

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ვახტანგ ტურაშვილი

# სამრეწველო შენობების განივი ჩარჩოს (ღუნვადი ელემენტების) გაანგარიშების თავისებურებები

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა „მშენებლობა“. შიფრი 0406

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

თვე, 2016 წელისაავტორო უფლება © 2016 - წელი, ვახტანგ ტურაშვილი

სამშენებლო ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავცანით ვახტანგ ტურაშვილის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „სამრეწველო შენობების განივი ჩარჩოს (დუნვადი ელემენტების) გაანგარიშების თავისებურებები“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი

ხელმძღვანელი: ასოც. პროფესორი ომარ ხაზარაძე  
\_\_\_\_\_  
რეცენზენტი: პროფესორი შახი ბაქანიძე  
\_\_\_\_\_  
რეცენზენტი: პროფესორი სეით ბლიაძე  
\_\_\_\_\_  
რეცენზენტი: \_\_\_\_\_

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2016

ავტორი: ვახტანგ ტურაშვილი  
დასახელება: „სამრეწველო შენობების განივი ჩარჩოს (ლუნვადი ელემენტების) გაანგარიშების თავისებურებები“  
ფაკულტეტი : სამშენებლო ფაკულტეტი  
აკადემიური ხარისხი: დოქტორი  
სხდომა ჩატარდა: თარიღი

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ შემომოყვანილი 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 გამოყენებული 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.

## რეზიუმე

ლითონის კონსტრუქციები ფართოდ გამოიყენება სამრეწველო, სამოქალაქო და საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობა-ნაგებობებში. შენობა-ნაგებობების დაპროექტებისას მნიშვნელოვანია მისი ხანგამძლეობისა და საიმედოობის უზრუნველყოფის გათვალისწინება, რაც შესაძლებელია კონსტრუქციული ელემენტების გეომეტრიული ზომებისა და გამოყენებული მასალების ნორმების მიხედვით სწორად შერჩევით.

ლითონის კონსტრუქციების თითოეული კონსტრუქციული ელემენტი აუცილებლად უნდა აკმაყოფილებდეს სიმტკიცეს, მდგრადობას, სიხისტეს, ხანგამძლეობას, რეკონსტრუქციის შესაძლებლობას და სხვა. პირობების ამ მთლიან კომპლექსში კოჭები წარმოადგენენ ძირითად ელემენტებს, რომლებიც მუშაობენ ღუნვაზე. ლითონის შედგენილი ორტესებრი კოჭები გამოიყენება დიდი მალეებისა და დიდი დატვირთვების შემთხვევაში, წარმოადგენს საიმედო ეფექტურ ოპტიმალურ კონსტრუქციებს ფოლადის ერთგვაროვანი სტრუქტურისა და მაღალი დრეკადობის მოდულის გამო.

შედგენილი, შედუღებული ორტესებრი კოჭების გაანგარიშება სიმტკიცეზე და სიხისტეზე განხილულია მრავალი ავტორის მიერ, რომელთა შორისაც მნიშვნელოვნად უნდა ჩაითვალოს ნ.ს. სტრელეცკის, ე.ი. ბელენიასა და ა.ა. მუხანოვის შრომები.

თხელკედლიანიკოჭების მუშაობის თავისებურებების შესწავლის შემდეგ აუცილებელი გახდა დამუშავებულიყო ადეკვატური რეკომენდაციები მათი კონსტრუქციული გადაწყვეტებისა. ეს კი მიგვანიშნებს, რომ ასეთი კოჭების გამოყენება შესაძლებელია განივი სიხისტის წიბოების გამოყენებით.

კოჭები გოფირებული კედლით უფრო ხანგრძლივად მუშაობენ დრეკად სტადიაში, ვიდრე კოჭები იგივე სისქის მოქნილი კედლით. გოფირებულკედლიანი კოჭის სარტყელებიც მუშაობენ უკეთეს პირობებში. რადგან ისინი არ განიცდიან ღუნვას კედლის სიბრტყეში. გოფირებულკედლიანი კოჭის დეფორმაციულობა 15%-ზე დაბალია, ვიდრე კოჭის, იგივე პარამეტრებით.

კოჭები გოფორირებული კედლით საკმაოდ თხელი ფურცელია, დამზადების შრომატევადობით და ფოლადის ხარჯის მიხედვით ისინი უფრო ეფექტურნი არიან, ვიდრე კოჭები მოქნილი კედლით. ეს შესაძლებელია სიხისტის წიბოების რაოდენობის შემცირებით, აგრეთვე გრეხვის მიმართ ამალელებული სიხისტის და კედლის შედარებით მაღალი ადგილობრივი მდგრადობით.

გოფორირებულ კედლიანი კოჭების გამოყენების სფერო გაცილებით ფართოა, ვიდრე კოჭებში მოქნილი კედლით. ისინი გამოიყენებიან ოპტიმალურად ამწყვემა კოჭებში და ყველა იმ შემთხვევაში, როდესაც კოჭებს მოეთხოვებათ მაღალი სიხისტე გრეხვაზე.

ნორმატიულ ლიტერატურაში ჯერ არ არსებობს რეკომენდაციები გოფორირებულკედლიანი კოჭების გაანგარიშების შესახებ. არსებობს მხოლოდ საკმაოდ საიმედო საინჟინრო მეთოდისა.

პერფორირებულ კედლიანი კოჭების ღუნვაზე მომუშავე ელემენტებში ფოლადის ეფექტური გამოყენების ამალეებისაკენ იდეამ ინჟინრები მიიყვანა ორიგინალურ გადაწყვეტამდე, რომელიც მდგომარეობს შემდეგში, გაგლინული ორტესებრი კედელი იჭრება თანაბარი რეგულარული ბიჯით ტეხილი ხაზის ანალოგიურად. არსებობს პერფორირებულ კედლიანი კოჭების გაანგარიშების მარტივი მიდგომა დაწყებული საინჟინრო მოდელებიდან დრეკად სტადიაში, დამთავრებული დრეკადი გაანგარიშების გართულებულ მოდელებამდე სასრული ელემენტების მეთოდზე დაყრდნობით. პრაქტიკაში უფრო ხშირად გამოიყენება შედარებით მარტივი ინჟინრული გაანგარიშების სქემები.

პერფორირებული კოჭი განიხილება, როგორც რეგულარული უირიბნო სისტემა, რომლის ძირითადი ელემენტებია ჰორიზონტალური სარტყელის ნაწილები და ვერტიკალური კედლის ნაწილი ხვრეტებს შორის.

ეს მოდელი საშუალებას გვაძლევს ავაგოთ პერფორირებულ კედლიანი კოჭის ელემენტების კვეთების გაანგარიშების მიახლოებითი მოდელი. საერთო შეფასებით პერფორირებულ კედლიანი კოჭები ხასიათდებიან დამზადების ნაკლები შრომატევადობით და შედარებით ნაკლები სიმძლიერით, რაც

შესაბამისად ამცირებს ნაგებობის სამშენებლო სიმაღლეს. ე.ი. მცირდება საექსპლუატაციო დანახარჯები გათბობაზე და სხვა.

მეექვსე თავში განხილულია ჩატარებული ექსპერიმენტალური კვლევის მეთოდოლოგია, რომელიც დაფუძნებული იყო დასახული ამოცანების გადასაწყვეტად. წინასწარი თეორიული გამოთვლებით შეირჩა გოფირებული ფორმის ლითონის ორტესებრი კოჭი და მოხდა მისი გამოცდა განივ ღუნვაზე. ექსპერიმენტალური გამოცდა მოხდა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტზე სამშენებლო კონსტრუქციების რკინაბეტონის ლაბორატორიაში.

კოჭი გამოიცადა სპეციალურ სტენდზე. შეყურსული ძალა მოდებული იქნა მალის შუაში სხვადასხვა დატვირთვების ქვეშ. გოფირებულ კედლიანი კოჭის კონსტრუქცია მოხდა სამშენებლო ნორმებისა და წესების დაცვით.

ექსპერიმენტით დადგენილი ძაბვებსა და დეფორმაციებს შორის დამოკიდებულების გრაფიკის მიხედვით შეიქმნა ლითონის გოფირებული კოჭის სივრცითი მოდელი და ჩატარდა ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე კოჭის არაწრფივი ანგარიში 14 საფეხურიანი იტერაციის ბიჯით. სიმტკიცეზე და სიხისტეზე გაანგარიშებისას გამოყენებულია ბელენიას მეთოდი.

ამრიგად, ლითონის გოფირებულ კედლიანი კოჭის სიმტკიცეზე და სიხისტეზე გაანგარიშების მეთოდებზე ჩატარებული ანალიზი გვიჩვენებს, რომ მთლიანობაში ლითონის კოჭის ელემენტები მუშაობს შეყურსული ძალის მოქმედების დროს მალის შუაში, როდესაც ერთროულად მოქმედებს მღუნავი მომენტი და განივი ძალა. გაანგარიშების ზემოთ აღნიშნული მეთოდი შეიცავს მნიშვნელოვან განსხვავებას ამტანუნარიანობის გამოთვლაში გაანგარიშების ხარისხობრივ შედეგებთან.

ექსპერიმენტის შედეგებზე დაყრდნობით მიზენშეწონილად მიგვაჩნია, შეიქმნას ლითონის ორტესებრი გოფირებული კოჭის სიმტკიცეზე გაანგარიშების განზოგადიებრივი მეთოდი, რომელიც უფრო ზუსტად გაითვალისწინებს კოჭის სიმტკიცისა და დეფორმაციულობის მახასიათებლებს და ეს მახასიათებლები უნდა დადგინდეს მხოლოდ ექსპერიმენტული კვლევით.

## Abstract

The metalware are widely used in industrial, civil and public destination buildings. At design of buildings essential is to taking into account providing of its durability and reliability that will be possible by correctly selecting of structural elements geometric dimensions and properly applied materials.

In the metalware each of structural elements must meet the strength, stability, stiffness, durability, possibility of reconstruction and so on. In the entire complex of these conditions beams represents main elements that work in bending. A metal composite I beams are applied in the case of large spans and large loads, they represents reliable efficient optimal structures due homogeneous structure and high elastic modulus of steel.

The strength and stiffness analysis of composite, welded I beams is considered by many authors, among them as important will be considered the works of N.S. Streletsky, E.I. Belenia and A.A. Mukhanov.

After the studying of features of behavior of thin-walled beams will be necessary to developed adequate recommendations for their structural solutions. This means that application of such beams will be possible by use of transverse stiffening ribs.

The beams with corrugated wall more durable are working in the elastic stage, rather than the having same thickness beams with flexible wall. The flanges of beams with corrugated walls also are working in better conditions, because they do not ongoing the bending in the plane of wall. The deformability of beam with corrugated wall is up to 15% lower than the beam with same parameters.

The beams with corrugated wall are quite thin sheets, by manufacturing labor input and material consumption; they are more effective than the beams with flexible walls. This is possible by reducing the number of stiffening ribs, as well as improved stiffness on torsion and relatively high local stiffness of wall.

The scope of application of beams with corrugated walls is much broader than the beams with flexible walls. They optimally are used on crane beams and in all cases, when the from beams are required high stiffness on torsion.

In the normative literature does not yet exist the recommendations on analysis of beams with corrugated walls. There are existing only a reliable engineering method.

The application of beams with perforated walls in working under bending elements for improving the efficient use of steel leads engineers up to the idea of original

solution, which lies in the following, the rolled I-shape wall was cut by regular patch in similar of broken line. There does exist a simple approach to the analysis of beams with perforated walls from the engineering models in elastic stage, ending up to elastic analysis complicated models based on the finite elements method. In practice, more often are used relatively simple engineering calculation schemes.

The perforated beam is considered as a regular brace less system whose core elements are the horizontal flange and vertical wall parts between the holes.

This model gives the possibility us to construct an approximate model of calculation of cross-section of elements of the beam with perforated wall. By the overall assessment the beams with perforated walls are characterized by less labor consumption of production and relatively low height, thus accordingly reducing the constructional depth of building. I.e. are reduced operating costs on heating and so on.

In the seventh chapter is considered the methods of carried out experimental research that was based on a solution of set tasks. Due the preliminary theoretical calculations was selected corrugated shaped metal I beam and was carried out test of lateral bending. The experimental test was carried out in the reinforced concrete laboratory of building structures of civil engineering department of Technical University.

The beam was tested on a special stand. The concentrated force has been applied in the middle of span under different loads. The design of beam with corrugated wall was carried out accordingly of construction norms and rules.

Due the determined by experiment diagram of relation between stresses and deformations was created of the spatial model of metal beam with corrugated walls and was carried out the nonlinear of simple supported on two pillars beam by 8-stage iteration step. At calculation on strength and stiffness was applied the Belenia method.

Thus, the carried out analysis based on calculation methods on strength and stiffness of metal beam with corrugated wall shows that at action of applied concentrated force on whole metal beam elements in the middle of span, when simultaneously are acting bending moment and shear force. The above mentioned calculating method includes the significant difference in comparison with qualitative results of calculation of carrying capability.



Based on the results of experiment is considered as advisable to develop a generalized method for calculation on strength of metal corrugated I beam that more accurately will take into account the characteristics of the beam strength and deformability and these characteristics will be determined only by experimental research.

## შინაარსი

შესავალი .....	13
თავი 1 .....	24
1.1. ლითონის კოჭების კლასიფიკაცია .....	24
თავი 2 .....	31
2.1. კოჭები მოქნილი კედლით .....	31
2.2. მოქნილკედლიანი (თხელკედლიანი) კოჭების მუშაობის თავისებურებანი .....	33
2.3. მდგრადობაზე შემოწმება .....	41
თავი 3 .....	47
3.1. კოჭები გოფრირებული კედლით .....	47
3.2. გოფრირებულკედლიანი კოჭების მუშაობის თავისებურებანი .....	50
3.3. გაანგარიშების თავისებურებანი .....	52
3.4. გოფრირებულკედლიანი კოჭების გაანგარიშება მდგრადობაზე .....	54
თავი 4 .....	60
4.1. პერფორირებულ კედლიანი კოჭები .....	60
4.2. მუშაობის თავისებურებანი .....	61
4.3. კოჭის ორ ნახევარს შორის ჰორიზონტალური ძვრა .....	66
4.4. პერფორირებულ კედელში ფირფიტის მდგრადობის შეფასება .....	69
თავი 5 .....	74
5.1. შედგენილი შედუღებული კოჭების გაანგარიშება ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდით .....	74
5.2. კედლის სისქე .....	79
5.3. სარტყელების ჰორიზონტალური ფურცლები .....	81
5.4. კოჭების კვეთის შერჩევა .....	83
5.5. ამწვევა კონსტრუქციები. საერთო დახასიათება .....	88
5.6. ამწვევა კოჭების გაანგარიშება .....	90
5.7. შედგენილი შედუღებული ამწვევა კოჭის ანგარიში .....	95
5.8. დატვირთვების განსაზღვრა .....	95
5.9. საანგარიშო ძალების განსაზღვრა .....	96
5.10. კოჭის განივკვეთის შერჩევა .....	98
5.11. ამწვევა კოჭის სიმტკიცეზე შემოწმება .....	99
5.12. კოჭის სარტყელების ადგილობრივ მდგრადობაზე შემოწმება .....	100
5.13. კოჭის კედლის ადგილობრივ მდგრადობაზე შემოწმება .....	100
5.14. კოჭის შემოწმება სიხისტეზე .....	101
5.15. საყრდენი წიბოს ანგარიში .....	107
5.16. შენობის ავარიულ რეჟიმში ექსპლუატაციის დროს, ლითონის შედგენილი ორტესებრი გოფრირებული კედლით განხორციელებული კოჭის კონსტრუქციული თავისებურებანი .....	109
თავი 6 .....	113
6.1. ექსპერიმენტალური კვლევა .....	113
დანართები .....	118
გამოყენებული ლიტერატურა .....	132

## ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1 რეკომენდებული შეფარდება $h_3$ კოჭის სიმაღლის $t_{კედ.}$ კედლის სისქესთან .....	76
ცხრილი 2 დატვირთვების და ძაბვების დამოკიდებულების ცხრილი ....	124
ცხრილი 3 განტვირთვისას–დატვირთვების და ძაბვების დამოკიდებულების ცხრილი .....	126
ცხრილი 4 დატვირთვისას ინდიკატორების მაჩვენებლების ცხრილი .....	128
ცხრილი 5 განტვირთვისას ინდიკატორების მაჩვენებლების ცხრილი .....	129

## ნახაზების ნუსხა

ნახ. 1 კოჭების სტატიკური სქემები .....	24
ნახ.2 კოჭების განივი კვეთები .....	26
ნახ. 3 კოჭისჩაკეტილი განივი კვეთები .....	27
ნახ.4 კოჭის საანგარიშო სქემა და განივი კვეთი. მღუნავი მომენტის და განივი ძალის ეპიურები.....	32
ნახ. 5 კედლის მდგრადობის დაკარგვის ფორმები .....	34
ნახ. 6 კოჭები მოქნილი კედლით .....	36
ნახ. 7 ნორმალური ძაბვები ( $\sigma_x$ ) ეპიურები სუფთა ღუნვის დროს .....	37
ნახ. 8 კოჭის მონაკვეთის საანგარიშო მოდელი სუფთა ძერის დროს .....	39
ნახ. 9 განივი სიხისტის წიბოების ანგარიშისათვის .....	42
ნახ. 10 კოჭის საანგარიშო სქემა და ეპიურები M და Q .....	45
ნახ. 11 კოჭი მოქნილი კედლით .....	46
ნახ. 12 კოჭებში გამოყენებული კედლის გოფრები .....	48
ნახ. 13 დანადგარის სქემა კედლის სამკუთხა გოფრის მისაღებად .....	49
ნახ. 14 ძაბვების ეპიურები კოჭებში გოფრირებული კედლით .....	51
ნახ. 15 <sup>ა</sup> კოჭი პერფირებული კედლით .....	60
ნახ. 15 <sup>ბ</sup> ნორმალური ძაბვების ეპიურები კოჭის კვეთში.....	61
ნახ. 16 კოჭის საანგარიშო მოდელი .....	63
ნახ. 17 ზომების აღნიშვნა და კვეთის მახასიათებელი წერტილები .....	64
ნახ. 18 ძერის ძღვების განსაზღვრისათვის კოჭის ზედა სარტყელში .....	66
ნახ. 19 ფრაგმენტის დამაბული მდგომარეობის ანალიზისათვის .....	67
ნახ. 20 პერფორირებულკედლიანი კოჭის ძირითადი ზომები .....	72
ნახ. 21 კოჭის მასის კვეთის სიმაღლეზე დამოკიდებულების გრაფიკი .....	74
ნახ. 22 დამაბულობის განაწილება შედუღებული კოჭის პაკეტის ფურცლებში .....	82
ნახ. 23 მაგალითისათვის 1 ა. საანგარიშო სქემა; ბ. კოჭის კვეთი.....	84

ნახ. 24 შედგენილი კოჭი .....	89
ნახ. 25 გაგლინული კოჭი .....	89
ნახ. 26 დატვირთვები, რომლებიც გადაეცემა ამწქვემა კოჭის ამწეს დატვირთვისაგან .....	91
ნახ. 27 რვაბორბლიანი ხიდურა ამწეებისათვის ამწეების ტვირთამწეობა $Q=(800\div 1250)$ კნ .....	92
ნახ. 28 ორი დაწყვილებული ამწისათვის .....	92
ნახ. 29ა მაქსიმალური მღუნავი მომენტის განსაზღვრა .....	96
ნახ. 29ბ მაქსიმალური განივი ძალის განსაზღვრა .....	96
ნახ. 30 ამწქვემა კოჭის განოვკვეთის კომპონირება .....	99
ნახ. 31ძაღვების განსაზღვრა ნაკვეთურში .....	101
ნახ. 32 ძაღვების განსაზღვრა ძალის შუაში .....	102
ნახ. 33 საყრდენი წიბოს პირობითი დგარი .....	107
ნახ. 34 ერთი ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებული კოჭის საანგარიშო სქემა გრეხვის დროს .....	112
ნახ. 35 კოჭის განივკვეთი .....	114
ნახ. 36 საცდელი კოჭის საანგარიშო სქემა .....	116
ნახ. 37 საექსპერიმენტო კოჭი სტენდზე .....	118
ნახ. 38 ელექტრონული ხელსაწყო АИД-2 .....	118
ნახ. 39 კვლევის პროცესი .....	119
ნახ. 40 ტენზომეტრები შვეულ კედელზე .....	119
ნახ. 41ინდიკატორები ნაკვეთურში.....	120
ნახ. 42დგუში ზედა სარტყელის ძალის შუაში.....	120
ნახ. 43 ჩაღუნმზომი ქვედა სატყელზე ძალის შუაში.....	121
ნახ. 44 ინდიკატორი საყრდენზე.....	121
ნახ.45 მაქსიმუმის ტიპის ჩაღუნმზომი და საათის ტიპის ინდიკატორები.....	122
ნახ. 46 ინდიკატორები ზედა სარტყელზე .....	122
ნახ.47 შედგენილი გოფრირებული კოჭი .....	123
ნახ. 48 გოფრირებულ კედლიანი შედგენილი კოჭის ხედები .....	124

## Sesaval i

თემის აქტუალობა ლითონის კონსტრუქციების გაანგარიშების არსებული მეთოდების სრულყოფა და მათი გადაჭრის ახალი გზების ძიება, რომელიც უზრუნველყოფს თავის მხრივ ლითონის კონსტრუქციის საიმედოობას, სიმტკიცეს, მდგრადობას, სიხისტეს, ხანმედევობას. საჭიროა შევისწავლოთ გამოყენებული მასალის- ფოლადის სიმტკიცისა და დეფორმაციულობის მახასიათებლების ბოლომდე გამოიყენება, რაც გარანტიას წარმოადგენს შენობა-ნაგებობების ოპტიმალური დაპროექტებისათვის. ოპტიმალური დაპროექტებით მცირდება კონსტრუქციის ღირებულება და მასლის ხარჯი.

ლითონის შედგენილი შედუღებული გოფრირებულკედლიანი კოჭის სიმტკიცეზე, სიხისტეზე შემოწმება, როცა მასზე მოქმედებენ მღუნავი მომენტი და განივი ძალები დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე. ექსპერიმენტალურმა კვლევებმა დაამტკიცა მათი ქმედება სხვადასხვანაირ გავლენას ახდენს კოჭის ამტანუნარიანობაზე. გოფრირებულკედლიანი კოჭის ზღვრული მდგომარეობა დგება შეყურსული ძალების მოქმედების ადგილებში, კედლის ადგილობრივი მდგრადობის დაკარგვით.

ჩატარებული თეორიული კვლევების ანალიზი, თხელკედლიანი კოჭების სიმტკიცეზე ანგარიში ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდით მოითხოვს დამატებით ექსპერიმენტალურ კვლევებს, რადგან თეორიული კვლევები დაფუძნებულია ემპირიულ კოეფიციენტებზე და სრულად არ ასახავს რეალურ სურათს გოფრირებულკედლიანი ორტესებრი კოჭის ამტანუნარიანობაზე მღუნავი მომენტისა და განივი ძალების მოქმედების დროს.

ლითონის გოფრირებულკედლიანი ორტესებრი კოჭის სიმტკიცეზე, სიხისტეზე გაანგარიშება ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდის მიხედვით, რომელიც წარმოდგენილია სამშენებლო ნორმებსა და წესებში განიცილის მუდმივ განახლება-ცვლილებას, თუმცა მთავარი მიდგომა რჩება უცვლელი.

მდუნავი მომენტისა და განივი ძალის ქმედება განიხილება ცალცალკე ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად, რაც სრულყოფილად არ ასახავს ლითონის ორტესებრი კოჭის საიმედობას ექსპლუატაციისას.

ზემოთ აღწერილი მდგომარეობა ართულებს ზოგადად ზღვრული მდგომარეობათა მეთოდით შედგენილი გოფირებულკედლიანი ორტესებრი კოჭის დაპროექტებასა და მშენებლობაში მის დანერგვას, ამიტომ მნიშვნელოვანია ისეთი მეთოდოლოგიის დამუშავება, რომელიც აღნიშნული კონსტრუქციის გამოყენების საშუალებას მოგვცემს საქართველოს სპეციფიკური პირობების სეისმურად აქტიური რაიონის გათვალისწინებით. ძალზე აქტუალურია დაზუსტდეს გოფირებულკედლიანი კოჭის სიმტკიცეზე გაანგარიშების მეთოდი, რომელიც უზრუნველყოფს კონსტრუქციის საიმედობას, იქნება ადვილად გამოსაყენებელი დამპროექტებლისათვის.

**დისერტაციის მიზანს შეადგენს:** ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების ანალიზის საფუძველზე, შეფასდეს რეალური მდგომარეობა ახალი მიდგომებით, ექსპერიმენტის საფუძველზე ანალიზის შედეგების მიხედვით უნდა გადაწყდეს და აღმოიფხვრას არსებულ კონსტრუქციების ტექნიკურ გადაწყვეტებში არსებული პრობლემები. ასევე დამუშავდეს ახალი კონსტრუქციული გადაწყვეტები, გაანგარიშების მეთოდოლოგია, განისაზღვროს მისი პრაქტიკული ღირებულება და მოხდეს მისი ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტურობის შეფასება.

**ექსპერიმენტალური კვლევის ამოცანაა:**

1. გოფირებულკედლიანი კოჭის საანგარიშო სქემის ანალიზი და გაანგარიშების მეთოდის შეფასება ზღვრული ძალების მოქმედებისას კვეთში სხვადასხვა ფაქტორების გათვალისწინებით;
2. შედგენილი ორტესებრი გოფირებულკედლიანი კოჭის განივკვეთში დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის შეფასება ექსპერიმენტული კვლევის საფუძველზე, კვეთში განვითარებულ ძაბვებსა და დეფორმაციაზე სიხისტის მაჩვენებლის გათვალისწინებით.

მეცნიერული სიხალე: ნაშრომში განხილულია ლითონის გოფირებულკედლიანი ორტესებრი კოჭის სიმტკიცეზე გაანგარიშების არსებული მეთოდები, რომელთა ანალიზის საფუძველზე შემუშავდა რეკომენდაციები:

1. ექსპერიმენტალური კვლევისათვის შეირჩა ლითონის შედგენილი ორტესებრი გოფირებულკედლიანი ღუნვადი კოჭი, რომლის გამოცდა ჩატრდა სტუ-ს სამშენებლო ფაკულტეტის რკინაბეტონის კონსტრუქციების ლაბორატორიაში;
2. ორ საყრდენზე თავისუფლად დაყრდნობილი ლითონის კოჭის ექსპერიმენტით მიღებული შედეგების ანალიზით გადაწყვეტილია არსებული პრობლემები. განსაზღვრულია მისი პრაქტიკული ღირებულებები.
- 3.

მიღებული შედეგების პრაქტიკული ღირებულება: ჩატარებული თეორიული კვლევების, პრაქტიკული გამოცდილების, სამშენებლო ნორმებისა-წესების დაცვით და რეკომენდაციების საფუძველზე დამუშავებულია ლითონის ორტესებრი გოფირებულკედლიანი კოჭის კონსტრუქცია.

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

ნაშრომის აპრობაცია და გამოქვეყნებული პუბლიკაციები: მასალების მიხედვით გამოქვეყნებულია 4 სამეცნიერო სტატია, დისერტაციის ძირითადი შედეგები მოხსენებული იქნა – “სამრეწველო შენობების განივი ჩარჩოს (ღუნვადი ელემენტების) გაანგარიშების თავისებურებანი”, სტუ-ს 83-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციას. თეზისების კრებული, “ტექნიკური უნივერსიტეტი”, თბილისი, 2015 წ.

სახალხო მეურნეობის ყველა დარგში ფართოდ არის გამოყენებული ლითონის კონსტრუქციები. მშენებლობის განვითარებასთან ერთად ლითონის კონსტრუქციების რაციონალური გამოყენების სფეროს განსაზღვრის კრიტერიუმად ითვლება, პირველ რიგში მისი ეკონომიკური მოსაზრებანი. აქ მხედველობაში მისაღებია არა მარტო ლითონის ღირებულების შემცირება, არამედ ლითონის როგორც მასალის გამოყენების მიზანშეწონილობა.

ლითონის კონსტრუქციები ფართოდ გამოიყენება სამრეწველო, სამოქალაქო და საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობა-ნაგებობებში, ხიდებში, ესტაკადებში, ფურცლოვან კონსტრუქციებში, ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებში, თბოელექტროსადგურებში და სხვა. მათი ასეთი ფართო გამოყენება, სხვა მასალებისაგან დამზადებულ კონსტრუქციებთან შედარებით, განპირობებულია მთელი რიგი ძირითადი ღირსებების გამო, როგორცაა: საიმედოობა, სიმსუბუქე, წყალ და აირშეუღწევადობა, დამზადების ინდუსტრიულობა, რეკონსტრუქციის სიმარტივე და სხვა.

ლითონის კონსტრუქციები წარმოადგენენ შენობის (ნაგებობის) ელემენტებს, რომლებიც ასრულებენ მათში სრულიად გარკვეულ ფუნქციებს. ამიტომ, ამა თუ იმ ლითონის კონსტრუქციაზე დამოუკიდებლად მსჯელობა, შენობის ექსპლუატაციის პირობების გაუთვალისწინებლად არ შეიძლება.

მზიდი ლითონის კონსტრუქციების მთავარ ფუნქციურ ამოცანას წარმოადგენს ძალოვანი ზემოქმედებების გადაცემა საძირკველზე. მექანიკის კანონების მიხედვით ძალოვანი ზემოქმედებები ერთი ელემენტიდან მეორეზე გადასვლის დროს იღებენ ნორმალური და განივი ძალების, მღუნავი და მგრესავი მომენტების სახეს. ამ შემთხვევაში თითოეული კონსტრუქციული ელემენტი აუცილებლად უნდა აკმაყოფილებდეს პირობების კომპლექსს: სიმტკიცეს, მდგრადობას, სიხისტეს, ხანგამძლეობას, რეკონსტრუქციის შესაძლებლობას და სხვა. პირობების ამ მთლიან კომპლექსში კოჭები წარმოადგენენ ერთ-ერთ გავრცელებულ და ძირითად ელემენტებს, რომლებიც მუშაობენ ღუნვაზე. მათი ფართო გამოყენება მშენებლობაში განპირობებულია დამზადების სიმარტივით და ექსპლუატაციის დროს საიმედოობით. კოჭების ძალების



ცვალებადობის დიაპაზონი ძალიან დიდია. მაგალითად, ხიდებში მაღის სიდიდემ შეიძლება მიაღწიოს 150...200 მ-მდე.

მშენებლობაში რკინაბეტონის ფართოდ დანერგვის მიუხედავად, ლითონის კონსტრუქციების გამოყენება ყოველდღიურად იზრდება. განსაკუთრებით ისეთ კონსტრუქციებში, სადაც რკინაბეტონის გამოყენება არარაციონალური და გაუმართლებელია. განსაკუთრებული თვისება ფოლადმა გამოამჟღავნა აგრესიული გარემოს წინააღმდეგობის მხრივ, რომლის დროსაც რკინაბეტონის კონსტრუქციები სწრაფად ინგრევა (იშლება).

ლითონის კონსტრუქციები შედგება ცალკეული ელემენტებისაგან როგორცაა: წამწეები, კოლონები, კავშირები, კოჭები, ფირფიტები, საკვანძო ფურცლები და სხვა. რომლებიც მზადდება ერთგვაროვანი და მტკიცე მასალისაგან ზემოთ აღნიშნულ ელემენტებს ერთმანეთთან აერთებენ მოქლონებით, ჭანჭიკებით და შედულებით.

ლითონის კონსტრუქციებს აქვთ ძირითადი დადებითი თვისებები.

ლითონის კონსტრუქციები მსუბუქია სხვა მასალის კონსტრუქციებთან შედარებით ფოლადის დიდი სიმტკიცის გამო. ფოლადისაგან დამზადებული კონსტრუქციების წონა და მოცულობა გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე სხვა მასალისაგან დამზადებული კონსტრუქციისა, რაც დიდი გავლენას ახდენს ნაგებობის ღირებულებაზე და ტექნოლოგიურ პროცესებზე. ერთი და იგივე დატვირთვებისა და მაღის შემთხვევაში რკინაბეტონის კონსტრუქცია 8-ჯერ უფრო მძიმე და 25-ჯერ მეტი მოცულობისაა, ვიდრე ლითონის კონსტრუქცია. სწორედ ამიტომ ლითონის კონსტრუქციის ტრანსპორტირება გაცილებით ადვილი და იაფია.

ლითონის კონსტრუქციებით განხორციელებული ნაგებობების რეკონსტრუქცია გაძლიერება უფრო მარტივი და სწრაფად აღდგენადია.

ლითონის კონსტრუქციებით შესაძლებელია რთული საინჟინრო ნაგებობათა უდიდესი მაღლების გადახურვა. კონსტრუქციები წარმოადგენენ საიმედო კონსტრუქციებს ფოლადის ერთგვაროვანი სტრუქტურისა და მაღალი დრეკადობის მოდულის გამო.

ზემოთ აღნიშნული დადებითი თვისებებთან ერთად ფოლადის კონსტრუქციებს აქვს შემდეგი უარყოფითი თვისებები:

ლითონის კონსტრუქციებზე მოქმედებს კოროზია (ჟანგვა). ატმოსფეროს აგრესიული ფაქტორების გავლენით – ტენი, ჰაერში მყოფი მარილები და გაზები. წარმოქმნება ლითონის ზედაპირზე ჟანგვული და ჟანგი. ხანგრძლივი გარკვეული დროის მოქმედების შემდეგ შესაძლებელია მასალამ დაკარგოს მექანიკური თვისებები, ანუ დასუსტებულმა და დაზიანებულმა კვეთმა შესაძინევად დაკარგოს დატვირთვებისადმი ზემოქმედების უნარი. ამიტომ მათ სჭირდებათ განსაკუთრებული მეთვალყურეობა. დაზიანებების აღმოჩენის შემდეგ საჭიროა მათი გასუფთავება ჟანგისაგან სათანადო წესების დაცვით და შემდგომში სპეციალური საღებავებით მათი შეღებვა. კოროზიის საწინააღმდეგო ღოსიძიებების ჩატარება ძვირი ჯდება, რაც აძვირებს ლითონის კონსტრუქციების თვითღირებულებას.

ფოლადის კონსტრუქციები ცეცხლის გავლენით კარგავენ ამტანუნარიანობას, დეფორმირდებიან და უვარგისი ხდებიან. ასეთი კონსტრუქციების აღდგენა შეუძლებელია; საჭიროა მათი დაჭრა და დაზიანებული ნაწილების ნაწილ-ნაწილ მოცილება  $+300^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურის დროს ფოლადის სიმტკიცე მკვეთრად ეცემა და  $+600^{\circ}\text{C}$  დროს მისი ამტანუნარიანობა ნულის ტოლი ხდება.

ლითონის კონსტრუქციების ელემენტები, დეროები და შეერთების ტიპები, ისე უნდა იქნეს შერჩეული, რომ აკმაყოფილებდეს: მათი კოროზიის, გაჭუჭყიანებისაგან უკეთესი დაცვის, შემთხვევითი დაზიანებების თავიდან აცილების, უდიდესი მდგრადობისა და მონტაჟში უკეთესი მიერთების პირობებს. ამასთანავე უნდა იყოს დასამზადებლად მარტივი და აკმაყოფილებდეს დატვირთვის ქვეშ მუშაობის პირობებს.

ღუნვაზე მომუშავე ლითონის კონსტრუქციის ძირითადი მზიდი ელემენტია კოჭი. ლითონის კოჭებს იყენებენ სხვადასხვა სახის საინჟინრო ნაგებობებში: მრავასართულიან კარკასულ შენობებში, სამრეწველო საამქროების სართულშუა გადახურვებში (კოჭოვანი უჯრედი), გრძივად გადახურვებში ამწქვეშა კოჭებად, ხიდებში, მილსადენებში და სხვა. მთლიანკედლიანი კოჭების მაღლი შეიძლება იყოს 100 მეტრზე მეტიც.

კოჭებად იყენებენ ორტესებრ პროფილს – გაგლინულსა და შედგენილს. გაგლინული კოჭების გამოყენება თითქმის ყოველთვის რაციონალურია, თუ ისინი ანგარიშით არის გამართლებული. შედგენილი კოჭების გამოყენება საჭიროა იმ შემთხვევაში, როდესაც გაგლინული კოჭები ვერ აკმაყოფილებენ სიმტკიცის, სიხისტისა და მდგრადობის პირობებს და აგრეთვე მაშინ, როდესაც გაგლინული კოჭების გამოყენება დაკავშირებულია ლითონის საგრძნობ დიდი გადახარჯვასთან.

გაგლინული კოჭების მაქსიმალური სიმაღლე სორტამენტის მიხედვით აღწევს 70 სმ, დიდი მალეების და შედარებით დიდი დატვირთვების შემთხვევაში კოჭის სიმაღლეს ვღებულობთ 70 სმ-ზე მეტს. ასეთ შემთხვევაში იძულებული ვართ გამოვიყენოთ შედგენილი კოჭები.

ლითონის შედგენილ კოჭებს უფრო ხშირად აგეგმარებენ ორტესებრი განივკვეთით, რომლებიც უფრო ეკონომიური არიან ლითონის ხარჯვის მიხედვით ღუნვადი ელემენტებისათვის და მოხერხებული კონსტრუირებისა და მონტაჟის მხრივ.

შედულებული შედგენილი კოჭები ლითონის ხარჯვის მიხედვით, მოქლონილი შეერთებით განხორციელებულ შედგენილ კოჭებზე ეკონომიურია; ვინაიდან მოქლონვილი კოჭები მეტად შრომატევადია. დიდი მოძრავი დინამიური დატვირთვების მოქმედებისას რაციონალურია გამოვიყენოთ მოქლონვილი კოჭები.

ლითონის კონსტრუქციების ელექტროშედულებამ მოგვცა ლითონის მნიშვნელოვანი რაოდენობით დაზოგვის საშუალება და შესამჩნევად გაამარტივა, დააჩქარა, გააიაფა სამუშაოს წარმოება. ელექტრორკალური ხელით შედულება ამჟამად შეერთების ყველაზე უფრო გავრცელებული ხერხია ტექნიკის თითქმის ყველა დარგისათვის. შედულება წარმოადგენს შესადულებელი ლითონების მოლეკულური შეერთების პროცესს და ამიტომ იგი პრინციპულად განსხვავდება მოქლონებით ან ჭანჭიკებით მექანიკური შეერთებებისაგან.

სამრეწველო შენობების და ნაგებობების ლითონის მზიდი კარკასის დაგეგმარების ძირითადი ამოცანაა ლითონის რაციონალური

კონსტრუქციების შექმნა, გაანგარიშებისა და კონსტრუირების ძირითადი საკითხების შესწავლა.

სამრეწველო დანიშნულების ნაგებობებში მთლიანად მასალად ლითონის კარკასის გამოყენება ყოველთვის არ არის გამართლებული. ერთი მხრივ ლითონის ეკონომიის აუცილებლობით და მეორე მხრივ ასაწყობი რკინაბეტონის ფართოდ განვითარება სტიმულს იძლევა კომბინირებული შერეული კონსტრუქციების გამოყენების რაციონალურობაზე (მაგალითად ლითონის წამწები დაყრდნობილი რკინაბეტონის კოლონებზე, ან მთლიანად როგორც ლითონის ასაწყობი კონსტრუქციების, ასევე მთლიანად ასაწყობი რკინაბეტონის კონსტრუქციების გამოყენებისა).

სამრეწველო ნაგებობებში გამოსაყენებელი კონსტრუქციების დასაბუთების და დაგეგმარების ერთ-ერთი ძირითადი ამოცანაა გამოსაყენებელი მასალის გამოყენების სწორი რაციონალური გამოყენება. ლითონის, რკინაბეტონის, ხის კონსტრუქციების შერჩევის ძირითად ფაქტორს წარმოადგენს საწარმოო რეჟიმი, კონსტრუქციის ექსპლუატაციის პირობები და აგრეთვე მშენებლობის ხანგრძლივობა. გარდა ამისა, მასალის ამორჩევაზე შეიძლება გაეღენა იქონიოს ნაგებობების ნაწილების გაბარიტებმა (გადასახურავი მალი, შენობის სიმაღლე, კოლონებს შორის მანძილი და სხვა) და საექსპლუატაციო დატვირთვების და კონსტრუქციების ტრანსპორტირების პირობებმა.

სამრეწველო შენობების კარკასებში ლითონის გამოყენება რეგულირდება შესაბამისი ტექნიკური წესებით “მშენებლობაში ლითონის, რკინაბეტონის ხე-ტყის და ცემენტის ეკონომიკური ხარჯვის ნორმატიული-ტექნიკური წესებით”.

ნორმატიულ-ტექნიკური წესების თანახმად ლითონის გამოყენება დაიშვება:

- ა) კოლონებად 15,0 მ სიმაღლით და ზევით, ან კოლონებს შორის 12,0 მ-ზე ზევით ბიჯის შემთხვევაში; ბიჯის და სიმაღლის მიუხედავად როცა  $l=24,0$  მ მაღისა და მეტის შემთხვევაში;
- ბ) ამწქვეშა კოჭებში, რკინაბეტონის კოლონებზე დაყრდნობით, 6,0 ბიჯისა და 20,0 ტონა ამწეს ტვითამწეობის დროს, აგრეთვე 12,0 მ ბიჯისა და ამწეების ნებისმიერი ტვითამწეობის შემთხვევაში.

ლითონის კოლონიებიან სამრეწველო საამქროებში ფოლადის გამოყენება ამწვევმა კოჭებად ნებადართულია ნებისმიერი შემთხვევისათვის.

საწარმოო შენობების გადახურვებში ფოლადის წამწების გამოყენება ნებადართულია 24,0 მ მაღის ზევით. ცალკეულ შემთხვევაში ფოლადის წამწების გამოყენება შესაძლებელია მცირე მაღლების დროსაც (12÷24) მ, განსაკუთრებით მაშინ როცა ტექნოლოგიური პირობა მოითხოვს კარკასის საერთო კომპლექსში მცირე მასალების ჩართვასაც (მარტენის საამქროები).

ლითონის კარკასის მოწყობა ყველაზე უფრო გამართლებულია მძიმე საამქროებში (მაგალითად კოქსის, მარტენის, ბესემერის, დუპლექს-საამქროებში და სხვა), რომლებსაც ემსახურება დიდი ტვირთამწეობის ამწეები (200÷350 ტონა), სამჭედლო-საწნეს, მძიმე მანქანათმშენებლობას და სხვა საამქროებში.

მსუბუქი და საშუალო მანქანათმშენებლო ქარხნების საამქროებისათვის, მსუბუქი ტიპის შენობებში. ასეთ საამქროებში მთლიანი რკინაბეტონის კარკასთან ერთად შესაძლებელია გამოყენებული იქნეს კომბინირებული-შერეული კონსტრუქციები. (მაგალითად ლითონის წამწე, რკინაბეტონის კოლონიები).

სამრეწველო საამქროს ფართობს გეგმაში, ტექნოლოგიური პროცესის პირობების მიხედვით, შეიძლება ჰქონდეს სხვადასხვა მოხაზულობა; ეს პირობა ძირითადი და პირველსაწყისი პირობათაგანია, რომელზედაც დამოკიდებულია კონსტრუქციის განლაგება.

სამრეწველო შენობათა კონსტრუქციების დაგეგმარების ამოცანის გადაწყვეტას საფუძვლად უდევს შემდეგი ძირითადი პირობები: ა)ტექნოლოგიური; ბ)ეკონომიური და გ)არქიტექტურული.

ყოველგვარი ნაგებობის დაგეგმარების დროს აუცილებელია გათვალისწინებული იქნეს ადგილობრივი პირობები: გეოლოგიური, კლიმატური, ტოპოგრაფიული. ძირითადია ტექნოლოგიური პირობა, რომლის საფუძველზეც წყდება როგორც არქიტექტურული, ისე ნაგებობის კონსტრუქციული საკითხები.

ტექნოლოგიურ პირობებს მიეკუთვნება:

- ა) მონაცემები ტექნოლოგიურ მოწყობილობათა ამწვეი ხელსაწყოებისა და ტრანსპორტირების მოწყობის შესახებ, აგრეთვე მიწისქვეშა ნაგებობათა და საყოფაცხოვრებო მოწყობილობათა გაბარიტების შესახებ;
- ბ) შენობის ექსპლუატაციის რეჟიმის საკითხები;
- გ) დატვირთვები;
- დ) წარმოების შემდგომი გაფართოებისა და რეკონსტრუქციის პერსპექტივასთან დაკავშირებული საკითხები.

