}$ | $i_y$ | $A_v$ | $I_z$ | $W_{el,z}$ | $W_{pl,z}$ | $i_z$ | $x_s$ | $I_t$ | $I_w$ | S235 | S355 | S460 | S235 | S355 | S460 | | | |
| | kg/m | $cm^4$ | $cm^3$ | $cm^3$ | cm | $cm^2$ | $cm^4$ | $cm^3$ | $cm^3$ | cm | cm | $cm^4$ | $cm^6$ | | | | | | | | | |
| | | $\times 10^4$ | $\times 10^3$ | $\times 10^3$ | $\times 10$ | $\times 10^2$ | $\times 10^4$ | $\times 10^3$ | $\times 10^3$ | $\times 10$ | | $\times 10^4$ | $\times 10^6$ | | | | | | | | | |
| **HE 220 AA** | 40,4 | 4170 | 406,9 | 445,5 | 9,00 | 17,63 | 1510 | 137,3 | 209,3 | 5,42 | 44,09 | 15,93 | 145,6 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | ✓ | ✓ | ✓ |
| HE [illegible] | [illegible] | | [illegible] | | [illegible] | [illegible] | | | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | | | | | | 3 | ✓ | ✓ | |
| **HE 220 B** | 71,5 | 6091 | 735,5 | 827,0 | 9,43 | 27,92 | 2843 | 258,5 | 393,9 | 5,59 | 62,59 | 76,57 | 295,4 | | | | | | 1 | ✓ | ✓ | ✓ |
| HE [illegible] | | | | | | | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | | | | | | | | | |
| **HE 220 M** | | 14600 | 1317 | 1419 | 9,89 | 45,31 | 5012 | 443,5 | 678,6 | 5,79 | 88,59 | 315,3 | 572,7 | | | | | | | | | |
| **HE 240 AA** | 47,4 | 5835 | 521,0 | 570,6 | 9,83 | 21,54 | 2077 | 173,1 | 264,4 | 5,87 | 49,10 | 22,98 | 239,6 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | ✓ | ✓ | ✓ |
| HE [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | | | | 2 | | | |
| **HE 240 B** | 83,2 | 11260 | 938,3 | 1053 | 10,31 | 33,23 | 3923 | 326,9 | 498,4 | 6,08 | 68,60 | 102,7 | 486,9 | | | | | | 1 | | | |
| HE [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | | | | | | | | |
| **HE 240 M** | 157 | 24290 | 1799 | 2117 | 11,03 | 60,07 | 8153 | 657,5 | 1006 | 6,39 | 106,6 | 627,9 | 1152 | | | | | | | | | |
| **HE 260 AA** | 54,1 | 7981 | 654,1 | 714,5 | 10,76 | 24,75 | 2788 | 214,5 | 327,7 | 6,36 | 53,62 | 30,31 | 382,6 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | ✓ | ✓ | ✓ |
| HE [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | | | 3 | | ✓ | | |
| **HE 260 B** | 93,0 | 14920 | 1148 | 1283 | 11,22 | 37,59 | 5135 | 395,0 | 602,2 | 6,58 | 73,12 | 123,8 | 753,7 | | | | | 1 | | ✓ | HI | HI |
| HE [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | | | | | ✓ | | |
| **HE 260 M** | 172 | 31310 | 2159 | 2524 | 11,94 | 66,89 | 10450 | 779,7 | 1192 | 6,90 | 111,1 | 719,0 | 1728 | | | | | | | ✓ | HI | HI |
| **HE 280 AA** | 61,2 | 10560 | 799,8 | 873,1 | 11,63 | 27,52 | 3664 | 261,7 | 399,4 | 6,85 | 55,12 | 36,22 | 590,1 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | ✓ | ✓ | ✓ |
| HE [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | [illegible] | [illegible] | | | | | | | | | ✓ | | |
| **HE 280 B** | 103 | 19270 | 1376 | 1534 | 12,11 | 41,09 | 6595 | 471,0 | 717,6 | 7,09 | 74,62 | 143,7 | 1130 | | | | | | | ✓ | HI | HI |
| HE [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | [illegible] | | [illegible] | | | | | | | • | | |
| **HE 280 M** | 189 | 39550 | 2551 | 2966 | 12,83 | 72,03 | 13160 | 914,1 | 1397 | 7,40 | 112,6 | 807,3 | 2520 | | | | | | | ✓ | HI | |
| **HE 300 AA** | 69,8 | 13800 | 975,6 | 1065 | 12,46 | 32,37 | 4734 | 315,6 | 482,3 | 7,30 | 60,13 | 49,35 | 677,2 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | ✓ | ✓ | |
| HE [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | | | | | [illegible] | | | | | | | 3 | | ✓ | | |
| **HE 300 B** | 117 | 25170 | 1678 | 1869 | 12,99 | 47,43 | 8563 | 570,9 | 870,1 | 7,58 | 80,63 | 185,0 | 1688 | | | | | 1 | | ✓ | HI | |
| HE [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | | | | | ✓ | | |
| **HE 300 M** | 238 | 59200 | 3482 | 4078 | 13,98 | 90,53 | 19400 | 1252 | 1913 | 8,00 | 130,6 | 1408 | 4386 | | | | | | | ✓ | HI | |
| **HE 320 AA** | 74,2 | 16450 | 1093 | 1196 | 13,19 | 35,40 | 4959 | 330,6 | 505,7 | 7,24 | 61,63 | 55,87 | 1041 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | ✓ | ✓ | |
| HE [illegible] | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | | | | | | | 2 | 3 | | | | ✓ | | |
| **HE 320 B** | 127 | 30820 | 1926 | 2149 | 13,82 | 51,77 | 9239 | 615,9 | 939,1 | 7,57 | 84,13 | 225,1 | 2069 | | 1 | | | | | ✓ | HI | |
| HE [illegible] | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | | | [illegible] | | | | | | [illegible] | | | | | | | ✓ | | |
| **HE 320 M** | 245 | 68130 | 3796 | 4435 | 14,78 | 94,85 | 19710 | 1276 | 1951 | 7,95 | 132,6 | 1501 | 5004 | | | | | | | ✓ | HI | |

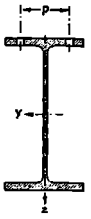
HI = HIS

- [illegible]
- We for resist. design, the supermost belong to class 1 or 2 according to the resp. material values, see page 2[illegible]
- [illegible]

# European wide flange beams (continued)

Dim.: HE A, HE B and HE M 100 - 1000 in accordance with former standard EU 53-62, HE 1000 with $G_{HE} > G_{HEM}$ in accordance with ASTM A 6/A 6M - 07
HE C in accordance with PN-H-93452: 2005, HE AA 100-1000 in accordance with AM standard
Tolerances: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M
ASTM A 5/A 6M - 07 HE 1000 with $G_{HE} > G_{HEM}$
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1




## ევროპული ფართოთაროებიანი ორტესებრი პროფილი (გაბარძელება)

**ზომები: HEA. HE B. HE M 100-1000 EU53-62 შესაბამისად; HE 1000 $G_{HE} > G_{HEM}$ ASTMA6/A6M-07 შესაბამისად, HE C PN-H-93452:2005; შესაბამისად, HE AA 100-1000 ძარხნის სტანდარტის შესაბამისად.**
**დაშვებები: EN10034:1993 – HE 100-900; HE 1000AA-M, ASTMA 6/A6M-07-HE 1000 $G_{HE} > G_{HEM}$;**
**მოთხოვნები ზედაპირისადმი EN 10163-3:2004. კლასი C, ძვეკლასი 1**

| Designation<br>აღნიშვნა | Dimensions<br>ზომები | | | | | | | Dimensions for detailing<br>კონსტრუქციული ზომები | | | | Surface<br>ზედაპირის ფართობი | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | G | h | b | $t_w$ | $t_f$ | r | A | $h_i$ | d | | $\rho_{min}$ | $\rho_{max}$ | $A_L$ | $A_C$ |
| | კგ/მ | მმ | მმ | მმ | მმ | მმ | მმ$^2$ x10$^2$ | მმ | მმ | | მმ | მმ | მ$^2$/მ | მ$^2$/ტ |
| HE 340 AA* | | | 300 | | | | | | | | | | | |
| HE 340 B | | | 300 | | | | | | | M 27 | | | | |
| | | | 300 | | | | | | | M 27 | | | | |
| HE 400 AA* | | | 300 | | | | | | 298 | | | | | |
| HE 400 B | | 400 | 300 | | | | | | 298 | M 27 | | | | |
| HE 450 A | | | 300 | | | | | | | | | | 2,011 | |
| HE 500 AA* | | | 300 | | | | | | | | | | | |
| HE 500 B | | 500 | 300 | | | | | | 390 | M 27 | | | | |
| | | 540 | 300 | | | | | | | M 27 | | | | |
| | | | | | 40 | | | | | | | | 2,280 | |
| HE 600 AA* | | | 300 | | | | 164,1 | | | | | | | 17,64 |
| HE 600 B | 212 | 600 | 300 | | | | | | | | | | | |
| HE 600 x 337* | | | | | | | | | | | | | | |

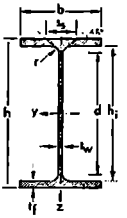
Notations page 414-417 / განმარტებები 414-417 გვერდებზე

Section properties / საცნობარო მნიშვნელობები

Classification კლასიფიკაცია EN 1993-1-1:2005

| Designation აღნიშვნა | G | | strong axis y-y ღერძი y-y | | | | weak axis z-z ღერძი z-z | | | | | | | | Pure bending სუფთა ღუნვა | | | Pure compression სუფთა კუმშვა | | | EN 10025-2: 2004 | EN 10025-4: 2004 | EN 10225 2001 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | კგ/მ | $10^4$ | $W_{el,y}$ $10^3$ | $W_{pl,y}$ $10^3$ | $i_y$ | $A_w$ | $I_z$ | $W_{el,z}$ | $W_{pl,z}$ | $i_z$ | $s_z$ | $I_t$ | $I_w$ | | S235 | S355 | S460 | S235 | S355 | S460 | | | |
| | | $10^3$ | $10^3$ | $10^3$ | 10 | $10^2$ | $10^4$ | $10^3$ | $10^3$ | 10 | | $10^4$ | $10^6$ | | | | | | | | | | |
| **HE 340 AA** | 78,9 | 19550 | | | 13,95 | 38,69 | 5185 | 345,6 | 529,3 | 7,18 | 63,13 | 63,07 | 1231 | | | | 3 | 3 | 4 | ✓ | ✓ | ✓ |
| HE 340 A | 105 | 27690 | | | | 44,00 | 7436 | 495,7 | 759,6 | 7,46 | 74,13 | 127,2 | 1824 | | | | | | | ✓ | | |
| **HE 340 B** | 134 | 36660 | 2156 | 2408 | 14,65 | 56,09 | 9690 | 646,0 | 985,7 | 7,53 | 86,63 | 257,2 | 2454 | | | | | | | ✓ | HI | HI |
| | 248 | 76370 | 4052 | 4718 | 15,55 | 99,63 | | 1276 | 1953 | 7,90 | 132,8 | | 5554 | | | | | | | ✓ | | HI |
| HE 360 AA | 83,7 | 23040 | | | 14,70 | 42 | 5410 | | | 7,12 | 64,03 | 80,99 | | | | | | | | | | |
| **HE 360 A** | 112 | 33090 | | 2088 | 15,22 | 48,96 | 7887 | 525,8 | 802,3 | 7,43 | 76,63 | 148,8 | 2177 | | | | | | | | | |
| HE 360 B | 142 | 42760 | | | | | 10 | 676 | 1032 | | 99,13 | 292,5 | 2993 | | | | | | | | | |
| **HE 360 M** | 250 | 84870 | | 4989 | 16,32 | 102,4 | 19520 | 1268 | 1942 | 7,83 | 132,6 | 1507 | 6137 | | | | | | | | | |
| **HE 400 AA** | 92,4 | 31250 | 1654 | 1824 | 16,30 | 47,95 | 5661 | 390,8 | 599,7 | 7,06 | 67,13 | 84,69 | 1948 | 2 | 3 | 3 | | | | | | |
| HE 400 A | | 45070 | 2817 | | | 57,33 | | 676,9 | 1042 | 7,54 | 97,43 | | 4641 | | | | | | | | | |
| **HE 400 B** | | 57680 | 2884 | 3232 | 17,08 | 69,98 | 10820 | 721,3 | 1104 | 7,40 | 93,13 | 355,7 | 3817 | | | | | | | | | |
| | | 104100 | | 5521 | 17,88 | 110,2 | 19360 | 1200 | | 7,70 | 132,6 | 1615 | 7410 | | | | | | | | | |
| HE 450 AA | | | 1971 | 2168 | 19 | | | | | 6,92 | | | | | | | | | 4 | ✓ | | |
| **HE 450 A** | 140 | 63720 | 2896 | 3216 | 18,92 | 65,78 | 9465 | 631,0 | 965,5 | 7.29 | 85,13 | 243,8 | 4148 | | | | | | 3 | ✓ | HI | |
| HE 450 B | 171 | 79890 | | | | 75,48 | 13120 | | | 7,32 | 97,93 | | | | | | | | | ✓ | | |
| **HE 450 M** | 263 | 131500 | 5501 | 6331 | 19,80 | 119,8 | 19340 | 1260 | 1939 | 7,59 | 132,6 | 1529 | 9251 | | | | | | | ✓ | HI | |
| **HE 500 AA** | | 54640 | 2315 | 2576 | 19,98 | 61,91 | 6314 | 420,9 | 649,3 | 6,79 | 70,13 | 107,7 | 3304 | | | | | | | | | |
| HE 500 A | | 86970 | 3550 | 3949 | 20,09 | | 10370 | | | | | | | | | | | | | | | |
| **HE 500 B** | 187 | 107200 | 4287 | 4815 | 21,19 | 89,82 | 12620 | 841,6 | 1292 | 7,27 | 102,1 | 538,4 | 7018 | | | | | | | | | |
| HE 500 M | 179 | | | | 21,03 | 123,5 | | 1252 | | | | | 11190 | | | | | | | | | |
| | 120 | | 2702 | 3168 | 21,84 | 72,66 | | | 896,6 | | | | 4348 | | | | | | | | | |
| | 166 | 111900 | 4146 | 4622 | 22,99 | 83,72 | 10820 | 721,3 | 1107 | 7,15 | 92,13 | 351,5 | 7189 | | | | | | | | | |
| | 199 | 136700 | 4871 | 5541 | | | 12850 | | | | | 600,8 | | | | | | | | | | |
| **HE 550 M** | 278 | 198000 | 6923 | 7933 | 23,64 | 139,6 | 19160 | 1252 | 1937 | 7,35 | 132,6 | 1554 | 13520 | 1 | | | | | | | | |
| **HE 600 AA** | 129 | 91900 | 3218 | 3623 | 23,66 | 81,29 | 6993 | 466,2 | 724,5 | 6,53 | 74,63 | 149,8 | 5381 | | | | | | | | | |
| HE 600 A | 178 | | 4297 | 5020 | 24,07 | 95,21 | | 6 | 1156 | 7,05 | | 347,5 | 6979 | | | | | | | | | |
| **HE 600 B** | 212 | 171000 | 5701 | 6425 | 25,17 | 110,8 | 13530 | 902,0 | 1391 | 7,08 | 107,1 | 667,2 | 10970 | 1 | | | | | | | | |
| HE 600 M | 285 | 257400 | 7940 | 8771 | 25,55 | 136,7 | 19520 | | 1930 | 7,24 | 132,6 | 1524 | 15100 | 1 | | | | | | | | |
| **HE 600 x 337** | 337 | 283200 | 8961 | 10380 | 25,69 | 180,5 | 22940 | 1480 | 2310 | 7,31 | 149,1 | 2451 | 19610 | 1 | | | | | | | ✓ | HI |
| HE 600 x 389 | | 344600 | 10610 | 12460 | 26,09 | 213,6 | 28280 | 1836 | 2814 | 7,40 | | | | | | | | | | | | |

$W_{pl}$ for plastic design, the shape must belong to class 1 or 2 according to the resistant moment. See page 2001.







## European wide flange beams (continued)

Dim - HE A, HE B and HE M 100 - 1000 in accordance with former standard ITU 53-62. HE 1000 with $G_{HE} > G_{HEM}$ in accordance with ASTM A 6/A 6M - 07
HE C in accordance with PN-H-93452:2005, HE AA 100-1000 in accordance with AM standard
Tolerances - EN 10034: 1993 HE 100 - 900, HE 1000 AA-M
ASTM A 6/A 6M - 07 HE 1000 with $G_{HE} > G_{HEM}$
Surface condition according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

## ევროპული ფართოთაროვებიანი ორტესებრი პროფილი (ბაბრძელება)

**ზომები: HEA, HE B, HE M 100-1000 EU53-62 შესაბამისად; HE 1000 $G_{HE} > G_{HEM}$ ASTMA6/A6M-07 შესაბამისად, HE C PN-H-93452:2005; შესაბამისად, HE AA 100-1000 ძარხნის სტანდარტის შესაბამისად.**
**დაშვებები: EN10034:1993 – HE 100-900; HE 1000AA-M, ASTM 6/A6M-07-HE 1000 $G_{HE} > G_{HEM}$**
**მოთხოვნები ზედაპირისადმი EN 10163-3:2004. კლასი C, ქვეკლასი 1**

| Designation<br>აღნიშვნა | Dimensions<br>ზომები | | | | | | | Dimensions for design<br>კონსტრუქციული ზომები | | | | | Surface<br>ზედაპირის ფართობი | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | G | h | b | $t_w$ | | | A | $h_i$ | d | Ø | $r_{min}$ | $r_{max}$ | $A_s$ | $A_c$ |
| | კგ/მ | მმ | მმ | მმ | მმ | მმ | მმ² x10² | მმ | მმ | | მმ | მმ | მ²/მ | მ²/ტ |
| HE 650 AA* | | | 300 | | | | 175,8 | | | M 27 | | | | |
| | | | | | | | | | | M 27 | | | | |
| | | | 300 | | | | | 588 | | M 27 | | | | |
| | | | | | | | | [illegible] | | | | | | |
| HE 650 x 343* | | 680 | 309 | | | | | 588 | | M 27 | | 202 | 2,500 | |
| | | | [illegible] | | | | | | | [illegible] | | | | |
| | | | | | | | | | | [illegible] | | | | |
| HE 700 A | 204 | 690 | 300 | | | | | | | M 27 | | | | |
| | | | [illegible] | | | | | | | | | | | |
| HE 700 M | | | 304 | | | | | | | | | 200 | 2,560 | |
| HE 700 x 418* | | | | | | | | | | M 27 | | 206 | | |
| HE 800 AA* | | 770 | 300 | | | 30 | | | | M 27 | | 198 | 2,660 | |
| | | | [illegible] | | | [illegible] | | | | | | [illegible] | | |
| HE 800 B | | 800 | 300 | | | 30 | | | | M 27 | | | | |
| | | | | | | [illegible] | | | | | | | | |
| HE 800 x 373* | | | 308 | | | 30 | | | | | | 200 | | |
| HE 900 A | | 890 | 300 | | | 30 | | | | M 27 | | | | |
| | | | [illegible] | | | | | | | [illegible] | | | | |
| HE 900 M | | | 302 | | | | | | | M 27 | | 198 | | |
| | | | | [illegible] | | | | | | | | [illegible] | | [illegible] |
| HE 900 x 466* | 466 | 938 | | 30 | | | | | | | | 204 | | 6,464 |
| HE 1000 AA* | | 970 | 300 | | | | | | | M 27 | | | 3,056 | 13,80 |
| | | | [illegible] | | | | | | | | | | [illegible] | [illegible] |
| HE 1000 A | | 990 | 300 | | | | | | | M 27 | | | 3,095 | 11,37 |
| | | [illegible] | | | | | | | [illegible] | [illegible] | | | | |
| HE 1000 M | | 1008 | | | | 30 | | 868 | | M 27 | | | 3,130 | 8,978 |
| | | [illegible] | | | | | | [illegible] | | [illegible] | | | [illegible] | [illegible] |
| HE 1000 x 415* | | | 304 | | | 30 | | | | M 27 | | | 3,150 | 7,600 |
| HE 1000 x 494* | | | 309 | | | 30 | | | | M 27 | | 204 | 3,190 | |
| | | | | | | | | | | | | [illegible] | [illegible] | |

Section properties: ხაზოვანი მახასიათებლები

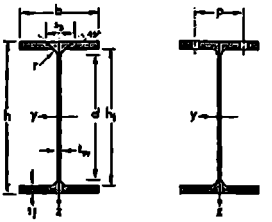
| Designation აღნიშვნა | G | I_y | W_el,y | W_pl,y | i_y | A_z | I_z | W_el,z | W_pl,z | i_z | s | t | I_t | I_w | Class კლასიფიკაცია EN 1993-1-1: 2005 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ღერძი y-y | | | | | ღერძი z-z | | | | | | | | Pure bending სუფთა ღუნვა | | | Pure compression სუფთა კუმშვა | | EN 10025-2: 2004 | EN 10025-4: 2004 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | kg/m | cm² | cm³ | cm³ | cm | cm² | cm⁴ | cm³ | cm³ | cm | cm | cm | cm⁴ | cm⁶ | S235 | S355 | S460 | S235 | S355 | S460 | |
| | | x10² | x10³ | x10³ | x10 | x10² | x10⁴ | x10³ | x10³ | x10 | | | x10⁴ | x10⁹ | | | | | | | |
| **HE 650 AA** | 138 | 113900 | 3676 | 4160 | 25,46 | 90,40 | 7221 | 481,4 | 750,7 | 6,41 | 76,13 | 167,5 | 6567 | 1 | 3 | 4 | 4 | 4 | ✓ | ✓ | |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | 3 | | 4 | ✓ | | |
| **HE 650 B** | 225 | 210600 | 6480 | 7320 | 27,12 | 122,0 | 13980 | 932,3 | 1441 | 6,99 | 109,6 | 739,2 | 13360 | 1 | | 2 | 3 | 4 | ✓ | | HI |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | 1 | | 1 | | | | HI |
| **HE 650 x 343** | 343 | 333700 | 9815 | 11350 | 27,62 | 189,6 | 22720 | 1470 | 2300 | 7,21 | 148,6 | 2442 | 22730 | 1 | | | 1 | | ✓ | | HI |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | 1 | | 1 | | | | HI |
| [illegible] | | [illegible] | | | | [illegible] | | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | 1 | | 4 | | | | |
| **HE 700 A** | 204 | 215300 | 6241 | 7032 | 28,75 | 117,0 | 12180 | 811,9 | 1257 | 6,84 | 100,1 | 513,9 | 13350 | 1 | | 3 | 4 | 4 | ✓ | | HI |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | 1 | | 2 | | 4 | ✓ | | HI |
| **HE 700 M** | 301 | 329300 | 9198 | 10540 | 29,32 | 169,8 | 18800 | 1240 | 1929 | 7,01 | 132,6 | 1589 | 21400 | 1 | | 1 | 2 | 3 | ✓ | | HI |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | | | | | HI |
| **HE 700 x 418** | 418 | 472500 | 12700 | 14640 | 29,80 | 239,0 | 27760 | 1774 | 2797 | 7,22 | 169,1 | 3969 | 32650 | 1 | | | | | ✓ | | HI |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | | | | | |
| **HE 800 AA** | 172 | 208900 | 5426 | 6225 | 30,92 | 123,8 | 8134 | 542,2 | 856,6 | 6,10 | 85,15 | 256,8 | 11450 | 1 | | 4 | 4 | 4 | ✓ | ✓ | |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | | 4 | | | |
| **HE 800 B** | 262 | 359100 | 8977 | 10230 | 32,78 | 161,8 | 14900 | 993,6 | 1553 | 6,68 | 118,6 | 946,0 | 21840 | 1 | | 3 | 4 | 4 | | | |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | | 3 | 4 | | |
| **HE 800 x 373** | 373 | 523900 | 12690 | 14700 | 33,23 | 230,3 | 22530 | 1463 | 2311 | 6,89 | 152,1 | 2554 | 34070 | 1 | | | | 2 | 3 | | |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | | | | | |
| [illegible] | | [illegible] | [illegible] | | | [illegible] | | [illegible] | | | | | | | | | | | | | |
| **HE 900 A** | 252 | 422100 | 9485 | 10810 | 36,29 | 163,3 | 13550 | 903,2 | 1414 | 6,50 | 111,1 | 736,8 | 24960 | 1 | | 4 | 4 | 4 | | | |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | | | 4 | 4 | |
| **HE 900 M** | 333 | 570400 | 12540 | 14440 | 36,70 | 214,4 | 18450 | 1220 | 1929 | 6,60 | 136,1 | 1671 | 34750 | 1 | | 2 | 4 | 4 | | | |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | | | | 4 | |
| **HE 900 x 466** | 466 | 814900 | 17380 | 20380 | 37,05 | 305,3 | 27560 | 1767 | 2832 | 6,81 | 173,1 | 4256 | 53400 | 1 | | | | | | 2 | |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | | | | | |
| **HE 1000 AA** | 222 | 406500 | 8360 | 9777 | 37,95 | 172,2 | 9501 | 633,4 | 1016 | 5,80 | 93,15 | 403,4 | 21280 | 1 | - | 4 | 4 | - | | | |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | | | | | |
| **HE 1000 A** | 272 | 553800 | 11190 | 12820 | 39,96 | 184,6 | 14000 | 933,6 | 1470 | 6,35 | 113,6 | 822,4 | 32070 | 1 | 2 | 4 | 4 | 4 | | | |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | | | | | |
| **HE 1000 M** | 349 | 722300 | 14330 | 16570 | 40,32 | 235,0 | 18460 | 1222 | 1940 | 6,45 | 136,1 | 1701 | 43020 | 1 | | 3 | 4 | 4 | | | |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | | | | | |
| **HE 1000 x 415** | 415 | 853100 | 16728 | 19571 | 40,17 | 288,6 | 21710 | 1428 | 2298 | 6,41 | 153,1 | 2713 | 51080 | 1 | | 2 | 3 | 4 | | | |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | | | | | |
| **HE 1000 x 494** | 494 | 1028000 | 19845 | 23413 | 40,42 | 344,5 | 26820 | 1736 | 2818 | 6,53 | 174,1 | 4433 | 64010 | 1 | | 1 | 2 | 3 | | | |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | | | | | |

