

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ვახტანგ ტურაშვილი

სამრეწველო შენობების განივი ჩარჩოს  
(ღუნვადი ელემენტების) გაანგარიშების  
თავისებურებები

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად წარმოდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა „მშენებლობა“ შიფრი 0406

თბილისი,

2016 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში,

სამშენებლო ფაკულტეტზე, სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის  
102 დეპარტამენტში

ხელმძღვანელი: ასოცირებული პროფესორი ომარ ხაზარაძე

რეცენზენტები: პროფესორი შახი ბაქანიძე

აკადემიური დოქტორი ვიტალი დვალიშვილი

დაცვა შედგება 2016 წლის "12" თებერვალს, 15<sup>00</sup> საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო  
ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის  
სხდომაზე, კორპუსი I, აუდიტორია 507ა  
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,  
ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი, პროფესორი დემური ტაბატაძე

**ნაშრომის ზოგადი დახასიათება**

*თემის აქტუალობა* ლითონის კონსტრუქციების გაანგარიშების არსებული მეთოდების სრულყოფა და მათი გადაჭრის ახალი გზების ძიება, რომელიც უზრუნველყოფს თავის მხრივ ლითონის კონსტრუქციის საიმედოობას, სიმტკიცეს, მდგრადობას, სიხისტეს, ხანმედეგობას. საჭიროა შევისწავლოთ გამოყენებული მასალის-ფოლადის სიმტკიცისა და დეფორმაციულობის მახასიათებლების ბოლომდე გამოიყენება, რაც გარანტიას წარმოადგენს შენობა-ნაგებობების ოპტიმალური დაპროექტებისათვის. ოპტიმალური დაპროექტებით მცირდება კონსტრუქციის ღირებულება და მასალის 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 ეს 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 განიციდის მუდმივ განახლება-ცვლილებას, თუმცა მთავარი მიდგომა რჩება უცვლელი.

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

ზემოთ აღწერილი მდგომარეობა ართულებს ზოგადად ზღვრული მდგომარეობათა მეთოდით შედგენილი გოფრირებულკედლიანი ორტესებრი კოჭის

დაპროექტებასა და მშენებლობაში მის დანერგვას, ამიტომ მნიშვნელოვანია ისეთი მეთოდოლოგიის დამუშავება, რომელიც აღნიშნული კონსტრუქციის განხორციელების საშუალებას მოგვცემს საქართველოს სპეციფიკური პირობების სეისმურად აქტიური რაიონის გათვალისწინებით. ძალზე აქტუალურია დაზუსტდეს გოფრირებულკედლიანი 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. გოფრირებულკედლიანი კოჭის საანგარიშო სქემის ანალიზი და გაანგარიშების მეთოდის შეფასება ზღვრული ძალების მოქმედებისას კვეთში სხვადასხვა ფაქტორების გათვალისწინებით;
2. შედგენილი ორტესებრი გოფრირებულკედლიანი კოჭის განიკვეთში დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის შეფასება ექსპერიმენტული კვლევის საფუძველზე, კვეთში განვითარებულ ძაბვებსა და დეფორმაციაზე სიხისტის მაჩვენებლის გათვალისწინებით.

**მეცნიერული სიახლე:** ნაშრომში განხილულია ლითონის გოფრირებულკედლიანი ორტესებრი კოჭის სიმტკიცეზე გაანგარიშების არსებული მეთოდები, რომელთა ანალიზის საფუძველზე შემუშავდა რეკომენდაციები:

1. ექსპერიმენტალური კვლევისათვის შეირჩა ლითონის შედგენილი ორტესებრი გოფრირებულკედლიანი 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.

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

შემოთავაზებული კონსტრუქციის რეალიზაციისას უზრუნველყოფილი იქნება ელემენტების დამზადება და გამარტივებული მონტაჟი, შემცირდება მასალის ხარჯი და მშენებლობის ხანგრძლივობა. ამალდება 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) გაანაგრიშების თავისებურებანი”, სტუ-ს 83-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე. თეზისების კრებული, “ტექნიკური უნივერსიტეტი”, თბილისი, 2015 წ.

#### *ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა.*

ნაშრომის სრული მოცულობა 135 გვერდია, მოიცავს შესავალს, ექვს თავს, ძირითად დასკვნებსა და ციტირებულ ლიტერატურას, რომელიც 41 დასახელებისაგან შედგება.

### **ნაშრომის შინაარსი**

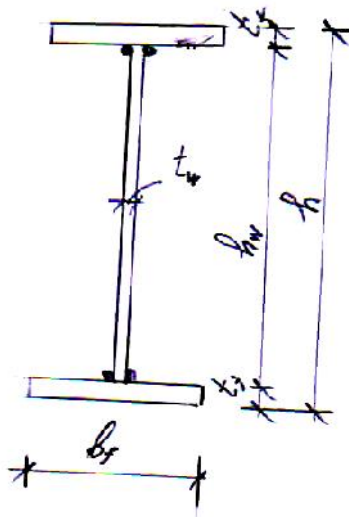
შესავალში წარმოდგენილია თემის აქტუალობა, მეცნიერული სიახლე და ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება.

**პირველ თავი** – განხილულია ლითონის შედგენილი კოჭების გამოყენების სფერო სამოქალაქო, სამრეწველო და საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობების კონსტრუქციებში: ხიდებში, ესტაკადებში, ჰიდროტექნიკური ნაგებობების კონსტრუქციებში, ამწევევმა კოჭებში და სხვა. მშენებლობაში დიდი გამოყენება აქვთ ორტესებრი შედგენილი განივი კვეთების კოჭებს (ნახ. 1) 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:

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

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

შედგენილი შედუღებული ორტესებრი კოჭების განივი კვეთების ეკონომიკური ეფექტი მჭიდროდაა დაკავშირებული მათ თხელკედლიანობასთან. ამრიგად მეცნიერებმა შექმნეს მთელი რიგი კონსტრუქციული ფორმები და მათი გამოყენება იძლევა საგრძნობ ეკონომიკურ ეფექტს. გაგნილული პროფილის თხელკედლიანობა შეზღუდულია არა მარტო კედლის ადგილობრივი მდგრადობის უზრუნველყოფის მოთხოვნით, არამედ ქარხანაში პროფილის გაგნილვის ტექნოლოგიური შესაძლებლობებით. შედგენილ კვეთებში ეს საკითხი შედარებით იოლად წყდება. ადგილობრივი მდგრადობა შეიძლება ამალდეს კონსტრუქციული ხერხებით: სიხისტის წიბოების მოწყობით, კედლის პორფირებით, კედლის გოფირებით და სხვა.