საწარმოო შენობის პროექტის შედგენისათვის ძირითადია საპროექტო მოცემულობები. საპროექტო მოცემულობის მიხედვით მუშავდება ტექნიკური პროექტი, შემდეგ კი სამუშაო ნახაზები. სამრეწველო შენობების აგების დროს ფოლადის კონსტრუქციების გამოყენება ყველაზე მეტად უპასუხებს მშენებლობის ინდუსტრიალიზაციისა და სამონტაჟო სამუშაოთა მექანიზაციის მოთხოვნებს, ამასთანავე, ლითონის მაქსიმალური ეკონომიკის მოთხოვნების შესაბამისად, ლითონის გამოყენების სფეროში ხდება მთელი რიგი შეზღუდვები და სამრეწველო შენობების ფოლადის მზიდი კონსტრუქციები იცვლება რკინაბეტონის, ქვის და ზოგიერთ შემთხვევებში ხის კონსტრუქციებით.

სამრეწველო საამქროები, რომელთა მზიდი კონსტრუქციები ლითონისაგან არის გაკეთებული იყოფა მუშაობის მსუბუქ, საშუალო და მძიმე რეჟიმის საამქროთა ჯგუფებად.

ლითონის დიდი რაოდენობით გამოყენების დროს ეკონომიის თითოეული პროცენტი შეადგენს ათასობით ტონას. ეკონომიას აღწევნ ძირითადად ახალი რაციონალური სქემების დამუშავებით. ეფექტური კონსტრუქციების დანერგვით და მასალის საანგარიშო მონაცემების გაზრდით. ფოლადის ხარისხის გაუმჯობესების შედეგად.

სამრეწველო საამქროს ნაგებობა წარმოადგენს სხვადასხვა ელემენტებისაგან განხორცილებულ რთულ სისტემას. ასეთი შენობის კონსტრუქციები შედგება ცალკეული ბრტყელი ელემენტებისაგან, როგორცაა: ჩარჩოები, წამწვეები და კოჭები. ამიტომ ასეთი შენობების

დაგეგმარების დროს აუცილებელია ნაგებობის თითოეული ელემენტის როლის განსაზღვრა, დატვირთვის გადანაწილება, რის მიხედვითაც ძაბვების სიდიდეები უნდა ეთანადებოდეს და პასუხობდეს კონსტრუქციის ფაქტიურ მუშაობას.

ნაგებობის საბოლოო სქემის რეალურ გადაწყვეტას საფუძვლად უნდა დაედოს:

- 1) ექსპლუატაციის მოხერხებულობა;
- 2) მშენებლობის ეკონომიკა და ინდუსტრიალიზაცია;
- 3) სამრეწველო ნაგებობების ესთეტიკური გაფორმება.

ექსპლუატაციის პირობა. კონსტრუქციის ექსპლუატაციის მიხერხებულობის თვალსაზრისით მათმა სქემებმა და გაბარიტულმა ზომებმა უნდა უზრუნველყონ:

- ა) საამქროს აგრეგატების მომასხურებისა და მათი რემონტის წარმოების მისაღვომობა და მოხერხებულობა (ამ პირობის შესრულება მოითხოვს კოლონების, კავშირების, გზებისა და სხვა შესაბამის განლაგებას);
- ბ) საამქროს ამწეების მოწყობილობათა და სხვა ასაწევი მექანიზმების ნორმალური ექსპლუატაციის შესაძლებლობა, ამ პირობის შესრულება მოითხოვს ნაგებობებისათვის შესაბამისი განივი და გრძივი სიხიტის მოცემას;
- გ) ამწეთა მეურნეობის ელემენტების რემონტისა და გასინჯვის შესაძლებლობა;
- დ) აერაციის, განათების, წყალმომარაგებისა და სხვა განსახორციელებლად საჭირო პირობების შექმნა.

მრეწველობის მრავალი დარგის ტექნოლოგიური პროცესების სწრაფი ტემპით სრულყოფა აყენებს აგრეთვე პირობას ნაგებობების მომარჯვებადობის საექსპლუატაციო რეჟიმისა და ნაწილობრივ შეცვლილი ტექნოლოგიის ადვილი განხორციელებისათვის (მუშა აგრეგატის გაბარიტების შესაძლო ცვლილება, მათი განლაგება, ასაწევი სატრანსპორტო საშუალებათა ცვლილება და სხვა).

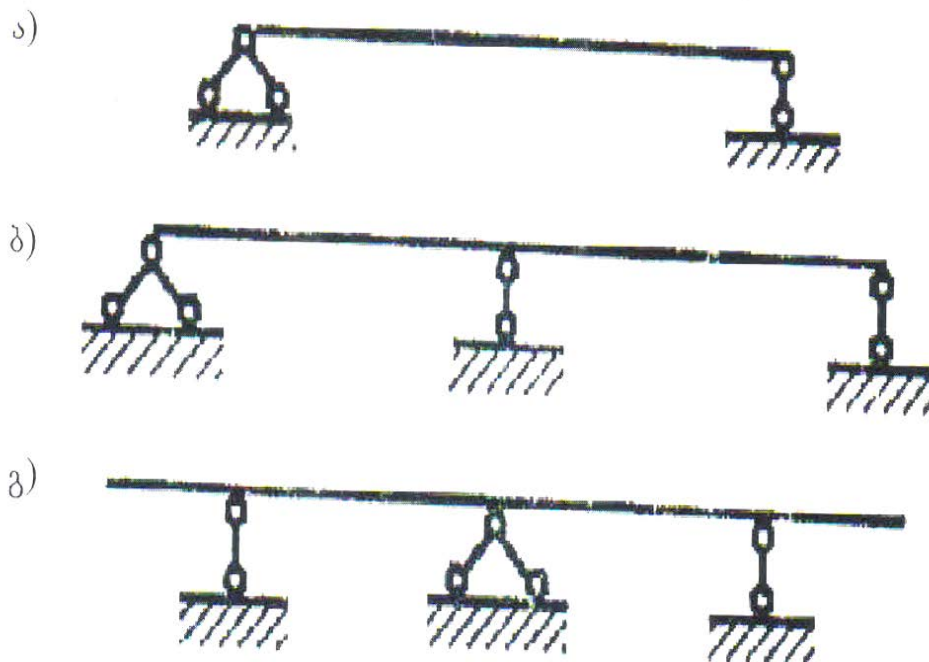
# Tavi I

## 1.1. ლითონის კოჭების კლასიფიკაცია

ლითონის კოჭების გამოყენების სფერო ძალიან დიდია. ისინი ეფექტურად გამოიყენებიან სამუშაო მოედნების კოჭოვან გადახურვებში, სამოქალაქო, სამრეწველო და საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობების კონსტრუქციებში, ხიდებში, ესტაკადებში, ჰიდროტექნიკური ნაგებობების კონსტრუქციებში, ამწეებსა კოჭებად და სხვა.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე ლითონის კოჭების კლასიფიკაცია შეიძლება შემდეგნაირად:

1. სტატიკური სქემის მიხედვით კოჭები არსებობენ: ერთმალიანი (ჭრილი), მრავალმალიანი (უჭრი) და კონსოლური (ნახ. 1).



ნახ. 1 კოჭების სტატიკური სქემები: ა) ჭრილი, ბ) უჭრი, გ) კონსოლური



შედარებით დიდი გამოყენება აქვთ ერთმალთან (ჭრილ) კოჭებს, რომლებიც, უჭრ და კონსოლურ კოჭებთან შედარებით, გამოირჩევიან დამზადების და მონტაჟის სიმარტივით. ისინი არ არიან საყრდენების ჯდენისადმი მგრძობიარენი. მაგრამ ხასიათდებიან ფოლადის მეტი ხარჯით, დაახლოებით 10...12%-ით.

უჭრი კოჭები მიზანშეწონილია გამოყენებული იქნეს საიმედო საყრდენების შემთხვევებში, როდესაც არ არსებობს კოჭების გადატვირთვის საშიშროება საყრდენების არათანაბარი ჯდენების გამო.

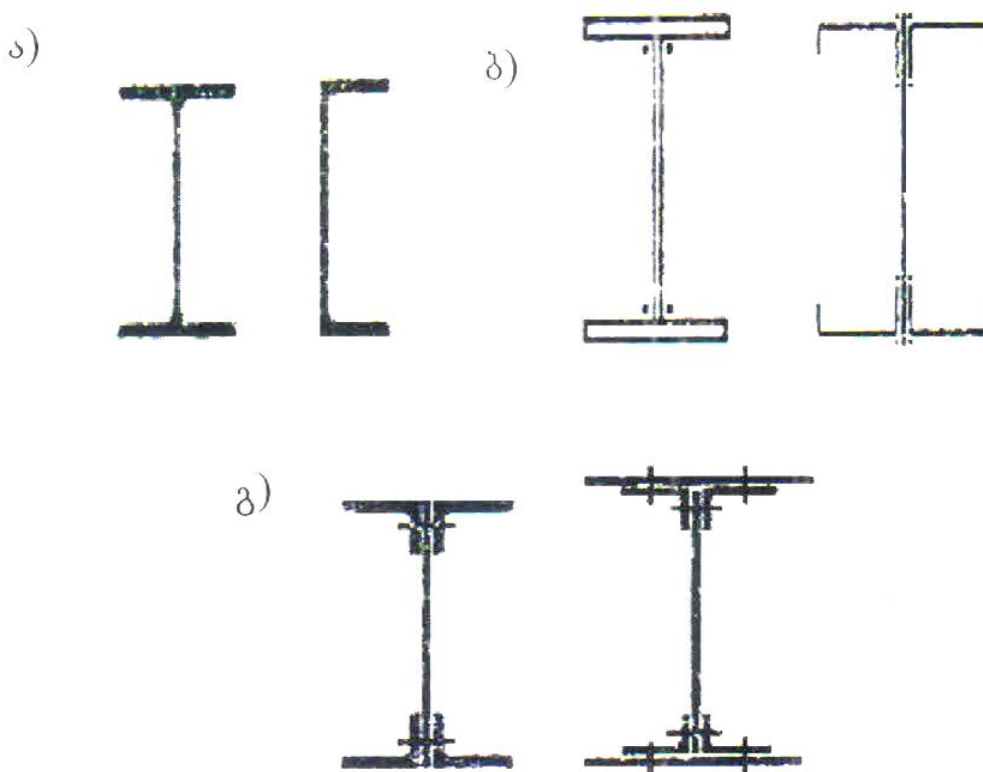
ჭრილი კოჭები შეიძლება იყოს როგორც ერთმალთან (ჭრილი), ასევე მრავალმალთან. კოლონები განტვირთავენ კოჭების კვეთებს მალეში და ამით ამალლებენ მათ ეკონომიკურ მაჩვენებლებს. კერძოდ, მცირდება მასალის ხარჯი.

2. განივი კვეთების მიხედვით კოჭები შეიძლება იყოს: გაგლინული და შედგენილი: შედუღებით, მოქლონებით, ჭანჭიკებით (ნახ. 2).

მშენებლობაში დიდი გამოყენება აქვთ ორტესებრი შედგენილი განივი კვეთების კოჭებს (ნახ. 2. ბ, გ). ასეთი კოჭები მოხერხებული არიან ტექნოლოგიურად და ეკონომიურები მასალის ხარჯის მიხედვით. თანაბარ პირობებში მყოფი ორტესებრი კოჭებიდან მაქსიმალური ეკონომიკური ეფექტი შეიძლება იქნეს მიღწეული თხელკედლიან კოჭებში. მათი უპირატესობის დასამტკიცებლად, ღუნვაზე მომუშავე ელემენტების ფარდობითი სიმსუბუქის კარგი კრიტერიუმია უგანზომილებო ფარდობა:

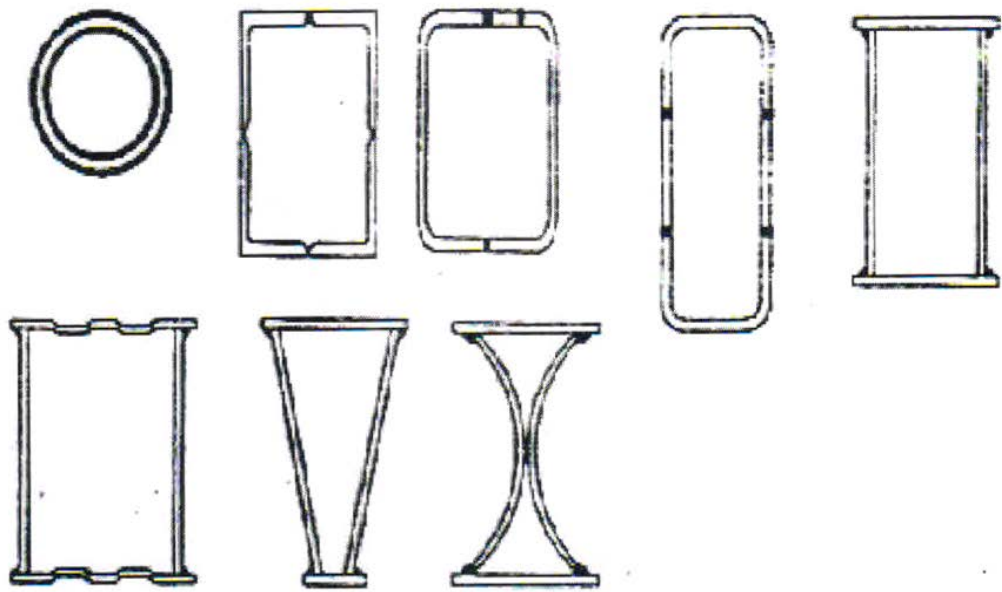
$$\eta = \sqrt[3]{\frac{W^2}{A^3}}, \quad (1)$$

სადაც  $W$  – წინააღობის მომენტი;  $A$  – განივი კვეთის ფართობი.



ნახ. 2. კოჭების განივი კვეთები. ა – გაგლინული, ბ – შედუღებით შედგენილი, გ – მოქლონებით და ჭანჭიკებით შედგენილი.

სწორკუთხა მთლიანი კვეთებისათვის, გვერდების ფართობით  $\frac{h}{b} = 2 \dots 6$ , ეს მაჩვენებელი ტოლია  $\eta = 0,38 \dots 0,55$ -ის, ხოლო არსებული ორტესებრი პროფილებისათვის  $\eta = 1,25 \dots 1,45$ -ს. ე.ი. მუშაობის თანაბარი პირობებისათვის ორტესებრი კვეთები 3...4-ჯერ უფრო მომგებიანი (ეკონომიურია), ვიდრე ჩვეულებრივი მარტივი სწორკუთხა მთლიანი კვეთები. ორტესებრის გარდა იყენებენ განივი კვეთების სხვა ფორმებსაც. ასე მაგალითად, როდესაც კოჭზე მოქმედებენ მნიშვნელოვანი მგრესავი მომენტები მიზანშეწონილია ჩაკეტილი კვეთების გამოყენება, რომელთა ზოგიერთი სახე ნაჩვენებია ნახ. 3-ზე.



ნახ. 3. კოჭის ჩაკეტილი განივი კვეთები

ამრიგად, კოჭების განივი კვეთების ეკონომიკური ეფექტი მჭიდროდაა დაკავშირებული მათ თხელკედლიანობასთან. აქედან გამომდინარე, მეცნიერებმა შექმნეს მთელი რიგი კონსტრუქციული ფორმები, როლებიც მთელ რიგ შემთხვევებში, უფრო ეფექტური არიან, ვიდრე ტრადიციული გაგლინული და შედგენილი კოჭები და მათი გამოყენება იძლევა საგრძნობ ეკონომიკურ ეფექტს. გაგლინული პროფილის თხელკედლიანობა შეზღუდულია არა მარტო კედლის ადგილობრივი მდგრადობის უზრუნველყოფის მოთხოვნებით, არამედ ქარხანაში პროფილის გაგლინვის ტექნოლოგიური შესაძლებლობებით. შედგენილ კვეთებში ეს საკითხი შედარებით იოლად წყდება. კედლის ადგილობრივი მდგრადობა შეიძლება ამადლდეს კონსტრუქციული ხერხებით – სიხისტის წიბოების მოწყობით, კედლის გოფრირებით და სხვა.

ქვემოთ ჩვენ განვიხილავთ შედგენილი კოჭების, შედარებით პროგრესულ, კონსტრუქციულ გადაწყვეტებს, რომელთა შერჩევა მოლიანად ემყარება კვეთის ფარდობითი თხელკედლიანობის გაზრდას, რაც, საბოლოო ჯამში, ზრდის კონსტრუქციის ეფექტურობას და იძლევა მასალის მნიშვნელოვან ეკონომიას.

ეს აზრი დაედო საფუძვლად სადისერტაციო ნაშრომში შემოთავაზებული ორტესებრი კოჭის ახალ კონსტრუქციულ გადაწყვეტას. ნაშრომში პირველად მიახლოებით განხილულია მისი გაანგარიშების და კონსტრუირების ზოგიერთი თავისებურებანი. დადგენილია ეკონომიური ეფექტურობა არსებულ კონსტრუქციულ გადაწყვეტებთან შედარებით.

შედგენილი განივკვეთის მქონე შედუღებული კოჭების განივკვეთის შერჩევისას მოცემული დატვირთვებისა და ჩაღუნვის რეგლამენტირებული მნიშვნელობების დროს მიღებულია, რომ განისაზღვროს კოჭის განივკვეთის მინიმალური და ოპტიმალური სიმაღლე და შემდეგ სიმაღლის მიხედვით მოხდება კოჭის განივკვეთის შერჩევა კონსტრუირება-დაგეგმარება.

კოჭის განივკვეთის ელემენტებს შორის, როგორცაა კოჭის სიმაღლე, კოჭის კედლის სისქე, კვეთის თაროს სიგანე და სისქე, დადგენილია გარკვეული თანაფარდობანი; კოჭის განივკვეთი უნდა იყოს რაციონალური, თაროების ფართობები სასურველია იყოს კედლის ფართობის ტოლი და სხვა. ყველა ამ პირობის დაკმაყოფილება გაანგარიშების არსებული მეთოდით გარკვეულ ობიექტურ სიძნელებებთანაა დაკავშირებული და ხშირად ვერც ხერხდება. წინამდებარე ნაშრომის მიზანია კოჭების გაანგარიშების უფრო მოხერხებული წესის შემუშავება.

როგორც ცნობილია, კლასიკური მეთოდით ფოლადის შედგენილი განივკვეთის მქონე შედუღებული კოჭების გაანგარიშებისას სიხისტისა და სიმტკიცის პირობების გათვალისწინებით ისაზღვრება კოჭის განივკვეთის სიმაღლე  $h$ , რომელიც მიიღება კოჭის ინერციის მომენტის -  $I_x$ , წინაღობის მომენტისა -  $W_x$  და განივკვეთის ფართობის -  $A$ , გამოსახულებებს შორის ურთიერთ დამოკიდებულებებისგან. [1]; [20]; [21].

$h$ -ის შერჩევის შემდეგ საჭიროა კოჭის განივკვეთის კონსტრუირება, ანუ გარკვეული თანაფარდობების დაცვა კოჭის კვეთის პარამეტრებს შორის, როგორცაა კოჭის კედლის სიმაღლე -  $h_w$ , კოჭის კედლის სისქე  $t_w$ ; კოჭის თაროების სიგანე -  $b_f$  და კოჭის თაროს სისქე  $t_f$ .

შესაბამისი მოთხოვნების დაცვის დროს კოჭის კვეთის დაგეგმარებისას ხშირად ვერ ხერხდება ან ძნელდება კოჭის განივკვეთის ფართობის რაციონალურობის მოთხოვნის დაკმაყოფილება, რაც იმაში მდგომარეობს, რომ  $2A_f = A_w$ . მიუხედავად იმისა, რომ სწორედ ამ პირობის გათვალისწინებითაა განსაზღვრული კოჭის სიმაღლე  $h$ . ე. ი. თაროების ფართობი სასურველია იყოს კოჭის კედლის ფართობის ტოლი, ანუ კოჭის მთელი განივკვეთის ფართობი თანაბრად უნდა იყოფოდეს თაროებსა და კედელს შორის. ამ სიძნელეს შესაძლებელია გვერდი ავუაროთ, თუ შევქმნით შედგენილი კოჭების “სორტამენტს”, რომელშიც  $h$ -ების მიხედვით და ყველა მოთხოვნილი პირობის დაკმაყოფილებით მოცემული გვექნება კოჭის განივკვეთები, ინერციის მომენტები, წინაღობის მომენტები და სხვა მახასიათებლები, რაც საშუალებას მოგვცემს ერთი რომელიმე პარამეტრის, ვთქვათ, ინერციის მომენტის  $I$  ან წინაღობის მომენტის  $W$  - ს მიხედვით ავირჩიოთ ჩვენთვის საჭირო კვეთი ყველა სხვა პარამეტრებთან ერთად. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ თუ რაიმე მოსაზრებით საჭირო იქნა კვეთის პარამეტრების კორექტირება – ეს უკვე გაცილებით იოლი საქმეა.

სამრეწველო და სამოქალაქო მშენებლობაში ფართო გამოყენება აქვს ლითონის შედგენილ, შედუღებულ, ორტესებრი ფორმის განივკვეთის მქონე კოჭებს. ასეთი კოჭების გაანგარიშებისას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება, სიმტკიცისა და სიხისტის პირობების დაკმაყოფილებასთან ერთად, ეკონომიურობის საკითხსაც, რაც კოჭის განივკვეთის ფართობის მინიმალურობასთანაა დაკავშირებული. ამ ამოცანების გადაწყვეტის არსებულ მეთოდში გვხვდება გარკვეული როგორც მათემატიკური, ისე ლოგიკური წინააღმდეგობანი, რომელთა შესახებაც მოსაზრებები მოცემულია წინამდებარე ნაშრომში.

შედგენილი, შედუღებული კოჭების გაანგარიშება სიმტკიცეზე და სიხისტეზე განხილულია მრავალი ავტორის მიერ, რომელთა შორისაც მნიშვნელოვნად უნდა ჩაითვალოს ნ. ს. სტრელეცკის, ე. ი. ბელენიას და კ. კ. მუხანოვის შრომები. შედგენილი კოჭების გაანგარიშების ერთი შეხედვით სამარტივის მიუხედავად უნდა აღინიშნოს, რომ მასში გასათვალისწინებელია მრავალი ნიუანსი, როგორც კონსტრუირებისას, ასევე გაანგარიშებისას სამშენებლო მექანიკის მეთოდების შესაბამისად

და მათემატიკური მოდელის შესაქმნელად. საანგარიშო მოდელის შექმნისა და მისი განხორციელების დროს მნიშვნელოვანია, რომ დაცული იქნას ის წინასწარი დებულებები და დაშვებები, რომელიც საფუძვლად უდევს კონკრეტულ საანგარიშო მოდელს და მათი დარღვევა არ არის მიზანშეწონილი გამართლებული იქნას რაიმე პრაქტიკული მოსაზრებებით. წინამდებარე ნაშრომი შეესება სწორედ ასეთ გადახრებს შედგენილი, შედუღებული კოჭების გაანგარიშებისას.

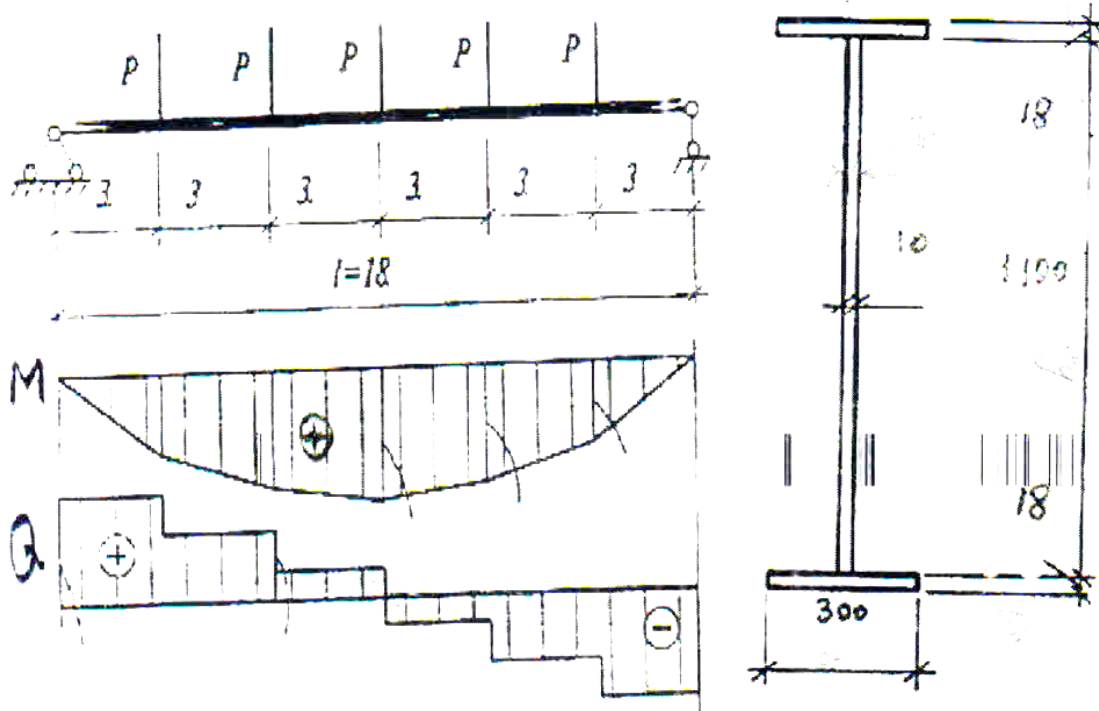
## Tavi 2

### 2.1 კოჭის მოჭილობის ტექნიკა

მოჭილობის კოჭების (თხელკედლიანი კოჭები) გაანგარიშება და კონსტრუირება ნაწილობრივ განსხვავებულია ჩვეულებრივი შედუღებით შედგენილი ორტესებრი კოჭების გაანგარიშებისა და კონსტრუირებისაგან. ამის ნათელსაყოფად და შემდგომ მათ შესადარებლად წარმოვადგინოთ არსებულ ლიტერატურაში [1,20] განხილული მაგალითის საბოლოო შედეგები. კერძოდ, განხილულ მაგალითში გაანგარიშებულია ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე კოჭი შემდეგი მონაცემების მიხედვით (ამ მონაცემებით იქნება გაანგარიშებული შემდგომ ყველა დანარჩენი ტიპის ორტესებრი კოჭები).

კოჭის მალი  $l=18$  მ. კვეთის ტიპი – სიმეტრიული შედუღებით შედგენილი ორტესებრი, ფურცლოვანი ნაგლისაგან; კედლის პირობითი მოჭილობა  $\bar{\lambda}_w < 6$ . დატვირთვა-საანგარიშო  $P=62,7$  კნ და ნორმატიული  $P_n=49,5$  კნ. ფოლადი C345 ( $R_y=33,5$  კნ/სმ<sup>2</sup>, როცა ფურცლის სისქე  $t=2\cdots 10$  მმ და  $R_y=31,5$  კნ/სმ<sup>2</sup>, როცა  $t=10\cdots 20$  მმ). კოჭის ზღვრული ჩაღუნვა  $f_u = \frac{l}{250}$ .

ჩვეულებრივი შედუღებით შედგენილი ორტესებრი კოჭის განივი კვეთის სქემა და გაანგარიშების შემდეგ მიღებული მისი ზომები ნაჩვენებია ნახ. 4.-ზე.



ნახ. 4 კოჭის საანგარიშო სქემა და განივი კვეთი. მღუნავი მომენტის და განივი ძალის ეპიურები

საბოლოოდ მიღებულია, რომ კოჭის სიმაღლე არის 1136 მმ, კედლის ზომები - 1100X10 მმ, სარტყლები - 300X18 მმ, შუალედური სიხისტის წიბოები - 90X8 მმ, საყრდენი სიხისტის წიბოები - 300X8 მმ. ფოლადის ხარჯი: კედელზე - 1554 კგ, სარტყლებზე - 1526 კგ, წიბოებზე - 142 კგ. მოლიანად ფოლადის ხარჯი 18 მ-იან კოჭზე - 3222 კგ.

შენიშვნა: კედლის სიმაღლე აიღება ფურცლის ზომების მიხედვით: 500, 510, 600, 670, 700, 710, 750, 800, 850, 900, 950, 1000, 11200, 1250, 1400, 1420, 1500 მმ და შემდეგ 3800 მმ-მდე 10 მმ-ის ჯერადი.

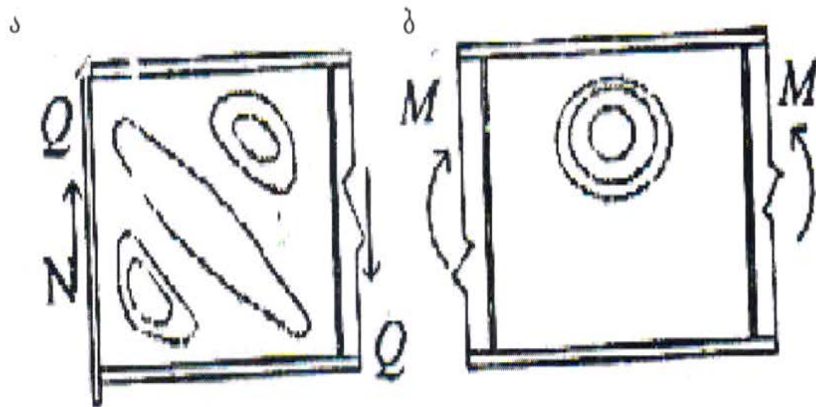


## 2.2 მოქნილი კედლიანი (Tხელიანი) კოჭების მუშაობის თავისებურებები

გადავდივართ კოჭებზე მოქნილი კედლით. პირველად, ასეთი კოჭები გამოყენებული იყო საფრენი აპარატების კარკასის კონსტრუქციებში, სადაც კედლის სიმსუბუქისათვის გამოყენებოდა არა ფოლადი, არამედ მკვრივი ქსოვილი (ბრეზენტი და სხვა). ასეთ კოჭებში ბრტყელი კედელი დატვირთვის დასაწყის სტადიაშიც კი კარგავს ადგილობრივ მდგრადობას. დატვირთვების მოხსნის შემდეგ კედლის ეს დეფორმაციები ქრებიან. ეს არის მოქნილი კედლის თვისება. მშენებლობაში ასეთი კოჭების გამოყენება იწყება XX საუკუნის 70-იან წლებიდან. ასეთ კოჭებში, კედლის მოქნილობის  $\lambda_w = \frac{h_w}{t_w}$  შემცირებას 2...3-ჯერ, მიყვავართ ფოლადის ხარჯის შემცირებამდე 25...35%-ით და ფოლადის მასის კონცენტრაციასთან სარტყლებში, რაც მომგებიანია ღუნვაზე მუშაობის პირობებში. თხელკედლიანი კოჭების გამოყენება მიზანშეწონილია სტატიკური დროებით დატვირთვების მოქმედების დროს, რადგან მათი მუშაობა ცვლადი მოძრავი და დინამიკური დატვირთვების მოქმედების დროს ჯერ კიდევ არასაკმარისადაა შესწავლილი [20,33].

პირველ სტადიაში მუშაობისას კოჭის მოქნილი კედელი რჩება ბრტყელი, როგორც ჩვეულებრივ კოჭებში. მაგრამ, ხანგრძლივობის მიხედვით, ეს სტადია არის ხანმოკლე და მთავრდება კედლის მდგრადობის დაკარგვით, ე.ი. მუშაობის კრიტიკულ სტადიაში გადასვლით (მეორე სტადია). მეორე სტადიაში უკვე დამოკიდებულება ძაბვებსა და დეფორმაციებს შორის არ არის წრფივი.

კედელზე ვითარდება ამობურცული ზონები ნაკეცების წარმოქმნით, რომელთა დაჭიმვა იწვევს კოჭის სარტყლების ადგილობრივ ღუნვას, აგრეთვე განივი სიხისტის წიბოების კუმშვას და საყრდენი სიხისტის წიბოების ღუნვას კედლის სიბრტყეში (ნახ. 5).



ნახ. 5 კედლის მდგრადობის დაკარგვის ფორმები: ა – სუფთა ძვრის დროს, ბ – სუფთა ღუნვის დროს.

მეორე სტადიის დამთავრებისას ძაბვები აღწევენ დენადობის ზღვარს ( $\sigma_y$ ) ან კედლის ცალკეულ წერტილებში, ან სარტყლებში (ან ორივეში ერთდროულად).

მესამე სტადიაში ვითარდებიან პლასტიკური დეფორმაციები კედელში და სარტყლებში. იზრდება კოჭის ჩაღუნვა. სტადიის ბოლოს ჩაღუნვის ინტენსივობა სწრაფად მატულობს და კოჭის მაღის მონაკვეთებში წარმოქმნება პლასტიკური მექანიზმი ე.ი. კოჭი გადადის ზღვრულ მდგომარეობაში მნიშვნელოვანი ნარჩენი დეფორმაციების გამოვლენით. შემდეგ, დატვირთვის უმნიშვნელო ზრდითაც კი, კოჭი კარგავს ამტანუნარიანობას, რაც გამოიხატება შეკუმშულ-გაღუნული სარტყლის ადგილობრივი მდგომარეობის დაკარგვით. ან სარტყლის მდგრადობის დაკარგვით კედლის სიბრტყეში, რომელზედაც მოქმედებს მკუმშავი ძალა და მღუნავი მომენტი. ამ დროს არ არის გამორიცხული საერთო მდგრადობის დაკარგვაც.

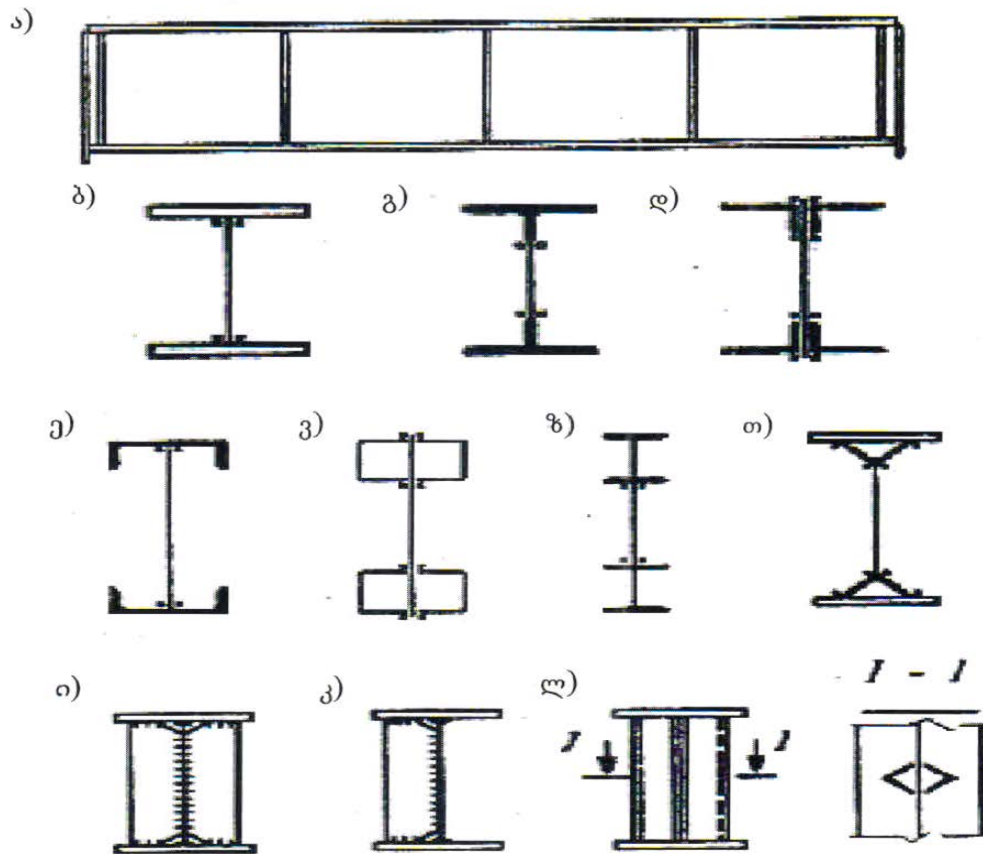
ამრიგად, თხელკედლიანი კოჭების მუშაობის თავისებურებების შესწავლის შემდეგ აუცილებელი გახდა დამუშავებულიყო ადეკვატური რეკომენდაციები მათი კონსტრუქციული გადაწყვეტებისა. ეს კი მიგვანიშნებს, რომ ასეთი კოჭების გამოყენება შესაძლებელია: განივი სიხისტის წიბოების გამოყენებით, რომლებიც მიღუღებულია კედელზე –

ორმხრივად და ერთმხრივად (ნახ.6 ი,კ); სიხისტის წიბოები არ უერთდება კედელს (ნახ. 6, ლ) განივი სიხისტის წიბოების გარეშე. ეს უკანასკნელი გამოიყენება იშვიათად. უფრო მეტად გამოიყენება კოჭები სიხისტის წიბოებით, რომელთა დანიშნულებაა, როგორც ჩვეულებრივ კოჭებში, მიიღონ ადგილობრივი დატვირთვები მეორეხარისხოვანი კოჭებისაგან და შეამცირონ მონაკვეთის სიგრძე  $a$  (ნახ.6 ა) გარდა ამისა, თხელკედლიან კოჭებში მათ აქვთ განსაკუთრებული დანიშნულება, რომელსაც განსაზღვრავს კედლის მუშაობა კრიტიკულ (მეორე) სტადიაში.

თხელკედლიან კოჭებში სარტყლები კედლის დაჭიმულობის გამო მუშაობენ არა მარტო კუმშვაზე და გაჭიმვაზე, არამედ ღუნვაზეც. ამიტომ, მიზანშეწონილია სარტყლის განივი კვეთები იყოს ისეთი, რომელთაც ექნებათ ღუნვისა და გრეხვის მიმართ დიდი სიხისტე. ტექნოლოგიური თვალსაზრისით, უფრო მისაღებია, სარტყელი განხორციელდეს ფურცლოვანი ფოლადისაგან (ნახ. 6 ბ) და ფართო თაროებიანი ტესებრისაგან (ნახ. 6 გ). დიდი დატვირთვების შემთხვევაში შეიძლება გამოყენებული იქნას გაგლინული ან დატვირთული შველერები (ნახ. 6 ე, ვ), ან ფართოთაროებიანი ორტესებრი კოჭები (ნახ. 6 ზ). დამზადების შრომატევადობის მიხედვით, სადაც დიდია შეერთების მოცულობა (ნახ. 6 დ,ვთ), ასეთი კოჭები ნაკლებად ეფექტურია, ვიდრე დანარჩენები.

სტატიკური სქემის მიხედვით თხელკედლიანი კოჭები შეიძლება იყოს ჭრილი და უჭრი, ხოლო მოხაზულობით – მუდმივი ან ცვლადი სიმაღლით (ორქანობიანი ან ერთქანობიანი).

თხელკედლიანი კოჭის მუშაობის თავისებურებების ანალიზი გვაძლევს საშუალებას შევისწავლოთ მისი კედლის მოქცევა, როგორც თხელი ფირფიტისა. პირველი მიმართულება, მათი დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის კვლევისა, ეფუძნება დრეკადობის არაწრფივ თეორიას, მაგრამ კოჭების დაპროექტების პრაქტიკული ამოცანების ამოხსნა ეყრდნობა კვეთის (კოჭის მონაკვეთის) ზღვრული მდგომარეობის შედარებით მარტივი მოდელების შედგენას. ამ მიმართულების არსებობის შესაძლებლობა ეყრდნობა მრავალი ექსპერიმენტის ანალიზის შედეგებს [20,21].

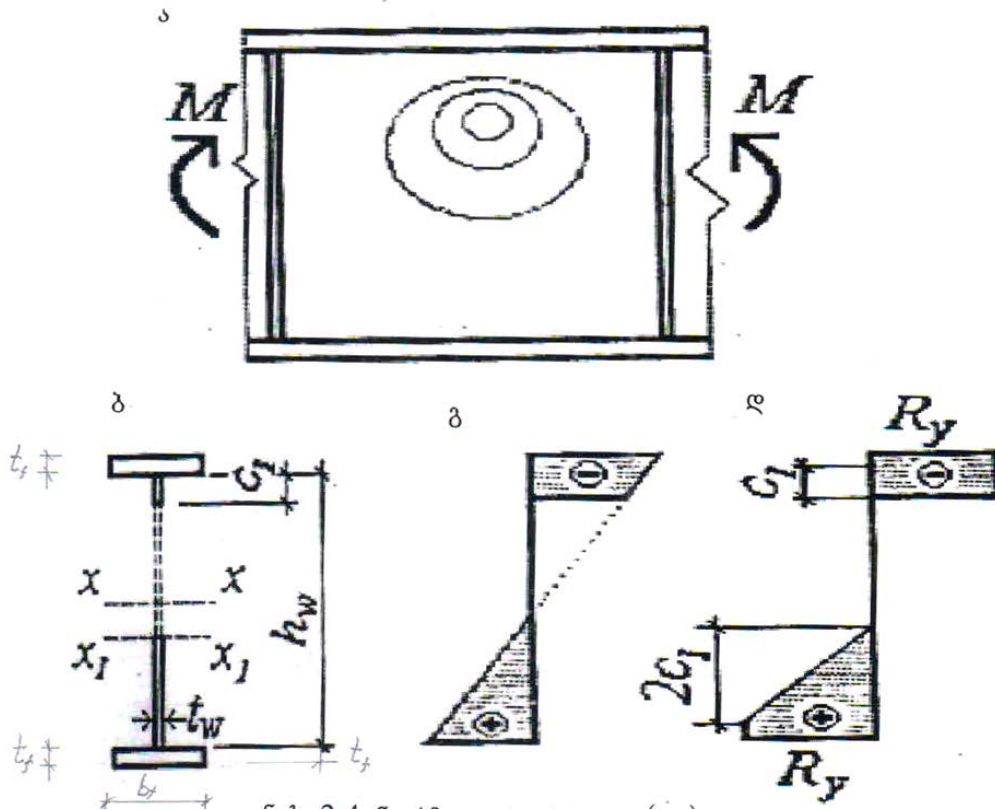


ნახ. 6 კოჭები მოქნილი კედლით: ა – საერთო ხედი, ბ – კოჭების განივი კვეთები სარტყლის სხვადასხვა ტიპებით; ი, კ – კოჭები კედელზე მიდუღებული სიხისტის წიბოებით; ლ – კოჭები კედელზე მიუმაგრებელი სიხისტის წიბოებით

განვიხილოთ კოჭის მონაკვეთი იმ პირობებში, რომელიც ახლოსაა სუფთა ღუნვის პირობებთან, როცა განივი ძალა არ არსებობს ან სიდიდით უმნიშვნელოა (ნახ. 7).

მოქნილი კედლის ამობურცული ნაწილი (ნახ. 7 ა) პრაქტიკულად გამოთიშულია მუშაობიდან უკვე დეფორმირების დრეკად სტადიაში და ნორმალური ძაბვების ეპიურა კვეთში ახლოსაა ნახ. 7 გ-ზე ნაჩვენებ ეპიურასთან. ზღვრულ მდგომარეობაში ძაბვები სარტყლებში აღწევენ დენადობის ზღვარს  $\sigma_y$ . ამ დროს კოჭის შეკუმშული ნაწილი (კედლის ნაწილი), რომელიც უშუალოდ უერთდება სარტყელს, ეფექტურად ერთგება

მუშაობაში და ძაბვების ( $\sigma_x$ ) ეპიურა შეკუმშულ ზონაში უახლოვდება სწორკუთხედს (ნახ. 7 დ). გამარტივებულ საანგარიშო მოდელში  $\sigma_y$ -ის მნიშვნელობის ნაცვლად შეგვეყავს მასალის საანგარიშო წინაღობა, დენადობის ზღვარის მიხედვით  $R_y$ , როგორც მაქსიმალური შესაძლო ძაბვა და ნორმალური ძაბვების ეპიურა საანგარიშო კვეთში მიიღებს სახეს, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახ. 7 დ-ზე.



ნახ. 7 ნორმალური ძაბვები ( $\sigma_x$ ) ეპიურები სუფთა ღუნვის დროს: ა – კოჭის მონაკვეთი; ბ – საანგარიშო კვეთი; გ – ეპიურა ( $\sigma_x$ ) დრეკად კრიტიკულ სტადიაში (მეორე სტადია); დ - ეპიურა  $\sigma_x$  (საანგარიშო) ზღვრულ მდგომარეობაში.

