

ლევან ფირყულაშვილი

შენობა-ნაგებობების გადახურვის ახალი ტიპის წინასწარ  
დაძაბული რეგულარული (სტრუქტურული) სივრცითი  
კონსტრუქციის გაანგარიშება და კონსტრუირება

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის  
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
თბილისი, 0175, საქართველო  
მარტი, 2013 წელი

საავტორო უფლება © 2013, ფირყულაშვილი ლევანი, 2013

# საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

## სამშენებლო ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავცანით ფირყულაშვილი ლევანის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „შენობა-ნაგებობების გადახურვის ახალი ტიპის წინასწარ დაძაბული რეგულარული (სტრუქტურული) სივრცითი კონსტრუქციის განგარიშება და კონსტრუირება“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

### თარიღი

ხელმძღვანელები: სრული პროფ. ინგუმა მშვენიერაძე

---

ასოც. პროფ. ბიჭიკო სურგულაძე

რეცენზენტები: სრული პროფ. კონსტანტინე ჩხიკვაძე

---

ასოც. პროფ. შახი ბაქანიძე

---

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2013

ავტორი: ფირყულაშვილი ლევანი

დასახელება: „შენობა-ნაგებობების გადახურვის ახალი ტიპის  
წინასწარ დამაბული რეგულარული (სტრუქტურული)  
სივრცითი კონსტრუქციის გაანგარიშება და  
კონსტრუირება“

ფაკულტეტი : სამშენებლო ფაკულტეტი

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: თარიღი

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ  
ზემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის  
შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების  
უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

---

ავტორის ხელმოწერა

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

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

ვუძღვნი მამის ხსოვნას...

## რეზიუმე

შენობა-ნაგებობების გადახურვის სივრცით-ღეროვანი სამშენებლო კონსტრუქციების, კერძოდ, რეგულარული (სტრუქტურული) სისტემების როლი მნიშვნელოვანი ნაწილია არქიტექტურული შემოქმედებისა, ამიტომ სპეციალური კვლევების სფეროში და ექსპერიმენტალურ გამოკვლევებში რეგულარულ (სტრუქტურულ) სისტემების არქიტექტურულ ფორმებს ძირითადი როლი ენიჭება, ხოლო არქიტექტურულ-სამშენებლო პრაქტიკაში ეს მიმართულება მნიშვნელოვანია დიდძალიანი ნაშენების პროექტირებისას.

ასაწყობი გარსების კონსტრუქციების ფართოდ გამოყენება სამშენებლო პრაქტიკაში დაკავშირებულია მონტაჟის მეთოდის გაუმჯობესებასთან, კონსტრუქციის დამზადების და ტრანსპორტირების გაადვილებასთან, მასალის მინიმალურ გამოყენებასთან. ამ საკითხების წარმატებით გადაწყვეტა ჯამში მოგვცემს საერთო დანახარჯების მნიშვნელოვან ეკონომიას.

რეგულარული (სტრუქტურული) სისტემების მშენებლობის თანამედროვე დონე, რომელიც წარმოადგენს საინჟინრო კონსტრუქციებისა და მექანიზმების სინთეზს, ვერ აკმაყოფილებს მის მიმართ წაყენებულ მოთხოვნებს, რადგან არ არის ჩამოყალიბებული ერთიანი - საერთო თეორია, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელი იქნება საკვლევი კონსტრუქციების სისტემური ანალიზის ჩატარება მათი განგარიშებიდან კლასიფიკაციამდე. არასაკმარისადაა დამუშავებული კონსტრუქციული გადაწყვეტები მაღალი ტექნიკურ-ეკონომიური და საექსპლუატაციო მაჩვენებლების მხრივ; ბოლომდე არ არის განსაზღვრული მათი გამოყენების სფერო და პერსპექტივაში გამოსაყენებელი სფეროები.

ზემოთ აღწერილი მდგომარეობა ართულებს ზოგადად გარსებისა და რეგულარული (სტრუქტურული) კონსტრუქციების დაპროექტებასა

და მშენებლობას, ამიტომ მნიშვნელოვანია ისეთი მეთოდოლოგიის დამუშავება, რომელიც აღნიშნული კონსტრუქციების განხორციელების საშუალებას მოგვცემს საქართველოს სპეციფიკური პირობების (სეისმურად აქტიური რაიონი) გათვალისწინებით.

სივრცითი რეგულარული აგებულების სისტემები - თანამედროვე ეფექტური კონსტრუქციებია. მათი ფუნქციონალური, ტექნიკური და მხატვრულ-ესთეტიკური თვისებები იძლევა ფართო გამოყენების პერსპექტივის გარანტიას. აგრეთვე, მათი გამოყენება დიდმალიან შენობა-ნაგებობებში 20-30%-ით ამცირებს მასალის ხარჯს.

ნაშრომში აღწერილი არსებული რეგულარულ (სტრუქტურულ) კონსტრუქციების უარყოფით მხარეს წარმოადგენს ის, რომ სტრუქტურული ფილის პირამიდების ღეროებში ძალოვანი ფაქტორების კლება ხდება არათანაბრად, ხოლო წინასწარდაძაბვის მიზნით დიაგონალურად განლაებული ვანტების გამოყენებისას სტრუქტურული ფილის მიმაგრება ართულებს მის მონტაჟს, ასევე გართულებულია კონცენტრული მრავალკუთხედის ფორმის წინასწარდაძაბული მოქნილი ელემენტების გამოყენებისას კონსტრუქციის ელემენტებში ძალების რეგულირება, რის გამოც გართულებულია სტრუქტურული ფილის პირამიდების ღეროებში ძალოვანი ფაქტორების რეგულირება, რაც იწვევს შრომატევადობის გაზრდას, ზიდვის უნარისა და საიმედოობის შემცირებას.

წინამდებარე ნაშრომი, „შენობა-ნაგებობების გადახურვის ახალი ტიპის წინასწარ დაძაბული რეგულარული (სტრუქტურული) სივრცითი კონსტრუქციის გაანგარიშება და კონსტრუირება“, ეძღვნება ზემოაღნიშნული პრობლემების კომპლექსური გადაწყვეტის მცდელობას და, ამდენად, ვთვლით, რომ მასში დასმული საკითხები აქტუალურია.

**ნაშრომის მიზანს** წარმოადგენს „შენობა-ნაგებობების გადახურვის ახალი ტიპის წინასწარ დაძაბული რეგულარული (სტრუქტურული) სივრცითი კონსტრუქციის“, [დამუშავებულ ტექნიკურ გადაწყვეტილებაზე საქპატენტის მიერ გაცემულია პატენტი №P11625, სამრეწველო

საკუთრების ოფიციალური ბიულეტენი, ნომერი 4(368), 25.02.2013 წ.] გაანგარიშებისა და კონსტრუირების საკითხების დამუშავება.

ამ მიზნით განხილულია მრავალი სახის სტრუქტურული კონსტრუქციები, წარმოდგენილია მათი დადებითი და უარყოფითი მხარეები. ასევე შესწავლილია საზღვარგარეთ განხორციელებული ტიპური პროექტები და განვითარებული ქვეყნების მშენებლობის ტექნოლოგიის თანამედროვე დონე. მათი შესწავლის და ანალიზის შედეგების მიხედვით უნდა განვიხილოთ წინასწარდამაბული ახალი ტიპის რეგულარული (სტრუქტურული) კონსტრუქცია, რომელშიც უნდა გადაწყდეს და აღმოიფხვრას არსებულ კონსტრუქციების ტექნიკურ გადაწყვეტებში არსებული პრობლემები. ასევე დამუშავდეს მისთვის ახალი კონსტრუქციული გადაწყვეტები, გაანგარიშების მეთოდოლოგია, განისაზღვროს მისი პრაქტიკული ღირებულება და მოხდეს მისი ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტურობის შეფასება.

**ნაშრომის მეცნიერული სიახლე მდგომარეობს შემდეგში:** დამუშავებულია შენობა-ნაგებობების გადახურვის ახალი ტიპის წინასწარ დამაბული რეგულარული (სტრუქტურული) სივრცითი კონსტრუქცია, რომელშიც გადაწყვეტილია და აღმოიფხვრილია არსებულ კონსტრუქციების ტექნიკურ გადაწყვეტებში არსებული პრობლემები. ასევე დამუშავებულია ახალი კონსტრუქციული გადაწყვეტები და გაანგარიშების მეთოდოლოგია და განსაზღვრულია მისი პრაქტიკული ღირებულებები. ყოველივე ნათლად დასტურდება ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშების შედეგების ანალიზიდან.

**პრაქტიკული ღირებულება.** ჩატარებული თეორიული კვლევების, პრაქტიკული გამოცდილების, სამშენებლო ნორმებისა-წესების სრული დაცვის და რეკომენდაციების საფუძველზე დამუშავებული „ახალი ტიპის წინასწარდამაბული სივრცითი სტრუქტურული კონსტრუქცია“, მისი გაანგარიშების მეთოდოლოგია და ეკონომიკური ეფექტურობიდან გამომდინარე, გადახურვის ახალი ტიპის წინასწარდამაბული

რეგულარული (სტრუქტურული) სივრცითი კონსტრუქციის მშენებლობაში (პატენტი P11625) გამოყენება მიზანშეწონილია.

შემოთავაზებული კონსტრუქციის რეალიზაციისას უზრუნველყოფილი იქნება ელემენტების დამზადება და გამარტივებული მონტაჟი, შემცირდება მასალის ხარჯი და მშენებლობის ხანგრძლივობა. ამადღება კონსტრუქციის ზიდვის უნარი და ექსპლუატაციის დროს გაიზრდება მისი საიმედოობა.

**ნაშრომის აპრობაცია.** დისერტაციის ძირითადი შედეგები მოხსენებული იქნა:

– საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის „სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის“ დეპარტამენტის გაფართოებულ სამეცნიერო სემინარებზე (თბილისი 2011-2012 წ.წ.).

**პუბლიკაციები.** დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებულია 4 სამეცნიერო სტატია, მათ შორის საქპატენტის მიერ „გეგმაში ოთკუთხა ფორმის ნაგებობის გადახურვის (ახალი ტიპის) წინასწარდაძაბული სივრცითი (სტრუქტურული) კონსტრუქცია“, რომელზეც საქპატენტის მიერ გაცემულია პატენტი.

**ნაშრომის მოცულობა და სტრუქტურა.** ნაშრომი შედგება შესავლის, 5 თავის, ძირითადი დასკვნების გამოყენებული ლიტერატურის და დანართებისაგან.



## Summary

The role of spatial-stem roofing constructions, especially, regular (structural) systems is an important part in architecture, that's why, the major role is given to the architectural forms of regular (structural) systems in special research field and experimental studies and in architectural-building practice this direction is important for projecting large buildings.

Wide use of prefabricated membrane constructions in building practice is connected to improvement of installation method, simplification of preparation and transportation of the construction, minimal usage of materials. The successful resolution of these issues will result in a total cost savings.

Modern level of regular (structural) systems construction, which is the synthesis of engineering constructions and mechanisms, doesn't satisfy requirements because the unified – general theory has not been established, which gives us opportunity to conduct the systemic analysis of constructions to be studied, from calculation to classification. It is not sufficiently developed construction solutions in regards to high technical-economical exploitation parameters. There is not completely determined the field of their usage and fields to be used in perspectives. The above-described situation complicates projecting and building of membranes and regular (structural) constructions in general, that's why it is important to develop a methodology that will enable us to realize the above mentioned constructions considering specific conditions of Georgia (seismically active region).

Regular spatial structural systems – are modern effective constructions. Their functional, technical, and artistic - aesthetic qualities makes extensive use of perspective warranty. Also, their use in large buildings - buildings, reduces material costs with 20-30%

The negative part of regular (structural) constructions described in the work is the fact that decline of power factors in stems of structural plate pyramids has an irregular nature, and in using of diagonal versions for pre-strain purpose, attachment of structural plates complicates its installation, in addition, regulation of power in construction elements at time of using of pre-strained flexible elements of concentric polygon forms is complicated as well, which complicates regulation of power factors

in structural plate pyramid stems which causes increase of operating power, reduce of the ability to carry and reliability.

The present work “calculation and construction of a new type of building-construction roofing pre-strained regular (structural) spatial construction” is dedicated to the attempt of complex solution of the above-mentioned problems and thus we suppose that the issues given in it is actual.

The goal of the work is to work out the issues of calculation and construction of a new type of building-construction roofing pre-strained regular (structural) spatial construction (patent #P11625 on proposed technical solution, official bulletin of industrial property, # 4 (368), 25.02.2013 issued by Sakpatenti), processing calculation and construction issues.

For this purpose there are discussed many kind of structural constructions, their advantages and disadvantages. There are studied typical projects implemented abroad and modern level of building technology in developed countries. According to their study and analysis we must discuss a new type pre-strained regular (structural) construction, which must solve and eliminate problems existing in technical solutions of existing constructions. It should be also processed new constructive solutions, calculation methodology; there should be determined their practical value and evaluation of its technical-economic efficiency.

Scientific novelty of the work is the following: there is processed a new roofing pre-strained regular (structural) partial construction, which gives us the solution and elimination of problems existing in technical solutions of existing constructions. There are also processed new constructive solutions and calculation methodology there; there are determined its practical values there. This is clearly evidenced by calculation results of the technical - economic analysis.

Practical value. According to conducted theoretical studies, practical experience, in compliance with building rules and according to “new type pre-strained spatial structural construction” developed on the base of recommendations, based on calculation methodology and economic efficiency, usage of a new type pre-strained regular (structural) spatial construction in building (patent P11625) is appropriate.

During realization of a proposed construction there will be provided the

design of elements and simplified installation, reduced material costs and construction time. Ability to carry a construction will be enhanced and its reliability will be increased during operation.

Approbation of the work. The main results of the work were reported to:

- Advanced research seminar of "Civil and Industrial Building" Department of Georgian Technical University (Tbilisi 2011-2012).

Publications. Volume and structure of the work. The work contains of the introduction, 5 chapters, main conclusions, references and appendixes.

# შინაარსი

შესავალი .....	20
თავი 1. არსებული სივრცით–დეროვანი და რეგულარული აგებულების (სტრუქტურული) კონსტრუქციები .....	23
1.1 სივრცით–დეროვანი და რეგულარული აგებულების (სტრუქტურული) კონსტრუქციების ზოგადი მიმოხილვა და კლასიფიკაცია.....	23
1.2 რეგულარული (სტრუქტურული) კონსტრუქციების სახეობები (ტიპები).....	63
1.3 არსებული სივრცით–დეროვანი და რეგულარული (სტრუქტურული) კონსტრუქციების გაანგარიშების არსებული მეთოდების მოკლე მიმოხილვა.....	67
1.3.1 შენიშვნები გარსების ანგარიშის თეორიის შესახებ.....	67
1.3.2 რეგულარული-სტრუქტურული გადახურვების დამაბულ- დეფორმირებული მდგომარეობის ანალიზი.....	72
1.4 წინასწარდამაბული კონსტრუქციების მიმოხილვა და კლასიფიკაცია.....	74
1.5 შემოთავაზებული სტრუქტურული კონსტრუქციის პროტოტიპების კონსტრუქციული და ტექნიკური გადაწყვეტების მოკლე მიმოხილვა.....	99
თავი 2. გადახურვის ახალი ტიპის გადახურვის წინასწარდამაბული რეგულარული (სტრუქტურული) სივრცითი კონსტრუქცია.....	105
2.1 შემოთავაზებული კონსტრუქციის ტექნიკური გადაწყვეის აღწერა.....	17905
2.2 გადახურვის ახალი ტიპის წინასწარდამაბული რეგულარული (სტრუქტურული) კონსტრუქციის გეომეტრიული პარამეტრებისა და ოპტიმალური სიმაღლის დადგენა.....	17913

თავი 3. შემოთავაზებული კონსტრუქციის გაანგარიშების საკითხები.....	119
3.1 კონსტრუქციის ელემენტის სიხისტის მატრიცა.....	119
3.2 კონსტრუქციის სიხისტის ზოგადი მატრიცა.....	121
3.3 გაანგარიშება ჩვეულებრივ (კლიმატურ) ტემპერატურულ ზემოქმედებაზე.....	123
3.4 შემოთავაზებული ახალი ტიპის კონსტრუქციის ტემპერატურულ ზემოქმედებაზე გაანგარიშება (შესავალი).....	125
3.4.1 ამაღლებული ტემპერატურის დროს გადაადგილებათა მეთოდის მატრიცული არაწრფივი განტოლების შედგენა.....	126
3.4.2 სტრუქტურული კონსტრუქციის ელემენტის (ღეროს) მყისი სიხისტის განსაზღვრა .....	129
3.5 შემოთავაზებული ახალი ტიპის წინასწარდამაბული სტრუქტურული კონსტრუქციის გაანგარიშების იდეა.....	136
3.6 რეგულარული (სტრუქტურული) სისტემების მოქნილი ელემენტების გაანგარიშება დიფერენცირებული სქემის გამოყენებით.....	143
3.6.1 ჩაკეტილი კონტურის მქონე ბაგროვანი საკოჭის გაანგარიშება...	143
3.6.2 წინასწარდამაბვის ძალის სიდიდის დანაკარგების განსაზღვრა ახალი ტიპის კონსტრუქციის საკოჭის ცილინდრული საგორავის პოჭოქიკებში.....	148
3.7 სეისმურ რაიონებში სტრუქტურული კონსტრუქციების გაანგარიშების განსაკუთრებულობები (ზოგადი მიმოხილვა).....	151
3.7.1 ვერტიკალური სეისმური დატვირთვის განსაზღვრა.....	154
3.7.2 ჰორიზონტალური სეისმური დატვირთვის განსაზღვრა .....	157
თავი 4. შემოთავაზებული და ტიპური კონსტრუქციების აგების ტექნოლოგია.....	159
თავი 5. შემოთავაზებული და ტიპური კონსტრუქციების ტექნიკურ– ეკონომიკური შედარება .....	166
დასკვნა .....	177
გამოყენებული ლიტერატურა.....	179

დანართი.....	183
დანართი 1.....	184
დანართი 2.....	195
დანართი 3.....	203

## ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1-1 – ზრრულ მდგომარეობათა მეთოდის დახასიათება.....	68
ცხრილი 5-1 – მასალების ხარჯი ტიპურ და შემოთავაზებულ კონსტრუქციებზე.....	168
ცხრილი 5-2 – შემოთავაზებული და ტიპური კონსტრუქციების მასალის ხარჯის ნატურალური და ერთეულის ღირებულება.....	169
ცხრილი 5-3–შემოთავაზებული და ტიპური კონსტრუქციების დამზადებისა, მონტაჟისა და სახურავის მოწყობის სამუშაოების დანახარჯები .....	171
ცხრილი 5-4 –შემოთავაზებული და ტიპური კონსტრუქციების სატრანსპორტო დანახარჯები (განიხილება კონსტრუქციის ტრანსპორტირება 500 კმ მანძილზე).....	173
ცხრილი 5-5 –ტიპურ და შემოთავაზებულ კონსტრუქციების საერთო (ჯამური) ღირებულება (ლ/კვ.მ.).....	175

## ნახაზების ნუსხა

ნახ.1.1 სტრუქტურული კონსტრუქციის მონტაჟი .....	25
ნახ.1.2 რეგულარული დეროვანი სისტემა (გეგმა, ჭრილი) .....	29
ნახ. 1.3 „მეროს“ სისტემის სტრუქტურული კონსტრუქციის კვანძი .....	32
ნახ. 1.4 „ოქტაპლატის“ სისტემის სფერული კვანძი .....	33
ნახ.1.5 „ტრიოდეტიკის“ სისტემის კვანძი .....	35
ნახ.1.6 სტრუქტურული კონსტრუქციის მონტაჟი სივრცითი წამწეებით .....	37
ნახ.1.7 SDC-ის სისტემის კვანძი და საკვანძო ელემენტები .....	38
ნახ. 1.8 „ტიუბაკორდის“ სისტემა, შედგენილი მილოვანი წამწეებისაგან .....	39
ნახ.1.9 სტრუქტურული კონსტრუქციის კვანძი, შესრულებული კვადრატული მილებისაგან .....	41
ნახ.1.10 იაპონია, თემატური პავილიონი .....	42
ნახ. 1.11 საკვანძო ელემენტი, კუთხვილიანი დეროვებით აღჭურვილი ბურთულა .....	43
ნახ.1.12 საკვანძო ელემენტი, შედგენილი ფურცლოვანი დეტალებით .....	44
ნახ.1.13 სივრცითი კონსტრუქციის ИФИ-ის სისტემის ასაწყობი კვანძი .....	44
ნახ. 1.14 ჩეხეთში დამუშავებული სტრუქტურული კონსტრუქციის კვანძის ტიპი .....	46
ნახ. 1.15 სამწახნაგა სივრცითი და ბრტყელი გადასაზიდი წამწეები .....	51
ნახ.1.16. სტრუქტურული კონსტრუქციის კრისტალების ტიპები .....	64
ნახ.1.17 ხის გემების წინასწარი დამაბვა ქერილის თოკების საშუალებით .....	75
ნახ.1.18 ქ. მოსკოვი, სახელმწიფო უნივერსიტეტის გადახურვა მსუბუქი თაღებით და წინასწარდამაბული სიმების გამოყენებით .....	76
ნახ.1.19 წინასწარი დამაბვის სქემები კოჭოვან კონსტრუქციებში .....	82
ნახ. 1.20 წინასწარდამაბული ბრტყელი კონსტრუქციების სქემები .....	88
ნახ. 1.21 ბრტყელი კონსტრუქციების ცალკეული ელემენტების დამაბული მდგომარეობა წინასწარი დამაბვის შემდეგ .....	90
ნახ. 1.22 კიდული გადახურვები .....	92
ნახ. 1.23 დადებითი და უარყოფითი სიმრუდის სივრცითი კიდული სისტემები (გარსები) .....	94
ნახ. 1.24 მემბრანული კონსტრუქციები, შესრულებული ბაგირების წინასწარი დამაბვით ...	95
ნახ.1.25 წინასწარდამაბული გადახურვის სტრუქტურული სივრცითი კონსტრუქცია (პროტოტიპი-1), გეგმა და ჭრილი .....	99



ნახ.1.26 წინასწარდამაბული გადახურვის სტრუქტურული სივრცითი კონსტრუქცია (პროტოტიპი-2), გეგმები და ჭრილი .....	101
ნახ.1.27 სტრუქტურული კონსტრუქციის სივრცითი ღეროვანი პირამიდა და კვანძი-I .....	102
ნახ.1.28 სტრუქტურული კონსტრუქციის კვანძები და საკვანძო ელემენტი .....	103
ნახ.1.29 სტრუქტურული კონსტრუქციის სივრცით ღეროვან პირამიდებზე მოძრავი ბლოკის განთავსების კვანძი .....	104
ნახ.2.1 გადახურვის სივრცითი კონსტრუქციის გეგმა .....	107
ნახ.2.2. გადახურვის სივრცითი კონსტრუქციის წინასწარდასაძაბავ ელემენტების განლაგების გეგმა ქვედა სარტყლის დონეზე .....	108
ნახ.2.3. გადახურვის სივრცითი კონსტრუქციის წინასწარდასაძაბავი ელემენტების განლაგების გეგმის ფრაგმენტი-1 .....	108
ნახ.2.4. გადახურვის სივრცითი კონსტრუქციის წინასწარდასაძაბავი ელემენტების განლაგების გეგმის ფრაგმენტი-2 .....	108
ნახ.2.5. გადახურვის სივრცითი კონსტრუქციის განივი და დიაგონალური ჭრილები.....	109
ნახ.2.6. გადახურვის სივრცითი კონსტრუქციის ღეროვანი პირამიდის გეგმა .....	109
ნახ.2.7. გადახურვის სივრცითი კონსტრუქციის ღეროვანი პირამიდის ჭრილი .....	109
ნახ.2.8. გადახურვის სივრცითი კონსტრუქციის ღეროვანი პირამიდის ზედა ღეროების შერთების კვანძი.....	110
ნახ.2.9. გადახურვის სივრცითი კონსტრუქციის ღეროვანი პირამიდის წვეროზე განთავსებული მიმმართველი ბლოკის კვანძი .....	110
ნახ.2.10. გადახურვის სივრცითი კონსტრუქციის ღეროვანი პირამიდის წვეროზე განთავსებული მიმმართველი ბლოკის კვანძი გეგმაში .....	110
ნახ.2.11. გადახურვის სივრცითი კონსტრუქციის ღეროვანი პირამიდის წვეროზე განთავსებული კრონშტეინის კვანძი .....	111
ნახ.2.12. გადახურვის სივრცითი კონსტრუქციის ღეროვანი პირამიდის წვეროზე განთავსებული კრონშტეინის ხედი „ბ-ბ“ .....	111
ნახ.2.13. ყაუშის ხედი ერთი მხრიდან განთავსებული სარკებით, ქანჩებით, ღეროვანი ელემენტითა და მილტუჩით .....	111
ნახ.2.14. ყაუშის ხედი ორივე მხრიდან განთავსებული წყვილი სარკებით, ქანჩებით, ღეროვანი ელემენტებითა და მილტუჩებით .....	112
ნახ.2.15. ყაუშის გეგმა (ფრაგმენტი) ერთი მხრიდან განთავსებული სარკებით,	

ქანჩებით, ღეროვანი ელემენტითა და მილტუჩით. მუშაობის პრინციპი .....	112
ნახ.2.16. ყაუშის გეგმა (ფრაგმენტი) ორივე მხრიდან განთავსებული წყვილი სარჩით, ქანჩებით, ღეროვანი ელემენტებითა და მილტუჩებით. მუშაობის პრინციპი .....	112
ნახ.2.17. გადახურვის შეაფრებული სივრცითი კონსტრუქციის განივი ჭრილი .....	113
ნახ.2.18. გადახურვის შეაფრებული სივრცითი კონსტრუქციის განივი ჭრილი და ფრაგმენტი გეომეტრიული პარამეტრების დასადგენად.....	115
ნახ. 3.1. არადეფორმირებული სქემა ღეროს სიხისტის მატრიცის ასაგებად .....	120
ნახ.3.2. გრძივი ძალების განაწილება სტრუქტურული გადახურვის ელემენტებში (ღეროებში) .....	124
ნახ. 3.3. გარეცენტრულად შეკუმშული ღეროების გაანგარიშებისთვის გეომეტრიული მახასიათებლები სანგარიშო მოდელისთვის .....	132
ნახ.3.4. ჩაკეტილი კონტურის მქონე ბაგროვანი საკოჭის საანგარიშო სქემა .....	144
ნახ.3.5. უწყვეტი ბაგროვანი საკოჭის ცილინდრულ საგორავზე შემოტარების (მოწყობის) სქემა, საკოჭის დაუძაბავი (უწყვეტი ხაზით) და დამაბული (წყვეტილი ხაზით) მდგომარეობის შემთხვევაში .....	149
ნახ.3.6. დისკრეტული საანგარიშო სისტემები ვერტიკალურ სეისმურ ზემოქმედებებზე სტრუქტურების გაანგარიშებისას .....	155
ნახ.3.7. სტრუქტურული კონსტრუქციებით გადახურული შენობა-ნაგებობების საანგარიშო სქემა ჰორიზონტალურ სეისმურ ზემოქმედებებზე გაანგარიშებისას .....	158
ნახ. 4.1. გადახურვის ბლოკის მონტაჟი ორი ამწით .....	161
ნახ. 4.2. შემოთავაზებული სტრუქტურული გადახურვის ბლოკის მონტაჟი ორი ამწით .....	163

## მადლიერება

სადისერტაციო ნაშრომის შესრულებისას გაწეული კონსულტაციისთვის და კვლევისთვის საჭირო მასალებით დახმარებისთვის განსაკუთრებულ მადლობას ვუხდით მეცნიერ-ხელმძღვანელს სრულ პროფესორს ბ-ნ ინგუმა მშვენიერაძეს.

ასევე უღრმეს მადლობას ვუხდით მეცნიერ-ხელმძღვანელს ასოც. პროფესორს ბ-ნ ბექა სურგულაძეს, ჩემს მიმართ გაწეული ღვაწლისა და დახმარებისათვის.

მადლობას ვუხდით სრულ პროფესორს ბ-ნ კონსტანტინე ჩხიკვაძეს და ასოც. პროფესორს ბ-ნ შახი ბაქანიძეს ნაშრომზე მუშაობის დროს კონსულტაციებისათვის.

აგრეთვე მადლიერება მინდა გამოვხატო ყველა იმ პიროვნების მიმართ ვინც დახმარება გამიწია ნაშრომზე მუშაობის პროცესში და მძღვედა საგულისხმო შენიშვნებსა და რჩევებს.

## შესავალი

შენობა-ნაგებობების გადახურვის სივრცით-ღეროვანი სამშენებლო კონსტრუქციების, კერძოდ, რეგულარული (სრტუქტურული) სისტემების როლი მნიშვნელოვანი ნაწილია არქიტექტურული შემოქმედებისა, ამიტომ სპეციალური კვლევების სფეროში და ექსპერიმენტალურ გამოკვლევებში რეგულარულ (სრტუქტურულ) სისტემების არქიტექტურულ ფორმებს ძირითადი როლი ენიჭება, ხოლო არქიტექტურულ-სამშენებლო პრაქტიკაში ეს მიმართულება მნიშვნელოვანია დიდმალიანი ნაშენების პროექტირებისას.

მას შემდეგ რაც ცხადი გახდა, რომ არქიტექტურის საგანს წარმოადგენს არა რაიმე გარსი, არამედ სივრცე მის შიგნით, დინამიკური კონსტრუქციების როლი შესამჩნევად გაიზარდა.

ცივილიზაციის განვითარებასთან ერთად იზრდება მოთხოვნილება დიდმალიან სამრეწველო და საზოგადოებრივ შენობებზე, რომელთა გადახურვაშიც ბრტყელი კონსტრუქციების პარალელურად სულ უფრო ხშირად გამოიყენება სივრცითი კონსტრუქციები. ასეთი გადახურვები თავიანთი სივრცითი მუშაობის წყალობით იძლევიან მასალის დიდ ეკონომიას, კონსტრუქციის სამშენებლო სიმაღლის და შენობის მოცულობის შემცირების საშუალებას. მათ არ გააჩნიათ დატვირთების გადაცემის საფეხუროვანი სისტემა, რადგან შერწყმულია როგორც მზიდი ასევე შემომზლუდავი ფუნქციები, რაც დიდი მალეების გადახურვის საშუალებას იძლევა. ამასთან დაკავშირებით დიდ ყურადღებას იპყრობს ხისტი სივრცითი ბადისებრი და რეგულარული (სრტუქტურული) კონსტრუქციები. კერძოდ, სხვადასხვა სახის გარსები, გუმბათები და სტრუქტურები; აგრეთვე კომპლექსურ - კომბინირებული ბადისებრი გარსები. ასეთ კონსტრუქციებს განსაკუთრებულ გამომსახველობას ანიჭებს მისი მრავალფეროვანი კონფიგურაციების არსებობა, რაც სასიამოვნო ინტერიერების და ექსტერიერების მოწყობის შესაძლებლობას იძლევა.

სივრცითი კონსტრუქციების თაღოვან და გუმბათოვან ნაგებობათა პრიორიტეტების გამოყენებას ხუროთმოძღვრები მიმართავდნენ ჯერ კიდევ უძველეს დროში, მაგრამ სამშენებლო ტექნიკის დაბალი დონე, ადგილობრივი მასალის მცირე სიმტკიცე, სამშენებლო მექანიკის კანონების არასრულყოფილი ცოდნა და სხვა, ცხადია საგრძნობლად ზღუდავდნენ გარსების წინამორბედების (პროტოტიპების) განვითარებას.

საქართველოში ზოგადად გარსების წინამორბედად შეიძლება ჩაითვალოს უძველესი დარბაზული ტიპის საცხოვრებელი სახლის გადახურვის კონსტრუქცია „გვირგვინი“. ის თავის მხრივ სათავეებს იღებს ძველი იბერიულ-კოლხური ანტიკური უჯრედოვანი გადახურვებიდან, რომელიც შედგებოდა ურთიერთზე დალაგებული მორებისაგან (ან დამუშავებული განივი კვეთის მქონე კოჭებისაგან) და გადაიხურებოდა „გვირგვინის“ ტიპის პირამიდული სახურავით. კოჭების რიგები კეთდებოდა საფეხუროვანი ნაშვერებით, რომლებიც თანდათანობით ამცირებდნენ გადასახურავ მალს და სივრცეს, ხოლო ზედა წვეროში ტოვებდნენ ხვრელს კვამლის სადენად. ხის გარდა გვირგვინოვან გადახურვებს იყენებდნენ ქვის ვარიანტშიც.

ასაწყობი გარსების კონსტრუქციების ფართოდ გამოყენება სამშენებლო პრაქტიკაში დაკავშირებულია მონტაჟის მეთოდის გაუმჯობესებასთან, კონსტრუქციის დამზადების და ტრანსპორტირების გაადვილებასთან, მასალის მინიმალურ გამოყენებასთან. ამ საკითხების წარმატებით გადაწყვეტა ჯამში მოგვცემს საერთო დანახარჯების მნიშვნელოვან ეკონომიას.

რეგურალური (სტრუქტურული) სისტემების მშენებლობის თანამედროვე დონე, რომელიც წარმოადგენს საინჟინრო კონსტრუქციებისა და მექანიზმების სინთეზს, არ აკმაყოფილებს მის მიმართ წაყენებულ მოთხოვნებს, რადგან არ არის ჩამოყალიბებული ერთიანი საერთო სეისმომდეგობის თეორია, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელი იქნება საკვლევი კონსტრუქციების სისტემური ანალიზის

ჩატარება მათი გაანგარიშებიდან კლასიფიკაციამდე. არასაკმარისადაა დამუშავებული კონსტრუქციული გადაწყვეტები მაღალი ტექნიკურ-ეკონომიური და საექსპლუატაციო მაჩვენებლების მხრივ; ბოლომდე არ არის განსაზღვრული მათი გამოყენების სფერო და პერსპექტივაში გამოსაყენებელი სფეროები.

ზემოთ აღწერილი მდგომარეობა ართულებს ზოგადად გარსებისა და რეგურალური (სტრუქტურული) კონსტრუქციების დაპროექტებასა და მშენებლობას, ამიტომ მნიშვნელოვანია ისეთი მეთოდოლოგიის დამუშავება, რომელიც საშუალებას მოგვცემს აღნიშნული კონსტრუქციების განხორციელებას საქართველოს სპეციფიკური პირობების (სეისმურად აქტიური რაიონი) გათვალისწინებით.

ამრიგად, სივრცითი რეგულარული აგებულების სისტემები - თანამედროვე ეფექტური კონსტრუქციებია. მათი ფუნქციონალური, ტექნიკური და მხატვრულ-ესთეტიკური თვისებები იძლევა ფართო გამოყენების პერსპექტივის გარანტიას. აგრეთვე, მათი გამოყენება დიდმალიან შენობა-ნაგებობებში 20-30%-ით ამცირებს მასალის ხარჯს.

## თავი 1. არსებული სივრცით–ღეროვანი და რეგულარული აგებულების (სტრუქტურული) კონსტრუქციები

### 1.1. სივრცით–ღეროვანი და რეგულარული აგებულების (სტრუქტურული) კონსტრუქციების ზოგადი მიმოხილვა და კლასიფიკაცია

ახალმა არქიტექტურულმა ფორმების შექმნამ, რომელთა აგება (წარმოქმნა) წარმოებს მრავალჯერადად განმეორებადი ელემენტების გამოყენებით, მიგვიყვანეს ახალი სივრცითი ღეროვანი სისტემების შექმნამდე. რეგულარული (სტრუქტურული) კონსტრუქციები ყველაზე თანამედროვე მონტაჟის მეთოდების გამოყენების შესაძლებლობას იძლევა და რიგ უპირატესობებს ფლობენ, რომელთა სწორი გამოყენებით მიიღწევა ამ სისტემათა ეკონომიკური ეფექტურობის ამაღლება.

გეომეტრიული აგებულებით რეგულარული (სტრუქტურული) კონსტრუქციები ლითონის კრისტალური მესერის მსგავსია და სივრცული სისტემის ტიპური მაგალითია. ნებსითად მიმართული ძალა, მოდებული ნებისმიერი სტრუქტურის კვანძზე, პირველ რიგში იწვევს ძალვას სივრცულად განლაგებულ ღეროებში, მომიჯნავე კვანძთან. სტრუქტურულ სისტემას არ გააჩნია ლითონის კონსტრუქციებისათვის ტრადიციული გრძივები და კავშირები. მათ ფუნქციებს ასრულებენ სასარტყელო ბადეების და დახრილი გისოსების მზიდი ღეროები.

შეყურსული ძალების მოქმედების შემთხვევაში ღეროები ქმნიან დრეკად ჩამაგრებებს კვანძებში, რითაც მალღდება სისტემის მდგრადობა.

სტრუქტურები სივრცულად მუშაობისა და ურთიერთგადამკვეთი წამწეების წყალობით, გამოირჩევიან ამაღლებული სიხისტით და ამიტომ სიმაღლის ფარდობა მალთან აღწევს  $H/L=1/16$ ;  $1/25$  ნაცვლად,  $1/6$ ;  $1/8$ -ისა (ა. მაგ. ბრტყელი წამწეებისთვის). ერთსართულიან სამრეწველო შენობებში, რომელთა წამწეების ქვედა სარტყლის ნიშნული 8 მეტრის რიგისაა, ზემოთ აღნიშნული მონაცემები მნიშვნელოვნად ამცირებს შენობის მოცულობის და მასთან დაკავშირებულ საექსპლუატაციო ხარჯებს.

დიდ მალიანი კონსტრუქციებისათვის სტრუქტურები გამოიყენება სვეტების გამსხვილებული ბადით, რომელზეც გადასვლა პროგრესულია.

ასეთი სქემების უპირატესობა მდგომარეობს თავისუფალ დაგეგმარებაში ტექნოლოგიის შეცვლისას, აგრეთვე ფართობის (მოედნის) ეკონომიურ გამოყენებაში.

სამრეწველო დანიშნულების შენობების რეგულარულ (სტრუქტურულ) კონსტრუქციებით გადახურვისას კიდული ტრანსპორტის პრობლემა გადაიჭრება უფრო იოლად, ვიდრე ჩვეულებრივ გადახურვებში. კვანძთა ხშირი ბადე ტელფერების, კონვეირების წამწეთა ხაზების ნებისმიერი მიმართულებით შეკიდების საშუალებას იძლევა მინიმალური დანახარჯებით.

გადახურვის საკუთარი წონისგან კონსტრუქციაზე მოქმედი დატვირთვის შემცირება არის თანამედროვე მშენებლობის ერთ-ერთი აქტუალური ამოცანა.

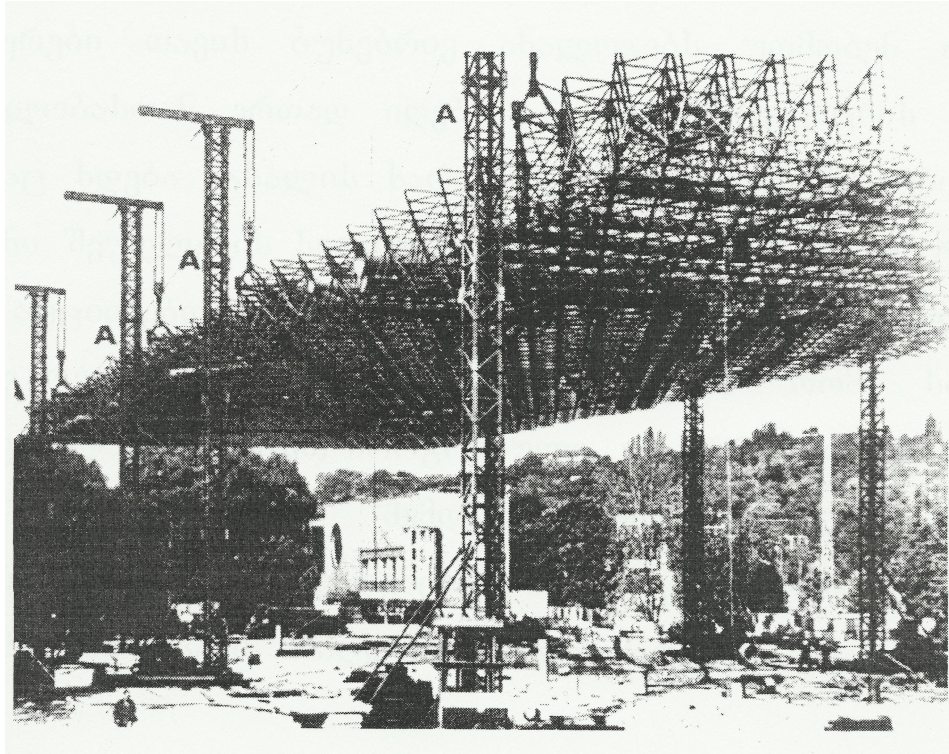
გამოთვლებიდან და გამოცდილებიდან მკაფიოდ ჩანს, რომ ეკონომიკური თვალსაზრისით სამრეწველო მშენებლობაში სახურავის ქაფბეტონით დათბუნებულ რკინაბეტონის 6 და 12 მეტრიანი მალის ფილებს არ შეუძლიათ კონკურენცია გაუწიონ ქაფპლასტით დათბუნებულ ფენილს.

სახურავის მალის შემცირება  $6 \div 12$  მ-დან  $2 \div 3$  მ-მდე სტრუქტურაში, ქმნის უგრძობო ლითონის ფენილისა და მემბრანების გამოყენების პირობებს.

კვანძების და ღეროვანი ელემენტების ერთტიპიულობა გვამლევს საშუალებას გადავიდეთ ლითონის კონსტრუქციების ნაკადურ წარმოებაზე, სხვადასხვა დანიშნულების შენობებისთვის, ქარხნული დამზადების მკვეთრად გაიაფებით. ნაკადური წარმოება იძლევა ტექნოლოგიის გაუმჯობესებას და კონსტრუქციათა დამზადების სიზუსტის ამაღლების საშუალებას.



სამშენებლო მოედანზე (მშენებლობის ადგილზე) სტრუქტურული კონსტრუქციები უმეტეს შემთხვევაში გადააქვთ ცალკეული ელემენტების ან ერთი მეორეში ჩაწყობილი დეროვანი პირამიდების სახით, რომლებიც ქმნიან მყარ წყობას. დეროვანი სისტემის აწყობა წარმოებს სამშენებლო მოედანზე სახურავთან ერთად და დიდი ბლოკების ( ან მთლიანი) სახით მონტაჟდება საპროექტო მდგომარეობაში (ნახ.1.1.)



ნახ.1.1. სტრუქტურული კონსტრუქციის მონტაჟი

ასეთი მეთოდით ტრანსპორტირება ზოგავს სატრანსპორტო ხარჯებს. სტრუქტურები არის ქარხნული დამზადების თითქმის ერთადერთი კონსტრუქცია, ძნელად მისაწვდომი რაიონებისთვის, სადაც სამშენებლო ელემენტების გადაზიდვა შესაძლებელია მხოლოდ ავიაციით.

მიუხედავად ელემენტების საკმაოდ დიდი რაოდენობისა, რომლებისგანაც ადგილზე აწყობენ კონსტრუქციას, მისი მონტაჟი უფრო სწრაფია და ეკონომიური, ვიდრე ჩვეულებრივი გადახურვისას. ამის საშუალებას კი იძლევა დეროვან კვანძოვან ელემენტებად შეერთების სიმარტივე და დამზადების მაღალ სიზუსტე, რომელიც არ საჭიროებს მონტაჟისას კორექციას.

სტრუქტურების კონსტრუქციულ სისტემათა უმრავლესობა ასაწყობ-დასაშლელია და გამოიყენება მრავალჯერადად.

სტრუქტურებს აქვთ რიგი არსებითი ნაკლოვანებები, რომლებიც მჭიდროდაა დაკავშირებული მათ ღირსებებთან.

შინაგანი აგებულების მიხედვით კონსტრუქციულ სქემაში მყოფი სტრუქტურები თავის ბუნებრივ ანალოგებს უთმობენ იმაში, რომ სივრცულობასთან ერთად იღებენ ხისტი უნიფიკაციის სახეს, რის შედეგადაც ხდება მასალის ხარჯის გაზრდა. ელემენტების ხარისხი, კვანძებში შეუღლების სირთულე და ელემენტების დიდი რაოდენობის აწყობის აუცილებლობა არის ძირითადი ტექნიკური პრობლემა, მაგრამ საზღვარგარეთის მოწინავე ქვეყნების გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ სტრუქტურები, განსაზღვრულ პირობებში, პროგრესული კონსტრუქციებია.

მათი ეფექტურობის შემდგომი ამაღლება შესაბამისობაშია ტექნიკური პროგრესის ტენდენციებისა, რაც ნაკადურ წარმოებასა და დამზადების სიზუსტის ამაღლებაში მდგომარეობს.

სივრცითი ღეროვანი კონსტრუქციები შეიძლება იყოს ბრტყელი (სტრუქტურული ფილების სახელწოდებით) და მრუდხაზოვანი (ბადისებრი გარსები).

ბრტყელი სივრცითი სისტემები, სათანადო სიხისტის უზრუნველსაყოფად შეიძლება იყოს ორფენოვანი, ხოლო ბადისებრი გარსები - როგორც ერთფენოვანი, ისე ორფენოვანი. ერთფენოვან კონსტრუქციებს აქვთ პარალელურ ბადისებრი ზედაპირი, რომლებიც ერთმანეთთან შეერთებული არიან ცალკეული ხისტი კავშირებით. ლითონის სივრცით-ღეროვან კონსტრუქციებს ტრადიციულ კონსტრუქციებთან შედარებით ახასიათებთ რიგი უპირატესობები, რომელთაგან ძირითადია:

- სისტემის მუშაობის სივრცულობა;
- დიდი მალეების გადახურვის შესაძლებლობა;
- გადახურვის სამშენებლო სიმაღლის სიმცირე;

- გადახურვის შემომზღუდავი კონსტრუქციების სიმსუბუქე კვანძების ხშირი ბადის გამო;
- კვანძების და ღეროვანი ელემენტების მაქსიმალური უნიფიკაცია;
- მონტაჟის სრულყოფილი, გაუმჯობესებული მეთოდის გამოყენების შესაძლებლობა, რაც მდგომარეობს სამშენებლო მოედანზე მის აწყობაში და მსხვილ ბლოკებად მის აწევაში;
- აკრეფა-დემონტაჟის შესაძლებლობა;
- არქიტექტურული გამომსახველობა;
- კომპიუტერული გაანგარიშების დიდი შესაძლებლობა.

ღეროვან სტრუქტურულ სისტემებს ახასიათებს ნაკლოვანებებიც, რომლებიც მჭიდროდაა დაკავშირებული მათ ღირსებებთან: კვანძური შეუღლებით სირთულე და დიდი რაოდენობით ასაწყობი ელემენტები.

ზემოთ ჩამოთვლილი არქიტექტურული, კონსტრუქციული და სამშენებლო ღირსებები განაპირობებენ ღეროვანი სტრუქტურული სისტემების ფართოდ გამოყენების მიზანშეწონილობას. მასალის ხარჯი მცირდება 10-20%-ით, შრომითი დანახარჯები 15-25%-ით, ნაგებობის აგების ვადები 10-25%-ით, ღირებულება 15-30%-ით და სხვ.

რეგულარული (სტრუქტურული), ანუ ჯვარედინ ელემენტებიანი სისტემები (კონსტრუქციები) სულ ორი-სამი ათეული წელიწადია რაც გამოჩნდნენ სამშენებლო პრაქტიკაში. მათ ნიშანდობლივ თვისებას წარმოადგენს, როგორც ამას სახელწოდებაც გვიჩვენებს, ძირითადი, მზიდავი ელემენტების (ფერმები, წიბოები) განლაგება ურთიერთ ჯვარედინად (მართობულად) და ამასთან თანაზომიერი, სისტემატური ბიჯით და სტრუქტურით ორივე ურთიერთმართობი მიმართულებით.

გადახურვის მზიდი ბრტყელი კონსტრუქციები (კოჭები, ფერმები, ჩარჩოები), ჩვეულებრივად, გეგმარდება და გაანგარიშდება მათი ერთობლივი მუშაობის გაუთვალისწინებლად, ვინაიდან ისინი ერთიმეორესთან შეერთებული არიან შედარებით სუსტი კავშირებით. თუ ამ კავშირებს გავაძლიერებთ, მაშინ შეიძლება მივიღოთ ე. წ. ჯვარედინ-

ელემენტებიანი კონსტრუქციები, რომლებიც ორი მიმართულებით მუშაობენ. ასეთ კონსტრუქციებს აქვთ მცირე სიმაღლე, მიუხედავად მათ მიერ გადახურული დიდი მალეებისა, რაც საშუალებას იძლევა შემცირდეს შენობის მოცულობა.

ჩვეულებრივად, ჯვარედინი ელემენტები განგმირ კედლიანი ღეროვანი სისტემებისაგან (ფერმებისაგან) შედგება, ხოლო კონსტრუქცია ორფენიან ბადისებრ განგმირ კედლიან გარსს წარმოადგენს, სადაც ზედა და ქვედა ცალკეული ბადეები ერთმანეთთან ხისტად არიან შეერთებული. ზოგ შემთხვევაში ჯვარედინი სიტემები წარმოადგენენ ჯვარედინ-წიბოვან კონსტრუქციებს, ხოლო თუ ზემოთ მოთავსებულია მთლიანი ფილა, მაშინ მათ სტრუქტურულ ფილებს უწოდებენ.

ზოგად შემთხვევაში, ცხადია, სტრუქტურულ სისტემებს შეიძლება მიეცეს ნებისმიერი გარსების ფორმა, როგორც ეს ბიზედაპირებიან რიკულოვან სფერულ გარსებს აქვთ.

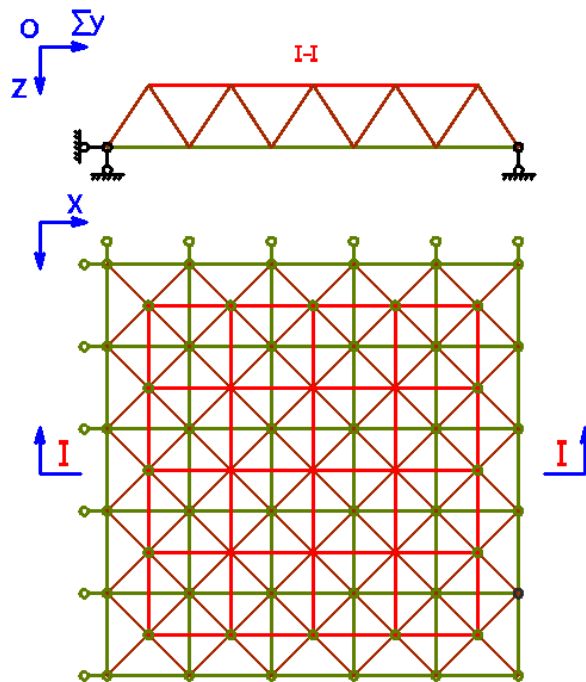
სტრუქტურული კონსტრუქციები ჯვარედინი დახურვებით წარმოადგენენ მსუბუქ სივრცით ფილებს, რომლებიც ერთდროულად მუშაობენ სხვადასხვა მიმართულებით ღუნვაზე და გრეხვაზე. ისინი ხასიათდებიან დიდი სიხისტით, სეისმომედეგობით და საგრძნობლად შემცირებული სამშენებლო სიმაღლით სიბრტყით კონსტრუქციებთან შედარებით  $h = \left( \frac{1}{20} \div \frac{1}{25} \right) \ell$ .

რეგულარულ სისტემებში ძირითად საკითხს შეადგენს კვანძების კონსტრუქციული გადაწყვეტა. ღეროების მიერთება კვანძებში გართულებულია ღეროების მილისებრი პროფილის გამოყენების გამო. კვანძები ხორციელდება ბურთულოვანი კონექტორების გამოყენებით, რომლებსაც ღეროები ემაგრება შედუღებით ან ხრახნებით.

რეგულარული კონსტრუქციების ანგარიში საკმარისად რთულია. ამიტომ მათ მუშაობას ამოწმებენ მოდელელებზე, ან ნატურალური ობიექტების გამოცდით.

ჯვარედინ ელემენტებიანი დახურვების მეცნიერული კვლევა-ძიებისა და პრაქტიკული რეალიზაციის საქმეში მნიშვნელოვან მუშაობას აწარმოებენ მოსკოვის არქიტექტურის ინსტიტუტში – „მაი“-ში (პროფ. მ. ს. ტუპოლევი, დოც. ა. პოპოვი და სხვ.), აგრეთვე საზღვარგარეთ (აშშ, კანადა, ინგლისი, გდრ, გფრ და სხვ.).

ჯვარედინი სტრუქტურა გამოყენებულ იქნა საგამოფენო პავილიონებში, კერძოდ, სმმგ („ვდნხ“) მოსკოვში, „ექსპო\_67“ და „ექსპო\_70“ გამოფენებზე, შესაბამისად, მონრეალში და ოსაკაში, აგრეთვე ქ. ტულაში – დრამატიული თეატრის შენობის გადასახურავად, ნორილსკის ახალი თეატრის შენობის სახურავში და სხვ.



ნახ.1.2. რეგულარული ღეროვანი სისტემა (გეგმა და ჭრილი)

ხაზგასმით აღსანიშნავია, რომ საზოგადოებრივ შენობათა ყველაზე მნიშვნელოვანი და საპასუხისმგებლო ობიექტი გასულ საუკუნეში (რეგულარული ღეროვანი სისტემის გამოყენებით) აშენებული იქნა ქალაქ მოსკოვში კრემლის ყრილობათა სასახლე, კერძოდ, მისი ცენტრალური დარბაზის გადახურვა განხორციელებულ იქნა ჯვარედინ ელემენტებიანი კონსტრუქციებით, რომლის მალი და სიგანე – დაახლოებით 60,0 მ-ის

ტოლია. გადახურვის განივი კოჭების პროფილი წარმოადგენს ფოლადის ორტესებრ პროფილს, ხოლო გრძივი კოჭები რიკულოვანია. კოჭების განივკვეთის სიმაღლე 3,5 მ.

ნახ.1.2-ზე ნაჩვენებია უმარტივესი რეგულარული ღეროვანი სისტემის გეგმა და ჭრილი. ამ შემთხვევაში სისტემას აქვს ნულოვანი გაუსის სიმრუდე (ასე ვთქვათ, ბრტყელია), ამასთან ჯვარედინი ფერმები ზუსტად ერთნაირია.

რეგულარული – ღეროვანი სისტემები ხორციელდება ლითონისაგან, რკინაბეტონისაგან, არმოცემენტისაგან და სხვა მასალებისაგან. მათი მალი ჩვეულებრივად დიდია –  $l \geq 30.0$  მ, ხოლო განივი კვეთის სიმაღლე –  $h \geq 0.5 \div 1.0$  მ.

რეგულარულმა სისტემებმა დღემდე ვერ ჰპოვეს ფართო გავრცელება, თუმცაღა მათ გააჩნიათ საინტერესო კონსტრუქციული და არქიტექტურული შესაძლებლობანი.

ახალი ღეროვანი სისტემების ძიებისას ერთდროულად ტარდება კვანძთა კონსტრუქციული გადაწყვეტის დამუშავება. ინჟინერთა უმრავლესობა ორიენტირებული იყო სტრუქტურებისათვის უმეტესად პროგრესულ თხელკედლიან მილოვან პროფილებზე.

1942 წ. კონსტრუქციული სისტემა „მერა“ პირველად იყო წარმოდგენილი მენგერირინჰაუზენის მიერ. 50 წ–დან იგი ფართოდ გამოიყენება გერმანიაში, საფრანგეთში, ინგლისში, აფრიკის ქვეყნებში, იაპონიაში.

ასაწყობი და მცირე ანგარიშებისათვის 1944–45 წწ. კ. ვაქსვანმა (აშშ) დაამუშავა კვანძები.

1945 წ. აშშ–ში შეიქმნა სისტემა „იუნისტრეტი“, რომელიც ძირითადად გამოიყენება სასკოლო შენობებისათვის, საგამოფენო პავილიონებისათვის და სპორტდარბაზებისათვის.

50–იან წლებში ინგლისური ფირმების მიერ დამუშავებული იქნა სისტემა „სპეიჩ–დეკი“, მერე – მისი ნაირსახეობა – „ნენკ–სისტემა“. ნაკლებ

გავრცელება მოიპოვა მაკოვსკის კონსტრუქციულმა სისტემებმა „პირამ-რუფ“ და „მეტ-რამ“.

გერმანიაში 1955–57წწ. კონცერნმა „მანესმა“ მიიღო ფრულიხის წინადადება „ოქტაპლატის“ შედუღებით განხორციელებული სტრუქტურული კონსტრუქციების შესახებ.

1959–1960 წწ. ფულერმა წარმოადგინა კვანძი, რომელშიც მილოვანი დეროები შეერთებულია ჭანჭიკებით ფურცლოვან ყურებზე. გრებილი პროფილებისაგან დამზადებული სტრუქტურები ჭანჭიკებზე ასაწყობი და ფურცლოვანი ფოლადის შედუღებით განხორციელებული კვანძებით გამოიკვლია ფ. ლედერერმა 1961–1982 წწ. (ჩეხოსლოვაკია).

საფრანგეთში შატომ დაამუშავა და გამოიყენა. 50 მ-მდე მალეების გადახურვისათვის კვანძთა სისტემები SDC, „პირამიტუკი“ და „ტრიდიმატუკი“.

კანადაში 1962 წ. ერთ-ერთი ფირმის მიერ (კონსულტანტი პროფ. დ. კაიტი) შემოთავაზებული იქნა ორთოგონალური სისტემა „ტრიოდეტიკი“; ზოგიერთი ნაკლებად ცნობილი კონსტრუქციული გადაწყვეტილებები გამოიყენება იაპონიაში, ინდოეთში და სხვა ქვეყნებში.

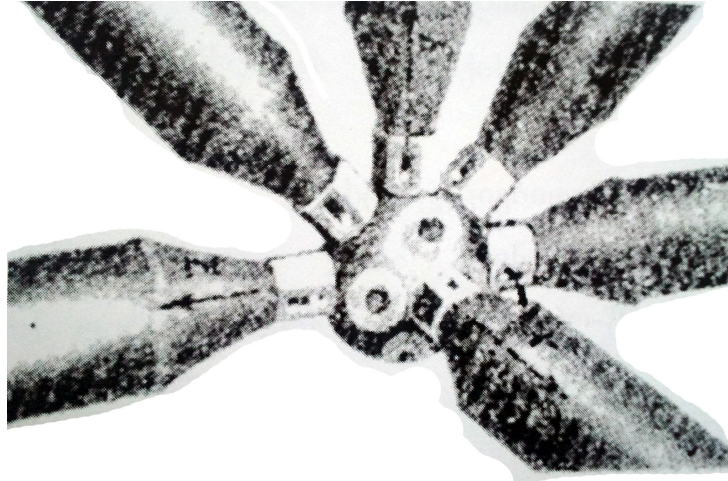
საგამოფენო პავილიონებისათვის „ექსპო-67“ მონრეალში და „ექსპო-70“ იაპონიაში გამოყენებული იქნა მრავალფეროვანი კვანძები განხორციელებული შედუღებით ან ჭანჭიკებზე შეერთებით.

ზემოთ ჩამოთვლილიდან ყველაზე უნივერსალურია „მეროს“, „ოქტაპლაინის“, „ტრიოდეტიკის“ სისტემების კვანძები. ისინი შეიძლება გამოყენებული იქნას ნებისმიერი დეროვანი კონსტრუქციული სქემისათვის. სისტემები „იუნისტრეტი“ და „სპის-დეკი“ დამუშავებულია ორთოგონალური სტრუქტურებისათვის.

საზღვარგარეთ კვანძთა ეს სისტემები ყველაზე მეტადაა გავრცელებული.

სისტემა „მეროს“ ეკუთვნის კვანძოვანი ელემენტი (ნახ.1.3) ჩამოსხმული მრავალწახნაგასაგან 18 კუთხვილოვანი ნახვრეტი:

მრავალწახნაგა ჩახაზულია სფეროში. ელემენტის ზომა განიკვეთში 127 მმ. მილოვანი ღეროები  $d=60-90$  მმ, თავმოყრილი კვანძში, მთავრდება ცილინდრული კუთხვილიანი ბუნიკით, რომელთა ზომა ნახვრეტების ზომის შესაბამისია.



ნახ. 1.3. „მეროს“ სისტემის სტრუქტურული კონსტრუქციის კვანძი.

სისტემა ითვალისწინებს ღეროების შეერთების მრავალ ვარიანტს.

კონსტრუქცია ასაწყობ-დასაშლელია, მაგრამ არსებობს „მეროს“ სისტემის მრავალ სტაციონალური ნაგებობაც. მონტაჟის საორიენტაციო შრომატევადობაა  $1 \div 1.5$  კაც-სთ/მ<sup>2</sup>.

სისტემა „მერო“ გამოიყენება მრავალი ნაგებობებისათვის: გადახურვებიდან და შენობების კედლებიდან დაწყებული საგამოფენო სტენდებამდე. მისი შესაძლებლობების საჩვენებლად შეიძლება მოვიყვანოთ ზოგიერთი მაგალითი:

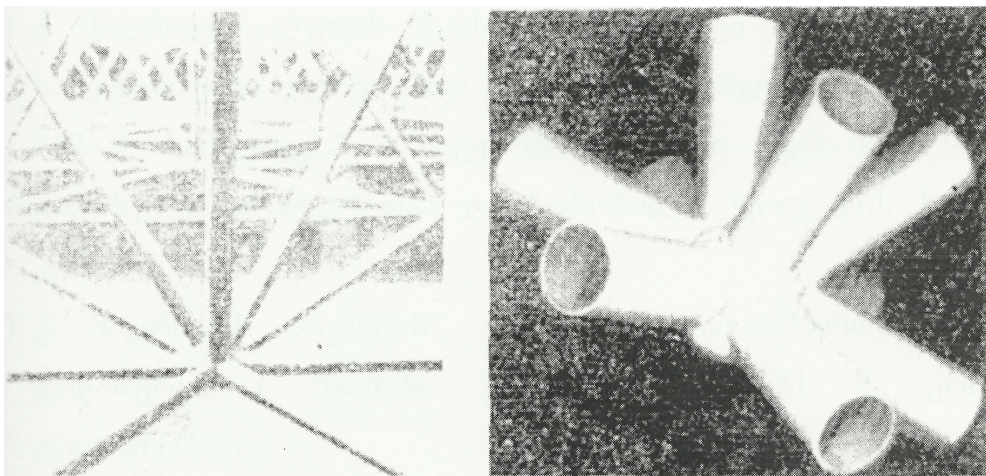
- სუდანის (ხართუმი) საგამოფენო პავილიონის ჩარჩოს კარკასი, რომელშიც ორმალიან ჩარჩოებს (მალებით 2X20მ) აქვთ სამწახნაგოვანი განიკვეთები.
- წმ. ელენეს დარბაზი ბონში ზომით 15X15 მ.
- სალექციო დარბაზი შტუტგარტში (გერმანია) ზომით 22,5X40 მ.
- ქარხნის გადახურვა ქ. დრეიში (საფრანგეთი) კონსოლური ფილის სახით, დგარების ბიჯით 14 მ.



- დიუსელდორფ–ელერის კირხა (გდრ), რომელიც მთელი მზიდი კონსტრუქცია (კედლები და გადახურვა).
- ქ. ბატის (ინგლისი) ავეჯის ქარხნის უკოქო უჭრადი გადახურვა ზომით 128X98 მ, კოლონათა ბადით 16X16 მ.
- ბერლინის „მომავლის ქალაქის“ საგამოფენო პავილიონები (1957 წ.)

ყველაზე გვიანდელი კონსტრუქციებიდან, სადაც გამოიყენებოდა „მეროს“ ტიპის კვანძები, უნდა აღინიშნოს გდრ–ის პავილიონის კინოპროექციის დარბაზი გამოფენაზე „ექსპო–70“ – წაკვეთილი სფეროს სახით დიამეტრით 30 მ.

თავისი სიმარტივით „ოქტაპლატის“ სისტემის კვანძის შედუღების კონსტრუქციამ დაიმსახურა აღიარება. კვანძოვანი ელემენტი, ქვესადებ რგოლზე ორი დატვირთული ნახევრებისაგან შედუღებული, წარმოადგენს სფეროს (ნახ.1.4). კვანძს არ გააჩნია არანაირი შეზღუდვა ღეროების მისაერთებლად, რომლებიც წარმოადგენენ მოჭრილ შესაბამისი სიგრძისა და მართი კუთხით მოჭრილ მილებს (ბოლოების სპეციალური დამუშავების გარეშე). კვანძების ერთტიპიურობა შესაძლებელს ხდის შედუღება ვაწარმოთ სპეციალური ნახევარავტომატური მოწყობილობებით. კვანძის ნაკლია მცირე სხვაობები მილების სიგრძეში და სამონტაჟო შედუღების დიდი მოცულობა.



ნახ. 1.4. „ოქტაპლატის“ სისტემის სფერული კვანძი.

„ოქტაპლათის“ სისტემა უძლებს მნიშვნელოვან დატვირთვებს და ამიტომ გამოიყენება ფოლადის კონსტრუქციებში (ფოლადისაგან დენადობის ზღვარით 240–340მპა). ძალებმა ღეროებში, რომელთაც იჭერს საკვანძო სფერო, შეიძლება მიაღწიონ 3.5 ტნ = 35 კნ–ს.

ჩვეულებრივ გამოიყენება  $d=65-115$  მმ დიამეტრის მილები.

„ოქტაპლათის“ სისტემის გადახურვებს ადუღებენ ცალკეული ელემენტებისაგან სამშენებლო მოედანზე, ხოლო ხშირად საპროექტო ნიშნულზეც. მიღებულია მონტაჟის წარმოება საპროექტო ნიშნულზე წამწებით, მათ შორის სათანადო შემაერთებელი ღეროების ჩადგმით.

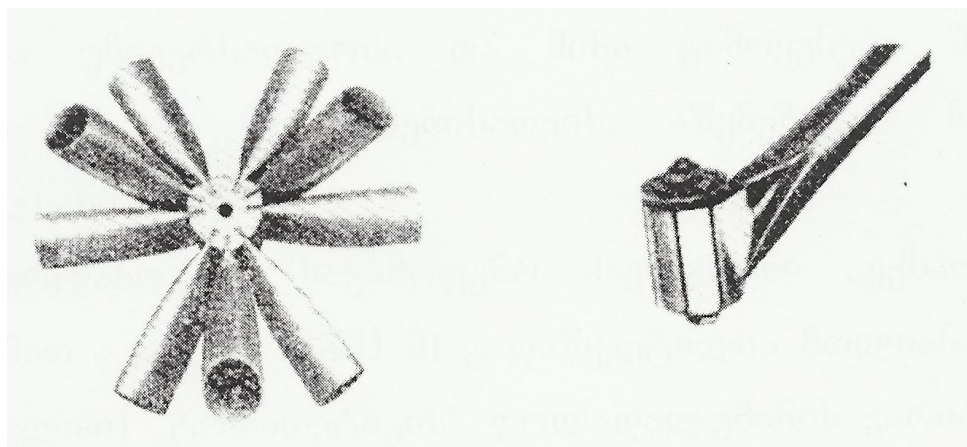
„ოქტაპლათის“ სისტემებს კვანძების გამოყენების არეალი მნიშვნელოვნად ფართოა სხვა სისტემებთან შედარებით. ისინი გამოიყენებიან ბრტყელ და ნაკვეციან გადახურვებში, ორმაგი სიმრუდის გარსებში, სამრეწველო შენობების, სპორტული და სალექციო დარბაზების, დახურული სტადიონების, საგამოფენო პავილიონების და სხვა გადახურვებში.

განსაკუთრებით აღსანიშნავია ქვემოთ მოყვანილი ნაგებობები, რომლებიც „ოქტაპლათის“ სისტემის კვანძითაა დამონტაჟებული.

- ქ. მადრიდის ლუდის ქარხნის გადახურვა (ღეროვანი სისტემა სამკუთხოვანი უჯრედებით ეკუთვნის რიკოლეს, ბადის მოდელია 1,87 მ, სიმაღლე 2,2 მ, ნაგებობების ზომები გეგმაში – 44X56 მ, გადახურვა კონტურითაა დაყრდნობილი; ფოლადის ხარჯია 45 კგ/მ<sup>2</sup>).
- ქ. მადრიდის „რეალის“ კლუბის საკალათბურთო დარბაზის გადახურვა (ზომები გეგმაში – 70X51 მ, კონტურზე დაყრდნობით).
- აშშ სალაროების აპარატების პავილიონი 1964–65 წწ. მსოფლიო გამოფენაზე ქ. ნიუ-იორკში (სქემა რიკოლესია სამკუთხოვანი უჯრედებით, გეგმა რთულია, ზომით 23X39 მ). სტრუქტურაშია შესრულებული დახურვა და სართულშუა გადახურვა.

- ქ. კელნ–ფლიტერდის კირხა (გერმანია) (გამოყენებულია სტრუქტურათა უდიაგონალო ორთოგონალური სისტემა, ზომები გეგმაში – 15X15 მ, კონტურზე დაყრდნობით; სამაგალითოა სტრუქტურული გამომსახველობით).
- სამრეწველო შენობის გადახურვა მალით. 35 მ (ღეროვანი სისტემა სამკუთხა უჯრედებით ეკუთვნის რიკოლეს, ბადის მოდულია 2მ, სიმაღლე 1,75 მ).
- გარსული სახით გადახურვა ბადის სამკუთხა უჯრედებით.
- სამრეწველო შენობის მრავალმალიანი გადახურვა იაპონიაში მალით 24X24 მ (ზედა ბადის დიაგონალური განლაგებით კონტურის მიმართ).

ერთ–ერთი ყველაზე ორიგინალური სისტემა „ტრიოდეტიკი“. იგი გამოიყენება ასაწყობ–დასაშლელ და სტაციონალურ ნაგებობებისათვის; „ტრიოდეტიკის“ სისტემა შედგება საკვანძო ცილინდრისაგან სპეციალური პროფილის ჩანაჭრებით და შექყლეტილი ბოლოებიანი მილოვანი ღეროები, რომლებიც დამუშავებულია ამ ჩანაჭრების შესაბამისად (ნახ.1.5). კვანძის ჩანაჭრებში ყველა მილი ფიქსირებულია ერთი მომჭერი ჭანჭიკით. იგი შეიძლება გამოყენებული იქნას ნებისმიერი გეომეტრიული ფორმის ღეროვანი კონსტრუქციებისათვის, როგორც ერთშრიანი ისე ორშრიანისათვის.



ნახ.1.5. „ტრიოდეტიკის“ სისტემის კვანძი.

1967 წ-მდე კონსტრუქციებისათვის ალუმინის შენადნობები პირობითი დენადობის ზღვრით  $\sigma = 230$  მპა, როცა  $E = 0.1\%$  (დეროებისათვის) და  $\sigma = 260$  მპა, როცა  $E = 0.1\%$  (კვანძოვანი ელემენტებისათვის).

1964 წ. მონაცემებით კვანძები „ტრიოდეტიკი“ ვარგისია გადახურვებისათვის ზომით 30X80 მ (ორთოგონალური სქემის დროს) და დატვირთვისათვის  $1,1$  კნ/მ<sup>2</sup> (აქედან  $0,40$  კნ/მ<sup>2</sup> – მუდმივი და  $0,70$  კნ/მ<sup>2</sup> – დროებითი დატვირთვა). დასაშვებია ქარის დაწნევა  $g=0,80$  კნ/მ<sup>2</sup> 10 მ სიმაღლეზე.

ამ დროს გისოსებისათვის გამოიყენება 76/3 მმ-მდე დიამეტრის მილები, სარტყელებისათვის – 144/3 მმ-მდე; შენადნობის მაქსიმალური ხარჯი აღწევს  $6$  კნ/მ<sup>2</sup>.