HI

[illegible]

# European extra wide flange beams

Dimensions: ASTM A 6/A 6M - 07
Tolerances: ASTM A 6/A 6M - 07
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1



## ევროპული განიერთაროვანი ფართოთაროებიანი ორტესებრი პროფილი

**ზომები: ASTMA 6/A 6M-07;**
**დაშვებები: ASTM A 6/A 6M-07;**
**ზედაპირის მდგომარეობა: EN 10163-3:2004 შესაბამისად,**
**კლასი C, ქვეკლასი 1**

| Designation<br>აღნიშვნა | Dimensions<br>ზომები | | | | | | | Dimensions for detailing<br>კონსტრუქციული ზომები | | | | | Surface<br>ზედაპირის ფართობი | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | G | | | | | | A | d | Ø | | | | $A_L$ | $A_C$ |
| | კგ/მ | მმ | მმ | მმ | მმ | მმ | მმ² x10² | მმ | მმ | | მმ | მმ | მ²/მ | მ²/ტ |
| HL 920 X 341* | 342 | | 418 | 19,3 | 32,0 | | 436,1 | 846,0 | 800,0 | M 27 | | 314 | 3,410 | 9,97/8 |
| | | | 419 | | 34,3 | | 436.4 | 847 | 799,4 | M 27 | | 314 | 3,420 | |
| HL 920 X 387* | 387 | | 420 | | 36,6 | | 493,0 | 847,8 | 799,8 | M 27 | 128 | 314 | 3,438 | 8,885 |
| | | | 420 | | 36,6 | 24 | 493,0 | 847,8 | 799,8 | M 27 | 128 | 314 | 3,438 | 8,885 |
| HL 920 X 446* | | | 423 | 24,0 | 42,7 | 24 | 569,6 | 847,6 | 799,6 | M 27 | 130 | 318 | 3,469 | 7,758 |
| | | 972 | 422 | 23,9 | 42,6 | 24 | 569.3 | 847,6 | 799,6 | M 27 | 130 | 318 | 3,469 | 7,756 |
| HL 920 X 534* | 534 | 950 | 425 | 28,4 | 51,1 | 24 | 680,1 | 847,8 | 799,8 | M 27 | 130 | 320 | 3,502 | 6,560 |
| | | 972 | 427 | 31,0 | 55,0 | 24 | 745,9 | 847,2 | 799,2 | M 27 | 128 | 320 | 3,515 | 6,585 |
| | | 972 | 431 | 34,5 | 62,0 | 24 | 831,9 | 848,0 | 800,0 | M 27 | 144 | 320 | 3,558 | |
| | | | 432 | 34,9 | 62,6 | | | 848,2 | 800,2 | M 27 | 144 | | 3,564 | |
| HL 920 X 967* | 967 | 1028 | 446 | 50,0 | 89,9 | | | 848,2 | 800,2 | M 27 | 160 | | 3,689 | 3,828 |
| HL 920 x 344* | 344 | | | | 32,0 | | 437,2 | 863,0 | 815,0 | M 27 | 136 | | 3,455 | |
| | 345 | | | | 31,9 | | 439,6 | 863,4 | 815,6 | M 27 | 136 | | 3,455 | 10,03 |
| HL 920 x 390* | 390 | | | | 36,6 | | 494,3 | 862,8 | 814,8 | M 27 | 128 | 314 | 3,477 | 8,940 |
| | | | | | 36,6 | | 494,3 | 862,8 | 814,8 | M 27 | | 314 | 3,477 | 8,940 |
| HL 920 x 449* | | 948 | | | 24,0 | 42,7 | 571,4 | 862,6 | 824,6 | M 27 | 130 | 318 | 3,507 | 7,820 |
| | | | | | 23,9 | 42,6 | 569,8 | 863,0 | 825,0 | M 27 | 132 | 318 | 3,515 | 7,839 |
| HL 920 x 537* | | 965 | | | 28,4 | 51,1 | 683,5 | 862,8 | 814,8 | M 27 | 136 | 320 | 3,541 | 6,609 |
| | | 975 | | | 28,4 | 50,9 | 739,1 | 863,2 | 815,2 | M 27 | 136 | 322 | 3,542 | 6,596 |
| HL 920 x 656* | 656 | 987 | | | 34,5 | 62,0 | 835,3 | 863,0 | 825,0 | M 27 | 144 | 320 | 3,596 | 5,485 |
| | | | | | | | 835,4 | 863,6 | 825,6 | M 27 | 144 | 322 | 3,605 | 5,500 |
| HL 920 x 787* | 787 | | | | 40,9 | | 1002 | 862,2 | 825,2 | M 27 | 152 | 320 | 3,656 | 4,647 |
| | | | | | 40,9 | | 1001 | 862,2 | 825,2 | M 27 | 152 | 324 | 3,797 | 4,824 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 990 | | | 31,0 | 30 | 478,6 | 926,0 | 888,0 | M 27 | | 294 | 3,405 | 10,89 |
| HL 1000 A* | | 990 | 400 | | 31,0 | 30 | 408,8 | 926,0 | 888,0 | M 27 | | 294 | 3,405 | 10,89 |
| | | 1000 | 402 | | 36,1 | 30 | 472,8 | 926,0 | 888,0 | M 27 | | 296 | 3,430 | 9,455 |
| HL 1000 M* | | 1008 | 402 | | 40,0 | 30 | 525,1 | 926,0 | 888,0 | M 27 | | 296 | 3,530 | 8,564 |
| | | | 402 | | | | 525,7 | 926,0 | 888,0 | M 27 | | 296 | 3,529 | 7,960 |
| HL 1000 x 483* | 483 | | 404 | | 46,0 | 30 | 615,1 | 928,0 | 868,0 | M 27 | | 298 | 3,554 | 7,360 |
| | | | 404 | | | | | | 868,0 | M 27 | | 302 | | 6,671 |

Mechanical properties in the S235 JR grade of delivery condition according to EN 10025-2:2004 for any other grade 40% of such achievement.
Mechanical properties in the S355 J0 grade of delivery condition according to EN 10025-2:2004 for any other grade 40% of such achievement.
Mechanical properties in accordance with ASTM A 6/A 6M - 08a

Notations pages 414-417 / განმარტებები 414-417 გვერდებზე

| Designation<br>აღნიშვნა | G<br>კგ/მ | Section properties / ჭრილის მახასიათებლები<br>strong axis y-y<br>ძლიერი ღერძი y-y | | | | | weak axis z-z<br>სუსტი ღერძი z-z | | | | | | | Classification<br>კლასიფიკაცია EN 1993-1-1 2005<br>Pure bending<br>ხრტილი ღუნვა | | | Pure compression<br>ცენტრული კუმშვა | | | EN 10025-2 2004 | EN 10025-4 2004 | EN 10219-1 2006 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $I_y$<br>სმ⁴<br>x10⁴ | $W_{el,y}$<br>სმ³<br>x10³ | $W_{pl,y}$<br>სმ³<br>x10³ | $i_y$<br>სმ<br>x10 | $A_v$<br>სმ²<br>x10² | $I_z$<br>სმ⁴<br>x10⁴ | $W_{el,z}$<br>სმ³<br>x10³ | $W_{pl,z}$<br>სმ³<br>x10³ | $i_z$<br>სმ<br>x10 | $S_y$<br>სმ<br>x10 | $S_z$<br>სმ<br>x10 | $I_t$<br>სმ⁴<br>x10⁴ | $I_w$<br>სმ⁶<br>x10⁵ | S235 | S355 | S460 | S235 | S355 | S460 | | | |
| **HL 920 X 342** | 342 | 624900 | 13700 | 15450 | 37,85 | 190,1 | 39010 | 1867 | 2882 | 9,46 | 111,4 | 1193 | 75410 | | | | 3 | 4 | 4 | ✓ | HI | HI |
| HL 920 X 365 | 365 | 670500 | 14560 | 16520 | 38,01 | 201,4 | 42120 | 2011 | 3106 | 9,52 | 117,0 | 1274 | 81733 | | | | 3 | 4 | 4 | | H | H |
| **HL 920 X 387** | 387 | 716300 | 15600 | 17630 | 38,17 | 210,9 | 45200 | 2156 | 3332 | 9,58 | 122,6 | 1734 | 88370 | 1 | | | 2 | 4 | 4 | ✓ | HI | HI |
| HL 920 X 417 | 417 | 787900 | 16730 | 19010 | 38,46 | 223,9 | 50070 | 2273 | 3509 | 9,75 | 130,4 | 2250 | 98540 | 1 | | | 2 | 4 | 4 | ✓ | H | H |
| **HL 920 X 446** | 440 | 846800 | 18150 | 20600 | 38,56 | 239,1 | 53980 | 2552 | 3951 | 9,73 | 137,5 | 2685 | 106700 | 1 | | | 2 | 3 | 4 | ✓ | HI | |
| HL 920 X 488 | 488 | 938100 | 19950 | 22610 | 38,81 | 259,3 | 59010 | 2727 | 4220 | 9,75 | 149,0 | 3514 | 117300 | 1 | | | | 2 | 4 | ✓ | H | |
| **HL 920 X 534** | 534 | 1031000 | 21710 | 24830 | 38,94 | 284,8 | 65560 | 3085 | 4796 | 9,82 | 158,7 | 4542 | 132100 | 1 | | | | 2 | 3 | ✓ | HI | |
| HL 920 X 585 | 585 | 1143000 | 23810 | 27360 | 39,16 | 312,6 | 72770 | 3409 | 5310 | 9,89 | 170,9 | 5932 | 148200 | | | | | 1 | 2 | | H | |
| **HL 920 X 653** | 653 | 1292000 | 26590 | 30730 | 39,41 | 348,7 | 83050 | 3854 | 6022 | 9,99 | 188,6 | 8124 | 171300 | 1 | | | | 1 | 1 | ✓ | HI | |
| HL 920 X 701 | 701 | 1402000 | 28380 | 32870 | 39,65 | 373,6 | 91760 | 4036 | 7424 | 10,04 | 214,8 | 10770 | 216600 | | | | | | | | | |
| **HL 920 X 967** | 967 | 2033000 | 39540 | 46810 | 40,64 | 517,1 | 133900 | 6003 | 9486 | 10,43 | 257,9 | 24930 | 292400 | 1 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **HL 920 x 344** | 344 | 645000 | 13920 | 15700 | 38,41 | 188,0 | 39010 | 1867 | 2880 | 9,45 | 105,6 | 1159 | 78120 | 1 | | | 4 | 4 | 4 | ✓ | HI | HI |
| HL 920 x 368 | 368 | 692300 | 14970 | 16900 | 38,56 | 196,2 | 42120 | 2010 | 3104 | 9,51 | 111,3 | 1409 | 84070 | 1 | | | 3 | 4 | 4 | ✓ | H | H |
| **HL 920 x 390** | 390 | 741700 | 15850 | 17920 | 38,74 | 208,6 | 45270 | 2156 | 3331 | 9,57 | 116,8 | 1691 | 91550 | 1 | | | 3 | 4 | 4 | ✓ | HI | HI |
| HL 920 x 420 | 420 | 813500 | 17250 | 19530 | 39,12 | 221,5 | 50070 | 2373 | 3667 | 9,69 | 124,8 | 2157 | 102100 | 1 | | | 2 | 4 | 4 | ✓ | H | H |
| **HL 920 x 449** | 449 | 874700 | 18450 | 20950 | 39,13 | 236,6 | 53970 | 2552 | 3949 | 9,72 | 131,7 | 2627 | 110600 | 1 | | | 2 | 4 | 4 | ✓ | HI | |
| HL 920 x 491 | 491 | 966200 | 20200 | 23000 | 39,27 | 256,6 | 59300 | 2738 | 4335 | 9,77 | 143,2 | 3431 | 122200 | 1 | | | 1 | 3 | 4 | | H | |
| **HL 920 x 537** | 537 | 1066000 | 22080 | 25270 | 39,51 | 282,1 | 65550 | 3085 | 4795 | 9,80 | 152,9 | 4447 | 136900 | 1 | | | 1 | 2 | 3 | ✓ | HI | |
| HL 920 x 588 | 588 | 1181000 | 24230 | 27940 | 39,74 | 309,3 | 72700 | 3408 | 5310 | 9,86 | 165,1 | 5900 | 152200 | 1 | | | | 1 | 2 | ✓ | H | |
| **HL 920 x 656** | 656 | 1335000 | 27060 | 31270 | 39,98 | 345,8 | 83040 | 3853 | 6022 | 9,97 | 180,8 | 7950 | 177600 | 1 | | | | 1 | 2 | ✓ | HI | |
| HL 920 x 725 | 725 | 1490000 | 29890 | 34740 | 40,21 | 383,6 | 94250 | 4295 | 6734 | 10,05 | 196,9 | 10570 | 203600 | 1 | | | | 1 | 1 | ✓ | H | |
| **HL 920 x 787** | 787 | 1646000 | 32560 | 38010 | 40,53 | 414,5 | 103300 | 4728 | 7425 | 10,15 | 211,0 | 13430 | 226800 | 1 | | | | 1 | 1 | ✓ | HI | |
| HL 920 x 970 | 970 | 2100000 | 40270 | 47660 | 41,31 | 513,6 | 133900 | 6002 | 9490 | 10,10 | 260,0 | 24930 | 304000 | | | | | | 1 | | H | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| HL 1000 AA- | 296 | 600800 | 12030 | 14260 | 40,52 | 181,5 | 28250 | 1446 | 2243 | 9,76 | 105,9 | 762,6 | 76000 | | | 2 | 4 | 4 | 4 | | H | |
| **HL 1000 A-** | 321 | 696400 | 14070 | 15800 | 41,27 | 184,6 | 33120 | 1656 | 2555 | 9,00 | 113,6 | 1021 | 76030 | | | 2 | 4 | 4 | 4 | ✓ | HI | I |
| HL 1000 B- | 371 | 813700 | 16270 | 18360 | 41,19 | 212,5 | 38580 | 1923 | 2964 | 9,03 | 130,3 | 1375 | 87440 | | | 1 | 4 | 4 | 4 | ✓ | H | |
| **HL 1000 M-** | 412 | 910500 | 18070 | 20460 | 41,64 | 236,0 | 43400 | 2160 | 3349 | 9,09 | 136,2 | 2134 | 101500 | 1 | | 1 | 3 | 4 | 4 | ✓ | HI | |
| HL 1000 x 443 | 443 | 968500 | 19100 | 21780 | 41,41 | 261,6 | 45500 | 2264 | 3503 | 8,98 | 142,5 | 2545 | 106700 | | | 1 | 2 | 4 | 4 | ✓ | H | |
| **HL 1000 x 483** | 483 | 1067000 | 20930 | 23920 | 41,66 | 282,7 | 50710 | 2510 | 3919 | 9,08 | 152,5 | 3311 | 119900 | 1 | | 1 | 2 | 4 | 4 | ✓ | HI | |
| HL 1000 x 539 | 539 | 1203000 | 23590 | 26820 | 41,83 | 316,4 | 57600 | 2852 | 4436 | 9,16 | 169,7 | 4546 | 137600 | | | 1 | | 3 | 4 | | H | |

HI = HIST

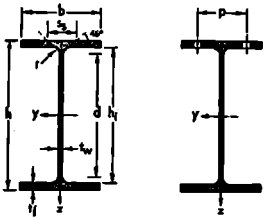
a) Torsional section modulus
b) Shear area for shear buckling design

c) Only available in S 355
d) $W_{el}$ for slender design, the value must be only to class 1 or 2 according to the relevant section capacity. See page 209.

e) Torsional section modulus
f) Shear area for shear buckling design

# European extra wide flange beams (continued)

Dimensions: ASTM A 6/A 6M - 07
Tolerances: ASTM A 6/A 6M - 07
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1




## ევროპული გაფართოებული ფართოფარფლებიანი ორტესებრი პროფილი (გაგრძელება)
## ზომები: ASTMA 6/A 6M-07;
## დაშვებები: ASTMA 6/A 6M-07;
## ზედაპირის მდგომარეობა: EN 10163-3:2004 შესაბამისად, კლასი C, ქვეკლასი 1

| Designation<br>აღნიშვნა | Dimensions<br>ზომები | | | | | | | Dimensions for detailing<br>კონსტრუქციული ზომები | | | | | | Surface<br>ზედაპირის ფართობი | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | G | h | b | $t_f$ | | | A | h | d | ø | p | | | A | Ac |
| | კგ/მ | მმ | მმ | მმ | მმ | მმ | მმ²<br>x10² | მმ | მმ | | მმ | მმ | | მ²/მ | მ²/ტ |
| HL 1000 x 554* | 554 | 1032 | 408 | | 52,0 | 30 | 705,8 | 928,0 | 868,0 | M 27 | 150 | 296 | | 3,585 | 6,471 |
| HL 1000 x 534* | | 1040 | 408 | | 50,0 | 30 | 752,7 | 928,2 | 868,2 | M 27 | 146 | 304 | | 3,602 | 6,997 |
| HL 1000 x 642* | 642 | 1048 | 412 | | 60,0 | 30 | 817,8 | 928,0 | 868,0 | M 27 | 154 | 300 | | 3,624 | 5,647 |
| HL 1000 x 585* | 585 | 1048 | 412 | | | 30 | 953,4 | 928,0 | 868,0 | M 27 | 150 | 304 | | 3,624 | 6,200 |
| HL 1000 x 883* | 883 | 1092 | 424 | | | 30 | 1125 | 928,0 | 868,0 | M 27 | 166 | 312 | | 3,737 | 4,231 |
| HL 1100 A* | 343 | 1090 | 400 | 18,0 | 31,0 | 20 | 436,5 | 1028 | 988,0 | M 27 | 116 | 294 | | 3,710 | 10,83 |
| HL 1100 B* | 393 | 1100 | 400 | 20,0 | 36,0 | 20 | 497,0 | 1028 | 988,0 | M 27 | 116 | 294 | | 3,726 | 9,481 |
| HL 1100 M* | 433 | 1108 | 402 | 22,0 | 40,0 | 20 | 551,2 | 1028 | 988,0 | M 27 | 120 | 296 | | 3,746 | 8,657 |
| HL 1100 S* | 490 | 1118 | 405 | 26,0 | 45,0 | 20 | 635,2 | 1028 | 988,0 | M 27 | 124 | 300 | | 3,770 | 7,560 |

[illegible]

- Min. impact energy for the S235 JR grade of delivery conditions page 222, for any other grade 40 J or upon agreement
- Min. elongation and delivery conditions upon agreement.
- Section in accordance with ASTM A 6/A 6M - 05c

[illegible]

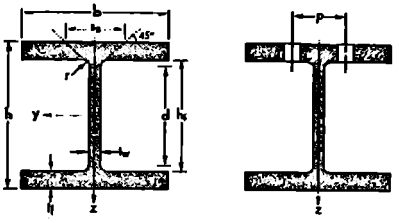
Section properties /ხაზნობაში მნიშვნელობები

| Designation აღნიშვნა | G | $I_t$ | strong axis y-y ძლიერი ღერძი y-y | | | | weak axis z-z სუსტი ღერძი z-z | | | | | | | Classification კლასიფიკაცია EN 1993-1-1:2005 | | | | | | EN 10025-2:2004 | EN 10025-4:2004 | EN 10225:2001 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $W_{el,y}$ | $W_{pl,y}$ | $i_y$ | $A_{vz}$ | $i_z$ | $W_{el,z}$ | $W_{pl,z}$ | $I_w$ | $S_y$ | $I_y$ | $I_z$ | Pure bending სუფთა ღუნვა y-y | | | Preconstruction წინასწარი კონსტრუქცია | | | | | |
| | kg/m | $cm^4$ | $cm^3$ | $cm^3$ | cm | $cm^2$ | cm | $cm^3$ | $cm^3$ | $cm^6$ | cm | $cm^4$ | $cm^4$ | S235 | S355 | S460 | S235 | S355 | S460 | | | |
| | | $\times 10^4$ | $\times 10^3$ | $\times 10^3$ | $\times 10$ | $\times 10^2$ | $\times 10^2$ | $\times 10^3$ | $\times 10^3$ | $\times 10^9$ | $\times 10$ | | $\times 10^4$ | $\times 10^9$ | | | | | | | | |
| **HL 1000 x 554** | 554 | 1232000 | 23880 | 27500 | 41,79 | 326,0 | 59100 | 2897 | 4547 | 9,15 | 168,8 | 4860 | 141300 | 1 | | | 2 | 3 | | ✓ | HI | |
| HL 1000 x 591 | 591 | 1391000 | 25930 | 29820 | 42,03 | 376,0 | 64010 | 3139 | 4916 | 9,22 | 177,9 | 5027 | 154200 | 1 | | | 2 | 3 | | ✓ | HI | |
| **HL 1000 x 642** | 642 | 1451000 | 27680 | 32100 | 42,13 | 379,6 | 70280 | 3412 | 5379 | 9,27 | 189,1 | 7440 | 170700 | 1 | | | 1 | 3 | | ✓ | HI | |
| HL 1000 x 748 | 748 | 1781000 | 31470 | 37640 | 42,42 | 425,9 | 82110 | 4021 | 6330 | 9,39 | 212,1 | 11670 | 210300 | 1 | | | | 4 | | ✓ | HI | |
| **HL 1000 x 883** | 883 | 2096000 | 38390 | 45260 | 43,16 | 516,5 | 105000 | 4952 | 7874 | 9,66 | 244,6 | 18750 | 265700 | 1 | | | | 6 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **HL 1100 A** | 343 | 867400 | 15920 | 18060 | 44,58 | 206,5 | 33120 | 1656 | 2568 | 8,71 | 103,4 | 1037 | 92710 | 1 | 2 | 4 | 4 | 4 | | ✓ | HI | HI |
| HL 1100 B | 390 | 1006000 | 18290 | 20750 | 44,68 | 233,6 | 38490 | 1924 | 2986 | 8,80 | 119,4 | 1364 | 108700 | 1 | 1 | 4 | 4 | 4 | | ✓ | HI | HI |
| **HL 1100 M** | 433 | 1126000 | 20320 | 23160 | 45,19 | 254,4 | 43410 | 2160 | 3362 | 8,87 | 125,4 | 2130 | 123500 | 1 | 1 | 4 | 4 | 4 | | ✓ | HI | HI |
| HL 1100 H | 484 | 1241000 | 22150 | 25600 | 45,14 | 302,4 | 49310 | 2460 | 3870 | 8,87 | 136,4 | 3135 | 143500 | 1 | 1 | | 4 | | | ✓ | HI | |

HI = HISTAR®

# Wide flange columns

**Dimensions:** HD 360 / 400 in accordance with ASTM A 6/A 6M - 07; HD 260, HD 320 in accordance with AM standard
**Tolerances:** EN 10034: 1993 HD 260/320
ASTM A 6/A 6M - 07 HD 360/400
**Surface condition:** according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1




## სვეტების ორტესებრი პროფილები
## ზომები HD 360/400; ASTMA6/A6M-07 შესაბამისად.
## HD260, HD320 ძარხნის სტანდარტის შესაბამისად.
## დაშვებები: EN10034:1993 – HD 260/320, ASTM A6/A6M-07-HD 360/400
## მოთხოვნები ზედაპირის მიმართ EN 10163-3:2004
## შესაბამისად, კლასი C, ქვეკლასი 1

| Designation<br>აღნიშვნა | Dimensions<br>ზომები | | | | | | Dimensions for detailing<br>კონსტრუქციული ზომები | | | | | | Surface<br>ზედაპირის ფართობი | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | G | h | b | $t_w$ | $t_f$ | | A | $h_i$ | d | | $p_{w}$ | $p_{w}$ | $A_L$ | $A_G$ |
| | kg/ft | mm | mm | mm | mm | in | $mm^2$ x$10^2$ | mm | mm | | mm | mm | $m^2$/m | $m^2$/t |
| **HD 260 x 54,1*** | **54,1** | **244** | **260** | **6,5** | **9,5** | | **69,0** | **225,0** | **177,0** | **M 27** | | | | **27,22** |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | | [illegible] |
| **HD 260 x 93,0*** | | **260** | **260** | **10,0** | **17,5** | | **118,4** | **225,0** | **177,0** | **M 27** | | **158** | | **16,12** |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | | [illegible] |
| **HD 260 x 142,0*** | | **278** | **265** | **15,5** | **26,5** | | **180,3** | **225,0** | **177,0** | **M 27** | | **164** | | **10,91** |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | | [illegible] |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | | [illegible] |
| **HD 320 x 97,6*** | **97,6** | **310** | **300** | **9,0** | **15,5** | | **124,4** | **279,0** | **225,0** | **M 27** | | **198** | | **17,98** |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | | [illegible] |
| **HD 320 x 158*** | **158** | **330** | **303** | **14,5** | **25,5** | | **201,2** | **279,0** | **225,0** | **M 27** | | **202** | | **11,37** |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | | [illegible] |
| **HD 320 x 245*** | **245** | **359** | **309** | **21,0** | **40,0** | | **312,0** | **279,0** | **225,0** | **M 27** | | **204** | **1,066** | **7,616** |
| | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| [illegible] | | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | | | | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | [illegible] |
| **HD 360 x 147*** | | **360** | **370** | | **19,8** | | | | **290,4** | **M 27** | **100** | | **2,150** | **14,58** |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| **HD 360 x 179*** | | **368** | **373** | | **23,9** | | | | **290,2** | **M 27** | **104** | | **2,172** | **12,12** |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |

[illegible]

Minimum order for the S235 JR grade of delivery conditions page 232, for any other grade 430 or upon agreement
[illegible]
Minimum tonnage for delivery conditions, upon agreement