ნორმალური ძაბვების შესახებ ინფორმაცია სავსებით საკმარისია, რათა განისაზღვროს კოჭის განიკვეთში ზღვრული მღუნავი

მომენტები. თუ კედლის შეკუმშული ზონისათვის, ისევე როგორც არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტებისათვის ავიღებთ, რომ

$$C_1 = 0,85t_w \sqrt{\frac{E}{R_y}} \quad (2)$$

მაშინ არ იქნება რთული ჩავწეროთ ზღვრული მომენტის საერთო ფორმულა სუფთა ღუნვის შემთხვევაში, რომელიც მიიღება კოჭის სარტყლების და კედლის მიერ:

$$M_u = R_y \cdot t_w \cdot h_w^2 \left[ A_f / (t_w h_w) + 0,85(1 - 1/\bar{\lambda}_w) / \bar{\lambda}_w \right] \quad (3)$$

სადაც

$R_y$  – მასალის საანგარიშო წინაღობაა;

$E$  – მასალის დრეკადობის მოდული;

$t_w$  – კედლის სისქე;

$h_w$  – კედლის სიმაღლე;

$\bar{\lambda}_w$  – არის კედლის პირობითი მოქნილობა;

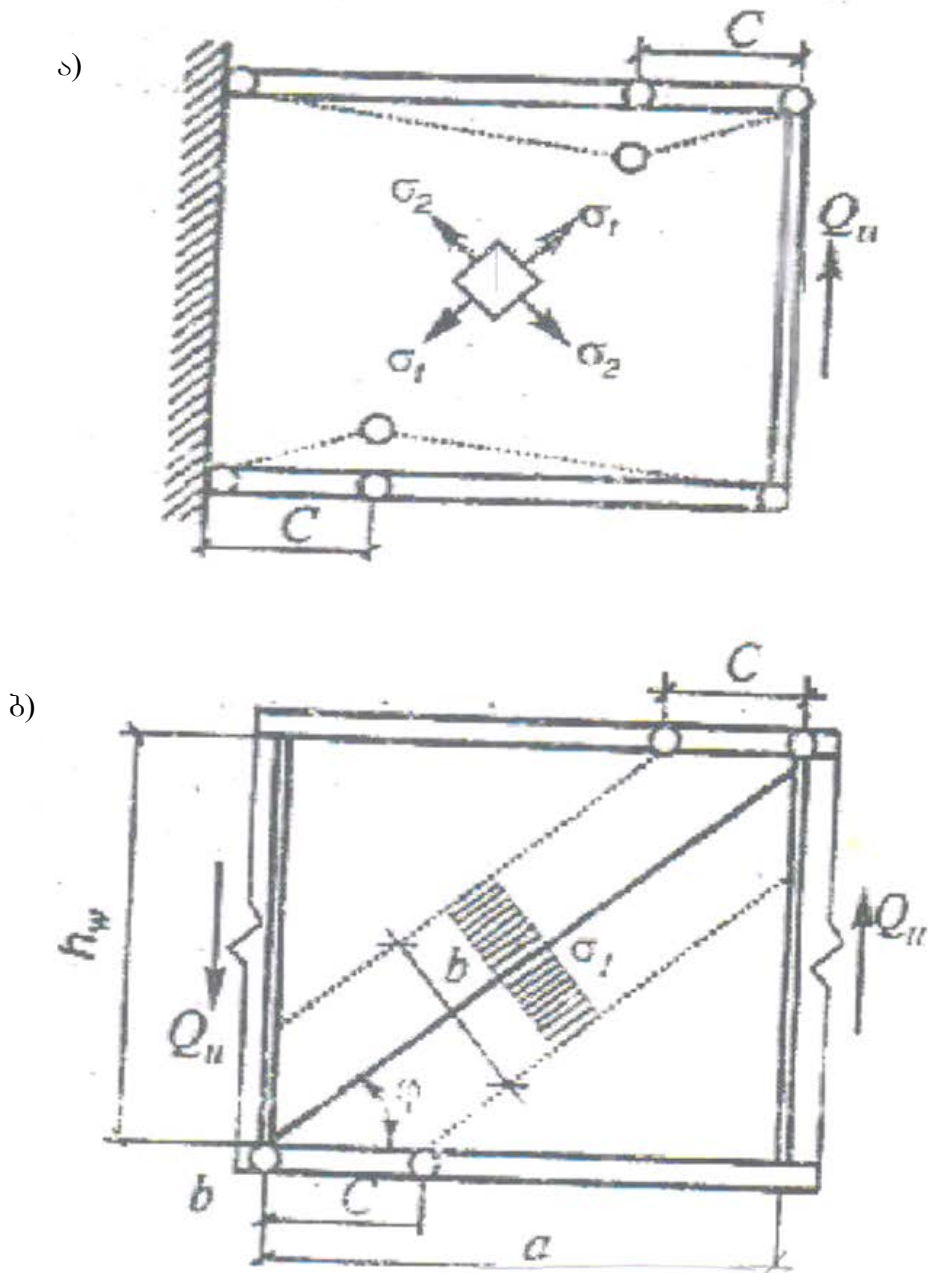
$A_f$  – კოჭის განივკვეთის ფართი.

სუფთა ძვრის შემთხვევაში კოჭის ძალის ნაწილში ზღვრული წონასწორობა მყარდება სარტყელში პლასტიკური სახსრის და კედელში პლასტიკური ზოლის წარმოშობის შემდეგ (ნახ. 8).

პლასტიკური სახსრები წარმოქმნიან სარტყლებში განივ სიხისტის წიბოებთან, ასევე კოჭის აღებული ნაწილის კუთხიდან რაღაც  $C$  მანძილზე. ეს მანძილი არ უნდა აღემატებოდეს კოჭის ნაწილის სიგრძის ნახევარს (ნახ. 8).

ზღვრული განივი ძალა უფრო მეტია მნიშვნელობით, ვიდრე ბრტყელი კედლის მდგრადობის დაკარგვის შესაბამისი კრიტიკული ძალვა  $Q_{cr}$  და კრიტიკულ სტადიაში ის არის  $Q_{cr}$  და  $Q_d$ -ს ჯამი, სადაც  $Q_d$ -არის გრძივი ძალის პროექცია  $b$  პლასტიკური ზოლის ვერტიკალურ ღერძზე. აქვე აღსანიშნავია, რომ ძაბვები  $\sigma_2$  მხებ ძაბვებთან ერთად აწონასწორებენ ძაღვებს  $Q_{cr}$  და მისი მნიშვნელობა აიღება ტოლი:

$$Q_{cr} = \tau_{cr} \cdot t_w \cdot h_w \quad (4)$$



ნახ. 8 კოჭის მონაკვეთის საანგარიშო მოდელი სუფთა ძვრის დროს; ა – პლასტიკური მექანიზმის სქემა, ბ – ძაღვების განსაზღვრისათვის კედლის დიაგონალურ პლასტიკურ ზოლში.

როგორც ნახ. 8-ბ-დან ჩანს ძაღვა

$$Q_d = \sigma_1 \cdot t_w b \sin \varphi, \quad (5)$$

ხოლო, როცა  $b = 2c \cdot \sin \varphi$ , მაშინ

$$Q_d = 2\sigma_1 \cdot t_w c \sin^2 \varphi \quad (6)$$

ზღვრული გამჭიმავი ძაბვის ( $\sigma_i$ ) მნიშვნელობა მხებ ძაბვასთან ( $\tau_{cr}$ ) ერთად, კედლის პლატიკურ დიაგონალურ ზოლში შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგნაირად:

$$\sigma_i = R_y \left( 1 - \frac{\sqrt{3}\tau_{cr}}{R_y} \right) \quad (7)$$

$$\text{სადაც } \tau_{cr} = 10,3(1 + 0,76/\mu^2)R_s / \bar{\lambda}_{ef}^2$$

$$\bar{\lambda}_{ef} = (d/t_w) \sqrt{R_y / E} \quad (8)$$

აქ  $d$  – კოჭის ფრაგმენტის მოკლე გვერდი ( $h_w$  ან  $a$ )

$\mu$  – კოჭის ფრაგმენტის დიდი გვერდის ფარდობა მოკლე გვერდთან;

$C$  პარამეტრს განსაზღვრავენ ტოლობით  $C=b \cdot a$ ;  $b$ -ს საზღვრავენ შემდეგი დამოკიდებულებებით:

$$\text{როცა } a \leq 0,03 \text{ } b = 0,05 + 5a \geq 0,15$$

$$\text{როცა } 0,03 < a \leq 0,1 \text{ } b = 0,11 + 3a \geq 0,40$$

აქ  $a = 8W_{\min}(h_w^2 + a^2)/(t_w h_w^2 a^2)$ , ხოლო  $W_{\min}$  – კოჭის ტესებრი კვეთის, რომელიც შედგენილია სარტყელისა და მასთან მიერთებული კედლის ნაწილისაგან სიგანით  $0,5t_w \sqrt{E/R_y}$ , უმცირესი წინაღობის მომენტი.

ზღვრული განივი ძალა კოჭის საანგარიშო ფრაგმენტში შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

$$Q_u = R_s t_w h_w \left[ \tau_{cr} / R_s + 3,3(1 - \tau_{cr} / R_s) \beta \mu / (1 + \mu^2) \right] \quad (9)$$



კოჭის ფრაგმენტი, რომელიც ერთდროულად განიცდის ღუნვასა და ძვრას (მოქნილი კედელი გაძლიერებულია მხოლოდ განივი სიხისტის წიბოებით), სიმტკიცეზე შეიძლება შემოწმდეს ფორმულით:

$$(M / M_u)^4 + (Q / Q_u)^4 \leq 1 \quad (10)$$

სადაც: M და Q მღუნავი მომენტი და განივი ძალა, რომელიც მოქმედებს განსახილველი ფრაგმენტის შუაში;

$M_u$  და  $Q_u$  ზღვრული მღუნავი მომენტი და განივი ძალა გამოთვლილი ფორმულებით (1) და (6).

$R_s$  მასალის საანგარიშო წინაღობა ჭრაზე, ძვრაზე.

თავდაპირველად აუცილებელია სიმტკიცეზე შემოწმდეს კოჭის ის ფრაგმენტები, რომლებშიც მოქმედებენ მაქსიმალური მღუნავი მომენტები და განივი ძალები, აგრეთვე ის ფრაგმენტები, სადაც არსებობენ M და Q-ს არასასურველი თანაწყობა. თუ რთულია ზემოაღნიშნულის განხორციელება, მაშინ მიზანშეწონილია შემოწმდეს ყველა საექვო ფრაგმენტი. თუ დამუშავდება ალგორითმები და პროგრამები, მაშინ უკეთესია შემოწმდეს სიმტკიცეზე ყველა ფრაგმენტი.

### 2.3 მდგრადობაზე შემოწმება

აუცილებელია შემოწმდეს მდგრადობაზე შეკუმშული განივი სიხისტის წიბოები ძალებზე  $Q_d$  (6) და N, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით:

$$N = 3,3R_s t_w h_w (1 - \tau_{cr} / R_s) \beta \mu (1 + \mu^2) \geq F \quad (11)$$

სადაც F – კოჭის სიხისტის წიბოზე მოქმედი შეყურსული ძალაა.

წიბოს საანგარიშო სიგრძეს იღებენ ტოლს

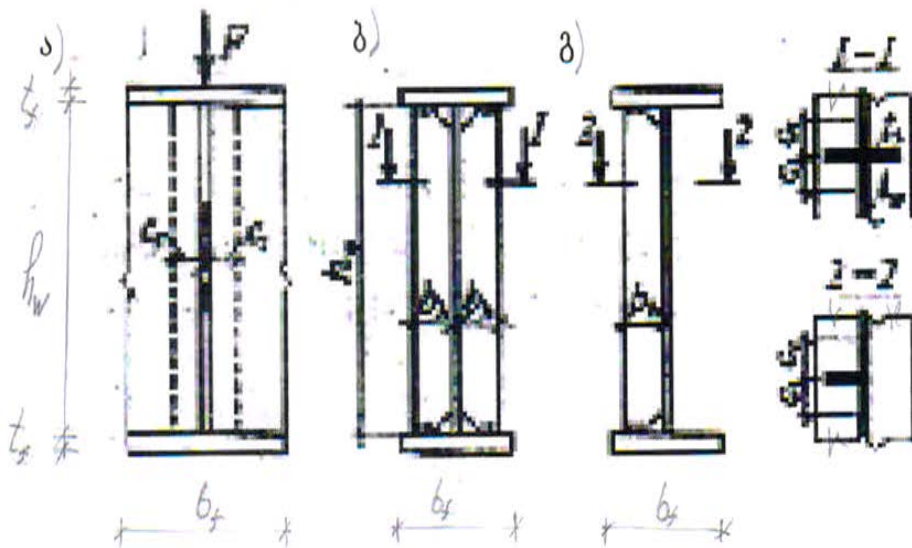
$$l_{ef.y} = h_w (1 - \beta) \geq 0,7h_w \quad (12)$$

ასეთი პირობითი ღეროს საანგარიშო სიგრძე კვეთში ჩართულია, გარდა სიხისტის წიბოებისა, კედლის ფრაგმენტი სიგანით.

$$C_1 = 0,65t_w \sqrt{\frac{E}{R_y}} \quad (13)$$

ორმხრივი წიბოს სიგანედ ( $b_n$ ) იღებენ  $b_a \geq \left(\frac{h_w}{30} + 40\right)$  მმ-ს, ხოლო ერთმხრივი წიბოებისათვის  $b_n \geq \left(\frac{h_w}{24} + 50\right)$  მმ-ს. სიხისტის წიბოს სისქე აიღება

$$t_n \geq 2b_n \sqrt{\frac{E}{R_y}} \quad (14)$$



ნახ. 9. განივი სიხისტის წიბოების ანგარიშისათვის: ა – კოჭის ფრაგმენტი, ბ – კვეთი ორმხრივი წიბოთი, გ – კვეთი ერთმხრივი წიბოთი.

საყრდენი სიხისტის წიბოებისათვის არ შეიძლება არ გავეთვალისწინოთ კედლის პლასტიკური ზოლის დაჭიმვით წარმოშობილი ღუნვა, რომელმაც შეიძლება გამოიწვიოს სიხისტის წიბოს მდგრადობის დაკარგვა კედლის სიბრტყეში. ამ შემთხვევაში

საკმაოდ ეფექტურია კონსტრუქციული ღონისძიებების გატარება: არანაკლები წიბოს სიგანისა და არა უმეტეს  $1,3t_w\sqrt{W/R_y}$  მანძილზე საყრდენი სიხისტის წიბოდან დამატებით აწყობენ ორმხრივ სიხისტის წიბოებს. ამ შემთხვევაში საყრდენ სიხისტის წიბოს წარმოადგენენ ორტესებრი, რომელიც შედგენილია ტორსის საყრდენი წიბოსაგან, დამატებითი ორმხრივი განივი სიხისტის წიბოებისაგან და მათ შორის კოჭის კედლის ნაწილისაგან. ასეთი კვეთის ამადლებულ სიხისტეს ღუნვაზე უზრუნველყოფს შეკუმშულ-გაღუნული პირობითი საყრდენი დგარის მდგრადობა.

კოჭები სიხისტის წიბოების გარეშე შეიძლება გამოვიყენოთ ზოგიერთი შეზღუდვების გათვალისწინებით. ასე მაგალითად, დატვირთვები უნდა იყოს თანაბრადგანაწილებული და ზუსტად (მკაცრად) მოდებული კოჭის კედლის ცენტრალურ სიბრტყეზე, აგრეთვე კედლის მოქნილობა შეზღუდულია ზღვრებში  $7 \leq \bar{\lambda}_w \leq 10$ . ამ შემთხვევაში კოჭის სიმტკიცეს ამოწმებენ ფორმულით:

$$\frac{M}{M_u} \leq 1 \quad (15)$$

სადაც

$$M_u = R_s t_w h_w^2 \left[ A_f / (t_w h_w) + 1,4 \left( 1 - 1/\bar{\lambda}_w \right) / \bar{\lambda}_w \right] \delta \quad (16)$$

აქ ყველა აღნიშვნა იგივეა, როგორც (1) ფორმულაში

$\delta = [1 - 5,6 A_f h_w / (A_w \cdot l)]$  - კოჭის მზიდუნარიანობის შემამცირებელი კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს განივი ძალის გავლენას

$$0,025 \leq (A_f h_w) / (A_w \cdot l) \leq 0,1 \quad (17)$$

მოქნილკელიანი კოჭის საერთო მდგომარეობის უზრუნველყოფის პირობა იგივეა, როგორც ჩვეულებრივ კოჭებში. საერთო მდგრადობის შემოწმება არ არის საჭირო თუ შეკუმშული სარტყლის ჩამაგრებულ წერტილებს შორის მანძილი აკმაყოფილებს პირობას

$$l_{ef.y} \leq 0,21b_f \sqrt{\frac{E}{R_y}} \quad (18)$$

შეკუმშული სარტყლის ადგილობრივი მდგრადობა უზრუნველყოფილია თუ არსებობს პირობა

$$b_f \leq 0,76t_f \sqrt{\frac{E}{R_y}} \quad (19)$$

თუ კოჭის ზედა სატყელზე, განივი სიხისტის წიბოებს შორის უბნებზე ან კოჭებზე სიხისტის წიბოების გარეშე, მოქმედებენ შეყურსული ძალები, აუცილებელია მოქნილი კედლის სიმტკიცეზე შემოწმება ადგილობრივ ძაბვებზე:

$$\sigma_{ioc} = F / (t_w \cdot l_{ef}) \leq 0,75R_y \cdot \gamma_c \quad (20)$$

$\gamma_c$  – არის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი.

სადაც  $l_{ef}$  – კედელზე დატვირთვების განაწილების პირობითი საანგარიშო სიგრძეა, რომელიც დადგენილია ნორმებით, როგორც კოჭებისათვის ჩვეულებრივი კედლით.

მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობით ანგარიში სწარმოებს კოჭის ამაღლებული დეფორმაციულობის გათვალისწინებით (როცა  $\bar{\lambda}_w = 6 \div 13$ -ს ჩაღუნვა, ჩვეულებრივ კოჭებთან შედარებით იზრდება 13%-ით). კოჭის განივი კვეთის ინერციის მომენტი მცირდება  $\alpha$  კოეფიციენტის შემოტანით

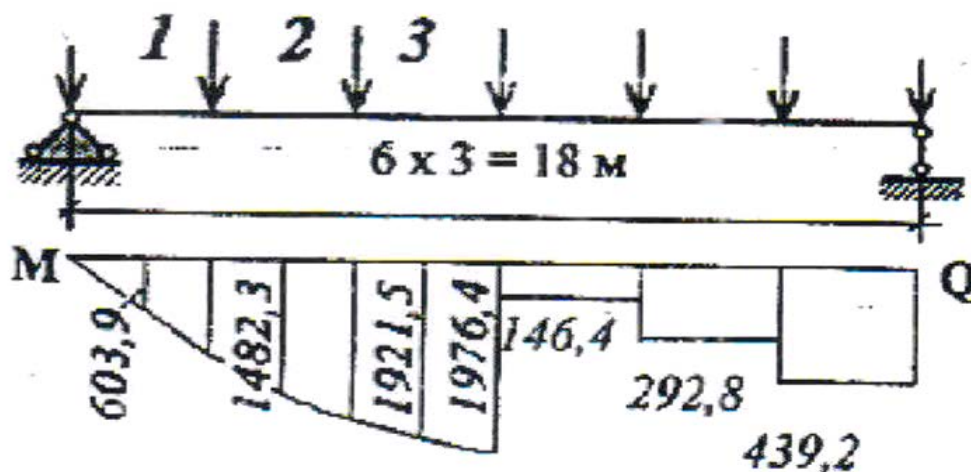
$$\alpha = 1,2 - 0,33\bar{\lambda}_w \quad (21)$$

ლიტერატურაში [1,2,3] ჩატარებულია თხელკედლიანი კოჭის გაანგარიშება, ჩვეულებრივი შედუღებით შედგენილი ორტყესბრი კოჭის პირობების ანალოგიურად. კერძოდ, დასმულია ამოცანა: გაანგარიშდეს სვეტებზე თავისუფლად დაყრდნობილი სამრეწველო შენობის კოჭი მოქნილი კედლით (თხელკედლიანი კოჭი). შეირჩეს განივი კვეთი და განისაზღვროს მისი ელემენტის ზომები შემდეგი მონაცემების

მიხედვით – კოჭის მალი 18 მ; კლიმატური რაიონი – II<sub>4</sub>; თოვლის დატვირთვის მიხედვით – III რაიონი. საანგარიშო გრძივი დატვირთვები: მუდმივი დატვირთვა (წიბოვანი ფოლადის ფილები დამატობებელთან ერთად) – 26 კნ/მ; დროებითი (თოვლის დატვირთვა მთელ მალზე) – 22,8 კნ/მ; ჯამური – 48,8 კნ/მ ( $q_n=39$  კნ/მ). მღუნავი მომენტების M და გრძივი ძალების Q ეპიურები ნაჩვენებია ნახ. 10-ზე.

აღებულია შედუღებით შედგენილი ორტესებრი განივი კვეთის კოჭი პარალელური სარტყელებით.

სარტყელებისათვის გამოიყენება ფოლადის ფურცლები. ვნიშნავთ ფოლადის მარკას კედლისათვის და სარტყელისათვის – 09Г2С-6 რაც შეესაბამება ნორმების მოთხოვნებს:

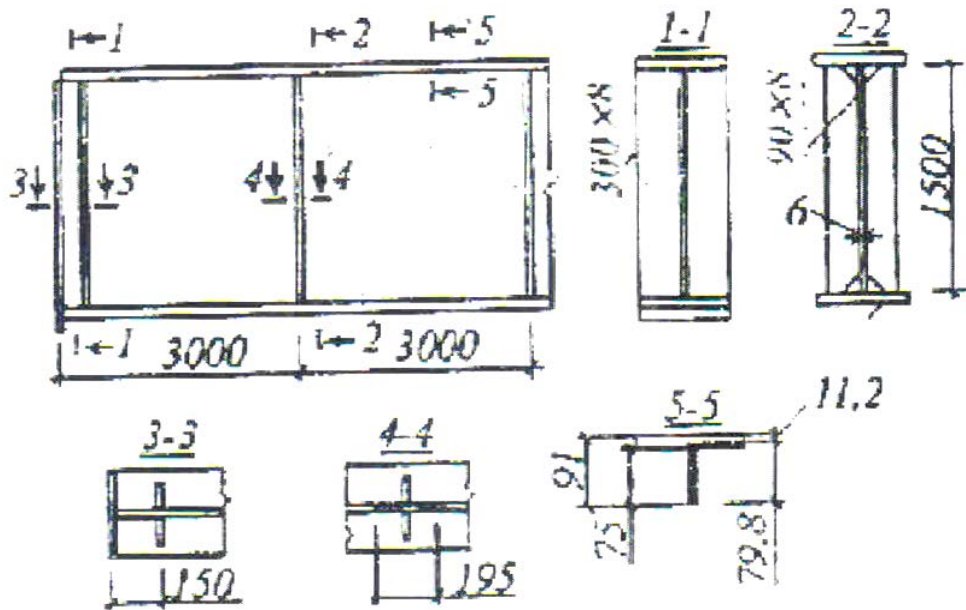


ნახ. 10. კოჭის საანგარიშო სქემა და ეპიურები M და Q

$R_{yw}=33,5$  კნ/სმ<sup>2</sup> ფურცელისათვის სისქით 4...11-მდე;  $R_{y\neq}=31,5$  კნ/სმ<sup>2</sup> სარტყელის ფურცელებისათვის სისქით 20 მმ-მდე. განივი სიხისტის წიბოებისათვის ვიღებთ მცირედანახშირბადოვან ფოლადის ფურცლებს – ВСт3пс6-1  $R_y=23$  კნ/სმ<sup>2</sup> ფურცლებისათვის სისქით 4...10 მმ-მდე. კოჭის ზღვრული

ფარდობითი ჩაღუნვა  $\left[ \frac{f}{l} = \frac{1}{250} \right]$ .

თხელკედლიანი კოჭის გაანგარიშების შემდეგ მიღებული განივი კვეთის სქემა და ელემენტების ზომები კონსტრუქციულ გადაწყვეტასთან ერთად ნაჩვენებია ნახ. 11-ზე.



ნახ. 11 კოჭი მოქნილი კედლით

მაშასადამე, მიღებულია კოჭის განივი კვეთი:

კედელი – 1500X6 მმ, სარტყლები – 300X16 მმ, შუალედური სიხისტის წიბოები – 90X8 მმ; საყრდენი სიხისტის წიბო – 300X8 მმ. ფოლადის ხარჯი კოჭზე (შედულების ნაკერების წონის გარეშე): კედელი – 1272 კგ, სარტყლები – 1356 კგ, წიბოები – 170 კგ. მთლიანად ფოლადის ხარჯი 18 მ-იან კოჭზე – 2798 კგ.

ამრიგად, კოჭი მოქნილი კედლით მსუბუქია ჩვეულებრივ შედუღებით შედგენილ ორტყსებრ კოჭთან შედარებით:

$$\frac{(3222 - 2798) \cdot 100}{3222} = 13\% \text{ -ით.}$$

## Tavi 3

### 3.1 ko Vebi go f r i r e bul i kedl i T

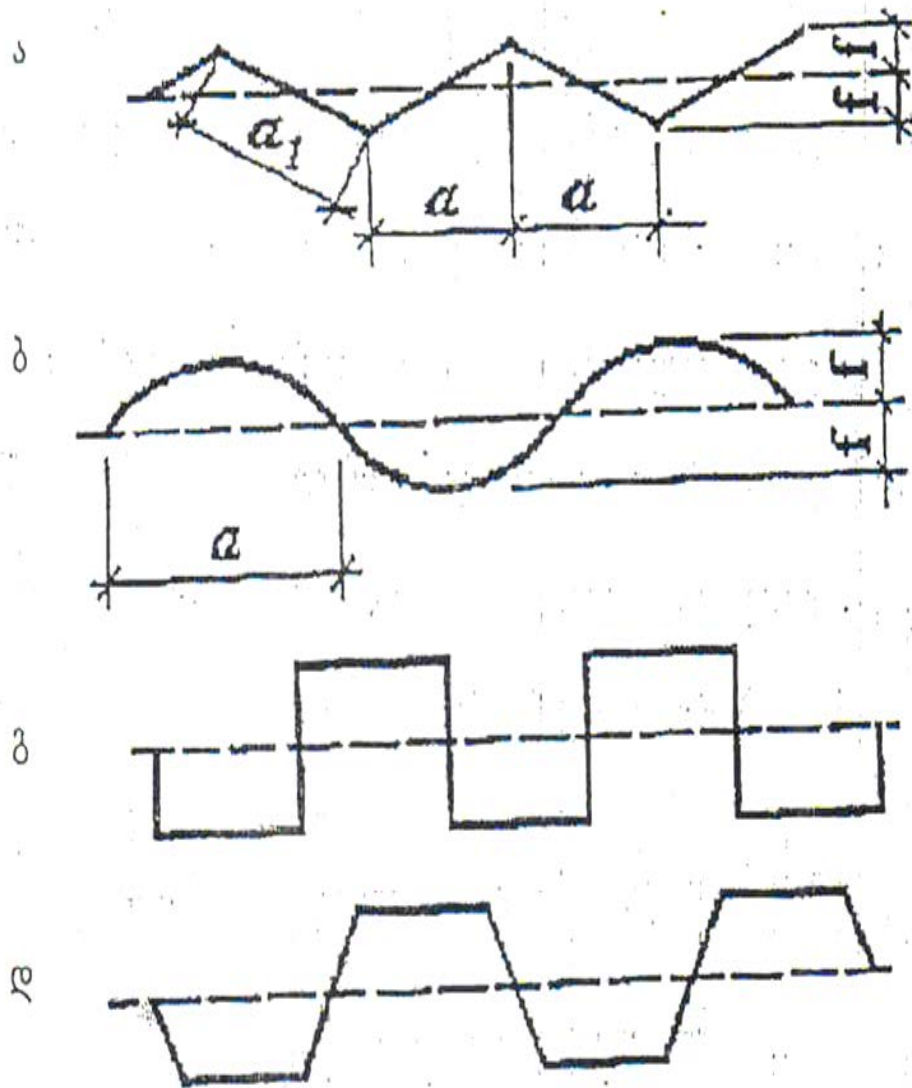
კოჭებში მასალის ხარჯის შემცირების ერთ-ერთი საშუალება არის მათი კედლების გოფრირება. ჩვეულებრივ მოქნილკედლიან კოჭებში კედლის სისქე განისაზღვრება არა სიმტკიცის პირობით, არამედ ადგილობრივი მდგრადობის მოთხოვნის მიხედვით. ამ სიტუაციას ამსუბუქებს განივი სიხიტის წიბოების მოწყობა, რომელიც საშუალებას იძლევა შემცირდეს კედლის სისქე და ერთდროულად ამადლდეს კედლის სიხისტე გრეხვაზე, რადგან წიბოები ასრულებენ დიაფრაგმების როლს და უზრუნველყოფენ განივი კვეთის კონტურის უცვლელობას. ჯერ კიდევ XX საუკუნის 30-იან წლებში გაჩნდა იდეა კოჭების კედლის გოფრირებისა, რომელიც კიდევ უფრო ეფექტურად დააკმაყოფილებდა სასურველ მოთხოვნებს. გოფრირებული კედლის მოქნილობა შეიძლება გაიზარდოს 300...600-მდე. აღსანიშნავია როდესაც ფურცელი რაც უფრო თხელია, მით უფრო ადვილია მისი გოფრირება.

გოფრირებული კედლის სისქეს იღებენ 2...8 მმ-მდე. ეს საკმაოდ თხელი ფურცელია, რომელიც უზრუნველყოფს მთელი რიგი უპირატესობების მიღწევას მოქნილკედლიან კოჭებთან შედარებით. გოფრირებული კოჭების კედლის დამზადების დროს წარმოიქმნება დამატებითი ტექნოლოგიური ოპერაციები-გოფრირება. რაც რამდენადმე ზრდის შრომის დანახარჯებს. აგრეთვე, რთულდება კედლის სარტყელთან შედუღება. მაგრამ, კედლის სისქის და განივი სიხიტის წიბოების რაოდენობის შემცირებით მიიღება, საბოლოო ჯამში, შრომის დანახარჯების 15...20%-ით შემცირება.

დამზადების შრომატევადობის და ფოლადის ხარჯის მიხედვით, კოჭები გოფრირებული კედლით უფრო ეფექტურნი არიან, ვიდრე კოჭები მოქნილი კედლით. ეს მიიღწევა სიხიტის წიბოების რაოდენობის შემცირებით, აგრეთვე გრეხვის მიმართ ამადლებული სიხისტით და კედლის შედარებით მაღალი ადგილობრივი მდგრადობით.

გოფრირებულ კედლიანი კოჭის კონსტრუქციული სქემის შერჩევასა და მხედველობაში მიიღება დამზადების ტექნოლოგიური

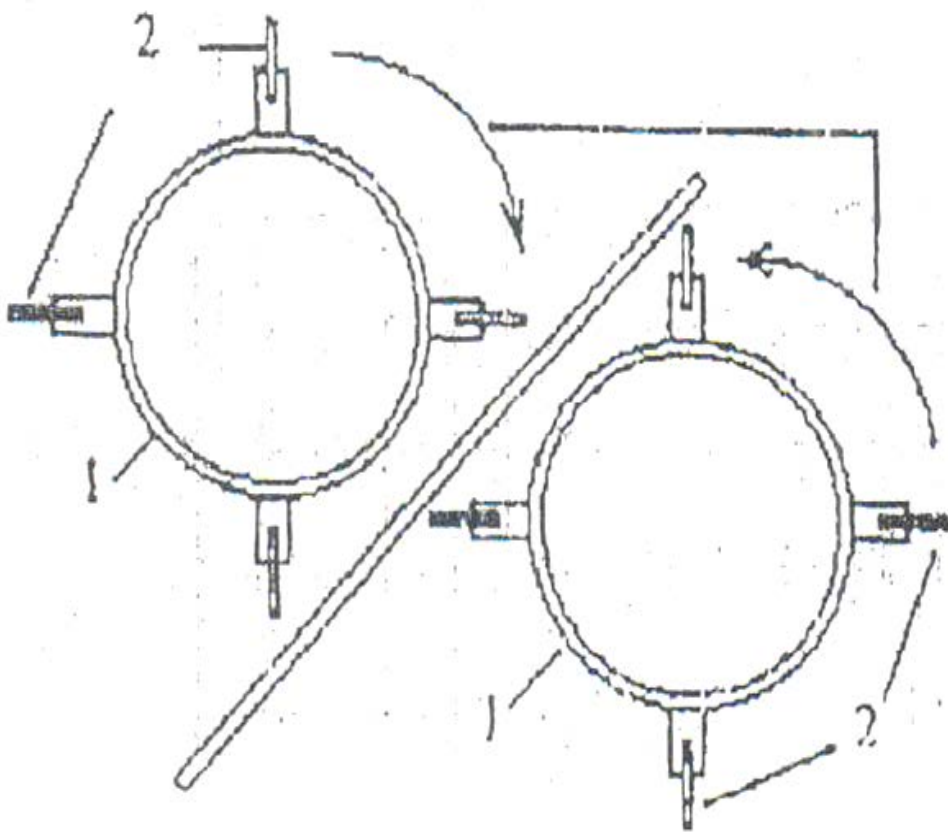
მოთხოვნები. შედარებით მარტივი და დამზადების მიხედვით ტექნოლოგიურია კედლები სამკუთხა გოფრირებით (ნახ. 12 ა); კედლები ტალღოვანი გოფრირებით უფრო მდგრადნი არიან (ნახ. 12 ბ). პრაქტიკაშია აგრეთვე გამზადებული პროფილირებული ფურცლების გამოყენების მაგალითები (ნახ. 12 გ,დ).



ნახ. 12 კოჭებში გამოყენებული კედლის გოფრები: ა) სამკუთხა, ბ) ტალღოვანი; გ,დ) შესაბამისად სწორკუთხა და ტრაპეციული, მიღებული გამზადებული პროფილირებული ფურცლებისაგან გოფრირებულ კედლიანი კოჭები მზადდება ლითონის კონსტრუქციების ქარხნებში, რომლებიც აღჭურვილნი არიან



სპეციალური წნეხებით გოფირებისათვის და სტენდებით სარტყელთან შეერთების შედეგების ნაკერის განსახორციელებლად.



ნახ. 13 დანადგარის სქემა კედლის სამკუთხა გოფრის მისაღებად: 1 – ლილვები; 2 – მოსახსნელი ფირფიტები

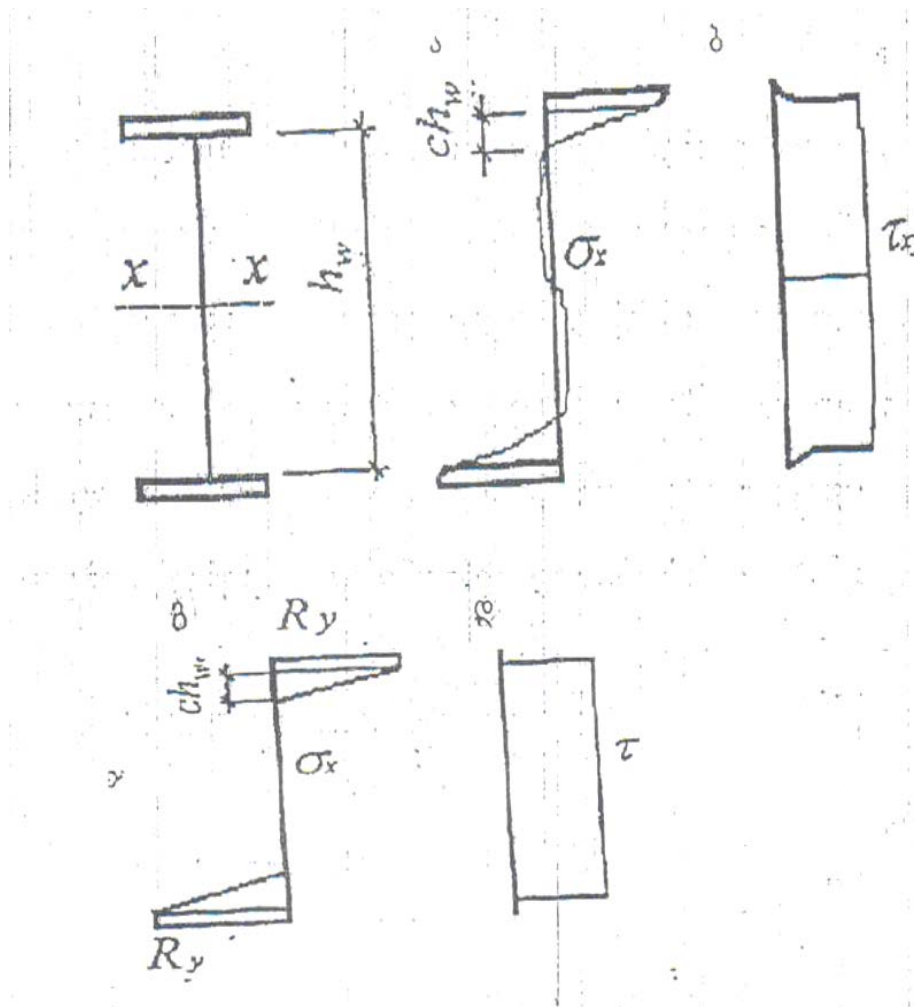
თხელი ფურცლები თავსდება ორ ლილვს შორის, რომლებიც ბრუნავენ ერთმანეთის მიმართ. ლილვის ზედაპირზე დამაგრებულია სპეციალური მოწყობილობა, რომელშიც ჩაისმება საჭირო ზომის მოსახსნელი ფირფიტა. ლილვების ბრუნვის დროს ეს ფირფიტები ახორციელებენ თხელი ბრტყელი ფურცლის გადაღუნვას. ფირფიტების სხვადასხვა ზომები გვაძლევენ საშუალებას ვაწარმოოთ გოფირების პარამეტრების ვარირება.

ტალღოვანი გოფრები მიიღება ფურცლების გადაწნეხვით ორ მატრიცას შორის აქ გოფრის პარამეტრების ვარირება გართულებულია, ვინაიდან საჭიროა არსებობდეს სხვადასხვა მატრიცების დიდი რაოდენობა.

კოჭები გოფრირებული კედლით უფრო ხანგრძლივად მუშაობენ დრეკად სტადიაში, ვიდრე კოჭები იგივე სისქის მოქნილი კედლით. გოფრირებულკედლიანი კოჭის სარტყელებიც მუშაობენ უკეთეს პირობებში, რადგან ისინი არ განიცდიან ღუნვას კედლის სიბრტყეში. გოფრირებულკედლიანი კოჭების დეფორმაციულობა 15..20%-ით დაბალია, ვიდრე თხელკედლიანი (მოქნილი კედლით) კოჭის, იგივე პარამეტრებით.

### **3.2. go f r i r e b u l i k e d l i a n i k o ოჭების მუშაობის T a v i s e b u r e b a n i**

კოჭის კედლის და სარტყლის დაძაბული მდგომარეობა ხასიათდება შემდეგი თავისებურებებით: ნორმალური ძაბვები  $\sigma_x$  ვითარდებიან კედელში სარტყელთან ახლოს და მისი სიდიდე სწრაფად ეცემა პრაქტიკულად ნულამდე (ნახ. 14 ა), ხოლო ძაბვები ვრცელდება მთელ სიმაღლეზე თითქმის თანაბრად (ნახ. 14,ბ). გოფრები სარტყლებს, ხისტი შეერთების გამო, გადასცემენ ძალებს, რომლებიც იწვევენ სატყელში ცვლადი სიდიდის და მიმართულების მღუნავ მომენტებს კედლის სიბრტყეში. გოფრირებულ კედლიანი კოჭის ზღვრული მდგომარეობა, როგორც წესი, დგება შეყურსული ძალების მოქმედების ადგილებში, კედლის ადგილობრივი მდგრადობის დაკარგვით. ამის შემდეგ კარგავს მდგრადობას სარტყლის კედლის სიბრტყეში, ისე, როგორც თხელკედლიან კოჭებში. დიდი სიხისტის მქონე გოფრირებულკედლიან კოჭებში ზღვრული მდგომარეობა (მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობა) იწყება საკმაოდ დიდი ნარჩენი დეფორმაციების განვითარების გამო. გოფრირებულკედლიანი კოჭების ნორმალური ძაბვების საანგარიშო ეპიურები ნაჩვენებია ნახ. 14 გ,დ-ზე.



ნახ. 14 ძაბვების ეპიურები კოჭებში გოფრირებული კედლით: ა) ნორმალური ძაბვის ექსპერიმენტალური ეპიურა; ბ) მხები ძაბვის ექსპერიმენტალური ეპიურა. გად – ძაბვების საანგარიშო ეპიურები.

გოფრირებულკედლიანი კოჭის ზღვრული მდგომარეობა, დგება შეყურსული ძალების მოქმედების ადგილებში, კედლის ადგილობრივი მდგრადობის დაკარგვით. გოფრის თვისებებს განსაზღვრავს კედლის ფურცლის სისქე და გოფრირების გეომეტრიული პარამეტრები – ტალღის სიგრძე  $a$  და ტალღის სიმაღლე  $f$ . გაანგარიშებაში ხშირად გამოიყენება ფარდობითი პარამეტრები  $\frac{a}{h_w}$ ,  $\frac{f}{a}$  და  $\frac{f}{t_w}$  კედლის ადგილობრივი მდგრადობა შეიძლება გაიზარდოს თუ ვერტიკალური გოფრების ნაცვლად გამოიყენებთ დახრილ გოფრებს. დახრის კუთხე

ზედა სარტყელთან ტოლია 45°...50°-ის. მაგრამ, ასეთმა კედლებმა, დამზადების სირთულის გამო, პრაქტიკაში გამოყენება ვერ ჰპოვეს.

კოჭები გოფირებული კედლით პროექტირდება ჩვეულებრივ ორტისებრი განივი კვეთით. სარტყლები ფოლადის ფურცლებისაა. მათ არ მოეთხოვებათ მაღალი სიხისტე ღუნვაზე და გრეხვაზე, როგორც თხელკედლიან კოჭებში. სარტყლის ფურცლის სიგანე შეიძლება იყოს დიდი, მაგრამ მისი შემცირება საყრდენისაკენ შეიძლება მღუნავი მომენტის ეპიურის შესაბამისად, რაც გვაძლევს მასალის ეკონომიას.

გოფირებულკედლიანი კოჭების გამოყენების სფერო გაცილებით ფართოა, ვიდრე კოჭების მოქნილი კედლით. ისინი გამოიყენებიან ამწეკეშა კოჭებში და ყველა იმ შემთხვევაში, როდესაც კოჭებს მოეთხოვებათ მაღალი სიხისტე გრეხვაზე.

### 3.3. gaangar i Sebi s Tavi sebur ebani

ნორმატიულ ლიტერატურაში ჯერ არ არსებობს რეკომენდაციები გოფირებულკედლიანი კოჭების გაანგარიშების შესახებ. არსებობს მხოლოდ საკმაოდ საიმედო საინჟინრო მეთოდიკა.

განვიხილოთ გოფირებულკედლიანი კოჭების გაანგარიშების საკითხები. გოფირებული კედლის სარტყელთან შეერთების ზონაში ნორმალური ძაბვების ( $\sigma_x$ ) ეპიურა იგივეა, რაც ნორმალური ძაბვების ეპიურა ( $\sigma_x$ ) თხელკედლიანი კოჭების შეკუმშულ ზონაში (კედლის სარტყელთან შეერთების უბანზე), მაგრამ კედლის შეკუმშული ეფექტური ზონა შედარებით ნაკლებია, როდესაც მისი მოქნილობა ტოლია 300...500-მდე იმ შემთხვევაში, როდესაც ღუნვაზე მუშაობს მხოლოდ სარტყლები. ამრიგად, სიმტკიცის პირობა კოჭის ღუნვაზე მუშაობისას შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგნაირად:

$$\sigma = \frac{M}{h} \cdot A_f \leq R_y \cdot \gamma_c \quad (22)$$

სადაც  $h$  – არის კოჭის სარტყლებს შორის მანძილი;

$M$  – არის მღუნავი მომენტი;

$A_f$  – არის სარტყლების განივი კვეთის ფართი;

$R_y$  – არის მასალის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე;

$\gamma_c$  – არის ელემენტის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი.