ნახ. 1 შედგენილი შედუღებული ორტესებრი კოჭი

შედგენილი განივკვეთის მქონე შედუღებული კოჭების განივკვეთის შერჩევასა მოცემული დატვირთვებისა და ჩალუნვის 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. არსებული მეთოდით გარკვეულ ობიექტურ სიძნელეებთანაა 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.

$h$ -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  $t_f$ .

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. 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.

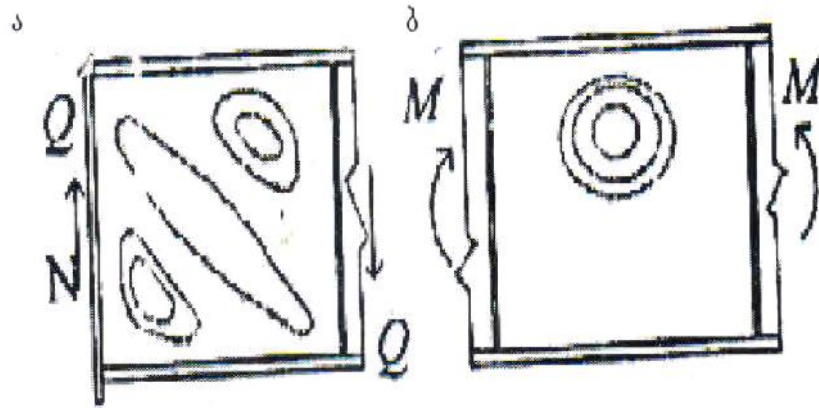
**მეორე თავში** განხილულია მოქნილკედლიანი (თხელკედლიანი) კოჭების მუშაობის თავისებურებები.

ღუნვაზე მუშაობის პირობებში თხელკედლიანი კოჭის გამოყენება მიზანშეწონილია სტატიკური დროებითი დატვირთვების მოქმედების დროსაც.

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. 2).





ნახ. 2 კედლის მდგრადობის დაკარგვის ფორმები: ა – სუფთა ძვრის დროს, ბ – სუფთა ღუნვის დროს.

მესამე სტადიაში ვითარდებიან პლასტიკური დეფორმაციები კედელში და სარტყლებში. იზრდება კოჭის ჩაღუნვა. სტადიის ბოლოს ჩაღუნვის ინტენსივობა სწრაფად მატულობს და კოჭის მალის 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.

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 მიდუღებულია კედელზე – ორმხრივად და ცალმხრივად.

თხელკედლიან კოჭებში სარტყლები მუშაობენ არა მარტო კუმშვაზე, არამედ ღუნვაზეც, კედლის დაჭიმულობის გამო. ამიტომ, მიზანშეწონილია სარტყლის განივი კვეთები იყოს ისეთი, რომელთაც ექნებათ ღუნვისა და გრეხვის მიმართ დიდი სიხისტე.

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

მოქნილი კედლის ამობურცული ნაწილი პრაქტიკულად გამოთიშულია მუშაობიდან უკვე დეფორმირების დრეკად სტადიაში და ნორმალური ძაბვების ეპიურა კვეთში ახლოსაა ნაჩვენებ ეპიურასთან. ზღვრულ მდგომარეობაში ძაბვები სარტყლებში აღწევენ დენადობის ზღვარს  $\sigma_y$ . ნორმალური ძაბვების შესახებ სავსებით საკმარისია, რათა განისაზღვროს კოჭის განივკვეთში ზღვრული მღუნავი მომენტები. თუ კედლის შეკუმშული ზონისათვის, ისე როგორც არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტებისათვის ავიღებთ, რომ

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

შეგვიძლია ჩავწეროთ ზღვრული მომენტის საერთო ფორმულა სუფთა ღუნვის შემთხვევაში:

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

სადაც

$R_y$  – მასალის საანგარიშო წინაღობაა;

$E$  – მასალის დრეკადობის მოდული;

$t_w$  – კედლის სისქე;

$h_w$  – კედლის სიმაღლე;

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

$A_f$  – კოჭის განივკვეთის ფართი.

ზღვრული განივი ძალა კოჭის საანგარიშო ფრაგმენტში შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

$$Q_u = R_s t_w h_w \left[ \mu_{cr} / R_s + 3,3 \left( 1 - \mu_{cr} / R_s \right) \mu_{cr} / \left( 1 + \mu_{cr}^2 \right) \right] \quad (4)$$

$\mu_{cr}$  – კოჭის ფრაგმენტის დიდი გვერდის ფარდობა მოკლე გვერდთან.

$R_s$  – მასალის საანგარიშო წინაღობა ჭრახე.

$u = \left[ 1 - 5,6 A_f \cdot h_w / (A_w \cdot \ell) \right]$  – კოჭის მზიდუნარიანობის შემამცირებელი კოეფიციენტი.

კოჭის ფრაგმენტი, რომელიც ერთდროულად განიცდის ღუნვასა და ძვრას სიმტკიცეზე შეიძლება შემოწმდეს ფორმულით:

$$(M / M_u)^4 + (Q / Q_u)^4 \leq 1 \quad (5)$$

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

$M_u$  და  $Q_u$  ზღვრული მდუნავი მომენტი და განივი ძალა.

უპირველესად აუცილებელია სიმტკიცეზე შემოწმდეს კოჭის ის ფრაგმენტები, რომლებიც მოქმედებენ მაქსიმალური მდუნავი მომენტები და განივი ძალები.

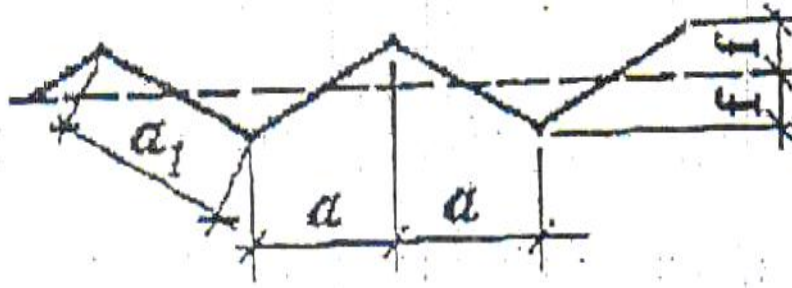
მოქნილკედლიანი კოჭის საერთო მდგრადობის უზრუნველყოფის საერთო პირობა იგივეა, როგორც ჩვეულებრივ კოჭებში.