[illegible]

Notations pages 414-417 /განმარტებები 414-417 გვერდებზე

Section properties / ხაზოვნობარი მნიშვნელობები

| Designation<br>აღნიშვნა | G | A | strong axis y-y<br>ღერძი y-y | | | | weak axis z-z<br>ღერძი z-z | | | | | | | | Classification<br>კლასიფიკაცია EN 1993-1-1:2005 | | | | | | EN 10025-2:2004 | EN 10025-4:2004 | EN 10225:2001 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | | | Pure bending<br>სუფთა ღუნვა | | | Compression<br>წნევა | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | y-y | | | z-z | | | | | |
| | kg/m | cm² | cm³ | cm³ | cm³ | cm | cm² | cm⁴ | cm³ | cm³ | cm | cm | cm⁴ | cm⁶ | S235 | S355 | S460 | S235 | S355 | S460 | | | |
| | | x10² | x10³ | x10³ | x10 | x10² | x10² | x10³ | x10³ | x10 | | | x10⁴ | x10⁵ | | | | | | | | | |
| **HD 260 x 54,1** | 54,1 | 7981 | 654,1 | 714,5 | 10,76 | 24,75 | 2788 | 214,5 | 327,7 | 6,36 | 53,62 | 30,31 | 382,6 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | ✓ | ✓ | ✓ |
| HD 260 x 68,2 | 68,2 | 10450 | 836,4 | 919,8 | 10,97 | 26,76 | 3648 | 282,1 | 430,2 | 6,50 | 69,62 | 52,37 | 510,4 | 1 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | ✓ | H | H |
| **HD 260 x 93,0** | 93,0 | 14920 | 1148 | 1283 | 11,22 | 37,59 | 5135 | 395,0 | 602,2 | 6,58 | 73,12 | 123,8 | 753,7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | ✓ | HI | HI |
| HD 260 x 114 | | 18370 | 1411 | 1600 | 11,39 | 46,05 | 6456 | 492,8 | 758,5 | 6,66 | 83,62 | 232,4 | 979,0 | 1 | 1 | | 1 | | 1 | ✓ | H | HI |
| **HD 260 x 142** | 142 | 24330 | 1750 | 2015 | 11,62 | 56,65 | 8236 | 621,6 | 950,5 | 6,76 | 96,62 | 406,8 | 1300 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | ✓ | HI | HI |
| HD 260 x 172 | 172 | 31310 | 2159 | 2524 | 11,94 | 66,60 | 10450 | 772,7 | 1192 | 6,86 | 111,1 | 719,0 | 1729 | 1 | | | 1 | | 1 | ✓ | H | HI |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **HD 320 x 74,2** | 74,2 | 18450 | 1092 | 1196 | 13,19 | 35,40 | 4959 | 350,6 | 505,7 | 7,24 | 67,45 | 59,87 | 1041 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | ✓ | - | ✓ |
| **HD 320 x 97,6** | 97,6 | 22930 | 1479 | 1628 | 13,38 | 41,13 | 6985 | 465,7 | 709,7 | 7,49 | 71,63 | 108,0 | 1512 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | ✓ | HI | HI |
| HD 320 x 127 | 127 | 30610 | 1926 | 2149 | 13,62 | 51,77 | 9239 | 615,9 | 939,1 | 7,57 | 64,13 | 225,1 | 2069 | | | | | 1 | 1 | - | H | HI |
| **HD 320 x 158** | 158 | 39640 | 2403 | 2718 | 14,04 | 64,18 | 11840 | 781,7 | 1194 | 7,67 | 97,13 | 420,5 | 2741 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | ✓ | HI | HI |
| HD 320 x 198 | 198 | 51910 | 3026 | 3424 | 14,41 | 79,52 | 15310 | 1001 | 1539 | 7,79 | 113,6 | 805,3 | 3995 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | - | H | HI |
| **HD 320 x 245** | 245 | 68130 | 3796 | 4435 | 14,78 | 94,85 | 19710 | 1276 | 1951 | 7,95 | 132,6 | 1501 | 5004 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | ✓ | HI | HI |
| HD 320 x 300 | | 86930 | 4695 | 5522 | 15,09 | 120,47 | 24900 | 1572 | 2414 | 8,02 | 154,6 | 2690 | 6558 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | ✓ | HI | HI |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| HD 360 x 134 | 134 | 31510 | 2332 | 2582 | 15,40 | 45,19 | 15060 | 817,3 | 1297 | 9,40 | 84,77 | 188,8 | 4305 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | ✓ | H | HI |
| **HD 360 x 147** | 147 | 46290 | 2572 | 2838 | 15,70 | 49,72 | 16720 | 903,9 | 1389 | 9,43 | 69,47 | 223,7 | 4836 | 1 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | ✓ | HI | HI |
| HD 360 x 162 | 162 | 51540 | 2832 | 3129 | 15,81 | 53,96 | 18560 | 1001 | 1516 | 9,49 | 74,47 | 295,0 | 5432 | 1 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | ✓ | HI | HI |
| **HD 360 x 179** | 179 | 57440 | 3122 | 3482 | 15,86 | 60,72 | 20680 | 1109 | 1683 | 9,52 | 80,37 | 393,8 | 6119 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | ✓ | HI | HI |
| HD 360 x 196 | 196 | 63630 | 3421 | 3837 | 15,94 | 66,30 | 22860 | 1222 | 1859 | 9,56 | 86,37 | 517,1 | 6922 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | ✓ | H | HI |

HI = HISTAR®

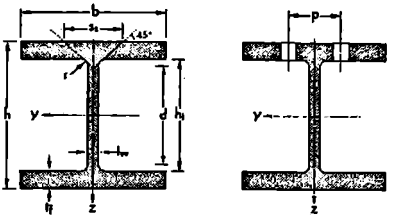
♦ W<sub>el</sub> may be chosen smaller than W<sub>pl</sub> for class 1 or 2 sections if the required rotation capacity is not necessary / W<sub>el</sub> შეიძლება შეირჩეს ნაკლები W<sub>pl</sub>-ზე 1 ან 2 კლასის ელემენტებისთვის, თუ საჭირო არ არის ბრუნვის ტევადობა

♦ W<sub>el</sub> for plastic design: the shape must belong to class 1 or 2 according to the required rotation capacity / W<sub>el</sub> პლასტიკური დიზაინისთვის: ფორმა უნდა მიეკუთვნებოდეს 1 ან 2 კლასს საჭირო ბრუნვის ტევადობის მიხედვით

♦ W<sub>el</sub> for plastic design: the shape must belong to class 1 or 2 according to the required rotation capacity / W<sub>el</sub> პლასტიკური დიზაინისთვის: ფორმა უნდა მიეკუთვნებოდეს 1 ან 2 კლასს საჭირო ბრუნვის ტევადობის მიხედვით

# Wide flange columns (continued)

Dimensions: HD 360 / 400 in accordance with ASTM A 6/A 6M - 07; HD 260, HD 320 in accordance with AM standard
Tolerances: EN 10034: 1993 HD 260/320
ASTM A 6/A 6M - 07 HD 360/400
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1




## სვეტების ორტესებრი პროფილები (გაბრძელება) ზომები: HD 360/400; ASTMA6/A6M-07 შესაბამისად. HD260, HD320 ძარხნის სტანდარტის შესაბამისად. დაშვებები: EN10034:1993. – HD 260/320, ASTM A6/A6M-07- HD 360/400. მოთხოვნები ზედაპირის მიმართ EN 10163-3:2004 შესაბამისად, კლასი C, ქვეკლასი 1

| Designation<br>აღნიშვნა | Dimensions<br>ზომები | | | | | | | Dimensions for detailing<br>კონსტრუქციული ზომები | | | | | | Surface<br>ზედაპირის ფართობი | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | G<br>კგ/მ | h<br>მმ | b<br>მმ | $t_w$<br>მმ | $t_f$<br>მმ | r<br>მმ | A<br>მმ² x10² | h<br>მმ | d<br>მმ | Ø | $p_{min}$<br>მმ | $p_{max}$<br>მმ | A<br>მ²/მ | $A_G$<br>მ²/ტ |
| **HD 400 x 187** | | **368** | | **15,0** | **24,0** | | **237,6** | | **290,0** | **M 27** | **104** | | | |
| HD 400 x 216 | 216 | 375 | | 17,5 | 27,7 | | 275,5 | | 289,6 | M 27 | 105 | 299 | | |
| **HD 400 x 237** | **237** | **380** | | **18,9** | **30,2** | | **300,9** | | **289,8** | **M 27** | **108** | **290** | | |
| HD 400 x 262 | 262 | 387 | | 21,1 | 33,0 | | 334,0 | | 290,4 | M 27 | 110 | 292 | | |
| **HD 400 x 287** | **287** | **393** | **399** | **22,6** | **36,6** | | **366,3** | | **289,8** | **M 27** | **112** | **294** | | |
| 400 x 314 | 314 | 399 | 401 | 24,0 | 39,6 | | 399,6 | | 289,6 | M 27 | 114 | 296 | | |
| **HD 400 x 347** | **347** | **407** | **404** | **27,2** | **43,7** | | **442,0** | | **289,8** | **M 27** | **116** | **298** | **2,350** | |
| HD 400 x 382 | 382 | | 405 | 29,8 | 46,8 | | 487,1 | | 289,8 | M 27 | 118 | 300 | 2,371 | |
| **HD 400 x 421** | **421** | **425** | **409** | **32,8** | **52,6** | | **537,1** | | **289,8** | **M 27** | **122** | **304** | **2,395** | **5,680** |
| HD 400 x 463 | 463 | 435 | 413 | 35,8 | 57,4 | | 589,5 | | 289,2 | M 27 | 124 | | 2,421 | 5,231 |
| **HD 400 x 509** | **509** | **446** | **416** | **39,1** | **62,7** | | **649,0** | | **290,6** | **M 27** | **128** | | **2,452** | **4,813** |
| HD 400 x 551 | 551 | 455 | 418 | 42,0 | | | 701,9 | | 289,8 | M 27 | 130 | | 2,472 | |
| **HD 400 x 592** | **592** | **465** | **421** | **45,0** | | | **754,9** | | **290,4** | **M 27** | **134** | | **2,490** | |
| HD 400 x 634 | 634 | 474 | 424 | 47,6 | | | 808,0 | | 289,6 | M 27 | 136 | | 2,507 | |
| **HD 400 x 677** | **677** | **483** | **428** | **51,2** | | | **863,4** | **320,0** | **290,0** | **M 27** | **144** | | **2,550** | **3,762** |
| HD 400 x 744 | 744 | 498 | 432 | 55,6 | | | 948,1 | 320,2 | 290,2 | M 27 | 148 | | 2,587 | 3,476 |
| **HD 400 x 818** | **818** | **514** | **437** | **60,5** | | | **1043** | **320,0** | **290,0** | **M 27** | **154** | | **2,629** | **3,210** |
| HD 400 x 900 | 900 | 531 | 442 | 65,9 | 106 | | 1148 | 319,8 | 289,6 | M 27 | 159 | | 2,672 | 2,962 |
| **HD 400 x 990** | **990** | **550** | **448** | **71,9** | **115** | | **1262** | **320,0** | **290,0** | **M 27** | **164** | | **2,722** | **2,747** |
| HD 400 x 1086 | 1086 | 569 | 454 | 78,0 | 125 | | 1386 | 319,8 | 289,8 | M 27 | 170 | | 2,772 | 2,546 |

[illegible]

Minimum order: for the S235 JR grade cf. delivery conditions page 222, for any other grade 40t or upon agreement.
[illegible]
Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.

[illegible]

ზომათა ცხრილი 414-417 / განმარტებები 414-417 გვერდებზე

Section properties / საცნობარო მნიშვნელობები

| Designation<br>აღნიშვნა | | | strong axis y-y<br>ღერძი y-y | | | | weak axis z-z<br>ღერძი z-z | | | | | | | Classification<br>კლასიფიკაცია EN 1993-1-1:2005<br>Pure bending<br>ხუთი ღერძის<br>y-y | | | Pure compression<br>ხუთი ღერძის<br>ცენტრი | | | EN 10025-2:2004 | EN 10025-4:2004 | EN 10225:2001 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | G | $I_y$ | $W_{el,y}$ | $W_{pl,y}$ | $i_y$ | $A_{vz}$ | $I_z$ | $W_{el,z}$ | $W_{pl,z}$ | $i_z$ | $S_y$ | $I_t$ | $I_w$ | S235 | S355 | S460 | S235 | S355 | S460 | | | |
| | kg/m | $cm^4$ | $cm^3$ | $cm^3$ | cm | $cm^2$ | $cm^4$ | $cm^3$ | $cm^3$ | cm | cm | $cm^4$ | $cm^6$ | | | | | | | | | |
| | | x10² | x10² | x10² | x10 | x10² | x10² | x10² | x10² | x10 | | x10² | x10⁵ | | | | | | | | | |
| **HD 400 x 187** | **187** | **60180** | **3271** | **3642** | **15,91** | **60,73** | **23920** | **1224** | **1855** | **10,03** | **80,57** | **414,6** | **7074** | **1** | **1** | **3** | **1** | **1** | **3** | ✔ | **HI** | **HI** |
| HD 400 x 216 | 216 | 71140 | 3754 | 4202 | 16,07 | 70,32 | 28250 | 1434 | 2176 | 10,13 | 90,27 | 637,3 | 8515 | 1 | 1 | * | | | * | ✔ | HI | HI |
| **HD 400 x 237** | **237** | **78780** | **4146** | **4686** | **16,18** | **77,10** | **31040** | **1572** | **2387** | **10,16** | **96,87** | **825,5** | **9489** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | ✔ | **HI** | **HI** |
| HD 400 x 262 | 262 | 86910 | 4529 | 5260 | 16,35 | 86,55 | 35020 | 1760 | 2676 | 10,23 | 105,3 | 1116 | 10260 | 1 | 1 | * | | 1 | * | ✔ | HI | HI |
| **HD 400 x 287** | **287** | **99710** | **5074** | **5813** | **16,50** | **93,46** | **38780** | **1944** | **2957** | **10,29** | **113,4** | **1464** | **12300** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | ✔ | **HI** | **HI** |
| HD 400 x 314 | 314 | 110700 | 5525 | 6374 | 16,62 | 103,0 | 42660 | 2125 | 3236 | 10,33 | 121,7 | 1870 | 13740 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | * | ✔ | HI | * |
| **HD 400 x 347** | **347** | **124900** | **6140** | **7139** | **16,81** | **113,9** | **48090** | **2380** | **3629** | **10,43** | **133,2** | **2510** | **15850** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | ✔ | **HI** | |
| HD 400 x 382 | 382 | 141300 | 6914 | 8049 | 17,03 | 126,0 | 54030 | 2641 | 4051 | 10,47 | 148,4 | 3316 | 18135 | 1 | 1 | | | 1 | * | ✔ | HI | |
| **HD 400 x 421** | **421** | **159600** | **7510** | **8880** | **17,24** | **139,9** | **60080** | **2938** | **4489** | **10,58** | **153,6** | **4398** | **20800** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | ✔ | **HI** | |
| HD 400 x 463 | 463 | 180500 | 8331 | 9879 | 17,46 | 154,8 | 67300 | 3294 | 4974 | 10,66 | 168,2 | 5735 | 23960 | 1 | 1 | | * | 1 | * | ✔ | HI | |
| **HD 400 x 509** | **509** | **204500** | **9172** | **11030** | **17,75** | **170,6** | **75400** | **3625** | **5552** | **10,78** | **182,1** | **7513** | **27630** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | ✔ | **HI** | |
| HD 400 x 551 | 551 | 226700 | 9939 | 12050 | 17,95 | 184,9 | 82490 | 3947 | 6051 | 10,85 | 194,8 | 9410 | 30970 | 1 | 1 | 1 | | 1 | * | ✔ | HI | |
| **HD 400 x 592** | **592** | **250200** | **10760** | **13140** | **18,20** | **203,3** | **90170** | **4284** | **6574** | **10,93** | **207,2** | **11560** | **34670** | **1** | **1** | **1** | | | **1** | ✔ | **HI** | |
| HD 400 x 634 | 634 | 274200 | 11570 | 14210 | 18,42 | 214,0 | 98250 | 4634 | 7117 | 11,00 | 219,4 | 14020 | 38570 | 1 | 1 | 1 | | | * | ✔ | HI | |
| **HD 400 x 677** | **677** | **298500** | **12400** | **15350** | **18,67** | **231,9** | **106900** | **4994** | **7680** | **11,13** | **231,8** | **16780** | **42920** | **1** | **1** | **1** | | **1** | **1** | ✔ | **HI** | |
| HD 400 x 744 | 744 | 343100 | 13740 | 17170 | 19,00 | 256,1 | 119200 | 5352 | 8540 | 11,25 | 251,0 | 21310 | 49980 | 1 | 1 | 1 | | 1 | * | ✔ | HI | |
| **HD 400 x 818** | **818** | **392200** | **15260** | **19260** | **19,39** | **283,3** | **133500** | **6203** | **9561** | **11,40** | **272,1** | **28510** | **58650** | **1** | **1** | **1** | | **1** | **1** | ✔ | **HI** | |
| HD 400 x 900 | 900 | 450200 | 16960 | 21610 | 19,79 | 313,6 | 152300 | 6938 | 10710 | 11,55 | 295,5 | 37350 | 68920 | 1 | | 1 | | 1 | * | ✔ | HI | |
| **HD 400 x 990** | **990** | **518900** | **18870** | **24280** | **20,27** | **349,2** | **173400** | **7739** | **11960** | **11,72** | **319,5** | **48210** | **81530** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | ✔ | **HI** | |
| HD 400 x 1086 | 1086 | 595700 | 21040 | 27210 | 20,71 | | 196100 | 8645 | 13420 | 11,80 | 345,6 | 63230 | 96070 | 1 | * | 1 | 1 | | * | ✔ | HI | |

HI = HISTAR®

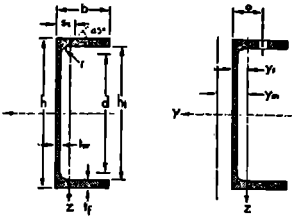
- W... [illegible] see page 209
- W... for pure comp. the shape must belong to class 1 or 2 according to the required rotation capacity. See page 209
- W... [illegible] see page 209

# Channels with parallel flanges

Dimensions: DIN 1026-2: 2002-10
Tolerances: EN 10279: 2000
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

## შველერი პარალელურწიბოებიანი თაროებით

ზომები: DIN 1026-2:2002-10;
დაშვებები: EN 10279:2000;
ზედაპირის მდგომარეობა: EN 10163-3:2004 შესაბამისად,
კლასი C, ქვეკლასი 1




| Designation<br>აღნიშვნა | Dimensions<br>ზომები | | | | | | | Dimensions for detailing<br>კონსტრუქციული ზომები | | | | Surface<br>ზედაპირის ფართობი | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | G | h | b | $t_w$ | | | A | $h_i$ | d | Ø | $e_{min}$ | $e_{max}$ | $A_s$ | $A_c$ |
| | კგ/მ | მმ | მმ | მმ | მმ | მმ | მმ²<br>x10² | მმ | მმ | | მმ | მმ | მ²/მ | მ²/ტ |
| UPE 80* | 7,90 | 80 | 50 | | | | | | | | | | | |
| UPE 100* | | 100 | | | | | | | | M 12 | | 36 | | 41,00 |
| UPE 120* | | 120 | | | | | | | | M 12 | | 41 | | 37,09 |
| UPE 140* | | 140 | | | | | | | | M 16 | | 38 | | 35,95 |
| UPE 160* | | 160 | | | | | | | | M 16 | | 43 | | 34,07 |
| UPE 180* | | 180 | | | | | | | | M 16 | | 48 | | 32,40 |
| UPE 200* | 22,8 | 200 | | 6,0 | | | | | | M 20 | 46 | | | 30,60 |
| UPE 220* | 25,6 | | | 6,5 | | | | | | M 22 | 47 | | | 28,43 |
| UPE 240* | 30,2 | | | 7,0 | | | | | | M 24 | 47 | | | 26,89 |
| UPE 270* | 35,2 | | | 7,5 | | | | | | M 27 | 48 | | | 25,34 |
| UPE 300* | | | | | | | 56,6 | 272 | | M 27 | | 55 | | 21,76 |
| UPE 330* | 53,2 | 330 | | | | | 67,8 | 298 | | M 27 | | 60 | | 19,60 |
| UPE 360* | 61,2 | 360 | | | | | 77,9 | 326 | | M 27 | | 65 | | 18,92 |
| UPE 400* | 72,2 | 400 | | | | | 91,9 | 364 | | M 27 | | 70 | | 16,87 |

* Non-preferred dimensions / არასასურველი ზომები

Netzsorte zogen 414-417 / განზომილებები 414-417 მეტრებში

Section properties / ხაზოვანი მახასიათებლები

| Designation აღნიშვნა | G | $I_y$ | $W_{el,y}$ | $W_{pl,y}$ | $i_y$ | $A_{vz}$ | $I_z$ | $W_{el,z}$ | $W_{pl,z}$ | $I_t$ | $s_y$ | $s_z$ | $I_w$ | $I_m$ | $y_s$ | $y_m$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | კგ/მ | $სმ^4$ | $სმ^3$ | $სმ^3$ | სმ | $სმ^2$ | $სმ^4$ | $სმ^3$ | $სმ^3$ | სმ | სმ | სმ | $სმ^6$ | $სმ^6$ | სმ | სმ |
| | | $x10^4$ | $x10^3$ | $x10^3$ | x10 | $x10^2$ | $x10^4$ | $x10^3$ | $x10^3$ | x10 | | | $x10^6$ | $x10^6$ | x10 | x10 |
| **UPE 80** | 7,90 | | 26,8 | 31,2 | 3,26 | 4,05 | 25,5 | 8,0 | 14,3 | 1,59 | 16,9 | 1,47 | 0,22 | 1,82 | 3,71 | |
| **UPE 100** | 9,82 | 207 | 41,4 | 48,0 | 4,07 | 5,34 | 38,3 | 10,6 | 19,3 | 1,75 | 17,9 | 2,01 | 0,53 | 1,91 | 3,93 | |
| UPE 120 | 12,1 | 364 | 60,6 | 70,3 | 4,56 | 7,15 | 56,5 | 13,8 | 25,3 | 1,90 | 20,0 | 2,60 | 1,12 | 1,98 | 4,12 | |
| **UPE 140** | 14,5 | 600 | 85,6 | 98,8 | 5,71 | 8,25 | 78,8 | 18,2 | 33,2 | 2,07 | 21,0 | 4,05 | 2,20 | 2,17 | 4,54 | |
| UPE 160 | 17,0 | 911 | 114 | 132 | 6,46 | 10,2 | 107 | 22,6 | 41,5 | 2,22 | 22,0 | 5,20 | 3,36 | 2,27 | 4,76 | |
| **UPE 180** | 19,7 | 1350 | 150 | 173 | 7,34 | 11,2 | 144 | 28,6 | 52,3 | 2,39 | 23,0 | 6,99 | 6,81 | 2,47 | 5,19 | |
| **UPE 200** | 22,8 | 1910 | 191 | 220 | 8,11 | 13,5 | 187 | 34,5 | 63,3 | 2,54 | 24,6 | 8,89 | 11,0 | 2,56 | 5,41 | |
| UPE 220 | 26,6 | 2690 | 244 | 291 | 8,96 | 15,8 | 247 | 42,5 | 78,2 | 2,70 | 26,1 | 12,1 | 17,6 | 2,76 | 5,70 | |
| **UPE 240** | 30,2 | 3600 | 300 | 347 | 9,67 | 18,8 | 311 | 50,1 | 92,2 | 2,84 | 28,3 | 15,1 | 26,4 | 2,79 | 5,91 | |
| UPE 270 | 35,2 | 5060 | 389 | 457 | 10,8 | 22,2 | 401 | 60,7 | 112 | 2,99 | 29,8 | 19,9 | 43,6 | 2,89 | 6,14 | |
| UPE 300 | 44,4 | 7820 | 522 | 613 | 11,8 | 30,3 | 538 | 75,6 | 137 | 3,08 | 33,3 | 31,5 | 72,7 | 2,80 | 6,03 | |
| **UPE 330** | 53,2 | 11010 | 667 | 792 | 12,7 | 38,8 | 681 | 89,7 | 156 | 3,17 | 37,5 | 45,2 | 112 | 2,90 | 6,06 | |
| UPE 360 | 61,2 | 14930 | 824 | 962 | 13,6 | 45,6 | 844 | 105 | 173 | 3,23 | 39,6 | 58,5 | 166 | 2,97 | 6,12 | |
| **UPE 400** | 72,2 | 20980 | 1050 | 1260 | 15,1 | 56,2 | 1045 | 123 | 191 | 3,37 | 42,0 | 79,1 | 259 | 2,98 | 6,06 | |

Classification
კლასიფიკაცია
EN 1993-1-1: 2005

| Pure bending: Class / ხეთქვა: კლასი y-y | | Pure compression: Class / ხეთქვა: კლასი z-z | | EN 10025-2: 2004 | EN 10025-4: 2004 | EN 10292:2001 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| S235 | S355 | S235 | S355 | | | |

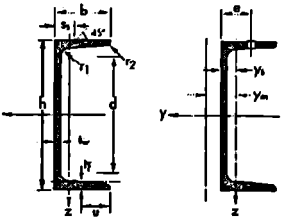
- W_el,y and W_el,z for Class 4 cross sections are calculated with the effective section modulus determined with maximum compressive stress equal to f_y/γ_M0 in the extreme compression fibre.
- W_pl,y is determined assuming a bi-rectangular stress block over the section. Thus, the given value applies only if two or more channels are combined in such a way to form a double symmetric cross section so that the bending moment acting in the plane of the centre of gravity will not lead to torsion.
- W_pl,z is determined assuming a bi-rectangular stress block over the whole section. For Class 4 cross sections, the effective section modulus determined with maximum compressive stress equal to f_y/γ_M0 in the extreme compression fibre.