კედლის სიმტკიცე ჭრაზე განისაზღვრება ფორმულით:

$$\tau = \frac{Q}{t_w \cdot h_w} \leq R_s \cdot \gamma_c \quad (23)$$

სადაც  $Q$  – არის განივი ძალა;

$R_s$  – არის მასალის საანგარიშო წინაღობა ჭრაზე.

აქ წინასწარ გათვალისწინებულია მხები ძაბვების თანაბარი განაწილება კედელში და სარტყლების მონაწილეობა კოჭის მუშაობაში ძვრაზე.

კედლის სიმტკიცე, სარტყელზე შეყურსული  $F$  ძალის მოქმედების დროს, განისაზღვრება ცნობილი ფორმულით, ისე როგორც ჩვეულებრივ კოჭებში:

$$\sigma_{ioc} = \frac{F}{t_w \cdot l_{ef}} \leq R_s \cdot \gamma_c \quad (24)$$

სადაც  $l_{ef}$  – თანაბრად განაწილებული დატვირთვის პირობითი სიგრძე, რომელიც აიღება პირველი მიახლოებით, როგორც ჩვეულებრივი კოჭებისათვის, მაგრამ გოფირებული კედლის შემთხვევაში ის შეიძლება ნაწილობრივ გაიზარდოს.

გოფირებულკედლიანი კოჭების სიხისტეზე გაანგარიშების დროს აუცილებელია გავითვალისწინოთ ძვრის დეფორმაციების გავლენა. ჩაღუნვა კოჭის ძალის შუაში განისაზღვრება მორის ფორმულით:

$$f = \int_1 \frac{M_1 \cdot M_p \cdot d_x}{E \mathfrak{I}_f} + \int_1 \frac{Q_1 \cdot Q_p \cdot d_x}{GA_w} \quad (25)$$

სადაც  $M_1, Q_1, M_p, Q_p$  – მღუნავი მომენტები და განივი ძალები ერთეული ძალებისა და დატვირთვებისაგან შესაბამისად გამოწვეული;

$\mathfrak{I}_f$  – კოჭის სარტყლების ინერციის მომენტები;

$A_f$  – კოჭის განივი კვეთის ფართი.

ამ ფორმულიდან გამომდინარე განივი ძალები 5...15%-მდე ზრდის კოჭის ჩაღუნვებს ( $1/15 \dots 1/10$ ) სიმაღლის შემთხვევაში. უფრო დიდი სიმაღლის შემთხვევაში ის იზრდება 20%-მდე.

### 3.4. გოფრირებული კედლიანი კოჭების გაანგარიშების მეთოდობა

განსაკუთრებული თავისებურებებით ხასიათდება გოფრირებულკედლიანი კოჭების გაანგარიშება კედლის ადგილობრივ მდგრადობაზე. კედელი კარგავს მდგრადობას გოფრის ერთ ნახევარტალღაზე ან რამდენიმე გოფრის ფარგლებში. ამ უკანასკნელს ხშირად უწოდებენ „საერთო“ მდგომარეობის დაკარგვას.

გოფრის მდგრადობის პირობა განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$\left( \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{c\tau} \cdot l_{oc}} \right)^2 + \left( \frac{\tau}{\tau_{c\tau} \cdot l_{oc}} \right)^2 \leq \gamma_c^2 \quad (26)$$

სადაც  $\sigma_{oc}$  – ნორმალური ძაბვები გოფრის გასწვრივ, გამოწვეული განივი ძალებისაგან:

$$\sigma_{croc} = 1,8 \left( \frac{h_w}{K \cdot a} \right)^2 R_y / \lambda_w^2 \quad (27)$$

კერძოდ, კედლისათვის სინუსოიდალური პროფილით

$$\tau_{crlc} = 12,9 \left( \frac{h_w}{K \cdot a} \right)^2 R_y / \lambda_w^2 \quad (28)$$

სადაც  $K$  ტალღის სიგრძის ( $S$ ) ფარდობა ნახევარტალღის სიგრძესთან  $a$ .  
 თუ მოცემულია ფარდობა  $\frac{f}{a}$ -თან, მაშინ  $k = 1 + \left[ \frac{\pi \cdot f}{2a} \right]^2$  როცა  $\frac{f}{a} = \frac{1}{6} \dots \frac{1}{3}$ -ს,  
 მაშინ  $k = 1,05 \dots 1,25$ -ს შესაბამისად.

მდგრადობის პირობის ფორმულა საშუალებას იძლევა განისაზღვროს გოფრის ნახევარტალღის სიგრძე  $a$ .

როდესაც  $\sigma_{ioc} = 0$  და  $\gamma_c = 1$ -ს გვექნება

$$a \leq 12,9 h_w R_s / K_r \cdot \lambda_w^{-2} \quad (29)$$

გოფრირებული კედლის მდგრადობას ძვრაზე ამოწმებენ პირობით:

$$\frac{\tau}{\tau_{cr}} \leq \gamma_c \quad (30)$$

სადაც  $\tau_{cr} = \frac{K_r \cdot R_s}{\lambda_w^2}$  - კრიტიკული ძაბვაა გოფრირებული

ფირფიტისათვის ძვრაზე;  $K_r$  - კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია პარამეტრებზე  $\frac{f}{a}$  და  $\frac{f}{t_w}$ .

გოფრირებულკედლიან ფირფიტაში და იგივე სისქის ბრტყელ ფირფიტაში წარმოქმნილი კრიტიკული ძაბვების შედარება გვაძლევს საშუალებას ვისაუბროთ გოფრირებულის უპირატესობაზე. კერძოდ, როცა  $\frac{f}{t_w} = 5$ , მაშინ კრიტიკული ძაბვა გოფრირებულ ფირფიტაში 2,8...2,9-ჯერ

მეტია და  $\frac{f}{t_w} = 15$ -ის შემთხვევაში ის იზრდება 13-მდე.

კედლის სამკუთხა გოფრის შემთხვევაში, როდესაც მისი ოთხივე გვერდი პირობითად სახსროვნადაა ჩამაგრებული, კრიტიკული მხები ძაბვები ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$\tau_{crloc} = 8,3 \left( 1 + \frac{0,76}{\mu^2} \right) \frac{R_s}{\lambda_w^2} \cdot \mu^2 \quad (31)$$

სადაც  $\mu = \frac{h_w}{a_1}$   $a_1$  – ფორფიტის მოკლე გვერდი.

აქ უნდა ავღნიშნოთ, რომ ფორფიტის მოკლე გვერდით ჩამაგრება შედარებით სქელ სარტყელთან თითქმის ხისტია, ამიტომ ამ ადგილებში კრიტიკული ძაბვები 10...15%-ით იზრდება.

გოფრის წიბოს მდგრადობას ამოწმებენ (16) ფორმულით, რომელშიც  $\sigma_{cr.loc}$  არის კრიტიკული ძაბვები ფორფიტაში, როდესაც კოჭის სარტყელზე, ამ კვეთის გასწვრივ, მოქმედებს ადგილობრივი განივი დატვირთვა.

კედელში სამკუთხა გოფრით კრიტიკული ძაბვების შესაფასებლად შეიძლება გამოყენებული იქნას უსასრულო სიგრძის თავისუფლად დაყრდნობილი ფორფიტის ანალოგია, რომელიც გამაგრებულია განივი სიხისტის წიბოებით. აქ აღსანიშნავია, რომ წყვილი წიბოების სიხისტე ღუნვაზე, კედლის სიბრტყიდან, შეიძლება მიღებული იქნას ტოლი გოფრის სიხისტის. მდგრადობის პირობაში (17) შეაქვთ კრიტიკული მხები ძაბვები  $\tau_{cr}$  რომელსაც განსაზღვრავენ კოეფიციენტის (19) გამოყენებით:

$$K_r = 8,3 \left\{ 1 + 0,112 \left[ 5,5 \left( \frac{h_w}{a} \right)^2 - 0,6 \right] \sqrt[3]{ \frac{\left( \frac{a_1}{a} \right) \left( \frac{f}{t_w} \right)^2}{7 \left( \frac{h_w}{a} \right)^2 - 5} } \right\} \quad (32)$$

იმ შემთხვევისათვის, როდესაც ფესქვეშა გამოსახულება ნაკლებია ერთზე.  $K_r$ -ს მნიშვნელობები განისაზღვრება  $\frac{a_1}{a}$ ,  $\frac{h_w}{a}$ ,  $\frac{f}{t_w}$  პარამეტრებზე დამოკიდებულებებით.

იმის გამო, რომ გოფრის მდგრადობის დაკარგვამ შეიძლება გამოიწვიოს კედლის საერთო მდგრადობის დაკარგვა, გოფრის ზომა



ადებული უნდა იქნეს გარკვეული მარაგით, მაგალითად  $\sigma_{crloc} \geq 1,1\tau_{cr}$  პირობიდან გამომდინარე.

გოფორირებულკედლიანი კოჭების შეკუმშული სარტყელები მუშაობენ უკეთეს პირობებში, ვიდრე ჩვეულებრივი კოჭის სარტყელები. აგრეთვე, სარტყლის ჩამაგრების უფრო მაღალი ხარისხის გამო, წარმოქმნება უფრო დიდი კრიტიკული ძაბვები.

ტალღოვანი გოფორირების შემთხვევებში უნდა ვისეულმდგვანელოთ შემდეგი რეკომენდაციებით  $\frac{b_f}{t_f}$  ზღვრული ფარდობის შერჩევის დროს:

$$(0,5b_f + f)/t_f \leq 0,95\sqrt{K_u \frac{E}{R_y}}, \quad (33)$$

და განივი ღუნვის ზონაში

$$0,5b_f/t_f \leq 0,82\sqrt{K_n \frac{E}{R_y}},$$

$$\text{სადაც } K_u = 0,0645[(b_f + 2f)/a]^2 + 0,427;$$

$$K_n = (b_f/4a)^2 + 0,456. \quad (34)$$

თუ კოჭში, ბრტყელი კედლით, სარტყლის ადგილობრივი მდგრადობის პირობას აქვს სახე

$$0,5b_f/t_f \leq 0,5\sqrt{\frac{E}{R_y}}, \quad (35)$$

მაშინ კოჭებში, ტალღოვანი კედლით, სუფთა ღუნვის ზონაში პირობა მიიღებს სახეს

$$(0,5b_f + f)/t_f \leq 0,665\sqrt{\frac{E}{R_y}}, \quad (36)$$

როდესაც  $(b_f + 2f)/a = 1$  ხოლო განივი ღუნვის ზონაში ის ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$\frac{0,5b_f}{t_1} \leq 0,6 \sqrt{\frac{E}{R_y}} \quad (\text{როცა } \frac{b_f}{a} = 1) \quad (37)$$

გოფრირებულკედლიანი კოჭის სასარგებლოდ სხვაობა, მიღებულ პირობებში, შეადგენს დაახლოებით 20%-ს.

ზემოთაღნიშნულის ნათელსაყოფად არსებულ ლიტერატურაში [2] გაანგარიშებულია გოფრირებულკედლიანი კოჭი იგივე პირობებით, როგორც ეს იყო თხელკედლიანი კოჭის შემთხვევაში. კერძოდ, დასმულია ამოცანა: განისაზღვროს გოფრირებული კოჭის ყველა საჭირო პარამეტრი შემდეგი მონაცემებით – კოჭის განივი კვეთი არის ორტესებრი მუდმივი სიმაღლის. კოჭის მალი – 18 მ, საანგარიშო გრძივი მუდმივი დატვირთვა – 26 კნ/მ, თოვლის (დროებითი) – 22,8 კნ/მ, ჯამური – 48,8 კნ/მ ( $q_n=39$  კნ/მ) კლიმატური რაიონი – II<sub>4</sub>, თოვლის – III რაიონი, M და Q-ს ეპიურები ნაჩვენებია ნახ. 2.7-ზე.

კოჭის კედელი განხორციელებულია ვერტიკალური სამკუთხა გოფრით. მასალის ეკონომიის მიზნით გათვალისწინებულია სარტყლის სიგანის შემცირდება საყრდენებისაკენ კოჭის 1/6 სიგრძეზე, ე.ი.  $\frac{l}{6} = 3$  მ.

ვიღებთ ფოლადს მარკით 09Г2С-6 სარტყელებისათვის და დაბალნახშირბადოვან ფოლადს მარკით С235 კედლისათვის:  $R_{yw}=21,5$  კნ/სმ<sup>2</sup> (როცა  $t=4...20$  მმ);  $R_{sw}=0,58R_{yw}=12,47$  კნ/სმ<sup>2</sup>;  $R_{yf}=29$  კნ/სმ<sup>2</sup>. განსაზღვრული

ფარდობითი ჩაღუნვა  $\left[ \frac{f}{l} \right] = \frac{1}{250}$ .

გაანგარიშებით მიღებული კოჭის განივი კვეთი: კედელი – 1200X4 მმ, სარტყლები – 340X18 მმ, სიხისტის წიბოები კოჭის საყრდენზე – 300X8 მმ. შუალედური განივი სიხისტის წიბოები არ არის გათვალისწინებული.

შეფასებული მასალის ხარჯი კოჭზე: კედელი – 726 კგ, სარტყლები – 1729 კგ, საყრდენი სიხისტის წიბოები – 91 კგ. მთლიანად – 2546 კგ.

ჩვეულებრივ კოჭთან შედარებით მასალის ეკონომია შეადგენს

$$\frac{(3222 - 2546) \cdot 100}{3222} = 21\% \text{ -ს}$$

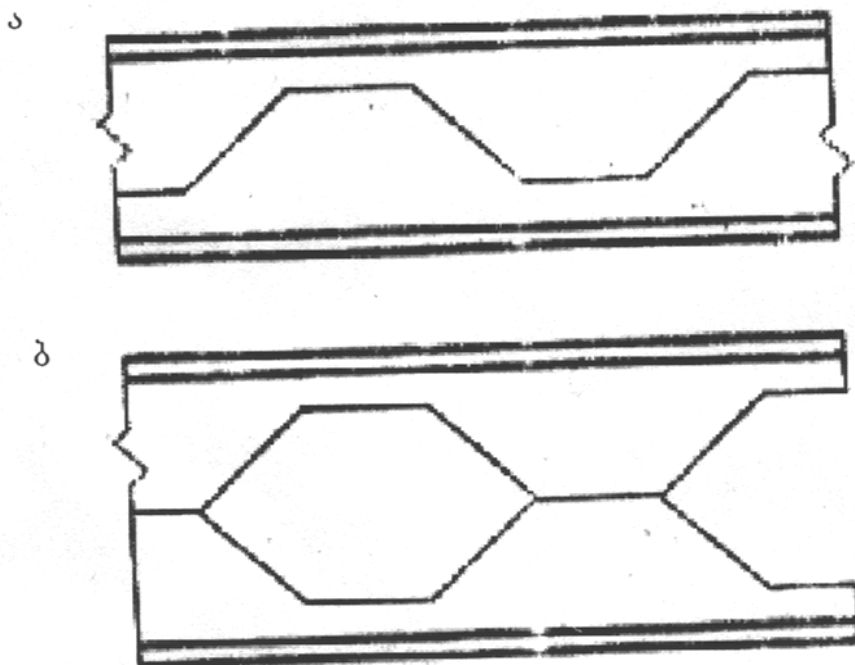
კოჭთან მოქნილი კედლით (თხელკედლიან კოჭთან) შედარებით მასალის ეკონომია შეადგენს

$$\frac{(2798 - 2546) \cdot 100}{2798} = 9\% \text{ -ს.}$$

## Tavi 4

### 4.1. perforirebul kedliani kochbi

ღუნვაზე მომუშავე ელემენტებში ფოლადის ეფექტური გამოყენების ამალღებისაკენ მისწარღებაჲ ინჟინრები მიიყვანა ორიღინალურ იღემაღე, რომელიც მღგომარეობს შემღეღში: გაღლინული ორტესებრის (ან შეეღერის) კეღელი იტრება თანაბარი (რეღულარული) ბიჯით ტესილი ხაზის ანალოღიურად. ტრა ხღება აირით ან მღღავრი წნესებით. შემღეღ, გატრიღი კოტის ორი ნახეღარი გამოშვერიღი ნაწიღებით ერთღება შეღღღებით (ნახ. 15)



ნახ.15<sup>ა</sup> კოტი პერფორირებული კეღლით: ა – კეღლის ტრის სქემა, ბ – გატრიღი კოტი მისი ორი ნაწიღის შეღღღებით შეერთების შემღეღ

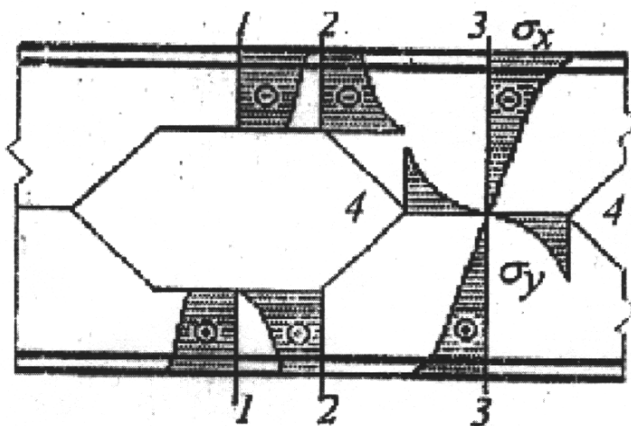
საბოლოო შეღეღი ამ იღეისა მღგომარეობს შემღეღში: 1. იზრღება კოტის სიმაღღე; 2. მასაღა გაღანაწიღღება განიღკვეთში და კონცენტირღება სარტყღებთან ახღოს; 3. მნიშვნეღონად იზრღება კვეთის გეომეტრიული მახასიათებღები – ინერციის მომენტი და წინაღობის მომენტი, რაც დაღებითი მოეღენაა მასაღის ეფექტური გამოყენებისა. შეღეღად მივიღეთ კოტის ორიღინალური კონსტრუქციული

ფორმა-კოჭი ხვრეტებიანი (სარკმელებიანი) კედლით. კინსტრუქციული ფორმის ასეთი გადაწყვეტა დაახლოებით ერთნახევარჯერ ზრდის კოჭის სიმაღლეს და კვეთის წინაღობის მომენტს, ხოლო კვეთის ინერციის მომენტი იზრდება თითქმის ორჯერ. ასეთ კოჭებში, კედლის ცენტრალურ ზონაში, ნაკლებად გამოყენებული ნაწილი (კედლის მასალის 35...40%) ამოვარდნილია მუშაობიდან, რაც კოჭების უმეტესი ნაწილისათვის არ წარმოადგენს საშიშროებას.

პერფორირებულ კედლიან კოჭებში მასალის ხარჯი 20...30%-ით ნაკლებია, ვიდრე ჩვეულებრივ გაგლინულ კოჭებში, ამავდროულად ეცემა ღირებულება 10...18%-ით. მოცემული გაგლინული ორტესებრი პროფილის ჭრაზე და შემდეგ ორი ნახევრის შედუღებით შეერთების დროს შრომის დამატებითი დანახარჯები არ არის დიდი. პერფორირებულ კედლიანი კოჭები დამზადების შრომატევადობის მიხედვით 25...35%-ით უფრო ეფექტურები არიან, ვიდრე ჩვეულებრივი შედუღებით შედგენილი ორტესებრი კოჭები. ეს ეფექტურობა მიიღება შედუღების მოცულობის შემცირებით და დამუშავების ოპერაციების ნაკლები შრომატევადობით.

#### 4.2. *muSao bi s T avi sebur ebani*

ხვრეტები კედელში ცვლიან კოჭის განივი კვეთის დაძაბული მდგომარეობის სურათს. თუ ნორმალური ძაბვების განაწილება ხვრეტის შუის მიმართულებით ახლოსაა წრფესთან (ნახ.15<sup>ბ</sup> კ.ვ.1-1), მრავალკუთხა ხვრეტის კუთხის ზონაში ნორმალური ძაბვების ( $\sigma_x$ ) ეპიურა არის მრუდწირული (ნახ.15 კ.ვ.2-2), რაც გამოწვეულია ძაბვების კონცენტრაციით.



ნახ.15<sup>ბ</sup> ნომინალური ძაბვების ეპიურები კოჭის კვეთში

ნორმალური ძაბვების ( $\sigma_x$ ) ეპიურის ნაწილობრივი არაწრფივობა შეიძლება კედლის მთლიან უბნებზე, ხვრეტებს შორის უბანზე (ნახ. 15 კ.ვ. 3-3). კოჭის ორი ნახევრის შეერთების ადგილზე (ნახ. 15 კ.ვ. 4-4) თავს იჩენენ ნორმალური ძაბვების  $\sigma_x$ . ყველაფერი ეს მიუთითებს იმაზე, რომ მრავალკუთხა (ამ შემთხვევაში ექვსკუთხა) ხვრეტის გარშემო არის ძაბვების კონცენტრაცია. უმეტეს შემთხვევაში მასალის პლასტიკურობის მარაგი საკმარისია იმისათვის, რომ ძაბვების კონცენტრაციამ კოჭის მზიდუნარიანობაზე არ იქონიოს მნიშვნელოვანი გავლენა. მაგრამ, ამავე დროს მხედველობაში უნდა ვიქონიოთ, რომ ციკლური ან დარტყმითი ზემოქმედებისას, განსაკუთრებით დაბალი ტემპერატურების დროს, ხვრეტის კუთხეებში არ წარმოიშვას ბზარები.

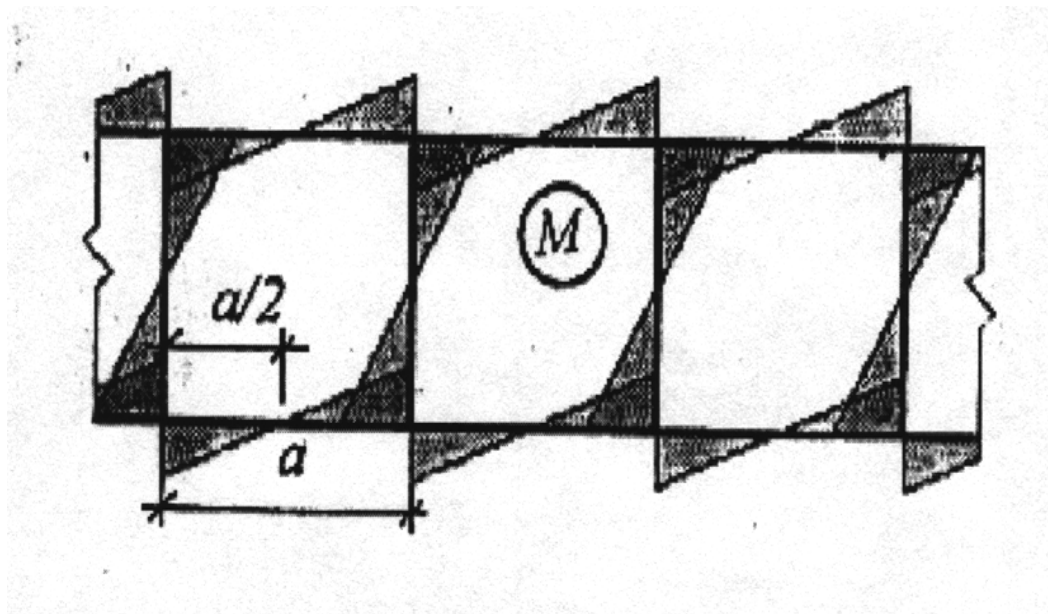
ხვრეტებს შორის სარტყლის ტესტები უბნის მუშაობაში შეიმჩნევა თავისებურებანი. ისინი იმყოფებიან განივი ძალების მოქმედების ქვეშ, რომლებიც წარმოშობენ დამატებით ჩაღუნვებს. სარტყლების ზღვრული მდგომარეობა ხასიათდება პლასტიკური დეფორმაციების მნიშვნელოვანი განვითარებით. ტესტები ფორმის ხვრეტებს შორის უბანი ძირითადად მუშაობს ძვრაზე და მისი ამტანუნარიანობა, როგორც წესი, განისაზღვრება მდგრადობით. ზღვრული მდგომარეობის დროს მდგრადობა შეიძლება დაკარგოს ერთ-ერთი ტესტები სარტყლის კედელმა, რადგან ის ამ დროს აღმოჩნდება შეკუმშული ან შეკუმშულ-გაღუნული.

არსებობს პერფორირებულ კედლიანი კოჭების გაანგარიშებისადმი რამდენიმე მიდგომა, დაწყებული გაანგარიშების მარტივი საინჟინრო მოდელებიდან დრეკად სტადიაში, ძაბვების კონცენტრაციის გათვალისწინების გარეშე, დამთავრებული დრეკადი გაანგარიშების გართულებულ მოდელებამდე, სასრული ელემენტების მეთოდზე დაყრდნობით.

პრაქტიკაში, უფრო ხშირად, გამოიყენება შედარებით მარტივი ინჟინრული გაანგარიშების სქემები. ამ მიდგომას დაევუთმობთ ჩვენც მეტ ყურადღებას.

პერფორირებული კოჭი განიხილება, როგორც რეგულარული უირიბნო სისტემა, რომლის ძირითადი ელემენტებია ჰორიზონტალური

(სარტყლის ტესებრი ნაწილები) და ვერტიკალური (კედლის ნაწილი ხერტებს შორის) ელემენტები. ვერტიკალური ელემენტი განიხილება როგორც პირობითი დერო, რომელთა სიგრძის შუაში მდუნავი მომენტი ტოლია ნულის (ნახ. 16).



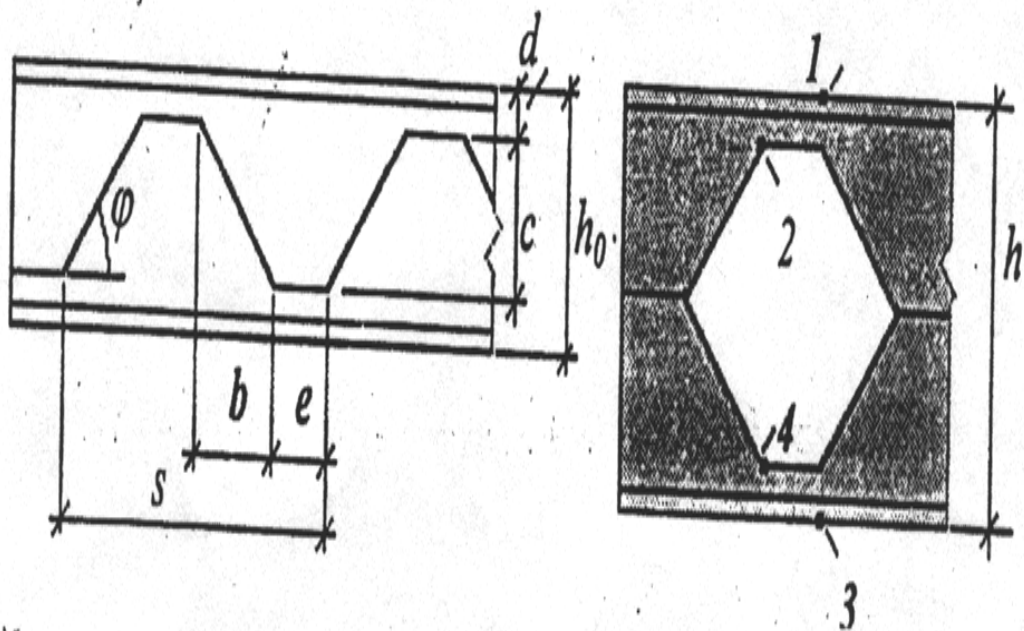
ნახ. 16 კოჭის საანგარიშო მოდელი

ეს მოდელი საშუალებას გვაძლევს ავაგოთ პერფორირებულ კედლიანი კოჭის ელემენტების კვეთების გაანგარიშების მიახლოებითი მოდელი.

გაანგარიშებისათვის დადგენილია კოჭის ზომების ძირითადი თანაფარდობები, რომლებიც განისაზღვრება კედლის ჭრის გეომეტრიით და შეიძლება ჩაწერილი იქნენ შემდეგი სახით (ნახ. 17):

$$h = h_0 + c; S = 2(b + c);$$

$$b = \frac{c}{tgj}; tgj = \frac{c}{b}; d = \frac{h_0 - c}{2} \quad (38)$$



ნახ. 17 ზომების აღნიშვნა და კვეთის მახასიათებელი წერტილები

პერფორირებული კედლიანი კოჭის გაანგარიშებისას აუცილებლად გასათვალისწინებელია ის, რომ სარტყლებში კოჭის საერთო ღუნვის შედეგად ნორმალური ძაბვების გარდა წარმოიშობიან ძაბვები განივი ძალებისაგან (ნახ. 17). მაქსიმალური ძაბვები წარმოიშვებიან იმ კვეთებში, რომლებიც გადიან ხვრეტების კუთხეებზე. სარტყლის ტესებრის სიგრძეს იღებენ  $e$ -ს ტოლს.

უშვებენ, რომ განივი ძალა კოჭის სიმეტრიულ კვეთში თანაბრად იყოფა სარტყლებს შორის. ამ შემთხვევაში, ძვრის ძალებისაგან წარმოშობილი მღუნავი მომენტები ტესებრი სარტყლის კვეთში განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$M_f = \left(\frac{Q}{2}\right) \left(\frac{e}{2}\right) = Q \frac{e}{4} \quad (39)$$

ზოგად შემთხვევაში (ასიმეტრიული კვეთები) სიმტკიცეზე შემოწმება ნორმალურ კვეთებში, როდესაც ტესებრ სარტყელში ერთდროულად მოქმედებენ გრძივი ძალები  $N$ , მღუნავი მომენტები  $M$



და განივი ძალები  $Q$  (წერტილებისათვის 1 და 2 ზედა სარტყელში) შეიძლება ჩატარდეს ფორმულებით:

$$\sigma_1 = \frac{M_{y1}}{I_{x0}} + Q_1 \cdot \frac{e}{(2W_{f1max})} \pm N \cdot \frac{A_{f1}}{A} \leq R_{y1} \cdot \gamma_c \quad (40)$$

$$\sigma_2 = \frac{M_{y2}}{I_{x0}} + Q_1 \cdot \frac{e}{(2W_{f1max})} \pm N \cdot \frac{A_{f1}}{A} \leq R_{u1} \cdot \frac{\gamma_c}{\gamma_u}$$

ქვედა სარტყელში, 3 და 4 წერტილებისათვის, ფორმულები მიიღებენ სახეს:

$$\sigma_3 = \frac{M_{y3}}{I_{x0}} + Q_2 \cdot \frac{e}{(2W_{f2max})} \pm N \cdot \frac{A_{f2}}{A} \leq R_{y2} \cdot \gamma_c \quad (41)$$

$$\sigma_4 = \frac{M_{y4}}{I_{x0}} + Q_2 \cdot \frac{e}{(2W_{f2max})} \pm N \cdot \frac{A_{f2}}{A} \leq R_{u2} \cdot \frac{\gamma_c}{\gamma_u}$$

სადაც:  $\gamma_i$  – კვეთის ცენტრალური ღერძიდან თითოეული წერტილის დაცილება შესაბამისად;  $I_{x0}$  – კვეთის ინერციის მომენტი ნახვრეტზე  $Q_1$  და  $Q_2$  – შესაბამისად განივი ძალები ზედა და ქვედა ტესებრ სარტყელებში, რომლებიც აიღება კვეთის სიმაღლეების პროპორციულად, მაგალითად,  $Q_1 = Q \frac{d_1}{(d_1+d_2)}$   $d_1$  და  $d_2$  – ზედა და ქვედა ტესებრების კვეთების სიმაღლეები .

$W_{f1}, W_{f2}, A_{f1}, A_{f2}$  – წინაღობის მომენტები და კვეთების ფართობებია ზედა ( $f_1$ ) და ( $f_2$ ) ტესებრი სარტყელებისათვის.

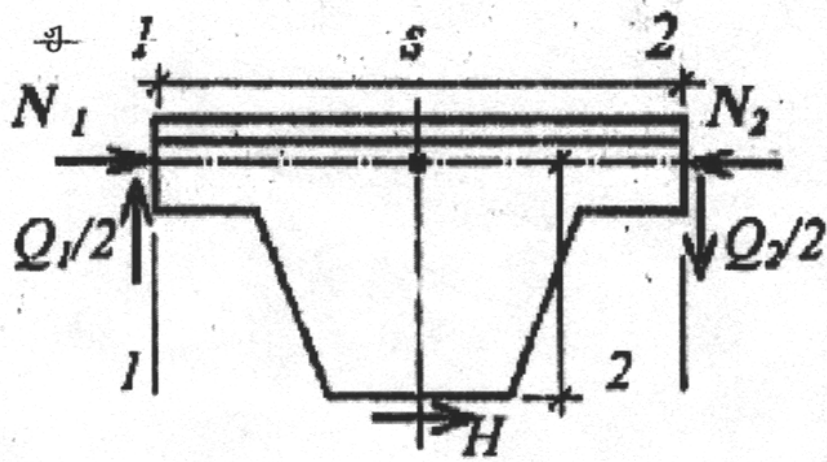
ხვრეტის კუთხის წერტილებში 2 და 4 (ნახ. 17) სიმტკიცეს ამოწმებენ საანგარიშო წინაღობის  $R_u$  და კოეფიციენტ  $\gamma_u$  – საშუალებით, რათა თავიდან იქნეს აცილებული რღვევა, რადგან ამ წერტილებში უფრო მეტია ძაბვების კონცენტრაცია. უნდა აღინიშნოს, რომ

შესაძლებელია სხვადასხვა ფორმების გამოყენება კოჭის ზედა (1) და ქვედა (2) ნახევრებისათვის.

ამავე დროს უნდა აღინიშნოს, რომ გრძივი ძალები კოჭებში, როგორც წესი, შედარებით მცირეა (ან საერთოდ არ არსებობენ:  $N=0$ ) და შესაბამისად ანგარიშები მარტივდება.

### 4.3. კოჭის ორ ნახევარს შორის ჰორიზონტალური ძრა

გამოვეთ კოჭის ზედა ნაწილში ბიჯის ტოლი ნაწილი (ნახ. 18) და განვიხილოთ მისი წონასწორობა როგორც უირიბნო სისტემისა (ნახ. 18).



ნახ. 18 ძვრის ძალების განსაზღვრისათვის კოჭის ზედა ნაწილში

დავუშვათ, რომ სარტყლებში გვაქვს მხოლოდ გრძივი და განივი ძალები (მომენტები ტესებრ სარტყელთან არის ნულის ტოლი). სიმარტივისათვის აქ მიღებულია კოჭის სიმეტრიული კვეთი. უირიბნო სისტემის საანგარიშო სქემა ყველაზე ახლოსაა ამ შემთხვევასთან. მაშინ, შეიძლება დამოკიდებულებები ძვრის ძალასა ( $H$ ) და შიგა ძალებს შორის, კვეთებში 1-1 და 2-2, ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

$$\sum X = 0; H = N_2 - N_1 = \frac{(M_1 - M_2)}{f}; \quad (42)$$

$$\sum M = 0; H = \frac{S(Q_2 - Q_1)}{2f_0} = \frac{SQ_{cp}}{f}; \quad (43)$$

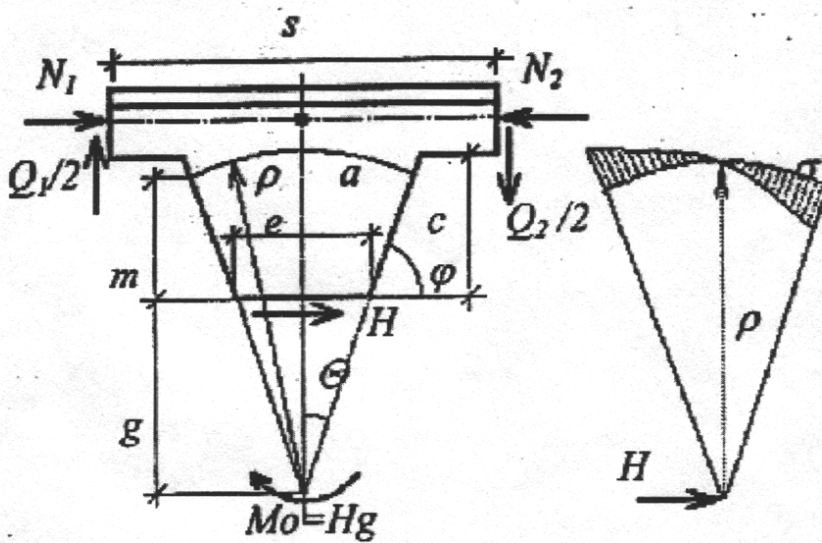
სადაც:  $Q_{cp}$  – განივი ძალის საშუალო მნიშვნელობაა ფრაგმენტის ფარგლებში.

უფრო მეტად დატვირთულია ფრაგმენტი კოჭის საყრდენთან, ამიტომ მისი სიმტკიცის შემოწმება შეიძლება მოხდეს ფორმულით:

$$\tau = S \cdot \frac{Q_3}{(t_w \cdot ef)} \leq R_s \cdot \gamma_c \quad (44)$$

სადაც:  $Q_3$  – განივი ძალის საშუალო მნიშვნელობაა კოჭის პირველი ფრაგმენტის შუა კვეთში (მანძილზე  $S_1+S-0,5e$ );  $S_1$  – მანძილი საყრდენის დერძიდან პირველი ხვრეტის დასაწყისამდე);  $t_w$  – კოჭის კედლის სისქეა.

განვიხილოთ, უფრო დეტალურად, კოჭის ფრაგმენტის დაძაბული მდგომარეობის სურათი ძვრის ძალებისაგან, როგორც უირიბნო სისტემის ელემენტი, ფრაგმენტი მუშაობს არა მარტო ძვრაზე, არამედ ღუნვაზეც. განვიხილოთ ფრაგმენტი შემდეგი სახით



ნახ. 19 ფრაგმენტის დაძაბული მდგომარეობის ანალიზისათვის

ღუნვაზე მომუშავე საანგარიშო კვეთად ავიღოთ რადიალური კვეთი P რადიუსით, რომლის სიგრძეც განისაზღვრება ნორმალური ძაბვების მაქსიმუმის პირობიდან.

დამოკიდებულება ძვრის ძალასა  $H$  და მღუნავ მომენტს  $M_p$  შორის, ფრაგმენტის რადიალურ კვეთში, განისაზღვრება ფორმულით:

$$M_p = H(\rho - g) \quad (45)$$

მაშინ, ნორმალური ძაბვები საანგარიშო კვეთში იქნება

$$\sigma_\rho = \frac{M_p}{W_p} = \frac{H(\rho - g)}{W_p} \quad (46)$$

თუ მხედველობაში მივიღებთ გეომეტრიულ დამოკიდებულებებს:

$$g = \frac{e}{2tg\theta}; \quad \rho = \frac{(m+g)}{\cos\theta} = \frac{m}{\cos\theta} + \frac{e}{2\sin\theta} \quad (47)$$

$$\alpha = 2\rho\theta$$

მივიღებთ საანგარიშო რადიალური კვეთისათვის წინააღობის მომენტის მნიშვნელობას:

$$W_\rho = t_w \frac{a^2}{6} = \frac{2t_w \rho^2 \theta^2}{3} \quad (48)$$

ამ ფორმულების გამოყენებით დიაპაზონი განისაზღვრება მნიშვნელობით, რაც პასუხობს შედარებით გავრცელებულ კონფიგურაციებს პროფილების ჭრისა. მაქსიმალური ძაბვები საანგარიშო კვეთებში გამოითვლება ფორმულით:

$$\sigma_\rho = 3H \frac{\rho - g}{2t_w \rho^2 \theta^2} \quad (49)$$

რომელიც სამართლიანია, როდესაც  $m = \frac{e(\cos\theta - \frac{1}{2})}{tg\theta} \leq c$

ელემენტარული გაანგარიშებით დადგენილია, რომ როცა  $\theta=45^\circ$ , თუ  $m < c$ ,  $e=4.83c$  ხოლო როცა  $\theta=30^\circ$ , თუ  $m < c$ ,  $e=1.58c$

ჩავსვათ (m) ზომის ზღვრული მნიშვნელობა ძაბვის ფორმულაში და მივიღებთ მაქსიმალური ძაბვების მნიშვნელობებს ფრაგმენტის განაპირა ბოჭკოებში.

#### 4.4 per f o r i r e b u l k e d e l S i f i r f i t i s m d g r a d o b i s S e f a s e b a

ფირფიტის მდგრადობის შემოწმება წარმოადგენს საკმაოდ რთულ ამოცანას. მაგრამ, აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ მდგრადობის შემოწმება ფირფიტის განაპირა ზონებში შესაძლებელია შედარებით მარტივი მოდელით, თუ მდგრადობის დაკარგვის ფორმა ცნობილია. პერფორირებულ კედლიანი კოჭებისათვის მდგრადობის დაკარგვის ხასიათი ცნობილია. ფირფიტა, მდგრადობის დაკარგვის შემთხვევაში, შემობრუნდება პროპელერით, რადგან ძვრის ძალების მოქმედების დროს კოჭის ერთი ნახევარი იკუმშება, მეორე კი იჭიმება. ამ დროს, შედარებით დიდი ძაბვები წარმოიქმნებიან ხვრეტის დახრილი უბნების ნაპირებში.

წარმოვიდგინოთ ერთ-ერთი ფრაგმენტის მუშაობის სქემა, როგორც კონსოლის, რომელიც ჩამაგრებულია ტესებრ სარტყელთან და თავისუფალ ბოლოზე მოდებულია ძალა  $H$ . მდგრადობის შემოწმებისათვის პირობითად მივიღოთ, რომ ხვრეტის დახრილი უბნის ბოლო ზოლი არ არის დაკავშირებული ტრაპეციული გამონაშვერის დანარჩენ ნაწილთან (ნახ. 20). და მუშაობს როგორც შეკუმშული ღერო თავისუფალი სიგრძით ეს სიგრძე ტოლია ჭრის  $l_0 = \frac{c}{\sin\varphi}$  დახრილი გვერდის. ერთეული სიგრძის ზოლისათვის, სისქით ინერციის რადიუსი ტოლია:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{(1 \cdot t_w^3 / 12)}{1 \cdot t_w}} = 0,289 t_w \quad (50)$$

ამრიგად, ფრაგმენტის შეკუმშული ზონის მდგრადობის მოახლოებით შემოწმება შეიძლება ფორმულით:

$$\sigma_p = \frac{3Htg\theta}{4t_w \cdot e \cdot \theta^2} \leq \varphi \cdot R_y \cdot \gamma_c \quad (51)$$

სადაც  $\varphi$  გრძივი ღუნვის კოეფიციენტია, რომელიც განისაზღვრება მოქნილობის მიხედვით:

$$\lambda = \frac{l_0}{r} = \frac{c}{0,289 t_w \sin\varphi} \quad (52)$$

ეს შემოწმება შეიძლება კიდევ გამარტივდეს თუ გავითვალისწინებთ ძვრის ძალას ( $H$ ) და მხებ ძაბვებს შორის კავშირს ღერძულ კვეთში:

$$H = \tau \cdot e \cdot t_w \quad (53)$$

კრიტიკული მხები ძაბვები, H-ის ჩასმით  $\sigma_p$  გამოსახულებაში, განისაზღვრება ფორმულით:

$$\tau_{cr} = \frac{4\theta\sigma_{cr}}{3tg\theta} \leq R_s \cdot \gamma_c \quad (54)$$

ამრიგად, მხები ძაბვების კავშირი, რომელიც შეესაბამება კრიტიკული ნორმალური ძაბვების გამოვლენის მომენტს, განისაზღვრება ხვრეტის გვერდის დახრის კუთხით  $\theta$  (ან  $\varphi$ ). პროფილის ჭრის სხვადასხვა კუთხის შემთხვევაში ეს კავშირი მოცემულია ცხრილში [2].

იმისათვის, რომ დაცული იყოს გამოსახულება, როცა არ არის გამოყენებული ხელოვნური გაძლიერება, საჭიროა გაიზარდოს ზომა  $e$ .

როდესაც ფარდობა  $\frac{h_{ef}}{t_w} \geq 2,5 \sqrt{\frac{E}{R_y}}$ , ან არ არის დაცული ანგარიშით

სიმტკიცის პირობა, ნორმებით გათვალისწინებულია შეეურსული დატვირთვების მოქმედების ადგილებში მოეწყოს სიხიტის წიბოები, როგორც ჩვეულებრივ ორტესებრ კოჭებში.