გამოცდილებით დადგენილია, რომ სიმტკიცის მარაგის კოეფიციენტი  $k=2,25$ , ხოლო მდგომარეობის მარაგისა –  $k = 2$  (ნორმატიულ დატვირთვასთან ფარდობით).

1967 წ. გამოჩნდა ამ სისტემის სტრუქტურები დამზადებული ფოლადისაგან.

„ტრიოდეტიკის“ ავტორები თვლიან, რომ სისტემა მოგვცემს შესაძლებლობას გადავხუროთ მალეები 450 მ-მდე შიგა საყრდენის გარეშე.

სისტემა უნივერსალურია და მისი გამოყენება შესაძლებელია სხვადასხვა ტიპის ნაგებობებისათვის. აშენებული ნაგებობებიდან ყველაზე აღსანიშნავია:

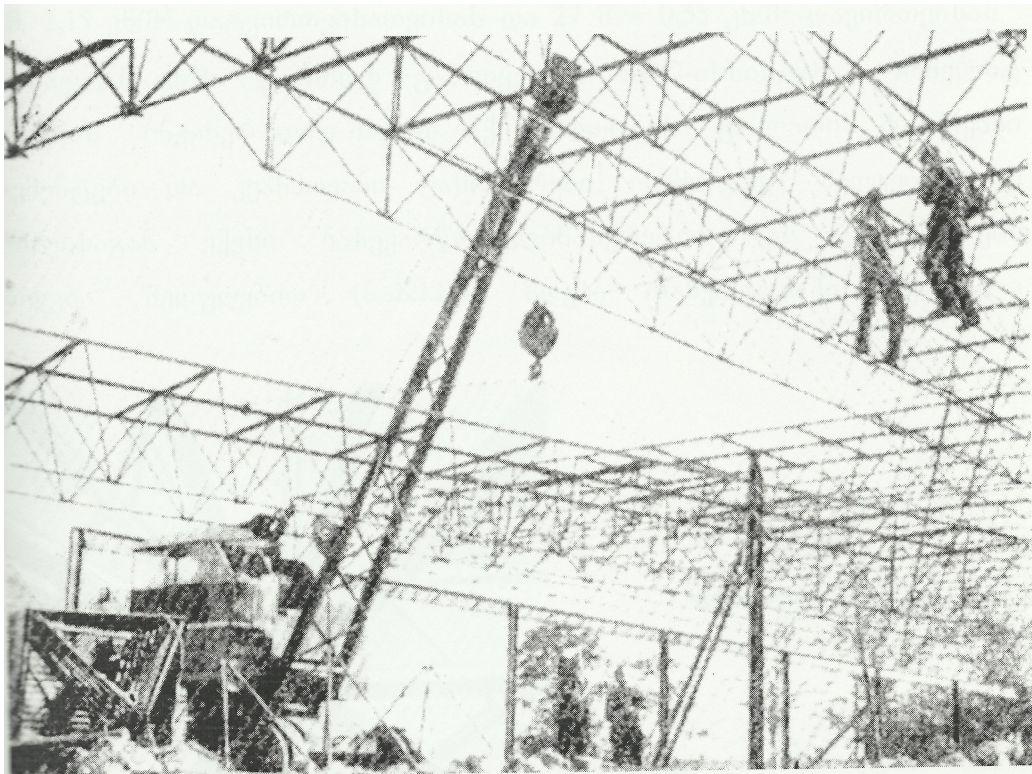
- ნიდერლანდების საგამოფენო პავილიონი „ექსპო-67“. შენობა (ზომით გეგმაში 74X21 მ) გადაწყვეტილია მთლიანად (კედლების ჩათვლით) „ტრიოდეტიკის“ ფოლადალუმინის ვარიანტში.
- სტადიონის კონსოლურკოჭოვანი ტიპის ტრიბუნა (ზომით 80X90მ).
- საწყობის უფრო მრავალმალისანი გადახურვა 80X90 მ ზომის მალეებით ავსტრიაში.

- პარაბოლური რადიოანტენები აშშ-ში.
- გუმბათები აშშ-სა და კანადაში.

1962 წ, სივრცითი კონსტრუქციების დარგში ლონდონის საერთაშორისო კონფერენციაზე სისტემა „ტრიოდეტიკი“ აღიარებულ იქნა ერთ-ერთ ყველაზე პერსპექტიულ სისტემად.

ინგლისურ სისტემას „სპეის-დეკს“ და მის ნაირსახეობას „ნენკსისტემ“-ს საფუძვლად უდევს ქარხნული წესით დამზადებული პირამიდალური ელემენტი. პირამიდის კვადრატული ფუძე მზადდება კუთხოვანი პროფილებისაგან და მეზობელი პირამიდების ფუძეებთან შეერთებულია ჭანჭიკებით. პირამიდების წვეროებზე არსებული მილოვანი მუფტები მზადდებიან დიდი სიმტკიცის ფოლადისაგან.

მონტაჟი შეიძლება მოხდეს მთლიანად, ცალკეული სამწახნაგა წამწეებით ან ორი სივრცული წამწეებისაგან შედგენილი ბლოკებით (ნახ. 1.6).



ნახ.1.6. სტრუქტურული კონსტრუქციის მონტაჟი სივრცითი წამწეებით.

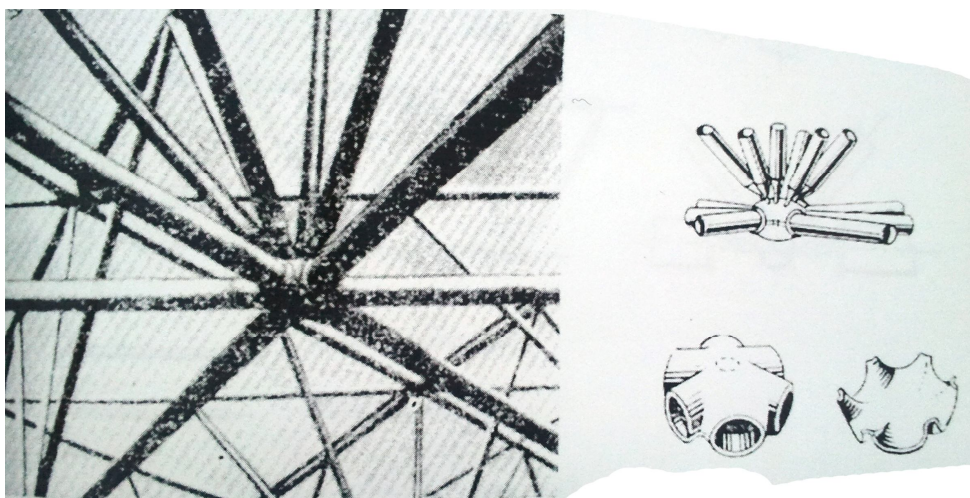
„სპეის-დეკის“ სისტემა, დაყრდნობილი კონტურზე, იძლევა საშუალებას გადავხუროთ ფართი ზომით 38X38 მ, ხოლო გადახურვის ერთი მიმართულებით მუშაობისას (კოჭოვანი სქემა) 122 მ-მდე. ჩვეულებრივ მოდული ტოლია 1,2 მ, სიმაღლე – 0,85 მ.

„სპეის-დეკის“ სისტემით გადახურული ნაგებობებიდან საინტერესოა:

- ფარმაცევტული ფაბრიკის კორპუსის სახურავი ინდოეთში.
- უნუვესიტეტის მუზეუმის დარბაზის გადახურვა(ინგლისი)
- უნივერსალური მაღაზიის დახურვა და გადახურვა ინგლისში, მალით 18 მ.

„ნენკ-სისტემას“ მოდული 1,2 მ აქვს 6 მ სიმაღლე და შექმნილია სპეციალურად სართულშორისი გადახურვებისათვის დასაშვები მალაია 12 მ. 2,15 კნ/მ<sup>2</sup> დატვირთვისათვის და 27 მ–0,55 კნ/მ<sup>2</sup> დატვირთვისას.

საფრანგეთში ფართოდ გამოიყენება SDC-ის სისტემა, რომელიც ეკუთვნის ინჟინერ დიუ-შატოს. აქ გამოიყენება ფოლადის მილოვანი ელემენტები და კვანძოვანი ფასონურები, რომლებიც შედგება ორი ნაწილისაგან ექვსი ნახევარწრიული ნახვრეტით. ეს ფასონურები ერთდება შედუღებით (ნახ.1.7). ხდება ნახვრეტებში შემავალი მილოვანი ელემენტების შემოდუღება.

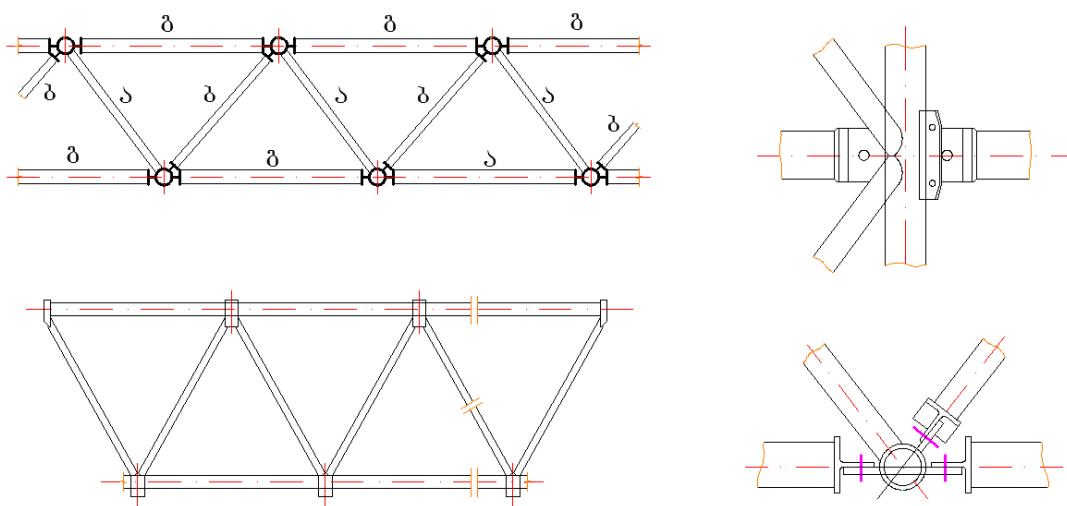


ნახ.1.7. SDC-ის სისტემის კვანძი და საკვანძო ელემენტები.

ცალკეული ელემენტებისაგან სტრუქტურების აწყობის გარდა საზღვარგარეთ სტრუქტურის მონტაჟი ხორციელდება ცალკეული სივრცული ბლოკებისაგან ან სამშენებლო მოედანზე ერთმანეთთან ჭანჭიკებით სივრცითად შეკრული წამწეებისაგან.

ბურჟეს ლაბორატორიაში დამუშავებული იქნა „ტიუბაკორდის“ სისტემა. სისტემა აწყობილია ბრტყელი მილოვანი წამწეებისაგან (ნახ.1.8), კვანძებში სიბრტყისადმი 45 კუთხით, დუღდება ორი ფასონურა სხვა მიმართულების სარტყელები და ირიბანები წარმოადგენს მილოვან ელემენტებს, ბოლოებში მიდუღებული ტესებრი ფასონურებით (ელემენტები B და C).

აშშ-ში სამონტაჟო კვანძების რიცხვის მაქსიმალურად შემცირების მიზნით ლითონის კონსტრუქციების ქარხნებში ზოგ შემთხვევაში მიმართავენ გამსხვილებულ აწყობას და დამაკმაყოფილებლად თვლიან, თუ 75–90 მ. ზომით მალის გადახურვისას ერთ პირა-პირას (სამონტაჟო) კვანძი მოდის გადახურვის 20–40მ<sup>2</sup> ფართობზე. სტრუქტურათა ამ გადაწყვეტილებაში, რომლებიც გათვალისწინებულია სამრეწველო ნაგებობებისათვის, ხშირად იყენებენ ერთმანეთთან ფასონურებზე შედუღებით გაგლინულ ელემენტებს.



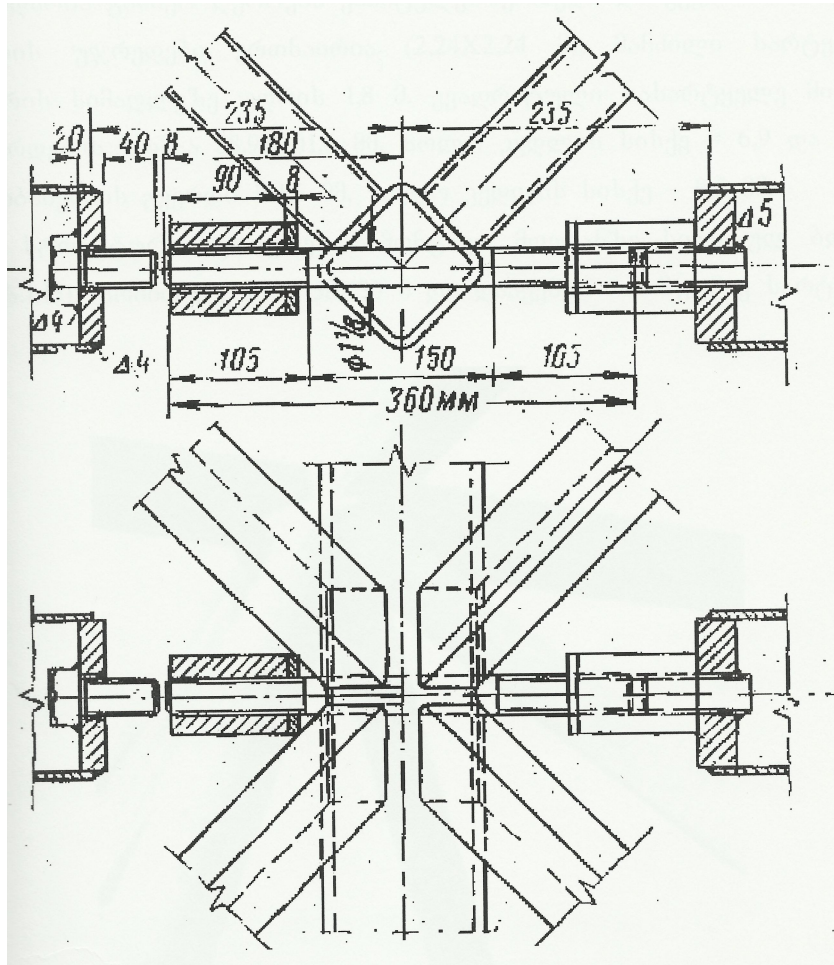
ნახ. 1.8. „ტიუბაკორდის“ სისტემა, შედგენილი მილოვანი წამწეებისაგან.

დასავლეთ ევროპაში სტრუქტურული სისტემების დამზადებისათვის ასევე გამოიყენება კვადრატული განივი კვეთის ფოლადის თხელკედლიანი მილები. სტრუქტურული სისტემების დამზადებისათვის კვადრატული მილების შემთხვევაში სამონტაჟო კვანძებს ასრულებენ ჭანჭიკებზეც და შედუღებაზეც. ჭანჭიკოვანი სამონტაჟო შეუღლების მაგალითი შეიძლება იყოს საწყობის სახურავი ბორნემში (ბელგია, 1968).

გადახურვა შედგება სტრუქტურული ფილებისაგან ზომით 21,96X21,96მ, რომელთა კუთხის უჯრედები გაძლიერებულია ირიბანებით. ამ უჯრედების ფილა ეყრდნობა კოლონებს.

ზედა სარტყელები წარმოქმნიან ბადეს 2,44X2,44 მ ზომის უჯრედებით, ქვედა სარტყელები ბადეს უჯრედების ზომით 4,88X4,88 მ. ზედა უჯრედები თითო-თითოს გამოშვებით შევსებულია ირიბანებით. ასეთმა სტრუქტურამ მოიცვა ქარხნულ პირობებში სამი მარკის გადასზიდი მოცულობითი ნაკვეთურების დამზადების შესაძლებლობა: ერთ უჯრედიანი, სამ უჯრედიანი და შვიდ უჯრედიანი კონტურული ნაკვეთურები. ამ სტრუქტურის სარტყელები მზადდება მილისაგან განივკვეთის გვერდების ზომით 101,6 მმ, კედლის სისქით 4,49 და 6,34 მმ. ირიბანები – მილებისაგან გვერდის ზომით 63 მმ და კედლის სისქით 3,2;4,8 და 6,3 მმ. მასალად გამოიყენება A42 და A52 მარკის ფოლადი. მონტაჟისას გადასაზიდ მარკებს აერთებენ სპეციალური 28 მმ. დიამეტრის ჭანჭიკებით, რომლებიც თავის მხრივ შეერთებულია მუფტებით (ნახ.1.9).



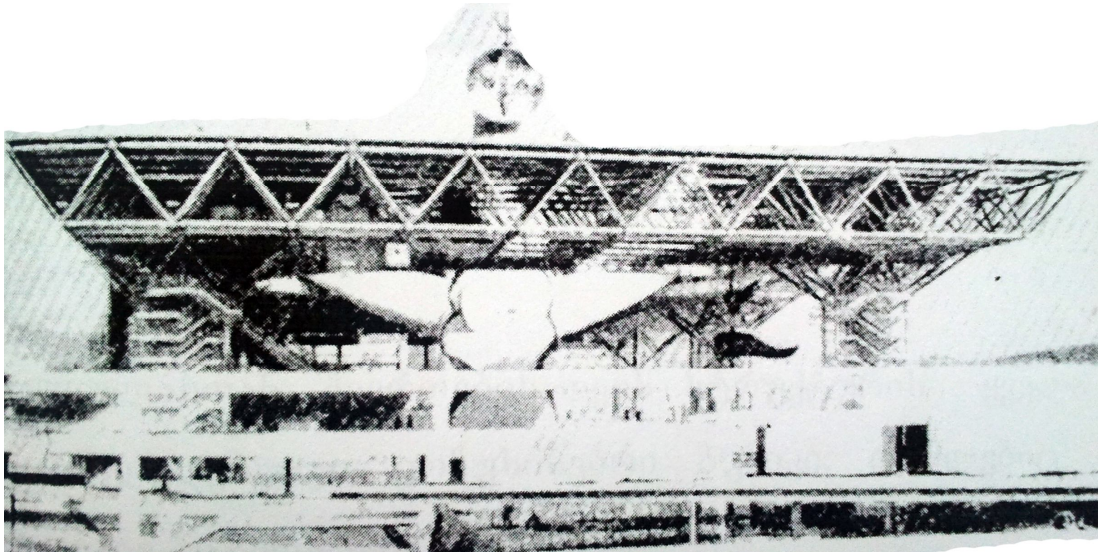


ნახ.1.9. სტრუქტურული კონსტრუქციის კვანძი, შესრულებული კვადრატული მილებისაგან.

კვადრატული მილებისაგან და მონტაჟისას შედუღებული კვანძებით დამზადებული სტრუქტურების მაგალითია ინტერნაციონალური გამოფენის გადახურვა ამსტერდამში (ნიდერლანდები). ამ ნაგებობას, ზომით 62X196 მ, გააჩნია სამი განივი სარკმელი, რომლების სახურავი დანაწევრებულია ოთხ სტრუქტურულ ფილად, ყველა მათგანის ზომაა 38,08X60,48 მ. და კუთხეებში ეყრდნობა განიერ ღეროვან კაპიტელებზე. ზედა და ქვედა სასარტყელე ბადის უჯრედები ერთნაირია (2,24X2,24 მ); მანძილი სარტყელებს შორის სიმაღლეზე უდრის 1,8 მ. კვადრატული სასარტყელე მილების გვერდების ზომაა 88,9X101,6 მმ, ხოლო კედლის სისქე – 6,9 და 9,6 მმ, ირიბანების გვერდი 101,6 მმ, ხოლო კედლის სისქე - 9,5 მმ.

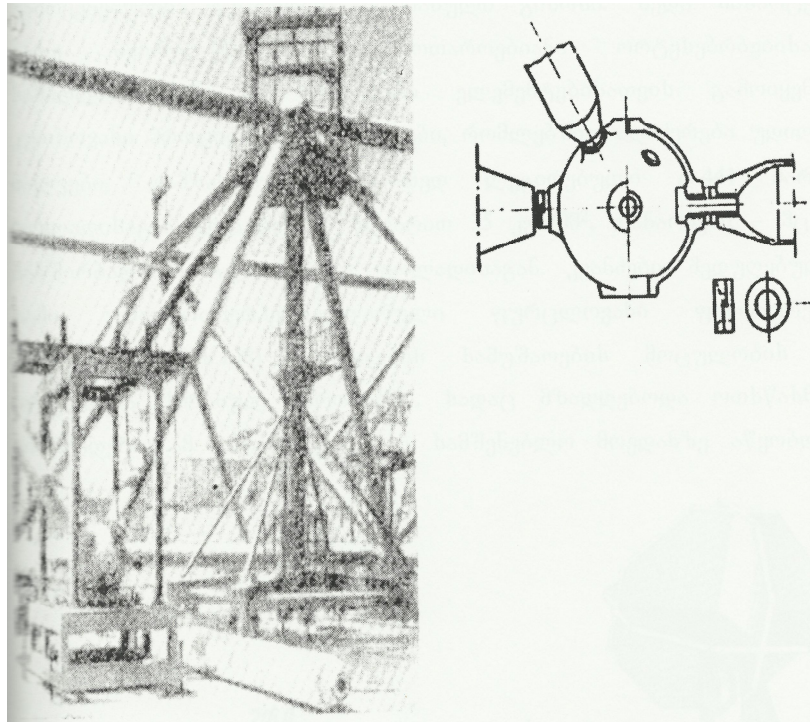
იაპონიაში „ექსპო-70“ საერთაშორისო გამოფენაზე აშენდა გამოფენის ყველაზე დიდი ნაგებობა – თემატური პავილიონი. პავილიონის

გადახურვის სტრუქტურული ფილა წარმოადგენდა მართკუთხედს გვერდებით - 291,6X108 მ. დაახლოებით სიგრძის ერთ მესამედზე მოწყობილი იყო 64,8X64,8 მ ზომის ღიობი. ფილა ეყრდნობა ექვს დგარს, რომელთა შორის მანძილი გრძივი მიმართულებით - 108მ და განივი მიმართულებით - 75,6 მ. მიღებული კონსოლური შვერები გრძივად - 37,8 მ და განივად - 16,2 მ (ნახ.1.10).



ნახ.1.10. იაპონია, თემატური პავილიონი.

კვანძური შეუღლებები შესრულებულია სპეციალური კუთხვილიანი ღეროებით აღჭურვილ ბურთულებზე (ნახ.1.11).

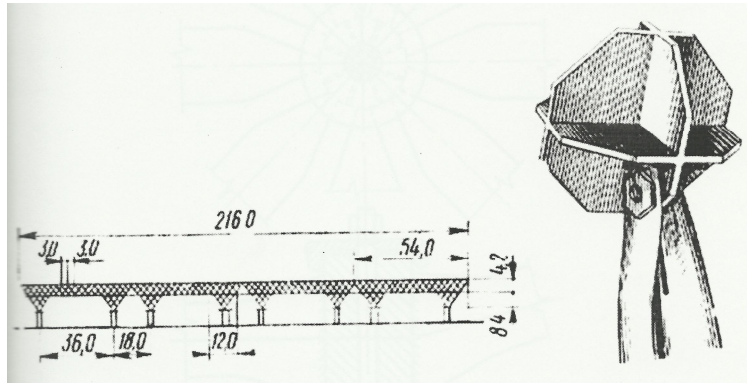


ნახ. 1.11. საკვანძო ელემენტი, კუთხვილიანი ღეროებით აღჭურვილი ბურთულა.

ბურთულასთან შეერთებისათვის სტრუქტურის ყველა ელემენტს გააჩნია მიდუღებული კონუსისებრი ბუნიკი, რომლებიც მთავრდება კუთხვილიანი ნახვრეტით.

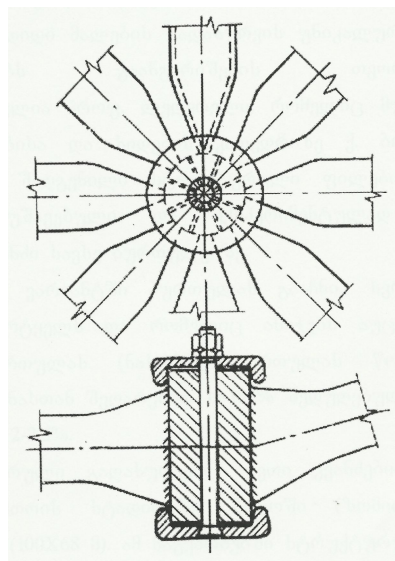
საგამოფენო პავილიონის გადახურვა დენვერში, ზომით 216X72 მ, გამოყოფილია სამ ერთნაირ სექციად ზომით 54X72 მ, ყოველი მათგანი დაყრდნობილია შენობის კონტურზე განლაგებულ ოთხ დგარზე. ზედა და ქვედა ბადეების სარტყელები ორთოგონალურია და წარმოქმნიან უჯრედებს ზომით 3X3 მ. სტრუქტურის საკმაო სიმაღლის (4,2 მ) გამო გამოყენებულია ჯვარედინა ირიბანული გისოსი. ზედა სასარტყლე ბადე შესრულებულია ფართოთაროებიანი ორტესებრებისაგან სიმაღლით 152 მმ. დანარჩენი ელემენტებისათვის გამოიყენება კუთხოვანი პროფილები. ელემენტები, რომლებშიც აღიძვრება უდიდესი ძალები, დამზადებულია მცირედ ლეგირებული A-441 მარკის ფოლადისაგან. დენადობის ზღვართან 35 კგ/მმ<sup>2</sup>, დანარჩენი - მცირე ნახშირბადიანი A-36 მარკის ფოლადისაგან. კვანძები შედუღებულია სამი ურთიერთპერპენდიკულარული ფურცლოვანი ფასონურების მეშვეობით (ნახ. 1.12) შედუღების სამუშაოების

მოცულობის 2/3 სრულდება ქარხნულ პირობებში, სადაც მზადდებოდა ოთხწახნაგა პირამიდები. ამ პირამიდებისაგან სამშენებლო მოედანზე აწყობდნენ სახურავის სექციებს და წევდნენ მათ ჰიდრავლიკური დომკრატებით ჯერ სამონტაჟო საყრდენებზე, შემდეგ კი მუდმივ დგარებზე, რომლებიც წარმოადგენენ ოთხწახნაგა გადმობრუნებულ პირამიდებს: სიმაღლით 8,4 მ. და ფუძით 12X12 მ.



ნახ.1.12. საკვანძო ელემენტი, შედგენილი ფურცლოვანი დეტალებით.

გერმანიაში დამუშავებულია ორი გისოსიანი სივრცითი კონსტრუქციების სისტემა: ИФИ-ის და „ვეიმარის“ სისტემის კვანძებით. პირველ სისტემაში გამოიყენება ასაწყობი კვანძი, რომელიც შედგება ღეროებთან მიდუღებული სოლისებრი ბუნიკებისაგან და ორი სახურავისაგან, რომლებშიც იდგმება ბუნიკები (ნახ.1.13).



ნახ.1.13. სივრცითი კონსტრუქციის ИФИ-ის სისტემის ასაწყობი კვანძი.

ერთ კვანძს შეიძლება მიუერთდეს 8 ღერო  $45^{\circ}$ -იანი კუთხით. ღეროებისათვის გამოიყენება ცხლად გლინული უნაკერო და შენადული ფოლადის (კლასი 35) მილები.

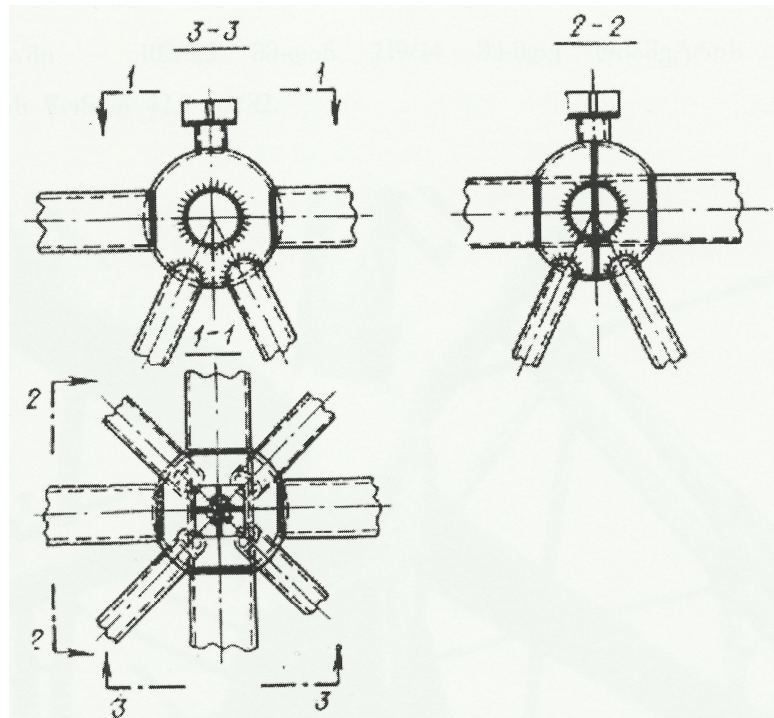
მეორე სისტემის მიხედვით ბუნიკები ჩაიხრახნებიან ბურთულეებში, რომლებიც თავისი კონსტრუქციით ახლოსაა „მეროს“ სისტემებთან. სტრუქტურისათვის იყენებენ მილებს გარეთა დიამეტრით 25-100 მმ, კედლების სისქით 2-4 მმ. ამჟამად იკვლევენ ნალუნი შველერის პროფილით შეცვლის საკითხს.

როცა ზომები გეგმაში =  $18 \times 18$  მ, ლითონის კონსტრუქციების წონა შეადგენს  $17-20$  კგ/მ<sup>2</sup>. ამ ტიპის კონსტრუქციებს აწყობენ მიწაზე და ამონტაჟებენ მსხვილი ბლოკების სახით.

ჩეხეთში დიდი მალეების გადახურვის უნიკალური სტრუქტურული კონსტრუქციების გაანგარიშების თეორიული საკითხებით დაინტერესებულია პროფ. ლედერელი, რომელიც მუშაობს ფოლადის კონსტრუქციებისა და ხიდების კათედრაზე ე. ბრნოში. ფოლადის მილებისაგან შედგენილი სტრუქტურული ფილების შესწავლასთან ერთად დამუშავებული და ექსპერიმენტულად გამოკვლეულია შედუღების კვანძი სავსე ბურთულეებზე.

მოცემულ ვარიანტში ბურთულას გააჩნია ხვრელი, რომელშიც ატარებენ სარტყელს და რომელიც ანიჭებს აუცილებელ სიხისტეს მთლიან ბურთულას (ნახ. 1.14). ბურთულას წონა სტრუქტურის ღეროების წონასთან შედარებით 15-18 % შედუღებული ლითონის წონა დაახლოებით 2-2,5%.

სტრუქტურული გადახურვები ასეთი კვანძებით აგებულია ორ მსხვილ ზამთრის სტადიონზე: ბრნოში (ზომით 88-72 მ) და ოლომოუცში (100X68 მ). ამ ნაგებობებში სტრუქტურულ სახურავს აქვს სარტყელების ორთოგონალური ბადე უჯრედებით -  $4 \times 4$  მ. და სიმაღლით შესაბამისად - 3,5 და 4 მ.



ნახ. 1.14. ჩეხეთში დამუშავებული სტრუქტურული კონსტრუქციის კვანძის ტიპი.

ტიპობრივი ასაწყობ-დასაშლელი სტრუქტურული ფილები დამუშავებულია ჩეხეთში (რუსე, ვესელი, ვორკაჩი). შევჩერდეთ სტრუქტურაზე, რომელიც სრულდება პირამიდებისაგან და ბრტყელი სამკუთხედებისაგან.

ამ ელემენტებისაგან აწყობილი სისტემა რეგულარული სტრუქტურაა, აქვს სარტყელების ურთიერთპერპენდიკულარული ბადე დიაგონალებით. თითოეულ კვანძთან თავს იყრის სამ-სამი ირიბანა, რომელთაგანაც ორი - ზედა და ქვედა სარტყელებზე გამავალ სიბრტყეში მდებარეობს.

მართკუთხა გეგმისას სასარტყელე ბადეების დიაგონალები განლაგებულია შენობის რომელიმე გვერდის გრძივად, ორთოგონალური სარტყელები კი - შენობისადმი  $45^{\circ}$ -იანი კუთხით. მილოვან ღეროებს აერთებენ ორი ფიგურული საყელურის მეშვეობით ერთი ჭანჭიკით, მილების ბოლოებს ჭყლეტენ.

მშენებლობის პრაქტიკაში გამოყენება ჰპოვა გრძელგანზომილებიანი გისოსიანი კონსტრუქციებისა და ქარხნული დამზადების ბრტყელი ან

სივრცული წამწეების აწყობის მეთოდმა, რომლებიც მონტაჟზე, განივი წრფივი ელემენტების მეშვეობით სივრცულ კონსტრუქციას ქმნიან. ამ მიმართულებით დიდი ინტერესი გამოიწვია „ცისამენტის“ (უნგრეთი) ქიმიური კომბინატის საწყობის სტრუქტურულმა კონსტრუქციამ, 32 მ. მალით, სიგრძით -128,4 მ. და სიმაღლით 18,6 მ, რომელიც წარმოქმნილია წყვილი სიმეტრიულად განლაგებული ტეხილი მოხაზულობის პანელებისაგან. საზღვარგარეთის პრაქტიკაში ფართოდაა გავრცელებული სისტემები ნაკეცებისა და გარსების სახით, რომლებსაც აწყობენ როგორც გრძელგანზომილიანი ელემენტებისაგან, ასევე ცალკეული ღეროებისაგან. მაგალითად: გერმანიაში ერთსართულიანი შენობის გადახურვისას გამოიყენება ბადისებრი სისტემები (ტიპები „ბერლინი“ და „რულანდი“).

„ბერლინის“ ტიპის სისტემები შედგება ნაკეცების სახით განლაგებული გრძივი წამწეებისაგან 300 სმ-იანი ბიჯით, რომლებიც ორივე მხარეს ეყრდნობიან ირიბ რანდ-კოჭებს.

„რულანდი“ ტიპის სისტემები ეყრდნობიან გრძივად და შეიძლება იყვნენ გამოყენებული ტალღოვანი მოხაზულობის სახურავებისათვის, კერძოდ, ცილინდრული სახურავებისათვის. ახალი გადაწყვეტებიდან აღსანიშნავია კვანძოვანი შეუღლება ИФИ.

ბოლო პერიოდში რუსეთშიც მკვეთრად გაიზარდა ინტერესი სტრუქტურულ კონსტრუქციებისადმი. მრავალ საპროექტო ორგანიზაციაში დამუშავდა ინდივიდუალური სტრუქტურული გადახურვები ტექნოლოგიური პროცესის განსაზღვრული სქემით.

განხორციელებული პირველი ღეროვანი ფილები მიეკუთვნება ჯვარედინი წამწეების სისტემებს, რომლებიც წარმოქმნიან სარტყელის ორთოგონალურ ბადეს სამკუთხედი გისოსით.

უმეტეს შემთხვევაში ღეროებისათვის გამოიყენებოდა შეწყვილებული ფოლადის კუთხოვანები, ფასონურებზე შეუღლებულები რკალური შედუღების ან დიდი სიმტკიცის ჭანჭიკების მეშვეობით.

ასეთი საფარის ყველაზე ადრეულ პროექტს მიეკუთვნება სოკოლნიკებში საგამოფენო პავილიონის მცირე დარბაზის გადახურვის პირველი ვარიანტი, დამუშავებული 1960 წ. ინჟინერ სტეპანოვის და კონჩელის მიერ. 42X42 მ. ზომის ნაგებობა გადაიხურა ურთიერთპერპენდიკულარული ალუმინის შენადნობის (AB-T) წამწებით, სიმაღლით 2,5 მ. და 6 მ. ბიჯით.

გადახურვა შესრულებული იყო ერთი მიმართულების ფოლადის წამწების სახით 2,6 მ. ბიჯით. ნაგებობის ორი გვერდის გასწვრივ წამწების ტორსები ჩარჩოვდებოდა ნივნიკქვეშა წამწებით, რომლებსაც ჰქონდათ 4 საყრდენი, ორი დანარჩენი გვერდის გასწვრივ გადახურვას ჰქონდა შუაში თითო კოლონა.

საკონცერტო დარბაზი 30X30 მ ზომით გეგმაში, გადახურულია 50X50 მ ფილით. ამრიგად, ყველა მხრიდან მასზე მოქმედებს 10 მ სიგრძის განტვირთვის კონსოლები. გადახურვა წარმოადგენს 2,12 მ სიმაღლის ჯვარედინი წამწების სისტემას, 3 მ ბიჯით. წამწებს ამზადებენ ფოლადის წყვილი კუთხოვანებისაგან; შეუღლებები კვანძებში განხორციელდა ფასონურობაზე შედუღებით.

მოსკოვის არქიტექტურულმა ინსტიტუტმა დაამუშავა 72X54 მ ზომის გადახურვა ჯვარედინი წამწებისაგან, 6 მ ბიჯით, ცელინგორადის სავაჭრო ცენტრისათვის.

შენობის მოკლე გვერდების მიმართ გათვალისწინებულია ექვსმეტრიანი განტვირთვის კონსოლები. წამწების სიმაღლე მოკლე მიმართულებით -2,01 მ-ია.

საინტერესოა ვოლგაგრადში 132X42 მ ზომის ბაზრის სახურავის კონსტრუქცია, რომელიც დამუშავებულია ვოლგოგრადგრაჟდან პროექტის საპროექტო ინსტიტუტის მიერ. ტემპერატურული ნაკერებით საფარი გაყოფილია სამ ბლოკად. თითოეული მათგანი ეყრდნობოდა ფოლადის 12 კოლონას, 12 მ ბიჯით კვადრატის პერიმეტრზე - 36X36 მ. ამრიგად, თითოეულ ფილას გააჩნია განტვირთვის კონსოლები 6 და 3 მ შვერით. ორი



მიმართულებით წამწეების 3 მ ბიჯის შემთხვევაში მათი სიმაღლე უდრის 2 მ კვანძის კონსტრუქციის გასაადვილებლად ურთიერთპერპენდიკულარულ წამწეებს ალაგებენ ორ დონეზე.

ზედა და ქვედა კვანძების ჯვრისებრი დგარით შეერთების შედეგად დატვირთვა გადაეცემა ურთიერთპერპენდიკულარულ წამწეებს და ერთი მიმართულების წამწეებში ორჯერ მცირდება პანელის ზომა.

ორ დონეზე სარტყელების გადაკვეთის გამო ადარ არის კონსტრუქციებში სივრცული კვანძოვანი ფასონურების გამოყენების აუცილებლობა.

წამწეები დაპროექტებულია ფოლადის წყვილი კუთხოვანებისაგან L50X5-დან L110X70X6-მდე კვეთით; ხუთი შუათანა ყველაზე მეტად დატვირთული წამწეების ზედა სარტყელები, რომლებიც მუშაობენ ადგილობრივ ღუნვაზე, შესრულებულია N10 წყვილ შველერისაგან. მთელი კონსტრუქცია შესრულებულია CT-3 მარკის ფოლადისაგან. 24X(12-18)მ ზომის ბლოკებს სამშენებლო მოედანზე აწყობის შემდეგ წევდნენ საპროექტო ნიშნულზე.

უკუპროექტალკონსტრუქციის ინსტიტუტში ვ.ა. ტრეტიაკოვის მიერ დამუშავებულია კიევის კინოსაკონცერტო დარბაზის გადახურვა. ნაგებობა წარმოადგენს ტრაპეციას, რომლის ფუძეები -60 და 50 მ-ია, სიმაღლე - 52 მ. ერთი მიმართულების წამწეები განლაგებულია ფუძეების პარალელურად, მეორე მიმართულების წამწეები - ფუძეების პერპენდიკულარულად 6 მ ბიჯით. წამწეების სიმაღლე (3,7მ).

გადახურვა ეყრდნობა შენობის პერიმეტრზე; სახურავისათვის გამოყენებულია ასაწყობი რკინაბეტონის პანელები. წამწეების ქვედა სარტყელებზე დამონტაჟებულია კიდული ჭერი.

წამწეების მასალა იყო მცირედ ლეგირებული 10XCHD მარკის ფოლადი, წამწეების ღეროებად გამოიყენებოდა დიდი ზომის წყვილი კუთხოვანები.

გადასაზიდი ელემენტები წარმოადგენდა 12მ სიგრძის შედუღებით განხორციელებულ წამწებს, რომლებისგანაც იწყობოდა ბადე 6X6 მ უჯრედებით. მონტაჟის დროს აუცილებელი ხდებოდა შუა ელემენტები შეერთებოდნენ მეზობელ ელემენტების სარტყელებს ორივე მხრიდან პერპენდიკულარული მიმართულებით. ეს მიერთება ხორციელდებოდა მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებით.

საერთაშორისო გამოფენებისათვის რუსეთში დაპროექტებული იყო რამოდენიმე პავილიონი ამ პროექტით. 1968 წ. იუგოსლავიაში აშენდა 60X60 მ ზომის პავილიონი. წამწები შესრულებული წყვილი კუთხოვანებისაგან 3 მ ბიჯით, ეყრდნობა შიგაკონტურულ საყრდენებზე 8 მ კონსოლური შვერებით.

ჯვარედინი წამწების სახით დიდმალოვანი გადახურვების დამზადების და მონტაჟის გამოცდილებამ მოგვცა სივრცითი გისოსების მქონე სტრუქტურული კონსტრუქციების დაპროექტების შესაძლებლობა დიდზომიანი გადასაზიდი ელემენტებისაგან, რომლებიც წარმოადგენენ ბრტყელ ან სივრცით წამწებს 12-დან 24-მდე სიგრძით.

ეს სისტემები დამუშავებულია რიგი საპროექტო ორგანიზაციების მიერ ძირითადად გაგლინული კუთხოვანებისაგან, რომლებიც ერთდებიან ფასონურებზე შედუღებით. ბოლო დროს გაჩნდა კონსტრუქციული გადაწყვეტები ცივგრებილი ღია და დახურული პროფილის მილოვანი ელემენტების გამოყენებით.

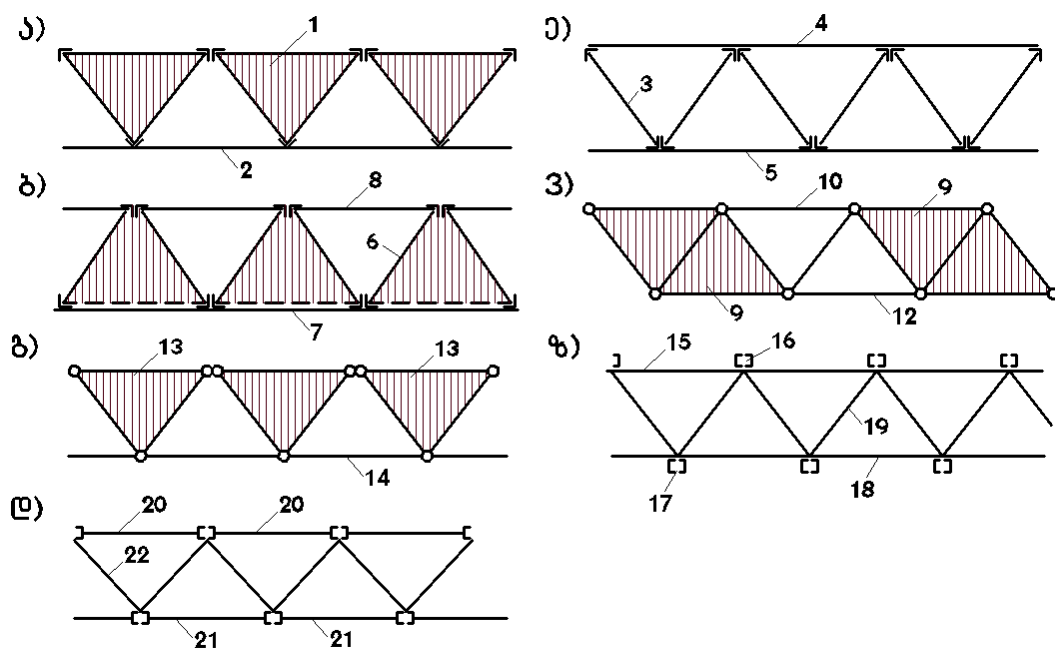
ასეთი სისტემების მიმოხილვას დავიწყებთ 1966 წ. დამუშავებული სამრეწველო ნაგებობის ადრეული პროექტის განხილვით, რომელშიც გათვალისწინებულია შეკიდული ტრანსპორტის გამოყენება. კოლონების ბადის ზომაა 24X24 მ (პროექტის მთავარი ინჟინერია ნ. ფრუმენი).

სტრუქტურა დამუშავებულია ორ ვარიანტში:

პირველის მიხედვით ძირითადი გადასაზიდი ელემენტებია სამწახნაგა სივრცული წამწები, რომელთა სარტყელები შესრულებულია ცალკეული კუთხოვანებისაგან, ირიბანები კი - წყვილი კუთხოვანებისაგან

(ნახ. 1.15-ზე ნაჩვენებია ბლოკის განიკვეთი, რომელიც დანიშნულია ციფრით 1 და დამტრიხულია). ამ სამონტაჟო ბლოკებს დგამენ თავისი წვეროებით წამწეების სარტყელების ორთოგონალურად განლაგებული ხაზოვან ელემენტებზე (2).

სამკუთხა წამწეების ხაზოვანი ელემენტებით დამაგრება, აგრეთვე თითოეული ბლოკის მომიჯნავე სარტყელების დამაგრება მთელ სიგრძეზე ერთ ორტოტიან სარტყელად გვამღვეს საშუალებას გავაერთიანოთ ყველა გადასაზიდი ელემენტი ერთი სტრუქტურული ფილის სახით.



ნახ. 1.15. სამწახნაგა სივრცითი და ბრტყელი გადასაზიდი წამწეები.

მეორე ვარიანტში ძირითადი გადასაზიდი მარკებია ბრტყელი წამწეები ცალკეული კუთხოვანებიანი სარტყელებით (ელემენტი 3, ნახ.1.15-ზე), რომლებიც მონტაჟისას განლაგებულია 45% კუთხით და ერთდებიან ერთ სივრცით კონსტრუქციაში ხაზოვანი ელემენტებით (4 და 5), აგრეთვე ორი მომიჯნავე წამწის სასარტყლე კუთხოვანების ერთმანეთთან დამაგრებით. ხაზოვანი ელემენტი დასმულია როგორც ზრდა, ასევე ქვედა კვანძებზე. სისტემას კრეფენ ოთხ ქანჭიკზე, ფასონურების შემდგომი

შედლებით, რაც შეიძლება ვაწარმოოთ სამშენებლო მოედანზე და საპროექტო მდგომარეობაშიც.

სისტემებს ანგარიშობენ მსუბუქ და მძიმე სახურავებზე. ყველა შემთხვევაში სისტემას გააჩნია სარტყელთა ორთოგონალური ბადე 3X3 მ ზომის უჯრედებით, 1,5 მ სიმაღლით. 24X224 მ ზომის სტრუქტურული ფილები კუთხეებით ეყრდნობა კოლონებს და პერიმეტრზე გააჩნია სპეციალური გამაგრებები. მძიმე სახურავის დროს ეს გამაგრებები წარმოადგენს სამწახნაგა სივრცულ წამწეებს, რომლებიც გამოდიან სახურავზე და გამოიყენებიან სარკმელების სახით.

მსუბუქი სახურავის კონტურული გამაგრება არ გამოდის სტრუქტურული ფილის გაბარიტში და წარმოადგენს ბრტყელ წამწეს.

შედარებით მსუბუქი სახურავის (გ-300კგ/მ<sup>2</sup>) დროს და იგივე კიდული ტრანსპორტის არსებობისას ლითონის ხარჯი აღწევს 42 კგ/მ<sup>2</sup>.

1967 წელს ლენზნიიეპ-ის მიერ დამუშავებული იქნა სტრუქტურული ფილები განლაგებული კუთხოვანებისაგან 35X35, 48X48 და 60X60 მ ზომით გეგმაში საზოგადოებრივი შენობების გადახურვისათვის, უჯრედებით 3X3 მ, როდესაც სტრუქტურული ფილის სიმაღლე უდრის მალის 1/20-ს.

ყველა შემთხვევაში გადახურვა ეყრდნობა პერიმეტრით. გადასაზიდმარკას წარმოადგენს სამწახნაგა 3X12 მ ზომის (ელემენტი 6. ნახ-ზე 1.22) სივრცული წამწეები. ადრე განხილულ კონსტრუქციისაგან განსხვავებით სივრცულ გადასაზიდი მარკის ქვედა ფუძის განივი ელემენტები წმინდა სამონტაჟოა. ბლოკებს დგამენ ამ ზედაპირით და სივრცულ ფილაში აერთებენ დიდზომიანი ქვედა სარტყელის სიბრტყეში მდებარე გრძივი ელემენტებით (7) და ზედა სარტყელის სიბრტყეში განლაგებული მოკლე ელემენტებით (8).

სტრუქტურა დაპროექტებულია მძიმე საანგარიშო დატვირთვაზე. სახურავი მოწყობილია ასაკრეფი რკინაბეტონის ფილებით, რომლებიც საიმედოდ მაგრდებიან გისოსოვან სისტემასთან და ირთვებიან სტრუქტურის ზედა სარტყლების მუშაობაში.

მაღალი ქარხნული დამზადების დიდზომიანი ელემენტებისაგან სტრუქტურების დამუშავებისას გამოიყენეს თხელკედლიანი მილებიც. ასე მაგალითად, მოსპროექტ-1-ში ს.გ. კრივინის და ი.ვ. ლისიციანის მიერ 1967 წ. დამუშავდა პროფკავშირების უმაღლესი სკოლის დარბაზის გადახურვა მილოვანი სტრუქტურის სახით, სარტყელების ორთოგონალური ბადით. დარბაზის ზომაა 27X27 მ, სტრუქტურის სიმაღლე - 1,5 მ და უჯრედების ზომა -1,5X1,5 მ გადასაზიდი მარკები აქ არის 15 მ სიგრძის ოთხწახნაგა პრიზმები (ნახ.1.22, გ ელემენტი 9), რომლებიც ერთდებიან სამშენებლო მოედანზე სამი შემკრავი ელემენტით (10,11,12). ყველა შეერთება შედუღებითია. შემკრავი ელემენტები მონტაჟისას მაგრდება ნორმალური სიზუსტის ჭანჭიკებით, შემდგომი შედუღებით. ირიბანების ბოლოები შეჭყლეტილია და მიდუღებულია ფასონურასთან ერთი ბოლოთი.

დამუშავებულია ოთხი ვარიანტი, რომელთა მიხედვითაც ადგენენ სტრუქტურას. პირველი ვარიანტის მიხედვით სასარტყლე ბადეებს აწყობენ სამონტაჟო მოედანზე ცალკეული გრძელგანზომილებიანი ღეროებისაგა (12-დან 24მ-მდე), რომლებიც იკვეთებიან ორ დონეზე (ნახ.1.22. ელემენტები 15,16,17,18) და ცალკეული ირიბანებისაგან (ელემენტი 19), რომლებიც უშუალოდაა მიერთებული ერთი მიმართულების სასარტყლე ღეროებთან.

მეორე ვარიანტის მიხედვით სასარტყლე ბადეებს აწყობენ 12-24 მ სიგრძის ირიბანიან ან უირიბანო ბრტყელი წამწეებისაგან (ელ.20 და 21, ნახ. 1.22) და მონტაჟისას მისაერთებელი ცალკეული ირიბანებისაგან (ელემენტი 22). ამ ვარიანტში წამწეების სარტყელები შესრულებულია პროფილებისაგან, რომელთა განიკვეთები უდრის სტრუქტურის სარტყელების განიკვეთების ნახევარს და რომლებსაც გამსხვილებული აწყობისას ადუღებენ მთელი განიკვეთით.

მესამე ვარიანტის მიხედვით სტრუქტურას აწყობენ 12-24 მ სიგრძის და 4-6 მ-მდე სიგანის წებოვანი პანელებისაგან (სქემა 1.22) და ირიბანების ცალკეული ღეროებისაგან, რომლებიც ერთდებიან წიბოების გადაკვეთის ადგილზე. აწყობის შემდეგ პანელების წიბოები ქმნიან ზედა და ქვედა

სასარტყლე ბადეებს, ფენილი კი - სახურავის და ჭერის შემომზღუდავ ელემენტებს. ორივე შემთხვევაში ფენილი ერთვება სტრუქტურის სარტყელების მუშაობაში.

მეოთხე ვარიანტის მიხედვით ფილას აწყობენ დახრილი წამწეებისაგან და გრძელგანზომილებიანი ხაზოვანი ელემენტების ცალკეული ღეროებისაგან, რომლებიც უერთდებიან კვანძებს პერპენდიკულარული მიმართულებით (ანალოგიური სქემა ნახ. 1.22).

ასეთი გადაწყვეტილებისას წამწეების სარტყელებს ამზადებენ პროფილებისაგან, რომელთა განიკვეთი უდრის სტრუქტურის სარტყლის განიკვეთის ნახევარს.

ნაღუნ პროფილებზე ასაწყობი სტრუქტურის ყველა განხილული ვარიანტებისათვის დამახასიათებელია ყველა ელემენტის უშუალო შეერთება მცირე ზომის ფირფიტების საშუალებით, ზოგ შემთხვევაში კუთხოვანების მოკლე ნაჭრებით, რომლებიც უმეტეს შემთხვევაში ირიბანების ბოლოებთანაა შედუღებული და აწყობისას ასრულებენ ფიქსატორების როლსაც. ყველა საქარხნო შეერთება-შედუღებითია, სამონტაჟო-შედუღებითი და ჭანჭიკოვანი. სტრუქტურების განმსხვილებული აწყობისას შედუღების 80-90 % შეიძლება შესრულდეს ავტომატური ან ნახევარავტომატური ხერხით.

დიდგაბარიტიანი გადასაზიდი ერთეულებისაგან განხორციელებული სტრუქტურული გადახურვის მაგალითია ბაქოში ზღვისპირა პარკის საგამოფენო პავილიონის გადახურვა (პროექტის შემსრულებელი - რ.მ. ბანანიარსკი). გეგმაში შენობა წარმოადგენს თორმეტკუთხედს საყრდენი კონტურის დიამეტრი 37მ, კონსოლური შვერებით, რომლებიც ქმნიან სახურავის გეგმას ექვსკუთხედის სახით. ზედა სარტყელებზე სტრუქტურული ფილა ქმნის სამკუთხა უჯრედებს, ქვედაზე - ექვსკუთხას. ყველა ელემენტი შესრულებულია მილებისაგან (ფოლადის მარკა CT-3).

მშენებლობაზე დიდი ბლოკებით მიტანილ სტრუქტურულ ფილას სწევდნენ სექტორების სახით და წვეროებით აყრდნობდნენ სამონტაჟო დგარებზე.

მეორე მაგალითს წარმოადგენს ბაქოში ყვავილების პავილიონის გადახურვა, რომელიც დაპროექტებულია ბაკვიპრიგორის მიერ (ავტორები ნ.ნ. ნიკონოვი და ე.ვ. ბოდე). სტრუქტურას გააჩნია 31,5X31,5 მ ზომის სარტყელების ორთოგონალური ბადე, რომელსაც აქვს განტვირთვის კონსოლები 5,225 მ შვერით. გადახურვა ასევე მზადდებოდა მილებისაგან.

აქ ერთი მიმართულების სარტყელები გრძელგანზომილებიანი ელემენტებია და მათთან მიერთებულია სხვა მიმართულების სარტყელების მოკლე ელემენტები, ტორსების ფიგურული დამუშავებით. ამ ელემენტებს ადუღებენ მილებთან პირმიდგმით დამატებითი შეჭრილი ფასონურების საშუალებით. ასევე აერთობდნენ ირიბანებსაც.

არსებობს სტრუქტურების შექმნის ორი მიმართულება: მოცულობითი გადასაზიდი მარკებისაგან და ბრტყელი წამწეებისაგან. პირველის უპირატესობა არის სისტემის საქარხნო დამზადების შესაძლებლობა, თუმცა გადასაზიდი მარკების დიდი გაბარიტის და მათი მცირე წონის გამო ტრანსპორტის გამოყენება არარენტაბელურია.

სატრანსპორტო საშუალებების უკეთესად გამოყენების მიზნით კონსტრუქტორები მივიდნენ გადასაზიდი მარკების შემცირებამდე და სტრუქტურების ცალკეულ ელემენტებად დამზადებამდე. ასე, მაგალითად, პირამიდის ფორმის გადასაზიდი მარკა აადვილებს ტრანსპორტირებას, რადგანაც შესაძლებელია პირამიდების ერთმანეთში ჩაწყობა. პირამიდული დამზადებისას შეიძლება სტრუქტურების დაკომპლექტება როგორც სამი, ასევე ორი ორთოგონალური მიმართულებით ორიენტირებული სარტყელებით. ორივე შემთხვევაში სტრუქტურის გისოსი გამოდის გაიშვიათებული, ე.ი. უჯრედების მთელი რაოდენობის ნახევარი არ არის შევსებული ირიბანებით.

პირველი ასეთი სახის სტრუქტურების კვანძოვანი შეუღლებების კონსტრუქცია დამუშავებული იქნა 1965წ რ.ი. ხისამოვის მიერ (მოსკოვის სამშენებლო ინსტიტუტი); რაც მდგომარეობს პირამიდის მილოვანი ელემენტების შეერთებაში სექტორის ფორმის მქონე ჰორიზონტალური ფასონურების მეშვეობით, რომლებთანაც მიბჯენით შედუღდება უშუალოდ ირიბანები, სარტყელები კი - მილის დიამეტრით შეიჭრება ფასონურებში. მონტაჟისას ფასონურები უერთდებიან ერთმანეთს ჭანჭიკებით და ხდება იმ წახნაგების შემდგომი შედუღება, რომლებითაც ეხებოდნენ ფასონურებს. შეუღლების ამ ხერხით არ არის შესაძლებელი კვანძში თავმოყრილი ყველა ძალვის სრული ცენტრირება.

სტრუქტურების ანალოგიური კვანძები დამუშავებულია ვ.ფ. ფაიბიშენკოს მიერ (მოსკოვის არქიტექტურული ინსტიტუტი). კვანძებს აწყობენ პირამიდისაგან და ცალკეული სასარტყლე ღეროებისაგან. მილოვან ელემენტებს პირამიდის ფუძეში აუღლებენ ვერტიკალური შეჭრილი ფასონურების მეშვეობით, რომლებსაც გააჩნია სპეციალური სამონტაჟო ყუნწები. მანჭვალებით, რომლებიც გაყრილია ყუნწებში, აერთებენ ყველა პირამიდის ქვედა კუთხეების ერთ საერთო კვანძებში, რის შემდეგაც კვანძებს შემოადუღებენ. პირამიდის წვეროები წარმოადგენს მილყელებისაგან დამზადებულ ექვსდაბოლოებიან ვარსკვლავს, რომლებიც შედუღებულია სამფურცელა ფასონურებზე. ბოლოს მილყელებთან ადუღებენ ირიბანებს.

მონტაჟისას მილყელებში დგამენ მილებს, რომლებიც ქმნიან სარტყელების ზედა ბადეს და ადუღებენ. ეს კვანძი გამოყენებული იქნა ტოლგვერდა სამკუთხედოვან (10,18,24 და 30 მ გვერდებით) გადახურვებში. ამ სამკუთხედებისაგან შედგება ქ. სტუპინოს გაგარინის სახელობის პიონერთა ბანაკის ნორჩ ტექნიკოსთა პავილიონის კომპლექსი. ერთი ფილა 24 მ გვერდით ეყრდნობა კონტურზე, ყველა სხვა სამკუთხედები ერთი გვერდით ებჯინებიან ამ ფილას და გააჩნიათ კოლონების სახით



დამატებითი დგარები, რომლებიც განლაგებულია კონტურისაგან ოდნავ მოცილებით სხვადასხვა ბიჯით.

ოთხივე გადახურვა შესრულებული იყო, 100 სმ სიმაღლისა და 200 სმ ფუძის ერთნაირი სივრცული პირამიდებისაგან. ღეროებისათვის გამოიყენებოდა თხელკედლიანი ფოლადის მილები (ფოლადის მარკა CT-3). ზედა და ქვედა სარტყელების ზომები შესაბამისად 60X3,5 და 48X3,5 მმ ცალკეულ პირამიდებს ადუღებდნენ ერთ სტრუქტურულ ფილად სამშენებლო მოედანზე, რის შედეგადაც ფილა აჰქონდათ საპროექტო მდგომარეობაში.

სამწახნაგა პირამიდებისაგან შედგენილი სტრუქტურების სისტემა დაედო საფუძვლად ქ. სოჭიში 4000 ადგილიანი საკონცერტო დარბაზის გადახურვას (ავტორები მ.ი. ბერლინი და ი.ა. ბრუკი). ნაგებობა განლაგებულია შედარებით ციცაბო ფერდობზე, ამიტომ მონტაჟი განახორციელეს მსუბუქი გადასაზიდი მარკების ნაზრდის მეთოდით. სტრუქტურული ფილა გეგმაში წარმოადგენს არაწესიერ ექვსკუთხედს, რომლის სამი გვერდი უდრის 36 მ სამი სხვა გვერდი - 45 მ-ს. ფილა ეყრდნობა 21 კოლონას, რომლებიც გამოდიან კონტურიდან გარკვეულ მანძილზე 6-დან 15 მ-მდე ბიჯით და წარმოქმნიან 3-დან 11მ-მდე ფილის კონსოლურ შვერებს.

ტრანსპორტირების ეფექტი მიიღწევა არა პირამიდების მიტანით მშენებლობაზე, არამედ დაშლილი ელემენტების ტრანსპორტირებით. საზღვარგარეთ მშენებლობის გამოცდილებამ აჩვენა, რომ დიდი რაოდენობის ერთტიპოვანი ღეროების ელემენტებად დამზადება ადვილად ავტომატიზირდება და ხორციელდება ნაკადურ ხაზებზე. კვანძოვანი შეუღლების კარგი დამუშავების დროს ღეროების აწყობა არ აფერხებს მშენებლობას. ეს დაედო საფუძვლად ჩვენს ქვეყანაში რიგ კონსტრუქციულ დამუშავებებს და მილოვანი სტრუქტურების სპეციალური გამოკვლევის ჩატარებას, როდესაც სტრუქტურა იწყობა სამშენებლო მოედანზე ცალკეული ელემენტებისაგან ამ დამუშავებებში კვანძოვანი შეუღლებები

ხორციელდება ან მექანიკური გზით სპეციალური გარდამავალი ელემენტების მეშვეობით, რომლებსაც საჭიროებს დამუშავების მაღალი სიზუსტე ან შედუღებით.

ალმა-ატაში ინჟ. ი.ი. ფორმალსკის მიერ დამუშავებული იყო საგამოფენო პავილიონის გადახურვა. გეგმაში იგი წარმოადგენს ექვსკუთხედს 15მ სიდიდის გვერდებით. ამ პროექტში სტრუქტურული ფილის სიმაღლე უდრის 102 სმ, სასარტყლე ბადეები შედგება სამკუთხა უჯრედებისაგან. ყველა ელემენტი სრულდება 3 მმ სისქის და 40 მმ დიამეტრის მილებისაგან. სტრუქტურა ეყრდნობა კოლონებს 5 მ ბიჯით. სივრცულად განლაგებული ღეროების შეერთებაში პრინციპულად ახალია ვანისებრი ხერხი, რომელიც დამუშავდა ლითონის კონსტრუქციებისა და ЦНИИСК-ის შედუღების ლაბორატორიების მიერ.

ეს კვანძი ყველა ადრე გამოყენებულებისაგან განსხვავდება იმით, რომ მისი განხორციელება ხდება რომელიმე გარდამავალი ელემენტების გარეშე (ბურთულები, ფასონურები და სხვა). შედუღების პროცესში ერთდროულად ერთჯერადად ერთდება კვანძში თავმოყრილი ყველა ელემენტი. ეს პროცესი არ საჭიროებს ამაღლებულ სიზუსტეს და რომელიმე ახალი ტექნოლოგიური ხაზების შექმნას. კვანძის მისაღებად, მილების ბოლოებს შეჭყლეტენ და ირიბანებისათვის ჭრიან კუთხით, რომელიც ირიბანის დახრის შესაბამისია. ღეროები შეირწყმებიან ტორსულ წახნაგებზე და მაგრდებიან კონდუქტორში. კვანძის ქვეშ გამოიყენება სპილენძის ქვესადები. ამ დროს მილების ტორსებს შორის წარმოიქმნება დაახლოებით 3 სმ სიგანის თავისუფალი სივრცე. ეს სივრცე შეივსება დნობადი ლითონით. ასე წარმოიქმნება კომპაქტური კვანძი, რომლის წონა არ აღემატება კონსტრუქციის წონის 2-2,5 %-ს.

კვანძის წარმოქმნის სიმარტივემ დააინტერესა ბევრი საპროექტო და საწარმოო ორგანიზაცია. იგი უკვე ჩადებულია რიგ პროექტებში.

ყველაზე საინტერესოა გადახურვები: სპორტდარბაზის გადახურვა ქ.ირკუტსკში, ქ.მოსკოვის სადემონსტრაციო დარბაზის გადახურვა და ქ. ტოლიატში ბაზრის გადახურვა.

გეგმაში ირკუტსკის სპორტულ დარბაზს აქვს კვადრატის ფორმა 42 მ გვერდებით. იგი გადახურულია სტრუქტურული ფილით, რომლის ბადის უჯრედები 3X3 მ ზომისაა. სახურავად მიღებულია მემბრანული ალუმინის პანელები, რომელთა ზომაა 299X299 მმ და სისქე 1,5 მმ. ფურცელი კონტურზე მაგრდება ჩარჩოსთან, რომელიც წარმოადგენს 50X50X5 მმ ზომის კუთხოვანებს. პანელები ლაგდება სარტყელების ზედა ბადეზე და მაგრდება მოთუთიებული ჭანჭიკებით სპეციალურ „მქისებთან“, რომლებიც მიდუღებულია მილებთან.

სიხისტის ასამაღლებლად მემბრანა წინასწარ იძაბებოდა. ამ მიზნისათვის ქვედა კვანძებზე სვამდნენ ბოლოებში ჭანჭიკებით აღჭურვილ მსუბუქ დგარებს, რომელთა თავები ებჯინება ყველა პანელის შუაში. ჭანჭიკების ამოხრახვნისას ხდებოდა პანელების განბრჯენა, რის შედეგადაც ფურცლებში წარმოიქმნებოდა გამჭიმავი ძაბვები. ეს ძაბვები უზრუნველყოფდნენ აუცილებელ სიხისტეს.

მოსკოვის „ავტოსერვისის“ სადგურის სადემონსტრაციო დარბაზის გადახურვის პირველი ვარიანტი, რომელიც დამუშავებულია მოსპროექტ-2-ის და ЦНИИСК -ს მიერ, წარმოადგენს სტრუქტურულ ფილას, რომლის სარტყელთა ბადეები ქმნიან სამკუთხედ უჯრედებს, 4-4,5მ გვერდებით.

სარტყელებს შორის მანძილი უდრის 3,2 მ სარტყელების ბადეები დაძრულია ერთმანეთის მიმართ ისე, რომ ყველა ირიბანას ჰქონდეს ერთი სიგრძე და დახრის კუთხე, რომელიც შეადგენს 38 ვერტიკალთან.

ისევე, როგორც მეორე ვარიანტში სტრუქტურული ფილა ეყრდნობა კონტურულ კოლონებზე 12 და 13,45 მ ბიჯით სამკუთხედზე, რომლის გვერდები უდრის 84 და 94 მ. ასე წარმოქმნილ კონსოლებზე შეკიდებულია პარაპეტი, რისი მეშვეობითაც წარმოიქმნება უარყოფითი მღუნავი მომენტები, რომლებიც განტვირთავენ სტრუქტურის შუალედურ ნაწილს.

კონსოლების შვერი და პარაპეტის წონა შეირჩევა ისეთი გაანგარიშებით, რომ საყრდენი და მალის მომენტები დაახლოებით უდრიდნენ ერთმანეთს. საყრდენ ირიბანებზე დატვირთვის შემცირებისათვის, კოლონებზე გათვალისწინებულია კაპიტელები, რომლებიც ანაწილებენ კოლონის რეაქციას სამ კვანძზე. სტრუქტურა დაპროექტებულია უნაკერო ცხლად გლინული მილებისაგან.

ქ.ტოლიატში დახურული ბაზრის პროექტი, რომელიც დამუშავებულია სავაჭრო ნაგებობების საკვლევ სამეცნიერო ინსტიტუტის ვ.ა. კუჩერენკოს სახელობის ЦНИИСК-ის მიერ, წარმოადგენს პირამიდას 54X54 მ ფუძით და 27,4 მ სიმაღლით. პირამიდის წვერო მდებარეობს ფუძის ერთ-ერთ დიაგონალზე და ჰყოფს მას 26,4 და 49,7 მ მონაკვეთებზე. პირამიდის ასეთი კონფიგურაციისას მისი მხოლოდ ორი წახნაგი წარმოადგენს ტოლფერდა სამკუთხედს. წიბოები ერთმანეთს ერწყმიან ქვედა სარტყლების დონეზე, რისთვისაც ეს სარტყლები მოჩარჩოებულია დიდი დიამეტრის მილებით. პირამიდის წახნაგების მზიდი ნაწილი დაპროექტებულია სამკუთხა უჯრედებიანი ორსარტყლოვანი სტრუქტურული სისტემის სახით. შემომზღუდავად გამოიყენება ფოლადის პროფილირებული ფენილი. სასარტყლე ბადეები დაპროექტებულია ფოლადის მილებისაგან 114X4 მმ კვეთით, ირიბანები (საყრდენი ირიბანების გარდა) – 82X4 მმ განიკვეთის მილებისაგან. პირამიდა ეყრდნობა 20 ბოდისებრ სამირკველზე, რომლებიც მოთავსებულია კუთხეებში (თითო) და გვერდებზე (ოთხ-ოთხი).

ტემპერატურული ძაბვების თავიდან აცილების მიზნით პირამიდის საყრდენ ნაწილებს საშუალება ეძლევათ გადაადგილდნენ ჰორიზონტალურად. ქარის დატვირთვის მისაღებად, რომლებიც მოქმედებენ წიბოს მხრიდან, პირამიდის ფუძეზე გათვალისწინებულია ჰორიზონტალური წამწე ხისტი კუთხედებით.

ვანური შედუღებით სტრუქტურების კვანძოვანი შეუღლებების შემდგომმა დამუშავებებმა მიგვიყვანეს ასაწყობ-დასამლელი

უნიფიცირებული სტრუქტურული ფილების შექმნამდე, შედარებით მცირე მალეხისათვის და მსუბუქი სახურავისათვის. ამ შემთხვევაში სტრუქტურული ფილის ღეროები ერთდებიან ე.წ. „ზღარბებზე“, რომლებიც შედგებიან 30 მმ დიამეტრის ფოლადის ოთხი მრგვალი ღეროსაგან და 24 მმ დიამეტრის ოთხი ღეროსაგან, რომელთაც ბოლოებზე აქვს კუთხვილები. ქარხნულ პირობებში ეს ღეროები ერთდება ერთმანეთთან ვანური შედუღებით. ღია პროფილებისაგან ღეროების დამზადებისას (მხედველობაში გვაქვს ნალუნი პროფილები). მათ ბოლოებზე ადუღებენ ნახვრეტებიან ფასონურებს. ნახვრეტების დიამეტრი 2-3 მმ-ით მეტია ზღარბის ღეროების დიამეტრზე. ამის შემდეგ დახრახნიან ქანჩს და კონტრქანჩს.