# European standard channels

Dimensions. DIN 1026 1. 2000, NF A 45 202. 1986
Tolerances EN 10279: 2000
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

## შველერი დახრილწიბოებიანი თაროებით

ზომები: DIN 1026-1:2000; NF A 45-202:1986
დაშვებები: EN 10279:2000;
ზედაპირის მდგომარეობა: EN 10163-3:2004 შესაბამისად,
კლასი C, ქვეკლასი 1




| Designation აღნიშვნა | Dimensions ზომები | | | | | | | | | Dimensions for detailing კონსტრუქციული ზომები | | | Surface ზედაპირის ფართობი | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | G | h | b | $t_w$ | t | | $r_1$ | A | d | | $e_{min}$ | $e_{max}$ | $A_L$ | $A_G$ |
| | kg/m | mm | mm | mm | mm | mm | mm² | mm² x10³ | mm | | mm | mm | m²/m | m²/t |
| UPN 50* | | 50 | 38 | 5,0 | 7,0 | 7,0 | | | | | | | | 42,22 |
| UPN 65* | 7,09 | | 42 | 5,5 | | | 4,0 | | 34 | | | | 0,273 | 39,57 |
| UPN 80* | | | 45 | 6,0 | 8,0 | | 4,0 | | 42 | | | | 0,312 | 37,10 |
| UPN 100* | | 100 | 50 | 6,0 | 8,5 | | 4,5 | 13,5 | 64 | | | | 0,372 | 35,10 |
| UPN 120* | | | 55 | 7,0 | 9,0 | | 4,5 | 17,0 | 82 | | | | 0,434 | 33,52 |
| UPN 140 | | | 60 | 7,0 | 10,0 | | 5,0 | 20,4 | | M 12 | 33 | | 0,489 | 30,54 |
| UPN 160 | | | 65 | 7,5 | 10,5 | | 5,5 | 24,0 | | M 12 | 34 | | 0,546 | 29,98 |
| UPN 180 | | | 70 | | 11,0 | | | 28,0 | | M 16 | 38 | | 0,611 | 27,80 |
| UPN 200 | | 200 | | | 11,5 | 11,5 | | 32,2 | 151 | M 16 | 39 | | 0,661 | |
| UPN 220 | | 220 | | | 12,5 | 12,5 | | 37,4 | 197 | M 16 | 40 | | 0,718 | |
| UPN 240 | | 240 | | | 13,0 | 13,0 | | 42,3 | 184 | M 20 | 46 | | 0,775 | |
| UPN 260 | | 260 | | | 14,0 | 14,0 | | 48,3 | 200 | M 22 | 50 | | 0,834 | |
| UPN 280 | | 280 | | | 15,0 | 15,0 | | 53,3 | 216 | M 22 | 52 | | 0,890 | |
| UPN 300 | 46,2 | 300 | 100 | | 16,0 | 16,0 | 8,0 | 58,8 | 232 | M 24 | 55 | 59 | 0,950 | 20,58 |
| UPN 320* | 59,5 | 320 | 100 | | 17,5 | 17,5 | 9,5 | 75,8 | 246 | M 22 | 58 | 62 | 0,982 | 16,51 |
| UPN 350 | 60,6 | 350 | 100 | | 16,0 | 16,0 | 8,0 | 77,3 | 282 | M 22 | 56 | 62 | 1,05 | 17,75 |
| UPN 380* | 63,1 | 380 | 102 | | 16,0 | 16,0 | 8,0 | 80,4 | 310 | M 24 | 59 | 60 | | 17,59 |

| $h \leq 300$ | $h > 300$ |
|---|---|
| $\frac{b}{2}$ | $\frac{b - t_w}{2}$ |

თაროს დახრა

Typical values for structural steel grades S235 to S355 are recommended and provided.
Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.
Other dimensions and tolerances upon agreement.

# UPN

Notations page: 414-417 /ნიშნების ცხრილები 414-417 გვერდებზე

Section properties / ხაზოვანი მახასიათებლები

| Designation / აღნიშვნა | | strong axis y-y / ძლიერი ღერძი y-y | | | | | weak axis z-z / სუსტი ღერძი z-z | | | | | | | | Classification / კლასიფიკაცია EN 1993-1-1: 2005 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | | | ცხელგალვანური ხუფთა ღუნვა / Pure bending | | ცხელგალვანური სუფთა კუმშვა / Pure compression | | |
| | G | $I_y$ | $W_{el,y}$ | $W_{pl,y}$ | $i_y$ | $A_z$ | $I_z$ | $W_{el,z}$ | $W_{pl,z}$ | $i_z$ | $s_z$ | $I_t$ | $I_w$ | $y_s$ | $y_-$ | S235 | S355 | EN 10025-2: 2004 | EN 10025-4 2004 | EN 10225:2001 |
| | კგ/მ | $სმ^4$ | $სმ^3$ | $სმ^3$ | სმ | $სმ^2$ | $სმ^4$ | $სმ^3$ | $სმ^3$ | სმ | სმ | $სმ^4$ | $სმ^6$ | სმ | სმ | | | | | |
| | | x10⁴ | x10³ | x10³ | x10 | x10² | x10⁴ | x10³ | x10³ | x10 | | x10² | x10⁵ | x10 | x10 | | | | | |
| **UPN 50** | | | | | 1,92 | 2,77 | 9,12 | 3,75 | 6,78 | 1,13 | 16,7 | 1,12 | 0,03 | 1,37 | 2,47 | | | | | |
| **UPN 65** | 7,09 | 57,5 | 17,7 | 21,7 | 2,52 | 3,68 | 14,1 | 5,07 | 9,38 | 1,25 | 18,0 | 1,61 | 0,08 | 1,42 | 2,60 | | | | | |
| UPN 80 | 8,64 | 106 | 26,5 | 32,8 | 3,10 | 4,90 | 19,4 | 6,36 | 11,9 | 1,33 | 19,4 | 2,20 | 0,16 | 1,45 | 2,67 | | | | | |
| **UPN 100** | 10,6 | 206 | 41,2 | 49,0 | 3,91 | 6,46 | 29,3 | 8,49 | 16,2 | 1,47 | 20,3 | 2,81 | 0,41 | 1,55 | 2,93 | | | | | |
| UPN 120 | | 364 | 60,7 | 72,6 | 4,82 | 8,49 | 43,2 | | 23,2 | 1,59 | 22,4 | 4,15 | 0,80 | 1,60 | 3,03 | | | | | |
| **UPN 140** | | 605 | 86,4 | 103 | 5,45 | 10,4 | 62,7 | 14,8 | 28,3 | 1,75 | 23,9 | 5,68 | 1,80 | 1,75 | 3,37 | | | | | |
| UPN 160 | | 925 | 116 | 138 | 6,27 | 12,6 | 85,3 | 18,3 | 35,2 | 1,89 | 25,3 | 7,39 | 3,26 | 1,84 | 3,56 | | | | | |
| **UPN 180** | | 1350 | 150 | 179 | 6,95 | 15,1 | 114 | 22,4 | 42,9 | 2,02 | 26,7 | 9,55 | 5,57 | 1,92 | 3,75 | | | | | |
| **UPN 200** | 25,3 | 1910 | 191 | 228 | 7,70 | 17,7 | 148 | 27,0 | 51,8 | 2,14 | 28,1 | 11,9 | 9,07 | 2,01 | 3,94 | | | | | |
| UPN 220 | 29,4 | 2820 | 245 | 292 | 8,49 | 20,6 | 197 | 33,6 | 64,1 | 2,29 | 30,0 | 16,0 | 14,0 | 2,14 | 4,20 | | | | | |
| **UPN 240** | 33,2 | 3600 | 300 | 358 | 9,22 | 23,7 | 248 | 39,6 | 75,7 | 2,42 | 31,7 | 19,7 | 22,1 | 2,23 | 4,39 | | | | | |
| UPN 260 | 37,9 | 4820 | 371 | 442 | 9,99 | 27,1 | 317 | 47,7 | 91,6 | 2,56 | 33,9 | 25,5 | 33,3 | 2,36 | 4,65 | | | | | |
| **UPN 280** | 41,8 | 6280 | 448 | 532 | 10,9 | 29,3 | 399 | 57,2 | 109 | 2,74 | 35,6 | 31,0 | 48,5 | 2,53 | 5,02 | | | | | |
| **UPN 300** | 46,2 | 8030 | 535 | 632 | 11,7 | 31,8 | 495 | 67,8 | 130 | 2,90 | 37,3 | 37,4 | 69,1 | 2,70 | 5,41 | | | | | |
| UPN 320 | 59,5 | 10870 | 679 | 826 | 12,1 | 47,7 | 597 | 83,6 | 152 | 2,81 | 43,0 | 66,7 | 96,1 | 2,90 | 5,82 | | | | | |
| **UPN 350** | 60,6 | 12840 | 734 | 918 | 12,9 | 50,8 | 570 | 75,0 | 143 | 2,72 | 40,7 | 61,2 | 114 | 2,40 | 4,45 | | | | | |
| UPN 380 | | 15760 | 829 | 1010 | 13,8 | 53,2 | 615 | 78,7 | 148 | 2,77 | | 50, | | | 4,59 | | | | | |

- W_el,y and W_pl,y are the elastic and plastic section moduli for the y-y axis. W_el,y = I_y / z_s and W_pl,y = S_y, where S_y is the first moment of area about the y-y axis of the part of the cross-section above the y-y axis or below the y-y axis, whichever is the greater.
- W_pl,y is determined assuming a rectangular stress block distribution. Thus, this given value applies only if two or more channels are combined in such a way to form a double-symmetric cross-section so that the bending moment acting in the plane of the centre of gravity will not lead to torsion.
- W_el,z and W_pl,z are the elastic and plastic section moduli for the z-z axis. These definitions are to be interpreted as for W_el,y and W_pl,y.

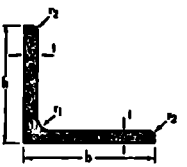
Beuth Verlag GmbH, Berlin, Köln

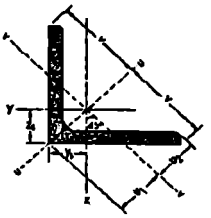
# Equal leg angles

Dimensions: EN 10056-1: 1998
Tolerances: EN 10056-2: 1994
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

## ტოლთაროვებიანი კუთხოვანა

ზომები: EN 10056-1:1998;
დაშვებები: EN 10056-2:1994;
ზოთხოვნა ზედაპირისადმი: EN 10163-3:2004 მიხედვით,
კლასი C, ქვეკლასი 1





| Designation<br>აღნიშვნა | Dimensions<br>ზომები | | | | | Position of axes<br>ღერძების განლაგება | | | | Surface<br>ზედაპირის ფართობი | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | G | h=b | t | | r2 | A | $z_{cy}$ | v | $u_r$ | $u_o$ | $A_s$ | $A_s$ |
| | კგ/მ | მმ | მმ | | მმ | მმ² | მმ | მმ | მმ | მმ | მ²/მ | მ²/ტ |
| | | | | | | x10² | x10 | x10 | x10 | x10 | | |
| L 20 x 20 x 3 | | | | | | | 0,596 | 1,41 | 0,843 | 0,700 | 0,077 | 87,40 |
| L 25 x 25 x 3 * | | | | | | | 0,721 | 1,77 | 1,02 | 0,877 | 0,097 | 90,69 |
| L 25 x 25 x 4 *) | | | | | | | 0,701 | 1,77 | 1,08 | 0,892 | 0,097 | 90,67 |
| L 30 x 30 x 3 *) | 1,36 | | | | | | | 2,12 | | 1,05 | 0,116 | 84,87 |
| L 30 x 30 x 4 * | 1,75 | | | | | | | 2,12 | | 1,09 | 0,116 | 65,01 |
| | 2,20 | | | | | | 1,00 | | | | | 64,02 |
| L 40 x 40 x 4 * | 2,42 | | | | 3,0 | | | 2,83 | 1,59 | | | 51,67 |
| L 40 x 40 x 5 *) | 2,97 | 40 | | | 3,0 | | | 2,83 | 1,64 | | | 52,07 |
| | 2,74 | | | | 3,5 | 3,49 | | 3,18 | 1,75 | 1,57 | 0,174 | 63,46 |
| | 3,38 | | | | 3,5 | 4,30 | | 3,18 | 1,79 | 1,59 | 0,174 | 51,53 |
| | 3,38 | | | | 3,5 | 4,30 | | 3,18 | 1,81 | 1,58 | 0,174 | 51,51 |
| L 50 x 50 x 4 *) | 3,08 | 50 | | | | 3,89 | | 3,54 | 1,92 | 1,75 | 0,194 | 63,49 |
| L 50 x 50 x 5 * | 3,79 | 50 | | | | 4,80 | | 3,54 | 1,99 | 1,76 | 0,194 | 51,46 |
| L 50 x 50 x 6 *) | 4,47 | 50 | | | | 5,69 | | 3,54 | 2,04 | 1,77 | 0,194 | 43,41 |
| L 50 x 50 x 7 * | 5,13 | 50 | | | | 6,56 | | 3,54 | 2,10 | 1,76 | 0,194 | 37,88 |
| | 4,14 | | | | 6,0 | | | 3,89 | 2,15 | 1,93 | | 51,95 |
| | 4,95 | | | | 6,0 | | | 3,89 | 2,21 | 1,94 | | 43,04 |
| L 60 x 60 x 4 *) | 3,70 | 60 | | | 4,0 | 4,71 | 1,80 | 4,24 | 2,26 | | 0,233 | 63,07 |
| L 60 x 60 x 5 * | 4,57 | 60 | | | 4,0 | 5,82 | 1,84 | 4,24 | 2,32 | | 0,233 | 51,04 |
| L 60 x 60 x 6 *) | 5,43 | 60 | | | 4,0 | 6,91 | 1,89 | 4,24 | 2,38 | | 0,233 | 42,99 |
| L 60 x 60 x 8 * | 7,10 | 60 | | | 4,0 | 9,03 | 1,97 | 4,24 | 2,50 | | 0,233 | 32,80 |
| L 65 x 65 x 6 *) | 5,9 | | | | | 7,53 | 1,80 | 4,60 | 2,55 | 2,28 | 0,252 | 42,72 |
| L 65 x 65 x 7 | 6,83 | | | | | 8,70 | 1,85 | 4,60 | 2,61 | 2,29 | 0,252 | 36,95 |
| L 65 x 65 x 8 * | 7,73 | | | | | 9,85 | 1,89 | 4,60 | 2,67 | 2,31 | 0,252 | 32,63 |

[illegible]

Other dimensions on request. These values may be modified according to the rolling programme.
All kinds of storage and delivery conditions upon agreement.
Mass in metric units. 40 kg/m and more are rounded off to whole kilogram.
Sections manufactured in accordance with EN 10056-1: 1998.
* Sections in accordance with DIN 1029: 1994
*) Sections in accordance with ÖNORM B 4683: 1974
Available with other grades

[illegible]

Notations see 414-417 / განმარტებები 414-417 გვერდებზე

Section properties / ჭრილობიანი მონაკვეთის თვისებები

Classification კლასიფიკაცია EN 1993-1-1:2005

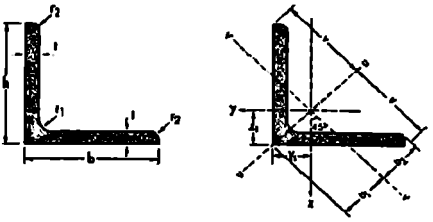
| Designation აღნიშვნა | G | axis y-y / ღერძი y-y | | axis z-z / ღერძი z-z | | axis u-u ღერძი u-u | | axis v-v ღერძი v-v | | Pure compression სუფთა კუმშვა | | EN 10025-2:2004 | EN 10025-4:2004 | EN 10225:2001 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $I_y = I_1$ | $W_{el,y} = W_{1,y}$ | $I_z = I_2$ | $I_t$ | $I_u$ | $I_v$ | $I_w$ | $I_p$ | S235 | S355 | | | |
| | kg/m | $cm^4$ x$10^1$ | $cm^3$ x$10^1$ | $cm^4$ x10 | $cm^4$ x$10^1$ | $cm^4$ x10 | $cm^4$ x$10^1$ | $cm^4$ x10 | $cm^4$ x$10^1$ | | | | | |
| **L 20 x 20 x 3** | **0,879** | **0,388** | **0,276** | **0,589** | **0,614** | **0,740** | **0,162** | **0,380** | **-0,226** | | | | | |
| L 25 x 25 x 3 | 1,. | 0,796 | 0,446 | 0,749 | 1,26 | 0,946 | 0,329 | 0,481 | 0,467 | | | | | |
| **L 25 x 25 x 4** | **1,45** | **1,01** | **0,582** | **0,740** | **1,60** | **0,930** | **0,435** | **0,479** | **-0,587** | | | | | |
| **L 30 x 30 x 3** | | **1,40** | **0,649** | **0,899** | | | **0,579** | | **-0,825** | | | | | |
| L 30 x 30 x 4 | | 1,82 | 0,850 | 0,892 | | | 0,743 | | -1,05 | | | | | |
| | 2,09 | | | | | | | | | | | | | |
| L 35 x 35 x 4 | 2,42 | 1,97 | | 1,21 | | 1,52 | 1,01 | 0,77 | | | | | | |
| **L 40 x 40 x 5** | **2,97** | **5,43** | | **1,20** | | **1,51** | **2,25** | **0,77** | | | | | | |
| | **2,74** | **6,43** | **1,97** | **1,36** | **10,21** | **1,71** | **2,65** | **0,87** | **-3,78** | | | | | |
| | 3,06 | 7,15 | 2,20 | 1,35 | 11,35 | 1,71 | 2,93 | 0,87 | -4,20 | | | | | |
| | **3,38** | **7,84** | **2,43** | **1,35** | **12,45** | **1,70** | **3,24** | **0,87** | **-4,60** | | | | | |
| **L 50 x 50 x 4** | **3,08** | **8,97** | | **1,52** | **14,25** | **1,91** | **3,70** | **0,97** | **-5,28** | | | | | |
| L 50 x 50 x 5 | 3,77 | 10,96 | | 1,51 | 17,41 | 1,90 | 4,52 | 0,97 | -6,46 | | | | | |
| **L 50 x 50 x 6** | **4,47** | **12,84** | | **1,50** | **20,37** | **1,89** | **5,31** | **0,97** | **-7,53** | | | | | |
| L 50 x 50 x 7 | 5,15 | 14,6 | | 1,49 | 23,14 | 1,88 | 6,09 | 0,97 | -8,52 | | | | | |
| L 55 x 55 x 5 | 4,18 | | 3,70 | 1,66 | 23,37 | 2,10 | | 07 | | | | | | |
| **L 55 x 55 x 6** | **4,95** | | **4,39** | **1,66** | **27,44** | **2,09** | | **1,06** | | | | | | |
| **L 60 x 60 x 4** | **3,70** | **15,78** | **3,58** | **1,83** | **25,04** | **2,31** | **6,51** | | **-9,26** | | **3** | | | |
| L 60 x 60 x 5 | 4,57 | 19,37 | 4,45 | 1,82 | 30,77 | 2,30 | 7,97 | | -40 | | 3 | | | |
| **L 60 x 60 x 6** | **5,42** | **22,79** | **5,29** | **1,82** | **36,20** | **2,29** | **9,38** | | **-13,41** | | **2** | | | |
| L 60 x 60 x 8 | 7,09 | 29,15 | 6,99 | 1,80 | 46,19 | 2,26 | 12,11 | | -17,34 | | 1 | | | |
| L 65 x 65 x 6 | | 29,10 | | | 46,25 | 2,46 | | | | | | | | |
| **L 65 x 65 x 7** | | **33,43** | | | **53,00** | **2,47** | | **1,26** | **-19,65** | | | | | |
| L 65 x 65 x 8 | | 37,49 | | | 59,48 | 2,46 | | 1,26 | -21,97 | | | | | |

# Equal leg angles▼ (continued)

Dimensions: EN 10056-1: 1998
Tolerances: EN 10056-2: 1994
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

## ტოლთაროვებიანი კუთხოვანა (გაგრძელება)

ზომები: EN 10056-1:1998
დაშვებები: EN 10056-2:1994;
ზოთხოვნა ზედაპირისადმი: EN 10163-3:2004 მიხედვით),
კლასი C, ქვეკლასი 1



| Designation<br>აღნიშვნა | Dimensions<br>ზომები | | | | | | Position of axes<br>ღერძების განლაგება | | | | Surface<br>ზედაპირის ფართობი | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | G<br>კგ/მ | h=b<br>მმ | t<br>მმ | r<br>მმ | r<br>მმ | A<br>მმ² x10² | z=y<br>მმ x10 | v<br>მმ x10 | u<br>მმ x10 | u<br>მმ x10 | $A_l$<br>მ²/მ | $A_c$<br>მ²/ტ |
| **L 70 x 70 x 6** | 6,38 | 70 | 6 | 9 | 4,5 | 8,13 | 1,93 | 4,95 | 2,73 | 2,46 | 0,272 | 42,68 |
| L 70 x 70 x 7 | 7,36 | 70 | 7 | 9 | 4,5 | 9,40 | 1,97 | 4,95 | 2,73 | 2,47 | 0,272 | 36,97 |
| **L 70 x 70 x 8**[W] | 8,37 | 70 | 8 | 10 | 5,0 | 10,7 | 2,01 | 4,95 | 2,84 | 2,47 | 0,271 | 32,41 |
| L 70 x 70 x 9[W] | 9,32 | 70 | 9 | 9 | 4,5 | 11,9 | 2,05 | 4,95 | 2,90 | 2,50 | 0,272 | 29,20 |
| L 75 x 75 x 4 | 4,65 | | | | | 5,92 | 1,96 | 5,30 | 2,76 | 2,43 | 0,292 | 62,82 |
| **L 75 x 75 x 5** | 5,76 | | | | | 7,34 | 2,01 | 5,30 | 2,84 | 2,53 | 0,292 | 50,75 |
| L 75 x 75 x 6 | 6,82 | | | | | 8,69 | 2,05 | 5,30 | | 2,61 | 0,292 | 42,89 |
| **L 75 x 75 x 7** | 7,93 | | | | | 10,1 | 2,10 | 5,30 | | 2,65 | 0,292 | 36,88 |
| L 75 x 75 x 9 | 9,70 | | | | | 12,4 | 2,14 | 5,30 | | 2,66 | 0,292 | 30,13 |
| **L 75 x 75 x 10** | 11,1 | | | | | 14,1 | 2,22 | 5,30 | | 2,69 | 0,292 | 26,43 |
| **L 80 x 80 x 5** | | 80 | | | 5,0 | 7,86 | 2,12 | 5,66 | 3,00 | 2,81 | 0,311 | 50,49 |
| L 80 x 80 x 6[W] | 7,34 | 80 | | | 5,0 | 9,35 | 2,17 | 5,66 | 3,07 | 2,81 | 0,311 | 42,44 |
| **L 80 x 80 x 7** | 8,49 | 80 | | | 5,0 | 10,8 | 2,21 | 5,66 | 3,13 | 2,82 | 0,311 | 36,67 |
| L 80 x 80 x 8 | 9,63 | 80 | | | 5,0 | 12,3 | 2,26 | 5,66 | 3,19 | 2,83 | 0,311 | 32,34 |
| **L 80 x 80 x 10** | 11,9 | 80 | | | 5,0 | 15,1 | 2,34 | 5,66 | 3,30 | 2,85 | 0,311 | 26,26 |
| **L 90 x 90 x 6**[W] | 8,26 | 90 | 6 | 10 | 5,0 | | 2,42 | 6,36 | | 3,16 | 0,351 | 42,44 |
| L 90 x 90 x 7 | 9,61 | 90 | 7 | 11 | 5,5 | | 2,45 | 6,36 | | 3,16 | 0,351 | 36,48 |
| **L 90 x 90 x 8** | 10,9 | 90 | 8 | 11 | 5,5 | | 2,50 | 6,36 | | 3,17 | 0,351 | 32,15 |
| L 90 x 90 x 9 | 12,2 | 90 | 9 | 11 | 5,5 | | 2,54 | 6,36 | | 3,18 | 0,351 | 28,77 |
| **L 90 x 90 x 10** | 13,4 | 90 | 10 | 11 | 5,5 | | 2,58 | 6,36 | | 3,19 | 0,351 | 26,07 |
| L 90 x 90 x 11 | | | 11 | 11 | | | 2,62 | 6,36 | | 3,21 | 0,351 | 23,88 |
| L 100 x 100 x 6[W] | 9,26 | | | | 6,0 | 11,8 | 2,64 | 7,07 | 3,74 | 3,51 | 0,390 | 42,09 |
| **L 100 x 100 x 7** | 10,7 | 100 | | | 6,0 | 13,7 | 2,69 | 7,07 | 3,81 | 3,51 | 0,390 | 36,33 |
| L 100 x 100 x 8[W] | 12,2 | 100 | | | 6,0 | 15,5 | 2,74 | 7,07 | 3,87 | 3,52 | 0,390 | 32,00 |
| **L 100 x 100 x 10**[W] | 15,0 | 100 | | | 6,0 | 19,2 | 2,82 | 7,07 | 3,99 | 3,54 | 0,390 | 25,92 |
| L 100 x 100 x 12[W] | 17,8 | 100 | | | 6,0 | 22,7 | 2,90 | 7,07 | 4,11 | 3,57 | 0,390 | 21,66 |
| | 13,4 | | | | | 17 | 2,93 | | | 4,07 | 0,430 | 31,95 |
| | 16,6 | | | | | 21,2 | 3,06 | | | 3,88 | 0,429 | 25,79 |
| | 19,7 | | | | | 25,1 | 3,15 | | | 3,91 | 0,429 | 21,73 |