**მესამე თავში** განხილულია შედგენილი ორტესებრი კოჭი გოფრირებული კედლით. ორტესებრ კოჭებში მასალის ხარჯის შემცირების ერთ-ერთი საშუალება არის შვეული კედლის გოფრირება.

შვეული გოფრირებული კედლის სისქეს იღებენ (2÷8) მმ-მდე, ეს საკმაოდ თხელი ფურცელია, რომელიც გვამლევს მთელი რიგი უპირატესობის მიღწევას მოქნილკედლიან კოჭებთან შედარებით.

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

გოფრირებულ კედლიანი კოჭის კონსტრუქციული სქემის შერჩევასა მხედველობაში მიიღება დამზადების ტექნოლოგიური მოთხოვნები. შედარებით მარტივი და დამზადების მიხედვით ტექნოლოგიურია კედლები სამკუთხა გოფრირებით. გოფრირებულ კედლიანი კოჭები მზადდება ლითონის კონსტრუქციების ქარხნებში, რომლებიც აღჭურვილნი არიან სპეციალური წნეხებით გოფრირებისათვის და სტენდებით სარტყელთან შეერთების შედუღების ნაკერის განსახორციელებლად.



ნახ. 3 კედელი სამკუთხა გოფრირებით

კოჭები გოფრირებული კედლით უფრო ხანგრძლივად მუშაობენ დრეკად სტადიაში, ვიდრე კოჭები იგივე სისიქის მოქნილი კედლით. გოფრირებულკედლიანი კოჭის თაროები კარგად მუშაობენ, რადგან ისინი არ განიცდიან ღუნვას კედლის სიბრტყეში.

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  $\frac{f}{t_w}$

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

განვიხილოთ გოფრირებულკედლიანი კოჭების გაანგარიშების საკითხები. გოფრირებული კედლის თაროსთან (სარტყელთან) შეერთების ზონაში ნორმალური ძაბვები ( $\sigma_x$ ) იგივეა, რაც ნორმალური ძაბვების ( $\sigma_x$ ) ეპიურა თხელკედლიანი კოჭის შეკუმშულ ზონაში როდესაც ღუნვაზე მუშაობენ მხოლოდ თაროები. ამრიგად, სიმტკიცის პირობა კოჭის ღუნვაზე მუშაობისას შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგნაირად:

$$\dagger = \frac{M}{h} \cdot A_f \leq R_y \cdot X_c \quad (6)$$

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:

$$\ddagger = \frac{Q}{t_w \cdot h_w} \leq R_s \cdot \gamma_c \quad (7)$$

სადაც  $Q$  – არის განივი ძალა;

$R_s$  – არის მასალის საანგარიშო წინაღობა ჭრაზე.

გოფრირებულკედლიანი კოჭების სიხისტეზე გაანგარიშების დროს აუცილებელია გავითვალისწინოთ ძვრის დეფორმაციების გავლენა. ჩალუნვა კოჭის მალის შუაში განისაზღვრება მორის ფორმულით:

$$f = \int_1 \frac{M_1 \cdot M_p \cdot d_x}{E \mathfrak{I}_f} + \int_1 \frac{Q_1 \cdot Q_p \cdot d_x}{GA_w} \quad (8)$$

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;

$G$  – არის ძვრის დრეკადობის მოდული.

განსაკუთრებული თავისებურებებით ხასიათდება გოფრირებულკედლიანი კოჭების გაანგარიშება კედლის ადგილობრივ მდგრადობაზე. კედელი კარგავს მდგრადობას გოფრის ერთ ნახევარტალღაზე ან რამდენიმე გოფრის ფარგლებში.

გოფრირებული კედლის მდგრადობის ძვრაზე ამოწმებენ პირობით:

$$\frac{\ddagger}{\ddagger_{cr}} \leq \gamma_c \quad (9)$$

სადაც  $\ddagger_{cr} = \frac{K_r \cdot R_s}{\gamma_w^2}$  - კრიტიკული ძაბვა გოფრირებული ფირფიტისათვის ძვრაზე;

$K_r$  – კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია პარამეტრებზე  $\frac{f}{a}$  და  $\frac{f}{t_w}$ .

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

$$\ddagger_{crloc} = 8,3 \left( 1 + \frac{0,76}{\sim^2} \right) \frac{R_s}{\gamma_w^2} \cdot \sim^2$$

(10)

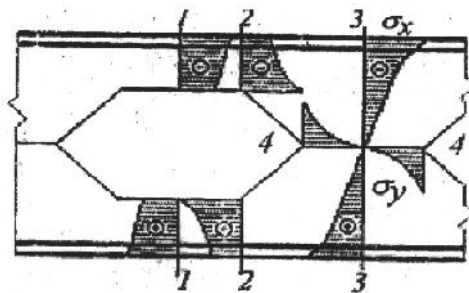
სადაც  $\sim = \frac{h_w}{a_1} a_1$  – ფორფიტის მოკლე გვერდი.

იმის გამო, რომ გოფრის მდგრადობის დაკარგვამ შეიძლება გამოიწვიოს კედლის საერთო მდგრადობის დაკარგვა, გოფრის ზომა აღებული უნდა იქნეს გარკვეული მარაგით.

გოფრირებულკედლიანი კოჭების შეკუმშული სარტყელები მუშაობენ უკეთეს პირობებში, ვიდრე ჩვეულებრივი კოჭის სარტყელები.

**მეოთხე თავში** განხილულია პერფორირებულ კედლიანი კოჭები. ფოლადის ეფექტურად გამოყენების იდეამ ინჟინრები მიიყვანა ორიგინალურ იდეამდე, რომელიც მდგომარეობს შემდეგში: გაგნილული ორტესებრი ან შველერის კედელი იჭრება თანაბარი ბიჯით ტეხილი ხაზის ანალოგიურად. მნიშვნელოვნად იზრდება კვეთის გეომეტრიული მახასიათებლები. შედეგად მივიღეთ კოჭის ორიგინალური კონსტრუქციული ფორმა–კოჭი ხვრეტებიანი კედლით. ასეთ კოჭებში კედლის ცენტრალურ ზონაში, ნაკლებად გამოყენებული ნაწილი ამოვარდნილია მუშაობიდან, რაც კოჭის დანარჩენი ნაწილისათვის არ წარმოადგენს საშიშროებას.