„მეროს“ ტიპის ასაწყობ-დასაშლელ კვანძების გამოყენებით სამრეწველო დანიშნულების სტრუქტურული კონსტრუქციების დამუშავებაში დიდი წვლილი აქვს შეტანილი მოსკოვის არქიტექტურის ინსტიტუტს (ვ. ფაიბიშენკო, ვ. სიმონოვი, ვ. ერმაკოვი, გ. ხორინი, ი. გოხარხარმაზერენი, ა. პოუკოვი). მათ დააპროექტეს სამრეწველო შენობის უნივერსალური გადახურვა ზომებით 30X30 მ, რომელიც ეყრდნობოდა ოთხ შიგა კაპიტალურ საყრდენს (სქემით 6-18-6).

ყველა ძირითადი ელემენტი-სართყელები და ირიბანები - შესრულებულია 57X3,8 მმ ერთნაირი განიკვეთის ფოლადის მილებისაგან. გადახურვის წონა შეადგენდა 24 კგ/მ<sup>2</sup>.

სტრუქტურული სისტემების დაპროექტებისა და მშენებლობის შედეგების გაანალიზებით აუცილებელია აღინიშნოს შედეგი:

1. გადახურვა არის სტრუქტურების გამოყენების ძირითადი არე. მაგრამ კრისტალური ტიპის სივრცითი კონსტრუქციები ასევე გამოიყენება სართულშორისი გადახურვებისათვის, ტიხარებისათვის, კედლებისათვის. არსებობს სტრუქტურული ტიპის ანძისებური ნაგებობები. ტაგიგავაში (იაპონია) ელექტროსადგურის სამანქანო დარბაზისათვის წარმატებით გამოიყენეს სტრუქტურული კონსტრუქციის კომპლექსური გადაწყვეტა.

სტრუქტურული კონსტრუქციებითაა გადაწყვეტილი „ექსპო-67“-ს პავილიონი, რომელთა შორის უდიდესი წარმოადგენს წაკვეთილ პირამიდას 66 მ სიმაღლით და ზომები გეგმაში 64X64 მ.

2. კონსტრუქციულ სისტემათა დიდი რაოდენობის და დიდი მალეების გადახურვის პრინციპული შესაძლებლობის მიუხედავად, უმეტეს შემთხვევაში აშენებული ბრტყელი გადახურვები არ აღემატება 50 მ-ს (კონტურზე დაყრდნობისას) მალეების გადახურვის ორიგინალურ გადაწყვეტილებას, რომლებიც აღემატება 50 მ, ზემოთ განხილული შემთხვევების გარდა მიეკუთვნებიან:

ა) სუზუკის (იაპონია) მიერ დამუშავებული 65X65 მ დარბაზის გადახურვა ქ. უბანში. სარტყელების ზედა ბადე გადაწყვეტილია დამოუკიდებელი ორთოგონალური სტრუქტურის სახით და მუშაობს კუმშვაზე, აგრეთვე ღუნვაზეც, როგორც ფილა დამყოლ საყრდენებზე, რასაც წარმოადგენენ დახრილი გისოსის შუალედური შრის შემეადგენელი ღეროები. გისოსს და ქვედა ბადეს გააჩნია მსხვილი მოდული, ამასთანავე ქვედა ბადე განლაგებულია კონტურთან დიაგონალურად.

ბ) ზამთრის სტადიონების გადახურვა ბრნოში, გეგმაში ზომით 88X72 მ და ოლომოუჰში - ზომით 100X68 (ჩეხეთი).

ეს მაგალითი ამტკიცებს იმ ფაქტს, რომ მალის გადიდებით ზოგიერთი (მაგალითად განტვირთვის კონსოლების დროს) სივრცითი სისტემების ეფექტურობა მატულობს.

ამავე დროს ჩვეულებრივ სტრუქტურულ სისტემაში დიდმალოვანი გადახურვის გადაწყვეტის ზოგიერთი მცდელობა აღმოჩნდა განუხორციელებელი (ვაქსმანის, მის ვან დერ როე-ს პროექტები).

3. ნებისმიერი დატვირთვისას კვანძების სიმტკიცის მიხედვით ვარგისად შეიძლება ჩაითვალოს „მეროს“ და „ოქტაპლატის“ სისტემები, აგრეთვე ვანური შედუღებით გადაწყვეტილი საბჭოური კვანძები.

ყველაზე მობილურ ტიპებად შეიძლება ჩაითვალოს „მეროს“, „ტრიოდეტეკის“ და ИФН-ს ასაწყობ დასაშლელი კვანძები.

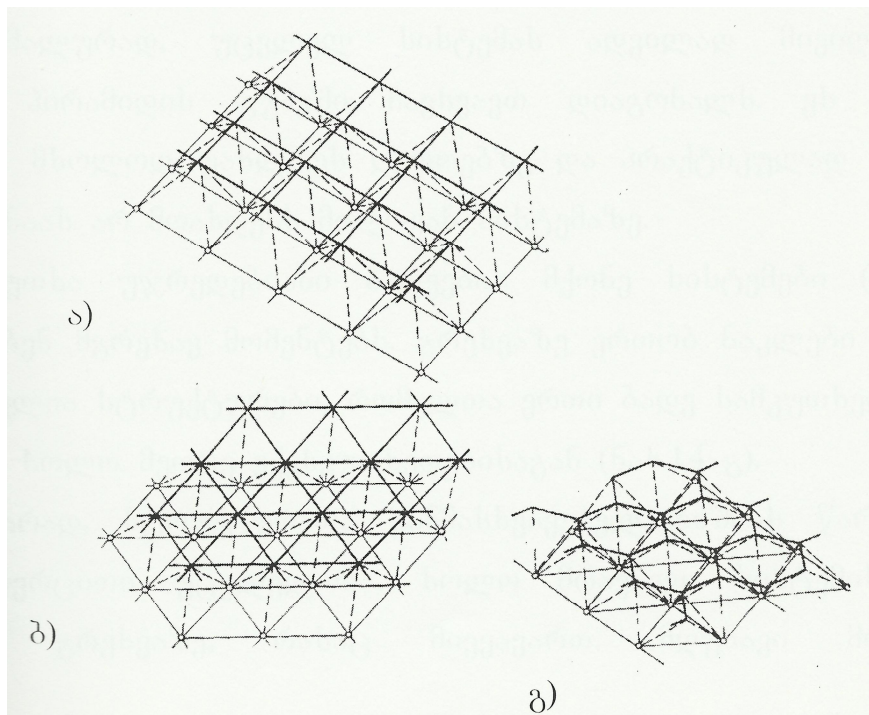
ირიბანების სივრცულად განლაგებულ სტრუქტურულ ფილებთან ერთად მშენებლობის პრაქტიკას გააჩნია ჯვარედინი წამწეების სისტემის სახით დიდმალიანი გადახურვების საკმარისი მაგალითი, რომლებიც სრულდება როგორც წესი გაგლინული ელემენტებისაგან, შეუღლებელი ფასონურებზე შედუღებით ან მაღალი სიმტკიცით ჭანჭიკების მეშვეობით. ასეთი ტიპის კონსტრუქციებიდან ყველაზე საინტერესო შეიძლება იყოს გადახურვა, შესრულებული ვერტიკალური ჯვარედინი წამწეების სახით. გადახურული მალი უდრის 81 მ გადახურვას კონტურზე გააჩნია 6,5 მ კონსოლური ნაწილი. გადახურვის სიმაღლე შეადგენს 20 მ-ს. შედარებითი სიმაღლე  $h/e=1/32$ , ფოლადის დანახარჯი 30%-ით ნაკლებია, ვიდრე გადახურვის ჩვეულებრივი გადაწყვეტები. ჩვეულებრივი ეკონომიური ეფექტი შეადგენს 15%-ს.

## 1.2. რეგულარული (სტრუქტურული) კონსტრუქციების სახეობები (ტიპები)

რეგულარული (სტრუქტურული) კონსტრუქციები, რომლებიც ფორმითა და გეომეტრიული აგებულებით მსგავსია ლითონის კრისტალური მესერისა (გისოსისა). იგი წარმოადგენს სივრცითი სისტემის ტიპიურ მაგალითს. სტრუქტურის ნებისმიერ კვანძში, ნებისმიერი მიმართულებით მოდებული ძალა, პირველ რიგში იწვევს ძალვის აღძვრას მომიჯნავე კვანძებში, ანუ სივრცით რეაქციას, რაც უწყვეტი სისტემის (ფილის ან გარსის) წინააღმდეგობის ძალის აღძვრის მსგავსია. სტრუქტურული სისტემა, ტრადიციული ლითონის კონსტრუქციებისაგან განსხვავებით არ საჭიროებს გრძივებსა და კავშირებს. მათ ფუნქციას ასრულებენ სარტყლის ბადეებისა და დახრილი გისოსების ღეროები. იოლად დავრწმუნდებით, რომ უდიაგონალო ორთოგრაფიული სტრუქტურებიც კი (ნახ.1.16.,ა) რომელთა სარტყლის ბადე თავისთავად ცვლადია, მთლიანობაში წარმოადგენენ გეომეტრიულად უცვლელ

სისტემას ყოველგვარი კავშირების გარეშე, კავშირების როლს ასრულებენ დახრილი ირიბანები. სინამდვილეში სისტემა შეიძლება ავაგოთ თუ სწორკუთხა ფუძის საწყის პირამიდასთან შევადრებთ ყოველ შემდგომ კვანძს სამი ღეროთი. (ნახ.1.16) ასე რომ სისტემას აქვს ერთი თავისუფლების ხარისხი, რაც მდგომარეობს სარტყლის სწორკუთხა უჯრედების დეკლანტაციის შესაძლებლობაში. ეს დეკლანტაცია შეზღუდულია და გამოწვეულია მხოლოდ სისტემის უუნარობით აითვისოს ბადეში აღძრული ძვრის ძალები, ანუ მგრეხავი მომენტები.

ფორმალურად უცვლელ სისტემას ადვილად მივიღებთ, თუ საწყისი პირამიდის ფუძეში ჩავსვავთ დიაგონალს ეს გავლენას იქონიებს მხოლოდ უახლოეს ღეროებზე და პრაქტიკულად არავითარ ზეგავლენას არ მოახდენს მილოვან სისტემაზე.



ნახ.1.16. სტრუქტურული კონსტრუქციის კრისტალების ტიპები.

სამკუთხა უჯრედებიანი ბადეების მქონე სისტემები (ნახ.1.16.ბ) ღებულობენ მგრეხავ მომენტებს. გრეხვაზე ერთობ ნაკლები სიხისტის მატარებელია სტრუქტურები, რომელთა ერთი ბადე სამკუთხედებისგან შედგება, ხოლო მეორე ექვსკუთხედებისგან.(ნახ.1.16.გ)



ამგვარად, სტრუქტურათა განმასხვავებელ ნიშანს წარმოადგენს მათი სივრცითი უცვლელობა, ხოლო მრავალი სისტემისთვის-მუშაობა გრეხვაზე, რასაც მივყავართ მღუნავი მომენტების ზემოქმედებისაგან, სარტყლებში ძალთა შემცირებისკენ. გრეხვის შედეგად ძალთა განაწილება დიაგონალური მიმართულებით ზრდის სიხისტეს მთლიანი სისტემისას, რომელთა მუშაობა ჩვეულებრივ შეესაბამება საანგარიშო მოდელს ორთოტროპიული ფირფიტისაგან (ნულოვანი სიხისტით გრეხვაზე) იზოტროპიულ ფირფიტებამდე.

სტრუქტურათა მუშაობის სივრცულობა მკაფიოდ გამოვლინდება დიდი სიდიდის შეყურსული დატვირთვების მოქმედებისას. მაგალითად, დატვირთვის გავლენა სისტემის დამაბულ მდგომარეობაზე სწრაფად ჩაქრება მისი მოდების წერტილის მოშორებით გადატანისას. ამასთან, ნებისმიერი ღეროების გადატვირთვისას, გარდა ირიბანებისა, რომელზეც უშუალოდ მოქმედებს დატვირთვა, არ მივყავართ ავარიამდე ძალვათა გადანაწილების უნარის წყალობით.

პირველად „კრისტალური“ აგებულების ღეროვანი კონსტრუქციები გამოიყენა გ. ბელმა XX საუკუნის დასაწყისში საფრენი აპარატების კარკასებისთვის. 30-40-იან წწ. რ.ლე რიკოლემ ( საფრანგეთი) დაადგინა სტრუქტურების მსგავსება ძალიან მყარი ორგანული ბუნების წარმონაქმნებთან და აღნიშნა კრისტალურ კონსტრუქციათა მიზანშეწონილობა დატვირთვის მიღებისათვის. რ. ლე რიკოლეს ეკუთვნის პირველი კვლევები ორთოგონალურ სტრუქტურათა შესახებ, რომლებიც შედგებიან ტეტრაედრებისაგან, აგრეთვე სამკუთხა უჯრედიან ბადისებრი სტრუქტურების შესახებ, რომლებიც შედგებიან ტეტრაედრებისა და ოქტაედრებისაგან. (ნახ.1.16.) მან ააშენა პირველი სტრუქტურული გადახურვა ხისგან. გასული საუკუნის 40-იან წლებში დამუშავებული იყო მრავალი ღეროვანი სტრუქტურების სქემა, რომლებიც წარმატებით გამოიყენება ამჟამადაც. რ.ლე რიკოლეს სტრუქტურების გარდა გაჩნდა კ. ვექსმანის (აშშ) (ნახ.1.16.ბ) და სხვების მიერ დამუშავებული სტრუქტურების

დეროვანი სქემები. ყველაზე დიდი გავრცელება მოიპოვეს რ.ლე როკოლეს, ს.დიუ შატოს და რ.ბ.ფულერის- სტრუქტურებმა; სქემები სამ და ექვსკუთხა უჯრედებით გამოიყენება, როგორც ბრტყელ სტრუქტურებში, ასევე- გარსებში.

სტრუქტურული სისტემები არსებობენ ჩვეულებრივ დეროვან და დეროვან-ფურცვლოვან ვარიანტებში ( ფულერი, მაინოვსკი). ფურცვლოვანი ნაწილი წარმოადგენს დანაოჭებულ ზედაპირს, რომელსაც ქმნიან ოთხწახნაგა ან ტეტრაედრები და რომლებიც ერთდროულად გამოიყენება, როგორც მზიდი კონსტრუქცია, ისე-შემომზღუდავი. ნაოჭების წიბოები მუშაობენ, როგორც დეროები. ასეა შესრულებული ფულერის სისტემის მრავალი გარსი, აგრეთვე „პირამ-რუფის“ ბრტყელი სტრუქტურა. დიუ შატოს დეროვანი სქემა გეომეტრიით და მუშაობით ფულერის გუმბათების სქემის ანალოგიურია, მაგრამ აქვს დიდი სიმაღლე მომენტების მიღებისათვის. დიდი მალეებისათვის გამოყენებულია ფურცვლოვანი, ნაკეცოვანი, ე.წ. „ვაფლისებური“ ფოლადის ფილები და გარსები. ასეთ სისტემა წარმოადგენს ნაოჭისებური ფენილების ორ ორთოგონალურ ჯგუფთა ერთობლიობას. ზედაპირების გადაკვეთა წარმოქმნის წიბოებს, რომლებიც შეესაბამება სტრუქტურათა დახრილ გისოსებს. ვაფლისებური ფილის იდეა, აწყობილი მოცულობითი ელემენტებისაგან, რომლებიც პირამიდების მსგავსია, ეკუთვნის კოლელს (იტალია).

ვაფლისებური კონსტრუქციების იდეა წარმოიქმნა გადახურვის მზიდი კონსტრუქციების პლასტმასის გამოყენებისას.

ე. სუზუკიმ (იაპონია) შენობის კარკასისათვის გამოიყენა ორივე მიმართულებით დიაგონალებით გაძლიერებული რ. ლე როკოლეს ორთოგონალური სტრუქტურა. მან დიდი მალეების შემთხვევაში გამოიყენა ხუთშრიანი სტრუქტურა, რომელშიც დამოუკიდებელი სტრუქტურული ფილა ასრულებს ზემო ფილის როლს.

ახალი დეროვანი სისტემების ძიებისას ერთდროულად ტარდება კვანძთა კონსტრუქციული გადაწყვეტის დამუშავება. ინჟინერთა

უმრავლესობა ორიენტირებული იყო სტრუქტურებისათვის უმეტესად პროგრესულ თხელკედლიან მილოვან პროფილებზე.

### 1.3. არსებული სივრცით-დეროვანი და რეგულრული (სტრუქტურული) კონსტრუქციების გაანგარიშების არსებული მეთოდების მოკლე მიმოხილვა

#### 1.3.1. შენიშვნები გარსების ანგარიშის თეორიის შესახებ

გარსის ტიპის სივრცითი კონსტრუქციები შეიძლება გაანგარიშდეს სხვადასხვა თეორიით და მეთოდით. ოფიციალური ინსტრუქციის შესაბამისად, რეკომენდებულია გარსების ანგარიშის დრეკადი თეორია, ზღვრული წონასწორობის თეორია და ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდი (16, 17, 18, 19).

ანგარიშის დრეკადი თეორია დაფუძნებულია მასალების მუშაობის დრეკად სტადიაზე. ამ თეორიაში, გამოყენებითი თვალსაზრისით, ინჟინრებისათვის განსაკუთრებით საინტერესოა მიახლოებითი ანგარიშები უმომენტო თეორიის მიხედვით. ამ შემთხვევაში, გარსების დაძაბული მდგომარეობის კომპონენტი, მაგალითად, მღუნავი და მგრეხავი მომენტები, მათი მცირე სიდიდის გამო, უგულებელყოფილია. ანგარიში მხედველობაში იღებს ე.წ. მემბრანულ ძალებს-გამჭიმავ-მკუმშავ და ძვრის ძალებს. კვეთის შერჩევის შემდეგ შემოწმდება სიმტკიცე, მდგრადობა, განისაზღვრება დეფორმაციები, ბზარების წარმოშობის პირობები და სხვა.

ანგარიში ზღვრული წონასწორობის თეორიით საშუალებას იძლევა განსაზღვრულ იქნეს მრღვევი დატვირთვების სიდიდე, რომლის შედარებით ფაქტიურ დატვირთვებთან განისაზღვრება კონსტრუქციის საიმედო მუშაობის პირობები (სიმტკიცის მარაგის კოეფიციენტი).

ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდი ნორმატიული, ე.ი. ოფიციალურად სავალდებულო მეთოდია. ამ მეთოდის თანახმად, განიხილება გარსების ორი ზღვრული მდგომარეობა:

ა) პირველი ზღვრული მდგომარეობა, ანუ ზღვრული მდგომარეობა ამტანუნარიანობის, იგივე ზიდვის უნარი (სიმტკიცისა და მდგრადობის) მიხედვით.

ბ) მეორე ზღვრული მდგომარეობა, ანუ ზღვრული მდგომარეობა დეფორმაციების (სიხისტის) და ადგილობრივი დეფორმაციების (ზზარების წარმოშობის, რკინა ბეტონის კონსტრუქციების შემთხვევაში) მიხედვით.

ამჟამად ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდი მთლიანად არის ჩამოყალიბებული და მან თავისი გამოხატულება ჰპოვა ოფიციალურ ინსტრუქციებში. უფრო ზუსტად ქვემოთ (ცხრილი 1)–ის სახით წარმოგიდგენთ ზღვრულ მდგომარეობათ მეთოდს.

ცხრილი 1

ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდის დახასიათება

ზღვრულ მდგომარეობათა ჯგუფი		ზღვრული მდგომარეობა	
		სახე	დახასიათება
პირველი	პირველი ქვეჯგუფი	ზიდვის უნარი	ნებისმიერი სახის რღვევა (პლასტიკური, მყიფე, ბლანტი ან დაღლილობითი); ფორმის მდგრადობის საერთო დაკარგვა; მდგომარეობის მდგრადობის დაკარგვა; გეომეტრიულად ცვლად სისტემაში გადასვლა.
	მეორე ქვეჯგუფი	ექსპლუატაციისათვის სრული უვარგისობა	მასალის დენადობა, არადრეკადი ძვრები. შეერთებები, ცოცვადობა, დაუშვებელი ნარჩენი ან მთლიანი გადაადგილებები (დეფორმაციები); კონფიგურაციის ხარისხობრივი ცვლილება.
მეორე		ნორმალური ექსპლუატაციისათვის ვარგისობა	გადაადგილებები (ჩალუნვა, მობრუნება ან ჯდომა); რხევები; მდგომარეობის ცვლილება; ძვრები შეერთებებში.

ზოგადად თუ ვიტყვით, გარსების ანგარიშის თეორიების კლასიფიკაცია ხდება საკითხის სიზუსტისა და მის გადასაწყვეტად გამოყენებული მათემატიკური აპარატის სირთულის მიხედვით. ამის შესაბამისად შემდეგი 4 ძირითადი მიმართულება არსებობს:

- 1) გარსების ანგარიშის მათემატიკური თეორია;
- 2) გარსების ანგარიშის ტექნიკური თეორია;
- 3) გარსების ანგარიშის საინჟინრო (მიახლოებით) მეთოდებით;
- 4) გარსების მდგრადობისა და რხევის თეორიები.

აქედან გამოყენების თვალსაზრისით, ყველაზე მნიშვნელოვანია ანგარიშის ტექნიკური თეორია, რომელიც ყველაზე ფართოდ გავრცელებულია პრაქტიკაში. ეს მიმართულება წარმოიშვა ვ. ზ. ვლასოვისა და მისი სკოლის შრომების საფუძველზე. აქედან უნდა გამოვყოთ გარსების ანგარიშის მომენტური და უმომენტო თეორიები, რომლებიც თავიანთ მხრივ იყოფიან წრფივ და არაწრფივ თეორიებად.

გარსების ანგარიშის უმომენტო თეორიები, როგორც უფრო მარტივი, შეილება გამოყენებულ იქნეს მაშინ, როდესაც გარსში მღუნავი და მგრეხავი მომენტები მცირეა და ისინი შეიძლება უგულვებელყოფილ იქნეს ანგარიშის სიზუსტის მამართ ზარალის მიუყენებლად.

წრფივი, ანუ მცირე გადადგილებათა თეორიები, როგორც სახელწოდება გვიჩვენებს, გამოიყენება გარსების მცირე გადადგილებათა დროს. ხოლო გარსების თეორიები საბოლოო გადადგილებათა გათვალისწინებით, ე.ი. გარსების ანგარიშის არაწრფივი თეორიები გამოიყენება მაშინ, როდესაც გარსში წარმოშობილი გადადგილებანი (მაგ.ჩაღუნვები) იმდენად დიდია, რომ მათ შეუძლიათ გამოიწვიონ ძალების არსებითი გადანაწილებანი.

ამასთან, როდესაც ლაპარაკია გარსების ანგარიშის ტექნიკურ თეორიაზე, იგულისხმება, რომ ეს თეორია „ჩინური კედლით“ არ არის გამიჯნული გარსების ანგარიშის საინჟინრო (მიახლოებით) მეთოდებისაგან,

რომ უკანასკნელნი წარმოიშვნენ ტექნიკური თეორიის შემდგომი გამარტივებით.

გარსების ანგარიში მდგრადობაზე, როგორც ზემოთ აღვნიშნე, ზღვრული მდგომარეობითაა ლიმიტირებული; რაც შეეხება რხევის თეორიას იგი სპეციალური საკითხია და სამწუხაროდ ნაშრომში არ განვიხილავ.

გარსების ანგარიშის მათემატიკური თეორია ხასიათდება დიდი სიზუსტით, მხედველობაში იღებს დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ყველა კომპონენტს და ამასთან დაკავშირებით იყენებს რთულ მათემატიკურ აპარატს. ის დაფუძნებულია დრეკადობის თეორიის და ზედაპირთა თეორიის განტოლებებზე, კირხოფ-ლიავეს ჰიპოთეზებზე და სხვ. კირხოფ-ლიავეს ჰიპოთეზები გულისხმობს, რომ ბოჭკოები რომლებიც შუა ზედაპირის მართობია და სწორხაზოვანია დეფორმაციამდე, ასეთივე რჩებიან დეფორმაციის შემდეგ, ამავე დროს არ იცვლიან სიგრძეს. ამას გარდა იგულისხმება, რომ შუა ზედაპირის გასწვრივ სიბრტყეებზე მოქმედი ნორმალური ძაბვები საგრძნობლად მცირეა და ისინი შეიძლება უგულებელყოფილ იქნეს.

ყოველივე ამის შედეგად გარსების ანგარიშის მათემატიკური თეორია ინჟინრებისათვის ძნელად გამოსაყენებელია. ამიტომ ის არც ჩემს ნაშრომში განვიხილე [16,17,18].

გარსების ანგარიშის მათემატიკური თეორიის მკვლევართაგან აღსანიშნავია რუსი პროფესორები: ა.გ. გალერკინი, ი.გ. ბუბნოვი, დ.ს. ლეიბენზონი, ს.პ. ტიმოშენკო; აგრეთვე ი.ნ. ვეკუა, ა.ლ. გოლდენვეიზერი, ა.ი. ლურიე, ვ.ვ. ნოვოჟილოვი, ხ.მ. მუმტარი, ი.ნ. რაბოტნოვი, ვ.ვ. სოკოლოვსკი, ა.ა. ილუშინი, ს.გ. ლეხნიცკი და სხვ.

ტექნიკური თეორიის დამუშავებაში მნიშვნელოვანი წვლილი აქვთ შეტანილი პროფ. ვ.ზ. ვლასოვს და მის ავტორიტეტულ სკოლას.

გარსების ანგარიშის საინჟინრო (მიახლოებით) მეთოდები განვითარებული იქნა პროფესორების: პ.ლ. პასტერნაკის, ა.ა. გვოზდევის,

ა.რ. რუანიცინის, ა.პ. ფილინის, ი.ი. შტაერმანის, ნ.ს. სტრელეცკის, კ.ვ. სახნოვსკის, გ.გ. კარლსენის და სხვ. შრომებში [19,20,21,22].

თბილისელ მკვლევართაგან აღსანიშნავია: პროფესორები კ.ს. ზავრიევი, ა.მ. კაკუშაძე, ო.დ. ონიაშვილი, მ.შ. მიქელაძე, ი.ი. შტაერმანი, კ.მ. ხუბერიანი, ა.ნ. რაზმაძე, ი.ი. ღუდუშაური, ზ.ვ. ცაგარელი, დოცენტები, და ტექ.მეც. კანდიდატები: - ნ.ვ. ახვლედიანი, ვ.ნ. შაიშმელაშვილი, დ.ი. ქაჯაია, ი.ა. ლოლობერიძე, ვ.ს. ჟღენტი, უ.გ. ცხადაია, გ.ი. ხაჭალია, გ.გ. შენგელია, ვ.ნ. ავაშიშვილი, ა.ა. ლოსაბერიძე, ლ.გ. მუხაძე, გ.კ. გაბრიჩიძე, ო.გ. სულაბერიძე, ი.კ. მელაშვილი, რ.ი. ბიძინაშვილი, ბ.ნ. ბასტატსკი, რ.ს. ლორთქიფანიძე, ინჟინრები: - მ.კ. ცენტერაძე, ნ.ი. მესხი, ნ.ს. ჩიქოვანი, ნ.ს. კალმახელიძე, მ.ა. დანიელაშვილი, ე.პ. ალექსანდრიანი, ლ.ი. საღირაშვილი, ზ.ე. კუბლაშვილი, კ.მ. ჯაში, ე.ვ. მემმარიაშვილი და სხვ.

გარსების ანგარიშის თეორიის ძირითად მიმართულებებთან ერთად დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ნორმატიულ ლიტერატურას: ინსტრუქციებს, მითითებებს, ცხრილებს, გრაფიკებს და სხვ. ცალკე უნდა გამოიყოს ზოგადად წინასწარ დამაბული რკინაბეტონის გარსები, რომელთა ანგარიში სპეციალური ინსტრუქციით წარმოებს. უკანასკნელ წლებში განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა აგრეთვე ანიზოტროპული გარსების ანგარიშის თეორიას, რომელიც ძირითადად ალუმინ-პლასტმასებისაგან და სხვა მასალებისაგან განხორციელებულ სამფენოვან კონსტრუქციებს ეხება.

### 1.3.2. რეგულარული (სტრუქტურული) გადახურვების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ანალიზი

გადახურვის სიგრძე, როდესაც  $1,1/2$ -ჯერ მეტია მის მაღზე (სიგანეზე), როგორც გარსებში, ისე სტრუქტურებში იკარგება სივრცითი სისტემების უპირატესობის ფაქტორი, სიბრტყით კონსტრუქციებთან შედარებით, ანუ გადახურვის მუშაობის სივრცითობის ეფექტი.

სტრუქტურები, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, წარმოადგენენ კონსტრუქციებს, რომლებიც შექმნილია სხვადასხვა სისტემის ურთიერთგადამკვეთი სივრცითი ან ბრტყელი ფერმებისაგან (წამწეებისაგან).

ერთ კვანძში თავმოყრილი წამწეების რაოდენობა, აგრეთვე მათი ვერტიკალური თუ დახრილი განლაგება იძლევა სტრუქტურულ აგებულებას, რომელშიც შეიძლება გამოვყოთ მრავალჯერ განმეორებადი მოცულობითი ელემენტი ე.წ. კრისტალი. თუ კვადრატულ გადახურვებში სტრუქტურული სისტემებისათვის იქმნება მათი სტატიკური ხელსაყრელი პირობები, ე.ი. ურთიერთგადამკვეთად განლაგებული ფერმები, მუშაობენ რა ერთნაირ პირობებში, რაციონალურად იყენებენ თავიანთ ზიდვის უნარს ორივე მიმართულებით, სხვა სურათია სწორკუთხა წაგრძელებულ გადახურვებში, რადგან ამ შემთხვევაში სტრუქტურული სისტემები მუშაობას იწყებენ მხოლოდ მოკლე გვერდების მიმართულებით და კარგავენ თავიანთ ღირსებებს. ამასთან ასეთ სტრუქტურულ სისტემაში არ გამოიყენებიან გადახურვის გრძივ სიბრტყეში განლაგებული ღეროები. ისინი გამოდიან დამატებითი ტვირთის როლში და ჩვეულებრივ კოჭურ გადახურვებში არსებულ გრძივ კავშირებთან შედარებით მოითხოვენ სამშენებლო მასალებისა და შრომის მნიშვნელოვან დანახარჯებს.

გარდა ზემოთ აღნიშნულისა, ამჟამად არსებული სტრუქტურული გადახურვების ზედა სარტყლების მუშაობაში მონაწილეობას არ ღებულობენ სახურავის შემომზღუდავი კონსტრუქციები (არმოცემენტის,



რკინა-ბეტონის ფილები და სხვ.), რაც უსათუოდ ლითონის ეკონომიას მოგვცემდა.

უნდა აღინიშნოს, რომ მზიდ სტრუქტურულ გადახურვებში ქვედა სარტყელი მზადდება პროფილირებული ან მილოვანი ლითონის ელემენტებისაგან, რაც გამორიცხავს მაღალი სიმტკიცის ფოლადების გამოყენების ეფექტურობას (ქვედა სარტყელი აქაც ისე, როგორც ჩვეულებრივ ბრტყელ თუ სივრცით ფერმებში მუშაობს გაჭიმვაზე).

გეგმაში სწორკუთხა ფორმის დიდმალიანი ნაგებობებისათვის გადახურვის ერთ-ერთ თანამედროვე სახეს წარმოადგენს კიდული სისტემა (სისტემა „ანგარა“, ფერმა „იავერტა“ და სხვ.).

სწორკუთხა გადახურვებში დიდ ტექნიკურ და ეკონომიკურ სირთულეებს ქმნის - მნიშვნელოვნად დიდი გამბჯენების მიღების ამოცანა, რაც არსებითია, როგორც გარსებისათვის ისე ვანტური კიდული სისტემებისათვის და რაც ამცირებს გადახურვის მთელი მზიდი კარკასის ეფექტურობას. საქმე ეხება სპეციალური კონსტრუქციის (ნაგებობის) შექმნას გამბჯენების მიღებისათვის, რაც იწვევს მასალის გადახარჯვას.

სწორკუთხა მოგრძო გადახურვების კიდული სისტემები მოითხოვენ მძლავრ საყრდენ კონტურს ან სპეციალური ტექნიკური აღჭურვილობის დამონტაჟებას (ვანტების დაანკერება), რასაც მივყავართ მასალების დიდ ხარჯთან, შრომის დიდ დანახარჯებთან და ხერგავს ტერიტორიას.

ამიტომ, რომ კიდული გადახურვების გამოყენება სწორკუთხა გეგმის მქონე ნაგებობებში ეკონომიურად ნაკლებეფექტურია, ვიდრე ოვალური და წრიული გეგმის შემთხვევაში, თუ რა თქმა უნდა არ დამუშავდა ახალი გაუმჯობესებული კონსტრუქციული სქემები.

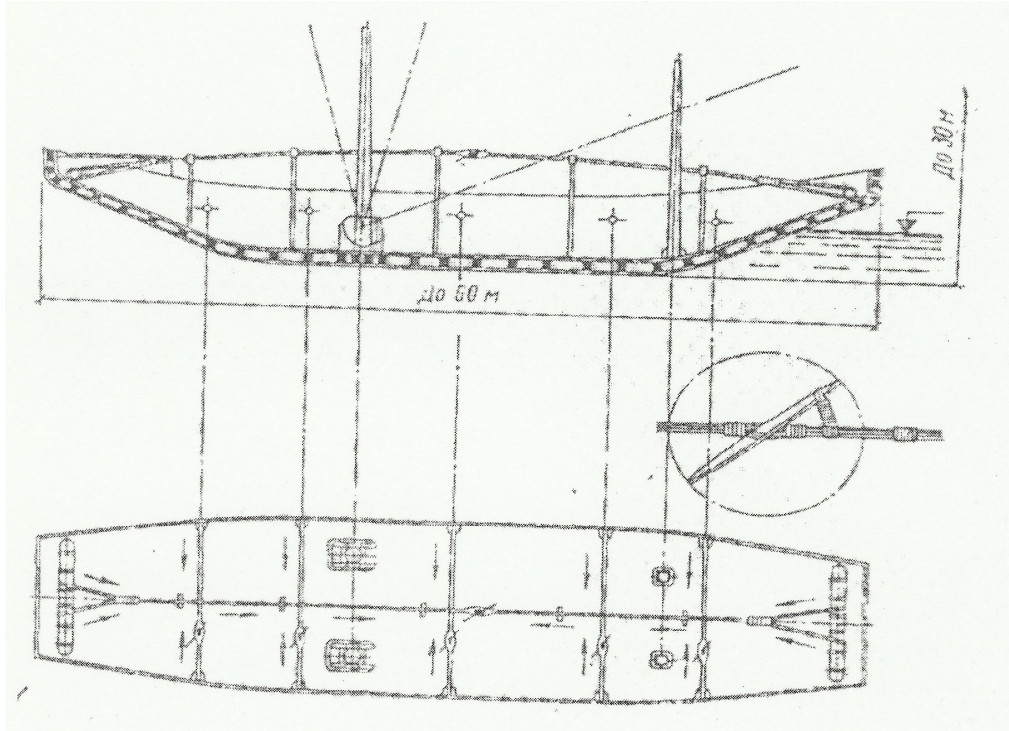
გარდა ჩამოთვლილი ნაკლოვანებებისა, დიდმალიანი გადახურვების კიდული სისტემები საჭიროებენ კონსტრუქციულ და ტექნიკურ ღონისძიებებს (ბაგირების წინასწარდაძაბვა და სახურავის ჰიდროიზოლაციაში რხევებისა და დეფორმაციების ზრდის შედეგად გაჩენილი ბზარების დაფარვის სამუშაოები; ჰიდროიზოლაციის ტიპიდან

გამომდინარე არსებობს თანამედროვე მასალები სადაც ეს პრობლემა მთლიანად მოხსნილია ან ნაკლებად აქტუალური).

#### 1.4. წინასწარდამაბული კონსტრუქციების მიმოხილვა და კლასიფიკაცია

წინასწარი დამაბვის იდეა წარმოიშვა დიდი ხნის წინათ. მის გამოყენებას ვხვდებით ყველა სამშენებლო მასალისაგან - ქვის, ხის, ლითონის, ბეტონის და ბოლო დროს პლასტიკური მასალებისაგან განხორციელებულ კონსტრუქციებში. ხშირად წინასწარდამაბვას იყენებენ შეუცნობლადაც და დღეისათვის გვაქვს ბევრი საგნები, რომელთა წინასწარდამაბვას ვერ ვამჩნევთ ან საერთოდ არ ვიცით ამის შესახებ. მაგ: ხის კასრები მოჭიმული ფოლადის სალტეებით, ქოლგები, ბორბლები და ა.შ. ზოგიერთი უახლესი სამშენებლო კონსტრუქციები საერთოდ ვერ იარსებებდნენ წინასწარი დამაბვის გარეშე. მაგ: „პნევმატური კონსტრუქციები“.

ხის კასრები და ბორბლები ბოლო დრომდე მიეკუთვნებოდა უძველეს წინასწარდამაბულ კონსტრუქციებს. ბორბალი ჩვენთვის ცნობილი სახით, ნანახი იქნა ერთ-ერთი ფარაონის საფლავზე, რომელიც იყო დასაფლავებული ჩვენს წელთაღრიცხვამდე 1500 წ, ხოლო 2700 წლით (ჩვენს წელთაღრიცხვამდე) დათარიღებული ცნობებით ეგვიპტელები წინასწარ დაბავდნენ გემებს [29]: შტორმის დროს წინასწარი დამაბვა, ქერილის თოკის საშუალებით, ხის გემებს აძლევდა დამატებით სიხისტეს (ნახ.1.17).



ნახ.1.17. ხის გემების წინასწარი დამაბვა ქერილის თოკების საშუალებით.

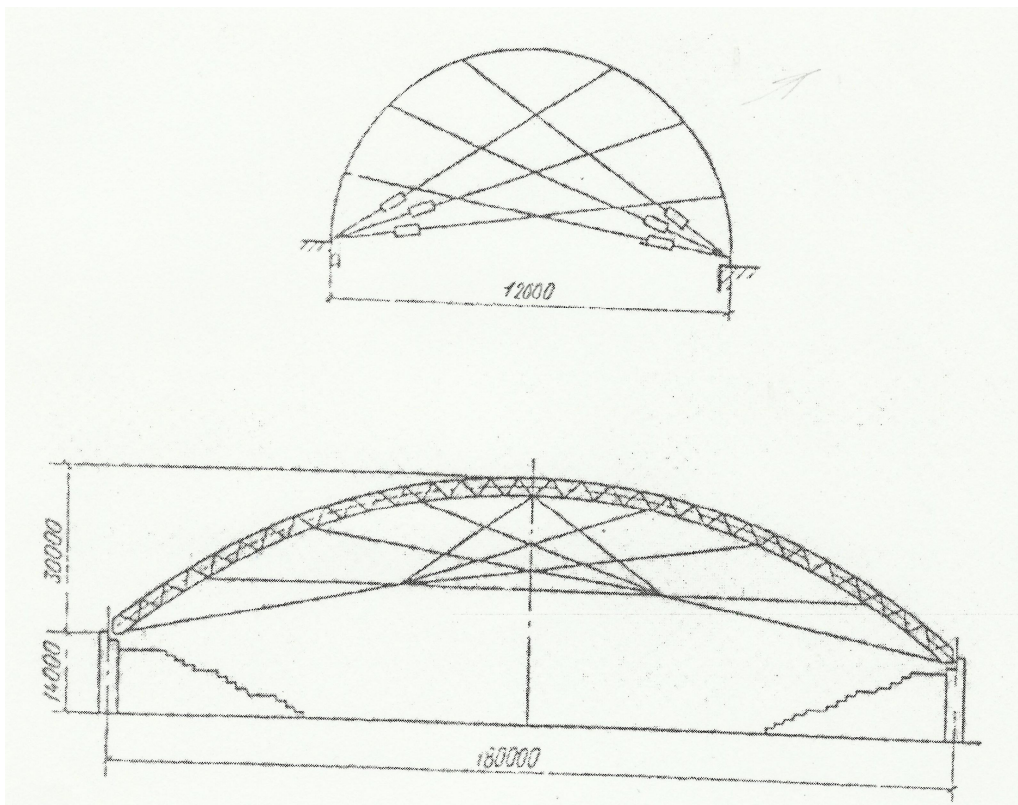
რომის ტრიუმფალური თაღების მშენებლობისას პილონებს ანიჭებდნენ დამატებით მკუმშავ ძალებს – დატვირთვის სახით, თაღების განმბჯენისგან გამოწვეული გამჭიმავი ძაბვების ჩასაქრობად.

აკადემიკოს გადოლინის წინადადებით 1861წ. არტილერიული იარაღის ლულას ახვევდნენ გახურებულ, მაღალი სიმტკიცის მავთულს. გაციებისას ის კუმშავდა ლულას, რომელიც ახდენდა ჭურვის აფეთქებით გამოწვეული გამჭიმავი ძაბვების შემცირებას.

აკადემიკოსმა შუხოვმა XX ს.\_ის დასაწყისში ქ. მოსკოვში გამოიყენა, სახელმწიფო უნივერსიტეტის გადახურვაზე, მსუბუქი თაღები, გაძლიერებული წინასწარ დამაბული სიმებით (ნახ.1.18). თაღისთვის სიმების წინასწარმა დამაბვამ შექმნა ექვსი დამატებითი კავშირი, რომელთაც შეეძლოთ მუშაობა გაჭიმვაზე და მნიშვნელოვნად გაზარდეს თაღის როგორც სიხისტე, ისე მდგრადობა [30].

კვლევები და მუშაობა წინასწარ დამაბული ლითონის კონსტრუქციებში მიმდინარეობდა შემდეგი ძირითადი მიმართულებებით:

- წინასწარი დაძაბვის ეფექტურობის საერთო თეორიული საკითხების კვლევა.
- კონსტრუქციების გეომეტრიული და ფიზიკური პარამეტრების ოპტიმიზაციის საკითხები.
- კონსტრუქციების ნამდვილი მუშაობის თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევა (სადაც აქტუალურია მოდელირების საკითხები).
- სიმტკიცის და მდგრადობის კვლევა დეფექტომეტრული მეთოდით.
- ახალი რაციონალური კონსტრუქციული ფორმების შექმნა.
- ტექნიკურ-ეკონომიური გამოკვლევა წინასწარ დაძაბული კონსტრუქციების გამოყენების რაციონალური არეების გამოვლინებაში [30].



ნახ.1.18. ე. მოსკოვი, სახელმწიფო უნივერსიტეტის გადახურვა მსუბუქი თალებით და წინასწარდაძაბული სიმების გამოყენებით.

თანამედროვე კვლევები მოიცავენ ნაგებობათა სულ უფრო მეტ სახეებს. თუ პირველ ხანებში იკვლევდნენ წინასწარი დაძაბვის თეორიულ და პრაქტიკულ საკითხებს უმარტივეს კონსტრუქციულ ელემენტებში – ცალკეულ დეროებში, კოჭებში, წამწებში, ეხლა კი ნაგებობათა ნომენკლატურა, რომელთა კონსტრუქციებისთვისაც იკვლევენ წინასწარი დაძაბვის გამოყენების ეფექტურობას, სულ უფრო ფართეა. იკვლევენ წინასწარი დაძაბვის გამოყენებას ჩარჩოებში, კიდულ სისტემებში, დიდმალიან გადახურვებში, ანძებში, კოშკებში, კავშირგაბმულობის ნაგებობებში, ხიდებში, ამწეების კონსტრუქციებში, ელექტროგადამცემი ხაზების საყრდენებში, რეზერვუარებში და ა.შ. კიდევ უფრო მეტი ინტენსივობით მიმდინარეობს ფუნდამენტური კვლევა თეორიულ საკითხებში, რომელიც დაკავშირებულია ლითონის წინასწარ დაძაბვასთან.

ფართოდ იკვლევენ წინასწარ დაძაბული კონსტრუქციების ოპტიმიზაციის საკითხებს. იხილავენ როგორც საერთო მეთოდებს გამოყენებულს სხვადასხვა სახის ნაგებობებისათვის (ვ.ი. მიხაილიშვილი [3], ი.ა.რადციგი [32], მ.ტოხაჩევი [29] და სხვ.), ასევე ცალკეული სახის კონსტრუქციებისათვის ოპტიმიზაციის კონკრეტულ შემთხვევებს წინასწარ დაძაბულ ვანტური წამწებისა და კომბინირებული სისტემებისათვის (ვ.ვ. ტროფიმოვი [33]), კოჭოვანი კონსტრუქციებისათვის და წამწებისათვის (ა.ა. ვასილევია [34], ფ.ვ. ვასილკოვი [65] და სხვ.) ჩარჩოვანი კონსტრუქციებისათვის (ი.ვ. გაიდაროვი და ი.ნ. ჩეპურნოი [35] და სხვ.).

თეორიულად და ექსპერიმენტულად იკვლევენ წინასწარ დაძაბული კონსტრუქციების სიმტკიცისა და მდგრადობის საკითხებს წინასწარი დაძაბვის სტადიაში (ს.დ. ლეიტისი [36]). წინასწარი დაძაბვის გავლენას კონსტრუქციის დადლილობით სიმტკიცეზე (ი.ვ. გაიდაროვი [45] და სხვ.).

წინასწარ დაძაბულ ლითონის კონსტრუქციებს სამეცნიერო კვლევის დასაწყისს საფუძვლად დაედო საკოჭით წინასწარ დაძაბული გაჭიმული დეროების კვლევის თეორიული და ექსპერიმენტული ნაშრომები, რომელთა გამოქვეყნება დაწყებულ იქნა გ. მაგნელის [37] და გაგრძელებული ვ.მ.

ვახურკინისა [38] და ე. ი. ბელენიას [30] მიერ. ამ კვლევებმა დაულო საფუძველი წინასწარ დაძაბული კონსტრუქციების თეორიის დამუშავებას და მოგვცა საშუალება დადგენილიყო ძირითადი კანონზომიერებები სისტემა „კონსტრუქცია-საკოჭისათვის“. შესწავლილია სხვადასხვა გეომეტრიული და ფიზიკური პარამეტრების გავლენა, მოცემული კონსტრუქციული ელემენტების მუშაობაზე, როგორც წინასწარი დაძაბვის სტადიაში, ისე დატვირთვის ქვეშ მუშაობისას. ასევე შესწავლილია მისი ეკონომიური მაჩვენებლები. დადგენილი იქნა, რომ ხისტი ფოლადის ღეროში შეიძლება მივიღოთ მასალის 50%-მდე, ხოლო ღირებულების 40%-მდე ეკონომია. წინასწარ დაძაბული ღეროების მუშაობის ეფექტურობა მნიშვნელოვნად მაღლდება თუ საექსპლუატაციო დატვირთვების ნაწილს მოვდებთ წინასწარ დაძაბვამდე. დადგენილი კანონზომიერებანი მისაღებია კოჭებისა და წამწეებისათვის, რომლებიც წინასწარ იძაბებიან საკოჭებით, ასევე ფურცლოვან და სხვა კონსტრუქციებისთვისაც.

კონსტრუქციებში, რომლებიც წინასწარ იძაბებიან საკოჭებით, საკოჭი და ანკერული მოწყობილობა წარმოადგენენ მეტად საპასუხისმგებლო ელემენტებს, რომლებიც გავლენას ახდენენ კონსტრუქციის მუშაობასა და ღირებულებაზე. კვლევები საკოჭის კონსტრუქციებისა და ანკერების შექმნისათვის მიმართული იქნა იქითკენ, რომ შექმნილიყო შედარებით მარტივი და იაფი მოწყობილობები.

დამუშავებულია ჭიქური ანკერების ტიპები, რომლებშიც მაგრდება საკოჭის ბოლო და ესხმება ადვილად დნობადი შენადნობები (ბ.ა. სპერანსკი [39]), ან ხდება ლითონის სოლებით გაჭედვა (ა.ა. ვასილიევი [34] და ფ.ვ. ვასილკოვი [40]). ეს ანკერები საიმედოა, მაგრამ შედარებით ძნელად დასამზადებელი და ძვირადღირებული. ასევე საიმედოა მუშაობაში, მაგრამ შედარებით ძვირადღირებული, საკოჭები დამზადებული ლითონის ბაგირისაგან ან მაღალი სიმტკიცის მავთულის კონებისაგან. შესწავლილია ლითონის ბაგირის მუშაობა საკოჭში და მათი მექანიკური მახასიათებლები (ბ.მ. სუმნევი [41]). ასევე შექმნილია საკოჭები მთლიანი ღეროთი მაღალი

სიმტკიცის ფოლადისაგან, ანკერული და პირაპირული ელემენტებისაგან, დაპრესილი ლითონის მილით, რომელიც წინასწარ იძაბება ელექტროთერმული მეთოდით (ე.ი. ბელენია, ვ.ფ. მარენინი და ბ.მ. ვტოროვი [42]), ასეთი კონსტრუქციის საკოჭები დამუშავებულია და ექსპერიმენტულად შემოწმებულია შედარებით მცირე ზომების კოჭებისათვის და არის მნიშვნელოვნად ეკონომიური, იმ საკოჭებთან შედარებით, რომლებიც დამზადებულია ბაგირგვარლებით და ჭიქური ანკერებით.

დღეისათვის ჯერ კიდევ არ არის ლითონის წინასწარ დაძაბული კონსტრუქციების ერთიანი კლასიფიკაცია. წინასწარ დაძაბულ ლითონის კონსტრუქციებს ყოფენ ორ დიდ ძირითად ჯგუფად:

1. მაღალი სიმტკიცის საკოჭებით წინასწარდაძაბული კონსტრუქციები;
2. სხვა მეთოდებით (მაღალი სიმტკიცის საკოჭის გამოყენებლად) წინასწარდაძაბული კონსტრუქციები;

პირველი ტიპის ლითონის წინასწარდაძაბული კონსტრუქციები შედგება ორი ნაწილისაგან: ხისტი ნაწილისაგან, ე.წ. ძირითადი კონსტრუქცია, დამზადებული ჩვეულებრივი სამშენებლო ფოლადისაგან და მოქნილი ნაწილისაგან – სისტემები წინასწარი დაძაბვისათვის, დამზადებული მაღალი სიმტკიცის ფოლადისაგან.

ა. ა. ვოევოდინის [43], ვ.პ. რომანოვის [44] და სხვათა თეორიულმა და ექსპერიმენტულმა კვლევებმა აჩვენა წინასწარ დაძაბული, შპრენგელური სისტემებით გაძლიერებული დეროების კუმშვაზე მუშაობის ეფექტურობა. იხილავდნენ დატვირთვის ქვეშ მყოფი დეროს ზღვრულ მდგომარეობას, წინასწარი დაძაბვის ოპტიმალურ სიდიდეებს და შპრენგელის ოპტიმალურ პარამეტრებს. ასეთი სისტემები გამოიყენება ანძების კონსტრუქციებში (ა.ა. ვოევოდინი [43]) დღეისთვის ყველაზე მეტად დამუშავებულია, გაანგარიშებისა და კონსტრუირების თვალსაზრისით, წინასწარ დაძაბული

შპრენგელური სისტემის ღეროები, რომლებიც ლებულობენ მკუმშავ ღერძულ ძალებს.

შპრენგელური სისტემის საკოჭები იძაბება წინასწარ, რაც უზრუნველყოფს მათ მუშაობას ღეროს მდგრადობის დაკარგვის მომენტში, როგორც გაჭიმული ისე შეკუმშული ბოჭკოების მხრიდან. ცენტრალური ღერო მუშაობს როგორც დგარი, რომელსაც გააჩნია დრეკადი საყრდენები შპრენგელის განმბჯენების მიერთების ადგილას. შპრენგელის განმბჯენების ეფექტურად მუშაობისათვის ისინი უნდა იყვნენ ხისტად შეერთებული ცენტრალურ დგართან.

იმისათვის რომ, შევქმნათ ღეროს სივრცითი სიხისტე, ჩვეულებრივ იყენებენ შპრენგელებს ოთხივე მხრიდან. შესაძლებელია შპრენგელები ორი მხრიდანაც, თუკი სიბრტყის ერთი მხრიდან ღეროს მდგრადობა უზრუნველყოფილია. წინასწარ დაძაბული შპრენგელური შეკუმშული ღეროების მუშაობის ეფექტურობა აჩვენა ა.ა.ვოევოდინმა [43], რომელმაც დაამუშავა რადიო ანძები, მან აჩვენა განმბჯენების დგარებთან ხისტი მიმაგრების აუცილებლობა, ხოლო საკოჭების განმბჯენებთან მოძრავ სახსროვანი ჩამაგრებით. დამუშავებულია, როგორც ერთ იარუსიანი, ისე მრავალ იარუსიანი ანძები, შედგენილი ორი ან მეტი თანამიმდევრული ტიპიური სექციისაგან. თითოეული სექცია წარმოადგენს ღეროს, რომელიც გაძლიერებულია ოთხივე მხრიდან წინასწარ დაძაბული შპრენგელური სისტემით. ანძების ასეთი სისტემები (164 მ.\_მდე სიმაღლით) წარმოადგენს მასალის ხარჯის მიხედვით საკმაოდ ეკონომიურსა და მონტაჟისათვის მოსახერხებელს.

შედარებით უფრო მეტადაა გამოკვლეული საკოჭით წინასწარ დაძაბული მთლიანი კოჭები,(ი.ვ. გაიდაროვი [45], ე.ი. ბელენია [30], ნ.ნ. სტრელეცკი [46] და სხვა). შესწავლილია კოჭების მუშაობა, როგორც დრეკად ისე დრეკად-პლასტიკურ სტადიაში. მიგნებულია კოჭების ოპტიმალური კონსტრუქციული გადაწყვეტა. დამუშავებულია კვეთების შერჩევის პრაქტიკული მეთოდები (ა. ა. ვასილიევი [34], პ. ფერენჩიკი [29] და სხვა).



გამოკვლეულია ექსპერიმენტალურადაც და თეორიულადაც კოჭების მუშაობა, სტატიკურ, მოძრავ (ა. ა. ზევინი, ნ. ლ. ჩერნოვი [47]) და ვიბრაციულ (გ. ბებნიოვი [48]) დატვირთვებზე. დადგენილია კოჭების ოპტიმალური კონსტრუქციული პარამეტრები. ასევე კოჭის მასალების და საკოჭის საანგარიშო წინაღობების დამოკიდებულება. გამოვლენილია, რომ საკოჭის კოჭთან მიერთების ადგილას, განსაკუთრებით თუ ეს მიერთება განლაგებულია საყრდენ კვანძებში, ვითარდება დიდი ადგილობრივი ძაბვები, რომელთაც შეუძლიათ გამოიწვიონ ამ კვანძში პლასტიკური დეფორმაციების ადრეული განვითარება (ფ. ვ. ვასილკოვი [40]). საანგარიშო კვანძების კონსტრუქციებისას აუცილებელია მისი გამაგრება სპეციალური წიბოებით.

კოჭის მუშაობა, მისი კონსტრუქციული და ეკონომიური გადაწყვეტა, დამოკიდებულია რაციონალურად არჩეულ სქემაზე – საკოჭის განლაგებაზე.

მოხაზულობით საკოჭები შეიძლება იყოს წრფივხაზოვანი (ნახ.1.19,დ, ე). ისინი შეიძლება იყოს განლაგებული კოჭის სიმაღლის ფარგლებში ან გატანილი იქნას მისი განივი კვეთის გარეთ.

კონსტრუქციული მოსაზრებით წრფივხაზოვანი საკოჭები ხელსაყრელია განლაგებულ იქნას გაჭიმული სარტყლის ახლოს.

საკოჭიდან კოჭის სიმძიმის ცენტრამდე მანძილის გაზრდით საკოჭის მუშაობის ეფექტურობა მალღდება, რაც კოჭის განივი კვეთის შემცირების საშუალებას იძლევა. მაგრამ კოჭის კვეთიდან საკოჭის მნიშვნელოვნად გატანისას რთულდება საანგარიშო მოწყობილობა და რთულდება მისი ტრანსპორტირება.

ერთმალთან კოჭებში მთელ სიგრძეზე საკოჭის განლაგება (იხ. ნახ.1.19, ა) არარაციონალურია, რადგანაც საყრდენებთან, სადაც მღუნავი მომენტები მცირეა, საკოჭი არა თუ არ არის საჭირო, არამედ იწვევს არა სასურველ დაძაბულ მდგომარეობას. საკოჭის ასეთი განლაგება შეიძლება

გამართლებული იქნას საანკერო მოწყობილობის დამზადების სიმარტივით და სხვა პირობებით.

კოჭის სიგრძეზე საკოჭი საჭიროა განლაგებული იქნას ისე, რომ შესაძლებელი იყოს კოჭმა მთლიანად მიიღოს მლუნავი მომენტი (ნახ. 1.19, ბ).

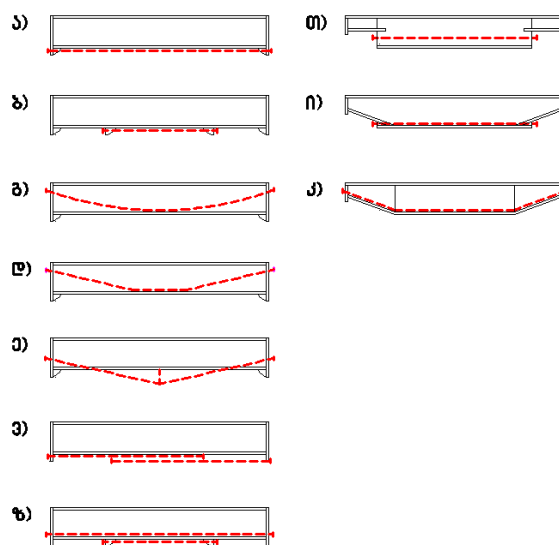
მლუნავი მომენტის მიღების (ატანის) თვალსაზრისით უფრო ხელსაყრელია თუ შევცვლით კოჭის განივ კვეთს საკოჭის დაანკერების ადგილას.

კოჭში რამოდენიმე საკოჭის დაყენებისას მიზანშეწონილია ისინი განლაგებული იქნას მლუნავი მომენტის ეპიურის მოხაზულობის მიხედვით. დიდი მომენტების მქონე უბნებში გაზრდილი უნდა იქნას საკოჭების რიცხვი (ნახ. 1.19, ვ,ზ).

ძალის შუაში შეყურსული ძალის არსებობისას შესაძლებელია არჩეული იქნას სისტემა, რომელიც ნაჩვენებია ნახ.1.19\_ზე. საკოჭის გატანა კოჭის საზღვრის გარეთ შეიძლება გამოყენებულ იქნას როცა კონსტრუქციის სამშენებლო სიმაღლე არ არის შეზღუდული.

გამოკვლევების საფუძველზე მოცემულია რეკომენდაცია:

კოჭებში, რომლებიც მუშაობენ ვიბრაციულ დატვირთვაზე, საკოჭი უნდა იქნას მიმაგრებული საყრდენებთან ახლოს და კოჭის ქვედა სარტყელთან.



ნახ.1.19. წინასწარი დამაბვის სქემები კოჭოვან კონსტრუქციებში.

კოჭებში პლასტიკური დეფორმაციების განვითარების დაშვებას და მის გამოყენებას იკვლევენ ორ შესაძლო შემთხვევაში: 1. პლასტიკური დეფორმაციის განვითარება დატვირთვების მოქმედების შედეგად, როცა კოჭი წინასწარ დამაბვის სტადიაში დრეკადად მუშაობს და 2. წინასწარი დამაბვის სტადიაში, პლასტიკური დეფორმაციების განვითარება, როცა დატვირთვის ქვეშ კოჭი მუშაობს დრეკადად. პლასტიკური დეფორმაციების განვითარების განხორციელება წინასწარი დამაბვის სტადიაში, უფრო ძნელია პირველ შემთხვევასთან შედარებით, რადგან არის საშიშროება დასამაბი კონსტრუქციის მდგრადობის ნაადრევი დაკარგვისა. განსაკუთრებით კოჭებში, რომლებსაც აქვთ სუსტი ქვედა სარტყელი და კედელი.

დატვირთვის ქვეშ კოჭში შესაძლებელია განვითარდეს პლასტიკური დეფორმაციები, პლასტიკური სახსრის შექმნამდე. თუ კი ამავე დროს კოჭი არ კარგავს მდგრადობას.

თეორიულმა კვლევებმა და პროექტირების გამოცდილებამ გვაჩვენა, რომ საკოჭით წინასწარ დამაბულ ლითონის კოჭებში, დრეკად სტადიაში ანგარიშისას, შეიძლება მივიღოთ ლითონის ეკონომია 18%-მდე, ხოლო ღირებულების 15%-მდე. პლასტიკური დეფორმაციების გათვალისწინება დამატებით 20-25%-ით ამალღებს მის ზიდვის უნარს და იძლევა ლითონის დამატებით ეკონომიას 10-15%-მდე. რაც უფრო დიდია მალი, მით უფრო მაღალია წინასწარ დამაბვის გამოყენების ეფექტურობა [30].

ჩატარებულია გამოკვლევები უჭრ კოჭებში, რომლებშიც წინასწარი დამაბვა იქმნება საყრდენთა გადაადგილებით ან კომბინირებული მეთოდით – საყრდენთა გადაადგილებითა და საკოჭის დაყენებით (ე. ი. ბელენია [30]). უჭრი კოჭებისათვის, რომლებიც იმაბებიან საყრდენთა გადაადგილებით, დამუშავებულია ანგარიშის პრაქტიკული მეთოდები, ნაჩვენებია კოჭის კვეთის გაძლიერების ეფექტურობა შუალედურ საყრდენებზე, რომლის მიზანია მღუნავი მომენტების კონცენტრაცია კოჭის

მცირე მონაკვეთზე. მიზანშეწონილია კოჭის გაძლიერებული ნაწილი დაპროექტდეს, მაღალი სიმტკიცის ფოლადისაგან.

ორივე მეთოდით (საყრდენთა გადაადგილება და საკოჭის დაყენება) წინასწარი დამაბვა ამალებს კონსტრუქციის ეფექტურობას, მაგრამ საყრდენთა გადაადგილებისაგან მიღებული ეფექტი უფრო დიდია.

გ. კ. გოფმანმა [50] გამოიკვლია წინასწარ დამაბული ამწისქვეშა კოჭები, როგორც ბრტყელი ისე კოლოფისებრი განივი კვეთისა და როგორც ერთი მარკის ფოლადისაგან დამზადებული, ასევე ბიფოლადისაგან.

ბიფოლადის კოჭები აპრობირებულია არამარტო უჭრ კონსტრუქციებში, არამედ ერთმალთანშიც, რომლებსაც აქვთ მაღალი სიმტკიცის ფოლადისაგან დამზადებული სარტყელები [30].

წინასწარი დამაბვის საშუალებით შეიძლება ავამაღლოთ დრეკადად მუშაობის არე დატვირთვისას და შევამციროთ საბოლოო ჩალუნვები (ი. გ. კლინოვი [51] და სხვ.). თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევებით, დ. მატეესკუსა და ჟ. იოგანსონის [52] მიერ, დადასტურებულია რკინა-ბეტონის კოჭებში წინასწარი დამაბვის გამოყენების ეფექტურობა და დამუშავებულია მათთვის გაანგარიშების მეთოდი, ბეტონის ცოცვადობის გათვალისწინებით. ბ. ბ. იაგუბოვის [53], გ.მ. ოსტრიკოვის [64] და სხვათა მიერ თეორიულად და ექსპერიმენტულად გამოკვლეულია კოჭური როსტვერკების მუშაობა, საყრდენის გადაადგილებით წინასწარი დამაბვით. ამ მეთოდით შეიძლება გავზარდოთ ან შევამციროთ მღუნავი მომენტების საანგარიშო სიდიდეები როსტვერკის კოჭებში, მივიღოთ ლითონის საგრძნობი ეკონომია და შევამციროთ კონსტრუქციის სამშენებლო სიმაღლე.

მრავალი თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევებია ჩატარებული საკოჭებით წინასწარ დამაბულ წამწებზე (ბ. ა. სპერანსკი [39], ე. ი. ბელენია, ლუ ცი ლინი [54] და სხვ.). მუშავდებოდა გაანგარიშების მეთოდები ოპტიმალური გეომეტრიული და ფიზიკური პარამეტრების დასადგენად. დადგენილია სხვადასხვა გეომეტრიული სქემები და მეტნაკლებად

ეფექტური თანამიმდევრობა წინასწარი დაძაბვის განხორციელებისათვის, წამწის ნამდვილი მუშაობა სტატიკური დატვირთვისას და სხვ.

დღეისათვის გამოკვეთილია და პრაქტიკით შემოწმებულია წინასწარ დაძაბული გისოსოვანი ლითონის კონსტრუქციების განვითარების სამი მიმართულება: 1. კონსტრუქციები, რომლებიც იძაბებიან ცალკეული მაღალი სიმტკიცის ლითონის ღეროებით-საკოჭებით; 2. კონსტრუქციები მთლიანად დამზადებული ლითონის საკოჭებისაგან (მას ეკუთვნის აგრეთვე კომბინირებული ვანტური კონსტრუქციები სიხისტის კოჭებით); კონსტრუქციები რომლებშიც არ არის გამოყენებული მაღალი სიმტკიცის ფოლადები და დაძაბული არიან სხვადასხვა მეთოდებით.

ამგვარად წინასწარ დაძაბულ კონსტრუქციებში მაღალი სიმტკიცის ფოლადების გამოყენებით მასალის ხარჯისა და ღირებულების შემცირება მიიღწევა, ჩვეულებრივი ფოლადების მაღალი სიმტკიცის ფოლადებით ნაწილობრივი შეცვლით და წარმოადგენს ძაღვების რეგულირების ხელოვნურ საშუალებას, რომელიც ზრდის კონსტრუქციის ხისტი ნაწილის დრეკადად მუშაობის არეს.

მთლიანად მზიდ კონსტრუქციებში მაღალი სიმტკიცის ფოლადის გამოყენების ტენდენციამ გამოხატულება ჰპოვა კიდულ კონსტრუქციებში და განსაკუთრებით ხისტ საკოჭიან წამწეებში. კიდული კონსტრუქციები ასევე წინასწარ იძაბებიან სისტემის საერთო სიხისტის ამაღლებისათვის. ხოლო კონსტრუქციების ხისტი ელემენტები ღებულობენ მხოლოდ გამჭიმავ ძაღვებს, მაშინ როცა ხისტი ბაგროვანი წამწის წინასწარ დაძაბულ ღეროებს შეუძლიათ მიიღონ როგორც მკუმშავი ისევე გამჭიმავი ძაღვები.

დიდ ინტერესს იწვევს ასევე ლითონის კონსტრუქციების დაძაბვის მესამე მიმართულება – ძაღვების რეგულირება, რომელიც ხდება, მაღალი სიმტკიცის ფოლადების გამოყენებლად, სხვადასხვა მეთოდით: კონსტრუქციის დრეკად-დეფორმირებულ მდგომარეობაში დამზადებით, სიმძიმის ძალის მოქმედებით, მექანიკური დანადგარებით, სტატიკურად ურკვევი კონსტრუქციების საყრდენების გადაადგილებით, ან რომელიმე

ფიზიკური მოვლენის გამოყენებით. შედარებით უბრალოდ მიიღწევა ძალების რეგულირება სიმძიმის ძალის გამოყენებით.

წინასწარ დაძაბვის თეორიის დამუშავება, ექსპერიმენტის ჩატარება და წინასწარ დაძაბული წამწის დამზადება, მოახდინა ბელგიელმა მეცნიერმა პროფესორმა გ. მაგნელმა [54]. მისი პროექტითა და უშუალო ხელმძღვანელობით აშენდა დიდი ანგარი, წინასწარ დაძაბული ფოლადის ორმალიანი წამწით. მანვე ჩაატარა ამავე წამწის გამოცდა ნატურაში.

თითქმის ერთდროულად გ. მაგნელთან ერთად საბჭოთა კავშირში ლითონის კონსტრუქციების წინასწარ დაძაბვას ახდენდნენ ვ. მ. ვახურკინი [55] და ი. ვ. გაიდაროვი [45].

ცალკეულად დაძაბული ღეროების და გისოსოვანი კონსტრუქციების გაანგარიშების თეორია თავის შრომებში განავითარეს საბჭოთა მეცნიერებმა: ე. ი. ბელენიამ [30], ი. ვ. გაიდაროვმა [45], ბ. ა. სპერანსკიმ [39], ი. ა. რადციგმა [32] და სხვებმა.

საზღვარგარეთელი მეცნიერებიდან გისოსოვანი წინასწარ დაძაბული კონსტრუქციებისათვის თეორიის შექმნაში წვლილი შეიტანეს: ბ. ფრიცმა (გერმანია), პ. ფერენჩიკმა, ზ. პირასმა და ტროხაჩეკმა (ჩეხოსლოვაკია), წამწეების გაანგარიშებაში პირველებმა გამოიყენეს პროგრამირება და ელექტრონულ გამოთვლითი მანქანები იავერტმა (შვეცია), ფ. სამუელმა, მ. სტრაქტიმ, ს. ჯენკინსმა (ინგლისი) და სხვებმა.

გამოვლენილია სხვადასხვა კონსტრუქციული გადაწყვეტა წინასწარ დაძაბული წამწეებისათვის.

წინასწარ დაძაბული წამწის კონსტრუქციული გადაწყვეტის სხვადასხვა ტიპები სქემატურად მოცემულია (ნახ. 1.20)-ზე. გისოსოვანი წამწე შეიძლება იყოს ბრტყელი ან სივრცითი, უკანასკნელი კი ძალიან ხელსაყრელია მდგრადობის ასამაღლებლად. (სივრცით წამწეებს ამზადებენ სამსარტყლიანს ან აერთიანებენ ორ ბრტყელ წამწეს ერთ ბლოკში).

დამძაბავი საკოჭები მზიდ გისოსოვან კონსტრუქციაში შეიძლება დაყენდეს შემდეგი სახით:

I ტიპი: იძაბება კონსტრუქციის მხოლოდ ზოგიერთი ღერო, ყოველი ღერო იძაბება ცალკე, საკუთარი საკოჭის საშუალებით.