Other dimensions on request. The r<sub>1</sub> radius may be smaller depending on the rolling process.
For multi-tonnage and delivery conditions upon agreement
Minimum order: 40 t per size and quality of open rolled material.
Standard in accordance with EN 10056-1: 1999.
Section in accordance with DIN 1028: 1994
Section in accordance with GOST 8509-1974
Available with sharp edges

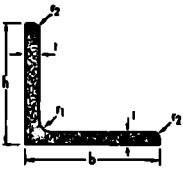
Notations page 414-417 / განმარტებები 414-417 გვერდებზე

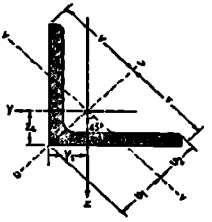
Section properties / ხაზნობაროვნული მნიშვნელობები

| Designation<br>აღნიშვნა | G | axis y-y / axis z-z<br>ღერძი y – y/ღერძი z – z | | | axis u-u<br>ღერძი u-u | | axis v-v<br>ღერძი v-v | | | Classification<br>კლასიფიკაცია EN 1993-1-1:2005<br>მიხედვით<br>Buckling curves<br>სუფთა კუმშვა | | EN 10025-2:2004 | EN 10025-4:2004 | EN 10225:2001 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $I_y = I_z$ | $W_{el,y} = W_{el,z}$ | $i_y = i_z$ | $I_u$ | | $I_v$ | $i_v$ | $I_w$ | | | | | |
| | kg/m | cm⁴ | cm³ | cm | cm⁴ | cm | cm⁴ | cm | cm⁴ | S235 | S355 | | | |
| | | x10⁴ | x10³ | x10 | x10⁴ | x10 | x10⁴ | x10 | x10⁴ | | | | | |
| **L 70 x 70 x 6** | | 36,88 | 7,27 | | 58,60 | 2,69 | | 1,37 | | | | | | |
| L 70 x 70 x 7 | | 42,20 | 8,41 | | 67,19 | 2,67 | | 1,35 | | | | | | |
| **L 70 x 70 x 8** | | 47,27 | 9,46 | | 75,01 | 2,65 | | 1,35 | | | | | | |
| L 70 x 70 x 9 | | 52,17 | 10,50 | | 83,19 | 2,65 | | 1,35 | | | | | | |
| L 75x75x4 | | | 8,07 | | 49,55 | 2,96 | 13,01 | 1,48 | -16,42 | | | | | |
| **L 75x75x5** | | | 7,06 | | 61,59 | 2,90 | 15,96 | 1,47 | -22,82 | | | | | |
| L 75 x 75 x 6 | | | 8,41 | | 72,84 | 2,89 | 18,82 | 1,47 | -27,01 | | | | | |
| **L 75x75x7** | | | 9,74 | | 83,60 | 2,88 | 21,62 | 1,46 | -30,99 | | | | | |
| L 75 x 75 x 8 | | | 11,03 | | 93,91 | 2,86 | 24,35 | 1,46 | -34,75 | | | | | |
| **L 75x75x10** | | | 13,52 | | 113,2 | 2,83 | 29,68 | 1,45 | -41,75 | | | | | |
| **L 80 x 80 x 5** | | 47,14 | | 2,45 | 74,83 | 3,09 | | | -27,69 | | | | | |
| L 80 x 80 x 6 | | 55,62 | | 2,44 | 88,69 | 3,08 | | | -32,97 | | | | | |
| **L 80 x 80 x 7** | | 64,19 | 11,09 | 2,44 | 102,0 | 3,07 | | | -37,81 | | | | | |
| L 80 x 80 x 8 | | 72,25 | 12,53 | 2,43 | 114,8 | 3,06 | | | -42,22 | | | | | |
| **L 80 x 80 x 10** | | 87,50 | 15,45 | 2,41 | 138,8 | 3,03 | | | -51,27 | | | | | |
| **L 90 x 90 x 6** | | 80,72 | | | | | 33,16 | | -47,57 | | | | | |
| L 90 x 90 x 7 | | 92,55 | | | | | 38,03 | | -54,52 | | | | | |
| **L 90 x 90 x 8** | | 104,4 | | | | | 42,89 | | -61,50 | | | | | |
| L 90 x 90 x 9 | | 115,8 | | | | | 47,65 | | -68,18 | | | | | |
| **L 90 x 90 x 10** | | 126,9 | | | | | 52,33 | | -74,59 | | | | | |
| L 90 x 90 x 11 | | 137,6 | | | | | 56,94 | | -80,70 | | | | | |
| L 100 x 100 x 6 | | | 15,09 | 3,07 | | 3,87 | | 1,97 | -69,35 | | | | | |
| **L 100 x 100 x 7** | | | 17,54 | 3,06 | | 3,86 | 52,72 | 1,96 | -75,48 | | | | | |
| L 100 x 100 x 8 | | | 19,94 | 3,05 | 220,2 | 3,85 | 59,49 | 1,95 | -85,65 | | | | | |
| **L 100 x 100 x 10** | | | 24,62 | 3,04 | 280,7 | 3,83 | 72,66 | | -104,0 | | | | | |
| L 100 x 100 x 12 | | | 29,12 | 3,02 | 327,9 | 3,80 | 85,44 | | -121,9 | | | | | |

# Equal leg angles▼ (continued)

Dimensions: EN 10056-1: 1998
Tolerances: EN 10056-2: 1994
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1




## ტოლთაროვებიანი კუთხოვანა (ბაბრძელება)
## ზომები: EN 10056-1:1998
## დაშვებები: EN 10056-2:1994;
## ზოთხოვნა ზედაპირისადმი: EN 10163-3:2004 მიხედვით, კლასი C, ქვეკლასი 1

| Designation აღნიშვნა | Dimensions ზომები | | | | | Position of axes ღერძების განლაგება | | | | | Surface ზედაპირის ფართობი | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | G | h=b | t | | | A | z=y₁ | v | u | u₀ | $A_L$ | $A_G$ |
| | კგ/მ | მმ | მმ | მმ | მმ | მმ² x10² | მმ x10 | მმ x10 | მმ⁴ x10⁴ | მმ⁴ x10⁴ | მ²/მ | მ²/ტ |
| L 120 x 120 x 8 [a,b,c] | | 120 | | | 8,0 | 18,7 | 3,33 | 8,49 | 4,56 | 4,33 | 0,469 | 31,87 |
| L 120 x 120 x 10 [a] | | | | | 10,0 | 23,2 | 3,41 | 8,49 | 5,62 | 4,24 | 0,469 | 25,29 |
| L 120 x 120 x 11 [a,c] | | | | | 11,0 | 25,4 | 3,30 | 8,49 | 4,75 | 4,25 | 0,469 | 23,34 |
| L 120 x 120 x 12 [a] | | | | | 12,0 | 27,5 | 3,40 | 8,49 | 4,80 | 4,26 | 0,469 | 21,61 |
| L 120 x 120 x 13 [a,c] | | | | | 13,0 | 29,7 | 3,44 | 8,49 | 4,86 | 4,26 | 0,469 | 20,12 |
| L 120 x 120 x 15 [a] | | | | | 15,0 | 33,9 | 3,57 | 8,49 | 4,97 | 4,31 | 0,469 | 17,60 |
| L 120 x 120 x 16 [a,c] | | | | | 16,0 | 36,0 | 3,55 | 8,49 | 5,02 | 4,32 | 0,469 | 16,58 |
| L 130 x 130 x 10 [a] | 19,8 | 130 | | | 10,0 | 25,2 | 3,55 | | 5,03 | 4,58 | 0,508 | 25,67 |
| L 130 x 130 x 12 [a] | 23,8 | 130 | | | 12,0 | 30,3 | 3,64 | | 5,15 | 4,60 | 0,508 | 21,37 |
| L 130 x 130 x 13 [a] | 25,4 | 130 | | | 13,0 | 32,3 | 3,68 | | 5,20 | 4,62 | 0,508 | 20,02 |
| L 130 x 130 x 14 [a,c] | 27,0 | 130 | | | 14,0 | 34,4 | 3,72 | | 5,26 | 4,63 | 0,508 | 18,85 |
| L 130 x 130 x 16 [a] | 30,8 | 130 | | | 16,0 | 39,3 | 3,80 | | 5,37 | 4,66 | 0,508 | 16,49 |
| L 150 x 150 x 10 [a,d] | 23,0 | | | 16 | 10,0 | 29,3 | 4,03 | 10,61 | 5,71 | 5,28 | 0,586 | 25,51 |
| L 150 x 150 x 12 [a] | 27,3 | | | 16 | 12,0 | 34,8 | 4,12 | 10,61 | 5,80 | 5,29 | 0,586 | 21,44 |
| L 150 x 150 x 13 [a] | 29,5 | 150 | | 16 | 13,0 | 37,8 | 4,17 | 10,61 | 5,89 | 5,30 | 0,586 | 19,87 |
| L 150 x 150 x 14 [a,c] | 31,6 | 150 | | 16 | 14,0 | 40,3 | 4,21 | 10,61 | 5,95 | 5,32 | 0,586 | 18,53 |
| L 150 x 150 x 15 [a,d] | 33,8 | 150 | | 16 | 15,0 | 43,0 | 4,25 | 10,61 | 6,01 | 5,33 | 0,586 | 17,36 |
| L 150 x 150 x 16 [a] | 35,9 | 150 | | 16 | 16,0 | 45,7 | 4,29 | 10,61 | 6,06 | 5,34 | 0,586 | 16,34 |
| L 150 x 150 x 18 [a,c] | 40,1 | 150 | | | 18,0 | 51,0 | 4,37 | 10,61 | 6,17 | 5,37 | 0,586 | 14,63 |
| L 150 x 150 x 20 [a] | 44,2 | 150 | | | 20,0 | 56,3 | 4,44 | 10,61 | 6,28 | 5,41 | 0,586 | 13,27 |
| L 160 x 160 x 14 [a] | | 160 | | | 14,0 | 43,2 | 4,45 | | 6,29 | 5,66 | 0,625 | 18,10 |
| L 160 x 160 x 15 [a,c] | 36,2 | 160 | | | 15,0 | 46,1 | 4,49 | | 6,35 | 5,67 | 0,625 | 17,30 |
| L 160 x 160 x 16 [a] | 38,3 | 160 | | | 16,0 | 49,0 | 4,53 | | 6,41 | 5,68 | 0,625 | 16,29 |
| L 160 x 160 x 17 [a,c] | 40,7 | 160 | | | 17,0 | 51,8 | 4,57 | | 6,46 | 5,70 | 0,625 | 15,37 |

[illegible]

Other dimensions on request. The r₁ radius may be smaller depending on the rolling process.
All lengths and weights are for guidance only and may vary within agreed limits.
Minimum order: 40 per section and grade or upon agreement.
[a] Section in accordance with EN 10056-1: 1998
[b] Section in accordance with DIN 1028: 1994
[c] Section in accordance with CSA 40.5/41, 1974
[d] Available with sharp edges.
[e] Section available in SAPREM upon agreement

[illegible]

ისტისა ასახ. 414-417 / განზომილებები 414-417 გვერდებზე

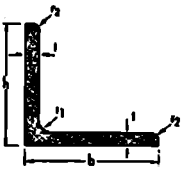
| Designation<br>აღნიშვნა | G<br>კგ/მ | Section properties / ხაზოვანი მახასიათებლები<br>axis y - y / ღერძი y - y<br>axis z - z / ღერძი z - z | | | axis u - u<br>ღერძი u - u | | axis v - v<br>ღერძი v - v | | | Classification<br>კლასიფიკაცია<br>EN 1993-1-1 2005<br>Steel grade<br>ფოლადის ხარისხი | | | EN 10025-2:2004 | EN 10025-4:2004 | EN 10225:2001 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $I_y = I_z$<br>$cm^4$<br>$x10^4$ | $W_{el,y} = W_{el,z}$<br>$cm^3$<br>$x10^3$ | $i_y = i_z$<br>cm<br>x10 | L<br>$cm^4$<br>$x10^4$ | L<br>cm<br>x10 | L<br>$cm^4$<br>$x10^4$ | L<br>cm<br>x10 | $I_w$<br>$cm^6$<br>$x10^6$ | S235 | S355 | S460 | | | |
| **L 120x120x8** | 14,7 | 399,4 | 46,11 | 3,80 | 406,8 | 4,85 | 104,8 | 2,37 | -150,6 | | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| L 120x120x10 | 18,3 | 312,9 | 36,03 | 3,67 | 487,6 | 4,63 | 128,3 | 2,35 | -184,6 | | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| **L 120x120x11** | 19,9 | 340,6 | 39,41 | 3,66 | 541,5 | 4,62 | 139,8 | 2,35 | -200,9 | | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| L 120x120x12 | 21,8 | 367,7 | 42,73 | 3,63 | 594,3 | 4,61 | 151,1 | 2,34 | -216,6 | | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| **L 120x120x13** | 23,3 | 394,0 | 46,01 | 3,64 | 639,8 | 4,59 | 162,2 | 2,34 | -231,8 | | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| L 120x120x15 | 26,6 | 447,4 | 52,43 | 3,63 | 735,6 | 4,56 | 184,5 | 2,33 | -260,7 | | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| **L 120x120x16** | 28,3 | 469,4 | 55,57 | 3,61 | 743,8 | 4,54 | 195,0 | 2,33 | -274,4 | | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| **L 130x130x10** | 19,8 | 401,1 | 42,47 | 3,99 | 637,8 | 5,03 | 164,5 | 2,55 | -236,7 | | | | | | |
| L 130x130x12 | 23,5 | 472,2 | 50,41 | 3,97 | 750,6 | 5,00 | 193,7 | 2,54 | -278,1 | | | | | | |
| **L 130x130x13** | 25,4 | 508,5 | 54,35 | 3,96 | 804,9 | 4,99 | 208,1 | 2,54 | -298,4 | | | | | | |
| L 130x130x14 | 27,2 | 545,1 | 58,20 | 3,95 | 857,8 | 4,98 | 222,3 | 2,53 | -317,8 | | | | | | |
| **L 130x130x16** | 30,8 | 605,0 | 65,75 | 3,93 | 959,7 | 4,94 | 250,3 | 2,53 | -354,7 | | | | | | |
| **L 150x150x10** | 23,0 | 624,0 | 56,91 | 4,63 | 992,0 | 5,82 | 256,1 | 2,96 | -368,0 | | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| L 150x150x12 | 27,3 | 736,9 | 67,75 | 4,60 | 1172 | 5,80 | 302,7 | 2,94 | -437,9 | | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| **L 150x150x13** | 29,5 | 791,7 | 73,07 | 4,58 | 1259 | 5,79 | 324,6 | 2,94 | -467,1 | | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| L 150x150x14 | 31,6 | 845,4 | 78,33 | 4,58 | 1344 | 5,77 | 346,0 | 2,93 | -495,5 | | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| **L 150x150x15** | 33,8 | 898,1 | 83,52 | 4,57 | 1427 | 5,76 | 366,9 | 2,93 | -529,1 | | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| L 150x150x16 | 35,9 | 949,7 | 88,61 | 4,56 | 1509 | 5,74 | 387,5 | 2,92 | -555,9 | | | | | ✓ | ✓ |
| **L 150x150x18** | 40,1 | 1050 | 98,74 | 4,54 | 1666 | 5,71 | 427,8 | 2,92 | -616,1 | | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| L 150x150x20 | 44,2 | 1148 | 108,6 | 4,51 | 1817 | 5,68 | 466,2 | 2,91 | -670,2 | | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| L 160x160x14 | 32,9 | 1034 | 89,55 | 4,89 | 1644 | 6,17 | 422,5 | 3,13 | -604,9 | | | | | | |
| **L 160x160x15** | 36,2 | 1099 | 95,47 | 4,88 | 1747 | 6,16 | 450,9 | 3,13 | -647,9 | | | | | | |
| L 160x160x16 | 38,4 | 1163 | 101,4 | 4,87 | 1848 | 6,14 | 477,7 | 3,12 | -685,0 | | | | | | |
| **L 160x160x17** | 40,7 | 1225 | 107,2 | 4,86 | 1947 | 6,13 | 504,2 | 3,12 | -721,2 | | | | | | |

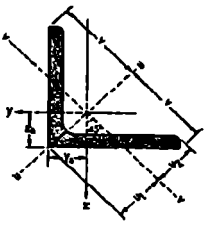
# Equal leg angles▼ (continued)

Dimensions: EN 10056-1: 1998
Tolerances: EN 10056-2: 1994
Surface condition according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

## ტოლთაროვებიანი კუთხოვანა (გაგრძელება)

ზომები: EN 10056-1:1998
დაშვებები: EN 10056-2:1994;
ზოგადი ზედაპირისადმი: EN 10163-3:2004 მიხედვით,
კლასი C, ქვეკლასი 1




| Designation<br>აღნიშვნა | Dimensions<br>ზომები | | | | | Position of axes<br>ღერძების განლაგება | | | | | Surface<br>ზედაპირის ფართობი | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | G | h=b | t | | $r_2$ | A | $z_o=y_o$ | v | u | $u_o$ | $A_l$ | $A_c$ |
| | კგ/მ | მმ | მმ | მმ | მმ | მმ²<br>x10² | მმ<br>x10 | მმ<br>x10 | მმ<br>x10 | მმ<br>x10 | მ²/მ | მ²/ტ |
| **L 180 x 180 x 13**[a] | 35,7 | 180 | | 18 | 9,0 | 45,5 | 4,90 | 12,73 | 6,93 | 6,35 | 0,705 | 19,74 |
| L 180 x 180 x 14 | 38,3 | 180 | | 18 | 9,0 | 48,8 | 4,94 | 12,73 | 6,99 | 6,38 | 0,705 | 18,40 |
| **L 180 x 180 x 15**[b] | 40,9 | 180 | | 18 | 9,0 | 52,1 | 4,98 | 12,73 | 7,05 | 6,37 | 0,705 | 17,23 |
| L 180 x 180 x 16 | 43,5 | 180 | | 18 | 9,0 | 55,4 | 5,02 | 12,73 | 7,10 | 6,38 | 0,705 | 16,20 |
| **L 180 x 180 x 17**[a] | 46,0 | 180 | | 18 | 9,0 | 58,7 | 5,06 | 12,73 | 7,16 | 6,40 | 0,705 | 15,30 |
| L 180 x 180 x 18 | 48,6 | 180 | | 18 | 9,0 | 61,9 | 5,10 | 12,73 | 7,20 | 6,41 | 0,705 | 14,50 |
| **L 180 x 180 x 19**[b] | 51,1 | 180 | | 18 | 9,0 | 65,1 | 5,14 | 12,73 | 7,27 | 6,43 | 0,705 | 13,78 |
| L 180 x 180 x 20 | 53,7 | 180 | | 18 | 9,0 | 68,3 | 5,18 | 12,73 | 7,33 | 6,47 | 0,705 | 13,12 |
| L 200 x 200 x | 46,6 | 200 | 15 | | 9,0 | 59,4 | 5,41 | | 7,75 | 7,05 | 0,785 | 17,20 |
| **L 200 x 200 x 16**[a,b] | 48,5 | 200 | 16 | | 9,0 | 61,8 | 5,52 | | 7,81 | 7,09 | 0,785 | 16,18 |
| L 200 x 200 x 17 | 51,4 | 200 | 17 | | 9,0 | 65,5 | 5,56 | | 7,87 | 7,10 | 0,785 | 15,27 |
| **L 200 x 200 x 18**[a,b] | 54,2 | 200 | 18 | | 9,0 | 69,1 | 5,60 | | 7,93 | 7,12 | 0,785 | 14,46 |
| L 200 x 200 x 19 | 57,1 | 200 | 19 | | 9,0 | 72,7 | 5,64 | | 7,99 | 7,13 | 0,785 | 13,74 |
| **L 200 x 200 x 20**[a,b] | 59,9 | 200 | 20 | | 9,0 | 76,3 | 5,68 | | 8,04 | 7,15 | 0,785 | 13,09 |
| L 200 x 200 x 21 | 62,8 | 200 | 21 | | 9,0 | 79,9 | 5,72 | | 8,10 | 7,16 | 0,785 | 12,50 |
| **L 200 x 200 x 22**[a,b] | 65,6 | 200 | 22 | | 9,0 | 83,5 | 5,76 | | 8,15 | 7,18 | 0,785 | 11,97 |
| L 200 x 200 x 23 | 68,5 | 200 | 23 | | 9,0 | 87,1 | 5,80 | | 8,20 | 7,19 | 0,785 | 11,46 |
| **L 200 x 200 x 24**[a,b] | 71,1 | 200 | 24 | | 9,0 | 90,6 | 5,84 | | 8,26 | 7,21 | 0,785 | 11,03 |
| L 200 x 200 x 25 | 73,8 | 200 | 25 | | 9,0 | 94,1 | 5,88 | | 8,31 | 7,23 | 0,785 | 10,62 |
| **L 200 x 200 x 26**[a,b] | 76,6 | 200 | 26 | | 9,0 | 97,6 | 5,91 | | 8,36 | 7,25 | 0,785 | 10,24 |
| **L 250 x 250 x 20**[a] | 75,6 | 250 | 20 | | 9,0 | 96,3 | 6,93 | 17,68 | 9,81 | 8,91 | 0,985 | 13,02 |
| L 250 x 250 x 21 | 79,2 | 250 | 21 | | 9,0 | 101 | 6,97 | 17,68 | 9,86 | 8,93 | 0,985 | 12,43 |
| **L 250 x 250 x 22**[a] | 82,8 | 250 | 22 | | 9,0 | 106 | 7,01 | 17,68 | 9,92 | 8,94 | 0,985 | 11,89 |
| L 250 x 250 x 23 | 86,4 | 250 | 23 | | 9,0 | 110 | 7,05 | 17,68 | 9,97 | 8,96 | 0,985 | 11,40 |
| **L 250 x 250 x 24**[a] | 90,0 | 250 | 24 | | 9,0 | 115 | 7,09 | 17,68 | 10,03 | 8,98 | 0,985 | 10,95 |
| L 250 x 250 x 25 | 93,6 | 250 | 25 | | 9,0 | 119 | 7,13 | 17,68 | 10,08 | 8,99 | 0,985 | 10,53 |
| **L 250 x 250 x 26**[a] | 97,0 | 250 | 26 | | 9,0 | 124 | 7,17 | 17,68 | 10,13 | 9,01 | 0,985 | 10,15 |
| L 250 x 250 x 27 | 101 | 250 | 27 | | 9,0 | 128 | 7,20 | 17,68 | 10,19 | 9,03 | 0,985 | 9,79 |
| **L 250 x 250 x 28**[a] | 104 | 250 | 28 | | 9,0 | 133 | 7,24 | 17,68 | 10,24 | 9,04 | 0,985 | 9,47 |
| L 250 x 250 x 35 | 128 | 250 | 35 | | 9,0 | 163 | 7,50 | 17,68 | 10,61 | 9,17 | 0,985 | 7,69 |

Other dimensions on request. These values may be smaller depending on the rolling process.
Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.
Minimum order: 40 t per section and grade or upon agreement.

- Section in accordance with EN 10056-1: 1998
- Section in accordance with DIN 1028: 1994
- Section in accordance with SIS 141961: 1974
- Available with rounded edges
- Section available in S460M upon agreement.