პერფორირებულ კედლიან კოჭებში მასალის ხარჯი 20%-ით ნაკლებია ვიდრე ჩვეულებრივ გაგლინულ კოჭებში.



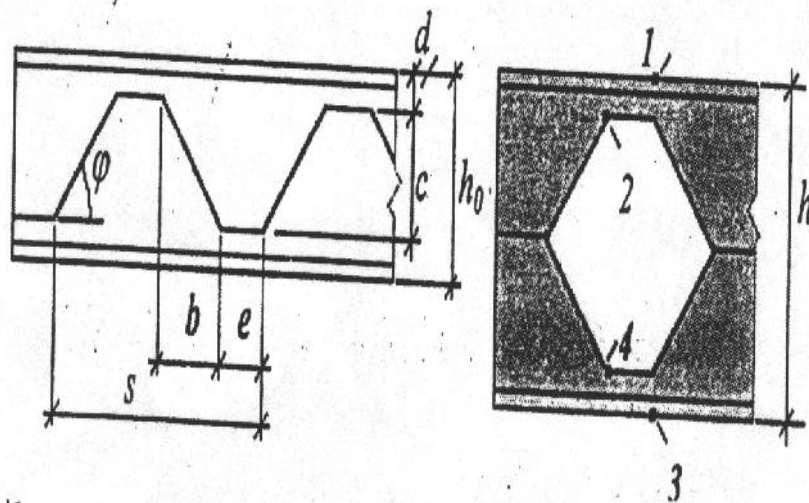
ნახ. 4 ნორმალური დაბევების ეპიურები კოჭის კვეთში

ნორმალური დაბევების ( $\sigma_x$ ) ეპიურის ნაწილობრივი არაწრფივობა შეიჩნევა კედლის მთლიან უბნებზე, ხვრეტებს შორის უბანზე (კ.ვ. 3-3). კოჭის ორი ნახევრის შერთების ადგილზე (კ.ვ. 4-4) თავს იჩენენ ნორმალური დაბევები  $\tau_x$ . ყველაფერი ეს მიუთითებს იმაზე, რომ მრავალკუთხა (ამ შემთხვევაში ექვსკუთხა) ხვრეტის გარშემო არის დაბევების კონცენტრაცია. მასალის პლასტიკურობის მარაგი საკმარისია იმისათვის, რომ დაბევების კონცენტრაციამ კოჭის მზიდუნარიანობაზე არ იქონიოს მნიშვნელოვანი გავლენა. ზღვრული მდგომარეობის დროს მდგრადობა შეიძლება დაიკარგოს ერთ–ერთი სარტყელის კედელმა.

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

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

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



ნახ. 5 ზომების აღნიშვნა და კვეთის მახასიათებელი წერტილები

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:

$$\sigma_1 = \frac{M_{y1}}{I_{x0}} + Q_1 \cdot \frac{e}{(2W_{f1max})} \pm N \cdot \frac{A_{f1}}{A} \leq R_{y1} \cdot \gamma_c \quad (10)$$

$$\sigma_2 = \frac{M_{y2}}{I_{x0}} + Q_1 \cdot \frac{e}{(2W_{f1max})} \pm N \cdot \frac{A_{f1}}{A} \leq R_{u1} \cdot \frac{\gamma_c}{\gamma_u} \quad (11)$$

ქვედა სარტყელში, 3 და 4 წერტილებისათვის

$$\sigma_3 = \frac{M_{y3}}{I_{x0}} + Q_2 \cdot \frac{e}{(2W_{f2max})} \pm N \cdot \frac{A_{f2}}{A} \leq R_{y2} \cdot \gamma_c \quad (12)$$

$$\sigma_4 = \frac{M_{y4}}{I_{x0}} + Q_2 \cdot \frac{e}{(2W_{f2max})} \pm N \cdot \frac{A_{f2}}{A} \leq R_{u2} \cdot \frac{\gamma_c}{\gamma_u} \quad (13)$$

სადაც:  $y_i$  – კვეთის ცენტრალური ღერძიდან თითოეული წერტილის დაცილება შესაბამისად;  $I_{x0}$  – კვეთის ინერციის მომენტი ნახვრეტზე  $Q_1$  და  $Q_2$  – ზედა და ქვედა ტესებრ სარტყლებში განივი ძალები შესაბამისად, 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 შესაბამისად;

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

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

საერთო შეფასებით პერფორირებულკედლიანი კოჭები ხასაითდებიან სხვა ზემოთგანხილულ კოჭებთან შედარებით დამზადების ნაკლები შრომატევადობით და შედარებით ნაკლები სიმაღლით.

**მეხუთე თავში** განხილულია შედგენილი შედუღებული კოჭების გაანგარიშება ზღვრულ მდგომარებათა მეთოდით – ამწყვემა კონსტრუქციები გაანგარიშების მაგალითით.

შედგენილი კოჭის სიამღლე განისაზღვრება ეკონომიკური მოსაზრებით კოჭის მაქსიმალურად დასაშვები ჩაზნექილობით. თანაფარდობა კოჭის სიამღლესა და კედლის სისქეს შორის დიდი გავლენას ახდენს კვეთის ეკონომიურობაზე.

კ. კ. მუხანოვმა გამოიყენა კოჭის ოპტიმალური სიამღლის კედლის მოცემულ მოქნილობაზე დამოკიდებულებით

$$h_{\text{ობ.}} = \sqrt[3]{3} \cdot \sqrt[3]{\frac{W}{2}} \quad (14)$$

სადაც  $\sqrt[3]{\dots}$  –  $h_{\text{ობ.}} / t_{\text{კედ.}}$  კედლის მოქნილობაა.



კოჭის მიღებული ოპტიმალური სიმაღლე წარმოადგენს ყველაზე რაციონალურს, რამდენადაც  $h_{\text{ოპტ.}}$ -გან სიმაღლის გაზრდა გამოიწვევს კოჭზე მასალის ხარჯის მომატებას.