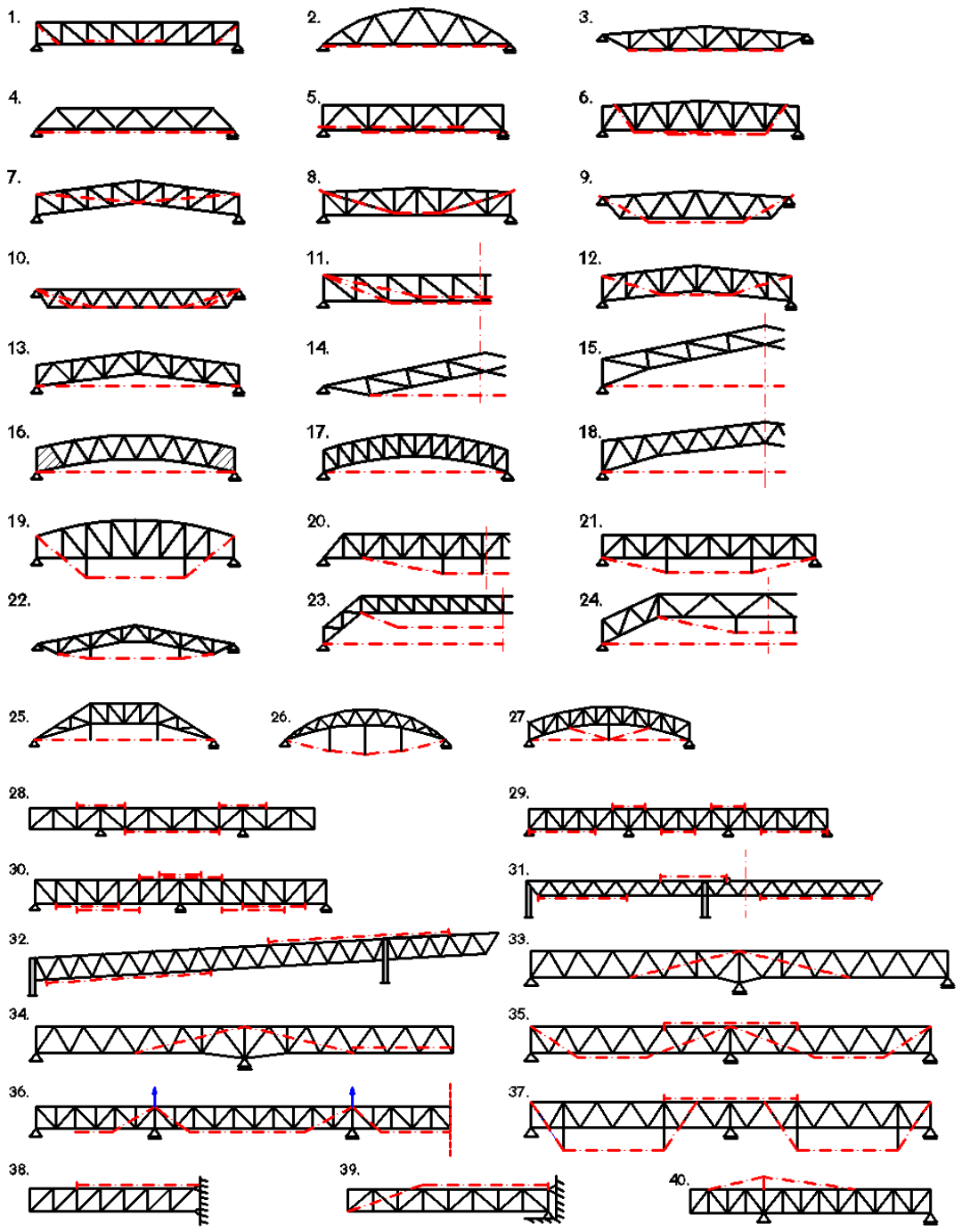
II ტიპი: ერთი საკოჭის საშუალებით ერთდროულად იძაბება რამოდენიმე ღერო განლაგებული ერთი მეორესთან. ჩვეულებრივ დამძაბავი საკოჭების ღერძები და ღეროები პარალელურია.

III ტიპი: ერთი ან რამოდენიმე დამძაბავი საკოჭის საშუალებით ერთდროულად იძაბება რამოდენიმე ღერო, განლაგებული, მეორე ტიპისაგან განსხვავებით, ერთი მეორისაგან ნებისმიერად. საკოჭისა და ღეროების ღერძები პარალელური არ არიან, ამასთან დამძაბავი საკოჭები რჩებიან ძირითადი კონსტრუქციის საზღვრებში

IV ტიპი: ერთი ან რამოდენიმე დამძაბული საკოჭი ცვლის ძირითადი კონსტრუქციის ყველა ან უმეტეს ღეროებში დამძაბულ მდგომარეობას. საკოჭები ნაწილობრივ ან მთლიანად არ გადიან ძირითად კონსტრუქციის ტანში.

ეს ოთხი ტიპი შეიძლება ერთმანეთთან იქნას კომბინირებული.

I ტიპის კონსტრუქციებში წინასწარ იძაბებიან უფრო მეტად დატვირთული დიაგონალური ღეროები (იხ. ნახ. 1.20, 1,4,6,38) და გაჭიმული სარტყელის უფრო მეტად დატვირთული ღეროები (იხ. ნახ. 1.20, 6,28,29). ყოველი დამძაბავი საკოჭი ზემოქმედებს ყოველთვის ძირითადი კონსტრუქციის მხოლოდ ერთ ღეროზე, იგი უნდა დაიძაბოს დამოუკიდებლად და დაანკერდეს. ეს ართულებს კვანძებს, მოითხოვს დაანკერების მეტ რაოდენობას და ზრდის შრომის დანახარჯებს. ამიტომ ასეთი ტიპი ხშირად არ არის მიზანშეწონილი და პოულობს გამოყენებას უპირველესად დიდი სიგრძის მქონე კონსტრუქციებში (არა უმცირეს 6-8 მეტრისა), ამასთან თავისთავად აღსანიშნავია რომ, კონსტრუქციის ეკონომიურობა მატულობს ღეროების სიგრძის გაზრდით. დადებით გავლენას ახდენს ღეროებზე ერთსაფეხუროვანი დამძაბვა ქარხნული წესით.



ნახ. 1.20. წინასწარდაძაბული ბრტყელი კონსტრუქციების სქემები.

მრავალსაფეხუროვანი დაძაბვა, რომლის დროსაც საკოჭები მონტაჟისას იძაბებიან თანდათან, მუდმივი დატვირთვის ზრდასთან ერთად, გამოიყენება როგორც გამონაკლისი. ცალკეული ღეროების წინასწარი დაძაბვა მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნას დაზიანებული ღეროების აღდგენა-გაძლიერებისას, რეკონსტრუქციის დროს. ცალკეული ღეროს

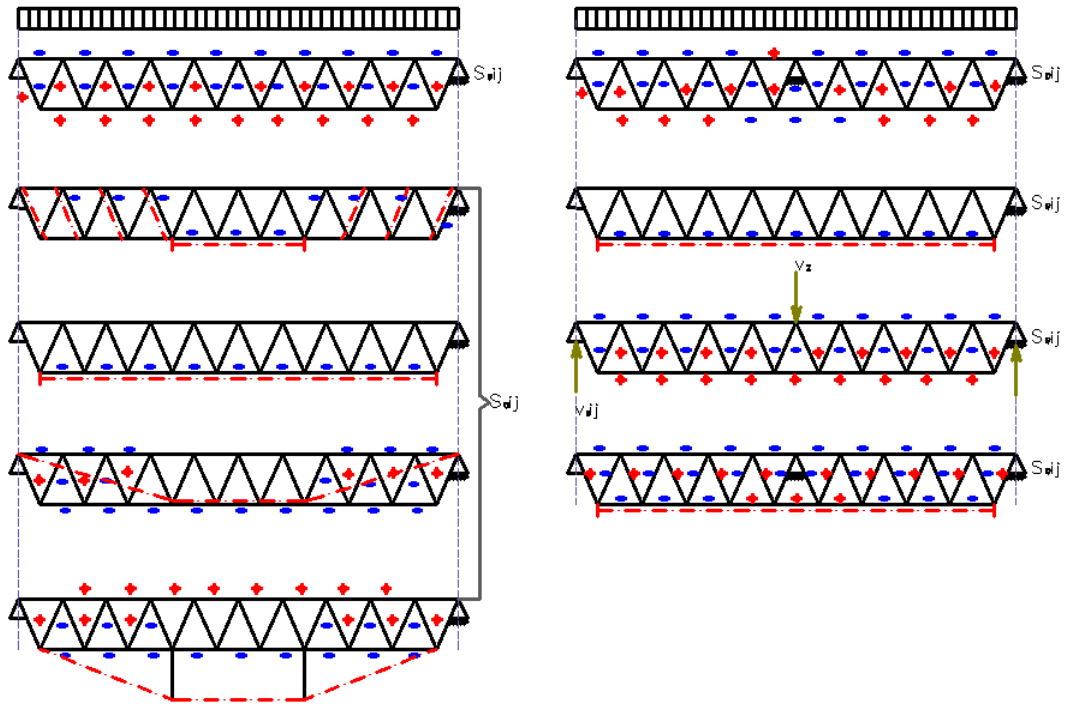


ერთჯერადად დაძაბვისას შესაძლებელია ლითონის ხარჯის 45%-მდე ეკონომია, ხოლო მთელ კონსტრუქციაზე არა უმეტეს 15%-ისა.

II ტიპის კონსტრუქციებში, სადაც ზემოქმედება გადაეცემა ძირითადი კონსტრუქციის რამოდენიმე ღეროს, განლაგებულს ერთი მეორესთან, უფრო ხშირად იძაბება გაჭიმული სარტყელი.

წინასწარი დაძაბვის საშუალებით განიტვირთება მეტნაკლებად დატვირთული ღეროები და პირიქით, იზრდება დატვირთვა იმ ღეროებში, რომლებიც დამზადების პირობების გამო გამოიყენებოდა ნაკლებად (ნახ. 1.21). ამასთან შესაძლებელია 10-დან 15%-მდე მასალის ეკონომია. დიდი ზომის კონსტრუქციებში მიზანშეწონილია, პროფილების გრადაციასთან ერთად მოვახდინოთ წინასწარი დაძაბვის გრადაცია, რაც მოგვცემს საშუალებას გამოვიყენოთ საფეხუროვანი ან ერთმანეთზე გადადებული დამძაბვი საკოჭები (იხ. ნახ. 1.20, 5,6,30-32). ეს განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, როდესაც არ არის დიდი სხვაობა სარტყელის გრძივ ძალებში. მაშინ წინასწარი დაძაბვა დიდ გავლენას ახდენს გაჭიმული სარტყელის შუა ღეროებზე და მასალა გამოიყენება უფრო რაციონალურად, წინასწარ დაძაბვის ძალვა შემოიფარგლება სარტყელის ღეროების მდგრადობით.

III ტიპის კონსტრუქციებში უფრო მეტად იცვლება გაჭიმული სარტყელების დაძაბული მდგომარეობა, ასევე დიაგონალური ღეროებისაც, რომლებიც იკვეთებიან დამძაბვი საკოჭებით (იხ. ნახ. 1.20, 7-11,33-36,39). ცალკეული ღეროების დაძაბული მდგომარეობა შეიძლება გაუარესდეს წინასწარ დაძაბვის შემდეგ (იხ. ნახ. 1.21). ჩვეულებრივ ეს ისეთი ღეროებია, რომლებიც დამზადების პირობების გამო არ ერთვებიან მუშაობაში (მაგ. შეკუმშული სარტყელის განაპირა ღეროები. ნახ. 1.21). ზოგიერთ შემთხვევაში აღნიშნული გაუარესება კომპენსირდება სხვა ღეროებში მიღწეული ეკონომიით. III ტიპის კონსტრუქციებში, წინასწარ დაძაბვისას, მასალის ეკონომია შეიძლება მიღწეული იქნას 13-დან 21%-მდე.



ნახ. 1.21. ბრტყელი კონსტრუქციების ცალკეული ელემენტების დაძაბული მდგომარეობა წინასწარი დაძაბვის შემდეგ.

IV ტიპის კონსტრუქციებში შესაძლებელია სასურველი საწყისი დაძაბული მდგომარეობის მიღწევა თითქმის ყოველა ღეროში. (იხ. ნახ. 1.20, 12-27,37,40 და ნახ. 1.21). აღმოჩნდა რომ მეტნაკლებად ეფექტურად წარმოდგება წინასწარ დაძაბული, „ჩარჩოს“ ტიპის გისოსოვანი წამწეები, მოცემულ შემთხვევაში კი „თალი მჭიმით“. (იხ. ნახ. 1.20, 13-16, 25), შემდეგ-შპრენგელური და კიდული კონსტრუქციები (იხ. ნახ. 1.20, 19-24,26,27,37,40). ამ ტიპის წინასწარ დაძაბული გისოსოვანი წამწეების ვარიანტების შესაძლებლობები მეტად დიდია. ამასთან, აუცილებელია ვიქონიოთ მხედველობაში, რომ განსახილველი კონსტრუქციის გაბარიტები იზრდებიან და კიდული საფარის არ ქონის შემთხვევაში კონსტრუქცია არ აკმაყოფილებს მასზე წაყენებულ ესთეტიკურ მოთხოვნებს. მასალის ეკონომია წინასწარ დაძაბვის ამ შემთხვევისათვის შეადგენს 17-დან 25%-მდე.

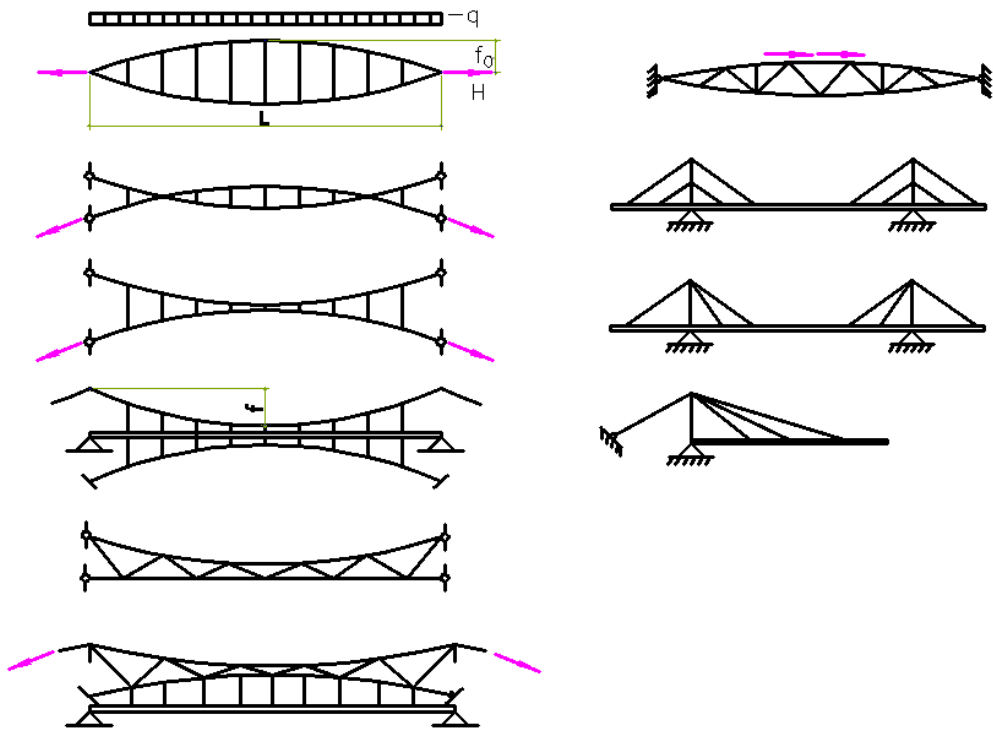
ერთმალისანი წამწეებისათვის უფრო მეტად რაციონალური აღმოჩნდა თალური ტიპის წამწეები, რომლებშიც ძალვა საკოჭში ქმნის

დატვირთვებიდან გამოწვეული ძალების შებრუნებული ნიშნის ძალებს. ასევე აღმოჩნდა, რომ წამწეში ძალიან ეფექტურია მრავალსაფეხურიანი წინასწარი დამაბვაც, რადგან საკოჭში ძაღვის სიდიდე, ერთჯერადი წინასწარი დამაბვისას, ლიმიტირებულია საკმაოდ მოქნილი, შეკუმშული ღეროების ზიდვის უნარით (ე.ი. ბელენია, ლუ ცი ლინი, ბ.ა. სპერანსკი [39] და სხვ.), ხოლო თაღური ტიპის წამწეებმა მრავალსაფეხურიანი დატვირთვისას გვაჩვენა, რომ პრაქტიკულად საკმარისია განვახორციელოთ წინასწარ დამაბვისას 3-4 საფეხური, რომ სრულიად გამოვიყენოთ ყველა მისი შესაძლებლობა წამწის ზიდვის უნარის ამაღლების არეში. ძალიან ეფექტურია საკოჭის დაჭიმვა, წამწეზე მუდმივი დატვირთვის მოდების შემდეგ.

ჩატარებულია მნიშვნელოვანი კვლევები, მათემატიკური პროგრამირების მეთოდთა საფუძველზე წამწეების ოპტიმალურ პროექტირების მიმართულებით, (ლ. ი. კორშუნი [57], ი. ი. ოლკოვი და ი.ს. ხოლოპოვი [58]).

წამწეების ექსპერიმენტულმა კვლევებმა დაადასტურეს საანგარიშო დაშვებები და მისცეს საშუალება კონსტრუქტორებს დაემუშავებინათ კონსტრუქციული გადაწყვეტები წამწეების, საკოჭებისა და კვანძებისათვის, მათ დაანკერებასთან ერთად. ექსპერიმენტულმა კვლევებმა აჩვენეს რომ წამწის ზიდვის უნარის დაკარგვა ხდება შეკუმშული ღეროების მდგრადობის დაკარგვით და არა სიმტკიცის პირობით. საკოჭის რღვევაც პრაქტიკულად არ შეიძლება მოხდეს, რადგან საკოჭში იმ ძაღვის სიდიდის მიღწევისას, რომელიც უტოლდება მის საანგარიშო წინაღობას, საკოჭის დრეკადობის მოდული კლებულობს და დაიწყება ძაღვების გადანაწილება - უფრო ინტენსიურად იზრდება ძაღვები წამწის ღეროებში, საკოჭის მუშაობის ინტენსიურობის შემცირების ხარჯზე. უჭრ (სტატიკურად ურკვევ), კოჭებში და წამწეებში, ასევე ტარდებოდა კვლევები საყრდენთა გადანაცვლებით წინასწარ დამაბვაზე (ვ. ვ. ბრიულევი, ვ.პ. სილენკო და ა. ა. ზაბორსკი და სხვ.).

ი. მ. ლიხტარნიკოვის [59], ვ. გ. კოლესნიჩენკოს [60] და სხვათა მიერ დამუშავებულია წინასწარ დამაბული წამწეებისა და კოჭების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების განსაზღვრის მეთოდები. ამ მეთოდებით განსაზღვრულია შეფარდებითი ფასი ძირითადი ელემენტების, საკოჭისა და ანკერებისა, ასევე მითითებულია ეკონომიის მიღწევის გზები.



ნახ. 1.22. კიდული გადახურვები.

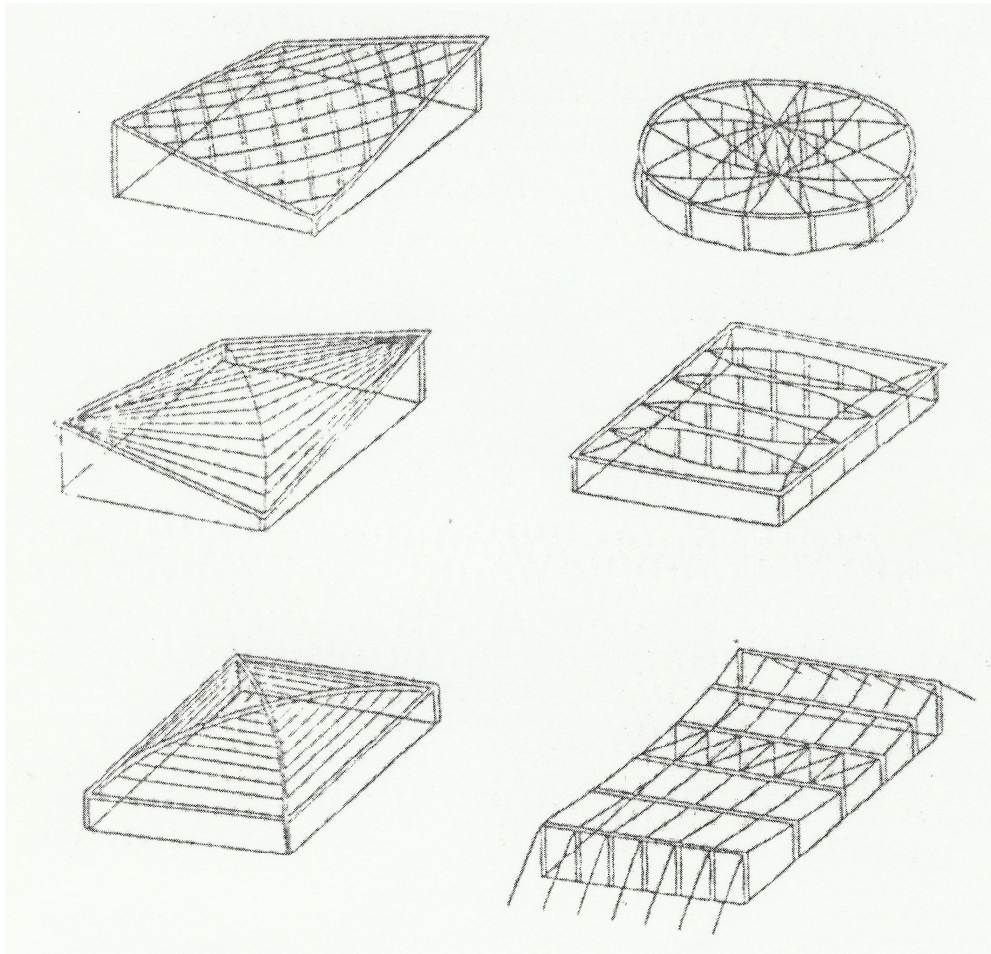
მრავალრიცხოვანი კვლევები ტარდება წინასწარი დამაბვის გამოყენებისათვის შემდეგი კონსტრუქციული კომპლექსების გაანგარიშება-პროექტირებასა და მშენებლობაში: კიდულ გადახურვებში, ანძებში, კოშკებში, ხიდებში (იხ. ნახ. 1.22).

კიდული და ვანტური სისტემები ფართოდ არიან გავრცელებული. მათი არსებობა შესაძლებელია მხოლოდ წინასწარი დამაბვის საშუალებით, რაც აძლევს მათ აუცილებელ სიხისტეს და იძლევა საშუალებას შეიქმნას სხვადასხვა კონსტრუქციული სახის სისტემები.

კვლევები შენობის გადახურვის კიდული სისტემის სფეროში მოიცავს საკმაოდ ბევრ საკითხებს.

ყველაზე უფრო აღნიშვნის ღირსია, გამოსაკვლევი კიდული სისტემების კონსტრუქციული ფორმების სხვადასხვა სახე, სხვადასხვა კონსტრუქციული საპროექტო პირობების ოპტიმალური გადაწყვეტის მიღების თვალსაზრისით საკმაოდ დაწვრილებით შესწავლილია ორსართულიანი სისტემები წრიულ ან სწორკუთხოვან კონტურზე (გ. ს. ვედენიკოვი [61], ა. კ. სტეპანავიჩუსი [52] და სხვ.). სხვადასხვა სისტემის მოქნილი და კომბინირებული წამწეები, განმბჯენის გარეთა კონსტრუქციებზე (ნ. მ. კირსანოვი [56] და სხვ.) და სისტემის შიგნით გადაცემით (ა. ნ. რაზმაძე, ო. ე. ფალავა, ი. კ. მელაშვილი და რ. ი. ბიძინაშვილი [62], ე. ნ. კოჟენიკოვი და სხვ.).

გამოკვლეული იქნა დადებითი და უარყოფითი სიმრუდის სივრცითი კიდული სისტემები (გარსები). გარდა ფართოდ გავრცელებული მრუდწირულ კონტურზე უნაგირისებური სისტემებისა, შემოთავაზებული და გამოკვლეული იქნა სხვადასხვა სახის სივრცითი სისტემები. მაგ: მართკუთხა კონტურზე, როგორც ერთმალისანი ისე მრავალმალისანი. ამ სისტემებში განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა განმბჯენის ძაღვების გავლენის შემცირებას, კონტურული კონსტრუქციის მუშაობაზე და ასევე ყურადღება ეთმობა მისწრაფებას მიიღოს განმბჯენი გადახურვის შიგა კონსტრუქციის სისტემამ (იხ. ნახ. 1.23 გ. ს. ვედენიკოვი [61], ნ. ს. მოსკალევი [63] და სხვ.).

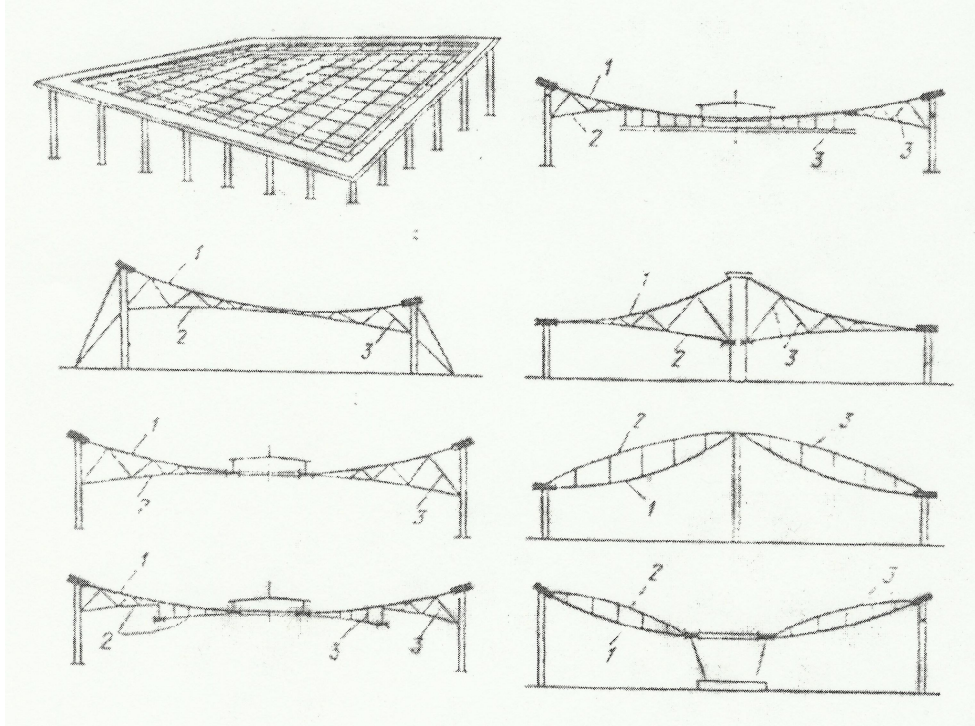


ნახ. 1.23. დადებითი და უარყოფითი სიმრუდის სივრცითი კიდული სისტემები (გარსები).

იკვლევენ ბადისებრ კომბინირებულ კონსტრუქციებს, რომლებიც ხისტი და მოქნილი ღეროებისაგან შედგენილ რეგულარულ ღეროვან სისტემებს წარმოადგენენ (ვ. ა. საველიევი, ვ. ვ. კოლჩეიჩუკი [52]). ეს კონსტრუქციები შეიძლება განხილულ იქნას, როგორც მთლიანი გარსები ან მოცულობითი სივრცითი სისტემები. მთლიანი სქემით ისინი უახლოვდებიან ხისტ სისტემებს.

გარდა ტრადიციული კიდული სისტემებისა, რომელთა მზიდი ელემენტები საკოჭებია, შემოთავაზებული და შესწავლილი იქნა კიდული სისტემები, ფოლადი ან ალუმინის ლენტებისაგან და მთლიანი მემბრანები, რომელთაც ჰქონდათ შეთავსებული მზიდი და შემომზღუდავი ფუნქციები (ვ. ი. ტროფიმოვი, ვ. ბ. მიკულინი [52] და სხვ.). კონსტრუქციები ფოლადის ან ალუმინის ლენტებით პროექტირდება ჩვეულებრივი ორმაგი სიმრუდის

ბაგროვანი კონსტრუქციების პრინციპით, მზიდი და მასტაბილიზირებული ლენტებით. მემბრანული კონსტრუქციები წარმოადგენენ თხელკედლიან გარსებს, რომელთა სიხისტის უზრუნველყოფა ხდება სხვადასხვა კონსტრუქციული მეთოდებით, წინასწარი დამაბვის გამოყენებით (ნახ. 1.24).



ნახ. 1.24. მემბრანული კონსტრუქციები, შესრულებული ბაგროების წინასწარი დამაბვით.

იკვლევენ კიდული კონსტრუქციების ოპტიმიზაციის საკითხებს. დადგენილია ოპტიმალური გეომეტრიული და ფიზიკური პარამეტრები, წინასწარი დამაბვის სიდიდეები და სხვ. განსაკუთრებით კარგადაა შესწავლილი ორსართულიანი სისტემების, სამკუთხა მოხაზულობის, ხისტ ჩარჩოიანი ვანტური წამწეების და კომბინირებული სისტემების ოპტიმალური პარამეტრები.

კავშირგაბმულობის ნაგებობებში, ანძებში, კოშკებში, ელექტროგადამცემი ხაზების საყრდენებში და სხვა მალღივ კონსტრუქციებში წინასწარ დამაბვას დიდი ხანია იყენებენ.

ბოლო წლებში მრავალი კვლევები მიედევნა, მაღლივი კონსტრუქციების შესწავლას, წინასწარი დაძაბვის მათზე ზემოქმედებას. ანძურ კონსტრუქციებში ისევე როგორც კიდულში წინასწარი დაძაბვა მათი შექმნის აუცილებლობას წარმოადგენს. წინასწარი დაძაბვა ანტენურ ნაგებობებს ანიჭებს აუცილებელ სიხისტეს და ამცირებს ძაბვის ცვლილებას ფაიფურის იზოლატორებში, ამაგრებს საწვეს, ამაღლებს მათ ზიდვის უნარს. ანძური ტიპის ვანტური ღეროვანი კონსტრუქციების კვლევაზე მუშაობდნენ: ა. გ. სოკოლოვი, გ. ა. სავიტსკი [64] და სხვ.

შემდგომი განვითარება ჰპოვეს კვლევებმა შპრენგელური ტიპის რადიოკოშკებზე (ა. ა. ვოევოდინი [43]). ამ კვლევებში დამუშავებულია წინასწარ დაძაბული სივრცითი შპრენგელით გაძლიერებული დგარების გაანგარიშების თეორია, აღნიშნულია შპრენგელის განმზღჯენის სიხისტის გავლენა მდგრადობაზე. სივრცითი შპრენგელური კონსტრუქციის მუშაობის კვლევა მნიშვნელოვანია იმიტაც, რომ ა. რაზმაძის, ო. ფაღავას, ი. მელაშვილის, რ. ბიძინაშვილის [62], ი. ვ. გაიდაროვის [35] და სხვათა წინადადებით მისი მუშაობა შეიძლება გამოყენებულ იქნას არა მარტო, როგორც დგარებისა, რომლებიც მუშაობენ მხოლოდ კუმშვაზე, ასევე როგორც ელემენტისა, რომელიც მუშაობს განივ ღუნვაზე.

ინტენსიურად მუშავდებოდა ახალი კონსტრუქციები ელექტროგადამცემი ხაზების წინასწარ დაძაბული საყრდენების გამწეებზე, შპრენგელური ელემენტებით. (ვ. ნ. დიდენკო [65], ვ. პ. კრიუკოვი და ა. ი. კურნოსოვი [52]). აღმოჩნდა რომ წინასწარ დაძაბული საყრდენები ლითონის ხარჯით 20-30%-ით უფრო ეკონომიურია, უფრო ტრანსპორტაბელურია და მისი მონტაჟი მარტივია. არასაკმარისად შესწავლილია ელექტროგადამცემი ხაზების საყრდენებში წინასწარი დაძაბვის საკითხები. რაც შეიძლება მნიშვნელოვანი აღმოჩნდეს გრუნტების დეფორმაციულობასთან დაკავშირებით.

წინასწარ დაძაბვის გამოყენების ეფექტურობის შესწავლა ხდებოდა ხიდების მალეების, როგორც კიდულ ისე ხისტ სისტემებში.



კიდული ხიდებისა და ვანტური გადასასვლელების, წინასწარ დამაბული ჩარჩოვანი ვანტური წამწეებით (ნახ.1.22) პროექტირების ანალიზი მიმდინარეობდა რეალურ პროექტებზე. ამ ანალიზმა გვაჩვენა დიდი სიხისტე, ეკონომიურობა და საიმედოობა ამ კონსტრუქციებისა (ე. ი. სლონიმი [66]).

ხისტ სისტემებში ძირითადი ყურადღება ეთმობა ლითონრკინაბეტონის მალურ ნაგებობებს (ნ. ნ. სტრელეცკი [67]).

ლითონრკინაბეტონის ხიდებში, წინასწარი დამაბვის გზით, შესაძლებელი ხდება ბზარების გახსნის ლიკვიდირება რკინაბეტონის ფილაში და კონსტრუქციის სიხისტის ამაღლება.

ლითონის ხიდებში საინტერესო გადაწყვეტას წარმოადგენს წინასწარი დამაბვის შექმნა ზედა შპრენგელის საშუალებით (ი. ბ. შაპირო, ი. ვ. გაიდაროვი, ა. ა. დოილნიცინი და ნ. ი. კოვოჟილოვა [52]).

მოცემული სისტემა მთლიანად აკმაყოფილებს მოთხოვნებს სიხისტეზე, C60 და C80 კლასის ფოლადების სიმტკიცის სრული გამოყენებით 110 მეტრიანი მალეებისათვის. C35 კლასის ფოლადისაგან დამზადებულ კონსტრუქციასთან შედარებით, ლითონის ეკონომია შეადგენს 36%-ს, ხოლო ღირებულების -15%-ს.

ე. ი. ბელენიას, ს. მ. ასტრიაბოვის [49], ე. ბ. რამაზანოვის [52] და სხვათა მიერ ჩატარებული იქნა თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები თხელკედლიან ცილინდრულ ჭურჭლებზე, რომლებიც არიან წინასწარ დამაბული მაღალი სიმტკიცის მავთულით.

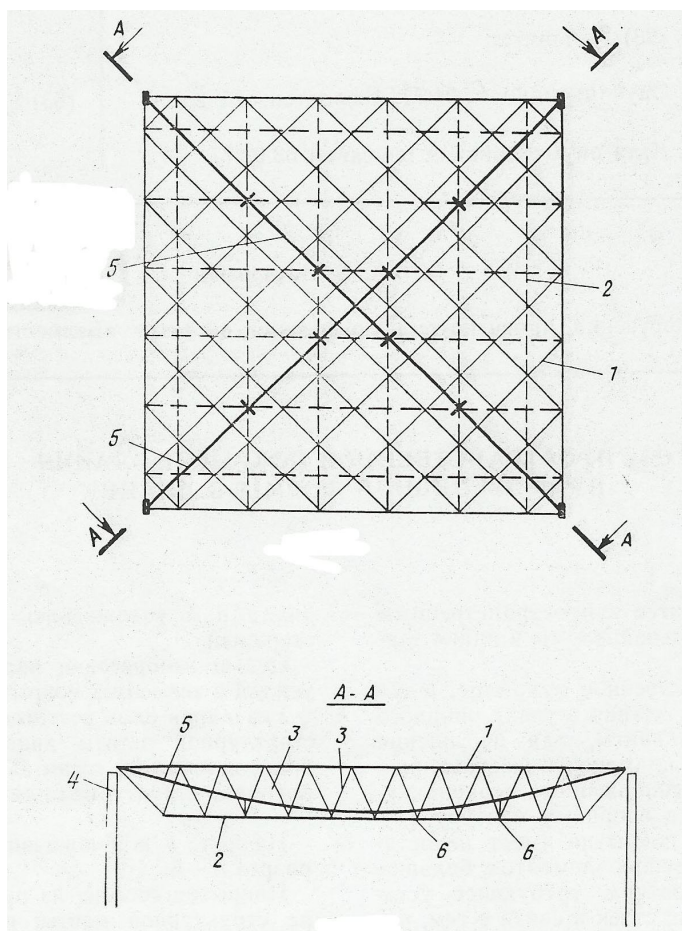
იკვლევდნენ რეზერვუარების ოპტიმალური პარამეტრების საკითხებს. ასევე წინასწარი დამაბვის გავლენას კონსტრუქციაზე, მის მდგრადობაზე და ა.შ.

წინასწარი დამაბვის გამოყენება მიზანშეწონილია ტექნიკურადაც და ეკონომიურადაც თხელკედლიან ცილინდრულ გარსებში, დიდი წნევის გაბარიტულ ჭურჭლებში, ვერტიკალურ ცილინდრულ რეზერვუარებში და დიდი დიამეტრის მილებში. წინასწარი დამაბვის გამოყენება ცილინდრულ

გარსებში თეორიულად გვაძლევს ლითონის ეკონომიას დასაძაბ კორპუსზე 50%-მდე. მაღალი წნევის (3000 კპა) დიდგაბარიტიანი ცილინდრული ფორმის აპარატის პროექტირებამ გვაჩვენა, რომ მხოლოდ წინასწარი დამაბვით არის შესაძლებელი ასეთი კონსტრუქციის შექმნა (ე. ი. ბელენია და ი. ვ. სობოლევი [52]).

### 1.5. შემოთავაზებული სტრუქტურული კონსტრუქციის პროტოტიპების კონსტრუქციული და ტექნიკური გადაწყვეტების მოკლე მიმოხილვა

ცნობილია გეგმაში ოთკუთხა ფორმის შენობების გადახურვის სივრცითი კონსტრუქცია (სსრკ საავტორო მოწმობა №542805, კლ. E04 B7/14, 1974), რომელიც შეიცავს, ზედა და ქვედა სარტყლებიან კუთხეებში დაყრდნობილ სტრუქტურულ ფილას, რომელიც შედგება ერთმანეთთან ფურცლოვანი ელემენტებით შეერთებული სივრცითი ღეროვანი პირამიდებისაგან, რომელთა შორის დიაგონალურ მიართულებებზე, გატარებულია და სტრუქტურული ფილის საყრდენ კვანძებზე დამაგრებულია ვანტები და მათზე შეკიდებულია სტრუქტურული ფილა (ნახ.1.25).



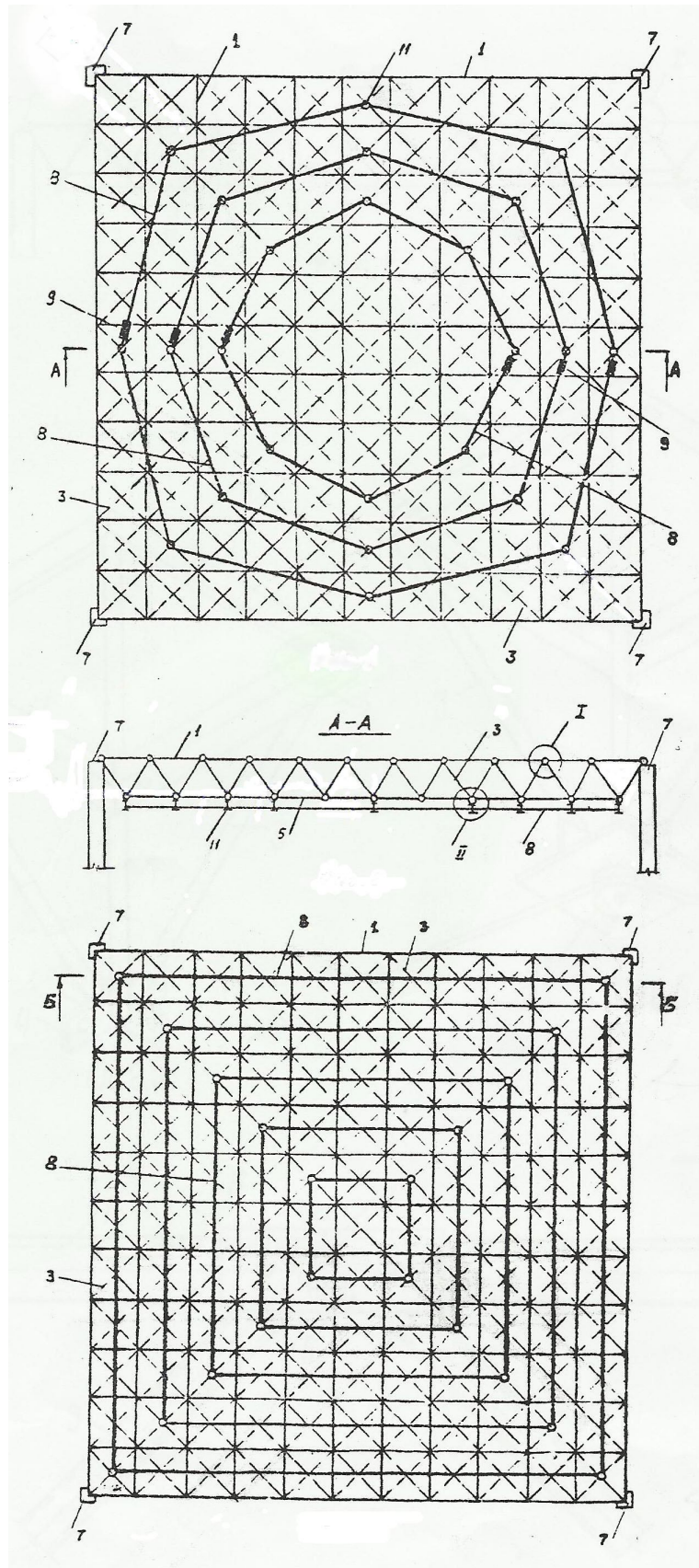
ნახ.1.25. წინასწარდამაბული გადახურვის სტრუქტურული სივრცითი კონსტრუქცია (პროტოტიპი-1), გეგმა და ჭრილი.

აღნიშნული ტექნიკური გადაწყვეტის უარყოფით მხარეს წარმოადგენს ის, რომ სტრუქტურული ფილის პირამიდების ღეროებში ძალოვანი ფაქტორების კლება ხდება არათანაბრად, ხოლო ვანტებზე სტრუქტურული ფილის მიმაგრება ართულებს მის მონტაჟს, რაც იწვევს მასალის ხარჯის, შრომატევადობისა და საერთო ღირებულების გაზრდას.

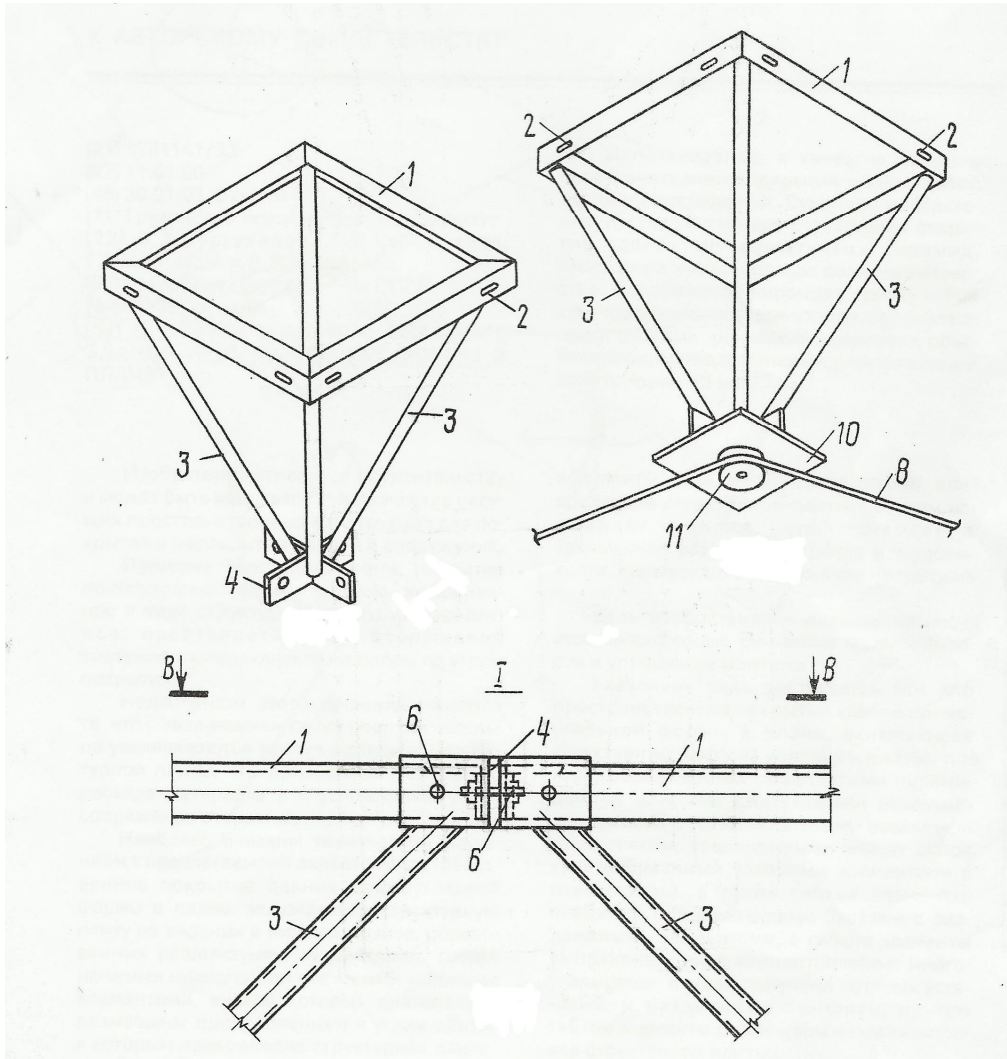
ასევე ცნობილია ანალოგიური სივრცითი სტრუქტურული კონსტრუქცია (პროტოტიპი), რომლის სივრცით ღეროვან პირამიდებზე, ვერტიკალურად განთავსებულია მოძრავი ბლოკები, რომლებზეც მოწყობილია მოქნილი ელემენტები კონცენტრული მრავალკუთხედის სახით, ამასთან ვანტები განთავსებულია სტრუქტურული ფილის ქვედა სარტყელზე (ნახ.1.26).

აღნიშნული ტექნიკური გადაწყვეტის უარყოფით მხარეს წარმოადგენს ის, რომ გართულებულია კონცენტრული მრავალკუთხედის ფორმით განლაგებულ მოქნილ ელემენტებში ძალების რეგულირება, რის გამოც უფრო რთულდება სტრუქტურული ფილის პირამიდების ღეროებში ძალოვანი ფაქტორების რეგულირება, რაც იწვევს შრომატევადობის გაზრდას, ზიდვის უნარისა და საიმედოობის შემცირებას.

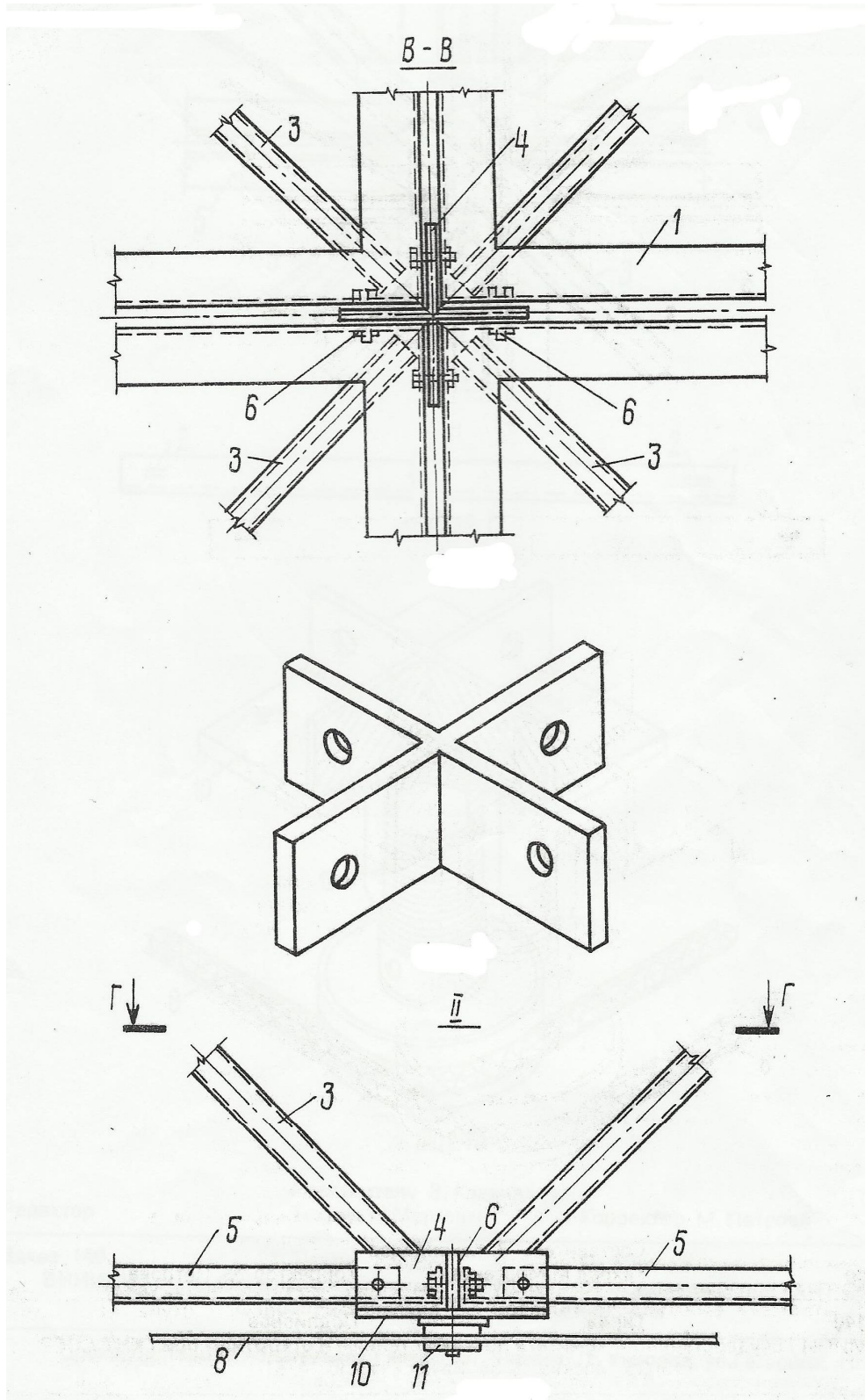
ქვემოთ მოცემულია აღნიშნული სტრუქტურული კონსტრუქციების კონსტრუქციული გადაწყვეტების გრაფიკული მასალა.



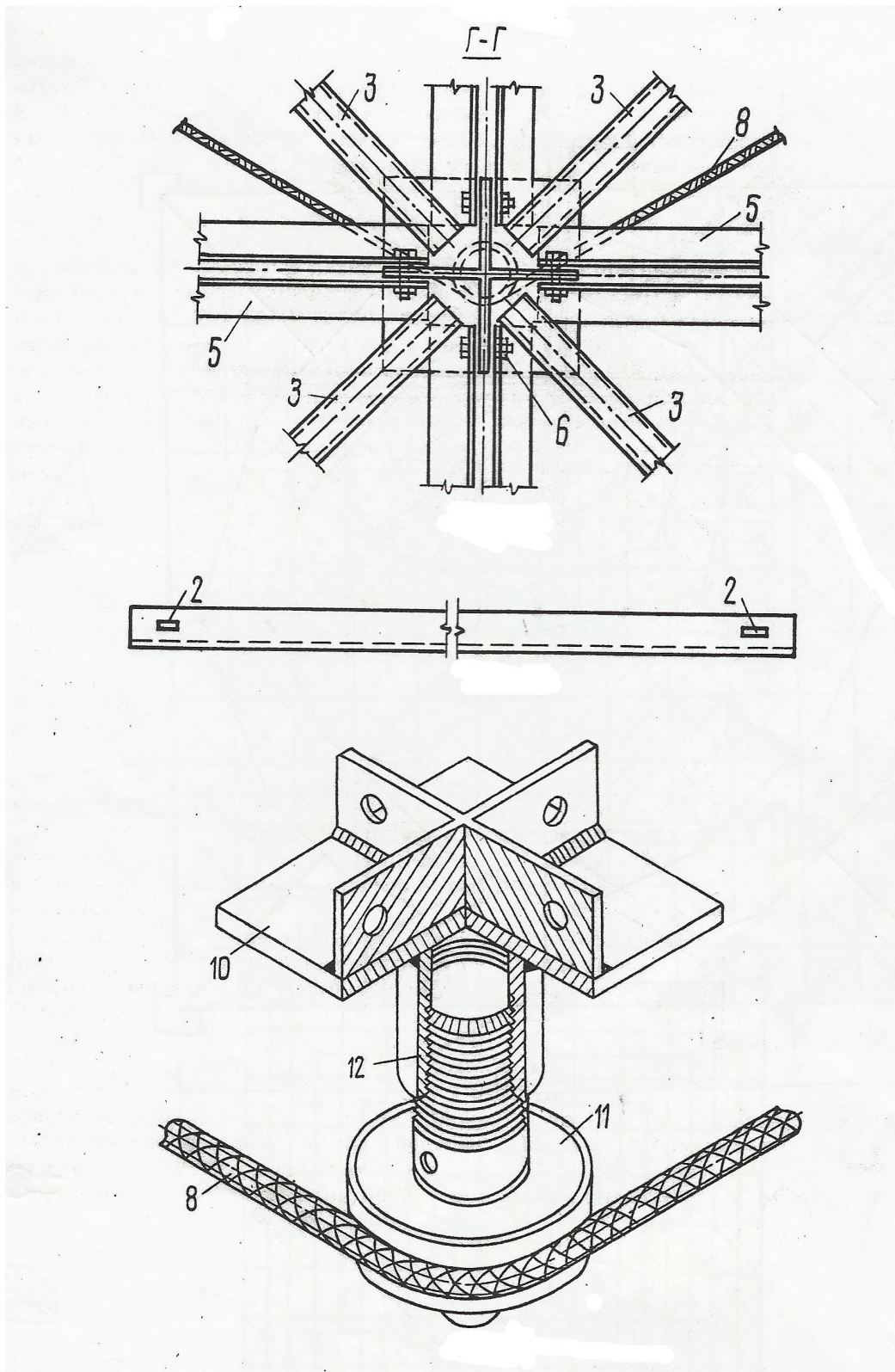
ნახ.1.26. წინასწარდადებული გადახურვის სტრუქტურული სივრცითი კონსტრუქცია (პროტოტიპი-2), გეგმები და ჭრილი.



ნახ.1.27. სტრუქტურული კონსტრუქციის სივრცითი ღეროვანი პირამიდა და კვანძი-I.



ნახ.1.28. სტრუქტურული კონსტრუქციის კვანძები და საკვანძო ელემენტი.



ნახ.1.29. სტრუქტურული კონსტრუქციის სივრცით ღეროვან პირამიდეზე მოძრავი ბლოკის განთავსების კვანძი.



## თავი 2. შემოთავაზებული ახალი ტიპის გადახურვის წინასწარდამბული რეგულარული (სტრუქტურული) სივრცითი კონსტრუქცია

### 2.1. შემოთავაზებული კონსტრუქციის ტექნიკური გადაწყვეტილების აღწერა

შემოთავაზებულია ახალი ტიპის გეგმაში ოთხკუთხა ფორმის ნაგებობის გადახურვის წინასწარდამბული სივრცითი სტრუქტურული კონსტრუქცია, რომლის კონსტრუქციული გადაწყვეტა ანალოგებისაგან განსხვავდება წინასწარდასაბაზი ელემენტების განლაგებით და მისი დამაბვის ახალი-გაუმჯობესებული სქემით. ნაშრომში აღწერილი ტექნიკური გადაწყვეტით მიიღწევა გადახურვის სივრცითი კონსტრუქციის ყველა ელემენტში ძაბვების მოხერხებული რეგულირება.

შემოთავაზებულია ახალი ტიპის გადახურვის ელემენტებში მოხერხებულია ძალვათა რეგულირება, რაც უზრუნველყოფს ელემენტების დამზადებისა და მონტაჟის გამარტივებას.

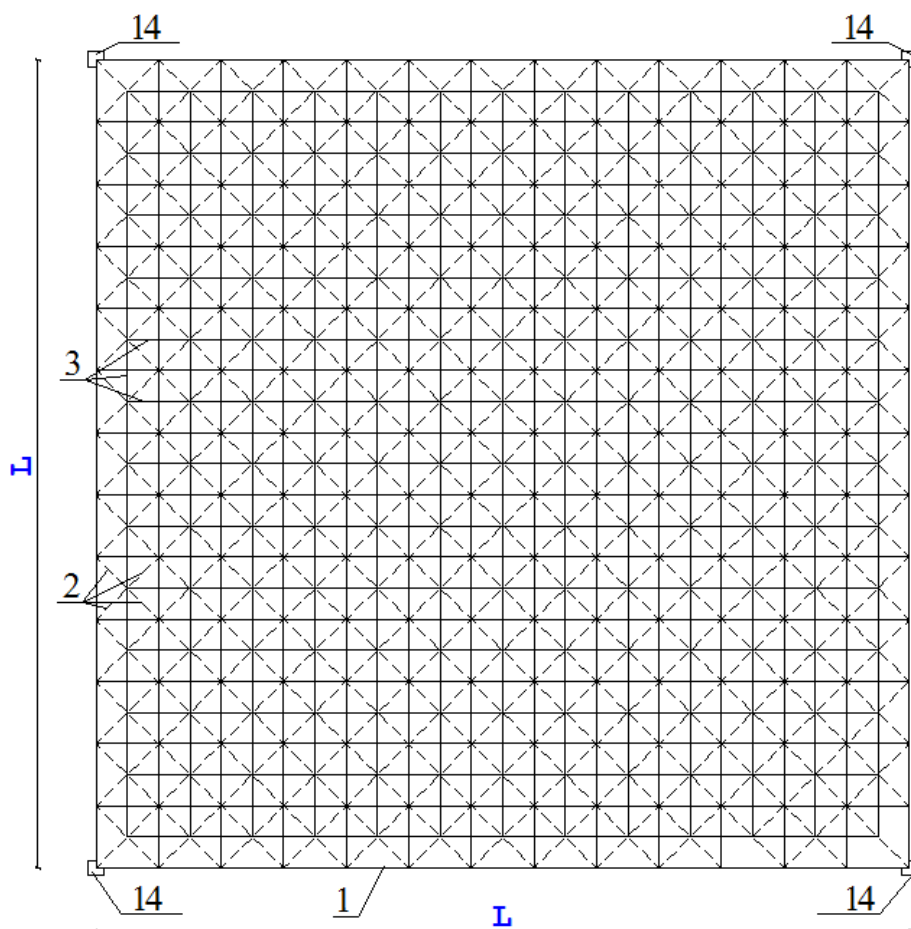
გეგმაში ოთხკუთხა ფორმის ნაგებობის გადახურვის ახალი ტიპის წინასწარდამბული სივრცითი კონსტრუქცია შეიცავს სტრუქტურულ ფილას ზედა და ქვედა სარტყლებით, რომლებიც შესრულებულია ღეროვანი პირამიდებისა და...ქვედა სარტყლის ცალკეული ჰორიზონტალური ელემენტებისაგან, რომლებიც შეერთებულია ერთმანეთთან და პირამიდების წვეროვებთან ფრთებზე წრიული ნახვრეტის მქონე ჯვრისებრი საკვანძო ელემენტებით, რომლებზეც დამაგრებულია მიმმართველი ბლოკები, ბლოკებზე განთავსებულია დამჭიმავი საშუალებებით აღჭურვილი მოქნილი ელემენტები კონცენტრული მრავალკუთხედის ფორმით. არსებული მსგავსი ტიპის გადახურვის სივრცითი კონსტრუქციებისაგან განსხვავდება იმით, რომ მიმმართველი ბლოკები დამაგრებულია სტრუქტურული ფილის სიმძიმის ცენტრზე გამავალ გვერდების პარალელურ ღერძებზე მდებარე ღეროვანი

პირამიდების ქვედა სარტყელთან განთავსებულ წვეროებზე, ასევე ფილის საყრდენებთან დიაგონალური მიმართულებით პირველი ღეროვანი პირამიდის წვეროები აღჭურვილია კრონშტეინებით, მოქნილი ელემენტებით შედგენილი მრავალკუთხედის გვერდების შუა ადგილებში განთავსებულია უნაგირისებური ყაუშები ორივე მხარეს წყვილი სარკებით, რომლებიც სტრუქტურული ფილის დიაგონალური მიმართულებით ერთმანეთთან შეერთებულია მისაერთებელი მილტუჩებით აღჭურვილი ღეროვანი ელემენტებით, ფილის საყრდენთან მდებარე პირველი ღეროვანი პირამიდის წვეროებზე განთავსებული კრონშტეინებისა და მომიჯნავე ყაუშების ერთმანეთთან შემაერთებელი ღეროვანი ელემენტები ერთი მხრიდანაა აღჭურვილი მისაერთებელი მილტუჩით, ამასთან სარკები აღჭურვილია დამჭიმავი ქანჩებით.

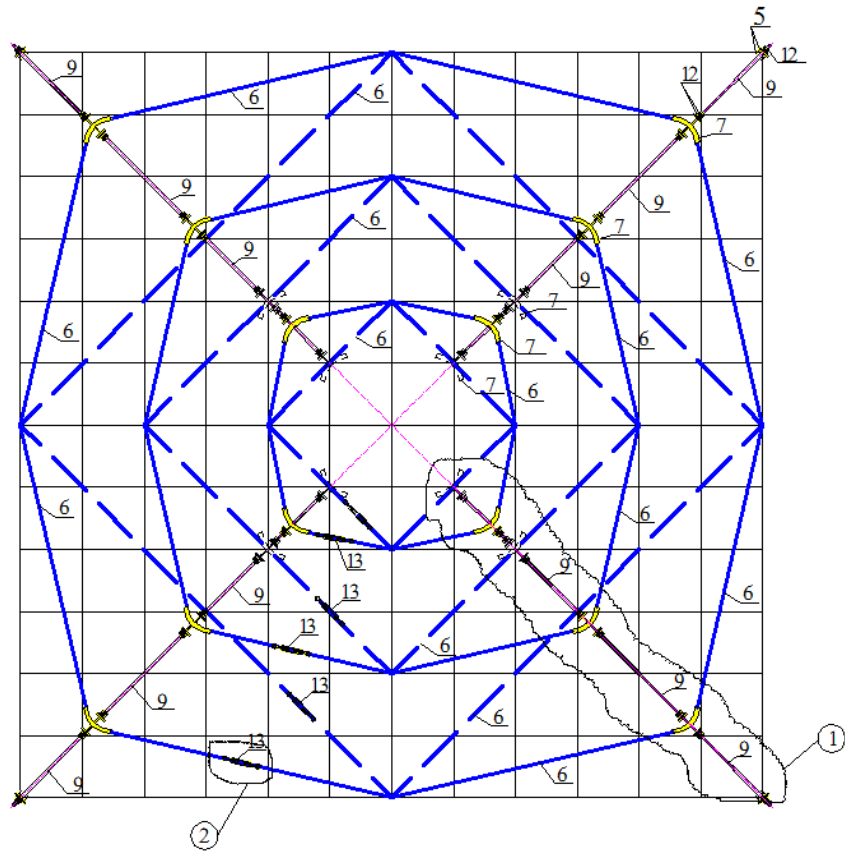
გადახურვის არსებული (ანალოგიური) წინასწარდამაბული სივრცითი კონსტრუქციების (რომლთა დამაბვა წარმოებს დიაგონალურ მიმართულებებზე გატარებული და სტრუქტურული ფილის საყრდენ კვანძებზე დამაგრებული ვანტებით) ტექნიკური გადაწყვეტის უარყოფით მხარეს წარმოადგენს ის, რომ სტრუქტურული ფილის პირამიდების ღეროებში ძალოვან ფაქტორებზე წინასწარდამაბვის გავლენა არათანაბარია (ანუ, სტრუქტურული ფილის ოთხ საყრდენზე განთავსებისას კონტურზე განლაგებული პირამიდის ღეროებში წინასწარდამაბვის გავლენა ფაქტობრივად არ ვრცელდება, ე.ი. წინასწარდამაბვის გავლენა არათანაბარია), ხოლო სტრუქტურული ფილის ტანში ვანტების მიმაგრება და მონტაჟი გართულებულია. ასევე გართულებულია სტრუქტურული ფილის პირამიდების ღეროებში ძალოვანი ფაქტორების რეგულირება, როდესაც დამაბვა წარმოებს კონცენტრული მრავალკუთხედის ფორმით განლაგებული მოქნილი ელემენტების გამოყენებით. არსებული ტექნიკური გადაწყვეტილებების უარყოფითი შედეგები იწვევს მასალის ხარჯის, შრომატევადობის, ზიდვის უნარის, საიმედოობის შემცირებასა და საერთო ღირებულების გაზრდას.

გეგმაში ოთხკუთხა ფორმის ნაგებობის გადახურვის ახალი ტიპის წინასწარდაძაბული სივრცითი კონსტრუქციის ტექნიკური გადაწყვეტა უზრუნველყოფს ანალოგიურ კონსტრუქციებში აღწერილ ნაკლოვანებათა აცილებას. შემოთავაზებული კონსტრუქციის გამოყენება უზრუნველყოფს ელემენტების დამზადებისა და მონტაჟის გამარტივებას, მასალის ხარჯისა და მშენებლობის ხანგრძლივობის შემცირებას, კონსტრუქციის ზიდვის უნარის ამაღლებასა და ექსპლუატაციის დროს საიმედოობის გაზრდას. ყოველივე გამოიწვევს მშენებლობის საერთო ღირებულების 15-20%-ით შემცირებას.

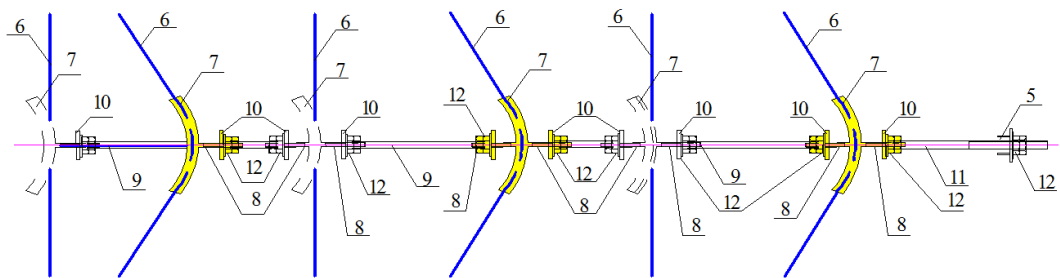
ნაშრომში განხილული ახალი ტიპის გადახურვის სივრცითი კონსტრუქციის ტექნიკური გადაწყვეტილების გასაცნობად წარმოგიდგენილია გრფიკული მასალა ნახაზების სახით.



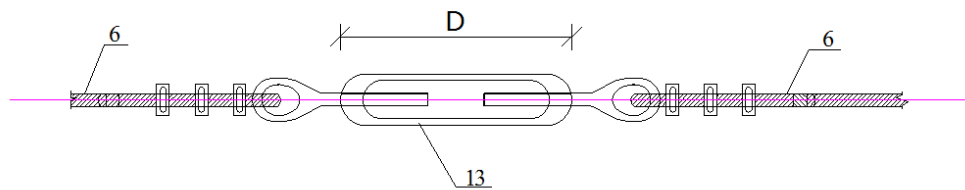
ნახ.2.1. გადახურვის სივრცითი კონსტრუქციის გეგმა.



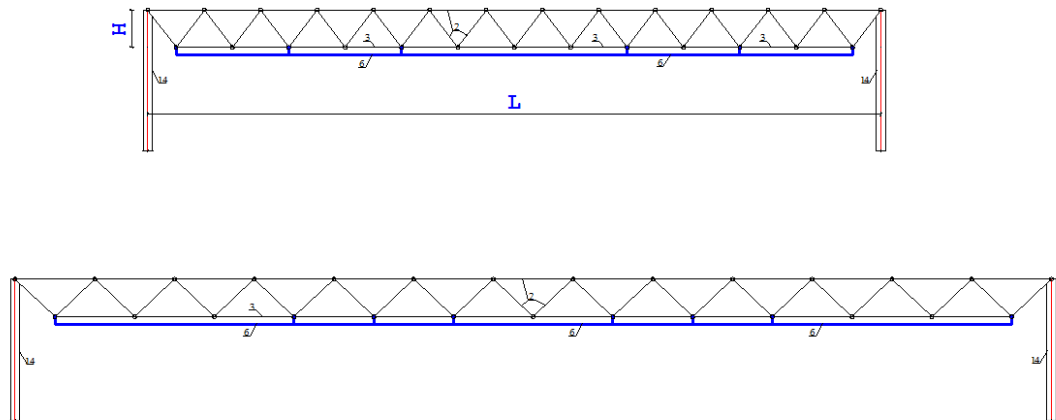
ნახ.2.2. გადახურვის სივრცითი კონსტრუქციის წინასწარდასაძაბავი ელემენტების განლაგების გეგმა ქვედა სარტყლის დონეზე.



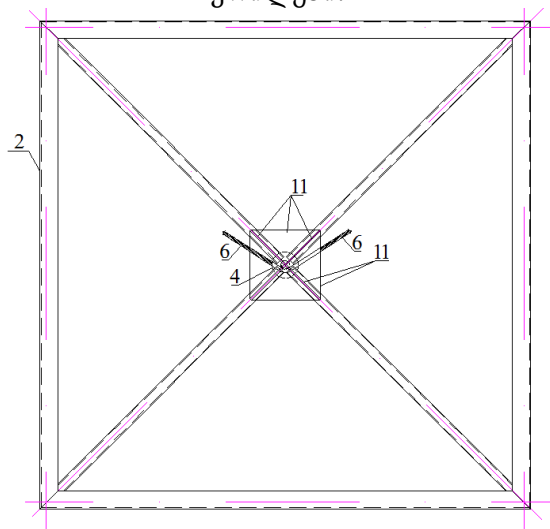
ნახ.2.3. გადახურვის სივრცითი კონსტრუქციის წინასწარდასაძაბავი ელემენტების განლაგების გეგმის ფრაგმენტი-1.



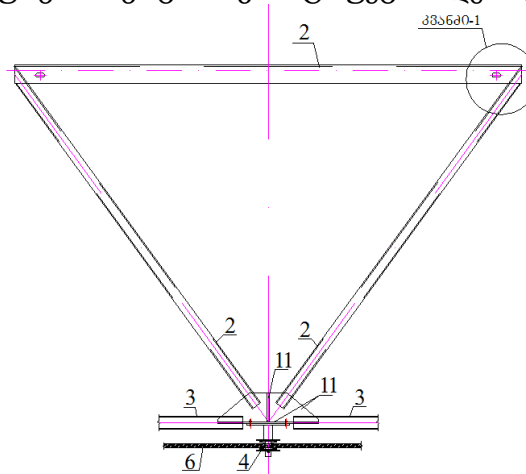
ნახ.2.4. გადახურვის სივრცითი კონსტრუქციის წინასწარდასაძაბავი ელემენტების განლაგების გეგმის ფრაგმენტი-2.



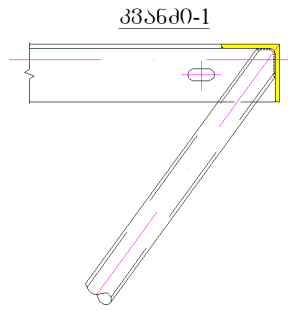
ნახ.2.5. გადახურვის სივრცითი კონსტრუქციის განივი და დიაგონალური ჭრილები.



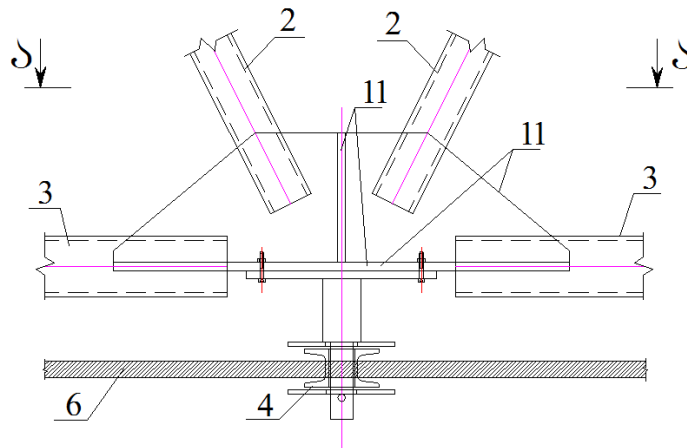
ნახ.2.6. გადახურვის სივრცითი კონსტრუქციის ღეროვანი პირამიდის გეგმა.



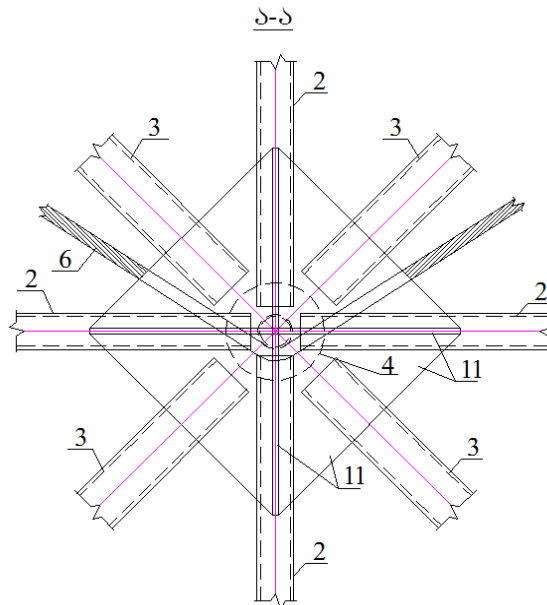
ნახ.2.7. გადახურვის სივრცითი კონსტრუქციის ღეროვანი პირამიდის ჭრილი.