შეკუმშული ტესებრი კვეთის კედლის სიმაღლე უნდა აკმაყოფილებდეს ნორმებს [3] პირობებს: ელემენტებისათვის პირობითი მოქნილობით  $\lambda=0,8...4$  კედლის სიმაღლის ფარდობა სისქესთან, პირობისათვის  $1 \leq \frac{b_f}{h_{ef}} \leq 2$ , არ უნდა აღემატებოდეს მნიშვნელობას:

$$\frac{h_{ef}}{t_w} = (0,4 + 0,07\bar{\lambda}) \left( 1 + 0,25 \sqrt{2 - \frac{b_f}{h_{ef}}} \right) \cdot \sqrt{\frac{E}{R_y}} \quad (55)$$

სადაც:  $h_{ef}$  კედლის საანგარიშო სიმაღლეა;  $b_f$  ტესებრი თაროს სიგანე;  $\bar{\lambda}$  ტესებრი თაროებისათვის აიღება 1,4-ის ტოლი.

პერფორირებულკედლიანი კოჭის საერთო მდგრადობის შემოწმება არ განსხვავდება ჩვეულებრივი კოჭების საერთო მდგრადობის შემოწმებისაგან. ამ დროს, გეომეტრიული მახასიათაებლები უნდა დადგინდეს ხვრეტებიანი კვეთისათვის. პერფორირებულკედლიანი კოჭის საერთო მდგრადობა შეიძლება არ შემოწმდეს თუ დაცული არის პირობა:

$$\frac{l_{ef}}{b} \left[ 0,35 + 0,0032 \frac{b}{t_f} + \left( 0,76 - 0,02 \frac{b}{t_f} \right) \frac{b}{h} \right] \sqrt{\frac{E}{R_y}} \quad (56)$$

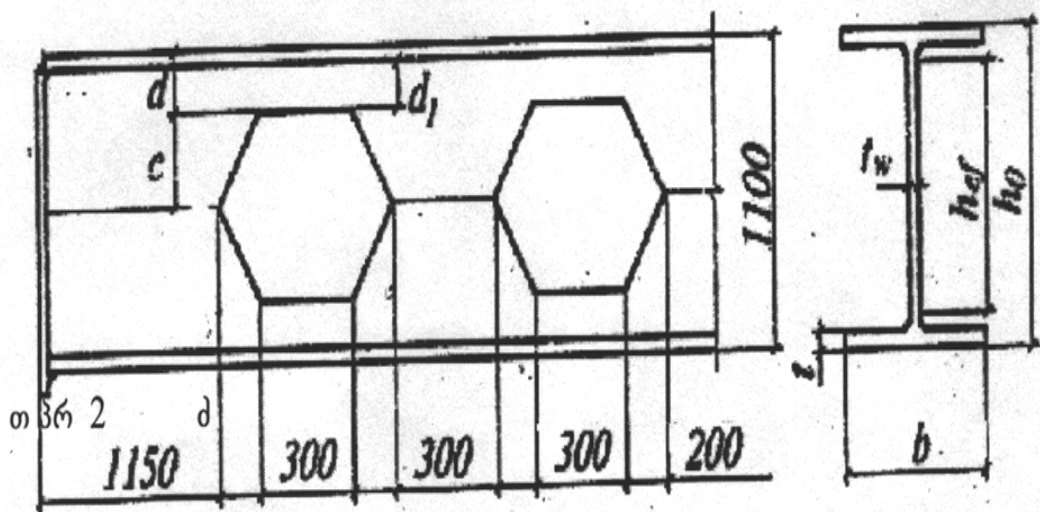
კოჭის ჩაღუნვების შემოწმება ტარდება ისევე, როგორც ჩვეულებრივ კოჭებში, მაგრამ ხვრეტების შესუსტება კვეთების ინერციის მომენტის

გათვალისწინებით. ამ დროს, როდესაც ფარდობა  $\frac{l}{h_{w,ef}} \geq 12$  -ზე, ინერციის მომენტი მრავლდება კოეფიციენტზე - 0,95, რაც იძლევა საშუალებას, რომ კოჭის ჩაღუნვა გაიზარდოს ნაწილობრივ. ( $h_{w,ef}$  პერფორირებულ კედლიანი კოჭის მთლიანი საანგარიშო სიმაღლე).

ზემოთ აღნიშნულის ნათესაყოფად არსებულ ლიტერატურაში გაანგარიშებულია პერფორირებულ კედლიანი კოჭი იგივე პირობებით. მღუნავი მომენტების და განივი ძალების Q ეპიურები ნაჩვენებია ნახ. 15ბ ზე. გადაანგარიშებულად აღებულია გაგლინული ორტესებრი, რომლის ჭრის სქემა და კვეთის სახე განსაზღვრულია. მოცემული კვეთი სიმეტრიული ორტესებრი ფორმისაა: კოჭის მასალა - 09Г2С მარკის ფოლადი; სისქეებისათვის 20მმ-მდე  $R_y=31\text{კნ/სმ}^2$ ,  $R_s=19,1\text{კნ/სმ}^2$ ,  $R_u=46,5\text{კნ/სმ}^2$ , სისქეებისათვის 32მმ-მდე  $R_y=29\text{კნ/სმ}^2$ , სიხისტის წიბოებისათვის აღებულია ფოლადი С245. კოჭის ზღვრული ჩაღუნვა  $[\frac{f}{l} = \frac{1}{250}]$ . დატვირთვები, კლიმატური რაიონები რჩება იგივე, როგორც წინა მაგალითში.

ანგარიშისათვის საწყისი გაგლინული პროფილად აღებულია ორტესებრი №80 III I CTO ACUM 20-93. პროფილის ზომებია:  $h=800\text{მმ}$ ,

$h_0=783\text{მმ}$ ,  $b=300\text{მმ}$ ;  $t=17\text{მმ}$ ;  $t_w=13,5\text{მმ}$ ;  $r=28\text{მმ}$ ;  $A=209,71\text{სმ}^2$ ; 1 გრძივი მეტრის წონა 164,6კგ. პერფორირებულ კედლიანი კოჭის კვეთის სიმაღლე დადგინდა ანგარიშით და ტოლია:  $h=110\text{სმ}$  (ნახ. 20).



ნახ. 20 პერფორირებულკედლიანი კოჭის ძირითადო ზომები

შევაფასოთ მასალის ხარჯი 18მ-იანი პერფორირებულკედლიანი ოვტერები კოჭებისათვის: ძირითადი კოჭის მასა –  $164,6 \times 18 = 2963$  კგ, წიბოები – 160კგ, მთლიანი მასა – 3123 კგ.

ამრიგად:

1. პერფორირებულკედლიანი კოჭი აღმოჩნდა ჩვეულებრივ ორტესებრ კოჭთან შედარებით მსუბუქი

$$\frac{(3222-3123)100}{3222} = 3\%3,07\%-ით$$

2. თხელკედლიან კოჭთან (მოქნილი კედლით) შედარებით აღმოჩნდა მძიმე

$$\frac{(3123-2798)100}{3123} = 11,6\%10,4\%-ით$$

3. გოფირებულკედლიან კოჭთან შედარებით აღმოჩნდა მძიმე

$$\frac{(3123-2546)100}{3123} = 18\%13,47\%-ით$$

საერთო შეფასებით პერფორირებულ კედლიანი კოჭები ხასაითდებიან სხვა ზემოთგანხილულ კოჭებთან შედარებით დამზადების ნაკლები შრომატევადობით და შედარებით ნაკლები სიმაღლით, რაც ამცირებს შენობის სამშენებლო სიმაღლეს, და აქედან გამომდინარე მცირდება საექსპლუატაციო დანახარჯები (გათბობაზე და სხვა). ეს, რა თქმა უნდა დადებითად ახასიათებს მათ.



## Table 5

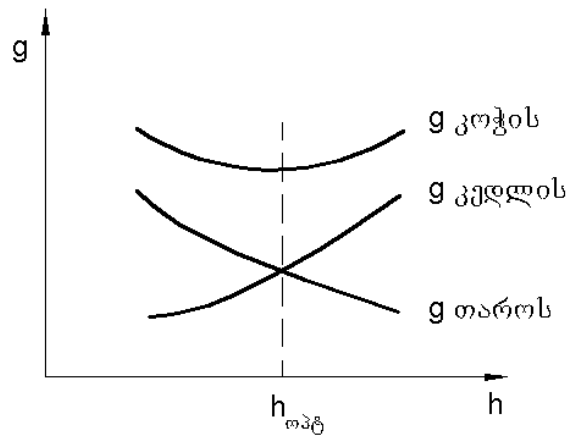
### 5.1. Sedgeni l i SeduRebul i ko Vebi s gaangar i Seba z Rvr ul mdgo nar eo baT a meT o di T

კოჭის სიმაღლე განისაზღვრება ეკონომიკური მოსაზრებებით, კოჭის მაქსიმალურად დასაშვები ჩაზნექილობით და რიგ შემთხვევებში გადახურვის კონსტრუქციის სამშენებლო სიმაღლით, ანუ წვერის და გადახურვის ქვეშ შენობის წვერის აღნიშვნების სხვაობით. ჩვეულებრივ, სამშენებლო სიმაღლე მოცემულია ტექნოლოგიების ან არქიტექტორების მიერ.

ყველაზე მეტი სიმაღლე ხ.ა.გ. უმრავლეს შემთხვევაში ნაკარნახევია ეკონომიკური მოსაზრებით.

კოჭის მასა შედგება მისი სარტყელის, კედლისა და კონსტრუქციული კოეფიციენტის მიერ გათვალისწინებული ზოგიერთი კონსტრუქციული ელემენტის მასისაგან. ამასთან, კოჭის სიმაღლის

ზრდასთან ერთად მცირდება სარტყლის მასა, ხოლო კედლის მასა იზრდება (ნახ. 21).



ნახ. 21 კოჭის მასის კვეთის სიმაღლეზე დამოკიდებულების გრაფიკი

რამდენადაც კედლისა და სარტყლის მასის ფუნქციები კოჭის სიმაღლის ცვლილებით იცვლება არაერთგვაროვნად ერთი მატულობს, მეორე კლებულობს (როგორც ეს ჩანს ნახ. 21), უნდა არსებობდეს ორივე ფუნქციის ჯამის ყველაზე ნაკლები მნიშვნელობა, ანუ სიმაღლის, რომლის დროსაც კედლისა და სარტყლის ჯამური წონა იქნება ნაკლები. ამ სიმაღლეს ეწოდება ოპტიმალური  $h_{\text{ოპტ}}$ . რამდენადაც ის განსაზღვრავს კოჭზე მასალის ყველაზე ნაკლებ ხარჯს. კოჭის ოპტიმალური სიმაღლის განსაზღვრა შეიძლება შემდეგი სახით.

1 მეტრი სიგრძის კოჭის სრული მასა უდრის სარტყელებისა და კედლის სრულ მასას

$$g_{\text{კოჭ.}} = g_{\text{სარტ.}} + g_{\text{კედ.}} = 2 \frac{cM}{hR} \psi_{\text{სარტ.}} \rho + ht_{\text{კედ.}} \psi_{\text{კედ.}} \rho \quad (57)$$

სადაც:  $c$  – მომენტის ნაწილია, რომელიც აღიქმება კოჭის სარტყელებით;

$M$  – კოჭზე მოქმედი საანგარიშო მომენტი;

$R$  – კოჭის მასალის საანგარიშო წინაღობა;

$h$  – კოჭის სიმაღლე;

$t_{\text{კედ.}}$  – კოჭის კედლის სისქე;

$\psi_{\text{სარტყ.}}$  – სარტყელთა კონსტრუქციული კოეფიციენტი (სარტყლის თეორიული ფართობიდან ნამდვილზე გადასვლის კოეფიციენტი),

$\psi_{კედ.}$  - კედლის კონსტრუქციული კოეფიციენტი;

$\rho$  - ფოლადის მოცულობითი წონა.

კოჭის მასის მინიმუმის განსაზღვრისას ვიღებთ წარმოებულს კოჭის მასის გამოსახულებიდან მისის სიმაღლის მიხედვით და მას ვუტოლებთ ნულს:

$$\frac{dg_{კედ.}}{dh} = -\frac{2cM}{h^2 R} \psi_{სარტ.} \rho + t_{კედ.} \psi_{კედ.} \rho = 0 \quad (58)$$

აქედან  $M/R$  შეცვლისას, ვიღებთ

$$h_{ობტ.} = \sqrt{2c \psi_{სარტ.} / \psi_{კედ.} \sqrt{W / t_{კედ.}}} = k \sqrt{W / t_{კედ.}} \quad (59)$$

$k$  კოეფიციენტი დამოკიდებულია კოჭის კონსტრუქციულ გაფორმებაზე - სარტყელებისა და კედლის კონსტრუქციულ ელემენტებზე, ღიობებით კვეთის შესუსტების გამო ეს კოეფიციენტები მოქლონვილი კოჭებისათვის უფრო მეტია, შედუღებულისათვის - ნაკლები. ეს კოეფიციენტი სიგრძეში ცვლადი კვეთის კოჭებში უფრო ნაკლებია, ვიდრე მუდმივი კვეთის კოჭებში, რამდენადაც ის წარმოადგენს საშუალო კოეფიციენტს, რომელიც განეკუთვნება კოჭის ყველაზე დაძაბულ კვეთს. კოეფიციენტის სიდიდედ ავიღოთ შენადული კოჭებისათვის 1,2...1,15 ტოლი, მოქლონვილისათვის - 1,25...1,2.

მოყვანილი დასკვნა არ წარმოადგენს მკაცრს, რამდენადაც ის არ ითვალისწინებს თანაფარდობის ცვლილებას კედლის სისქესა და სიმაღლეს შორის სხვადასხვა სიმაღლის კოჭებში, და მაშასადამე, კოჭის სარტყელებსა და კედელს შორის მომენტის განაწილების  $c$  კოეფიციენტის ცვლილებებსაც.

ამასობაში (1) ფორმულიდან ცხადია, რომ თანაფარდობა კოჭის სიმაღლესა და კედლის სისქეს შორის დიდ გავლენას ახდენს კვეთის ეკონომიურობაზე; ამასთან, რაც უფრო თხელია კედელი, მით მეტია სიმაღლე და ხელსაყრელია კოჭის კვეთი.

კ. კ. მუხანოვმა გამოიყენა კოჭის ოპტიმალური სიმაღლის კედლის მოცემულ მოქნილობაზე დამოკიდებულება

$$h_{ობტ.} = \sqrt[3]{3\lambda_{კედ.} W / 2} \quad (60)$$

სადაც  $\lambda_{კედ.} = h_{კედ.} / t_{კედ.}$  კედლის მოქნილობაა.

რეკომენდებული შეფარდება  $h_{\text{კოჭ.}}$  კოჭის სიმაღლის  $t_{\text{კედ.}}$  კედლის  
სისქესთან

ცხრილი 1

$h_{\text{კედ.}}$ , მ	1	1,5	2	3	4	5
$t_{\text{კედ.}}$ , მმ	8-10	10-12	12-14	16-18	20-22	22-24
$h_{\text{კოჭ.}} / t_{\text{კედ.}}$	100-125	125-150	145-165	165-185	185-200	210-230

შენიშვნა: მაღალი სიმტკიცის ფოლადის კოჭებისათვის მახასიათებელი უმცირესი მნიშვნელობები  $h_{\text{კოჭ.}} / t_{\text{კედ.}}$  დროს.

თუმცა კედლის მოქნილობის პრაქტიკული მნიშვნელობა შემოიფარგლება მისი სიხისტის და სიმტკიცის უზრუნველყოფის აუცილებლობით შეხებითი დაძაბვის მოქმედებაზე.

კოჭის მიღებული ოპტიმალური სიმაღლე წარმოადგენს ყველაზე რაციონალურს, რამდენადაც  $h_{\text{კოჭ.}}$ -გან სიმაღლის დაშორება გამოიწვევს კოჭზე მასალის გახარჯვის ზრდას.

შეიძლება აღინიშნოს, რომ კედლის მასა ოპტიმალური სიმაღლის კოჭებში უდრის კოჭის სარტყელების მასას. კოჭის სიმაღლის არჩევისას უნდა გვახსოვდეს, რომ კოჭის მასის ფუნქცია  $h_{\text{კოჭ.}}$  განმსაზღვრელი მინიმუმის არეში იცვლება ნაკლებად, ამიტომაც შესაძლებელია  $h_{\text{კოჭ.}}$ -სგან გადახრები. ოპტიმალურისაგან ნამდვილი სიმაღლის 20%-ით გადახრა იწვევს კოჭის მასის ცვლილებას დაახლოებით 4%-ით (ნახ. 21).

კოჭის ყველაზე დაბალი რეკომენდირებული სიმაღლე  $h_{\text{min}}$  განისაზღვრება კოჭის სიხისტით – მისი ზღვრული ჩაღუნვით (მეორე ზღვრული მდგომარეობა).

კოჭის მინიმალური სიმაღლის მიღება შეიძლება ჩაღუნვის ფორმულიდან. კოჭის სიგრძეზე თანაბრად განაწილებული დატვირთვისათვის

$$f = 5(p^6 + g^6)l^4 / 384EI, \quad (61)$$

სადაც:  $p^6$  და  $g^6$  – დროებითი (საჭიროების შემთხვევაში დინამიკური კოეფიციენტის გათვალისწინებით) და მუდმივი ნორმატიული დატვირთვებია კოჭის სიგრძის ერთეულზე (გადატვირთვის კოეფიციენტის გარეშე);

$l$  – კოჭის სიგრძე;

$EI$  – კოჭის სიხისტე ჩაღუნვაზე.

ჩაზნექის ფორმულაში  $M=(p^6+g^6)l^2/8$  ჩასმით, ვიღებთ:  $f = 5Ml^2 / 48EI$ . დაძაბულობაა  $p^6+g^6$  დატვირთვებისაგან. ამიტომ, ამ გამოსახულებების ჩაღუნვის მეორე მხრივ, ცნობილია, რომ  $M = W\sigma(p + g)$  და  $I = W(h/2)$ , სადაც  $\sigma_{(p+g)}$  კოჭის ფორმულაში ჩასმის შემდეგ ვიღებთ

$$f = 5\sigma_{(p+g)}l^2 / 24Eh \quad \text{ან} \quad h = \frac{5}{24} \frac{\sigma_{(p+g)}l}{E} \left( \frac{l}{f} \right) \quad (62)$$

ძალების მოქმედების დამუკიდებლობის კანონით სარგებლობისას ვიღებთ დაძაბულობას ნორმატიული დატვირთვების მოქმედებისაგან.

$$\sigma_{(p+g)} = R \frac{p^6 + g^6}{\gamma_p p^6 + \gamma_g g^6}, \quad (63)$$

სადაც  $R$  – კოჭის მასალის საანგარიშო წინაღობაა;

$\gamma_p$  და  $\gamma_g$  – საიმედოობის შესაბამისი კოეფიციენტები.

კოჭების ჩაზნექილობის თანაფარდობა მათ სიგანესთან  $[f/l]$  რეგლამენტირებულია ნორმებით კოჭის დანიშნულების მიხედვით. ამის გამოყენებით თანაბრად განაწილებულ სიგრძეზე კოჭისათვის ვიღებთ,

$$h_{\text{თბ}} = \frac{5}{24} \frac{Rl}{E} \left[ \frac{l}{f} \right] \frac{p^6 + g^6}{n_p p^6 + n_g g^6} \quad (64)$$

კოჭებისათვის, რომლებიც იყენებენ მასალის დრეკად-პლასტიკურ მუშაობას, მინიმალური სიმაღლე იქნება

$$h_{\text{თბ}} = \frac{5}{24} \frac{c_1 Rl}{E} \left[ \frac{l}{f} \right] \frac{p^6 + g^6}{n_p p^6 + n_g g^6} \quad (65)$$

მოცემულ შემთხვევაში მასალის მოქნილი მუშაობისათვის გამოყვანილი ჩაღუნვის ფორმულის გამოყენება შესაძლებელია,

რამდენადაც ჩაღუნვა განისაზღვრება ნორმატიული დატვირთვის მოქმედებისაგან, ხოლო კოჭის კვეთი ირჩევა გაანგარიშებითი დატვირთვის მოქმედებისაგან, ამასთან კოეფიციენტი  $\gamma$  ყოველთვის მეტია მასალის დრეკად-პლასტიკური მუშაობის გათვალისწინების კოეფიციენტზე ( $c_1$ ) და მაშასადამე, კოჭის მასალა ნორმალური ექსპლუატაციის დროს ყოველთვის მუშაობს მოქნილად.

კოჭის მინიმალური სიმაღლე უზრუნველყოფს აუცილებელ სიხისტეს მასალის მზიდი უნარის სრული გამოყენებისას.

კოჭზე დატვირთვის სხვა სახეების დროს  $h_{\text{მინ.}}$  შეიძლება მიახლოებით განისაზღვროს (24) ფორმულით.

(24) ფორმულიდან ჩანს, რომ კოჭის საჭირო სიმაღლე იზრდება მასალის სიმტკიცის ზრდასთან და დასაშვები ჩაღუნვის შემცირებასთან ერთად.

თუ (24) ფორმულის მიხედვით მიღებული კოჭის სიმაღლე რაიმე მოსაზრებით არ შეიძლება იქნეს მიღებული, ჩაღუნვის საჭირო ნორმა შეიძლება დაკმაყოფილდეს მხოლოდ მასალის გაანგარიშებითი წინააღობის შემცირებისას, ვიდრე რა ნაკლებად მყარ მასალას ან არასრულად ვიყენებთ რა მის მზიდ უნარს.

*კოჭის სიმაღლის არჩევა.* კოჭის სიმაღლის ცვლილების კანონზომიერებები გვიჩვენებს, რომ ყველაზე მიზანშეწონილია კოჭის სიმაღლე ავიღოთ  $h_{\text{კოჭ.}}$  მიახლოებად, რაც განსაზღვრულია ეკონომიკური მოსაზრებებით და არანაკლებ  $h_{\text{მინ.}}$ , რომელიც დადგენილია კოჭის დასაშვები ჩაღუნვის პირობიდან გამომდინარე. ბუნებრივია, რომ ყველა შემთხვევაში კოჭის მიღებული სიმაღლე ფენილის სისქესთან ჯამში არ უნდა აღემატებოდეს გადახურვის მოცემულ სამშენებლო სიმაღლეს. კოჭის სიმაღლე უნდა შევათავსოთ ასევე სორტამენტზე ფურცლების სიგანის ზომებს. სასურველია, რომ სიმაღლეში კედელი შესრულდეს ერთი ფურცლისაგან არაუმეტეს 2000-2200 მმ სიგანით. თუ საჭიროა მეტი სიმაღლის კედელი, უნდა გავართულოთ კოჭის კონსტრუქცია კედლის გრძივი პირაპირის მოწყობილობით. ყველა შემთხვევაში, შედგენილი კოჭის სიმაღლე კონსტრუქციების უნიფიკაციის მიზნით რაციონალურად უნდა ავიღოთ მრგვალ რიცხვებში, რომელიც 100 მმ ჯერადია.

## 5.2. kedl i s si sqe

კოჭის სიმაღლის შემდეგ კედლის სისქე წარმოადგენს კვეთის მეორე ძირითად პარამეტრს, რამდენადაც ის ძლიერ გავლენას ახდენს შედგენილი კოჭის კვეთის ეკონომიურობაზე.

კედლის ყველაზე ნაკლები სისქის განსაზღვრისათვის მისი მუშაობის პირობებიდან შეხებით დაძაბულობაზე შეიძლება ვისარგებლოთ ნ. გ. ჟურავსკის ფორმულით

$$\tau = QS / It_{\text{კედ.}} < R_{\text{ჭრაზე}} \gamma \quad (66)$$

სადაც: Q – მაქსიმალური განივი ძალაა;

S – კოჭის ნახევარკვეთის სტატისტიკური მომენტი ნეიტრალურ ღერძთან მიმართებაში;

I – კოჭის კვეთის ინერციის მომენტი;

$t_{\text{კედ.}}$  – კოჭის სისქე;

$R_{\text{ჭრაზე}}$  – კედლის მასალის საანგარიშო წინაღობა ჭრაზე;

ოპტიმალური კვეთის კოჭში, რომლის სარტყელის ფართობი უდრის კედლის ფართობს, შიდა წყვილის მხარი შეადგენს  $I/S \approx 0,85h$ . ამ  $I/S$  თანაფარდობის ჩასმით ნ. გ. ჟურავსკის ფორმულაში და გარდაქმნის მეშვეობით ვიღებთ:

$$t_{\text{კედ.}} = QS / It_{\text{ჭრაზე}} \approx 1,2Q / hR_{\text{ჭრაზე}} \quad (67)$$

კოჭის ტორსზე მიღუღებული საყრდენი წიბოს მეშვეობით ჭრილი შენადული კოჭის დაყრნობისას შეიძლება ჩაითვალოს, რომ კოჭის საყრდენ კვეთზე შეხებით დაძაბულობაზე მუშაობს მხოლოდ კედელი, ხოლო სარტყელები ჯერაც არაა ჩართული კოჭის კვეთის მუშაობაში. მაშინ შიდა წყვილის მხარი

$$\frac{I}{S} = \frac{t_{\text{კედ.}} h^3}{12} \frac{8}{t_{\text{კედ.}} h^2} = \frac{2}{3} h$$

ამ შემთხვევაში კედლის სისქე

$$t_{\text{კედ.}} = \frac{QS}{IR_{\text{ჭრაზე}}} = \frac{3}{2} \frac{Q}{hR_{\text{ჭრაზე}}} \quad (68)$$

სიმეტრიული კვეთის კოჭებში, რომლებიც მუშაობს პლასტიკური დეფორმაციების განვითარების გათვალისწინებით და არ არის დატვირთული ადგილობრივი დატვირთვით,  $\sigma_{ადგ.}=0$ ; პირობების  $\tau \leq 0,9R_{კრაზე}$ ;  $A_{სარტ.}/t_{კედ.} \geq 0,25$  და  $2,2 < \lambda_{კედ.} \leq 6$  შესრულებისას საჭიროა შემოწმდეს კოჭის ამტანუნარიანობა კედლის შესაძლო დანაკარგის გამო, რომელიც მუშაობს პლასტიკური დეფორმაციების გათვალისწინებით, ფორმულის მიხედვით

$$M = R\gamma h_0^2 t_{კედ.} (A_{სარტ.} / A_{კედ.} + \alpha) \quad (69)$$

2 მ-ზე მაღალი სიმაღლის კოჭებში კონსტრუქციული ფორმის ეს გამარტივება ეკონომიურად არაა გამართლებული, რამდენადაც კედლები საკმაოდ სქელი ხდება, მაღალ კოჭებში კედლის სისქე არის

ნაკლები და აღწევს 1/200-1/250 სიმაღლეს, რაც მოითხოვს კედლის გამყარებას, რომელსაც შეუძლია მისი სიმყარის უზრუნველყოფა.

ამგვარად, კედლის სისქის განსაზღვრის ამოცანა ვარიანტულია, რომელიც გავლენას ახდენს კოჭის კვეთის ეკონომიკურობაზე და მოითხოვს ძალიან ფრთხილ დამოკიდებულებას.

1-2 მ სიმაღლის კოჭებისათვის კედლის სისქის რაციონალური მნიშვნელობა შეიძლება განისაზღვროს ემპირიული ფორმულით

$$t_{კედ.} = 7 + 3h / 1000 \text{ მმ} \quad (70)$$

კედლის სისქე უნდა იყოს შეთავაზებული ფურცლოვანი ფოლადის გლინვის არსებულ სისქესთან. ჩვეულებრივ, კედლის მინიმალური სისქე არანაკლებ 8 მმ-ია და 12 მმ-მდე სისქის დროს 1 მმ ჯერადს იყენებენ, 12 მმ დროს კი, 2 მმ ჯერადს. თუ (22) ფორმულის მიხედვით მიღებული კედლის სისქე განსხვავდება (27) და (26) ფორმულებით მიღებულებისაგან 2 მმ და მეტი (22) ფორმულაში უნდა ჩავსვათ ჩამოტეხვის პირობიდან განსაზღვრული კედლის სისქე და კვლევ გამოვიანგარიშოთ  $t_{ადგ.}$ .

### 5.3. სარტყელი სარკველები

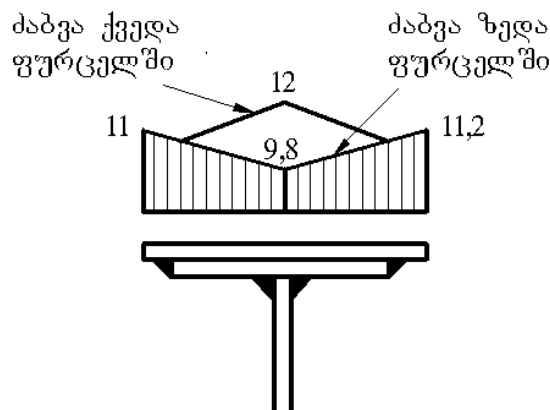
შედულებულ კოჭებში სარტყელებს ჩვეულებრივ იღებენ უნივერსალური ფოლადის ცალკეული ფურცლებისაგან. ორი ან მეტი სარტყელის დამზადება შენადულ კოჭებში არარაციონალურია,



რამდენადაც ჩვენ ვზრდით ფურცლების მუშაობის არათანაბარხიმიერებას კედლიდან გარე ფურცლებისაკენ ძალის გადაცემის სიგრძის ზრდის გამო (ნახ. 22). ამასთან, მკვეთრად იზრდება შენადული ნაწიბურების რიცხვიც. გარდა ამისა, გარადუვალია ნაპრალების წარმოქმნა მხოლოდ კიდეებზე შესადულებელ ფურცლებს შორის.

შენადული კოჭის ჰორიზონტალური სარტყელის ფურცლის სისქედ ჩვეულებრივ იღებენ კედლის არაუმეტეს 2-3 სისქეს, რამდენადაც სარტყელის ნაწიბურებში, კედელთან სქელი სარტყელის ფურცლების შედულებისას ვითარდება მნიშვნელოვანი შეკლების

გამჭიმავი დაძაბულობა. 30 მმ-ზე უფრო სქელი სარტყელის ფურცლების გამოყენება არარაციონალურია იმიტომაც, რომ სქელ ფურცლებს გააჩნიათ დენადობის ზღვარის შემცირებული მნიშვნელობები და მაშასადამე, გაანგარიშებითი წინაღობა.



ნახ. 22 დაძაბულობის განაწილება შედულებული კოჭის პაკეტის ფურცლებში

მოქნილ კოჭებსა და მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებზე შემდგარ კოჭებში შენადულისაგან განსხვავებით ხშირად გამოიყენება პაკეტები ორი-სამი ჰორიზონტალური ფურცლისაგან, რამდენადაც მრავალფურცლიან პაკეტებში, რომელიც გაჭიმულია მთელს სიგრძეზე მოქლონით ან ჭანჭიკებით, ფურცლები მუშაობს საკმაოდ შერწმულად. ცალკეული ჰორიზონტალური ფურცლების სისქეს, სამონტაჟო პირაპირის კონსტრუირების მოხერხებულობის პირობიდან გამომდინარე, ჩვეულებრივ იღებენ სარტყელის კუთხეების სისქის ტოლად.

ჰორიზონტალური ფურცლების სიგანე ჩვეულებრივ არის კოჭის 1/2--1/5 სიმაღლის ტოლი, მისი ზოგადი სიმტკიცის უზრუნველყოფის პირობიდან გამომდინარე.

კონსტრუქციული მოსაზრებებით სარტყელის სიგანე არ უნდა იყოს 180 მმ ნაკლები ან  $h/10$ . მოქლონიანი კოჭებისათვის ან ჭანჭიკებზე. კოჭებისათვის ასევე სასურველია, რომ ჰორიზონტალური ფურცლები რამდენადმე სცდებოდეს სარტყელის კუთხეების გარე საზღვრებს

$$b_{\text{პორ.ფურ.}} \geq t_{\text{კედ.}} + 2b_{\text{კუთ.}} + 10 \text{ მმ} \quad (71)$$

ჰორიზონტალური ფურცლების ყველაზე მეტი სიგანე განისაზღვრება მათი ადგილობრივი სიმტკიცის და მუშაობის სითანაბრით სიგანეზე.

კოჭებში შეკრული სარტყელის შევრილის განის  $b_{\text{შევრილი}}$ . თანაფარდობა  $t_{\text{სარ.}}$  მის სისქესთან არ უნდა აღემატებოდეს:

მოქნილად მოქმედ კვეთში

$$b_{\text{შევრილი}} / t_{\text{სარტ.}} \leq 0.5 \sqrt{E/R} \quad (72)$$

პლასტიკური დეფორმაციების განვითარების გათვალისწინებით მომუშავე კვეთში

$$b_{\text{შევრილი}} / t_{\text{სარტ.}} < 0.11 h_0 / t_{\text{კედ.}} , \text{ მაგრამ არაუმეტეს } 0.5 \sqrt{E/R} , \quad (73)$$

სადაც  $h_0$  კოჭის გაანგარიშებითი სიმაღლეა;  $t_{\text{კედ.}}$  - კოჭის კედლის სისქე.

კოჭების გაჭიმული სარტყელისთვის რეკომენდებული არაა სარტყელის სიგანე აღემატებოდეს სარტყელის 30 სისქეს, ზოლის სიგანეზე დაძაბვის თანაბარი განაწილების პირობიდან გამომდინარე.

## 5.4. კოჭების სარტყელის სიგანე

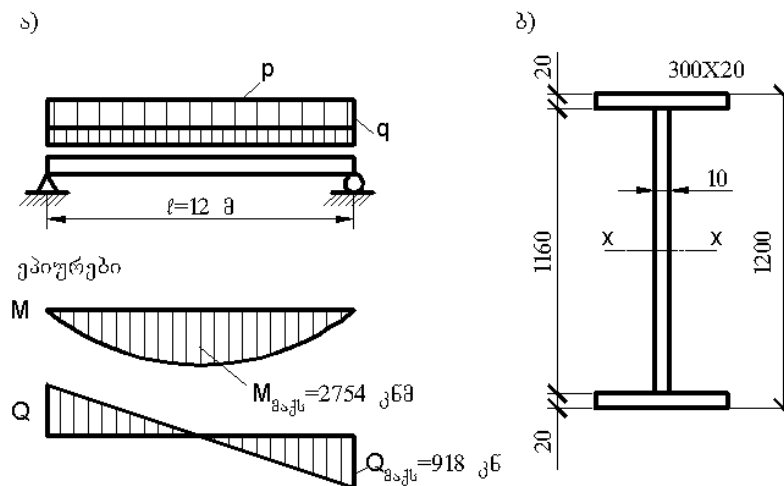
კვეთის შერჩევა მდგომარეობს კოჭის კედლისა და სარტყელის ზომის განსაზღვრაში, პირობების ტექნოლოგიური მოცემულობიდან, ეკონომიურობიდან, სიმტკიცის, დამზადების მდგრადობის და ტექნოლოგიურობიდან გამომდინარე.

მაგალითი 1. საჭიროა შენადული მთავარი კოჭის კვეთის შერჩევა, რომლის ჩაღუნვაა  $f < (1/400)l$ , სისქე  $t \leq 20$  მმ,  $R = 230$   $Mna = 23$  კნ/სმ<sup>2</sup> და  $R_{ჭრაზე} = 135$   $Mna = 13,5$  კნ/სმ<sup>2</sup>, ფენილის წონა და ფენილის კოჭის  $g_1 = 1,023$  კნ/მ<sup>2</sup>. კოჭის წონას საორიენტაციოდ ვიღებთ მასზე დატვირთვისაგან 1-2% ფარგლებში. გადახურვის მაქსიმალურად შესაძლებელი სამშენებლო სიმაღლეა 1,6 მ.

კოჭის გაანგარიშებითი სქემა მოყვანილია (ნახ. 23 ა) განვსაზღვროთ კოჭზე ნორმატიული და გაანგარიშებითი დატვირთვები:

$$q^{\delta} = p^{\delta} + g^{\delta} = 1,02(20 + 1,023)6 = 128,6 \text{ კნ/მ} \quad (74)$$

$$q = n_p p^{\delta} + n_g g^{\delta} = 1,02(1,2 \cdot 20 + 1,05 \cdot 1,023)6 = 153 \text{ კნ/მ} \quad (75)$$



ნახ. 23. მაგალითისთვის 1.  
საანგარიშო სქემა; ბ) კოჭის კვეთი

განვსაზღვრაოთ საანგარიშო მღუნავ მომენტს მაღის შუაში

$$M = ql^2/8 = 153 \cdot 12^2/8 = 2754 \text{ კნ.მ} = 275\,400 \text{ კნ.სმ} \quad (76)$$

განივ ძალას საყრდენზე

$$Q = ql/2 = 153 \cdot 12/2 = 918 \text{ კნ.} \quad (77)$$

მოავარ კოჭს განვსაზღვრავთ პლასტიკური დეფორმაციების განვითარების გათვალისწინებით.

$$W_{ნეტო} = M_{მკვს.} / c_1 R \gamma \quad \text{ფორმულის მიხედვით}$$

განვსაზღვრავთ კოჭის წინაღობის საჭირო მომენტს, თავდაპირველად ვიღებთ რა  $c_1 = c = 1,1$  :

$$W_{საჭირო} = M_{მკვს.} / c_1 R \gamma = 275\,400 / 1,1 \cdot 23 \cdot 1 = 10\,885 \text{ სმ}^3 \quad (78)$$

განვსაზღვრავთ კოჭის ოპტიმალურ სიმაღლეს (3.1) ფორმულის მიხედვით, წინასწარ ვაძლევთ რა მას სიმაღლეს  $h \approx (1/10)l \approx 1,2 \text{ მ}$  და (29)

ფორმულით კედლის სისქის გაანგარიშებით  $t_{კედ.} = 7 + 3 \cdot 1200 / 1000 = 10,6$ .

კედლის სისქედ ვიღებთ 10 მმ.

$$h_{ოპტ.} = k \sqrt{W / t_{კედ.}} = 1,15 \sqrt{10\,885 / 1} = 120 \text{ სმ}. \quad (79)$$

კედლის მიღებული სისქე და სიმაღლე არის რეკომენდებული მნიშვნელობების ფარგლებში.

მინიმალურ სიმაღლეს განვსაზღვრავთ ფორმულით:

$$h_{ოპტ.} = \frac{5}{24} \frac{c_1 R l}{E} \left[ \frac{l}{f} \right] \frac{P^{\delta} + g^{\delta}}{n_p P^{\delta} + n_g g^{\delta}} = \frac{5 \cdot 1,1 \cdot 23 \cdot 1200 \cdot 400}{24 \cdot 2,06 \cdot 10^4} \cdot \frac{128,6}{153} = 103,2 \text{ სმ}. \quad (80)$$

კოჭის სამშენებლო სიმაღლეს განვსაზღვრავთ გადახურვის და მისი კონსტრუქციის შესაძლო მაქსიმალური სიმაღლიდან გამომდინარე.

$$h_{კოჭ.}^{სამშ.} = h_{გაღ.}^{სამშ.} - h_{ფენ.}^{სამშ.} - t_{კოჭ.}^{სამშ.} = 160 - 30 - 0,8 = 129,2 \text{ სმ}. \quad (81)$$

მიღებული სიმაღლის შედარებისას ვიღებთ კოჭის სიმაღლეს, რომელიც ახლოსაა ოპტიმალურთან  $h = 120 \text{ სმ}$ .

ვამოწმებთ კედლის მიღებულ სისქეს:

ემპირიული ფორმულით

$$t_{კედ.} = 7 + 3h / 1000 = 7 + 3 \cdot 1200 / 1000 = 10,6 \text{ მმ}; \quad (82)$$

ფორმულის მიხედვით, საყრდენზე მხებ ძაბვებზე კედლის მუშაობის პირობიდან გამომდინარე

$$t_{კედ.} = \frac{3 Q_{მკვს.}}{2 h_{ჭრახე}} = \frac{3 \cdot 918}{2 \cdot 120 \cdot 13,5} = 0,85, \quad (83)$$

სადაც  $R_{ჭრახე} = 13,5 \text{ კნ./სმ}^2$ .

სიხისტის გრძივი წიბოების გამოყენებისთვის ფორმულის მიხედვით

$$t_{\text{კლ.}} = \left( h \sqrt{R/E} \right) / 5,5 = \left( 120 \sqrt{23/2,06 \cdot 10^4} \right) / 5,5 = 0,73 \text{ სმ}. \quad (84)$$

გაანგარიშების გზით მიღებული კედლის სისქის მიღებულთან (10 მმ) შედარებისას მივდივართ დასკვნამდე, რომ ის აკმაყოფილებს სიმტკიცის პირობას მხები ძაბვების მოქმედებაზე და არ მოითხოვს მის გამაგრებას სიხისტის გრძივი წიბოთი ადგილობრივი მდგრადობის უზრუნველსაყოფად. ჰორიზონტალური სარტყელის ფურცლების ზომებს ვღებულობთ კოჭის საჭირო მზიდი უნარიდან გამომდინარე. ამისათვის ვანგარიშობთ კოჭის კვეთის ინერციის საჭირო მომენტს

$$I = Wh/2 = 10885 \cdot 120/2 = 653100 \text{ სმ}^4. \quad (85)$$

ვპოულობთ კოჭის კედლის ინერციის მომენტს, სარტყელის სისქედ 2 სმ აღებისას:

$$h_{\text{კლ.}} = h - 2t_{\text{სარტყ.}} = 120 - 2 \cdot 2 = 116 \text{ სმ}; \quad (86)$$

$$I_{\text{კლ.}} = t_{\text{კლ.}} \cdot h_{\text{კლ.}}^3 / 12 = 1 \cdot 116^3 / 12 = 130074 \text{ სმ}^4.$$

ინერციის მომენტი, რომელიც მოდის სარტყელის ფურცლებზე

$$I_{\text{სარტყ.}} = I - I_{\text{კლ.}} = 653100 - 130074 = 523026 \text{ სმ}^4. \quad (87)$$

კოჭის სარტყელის ფურცლების ინერციის მომენტი მის ნეიტრალურ ღერძთან მიმართებაში  $I_{\text{სარტყ.}} \approx 2A_{\text{თარ.}} (h_0/2)^2$ , სადაც  $A_{\text{თარ.}}$  სარტყელის კვეთის ფართობია. სარტყელის ინერციის მომენტი საკუთარ ღერძთან მიმართებაში, მისი სიმცირის გამო, უგულებელყოფილია.

აქედან ვიღებთ კოჭის სარტყელის კვეთის საჭირო ფართობს.

$$A_{\text{თარ.}} = 2I_{\text{სარტყ.}} / h_0^2 = 2 \cdot 523026 / 118^2 = 75,12 \text{ სმ}^2, \quad (88)$$

სადაც  $h_0 = h - t_{\text{სარტყ.}} = 120 - 2 = 118 \text{ სმ}$ .

380X20 მმ უნივერსალური ფოლადის სარტყელი, რომლისთვისაც  $b_{\text{სარტყ.}}/h = 380/1200 = 1/3,15$  არის რეკომენდებული თანაფარდობის ფარგლებში. ვაზუსტებთ  $c$  პლასტიკური მუშაობის გათვალისწინების ადრე მიღებული თანაფარდობის შედეგიდან გამომდინარე

$$A_{\text{თარ.}} = b_{\text{სარტყ.}} \cdot t_{\text{სარტყ.}} = 38 \cdot 2 = 76 \text{ სმ}^2; \quad A_{\text{კლ.}} = h_{\text{კლ.}} \cdot t_{\text{კლ.}} = 116 \cdot 1 = 116 \text{ სმ}^2 \quad (89)$$

$$A_{\text{თარ.}} / A_{\text{კლ.}} = 76/116 = 0,655.$$

დანართი 5 – ის მიხედვით  $c = 1,104$ , რომელიც პრაქტიკულად შეესაბამება მოცემულ  $c = 1,1$ .