▼ Equal leg angles in metric series, European standard dimensions, technical delivery conditions
Metric series, European standard dimensions, technical delivery conditions
Metric series, dimensions and tolerances in accordance with European standard
Metric series, dimensions and tolerances in accordance with DIN 1028, 1994
Dimensions and tolerances in accordance with DIN 1028, 1994
Dimensions and tolerances in accordance with SIS 141961: 1974
Dimensions and tolerances in accordance with BS 4848: Part 4: 1972
Dimensions and tolerances in accordance with ASTM A6/A6M: 2004
Dimensions and tolerances in accordance with JIS G 3192: 1994

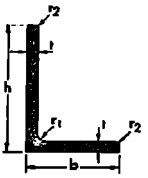
Related pages 414-417 / განსაკუთრებები 414-417 გვერდებზე

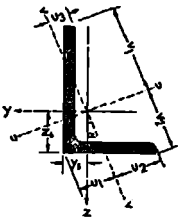
Section properties/ხაზოვანობის მახასიათებლები

| Designation აღნიშვნა | G | ღერძი y – y/ღერძი z – z | | | ღერძი u–u | | ღერძი v–v | | | Classification კლასიფიკაცია EN 1993-1-1:2005 Bending Pure compression ხუთი კლასი | | | EN 10025-2:2004 | EN 10025-4:2004 | EN 10225:2001 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $I_y = I_z$ | $W_{el,y} = W_{el,z}$ | $i_y = i_z$ | $I_u$ | $i_u$ | $I_v$ | $i_v$ | $I_p$ | S235 | S355 | S460 | | | |
| | kg/m | $cm^4$ | $cm^3$ | cm | $cm^4$ | cm | $cm^4$ | cm | $cm^4$ | | | | | | |
| | | x10⁴ | x10³ | x10 | x10⁴ | x10 | x10⁴ | x10 | x10⁴ | | | | | | |
| L 180 x 180 x 13 | 35,7 | 1396 | 106,5 | 5,54 | 2220 | 6,99 | 571,7 | 3,55 | -824,4 | | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| L 180 x 180 x 14 | 38,3 | 1493 | 114,3 | 5,53 | 2375 | 6,98 | 611,4 | 3,54 | -881,8 | | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| L 180 x 180 x 15 | 40,9 | 1589 | 122,0 | 5,52 | 2527 | 6,96 | 650,6 | 3,53 | -938,0 | | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| L 180 x 180 x 16 | 43,5 | 1682 | 129,7 | 5,51 | 2675 | 6,95 | 689,4 | 3,53 | -993,0 | | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| L 180 x 180 x 17 | 46,0 | 1775 | 137,2 | 5,50 | 2822 | 6,94 | 727,9 | 3,52 | -1047 | | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| L 180 x 180 x 18 | 48,6 | 1866 | 144,7 | 5,49 | 2965 | 6,92 | 766,0 | 3,52 | -1100 | | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| L 180 x 180 x 19 | 51,1 | 1955 | 152,1 | 5,48 | 3106 | 6,91 | 803,8 | 3,51 | -1151 | | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| L 180 x 180 x 20 | 53,7 | 2043 | 159,4 | 5,47 | 3244 | 6,89 | 841,3 | 3,51 | -1202 | | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| L 200 x 200 x 15 | 45,6 | 2209 | 152,2 | 6,17 | 3518 | 7,70 | 903,0 | 3,94 | -1306 | | | | | | |
| L 200 x 200 x 16 | 48,5 | 2341 | 161,7 | 6,16 | 3723 | 7,76 | 957,2 | 3,94 | -1384 | | | | | | |
| L 200 x 200 x 17 | 51,4 | 2472 | 171,2 | 6,14 | 3932 | 7,75 | 1011 | 3,93 | -1461 | | | | | | |
| L 200 x 200 x 18 | 54,2 | 2600 | 180,6 | 6,13 | 4135 | 7,74 | 1064 | 3,92 | -1535 | | | | | | |
| L 200 x 200 x 19 | 57,1 | 2726 | 189,9 | 6,12 | 4335 | 7,72 | 1117 | 3,92 | -1609 | | | | | | |
| L 200 x 200 x 20 | 59,9 | 2851 | 199,1 | 6,11 | 4532 | 7,70 | 1169 | 3,91 | -1681 | | | | | | |
| L 200 x 200 x 21 | 62,8 | 2973 | 208,2 | 6,10 | 4725 | 7,69 | 1221 | 3,91 | -1752 | | | | | | |
| L 200 x 200 x 22 | 65,6 | 3094 | 217,3 | 6,09 | 4915 | 7,67 | 1273 | 3,90 | -1821 | | | | | | |
| L 200 x 200 x 23 | 68,3 | 3213 | 226,3 | 6,08 | 5102 | 7,66 | 1324 | 3,90 | -1889 | | | | | | |
| L 200 x 200 x 24 | 71,1 | 3331 | 235,2 | 6,06 | 5286 | 7,64 | 1375 | 3,90 | -1955 | | | | | | |
| L 200 x 200 x 25 | 73,9 | 3446 | 244,0 | 6,05 | 5467 | 7,62 | 1426 | 3,89 | -2020 | | | | | | |
| L 200 x 200 x 26 | 76,6 | 3560 | 252,7 | 6,04 | 5644 | 7,61 | 1476 | 3,89 | -2084 | | | | | | |
| L 250 x 250 x 20 | 75,6 | 5743 | 317,9 | 7,72 | 9144 | 9,74 | 2341 | 4,93 | -3401 | | | | | ✓ | |
| L 250 x 250 x 21 | 79,2 | 5997 | 332,7 | 7,71 | 9548 | 9,73 | 2447 | 4,92 | -3550 | | | | | ✓ | |
| L 250 x 250 x 22 | 82,8 | 6249 | 347,4 | 7,70 | 9946 | 9,71 | 2552 | 4,92 | -3697 | | | | | ✓ | |
| L 250 x 250 x 23 | 86,4 | 6497 | 362,0 | 7,68 | 10338 | 9,69 | 2655 | 4,91 | -3842 | | | | | ✓ | |
| L 250 x 250 x 24 | 90,0 | 6743 | 376,5 | 7,67 | 10727 | 9,68 | 2759 | 4,91 | -3984 | | | | | ✓ | |
| L 250 x 250 x 25 | 93,5 | 6986 | 390,9 | 7,66 | 11110 | 9,66 | 2861 | 4,90 | -4124 | | | | | ✓ | |
| L 250 x 250 x 26 | 97,0 | 7226 | 405,2 | 7,65 | 11488 | 9,64 | 2963 | 4,90 | -4262 | | | | | ✓ | |
| L 250 x 250 x 27 | 101 | 7463 | 419,3 | 7,63 | 11861 | 9,62 | 3065 | 4,89 | -4398 | | | | | ✓ | |
| L 250 x 250 x 28 | 104 | 7697 | 433,4 | 7,62 | 12229 | 9,61 | 3166 | 4,89 | -4532 | | | | | ✓ | |
| L 250 x 250 x 35 | 128 | 9264 | 529,4 | 7,54 | 14669 | 9,48 | 3950 | 4,86 | -5605 | | | | | ✓ | |

# Unequal leg angles▾

Dimensions: EN 10056-1: 1998
Tolerances: EN 10056-2: 1994
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1




## არათანაბართაროვებიანი კუთხოვანა
## ზომები: EN 10056-1:1998
## დაშვებები: EN 10056-2:1994
## ზოთხოვნები ზედაპირისადმი: EN 10163-3:2004 მიხედვით, კლასი C, ქვეკლასი 1

| Designation<br>აღნიშვნა | Dimensions<br>ზომები | | | | | | Position of axes<br>ღერძების განლაგება | | | | | | | Surface<br>ზედაპირის ფართობი | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | G | h | b | t | r1 | r2 | A | zs | ys | vs | vz | u1 | u2 | A1 | Ac |
| | კგ/მ | მმ | მმ | მმ | მმ | მმ | მმ² x10² | მმ x10 | მმ x10 | მმ x10 | მმ x10 | მმ x10 | მმ x10 | მმ x10 | მ²/მ | მ²/ტ |
| L 100 x 65 x 7 | 8,77 | 100 | | | | 5,0 | 11,2 | 3,23 | 1,51 | 6,83 | 4,90 | 2,64 | | 1,66 | 0,321 | 36,66 |
| L 100 x 65 x 8 | 9,94 | 100 | | | | 5,0 | 12,7 | 3,27 | 1,55 | 6,81 | 4,92 | 2,69 | | 1,69 | 0,321 | 32,32 |
| L 100 x 65 x 9* | 11,1 | 100 | | | | 5,0 | 14,1 | 3,32 | 1,59 | 6,78 | 4,94 | 2,74 | | 1,72 | 0,321 | 28,94 |
| L 100 x 65 x 10 | 12,3 | 100 | | | | 5,0 | 15,6 | 3,36 | 1,63 | 6,76 | 4,96 | 2,79 | | 1,75 | 0,321 | 26,23 |
| L 100 x 65 x 12 | 14,5 | 100 | | | | 5,0 | 18,5 | 3,44 | 1,71 | 6,72 | 4,99 | 2,88 | | 1,81 | 0,321 | 22,17 |
| L 110 x 70 x 10* | | | | | | | | 3,69 | | | | 2,96 | | 1,84 | 0,351 | 26,17 |
| L 110 x 70 x 12* | | | | | | | | 3,77 | | | | 3,05 | | 1,90 | 0,351 | 23,00 |
| L 120 x 80 x 8 | | | 80 | | | | | 3,93 | | | 5,97 | | | 2,09 | 0,391 | 32,12 |
| L 120 x 80 x 10 | | | 80 | | | | | 3,92 | | | 6,01 | | | 2,15 | 0,391 | 26,01 |
| L 120 x 80 x 12 | | | 80 | | | | | 4,00 | | | 6,04 | | | 2,20 | 0,391 | 21,93 |
| | 12,2 | | | | | 5,5 | | | 1,68 | 8,44 | 5,87 | 2,98 | 4,14 | 1,81 | 0,391 | 32,12 |
| | 13,6 | | | | | 5,5 | | | 1,72 | 8,41 | 5,89 | 3,03 | 4,12 | 1,84 | 0,391 | 28,73 |
| | 15,0 | | | | | 5,5 | | | 1,76 | 8,38 | 5,91 | 3,08 | 4,11 | 1,87 | 0,391 | 26,01 |
| | 17,8 | | | | | 5,5 | | | 1,84 | 8,33 | 5,96 | 3,17 | 4,09 | 1,93 | 0,391 | 21,93 |
| L 130 x 90 x 10* | 16,6 | 130 | 90 | | | | 21,2 | 4,16 | 2,19 | 8,93 | | | | 2,49 | 0,431 | 25,96 |
| L 130 x 90 x 12* | 19,7 | 130 | 90 | | | | 25,1 | 4,24 | 2,26 | 8,90 | | | | 2,51 | 0,430 | 21,80 |
| L 130 x 90 x 14* | 22,8 | 130 | 90 | | | | 29,0 | 4,33 | 2,34 | 8,85 | | | | 2,60 | 0,431 | 18,94 |
| L 140 x 90 x 8* | 14,0 | | 90 | | | 5,5 | 17,9 | 4,49 | 2,03 | | 6,81 | 3,58 | 4,83 | 2,27 | 0,451 | 32,08 |
| L 140 x 90 x 10* | 17,4 | | 90 | | | 5,5 | 22,1 | 4,58 | 2,11 | | 6,83 | 3,69 | 4,81 | 2,33 | 0,451 | 25,94 |
| L 140 x 90 x 12* | 20,6 | | 90 | | | 5,5 | 26,3 | 4,66 | 2,19 | | 6,89 | 3,79 | 4,79 | 2,39 | 0,451 | 21,83 |
| L 140 x 90 x 14* | 23,6 | | 90 | | | 5,5 | 30,4 | 4,74 | 2,27 | | 6,92 | 3,88 | 4,78 | 2,45 | 0,451 | 18,99 |

Other dimensions on request. They may be smaller depending on the rolling process.
Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.
Minimum order: 40t per section and grade or upon agreement.
Sections in accordance with EN 10056-1: 1998.

* Profile conforms to DIN 1029: 1994
▸ Sections in accordance with CSN 42 5541: 1974
4 Section available in S460M upon agreement.

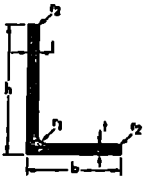
Navigation page 414-417 /განმარტებები 414-417 გვერდებზე

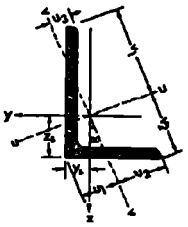
Section properties /საცნობარო მნიშვნელობები

| Designation<br>აღნიშვნა | G | axis y-y<br>ღერძი y-y | | | axis z-z<br>ღერძი z-z | | | axis u-u<br>ღერძი u-u | | | axis v-v<br>ღერძი v-v | | | Classification<br>კლასიფიკაცია EN 1993-1-1:2005<br>მიმართულებით<br>ხუთი კლასი | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $i_y$ | $W_{el,y}$ | $I_y$ | $i_z$ | $W_{el,z}$ | $I_z$ | $i_u$ | $I_u$ | $i_v$ | $I_v$ | $i_w$ | $I_w$ | S235 | S355 | EN 10025-2:2004 | EN 10025-4:2004 | EN 10210:2001 |
| | kg/m | cm⁴<br>x10⁴ | cm³<br>x10³ | cm<br>x10 | cm⁴<br>x10⁴ | cm³<br>x10³ | cm<br>x10 | cm⁴<br>x10⁴ | cm<br>x10 | cm⁴<br>x10⁴ | cm<br>x10 | cm⁶<br>x10⁶ | cm⁴<br>x10⁴ | | | | | |
| L 100 x 65 x 7 | 8,8 | 112,5 | 16,61 | 3,17 | 37,58 | 7,53 | 1,83 | 128,2 | 3,39 | 21,89 | 1,40 | -37,7 | 22,59 | | | ✓ | | |
| L 100 x 65 x 8 | 9,9 | 126,6 | 18,95 | 3,16 | 42,23 | 8,54 | 1,83 | 144,4 | 3,38 | 24,66 | 1,40 | -42,4 | 22,53 | | | ✓ | | |
| L 100 x 65 x 9 | 11,1 | 140,6 | 21,05 | 3,15 | 46,70 | 9,52 | 1,82 | 160,0 | 3,36 | 27,37 | 1,39 | -46,8 | 22,44 | | | ✓ | | |
| L 100 x 65 x 10 | 12,3 | 154,0 | 23,20 | 3,14 | 50,96 | 10,48 | 1,81 | 175,0 | 3,35 | 30,03 | 1,39 | -51,0 | 22,35 | | | ✓ | | |
| L 100 x 65 x 12 | 14,5 | 179,6 | 27,38 | 3,12 | 59,07 | 12,33 | 1,79 | 203,4 | 3,32 | 35,23 | 1,38 | -58,7 | 22,11 | | | ✓ | | |
| | 13,4 | 206,6 | 28,77 | 3,48 | 65,07 | 12,31 | 1,95 | 233,2 | 3,69 | 38,54 | 1,50 | -66,8 | 21,67 | | | | | |
| | 15,9 | 241,5 | 33,10 | 3,45 | 75,51 | 14,51 | 1,93 | 271,8 | 3,66 | 45,22 | 1,49 | -77,1 | 21,46 | | | | | |
| L 120 x 80 x 8 | 12,2 | 225,7 | 27,63 | 3,82 | 80,76 | 13,17 | 2,28 | 259,0 | 4,10 | 46,39 | 1,73 | -78,5 | 23,69 | | | | | |
| L 120 x 80 x 10 | 15,0 | 275,5 | 34,10 | 3,80 | 98,11 | 16,21 | 2,26 | 317,0 | 4,07 | 56,60 | 1,72 | -95,3 | 23,53 | | | | | |
| L 120 x 80 x 12 | 17,8 | 322,8 | 40,37 | 3,77 | 114,3 | 19,14 | 2,24 | 370,7 | 4,04 | 66,45 | 1,71 | -110,8 | 23,37 | | | | | |
| | 12,2 | 247,3 | 29,57 | 4,00 | 67,61 | 11,61 | 2,09 | 274,2 | 4,21 | 40,71 | 1,62 | -74,5 | 19,84 | | | | | |
| | 13,6 | 275,0 | 33,06 | 3,98 | 74,96 | 12,97 | 2,08 | 304,8 | 4,19 | 45,23 | 1,62 | -82,7 | 19,78 | | | | | |
| | 15,0 | 302,0 | 36,50 | 3,97 | 82,05 | 14,29 | 2,07 | 334,4 | 4,18 | 49,65 | 1,61 | -90,4 | 19,71 | | | | | |
| | 17,8 | 354,0 | 43,22 | 3,95 | 95,52 | 16,87 | 2,05 | 391,2 | 4,15 | 58,28 | 1,60 | -104,9 | 19,54 | | | | | |
| L 130 x 90 x 10 | 16,6 | 359,7 | 40,70 | 4,12 | 141,8 | 20,82 | 2,59 | 421,5 | 4,46 | 79,93 | 1,94 | -131,6 | 25,19 | | | | | |
| L 130 x 90 x 12 | 19,7 | 426,4 | 47,97 | 4,09 | 164,5 | 24,42 | 2,56 | 491,6 | 4,43 | 93,31 | 1,92 | -152,6 | 25,03 | | | | | |
| L 130 x 90 x 14 | 22,8 | 491,4 | 55,50 | 4,07 | 187,9 | 28,24 | 2,55 | 561,9 | 4,40 | 107,4 | 1,93 | -173,5 | 24,89 | | | | | |
| L 140 x 90 x 8 | 14,0 | 360,0 | 37,86 | 4,49 | 118,2 | 16,96 | 2,57 | 409,3 | 4,78 | 68,90 | 1,95 | -119,8 | 22,38 | | | | | |
| L 140 x 90 x 10 | 17,4 | 440,9 | 46,81 | 4,46 | 144,1 | 20,91 | 2,55 | 500,8 | 4,76 | 84,13 | 1,95 | -146,2 | 22,28 | | | | | |
| L 140 x 90 x 12 | 20,6 | 518,1 | 55,50 | 4,44 | 168,4 | 24,72 | 2,53 | 587,6 | 4,73 | 98,93 | 1,94 | -170,6 | 22,15 | | | | | |
| L 140 x 90 x 14 | 23,8 | 591,9 | 63,96 | 4,41 | 191,3 | 28,41 | 2,51 | 670,0 | 4,70 | 113,3 | 1,93 | -193,3 | 21,99 | | | | | |

# Unequal leg angles* (continued)

**Dimensions: EN 10056-1: 1998**
**Tolerances: EN 10056-2: 1994**
**Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1**




## არათანაბართაროვებიანი კუთხოვანა (გაბრძელება)
## ზომები: EN 10056-1:1998
## დაშვებები: EN 10056-2:1994
## ზედაპირის მდგომარეობა: EN 10163-3:2004 მახედვით, კლასი C, ქვეკლასი 1

| Designation<br>აღნიშვნა | Dimensions<br>ზომები | | | | | | Position of axes<br>ღერძების განლაგება | | | | | | | Surface<br>ზედაპირის ფართობი | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | G | h | b | | | $r_1$ | A | $z_x$ | $y_x$ | $v_1$ | $v_2$ | $u_1$ | $u_2$ | $u_3$ | $A_t$ | $A_c$ |
| | კგ/მ | მმ | მმ | მმ | მმ | მმ | მმ²<br>x10² | მმ<br>x10 | მმ<br>x10 | მმ<br>x10 | მმ<br>x10 | მმ<br>x10 | მმ<br>x10 | მმ<br>x10 | მ²/მ | მ²/ტ |
| L 150 x 75 x 9[a] | 15,4 | 150 | | | | 6,0 | 19,6 | 5,26 | 1,57 | 9,82 | 6,59 | 2,85 | 4,41 | 1,61 | 0,440 | 28,59 |
| L 150 x 75 x 10[a] | 17,0 | 150 | | | | 6,0 | 21,7 | 5,31 | 1,61 | 9,78 | 6,62 | 2,90 | 4,39 | 1,65 | 0,440 | 25,87 |
| L 150 x 75 x 11[a] | 18,6 | 150 | | | | 6,0 | 23,7 | 5,35 | 1,65 | 9,75 | 6,65 | 2,95 | 4,37 | 1,68 | 0,440 | 23,64 |
| L 150 x 75 x 12[a] | 20,2 | 150 | | | | 6,0 | 25,7 | 5,40 | 1,69 | 9,72 | 6,68 | 2,99 | 4,36 | 1,72 | 0,440 | 21,78 |
| L 150 x 90 x 10[a] | | 150 | 90 | | | 6,0 | | 5,09 | 2,04 | 10,10 | 7,07 | 3,61 | | 2,20 | 0,470 | 25,84 |
| L 150 x 90 x 11[a] | | 150 | 90 | | | 6,0 | | 5,04 | 2,08 | 10,07 | 7,09 | 3,66 | | 2,23 | 0,470 | 23,61 |
| L 150 x 90 x 12[a] | | 150 | 90 | | | 6,0 | | 5,08 | 2,12 | 10,05 | 7,11 | 3,71 | | 2,26 | 0,470 | 21,75 |
| L 150 x 90 x 15[a] | | 150 | 90 | | | 6,0 | | 5,21 | 2,23 | 9,98 | 7,17 | 3,84 | | 2,36 | 0,470 | 17,65 |
| L 150 x 100 x 10[a,b] | 19,0 | 150 | 100 | | | 6,0 | 24,2 | 4,81 | 2,34 | 10,27 | 7,48 | 4,08 | 5,25 | 2,64 | 0,490 | 25,03 |
| L 150 x 100 x 12[a,b] | 22,5 | 150 | 100 | | | 6,0 | 28,7 | 4,90 | 2,42 | 10,23 | 7,52 | 4,18 | 5,23 | 2,70 | 0,490 | 21,77 |
| L 150 x 100 x 14[a,b] | 26,1 | 150 | 100 | | | 6,0 | 33,2 | 4,98 | 2,50 | 10,19 | 7,55 | 4,28 | 5,22 | 2,75 | 0,490 | 18,79 |
| L 200 x 100 x 10[a,b] | 23,0 | 200 | 100 | | | 7,5 | 29,2 | 6,93 | 2,01 | 13,15 | 8,74 | 3,72 | 5,94 | 2,09 | 0,587 | 25,58 |
| L 200 x 100 x 12[a,b] | 27,3 | 200 | 100 | | | 7,5 | 34,8 | 7,03 | 2,10 | 13,08 | 8,81 | 3,82 | 5,89 | 2,17 | 0,587 | 21,49 |
| L 200 x 100 x 14[a,b] | 31,6 | 200 | 100 | | | 7,5 | 40,3 | 7,12 | 2,18 | 13,01 | 8,86 | 3,91 | 5,85 | 2,24 | 0,587 | 18,57 |
| L 200 x 100 x 15[a,b] | 33,7 | 200 | 100 | | | 7,5 | 43,0 | 7,16 | 2,22 | 12,98 | 8,89 | 3,95 | 5,84 | 2,27 | 0,587 | 17,40 |

Additional dimensions on demand. Other sizes, special profiles and tolerances on request. Any range, tonnage and conditions of delivery subject to agreement.
Commercial rule of 40 pcs per section and grade, surplus accepted.
Profile conforms to EN 10056-1:1998.
Profile conforms to DIN 1029:1994.
Profile conforms to CSN 42 5541:1974.
Profile deviates from S460M surface accepted.

Other dimensions on request. The $r_1$ radius may be smaller depending on the rolling process.
Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.
Minimum order 40 t per section and grade or upon agreement.
Section in accordance with EN 10056-1:1998.
[a] Profile conforms to DIN 1029:1994.
[b] Section in accordance with CSN 42 5541:1974.
[c] Section available in S460M upon agreement.

Другие размеры по запросу. Радиус $r_1$ может быть меньше в зависимости от процесса прокатки.
Минимальный тоннаж и условия поставки по соглашению.
Минимальный заказ 40 тонн одного профиля и марки по соглашению.
[a] Профиль соответствует EN 10056-1:1998.
[b] Профиль соответствует DIN 1029:1994.
[c] Профиль соответствует CSN 42 5541:1974.
[d] Профиль соответствует S460M.

Sections properties 414-417 /განმარტებები 414-417 გვერდებზე

Section properties - საკონტაქტო მნიშვნელობები

| Designation<br>აღნიშვნა | G<br>კგ/მ | axis y-y<br>ღერძი y-y<br>$I_y$<br>$cm^4$<br>x10⁴ | $W_{el,y}$<br>$cm^3$<br>x10³ | $i_y$<br>სმ<br>x10 | axis z-z<br>ღერძი z-z<br>$I_z$<br>$cm^4$<br>x10⁴ | $W_{el,z}$<br>$cm^3$<br>x10³ | $i_z$<br>სმ<br>x10 | axis u-u<br>ღერძი u-u<br>$I_u$<br>$cm^4$<br>x10⁴ | <br>სმ<br>x10 | axis v-v<br>ღერძი v-v<br>$I_v$<br>$cm^4$<br>x10⁴ | $i_v$<br>სმ<br>x10 | $I_t$<br>$cm^4$<br>x10⁴ | Classification<br>კლასიფიკაცია<br>EN 1993-1-1 2005<br>ფოლადის ხარისხი<br>S235 | S355 | S460 | EN 10025-2:2004 | EN 10025-4 2004 | EN 10225:2001 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **L 150 x 75 x 9** | **15,4** | **455,2** | **46,74** | **4,82** | **77,91** | **13,14** | **1,99** | **483,2** | **4,97** | **49,95** | **1,60** | **-106,4** | **14,72** | **3** | | | | |
| L 150 x 75 x 10 | 17,0 | 500,6 | 51,52 | 4,87 | 85,37 | 14,50 | 2,00 | 531,1 | 5,05 | 54,97 | 1,63 | -116,6 | 16,46 | 3 | | | | |
| **L 150 x 75 x 11** | **18,6** | **545,0** | **56,49** | **4,80** | **92,57** | **15,83** | **1,98** | **577,9** | **4,94** | **59,70** | **1,59** | **-126,3** | **14,59** | **3** | | | | |
| L 150 x 75 x 12 | | 588,1 | 61,27 | 4,73 | 99,55 | 17,16 | 1,97 | 623,5 | 4,92 | 64,15 | 1,54 | -135,6 | 16,51 | 3 | | | | |
| L 150 x 90 x 10 | 18,2 | 533,1 | 58,20 | 4,80 | 149,1 | 20,94 | 2,10 | 841,5 | | 87,02 | 1,95 | -160,0 | 19,47 | | | | | |
| **L 150 x 90 x 11** | **19,9** | **580,7** | **58,30** | **4,79** | **158,7** | **22,91** | **2,50** | **643,7** | **5,04** | **95,70** | **1,94** | **-174,7** | **19,81** | | | | | |
| L 150 x 90 x 12 | 21,6 | 627,8 | 63,05 | 4,77 | 170,9 | 24,62 | 2,19 | 695,5 | 5,03 | 103,1 | 1,94 | -189,4 | 13,75 | | | | | |
| **L 150 x 90 x 15** | **26,6** | **761,1** | **77,70** | **4,74** | **205,5** | **30,36** | **2,46** | **840,9** | **4,98** | **125,7** | **1,93** | **-225,2** | **19,51** | | | | | |
| **L 150 x 100 x 10** | **19,0** | **552,6** | **54,23** | **4,78** | **198,5** | **25,92** | **2,87** | **637,3** | **5,14** | **113,8** | **2,17** | **-192,8** | **23,72** | | | | | |
| L 150 x 100 x 12 | 22,5 | 650,5 | 64,39 | 4,76 | 232,8 | 30,69 | 2,85 | 749,3 | 5,11 | 133,0 | 2,16 | -220,4 | 23,81 | | | | | |
| **L 150 x 100 x 14** | **26,1** | **744,4** | **74,27** | **4,74** | **264,9** | **35,32** | **2,82** | **855,9** | **5,08** | **153,4** | **2,15** | **-256,8** | **23,48** | | | | | |
| **L 200 x 100 x 10** | **23,0** | **1219** | **93,24** | **6,46** | **210,3** | **26,33** | **2,68** | **1294** | **6,65** | **134,5** | **2,14** | **-266,8** | **14,82** | | | | | |
| L 200 x 100 x 12 | 27,3 | 1441 | 111,0 | 6,43 | 247,2 | 31,28 | 2,67 | 1520 | 6,62 | 157,5 | 2,13 | -303,5 | 17,61 | | | | | |
| **L 200 x 100 x 14** | **31,6** | **1654** | **128,4** | **6,41** | **282,2** | **36,08** | **2,65** | **1755** | **6,60** | **181,7** | **2,12** | **-384,8** | **14,65** | | | | | |
| L 200 x 100 x 15 | 33,7 | 1756 | 137,0 | 6,40 | 299,1 | 38,44 | 2,64 | 1865 | | 193 | 2,12 | -407,4 | 14,93 | | | | | |

ყველგან, სადაც ეს შესაძლებელია, აღნიშვნა ემთხვევა ევროკოდებში გამოყენებული აღნიშვნას.