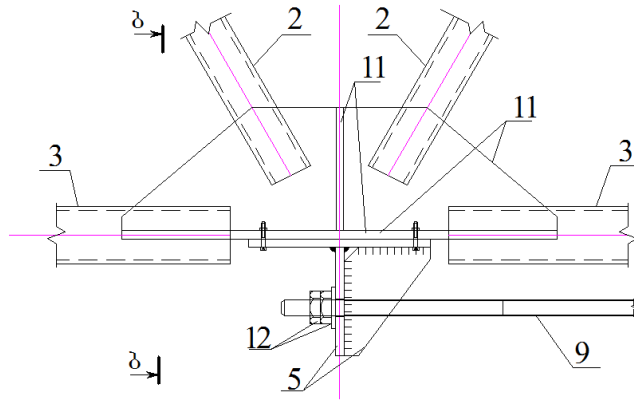
ნახ.2.8. გადახურვის სივრცითი კონსტრუქციის ღეროვანი პირამიდის ზედა ღეროების შეერთების კვანძი.



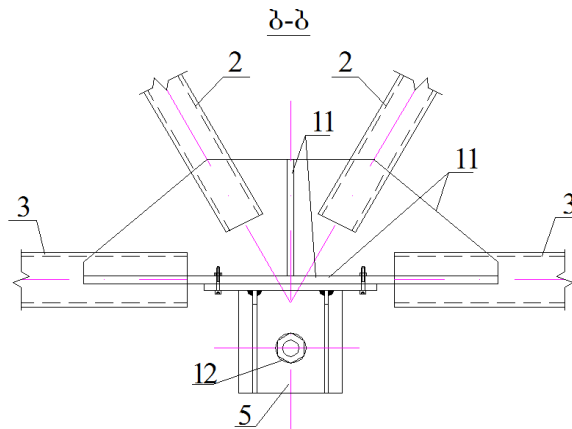
ნახ.2.9. გადახურვის სივრცითი კონსტრუქციის ღეროვანი პირამიდის წვეროზე განთავსებული მიმმართველი ბლოკის კვანძი.



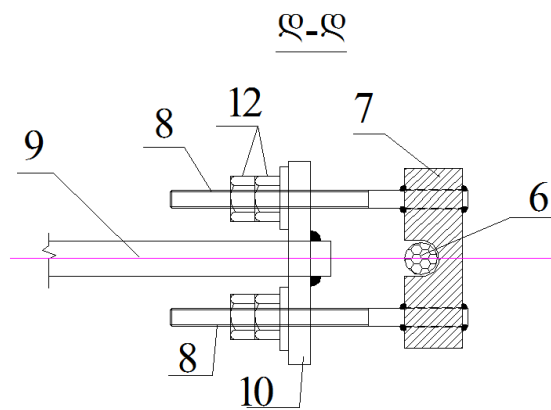
ნახ.2.10. გადახურვის სივრცითი კონსტრუქციის ღეროვანი პირამიდის წვეროზე განთავსებული მიმმართველი ბლოკის კვანძი გეგმაში.



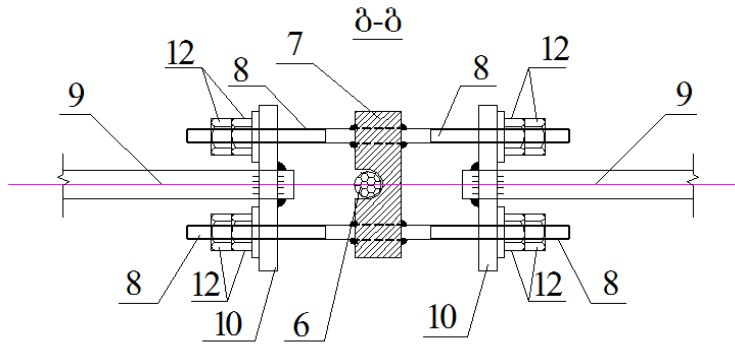
ნახ.2.11. გადახურვის სივრცითი კონსტრუქციის დეროვანი პირამიდის წვეროზე განთავსებული კრონშტეინის კვანძი.



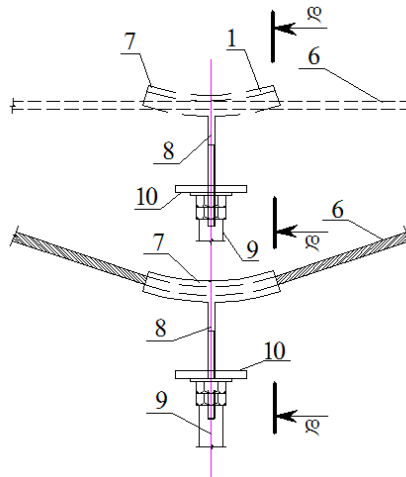
ნახ.2.12. გადახურვის სივრცითი კონსტრუქციის დეროვანი პირამიდის წვეროზე განთავსებული კრონშტეინის ხედი „ბ-ბ“.



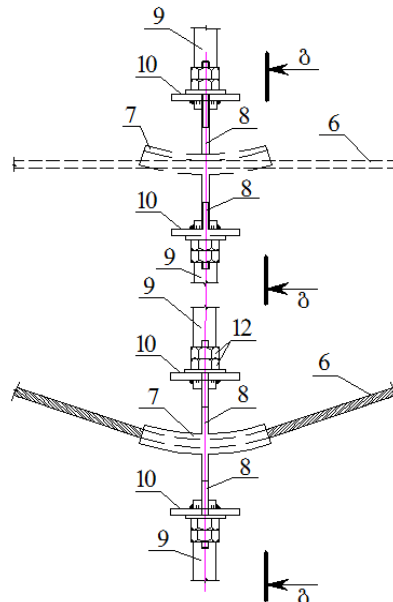
ნახ.2.13. ყაუშის ხედი ერთი მხრიდან განთავსებული სარკებით, ქანჩებით, დეროვანი ელემენტითა და მილტუჩით.



ნახ.2.14. ყაუშის ხედი ორივე მხრიდან განთავსებული წყვილი სარკებით, ქანჩებით, ღეროვანი ელემენტებითა და მილტუჩებით.



ნახ.2.15. ყაუშის გეგმა (ფრაგმენტი) ერთი მხრიდან განთავსებული სარკებით, ქანჩებით, ღეროვანი ელემენტითა და მილტუჩით. მუშაობის პრინციპი.

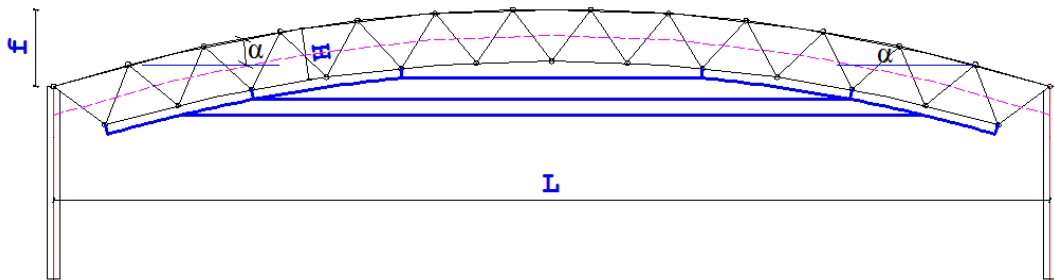


ნახ.2.16. ყაუშის გეგმა (ფრაგმენტი) ორივე მხრიდან განთავსებული წყვილი სარკით, ქანჩებით, ღეროვანი ელემენტებითა და მილტუჩებით. მუშაობის პრინციპი.



2.2. გადახურვის ახალი ტიპის წინასწარდამაბული სტრუქტურული კონსტრუქციის გეომეტრიული პარამეტრებისა და ოპტიმალური სიმაღლის დადგენა

გეგმაში ოთკუთხა ფორმის შენობების გადახურვებისათვის შემოთავაზებული წინასწარ დამაბული სტრუქტურული კონსტრუქცია შესაძლებელია შესრულებული იქნას როგორც ბრტყელი ასევე შეაფრებული მოხაზულობის (ნახ.2.5 და 2.17). შეაფრებული მოხაზულობის კონსტრუქციაში სტრუქტურული კონსტრუქციის სივრცითი კრისტალები განლაგებული არიან მისი ფუძის გვერდის ზომაზე, მალის სიდიდეზე და შეაფრების აწეულობის ისარზე დამოკიდებული რკალის სეგმენტზე.



ნახ.2.17. გადახურვის შეაფრებული სივრცითი კონსტრუქციის განივი ჭრილი.

რკალის სეგმენტის რადიუსი (ზედა სარტყელი) განისაზღვრება ფორმულით:

$$R_{\text{რკალი}}^{\text{ზს}} = 0.5f + 0.125 \frac{L^2}{f} \quad (2.1)$$

სადაც,  $f=(1/10 \div 1/25)L$  არის სტრუქტურული კონსტრუქციის აწეულობის ისარი, რომელიც მიიღება არქიტექტურული და კონსტრუქციული მოსაზრებებიდან გამომდინარე;

გადახურვაზე მოსული ნორმატიული დატვირთვა; L- გადახურვის სტრუქტურული კონსტრუქციის მალი.

კრისტალების ფუძის (ზედა სარტყელი) მოპირდაპირი კუთხე (ნახ. 2.17) განისაზღვრება ფორმულით:

$$\beta_{\text{ხს}} = \frac{2}{m} \text{ark sin} \frac{L}{2R_{\text{რკალი}}^{\text{ხს}}} \quad (2.2)$$

სადაც  $m$  არის კრისტალების რაოდენობა.

კრისტალების ფუძის პანელსა (ზედა სარტყელი) და ჰორიზონტს შორის კუთხე (ნახ. 2.17) განისაზღვრება ფორმულით:

$$\alpha_{\text{ხს}} = (0.5m + 0.5)\beta_{\text{ხს}} - n\beta_{\text{ხს}} \quad (2.3)$$

სადაც  $n$  არის კრისტალების ფუძის გვერდის პანელების რიგითი ნომერი.

კრისტალების ფუძის პანელის ზომა (ზედა სარტყელი) განისაზღვრება ფორმულით:

$$S_{\text{კრ}}^{\text{ხს}} = 2R_{\text{რკალი}}^{\text{ხს}} \sin \frac{\beta_{\text{ხს}}}{2} \leq 3 \quad (2.4)$$

კონსტრუქციული მოსაზრებით კრისტალის გვერდის ზომა  $S_{\text{კრ}} \leq 3$  მ-ზე.

კრისტალების ფუძის პანელების (ზედა სარტყელი) შეერთების წერტილების (გადაკვეთის) კოორდინატები განისაზღვრება ფორმულით:

$$\left. \begin{aligned} Z_n^{\text{ხს}} &= S_{\text{კრ}}^{\text{ხს}} \sin \alpha_n + Z_{(n-1)} \\ X_n^{\text{ხს}} &= S_{\text{კრ}}^{\text{ხს}} \cos \alpha_n + Z_{(n-1)} \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

სტრუქტურული კონსტრუქციის კრისტალების წვეროების (ქვედა სარტყელი) გეომეტრიული პარამეტრები განისაზღვრება მისი ფუძის (ზედა სარტყელი) კოორდინატების ანალოგიურად, კერძოდ, რკალის სეგმენტის რადიუსი, რომელზეც განლაგდებიან სტრუქტურული კონსტრუქციის ამგები კრისტალები ტოლია:

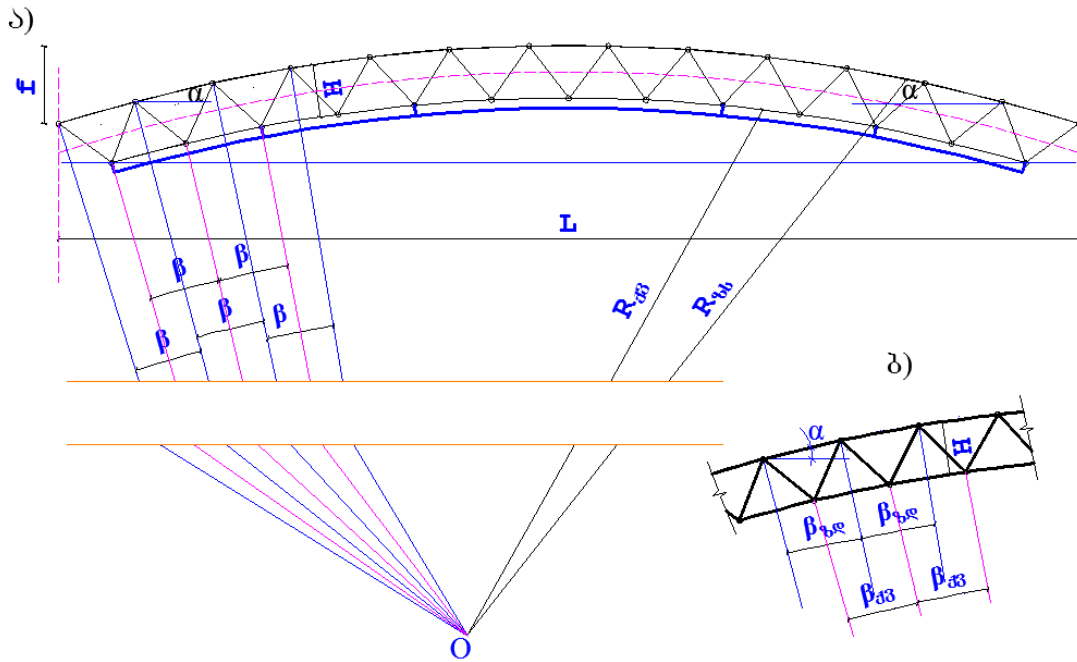
$$R_{\text{რკალი}}^{\text{ქს}} = R_{\text{რკალი}}^{\text{ხს}} - h_{\text{min}} \quad (2.6)$$

კრისტალების წვეროების შემართებელი ელემენტების (ქვედა სარტყელი) მოპირდაპირე კუთხე (ნახ. 2.18) განისაზღვრება ფორმულით:

$$\beta_{\text{ქს}} = \frac{2}{m} \text{ark sin} \frac{L}{2R_{\text{რკალი}}^{\text{ქს}}} \quad (2.7)$$

კრისტალების წვეროების შემართებული ელემენტებსა (ქვედა სარტყელი) და ჰორიზონტს შორის კუთხე (ნახ. 2.18) განისაზღვრება ფორმულით:

$$\alpha_n^{ქვ,ბ} = (0.5m + 0.5)\beta_{ქვ,ბ} - n_{ქვ} \cdot \beta_{ქვ,ბ} \quad (2.8)$$



ნახ.2.18. გადახურვის შეაფრებული სივრცითი კონსტრუქციის განივი ქრილი და ფრაგმენტი გეომეტრიული პარამეტრების დასადგენად.

სადაც n არის კრისტალების წვეროების შემართებული პანელების რიგითი ნომერი.

კრისტალების წვეროების შემართებული ელემენტების (ქვედა სარტყელი) ზომა განისაზღვრება ფორმულით:

$$S_{ქვ,ბ} = 2R_{ქვ,ბ} \sin \frac{\beta_{ქვ,ბ}}{2} \quad (2.9)$$

კრისტალების წვეროების შემართებული ელემენტების (ქვედა სარტყელი) შეერთების წერტილების (გადაკვეთის) კოორდინატები განისაზღვრება ფორმულით:

$$\left. \begin{aligned} Z_n^{ბ,ს} &= S_{ქვ,ბ} \sin \alpha_n^{ქვ,ბ} + Z_{(n-1)} \\ X_n^{ქვ,ბ} &= S_{ქვ,ბ} \cos \alpha_n^{ქვ,ბ} + Z_{(n-1)} \end{aligned} \right\} \quad (2.10)$$

შეაფრებული (ორმაგი სიმრუდის) სტრუქტურული კონსტრუქციის დროს ურთიერთგადაკვეთაში მიღებული რომბების კუთხეები განისაზღვრება ფორმულით:

$$\cos A_n = \sin^2 \alpha_n \quad (2.11)$$

სადაც  $\alpha_n$  - კრისტალების ფუძის პანელსა (ზედა სარტყელი) და ჰორიზონტს შორის კუთხე.

კუთხეების შედარება, როცა შეაფრება შეადგენს  $H/L=1/16 \div 1/25$ , იძლევა ერთ გრადუსზე ნაკლებ შედეგს, რაც საანგარიშო სქემის შედგენისას შეიძლება უგულებელვყოთ და რომბები ჩავთვალოთ კვადრატებად.

როდესაც განსახილველია ბრყელი (ჰორიზონტალური) სტრუქტურული კონსტრუქცია, მისი კორდინატების განისაზღვრა წარმოებს შემთხვევისათვის, როცა  $\alpha_n=0$ .

კრისტალის წიბოს ზომა განისაზღვრება ფორმულით:

$$B_{\text{წიბ.}} = \sqrt{d_{\text{დიაგ.}}^2 + h_{\text{min}}^2} = \sqrt{\frac{S_{\text{კრ.}}^2}{2} + h_{\text{min}}^2} \quad (2.12)$$

სადაც  $d_{\text{დიაგ.}}$  არის კრისტალის ფუძის დიაგონალის სიგრძე, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით:

$$d_{\text{დიაგ.}} = \sqrt{2S_{\text{კრ.}}^2} = S_{\text{კრ.}} \sqrt{2} \quad (2.13)$$

სტრუქტურული კონსტრუქციის სიმაღლე განისაზღვრება ფორმულით:

$$h_{\text{min}} = (1 + 2.4 \frac{h}{L_i}) \cdot \eta \cdot \frac{\alpha_{\omega}}{\alpha_m} \cdot \frac{q_n}{q_d} \cdot \frac{L^2}{[f]} \cdot \frac{(R_{y.mi} + \phi_m R_{y.ms})}{E} \quad (2.14)$$

სადაც,  $\alpha_m$  და  $\alpha_{\omega}$  - მომენტებისა და ჩალუნვების გამოსახულებებში რიცხვითი კოეფიციენტებია, მიიღება ისეთი ფირფიტების (ან ურთიერთგადამკვეთი წამწეების) ანალოგიურად, რომლთა გეომეტრიული, დაყრდნობისა და დატვირთვის სქემები ემთხვევა გასაანგარიშებელი სტრუქტურის სქემას;

$q_d$ ,  $q_n$  - გადახურვაზე მოსული საანგარიშო და ნორმატიული დატვირთვა;

$h = (1/10 \div 1/25)L$  - სტრუქტურული კონსტრუქციის საორიენტაციო სიმაღლე;

L- გადახურვის სტრუქტურული კონსტრუქციის მალი;

$L_i$  - გეგმაში ოთკუთხა ფორმის გადახურვისას სტრუქტურული კონსტრუქციის მოკლე მალი;

[f]-გადახურვის დასაშვები ჩაღუნვა;

$R_{y.mi}$  და  $R_{y.ms}$  - სტრუქტურული კონსტრუქციის ქვედა და ზედა სარტყლის ღეროებში გამოყენებული მასალის საანგარიშო წინაღობები;

$\eta = 0.77$  - სტრუქტურული კონსტრუქციის გრების გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი ( $\eta = 1.0$  როდესაც გრებს ადგილი არა აქვს);

$\phi_m = \sum \phi_i A_i / \sum A_i$  - ზედა სარტყლის შეკუმშული ღეროების გასაშუალებული გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი, აქ  $A_i$  - i-ური ღეროს განივი კვეთის ფართობი, ხოლო  $\phi_i$  - i-ური ღეროს გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი;

E - მასალის დრეკადობის მოდული.

ზემოთ მოყვანილი სტრუქტურული კონსტრუქციის მინიმალური სიმაღლის განსაზღვრის ფორმულაში გათვალისწინებულია ზედა და ქვედა სარტყლების მდგრადობისა და სიმტკიცის პირობები, კერძოდ:

$$\left. \begin{aligned} N_{\min}^{b,b} &\leq \phi \cdot R_y \cdot A_{\min} \\ N_{\min}^{d3,b} &\leq R_y \cdot A_{\min} \end{aligned} \right\} \quad (2.15)$$

ასევე, გათვალისწინებულია კონსტრუქციის ზღვრული ჩაღუნვები:

$$f_{\max} \leq [f] \quad (2.16)$$

ზემოთ მოყვანილი სტრუქტურული კონსტრუქციის (2.14) ფორმულით განსაზღვრული მინიმალური სიმაღლის მნიშვნელობის შეცვლა პროექტირებისას არ არის რეკომდირებული, რადგანაც თუ მისი მნიშვნელობა მიღებული იქნება  $h_{\min}$ -ზე ნაკლები, მაშინ კონსტრუქციის სარტყლებში იქნება დაუძაბავობა და მათი განივი კვეთების დანიშვნა უნდა ჩატარდეს მეორე ზღვრული მდგომარეობის პირობებით ( $f_{\max} \leq [f]$ ),

ხოლო, თუ მისი მნიშვნელობა მიღებული იქნება  $h_{\min}$ -ზე მეტი, მაშინ კონსტრუქციის ჩაღუნვები დასაშვებზე ნაკლები იქნება, ანუ პირველი ზღვრული მდგომარეობა დადგება მეორეზე ადრე. ასეთ შემთხვევაში კონსტრუქციის ელემენტების ზიდვის უნარის უზრუნველყოფისას შეუძლებელია სარტყლების დრეკადპლასტიკურ სტადიაში მუშაობისას მათი ზიდვის უნარის რეზერვების გამოყენება.

## თავი 3. შემოთავაზებული კონსტრუქციის გაანგარიშების საკითხები

### 3.1. კონსტრუქციის ელემენტის სიხისტის მატრიცა

სიხისტის მატრიცით განისაზღვრება კვანძურ გადაადგილებებსა და კვანძებში შემავალ ელემენტებში აღძრულ ძალებს შორის კავშირი, ანუ განისაზღვრება მისი დრეკადი თვისებები. ყოველი კვანძის გადაადგილებისთვის სიხისტის მატრიცაში შეიყვანება შესაბამისი კვანძური ძალა. ამ ძალების ერთობლიობას ახასიათებს კონსტრუქციის მომიჯნავე ელემენტების გავლენა განსახილველ ელემენტზე.

ელემენტის კვანძურ ძალებსა და კვანძების გადაადგილებებს შორის არსებობს შემდეგი კავშირი:

$$\vec{N} = r\vec{\bar{w}}, \quad (3.1)$$

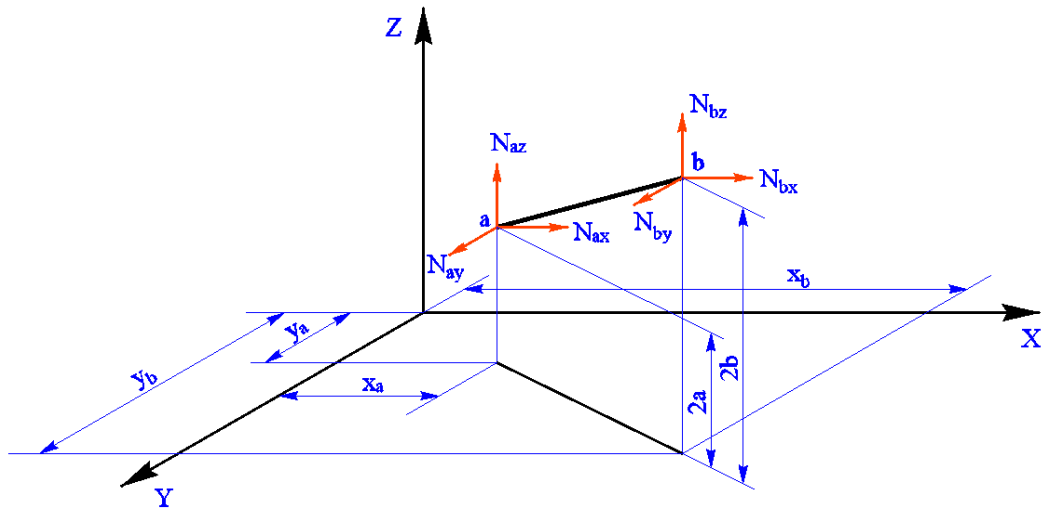
სადაც  $\vec{N}$  - კვანძების ძალების ვექტორთა სვეტი;  $r$  - ღეროს სიხისტის მატრიცა;  $\vec{\bar{w}}$  - კვანძური გადაადგილებების ვექტორთა სვეტი.

არადეფორმირებული სქემის მიხედვით ღეროს კვანძებში სახსრული შეერთებისას სიხისტის მატრიცა ჩაიწერება შემდეგნაირად (როდესაც ღერო  $ab$  ორიენტირებულია კოორდინატების უძრავი მართკუთხა სისტემის მიმართ (ნახ.3.1):

$$\vec{N}_{ab} = \begin{Bmatrix} \vec{N}_a \\ \vec{N}_b \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} r_{aa} & r_{ab} \\ r_{ba} & r_{bb} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \vec{\bar{w}}_a \\ \vec{\bar{w}}_b \end{Bmatrix}, \quad (3.2)$$

სადაც  $\vec{N}_a = \begin{Bmatrix} N_{ax} \\ N_{ay} \\ N_{az} \end{Bmatrix}$ ,  $\vec{N}_b = \begin{Bmatrix} N_{bx} \\ N_{by} \\ N_{bz} \end{Bmatrix}$  - განზოგადებული ძალების ვექტორები  $a$  და

$b$  კვანძებში საკოორდინატო ღერძების მიმართულებით;



ნახ. 3.1. არადეფორმირებული სქემა ღეროს სიხისტის მატრიცის ასაგებად

$$\bar{\omega}_a = \begin{Bmatrix} u_a \\ v_a \\ \omega_a \end{Bmatrix}, \quad \bar{\omega}_b = \begin{Bmatrix} u_b \\ v_b \\ \omega_b \end{Bmatrix} \quad - \quad \text{განზოგადებული } a \text{ და } b \text{ კვანძების}$$

გადაადგილებების ვექტორები საკოორდინატო ღერძების მიმართულებით;  $r_{aa}$ ,  $r_{ab}$  და ა.შ. - რეაქციის კვადრატული ქვემატრიცები, განზომილებით  $3 \times 3$ . ქვემატრიცის პირველი ინდექსი აღნიშნავს კვანძის ნომერს, ხოლო მეორე ინდექსი კვანძის გადაადგილებას.

წრფივი ამოცანის შემთხვევაში:

$$r_{ab} = r_{ba} = \begin{Bmatrix} r_{xx} & r_{xy} & r_{xz} \\ r_{yx} & r_{yy} & r_{yz} \\ r_{zx} & r_{zy} & r_{zz} \end{Bmatrix} = \frac{D_n}{\ell} \begin{Bmatrix} n_x^2 & n_x n_y & n_x n_z \\ n_y n_x & n_y^2 & n_y n_z \\ n_z n_x & n_z n_y & n_z^2 \end{Bmatrix} = \frac{D_n}{\ell} K \quad (3.3)$$

$$r_{aa} = r_{bb} = -r_{ab} \quad (3.4)$$

სადაც  $n_x$ ,  $n_y$ ,  $n_z$  - ღეროს მიმართული კოსინუსები;  $\ell$  - ღეროს სიგრძე;  $D_n$  - ღეროს სიხისტე გრძივი ძალის მოქმედებისას?

მუშაობის დრეკად სტადიაში ღეროზე ძალის ცენტრალური მოქმედებისას მისი სიხისტე ტოლია  $D_n = EA$ .



### 3.2. კონსტრუქციის სიხისტის ზოგადი მატრიცა

სიხისტის ზოგადი მატრიცა გამოიხატება ცალკეული ელემენტების სიხისტის მატრიცით და ადგენს კავშირს კონსტრუქციის კვანძის გადაადგილებებსა და მთლიანობაში გარე დატვირთვას შორის.

დატვირთვა კონსტრუქციაზე მოდებულია საკვანძო წერტილებში:

$$\vec{F} = \begin{Bmatrix} \vec{F}_1 \\ \vec{F}_1 \\ \vdots \\ \vec{F}_k \end{Bmatrix}$$

ყოველ ძალას  $\vec{F}_i$  გააჩნია იმდენივე კომპონენტი, რამდენი განსახილველი ელემენტის რეაქციებია. კონსტრუქციის კვანძების სახსრული შეერთებისას იგი გამოისახება შემდეგი მატრიცის სახით:

$$\vec{F}_i = \begin{Bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{Bmatrix}_i$$

კვანძის საწყის წერტილში  $i$  წონასწორობის პირობების დასაკმაყოფილებლად ყოველი კვანძის  $\vec{F}_i$  კომპონენტი უნდა გაუტოლდეს კვანძში შემავალი ელემენტებში აღძრულ ძალოვანი კომპონენტების ჯამს.

კონსტრუქციის კვანძების  $k$  რაოდენობისას

$$\vec{F}_i = -\sum_{j=1}^k [\vec{N}_i]_{ij} \quad (3.5)$$

განტოლების (3.5) მარჯვენა ნაწილში, ნულისგან განსხვავებულ ძალებს იძლევა მხოლოდ ის ელემენტები, რომლებიც შედიან  $i$  წერტილში.

(3.2)-ის თანახმად ძალების განზოგადოებული ვექტორი  $i$  კვანძში შემავალი ელემენტისთვის კვანძების ნომრებით  $ij$  ტოლია:

$$[\vec{N}_i]_{ij} = \begin{bmatrix} r_{ii} & r_{ij} \end{bmatrix}_{ij} \begin{Bmatrix} \vec{\omega}_i \\ \vec{\omega}_j \end{Bmatrix} \quad (3.6)$$

(3.6) გათვალისწინებით (3.5) ჩაიწერება შემდეგი ფორმით:

$$\vec{F}_i = -\sum_{j=1}^k [r_{ij} \ r_{ij}]_{ij} \left\| \begin{matrix} \vec{\omega}_i \\ \vec{\omega}_j \end{matrix} \right\|. \quad (3.7)$$

აქ ჯამში შედგეს იძლევა მხოლოდ ელემენტები, რომლებიც შედიან  $i$  კვანძში.

კოორდინატების საერთო სისტემაში, ზემოთ მოყვანილი განტოლებების გაერთიანებით, მიიღება გადაადგილებათა მეთოდის წონასწორობის მატრიცული განტოლება

$$R\vec{\omega} = -\vec{F}, \quad (3.8)$$

სადაც  $R$  - მთლიანი კონსტრუქციის სიხისტის ზოგადი მატრიცა:

$$R = \left\| \begin{matrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1k} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{k1} & r_{k2} & \dots & r_{kk} \end{matrix} \right\|. \quad (3.9)$$

(3.9) მატრიცის ელემენტები წარმოადგენენ კვადრატულ ქვემატრიცებს და (დიაგონალურების გამოკლებით) განისაზღვრება (3.3) დამოკიდებულებით. (3.4)-ის გათვალისწინებით დიაგონალური ელემენტები განისაზღვრება დამოკიდებულებით

$$r_{ii} = -\sum_{j=1}^k r_{ij}. \quad (3.10)$$

(3.8) წონასწორობის განტოლებათა სისტემის ამოხსნა შესაძლებელია მხოლოდ კონსტრუქციაზე საჭირო რაოდენობის ბმების მოდებით, რომლებიც გამორიცხავენ მის გადაადგილებას სივრცეში. ამ შემთხვევაში ამონახსნი შეიძლება მიღებულ იქნას შესაბამისი სტრიქონებისა და მატრიცის სვეტების ამოშლის გზით.

კონსტრუქციის ელემენტებში ძალები განისაზღვრება (3.8) წონასწორობის განტოლებათა სისტემიდან გადაადგილებების სიდიდეების მიხედვით, შემდეგი ფორმულით:

$$N_{ab} = \frac{D_n}{\ell} [n_x \ n_y \ n_z] [\vec{\omega}_a - \vec{\omega}_b]. \quad (3.11)$$

### 3.3. გაანგარიშება ჩვეულებრივ (კლიმატურ) ტემპერატურულ ზემოქმედებაზე

უძრავი საყრდენებიანი სტრუქტურული კონსტრუქციების ელემენტების კლიმატური ტემპერატურული ზემოქმედებით თანაბარი და არათანაბარი გაცხელებისას (საყრდენების ნებისმიერი ვარიანტით მოწყობისას) ღეროებში წარმოშობა ღერძული ძალები.

ტემპერატურის ზემოქმედებისას  $ab$  ელემენტის კვანძში აღძრულ ძალასა და კვანძის გადაადგილებას შორის (იხ. ნახ.3.1) არსებობს შემდეგი კავშირი:

$$\vec{N}_{ab} = r_{ab} \vec{\omega}_{ab} + [\vec{N}_t]_{ab}, \quad (3.12)$$

სადაც  $r_{ab}$  - კონსტრუქციის ელემენტის სიხისტის მატრიცა;  $[\vec{N}_t]_{ab}$  - ძალები კვანძებში  $a$  და  $b$ , რომლებიც წარმოიშვება ღეროს გახურებისას მისი ბოლოების გადაადგილების გარეშე:

$$[\vec{N}_t]_{ab} = \begin{Bmatrix} \vec{N}_{ta} \\ \vec{N}_{tb} \end{Bmatrix}. \quad (3.13)$$

ყოველ  $\vec{N}_t$  ძალას გააჩნია იმდენივე კომპონენტი, რამდენიც ელემენტის განსახილველი რეაქციებია, რომელიც წრფივი გაფართოების  $\alpha$  კოეფიციენტის დროს განისაზღვრება შემდეგი მატრიცული გამოსახულებით:

$$\vec{N}_{ta} = \begin{Bmatrix} N_{tx} \\ N_{ty} \\ N_{tz} \end{Bmatrix} = D_n \alpha t \begin{Bmatrix} n_x \\ n_y \\ n_z \end{Bmatrix}. \quad (3.14)$$

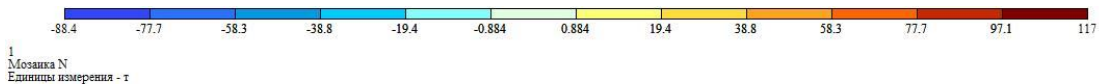
თუ კვანძს შეიცავს რამდენიმე ღეროს, მაშინ მათში რეაქციები განისაზღვრება კვანძში შემავალი ღეროების ძალების დაჯამებით. კონსტრუქციის  $k$  რაოდენობისას კვანძების შემთხვევაში:

$$[\vec{N}_t]_a = \sum_{j=1}^k [\vec{N}_{ta}]_{aj}. \quad (3.15)$$

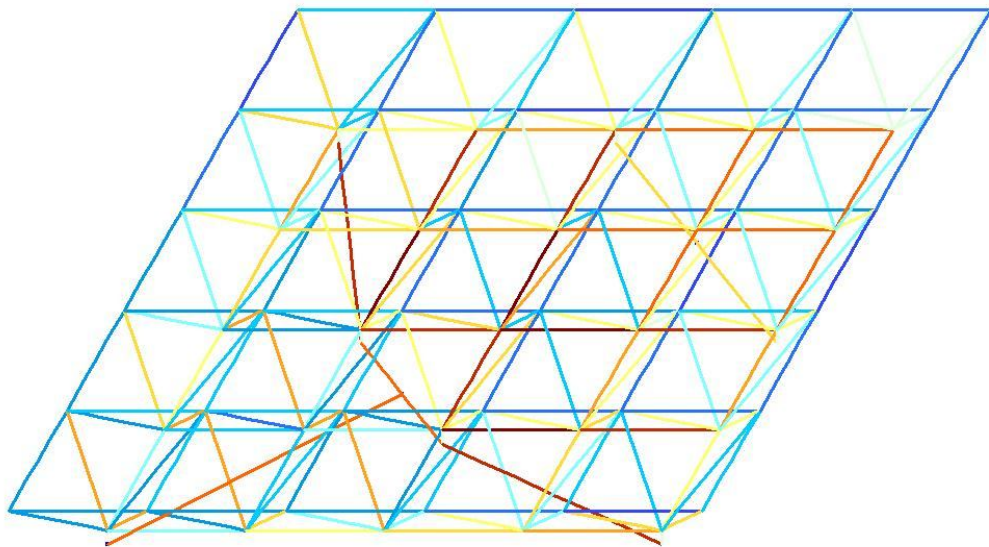
აქ ჯამში ძალის სიდიდეს მოგვცემენ ელემენტები, რომლებიც შეიცავენ  $a$  წერტილს. ყველა ასეთი განტოლების გაერთიანებითა და კვანძების წონასწორობის პირობების გათვალისწინებით, ვღებულობთ ტემპერატურული ზემოქმედებისას გადაადგილებათა მეთოდის წონასწორობის მატრიცულ განტოლებას:

$$R\bar{w} = \bar{N}_t, \quad (3.16)$$

მაგალითის სახით ნახ.3.2-ზე წარმოდგენილია შიდა ძალის განაწილება სისტემის სტრუქტურულ ფილაში, რომელიც დაპროექტებულია 3000-4000 პა (300-400 კგძ/მ<sup>2</sup>) დატვირთვის ქვეშ, გამოწვეული ტემპერატურის ცვალებადობით კონსოლების სფეროსა და სტრუქტურის შიდა ნაწილს შორის, რომელიც მოქცეულია სვეტებს შორის. ფილის დაყრდნობა სვეტებზე - სახსრულ-მომრავია, სტრუქტურის შიდა ნაწილის ტემპერატურა 30°C – კონსოლების ტემპერატურაზე მაღალია.



1  
Мозаика N  
Единицы измерения - т



ნახ.3.2. გრძივი ძალების განაწილება სტრუქტურული გადახურვის ელემენტებში (ღეროებში).

### 3.4. შემოთავაზებული ახალი ტიპის კონსტრუქციის ტემპერატურულ ზემოქმედებაზე გაანგარიშება

შესავალი

როგორც ცნობილია რეგულარული (სტრუქტურული) კონსტრუქციები ჩვეულებრივ შედგენილია სხვადასხვა განივი კვეთისა და სიგრძის (რამოდენიმე სტანდარტული ზომის) მქონე ღეროებისაგან, ამიტომ ცალკეული ღეროების გაცხელებისაგან მათი ხაზოვანი გაფართოვება და შესაბამისად მასალის დრეკადობის მოდულის შემცირება სხვადასხვაა. სტატიკურად რკვევადი კონსტრუქციებისთვის აღნიშნულ გარემოებას არ მივყავართ ხანძრის პროცესში ძალოვანი ფაქტორების (ძაღვების) განაწილების ხასიათის ცვლილებასთან, ამიტომ მათი ცეცხლგამძლეობის ზღვარი (ცეცხლგამძლეობის თვალსაზრისით) განისაზღვრება კონსტრუქციის შედარებით ერთერთ სუსტ (ცეცხლმედეგობის მიხედვით) ელემენტში კრიტიკული ტემპერატურის მიღწევისას.

სტრუქტურულ კონსტრუქციებში მათი სტატიკური ურკვევობის მაღალი ხარისხის გამო ხანძრისას ელემენტების არათანაბარი გაცხელება იწვევს მათში ძაღვების მნიშვნელოვან გადანაწილებას, ამასთან მთელ რიგ ღეროებში პლასტიკური დეფორმაციის განვითარება ყოველთვის (ზოგადად) არ განსაზღვრავს კონსტრუქციის ზღვრულ მდგომარეობას.

ღეროების შემდგომი გაცხელებისას პლასტიკური დეფორმაციის გაზრდასთან ერთად შესაძლებელია ძაღვების თანდათანობითი შემცირება მეზობელ ელემენტებზე ძაღვების გარკვეული ნაწილის გადაცემის ხარჯზე.

ხანძრისას კონსტრუქციის ელემენტებში პლასტიკური დეფორმაციის განვითარება და მუშაობის კრიტიკულზედა სტადია (მისი საერთო ზიდვისუნარის შენარჩუნება) შესაძლებელია მხოლოდ იმ ელემენტებში, რომელთა მუშაობიდან გამორიცხვა არ გამოიწვევს სისტემის გეომეტრიულ ცვლადობას.

სტრუქტურული კონსტრუქციის გაანგარიშებისას გამოყენებულია გადაადგილების მეთოდი არაწვრივობის გათვალისწინებით.

განგარიშებაში გავითვალისწინული არის კონსტრუქციის დატვირთვისა და გაცხელების თანმიმდევრობა, ასევე, კონსტრუქციის ელემენტების გაცხელება განხორციელებულია ხანძრის დროში განვითარების საფეხურებრივი მეთოდით.

სტრუქტურული კონსტრუქციის განგარიშებისა აგრეთვე წარმოებს ჩვეულებრივ (კლიმატურ) ტემპერატურულ ზემოქმედებებზე. განგარიშების აუცილებლობა გამოწვეულია შემოთავაზებული კონსტრუქციის საყრდენი კვანძების კონსტრუქციულ გადაწყვეტაზე და დიდი ზომის მალეების შემთხვევაში.

სტრუქტურული კონსტრუქციის განგარიშება ცეცხლგამძლეობაზე რეკომენდირებულია კომპიუტერული პროგრამების გამოყენებით.

### 3.4.1. ამაღლებული ტემპერატურის დროს გადაადგილებათა მეთოდის მატრიცული არაწრფივი განტოლების შედგენა

არაწრფივი წონასწორობის განტოლების შესადგენად წინამდებარე განგარიშებაში შემოტანილია ღეროზე  $D_{nt}$  გრძივი ძალის მოქმედებისას მყისიერი სიხისტისა და ღეროს სიხისტის მყისიერი  $R_{nt,ab}$  მატრიცის ცნებები. ინდექსები  $a$  და  $b$  მიუთითებს კვანძების ნომრებს, რომლებიც აერთიანებს ღეროებს, და განსაზღვრავს კონსტრუქციაში მათ ადგილმდებარეობას.

$D_{nt}$  და  $R_{nt, ab}$  განსაზღვრავენ ღეროს დრეკად მახასიათებლებს  $t^{\circ}C$  ტოლი ტემპერატურისა და მასში  $N$  გრძივი ზემოქმედებისას.

$R_{nt, ab}$  ღეროს სიხისტის მყისიერი მატრიცა ფიზიკური და გეომეტრიული არაწრფივის გათვალისწინებით განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებით

$$R_{nt,ab} = \frac{D_{nt}}{l} \begin{vmatrix} n_x^2 & n_x n_y & n_x n_z \\ n_y n_x & n_y^2 & n_y n_z \\ n_z n_x & n_z n_y & n_z^2 \end{vmatrix} + \frac{N}{l} \begin{vmatrix} 1-n_x^2 & -n_x n_y & -n_x n_z \\ -n_y n_x & 1-n_y^2 & -n_y n_z \\ -n_z n_x & -n_z n_y & 1-n_z^2 \end{vmatrix} = \frac{D_{nt}}{l} K + \frac{N}{l} (I - K) \quad 3.17$$

სადაც  $l$  - არის ღეროს სიგრძე;  $n_x, n_y, n_z$  - ღეროს მიმმართველი კოსინუსები კოორდინატების მართკუთხედ სისტემაში;  $I$  - ერთეული მატრიცა.

კონსტრუქციის a და b კვანძების შემართებელ ღეროში, რომელიც იმყოფება კვანძური დატვირთვებისა და შესაბამისად გადაადგილების ქვეშ, მაღალი ტემპერატურის პირობებში მისი (ღეროს)  $\Delta t^0 C$ -ზე გაცხელებისას საკვანძო ძალვის ნაზრდებს შორის არსებობს შემდეგი სახის დამოკიდებულება

$$\Delta \vec{N}_a = -\Delta \vec{N}_b = R_{nt, ab} (\vec{w}_b - \vec{w}_a) - \vec{R}_{\Delta t, a} - \vec{R}_{\Delta E, a}, \quad 3.18$$

სადაც  $\Delta \vec{N}_a, \Delta \vec{N}_b$  - წარმოადგენს a და b კვანძებში საკოორდინატო ღერძების მიმართულებით განზოგადებული ძალების ნაზარდების ვექტორებს;  $\vec{w}_a, \vec{w}_b$  - შესაბამისად a და b კვანძების განზოგადებული გადაადგილებების ვექტორები საკოორდინატო ღერძების მიმართულებით;  $\vec{R}_{\Delta t, a}$  - რეაქციები a კვანძში ღეროს წრფივი გაფართოებიდან მისი  $\Delta t^0 C$  გახურების დროს ბოლოების გადაადგილებების გარეშე;

$\vec{R}_{\Delta E, a}$  - რეაქციები a კვანძში მასალის დრეკადობის მოდულის ცვლილებიდან, რომლებიც წარმოიშობა ღეროში ძალვის არსებობისას ბოლოების გადაადგილების გარეშე.

$\vec{R}_{\Delta t, a}$  და  $\vec{R}_{\Delta E, a}$  მნიშვნელობები განისაზღვრება შესაბამისად ფორმულებით:

$$\vec{R}_{\Delta t, a} = D_{nt} \alpha \Delta t \vec{n}; \quad 3.19$$

$$\vec{R}_{\Delta E, a} = D_{nt} \Delta \varepsilon_{\Delta E} \vec{n}, \quad 3.20$$

სადაც  $\alpha$  - წრფივი გაფართოების კოეფიციენტია;  $\Delta \varepsilon_{\Delta E} - N$  ძალით დატვირთული ღეროს ბოლოების ფარდობითი დაახლოების ნაზარდია, რომელიც გამოწვეულია მასალის დრეკადობის მოდულის ცვლილებით;  $n$  - ღეროს მიმართველი კოსინუსების სტრიქონი.

თუ კვანძში შედის რამოდენიღე ღერო, მაშინ რეაქციები მასში (კვანძში) განისაზღვრება მომიჯნავე ღეროებში არსებული ძალების შეჯამებით.  $m$  რაოდენობის კვანძებისაგან შედგენილი კონსტრუქციის შემთხვევაში ყოველივე აღნიშნული გამოსახება ტოლობით

$$\left(\bar{R}_{\Delta t} + \bar{R}_{\Delta E}\right)_a = \sum_{j=1}^m \left(\bar{R}_{\Delta t, a} + \bar{R}_{\Delta E, a}\right)_{aj}, \quad 3.21$$

გამოსახულებაში (3.21) აიჯამება მხოლოდ  $a$  წერტილში განთავსებულ ღეროებში აღძრული რეაქციები.

სისტემის ყველა კვანძისა და ღეროსათვის (3.18) განტოლებების გაერთიანებისას ვღებულობთ მომატებული ტემპერატურების შემთხვევაში გაადგილებების მეთოდის წონასწორობის მატრიცულ განტოლებას

$$R_{nt} \bar{w} = \bar{R}_{\Delta t} + \bar{R}_{\Delta E}, \quad 3.22$$

სადაც  $R_{nt}$  - არის სიხისტის საერთო მატრიცა მთელი კონსტრუქციისათვის ხანძრის განვითარების დროის გარკვეულ მომენტში

$$R_{nt} = \begin{vmatrix} R_{nt, 11} & R_{nt, 12} & \dots & R_{nt, 1m} \\ R_{nt, 21} & R_{nt, 22} & \dots & R_{nt, 2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{nt, m1} & R_{nt, m2} & \dots & R_{nt, mm} \end{vmatrix} \quad 3.23$$

საერთო მატრიცის ელემენტები წარმოადგენს ოთხკუთხედ, ზომით  $3 \times 3$ , ქვემატრიცებს და დიაგონალურების გარდა, ღეროების გახურების ტემპერატურის მიხედვით განისაზღვრება ფორმულით (3.17). სიმეტრიული ელემენტები ერთმანეთის ტოლია. მატრიცის დიაგონალური ელემენტები განისაზღვრება დამოკიდებულებით

$$R_{nt, ii} = -i \sum_{j=1}^m R_{nt, ij}, \quad 3.24$$

ისეთი კვანძების მატრიცის ელემენტებს, რომლებიც არ არის შეერთებული ღეროებით, მიენიჭებათ მნიშვნელობა 0. კვანძების ნუმერაციის სწორი შერჩევისას მატრიცას ექნება ლენტური სტრუქტურა.

წონასწორობის განტოლებათა (3.22) სისტემის ამოხსნაში ნაკოვნის გადაადგილებების მიხედვით ელემენტებში ძალვის ნაზარდები განისაზღვრება ფორმულით

$$\Delta N_{ab} = \frac{D_{nt}}{l} \left\| n_x n_y n_z \right\| \cdot \left\| \bar{w}_b - \bar{w}_a \right\| - D_{nt} (\alpha \Delta t + \Delta \varepsilon_{\Delta E}) \quad 3.25$$



### 3.4.2. სტრუქტურული კონსტრუქციის ელემენტის (ღეროს) მყისი სიხისტის განსაზღვრა

გარკვეული ტემპერატურის ღროს  $D_m$  ღეროს მყისი სიხისტე გამოსახავს გრძივი ძალვის ნაზარდსა და ღეროს ბოლოების დაახლოებას შორის კავშირს.

გარეცენტრულად შეკუმშული ღეროს მყისი სიხისტის გამოსახულებას, მისი მუშაობის ჩათლით კრიტიკული ტემპერატურის მიღწევის შემდეგ, აქვს შემდეგი სახე

$$D_m = \frac{\Delta N_i E_{t, i-1} + N_{i-1} (E_{t, i-1} - E_{t, i})}{\Delta \varepsilon E_{t, i-1}} \quad 3.26$$

სადაც  $i$  - არის გაანგარიშების ბიჯის ნომერი;  $\Delta N_i$  და  $\Delta \varepsilon_i$  - შესაბამისად გრძივი ძალვის ნაზარდისა და ღეროს ბოლოების დაახლოების საორიენტაციო მნიშვნელობებია წრფივი გაფართოების გათვალისწინების გარეშე გაანგარიშების მოცემულ ბიჯზე.

მუშაობის დრეკად სტადიაზე  $\Delta N_i$ -ის მნიშველობა განისაზღვრება გაანგარიშების წინა ბიჯის შედეგების საფუძველზე ან იტერაციის მეთოდის გამოყენებით, მნიშვნელობა  $\Delta \varepsilon_i$  განისაზღვრება  $\Delta N_i$  და  $E_{t, i}$  მიხედვით ფორმულით (3.27), როგორც სხვაობა:

$$\Delta \varepsilon_i = \varepsilon_i (N_i, E_{t, i}) - \varepsilon_{i-1} (N_{i-1}, E_{t, i-1}) \quad 3.27$$

მუშაობის დრეკად-პლასტიკურ სტადიაზე  $\Delta N_i$  და  $\Delta \varepsilon_i$  მნიშვნელობების განსაზღვრა წარმოებს  $N(\varepsilon, E_t, \sigma_{T, i})$  დამოკიდებებულების გამოყენებით, რომლებიც მიღებულია ელექტრონულ გამომთვლელ მანქანებზე, ჩამოყალიბებულ მეთოდიკის შესაბამისად.

ცენტრულად შეკუმშული ღეროები გაანგარიშება წარმოებს გარეცენტრულად შეკუმშულის გაანგარიშების ანალოგიურად. გაანგარიშებაში გრძივი ძალების მოდების ექსცენტრისიტეტი აიღება ელემენტის კვეთის გულის ფარგლებში.

კრიტიკული ტემპერატურის მიღწევის შემდეგ ღეროების მყისი სიხისტეები იღებენ უარყოფით მნიშვნელობებს.

მუშაობის დრეკად სტადიაზე გარეცენტრულად გაჭიმული ღეროს მყისი სიხისტის გამოსახულებას აქვს შემდეგი სახე

$$D_m = \frac{E_{t,i} A l}{l + A e^2}, \quad 3.28$$

მუშაობის დრეკად-პლასტიკურ სტადიაზე გარეცენტრულად გაჭიმული ღეროების გაანგარიშება, იმის გამო, რომ მღუნავი მომენტები მათში მცირეა, წარმოებს ცენტრულად გაჭიმული ღეროების ანალოგიურად.

ცენტრულად გაჭიმულ ღეროს დრეკად-პლასტიკურ სტადიის  $i$ -ური ეტაპზე გახურება, ტემპერატურის  $\Delta t^0 C$  მომატებისას, იწვევს ძალვის სიდიდის ცვლილებას, რომელიც არ არის დამოკიდებული გაჭიმვის დეფორმაციების სიდიდეზე და ტოლია

$$\Delta N_t = (\sigma_{T,i} - \sigma_{T,i-1}) A \quad 3.29$$

სადაც  $\sigma_{T,i}$ ;  $\sigma_{T,i-1}$  - არის ფოლადის დენადობის ზღვარი ღეროს გახურების ტემპერატურის მიხედვით, შესაბამისად გაანგარიშების  $i$  და  $i-1$  ბიჯებზე, რომელიც განისაზღვრება ცხრილის მიხედვით [26]. ამ შემთხვევაში ღეროს მყისი სიხისტე მიიღება ნულის ტოლი, ხოლო მასში ძალვის შემცირება და ამ ფაქტორის ზეგავლენა კონსტრუქციის მუშაობაზე მთლიანობაში გათვალისწინებულია მასზე (ღეროს მიერთების კვანძებზე) შესაბამისი ძალების მოდებით, რომლებიც განისაზღვრება (3.27) ფორმულით.

გარეცენტრულად შეკუმშული ღეროს ბოლოების ერთმანეთთან ფარდობითი მიახლოების, გრძივი ძალის სიდიდის, მასალის გარკვეული ტემპერატურისას დრეკადობის მოდულისა და მუშაობის დრეკად სტადიაზე კვეთის გეომეტრიული მახასიათებლებს შორის დამოკიდებულება (წრფივი გაფართოების გათვალისწინების გარეშე) განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებით

$$\varepsilon_{n,t} = \frac{N}{E_t A} + \frac{Ne}{E_t I} \left( \frac{2f_t}{\pi} + e \right) + \frac{f_t^2 \pi^2}{4l^2} \quad 3.30$$

სადაც  $f_t = \frac{1 - \cos \frac{u}{2}}{\cos \frac{u}{2}};$   $u = \sqrt{\frac{N}{E_t I}} l$

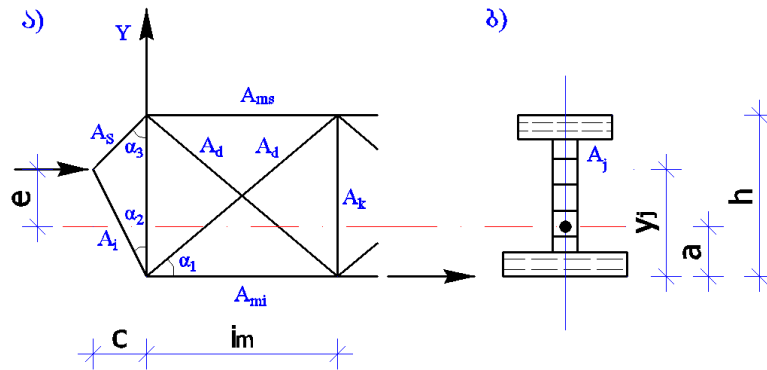
$E_t$  - მასალის დრეკადობის მოდული  $t^0C$  ტემპერატურისას, რომელიც განისაზღვრება ცხრილების მიხედვით.

გარეცენტრულად შეკუმშული ღეროებისათვის  $N(\varepsilon, E_t, \sigma_{T,i})$  დამოკიდებულებების განსაზღვრა მათი გახურებისას იმ ტემპერატურამდე, რომელიც აღემატება კრიტიკულ მნიშვნელობებს, რეკომენდებულია განხორციელდეს ელექტრონულ გამომთვლელ მანქანებზე (ანდა არსებული კომპიუტერული ტიპური პროგრამებით), დისკრეტული მოდელით ღეროს აპროქსიმაციაზე დაფუძნებული მეთოდის გამოყენებით.

გარეცენტრულად შეკუმშული ღეროების გაანგარიშების ალგორითმი, პლასტიკური დეფორმაციების განვითარების გათვალისწინებით, აიგება შემდეგნაირად. მთლიანი ღეროს განივი კვეთი დაიყოფა უბნებად, როგორც ეს ნაჩვენებია (ნახ.3.3,ბ) და საწყის მონაცემებში მიეთითება უბნების განივი კვეთის მასივებისა და მათი სიმძიმის ცენტრიდან განაპირა ბოჭკოებამდე მანძილების სახით. უბნების რაოდენობა განივი კვეთის სიმაღლის მიხედვით შეიძლება იყოს ნებისმიერი. გრძივი ძალის მოდების ექსცენტრისიტეტები და შესაძლო საწყისი გეომეტრიული უზუსტობები მიეთითება ღეროვანი მოდელის კვანძების შესაბამისი კოორდინატებით აღწერისას.

გაანგარიშება წარმოებს ბიჯური მეთოდის გამოყენებით ღეროს ბოლოების დაახლოებებზე და გახურების ტემპერატურის ნაზრდზე წრფივი გაფართოების გათვალისწინების გარეშე. ბიჯური მეთოდის პროცედურა აგებულია ისეთნაირად, რომ გაანგარიშების თითოეულ ბიჯზე სრულდება მოდელის კვანძების დაახლოების ანალიზი თითოეული პანელის ფარგლებში. მასალის დენადობის დეფორმაციების წარმოშობისას წარმოებს

მოდელის შესაბამისი ელემენტების განივი კვეთის გადანგარიშება პლასტიკური დეფორმაციების განვითარების ზონების სიდიდის მიხედვით.



ნახ. 3.3. გარეცენტრულად შეკუმშული ღეროების გაანგარიშებისთვის გეომეტრიული მახასიათებლები სანგარიშო მოდელებისთვის.

რადგან ფოლადის დენადობის ზღვარი ტემპერატურის მომატებისას მცირდება, ხდება ძაბვის გადანაწილება პლასტიკური ზონიდან დრეკად ზონაზე, რაც გათვალისწინებულ უნდა იქნეს გაანგარიშებაში. თუ ღეროს ბოლოების დაახლოება გაანგარიშების თითოეულ ბიჯზე მითითებული იქნება თანაბარი სიდიდით, მაშინ ფარდობითი დეფორმაციები თითოეული უბნის ფარგლებში მოცემულ და წინა ბიჯებზე ახლოს იქნება ერთმანეთთან. აღნიშნულ შემთხვევაში პლასტიკური დეფორმაციების განვითარების ზონებში უბნების განივი კვეთი ჩანაცვლებულ იქნება პირობითი სიდიდეებით (რომლებსაც გააჩნია უარყოფითი მნიშვნელობა), რომლებიც გაანგარიშების  $i$ -ური ბიჯისთვის განისაზღვრება ფორმულით

$$A_i^* = \frac{(\sigma_{T,i} - \sigma_{T,i-1}) A_i}{\Delta \varepsilon_{i-1} E_{T,i}} \quad 3.31$$

სადაც  $A_i$  - არის უბნის განივი კვეთის ფართობი;  $\Delta \varepsilon_{i-1} E_{T,i}$  - ღეროს განსახილველი უბნის ფარდობითი დეფორმაცია გაანგარიშების წინა ბიჯზე.

შემდეგ განისაზღვრება  $A$  და  $I$  ღეროს დაყვანილი მნიშვნელობები თითოეული პანელის ფარგლებში, რომლებიც მონაწილეობენ მუშაობაში და ითვალისწინებენ პლასტიკური დეფორმაციების განვითარებას როგორც

ღეროს სიგრძეზე, ასევე დრეკადი ბირთვის ზომაზე, რომელიც შეესაბამება ნეიტრალური ღერძის გადაადგილების დეფორმაციებს, და ასევე უბნების დეფორმატულობის გაზრდას პლასტიკური დეფორმაციების განვითარების ზონაში ძაბვის ვარდნის ხარჯზე გახურების ტემპერატურის მომატებით და ღეროს დრეკად ნაწილზე მათი გადაანაწილებით. ამ მნიშვნელობებით ხდება მოდელის ელემენტების განივი კვეთის გადაანგარიშება წარმოებს შემდეგი ფორმულებით (სტრუქტურული კონსტრუქციის ელემენტების მასალის დრეკად-პლასტიკური მუშაობის გათვალისწინებით გაანგარიშების ანალოგიურად)

$$A_{ms} = \frac{Aa(2a - h) + 2I}{h^2} \quad 3.32$$

$$A_{mi} = \frac{A(h - 2a)(h - a) + 2I}{h^2} \quad 3.33$$

$$A_d = \frac{2Aa(h - 2a) - 2I}{h^2 \cos^3 \alpha_1} (1 + \sin^3 \alpha_1) \quad 3.34$$

$$A_i = \frac{A_d A I c}{A_d (I + e^2 A) h \sin^3 \alpha_3 \operatorname{tg} \alpha_2 - A I c \cos^3 \alpha_3} \quad 3.35$$

$$A_l = \frac{A_d A c}{A_d (I + e^2 A) h \sin^2 \alpha_2 \operatorname{tg} \alpha_3 - A I c \cos^3 \alpha_2} \quad 3.36$$

სადაც-  $A_{ms}$ ,  $A_{mi}$ ,  $A_d$ ,  $A_s$ ,  $A_i$  შესაბამისად ზედა და ქვედა სარტყლების, დიაგონალებისა და განაპირა ღეროების განივი კვეთებია. მოდელის ელემენტების განივი კვეთის გადაანგარიშება წარმოებს შესაბამისად თითოეულ ბიჯზე.

ალგორითმს შეუძლია უზრუნველყოს ღეროს გაანგარიშება დატვირთვისა და გახურების ერთობლივ მოქმედების დროს ნებისმიერ თანაფარდობაში და იძლევა მისი მუშაობის გამოკვლევის საშუალებას, როგორც კრიტიკული ტემპერატურის მიღწევამდე, ასევე მის შემდეგაც.

სტრუქტურული კონსტრუქციების გაანგარიშება ცეცხლმედეგობაზე წარმოებს შემდეგი თანამიმდევრობით:

1) ხანძრის დროს სისტემის დატვირთვა ბუნებრივი (ნორმალური) ტემპერატურიდან მის (დატვირთვის) საანგარიშო მნიშვნელობის მიღწევამდე;

2) ხანძრის პირობების მიხედვით სისტემის ელემენტების გაცხელება (გახურება) მასში ზღვრული მდგომარეობის დადგომამდე.

ტემპერატურულ ზემოქმედებებზე გაანგარიშების განხორციელება წარმოებს 2-3 ეტაპად თანამიმდევრული მიახლოების მეთოდით. თითოეულ ეტაპზე გაანგარიშება წარმოებს გახურების ბიჯური მეთოდის გამოყენებით ცვალადი სისტემის წარმოქმნამდე. ხანძრის განვითარების პროცესი მიეთითება დროის მცირე შუალედებით, ღეროების გახურების ტემპერატურა განისაზღვრება სტანდარტული ხანძრის პირობების მიხედვით გარემოს ერთგვაროვანი ტემპერატურული ველის შემთხვევისათვის. იმ შემთხვევაში თუ ხანძრის პირობებისთვის არსებობს არაერთგვაროვანი ტემპერატურული ველის რეალური მონაცემები, მაშინ გაანგარიშებაში რეკომენდებულია ღეროს (კონსტრუქციაში მათი განლაგების მიხედვით) გახურების არათანაბრობის გათვალისწინება.

თითოეული ბიჯი მოიცავს: ღეროების გახურების ტემპერატურის განსაზღვრას; ღეროების მყისი სიხისტის განსაზღვრას მათში მოქმედი ძალვისა და მოცემული ტემპერატურის დროს ფოლადის მექანიკური მახასიათებლების მიხედვით; კანონიკური განტოლებების სისტემების ჩამოყალიბებასა და ამოხსნას (გადაწყვეტას) ღეროებს შორის ტემპერატურის გადანაწილების მიღებული პირობებისათვის; ღეროებში კვანძებისა და ძალვის გადაადგილების განსაზღვრას და კვანძების წონასწორობის შემოწმებას.

ზღვრული მდგომარეობის დადგომის კრიტერიუმს წარმოადგენს, დროის მცირე შუალედში, ჩაღუნვების მკვეთრი მატება.

გაანგარიშების თითოეულ ბიჯზე (პირველ მიახლოებისას) გარეცენტრულად შეკუმშული ღეროების მყისი სიხისტეები, რომლებიც განისაზღვრება ფორმულით (3.26) ამ ღეროებში  $\Delta N$  მიახლოებული მნიშვნელობების მიხედვით, რომლებიც მიღებულია წინა ბიჯის შედეგებით, ხოლო გაჭიმულები - ფორმულით (3.28). პლასტიკური დეფორმაციების განვითარების მომენტიდან ღეროების მყისი სიხისტეები

უტოლდება ნულს. მოცემულ ეტაპზე დრეკად-პლასტიკურ სტადიაზე გათვალისწინებულია ძალვის შემცირება მხოლოდ გაჭიმულ ღეროებში. ეს ხორციელდება შესაბამისი ძალების მოდებით, რომლებიც განისაზღვრება ფორმულით (3.27), კონსტრუქციის ღეროების მიერთების კვანძებთან.

გაანგარიშების შედეგად ვღებულობთ კვანძების გადაადგილებას, ღეროებში გახურების ტემპერატურასა და ძალვას ხანძრის განვითარების მთელ პროცესისას. ამ მონაცემებით გარეცენტრულად შეკუმშული ღეროებისათვის, რომლებიც მუშაობს დრეკად-პლასტიკურ სტადიაში, განისაზღვრება დამოკიდებულებები  $N(\varepsilon, E_t, \sigma_{Ti})$  ელექტრონული გამომთვლელი მანქანების გამოყენებით სათანადო მეთოდის შესაბამისად. გაანგარიშების შემდგომი ეტაპისთვის მიღებული დამოკიდებულებები მიეთითება საწყისი მონაცემების სახით. შემდეგ ეტაპზე გარეცენტრულად შეკუმშული მყისი სიხისტეები განისაზღვრება ფორმულით (3.26), რომელშიც შეიტანება ღეროებში ძალვის დაზუსტებული მნიშვნელობები დრეკად სტადიაზე და დრეკად-პლასტიკურ სტადიაში მომუშავე ღეროებისათვისათვის მიღებული  $N(\varepsilon, E_t, \sigma_{Ti})$  დამოკიდებულებების შედეგები.

საპირისპირო (შექცეული) ნიშნის დეფორმაციების წარმოშობისას ღეროები მიიჩნევა დრეკად სტადიაში მომუშავედ.

გაანგარიშება მთავრდება მოცემულ და წინა ეტაპებზე მიღებული შედეგების დამთხვევამდე (გატოლებამდე).

### 3.5. შემოთავაზებული ახალი ტიპის წინასწარდაძაბული სტრუქტურული კონსტრუქციის გაანგარიშების იდეა

ნებისმიერი კონსტრუქციული სისტემა შეიძლება წარმოვადგინოთ სასრული ელემენტების სახით, რომელშიც იგულისხმება კვანძები და მათი შემაერთებელი ელემენტები (ღეროები ან სიბრტყეები, აქედან გამომდინარე სივრცითი ელემენტებიც). არა აქვს მნიშვნელობა კონსტრუქციის მრუდხაზოვნებას, იგი შეიძლება დაიყოს ისეთი ზომის ელემენტებად, რომ შეიძლებოდეს მისი გაწრფივება. შემდეგ თითოეული ელემენტისთვის დგება წონასწორობის განტოლებები სიბრტყეზე (თუ ბრტყელი ამოცანა გვაქვს) და სივრცეში (სივრცითი ამოცანის დროს). ამის შედეგად მიიღება წრფივ განტოლებათა სისტემები, რომელთა რაოდენობაც საკმაოდ დიდია (დამოკიდებულია სისტემის კვანძებისა და ელემენტების რაოდენობაზე) და მათ ამოსახსნელად გამოიყენება ელექტრო გამომთვლელი მანქანები. არსებობს წრფივ განტოლებათა ამოხსნის მრავალი მეთოდი, რომლებსაც ვიყენებთ როგორც ხელით ასევე ეგმ-ზე.

განხილება სიხისტის მატრიცა, სადაც მატრიცის სტრიქონების რაოდენობა გამოსახავს სტრუქტურის კვანძების რაოდენობას, ხოლო მატრიცის სვეტების რაოდენობა გამოსახავს სტრუქტურის ელემენტების რაოდენობას. ჩემს მიერ გაანგარიშებულ რიცხვით მაგალითში განხილულია სტრუქტურა მალით 39 მ, რომლის კვანძების რაოდენობაა 397 ც, ხოლო ელემენტების - 1409 ც, და ამ მატრიცის წარმოდგენა აქ შეუძლებელია.

3.1 და 3.2 პარაგრაფებში აღწერილი მეთოდით შემოთავაზებული კონსტრუქციის ანგარიშისას იკარგება წარმოდგენილი საანგარიშო მოდელის და კონსტრუქციის მუშაობის ეფექტი, რადგან თითქმის შეუძლებელია ამ გაანგარიშების მეთოდით სტრუქტურული კონსტრუქციის მოქნილ ელემენტებში (ბაგირებში) წინასწარდაძაბვის ძალის განსაზღვრა.

ზემოთ აღნიშნული გაანგარიშების მეთოდით შეგვიძლია მხოლოდ ბაგირში აღძრული ძაბვის სიდიდის განსაზღვრა, რომელიც გამოწვეულია



მუდმივი პლუს დროებითი და სხვა მოსალოდნელი დატვირთვებისაგან, ხოლო თვითდამაბვის ძალის სიდიდე, რომელიც იწვევს სტრუქტურული კონსტრუქციის წინასწარდამაბვას და ძაბვების რეგულირებას მის ღეროვან ელემენტებში, ისევე უცნობად რჩება.

განგარიშების ახალი იდეა მდგომარეობს შემდეგში:

როგორც ვიცით ნებისმიერ კონსტრუქციას აქვს დასაშვები და ზღვრული ჩაღუნვა, რომელიც ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$f_{max} \leq [f] \quad 3.37$$

სადაც  $f_{max}$  არის კონსტრუქციის დასაშვები მაქსიმალური ჩაღუნვა, ხოლო  $[f]$  არის ზღვრული ჩაღუნვა და სამშენებლო ნორმებისა და წესების თანახმად განისაზღვრება კონკრეტული კონსტრუქციისთვის, დამოკიდებულია ძირითადად მის მალზე.

ამოცანა დავისახოთ ასე: ვიპოვოთ, სტრუქტურული კონსტრუქციის საკოჭში (ბაგირში) აღძრული ის  $H$  ძალა, რომელიც წარმოდგენილ სტრუქტურულ სისტემას შეაფრებს (აღუნავს), ანუ სისტემის ძალის შუაში მდებარე კვანძებს გადაადგილებს  $Z$  ღერძის მიმართულებით  $f_{max}$  სიდიდით. ეს ძალა შედგება ორი კომპონენტისგან:

$$H = P + T \quad 3.38$$

$P$ -არის ბაგირში აღძრული ძალა, გამოწვეული საკუთარი წონისაგან, დროებითი და სხვა მოსალოდნელი დატვირთვებისაგან.

$T$ - არის თვითდამაბვის ძალა, რომელიც ბაგირში აღიძვრება ხელოვნურად და იწვევს სისტემის დამაბვას და შეაფრებას (აღუნვას)  $f_{max}$  სიდიდით.

აქ, როგორც ზევით პარაგრაფებში აღვნიშნეთ, სისტემის ნებისმიერი კვანძის გადაადგილება შეიძლება გამოვსახოთ შემდეგნაირად:

$$\vec{U} = \begin{pmatrix} \vec{u}_1 \\ \vec{u}_2 \\ \vec{u}_3 \\ \vdots \\ \vec{u}_n \end{pmatrix} \quad 3.39$$

სადაც

$$\vec{u}_j = \begin{pmatrix} u_j \\ v_j \\ w_j \end{pmatrix} \quad 3.40$$

$\vec{u}_j$  არის ნებისმიერი  $j$ -ური კვანძის გადაადგილების სიდიდე, შესაბამისად  $X, Y$  და  $Z$  მიმართულებებზე. აქ  $X$  და  $Y$  ღერძების მიმართულებებზე გადაადგილება თავდაპირველად უგულებელვყოთ მათი სიმცირის გამო.