ვამოწმებთ სარტყელთა მიღებულ სიგანეს (კიდულს) ფორმულის მიხედვით, ადგილობრივი მდგრადობიდან გამომდინარე:

$$\frac{b_{კლ.}}{t_{სარტყ.}} = \frac{38-1}{2 \cdot 2} = 9,25 < 0,11 \frac{h_0}{t_{კლ.}} = 0,11 \frac{118}{1} = 12,98 < 0,5 \sqrt{E/R} = 14,96. \quad (90)$$

ვამოწმებთ კოჭის მზიდ უნარს (3.7) ფორმულის მიხედვით, კედლის სიმყარიდან გამომდინარე კოჭის პლასტიკური დეფორმაციების არეში, მაქსიმალური მომენტის მოქმედების მომენტში, სადაც  $Q$  და  $\tau = 0$ :

$$\bar{\lambda}_{კლ.} = \frac{116}{1} \sqrt{\frac{23}{2,06 \cdot 10^4}} = 3,876, \quad (91)$$

$$M_{აკლ.} = 275\,400 < R\gamma h_{0სარტყ.}^2 t_{კლ.} \left( \frac{A_{თარ.}}{A_{კლ.}} + \alpha \right) = 23 \cdot 1 \cdot 118^2 \cdot 1(0,655 + 0,216) = 279\,003 \text{ კნ} \cdot \text{სმ} \quad (92)$$

სადაც

$$\alpha = 0,24 - 0,15 \left( \tau / R_{ჭრახუე} \right)^2 - 8,5 \cdot 10^{-3} \left( \bar{\lambda}_{კლ.} - 2,2 \right)^2 = 0,24 - 8,5 \cdot 10^{-3} (3,876 - 2,2)^2 = 0,216.$$

კოჭის შერჩეულ კვეთს ვამოწმებთ სიმტკიცეზე. ამისათვის განვსაზღვრავთ ინერციის მომენტს და კოჭის წინაღობის მომენტს

$$I = I_{კლ.} + I_{სარტყ.} = I_{კლ.} + 2b_{სარტყ.} t_{სარტყ.} \left( h_{0სარტყ.} / 2 \right)^2 = 130\,074 + 2 \cdot 38 \cdot 2 \frac{118^2}{2} = 659\,186 \text{ სმ}^4; \quad (93)$$

$$W = \frac{I}{h/2} = \frac{659\,186 \cdot 2}{120} = 10\,986 \text{ სმ}^3. \quad (94)$$

კოჭში ყველაზე მეტი ნორმალური დაძაბვა  $\sigma = M_{აკლ.} / c_1 W_{ნეტო} \leq R\gamma$

ფორმულით

$$\sigma = \frac{M_{აკლ.}}{c_1 W} = \frac{275\,400}{1,1 \cdot 10\,986} = 22,79 \text{ კნ} / \text{სმ}^2 < R = 23 \text{ კნ} / \text{სმ}^2 \quad (95)$$

კოჭის შერჩეული კვეთი აკმაყოფილებს სიმტკიცის პირობას და არ გააჩნია 5% - ზე მეტი დაძაბვა. კოჭის ჩაღუნვის შემოწმება საჭირო არაა, რამდენადაც კვეთის მიღებული სიმაღლე მეტია მინიმალურზე და რეგლამენტირებული ჩაღუნვა უზრუნველყოფილი იქნება.

## 5.5 ამწვეშა კონსტრუქციები შედგება: ამწვეშა კოჭისაგან და სამუხრუჭო კოჭისაგან (სვეტებთან კოჭის მიმაგრების დეტალები, ამწვეშა რელსები და რელსის ამწვეშა კოჭთან მიმაგრების დეტალები).

### საერთო დამატება

ამწვეშა კონსტრუქციები შედგება: ამწვეშა კოჭისაგან და სამუხრუჭო კოჭისაგან (სვეტებთან კოჭის მიმაგრების დეტალები, ამწვეშა რელსები და რელსის ამწვეშა კოჭთან მიმაგრების დეტალები).

ამწვეშა კონსტრუქციების მთავარი მზიდი ელემენტია ლითონის ამწვეშა კოჭი, რომელსაც გადაეცემა ამწედან ვერტიკალური დატვირთვები, ხოლო შემდეგ დატვირთვები ამწვეშა კოჭიდან გადაეცემა სვეტებს.

რელსების განლაგების მიხედვით არსებობს ამწვეშა კოჭების ორი სახე: ამწვეშა კოჭები ზედა სვლით და ამწვეშა კოჭები ქვედა სვლით. პირველ შემთხვევაში ამწის რელსები განლაგებულია უშუალოდ ამწვეშა კოჭის ზედა სარტყელზე, ხოლო მეორე შემთხვევაში კი ამწვეშა კოჭის ქვედა სარტყელზე. კონსტრუქციული გადაწყვეტის სიმარტივით უფრო გავრცელებულია ამწვეშა კოჭები ზედა სვლით.

ამწვეშა კონსტრუქციები კონსტრუქციული სქემის მიხედვით შეიძლება იყოს, როგორც მთლიანკედლიანი, ისე განგმირკედლიანი. ამწვეშა კოჭები ზედა სვლით ძირითადად გეგმარდება მთლიანკედლიანი.

ამწვევმა კოჭები კონსტრუქციული სქემით შეიძლება აგრეთვე იყოს ერთმალისანი (ჭრილი) და მრავალმალისანი (უჭრი), ხოლო დამზადების მიხედვით შედუღებული, ან მოქლონური.

სამრეწველო საამქროებში ძირითადად გამოიყენება შედგენილი შედუღებული ამწვევმა მთლიანკედლიანი კოჭები ორტესები პროფილის, რომლებსაც შეუძლიათ მიიღონ ვერტიკალური და ჰორიზონტალური დატვირთვები ხიდურა ამწეებისაგან.

ხიდურა ამწეები შედგება ორი ძირითადი ნაწილისაგან: ხიდისა და ტვირთამწე ურიკისაგან. ამწის ხიდი გადაადგილდება ამწვევმა

კოჭზე დალაგებულ რელსებზე სამქროს გრძივი მიმართულებით. ხიდზე მოთავსებულია ტვირთამწევი ურიკა, რომელიც გადაადგილდება ხიდის გასწვრივ. მასზე დამონტაჟებულია ტვირთამწევი ჯალამბარი. ხიდისებრი ამწისა და ტვირთამწევი ურიკის მოძრაობათა კომბინაციით შეიძლება ტვირთის გადაადგილება სამქროს ნებისმიერ წერტილში.

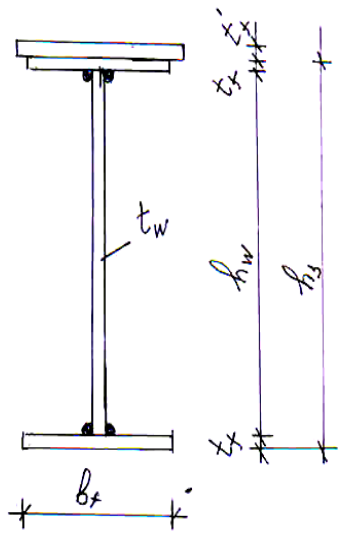
ნახ. 24-ზე გამოსახულია შედგენილი შედუღებული ამწვევმა კოჭი, რომელიც შედგება ზედა გაძლიერებული და ქვედა სარტყელებისაგან, აგრეთვე შვეული კედლისაგან.

ნახ. 25-ზე გამოსახულია გაგლინული ამწვევმა კოჭები ზედა გაძლიერებული და ქვედა სარტყელებით.

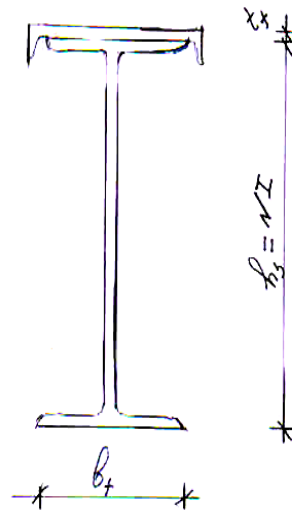
ამწეებისათვის, რომლებიც მუშაობენ მძიმე და ზემძიმე რეჟიმში, აგრეთვე დიდმალისანი ამწეებისათვის ხდება ამწვევმა კოჭების ზედა სარტყელის გაძლიერება.

ამწვევმა კოჭის ზედა სარტყელის სიბრტყეში ვამონტაჟებთ სამუხრუჭო კოჭებს ჰორიზონტალური დამუხრუჭების ძალის მისაღებად და შესაბამისად სამუხრუჭო კოჭი აძლიერებს ამწვევმა კოჭის ზედა სარტყელს. აგრეთვე ის გამოიყენება მოედნის სახით სალიანდაგო რელსისა და საერთოდ მომსახურებისათვის.





ნახ. 24 შედგენილი კოჭი



ნახ. 25 გაგლინული კოჭი

### 5.6. ამოცანა კოჭის გაანგარიშების დროს

შედგენილი ამოცანა კოჭის გაანგარიშების დროს ამოცანა კოჭის განივკვეთის შერჩევისას ვითვალისწინებთ როგორც შევუღლი, ასევე თარაზული დატვირთვების შემოქმედებას. შევუღლ დატვირთვაზე მუშაობს კოჭის მთელი განივკვეთი. თარაზული ძალების შემოქმედების დროს კი ვითვალისწინებთ მარტო სარტყლის მუშაობას, რომელზედაც მოდებულად ითვლება განივი და გრძივი დამხრუტების ძალები. განივი დამხრუტების ძალები მოდებულია ხიდისებრი ამწის რელსის დონეზე.

ამოცანა კოჭის განივკვეთის შერჩევა შეიძლება მაქსიმალური ვერტიკალური ძალისაგან გამოწვეული ძალების მიხედვით. მისი გაანგარიშება ხდება უდიდესი მდუნავი მომენტის სიდიდეზე. შენადულ კოჭებში სარტყლის ნაკერების სიგრძეები უნდა იყოს მთლიანი.

ამოცანა კოჭზე მოქმედებს ამწეს შევუღლი დატვირთვები:  $P_s$  – ამწეს ბორბლის დაწოლა, დამხრუტების თარაზული ძალები -  $T$  – განივი დამხრუტების ძალა ურუკის დამხრუტებით. შევუღლი დატვირთვები ამოცანა კოჭიდან გადაეცემა სვეტებს რეაქციების სახით.

განივი დამუხრუჭების ძალები ბორბლებიდან გადაეცემა ღუნვაზე თარაზულ სიბრტყეში. ამის გამო ზედა სარტყელს აკეთებენ მეტად განიერს, ან ზედა სარტყლის სიბრტყეში აკეთებენ სამუხრუჭო კოჭს, რომელსაც ერთდროულად იყენებენ ბაქანის მოსაწყობად მომსახურე პერსონალის თავისუფალი მოძრაობისათვის. განივი დამუხრუჭების ძალა კოჭის საშუალებით გადაეცემა სვეტს, ხოლო სვეტიდან შვეულ კავშირებს.

ამწვევმა კოჭზე ძალის ზემოქმედების სიდიდე დამოკიდებულია ამწის ტვირთამწეობაზე, მალზე და ამწეს მუშაობის რეჟიმზე. ამწეს მუშაობის რეჟიმს განსაზღვრავს მისი მუშაობის ინტენსივობა და გადადგილების სიჩქარე. მუშაობის რეჟიმის მიხედვით ანსხვავებენ მსუბუქ, საშუალო და მძიმე რეჟიმით მომუშავე ამწეებს.

ამწეს მუშაობის ხასიათს განაპირობებს საამქროს ტექნოლოგიური პროცესი. თითოეული ამწის მახასიათებელი მოცემულია მუშაობის სტანდარტში. ხიდისებრი ამწებისათვის ბორბლების მაქსიმალურ დაწოლას  $P_{აკჰ}$  მწის ბორბლებს შორის მანძილსა და სხვა მონაცემებს დებულობენ სტანდარტების, ან ამწეს მალისა და ტვირთამწეობის მიხედვით.

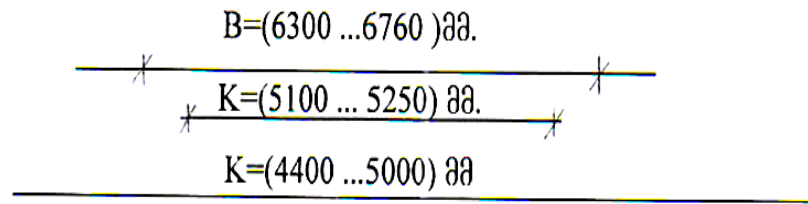
საანგარიშო მნიშვნელობები ვერტიკალური და ჰორიზონტალური ძალებისა, რომლებიც გადაეცემა ამწვევმა კოჭს გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$\begin{aligned}
 P_{vfr} &= K_{iby} \gamma_c n_{itc} P_{vfr}^y \\
 T_{vfr} &= \gamma_c n_{itc} T_{vfr}^y
 \end{aligned}
 \tag{96}$$

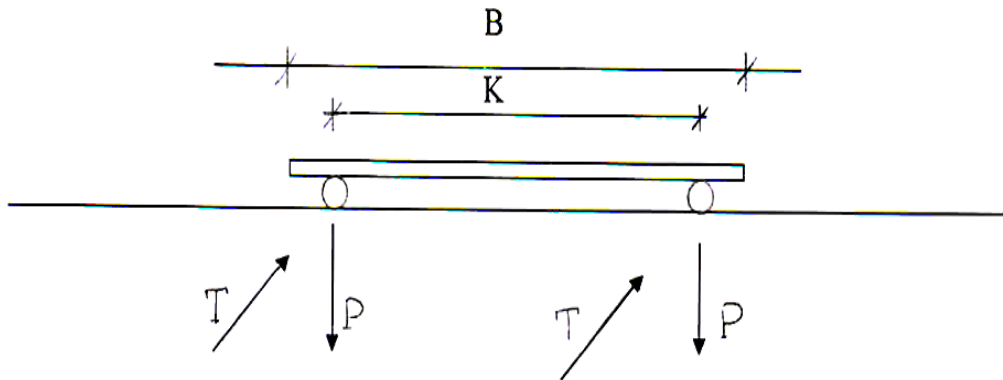
სადაც:  $K_{დინ}$  არის დინამიურობის კოეფიციენტი;

$K_{დინ}=1,0$  – მსუბუქი და საშუალო მუშაობის რეჟიმების ამწეებისათვის;

$K_{დინ}=1,1$  – მძიმე მუშაობის რეჟიმის ამწეებისათვის.



ა)

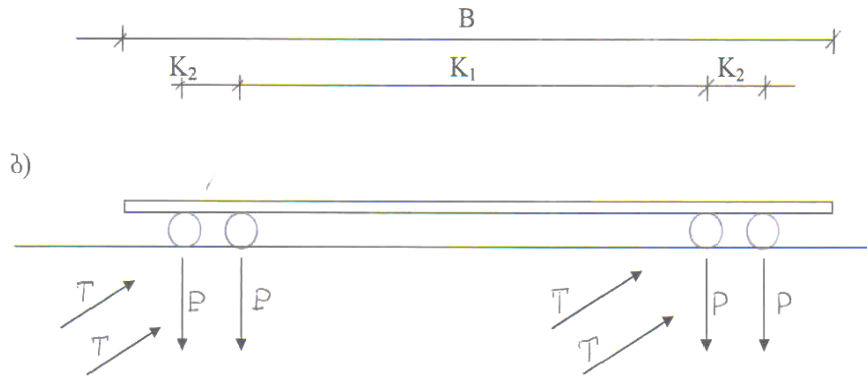


ნახ. 26 დატვირთვები, რომლებიც გადაეცემა ამწქვემა კოჭს ამწეს დატვირთვებისაგან

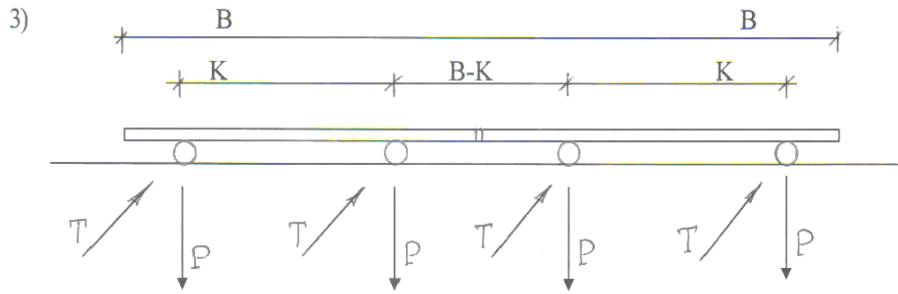
(ნახ. 26ა) ოთხბორბლიანი ხიდურა ამწესათვის, ამწეს ტვირთამწეობა  $Q=100 \dots 500$  კნ.

ამწქვემა კოჭის ანგარიში იწყება ორი დაწვეილებული (უკიდურესად მიახლოებული) ამწის შემთხვევაში.

სქემებზე ნახვენებია ამწეს გაბარიტული ზომები, რომლებსაც ვიღებთ შესაბამისი ცხრილებიდან ამწეს მალის და ტვირთამწეობის მიხედვით.



ნახ. 27 რვაბორბლიანი ხიდურა ამწეებისათვის ამწეების ტვირთამწეობა  $Q=(800 \dots 1250)$  კნ.



ნახ. 28 ორი დაწვეილებული ამწისათვის

$n_{უეს}$  – არის შესაბამისობის კოეფიციენტი;

$n_{უეს}=0,85$  – მსუბუქი და საშუალო მუშაობის რეჟიმების ამწეებისათვის;

$n_{უეს}=0,95$  – მძიმე მუშაობის რეჟიმის ამწეებისათვის;

$n_{უეს}=1,0$  – ერთი ამწისათვის;

$\gamma_c=1,2$  - საიმედოობის კოეფიციენტი;

$P_{მაქ}$  – მაქსიმალური ნორმატიული დატვირთვა, რომელიც აიღება შესაბამისი ცხრილიდან.

ნორმატიული განივი ჰორიზონტალური ძალა გამოწვეული ტვირთამწევი ურიკის დამუხრუჭებიდან, რომელიც გადაეცემა ხიდურა ამწეს ბორბლებიდან, გამოითვლება ფორმულით:

$$T = \frac{f(Q + Q_{eh})n_1'/n_1}{n_1'} \quad (97)$$

სადაც

$f$  – არის ხახუნის კოეფიციენტი ურიკის დამუხრუჭების დროს;

$f=0,1$  – ამწეებისათვის მოქნილი საკიდით;

$f=0,2$  – ამწეებისათვის ხისტი საკიდით;

$Q$  – არის ამწის ტვირთამწეობა;

$G$  – ტვირთამწევი ურიკის წონა.

ამწეებს როგორც წესი აქვთ ოთხბორბლიანი ურიკები ორი სამუხრუჭო ბორბლით, როცა

$$n'_{ურ}/n_{ურ}=0,5 \text{ და } f=0,1$$

ამწეებისათვის მოქნილი საკიდით ნორმატიული განივი ჰორიზონტალური ძალის მნიშვნელობა გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$T_{vfr}^y = \frac{0,5(Q + G_{eh})}{n_f^1} \quad (98)$$

სადაც:

$n'_s=2$  ამწეებისათვის ტვირთამწეობით  $Q=50...500$  კნ;

$n'_s=4$  ამწეებისათვის ტვირთამწეობით  $Q=800...1250$  კნ;

$n'_s=8$  ამწეებისათვის ტვირთამწეობით  $Q=1600...3200$  კნ.

მძიმე და განსაკუთრებით მძიმე მუშაობის პირობების ამწეებისათვის ნორმატიული განივი ჰორიზონტალური ძალა გამოითვლება ფორმულით:

$$T_{ააქ}^n = 0,1 P_{ააქ}^n \quad (99)$$

გრძივი დამუხრუჭების ძალა ამწეებზე კოჭის გაანგარიშების დროს კოჭზე მათი მცირე გავლენის გამო მხედველობაში არ მიიღება.

ამ ძალებს მხედველობაში ღებულობენ მხოლოდ სვეტებს შორის კავშირების გაანგარიშების დროს.

ამწეებზე კოჭებს ანგარიშობენ შვეულ და თარაზულ სიბრტყეში ძალთა მოქმედებით, ორივე ზემოქმედების შედეგების შეჯამებით. მღუნავი მომენტი და განივი ძალა განისაზღვრება მათი არახელსაყრელი განლაგებით. ორი და მეტი ამწეს მოქმედების შემთხვევაში არახელსაყრელი განლაგებით. ორი და მეტი ამწეს მოქმედების შემთხვევაში საამქროში, ანგარიშში ღებულობენ ერთმანეთთან უკიდურესად მიახლოებულ ამწეს. ამწეების ზღვრული მიახლოება მიიღება

ამწეთა გაბარიტის მიხედვით. რადგან ამწეების მაქსიმალური მღუნავი მომენტისა და განივი ძალების განსაზღვრის დროს ამწეები განვალაგოთ არახელსაყრელ განსაზღვრულ მდგომარეობაში. ჭრილ ამწეებში კოჭებში მაქსიმალური მღუნავი მომენტებისა განსაზღვრისათვის ამწეები ისე უნდა განვალაგოთ, რომ კოჭის მალის შუაში მოქმედებდეს თანაბრად მოქმედი ტოლქმედი ძალვა (ვინკლერის წესი).

მაქსიმალური განივი ძალის  $Q_{აჰ}$  განსაზღვრის დროს ჭრილ კოჭში ამწეს ერთი ბორბლის მაქსიმალური დატვირთვა მოქმედებდეს უშუალოდ საყრდენზე, დანარჩენები კი შესაბამისად ზომების მიხედვით.

საანგარიშო მნიშვნელობები მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალებისა გამოწვეული ვერტიკალური ძალების მოქმედებისას ამწეებში კონსტრუქციების საკუთარი წონის გათვალისწინებით და შესაძლო დროებითი დატვირთვების მოქმედებისას სამუხრუჭო კოჭზე, შეიძლება გამოვთვალოთ შემდეგი ფორმულით:

$$M = \alpha_1 M_{აჰ}$$

$$Q = \alpha_1 Q_{აჰ} \tag{100}$$

სადაც:  $\alpha_1=1,03$  – ამწეებში კოჭებისათვის მალით  $L=6,0$ მ;

$\alpha_1=1,05$  – ამწეებში კოჭებისათვის მალით  $L=12,0$ მ;

$\alpha_1=1,08$  – ამწეებში კოჭებისათვის მალით  $L=18,0$ მ;

ნახ. 28 ა, და ბ-ზე გამოსახულია მაქსიმალური მღუნავი მომენტისა და განივი ძალის განსაზღვრა ამწეებში კოჭისათვის.

## 5.7. Sedgeni l i SeduRebul i amwqveSa ko Ws angar i Si

საჭიროა გავიანგარიშოთ შედგენილი შედუღებული ამწეებში კოჭი შემდეგი მონაცემების მიხედვით

ამწეებში კოჭის მალისა –  $L=12.0$  მ

მალში მოქმედებს ორი ამწე საშუალო მუშაობის რეჟიმის ამწეს ტვირთამწეობით -  $Q=150/30$  კნ;

შენობის მალისა –  $L=24.0$  მ;

ამწეს მალისა –  $L_{აჰ}=22.5$  მ;

### 5.8. დათვირთვების განსაზღვრა

ამოვიღოთ სპეციალური ცხრილებიდან მონაცემები ამწეს ტვირთამწეობის მიხედვით. ჩვენს შემთხვევაში, როცა ამწეს ტვირთამწეობა  $Q=150/30$  კნ; ცხ. 3 დანართი 1; ამოვიღოთ მონაცემები გაანგარიშებისათვის:

$P_{მ.კ.}=190$  კნ;  $G_{ურ.}=70.0$  კნ ურიკის წონა

ამწეს რელსი Rр-70ГОСТ 4121-76

რელსის სიმაღლე –  $h=120$  მმ

რელსის სიგანე –  $b=120$  მმ

კვეთის ფართი –  $A_r=67.3$  სმ<sup>2</sup>

ინერციის მომენტი –  $I_x=1081.99$  სმ<sup>4</sup>

$I_y=327.16$  სმ<sup>4</sup>

1 კმ. მეტრის წონა -  $q=52.7$  კგ

ჰორიზონტალური განივი დამუხრუჭების ძალა გამოითვლება ფორმულით

$$T = n \times n_{\text{კვეთ.}} \times T_{\text{მ.კ.}}^n = 1,2 \times 0,85 \times 5,5 = 5,6 \text{ კნ} \quad (101)$$

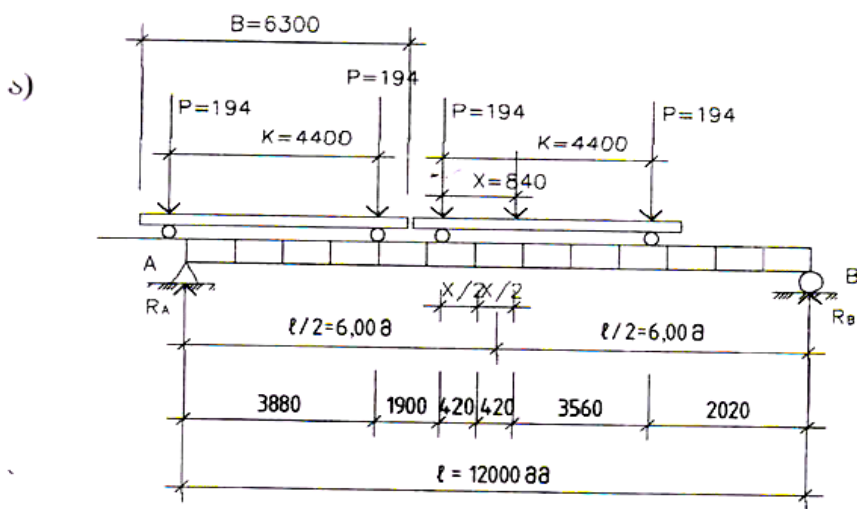
სადაც

$$T_{\text{მ.კ.}}^n = 0,05 \times (150 + 70) / 5,5 \text{ კნ}$$

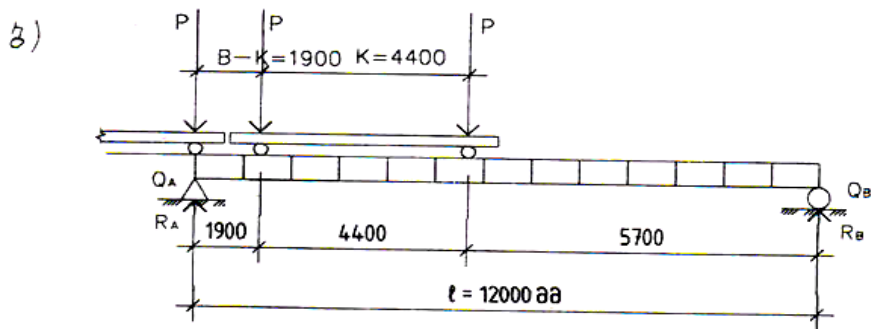
### 5.9. საანგარიშო სატვირთო განსაზღვრა

მაქსიმალური მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების განსაზღვრისათვის საჭიროა ამწეები დავაყენოთ ყველაზე არახელსაყრელ მდგომარეობაში (ნახ. ა და ბ).

თანაბრადმოქმედი ძალის  $R=3P$  კოჭის ძალის შუაში მოდებისათვის განსაზღვროთ  $X$  მაძილი.



ნახ. 29ა მაქსიმალური მღუნავი მომენტის განსაზღვრა



ნახ. 29ბ მაქსიმალური განივი ძალის განსაზღვრა.

გამოვთვალოთ ამწეს ვერტიკალური დატვირთვა ფორმულით:

$$P = K_{\text{დინ}} \times n \times n_{\text{მეტ}} \times P_{\text{მაქ}} = 1 \times 1.2 \times 0.85 \times 190 = 194 \text{ კნ}; \quad (102)$$

$$(103)$$



$$X=P[K-(B-K)]/3P=194[4.4-(6.3-4.4)]/3 \times 194=84 \text{ სმ};$$

სადაც  $B=6300$  მმ – ამწეის სიგანე;

$K=4400$  მმ – ამწეის ბაზა.

განვსაზღვროთ საყრდენი რეაქციები  $R_A$  და  $R_B$ ;

$$R_A=(194/12)(8.32+6.42+2.02)=271 \text{ კნ}; \quad (104)$$

$$R_B=3P-R_A=3 \times 194-271=311 \text{ კნ}; \quad (105)$$

მაქსიმალური უდიდესი მღუნავი მომენტი ტოლია

$$M_{აჲ}=271 \times 5.58-194 \times 1.90=1152 \text{ კნ.მ}; \quad (106)$$

საანგარიშო მომენტი სამუსრუტო კოჭის საკუთარი წონის

გათვალისწინებით

$$M=\alpha_1 \times M_{აჲ}=1.05 \times 1152=1210 \text{ კნ.მ}; \quad (107)$$

საანგარიშო მღუნავი მომენტი გამოწვეული პორიზონტალური ძალებისაგან

გამოვთვალთ ფორმულით;

$$M_{ღაჲ}=M_{აჲ} \times (T\delta/P\delta)=1152 \times 5.5/190=33.3 \text{ კნ.მ}; \quad (108)$$

მაქსიმალური საანგარიშო ვერტიკალური განივი ძალის მნიშვნელობა

გამოვთვალთ შემდეგი ფორმულით:

$$Q_A=\alpha_1 \times Q_{აჲ}=1.05(194/12)(12+10.1+5.7)=472 \text{ კნ}; \quad (109)$$

მაქსიმალური საანგარიშო პორიზონტალური განივი ძალა;

$$Q_{გან}=Q_{აჲ}(T\delta/P\delta)=472 \times 1.05(5.5/190)=13 \text{ კნ}; \quad (110)$$

## 5.10. ko Ws gani vkveT i s Ser Ceva

განვსაზღვროთ კოჭის მინიმალური სიმაღლე სიხისტის პირობიდან  
ზღვრულ ფარდობით ჩაღუნვამდე  $1/f=1/600$

$$h_{\text{მინ}}=(1 \times n_0/4800)(1/n_0)=1200 \times 600/4800 \times (1/1.2)=125 \text{ სმ}; \quad (111)$$

სადაც  $n_0=M/M_0=1.2$

კოჭის საჭირო წინაღობის მომენტი:

$$W_{\text{საჭ}}=M/m \times (R-2)=121000/1 \times (21-2)=6370 \text{ სმ}^3 \quad (112)$$

სადაც  $m=1$  – მუშაობის პირობების კოეფიციენტი.

(R-2) – არის მასალის საანგარიშო წინაღობა, შემცირებული წინაღობა  
სამუხრუჭო ძალის გათვალისწინებით. წინასწარ კედლის სისქეს

განვსაზღვრავთ ფორმულით:

$$t_{\text{კედ}}=7+3 \times h_{\text{კედ}}/1000=7+3 \times 1250/1000=10.75 \text{ მმ}; \quad (113)$$

მივიღოთ  $t_{\text{კედ}}=10.0$  მმ;

კოჭის ოპტიმალური სიმაღლე ტოლია:

$$h_{\text{ოპტ}}=1.15 \times (W_{\text{საჭ}}/t_{\text{კედ}})^{1/2}=1.15 \times (6370/10)^{1/2}=92 \text{ სმ}; \quad (114)$$

მივიღოთ კოჭის კედლის სიმაღლე  $h_{\text{კედ}}=120$  სმ; შევამოწმოთ კოჭის კედლის  
სისქე სიმტკიცეზე, ჭრაზე.

$$t_{\text{კედ}}=(3/2) \times Q/R_{\text{ჭრ}} \times h_{\text{კედ}}=3 \times 472/2 \times 13 \times 120=0.47 < 1.0 \text{ სმ}; \quad (115)$$

განვსაზღვროთ სარტყელების კვეთის საჭირო ფართი:

$$2A_{\text{სარტ}}=(3/2) \times W_{\text{საჭ}}/h_{\text{კედ}}=3 \times 637/2 \times 120=79.6 \text{ სმ}^2; \quad (116)$$

მივიღოთ კოჭის სიმეტრიული კვეთი;

$$\text{კედელი } \_ (1200 \times 10) \text{ მმ: } \_ A_{\text{კედ}}=120.0 \text{ სმ}^2 \quad (117)$$

მივიღოთ ზედა და ქვედა სარტყელების ერთნაირი განივკვეთი:

სარტყელი – (300X14) მმ  $A_{სარტყ.} = t_{სარტყ.} \times b_{სარტყ.} = t \times b_f = 30 \times 1.4 = 42.0 \text{ სმ}^2$   
 სამუხრუჭო კოჭის განივკვეთი -16  $A = 18.1 \text{ სმ}^2$ ;  
 ჰორიზონტალური ფურცელი –  $t_{ფურც.} = 6 \text{ მმ}$

### 5.11. ამოცანა კოჭის მიმართული სივრცითი მონაცემების განსაზღვრა

განვსაზღვროთ კოჭის გეომეტრიული მახასიათებლები:

განვსაზღვროთ მომენტი (X-X) – ღერძის მიმართ:

$$I_x = (1 \times 120^3 / 12) + 2 \times 1.4 \times 30(60 + 0.7)^2 = 454000 \text{ სმ}^4; \quad (118)$$

სიმეტრიული კვეთის წინაღობის მომენტი:

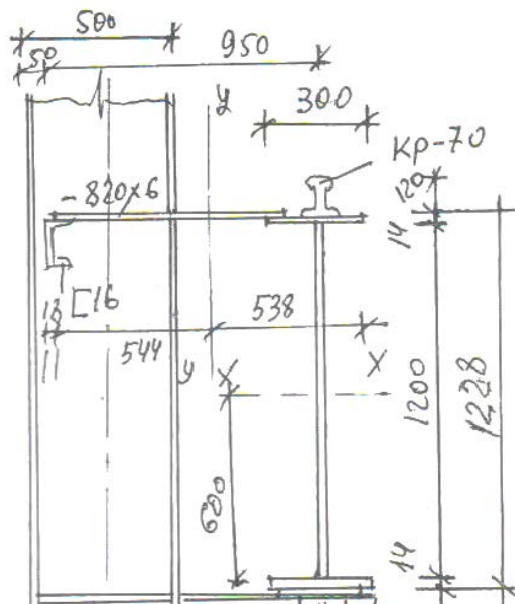
$$W_x = 2 \times I_x / h = 2 \times 454000 / (120 + 2.14) = 7400 \text{ სმ}^3; \quad (119)$$

ნახევარკვეთის სტატისტიკური მომენტი:

$$S_x = 1.4 \times 30(60 + 0.7) + 60(60 / 2) = 4350 \text{ სმ}^3; \quad (120)$$

განვსაზღვროთ სამუხრუჭო კოჭის გეომეტრიული მახასიათებლები, კოჭის ზედა სარტყელი, ფურცელი და დამჭერი შველერი – №16; მანძილი ამწვევმა კოჭის ღერძიდან კვეთის სიმძიმის ცენტრამდე (ღერძი Y-Y):

$$S_y = S_v / \sum A = (18.1 \times 93.2 \times 0.6 \times 5) \times 2 / 18.1 + 82 \times 0.6 + 36 \times 1.4 = 38.8 \text{ სმ} \quad (121)$$



ნახ. 30 ამწვევმა კოჭის განივკვეთის კომპონირება

კვეთის ინერციის მომენტი:

$$I_y = 63.7 + 18.1 \times 54.4^2 + 0.6 \times 82^3 / 12 + 0.6 \times 82 \times 13.2^2 + 1.4 \times 30 / 12 + 1.4 \times 30 \times 38.8^2 = 156083 \text{ სმ}^4; \quad (122)$$

წინააღობის მომენტი ამწვევმა კოჭის ზედა სარტყელზე:

$$W_y = 156083 / (38.8 + 15) = 2900 \text{ სმ}^3; \quad (123)$$

ნორმალურ დაბვაზე შემოწმება ზედა სარტყლისათვის ხდება ფორმულით:

$$\sigma_y = M / W_x + M_T / W_y = 121000 / 7400 + 3330 / 2900 = 17.4 \text{ კნ/სმ}^2 < R_y = 21.0 \times 1.1 \text{ კნ/სმ}^2 = 23.1 \text{ კნ/სმ}^2$$

(124)

შევამოწმოთ განივკვეთი მხებ დაბვებზე:

$$\tau = Q \times S_x / I_x \times t_f = 472 \times 4350 / 397000 = 4.55 \text{ კნ/სმ}^2 < R_s = 13 \text{ კნ/სმ}^2 \quad (125)$$

$$f / I = M \delta \times I / 10 \times E \times I_x = 100100 \times 1200 / 10 \times 2.1 \times 10^4 \times 10^2 \times 454000 = 1 / 795 < I / n_0 = 1 / 600 \quad (126)$$

სადაც  $M \delta \approx M / 12 = 121000 / 1.2 = 100100 \text{ კნ.სმ};$

დრეკადობის მოდული  $E = 2.1 \times 10^4 \text{ კნ/სმ}^2$

ე.ი. ამწვევმა კოჭის სიხისტის პირობა დაკმაყოფილებულია.

## 5.12. ko Ws sar t yel ebi s adgi l o br i v mlgr ado baz e Sem wneba

როცა ფარდობა სარტყლის სიგანისა და სარტყლის სისქის შეადგენს -  $b_f = t_f = 30 / 1.4 = 21.4 < 30$ , და გვაქვს ფოლადი C38/23, მაშინ სარტყლების ადგილობრივი მდგრადობა უზრუნველყოფილია.

## 5.13 ko Ws kedl i s adgi l o br i v mlgr ado baz e Sem wneba

განვსაზღვროთ ფარდობა  $h_{კედ.} / t_{კედ.} = h_{ბფ} / t_{ფ} = 12 / 1 = 120 > 80$

ამიტომ კედლის ადგილობრივ მდგრადობაზე შემოწმება აუცილებელია, აგრეთვე საჭიროა სიხისტის წიბოების დაყენება. დავნიშნოთ სიხისტის წიბოებს შორის მანძილი:  $a = 2000 \text{ მმ}$ , რადგან  $h_{ბფ} / t_{ფ} > 100$ , ამიტომ

$$2 \times h_{ბფ} = 2 \times 1200 = 2400 \text{ მმ} \quad (127)$$

დავნიშნოთ სიხისტის წიბოების განივკვეთი კონსტრუქციული მოსაზრებით.

### 5.14. კო W/s Semო wნება si xi st ez e

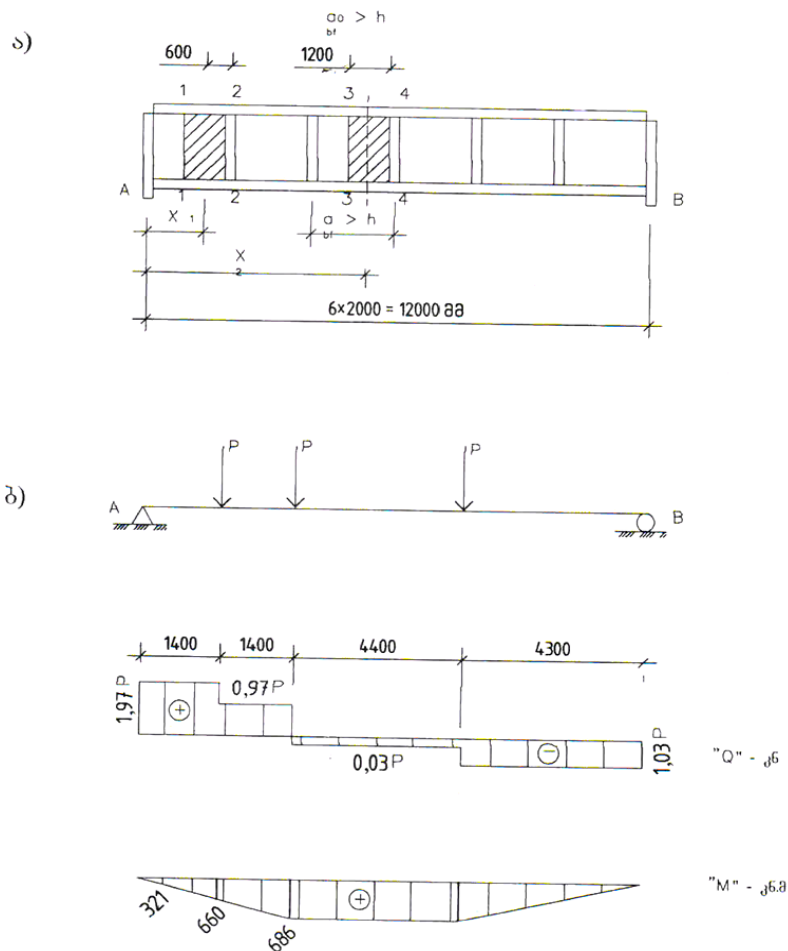
განვსაზღვროთ ფარდობითი ჩაღუნვა კოჭში გამოწვეული ვერტიკალური ნორმატიული დატვირთვებისაგან:

$$f/l \approx M^\sigma \cdot l / 10 \cdot EI_x = 100100 \cdot 1200 / 10 \cdot 2.1 \cdot 10^4 \cdot 454000 = \frac{1}{795} < \frac{1}{600} \quad (128)$$

სადაც  $M^\sigma \approx M / 1.2 = 1200 / 1.2 = 100100$  კნ.სმ;

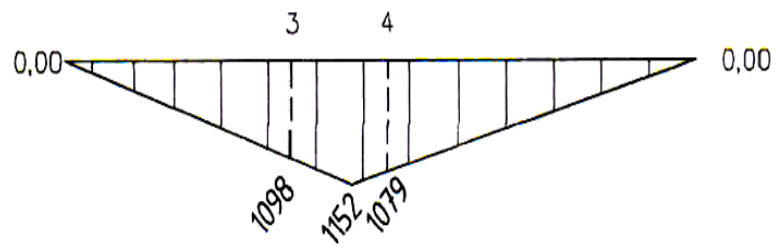
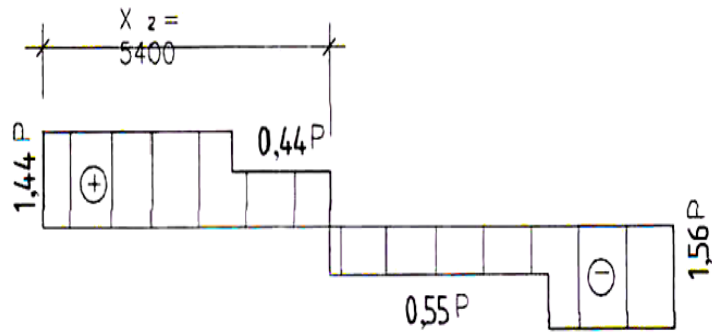
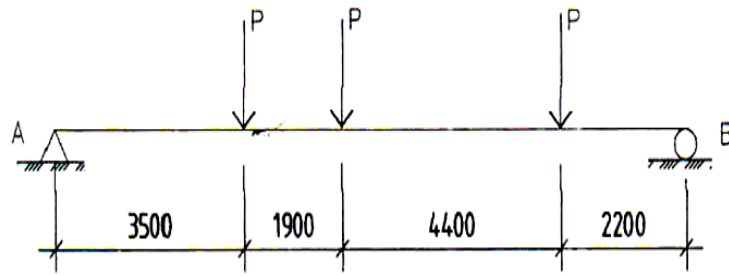
დრეკადობის მოდული  $E = 2.1 \cdot 10^4$  კნ/სმ<sup>2</sup>

ე.ი. ამწქვემა კოჭის სიხისტის პირობა დაკმაყოფილებულია.



ნახ. 31 ძაღვების განსაზღვრა ნაკვეთურში

3)



ნახ. 32 ძალების განსაზღვრა მაღის შუაში

$$\text{წიბოს სივანე } b_f \geq h_{\text{ხ}} \times /30 + 40 = 1200/30 + 40 = 80 \text{ მმ;} \quad (129)$$

$$\text{მივიღოთ } b_f = 90 \text{ მმ;}$$

$$\text{წიბოს სისქე } - t_f \geq b_f / 15 = 90 / 15 = 6 \text{ მმ, მივიღოთ } - t_f = 6 \text{ მმ;}$$

კოჭის კედლის ადგილობრივ მდგრადობაზე შემოწმებისათვის ვირჩევთ ორ საანგარიშო მონაკვეთს: პირველს საყრდენთან, სადაც მაქსიმალური მხები დაბეჭობა, ხოლო მეორეს ვირჩევთ მალის შუაში, სადაც მაქსიმალური ნორმალური დაბეჭობა, რადგან საყრდენ მონაკვეთში (ნაკვეთურში) – ნაკვეთურის სიგრძე  $a = 2000 \text{ მმ} = 2.0 \text{ მ}$  აჭარბებს მის სიმაღლეს  $h_{\text{ხ}} = 1.2 \text{ მ}$ , ამიტომ დაბეჭობს შევამოწმებთ  $0.5 \times h_{\text{ხ}} = 0.5 \times 120 = 60 \text{ სმ}$  ნაპირიდან მანძილზე.

გამოვთვალოთ  $X_1$  და  $X_2$

$$X_1 = 2000 - 600 = 1400 \text{ მმ} = 1.4 \text{ მ;}$$

$$X_2 = 6000 - 600 = 5400 \text{ მმ} = 5.4 \text{ მ;}$$

(130)

შევამოწმოთ კედლის ადგილობრივი მდგრადობა პირველ ნაკვეთში.