კოჭის სიმაღლის არჩევის შემდეგ კედლის სისქე წარმოადგენს მეორე ძირითად პარამეტრს. კედლის ყველაზე ნაკლები სისქის განსაზღვრისათვის ვისარგებლოთ ნ.გ. ჟურავსკის ფორმულით:

$$\dagger = QS / It_{\text{კედ.}} < R_{\text{კრაზფ.}} \times \lambda \quad (15)$$

სადაც: Q – მაქსიმალური განივი ძალაა;

S – კოჭის ნახევარკვეთის სტატისტიკური მომენტი ნეიტრალურ ღერძთან მიმართებაში;

I – კოჭის კვეთის ინერციის მომენტი;

$t_{\text{კედ.}}$  – კოჭის სისქე;

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

შედგენილი ამქვეშა კოჭის გაანგარიშების დროს ამქვეშა კოჭის განივკვეთის შერჩევისას ვითვალისწინებთ როგორც შვეული, ასევე თარაზული დატვირთვების ზემოქმედებას. შვეულ დატვირთვაზე მუშაობს კოჭის მთელი განივკვეთი. თარაზული ძალების ზემოქმედების დროს კი ვითვალისწინებთ მარტო სარტყლის მუშაობას, რომელზედაც მოდებულად ითვლება განივი და გრძივი დამიხრუჭების ძალები.

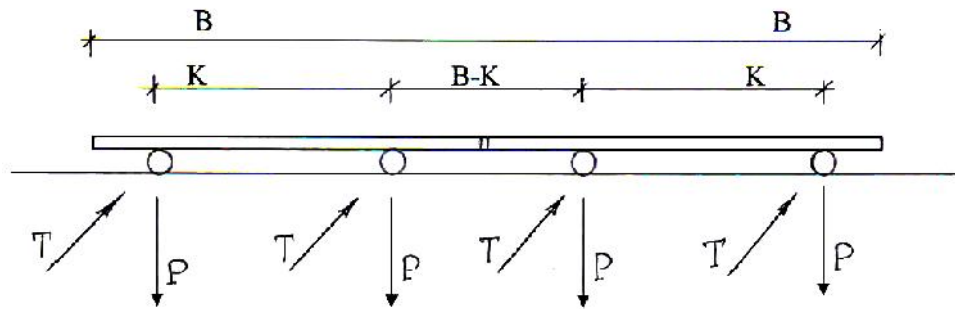
ამქვეშა კოჭზე მოქმედებს ამწეს შვეული დატვირთვები:  $P_s$  – ამწეს ბორბლის დაწოლა, დამუხრუჭების თარაზული ძალები T – განივი დამიხრუჭების ძალა ურუკის დამუხრუჭებით. შვეული დატვირთვები ამქვეშა კოჭიდან გადაეცემა სვეტებს რეაქციების სახით.

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.

ამქვეშა კოჭზე ძალის ზემოქმედების სიდიდე დამოკიდებულია ამწის ტვირთამწეობაზე, ძალზე 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  $P_{მ.ა.ქ.}$  ამწის ბორბლებს შორის მანძილსა და სხვა მონაცემებს ღებულობენ სტანდარტების ამწეს მალისა და ტვირთამწეობის მიხედვით.



ნახ. 6 ორი დაწყვილებული ამწისათვის

საანგარიშო მნიშვნელობები ვერტიკალური და ჰორიზონტალური ძალებისა, რომლებიც გადაეცემიან ამწევემა კოქს გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$P^b = K_{დობ} \cdot \chi_c \cdot n_{შეს} P^6$$

$$T = \chi_c \cdot n_{შეს} P^6$$

სადაც:  $K_{დობ}$  - არის დინამიურობის კოეფიციენტი;

$n_{შეს}=1,0$  – მსუბუქი და საშუალო მუშაობის რეჟიმების ამწეებისათვის;

$\gamma_c=1,1$  – მძიმე მუშაობის რეჟიმის ამწეებისათვის.

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

ფორმულით:

$$T = \frac{f(Q + Q_{eh})n_1/n_1}{n_1}$$

სადაც:  $f$  – არის ხახუნის კოეფიციენტი ურიკის დამუხრუჭების დროს;

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

$$T_{მ.ა.ქ.}^b = 0,1 P_{მ.ა.ქ.}^6$$

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

მღუნავი მომენტებისა განსაზღვრისათვის ამწეები ისე უნდა განვალაგოთ, რომ კოჭის ძალის შუაში მოქმედებდეს თანაბრად მოქმედი ტოლქმედი ძალვა (ვინკლერის წესი).

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

მაქსიმალური მღუნავი მომენტი და განივი ძალა გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

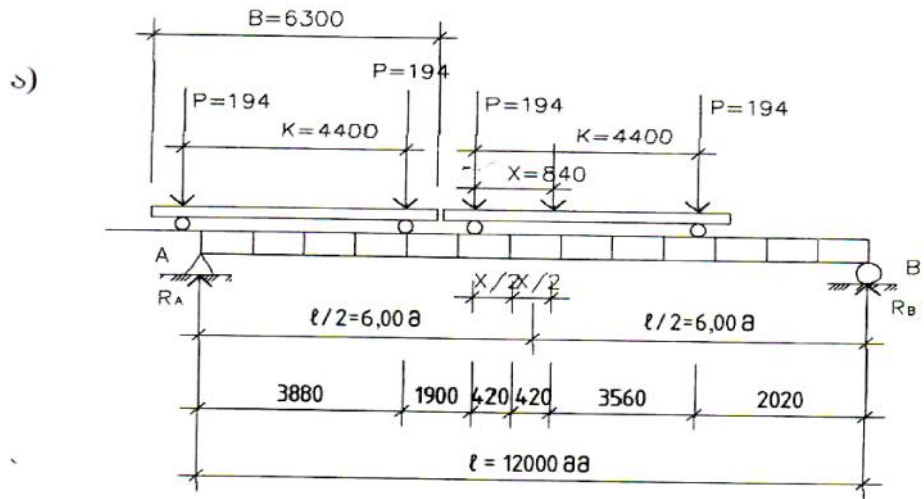
$$M = r_1 \cdot M_{\text{მაქ}} \quad Q = r_1 \cdot Q_{\text{მაქ}}$$

სადაც:  $\alpha_1=1,03$  – ამწქვეშა კოჭებისათვის ძალით –  $L=6,0$  მ,

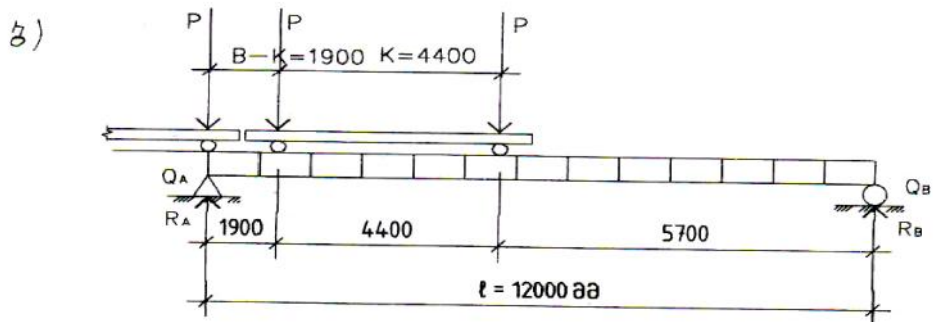
$\alpha_1=1,05$  – ამწქვეშა კოჭებისათვის ძალით –  $L=12,0$  მ,