აქედან გამომდინარე ნებისმიერი წერტილის გადაადგილება შეიძლება წარმოვადგინოთ ვექტორული ფუნქციის სახით:

$$\vec{f}(x, y, z) = \begin{pmatrix} u(x, y, z) \\ v(x, y, z) \\ w(x, y, z) \end{pmatrix} \quad 3.41$$

აქვე აღვნიშნოთ, რომ  $T$  თვითდამაბვის ძალის განსაზღვრა საკმაო სირთულეებთანაა დაკავშირებული და ისიც თავის მხრივ შედგება ორი კომპონენტისაგან:

$$T = T' + \sigma \quad 3.42$$

სადაც  $T'$  არის სისტემის მოკუმშვისათვის (დამაბვისათვის) დასაშვები ძალის სიდიდე, ძაბვების დანაკარგების გარეშე.

$\sigma$  - არის წინასწარ დამაბვისას გამოწვეული ძაბვების დანაკარგები, რომელიც დამოკიდებულია რიგ ფაქტორებზე და შედგება მრავალი კომპონენტისგან, რომელსაც ქვემოთ მოგახსენებთ.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ შემოთავაზებული სტრუქტურული კონსტრუქციის გაანგარიშება პირველ ეტაპზე წარმოებს ზემოთ აღწერილი მეთოდით, ანუ პირველ ეტაპზე უნდა ჩამოვყალიბოთ კონსტრუქციაში შემავალი ელემენტების სიხისტის მატრიცები, რომელნიც ეთანადებიან გლობალურ თავისუფლების ხარისხებს.

უნდა აღინიშნოს, რომ ელემენტის სიხისტის მატრიცები მაშინ არიან დამოკიდებულნი მიმმართველ კოსინუსებზე, როდესაც ელემენტების

ლოკალური ღერძების მიმართულებები არ ემთხვევა გლობალური ღერძების მიმართულებებს. ამ შემთხვევაში ლოკალური სიხისტის მატრიცები უნდა გარდავსახოთ გლობალურში.

კონსტრუქციის საერთო სიხისტის მატრიცა აიგება ცალკეული ელემენტების სიხისტის მატრიცების საშუალებით, სიხისტეების პირდაპირი აჯამვის მეთოდით, თავისუფლების ხარისხების შესატყვისად.

$$K = \sum_i K_i \quad 3.43$$

აჯამვა ხდება ყველა ელემენტის. ამ პროცედურის ჩასატარებლად ყოველი ელემენტის სიხისტის მატრიცა წარმოდგინდება ისეთი სახით, რომ მისი ზომა იყოს მთლიანი კონსტრუქციის თავისუფლების ხარისხის და მატრიცის ის ელემენტები, რომლებიც არ შეესაბამებიან ელემენტის თავისუფლების ხარისხებს არიან ნულოვანები.

საბოლოოდ მიიღება მთლიანი კონსტრუქციის სიხისტის მატრიცა.

წონასწორობის განტოლება კი ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$[K]\{U\} = \{R\} \quad 3.44$$

სადაც  $\{U\}$  წარმოადგენს კვანძების გადაადგილებების ვექტორს გლობალურ კოორდინატთა სისტემაში.

$\{R\}$  - გარე ძალების ვექტორი. რომლებიც შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

$$\{U\}^T = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}; \quad \{R\}^T = \{R_1, R_2, \dots, R_m\} \quad 3.45$$

მიღებულ წონასწორობის (3.44) განტოლებას ამონახსნი არ ექნება, რადგანაც სიხისტის მატრიცა სინგულარულია, ანუ არ არსებობს მისი შებრუნებული  $[K]^{-1}$  მატრიცა. ამისათვის კი უნდა გავითვალისწინოთ სასაზღვრო პირობები, ანუ სიხისტის მატრიციდან გამოვრიცხოთ ის სვეტები და სტრიქონები, სადაც შედის კონსტრუქციის ის ელემენტები, რომლებსაც გააჩნიათ ბმები (გადაადგილებები, ან მობრუნებები ნულის ტოლია).

ამის შემდეგ მიიღება შემდეგი სახის წონასწორობის განტოლება:

$$[K]\{U\} = \{R\} \quad 3.46$$

რომლის ამოხსნაც იძლევა კონსტრუქციის ყველა კვანძის გადაადგილებას.

მაგრამ, ამ შემთხვევაში, როგორც მოგახსენეთ დავსვით შებრუნებული ამოცანა. როდესაც ცნობილია გადაადგილება და არაა ნულის ტოლი  $U_i = b$ , ე.ი:

$$KU_i = Kb \quad 3.47$$

მაშინ (3.47)-ის გათვალისწინება (3.46)-ში გვადლევს იმის უფლებას, რომ პირობითად შემოვიტანოთ უსასრულოდ ხისტი ელემენტები  $K \gg K_i$ , რომლებიც განთავსდება იმ კვანძებში, რომლებიც გადაადგილდება ცნობილი სიდიდით (3.41), და ჩავთვალოთ, რომ ძალა, რომელიც იწვევს ხისტი ელემენტის კვანძების გადაადგილებას მთლიანად მიჰყვება სტრუქტურული სისტემის ელემენტები იმავე სიდიდით.

ამ მიმართულებით გაანგარიშება შეიძლება ვაწარმოვოთ ასევე ძალთა მეთოდის დახმარებით.

ამ მიმართულებით კვლევები გრძელდება, ხოლო ქვემოთ მოცემულია სტრუქტურული კონსტრუქციის მოქნილი ელემენტების გაანგარიშების დიფერენცირებული სქემები.

წინასწარ დაძაბვისას ძაბვების დანაკარგები შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად: I - წინასწარი დაძაბვის დამთავრებამდე და II - წინასწარი დაძაბვის შემდეგ.

$$\sigma = \sigma^I + \sigma^{II} \quad 3.48$$

პირველ ჯგუფში ჩვენს შემთხვევაში შევა შემდეგი დანაკარგები:

- 1) ბაგირში ძაბვების რელაქსაცია, გამოწვეული კრონშტეინების და მიმმართველი ბლოკების დეფორმირებით.
- 2) ტემპერატურათა სხვაობით, დაძაბულ ბაგირსა და დამჭერ მოწყობილობათა შორის.
- 3) ბაგირის ხახუნი მიმმართველ ბლოკებზე (რომლებზედაცაა შემოტარებული ბაგირი).

4) ძაბვების დანაკარგები ბაგირის დამაბვისას და მისი წაგრძელებისას, რომელიც შეიძლება გავიანგარიშოთ შემდეგნაირად  $\Delta l = \frac{Hl}{EA}$ , და ეს სიდიდე გავითვალისწინოთ მისი დამაბვის პროცესში.

$$\sigma^I = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \quad 3.49$$

მეორე ჯგუფში შევა:

1) ძაბვების რელაქსაციით გამოწვეული დანაკარგი დამაბვის შემდეგ განვითარებული კონსტრუქციების დეფორმაციით.

2) გარემოს ტემპერატურათა სხვაობით დროთა განმავლობაში.

$$\sigma^{II} = \sigma_{\epsilon} + \sigma_{\epsilon} \quad 3.50$$

ძაბვების დანაკარგებს განვსაზღვრავ და მათ გაანგარიშებას დეტალურად წარმოგიდგინთ შემდეგში.

როდესაც დასმულ ამოცანას ამოვხსნით და ვიპოვით  $H$  ძალას, სწორედ ამ ძალის მიერ სტრუქტურული სისტემის ღეროებში აღძრულ ძაბვებზე უნდა შევარჩიოთ ღეროვანი სისტემის (სტრუქტურის) ელემენტების კვეთები.

შეკუმშული ელემენტების მდგრადობაზე გაანგარიშება წარმოებს შემდეგნაირად:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi \cdot A} \leq R_y \cdot \gamma_c \quad 3.51$$

$\varphi$  - არის გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ელემენტის (ღეროს) მოქნილობასა და მასალის საანგარიშო წინააღობაზე. შეკუმშული ელემენტებისათვის მოქნილობა  $\lambda$  აიღება 80 + 120-ის ზღვრებში.

$$\lambda = \frac{l_{\text{საანგ}}}{i_{\text{მთ}}} \quad 3.52$$

გაჭიმულ ელემენტებში უნდა შესრულდეს პირობა:

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq R_y \cdot \gamma_c \quad 3.53$$

$R_y$  - არის მასალის საანგარიშო წინააღობა.

$\gamma_c$  - მასალის მუშაობის პირობების გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი.

ბაგირის შერჩევა წარმოებს ბაგირში გაანგარიშებით მიღებული გამჭიმავი ძალის მიხედვით  $H$ .

განისაზღვრება ბაგირის საჭირო განივი კვეთის ფართობი:

$$A_{\text{საჭ}} = \frac{H}{m_1 \cdot m_2 \cdot R_{\text{საჭ}}} \quad 3.54$$

სადაც  $m_1$ - ბაგირის მუშაობის პირობების გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი.

$m_2$  – ბაგირში მავთულების მუშაობის პირობების გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი, რომლებიც აიღება ნორმებიდან.

$R_{\text{საჭ}}$  – ბაგირის მასალის საანგარიშო წინალობა, რომელიც მოცემულია სორტამენტში.

$$R = \frac{m_3 \cdot m_4}{\gamma_{\text{დრ}} \cdot \gamma_s \cdot \gamma_{\text{სვ}}} \cdot R_{\text{სორმ}} \leq 0.7 R_{\text{სორმ}} \quad 3.55$$

აქ  $m_3$ - მუშაობის პირობების კოეფიციენტი, ითვალისწინებს კონსტრუქციის ზღვრული მდგომარეობისას ძალვათა გადანაწილების შესაძლებლობას და დაღლილობის გამო ბაგირის რღვევას, რომელიც არ გაანგარიშდება გამძლეობაზე.

$m_4$ - მუშაობის პირობების კოეფიციენტი, აიღება ცხრილიდან და ითვალისწინებს ბაგირის სიმტკიცეზე ძაბვების მაკონცენტრილებლების გავლენას (საანკერო ჩამაგრებები, გადალუნვები და სხვა).

$\gamma_{\text{დრ}}$  – საიმედოობის კოეფიციენტი კონსტრუქციის ელემენტებისათვის, რომლებიც დროებითი წინალობის მიხედვით გაანგარიშდებიან.

$\gamma_s$  - მასალის მიხედვით საიმედოობის კოეფიციენტი, ითვალისწინებს ბაგირში მავთულების განლაგებას, მავთულის განივკვეთში ზომების ცვლილებებზე დაშვებებს და მავთულის სიგრძეს.

$\gamma_{\text{ფ}}$  - საიმედოობის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ნაგებობის კაპიტალურობასა და მისი პასუხისმგებლობის დონეს.

$$R_{\text{გარე}} = \frac{N_{\text{გ}}}{A_{\text{გ}}} \quad 3.56$$

სადაც  $N_{\text{გ}}$  - არის შერჩეულ ბაგირში აღძრული გამგლეჯი ძალის სიდიდე.

$A_{\text{გ}}$  - შერჩეული ბაგირის განივი კვეთის ფართობი, რომელიც

$$A_{\text{გ}} \geq A_{\text{აღფ}} \quad 3.57$$

საბოლოოდ ბაგირის განივი კვეთის ფართობი განისაზღვრება:

$$A = \frac{H}{R} \geq A_{\text{გ}} \quad 3.58$$

აგრეთვე შეგვიძლია განვსაზღვროთ ის  $s$  მანძილი, რომელიც საჭიროა სტრუქტურის )  $f_{\text{max}}$  სიდიდით შეაფრებისას.

ბრტყელი გადახურვის შემთხვევაში:

$$s = L - \sqrt{L^2 - 4f_{\text{max}}^2} \quad 3.59$$

### 3.6. რეგულარული (სტრუქტურული) სისტემების მოქნილი ელემენტების გაანგარიშება დიფერენცირებული სქემის გამოყენებით

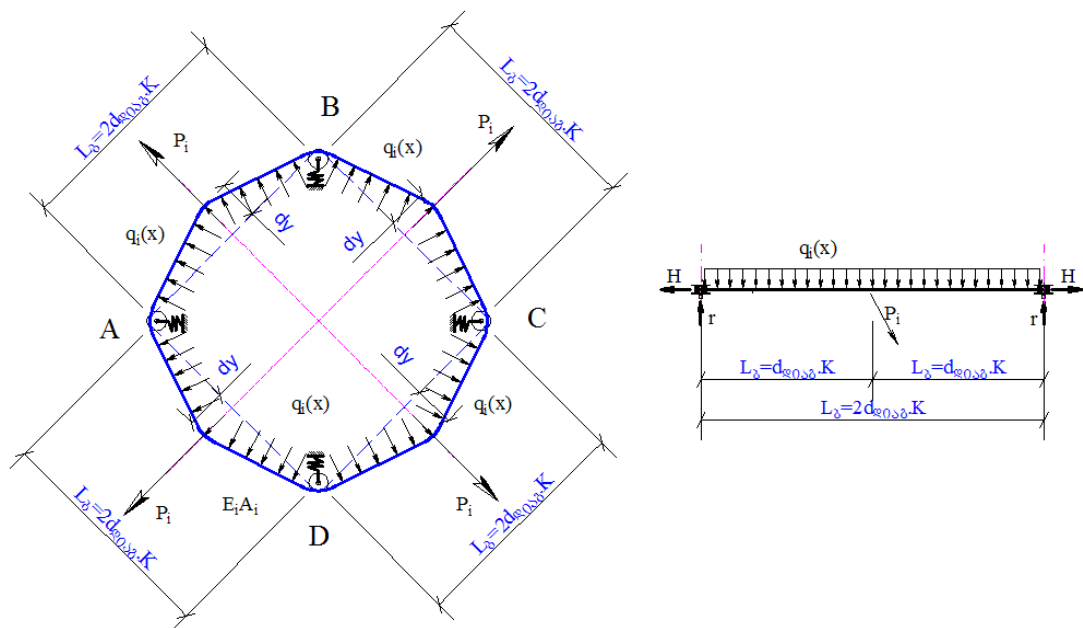
#### 3.6.1. ჩაკეტილი კონტურის მქონე ბაგროვანი საკოჭის გაანგარიშება

ახალი ტიპის გეგმაში ოთხკუთხა ფორმის შემოთავაზებული წინასწარდაძაბული კონსტრუქციის (სივრცითი ბლოკის) მოქნილი ჩაკეტილი კონტურის მქონე მთლიანი ძაფი შესრულებულია მაღალი სიმტკიცის ბაგროვანი საკოჭისაგან, რომელიც გატარებულია კონსტრუქციის კუთხეებში შემკრავ ხისტ კვანძებში განთავსებულ ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ ცილინდრულ საგორავებზე.

აღნიშნული ელემენტის მუშაობა განაპირობებს შემოთავაზებული კონსტრუქციაში ყველა ელემენტში ძაბვების მოხერხებულ რეგულირებას.

ჩაკეტილი კონტურის მქონე ბაგროვან საკოჭში ძაღვის განსაზღვრა წარმოებს მოქნილი ძაღვის სტატიკური თეორიის გამოყენებით. საანგარიშო სქემა მოყვანილია (ნახ.1) –ზე, სადაც  $AB = BC = CD = AD = L_0 = 2d_{ღიღბ} \cdot K$ .

სადაც  $K$  არის ჩაკეტილი კონტურის მქონე ბაგროვანი საკოჭების რიგითი ნომერი.



ნახ.3.4. ჩაკეტილი კონტურის მქონე ბაგროვანი საკოჭის საანგარიშო სქემა.

ჩაკეტილი კონტურის კუთხეებში მოთავსებულია უძრავი ბლოკები, რომლებზედაც გადადის ბაგირი. ბლოკებს გააჩნით ბრუნვის საშუალება საკუთარი ღერძის მიმართ. ბაგირსა და ბლოკებს შორის ხახუნის ძაღვებს ამჯერად მხედველობაში არ ვღებულობთ.

ბაგირი ყველა მალში იმყოფება განივი დატვირთვის ქვეშ, კერძოდ საკუთარი წონის  $q(x)$  და ჰორიზონტალურად მოქმედი შეყურსული დატვირთვის  $P_i (i=1,2,3,4)$  სახით.

ბაგირის საწყისი გეომეტრიული პარამეტრები შემღდეგია:

$$\omega_i = E_i A_i \quad (i = 1, 2, 3, 4) \quad 3.60$$



$$n_i = \frac{l_i^2}{f_i^2} ; \quad m_i = l_i + \frac{8}{3} \cdot \frac{l_i}{n_i^2} \quad (i=1,2,3,4) \quad 3.61$$

$$m_i = l_i + \frac{8}{3} \cdot \frac{f_i^2}{l_i} \quad (i=1,2,3,4) \quad 3.62$$

თუ მივიღებთ დამოუკიდებელ ცვლად ფუნქციად ძაფის სიხისტეს გაჭიმვაზე  $\omega_i = E_i A_i$  და საძიებელ ფუნქციად ძაფის განმბჯენს, მაშინ შესაძლებელია დაიწეროს მუშაობის განტოლებები.

ვიპოვოთ გარე და შიგა ძალების მუშაობა ძაფის სიხისტის მცირე, მაგრამ სასრულო ცვლილებებით  $\delta\omega_i$ -ით გამოწვეულ ვირტუალურ (შესაძლო) გადაადგილებებზე.

განმბჯენი  $H$  მიიღებს ნაზრდს  $\delta H$ -ს, მაშინ წონასწორობის განტოლება იქნება:

$$M(x) = (H + \delta H)(y - \delta y); \quad y - \delta y = M(x) / (H + \delta H) \quad 3.63$$

შესაძლო გადაადგილების (ლაგრანჟის) პრინციპის საფუძველზე გარე ძალების მუშაობისა და შიგა ძალების მუშაობის ჯამი უდრის ნულს.

$$V_1 + V_2 = 0 \quad (3.64)$$

მცირე გარდაქმნების საფუძველზე, გარე ძალების მუშაობა კონტურის ყველა უბანზე იქნება:

$$V_1 = - \sum_{i=1}^n \int_0^{l_i} \frac{M_i(x) \delta H}{(H + \delta H) H} \cdot q_i(x) dx \quad (i=1,2,3,4) \quad 3.65$$

ან

$$V_1 = - \frac{D \delta H}{(H + \delta H) H} \quad 3.66$$

სადაც

$$D = \sum_{i=1}^n \int_0^{l_i} M_i(x) q_i(x) dx = \sum_{i=1}^n \int_0^{l_i} Q_i^2(x) dx; \quad (n=1,2,3,4) \quad 3.67$$

შიგა ძალების მუშაობა დაჭიმულობის ნაზრდზე კონტურის ყველა უბნისათვის იქნება:

$$V_2 = -\sum_{i=1}^n \frac{(\omega_i \delta H - H \delta \omega_i)}{(\omega_i - \delta \omega_i)} \cdot (H + \delta H) \cdot \frac{l_i m_i^3}{\omega_i} = -(H + \delta H) \sum_{i=1}^n \frac{(\omega_i \delta H - H \delta \omega_i) l_i m_i^3}{(\omega_i - \delta \omega_i) \omega_i}; (i=1, 2, 3, 4); \quad 3.68$$

შემოვიტანოთ აღნიშვნა:

$$D = \sum_{i=1}^n D_i; \quad (i=1, 2, 3, 4) \quad 3.69$$

ანუ

$$\frac{\delta H \sum_{i=1}^n D_i}{(H + \delta H) H} + (H + \delta H) \sum_{i=1}^n \frac{(\omega_i \delta H - H \delta \omega_i) l_i m_i^3}{(\omega_i - \delta \omega_i) \omega_i} = 0; \quad (i=1, 2, 3, 4) \quad 3.70$$

გარდავქმნათ (3.70) განტოლება და გადავიდეთ ზღვარზე, როდესაც  $\delta H \rightarrow 0$  და  $\delta \omega \rightarrow 0$  მივიღებთ:

$$\sum_{i=1}^n \frac{d\omega_i}{dH} - \frac{1}{H} \sum_{i=1}^n \omega_i = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{H^4 \sum_{i=1}^n l_i m_i^3} \sum_{i=1}^n \omega_i^2 \quad 3.71$$

(3.71) დიფერენციალური განტოლებათა სისტემა წარმოადგენს ბერნულის ტიპის განტოლებათა სისტემას. მუდმივების განსაზღვრის შემდეგ საბოლოოდ მივიღებთ დამოკიდებულებას ჩაკეტილ კონტურში მოქნილი ძაფის განმზღვენსა და მოქმედ დატვირთვებს შორის:

$$H^3 + \frac{8}{3} \sum_{i=1}^n \frac{\omega_i}{n_i^2 m_i^3} \cdot H^2 - \sum_{i=1}^n \frac{D_i \omega_i}{2 l_i m_i^3} = 0; \quad (i=1, 2, 3, 4) \quad 3.72$$

ერთმალისანი მოქნილი ძაფის შემთხვევაში ფორმულა (3.72) ემთხვევა ე.წ. ე. სიდოვიჩის ფორმულას ( $i=1$ ) ;

$$H^3 + \frac{8}{3} \frac{\omega}{n^2 m^2} = \frac{D \omega}{2 l m^3}; \quad 3.73$$

აქ  $D$  დატვირთვის პარამეტრია, რომელიც წარმოადგენს განსაზღვრულ ინტეგრალს.

თანაბრად განაწილებული და შეყურსული დატვირთვების ერთდროულად მოქმედების შემთხვევაში  $D_i$  შეიძლება გამოვთვალოთ შემდეგი გზით:

$$D_i = \int_0^{l_i} Q_i^2 dx = \frac{q_i^2 l_i^3}{12} + \frac{P^2 l_i}{4} + \frac{q_i l_i^2 P_i}{4} \quad 3.74$$

მოქმედი დატვირთვებისგან აღძრული რეაქცია საგორავებზე გამოითვლება ფორმულით:

$$r_A = r_B = r_C = r_D = \frac{q_1 l_1}{2} + \frac{P_1}{2} + \frac{q_2 l_2}{2} + \frac{P_2}{2} \quad 3.75$$

საბოლოოდ ბაგირში აღძრული ძალვა მოქმედი დატვირთვებისგან გამოითვლება ფორმულით:

$$T = \sqrt{r^2 + H^2} \quad 3.76$$

ამ პარაგრაფში წარმოდგენილია ახალი ტიპის გეგმაში ოთხკუთხა ფორმის წინასწარდამაბულ კონსტრუქციაზე მოქმედი დატვირთვების ზემოქმედებისას ჩაკეტილი კონტურის მქონე ბაგიროვანი საკოჭის გაანგარიშების საკითხები. ჩაკეტილი კონტურის მქონე ბაგიროვანი საკოჭი წარმოადგენს ახალი ტიპის გეგმაში ოთხკუთხა ფორმის ნაგებობის გადახურვის წინასწარდამაბული სივრცითი სტრუქტურული კონსტრუქციის ერთ-ერთ ელემენტს.

გაანგარიშება ჩატარებულია მოქნილი ძაფის სტატიკური თეორიის გამოყენებით, დიფერენცირებული საანგარიშო სქემის მიხედვით. შედეგია ის, რომ განსაზღვრულია (დიფერენცირებული საანგარიშო სქემის გამოყენებით) ბაგიროვან საკოჭში ძალვის გამოსათვლელი ფორმულა.

3.6.2. წინასწარდაძაბვის ძალის სიდიდის დანაკარგების განსაზღვრა ახალი ტიპის კონსტრუქციის საკოჭის ცილინდრული საგორავის პოჭოჭიკებში

შემოთავაზებული ახალი ტიპის წინასწარდაძაბული კონსტრუქციის (სივრცითი ბლოკის) მოქნილი მთლიანი ძაფი შესრულებულია მაღალი სიმტკიცის ბაგროვანი საკოჭისაგან, რომელიც გატარებულია კონსტრუქციის კუთხეებში შემკრავ ხისტ კვანძებში განთავსებულ ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ ცილინდრულ საგორავებზე. აღნიშნული პირობების გამო ბაგროვან საკოჭსა (მოქნილი ძაფი) და საგორავების ზედაპირებს შორის ხახუნისაგან წინასწარდაძაბვის ძაბვის დანაკარგების უგულებელყოფა შეიძლება, ხოლო ცილინდრული საგორავების პოჭოჭიკების ხახუნისა და საკოჭის სიხისტის გავლენის გათვალისწინება აუცილებელია.

მთლიანი (უწყვეტი) ბაგროვანი საკოჭის მოსაწყობად საჭირო ცილინდრული საგორავის სქემა (განშლა) მოცემულია ნახ.1-ზე.

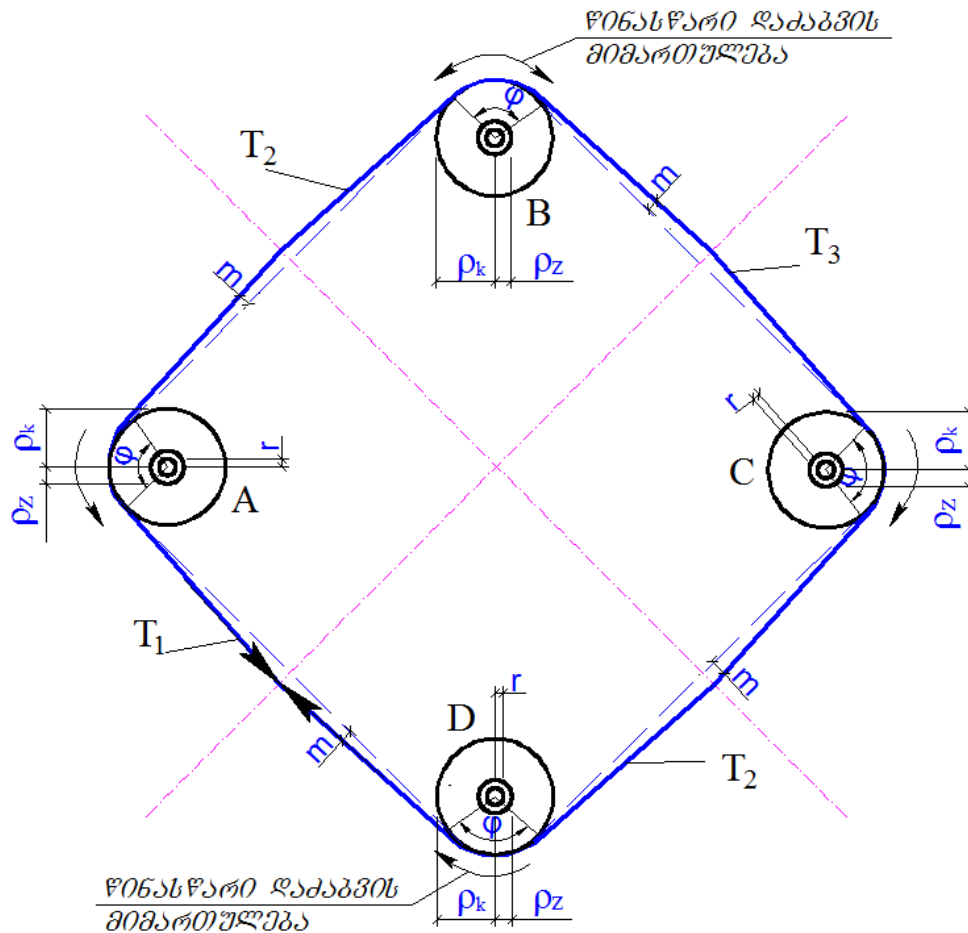
ზოგადად ხახუნისაგან გამოწვეული ზემოქმედების განსაზღვრა წარმოებს კულონის კანონის მიხედვით:

$$T_R = \mu_R \cdot N \quad 3.77$$

სადაც  $T_R$  – ხახუნისაგან აღძრული ძალაა;

$\mu_R$  – ხახუნის კოეფიციენტი;

$N$  – ზედაპირზე მკუმშავი მიმჭერი ძალის რეაქციის ნორმალური მდგენელი.



ნახ.3.5. უწყვეტი ბაგროვანი საკოჭის ცილინდრულ საგორავზე შემოტარების (მოწყობის) სქემა, საკოჭის დაუძაბავი (უწყვეტი ხაზით) და დაძაბული (წყვეტილი ხაზით) მდგომარეობის შემთხვევაში.

განსახილველ შემთხვევაში ხახუნისაგან გამოწვეული ზემოქმედება ვლინდება მომენტის სახით, რომლის მიმართულება საპირისპიროა ცილინდრული საგორავის ბრუნვითი მოძრაობისა [68].

$$M_z = A \cdot r \quad 3.78$$

სადაც  $r = P_z \cdot \mu_{ZR}$  – ხახუნის მრუდის რადიუსი;

$A$  – პოჭოჭიკებში აღძრული რეაქციაა;

$\mu_{ZR}$  – ხახუნის კოეფიციენტი პოჭოჭიკებში.

წინასწარდაძაბული საკოჭის სიხისტის ხახუნის გავლენა გამოიხატება ბერკეტის  $m$  მხარით, რომელიც გამოსახავს საკოჭის

მდებარეობიდან გადახრას აბსოლუტურად მოქნილი ბოჭკოებიანი საკოჭის მდგომარეობის მიმართ (ნახ.1). ვინაიდან პოჭოჭიკზე გადატარებულ საკოჭში ძალები ტოლი უნდა იყოს, შეგვიძლია დავწეროთ წონასწორობის პირობა, რომლის მიხედვით ვღებულობთ [5]:

პირველ საგორავზე გადატარებისას

$$T_2 = T_1 \cdot \frac{\rho_k + m + r (\sin \phi - \cos \phi)}{\rho_k - m - r} \quad 3.79$$

მეორე საგორავზე გადატარებისას

$$T_3 = T_2 \cdot \frac{\rho_K + m + r (\sin \phi - \cos \phi)}{\rho_K - m - r} \quad 3.80$$

(3.79) და (3.80) განტოლებებიდან გამოითვლება წინასწარდამაბვის დანაკარგები, შესაბამისად ცალკეულ საგორავზე გადაცემის შემდეგ:

$$\Delta T_2' = T_1 \left( 1 - \frac{\rho_K - m - r}{\rho_K + m + r (\sin \phi - \cos \phi)} \right) \quad 3.81$$

$$\Delta T_3' = T_2 \left( 1 - \frac{\rho_K - m - r}{\rho_K + m + r (\sin \phi - \cos \phi)} \right) \quad 3.82$$

ჯამური დანაკარგები

$$\sum \Delta T_v' = \Delta T_2' + \Delta T_3' \quad 3.83$$

დამატებითი ძალა ხახუნისაგან ცალკეული საგორავების გავლის შემდეგ გამოითვლება ფორმულით:

$$\Delta T_2 = T_2 \left[ \frac{\rho_K + m + r (\sin \phi - \cos \phi)}{\rho_K - m - r} \right] \quad 3.84$$

$$\Delta T_3 = T_3 \left[ \frac{\rho_K + m + r (\sin \phi - \cos \phi)}{\rho_K - m - r} \right] \quad 3.85$$

ჯამური დამატებითი ძალა ხახუნისაგან

$$\sum \Delta T_v = \Delta T_2 + \Delta T_3 \quad 3.86$$

მიღებული ძალის სიდიდე გაითვალისწინება წინასწარდაძაბვის ძალის სიდიდის დადგენისას.

ამ პარაგრაფში წარმოდგენილი ახალი ტიპის გეგმაში ოთხკუთხა ფორმის წინასწარდაძაბულ კონსტრუქციაზე მოქმედი დატვირთვების ზემოქმედებისას და ჩაკეტილი კონტურის მქონე ბაგროვანი საკოჭის წინასწარდაძაბვისას განსაზღვრულია ცილინდრული საგორავების პოჭოჭიკებზე ხახუნისაგან წარმოქმნილი დანაკარგები, რომელის მნიშვნელობაც გასათვალისწინებელი უნდა იქნას საკოჭის წინასწარი დაძაბვის ძალის განსაზღვრის დროს.

### 3.7. სეისმურ რაიონებში სტრუქტურული კონსტრუქციების გაანგარიშების განსაკუთრებულობები

#### *ზოგადი მიმოხილვა*

სეისმურ რაიონებში მშენებლობისთვის დასაპროექტებელი შენობა-ნაგებობების კონსტრუქციების გაანგარიშება უნდა შესრულდეს დატვირთვათა ძირითადი და განსაკუთრებული თანწყობისათვის (შეხამებისთვის) სეისმური ზემოქმედების (დატვირთვების) გათვალისწინებით. განსაკუთრებული თანწყობის დატვირთვებზე შენობა-ნაგებობების გაანგარიშებისას, საანგარიშო დატვირთვები უნდა გამრავლდეს თანწყობის კოეფიციენტებზე [69].

დატვირთვათა განსაკუთრებული თანწყობა – სეისმური ზემოქმედების გათვალისწინებით, არ შეიცავს კონსტრუქციებზე მოქნილი საკიდარებით მიერთებულ მასებზე მოქმედ ჰორიზონტალურ ძალებს, ტემპერატურულ-კლიმატურ ზემოქმედებას, ქარის დატვირთვებს, მოწყობილობების მეშვეობით და ტრანსპორტის მოძრაობით გამოწვეულ დინამიკურ დატვირთვებს, ამწეების მოძრაობით და დამუხრუჭებით გამოწვეულ ძალებს. საანგარიშო სეისმური ვერტიკალური ძალის განსაზღვრისას გათვალისწინებულ უნდა იქნეს ამწის ხიდის, ურიკის და

ტვირთის წონები, რომელიც მიიღება ამწის ტვირთამწეობის მეჰ-ის ტოლი. ამწე ხიდის წონით გამოწვეული ჰორიზონტალური საანგარიშო სეისმური დატვირთვა უნდა მოედოს ამწევემა კოჭის ღერძის პერპენდიკულარული მიმართულებით. დატვირთვების შემცირება ამ შემთხვევაში მხედველობაში არ მიიღება.

სეისმური ზემოქმედების გათვალისწინებით შენობა-ნაგებობების გაანგარიშება უნდა შესრულდეს: ა) სპექტრული მეთოდით; ბ) ფუძის სეისმური აჩქარებების ინსტრუმენტალური ჩანაწერებისა და სინთეზირებული აქსელეროგრამების გამოყენებით.

სეისმური ანგარიშების ჩატარებისას გათვალისწინებული უნდა იქნეს კონსტრუქციებში არაწრფივი დეფორმაციების განვითარების პროცესის შესაძლებლობა, მისი სივრცული ხასიათი და შენობა-ნაგებობების დაპროექტება უნდა მოხდეს უფრო არახელსაყრელ დატვირთვებზე [69].

სეისმური ზემოქმედების მიმართულება სივრცეში ნებისმიერია. მარტივი გეომეტრიული ფორმის მქონე სტრუქტურული კონსტრუქციებისაგან გადახურული შენობა-ნაგებობები გაიანგარიშდება შენობის გრძივი და განივი მიმართულებით მოქმედ ჰორიზონტალურ სეისმურ დატვირთვებზე ცალ-ცალკე. რთული გეომეტრიული ფორმის მქონე შენობა-ნაგებობების გაანგარიშება უნდა შესრულდეს მოცემული კონსტრუქციისადმი ან მისი ელემენტებისათვის ყველაზე არახელსაყრელი მიმართულებით მოქმედი სეისმური ზემოქმედებისათვის.

განსაკუთრებით საპასუხისმგებლო შენობა-ნაგებობებისათვის, ხშირად საჭიროა დამატებითი გაანგარიშებების წარმოება [26, 69], ა.მაგ. სტრუქტურული კონსტრუქციების და ზოგადად გადახურვების რომელთა მალი  $\geq 36$  მ.

ვერტიკალური სეისმური დატვირთვა გათვალისწინებული უნდა იქნეს, როცა იანგარიშება: სტრუქტურული გადახურვების ჰორიზონტალური და დახრილი კონსოლური კონსტრუქციები, ჩარჩოები, ხიდის მალეები; თაღები, წამწეები და შენობა ნაგებობების სივრცული



სტრუქტურული გადახურვები, რომელთა მალი ტოლია ან აღემატება 24მ-ს; ნაგებობები, რომლებიც საჭიროებენ გაანგარიშებას გადაბრუნებაზე და გასრიალებაზე (წაცურება);

კერძოდ სტრუქტურული კონსტრუქციებით გადახურული შენობა-ნაგებობების გაანგარიშება წარმოებს [69];

- გადახურვის სტრუქტურული კონსტრუქციების ღუნვის დროს მათი სიბრტყისადმი – ვერტიკალურ სეისმურ დატვირთვებზე;
- ვერტიკალური მზიდი კონსტრუქციები – ჰორიზონტალურ სეისმურ დატვირთვებზე;
- სტრუქტურული კონსტრუქციების ჰორიზონტალური სარტყელები – ჰორიზონტალურ სეისმურ დატვირთვებზე გადახურვის სიბრტყეში;
- სტრუქტურული კონსტრუქციების შეუღლების კვანძები – ჰორიზონტალური და ვერტიკალური სეისმური დატვირთვის ერთობლივი მოქმედებით აღძრულ ძალებზე.

სტრუქტურული კონსტრუქციებისგან გადახურული შენობა-ნაგებობების გაანგარიშება რეკომენდირებულია შესრულდეს:

- გადახურვები სტრუქტურული კონსტრუქციების – სეისმური ზემოქმედების ვერტიკალურ მდგენელზე;
- შენობები მთლიანად – სეისმური ზემოქმედების ჰორიზონტალური (ნაგებობის ორივე მიმართულებით) და ვერტიკალური მდგენელების ერთობლივ ზემოქმედებებზე.

### 3.7.1. ვერტიკალური სეისმური დატვირთვის განსაზღვრა

სტრუქტურული გადახურვის კონსტრუქციების საანგარიშო მოდელები ვერტიკალურ სეისმურ ზემოქმედებაზე გაანგარიშებისას რეკომენდებულია მივიღოთ სახსროვანი კვანძებითა და მასებით დისკრეტული სისტემის სახით, რომლებიც თავმოყრილია სტრუქტურული კონსტრუქციის (ბლოკის) ელემენტების (ღეროების) კვანძებში მხოლოდ ზედა სარტყელის, ან ზედა და ქვედა სარტყელების დონეზე (ნახ.3.6). სასაზღვრო პირობები დისკრეტული სისტემებისთვის მიიღება სტრუქტურული სისტემის საანგარიშო სქემის გადაწყვეტის მიხედვით. კვანძებში თავმოყრილ მასებს შორის კავშირი ითვლება დრეკადად, არის უწონი და ღერძული ძალების აღმქმელი.

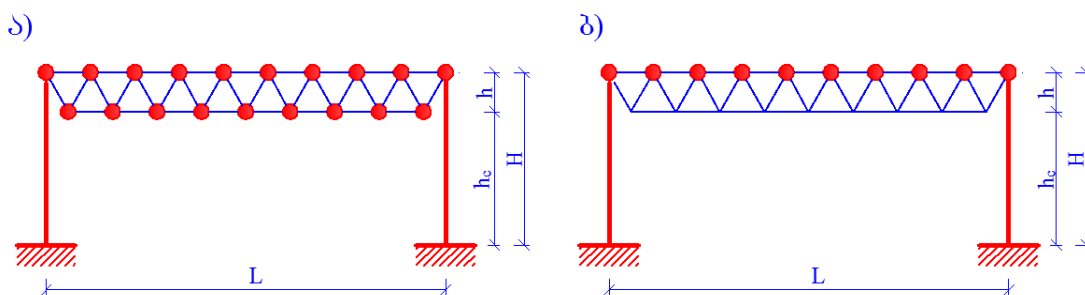
საანგარიშო მოდელებისთვის საკუთარი რხევის პერიოდები (სიხშირეები) და ფორმები განისაზღვრება ელექტრო გამომთვლელი მანქანების გამოყენებით, შემუშავებული ალგორითმებით და პროგრამებით, როგორც უამრავი თავისუფლების ხარისხის მქონე სისტემებისთვის.

სტრუქტურული კონსტრუქციების საკუთარი სიხშირეების სიდიდეების მიახლოებულ სიზუსტესთან დაკავშირებით რეკომენდებულია საკუთარი რხევების არანაკლებ პირველი 5–7 სიხშირის და ფორმის განსაზღვრა.

ვერტიკალური სეისმური დატვირთვის განსაზღვრისას სტრუქტურული კონსტრუქციები მალთ 24 მ–მდე, შესაძლებელია განვიხილოთ, როგორც ორთოტროპული ფირფიტა, მიღებული ცილინდრული სიხისტით და სიხისტით გრეხვაზე. ასეთი ფირფიტების რხევების პერიოდები სხვადასხვა სასაზღვრო პირობებისათვის განისაზღვრება ნაგებობათა დინამიკის ცნობარების გამოყენებით.

სტრუქტურული კონსტრუქციის საკუთარი  $i$ -ური რხევის ტონის შესაბამისი სეისმური დატვირთვა  $S_{ik}$  განისაზღვრება ფორმულით:

$$S_{ik} = K_1 K_2 K_3 S_{0ik} \quad 3.87$$



ნახ.3.6. დისკრეტული საანგარიშო სისტემები ვერტიკალურ სეისმურ ზემოქმედებებზე სტრუქტურების გაანგარიშებისას.  
 ა - მასებით ზედა და ქვედა სარტყელების კვანძებში; ბ - მასებით ზედა სარტყელის კვანძებში.

სადაც,  $K_1$  – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს კონსტრუქციის დასაშვებ დაზიანებებს, კონსტრუქციის უნარს განავითაროს არადრეკადი დეფორმაციები, აგრეთვე სეისმომედეგობის სხვა რეზერვებს;

$K_2$  – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ნაგებობების კონსტრუქციულ გადაწყვეტას;

$K_3$  – კონსტრუქციის (შენობა–ნაგებობების) მნიშვნელობის კოეფიციენტი; ( $K_1$ ,  $K_2$  და  $K_3$  კოეფიციენტები მიიღება სამშენებლო ნორმებისა და წესების მოთხოვნათა შესაბამისად).

$S_{0ik}$  – შენობა–ნაგებობების (კონსტრუქციის), როგორც დრეკად–დეფორმირებადი სისტემის საკუთარი რხევის  $i$ -ური ტონის შესაბამისი სეისმური დატვირთვა, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით:

$$S_{0ik} = Q_k A \beta_i K_\psi K_0 \eta_{ik} \quad 3.88$$

სადაც,  $A$  – სეისმურობის უგანზომილებო კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს მოცემული დასახლებული პუნქტისათვის გრუნტის საანგარიშო აჩქარების შეფარდებას თავისუფალი ვარდნის აჩქარებასთან;

$\beta_i$  – კონსტრუქციის საკუთარი რხევის  $i$ -ური ტონის შესაბამისი დინამიკურობის კოეფიციენტი;

$K_{\psi}$  – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს კონსტრუქციულ გადაწყვეტას;

$K_0$  – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს საძირკვლისქვეშა გრუნტის არაწრფივ დეფორმირებას. გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როდესაც გრუნტის კატეგორიის კოეფიციენტი განისაზღვრება სეისმური მიკროდარაიონების შესრულების გარეშე;

$\eta_{ik}$  – კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია კონსტრუქციის საკუთარი რხევის დროს  $i$ -ური ტონის შესაბამისი დეფორმაციის სახეზე;

$Q_k$  არის კონსტრუქციის  $K$ -ურ წერტილზე მოსული წონა, რომელიც განისაზღვრება საანგარიშო დატვირთვების გათვალისწინებით.

### 3.7.2. ჰორიზონტალური სეისმური დატვირთვის განსაზღვრა

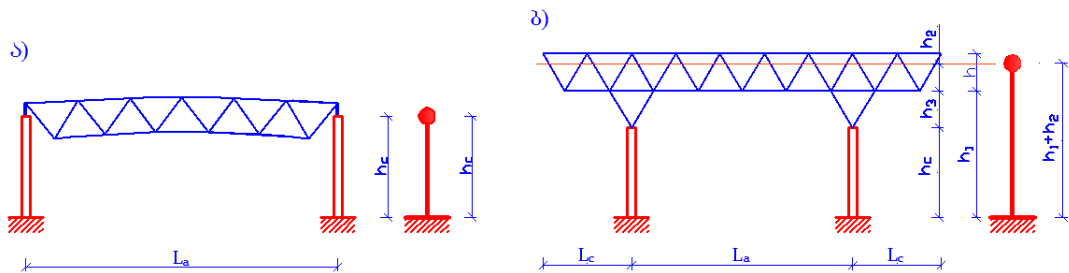
სტრუქტურული კონსტრუქციებით დახურული შენობა-ნაგებობების ჰორიზონტალურ სეისმურ ზემოქმედებებზე გაანგარიშებისას ნაგებობის საანგარიშო მოდელები გრძივი და განივი მიმართულებით მიიღება, როგორც წესი, ერთმასიანი ოსცილატორის სახით (ნახ.3.7). ამასთან სტრუქტურული კონსტრუქციის (ბლოკის) სიხისტე ჰორიზონტალურ სიბრტყეში მიიღება, როგორც უსასრულოდ ხისტი, ხოლო სვეტები – ხისტად ჩამაგრებული ფუნდამენტებში (საანგარიშო სქემის ზუსტი იდეალიზაციისთვის შესაძლებელია დრეკადი ფუძის მოწყობაც) და სახსრული შეერთებით სტრუქტურულ კონსტრუქციაზე (ბლოკზე). საანგარიშო მოდელის სიმაღლე მიიღება სვეტების სიმაღლის მიხედვით, ხოლო კაპიტელებიანი სვეტის სათავეზე სტრუქტურული კონსტრუქციების დაყრდნობის (მოწყობის) შემთხვევაში – სვეტების საძირკველში ჩამაგრების დონიდან მასების ცენტრამდე მანძილის მიხედვით (ნახ.3.7.ბ). აქ მასებში იგულისხმება ყველა სტატიკური დატვირთვა მოსული გადახურვაზე საკუთარი წონის ჩათვლით (გათვალისწინებით). დატვირთვების თანწყობის, სიხისტეებისა და შენობა-ნაგებობების საკუთარი რხევების პერიოდების განსაზღვრის მითითებები და რეკომენდაციები მოყვანილია და აიღება სამშენებლო ნორმებისა და წესების მოთხოვნათა შესაბამისად.

30 მ-ზე მეტი სიგრძის შენობების გაანგარიშებისას, გარდა ჰორიზონტალური სეისმური დატვირთვისა, საჭიროა გათვალისწინებულ იქნეს შენობის ვერტიკალური ღერძის მიმართ მგრები მომენტი, რომელიც გადის სიხისტეების ცენტრის გავლით. საანგარიშო ექსცენტრისიტეტის სიდიდე მასების ცენტრებსა და სიხისტეებს შორის შენობის გადახურვის დონეზე მიიღება არანაკლებ  $0,02B$ , სადაც  $B$  – შენობის ზომა იმ მიმართულებით, რომელიც  $S$  ძალის მოქმედების პერპენდიკულარულია.

ჰორიზონტალურ სიბრტყეში სტრუქტურული კონსტრუქციების (ფილების) სიხისტის მახასიათებლების წინასწარ დანიშვნისას, ან

ექსპერიმენტალური მონაცემების არსებობისას დიდმალიანი გადახურვის გაანგარიშების შესრულება რეკომენდებულია ელექტრო გამომთვლელი მანქანების (ეგმ-ის) გამოყენებით, შენობა ნაგებობის სივრცით მუშაობის და მასების ცენტრებსა და სიხისტეებს შორის ფაქტიური (რეალური) ექსცენტრისიტეტების გათვალისწინებით.

ზოგიერთი მითითება საანგარიშო მოდელების არჩევის შესახებ მოყვანილია [26]-ში.



ნახ.3.7. სტრუქტურული კონსტრუქციებით გადახურული შენობა-ნაგებობების საანგარიშო სქემა ჰორიზონტალურ სეისმურ ზემოქმედებებზე გაანგარიშებისას.  
 ა - უკაპიტელო ვარიანტი; ბ - კაპიტელის ვარიანტი

ჰორიზონტალური სეისმური დატვირთვის დროსაც, ანალოგიურად იგივე (3.87 და 3.88) ფორმულებით განისაზღვრება. ამასთანავე ფორმულებში შემავალი კოეფიციენტები აიღება იგივე, გარდა  $K_{\psi}$  კოეფიციენტისა. იგი მიიღება [69]-ში მოცემული ცხრილების მიხედვით.

#### თავი 4. შემოთავაზებული და ტიპური კონსტრუქციების აგების და მონტაჟის ტექნოლოგია

სამრეწველო შენობათა დაახლოებით 70%-ს აპროექტებენ და აშენებენ ერთსართულიან ვარიანტში. თანამედროვე მშენებლობაში ერთსართულიან სამრეწველო შენობათა გადასახურად ფართოდ გამოიყენება ლითონის კონსტრუქციები. ლითონის კონსტრუქციებით შეიძლება დიდი მალეებისა და დიდი ფართობების გადახურვა. ასეთი შენობების გადახურვების დამზადებისა და მონტაჟის შრომატევადობა შეადგენს ნაგებობების აგების საერთო შრომატევადობის 50-70%-ს, ამიტომ გადახურვების მონტაჟის ხანგრძლივობაზე დიდად არის დამოკიდებული მშენებლობის საერთო ხანგრძლივობა.

შენობების გადახურვის კონსტრუქციული გადაწყვეტა ხასიათდება ელემენტების მიმხრობის კვანძების დიდი რაოდენობით, რაც ითხოვს შრომის დიდ დანახარჯებს გადახურვის ცალკეული ელემენტის მორგებაზე, გასწორებაზე, შეერთებასა და საბოლოო დამაგრებაზე. ამის გარდა, გადახურვის მონტაჟი ცალკეული ელემენტებით მიეკუთვნება სამაღლივო და დიდად საშიშ სამუშაოს, რის გამოც გადახურვის მონტაჟის სამუშაოები მიმდინარეობს ნელა. ყველაფერ ამის გათვალისწინებით, მშენებლობაში ფართოდ დაინერგა სტრუქტურული და მსხვილბლოკური გადახურვები. ასეთი გადახურვები მთლიანად იწყობა მიწაზე და დასრულებული ბლოკის სახით მონტაჟდება საპროექტო ნიშნულზე.

ბლოკების ლითონში კონსტრუქციულმა გადაწყვეტამ მშენებლებს საშუალება მისცა, უარი ეთქვათ მძიმე რკინაბეტონის წამწებისა და დახურვის ფილების გამოყენებაზე. შედარებისათვის ლითონის ბლოკი 12×24 მ-ზე იწონის 40 ტ-ს, რკინაბეტონის კონსტრუქციების მასა იგივე უჯრედისათვის შეადგენს 80\_120 ტ-ს, ანუ 2\_3-ჯერ მეტს.

მსუბუქი ტიპის შენობების მონტაჟი. ასეთი ტიპის ერთსართულიანი სამრეწველო შენობები ხასიათდება შეზღუდული გეომეტრიული

პარამეტრებით. მათ ასაგებად გამოიყენება გადახურვის მსუბუქი კონსტრუქციები: მართკუთხა კვეთის პროფილებისაგან, წამწები მილებისაგან, ფართო თაროებიანი T-სებრი და I-სებრი ელემენტებისაგან, კარკასები ჩარჩოიანი კონსტრუქციებისაგან, გადახურვის სტრუქტურული ელემენტებისაგან. შენობების კონსტრუქციული ელემენტების მასა არ აღემატება 8 ტ-ს.

შენობის კარკასის მონტაჟს იწყებენ ნულოვანი ციკლის დასრულებისა და იატაკის ქვეშ ბეტონის მომზადების მოწყობის შემდეგ, რითაც მშენებარე კორპუსის შიგნით ტრანსპორტისა და სამონტაჟო ამწეების შეუფერხებელი მოძრაობა იქნება უზრუნველყოფილი. სხვადასხვა პირობების გათვალისწინებით მსუბუქი ტიპის სამრეწველო შენობების მონტაჟი შეიძლება შესრულდეს ცალკეული ელემენტებით, ან გამოყენებულ იქნეს გადახურვების ბლოკური მონტაჟი. ბლოკები იწყობა სტელაჟებზე, სტენდებზე ან საკონვეიერე ხაზებზე. ჩარჩოიან კონსტრუქციებს ამონტაჟებენ ცალკეული ელემენტებით, სტრუქტურულს – მხოლოდ გამსხვილებული ბლოკებით [72].

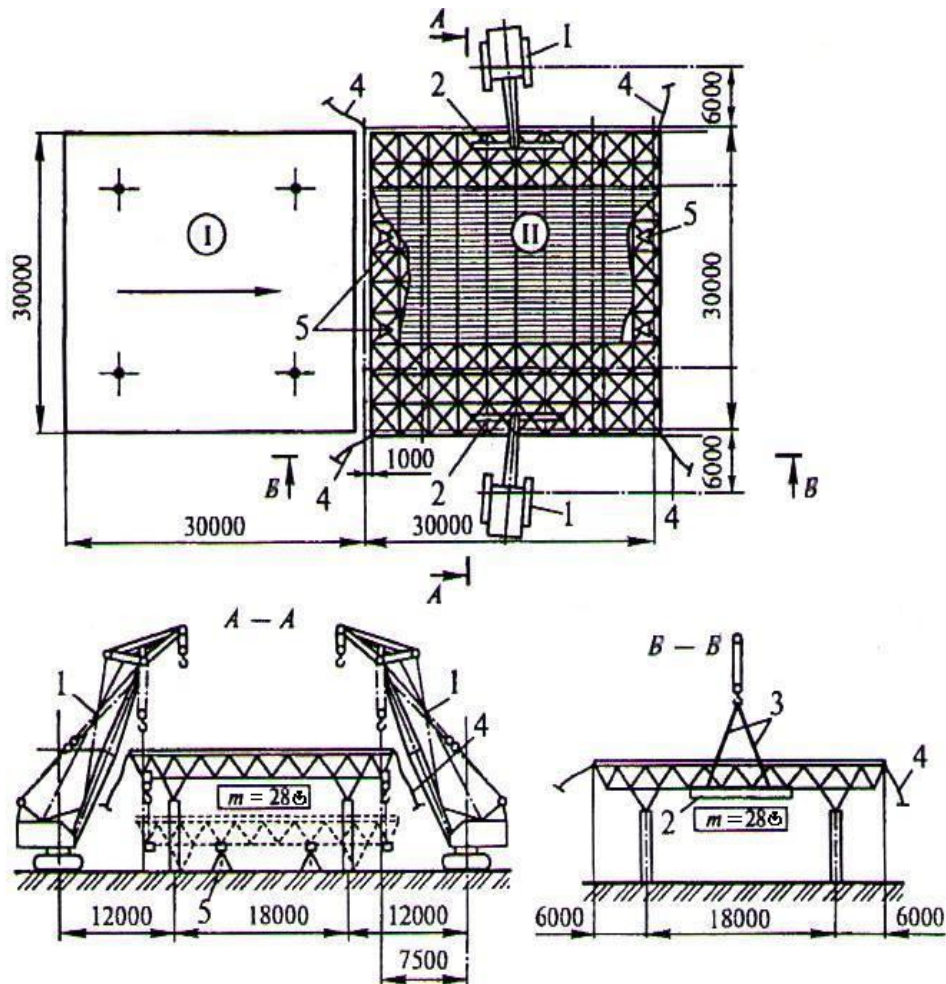
ცალკეული ელემენტების მონტაჟს ასრულებენ 10\_20 ტ ტვირთამწეობის თვითმავალი ამწეებით. სამონტაჟო სამუშაოთა მაღალი ტემპის უზრუნველსაყოფად საჭიროა კონსტრუქციების საწყობის მუშაობის ზუსტი ორგანიზაცია და ელემენტების შეუფერხებელი მიწოდება მონტაჟისათვის. კონსტრუქციების გამსხვილება, თუ ის გათვალისწინებულია სამუშაოთა წარმოების პროექტში, მიზანშეწონილია განხორციელდეს საწყობში ან სპეციალურად გამოყოფილ მოედანზე. ასე იქმნება ხელსაყრელი პირობები მალებში მანქანებისა და მექანიზმების მოძრაობისა და მონტაჟის შეუფერხებელი წარმოებისათვის.

ბლოკური მონტაჟის შემთხვევაში გამოიყენება 40\_50 ტ ტვირთამწეობის სამონტაჟო ამწეები. გადახურვის ბლოკების გამსხვილებული აწყობა უნდა განხორციელდეს სპეციალურ სტენდებზე, რომლებიც უნდა მოეწყოს ამწის სამუშაო ზონაში. სტენდებზე ბლოკების



აწყობას ასრულებენ ნაკლები ტვირთამწეობის მობილური ისროვანი ამწეებით. იმ შემთხვევაში, როდესაც შენობას უკავია დიდი ფართობი და შესასრულებელია მნიშვნელოვანი მოცულობის სამონტაჟო სამუშაოები, გადახურვის ბლოკების აწყობა ხორციელდება კონვეიერის ხაზზე.

სტრუქტურული კონსტრუქციების მონტაჟის პროცესში გათვალისწინებულია შემდეგი სამუშაოთა წარმოების ტექნოლოგია: თავდაპირველად ამონტაჟებენ სვეტებს, შემდეგ აწევის ადგილზე ამსხვილებენ სტრუქტურულ ბლოკს ზომებით 30×30 მ (მაგალითისათვის). ბლოკს ამონტაჟებენ საპროექტო მდგომარეობაში ორი ამწით (ნახ. 4.1).



ნახ. 4.1. გადახურვის ბლოკის მონტაჟი ორი ამწით:

1 – მუხლუხა ამწეები; 2 – ტრავერსები; 3 – ტრავერსის ჯამბარები; 4 – მჭიმები; 5 – დროებითი ლითონის საყრდენები; I და II – გადახურვის ბლოკები.

ბლოკის ჩაბმას ახორციელებენ ოთხ წერტილში სპეციალური ტრავერსის გამოყენებით. სტრუქტურული ბლოკების აწევა, აგრეთვე,

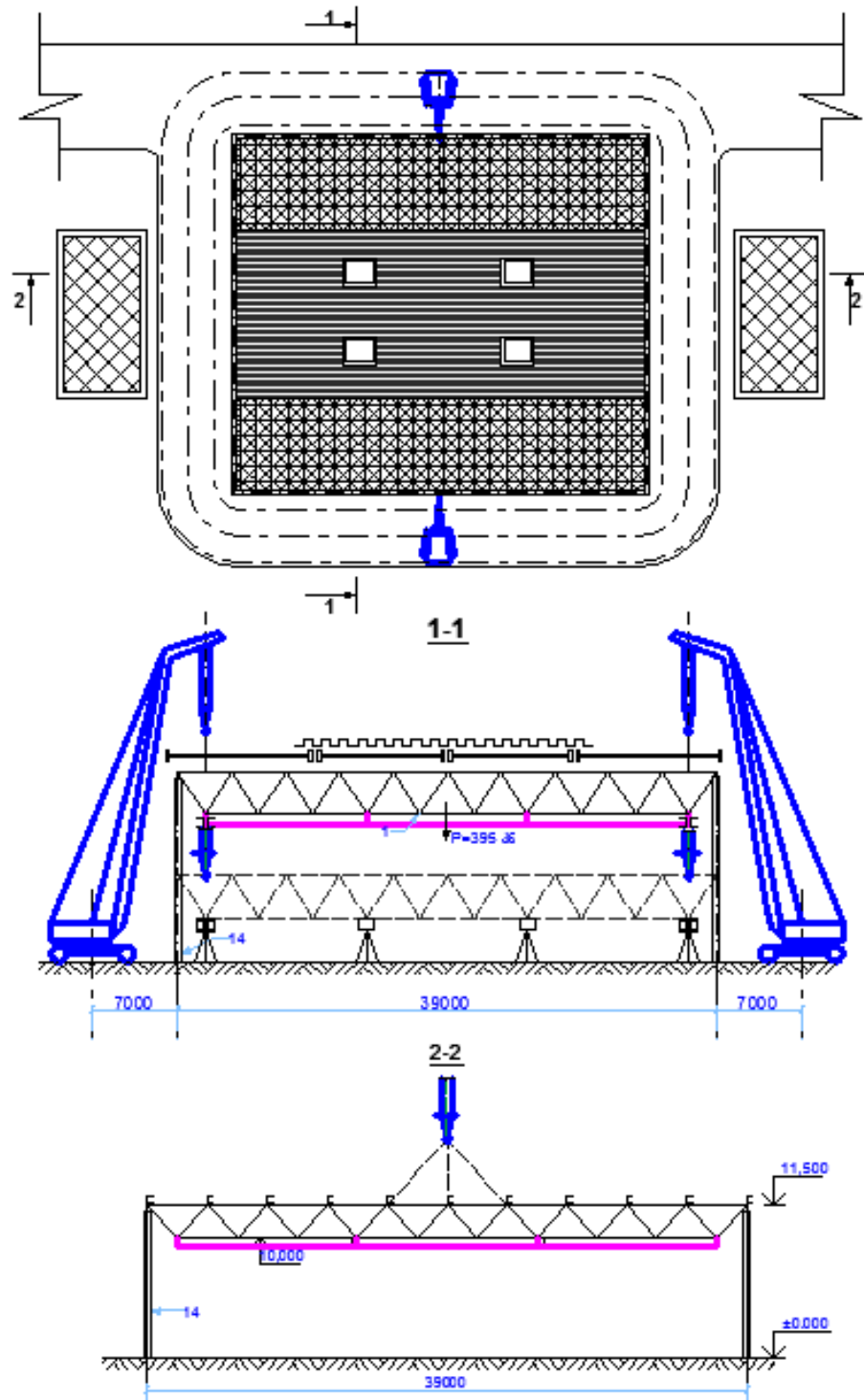
შესაძლებელია შევრების ან პოლისპასტების გამოყენებით. მსუბუქი კედლის შემომფარგლავი კონსტრუქციები (პანელები) შეიძლება დამონტაჟდეს ცალკე ელემენტებად ან გამსხვილებით შენობის მთელი სიმაღლისათვის.

**საშუალო ტიპის შენობების მონტაჟი.** ასეთი ტიპის შენობების მონტაჟს ძირითადად ასრულებენ ღია ან დახურული ხერხით. ხერხის შერჩევა დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე – შენობის კარკასის კონსტრუქციებზე, საჭირო სამონტაჟო მექანიზმებზე, საძირკვლების მოწყობისა და ტექნოლოგიური მოწყობილობების მონტაჟის საერთო მოცულობებზე.

**ღია ხერხის** გამოყენების დროს პირველ რიგში ასრულებენ შემდეგ სამუშაოებს: საძირკვლების მოწყობა ტექნოლოგიური მოწყობილობებისა და კარკასის სვეტების ქვეშ; მიწისქვეშა კომუნიკაციების გაყვანა; სარდაფების მოწყობა; გვირაბებისა და სხვა დანარჩენი ნულოვანი ციკლის სამუშაოების შესრულება. მხოლოდ ამის შემდეგ იწყებენ შენობის კარკასის მონტაჟს. ასეთი წესი მოითხოვს სამუშაოების ორგანიზაციის მაღალ სიზუსტეს, ვინაიდან ძირითადი სამუშაოები სრულდება პარალელურ რეჟიმში და არც ერთმა წინამდებარე პროცესმა ხელი არ უნდა შეუშალოს მომდევნოს. ღია ხერხის დიდი უპირატესობაა ის, რომ ფართო ფრონტით შესაძლებელია შესრულდეს მიწის სამუშაოები, ყველა სახის საძირკვლების მოწყობა, საინჟინრო კომუნიკაციების გაყვანა და ა.შ.

**დახურული ხერხის** შემთხვევაში ამოჰყავთ შენობის კარკასი. ამისათვის ასრულებენ მიწის სამუშაოებს, საძირკვლების მოწყობას კარკასისათვის, შენობის ყველა მიწისზედა კონსტრუქციების მონტაჟს, გადახურვის და ბურულების მოწყობას. მხოლოდ ამის შემდეგ იწყებენ მთხრებლის დამუშავებას შენობის შიგნით და საძირკვლების მოწყობას ტექნოლოგიური მოწყობილობების ქვეშ. როდესაც ასეთი ხერხით სრულდება სამუშაოების ორგანიზაცია, იქმნება ხელსაყრელი პირობები სამონტაჟო მექანიზმების მუშაობისა და შენობის კარკასის მონტაჟისათვის,

მაგრამ მოიჯარე ორგანიზაციებმა ორ ნაკადში უნდა შეასრულონ თავიანთი სამუშაოები: თავდაპირველად მიწის სამუშაოები და საძირკვლების მოწყობა კარკასის ქვეშ, შემდეგ კი – ანალოგიური სამუშაო ტექნოლოგიური მოწყობილობებისათვის.



ნახ. 4.2. შემოთავაზებული სტრუქტურული გადახურვის ბლოკის მონტაჟი ორი ამწით.

შემოთავაზებული კონსტრუქციის, გეგმაში ოთხკუთხა ფორმის L მალის შენობების გადახურვის H სიმაღლის წინასწარდაძაბული სივრცითი კონსტრუქციის მონტაჟი ხორციელდება შემდეგი თანმიმდევრობით: სამშენებლო მოედანზე სტრუქტურული ფილის 1 (ნახ.2.1) აკრება ხდება ქარხნული წესით დამზადებული ღეროვანი პირამიდებისაგან 2 (ნახ.2.6, ნახ.2.7), რომელიც შედგენილია ზედა სარტყლის ღეროვანი ელემენტებისაგან და წვეროსთან ჯვრისებრი ფურცლოვანი ელემენტებით 11 შეერთებული დახრილი ირიბებისაგან. წინასწარ განსაზღვრულ პირამიდებს წვეროებზე მიმაგეებული აქვს ბლოკები 4 და კრონშტეინები 5, პირამიდების წვეროები ერთმანეთთან შეერთებულია ქვედა სარტყლის 3 მილოვანი ელემენტებით. ბლოკებზე გადატარებულია ქუროთი 13 (ნახ.2.4) აღჭურვილი მოქნილი ელემენტები 6, რომელთა გვერდების შუა ადგილებში მაგრდება უნაგირისებური ყაუშები 7 (ნახ.2.3) , რომლებსაც ორთავე მხარეს გააჩნია წყვილი სარკები-8 (ნახ.2.14). სტრუქტურული ფილის 1 დიაგონალური მიმართულებით ყაუშებს 7 ერთმანეთთან აერთებენ ღეროვანი ელემენტებით 9, რომლებსაც ორთავე მხარეს გააჩნია მისაერთებელი მილტუჩები-10, ხოლო სტრუქტურული ფილის 1 დიაგონალური მიმართულებით პირველი კვანძებზე განთავსებულ კრონშტეინებისა 5 და მომიჯნავე ყაუშების 7 ერთმანეთთან შეერთება ხდება ღეროვანი ელემენტებით 9.

გადახურვის სივრცითი კონსტრუქციის წინასწარ დაძაბვა წარმოებს შემდეგნაირად: პირველ ეტაპზე წინასწარ განსაზღვრული სიდიდით ქუროს 13 გამოყენებით დაიჭიმება მოქნილი ელემენტები 6; მეორე ეტაპზე, ქანჩების 12, გამოყენებით დაიჭიმება ოთხივე კრონშტეინთან 5 არსებული ღეროები 11, რომელიც წინასწარ განსაზღვრული სიდიდით დაძაბავს საყრდენებიდან პირველი რიგის მოქნილ ელემენტებს 6. აღნიშნული მოქმედება დანარჩენი რიგების მოქნილი ელემენტების-6 ნაწილობრივ დაძაბვას გამოიწვევს; მესამე ეტაპზე ანალოგიურად დაიჭიმება სარკებზე-8 განთავსებული ქანჩებით ელემენტები-9, რომელიც წინასწარ განსაზღვრული

სიდიდით დაძაბავს საყრდენებიდან მეორე რიგის მოქნილ ელემენტებს-6 და შემდეგ ეტაპებზე, ანალოგიურად დაიძაბება შემდეგი რიგების ყველა მოქნილი ელემენტები-6. ოთკუთხა ფორმის ყველა რიგის მოქნილი ელემენტები დაჭიმვის შემდეგ მიიღებს კონცენტრულ მრავალკუთხედის ფორმას რის შემდეგ წარმოებს წარმოქმნილი ფორმის ფიქსირება სარკებზე-8 დამატებითი კონტრქანჩების-12 მოწყობით. ზემოთ მითითებული სამუშაოების შემდეგ წარმოებს გადახურვის წინასწარდაძაბული სივრცითი კონსტრუქციის მონტაჟი წინასწარ დამონტაჟებულ საყრდენებზე -14.

## თავი 5. შემოთავაზებული და ტიპური კონსტრუქციების ტექნიკურ-ეკონომიკური შედარება

შემოთავაზებული კონსტრუქციის ეკონომიკური ეფექტურობის შესაფასებლად წინამდებარე გაანგარიშებაში შედარებულია არსებული (ანალოგიური) და ახალი ტიპის კონსტრუქციის ტექნიკო-ეკონომიკური მაჩვენებლები. ტიპურ კონსტრუქციების მახასიათებლები აღებულია ყოფილი საბჭოთა კავშირის ლენინგრადის ზონალურ საკვლევ-სამეცნიერო ექსპერიმენტალური ინსტიტუტის ალბომების მონაცემებიდან.

შერჩეულია შვიდი სახის ტიპური კონსტრუქცია:

1. ორმაგი სიმრუდის ბადისებური გარსი, დატვირთვა  $q=3.5$  კნ/კვ.მ. ზომებით 36X36 მ;
2. ცილინდრული გარსი, დატვირთვა  $q=3.5$  კნ/კვ.მ. ზომებით 24X42 მ;
3. ფოლადის გუმბათი, დატვირთვა  $q=3.5$  კნ/კვ.მ. ზომებით 42X33.6 მ;
4. რადიანულად განთავსებული წამწეთა სისტემა (გაგლინული პროფილებით), დატვირთვა  $q=3.5$  კნ/კვ.მ. ზომით  $\emptyset 36$  მ;
5. დეროვანი რეგულარული (სტრუქტურული) გადახურვა, დატვირთვა  $q=3.5$  კნ/კვ.მ. ზომებით 36X36 მ;
6. ფოლადის წამწე, გადახურული რკინაბეტონის ფილებით, დატვირთვა  $q=3.5$  კნ/კვ.მ. მალით 42 მ;
7. ფოლადის წამწე, ფოლადის გრძივებით, დატვირთვა  $q=3.5$  კნ/კვ.მ. მალით 18 მ.

გაანგარიშება ჩატარებულია სამი ვარიანტისათვის:

1. შემოთავაზებული კონსტრუქცია შესრულებულია, როგორც გადახურვის ბრტყელი (ჰორიზონტალურად განლაგებული) სისტემა;
2. შემოთავაზებული კონსტრუქცია შესრულებულია, როგორც გადახურვის ცილინდრული ფორმის სისტემა;
3. შემოთავაზებული კონსტრუქცია შესრულებულია, როგორც გადახურვის ორმაგი სიმრუდის სისტემა.

სამივე ვარიანტი გაანგარიშებულია  $q=3,5$  კნ/მ<sup>2</sup> დატვირთვაზე.

შედარება ჩატარებულია მასის, შრომის დანახარჯების და მონტაჟის დანახარჯების მიხედვით. შეფასების ძირითად კრიტერიუმად მიღებული იყო ღირებულება.

კონსტრუქციის დამზადების შრომის დანახარჯები განსაზღვრულია დღეისათვის საქართველოში არსებული დამამზადებელი ქარხნების არსებული ტექნოლოგიების გათვალისწინებით.

შემოთავაზებული კონსტრუქციის თვითღირებულება განსაზღვრულია იმ ხარჯთაღრიცხვის ნორმებით, რომლითაც განსაზღვრული იყო ტიპური კონსტრუქციების თვითღირებულება და გადაყვანილი იქნა ლარებში დღეისათვის საქართველოში მოქმედი სამშენებლო რესურსების ფასთა კრებულში [71] მითითებული ლარებში გადამყვანი კოეფიციენტის გათვალისწინებით.