გამოვთვალოთ საყრდენი რეაქცია:

$$Q_A = (4.3 + 8.7 + 10.6) \times P / 12 = 1.97P = 1.97 \times 194 = 382 \text{ კნ;} \quad (131)$$

საშუალო მნიშვნელობები მღუნავი მომენტისა და განივი ძალისა მანძილზე

$X_1 = 1.4 \text{ მ}$  საყრდენიდან შეადგენენ: კვეთი I-I

$$M_1 = 1.05 \times Q_A \times 0.8 = 1.05 \times 382 \times 0.8 = 321 \text{ კნ.მ;} \quad (132)$$

$$Q_1 = 1.05 \times Q_A = 1.05 \times 382 = 401 \text{ კნ.}$$

ნაკვეთურის შუაში, როცა  $X_1 = 1.4 \text{ მ}$ ;

$$M_{X_1} = 1.05 \times 382 \times 1.4 = 560 \text{ კნ.მ;}$$

(133)

$$Q_{X_1} = 1.05 \times (Q_A - P) = 1.05 \times (382 - 194) = 197 \text{ კნ;}$$

კვეთი (2-2)-ში

$$M_2 = 1.05 \times (382 \times 2 - 194 \times 0.6) = 686 \text{ კნ}\cdot\text{მ} \quad (134)$$

მღუნავი მომენტისა და განივი ძალის საშუალო მნიშვნელობა საანგარიშო ნაკვეთურში:

$$M_{\text{საშ}} = (M_1 + M_{x1} + M_2) / 3 = (321 + 560 + 686) / 3 = 522 \text{ კნ}\cdot\text{მ}; \quad (135)$$

$$Q_{\text{საშ}} = (Q_1 + Q_2) / 2 = (401 + 197) / 2 = 300 \text{ კნ}; \quad (136)$$

განვსაზღვროთ ძაბვა კედელში ნაკვეთურში როცა  $x_1=1.4$  მ;

$$\sigma = (M_{\text{საშ}} / I_x) \times y_c = (52200 / 454000) \times 60 = 6.95 \text{ კნ/სმ}^2; \quad (137)$$

სადაც  $y_c = 0.5 \times h_{bf} = 0.5 \times 120 = 60$  სმ;

მხები ძაბვა

$$\tau = Q_{\text{საშ}} / b_{bf} \times t_{\varphi} = 300 / 120 \times 1 = 2.5 \text{ კნ/სმ}^2; \quad (138)$$

ადგილობრივი ძაბვა ხიდურა ამწეს ბორბლის ქვეშ

$$\sigma_{\text{ადგ}} = n_1 \times P_1 / t_{\varphi} \times z = 1.1 \times 228 / 33.4 = 7.5 \text{ კნ/სმ}^2; \quad (139)$$

სადაც  $n_1=1.1$  – კედლის მდგრადობაზე შემოწმებისას.

$$P_1 = 1.2 \times 190 = 228 \text{ კნ} \quad (140)$$

$$Z = c \times (I / t_{\varphi}) \times 1/3 = 3.25 \times (1089 / 1) \times 1/3 = 33.4 \text{ სმ}; \quad (141)$$

$I_1$  – არის ჯამი ინერციის მომენტებისა კოჭის ზედა სარტყელის და სავალი რელსისა KP70

$$I_1 = (30 \times 1.4^2 / 12) + 1082 = 1089 \text{ სმ}^4; \quad (142)$$

განვსაზღვროთ კრიტიკული ძაბვა კოჭის კედლისათვის, როცა ფარდობა

$$a / h_{bf} = 2 / 1.2 = 1.67 > 0.8 \quad (143)$$

$$\delta_{\text{ადგ}} / \delta = 7.5 / 6.95 = 1.09 \quad (144)$$

და კედლის

$$a = c \times b_f / h_{bf} = 2 \times (30 / 120) \times (1.4 / 1)^3 = 1.38 \quad (145)$$



როცა  $a = 1.38a/h_{bf} = 1.67$  ცხრილიდან ვიღებთ ზღვრულ მნიშვნელობას  $[\sigma_{ადგ.}/\sigma] = 0.517$ , რომელიც ნაკლებია  $\sigma_{ადგ.}/\sigma = 1.09$ .

ნორმალურ კრიტიკულ დაბვას გამოვთვლით ფორმულით:

$$\delta_o = k_2 \times (100 \times t_w / h_0) \times 100 = 13.8(100 \times 1/120)^2 \times 100 = 96 \text{ კნ/სმ}^2; \quad (146)$$

სადაც  $k_2 = 13.8$  ცხრ. , როცა  $a/h_{bf} = 1.67$

მხები კრიტიკული დაბვა

$$\tau_o = (1.25 + 0.95/m^2) \times t_w / d)^2 \times 100 = (1.25 + 0.95/1.67^2)(100 \times 1/120)^2 \times 100 = 11.1 \text{ კნ/სმ}^2; \quad (147)$$

სადაც  $a/h_{bf} = 1.20$

გამოვთვალოთ კრიტიკული დაბვა გამოწვეული ადგილობრივი ამწეის ბორბლის მოქმედების ქვეშ, როცა  $a/h_{bf} = 2/1.2 = 1.67 < 2$

$$\sigma_{mo} = k_1 \times (100 \times t_w / a)^2 \times 100 = 7.87(100 \times 1/200)^2 \times 100 = 19.7 \text{ კნ/სმ}^2;$$

სადაც  $k_1 = 7.87$  ცხრ. 28, როცა  $a = 1.38$  და  $a/h_{bf} = 1.67$

შევამოწმოთ ამწექვეშა კოჭის კედელი მდგრადობაზე

$$\left( (\sigma / \sigma_0 + \sigma_{ადგ.} / \sigma_{m0})^2 + (r / r_0)^2 \times 1/2 \right) \leq 0.9 \quad (148)$$

$$\left( (69.2/96 + 7.5/19.7)^2 + (2.5/11.1)^2 \right) \times 1/2 = 0.51 \leq 0.9$$

ე.ი. კედლის მდგრადობა საყრდენ ნაკვეთურში დაკამყოფილებულია. შევამოწმოთ კედლის მდგრადობა შუა ნაკვეთურში. მოთავსებულია საყრდენიდან  $X_2 = 5.4$  მ მანძილზე. გამოვთვალოთ საყრდენი რეაქციები და ავაგოთ მღუნავი მომენტისა და განივი ძალის ეპიურები:

$$Q_A = (P/12)(2.2 + 6.6 + 8.5) = 1.44P = 1.44 \times 194 = 280 \text{ კნ} \quad (149)$$

(3-3) კვეთში Q ტოლია

$$Q_3 = Q_A - P = 1.44 \times P - P = 0.44P \quad (150)$$

(4-4) კვეთში განივი ძალა ტოლია:

$$Q_{x2} = Q_4 = Q_A - 2P = 1.44P - 2P = 0.56P \quad (151)$$

განივი ძალის საშუალო მნიშვნელობა ტოლია

$$Q_{ს.შ.} = Q_3 + Q_4 / 2 \cdot 1.05 = [(0.44 \cdot p + (-0.56 \cdot p))] / 1/2 \cdot 1.05 = -12.2 \text{ კნ}$$

$$M_3 = Q_A \times 4.8 - P \times 1.3 = 280 \times 4.8 - 194 \times 1.3 = 1098 \text{ კნ}\cdot\text{მ} \quad (152)$$

$$M_{x_2} = Q_A \times 5.4 - P \times 1.9 = 280 \times 5.4 - 194 \times 1.9 = 1152 \text{ კნ}\cdot\text{მ}$$

$$M_4 = Q_A \times 6 - P \times 2.5 - P \times 0.6 = 280 \times 6 - 194 \times 2.5 - 194 \times 0.6 = 1079 \text{ კნ}$$

მდუნავი მომენტის საშუალო მნიშვნელობა ტოლია:

$$M_{საშ} = 1.05 \times (M_2 + M_{x_2} + M_4) / 3 = 1.05 \times (1098 + 1152 + 1079) / 3 = 1165 \text{ კნ}\cdot\text{მ} \quad (153)$$

განვსაზღვროთ კედელში დაბეჭედი, შუა ნაკვეთურში ნორმალური დაბეჭედი.

$$\delta = (M_{x_2} / I_x) \times y_c = 116500 \times 60 / 454000 = 15.4 \text{ კნ/სმ}^2; \quad (154)$$

$$\tau = Q_{x_2} / h_{bf} \times t_{\varphi} = 12.2 / 120 \times 1 = 0.1 \text{ კნ/სმ}^2; \quad (155)$$

ადგილობრივი დაბეჭედი საყრდენ კვანძთან

$$\sigma_m = 7.5 \text{ კნ/სმ}^2; \quad (156)$$

გამოვთვალოთ კრიტიკული დაბეჭედი ამწვევმა კოჭის კედლისათვის შუა ნაკვეთურში:

$$a / h_{bf} = 2000 / 1200 = 1.67 > 0.8 \quad a=1.38, \quad \sigma_m / \sigma = 7.5 / 15 = 0.487 \quad (157)$$

ნაკლებია  $\sigma_m / \sigma = 0.517$  ცხრ. 29 СНИП როცა  $a=1.38$  და  $a / h_{bf} = 1.67$ , მაშინ

კრიტიკული დაბეჭედი გამოითვლება ფორმულით:

$$\sigma_0 = k_0 (100 \times t_{\varphi} / h_{bf})^2 \times 100 = 6.77 \times 100 (100 \times 1 / 120)^2 = 59.7 \text{ კნ/სმ}^2; \quad (158)$$

სადაც  $k_0=6.77$  ინტერპოლაციით ცხ. 26 СНИП როცა  $a=1.38$ .

გამოვთვალოთ მხები კრიტიკული დაბეჭედი ფორმულით

$$\tau = (1.25 + 0.95 / m^2) (100 \times t_{\varphi} / d)^2 \times 100 = (1.25 + 0.95 / 1.67^2) (100 \times 1 / 120)^2 \times 100 = 11.1 \text{ კნ/სმ}^2 \quad (159)$$

სადაც  $a / h_{bf} = 1200 \text{ მმ} = 1.2 \text{ სმ}$ ;

კრიტიკული დაბეჭედი გამოწვეული ამწეს ბორბლისაგან:

$$\sigma_{m0} = k_1 (100 \times t_{\varphi} / a_0)^2 = 3.3 (100 \times 1 / 100)^2 \times 100 = 33.9 \text{ კნ/სმ}^2 \quad (160)$$

შევამოწმოთ შუა ნაკვეთურის მდგომარეობა შემდეგი ფორმულით: როცა  $\sigma_m$ - არ უდრის 0-ს.

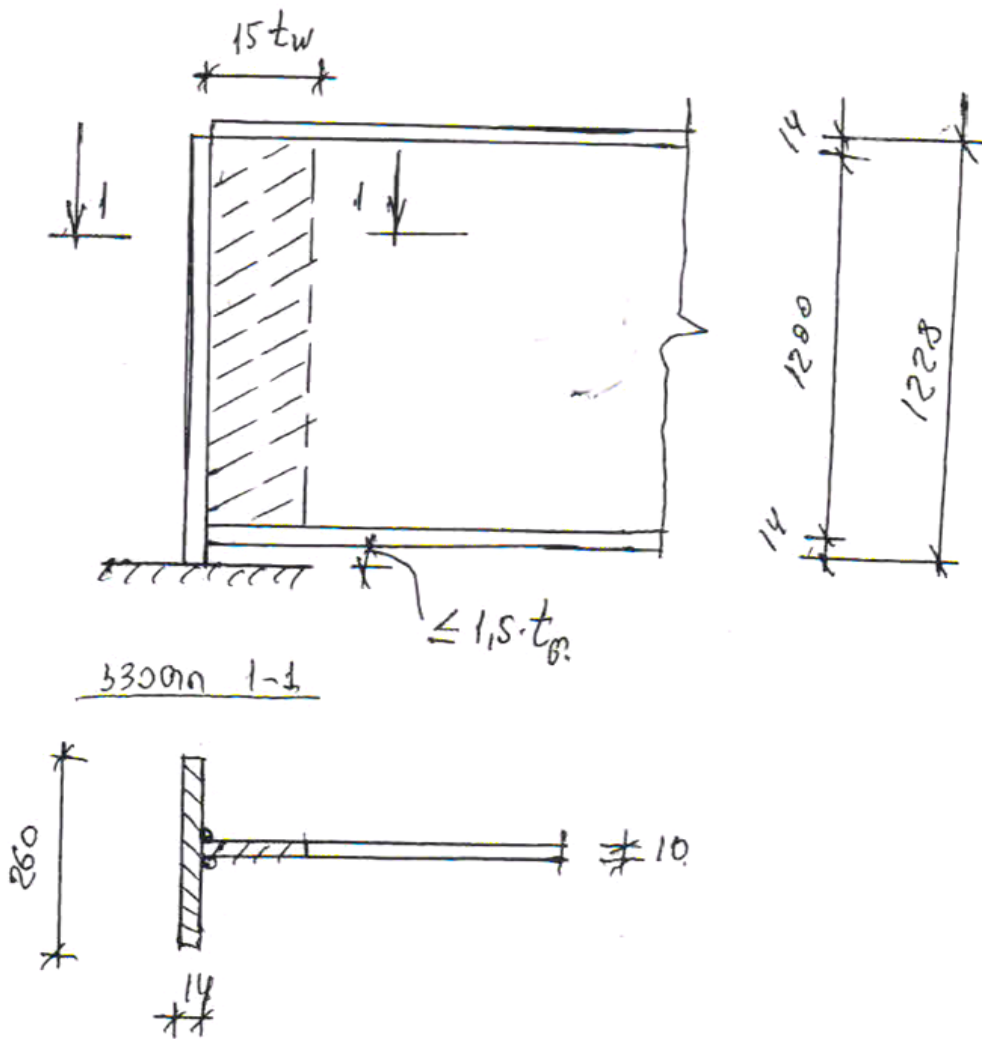
$$\left( (\sigma / \sigma_0 + \sigma_m / \sigma_{m0})^2 + (\tau / \tau_0)^2 \times 1/2 \right) = \left( (15.4 / 47.2 + 7.5 / 33 - 4)^2 + (0.1 / 11.1)^2 \right) \times 1/2 = 0.55 < 0.9 \quad (161)$$

ე.ი. ამწვევმა კოჭის კედლის მდგრადობა შუა ნაკვეთურში დამაკმაყოფილებელია.

### 5.15. საყრდენი წიბოს ანგარიში

კოჭის საყრდენი წიბო ეყრდნობა სვეტს ტორსის ფურცლის საშუალებით. კონსტრუქციული მოსაზრებით ვიღებთ საყრდენი წიბოს განივკვეთს (260X14) მმ; წიბოს თელვის ფართი ტოლია -  $A_{თელ.} = 26 \times 14 = 364$  სმ<sup>2</sup>. შევამოწმოთ დაბვა თელვის დროს საყრდენ წიბოში:

$$\sigma_{თელ.} = Q / A = (472 / 364) = 13 \text{ კნ/სმ}^2 \quad (162)$$



ნახ. 33 საყრდენი წიბოს პირობითი დგარი

შევამოწმოთ პირობითი საყრდენი წიბოს მდგომარეობა. ამისათვის წინასწარ განვსაზღვროთ საანგარიშო განივკვეთის ფართი

$$A_{\text{კვლ.}} = 26 \times 1.4 + 15 \times t_{\text{წ}}^2 = 36.4 + 15 = 51.4 \text{ სმ}^2 \quad (163)$$

ინერციის მომენტი

$$I_x = 1.4 \times 26^3 / 12 = 2080 \text{ სმ}^4 \quad (164)$$

ინერციის რადიუსი

$$I_i = (I_x / A_{\text{კვლ.}}) \times 1/2 = (2080 / 51.4) \times 1/2 = 6.34 \text{ სმ} \quad (165)$$

საყრდენი წიბოს მოქნილობა

$$\lambda_x = h_{bf} / I_x = 120 / 6.34 = 19 \quad (166)$$

შესაბამისი  $\varphi = 0.972$  სადაც  $\varphi$  - არის გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი. შევამოწმოთ საყრდენი წიბო მდგრადობაზე:

$$\tau = Q / \varphi \times A_{\text{კვლ.}} = 472 / 0.972 \times 51.4 = 9.5 \text{ კნ/სმ}^2 < R_x \gamma_c = 21 \times 1.1 = 23.1 \text{ კნ/სმ}^2 \quad (167)$$

ე.ი. საყრდენი წიბოს მდგრადობა უზრუნველყოფილია. გამოვთვალოთ ამწქვეშა კოჭის წონა.

$$C_{\text{ს.კ.}} = V \cdot \gamma_{1,2} \text{ სადაც } \gamma = 7850 \text{ კნ/მ}^3 \quad (168)$$

$\psi = 1,2$  სამშენებლო კოეფიციენტი.

$$V = V_{\text{კვლ.}} + 2V_{\text{სარტ.}} = 0,01 \cdot 1,2 \cdot 12 + 2 \cdot 0,014 \cdot 0,3 \cdot 12 = 0,144 + 0,1008 = 0,2448 \text{ მ}^3 \quad (169)$$

მაშინ ამწქვეშა კოჭის წონა

$$G_{\text{ს.კ.}} = 0,2448 \cdot 7850 \cdot 1,2 = 2306 \text{ კგ} = 23,06 \text{ კნ} \quad (170)$$

**5.16. Seno bi s avar i ul r eJi nSi eqspl uat aci i s dr o s,  
l i T o n i s Sedgen i l i o r t esebr i go fr i r ebul i kedl i T  
ganxo r ci el ebul i ko Ws ko nst r uqci ul i T avi sebur ebani**

ეკონომიკის ეფექტურად განვითარება, რაც თანამედროვე პირობებში საქართველოს წინაშე არსებული ბუნებრივი, პოლიტიკური და ტექნოგენური საფრთხეებისა და გამოწვევების ფონზე მიმდინარეობს, ერთმნიშვნელოვნად განისაზღვრება ქვეყნის კრიტიკული ინფრასტრუქტურის შესაძლო საგანგებო სიტუაციებიდან დაცვის ხარისხით. თავისი არსით, კრიტიკული ინფრასტრუქტურის დაცვა წარმოადგენს მზადყოფნის ზომების უსაფრთხოებასთან დაკავშირებით გასაღებას. იგი ქვეყნის უსაფრთხოების ქვაკუთხედი.

საქართველოში, კრიტიკული ინფრასტრუქტურის დაცვა წარმოადგენს სახელმწიფოს უმთავრეს ამოცანას, რომელიც მოითხოვს ხელისუფლების, ბიზნესმენების კოორდინირებულ თანამოქმედების მხრიდან აქტიურ მხადაჭერას.

კრიტიკული ინფრასტრუქტურის დაცვა გულისხმობს, შესაძლო საგანგებო სიტუაციებში მოსახლეობის სიცოცხლის უზრუნველყოფის მიზნით, ქვეყნის კრიტიკული ინფრასტრუქტურის ცალკეული ობიექტების საგანგებო სიტუაციებში სტაბილური ობიექტების შენარჩუნების უზრუნველყოფას და საგანგებო სიტუაციების შედეგების აღმოფხვრისათვის პირობების შექმნა სამშენებლო კონსტრუქციების დაგეგმარებისას დამპროექტებლებისათვის უმნიშვნელოვანესი საზრუნავია.

სამრეწველო და სამოქალაქო შენობა-ნაგებობების დამპროექტების დროს ითვალისწინებენ განსაკუთრებულ დატვირთვებსა და ზემოქმედებებს, რომლებიც თავისმხრივ შესაძლებელია გამოწვეული იყოს როგორც ბუნებრივი ასევე ტექნოგენური ხასიათის საგანგებო სიტუაციებისა და მათი დამაზიანებელი ზემოქმედებისაგან. მათი დატვირთვა შეთანწყობაში, შემადგენლობისა და ინტენსივობის ხარისხის გათვალისწინება ძირითადად დამოკიდებულია ობიექტის

სტრატეგიულ მნიშვნელობაზე. ისეთი საშიში ობიექტებისათვის, როგორცაა, ქიმიური ქარხნები, ნავთობპროდუქტების სათავსოები, კაშხლები და სხვა ითვალისწინებენ ასევე, შენობა ნაგებობებზე და მის შემადგენელ ცალკეულ მზიდ ელემენტებზე საწარმოო პროცესების ავარიულად განვითარების შედეგად გამოწვეულ დატვირთვებს.

სახიფათო სამრეწველო ობიექტებიდან განსაკუთრებული ადგილი უჭირავთ, ისეთ შენობებს, რომლებშიც უსაფრთხოებისათვის ერთ-ერთი ძირითადი საკითხი არის ექსტრემალური ბუნებრივი და ტექნოგენური ზემოქმედების გათვალისწინება. რომლებსაც, როგორც წესი, იწვევენ მიწისძვრები, ქარბუქი, ცუნამი, ექსტრემალური კლიმატური პირობები, ძლიერი თოვლი, მასშტაბური ხანძრები და სხვა. ხოლო, ტექნოგენური ზემოქმედება კი შეიძლება იყოს როგორც შიდა ასევე, გარე. პროექტირებისას უმთავრეს ექსტრემალურ ზემოქმედებას წარმოადგენს სწორედ შესაძლო საგანგებო სიტუაციებისაგან გამოწვეული დამაზიანებელი ფაქტორების ზემოქმედება. ამიტომაც ეკონომიკის ობიექტების დაპროექტება დატვირთვების ყველაზე ცუდი სცენარით განვითარების გათვალისწინებით უნდა წარმოებდეს.

განსაკუთრებული მნიშვნელობა და სპეციალური დანიშნულების შენობა-ნაგებობათა კონსტრუქციებს ანგარიშობენ, საიმედოობის უზრუნველყოფისა და ამავე დროს, მზიდი ელემენტების რაციონალური ზომების დადგენის მიზნით. ამ შემთხვევაში, აუცილებელ პირობას წარმოადგენს მათდამი წაყენებული საექსპლუატაციო მოთხოვნების უზრუნველყოფა, როგორც ნორმალურ პირობებში, ისე ავარიებით გამოწვეული დატვირთვების ზემოქმედებისას. როგორც ცნობილია, სამშენებლო კონსტრუქციების გაანგარიშება წარმოებს დატვირთვათა ძირითად და განსაკუთრებულ შეხამების საქმეთა საფუძველზე.

დატვირთვათა განსაკუთრებული შეხამების სქემა მოიცავს მუდმივ, დროებით ხანგრძლივ და ხანმოკლე, ასევე განსაკუთრებული სახის დატვირთვებს.

განსაკუთრებული დატვირთვებია სეისმური, ავარიებითა და აფეთქებებით გამოწვეული ზემოქმედებები, ტექნოლოგიური პროცესის დარღვევით ან მოწყობილობათა მწყობრიდან გამოსვლის შედეგად გამოწვეული დატვირთვები და გრუნტის სტრუქტურის ცვლილებებით

გამოწვეული ფუძის არათანაბარი დეფორმაციების ზემოქმედება. განსაკუთრებული დატვირთვებთან ერთად, ეკონომიკის ობიექტების სპეციფიკიდან გამომდინარე, გათვალისწინებული უნდა იქნეს საგანგებო სიტუაციებში დამახასიათებელი მექანიკური, თერმული, ქიმიური და სხვა სახის სპეციალური დატვირთვები.

სპეციალურ დატვირთვებზე, ანგარიშობენ როგორც კრიტიკული ინფრასტრუქტურის ობიექტებს, ასევე საინჟინრო – ტექნიკური კომპლექსის ცალკეულ ელემენტებს. ამ შემთხვევაში გაანგარიშების მიზანს წარმოადგენს, შესაძლო საგანგებო სიტუაციის დამაზიანებელი ფაქტორებით გამოწვეულ დატვირთვებზე, მათი შედეგებისა და დაზიანებადობის ხარისხის შეფასება. განსაკუთრებულ და სპეციალურ დატვირთვებად, ხშირ შემთხვევაში, განიხილება დარტყმითი ტალღის ჭარბი წნევის ზემოქმედება, რომელიც შეიძლება ვრცელდებოდეს როგორც ჰაერში და მიწაზე, ასევე წყალში, იგი ხასიათდება დროში წნევის ცვლილებით. მისი ძირითადი მახასიათებლებია: მაქსიმალური წნევა, მისი დროში ცვლილების ფუნქცია და ზემოქმედების ხანგრძლივობა.

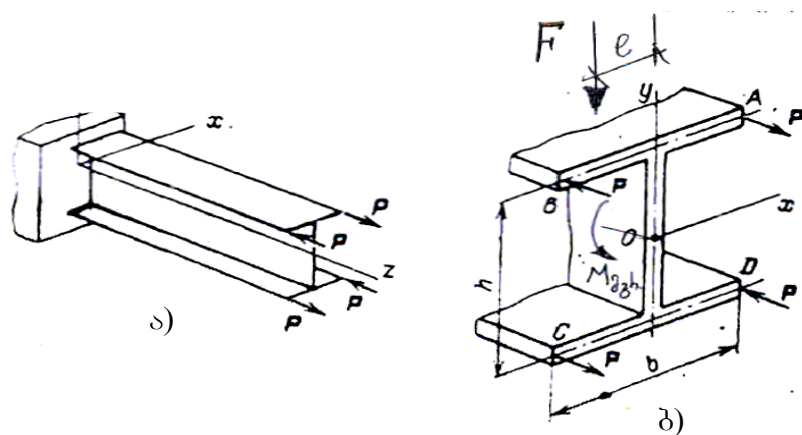
აფეთქების შედეგად წარმოშობილი ტალღა ვრცელდება და ზემოქმედებს ნაგებობებზე დარტყმითი ტალღის სახით. თავისი ბუნებით იგი წარმოადგენს ხანმოკლე დინამიკურ დატვირთვას.

მოწყობილობების, კონსტრუქციული ელემენტების და მათი შეერთებების მედეგობა, დამოკიდებულია მოწყობილობების ცალკეული ელემენტების საერთო მდგომარეობაზე. ამიტომ, შესაძლო დატვირთვებზე ანგარიში აუცილებელია ვაწარმოთ ყველაზე უარესი შემთხვევისათვის, იმის გათვალისწინებით, რომ ხანმოკლე მიმართულებით ავლენდნენ. ეს კი, თავის მხრივ დამოკიდებულია ფეთქებადი ობიექტის ადგილზე ორიენტაციაზე, მის ირგვლივ გაანგარიშების ხასიათზე, საყრდენი ფუძის აგებულებაზე და სხვა ფაქტორებზე. ხანმოკლე დინამიკურ დატვირთვას შეიძლება ასევე წარმოადგენდეს ამწქვეშა კოჭზე მოძრავი ხიდურა ამწის ავარიით ან ურიკის დამუხრუჭების ეფექტის გადამეტებით შექმნილ ავარიულ რეჟიმში მუშაობით გამოწვეული ამწქვეშა კოჭის მგრეხავი მომენტი.

კონსტრუქციის გაანგარიშება, ხანმოკლე დინამიკური დატვირთვების გათვალისწინებით, ხორციელდება გაანგარიშების დინამიური მეთოდების გამოყენებით. თუმცა, პროექტირების პრაქტიკაში, ცალკეული მზიდი კონსტრუქციული ელემენტების გაანგარიშების მიზნით, ხშირად დინამიკური დატვირთვის ნაცვლად სარგებლობენ მისი შესაბამისი ექვივალენტური სტატისტიკური მეთოდით. ამ შემთხვევაში სარგებლობენ დინამიკური ზემოქმედების ექვივალენტური სტატისტიკური დატვირთვებით.

ლითონის გოფირებული კედლით განხორციელებული შედგენილი კოჭის კონსტრუქციული გადაწყვეტა, შენობის აგარიულ რეჟიმში ექსპლუატაციის დროს, მოიცავს ამტანუნარიანობის რესურსს, რომელიც მისი განივკვეთის ოპტიმალური სივრცითი ეფექტურობით განისაზღვრება.

ლითონის გოფირებული კედლით განხორციელებული შედგენილი კოჭის განივკვეთის ოპტიმალური სივრცითი ეფექტურობას განაპირობებს კოჭის კედლის გოფირებული გავრცობა მისი გრძივი მიმართულებით, რაც საშუალებას იძლევა გაზრდილ იქნეს კოჭის განივკვეთის სუფთა გრესვაზე ინერციის მომენტი და სექტორიალური მახასიათებლები (სექტორალური ინერციის მომენტი, სექტორალური წინაღობის მომენტი, პროფილის განივკვეთის განაპირა წერტილის სექტორიალური ფართი) მათი სივრცითი გავრცობის ანუ კვეთის განივკვეთში სიმეტრიის ღერძიდან კედლის ფართის გატანით). იხ. ნახ. 34, რაც დაკავშირებულია მოლიანობაში კოჭის გრესვაზე წინაღობის ზრდასთან.



ნახ. 34 ერთი ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებული კოჭის საანგარიშო სქემა გრესვის დროს



## Tavi 6

### 6.1 experimental ur i kvl eva

ექსპერიმენტული კვლევის საფუძველზე ჩატარდა ლითონის შედგენილი გოფირებულკედლიანი ორტესებრი შედუღებული კოჭის შემოწმება სიმტკიცეზე და სიხისტეზე.

ჩატარებული იქნა ექსპერიმენტალური კვლევა, რომელიც დაფუძნებული იყო დაასახული ამოცანების გადასაწყვეტად. გამოცდა ჩატარდა ლითონის შედგენილი გოფირებულ კედლიანი ორტესებრი შედუღებული ლითონის კოჭზე, რომელიც სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით (СНП 2.03.84) იყო გაანგარიშებული და კონსტრუირებული.

წინასწარი თეორიული გამოკვლევებით შეირჩა ლითონის შედგენილი გოფირებულ კედლიანი ორტესებრი კოჭი, რომლის შედუღებით შეერთება და კონსტრუირება მოხდა სამშენებლო ნორმებისა და წესების დაცვით. კოჭის გეომეტრიული სიგრძე  $L=300$ სმ, ხოლო მისი განივკვეთი შედგება ზედა და ქვედა სარტყელებით ერთნაირი ზომებით: სიგანით -  $b_f=135$ მმ, სისქით -  $t_f=10$ მმ; შვეული კედელი შემდეგი ზომებით -  $h_w=280$ მმ; სისქე  $t_w=4$ მმ, მასალად გამოყენებულია ფოლადი, რომლის საანგარიშო წინაღობა -  $R_y=21$ კნ/სმ<sup>2</sup>.

ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე ლითონის შედგენილი შედუღებული კოჭის გამოცდა ხდებოდა ერთი შეყურსული ძალის ზემოქმედებით – ძალის შუაში საყრდენიდან  $l=150$  სმ მანძილზე. დატვირთვა კოჭს გადაეცემოდა ხისტი ტრავერსით სპეციალური სტენდის საშუალებით. ეტაპობრივად ხდებოდა დატვირთვის ზრდა  $(0,05 \pm 0,1)P$ . ხელსაწყოებიდან ანათვლების ათვლა ხდებოდა 15 წუთის დაყოვნებით.

ლითონის ორტესებრი კოჭზე ჩაღუნვების გაზომვა ხდებოდა ინდიკატორებისა და მაქსიმუმის ჩაღუნვებომის საშუალებით, ხოლო კოჭის კედლის ნაკვეთურებში დეფორმაციების განვითარების სურათის ჩაწერა ხდებოდა ელექტრონული ტენზომეტრირების საშუალებით

ბაზით  $R=50$ მმ. ანათვალების აღება ხდებოდა ელ. ხელსაწყოს АИД-2 –ისა გადამროველების საშუალებით დატვირთვების ყოველ ეტაპზე.

დეფორმაციის სიდიდე ლითონის ორტესებრ კოჭში მოწმდებოდა ტარირებული მანომეტრით, ხოლო მალის შუაში კოჭის ჩაღუნვა იზომებოდა მაქსიმოვის ტიპის ჩაღუნვზომით.

შეიქმნა ლითონის შედგენილი გოფირებულ კედლიანი კოჭი შემდეგი მონაცემების მიხედვით:

კოჭის მალი –  $L=300$ სმ;

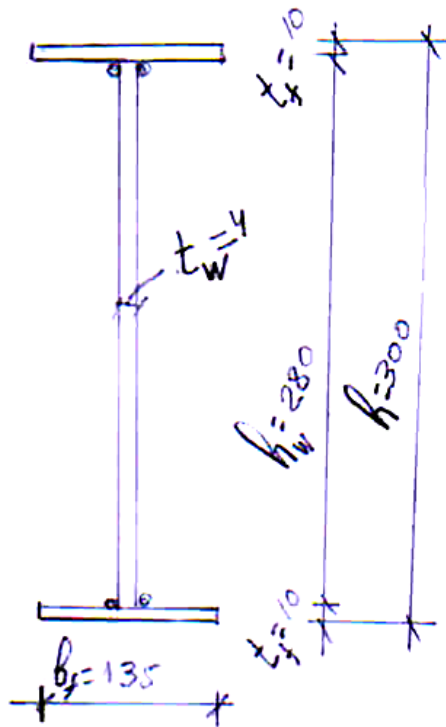
კოჭის ზედა და ქვედა სარტყელები შემდეგი ზომებით:

სიგანე -  $b_f=135$ მმ; სისქე  $t_f=10$ მმ;

კოჭის კედლის სიმაღლე -  $h_w=280$ მმ;

კოჭის კედლის სისქე -  $t_w=4$ მმ;

კოჭის სიმაღლე –  $h_{\text{კოჭი}}=280+2\cdot 10=300$ მმ



ნახ. 35 კოჭის განივიკვეთი

შედარებისათვის სორტამენტიდან ვიღებთ გაგნილული ორტესებრი კოჭის – I 30-ის გემეტრიულ ზომებს და ტექნიკურ-მექანიკურ მახასიათებლებს:  $g=36,5$  კგ/მ,  $h=300$  მმ;  $b=135$  მმ;  $t_w=6,5$  მმ.

1 გრ. მ წონა -  $g=36,5$  კგ/მ;

კოჭის სიმაღლე –  $h=300$  მმ;

კოჭის სარტყელის სიგანე -  $b=135$  მმ.

კოჭის სარტყელის სისქე –  $t_f=10,2$  მმ;

შვეული კედლის სისქე -  $t_w=6,5$  მმ;

კოჭის განივკვეთის ფართი -  $A=46,5$  სმ<sup>2</sup>;

კოჭის წინაღობის მომენტი -  $W_x=472,0$  სმ<sup>3</sup>;

კოჭის ინერციის მომენტი -  $I_x=7080,0$  სმ<sup>4</sup>;

კოჭის ინერციის რადიუსი -  $i_x=12,3$  სმ;

კოჭის სტატიკური მომენტი -  $S_x=268$  სმ<sup>3</sup>.

გაგნილული კოჭის I 30-ში შევცვალებთ მხოლოდ კედლის სისქე  $t_w=6,5$  მმ; შედგენილი გოფირებული კედლის  $t_w=4,0$  მმ-ით; ე.ი. გაგნილულ კოჭში არსებული შვეული კედლის სისქე -  $t_w=6,5$  მმ-ისა, ავიღეთ შედგენილ კოჭში გოფირებული კედელი სისქით -  $t_w=4,0$  მმ, შესაბამისად მივიღეთ შედგენილი ორტესებრი კოჭი გოფირებული კედლით (სისქით  $t_w=4,0$  მმ) შემდეგი ტექნიკურ-მექანიკური მახასიათებლების მიხედვით:

კოჭის განივკვეთის ფართი

$$A_{\text{კოჭ.}} = 2 \cdot A_{\text{სარტყ.}} + A_{\text{კედ.}} = 27,0 + 11,2 = 38,2 \text{ სმ}^2$$

$$A_{\text{სარტყ.}} = 2 \cdot 1,0 \cdot 13,5 = 27,0 \text{ სმ}^2$$

$$A_{\text{კედ.}} = 0,4 \cdot 28 = 11,2 \text{ სმ}^2$$

$$A_{\text{კოჭ.}} = 2,70 + 11,2 = 38,2 \text{ სმ}^2$$

კოჭის საჭირო ინერციის მომენტი

$$I_{\text{კოჭ.}} = \frac{b \cdot h^3}{12} + 2 \cdot 1,0 \cdot 13,5 \cdot \left(\frac{30}{2}\right)^2 = \frac{0,4 \cdot 28^3}{12} + 2 \cdot 1,0 \cdot 13,5 \cdot \left(\frac{30}{2}\right)^2 =$$

$$= 731,73 + 6075,0 = 6806,73 \text{ სმ}^4$$

შედგენილი გოფირებული კოჭის წინაღობის მომენტი

$$W_{\text{კოჭ.}} = \frac{I_{\text{კოჭ.}}}{h/2} = \frac{6806,73}{30/2} = 453,783 \text{ სმ}^3$$

გოფრირებული კოჭის 1 გრძივი მეტრის წონა

$$g = V \cdot \gamma \text{ კგ}$$

სადაც V – არის კოჭის მოცულობა მ<sup>3</sup>.

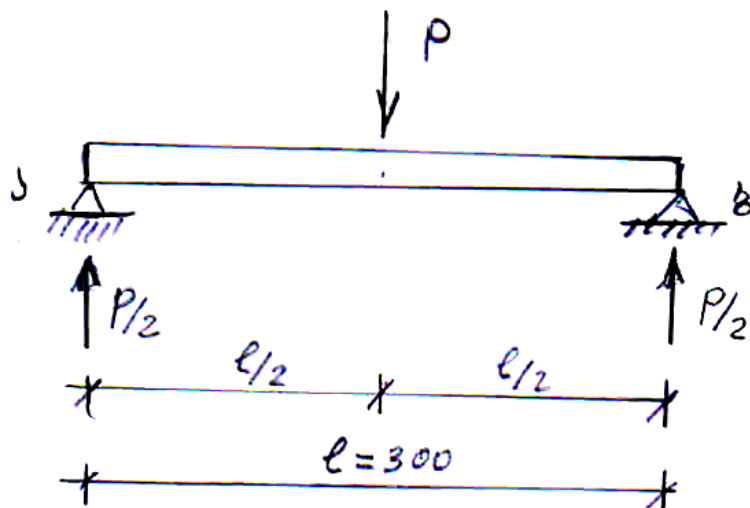
$$V = (0,01 \cdot 0,135 \cdot 1)^2 + (0,004 \cdot 0,28 \cdot 1) = 0,0027 + 0,00112 = 0,00382 \text{ მ}^3$$

$\gamma = 7850 \text{ კგ/მ}^3$  ფოლადის მოცულობითი წონაა.

$$g = 0,00382 \cdot 7850 \cdot 1,02 = 30,6 \text{ კგ.}$$

შედგენილი ორტესებრი გოფრირებულ კედლიანი კოჭის საანგარიშო სქემად მიღებულია ორსაყრდენზე თავისუფლად დაყრდნობილი კოჭი. შეყურსული დატვირთვა მოდებულია მალის შუაში.

საცდელი ორტესებრი კოჭის სიგრძე  $l = 300 \text{ სმ}$ , ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე კოჭის გამოცდა ხდებოდა მალის შუაში – საყრდენიდან 150 სმ მანძილზე, ერთი შეყურსული ძალის ზემოქმედებით. მოსალოდნელი მღუნავი მომენტის მოქმედებისაგან გამოწვეული დეფორმაციების ან ჩაღუნვების ანათვალების ათვლა ხდებოდა ხელსაწყოებიდან 15 წუთის დაყოვნებით.



ნახ. 36 საცდელი კოჭის საანგარიშო სქემა

საანგარიშო სქემიდან გამომდინარე მაქსიმალური მღუნავი მომენტის

მნიშვნელობა ტოლია:

$$M_{\text{მაქ.}} = \frac{P}{2} \cdot \frac{l}{2} = \frac{P \cdot l}{4}$$

$$M = W \cdot R = 472,0 \cdot 21 = 9912,0 \text{ კნ}\cdot\text{სმ}$$

W – არის გოფრირებულ კედლიანი ორტესებრი კოჭის წინაღობის მომენტი და ტოლია  $W=453,8 \text{ სმ}^3$ .

$R_y=21,0 \text{ კნ/სმ}^2$  – მასალის საანგარიშო წინაღობა.

მოქმედი შეყურსული ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობა ტოლია:

$$P = \frac{4 \cdot M}{\ell} = \frac{4 \cdot 9912}{300} = 132,16 \text{ კნ}$$

შევამოწმოთ კოჭი სიმტკიცეზე

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq R_y \cdot \gamma_c$$

სადაც  $\gamma_c=1,1$  მუშაობის პირობების კოეფიციენტი.

$$\sigma = \frac{9912}{453,78} = 22,1 \text{ კნ/სმ}^2 < 21 \cdot 1,1 = 23,1 \text{ კნ/სმ}^2$$

ე.ი. კოჭის სიმტკიცის პირობა დაკმაყოფილებულია.

შევამოწმოთ კოჭი სიხისტეზე

$$f = \frac{P \cdot \ell^3}{48 \cdot WI} = \frac{132,16 \cdot 300^3}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot 7080} = 0,50 \text{ სმ} < \ell/400 = 300/400 = 0,75 \text{ სმ}$$

$E=2,1 \cdot 10^4$  არის მასალის დრეკადობის მოდული. ე.ი. კოჭის სიხისტის პირობა დაკმაყოფილებულია.

ჩატარდა გოფრირებულკედლიანი ორტესებრი შედგენილიკოჭის ექსპერიმენტალური გამოცდა ლუნვაზე სტატიკური დატვირთებით. მაქსიმალური ჩაღუნვები არ აღმატება თეორიული გამოთვლით მიღებულ ჩაღუნვების მნიშვნელობას. თეორიული გამოთვლით მიღებულმა ჩაღუნვამ, როცა მოქმედებდა  $P=13,216 \text{ ტონა} = 132,16 \text{ კნ}$  და კოჭის წინაღობის მომენტი ტოლია  $W_x = 472,0 \text{ სმ}^3$  ჩაღუნვა შეადგინა  $f=0,50 \text{ სმ}$  გაგლინული კოჭის შემთხვევაში.

ხოლო შედგენილი ორტესებრი გოფრირებულ კედლიანი კოჭის შემთხვევაში შემცირებული კედელი სისქით –  $t_w=4,0 \text{ მმ}$ , ექსპერიმენტულმა კვლევამ დაადგინა რეალური დატვირთვის შემთხვევაში –  $P=133,0 \text{ კნ}$ , მაქსიმუმის ტიპის ჩაღუნვების ინდიკატორის ანათვალმა –  $f=0,491 \text{ სმ} < 0,50 \text{ სმ}$ .

ტექნიკურ-ეკონომიურმა გაამგარიშებამ აჩვენა, რომ გაგლინული პროფილის I 30-ის ორტესებრი კოჭის 1 გრ. მ წონა სორტამენტის მიხედვით ტოლია –  $g=36,5$  კგ/მ. შედგენილი გოფირებულკედლიანი ორტესებრი კოჭის წონა ტოლია –  $g=v\cdot\gamma=0,00382\cdot7850=30,6$  კგ/მ.