$\alpha_1=1,08$  – ამწქვეშა კოჭებისათვის ძალით –  $L=18,0$  მ,

განვსაზღვროთ ამწქვეშა კოჭზე მოქმედი ვერტიკალური და ჰორიზონტალური დატვირთვები. გამოვთვალოთ ამ დატვირთვებიდან გამოწვეული მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალის მნიშვნელობები. შევარჩიეთ კოჭის განივკვეთი: კოჭის კედლის სიმაღლე, კედლის სისქე, სარტყელის სიგანე, სარტყელის სისქე. შევამოწმოთ კოჭი სიმტკიცეზე, ადგილობრივ მდგრადობაზე და სიხისტეზე.



ნახ. 7 მაქსიმალური მდუნაფი მომენტის განსაზღვრა



ნახ. 8 მაქსიმალური განივი ძალის განსაზღვრა

სამრეწველო და სამოქალაქო შენობა-ნაგებობების დაპროექტების დროს ითვალისწინებენ განსაკუთრებულ დატვირთვებსა და ზემოქმედებებს, რომლებიც შესაძლებელია გამოწვეული იყოს როგორც ბუნებრივი ასევე ტექნოგენური ხასიათის საგანგებო სიტუაციებისა და მათი დამაზიანებელი ზემოქმედებისაგან.

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

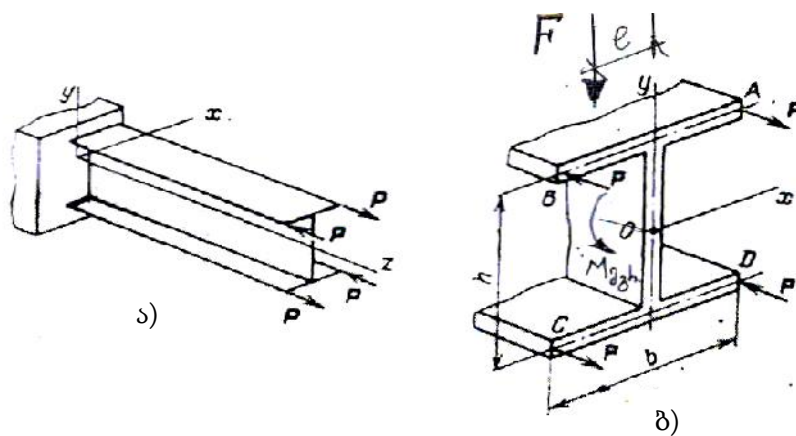
განსაკუთრებული დატვირთვებია სეისმური, ავარიებითა და აფეთქებებით გამოწვეული ზემოქმედებები, ტექნოლოგიური პროცესის დარღვევით ან მოწყობილობათა მწყობრიდან გამოსვლის შედეგად გამოწვეული დატვირთვები და

გრუნტის ცვლილებებით გამოწვეული ფუძის დატვირთვები და გრუნტის ზემოქმედება.

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.

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

ლითონის გოფრირებული კედლით განხორციელებული შედგენილი კოჭის განივკვეთის ოპტიმალური სივრცითი ეფექტურობას განაპირობებს კოჭის კედლის გოფრირებული გავრცობა მისი გრძივი მიმართულებით, რაც საშუალებას იძლევა გაზრდილ იქნეს კოჭის განივკვეთის სუფთა გრეხვაზე 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. 9, რაც დაკავშირებულია მთლიანობაში კოჭის გრეხვაზე წინაღობის ზრდასთან.



ნახ. 9 ერთი ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებული კოჭის საანგარიშო სქემა გრეხვის დროს

მეექვსე თავში განხილულია ჩატარებული ექსპერიმენტული კვლევის მეთოდიკა, რომელიც დაფუძნებული იყო დასახული ამოცანების გადასაწყვეტად. გამოცდა ჩატარდა ლითონის შედგენილი გოფირებულკედლიანი ორტესებრი განივკვეთის შედუღებული ლითონის კოჭზე, რომელიც სამშენებლო ნორმების და წესების მიხედვით იყო გაანგარიშებული და კონსტრუირებული.

წინასწარ შეირჩა ლითონის შედგენილი გოფირებულკედლიანი ორტესებრი კოჭი. შემდეგი მონაცემების მიხედვით:

კოჭის გეომეტრიული სიგრძე –  $L=300$  სმ;

კოჭის სარტყელის (თაროს) სიგანე –  $b_f=13,5$  სმ;

კოჭის სარტყელის (თაროს) სისქე –  $t_f=1,0$  სმ;

კოჭის კედლის სიმაღლე –  $h_w=28,0$  სმ;