სატრანსპორტო დანახარჯები განსაზღვრული იქნა მისი 500 კმ-ზე გადატანის პირობებისათვის.

მასალის დანახარჯების მნიშვნელობები აღებულია სადისერტაციო ნაშრომის დანართიდან და ტიპური კონსტრუქციების ალბომი 9/1.370.008-ის მიხედვით.

შედარება ჩატარებულია ცხრილური წესით და მოცემულია ცხრ.5.1÷5.5 სახით.

ტექნიკური გადაწყვეტებისა და შედეგების ანალიზიდან გამომდინარე, შემოთავაზებულ კონსტრუქციებთან ყველაზე ახლოს მდგომი ანალოგები შემდეგია:

5. ღეროვანი რეგულარული (სტრუქტურული) გადახურვა – I ვარიანტის ანალოგი;
2. ცილინდრული გარსი – II ვარიანტის ანალოგი;
1. ორმაგი სიმრუდის ბადისებური გარსი – III ვარიანტის ანალოგი.

## მასალების ხარჯი ტიპურ და შემოთავაზებულ კონსტრუქციებზე

№ №	კონსტრუქციის ტიპის დასახელება	ფოლადის ხარჯი კვ/კვ.მ.	ბეტონის ხარჯი კუბ.მ./კვ.მ	დოკუმენტის დასახელება
შემოთავაზებული კონსტრუქციები				
1	გადახურვის წინასწარდამაბული რეგულარული (სტრუქტურული) სივრცითი კონსტრუქცია პატენტი P11625, დატვირთვა $q=3.5$ კნ/კვ.მ. ზომებით 39X39 მ. (ბრტყელი გადახურვა, ვარიანტი I)	26.5	-	დისერტაციის დანართი-1, ცხრილი №5
2	გადახურვის წინასწარდამაბული რეგულარული (სტრუქტურული) სივრცითი კონსტრუქცია პატენტი P11625, დატვირთვა $q=3.5$ კნ/კვ.მ. ზომებით 39X39 მ. (ცილინდრ. გადახურვა, ვარიანტი II)	26.2	-	დისერტაციის დანართი-1, ცხრილი №5
3	გადახურვის წინასწარდამაბული რეგულარული (სტრუქტურული) სივრცითი კონსტრუქცია პატენტი P11625, დატვირთვა $q=3.5$ კნ/კვ.მ. ზომებით 39X39 მ. (ორმაგი სიმრ. გადახურვა, ვარიანტი III)	25.9	-	დისერტაციის დანართი-1, ცხრილი №5
ტიპური კონსტრუქციები				
1	ორმაგი სიმრუდის ბადისებური გარსი, დატვირთ. $q=3.5$ კნ/კვ.მ. ზომებით 36X36 მ.	27.81	0.131	Албом 9/1.370.008 Госстрой СССР ЛенЗНИИЭП, 1970
2	ცილინდრული გარსი, დატვირთვა $q=3.5$ კნ/კვ.მ. ზომებით 24X42 მ.	29.07	0.089	Албом 9/1.370.008 Госстрой СССР ЛенЗНИИЭП, 1970
3	ფოლადის გუმბათი, დატვირთვა $q=3.5$ კნ/კვ.მ. ზომებით 42X33.6 მ.	30.5	0.054	Албом 9/1.370.008 Госстрой СССР ЛенЗНИИЭП, 1970
4	რადიანულად განთავსებული წამწეთა სისტემა (გაგლინული პროფილებით), დატვირთვა $q=3.5$ კნ/კვ.მ. ზომით $\varnothing 36$ მ.	53	0.055	Албом 9/1.370.008 Госстрой СССР ЛенЗНИИЭП, 1970
5	ღეროვანი რეგულარული (სტრუქტურული) გადახურვა, დატვირთ. $q=3.5$ კნ/კვ.მ. ზომებით 36X36 მ.	30.2	0.058	Албом 9/1.370.008 Госстрой СССР ЛенЗНИИЭП, 1970
6	ფოლადის წამწე, რკ/ბ.-ის ფილებით, დატვირთვა $q=3.5$ კნ/კვ.მ. მალით 42 მ.	63.4	0.056	Албом 9/1.370.008 Госстрой СССР ЛенЗНИИЭП, 1970
7	ფოლადის წამწე, ფოლადის გრძივებით, დატვირთვა $q=3.5$ კნ/კვ.მ. მალით 18 მ.	47,5	-	Албом 9/1.370.008 Госстрой СССР ЛенЗНИИЭП, 1970. Серия 1.460.316.B1.2



შემოთავაზებული და ტიპური კონსტრუქციების მასალის ხარჯის ნატურალური და ერთეულის ღირებულება

№№	კონსტრუქციის ტიპის დასახელება	კონსტრუქციაზე		ერთეულის ფასი		მასალის ფასი		დანახარჯები მასალაზე ლ/კვ.მ.
		ფოლადი კვ/კვ.მ.	ბეტონი კუბ.მ./კვ.მ.	ფოლადი ლ/კვ	ბეტონი ლ/მ <sup>3</sup>	ფოლადი	ბეტონი	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
შემოთავაზებული კონსტრუქციები								
1	კონსტრუქცია პატენტი P11625, დატვირთვა q=3.5 კნ/კვ.მ. ზომებით 39X39 მ. (ბრტყელი გადახურვა, ვარიანტი I)	26.5	0	1.85	0	49.03	0.00	49.03
2	გადახურვის წინასწარდამაბული რეგულარული (სტრუქტურული) სივრცითი კონსტრუქცია პატენტი P11625, დატვირთვა q=3.5 კნ/კვ.მ. ზომებით 39X39 მ. (ცილინდრ. გადახურვა, ვარიანტი II)	26.2	0	1.85	0	48.47	0.00	48.47
3	გადახურვის წინასწარდამაბული რეგულარული (სტრუქტურული) სივრცითი კონსტრუქცია პატენტი P11625, დატვირთვა q=3.5 კნ/კვ.მ. ზომებით 39X39 მ. (ორმაგი სიმრ. გადახურვა, ვარიანტი III)	25.9	0	1.85	0	47.92	0.00	47.92

ცხრილი 5.2-ის გაგრძელება

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	ტიპური კონსტრუქციები							
1	ორმაგი სიმრუდის ბადისებური გარსი, დატვირთ. $q=3.5$ კნ/კვ.მ. ზომებით 36X36 მ.	27.81	0.131	1.85	111.00	51.45	14.54	65.99
2	ცილინდრული გარსი, დატვირთვა $q=3.5$ კნ/კვ.მ. ზომებით 24X42 მ.	29.07	0.089	1.85	111.00	53.78	9.88	63.66
3	ფოლადის გუმბათი, დატვირთვა $q=3.5$ კნ/კვ.მ. ზომებით 42X33.6 მ.	30.5	0.054	1.85	111.00	56.43	5.99	62.42
4	საგლითი ფოლადის (სტრუქტურული) დატვირთვა $q=3.5$ კნ/კვ.მ. ზომით $\emptyset 36$ მ.	53	0.055	1.85	111.00	98.05	6.11	104.16
5	დეროვანი რეგულარული (სტრუქტურული) გადახურვა, დატვირთ. $q=3.5$ კნ/კვ.მ. ზომებით 36X36 მ.	30.2	0.058	1.85	111.00	55.87	6.44	62.31
6	ფოლადის წამწე, რკ/ბ.-ის ფილებით, დატვირთვა $q=3.5$ კნ/კვ.მ. მალით 42 მ.	63.4	0.056	1.85	111.00	117.29	6.22	123.51
7	ფოლადის წამწე, ფოლადის გრძივებით, დატვირთვა $q=3.5$ კნ/კვ.მ. მალით 18 მ.	47.5	0	1.85	111.00	87.88	0.00	87.88

ცხრილი-5.3

შემოთავაზებული და ტიპური კონსტრუქციების დამზადების, მონტაჟის და სახურავის მოწყობის სამუშაოების დანახარჯები									
№ №	დასახელება	კონსტრუქციის დამზადების შრომის დანახარჯი კვ.სთ./კვ.მ.	კონსტრუქციის მონტაჟის შრომის დანახარჯი კვ.სთ./კვ.მ.	მთლიანი შრომის დანახარჯი კვ.სთ./კვ.მ.	შრომის დანახარჯები სახურავის მოწყობასა და მონტაჟზე კვ.სთ./კვ.მ.	საერთო შრომის დანახარჯები კვ.სთ./კვ.მ.	საშუალო ღირებულება ლ/კვ.სთ.	შრომის დანახარჯები ლ/კვ.მ.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
<b>შემოთავაზებული კონსტრუქციები</b>									
1	საფარი და საფარი P11625, (0.145 ტ/კვ.მ.), ბრტყელი გადახურვა, ვარიანტი I	0.92	0.20	1.12	2.16	3.28	7.63	25.03	
2	გადახურვის წინასწარდამბული რეგულარული (სტრუქტურული) სივრცითი კონსტრუქცია პატენტი P11625, (0.145ტ/კვ.მ.). ცილინდრ. გადახურვა, ვარიანტი II	0.92	0.20	1.12	2.16	3.28	7.63	25.03	
3	გადახურვის წინასწარდამბული რეგულარული (სტრუქტურული) სივრცითი კონსტრუქცია პატენტი P11625, (0.145 ტ/კვ.მ.) ორმაგი სიმრ. გადახურვა, ვარიანტი III	0.92	0.20	1.12	2.16	3.28	7.63	25.03	

ცხრილი 5.3-ის გაგრძელება

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	ტიპური კონსტრუქციები							
1	ორმაგი სიმრუდის ზადისებური გარსი დატვირთ. q=3.5 კნ/კვ.მ. ზომებით 36X36 მ.	1.71	0.50	2.21	2.29	4.5	7.63	34.34
2	ცილინდრული გარსი, დატვირთვა q=3.5 კნ/კვ.მ. ზომებით 24X42 მ.	1.16	0.32	1.481	2.16	3.641	7.63	27.78
3	ფოლადის გუმბათი, დატვირთვა q=3.5 კნ/კვ.მ. ზომებით 42X33.6 მ.	2.87	3.38	6.247	2.29	8.537	7.63	65.14
4	რადიანულად გახთავსებული წამწეთა სისტემა (გაგლინული პროფილებით), დატვირთვა q=3.5 კნ/კვ.მ. ზომით Ø36 მ.	3.28	3.38	6.66	2.29	8.95	8.15	72.94
5	დეროვანი რეკულარული (სტრუქტურული) გადახურვა, დატვირთ. q=3.5 კნ/კვ.მ. ზომებით 36X36 მ.	3.28	1.09	4.373	2.16	6.533	8.15	53.24
6	ფოლადის ქაფი, ოკ/ა-ის ფილებით, დატვირთვა q=3.5 კნ/კვ.მ. მალით 42 მ.	3.65	1.18	4.825	2.57	7.395	8.15	60.27
7	ფოლადის წამწე, ფოლადის გრიძებით, დატვირთვა q=3.5 კნ/კვ.მ. მალით 18 მ.	3.65	1.18	4.825	2.16	6.985	5.85	40.86

შემოთავაზებული და ტიპური კონსტრუქციების სატრანსპორტო დანახარჯები (განიხილება კონსტრუქციის ტრანსპორტირება 500 კმ მანძილზე)

№ №	დასახელება	ტრანსპორტზე კონსტრ. დატვირთვა ლ/ტ	ტრანსპორტი დან კონსტრ. გადმოტვირთვ ა ლ/ტ	ტრანსპორტირ ების ლირბულეზა ლ/ტ	მილიანი დანახარჯები ტრანსპორტირ ებაზე ლ/ტ	კონსტრუქციი ს წონა ტ/კვ.მ.	სატრანსპორტ ო დანახარჯები ლ/კვ.მ.
1	2	3	4	5	6	7	8
შემოთავაზებული კონსტრუქციები							
1	გადახურვის წინასწარდამბული რეგულარული (სტრუქტურული) სივრცითი კონსტრუქცია პატენტი P11625, (0.145 ტ/კვ.მ.), ბრტყელი გადახურვა, ვარიანტი I	30.60	25.46	80.40	136.46	0.265	36.16
2	გადახურვის წინასწარდამბული რეგულარული (სტრუქტურული) სივრცითი კონსტრუქცია პატენტი P11625, (0.145ტ/კვ.მ.). ცილინდრ. გადახურვა, ვარიანტი II	30.60	25.46	80.40	136.46	0.262	35.75
3	გადახურვის წინასწარდამბული რეგულარული (სტრუქტურული) სივრცითი კონსტრუქცია პატენტი P11625, (0.145 ტ/კვ.მ.) ორმაგი სიძრ. გადახურვა, ვარიანტი III	30.60	25.46	80.40	136.46	0.259	35.34

ცხრილი 5.4-ის გაგრძელება

1	2	3	4	5	6	7	8
<b>ტიპური კონსტრუქციები</b>							
1	ორმაგი სიმაღლის ბადისებური გარსი (q=0.314 ტ/კვ.მ.)	40.28	40.28	79.80	160.36	0.314	50.35
2	ცილინდრული გარსი, (0.242ტ/კვ.მ.)	40.28	40.28	79.80	160.36	0.242	38.81
3	ფოლადის გუმბათი, (0.16 ტ/კვ.მ.)	26.60	25.46	80.40	132.46	0.16	21.19
4	რადიანულად განთავსებული წამწეთა სისტემა (გაგლინული პროფილებით), (0.185 ტ/კვ.მ.)	26.60	25.46	80.40	132.46	0.185	24.51
5	დეროვანი რეგულარული (სტრუქტურული) გადახურვა, (0.17 ტ/კვ.მ.)	26.60	25.46	80.40	132.46	0.17	22.52
6	ფოლადის წამწე, რკ/ბ-ის ფილებით, დატვირთვა (0.197 ტ/კვ.მ.)	26.60	25.46	80.40	132.46	0.197	26.09
7	ფოლადის წამწე, ფოლადის გრძილებით, (0.064 ტ/კვ.მ.)	26.60	25.46	80.40	132.46	0.064	8.48

ტიპურ და შემოთავაზებულ კონსტრუქციების საერთო (ჯამური) ღირებულება  
(ლ/კვ.მ.)

№ №	კონსტრუქციის ტიპის დასახელება	კონსტრუქციის დამზადების, მონტაჟის და სახურავის დანახარჯები ცხრ. 5.3	მასალების დანახარჯები ცხრ.5.2-დან	ტრანსპორტირების დანახარჯები 500 კმ-ზე ტრანსპორტირებისას ცხრ.5.4-დან	კონსტრუქციის საერთო (ჯამური) ღირებულება ლ/კვ.მ.
<b>შემოთავაზებული კონსტრუქციები</b>					
1	გადახურვის წინასწარდაძაბული რეგულარული (სტრუქტურული) სივრცითი კონსტრუქცია პატენტი P11625, (ბრტყელი გადახურვა, ვარიანტი I)	25.03	49.03	36.16	110.22
2	გადახურვის წინასწარდაძაბული რეგულარული (სტრუქტურული) სივრცითი კონსტრუქცია პატენტი P11625, (ცილინდრ. გადახურვა, ვარიანტი II)	25.03	48.47	35.75	109.25
3	გადახურვის წინასწარდაძაბული რეგულარული (სტრუქტურული) სივრცითი კონსტრუქცია პატენტი P11625, (ორმაგი სიმრ. გადახურვა, ვარიანტი III)	25.03	47.92	35.34	108.29
<b>ტიპური კონსტრუქციები</b>					
1	ორმაგი სიმრუდის ბადისებური გარსი	34.34	65.99	50.35	150.68
2	ცილინდრული გარსი	27.78	63.66	38.81	130.25
3	ფოლადის გუმბათი	65.14	62.42	21.19	148.75
4	რადიანულად განთავსებული წამწეთა სისტემა (გაგლინული პროფილებით)	72.94	104.16	24.51	201.61
5	ღეროვანი რეგულარული (სტრუქტურული) გადახურვა	53.24	62.31	22.52	138.07
6	ფოლადის წამწე, რკ/ბ.-ის ფილებით	60.27	123.51	26.09	209.87
7	ფოლადის წამწე, ფოლადის გრძივებით	40.86	87.88	8.04	136.78

საბოლოოდ, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ I ვარიანტის კონსტრუქციის გამოყენებისას ეკონომიკური ეფექტი შეადგენს 20.17 %-ს, II ვარიანტის კონსტრუქციის გამოყენებისას 26.12 %-ს და III ვარიანტის კონსტრუქციის გამოყენებისას 28.13 %-ს.

ზემოთ მოყვანილი ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების გათვალისწინებით შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ გადახურვის ახალი ტიპის წინასწარდამაბული რეგულარული (სტრუქტურული) სივრცითი კონსტრუქციის მშენებლობაში (პატენტი P11625) გამოყენება მიზანშეწონილია.



## დასკვნა

1. დამუშავებულია „შენობა-ნაგებობების გადახურვის ახალი ტიპის წინასწარ დამაბული რეგულარული (სტრუქტურული) სივრცითი კონსტრუქცია“, დამუშავებულ ტექნიკურ გადაწყვეტილებაზე გაცემულია პატენტი №P11625 [საქპატენტი, სამრეწველო საკუთრების ოფიციალური ბიულეტენი, ნომერი 4(368), 25.02.2013 წ.]. გეგმაში ოთხკუთხა ფორმის ნაგებობის გადახურვის ახალი ტიპის წინასწარდამაბული სივრცითი კონსტრუქციის ტექნიკური გადაწყვეტა უზრუნველყოფს ანალოგიურ კონსტრუქციებში არსებულ ნაკლოვანებათა აცილებას. ახალი ტიპის კონსტრუქციის გამოყენება უზრუნველყოფს მასალის ხარჯისა და მშენებლობის ხანგრძლივობის შემცირებას, კონსტრუქციის ზიდვის უნარის ამალლებასა და ექსპლუატაციის დროს საიმედოობის გაზრდას;

2. შემუშავებულია შემოთავაზებული კონსტრუქციის გეომეტრიული პარამეტრებისა და დატვირთვების განსაზღვრის მეთოდიკა;

3. შემუშავებულია გადახურვის ახალი ტიპის წინასწარ დამაბული რეგულარული (სტრუქტურული) სივრცითი კონსტრუქციის სტატიკური გაანგარიშების მეთოდიკა;

4. შემუშავებულია გადახურვის ახალი ტიპის წინასწარ დამაბული რეგულარული (სტრუქტურული) სივრცითი კონსტრუქციის ტემპერატურულ ზემოქმედებაზე გაანგარიშების მეთოდიკა;

5. დამუშავებულია ახალი ტიპის კონსტრუქციის ელემენტებში ძაბვათა მარეგულირებელი მოქნილ ელემენტთა სისტემა და მისი გაანგარიშების მეთოდიკა;

6. დამუშავებულია ძაბვათა დანაკარგების განსაზღვრა ახალი ტიპის კონსტრუქციაზე, ცილინდრული საგორავის პოჭოჭიკებში განთავსებულ (შემოტარებულ) ბაგირში;

7. დამუშავებულია ახალი ტიპის კონსტრუქციის ელემენტებისა და ძირითადი კვანძების კონსტრუქციული გადაწყვეტები;

8. შემოთავაზებული ახალი ტიპის გადახურვის წინასწარ დაძაბული სივრცითი სტრუქტურული კონსტრუქციის ჩამოყალიბებული გაანგარიშების მეთოდოლოგია იმდენად მიახლოებულია კონსტრუქციის ნამდვილ მუშაობასთან, რომ მთლიანად გამორიცხულია მასში პროექტირების დროს კვანძების და ღეროვანი ელემენტების კონსტრუქციული რეზერვების არსებობა;

9. ჩატარებულია ტექნიკურ-ეკონომიკური ანალიზი. შემოთავაზებული კონსტრუქციის გამოყენებით ეკონომიკური ეფექტურობა შეადგენს, საშუალოდ, 25,5 %-ს.

10. შემოთავაზებული სტრუქტურულ კონსტრუქცია შეიძლება გამოყენებული იქნეს სამოქალაქო და სამრეწველო შენობების, სასოფლო-სამეურნეო კომპლექსების ნაგებობებისა და მსუბუქი და საშუალო ტიპის უნივერსალური საწარმოო საამქროების გადახურვისათვის, სიგრძით 60-დან 150-200 მეტრამდე.

11. შენობების გადახურვისათვის სტრუქტურულ-ვანტური კონსტრუქციის გამოყენებისას სივრცული სიმტკიცე უზრუნველყოფილია შემოთავაზებული კონსტრუქციის სივრცულობიდან გამომდინარე და არ მოითხოვს დამატებით კონსტრუქციულ ელემენტებს, ე.წ. კავშირებს.

12. შემოთავაზებული სტრუქტურული კონსტრუქციის გამოყენების ეფექტურობა მატულობს შენობის სიგრძის მატებასთან ერთად.

13. გადახურვის წინასწარ დაძაბული სივრცითი სტრუქტურული კონსტრუქციის კვანძებზე და ელემენტებზე შესაძლებელია განთავსდეს ტენზომეტრები და თანამედროვე სენსორული აპარატურა, რომელიც ავტომატურად გააკონტროლებს მის დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობას და ბაგირში ძალების კლებას (ბაგირის მოშვება) დაარეგულირებს ავტომატურად. ეს საშუალებას მოგვცემს განვსაზღვროთ გადახურვის კონსტრუქციის ხანმედეგობა და დაღლილობა.

## გამოყენებული ლიტერატურა

1. Г. Рюле. Пространственные покрытия. Том I. М. :Стройиздат, 1974. С. 198.
2. Шерешевский И.А. Конструирование промышленных зданий и сооружений. –Л. : Стройиздат. Ленинградское отделение, 1979. С. 57, 62.
3. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. Под ред. д. т. н. ,проф. А. А. Уманского. Книга 2. – М. : Изд-во лит. По строит., 1973. С. 80-168.
4. Б. А. Сперанский «Решетчатые металлические предварительно напряженные конструкции» Москва 1970
5. П. ференчик, М. Тохачек «предварительно напряженные стальные конструкции» М. 1979
6. Справочник проектировщика «расчетно-теоретический» под редакцией проф. А. А. Уманского. М. 1973
7. Металлические консрукции. Спец. Курс. Изд.-2-е. Пер. Под ред. д. т. н. проф. Е. И. Веленя. –М. : Стройиздат, 1982. С. 63-65.
8. სსრკ საავტორო მოწმობა №542805, კლ. E04 B7/14, 1974
9. სსრკ საავტორო მოწმობა SU 1791575 A1, კლ. E04 B7/14, 1993, ბიულეტენი N4
10. Филин А.П. Современные проблемы использования ЭЦВМ в механике твердого деформируемого тела. –Л. : 1974. 418 с.
11. Ржаницин А. П. Строительная механика. –М.: Высшая школа, 1982 С. 127-129.
12. Дарков А. В. Строительная механика. –М.: Высшая школа, 1976. С. 284.
13. Киселев В. А. Строительная механика. Общий курс.–М.: Стройиздат. 1986.С.366.
14. Лейтес С.Д. Устойчивость сжатых стальных стержней.–М.: Стройиздат. 1954. -186 с.
15. Трушев А.Г. Пространственные металлические консрукции.–М.: Стройиздат. 1983. С146-148.
16. Власов В.З. Общая теория оболочек и ее приложение в технике. М.1949
17. Лурье А.И. Статика оболочек. М. 1970
18. Филин А.П. Элементы оболочек теории. - Л. 1970
19. Пастернак П. Л. и др., Железобетонные конструкции. Специальный курс, М. 1961
20. Гвоздев А. А. Еще о безмоментной теории оболочек. Строительная промышленность №2, 1933

21. Овечкин А. М. Расчет железобетонных осесимметричных конструкций, М. 1961
22. Ржаницин А. А. Пологие оболочки и волнистые настилы. Научное сообщ., ЦНИИСК. Вып. 14, М., 1960
23. СНИП-П.01.07-85. Нагрузки и воздействия. –М.:Гострой СССР. 1987. 34 с.
24. Савельев В. А. Прочность и устойчивость металлических сетчатых болшепрелотных куполов.–Диссер. На соискание ученой степени к.т.н. – М.: 1966. -156 с.
25. Тимошенко С. П. Устойчивость упругих систем. М.Л. ОГРИЗ Гостехиздат, 1946. 532 с.
26. ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко, ГОССТРОЯ СССР. Рекомендации по проектированию структурных конструкций, Москва строиздат 1984.
27. ო. ბერიშვილი „თანამედროვე თხელკედლიანი სივრცითი კონსტრუქციები“ თბილისი 1972.
28. В. Таиров «Сетчатые пространственные конструкции» издательство «Будиниульник» Киев 1966
29. Фереичик П. Точачек М. Предварительно напряженные стальные конструкции. Стройиздат Москва 1979
30. Беленя Е.И. Предварительно напряженные несущие металлические конструкции. Стройиздат Москва 1975
31. Михаилишев В.Я. Практический метод расчета оптимальных металлических конструкции с типовыми элементами и известия вузов. Строительства и архитектура. 1970 # 8
32. Радциг Ю.А. Статистически неопределимые фермы наименьшего веса. Издательство Казанського университета. Казань 1969
33. Трофимович В.В. Пермяков В.А. Проектирование Предварительно напряженных вантовых систем. Киев "Будивельник" 1970
34. Васильев А.А. оптимальные параметры стальных балок с однократным предварительным напряжением. Строительная механика и расчет сооружений. 1961 # 1
35. Гайдаров Ю.В. Чепурной Н.Н. Оптимальные параметры двух шарнирных рам с предварительно-напряженным стальным ригелем. Сб. трудов ЛИИЖТа, # \_ 239М "Транспорт" 1965
36. Лейтис С.Д. Об устойчивости нецентральное сжатого предварительно-напряженного стержня при упругопластической работе материала. Труды III Международной конференции по предварительно-напряженным металлическим конструкциям. СССР, 1971.
37. Mangle G. Constructions en acier precompilées-". O stature metallic" #6 1950
38. Вахуркин В.М. Мутодика определения рациональных сечений асимметричных двухтавров для нецентральное сжатых стержней. Проектстальконструкция. "Материалы по стальным конструкциям" 1 М., Госстройиздат, 1957

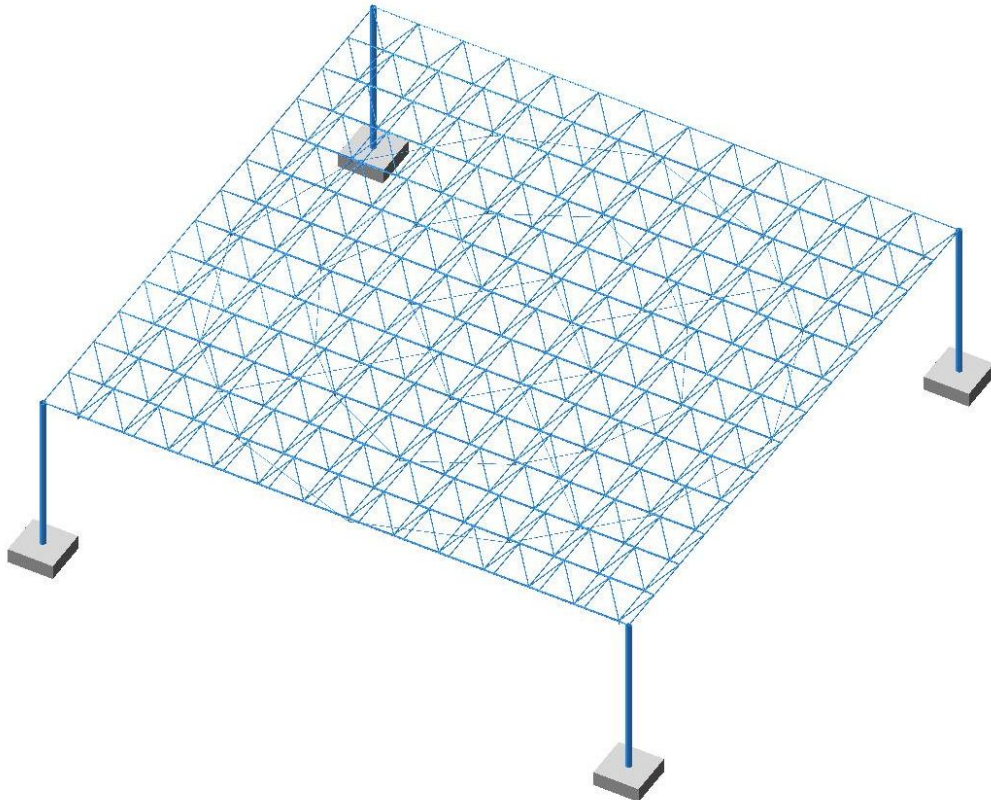
39. Сперанский Б.А. решетчатые металлические предварительно-напряженные конструкции. М., Стройиздат 1970
40. Васильков Ф.В. предварительно-напряженные балки для промышленного строительства. Сборник трудов Гипермиза #3 1967
41. Сушенцев Б.М. Исследование работы стальных канатов без органического 4' сундучника при кратковременных и длительных нагрузках. Труды III Международной конференции по предварительно-напряженным металлическим конструкциям. СССР. 1971
42. Беления Е.И., Маренин В.Ф., Второв Б.М. Вопросы повышения эффективности предварительно-напряженных конструкций. "Промышленное строительство" 1972 # 3
43. Воеводин А.А. Устойчивость предварительно-напряженной шпренгельной стойки. Труды НИИР, вып. 2, 1970
44. Романов В.П. Об устойчивости многостоечного шпренгеля. "Строительная механика и расчет сооружений", 1966 # 1
45. Гайдаров Ю.В. Предварительно напряженные металлические конструкции. "Стройиздат" 1971.
46. Стрелецкий Н.Н. Прочность стальных предварительно-напряженных балок. "Промышленное строительство", 1961 # 2
47. Зевин А.А., Чернов Н.И. Экспериментальное исследование предварительно-напряженных стальных балок за пределами упругости при подвижных нагрузках. "Известия вузов. Строительство и архитектура". 1967 # 1
48. Бебнева Г.Б. Выносливость предварительно-напряженных балок. Труды III Международной конференции по предварительно-напряженным металлическим конструкциям. СССР. 1971
49. Беления Е.И., Астряб С.М. Вопросы о прочности предварительно-напряженных цилиндрических круговых оболочек. "Материалы по металлическим конструкциям", вып. 13., Стройиздат 1968
50. Гофман Г.П. Предварительно-напряженные стальные пространственные подкрановые блоки. "Промышленное строительство". 1967 # 8
51. Клинов И.Г. Экспериментальное и теоретическое исследование некоторых балок. Ленинград 1954
52. Третья международная конференция по предварительно-напряженным металлическим конструкциям. Доклады. Ленинград 1971
53. Ягубов Б.Б. Предварительно напряженные системы перекрестных балок при помощи осадки опор. Труды III Международной конференции по предварительно-напряженным металлическим конструкциям. СССР. 1971
54. Mangle G. Long prestressed steel truss crane for Belgian Hangar. "Civil Engineering", # 10, 1954
55. Вахуркин В.М. Предварительно напряженные элементы стальных конструкций. Бюллетень строительной техники, 1949 #18
56. Кирсанов Н.М. Висячие системы повышенной прочности. М., Стройиздат. 1973

57. Коршун Л.И. Проектирование оптимальных предварительно-напряженных ферм допустимой жесткости на основе методов математического программирования. Труды III Международной конференции по предварительно-напряженным металлическим конструкциям. СССР. 1971
58. Ольков Я.И. Холопов И.С. Алгоритм расчета статистики неопределимых предварительно-напряженных ферм наименьшего объема на ЭЦВМ. Труды III Международной конференции по предварительно-напряженным металлическим конструкциям. СССР. 1971
59. Пихтарников Я.М. Металлические конструкции. Методы технико-экономического анализа при проектировании. М. Стройиздат 1968
60. Колесниченко В.Г. Экспериментальная целесообразность, предварительного напряжения в стальных фермах. "Промышленное строительство". 1969. # 9
61. Ведеников Г.С. К расчету многопролетных висячих покрытий. "Строительная механика и расчет сооружений". 1970 #5
62. Размадзе А.Н. Пагава О.Е. Мелашвили Ю.К. Бидзинашвили Р.И. Исследование предварительно-напряженных комбинированных вантовых ферм. Труды III Международной конференции по предварительно-напряженным металлическим конструкциям. СССР. 1971
63. Москалев Н.С. Новые висячие покрытия. "Известия вузов. Строительство и архитектура". 1972 #7
64. Савицкий Г.А. Ройтштейн М.М. Роль предварительного напряжения в вантово стержневых конструкциях. Труды III Международной конференции по предварительно-напряженным металлическим конструкциям. СССР. 1971
65. Диденко В.Н. Преднапряженные шпренгельные стержни. "Промышленное ^ строительство и инженерные сооружения". 1970 # 3
66. Слоним Э.Я. Особенности работы висячих однопролетных решетчатых вантовых ферм. "Материалы по металлическим конструкциям." вып. 11, 1966
67. Стрелецкий Н.Н. Сталежелезобетонные мосты. М. "Транспорт" 1965. й. Справочник проектировщика, "расчетно-теоретический" Том 1 "Стройиздат" М. 1972
68. ტ. კვიციანი „თეორიული მექანიკის კურსი“ თბილისი 2011.
69. სამშენებლო ნორმები და წესები – „სეისმომედეგი მშენებლობა“ (პნ 01.01-09)
70. დაპროექტების ნორმები – „სამშენებლო კლიმატოლოგია“
71. „სამშენებლო რესურსების ფასები“, საქართველოს მშენებლობის შემფასებელთა კავშირი, თბილისი, IV, 2012 წ.
72. ზ. ეზუგბაია, გ. იოსებაშვილი, ი. ირემაშვილი შენობებისა და ნაგებობების აგების ტექნოლოგია, თბილისი 2012 წ.

ရ သ င် သ ရ တ ဝ

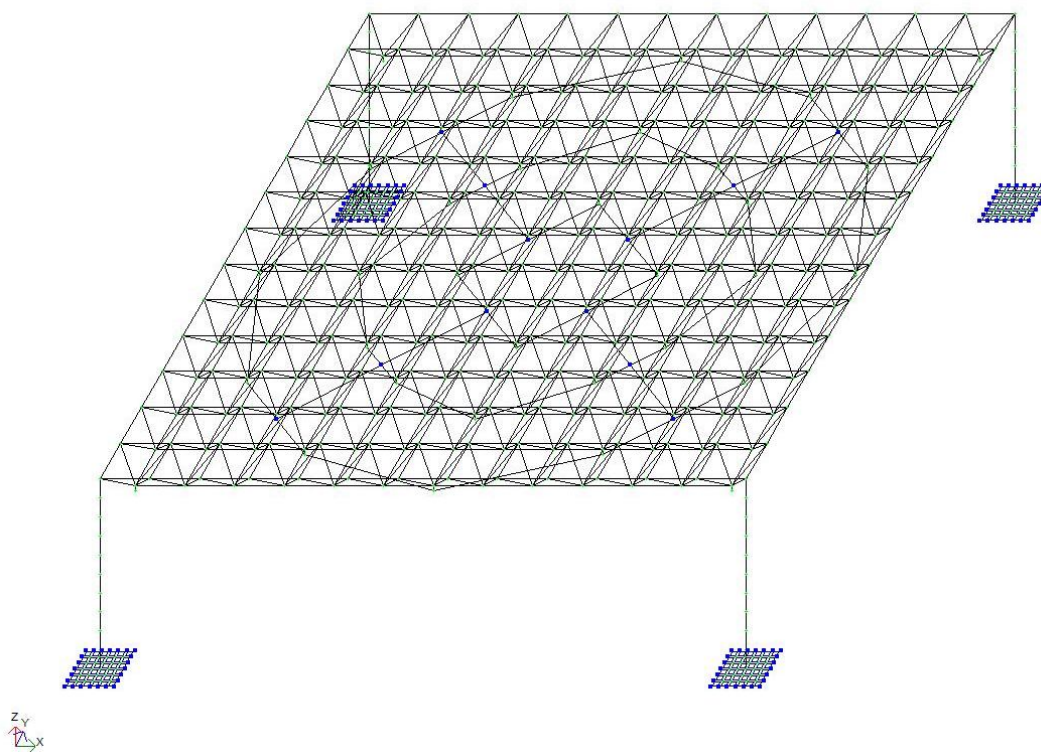
ახალი ტიპის წინასწარდამაბული რეგულარული (სტრუქტურული)  
სივრცითი კონსტრუქცია I ვარიანტი (ბრტყელი)

*სივრცითი მოდელი*

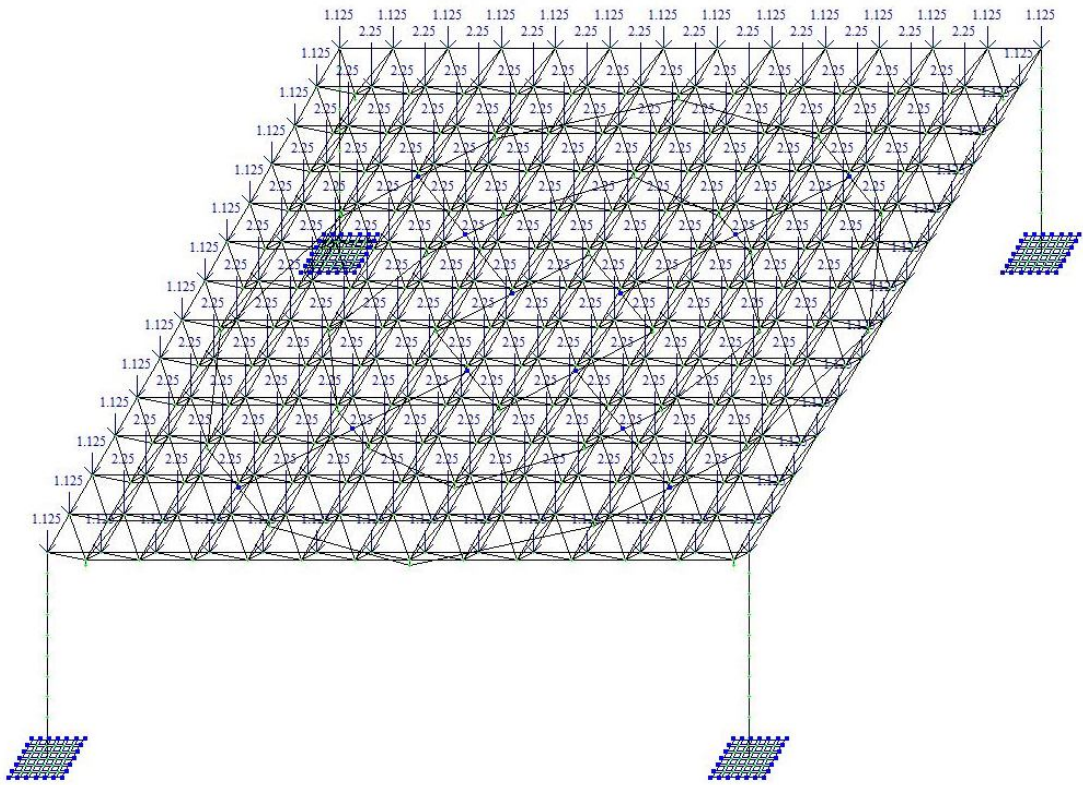




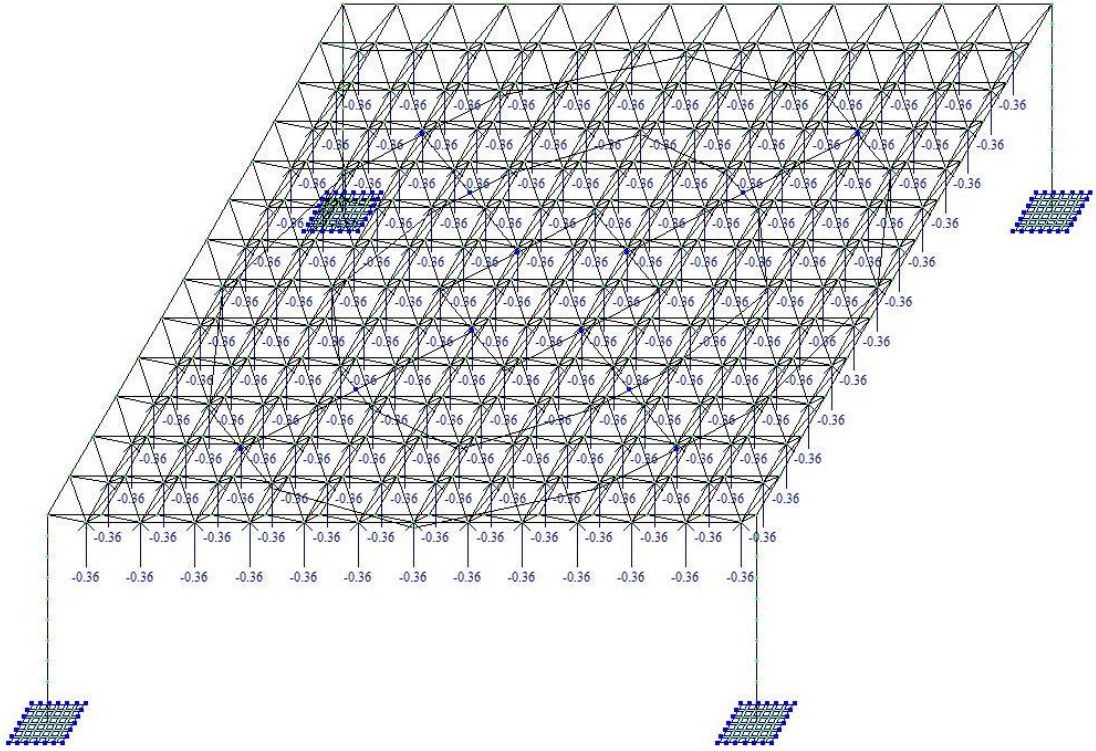
სახანგარიშო სქემა (მოდელი)



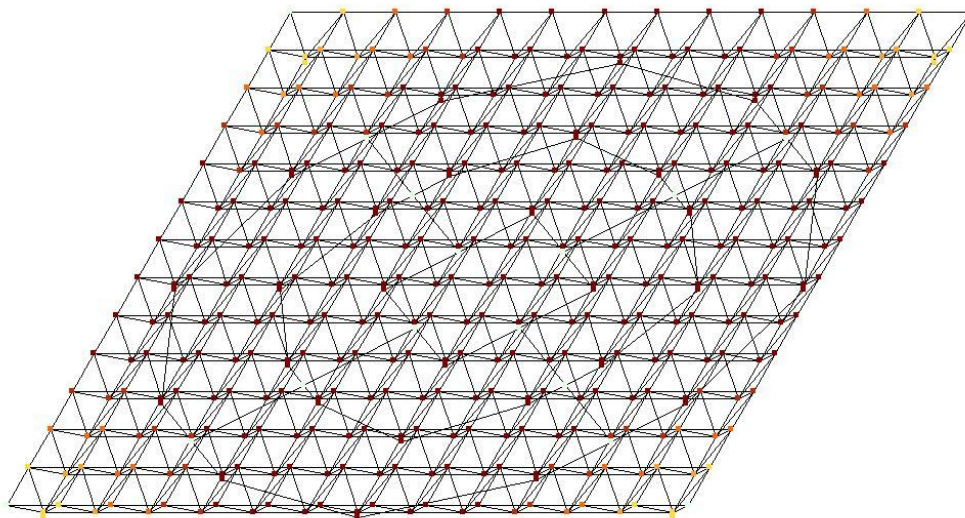
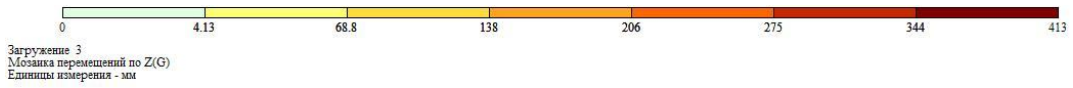
თოვლის დატვირთვის საანგარიშო სქემა



ქარის დატვირთვის საანგარიშო სქემა

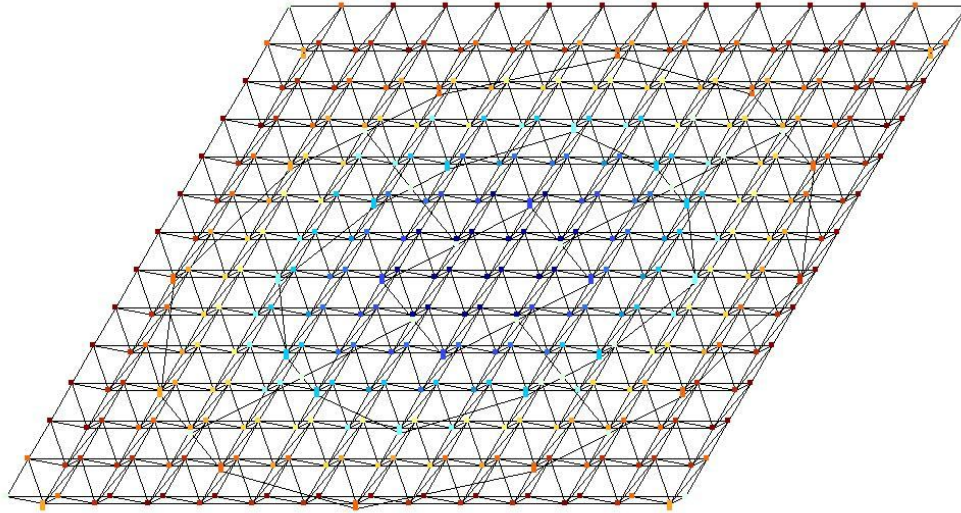


სტრუქტურული კონსტრუქციის კვანძების გადაადგილებები Z  
ღერძის მიმართულებით ქარის დატვირთვაზე

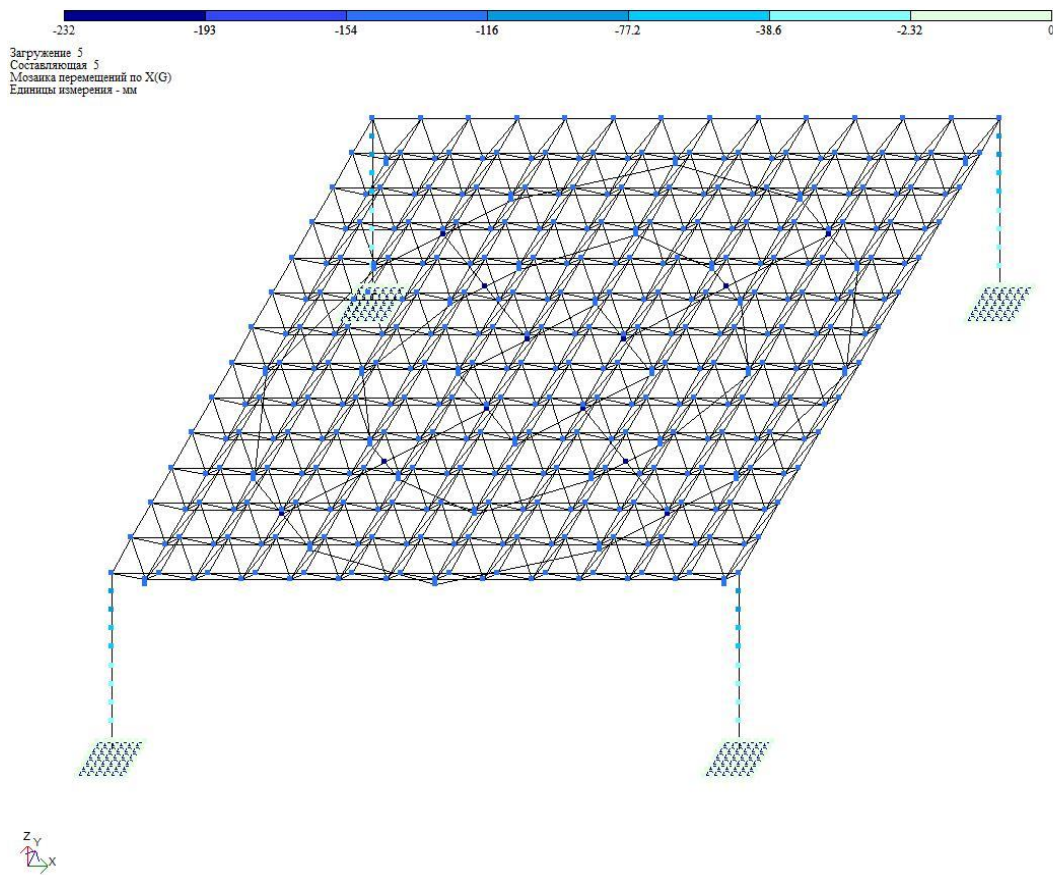


სტრუქტურული კონსტრუქციის კვანძების გადაადგილებების საბოლოო  
სახე Z ღერძის მიმართულებით ჯამურად ყველა დატვირთვის  
მოქმედებისას

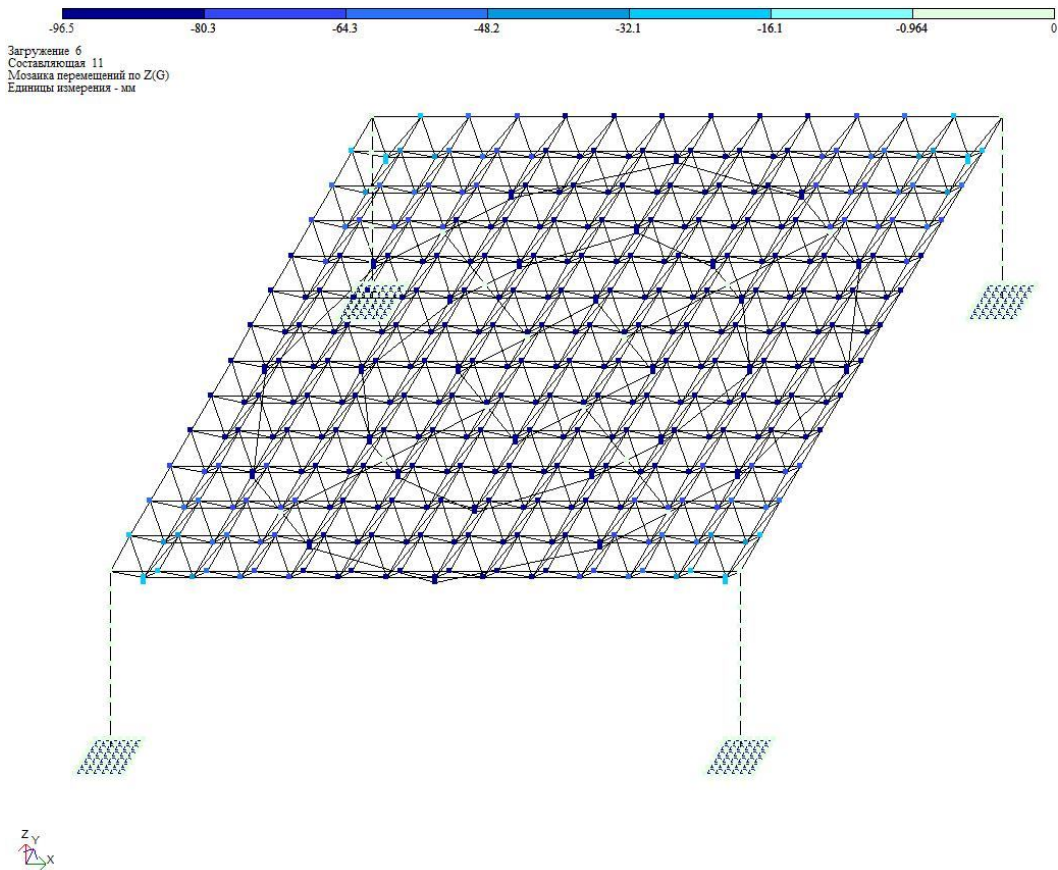
1  
Мозаика перемещений по Z(G)  
Единицы измерения - мм



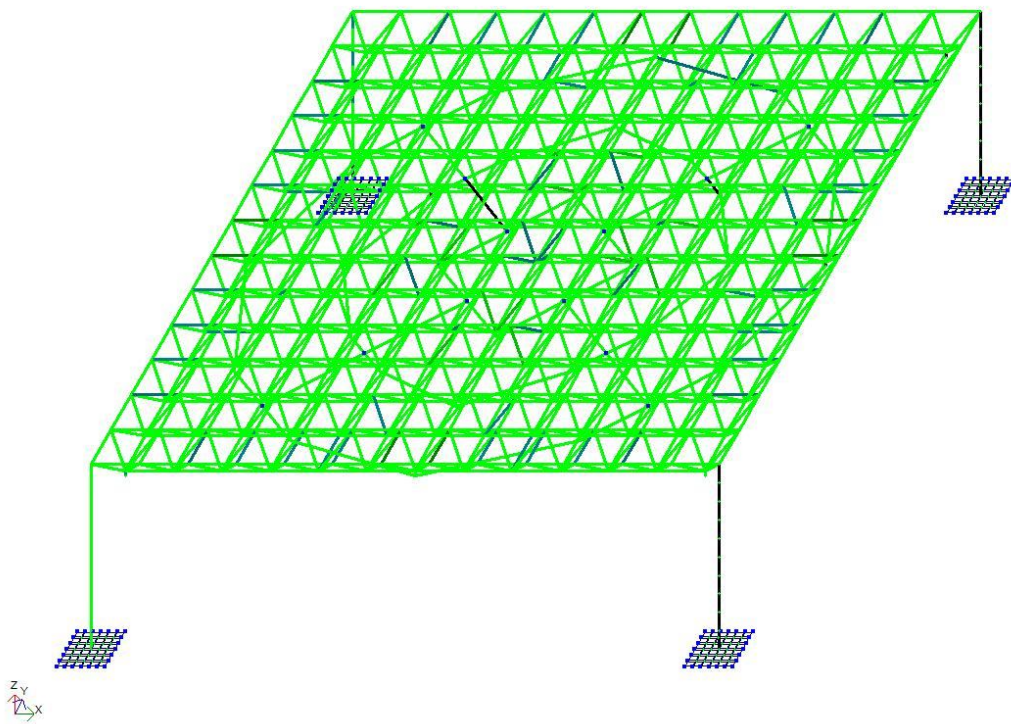
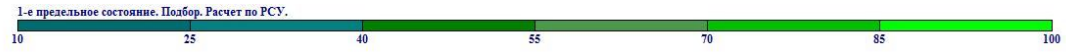
გადაადგილება  $X$  ღერძის მიმართულებით  
სეისმური ზემოქმედებისას



# გადაადგილება Z ღერძის მიმართულებით სეისმური ზემოქმედებისას

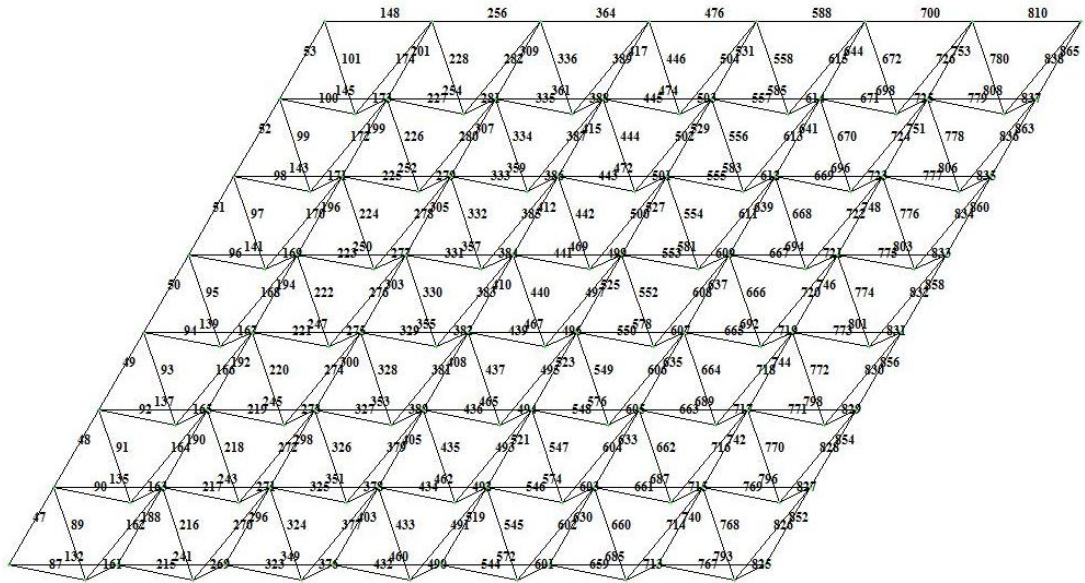


შერჩეული კვეთის ზიდვის უნარის გამოყენების პროცენტების განაწილება  
კონსტრუქციის ღეროებში

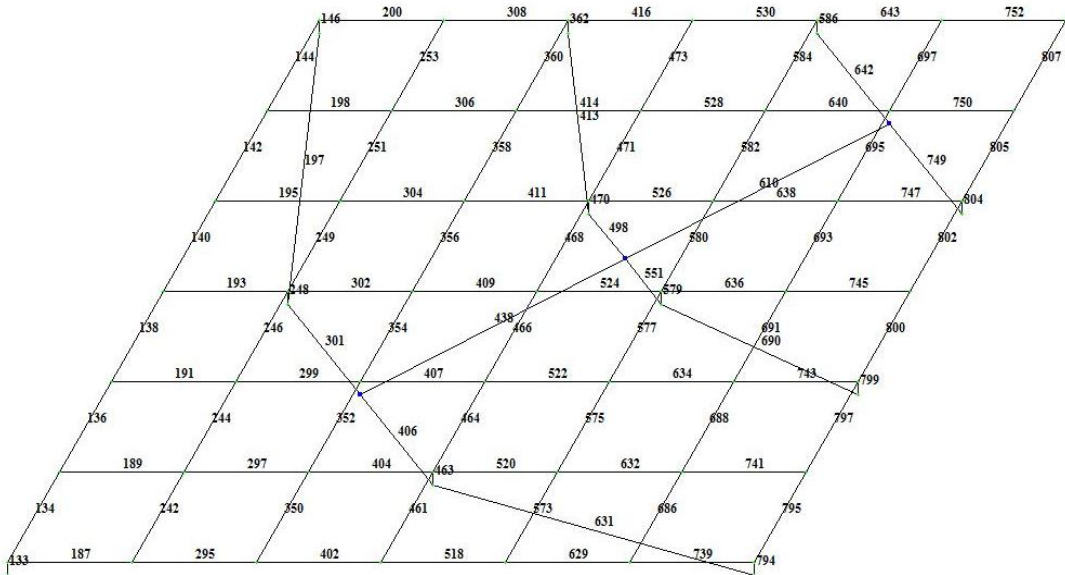




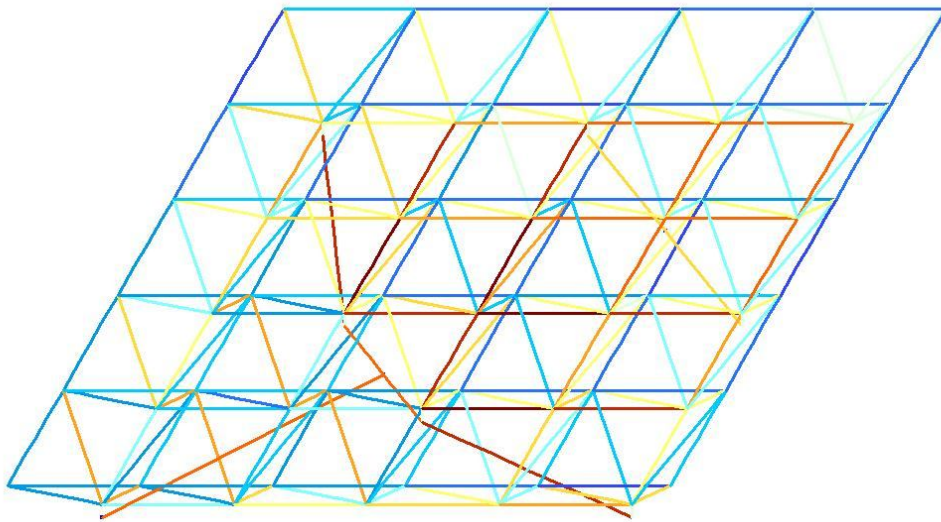
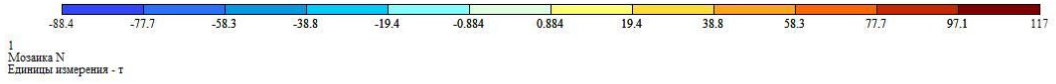
## სტრუქტურის პირამიდების ღეროვანი ელემენტების ნუმერაცია



## სტრუქტურული კონსტრუქციის ქვედა სარტყელის ელემენტების ნუმერაცია

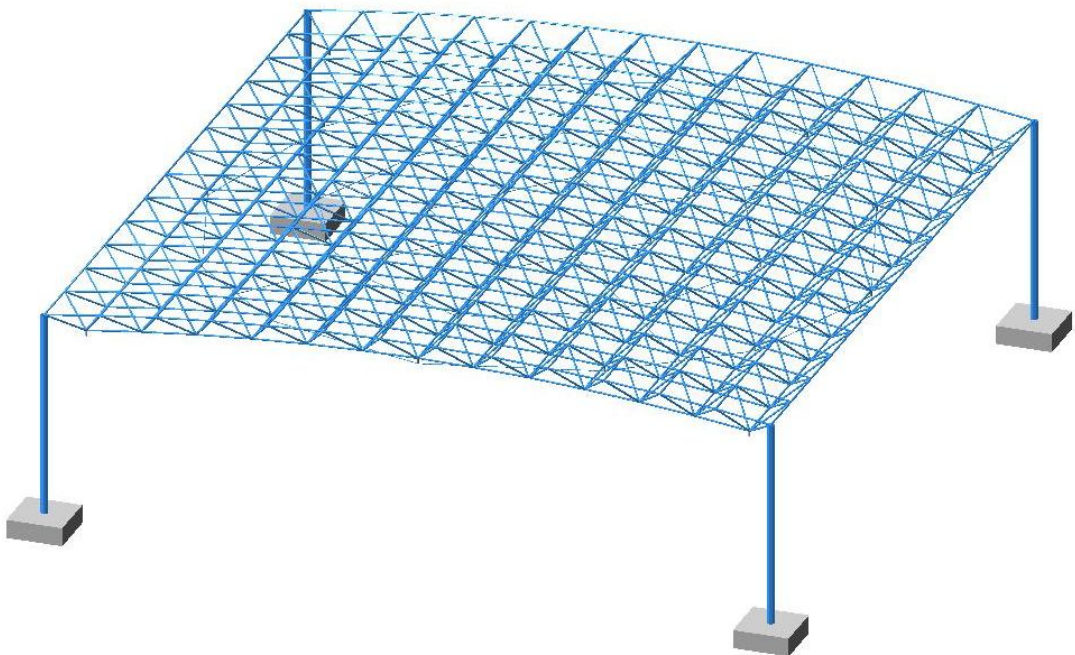


სტრუქტურული კონსტრუქციის ელემენტებში აღძრული გრძივი  
ძალები განაწილების სქემა  
(თვალსაჩინოებისათვის წარმოდგენილია მეოთხედი სტრუქტურა)

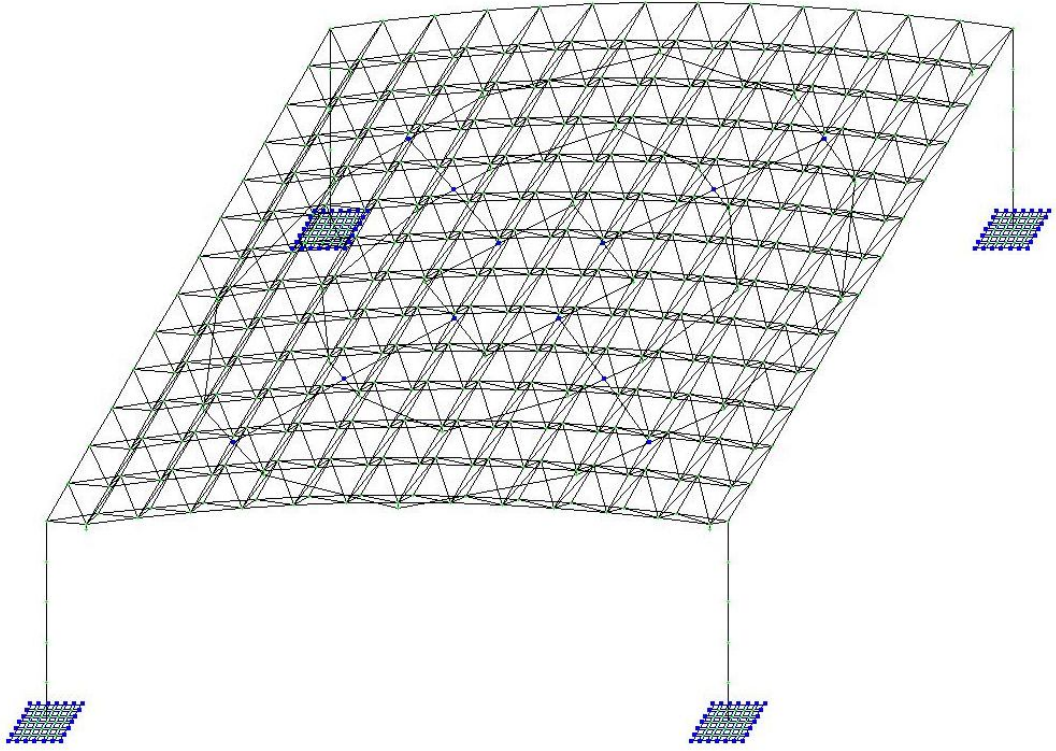


ახალი ტიპის წინასწარდამაბული რეგულარული (სტრუქტურული)  
სივრცითი კონსტრუქცია II ვარიანტი (ცილინდრული ფორმის გადახურვა)

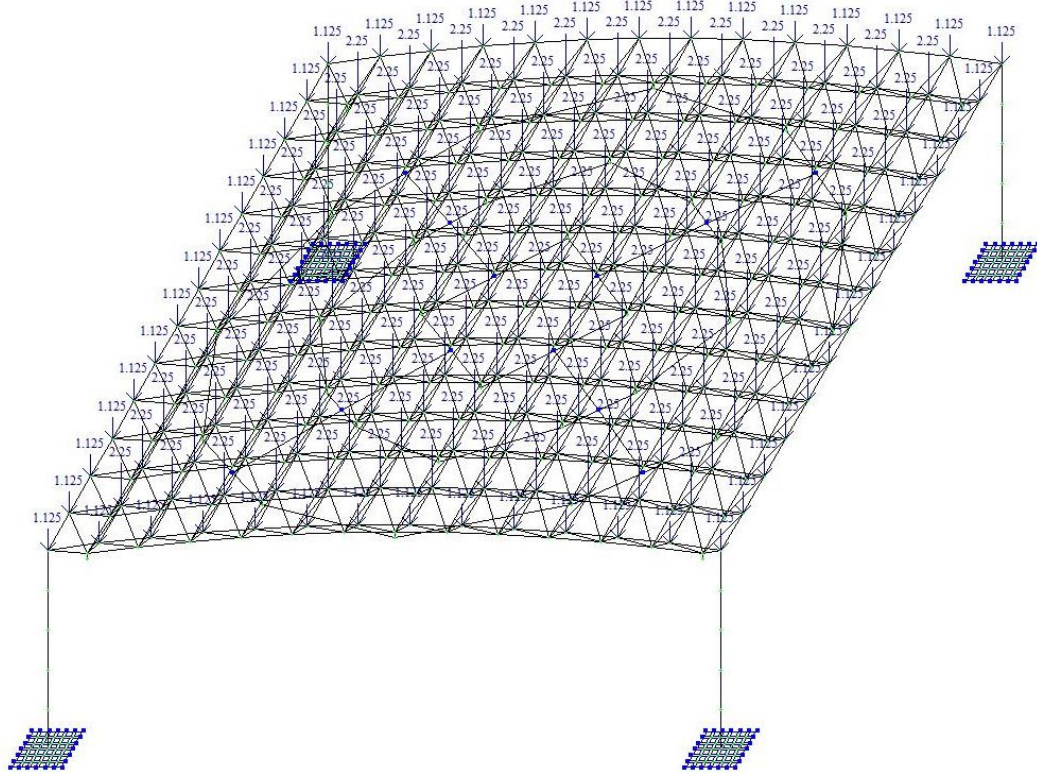
*სივრცითი მოდელი*



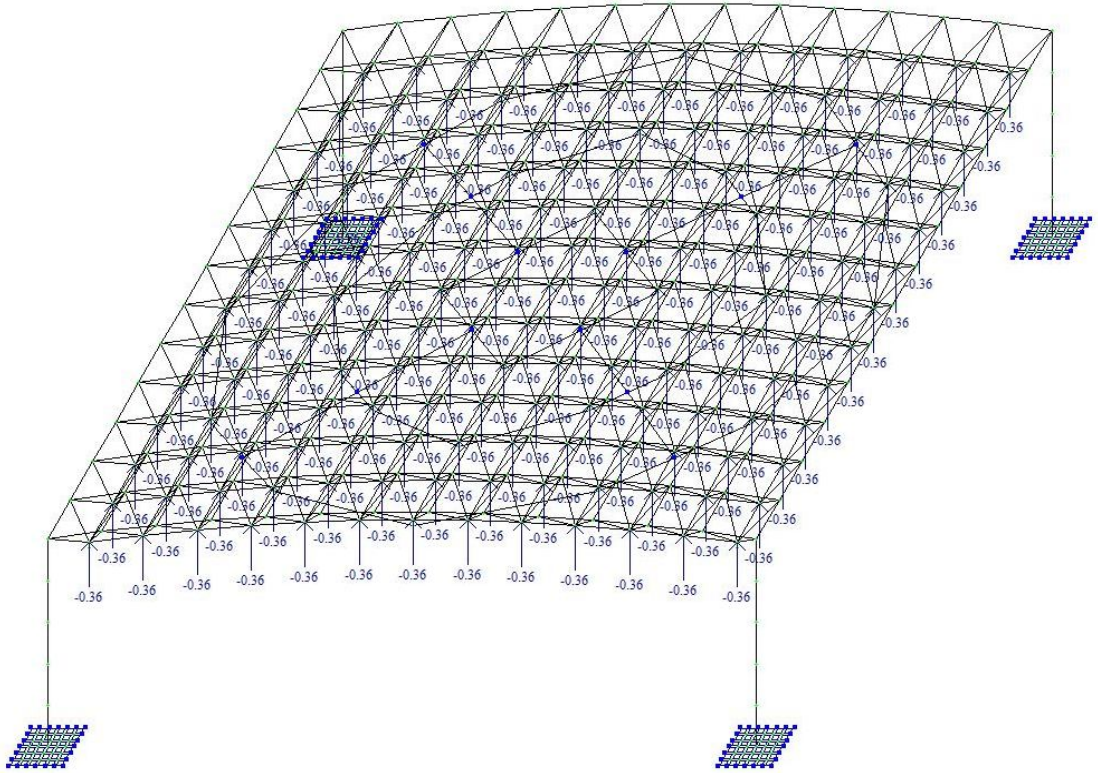
სანგარიშო სქემა (მოდელი)