ფერად ფონზე მოცემული აღნიშვნა ეხება მხოლოდ *I* და *H* კოჭს პარალელურწახნაგებიანი თაროებით.

$A$ – კვეთის ფართობი. $A = 2t_f b + (h - 2t_f)t_w + (4 - \pi)r^2$;

$A_G$ – ერთეულ მასაზე მოსული შესაღები ფართობი. $A_G = \frac{A_L}{A \cdot \rho_a}$;

$A_L$ – ერთეულ სიგრძეზე მოსული შესაღები ფართობი

$$A_L = [4(b - 2r) + 2(h - t_w) + 2\pi r]\frac{1}{L};$$

$A_m$ – ერთეულ სიგრძეზე მოსული ფოლადის კვეთის ფართობი, რომელიც განიცდის ცეცხლის ზემოქმედებას;

$A_{net}$ – კვეთის საანგარიშო ფართობი ჭანჭიკის ერთეული ნახვრეტის ფართობის გამოკლებით;

$A_p$ – ერთეულ სიგრძეზე მოსული ხანძარსაწინააღმდეგო მასალის შიდა ზედაპირის ფართობი;

$A_{vz}$ – ძვრის ფართობი (ძალვა, მოქმედი კედლის პარალელურად)

$$A_{vz} = A - 2t_f + (t_w + 2r)t_f.$$

$\alpha$ – ინერციის ძირითადი ღერძების გადახრა;

$b$ – პროფილის სიგანე;

$d$ – პროფილის კედლის სწორი ნაწილის სიმაღლე. $d = h - 2t_f - 2r$;

$e_{min}$, $e_{max}$ – ჭანჭიკებით შეერთებისას დასაშვები მანძილი პროფილის კიდესა და ჭანჭიკის ნახვრეტის კიდეს შორის, საყრდენი ზედაპირისათვის, გაანგარიშებული EN1993-1-8:2005-ის მოთხოვნების მიხედვით. ეს მოთხოვნები სრულდება აგრეთვე ჭანჭიკების Ø-ზე ნაკლები დიამეტრის დროსაც. ეს მნიშვნელობები გაიანგარიშება ნახვრეტებში ნომინალური ღრეჩოს გათვალისწინებით: 2 მმ–M10-დან M24-მდე და 3მმ – M27, ჭანჭიკებისათვის.

აუცილებელია ამ დროს, შემოწმება ლოკალურ ჩაღუნვაზე მოთხოვნის მიხედვით და აუცილებლობის შემთხვევაში – შემოწმება კოროზიამედეგობის მიხედვით.

$G$ – ერთეულ სიგრძეზე მოცული მასა. $G = A \cdot \rho_a$;

$h$ – პროფილის სიმაღლე;

$h_i$ – თაროებს შორის შიდა სიმაღლე. $h_i = h - 2t_f$;

$I$ – კვეთის ფართობის ინერციის მომენტი

$$I_y = \frac{1}{12}[bh^3 - (b - t_w)(h - 2t_f)^3] + 0{,}03r^4 + 0{,}2146r^2(h - 2t_f - 0{,}4468r)^2;$$

$$I_z = \frac{1}{12}[2t_f b^3 + (h - 2t_f)t_w^3] + 0{,}03r^4 + 0{,}2146r^2(t_w + 0{,}4468r)^2;$$

$i$ – წრიული მოძრაობის რადიუსი (ინერციის რადიუსი)

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}};\ i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}};\quad i_u = \sqrt{\frac{I_u}{A}};\quad i_v = \sqrt{\frac{I_v}{A}};$$

$h_i$ – გრეხის მუდმივა.

$$I_t = \frac{2}{3}(b-0{,}63t_f)t_f^3 + \frac{1}{3}(h-2t_3)t_w^2 + 2\left(\frac{t_f}{t_w}\right)\left(0{,}145+0{,}1\frac{r}{t_f}\right)\left[\frac{(r+t_w/2)^2+(r+t_w)^2-r^2}{2r+t_f}\right]^4$$

$I_w$ – დეფორმაციის მუდმივა ძერის ცენტრის მიმართ.

$$I_w = \frac{t_f \cdot b^3}{24}\cdot(h-t_f)^2;$$

$I_{yz}$ – ცენტრიდანული მომენტი.

$P_{min}$, $P_{max}$ – ჭანჭიკებით შეერთებისას ჭანჭიკების ნახერეტების კიდეებს შორის დასაშვები მანძილი, საყრდენი ზედაპირისათვის გაანგარიშებული EN1993-1-8:2005-ის მოთხოვნების მიხედვით. ეს მოთხოვნები სრულდება აგრეთვე ჭანჭიკის Ø-ზე ნაკლები დიამეტრის დროსაც. ეს მნიშვნელობები გაიანგარიშება ნახვრეტში ნომინალური ღრეჩოს გათვალისწინებით: 2 მმ – M10-დან M24-მდე და 3 მმ – M27, ჭანჭიკებისათვის.

იგულისხმება, რომ ნახვრეტების კოორდინატების ცენტრი არის კედლის ცენტრული ხაზი. თუ ეს არ ხდება, მაშინ $P_{min}$ მნიშვნელობა შეიძლება უმნიშვნელოდ იყოს განსხვავებული იმის და მიხედვით თუ როგორი დაშვებებია გაგლინვისას.

აუცილებელია, ლოკალურ ჩაღუნვაზე მოთხოვნის მიხედვით შემოწმება და აუცილებლობის შემთხვევაში – შემოწმება კოროზიამედეგობაზე;

Ø – ჭანჭიკის მაქსიმალური დიამეტრი;

$r, r_1$ – გადასასვლელი მრუდის რადიუსი;

$r_2$ – გარეთა გადასასვლელი მრუდის რადიუსი;

$\rho_a$ – ფოლადის მასის ერთეული (ფოლადის საშუალო სიმკვრივე);

$S_s$ – ხისტი საყრდენის სიგრძე. $S_s = t_w + 2t_f + (4-2\sqrt{2})r$.

ხისტი საყრდენის სიგრძე არის მანძილი, რომელზედაც ფაქტიურად არის ძალები განაწილებული.

$t$ – სისქე;

$t_f$ – თაროს სისქე;

$t_w$ – კოჭის კედელის სისქე;

$u$ – განაპირა ბოჭკოს (შრის) დაშორება მცირე $v$-ღერძამდე;

$v$ – განაპირა ბოჭკოს დაშორება დიდ $u$-ღერძამდე;

$V$ – ფოლადის ელემენტის ერთეული სიგრძის მოცულობა;

$W_{el}$ – კვეთის დრეკადი წინაღობის მომენტი;

$$W_y = \frac{2\cdot I_y}{h};\quad W_z = \frac{2\cdot I_z}{b},$$

$W_{pl}$ – კვეთის პლასტიკური წინაღობის მომენტი;

პლასტიკური დეფორმაციის გათვალისწინებით გაანგარიშებისას განივი კვეთი უნდა ეკუთვნოდეს 1 ან 2 კლასს საჭირო ბრუნვითი შესაძლებლობის მიხედვით.

$$W_{pl,y} = \frac{t_w h^2}{4} + (b - t_w)(h - t_f)t_f + \frac{4-\pi}{2} r^2 (h - 2t_f) + \frac{3\pi - 10}{3} r^3;$$

$$W_{pl,z} = \frac{b^2 t_f}{2} + \frac{h - 2t_f}{4} t_w^2 + r^3 \left(\frac{10}{3} - \pi\right) + \left(2 - \frac{\pi}{2}\right) t_w \cdot r^2.$$

შველერებისთვის:

$W_{pl,z}$ – კვეთის პლასტიკური წინაღობის მომენტი $z$ ღერძის პარალელური პლასტიკური ნეიტრალური $z'$ ღერძის მიმართ;

$Y_m$ – დაშორება ძვრის ცენტრიდან $z$ ღერძამდე;

$Y_s$ – დაშორება სიმძიმის ცენტრიდან, შველერის კედლის კიდემდე $y$ ღერძის გასწვრივ (პარალელურად);

$z_s$, $z_1$, $z_2$ – მანძილი $z$ ღერძის გასწვრივ სიმძიმის ცენტრიდან.

პროფილების კლასიფიკაცია [EN1993-1-1:2005 (ევრიკოდი 3)-ის მიხედვით]

კლასი 1 – აღნიშნულ პროფილში შესაძლებელია შეიქმნას პლასტიკური სახსარი, რომელსაც აქვს შესაძლებლობა შემობრუნდეს იმდენად, რომ შესაძლებელი გახდეს პლასტიკური ანალიზი (მხედველობაშია ძალვათა სრული გადანაწილების შესაძლებლობა).

კლასი 2 ამ პროფილში შესაძლებელია აღიძრას მომენტი პლასტიკურ სახსრებში, მაგრამ ხასიათდება მობრუნების შეზღუდული შესაძლებლობით;

კლასი 3 – ამ კლასის პროფილში ფოლადის ელემენტების განაპირა შეკუმშულ ფენაში საანგარიშო ძაბვათა მნიშვნელობამ შესაძლებელია მიაღწიოს დენადობის ზღვარის სიდიდეს, მაგრამ ამ დროს ლოკალურმა (ადგილობრივმა) ჩაღუნვამ შეიძლება დააბრკოლოს მღუნავი მომენტის შემდგომი განვითარება (გაზრდა);

კლასი 4 – ამ კლასის პროფილში წინაღობის მომენტი ან კუმშვის მიმართ წინაღობა (წინაღობა კუმშვაზე) განისაზღვრება ლოკალური ჩაღუნვის ზემოქმედების გათვალისწინებით.

ფასონური პროფილის ცხრილებში (სორტამენტში) მოცემულია კვეთების კლასიფიკაცია ძლიერი $y - y$ ღერძის გარშემო „სუფთა ღუნვის“ (როდესაც კედელი გაიღუნება, ხოლო თარო (ფლანეცი) შეკუმშულ მდგომარეობაშია) და „სუფთა კუმშვის“ (კედელი და თაროები შეკუმშული მდგომარეობაშია) შემთხვევებისათვის.

## პროფილის სახეობის აღნიშვნების განმარტებები

(ეს განმარტებები მოცემულია იმ სტანდარტებში, რომელიც მითითებულია თითოეული პროფილის ცხრილში)

1. IPE არის I-ს მსგავსი ორტესებრი ევროპული პროფილი () (PE-profile europian);
2. თუ ამ აღნიშვნას თან ახლავს რიცხვის წინ ასო AA ან A ან საერთოდ ასო არ არის – ნიშნავს პროფილის სისქის მატებას: AA – თხელია, A – ცოტა უფრო სქელი, ასო არ არის – სქელი.
3. აღნიშვნაში მითითებული რიცხვი უნდა ნიშნავდეს სიმაღლეს, მმ-ბში, მაგრამ თუ აღნიშვნაშია $AA_1$ – *h* სიმაღლე ნაკლებია 10,20 ან 40 მმ-ით ვიდრე აღნიშვნაშია მითითებული.
4. თუ აღნიშვნაში რიცხვის შემდეგ წერია B აღნიშვნაში მითითებული რიცხვი ემთხვევა *h* სიმაღლეს.
5. თუ აღნიშვნაში რიცხვის შემდეგ წერია M აღნიშვნაში მითითებული რიცხვი ნაკლებია *h* სიმაღლეზე.
6. HPE – არის გადაბრუნებული H-ის () მსგავსი ევროპული ფართოთაროებიანი პროფილი.
7. IPN – არის ჩვეულებრივი ორტესებრი პროფილი, ოღონდ დახრილი წიბოებიანი თაროებით (  ).
8. U (universale) – მითითებულია შველერის აღნიშვნებში. მაგალითად: UPE არის შველერი პარალელურწიბოებიანი თაროებით (  ); UPN – შველერიდახრილწიბოებიანი თაროებით (  );
9. FL-ით აღინიშნება ფურცლოვანი ნაგლინი ან ზოლოვანი ფურცელი 
10. R – წრიული კვეთის ნაგლინი 
11. SQ – სწორკუთხა კვეთის ნაგლინი 
12. თუ აღნიშვნაში წერია O, მაშინ ასეთ პროფილებს სხვა პროფილებზე უფრო სქელი კედლები და თაროები აქვთ.
13. HD – აღნიშვნა ეკუთვნის ორტესებრ პროფილს სვეტებისათვის.
14. აღნიშვნაში 750×137 ან 1000×494 – მეორე რიცხვი ერთი გრძივი მეტრის მასაა. წინა რიცხვი ნომერია, რომელიც ან მეტია ან ნაკლები, მაგრამ ახლოს *h* სიმაღლესთან. ასეთი აღნიშვნა განსაკუთრებით დიდ პროფილებს აქვთ.
15. L – აღნიშვნა შეეხება ტოლთაროებიან და არათანაბართაროებიან კუთხოვანას (  ,  );
16. T – აღინიშნება ტესებრი კვეთის () ნაგლინი (შუაზე გაჭრილი ).

დახერხილი ხე-ტყის მასალის (ფიჭვი და ნაძვი) და მერქნის სუფთა ნიმუშების (12%-იან ტენიანობაზე დაყვანით) $R_n$, $R_n^{სუფთა}$ ნორმატიული წინაღობა (ალბათობის 0.95 უზრუნველყოფით) და $R_u$, $R_u^{სუფთა}$ დროებითი წინაღობის საშუალო მნიშვნელობები

| დაძაბული მდგომარეობის სახეობა | $\frac{R_n}{R_u}$ მპა, მერქნის ხარისხის მიხედვით | | | სუფთა მერქნის $\frac{R_n^{სუფთა}}{R_u^{სუფთა}}$ |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | |
| 1. ღუნვა | | | | |
| ა) დატვირთვა ვიწრო წახნაგიდან | $\frac{26}{36}$ | $\frac{24}{33}$ | $\frac{16}{22}$ | – |
| ბ) დატვირთვა განიერი წახნაგიდან | $\frac{30}{42}$ | $\frac{27}{37,5}$ | $\frac{20}{28}$ | $\frac{57}{80}$ |
| 2. კუმშვა ბოჭკოების გასწვრივ | $\frac{25}{33}$ | $\frac{23}{31}$ | $\frac{15}{20}$ | $\frac{33}{44}$ |
| 3. გაჭიმვა ბოჭკოების გასწვრივ | $\frac{20}{34}$ | $\frac{15}{25}$ | – | $\frac{60}{100}$ |
| 4. ახლეჩა ბოჭკოების გასწვრივ | $\frac{3,6}{6}$ | $\frac{3,2}{5}$ | $\frac{3,2}{5}$ | $\frac{4,5}{7}$ |

შენიშვნა: 1. გამოსაცდელი ნიმუშების განივი კვეთის ზომები მიღებულია სორტამენტიდან სისქის მიხედვით.

2. დროებითი წინაღობა როგორც დახერხილი მასალის, ასევე სუფთა მერქნის მცირე ნიმუშების, საჭიროა განისაზღვროს შესაბამისი სახელმწიფო სტანდარტების მიხედვით (სტანდარტების ნომრები მითითებულია ნორმებსა და წესებში – „СНиП II-25-80")

## ფიჭვის, ნაძვის და ლარიქსის (ევროპულის და იაპონურის) ჯიშის მერქანის საანგარიშო წინაღობები

| დაძაბული მდგომარეობა და ელემენტის დახასიათება | აღნიშვნა | მერქნის საანგარიშო წინაღობა (მპა) ხარისხის მიხედვით | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 |
| 1. ღუნვა, კუმშვა და თელვა ბოჭკოების გასწვრივ: | $R_ღ$, $R_კ$ | 14 | 13 | 8,5 |
| ა) ელემენტები სწორკუთხა კვეთით (გარდა „ბ“ და „გ“ ქვეპუნქტებში მოცემულისა) სიმაღლით 50სმ-მდე | $R_{თელ}$ ($R_ი$) | | | |
| ბ) ელემენტები სწორკუთხა კვეთის სიგანით 11-დან 13 სმ-მდე, კვეთის სიმაღლით 11-დან 50 სმ-მდე | $R_ღ$, $R_კ$ $R_{თელ}$($R_ი$) | 15 | 14 | 10 |
| გ) ელემენტები სწორკუთხა კვეთის სიგანით 13 სმ-ზე მეტი, სიმაღლით 13-დან 50 სმ-მდე | $R_ღ$, $R_კ$ $R_{მ}$($R_ი$) | 16 | 15 | 11 |
| დ) ელემენტები წრიული კვეთის, საანგარიშო კვეთში ჩაჭრების გარეშე | $R_ღ$, $R_კ$ $R_{მ}$($R_ი$) | – | 16 | 10 |
| 2. გაჭიმვა ბოჭკოების გასწვრივ: | | | | |
| ა) დაუწებებელი (მთლიანი) მერქნის ელემენტები | $R_გ$ ($R_ი$) | 10 | 7 | – |
| ბ) დაწებებული ელემენტები | $R_გ$ ($R_ი$) | 12 | 9 | – |
| 3. კუმშვა და თელვა კვეთის მთელ ფართობზე ბოჭკოების განივად | $R_{კ90}$ $R_{თ90}$ | 1,8 | 1,8 | 1,8 |
| 4. ადგილობრივი თელვა ბოჭკოების განივად: | | | | |
| ა) კონსტრუქციის საყრდენ ნაწილში, შუბლა ჭდობაში და ელემენტების კვანძში მიდებით მიერთებისას | $R_{ლოკ90}$ | 3 | 3 | 3 |
| ბ) ჭანჭიკების საყელურებს ქვეშ 90°-დან 60°-მდე მოთელვის კუთხისას | $R_{ლოკ90}$ | 4 | 4 | 4 |
| 5. ახლეჩა ბოჭკოების გასწვრივ: | | | | |
| ა) დაუწებებელი ელემენტების ღუნვისას | $R_{ლბ}$ | 1,8 | 1,6 | 1,6 |
| ბ) დაწებებული ელემენტების ღუნვისას | $R_{ლბ}$ | 1,6 | 1,5 | 1,5 |
| გ) შუბლა ჭდობისას მაქსიმალური დაძაბულობისათვის | $R_{ლ}$ | 2,4 | 2,1 | 2,1 |
| დ) ადგილობრივი, დაწებებით შეერთებებში მაქსიმალური დაძაბულობისათვის | $R_{ლ}$ | 2,1 | 2,1 | 2,1 |
| 6. ახლეჩა ბოჭკოების განივად: | | | | |
| ა) დაუწებებელი ელემენტების შეერთებაში | $R_{ლ90}$ | 1,0 | 0,8 | 0,6 |
| ბ) დაწებებული ელემენტების შეერთებებში | $R_{ლ90}$ | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| 7. დაწებებული ელემენტების გაჭიმვა ბოჭკოების განივად. | $R_{გ90}$ | 0,35 | 0,3 | 0,25 |

შენიშვნა: 1. ნაგებობებისათვის დამზადებულ კონსტრუქციებში გაჭიმვაზე საანგარიშო წინაღობის სიდიდე მიღებული პუნქტ 2ა-ს მიხედვით, საჭიროა შემცირდეს 30%-ით;

2. საანგარიშო წინაღობა ღუნვაზე სახურავის ფენილისა და შემოფიცერისათვის მე-3 ხარისხის მერქნისათვის საჭიროა აღებული იქნეს 13 მპა-ს ტოლი;

3. სხვა ჯიშის მერქნის საანგარიშო წინაღობების დადგენა ხდება ამ დანართში მოცემული სიდიდეების გამრაელებით $m_n$ გადამყვან კოეფიციენტებზე, რომლებიც მოცემულია დანართ 4.3-ში.

| ხე-ტყის ჯიშები | $m_n$ კოეფიციენტი საანგარიშო წინაღობისათვის | | |
|---|---|---|---|
| | გაჭიმვა, ღუნვა, კუმშვა და თელვა ბოჭკოების გასწვრივ $R_g$, $R_ღ$, $R_კ$,$R_{თელ}$ | კუმშვა და თელვა ბოჭკოების განივად $R_{კ,90}$, $R_{თ,90}$ | ახლენა $R_{ახ}$ |
| წიწვოვანი ჯიშები | | | |
| 1. ლარიქსი (გარდა ევროპული და იაპონურისა) | 1,2 | 1,2 | 1,0 |
| 2. ციმბირული კედარი (გარდა კრასნოიარსკის მხარის) | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| 3. კრასნოიარსკის მხარის კედარი | 0,65 | 0,65 | 0,65 |
| 4. სოჭი | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| ფოთლოვანი, მაგარი ჯიშები | | | |
| 5. მუხა | 1,3 | 2,0 | 1,3 |
| 6. კოპიტი (იფანი), ნეკერჩხალი, რცხილა | 1,3 | 2,0 | 1.6 |
| 7. აკაცია | 1,5 | 2,2 | 1.8 |
| 8. არყის ხე, წიფელი | 1,1 | 1,6 | 1,3 |
| 9. თელა | 1,0 | 1,6 | 1,0 |
| ფოთლოვანი, რბილი ჯიშები | | | |
| 10. თხმელა (მურყანი), ცაცხვი, ვერხვი, ალვის ხე | 0,8 | 1,0 | 0,8 |

შენიშვნა: ამ დანართში მითითებული კოეფიციენტები, საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზების საყრდენებისათვის, რომლებიც დამზადებულია ანტისეპტიკებით დაუმუშავებელი ლარიქსისაგან (≤25% ტენიანობისას), მრაელდება 0,85 კოეფიციენტზე.

მოთხოვნები მერქნის ტენიანობისადმი ექსპლუატაციის ტემპერატურულ-ტენიანობის პირობების მიხედვით

| ექსპლუატაციის ტემპერატურულ-ტენიანობის პირობები | კონსტრუქციის ექსპლუატაციის პირობების დახასიათება | ხის კონსტრუქციის მერქნის მაქსიმალური ტენიანობა, % | |
|---|---|---|---|
| | | დაწებებული მერქნისათვის | მთლიანი კვეთის (დაუწებებელი) მერქნისათვის |
| | 35°C ტემპერატურამდე გათბობილი სათავსოებში, სადაც ჰაერის ფარდობითი ტენიანობაა: | | |
| A1 | 60%-მდე | 9 | 20 |
| A2 | 60%-დან 75%-მდე | 12 | 20 |
| A3 | 75%-ზე მეტი 95%-მდე | 15 | 20 |
| | გაუთბობელ სათავსოებში: | | |
| B1 | მშრალ ზონაში | 9 | 20 |
| B2 | ნორმალურ ზონაში | 12 | 20 |
| B3 | მშრალ და ნორმალურ ზონებში მუდმივ 75%-ზე მეტი ტენიანობისა და მაღალი ტენიანობის ზონაში | 15 | 25 |
| | ღია ჰაერზე: | | |
| | მშრალ ზონაში | 9 | 20 |
| | ნორმალურ ზონაში | 12 | 25 |
| | ტენიან ზონაში | 15 | 25 |
| | შენობებისა და ნაგებობების იმ ნაწილში: | | |
| | სადაც შეხებაა გრუნტთან ან იმყოფება გრუნტში | – | 25 |
| | გამუდმებით ხდება დატენიანება | – | არ იზღუდება |
| | იმყოფება წყალში | – | არ იზღუდება |

შენიშვნა: 1. 45%-ზე ნაკლები ფარდობითი ტენიანობისას ექსპლუატაციის A1 პირობების შემთხვევაში დაწებებული ხის კონსტრუქციების გამოყენება არ დაიშვება;

2. დაუწებებელ კონსტრუქციებში, რომელთა ექსპლუატაცია ხდება B2, B3 პირობებში, როდესაც მერქნის გამოშრობა არ იწვევს შეერთების დაზიანების ან დამყოლობის გაზრდას, შესაძლებელია ისეთი მერქნის გამოყენება, რომლის ტენიანობა ნაკლებია 40%-ზე, იმ პირობით, რომ იგი დაცული უნდა იყოს დალპობისაგან.

## სამშენებლო ფანერის საანგარიშო წინაღობები

| ფანერის სახეობა | საანგარიშო წინაღობა, მპა | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | გაჭიმვა ფურცლის სიბრტყეში $R_{ფგ}$ | კუმშვა ფურცლის სიბრტყეში $R_{ფკ}$ | ღუნვა ფურცლის სიბრტყის გარეთ $R_{ფღ}$ | ახლეჩა ფურცლის სიბრტყეში $R_{ფახ.}$ | ჭრა ფურცლის სიბრტყის მართობულად $R_{ფს}$ |
| 1. არყის ხის დაწებებული ფანერა ФСФ მარკის, B/BB, B/C, BB/C ხარისხების | | | | | |
| ა) შეიდფენა, სისქით 8 მმ და მეტი: | | | | | |
| განაპირა ფენების ბოჭკოების გასწვრივ | 14 | 12 | 16 | 0,8 | 6 |
| განაპირა ფენების ბოჭკოების განივად | 9 | 8,5 | 6,5 | 0,8 | 6 |
| ბოჭკოების მიმართ 45° მიმართულებით | 4,5 | 7 | – | 0,8 | 9 |
| ბ) ხუთფენა, სისქით 5-7 მმ: | | | | | |
| განაპირა ფენების ბოჭკოების გასწვრივ | 14 | 13 | 18 | 0,8 | 5 |
| განაპირა ფენების ბოჭკოების განივად | 6 | 7 | 3 | 0,8 | 6 |
| ბოჭკოების მიმართ 45° მიმართულებით | 4 | 6 | – | 0,8 | 9 |
| 2. ლარიქსის მერქნის დაწებებული ფანერა ФСФ მარკის, B/BB, BB/C ხარისხების, შეიდფენა სისქით 8მმ და მეტი: | | | | | |
| განაპირა ფენების ბოჭკოების გასწვრივ | 9 | 17 | 18 | 0,6 | 5 |
| განაპირა ფენების ბოჭკოების განივად | 7,5 | 13 | 11 | 0,5 | 5 |
| ბოჭკოების მიმართ 45° მიმართულებით | 3 | 5 | – | 0,7 | 7,5 |
| 3. დაბაკელიტებული ფანერა ФБС მარკის, სისქით 7 მმ და მეტი: | | | | | |
| განაპირა ფენების ბოჭკოების გასწვრივ | 32 | 28 | 33 | 1,8 | 11 |
| განაპირა ფენების ბოჭკოების განივად | 24 | 23 | 25 | 1,8 | 12 |
| ბოჭკოების მიმართ 45° მიმართულებით | 16,5 | 21 | – | 1,8 | 16 |

შენიშვნა: 1) არყის ხის ფანერის საანგარიშო წინაღობა კუმშვაზე და თელვაზე ფანერის ფურცლის პერპენდიკულარული მიმართულებით, ФСФ მარკის ფანერისათვის $R_{ფკ.90} = R_{ფთ.90} = 4$ მპა. ФБС მარკის ფანერისათვის $R_{ფკ.90} = R_{ფთ.90} = 8$ მპა.