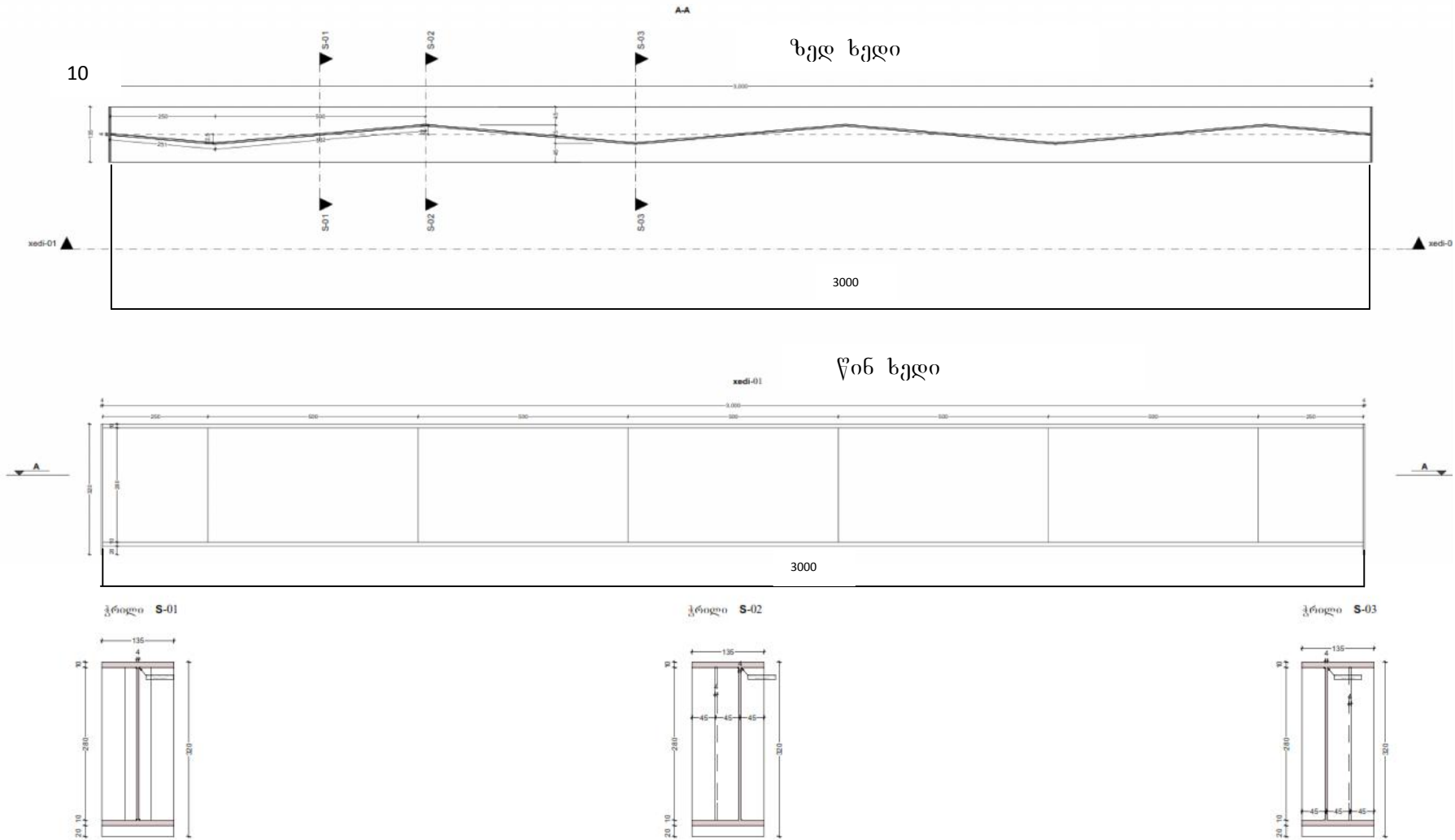
კოჭის კედლის სისქე –  $t_w=0,4$  სმ;

მასალად გამოყენებულია ფოლადი ВСт3пс, რომლის საანგარიშო წინაღობა –  $R_y=21$  კნ/სმ<sup>2</sup>.

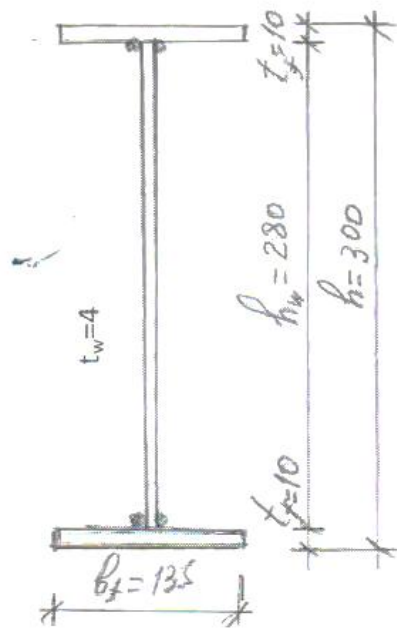
ორ საყრდენზე თავისფლად მდებარე კოჭის გამოცდა ხდებოდა ერთი შეყურსული ძალის ზემოქმედებით – ძალის შუაში საყრდენიდან  $a=1,5$  მ მანძილზე.

გოფირებულკედლიან კოჭზე დეფორმაციების წარმოქმნის და განვითარების სურათის ჩაწერა ხდებოდა ელექტრონული ტენზომეტრების საშუალებით, ბაზით  $R=50$  მმ. ანათვალების აღება ხდებოდა ელექტრო ხელსაწყოთა АИД-2-ისა და გადამრთველების საშუალებით დატვირთვის ყოველ ეტაპზე. დეფორმაციის სიდიდე კოჭში მოწმდებოდა ტარირებული მანომეტრით, საყრდენთა გადაადგილება აღირიცხებოდა საათის ტიპის ინდიკატორებით, ხოლო ძალის შუაში კოჭის ჩაღუნვა იზომებოდა მაქსიმუმის ტიპის ჩაღუნუმზომით.

დატვირთვა კოჭს გადაეცემოდა ხისტი ტრავერსით სპეციალური სტენდის საშუალებით, ეტაპობრივად ხდებოდა დატვირთვის ზრდა. ხელსაწყოებიდან ანათვალების აღება ხდებოდა 15 წუთის დაყოვნებით.



ნახ. 10 შედგენილი გოფრირებული კოჭი



ნახ. 10 კოჭის განივკვეთი

შედარებისთვის სორტამენტიდან ვიღებთ გაგლინული ორტესებრი კოჭის I 30-ის გეომეტრიულ ზომებს და ტექნიკურ-მექანიკურ მახასიათებლებს.

შევცვალეთ გაგნილული კოჭის მხოლოდ შვეული კედლის სისქე  $t_w=6,5$  მმ, 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 მახასიათებლებით:

კოჭის განივკვეთის ფართი

$$A_{\text{კოჭი}} = 2 \cdot A_{\text{სარტ}} + A_{\text{კედ}} = 2 \cdot 1,0 \cdot 13,5 + 0,4 \cdot 28,0 = 38,2 \text{ სმ}^2$$

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

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

კოჭის საანგარიშო ინერციის მომენტი

$$I_{\text{კოჭი}} = \frac{t_w \cdot h^3}{12} + 2 \cdot t_f \cdot b_f \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^2 = \frac{0,4 \cdot 28^3}{12} + 2 \cdot 1,0 \cdot 13,5 \cdot \left(\frac{30}{2}\right)^2 = 731,73 + 6075,0 = 6806,73 \text{ სმ}^4$$

კოჭის წინაღობის მომენტი

$$W_{\text{კოჭი}} = \frac{I_{\text{კოჭი}}}{h/2} = \frac{6806,73}{30/2} = 453,78 \text{ სმ}^3$$



შემოწმებით დადასტურდა გოფრირებულ კედლიანი ორტესებრი კოჭის სიმტკიცის და სიხისტის პირობის დაკმაყოფილება.