ჩვენს შემთხვევაში გოფირებულკედლიანი კოჭის მასალის ეკონომია გაგლინულ კოჭთან შეადრებით 1 გრ. მეტრზე შეადგენს

$$\frac{36,5 - 30,6}{36,5} \cdot 100 = 16,2\% \text{ -ს.}$$

# d a n a r T e b i



ნახ. 37 საექსპერიმენტო კოჭი სტენდზე



ნახ. 38 ელექტრონული ხელსაწყო АИД 2

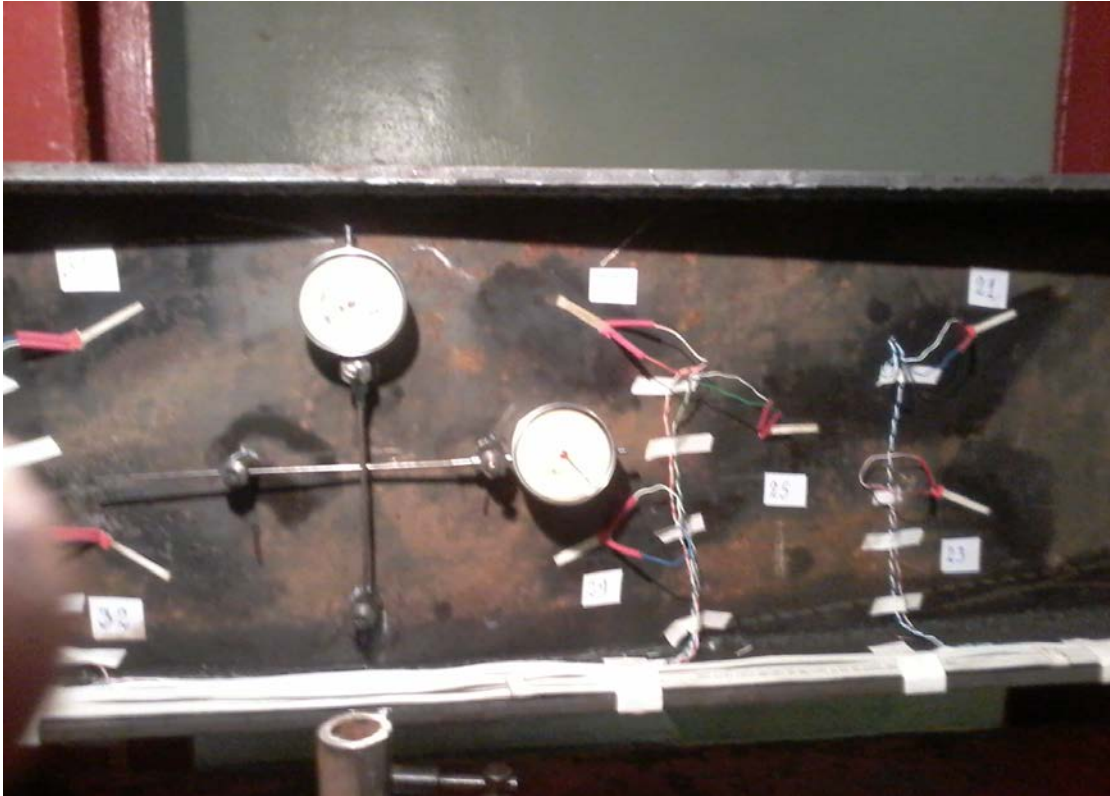


ნახ. 39 კვლევის პროცესი

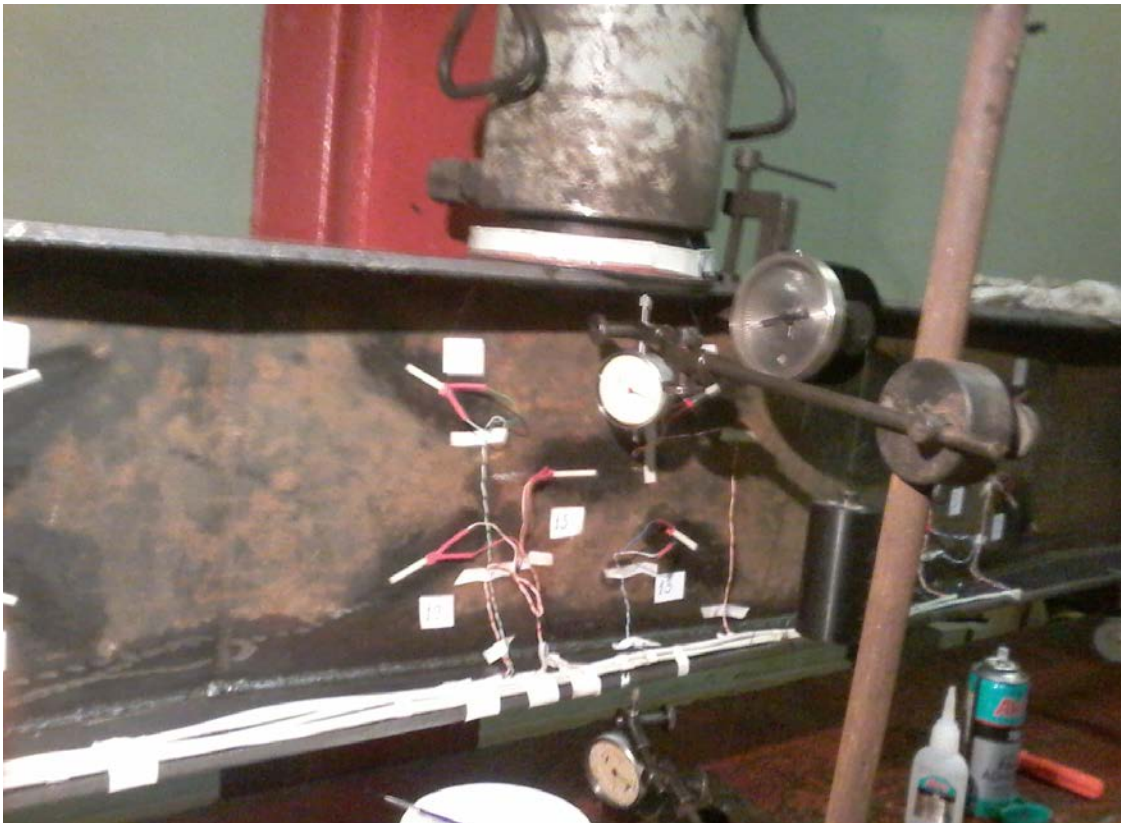


ნახ. 40 ტენზომეტრები შვეულ კედელზე

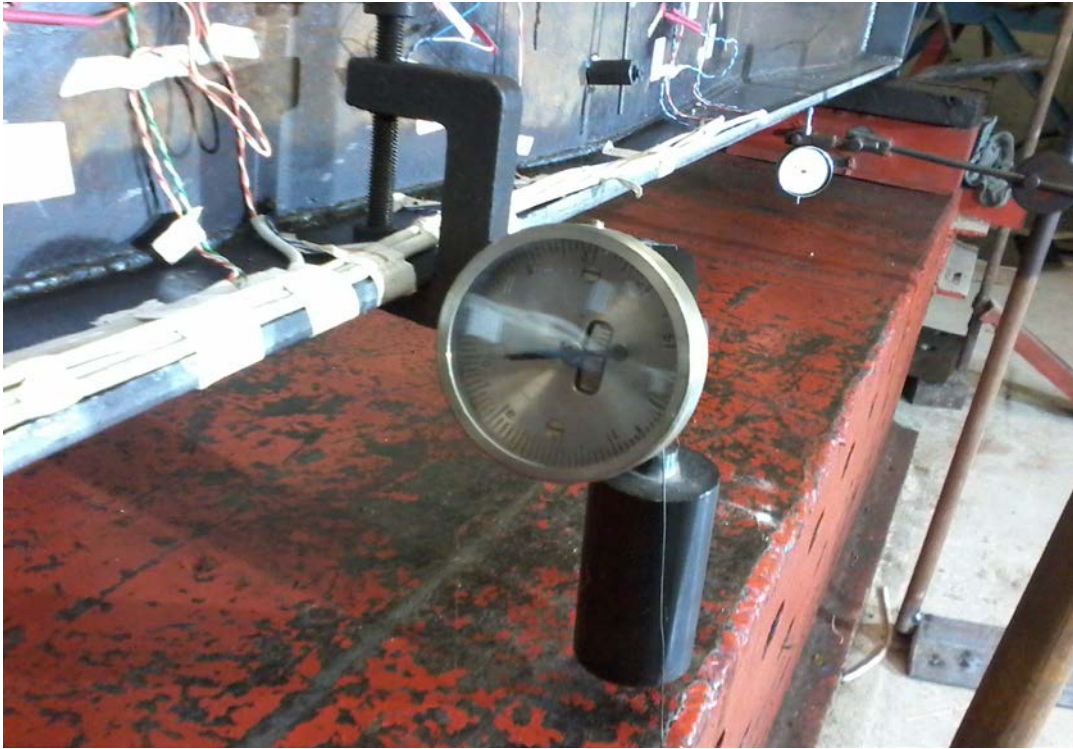




ნახ. 41 ინდიკატორები ნაკვეთურში



ნახ. 42 დგუში ზედა სარტყელში მალის შუაში



ნახ. 43 ჩადუნზომი ქვედა სარტყელზე მალის შუაში



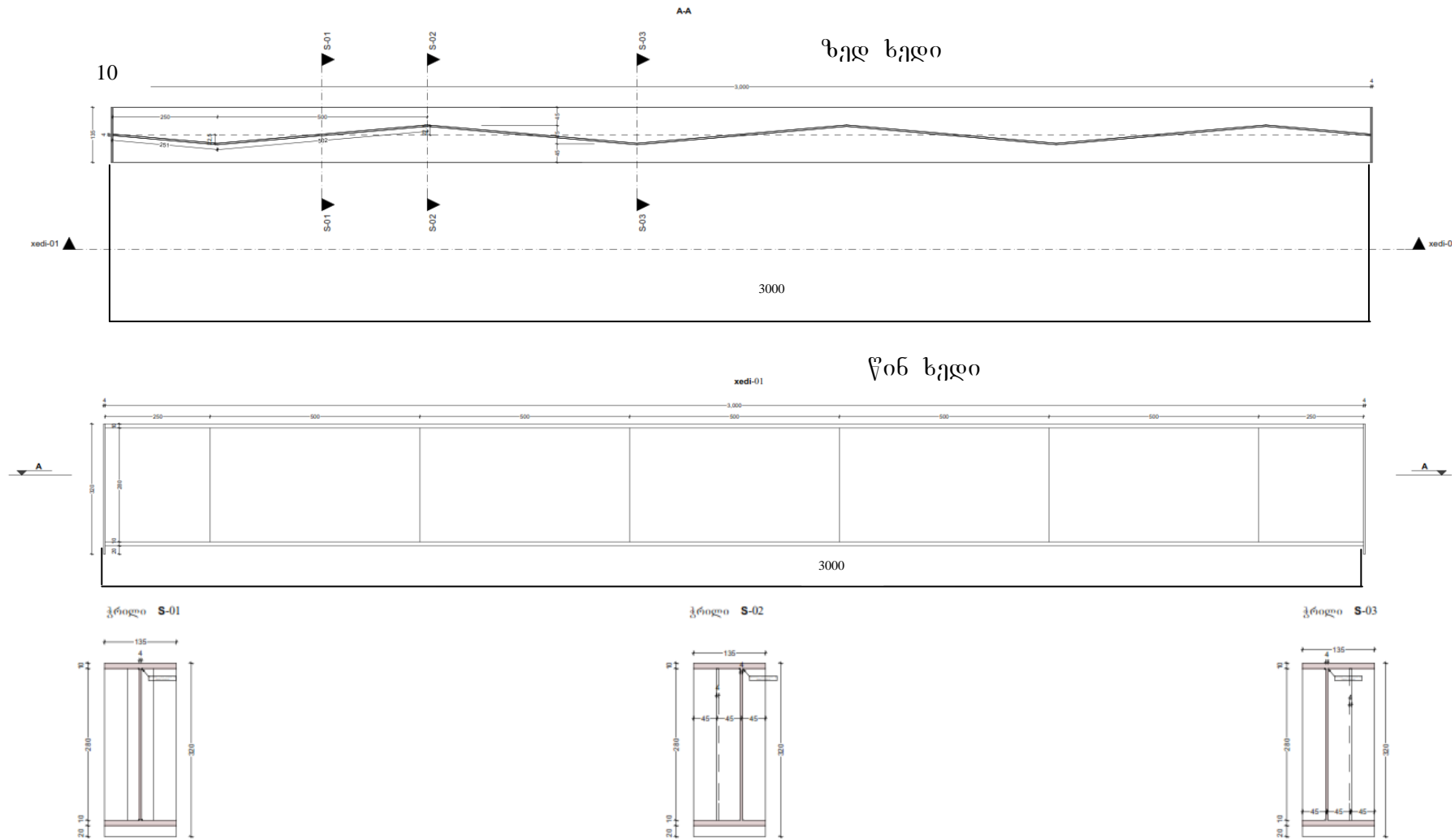
ნახ. 44 ინდიკატორი საყრდენზე



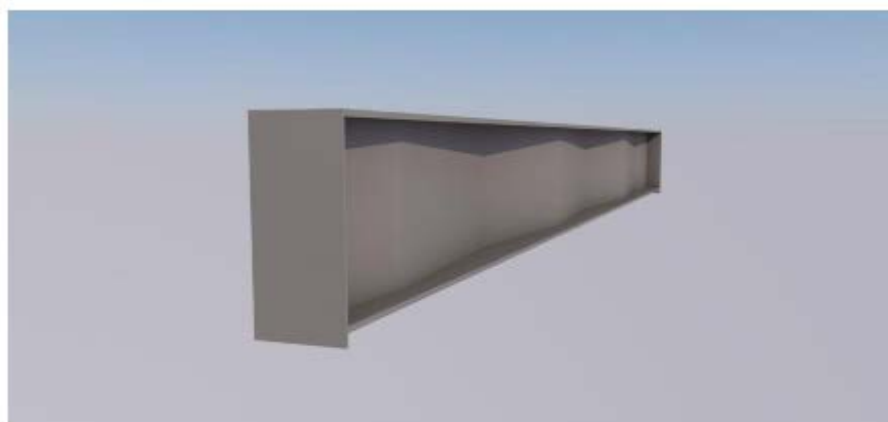
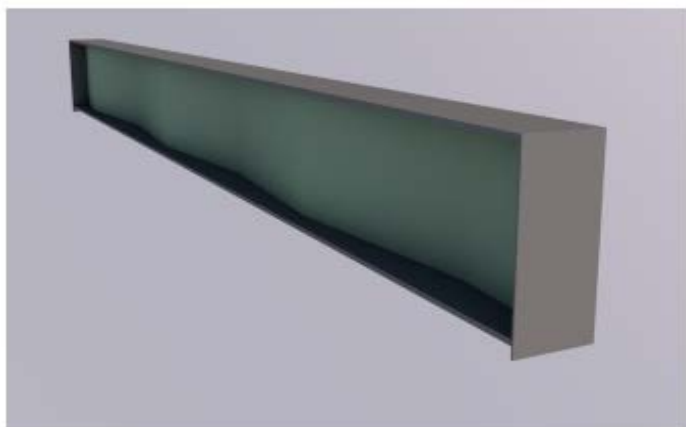
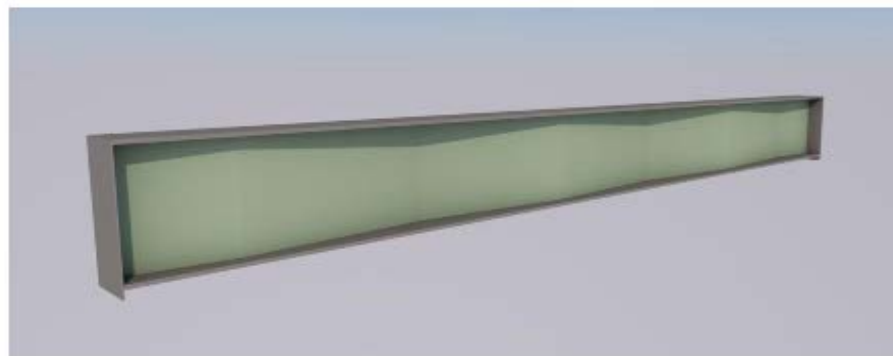
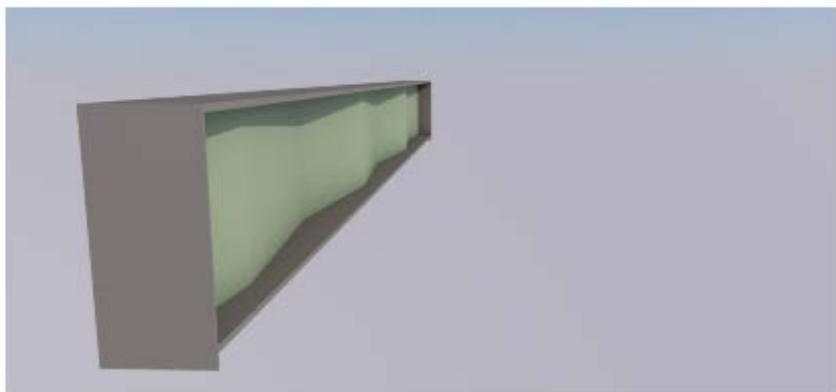
ნახ. 45 მაქსიმუმის ტიპის ჩაღუნმზომი და საათის ტიპის ინდიკატორები



ნახ. 46 ინდიკატორები ზედა სარტყელზე



ნახ. 47 შედგენილი გოფრირებული კოჭი



ნახ. 48 გოფრირებულ კედლიანი შედგებილი კოჭის ხედები

დატვირთვების და ძაბვების დამოკიდებულების ცხრილი

№	AID-02-ს №	ელექტროტენზომეტრის №	0კვ	798კვ	1596კვ	2394კვ	2926კვ	3990კვ	4788კვ	6118კვ	7980კვ	10108კვ	11970კვ	13300კვ	14364კვ	15960კვ
1	I-1	1	252.0	248.8	248.9	248.9	249.0	249.3	249.3	250.0	250.0	250.0	250.0	251.1	251.5	251.6
2	I-2	2	305.7	301.1	301.3	301.3	301.5	301.7	301.8	302.0	302.2	302.6	302.8	303.07	304.0	304.1
3	I-3	3	255.7	252.6	252.6	252.6	252.7	252.6	252.4	252.5	252.3	252.4	252.1	252.9	253.1	252.8
4	I-4	4	338.7	333.5	333.5	333.5	333.5	333.5	333.5	333.5	333.5	333.5	333.5	334.2	334.7	334.6
5	I-5	5	254.1	251.2	251.3	251.4	251.5	251.6	251.5	251.5	251.6	251.8	252.0	252.8	253.3	253.3
6	I-6	6	302.2	298.2	298.2	298.3	298.4	298.5	298.6	298.8	298.9	299	299.3	300.1	300.4	300.4
7	I-7	7	253.3	250.1	250.0	250.1	250.0	250.2	249.7	249.6	249.2	249.2	248.6	249.4	249.6	249.4
8	I-8	8	250.8	249.4	249.3	249.0	249.0	248.8	248.6	248.4	248.0	247.5	247.2	247.8	247.7	247.3
9	I-9	9	250.2	248.5	248.8	249.1	249.2	249.4	249.8	250.0	250.7	251.4	252.0	253.1	253.7	254.0
10	I-10	10	304.4	300.0	300.1	300.4	300.6	300.9	301.3	301.7	302.3	303.2	303.8	304.7	305.5	305.8
11	I-11	11	330.4	300.4	300.3	300.4	300.5	300.6	301.6	300.7	300.7	300.8	300.9	301.8	302.7	302.9
12	I-12	12	299.1	296.2	296.2	296.3	296.5	296.6	296.8	296.9	297.2	297.3	297.6	298.6	298.8	298.8
13	I-13	13	300.6	298.4	298.5	298.6	298.6	298.7	298.7	298.7	298.8	298.9	299.1	300.1	300.2	300.2
14	I-14	14	251.8	250.7	250.8	250.9	250.9	251.0	251.1	251.2	251.4	251.8	252.1	253.0	254.0	254.2
15	I-15	15	315.7	311.9	312.1	312.2	312.4	312.6	312.6	313.3	313.7	314.5	315.2	316.3	317.7	318.3
16	I-16	16	339.4	336.2	336.3	336.4	336.4	336.7	336.8	337.0	337.4	337.7	338.0	338.9	339.4	339.5

17	I-17	17	302.6	301.1	301.3	301.4	301.5	301.7	301.9	302.2	302.6	303.1	303.5	304.7	305.9	306.2
18	I-18	18	299.7	299.4	299.6	299.7	299.8	300.0	300.2	302.4	302.7	302.9	303.2	303.9	304.4	304.8
19	II-1	19	304.9	303.8	304.9	304.9	305.0	305.2	305.2	305.3	305.3	305.4	305.5	306.2	306.3	305.7
20	II-2	20	303.8	303.8	303.9	304.0	304.1	304.2	304.4	304.6	304.8	305.3	305.6	306.5	307.4	307.8
21	II-3	21	299.4	299.3	299.3	299.1	299.1	299.1	298.9	298.6	298.2	297.8	297.6	298.1	298.4	297.8
22	II-4	22	300.8	300.7	300.7	300.6	300.2	300.2	300.1	299.8	299.4	298.8	298.5	299	298.8	299.4
23	II-5	23	320.5	320.5	320.6	322.4	323.6	325.8	327.3	328.9	328.9	330.5	331.5	331.7	333.9	333.8
24	II-6	24	302.6	302.8	303.0	303.2	303.4	303.7	304.1	304.5	305.2	305.8	306.4	307.5	308.2	308.4
25	II-7	25	298.9	299.0	299.1	299.2	299.5	299.7	299.5	299.6	299.7	300.0	300.1	300.9	301.2	301.2
26	II-8	26	305.2	305.2	305.2	305.3	305.4	305.4	305.4	305.4	305.5	305.5	305.5	306.3	306.4	306.2
27	II-9	27	356.6	356.7	356.9	357.0	357.1	357.3	357.8	358.2	358.7	359.2	359.7	360.8	361.4	361.7
28	II-10	28	300.0	300.4	300.6	300.8	301	301.3	301.8	302.3	302.8	303.7	304.2	305.3	305.7	306.0
29	II-11	29	299.6	299.8	299.8	299.9	299.9	300.0	300.0	300.1	300.2	300.2	300.2	301.1	301.3	301.2
30	II-12	30	302.0	302.1	302.1	302.3	302.3	302.4	302.4	302.5	302.6	302.6	302.6	303.4	303.7	303.6
31	II-17	31	343.3	343.2	343.2	343.2	343.4	342.7	342.3	342.0	341.6	241.0	340.5	341.0	340.8	340.2
32	II-13	32	300.8	300.7	300.8	300.8	300.8	300.6	300.7	300.7	300.7	300.6	300.3	301	301.2	301.0
33	II-14	33	338.5	338.6	338.6	338.7	338.7	338.8	338.0	339.1	339.3	339.6	339.7	340.6	341.2	341.2
34	II-15	34	336.7	336.7	336.7	336.8	336.9	337.0	337.1	337.8	337.5	337.7	337.8	338.7	339.9	339.2
35	II-16	35	339.8	339.7	339.7	339.7	339.8	340.0	339.4	339.4	339.1	338.7	338.4	339.1	339.8	338.7

**განტვირთვისას  
დატვირთვების და ქაბეების დამოკიდებულების ცხრილი**

№ №	AID-02-ს №	ელექტრ ოტენზო მეტრის №	14364კვ	13300კვ	11970კვ	10108კვ	7980კვ	6118კვ	4788კვ	3990კვ	2926კვ	2394კვ	1596კვ	798კვ	0კვ
1	I-1	1	251.5	251.4	251.4	251.35	251.4	251.3	2,51,3	251.3	251.3	251.2	251.2	251.1	251.1
2	I-2	2	304.0	304.0	304	303.9	303.9	303.8	303.7	303.7	303.6	303.5	303.5	303.4	303.4
3	I-3	3	253.1	253.3	253.3	253.4	253.6	253.7	253.9	253.9	254	254.2	254.5	254.8	255
4	I-4	4	334.7	334.8	334.9	335	335.2	335.3	335.5	335.5	335.7	335.8	335.9	336	336.1
5	I-5	5	253.3	253.3	253.3	253.4	253.4	253.4	253.5	253.5	253.6	253.6	253.6	253.7	253.7
6	I-6	6	300.4	300.4	300.4	300.4	300.5	300.5	300.5	300.5	300.6	300.6	300.6	300.7	300.7
7	I-7	7	249.6	250.0	250.1	250.3	250.4	250.6	250.9	251.1	251.4	251.6	251.8	252.3	252.7
8	I-8	8	247.6	248.1	248.5	248.9	249.3	249.7	250.0	250.2	250.6	250.9	251.3	251.6	251.9
9	I-9	9	253.5	253.5	253.3	253.1	252.8	252.6	252.1	252.1	251.9	251.7	251.6	251.5	251.3
10	I-10	10	305.3	305.4	305.3	305.1	304.9	304.7	304.3	303.9	303.6	303.2	302.9	302.6	302.4
11	I-11	11	302.6	302.5	302.5	302.5	302.5	302.5	302.3	302.3	302.3	302.3	302.2	302.2	302.2
12	I-12	12	298.6	298.4	298.4	298.4	298.4	298.4	298.4	298.4	298.4	298.4	298.4	298.4	298.4
13	I-13	13	300.5	300.4	300.5	300.6	300.7	300.9	300.9	301.1	301.3	301.5	301.5	301.5	301.5
14	I-14	14	254.0	253.9	253.8	253.7	253.7	253.6	253.6	253.6	253.6	253.5	253.5	253.5	253.4
15	I-15	15	317.5	317.4	317.4	317.1	316.8	316.6	316.2	316	315.6	315.3	315	314.9	314.7



16	I-16	16	339.4	339.4	339.4	339.4	339.4	339.4	339.4	339.2	339.2	339	339.0	338.8	338.8
17	I-17	17	305.7	305.7	305.5	305.5	305.3	305.3	305.1	305.1	304.9	304.8	304.6	304.4	304
18	I-18	18	303.2	303.2	303.2	303.2	303.3	303.3	303.3	303.3	303.5	303.5	303.7	303.7	303.8
19	II-1	19	306.3	306.3	306.2	306.3	306.4	306.5	306.7	306.7	306.9	307	307.1	307.2	307.4
20	II-2	20	307.4	307.4	307.2	307.2	307.1	307	307.0	306.9	306.9	306.8	306.6	306.6	306.5
21	II-3	21	298.2	298.1	298.2	298.5	298.9	299.4	299.9	300.5	301.1	301.4	301.7	301.9	302.1
22	II-4	22	298.8	299.1	299.4	299.9	300.2	300.7	300.9	301.3	301.8	302.2	302.5	302.9	303.2
23	II-5	23	332.7	328.5	327.8	327.2	326.5	325.4	324.1	323	322.3	321	320.2	319.1	318.5
24	II-6	24	308.2	307.8	307.5	307.2	306.8	306.6	306.2	306.1	306	305.9	305.8	305.7	305.4
25	II-7	25	301.1	301.3	301.3	301.3	301.3	301.4	301.4	301.4	301.4	301.4	301.5	301.5	301.5
26	II-8	26	306	306.4	306.4	306.5	306.6	306.8	306.8	306.8	307	307.2	307.2	307.4	307.5
27	II-9	27	361.1	361.3	361.2	361.1	361.1	360.8	360.7	360.4	360.2	359.8	359.6	359.3	359
28	II-10	28	305.2	305.1	304.9	304.7	304.6	304.2	303.8	303.7	303.6	303.4	303.2	303	302.8
29	II-11	29	301.0	301.5	301.5	301.6	301.7	301.7	301.8	301.9	302	302	302.2	302.3	302.4
30	II-12	30	303.2	303.4	303.4	303.5	303.7	303.7	303.7	303.8	303.9	304	304.1	304.2	304.2
31	II-17	31	340.8	341.3	341.5	341.7	342.1	342.6	342.9	343.2	343.8	344.4	344.9	345.2	345.7
32	II-13	32	301.2	301.5	301.6	301.8	302	302.2	302.6	302.6	302.8	302.9	303	303.1	303.4
33	II-14	33	341.2	341.2	341.1	341	341	341	341	340.9	340.9	340.9	340.8	340.8	340.8
34	II-15	34	339.9	339.9	339.8	339.8	339.8	339.8	339.6	339.5	339.5	339.3	339.2	339.1	339
35	II-16	35	339.8	339.4	339.7	340.2	340.5	34.8	341.1	341.6	341.6	341.8	341.9	342.1	342.2

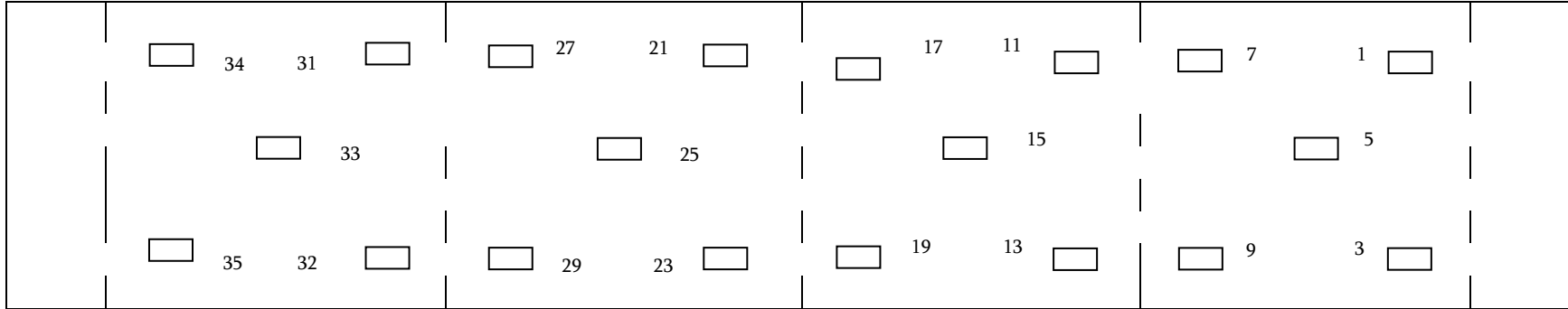
დატვირთვისას ინდიკატორების მაჩვენებლების ცხრილი

№№	ინდიკატორის №	0კპ	798კპ	1596კპ	2394კპ	2926კპ	3990კპ	4788კპ	6118კპ	7980კპ	10108კპ	11970კპ	13300კპ	14364კპ	15960კპ
1	1	0.0	0.00	0.00	0.15	0.24	0.28	0.29	0.95	1.12	1.35	1.52	1.67	1.82	1.91
2	2	0.00	0.00	0.00	0.23	0.34	0.53	0.70	0.89	1.05	1.26	1.49	1.70	1.75	1.82
3	3	0.00	0.25	0.50	0.58	0.95	1.40	1.68	2.20	2.78	3.60	4.35	5.25	5.73	6.30
4	4	0.00	0.38	0.62	0.7	1.08	1.42	1.75	2.15	2.65	3.52	4.05	5.20	5.75	6.28
5	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.04	0.05	0.06	0.12	0.13	0.14	0.16
6	6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.04	0.06	0.10	0.10	0.11	0.13
7	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.14
8	8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.09	0.10	0.13	0.18	0.19	0.21	0.23
9	9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	0.07
10	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.10	0.12	0.14	0.18	0.21
11	11	0.00	0.42	0.80	1.10	1.45	1.85	2.20	2.73	3.31	3.92	4.30	4.85	5.45	5.80
12	მაქსიმუმის ჩაღუნვების ზომი	0.00	0.45	0.90	1.10	1.40	1.82	2.15	2.60	3.30	4.02	4.35	4.91	5.52	5.98
13	სარტყელზე №1	0.00	0.00	0.08	0.11	0.13	0.17	0.20	0.25	0.28	0.35	0.42	0.48	0.56	0.75
14	სარტყელზე №2	0.00	0.00	0.00	0.02	0.05	0.07	0.08	0.11	0.13	0.17	0.21	0.26	0.31	0.35

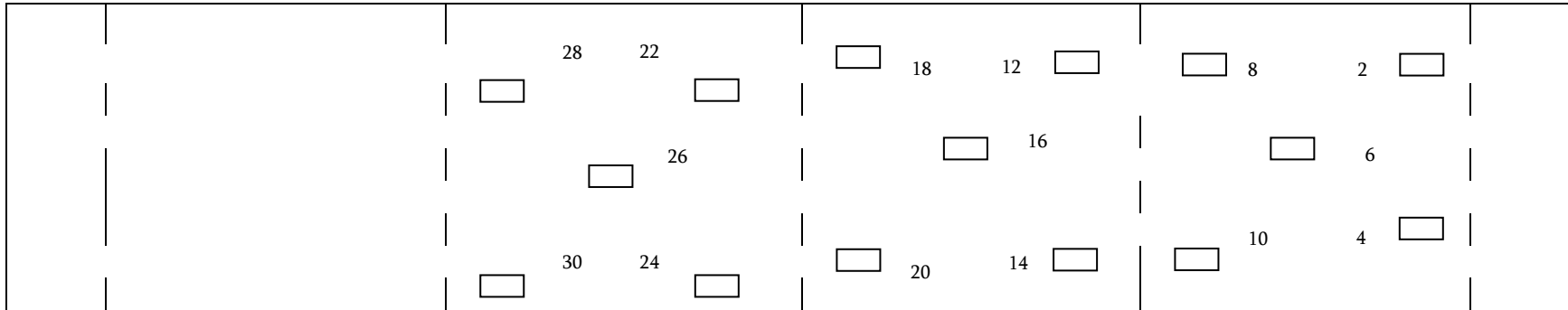
განტვირთვისას ინდიკატორების მაჩვენებლების ცხრილი

№№	ინდიკატორის №	14364კბ	13300კბ	11970კბ	10108კბ	7980კბ	6118კბ	4788კბ	3990კბ	2926კბ	2394კბ	1596კბ	798კბ	0კბ
1	1	1.83	1.69	1.53	1.37	1.13	0.97	0.30	0.29	0.25	0.16	0.05	0.04	0.02
2	2	1.76	1.71	1.52	1.28	1.07	0.91	0.73	0.54	0.35	0.25	0.09	0.07	0.03
3	3	5.74	5.26	4.36	3.62	2.80	2.22	1.70	1.41	0.96	0.59	0.52	0.27	0.03
4	4	5.76	5.21	4.05	3.53	2.67	2.17	1.76	1.43	1.09	0.71	0.63	0.38	0.05
5	5	0.14	0.13	0.12	0.08	0.06	0.04	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
6	6	0.11	0.11	0.1	0.08	0.05	0.04	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	7	0.11	0.11	0.09	0.08	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
8	8	0.22	0.20	0.19	0.15	0.12	0.10	0.09	0.08	0.06	0.04	0.02	0.00	0.00
9	9	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	10	0.20	0.16	0.04	0.12	0.08	0.06	0.04	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
11	11	5.46	4.90	4.33	3.95	3.32	2.74	2.22	1.87	1.48	1.12	0.83	0.42	0.24
12	მაქსიმუმის ჩაღუნვების ზომი	5.55	5.1	4.42	4.08	3.35	2.67	1.90	1.86	1.48	1.18	1	0.52	0.3
13	სარტყელზე №1	0.57	0.5	0.43	0.36	0.3	0.27	0.2	0.19	0.14	0.12	0.09	0.02	0.01
14	სარტყელზე №2	0.32	0.28	0.22	0.15	0.10	0.09	0.06	0.04	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00

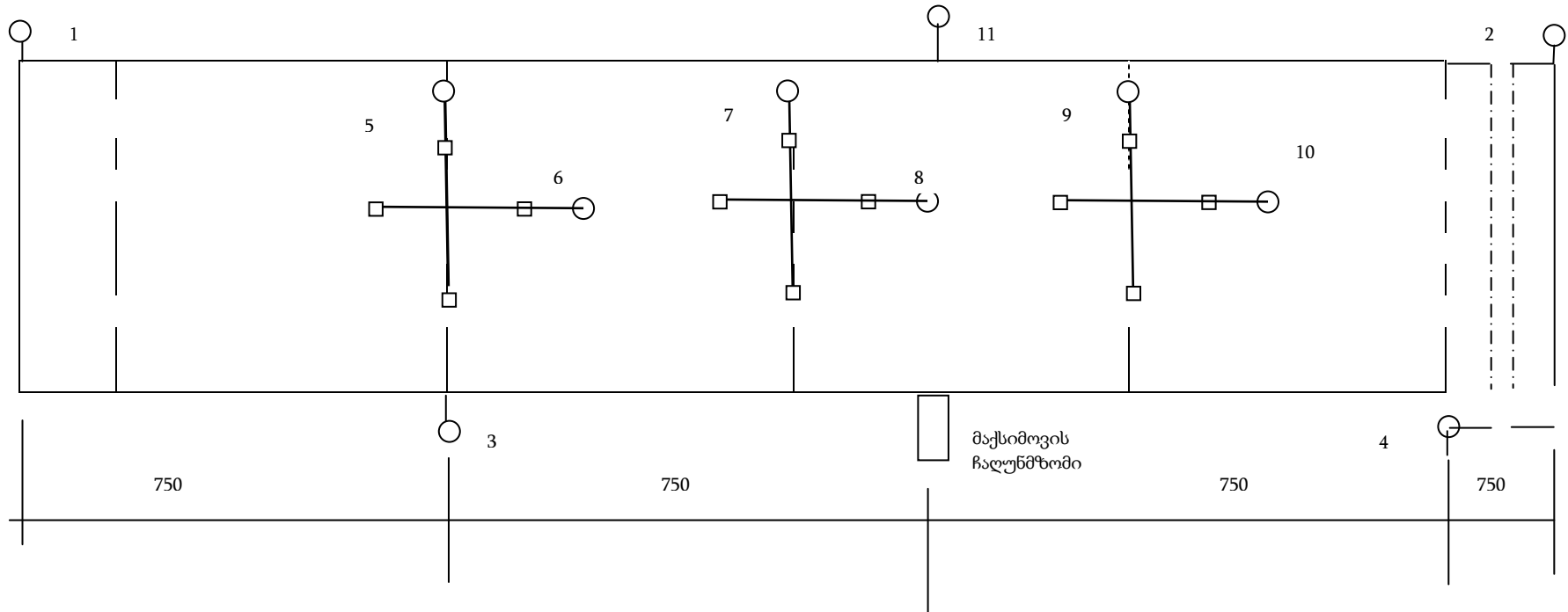
ტენზომეტრების განლაგების სქემა (წინა მხარე)



ტენზომეტრების განლაგების სქემა (უკანა მხარე)



ინდიკატორების განლაგების სქემა



## ძირითადი დასკვნები:

1. ჩატარდა ლითონის შედგენილი გოფრირებულ კედლიანი ორტესებრი კოჭის სიმტკიცეზე და სიხისტეზე შემოწმება. ანალიზმა გვიჩვენა, რომ მასალის ხარჯის მიხედვით გოფრირებულ კედლიანი კოჭი 16,2% ეკონომიურია გაგლინულ კოჭთან შედარებით;
2. თხელკედლიან კოჭებში ნაკვეთურებს შორის კრიტიკული მუშაობის სტადიაში კედელზე ვითარდება ამობურცული ზონები ნაკვეცების წარმოქმნით. ჩვენს შემთხვევაში ექსპერიმენტის მიმდინარეობის დროს არ აღინიშნებოდა ამობურცული ზონები ან ნაკვეცები. ე.ი. დამოკიდებულება ძაბვებსა და დეფორმაციებს შორის იყო წრფივი;
3. გოფრირების ტალღის სიმაღლის  $f$  გაზრდით და ტალღის სიგრძის  $a$  შემცირებით, შესაბამისად კოჭის ამტანუნარიანობა და სიხისტე გაიზრდება. გრეხვაზე მუშაობის შემთხვევაში შესამჩვევად გაიზრდება კოჭის სიხისტე გრეხვაზეც;
4. განივი სიხისტის წიბოების რაოდენობის შემცირებით და შესაბამისად კედელზე ვერტიკალური ნაკერების სიგრძის შემცირებით მიიღება შრომის დანახარჯების  $15\pm 20\%$ -ით შემცირება.

## გამოყენებული ლიტერატურა

1. ა. რაზმაძე. “ლითონის კონსტრუქციები”. გამომცემლობა “განათლება” თბილისი 1970 წ;
2. გ. მხილაძე, ო. ფაღავა. “ლითონის კონსტრუქციები”. გამომცემლობა “განათლება” თბილისი 1986 წ;
3. ვ. თარხნიშვილი, თ. გიორგაძე, კ. იაშვილი, ო. ხაზარაძე. “ნაეთობისა და გაზის მილსადენების და საცავეების ლითონთა კონსტრუქციები”. ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი 2009წ;
4. ვ. ჯავახიშვილი. “სამშენებლო კონსტრუქციები”. თბილისი 1976წ;
5. დ. დანელია, ა. კვარაცხელია, ზ. მაძალუა. “მასალათა გამძლეობა”. ტექნიკური უნივერსიტეტი. თბილისი 2007წ;
6. ვ. ჯავახიშვილი. “შენობებისა და ნაგებობათა კონსტრუქციები”. განათლება 1981წ;
7. რ. ბიძინაშვილი. “ლითონის კოჭოვანი უჯრედის გაანგარიშება და დაპროექტება”. თბილისი 1993წ;
8. რ. კოკოშაშვილი. “ლითონის კონსტრუქციები”. თბილისი 1990წ;
9. მ. ქარცივაძე. “სეისმედეგი მშენებლობა”. განათლება თბილისი 1979წ;
10. ა. კაკუშაძე. “დრეკადობის და პლასტიკურობის თეორია”. გამომცემლობა “ცოდნა” თბილისი 1958წ;
11. სამშენებლო განმარტებითი ლექსიკონი პროფესორ თ. ხმელიძის რედაქციით. ონლაინ- ვერსია. სტუ, თბილისი 2015წ;
12. თ. მელქაძე, ო. მდივნიშვილი, ო. ტაველიშვილი. “საგანგებო სიტუაციები და სამოქალაქო თავდაცვა”. გამომცემლობა “მერიდიანი”. თბილისი 2001წ;
13. ი. ვერულავა, ნ.თოდუა, დ. ჯალაღანია. “სამშენებლო კონსტრუქციების სიმტკიცეზე გაანგარიშების ამოცანები სასრულ ელემენტთა მეთოდით (კომპლექსი “ლირა”) სტუ. თბილისი 1996წ;
14. რ. ბიძინაშვილი, ო. ხაზარაძე. მეთოდური მითითებანი საკურსო პროექტის შესასრულებლად ლითონის კონსტრუქციებში

- სამრეწველო და სამოქალაქო მშენებლობის სტუდენტებისათვის.  
სტუ, თბილისი 1990წ;
15. ნ. ნინუა. რკინაბეტონის კონსტრუქციები. თბილისი, განათლება 1988წ;
  16. სამშენებლო ნორმები და წესები. “ სეისმომდებელი მშენებლობა”. (პნ 01-01-09);
  17. ა. სარალიძე, გ. გაჩეჩილაძე. სწორი დეროების გრეხვა. თბილისი 1983 წ;
  18. თ. ხმელიძე. ხის კონსტრუქციები. თბილისი 2015წ;
  19. ლ. კახიანი, ჯ. ესაიაშვილი, ლ. ბალანჩივაძე, ა. ლებანიძე. მეთოდური მითითებები მრავალსართულიანი რკინაბეტონის კარკსული შენობის გაანგარიშება. თბილისი. სტუ. 2010წ;
  20. Беления Е. И. и др. «Металлические конструкций». Москва, 1986 г,
  21. А. А. Василев «Металлические конструкций». Москва, Стройиздат 1979 г,
  22. Строительные нормы и правила. СНИП II-23-81, часть II глава 23, Москва 1990г,
  23. Н. М. Мельников «Металлические конструкций». Справочник проектировщика. Москва, Стройиздат 1980 г,
  24. А.А. Нилов, В. А. Пермяков, А. Я. Прицкер. Стальные конструкции производственных зданий. Справочник. Киев, «Будвельник», 1986г,
  25. А. П. Мандриков, И. М. Лялин. Проектирование Металлических конструкций. 1973г,
  26. А. П. Мандриков, И. М. Лялин. Примеры расчета Металлических конструкций. Москва, Стройиздат 1982г,
  27. А. М. Михайлов. Металлических конструкций. Москва, Стройиздат 1976г,
  28. К. К. Муханов. Металлические конструкции, 1978г,
  29. Я. М. Лихтарников, Д. В. Ладыженский, В. М. Кликов. Расчет стальных конструкций. Справочное пособие Киев 1984г,
  30. И. И. Улицкий., С. А. Ривкин и др. Железобетонные Конструкции. Издательство «Будвельник», Киев, 1973г,
  31. В. И. Красиков. «Испытания строительных конструкций». Москва. 1952г,
  32. Н. А. Крылов, К. А. Глуховский. Испытание конструкций сооружений, Ленинград 1970г,



33. В. В. Горев, Б. Ю. Уваров и др. «Металлические конструкции». Москва, Высшая школа, 2001 г,
34. Строительные конструкции. Под редакцией А. М. Овечкина, Р. А. Маляна Москва, Стройиздат 1974 г,
35. В. И. Трофимов, С. В. Тарановский, Ю. М. Дукарский. Алюминиевые конструкции в промышленном строительстве, Москва Стройиздат 1973г,
36. Г. А. Балалаев, В. М. Медведев, Н. А. Мощанский. Защита Строительных конструкций от коррозии. Москва 1966г,
37. Мельников Н. П. Зелятров В. Н. Выбор сталей для строительных металлических конструкций. Москва, Стройиздат 1967г,
38. Металлические Конструкций. Специальный Курс. Под ред. Е. И. Беления М. 1 Стройиздат 1976г,
39. Мельников Н. П. Развитие металлических конструкций. М. Стройиздат 1965г,
40. Тахтамышев А. Г. Примеры расчета стальных конструкции. 2-е изд. М. Стройиздат 1978г,
41. СНиП II-7-85 Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования. М. Стройиздат 2010г