2. საჭიროების შემთხვევაში სამშენებლო ფანერის საანგარიშო წინაღობები უნდა გამრავლდეს $m_в$, $m_т$, $m_д$, $m_н$ და $m_а$ კოეფიციენტებზე, რომელთა სიდიდეები მოცემულია ნორმებში (СНиП II-25-80).

სამშენებლო ფანერის ფურცლის სიბრტყეში $E_ფ$ დრეკადობის, $G_ფ$ ძერის მოდულები და პუასონის $ν_ფ$ კოეფიციენტები, II ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშებისას

| ფანერის სახეობა | დრეკადობის მოდული, $E_ფ$, მპა | ძერის მოდული, $G_ფ$, მპა | პუასონის კოეფიციენტი $ν_ფ$ |
|---|---|---|---|
| 1. არყის ხის დაწებებული ფანერა ФСФ მარკის, B/BB, B/C, BB/C ხარისხის, შვიდფენიანი და ხუთფენიანი ფანერები: | | | |
| განაპირა ფენების ბოჭკოების გასწვრივ | 9000 | 750 | 0,085 |
| განაპირა ფენების ბოჭკოების განივად | 6000 | 750 | 0,065 |
| ბოჭკოების მიმართ 45° მიმართულებით | 2500 | 3000 | 0,6 |
| 2. ლარიქსის მერქნის დაწებებული, ФСФ მარკის B/BB და BB/C ხარისხის შვიდფენიანი ფანერები | | | |
| განაპირა ფენების ბოჭკოების გასწვრივ | 7000 | 800 | 0,07 |
| განაპირა ფენების ბოჭკოების განივად | 5500 | 800 | 0,06 |
| ბოჭკოების მიმართ 45° მიმართულებით | 2000 | 2200 | 0,6 |
| 3. დაბაკელიტებული, ФБС მარკის ფანერა: | | | |
| განაპირა ფენების ბოჭკოების გასწვრივ | 12000 | 1000 | 0,085 |
| განაპირა ფენების ბოჭკოების განივად | 8500 | 1000 | 0,065 |
| ბოჭკოების მიმართ 45° მიმართულებით | 3500 | 4000 | 0,7 |

შენიშვნა: პუასონის $ν_ფ$ კოეფიციენტი მითითებულია მიმართულებისათვის, რომელიც პერპენდიკულარულია იმ ღერძის, რომლის გასწვრივ განსაზღვრულია ფანერის $E_ფ$ დრეკადობის მოდული.

## მერქნისა და ფანერის სიმკვრივე

| მერქნის ჯიში | მერქნის სიმკვრივე (კგ/მ³) კონსტრუქციაში, რომლის ექსპლუატაციის პირობები მოცემულია დანართ 4.4-ში | |
|---|---|---|
| | A1, A2. B1, B2 | დანარჩენის |
| 1. წიწვოვანი: | | |
| ლარიქსი | 650 | 800 |
| ფიჭვი, ნაძვი, კედარი, სოჭი | 500 | 600 |
| 2. ფოთლოვანი, მაგარი ჯიშის: | | |
| მუხა, არყის ხე, წიფელი, კოპიტი, ნეკერჩხალი, რცხილა, აკაცია, თელა | 700 | 800 |
| 3. ფოთლოვანი, რბილი ჯიშის: | | |
| ვერხვი, ალვის ხე, თხმელა, ცაცხვი | 500 | 600 |

შენიშვნა: 1. ახლადმოჭრილი წიწვოვანი და რბილი ფოთლოვანი ჯიშის მერქნის სიმკვრივე მიიღება 850 კგ/მ³-ის ტოლი, მაგარი, ფოთლოვანი ჯიშის – 1000 კგ/მ³;

2. დაწებებული მერქნის სიმკვრივე მიიღება იმავე სიდიდის, რაც დაუწებებელის;

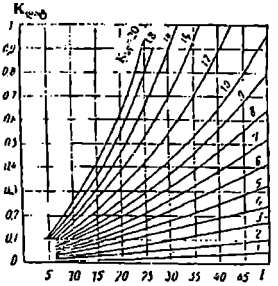
3. ჩვეულებრივი ფანერის სიმკვრივე მიიღება ტოლი სოგმანის (შპონის) მერქნის ტოლი, ხოლო დაბაკელიტებული ფანერის – 1000 კგ/მ³.

## მზიდი ხის კონსტრუქციების წონის განსაზღვრა

დასაპროექტებელი მზიდი ხის კონსტრუქციების საკუთარი წონისაგან $g_{სწ}$ დატვირთვის წინასწარ გამოსათვლელად, კონსტრუქციის ტიპის, $l$ მალის სიდიდისა და სასარგებლო $g^{n}+V^{n}_{დრ}$ დატვირთვის მიხედვით, სარგებლობენ ფორმულით

$$g_{სწ}=\frac{g^{n}+V^{n}_{დრ}}{\left[1000/(K_{სწ}l)-1\right]}=K_{დატ}\left(g^{n}+V^{n}_{დრ}\right).$$

აქ $K_{დატ.}$ დატვირთვის კოეფიციენტია და განისაზღვრება ქვემოთ მოცემული გრაფიკის დახმარებით, $K_{სწ}$ საკუთარი წონის კოეფიციენტისა და $l$ მალის სიდიდის მიხედვით




$K_{დატ}$ კოეფიციენტის გრაფიკი $K_{სწ}$ და $l$ მალის დამოკიდებულებით

ზოგიერთი ტიპის ხის კონსტრუქციების საკუთარი წონის $K_{სწ}$ კოეფიციენტის მნიშვნელობა:

| | |
|---|---|
| 1. თაიხუფლად დაყრდნობილი ერომალიანი კოჭები: | |
| ფიცრებით დაწებებული სწორკუთხა კვეთიანი | 7...9 |
| ფანერადაწებებული | 5...6 |
| 2. სანიენივე წამწეები კვანძგარეთა დატვირთვით: | |
| ხის, სამკუთხა | 4,5...6 |
| ხე-ლითონის სამკუთხა | 4...6 |
| ხის მრავალკუთხა | 3,5...4,5 |
| ხის სეგმენტური | 3...3,5 |
| ხე-ლითონის სეგმენტური | 2,5...3,0 |
| 3. ფიცრებით დაწებებული სწორკუთხა კვეთის სამსახსრიანი თაღები | 2,5...4,0 |

დაპროექტებული მზიდი ხის კონსტრუქციის წონითი ეფექტურობის შესაფასებლად საჭიროა განისაზღვროს საკუთარი წონის $K^{ფაქტ}_{სწ}$ ფაქტიური კოეფიციენტი

$$K^{ფაქტ}_{სწ}=1000\,g^{ფაქტ}_{სწ}/\left[\left(g^{ფაქტ}_{სწ}+g^{n}+V^{n}_{დრ}\right)\cdot l\right].$$

ხის ბრტყელი ელემენტების კვეთის სიგანის რეკომენდებული მინიმალური სიდიდე კონსტრუქციის *l* მალის სიდიდისაგან დამოკიდებულებით, მათი სამონტაჟო სიხისტის უზრუნველყოფის პირობის მიხედვით.

| კონსტრუქციის სახეობა | მალის სიდიდე *l*, მ | კვეთის სიგანე *b*, სმ |
|---|---|---|
| 1. კოჭები, თაღები, წამწეები უჭრი ზედა სარტყლით და მრუდე რიგელიანი დაწებებული ჩარჩოები | 18 მ-მდე | 12 |
| | 21-24 | 14 |
| | 27-30 | 17 |
| | 33-36 | 21 |
| 2. წამწეები ჭრილი ზედა სარტყლით და ჩარჩოები კარნიზის კვეთში კბილანა შეერთებით | 15 მ-მდე | 12 |
| | 18-21 | 14 |
| | 24 | 17 |
| | 27-30 | 21 |

შენიშვნა: კოჭების, წამწეების და თაღების სარტყლების მოქნილობამ მათი მუშაობის სიბრტყის გარეთ, იმის გათვალისწინებით, რომ მონტაჟის მოწყობილობამ (ტრავერსი, დროებითი განმბჯენები და სხვა) შეიძლება გაზარდოს სამონტაჟო სიხისტე, არ უნდა გადააჭარბოს: ა) კონსტრუქციის აწევისას და საყრდენებზე დადგმისას – მთლიანი (გადაუბმელი) სარტყლებისათვის 400-ს და გადაბმული (პირაპირებიანი) სარტყელისათვის – 350-ს.

ბ) კონსტრუქციის დროებითი მჭიმებითა და განმბჯენებით გამაგრებისას – მთლიანი (გადაუბმელი) სარტყელებისათვის 350-ს; გადაბმული სარტყელებისათვის – 300-ს.

## შინაარსი


შესავალი ..... 3
თავი 1. ზოგადი ცნობები სამშენებლო კონსტრუქციების შესახებ 5
1.1. სამშენებლო კონსტრუქციების კლასიფიკაცია ..... 5
1.2. მასალები სამშენებლო კონსტრუქციებისათვის ..... 7
1.3. სამშენებლო კონსტრუქციებისადმი წაყენებული მოთხოვნები და დაპროექტების ზოგადი პრინციპები 8
1.3.1. მოთხოვნები, რომლებიც წაეყენება შენობა-ნაგებობებს და მათ კონსტრუქციულ ელემენტებს ..... 9
1.3.2. სამშენებლო კონსტრუქციების დაპროექტების ზოგადი პრინციპები ..... 11
1.4. სამშენებლო კონსტრუქციების გაანგარიშების პრინციპები 11
1.4.1. პირველი ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშების ზოგადი პირობები ..... 13
1.4.2. მეორე ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშების ზოგადი პრინციპები ..... 13
1.4.3. მასალების ნორმატიული და საანგარიშო წინაღობები 14
1.5. დატვირთვები და ზემოქმედებები 15
1.5.1. დატვირთვების კლასიფიკაცია ..... 15
1.5.2. ნორმატიული დატვირთვები ..... 16
1.5.3. საანგარიშო დატვირთვები ..... 17
1.5.4. დატვირთვების შეხამებები ..... 17
1.5.5. ზოგიერთი განზომილება, რომელიც გამოიყენება სამშენებლო კონსტრუქციების გაანგარიშებისას ..... 18
1.6. მაგალითები სამშენებლო კონსტრუქციების გაანგარიშებისათვის ..... 19
თავი 2. რკინაბეტონისა და ქვის კონსტრუქციები ..... 21
2.1. ზოგადი ცნობები რკინაბეტონის კონსტრუქციების შესახებ 21
2.1.1. რკინაბეტონის არსი, დადებითი და უარყოფითი თვისებები 21
2.1.2. მოკლე ისტორიული ცნობები ..... 22
2.1.3. რკინაბეტონის გამოყენება, დამზადება და განვითარების პერსპექტივა .. 25
2.1.4. ბეტონის და არმატურის კლასიფიკაცია, ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები ..... 27
2.1.4.1. ბეტონების კლასიფიკაცია ..... 27
2.1.4.2. ბეტონის სიმტკიცე ..... 28
2.4.1.3. ბეტონის კლასი და მარკა ..... 30
2.1.4.4. ბეტონის დეფორმაცია ..... 32
2.1.4.5. ბეტონის დრეკადობისა და სრული დეფორმაციის მოდულები 34
2.1.4.6. არმატურა 36
2.1.4.6.1. არმატურის სახეობები, კლასიფიკაცია, გამოყენება ..... 36
2.1.4.6.2. არმატურის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები ..... 39
2.1.4.6.3. არმატურის ნაკეთობები ..... 40
2.1.5. რკინაბეტონის კოროზია 42
2.1.6. რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების საფუძვლები 43

2.1.6.1. გაანგარიშების მეთოდები 43
2.1.6.2. დატვირთვები და ზემოქმედებები 44
2.1.6.3. ბეტონისა და არმატურის ნორმატიული და საანგარიშო წინაღობები 46
2.1.6.4. ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით გაანგარიშებების ძირითადი დებულებები 48
2.1.7. ჩვეულებრივი (დაუძაბავი) რკინაბეტონის ელემენტების კონსტრუირება და სიმტკიცეზე გაანგარიშება 50
2.1.7.1. ღუნვადი ელემენტების კონსტრუქციული თავისებურებები 50
2.1.7.2. ღუნვადი ელემენტის ნორმალური კვეთის დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობათა სტადიები 54
2.1.7.3. ღუნვადი ელემენტის ნორმალური, მართკუთხა, ცალფაარმატურიანი კვეთის გაანგარიშება სიმტკიცის მიხედვით 55
2.1.7.4. ღუნვადი ელემენტის ნორმალური, მართკუთხა, ორფაარმატურიანი კვეთის გაანგარიშება სიმტკიცის მიხედვით 58
2.1.7.5. T-სებრი კვეთის ელემენტები 61
2.1.7.6. ღუნვადი ელემენტის დახრილი კვეთის გაანგარიშება სიმტკიცის მიხედვით 63
2.1.7.6.1. ძირითადი საანგარიშო დებულებები 63
2.1.7.6.2. მართკუთხაკვეთიანი ელემენტის დახრილი კვეთის გაანგარიშება სიმტკიცეზე განივი ძალის მიხედვით 64
2.1.7.6.3. განივად დაარმატურებული ელემენტების დახრილი კვეთის გაანგარიშება 66
2.1.7.6.4. განივად დაუარმატურებელი დახრილი კვეთის გაანგარიშება 67
2.1.7.7. გარეცენტრულად შეკუმშული ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშების საფუძვლები 68
2.1.7.7.1. შეკუმშული ელემენტების კონსტრუქციული თავისებურებები 68
2.1.7.7.2. შეკუმშული ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშების საფუძვლები 72
2.1.7.7.2.1. შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტით შეკუმშული ელემენტის სიმტკიცეზე გაანგარიშების საფუძვლები 73
2.1.7.7.2.2. საანგარიშო $e_0$ ექსცენტრისიტეტით შეკუმშული ელემენტის სიმტკიცეზე გაანგარიშების საფუძვლები 74
2.1.7.8. გაჭიმული ელემენტის სიმტკიცეზე გაანგარიშების საფუძვლები 77
2.1.7.8.1. ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშების საფუძვლები 78
2.1.7.8.2. გარეცენტრულად გაჭიმული ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშების საფუძვლები 79
2.1.7.9. გაანგარიშება ადგილობრივ კუმშვაზე (თელვაზე) 81
2.1.7.10. გაანგარიშება ჩაჭყლეტაზე 81
2.1.8. წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტების თავისებურებები 82
2.1.8.1. წინასწარი დაძაბვის არსი, დადებითი თვისებები 82
2.1.8.2. წინასწარი დაძაბვის ხერხები 83
2.1.8.3. წინასწარი ძაბვების დანაკარგები 84
2.1.8.4. ძაბვები ბეტონში და არმატურაში წინასწარი დაძაბვისას 85

2.1.8.5 წინასწარ დაძაბული ღუნვადი კონსტრუქციის ნორმალური კვეთის დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობათა მიმდევრობა (ეტაპები) 87
2.1.8.6. წინასწარ დაძაბული ღუნვადი ელემენტის კვეთის გაანგარიშება სიმტკიცეზე 88
2.1.9. რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების საფუძვლები მეორე ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით 89
2.1.9.1. გაანგარიშება ბზარების წარმოქმნის მიხედვით 90
2.1.9.2. გაანგარიშება ბზარების დახურვის მიხედვით 91
2.1.9.3. გაანგარიშება ბზარების გახსნის სიდიდის მიხედვით 91
2.1.9.4. რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშება საერთო გადაადგილებაზე (ჩაღუნვაზე) 93
2.1.10. რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტება 95
2.1.10.1 შენობებისა და ნაგებობების რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტების ზოგადი პრინციპები 95
2.1.10.2. ბრტყელი სართულთშორისი გადახურვები 100
2.1.10.2.1. მონოლითური წიბოვანი გადახურვა კოჭური ფილებით 100
2.1.10.2.2. მონოლითური წიბოვანი გადახურვა კონტურზე დაყრდნობილი ფილებით 104
2.1.10.2.3. ასაწყობი კოჭოვან-პანელური გადახურვა 108
2.1.10.2.4. რკინაბეტონის უკოჭო გადახურვა 111
2.1.10.2.5. ასაწყობ-მონოლითური კოჭოვანი გადახურვა 113
2.1.10.3. რკინაბეტონის საძირკვლები 115
2.1.10.3.1. რკინაბეტონის ცალკეული საძირკვლები 116
2.1.10.3.2. ლენტური საძირკველი 121
2.1.10.3.3. მთლიანი საძირკველი 121
2.1.11. ერთსართულიანი სამრეწველო შენობების რკინაბეტონის კონსტრუქციები 122
2.1.11.1. შენობის კონსტრუქციული სქემის გაერთმთლიანება 123
2.1.11.2. განივი ჩარჩოს გაანგარიშების საფუძვლები 127
2.1.11.3. დახურვის რკინაბეტონის პანელები 128
2.1.11.4. რკინაბეტონის სანივნიო კონსტრუქციები 130
2.1.11.4.1. სანივნიო კოჭები 130
2.1.11.4.2. სანივნიო წამწეები 131
2.1.11.4.3. რკინაბეტონის სანივნიო თაღები 134
2.1.11.4.4. ნივნივქვეშა კონსტრუქციები 135
2.1.11.5. რკინაბეტონის ამწისქვეშა კოჭი 135
2.1.11.6. ერთსართულიანი სამრეწველო შენობის რკინაბეტონის სვეტები 137
2.1.11.7. ერთსართულიანი სამრეწველო შენობის მონოლითური კარკასი 139
2.1.12. მრავალსართულიანი კარკასული და პანელური შენობების კონსტრუქციები 140
2.1.12.1. მრავალსართულიანი შენობების კონსტრუქციული სქემები 140
2.1.12.2. მრავალსართულიანი სამრეწველო შენობების კონსტრუქციები 142
2.1.12.3. მრავალსართულიანი სამოქალაქო შენობების კონსტრუქციები 143
2.1.12.4. მრავალსართულიანი შენობის გაანგარიშების საფუძვლები 146

2.1.12.4.1. ჩარჩოვანი კარკასის გაანგარიშება 147
2.1.13. რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების მაგალითები 150
2.2. ქვისა და არმოქვის კონსტრუქციები 160
2.2.1. ზოგადი ცნობები 160
2.2.2. ქვისა და არმოქვის კონსტრუქციების მასალები 160
2.2.3. აგურისა და ქვის ბლოკების წყობა 163
2.2.4. დაუარმატურებელი წყობის სიმტკიცე და დეფორმაციულობა 164
2.2.5. ქვის წყობის კონსტრუქციების გაანგარიშება ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით 167
2.2.5.1. ცენტრალური კუმშვა 167
2.2.5.2. გარეცენტრული კუმშვა 168
2.2.5.3. ადგილობრივი კუმშვა (თელვა) 169
2.2.6. დაარმატურებული ქვის წყობის (არმოქვის) კონსტრუქციები 170
2.2.6.1. ბადეებით დაარმატურებული წყობა 172
2.2.6.2. გრძივი ღეროებით დაარმატურებული წყობა 173
2.2.6.3. კომპლექსურად დაარმატურებული წყობა 174
2.2.6.4. გარსაკრავით გაძლიერებული წყობა 175
2.2.7. ქვის კონსტრუქციების გაანგარიშების მაგალითები 175
ლიტერატურა თავი 2-სათვის 180
თავი 3. ლითონის კონსტრუქციები 181
3.1. ლითონის კონსტრუქციები გამოყენების სფერო 181
3.2. ლითონის კონსტრუქციების დადებითი და უარყოფითი თვისებები 181
3.3. მასალების ლითონის კონსტრუქციებისათვის 183
3.3.1. ფოლადი 183
3.3.2. ფოლადის სიმტკიცე და დეფორმირება 183
3.3.3. ფოლადების ქიმიური შედგენილობა (მარკა) და პირობითი აღნიშნები 185
3.3.4. ალუმინის შენადნობები 188
3.4. ლითონის კონსტრუქციების გაანგარიშების ძირითადი დებულებები 189
3.4.1. ცენტრალურად გაჭიმული და ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტები 191
3.4.2. ღუნვადი ელემენტები 194
3.4.3. გარეცენტრულად გაჭიმული და გარეცენტრულად შეკუმშული ელემენტები 199
3.5. ლითონის ნაკეთობათა სორტამენტი 201
3.6. ლითონის ელემენტებისა და კონსტრუქციების შეერთებები 204
3.6.1. შედუღებით შეერთება 204
3.6.2. ჭანჭიკებით შეერთება 206
3.7. ლითონის ღუნვადი ელემენტები. კოჭები და კოჭოვანი კონსტრუქციები 210
3.7.1. ამწისქვეშა კოჭები 211
3.7.2. კოჭოვანი უჯრედი 212
3.7.3. ფოლადის კოჭების გაანგარიშების საფუძვლები 214
3.7.3.1. კოჭების გაანგარიშება სიმტკიცეზე 215
3.7.3.2. გაანგარიშება საერთო მდგრადობაზე 217

3.7.3.3. გაანგარიშება ადგილობრივ მდგრადობაზე 217
3.7.3.4. გაანგარიშება დეფორმაციების მიხედვით 217
3.8. ფოლადის შეკუმშული ელემენტები 219
3.8.1. შეკუმშული ელემენტების გაანგარიშება 221
3.9. ფოლადის გაჭიმული ელემენტები 225
3.10. ფოლადის წამწეები 226
3.10.1. ფოლადის წამწის კონსტრუქციული თავისებურებები 226
3.10.2. ფოლადის წამწის გაანგარიშების საფუძვლები 233
3.11. ლითონის კონსტრუქციების გაანგარიშების მაგალითები 235
ლიტერატურა თავი 3-სათვის 243
თავი 4. ხის და პლასტმასის კონსტრუქციები 244
4.1. ხის კონსტრუქციები 244
4.1.1. ხის მასალის დადებითი და უარყოფითი თვისებები 245
4.1.2. მოთხოვნები მშენებლობაში გამოყენებული ხის კონსტრუქციებისადმი 245
4.1.3. ხის მასალის მექანიკური მახასიათებლები 246
4.1.4. ხის ელემენტების გაანგარიშების პრინციპები 249
4.1.4.1. ცენტრალურად გაჭიმული და ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტები 249
4.1.4.2. ღუნვადი ელემენტები 250
4.1.4.3. გარეცენტრულად გაჭიმული და გარეცენტრულად შეკუმშული ელემენტები 252
4.1.5. კონსტრუქციების ელემენტების შეერთება 254
4.1.5.1. შეერთება დაწებებით 255
4.1.5.2. შეერთება წირწკიმალით 256
4.1.5.3. შეერთება ჭდობით (ჩაჭრით) 258
4.1.6. ხის და ხე-ლითონის კონსტრუქციები 260
4.1.6.1. განივ ღუნვაზე მომუშავე ხის კოჭები 264
4.1.6.2. კუმშვაზე მომუშავე ხის კონსტრუქციები. სვეტები 269
4.1.6.3. ნივნივის კონსტრუქციები 273
4.1.6.4. ხის ღეროვანი სისტემები. წამწეები 275
4.1.6.5. ხე-ლითონის წამწეები მთლიანი ძელების ზედა სარტყლით 278
4.1.6.6. ხე-ლითონის წამწეები ხის დაწებებული ზედა სარტყლით 281
4.1.6.7. დაწებებული ხის თაღების კონსტრუქციები 284
4.1.6.8. დაწებებული ხის ჩარჩოები 286
4.1.6.9. ხის ბრტყელი კონსტრუქციების სივრცითი სიხისტის უზრუნველყოფა 290
4.1.6.10. ხის სივრცითი კონსტრუქციები 291
4.1.6.10.1. ქარგილ-ბადურა კამარები 291
4.1.6.10.2. გუმბათოვანი დახურვის კონსტრუქცია 294
4.1.6.11. ხის კონსტრუქციების გაძლიერების მეთოდები 296
4.2. პლასტმასების კონსტრუქციები 297
4.2.1. შემომფარგვლელი კონსტრუქციები პლასტმასების გამოყენებით 299

4.2.2. მინაპლასტის დიდმალიანი თაღი ..... 300
4.2.3. პნევმატიკური სამშენებლო კონსტრუქციები 301
4.3. ხის კონსტრუქციების გაანგარიშების მაგალითები 307
ლიტერატურა თავი 4-სათვის 320
დანართები 321

წიგნი დაიბეჭდა გამომცემლობა "საჩინო"-ში
ელ.ფოსტა: sachino64@mail.ru
მობ.: 593 99 34 88