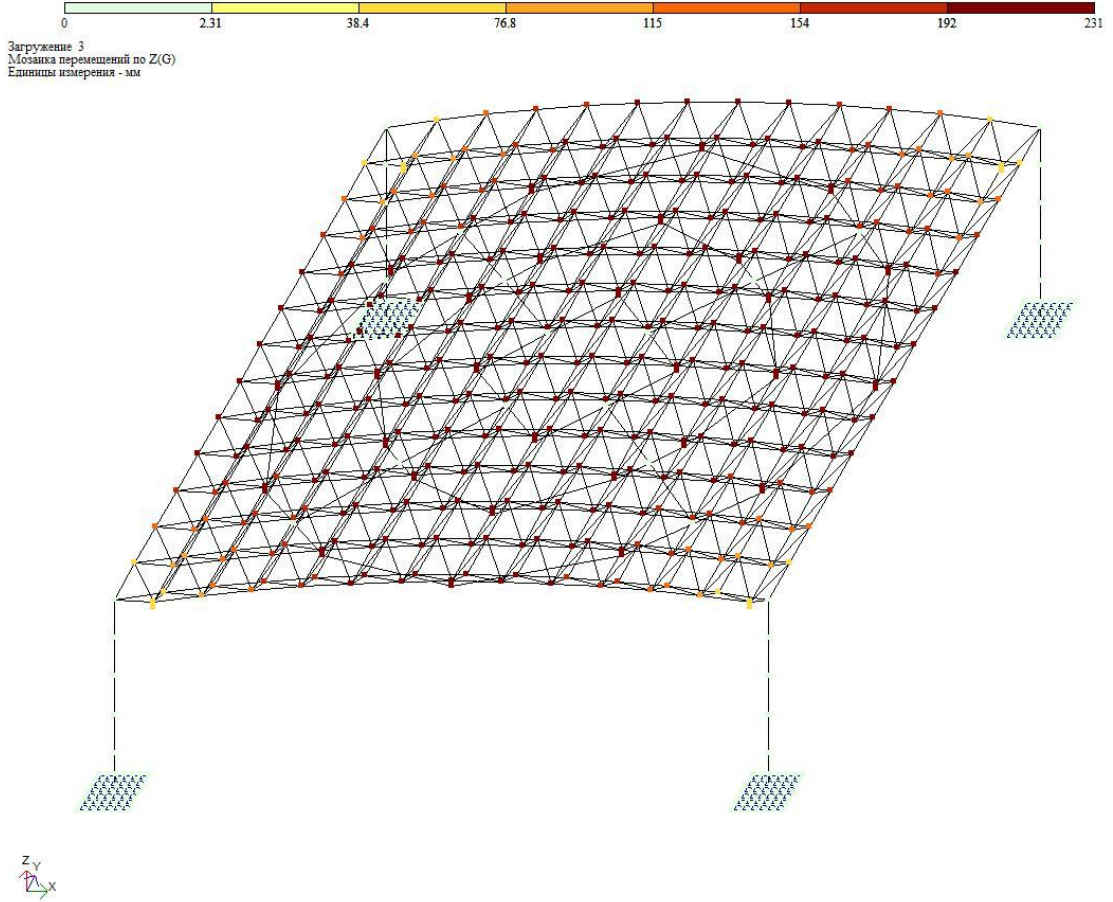
## თოვლის დატვირთვის საანგარიშო სქემა



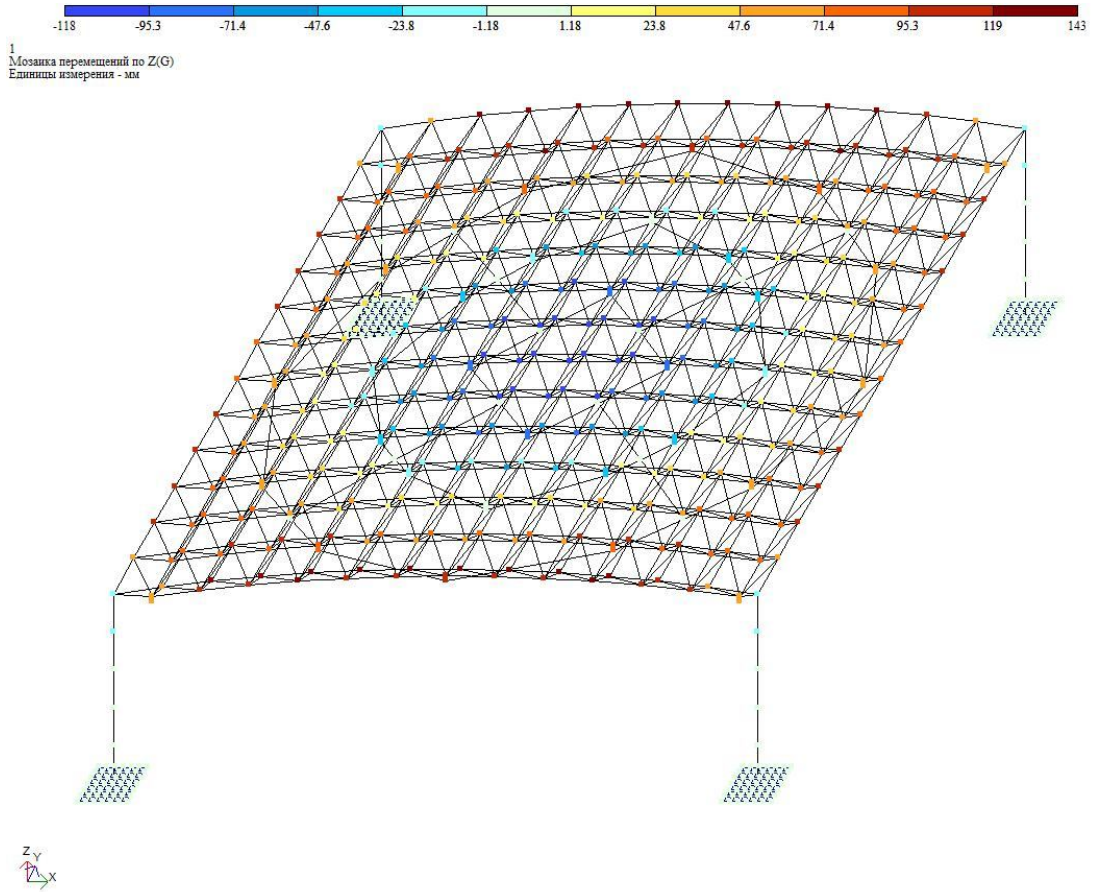
ქარის დატვირთვის საანგარიშო სქემა



სტრუქტურული კონსტრუქციის კვანძების გადაადგილებები Z  
დერძის მიმართულებით ქარის დატვირთვაზე

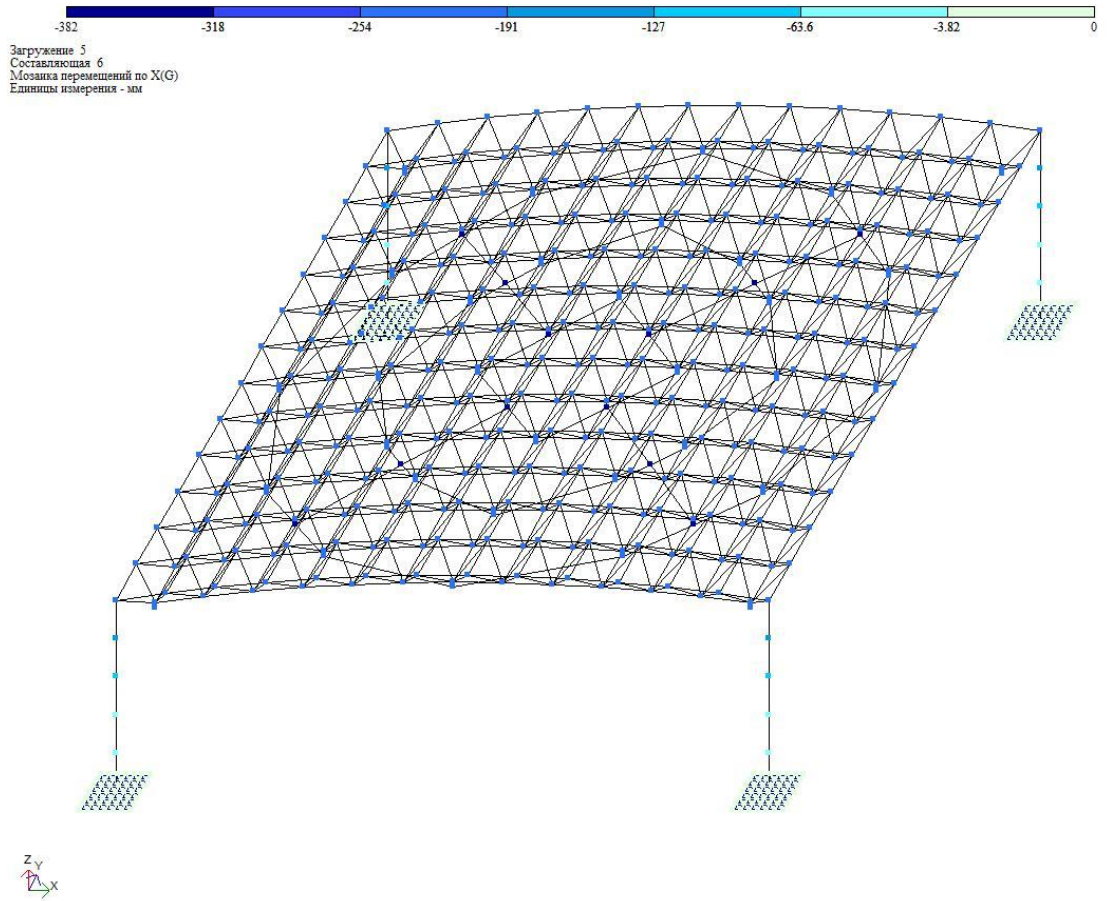


სტრუქტურული კონსტრუქციის კვანძების გადაადგილებების საბოლოო  
სახე Z ღერძის მიმართულებით ჯამურად ყველა დატვირთვის  
მოქმედებისას

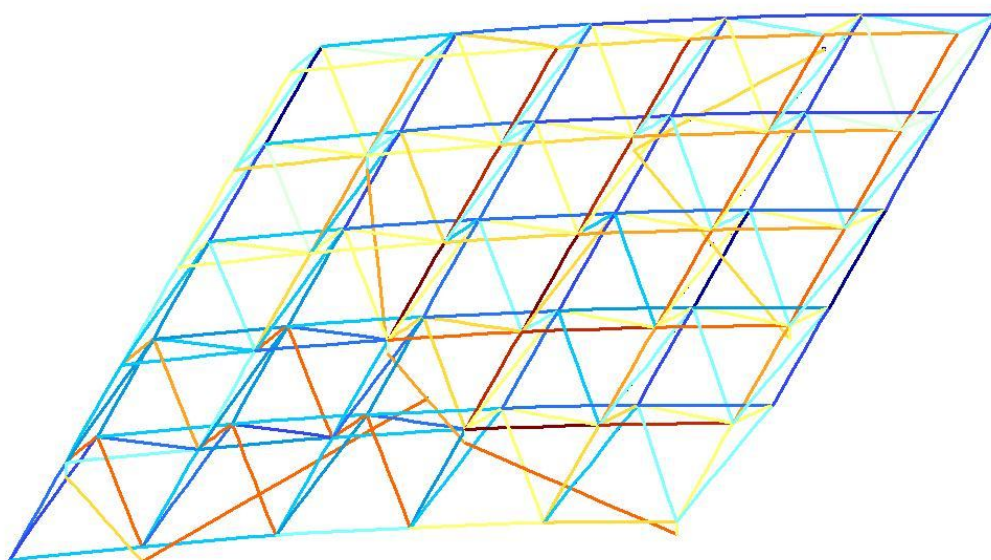




გადაადგილება X ღერძის მიმართულებით  
სეისმური ზემოქმედებისას

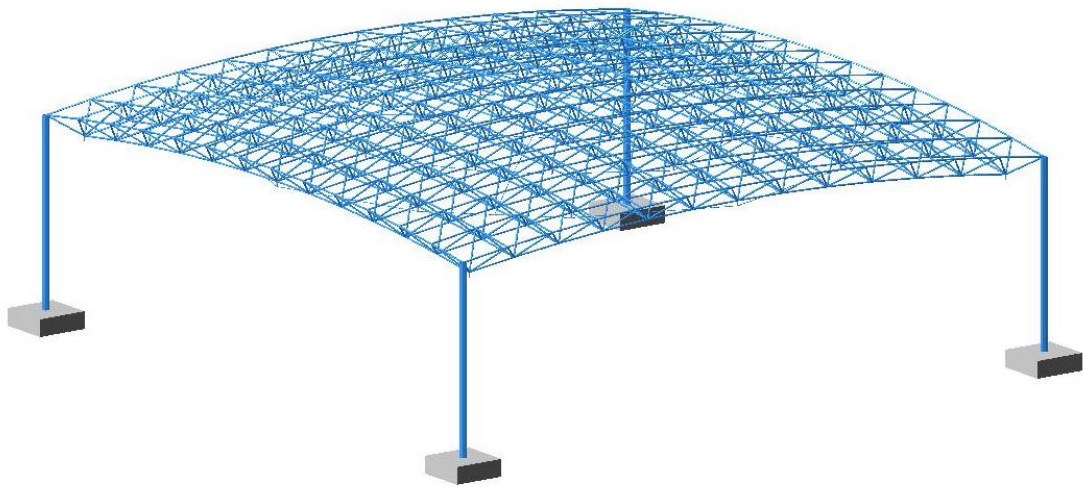


სტრუქტურული კონსტრუქციის ელემენტებში აღძრული გრძივი  
ძალები განაწილების სქემა  
(თვალსაჩინოებისათვის წარმოდგენილია მეოთხედი სტრუქტურა)

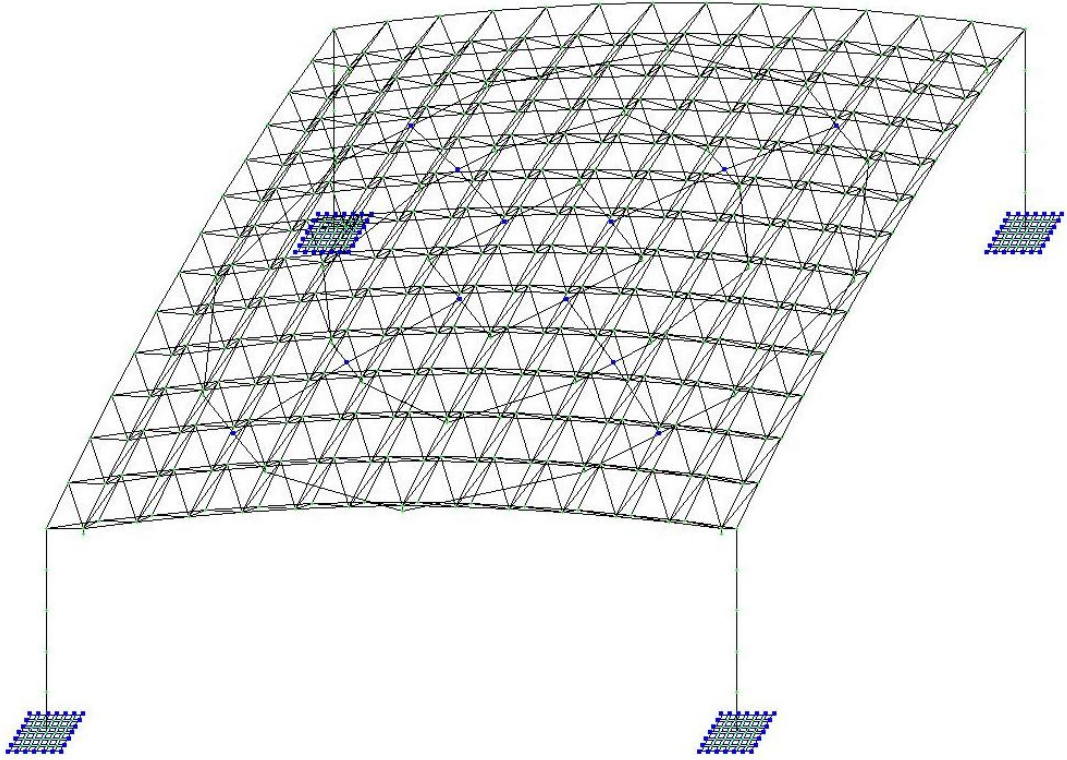


ახალი ტიპის წინასწარდამაბული რეგულარული (სტრუქტურული)  
სივრცითი კონსტრუქცია II ვარიანტი (ცილინდრული ფორმის გადახურვა)

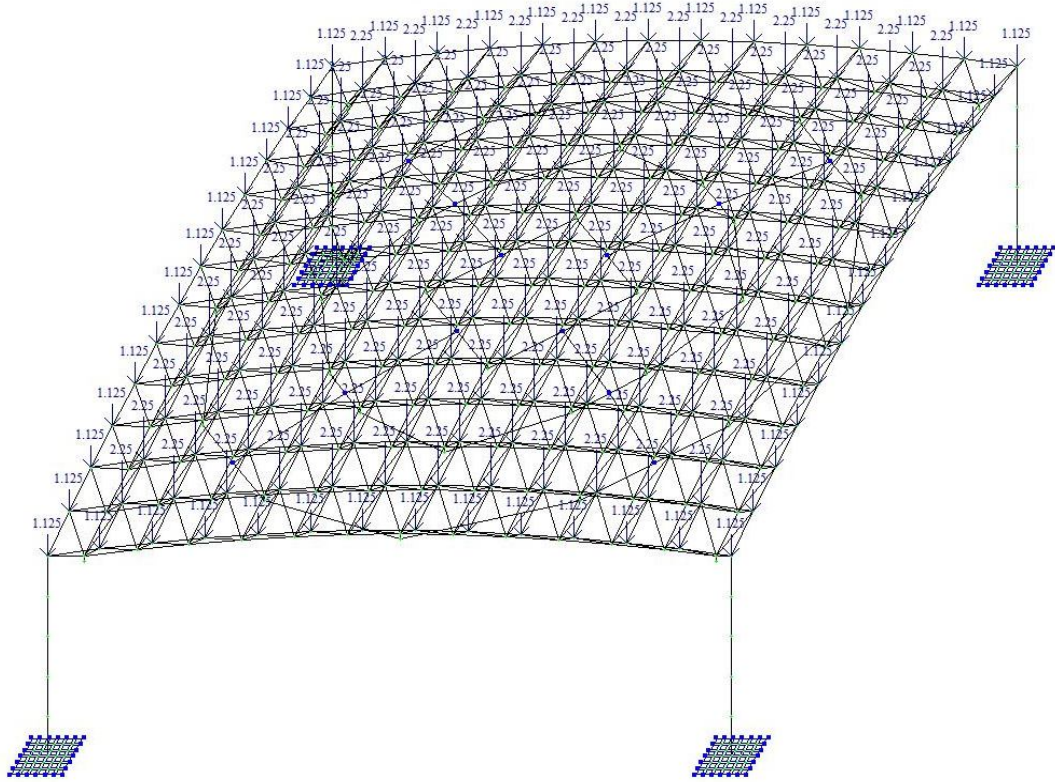
*სივრცითი მოდელი*



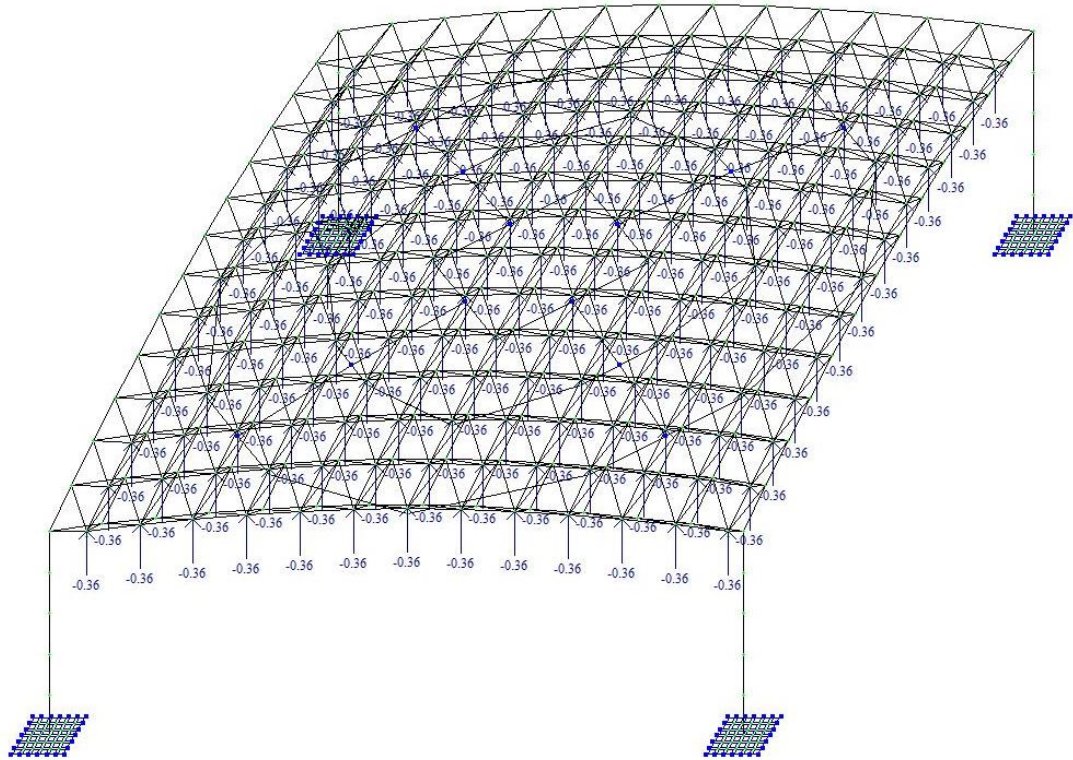
სახანგარიშო სქემა (მოდელი)



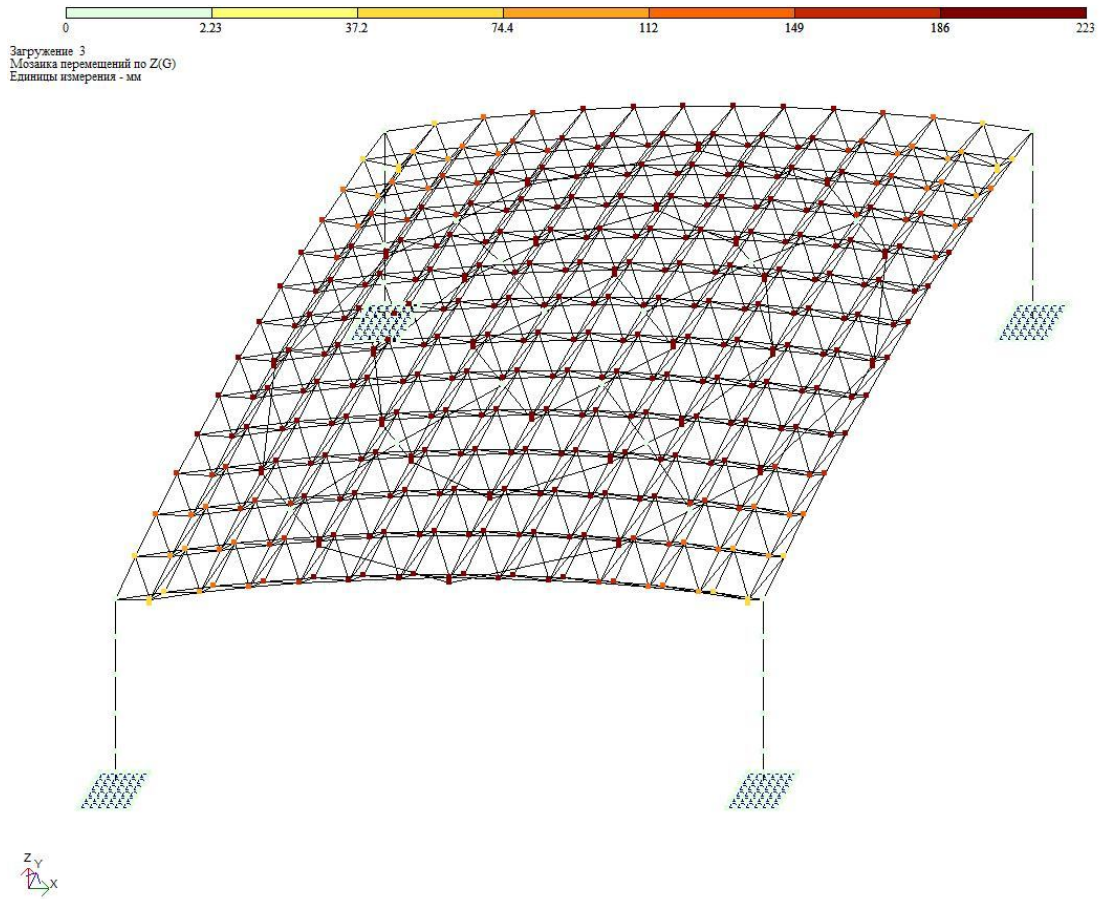
თოვლის დატვირთვის საანგარიშო სქემა



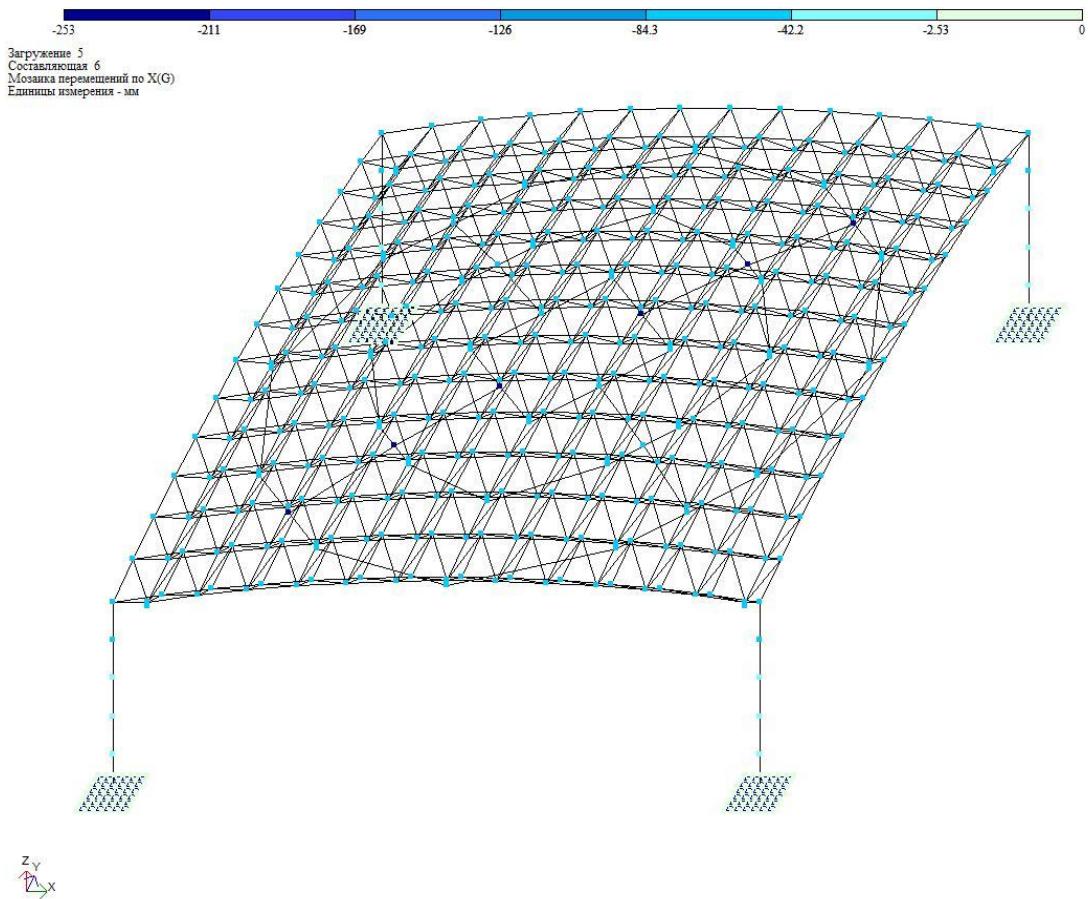
## ქარის დატვირთვის საანგარიშო სქემა



სტრუქტურული კონსტრუქციის კვანძების გადაადგილებები Z  
ღერძის მიმართულებით ქარის დატვირთვაზე



გადაადგილება X ღერძის მიმართულებით  
სეისმური ზემოქმედებისას





სტრუქტურის (წამწის ელემენტი) ელემენტების კვეთების შერჩევა

Элемент	НС	Шаг ребер (планок)	Приме- чание	Проценты исчерпания несущей способности фермы по сечениям, %									
				нор	УУ1	УЗ1	ГУ1	ГЗ1	УС	УП	1ПС	2ПС	М.У
Сечение: 1. Труба 68 х 5													
Профиль: 68 х 5; ГОСТ 8732 - 78*													
Сталь: С235; ГОСТ 27772-88													
Сортамент: Труба бесшовная горячекатаная. Сокращенный сортамент													
47		Подобрано: 1. Труба 68 х 6											
		Профиль: 68 х 6; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
47	1	0		86	94	94	16	16	91	0	94	16	91
47	2	0		86	94	94	16	16	91	0	94	16	91
48		Подобрано: 1. Труба 68 х 6											
		Профиль: 68 х 6; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
48	1	0		100	55	55	30	30	44	0	100	30	44
48	2	0		100	55	55	30	30	44	0	100	30	44
49		Подобрано: 1. Труба 68 х 6											
		Профиль: 68 х 6; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
49	1	0		100	83	83	23	23	74	0	100	23	74
49	2	0		100	83	83	23	23	74	0	100	23	74
50		Подобрано: 1. Труба 68 х 6											
		Профиль: 68 х 6; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
50	1	0		92	99	99	14	14	97	0	99	14	97
50	2	0		92	99	99	14	14	97	0	99	14	97
51		Подобрано: 1. Труба 68 х 6											
		Профиль: 68 х 6; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
51	1	0		91	97	97	13	13	96	0	97	13	96
51	2	0		91	97	97	13	13	96	0	97	13	96
52		Подобрано: 1. Труба 68 х 6											
		Профиль: 68 х 6; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
52	1	0		92	98	98	12	12	98	0	98	12	98
52	2	0		92	98	98	12	12	98	0	98	12	98
53		Подобрано: 1. Труба 68 х 6											
		Профиль: 68 х 6; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											

53	1	0		94	99	99	11	11	99	0	99	11	99
53	2	0		94	99	99	11	11	99	0	99	11	99
87		Подобрано: 1. Труба 68 x 6											
		Профиль: 68 x 6; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
87	1	0		100	0	0	17	17	0	0	100	17	0
87	2	0		100	0	0	17	17	0	0	100	17	0
89		Подобрано: 1. Труба 68 x 6											
		Профиль: 68 x 6; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
89	1	0		100	0	0	20	20	0	0	100	20	0
89	2	0		100	0	0	20	20	0	0	100	20	0
90		Подобрано: 1. Труба 70 x 5											
		Профиль: 68 x 6; ГОСТ 8732 - 78*											
90	1	Сталь: С235; ГОСТ 27772-88						16	95	0	99	16	95
90	2	0		90	98	98	16	16	95	0	98	16	95
91		Подобрано: 1. Труба 68 x 6											
		Профиль: 68 x 6; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
91	1	0		82	99	99	26	26	86	0	99	26	86
91	2	0		82	99	99	26	26	86	0	99	26	86
92		Подобрано: 1. Труба 68 x 4											
		Профиль: 68 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
92	1	0		100	0	0	31	31	0	0	100	31	0
92	2	0		100	0	0	31	31	0	0	100	31	0
93		Подобрано: 1. Труба 68 x 4											
		Профиль: 68 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
93	1	0		80	98	98	27	27	84	0	98	27	84
93	2	0		80	98	98	27	27	84	0	98	27	84
94		Подобрано: 1. Труба 50 x 8											
		Профиль: 50 x 8; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
94	1	0		99	0	0	27	27	0	0	99	27	0
94	2	0		99	0	0	27	27	0	0	99	27	0
95		Подобрано: 1. Труба 50 x 8											
		Профиль: 50 x 8; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
95	1	0		77	94	94			81		94		81

							27	27		0		27	
95	2	0		77	94	94	27	27	81	0	94	27	81
96		Подобрано: 1. Труба 50 x 8											
		Профиль: 50 x 8; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
96	1	0		100	0	0	57	57	0	0	100	57	0
96	2	0		100	0	0	57	57	0	0	100	57	0
97		Подобрано: 1. Труба 50 x 8											
		Профиль: 50 x 8; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
97	1	0		73	94	94	30	30	77	0	94	30	77
97	2	0		73	94	94	30	30	77	0	94	30	77
98		Подобрано: 1. Труба 68 x 4.5											
		Профиль: 68 x 4.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
98	1	0		100	0	0	38	38	0	0	100	38	0
98	2	0		100	0	0	38	38	0	0	100	38	0
99		Подобрано: 1. Труба 68 x 4											
		Профиль: 68 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
99	1	0		69	99	99	36	36	73	0	99	36	73
99	2	0		69	99	99	36	36	72	0	99	36	72
100		Подобрано: 1. Труба 32 x 7											
		Профиль: 32 x 7; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
100	1	0		98	0	0	94	94	0	0	98	94	0
100	2	0		98	0	0	94	94	0	0	98	94	0
101		Подобрано: 1. Труба 32 x 7											
		Профиль: 32 x 7; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
101	1	0		98	0	0	94	94	0	0	98	94	0
101	2	0		98	0	0	94	94	0	0	98	94	0
132		Подобрано: 1. Труба 68 x 4											
		Профиль: 68 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
132	1	0		86	94	94	16	16	91	0	94	16	91
132	2	0		86	94	94	16	16	91	0	94	16	91
134		Подобрано: 1. Труба 68 x 4											
		Профиль: 68 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
134	1	0		93	96	96	7	7	99		96	7	99

										0			
134	2	0		93	96	96	7	7	99	0	96	7	99
135		Подобрано: 1. Труба 50 x 4											
		Профиль: 50 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
135	1	0		100	0	0	61	61	0	0	100	61	0
135	2	0		100	0	0	61	61	0	0	100	61	0
136		Подобрано: 1. Труба 68 x 4											
		Профиль: 68 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
136	1	0		94	96	96	8	8	100	0	96	8	100
136	2	0		94	96	96	8	8	100	0	96	8	100
137		Подобрано: 1. Труба 32 x 2.5											
		Профиль: 32 x 2.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
137	1	0		25	0	0	96	96	0	0	25	96	0
137	2	0		25	0	0	96	96	0	0	25	96	0
138		Подобрано: 1. Труба 68 x 4											
		Профиль: 68 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
138	1	0		92	96	96	11	11	97	0	96	11	97
138	2	0		92	96	96	11	11	97	0	96	11	97
139		Подобрано: 1. Труба 32 x 2.5											
		Профиль: 32 x 2.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
139	1	0		27	0	0	96	96	0	0	27	96	0
139	2	0		27	0	0	96	96	0	0	27	96	0
140		Подобрано: 1. Труба 68 x 4											
		Профиль: 68 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
140	1	0		94	100	100	12	12	99	0	100	12	99
140	2	0		94	100	100	12	12	99	0	100	12	99
141		Подобрано: 1. Труба 32 x 2.5											
		Профиль: 32 x 2.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
141	1	0		36	0	0	96	96	0	0	36	96	0
141	2	0		36	0	0	96	96	0	0	36	96	0
142		Подобрано: 1. Труба 68 x 4											
		Профиль: 68 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
142	1	0		93					99				99

					100	100	13	13		0	100	13	
142	2	0		93	100	100	13	13	99	0	100	13	99
143		Подобрано: 1. Труба 32 x 2.5											
		Профиль: 32 x 2.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
143	1	0		26	0	0	96	96	0	0	26	96	0
143	2	0		26	0	0	96	96	0	0	26	96	0
144		Подобрано: 1. Труба 68 x 4											
		Профиль: 68 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
144	1	0		92	99	99	15	15	97	0	99	15	97
144	2	0		92	99	99	15	15	97	0	99	15	97
145		Подобрано: 1. Труба 32 x 2.5											
		Профиль: 32 x 2.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
145	1	0		49	0	0	96	96	0	0	49	96	0
145	2	0		49	0	0	96	96	0	0	49	96	0
148		Подобрано: 1. Труба 32 x 2.5											
		Профиль: 32 x 2.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
148	1	0		49	0	0	96	96	0	0	49	96	0
148	2	0		49	0	0	96	96	0	0	49	96	0
161		Подобрано: 1. Труба 68 x 4											
		Профиль: 68 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
161	1	0		100	0	0	20	20	0	0	100	20	0
161	2	0		100	0	0	20	20	0	0	100	20	0
162		Подобрано: 1. Труба 68 x 4											
		Профиль: 68 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
162	1	0		94	100	100	13	13	98	0	100	13	98
162	2	0		94	100	100	13	13	98	0	100	13	98
163		Подобрано: 1. Труба 68 x 4											
		Профиль: 68 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
163	1	0		100	0	0	13	13	0	0	100	13	0
163	2	0		100	0	0	13	13	0	0	100	13	0
164		Подобрано: 1. Труба 68 x 4											
		Профиль: 68 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
164	1	0		94									

					100	100	13	13	100	0	100	13	100
164	2	0		94	100	100	13	13	100	0	100	13	100
165		Подобрано: 1. Труба 50 x 8											
		Профиль: 50 x 8; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
165	1	0		100	0	0	30	30	0	0	100	30	0
165	2	0		100	0	0	30	30	0	0	100	30	0
166		Подобрано: 1. Труба 68 x 4											
		Профиль: 68 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
166	1	0		83	95	95	21	21	87	0	95	21	87
166	2	0		83	95	95	21	21	87	0	95	21	87
167		Подобрано: 1. Труба 68 x 4											
		Профиль: 68 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
167	1	0		100	0	0	41	41	0	0	100	41	0
167	2	0		100	0	0	41	41	0	0	100	41	0
168		Подобрано: 1. Труба 68 x 4											
		Профиль: 68 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
168	1	0		81	96	96	24	24	86	0	96	24	86
168	2	0		81	96	96	24	24	86	0	96	24	86
169		Подобрано: 1. Труба 32 x 6.5											
		Профиль: 32 x 6.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
169	1	0		100	0	0	93	93	0	0	100	93	0
169	2	0		100	0	0	93	93	0	0	100	93	0
170		Подобрано: 1. Труба 68 x 4											
		Профиль: 68 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
170	1	0		61	93	93	39	39	64	0	93	39	64
170	2	0		61	93	93	39	39	64	0	93	39	64
171		Подобрано: 1. Труба 60 x 3											
		Профиль: 60 x 3; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
171	1	0		38	98	98	59	59	39	0	98	59	39
171	2	0		38	97	97	59	59	39	0	97	59	39
172		Подобрано: 1. Труба 57 x 3											
		Профиль: 57 x 3; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
172	1	0		34	98	98			36		98		36

							62	62		0		62	
172	2	0		34	98	98	62	62	36	0	98	62	36
173		Подобрано: 1. Труба 83 x 3.5											
		Профиль: 83 x 3.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
173	1	0		59	96	96	42	42	61	0	96	42	61
173	2	0		59	96	96	42	42	61	0	96	42	61
174		Подобрано: 1. Труба 50 x 8											
		Профиль: 50 x 8; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
174	1	0		59	96	96	42	42	61	0	96	42	61
174	2	0		59	96	96	42	42	61	0	96	42	61
187		Подобрано: 1. Труба 68 x 4											
		Профиль: 68 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
187	1	0		93	96	96	7	7	99	0	96	7	99
187	2	0		93	96	96	7	7	99	0	96	7	99
188		Подобрано: 1. Труба 50 x 4											
		Профиль: 50 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
188	1	0		100	0	0	61	61	0	0	100	61	0
188	2	0		100	0	0	61	61	0	0	100	61	0
189		Подобрано: 1. Труба 50 x 4											
		Профиль: 50 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
189	1	0		90	98	98	16	16	95	0	98	16	95
189	2	0		90	98	98	16	16	95	0	98	16	95
190		Подобрано: 1. Труба 50 x 4											
		Профиль: 50 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
190	1	0		87	99	99	21	21	91	0	99	21	91
190	2	0		87	99	99	21	21	91	0	99	21	91
191		Подобрано: 1. Труба 50 x 4											
		Профиль: 50 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
191	1	0		67	97	97	37	37	70	0	97	37	70
191	2	0		67	97	97	37	37	70	0	97	37	70
192		Подобрано: 1. Труба 50 x 4											
		Профиль: 50 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
192	1	0		91					96				96

					100	100	16	16		0	100	16	
192	2	0		91	100	100	16	16	96	0	100	16	96
193		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 3											
		Профиль: 63.5 x 3; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
193	1	0		29	89	89	64	64	31	0	89	64	31
193	2	0		29	89	89	64	64	31	0	89	64	31
194		Подобрано: 1. Труба 50 x 4											
		Профиль: 50 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
194	1	0		90	97	97	15	15	95	0	97	15	95
194	2	0		90	97	97	15	15	95	0	97	15	95
195		Подобрано: 1. Труба 32 x 2.5											
		Профиль: 32 x 2.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
195	1	0		27	0	0	96	96	0	0	27	96	0
195	2	0		27	0	0	96	96	0	0	27	96	0
196		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 3											
		Профиль: 63.5 x 3; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
196	1	0		92	100	100	15	15	97	0	100	15	97
196	2	0		92	100	100	15	15	97	0	100	15	97
198		Подобрано: 1. Труба 42 x 3											
		Профиль: 42 x 3; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
198	1	0		98	0	0	72	72	0	0	98	72	0
198	2	0		98	0	0	72	72	0	0	98	72	0
199		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 3											
		Профиль: 63.5 x 3; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
199	1	0		92	97	97	12	12	97	0	97	12	97
199	2	0		92	97	97	12	12	97	0	97	12	97
200		Подобрано: 1. Труба 38 x 6.5											
		Профиль: 38 x 6.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
200	1	0		99	0	0	88	88	0	0	99	88	0
200	2	0		99	0	0	88	88	0	0	99	88	0
201		Подобрано: 1. Труба 57 x 4											
		Профиль: 57 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
201	1	0		91	96	96			96		96		96



							12	12		0		12	
201	2	0		91	96	96	12	12	96	0	96	12	96
215		Подобрано: 1. Труба 57 x 4											
		Профиль: 57 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
215	1	0		90	99	99	16	16	95	0	99	16	95
215	2	0		90	98	98	16	16	95	0	98	16	95
216		Подобрано: 1. Труба 57 x 4											
		Профиль: 57 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
216	1	0		100	0	0	13	13	0	0	100	13	0
216	2	0		100	0	0	13	13	0	0	100	13	0
217		Подобрано: 1. Труба 57 x 4											
		Профиль: 57 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
217	1	0		93	99	99	13	13	98	0	99	13	98
217	2	0		93	99	99	13	13	98	0	99	13	98
218		Подобрано: 1. Труба 57 x 4											
		Профиль: 57 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
218	1	0		100	0	0	26	26	0	0	100	26	0
218	2	0		100	0	0	26	26	0	0	100	26	0
219		Подобрано: 1. Труба 57 x 4											
		Профиль: 57 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
219	1	0		91	99	99	16	16	96	0	99	16	96
219	2	0		91	99	99	16	16	95	0	99	16	95
220		Подобрано: 1. Труба 57 x 4											
		Профиль: 57 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
220	1	0		100	0	0	21	21	0	0	100	21	0
220	2	0		100	0	0	21	21	0	0	100	21	0
221		Подобрано: 1. Труба 57 x 4											
		Профиль: 57 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
221	1	0		84	99	99	23	23	89	0	99	23	89
221	2	0		84	99	99	23	23	89	0	99	23	89
222		Подобрано: 1. Труба 57 x 4											
		Профиль: 57 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
222	1	0			0	0			0				0

				100			20	20		0	100	20	
222	2	0		100	0	0	20	20	0	0	100	20	0
223		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 3											
		Профиль: 63.5 x 3; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
223	1	0		63	96	96	39	39	66	0	96	39	66
223	2	0		63	96	96	39	39	66	0	96	39	66
224		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 3											
		Профиль: 63.5 x 3; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
224	1	0		49	98	98	50	50	51	0	98	50	51
224	2	0		48	98	98	50	50	51	0	98	50	51
225		Подобрано: 1. Труба 60 x 4.5											
		Профиль: 60 x 4.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
225	1	0		99	0	0	44	44	0	0	99	44	0
225	2	0		99	0	0	44	44	0	0	99	44	0
226		Подобрано: 1. Труба 60 x 4.5											
		Профиль: 60 x 4.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
226	1	0		53	97	97	46	46	56	0	97	46	56
226	2	0		53	97	97	46	46	56	0	97	46	56
227		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 3											
		Профиль: 63.5 x 3; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
227	1	0		100	0	0	41	41	0	0	100	41	0
227	2	0		100	0	0	41	41	0	0	100	41	0
228		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 3											
		Профиль: 63.5 x 3; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
228	1	0		100	0	0	41	41	0	0	100	41	0
228	2	0		100	0	0	41	41	0	0	100	41	0
241		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 3											
		Профиль: 63.5 x 3; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
241	1	0		100	55	55	30	30	44	0	100	30	44
241	2	0		100	55	55	30	30	44	0	100	30	44
242		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 3											
		Профиль: 63.5 x 3; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
242	1	0		90	98	98			95		98		95

							16	16		0		16	
242	2	0		90	98	98	16	16	95	0	98	16	95
243		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 3											
		Профиль: 63.5 x 3; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
243	1	0		87	99	99	21	21	91	0	99	21	91
243	2	0		87	99	99	21	21	91	0	99	21	91
244		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 3											
		Профиль: 63.5 x 3; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
244	1	0		90	97	97	15	15	95	0	97	15	95
244	2	0		90	97	97	15	15	95	0	97	15	95
245		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 3											
		Профиль: 63.5 x 3; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
245	1	0		79	94	94	25	25	83	0	94	25	83
245	2	0		79	94	94	25	25	83	0	94	25	83
246		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 3											
		Профиль: 63.5 x 3; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
246	1	0		91	98	98	13	13	97	0	98	13	97
246	2	0		91	98	98	13	13	97	0	98	13	97
247		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 3											
		Профиль: 63.5 x 3; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
247	1	0		75	98	98	31	31	79	0	98	31	79
247	2	0		75	98	98	31	31	79	0	98	31	79
249		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 3											
		Профиль: 63.5 x 3; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
249	1	0		87	98	98	20	20	91	0	98	20	91
249	2	0		87	98	98	20	20	91	0	98	20	91
250		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 3											
		Профиль: 63.5 x 3; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
250	1	0		74	97	97	31	31	78	0	97	31	78
250	2	0		74	97	97	31	31	78	0	97	31	78
251		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 3											
		Профиль: 63.5 x 3; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
251	1	0		88					92				92

					100	100	20	20		0	100	20	
251	2	0		88	100	100	20	20	92	0	100	20	92
252		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 3											
		Профиль: 63.5 x 3; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
252	1	0		63	97	97	39	39	66	0	97	39	66
252	2	0		63	97	97	39	39	66	0	97	39	66
253		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 3											
		Профиль: 63.5 x 3; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
253	1	0		100	97	97	22	22	87	0	100	22	87
253	2	0		100	97	97	22	22	87	0	100	22	87
254		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 3											
		Профиль: 63.5 x 3; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
254	1	0		57	93	93	42	42	59	0	93	42	59
254	2	0		57	93	93	42	42	59	0	93	42	59
256		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 3											
		Профиль: 63.5 x 3; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
256	1	0		57	93	93	42	42	59	0	93	42	59
256	2	0		57	93	93	42	42	59	0	93	42	59
269		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 3											
		Профиль: 63.5 x 3; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
269	1	0		82	99	99	26	26	86	0	99	26	86
269	2	0		82	99	99	26	26	86	0	99	26	86
270		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 3											
		Профиль: 63.5 x 3; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
270	1	0		94	100	100	13	13	100	0	100	13	100
270	2	0		94	100	100	13	13	100	0	100	13	100
271		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 3											
		Профиль: 63.5 x 3; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
271	1	0		100	0	0	26	26	0	0	100	26	0
271	2	0		100	0	0	26	26	0	0	100	26	0
272		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 3											
		Профиль: 63.5 x 3; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
272	1	0		91	98	98			97		98		97

							14	14		0		14	
272	2	0		91	98	98	14	14	97	0	98	14	97
273		Подобрано: 1. Труба 68 x 4											
		Профиль: 68 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
273	1	0		100	0	0	19	19	0	0	100	19	0
273	2	0		100	0	0	19	19	0	0	100	19	0
274		Подобрано: 1. Труба 68 x 4											
		Профиль: 68 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
274	1	0		88	98	98	18	18	93	0	98	18	93
274	2	0		88	98	98	18	18	93	0	98	18	93
275		Подобрано: 1. Труба 68 x 4											
		Профиль: 68 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
275	1	0		100	0	0	16	16	0	0	100	16	0
275	2	0		100	0	0	16	16	0	0	100	16	0
276		Подобрано: 1. Труба 68 x 4											
		Профиль: 68 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
276	1	0		85	99	99	23	23	89	0	99	23	89
276	2	0		85	99	99	23	23	89	0	99	23	89
277		Подобрано: 1. Труба 68 x 4											
		Профиль: 68 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
277	1	0		100	0	0	42	42	0	0	100	42	0
277	2	0		100	0	0	42	42	0	0	100	42	0
278		Подобрано: 1. Труба 68 x 4											
		Профиль: 68 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
278	1	0		69	99	99	36	36	72	0	99	36	72
278	2	0		69	99	99	36	36	72	0	99	36	72
279		Подобрано: 1. Труба 28 x 2.5											
		Профиль: 28 x 2.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
279	1	0		37	0	0	96	96	0	0	37	96	0
279	2	0		38	0	0	96	96	0	0	38	96	0
280		Подобрано: 1. Труба 68 x 4											
		Профиль: 68 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
280	1	0		52	86	86			54		86		54

							42	42		0		42	
280	2	0		52	85	85	42	42	54	0	85	42	54
281		Подобрано: 1. Труба 68 x 4											
		Профиль: 68 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
281	1	0		68	98	98	36	36	72	0	98	36	72
281	2	0		68	98	98	36	36	72	0	98	36	72
282		Подобрано: 1. Труба 57 x 4											
		Профиль: 57 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
282	1	0		68	98	98	36	36	72	0	98	36	72
282	2	0		68	98	98	36	36	72	0	98	36	72
295		Подобрано: 1. Труба 57 x 4											
		Профиль: 57 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
295	1	0		94	96	96	8	8	100	0	96	8	100
295	2	0		94	96	96	8	8	100	0	96	8	100
296		Подобрано: 1. Труба 32 x 2.5											
		Профиль: 32 x 2.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
296	1	0		25	0	0	96	96	0	0	25	96	0
296	2	0		25	0	0	96	96	0	0	25	96	0
297		Подобрано: 1. Труба 57 x 4											
		Профиль: 57 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
297	1	0		90	97	97	15	15	95	0	97	15	95
297	2	0		90	97	97	15	15	95	0	97	15	95
298		Подобрано: 1. Труба 57 x 4.5											
		Профиль: 57 x 4.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
298	1	0		79	94	94	25	25	83	0	94	25	83
298	2	0		79	94	94	25	25	83	0	94	25	83
299		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 5.5											
		Профиль: 63.5 x 5.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
299	1	0		81	98	98	26	26	85	0	98	26	85
299	2	0		81	98	98	26	26	85	0	98	26	85
300		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 5.5											
		Профиль: 63.5 x 5.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
300	1	0		84	96	96			89		96		89

							20	20		0		20	
300	2	0		84	96	96	20	20	89	0	96	20	89
302		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 5.5											
		Профиль: 63.5 x 5.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
302	1	0		60	99	99	42	42	63	0	99	42	63
302	2	0		60	99	99	42	42	63	0	99	42	63
303		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 5.5											
		Профиль: 63.5 x 5.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
303	1	0		87	95	95	16	16	92	0	95	16	92
303	2	0		87	95	95	16	16	92	0	95	16	92
304		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 5.5											
		Профиль: 63.5 x 5.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
304	1	0		61	93	93	39	39	64	0	93	39	64
304	2	0		61	93	93	39	39	64	0	93	39	64
305		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 5.5											
		Профиль: 63.5 x 5.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
305	1	0		89	97	97	14	14	95	0	97	14	95
305	2	0		89	97	97	14	14	95	0	97	14	95
306		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 5.5											
		Профиль: 63.5 x 5.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
306	1	0		99	0	0	39	39	0	0	99	39	0
306	2	0		99	0	0	39	39	0	0	99	39	0
307		Подобрано: 1. Труба 63.5 x 5.5											
		Профиль: 63.5 x 5.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
307	1	0		91	98	98	13	13	97	0	98	13	97
307	2	0		91	98	98	13	13	97	0	98	13	97
308		Подобрано: 1. Труба 68 x 5.5											
		Профиль: 68 x 5.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
308	1	0		100	0	0	49	49	0	0	100	49	0
308	2	0		100	0	0	49	49	0	0	100	49	0
309		Подобрано: 1. Труба 68 x 5.5											
		Профиль: 68 x 5.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
309	1	0		93	99	99			99		99		99

							12	12		0		12	
309	2	0		93	99	99	12	12	99	0	99	12	99
323		Подобрано: 1. Труба 68 x 5.5											
		Профиль: 68 x 5.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
323	1	0		100	0	0	31	31	0	0	100	31	0
323	2	0		100	0	0	31	31	0	0	100	31	0
324		Подобрано: 1. Труба 68 x 5.5											
		Профиль: 68 x 5.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
324	1	0		100	0	0	30	30	0	0	100	30	0
324	2	0		100	0	0	30	30	0	0	100	30	0
325		Подобрано: 1. Труба 68 x 5.5											
		Профиль: 68 x 5.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
325	1	0		91	99	99	16	16	96	0	99	16	96
325	2	0		91	99	99	16	16	95	0	99	16	95
326		Подобрано: 1. Труба 68 x 5.5											
		Профиль: 68 x 5.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
326	1	0		100	0	0	19	19	0	0	100	19	0
326	2	0		100	0	0	19	19	0	0	100	19	0
327		Подобрано: 1. Труба 68 x 5.5											
		Профиль: 68 x 5.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
327	1	0		87	96	96	17	17	91	0	96	17	91
327	2	0		87	95	95	17	17	91	0	95	17	91
328		Подобрано: 1. Труба 68 x 5.5											
		Профиль: 68 x 5.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
328	1	0		100	0	0	22	22	0	0	100	22	0
328	2	0		100	0	0	22	22	0	0	100	22	0
329		Подобрано: 1. Труба 68 x 5.5											
		Профиль: 68 x 5.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
329	1	0		88	99	99	19	19	93	0	99	19	93
329	2	0		88	99	99	19	19	93	0	99	19	93
330		Подобрано: 1. Труба 68 x 5.5											
		Профиль: 68 x 5.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
330	1	0			0	0			0				0



				100			39	39		0	100	39	
330	2	0		100	0	0	39	39	0	0	100	39	0
331		Подобрано: 1. Труба 32 x 2.5											
		Профиль: 32 x 2.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
331	1	0		74	95	95	30	30	78	0	95	30	78
331	2	0		74	95	95	30	30	78	0	95	30	78
332		Подобрано: 1. Труба 32 x 2.5											
		Профиль: 32 x 2.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
332	1	0		71	96	96	34	34	75	0	96	34	75
332	2	0		71	96	96	34	34	75	0	96	34	75
333		Подобрано: 1. Труба 68 x 5.5											
		Профиль: 68 x 5.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
333	1	0		98	0	0	57	57	0	0	98	57	0
333	2	0		98	0	0	57	57	0	0	98	57	0
334		Подобрано: 1. Труба 68 x 5.5											
		Профиль: 68 x 5.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
334	1	0		54	99	99	46	46	57	0	99	46	57
334	2	0		54	98	98	46	46	57	0	98	46	57
335		Подобрано: 1. Труба 60 x 6.5											
		Профиль: 60 x 6.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
335	1	0		99	0	0	45	45	0	0	99	45	0
335	2	0		99	0	0	45	45	0	0	99	45	0
336		Подобрано: 1. Труба 60 x 6.5											
		Профиль: 60 x 6.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
336	1	0		99	0	0	45	45	0	0	99	45	0
336	2	0		99	0	0	45	45	0	0	99	45	0
349		Подобрано: 1. Труба 32 x 2.5											
		Профиль: 32 x 2.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
349	1	0		100	83	83	23	23	74	0	100	23	74
349	2	0		100	83	83	23	23	74	0	100	23	74
350		Подобрано: 1. Труба 32 x 2.5											
		Профиль: 32 x 2.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
350	1	0		67	97	97			70		97		70

							37	37		0		37	
350	2	0		67	97	97	37	37	70	0	97	37	70
351		Подобрано: 1. Труба 32 x 2.5											
		Профиль: 32 x 2.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
351	1	0		91	100	100	16	16	96	0	100	16	96
351	2	0		91	100	100	16	16	96	0	100	16	96
352		Подобрано: 1. Труба 32 x 2.5											
		Профиль: 32 x 2.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
352	1	0		81	98	98	26	26	85	0	98	26	85
352	2	0		81	98	98	26	26	85	0	98	26	85
353		Подобрано: 1. Труба 32 x 2.5											
		Профиль: 32 x 2.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
353	1	0		84	96	96	20	20	89	0	96	20	89
353	2	0		84	96	96	20	20	89	0	96	20	89
354		Подобрано: 1. Труба 32 x 2.5											
		Профиль: 32 x 2.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
354	1	0		81	93	93	20	20	86	0	93	20	86
354	2	0		81	93	93	20	20	86	0	93	20	86
355		Подобрано: 1. Труба 32 x 2.5											
		Профиль: 32 x 2.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
355	1	0		82	93	93	20	20	87	0	93	20	87
355	2	0		82	93	93	20	20	87	0	93	20	87
356		Подобрано: 1. Труба 32 x 2.5											
		Профиль: 32 x 2.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
356	1	0		95	98	98	25	25	86	0	98	25	86
356	2	0		95	98	98	25	25	86	0	98	25	86
357		Подобрано: 1. Труба 60 x 6.5											
		Профиль: 60 x 6.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
357	1	0		85	99	99	22	22	90	0	99	22	90
357	2	0		85	99	99	22	22	90	0	99	22	90
358		Подобрано: 1. Труба 60 x 6.5											
		Профиль: 60 x 6.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
358	1	0		99	52	52			43		99		43

							28	28		0		28	
358	2	0		99	52	52	28	28	43	0	99	28	43
359		Подобрано: 1. Труба 60 x 6.5											
		Профиль: 60 x 6.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
359	1	0		73	95	95	31	31	77	0	95	31	77
359	2	0		73	95	95	31	31	77	0	95	31	77
360		Подобрано: 1. Труба 60 x 6.5											
		Профиль: 60 x 6.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
360	1	0		100	15	15	22	22	14	0	100	22	14
360	2	0		100	15	15	22	22	14	0	100	22	14
361		Подобрано: 1. Труба 60 x 6.5											
		Профиль: 60 x 6.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
361	1	0		80	98	98	27	27	84	0	98	27	84
361	2	0		80	98	98	27	27	84	0	98	27	84
364		Подобрано: 1. Труба 60 x 6.5											
		Профиль: 60 x 6.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
364	1	0		80	98	98	27	27	84	0	98	27	84
364	2	0		80	98	98	27	27	84	0	98	27	84
376		Подобрано: 1. Труба 60 x 6.5											
		Профиль: 60 x 6.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
376	1	0		80	98	98	27	27	84	0	98	27	84
376	2	0		80	98	98	27	27	84	0	98	27	84
377		Подобрано: 1. Труба 60 x 6.5											
		Профиль: 60 x 6.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
377	1	0		83	95	95	21	21	87	0	95	21	87
377	2	0		83	95	95	21	21	87	0	95	21	87
378		Подобрано: 1. Труба 60 x 6.5											
		Профиль: 60 x 6.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
378	1	0		100	0	0	21	21	0	0	100	21	0
378	2	0		100	0	0	21	21	0	0	100	21	0
379		Подобрано: 1. Труба 60 x 6.5											
		Профиль: 60 x 6.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
379	1	0		88	98	98			93		98		93

							18	18		0		18	
379	2	0		88	98	98	18	18	93	0	98	18	93
380		Подобрано: 1. Труба 60 x 6.5											
		Профиль: 60 x 6.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
380	1	0		100	0	0	22	22	0	0	100	22	0
380	2	0		100	0	0	22	22	0	0	100	22	0
381		Подобрано: 1. Труба 60 x 6.5											
		Профиль: 60 x 6.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
381	1	0		85	97	97	21	21	89	0	97	21	89
381	2	0		85	97	97	21	21	89	0	97	21	89
382		Подобрано: 1. Труба 60 x 6.5											
		Профиль: 60 x 6.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
382	1	0		100	0	0	20	20	0	0	100	20	0
382	2	0		100	0	0	20	20	0	0	100	20	0
383		Подобрано: 1. Труба 60 x 6.5											
		Профиль: 60 x 6.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
383	1	0		83	96	96	22	22	88	0	96	22	88
383	2	0		83	96	96	22	22	87	0	96	22	87
384		Подобрано: 1. Труба 60 x 6.5											
		Профиль: 60 x 6.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
384	1	0		100	0	0	28	28	0	0	100	28	0
384	2	0		100	0	0	28	28	0	0	100	28	0
385		Подобрано: 1. Труба 60 x 6.5											
		Профиль: 60 x 6.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
385	1	0		78	98	98	29	29	82	0	98	29	82
385	2	0		78	98	98	29	29	82	0	98	29	82
386		Подобрано: 1. Труба 50 x 2.5											
		Профиль: 50 x 2.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
386	1	0		26	95	95	70	70	27	0	95	70	27
386	2	0		26	95	95	70	70	27	0	95	70	27
387		Подобрано: 1. Труба 32 x 2.5											
		Профиль: 32 x 2.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
387	1	0		60	91	91			63		91		63

							39	39		0		39	
387	2	0		60	91	91	39	39	62	0	91	39	62
388		Подобрано: 1. Труба 32 x 2.5											
		Профиль: 32 x 2.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
388	1	0		74	97	97	32	32	77	0	97	32	77
388	2	0		74	97	97	32	32	77	0	97	32	77
389		Подобрано: 1. Труба 32 x 2.5											
		Профиль: 32 x 2.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
389	1	0		74	97	97	32	32	77	0	97	32	77
389	2	0		74	97	97	32	32	77	0	97	32	77
402		Подобрано: 1. Труба 32 x 2.5											
		Профиль: 32 x 2.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
402	1	0		92	96	96	11	11	97	0	96	11	97
402	2	0		92	96	96	11	11	97	0	96	11	97
403		Подобрано: 1. Труба 32 x 2.5											
		Профиль: 32 x 2.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
403	1	0		27	0	0	96	96	0	0	27	96	0
403	2	0		27	0	0	96	96	0	0	27	96	0
404		Подобрано: 1. Труба 32 x 2.5											
		Профиль: 32 x 2.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
404	1	0		91	98	98	13	13	97	0	98	13	97
404	2	0		91	98	98	13	13	97	0	98	13	97
405		Подобрано: 1. Труба 32 x 2.5											
		Профиль: 32 x 2.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
405	1	0		75	98	98	31	31	79	0	98	31	79
405	2	0		75	98	98	31	31	79	0	98	31	79
407		Подобрано: 1. Труба 32 x 2.5											
		Профиль: 32 x 2.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
407	1	0		81	93	93	20	20	86	0	93	20	86
407	2	0		81	93	93	20	20	86	0	93	20	86
408		Подобрано: 1. Труба 32 x 2.5											
		Профиль: 32 x 2.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
408	1	0		82	93	93			87		93		87

							20	20		0		20	
408	2	0		82	93	93	20	20	87	0	93	20	87
409		Подобрано: 1. Труба 32 x 2.5											
		Профиль: 32 x 2.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
409	1	0		81	99	99	26	26	86	0	99	26	86
409	2	0		81	99	99	26	26	86	0	99	26	86
410		Подобрано: 1. Труба 57 x 4.5											
		Профиль: 57 x 4.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
410	1	0		86	98	98	20	20	90	0	98	20	90
410	2	0		86	98	98	20	20	90	0	98	20	90
411		Подобрано: 1. Труба 57 x 4.5											
		Профиль: 57 x 4.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
411	1	0		81	94	94	22	22	85	0	94	22	85
411	2	0		81	94	94	22	22	85	0	94	22	85
412		Подобрано: 1. Труба 57 x 4.5											
		Профиль: 57 x 4.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
412	1	0		88	99	99	20	20	92	0	99	20	92
412	2	0		88	99	99	20	20	92	0	99	20	92
414		Подобрано: 1. Труба 57 x 4.5											
		Профиль: 57 x 4.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
414	1	0		99	0	0	55	55	0	0	99	55	0
414	2	0		99	0	0	55	55	0	0	99	55	0
415		Подобрано: 1. Труба 57 x 4											
		Профиль: 57 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
415	1	0		89	96	96	14	14	95	0	96	14	95
415	2	0		89	96	96	14	14	95	0	96	14	95
416		Подобрано: 1. Труба 57 x 4											
		Профиль: 57 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
416	1	0		100	0	0	56	56	0	0	100	56	0
416	2	0		100	0	0	56	56	0	0	100	56	0
417		Подобрано: 1. Труба 57 x 4											
		Профиль: 57 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
417	1	0		90	98	98			95		98		95

							16	16		0		16	
417	2	0		90	98	98	16	16	95	0	98	16	95
432		Подобрано: 1. Труба 57 x 4											
		Профиль: 57 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
432	1	0		99	0	0	27	27	0	0	99	27	0
432	2	0		99	0	0	27	27	0	0	99	27	0
433		Подобрано: 1. Труба 57 x 4											
		Профиль: 57 x 4; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
433	1	0		100	0	0	41	41	0	0	100	41	0
433	2	0		100	0	0	41	41	0	0	100	41	0
434		Подобрано: 1. Труба 60 x 5.5											
		Профиль: 60 x 5.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
434	1	0		84	99	99	23	23	89	0	99	23	89
434	2	0		84	99	99	23	23	89	0	99	23	89
435		Подобрано: 1. Труба 60 x 5.5											
		Профиль: 60 x 5.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
435	1	0		100	0	0	16	16	0	0	100	16	0
435	2	0		100	0	0	16	16	0	0	100	16	0
436		Подобрано: 1. Труба 60 x 5.5											
		Профиль: 60 x 5.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
436	1	0		88	99	99	19	19	93	0	99	19	93
436	2	0		88	99	99	19	19	93	0	99	19	93
437		Подобрано: 1. Труба 60 x 5.5											
		Профиль: 60 x 5.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
437	1	0		100	0	0	20	20	0	0	100	20	0
437	2	0		100	0	0	20	20	0	0	100	20	0
439		Подобрано: 1. Труба 60 x 5.5											
		Профиль: 60 x 5.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
439	1	0		89	99	99	18	18	94	0	99	18	94
439	2	0		89	99	99	18	18	94	0	99	18	94
440		Подобрано: 1. Труба 57 x 3.5											
		Профиль: 57 x 3.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
440	1	0			0	0			0				0

				100			16	16		0	100	16	
440	2	0		100	0	0	16	16	0	0	100	16	0
441		Подобрано: 1. Труба 57 x 3.5											
		Профиль: 57 x 3.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
441	1	0		85	95	95	19	19	90	0	95	19	90
441	2	0		85	95	95	19	19	90	0	95	19	90
442		Подобрано: 1. Труба 57 x 3.5											
		Профиль: 57 x 3.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
442	1	0		98	0	0	63	63	0	0	98	63	0
442	2	0		99	0	0	63	63	0	0	99	63	0
443		Подобрано: 1. Труба 57 x 3.5											
		Профиль: 57 x 3.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
443	1	0		100	0	0	31	31	0	0	100	31	0
443	2	0		100	0	0	31	31	0	0	100	31	0
444		Подобрано: 1. Труба 57 x 3.5											
		Профиль: 57 x 3.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
444	1	0		98	0	0	27	27	0	0	98	27	0
444	2	0		98	0	0	27	27	0	0	98	27	0
445		Подобрано: 1. Труба 42 x 6											
		Профиль: 42 x 6; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
445	1	0		99	0	0	67	67	0	0	99	67	0
445	2	0		99	0	0	67	67	0	0	99	67	0
446		Подобрано: 1. Труба 42 x 6											
		Профиль: 42 x 6; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
446	1	0		99	0	0	67	67	0	0	99	67	0
446	2	0		99	0	0	67	67	0	0	99	67	0
460		Подобрано: 1. Труба 42 x 6											
		Профиль: 42 x 6; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
460	1	0		92	99	99	14	14	97	0	99	14	97
460	2	0		92	99	99	14	14	97	0	99	14	97
461		Подобрано: 1. Труба 57 x 3.5											
		Профиль: 57 x 3.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
461	1	0		29	89	89			31		89		31



							64	64		0		64	
461	2	0		29	89	89	64	64	31	0	89	64	31
462		Подобрано: 1. Труба 57 x 3.5											
		Профиль: 57 x 3.5; ГОСТ 8732 - 78*											
		Сталь: С235; ГОСТ 27772-88											
462	1	0		90	97	97	15	15	95	0	97	15	95
462	2	0		90	97	97	15	15	95	0	97	15	95

## სტრუქტურული კონსტრუქციის ელემენტების კვეთების შერჩევა

ზემოთ მითითებული განივი კვეთების გაანგარიშების საფუძველზე სტრუქტურული კონსტრუქციის კრისტალების ელემენტებად ვაკონსტრუირებთ:

პირველი ვარიანტი(ბრტყელი) 1. ზედა სარტყელი - $\emptyset 68 \times 6$  მმ.  $G=9.17$  კგ/მ.  $L=3 \times 4=12$  მ. 2. ქვედა სარტყელი - $\emptyset 68 \times 4$  მმ.  $G=6.31$ კგ/მ.,  $L=4 \times 1,5=6$  მ.; 1. კრისტალის წიბოები - $\emptyset 57 \times 4,5$  მმ.  $G=5,83$  კგ/მ.,  $L=4 \times 2,6=10.4$  მ.

კრისტალის წონა  $G=12 \times 9.17+6 \times 6.31+10.4 \times 5.83=208,5$  კგ. საკვანძო ელემენტებისა და საკოჭების წონა აიღება კრისტალის საერთო წონის 14.4 %, მაშინ ერთ კვადრატულ მეტრზე საერთო ხარჯი შეადგენს-  $g=(208.5+30.0)/9=26.5$  კგ/კვ.მ.

მეორე ვარიანტი (ცილინდრული ფორმის) 1. ზედა სარტყელი - $\emptyset 68 \times 5.5$  მმ.  $G=8.48$  კგ/მ.  $L=3 \times 4=12$  მ. 2. ქვედა სარტყელი - $\emptyset 60 \times 5.5$  მმ.  $G=7.39$ კგ/მ.,  $L=4 \times 1,5=6$  მ.; 1. კრისტალის წიბოები - $\emptyset 57 \times 4.5$  მმ.  $G=5.83$  კგ/მ.,  $L=4 \times 2,6=10.4$  მ.

კრისტალის წონა  $G=12 \times 8.48+6 \times 7.39+10.4 \times 5.83=206.7$  კგ. საკვანძო ელემენტებისა და საკოჭების წონა აიღება კრისტალის საერთო წონის 14.1 %, მაშინ ერთ კვადრატულ მეტრზე საერთო ხარჯი შეადგენს-  $g=(206.7+29.1)/9=26.2$  კგ/კვ.მ.

მესამე ვარიანტი (ორმაგი სიმრუდის) 1. ზედა სარტყელი - $\emptyset 68 \times 5.5$  მმ.  $G=8.48$  კგ/მ.  $L=3 \times 4=12$  მ. 2. ქვედა სარტყელი - $\emptyset 60 \times 5.5$  მმ.  $G=7.39$ კგ/მ.,  $L=4 \times 1,5=6$  მ.; 1. კრისტალის წიბოები - $\emptyset 57 \times 4$  მმ.  $G=5.23$  კგ/მ.,  $L=4 \times 2,6=10.4$  მ.

კრისტალის წონა  $G=12 \times 8.48+6 \times 7.39+10.4 \times 5.23=200.5$  კგ. საკვანძო ელემენტებისა და საკოჭების წონა აიღება კრისტალის საერთო წონის 16.3 %, მაშინ ერთ კვადრატულ მეტრზე საერთო ხარჯი შეადგენს-  $g=(200.5+32.6)/9=25.9$  კგ/კვ.მ.