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

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

ტექნიკურ-ეკონომიურმა გაამგარიშებამ აჩვენა, რომ გაგლინული პროფილის I 30-ის ორტესებრი კოჭის 1 გრ. მ წონა ტოლია –  $g=36,5$  კგ/მ სორტამეტიდან. შედგენილი გოფრირებულკედლიანი ორტესებრი კოჭის წონა ტოლია –  $g=v \cdot \gamma = 0,00382 \cdot 7850 = 30,6$  კგ/მ.

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

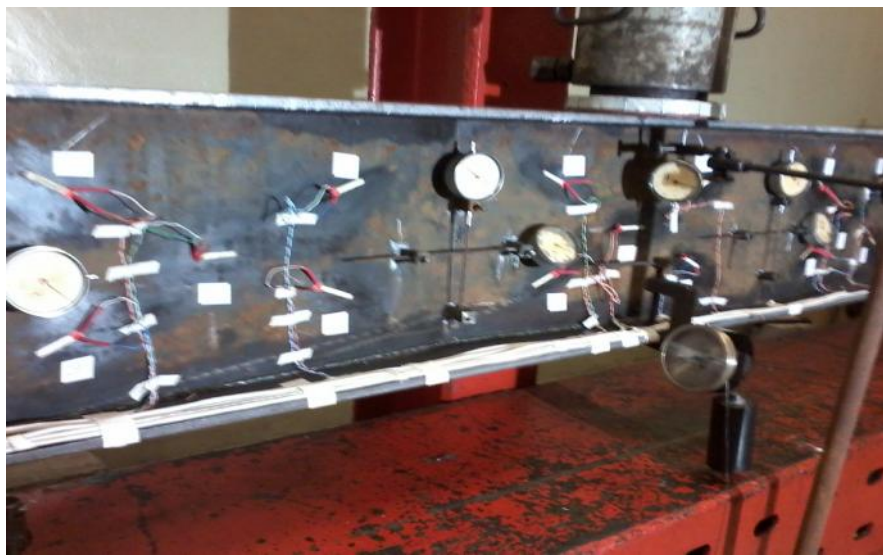
$$\frac{36,5 - 30,6}{36,5} \cdot 100 = 16,2\% .$$



ნახ. 11 საექსპერიმენტო კოჭი სტენდზე



ნახ. 12 АИД-2 ტიპის ხელსაწყო



ნახ. 13 გოფირებულკედლიანი კოჭის საექსპერიმენტო ფრაგმენტი



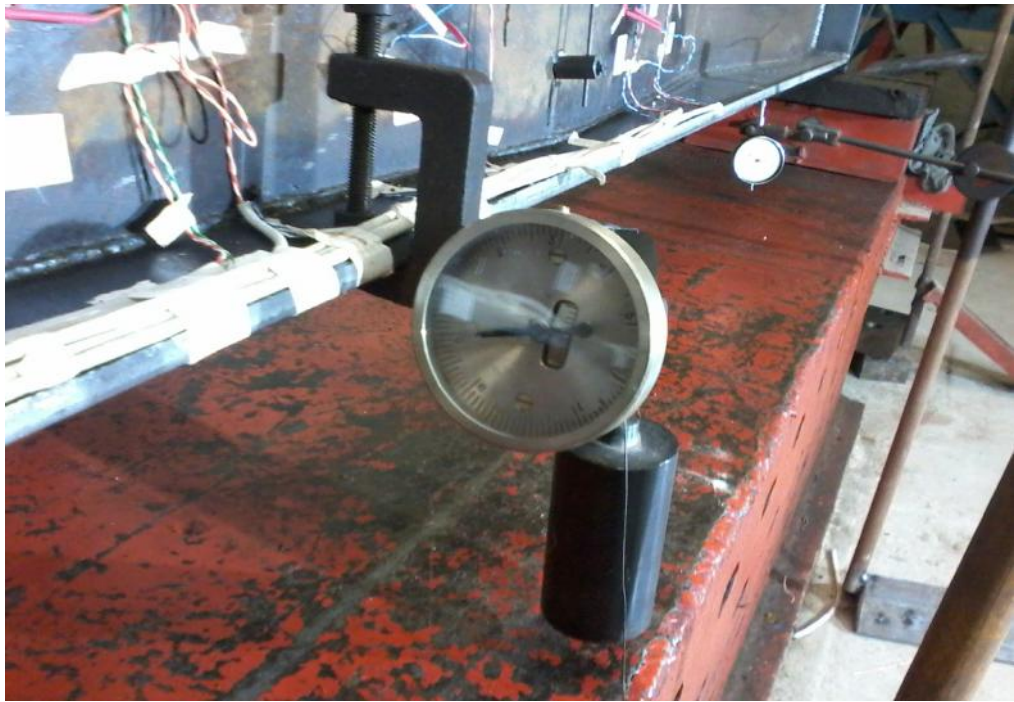
ნახ. 14 კვლევის მიმდინარეობა



ნახ. 15 ელექტროტენზომეტრების განლაგების სქემა



ნახ. 16 კოჭის ზედა სარტყელზე ინდიკატორების განლაგება



ნახ. 17 ჩალუმზომი ქვედა სარტყელზე მალის შუაში



ნახ. 18 ინდიკატორი საყრდენზე

## ძირითადი დასკვნები:

1. ჩატარდა ლითონის შედგენილი გოფირებულ კედლიანი ორტესებრი კოჭის სიმტკიცეზე და სიხისტეზე შემოწმება. ანალიზმა გვიჩვენა, რომ მასალის ხარჯის მიხედვით გოფირებულ 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. გოფირების 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÷20%-ით შემცირება.

## დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია

### შემდეგ ნაშრომებში:

1. ო. ხაზარაძე, ვ. ტურაშვილი, ფ. ვერულაშვილი – „ლითონის შედგენილი კოჭები გოფორირებული კედლით“. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“ 4(31), 2013წ;
2. ო. ხაზარაძე, ვ. ტურაშვილი, ფ. ვერულაშვილი. „ლითონის შედგენილი კოჭები პერფორირებული კედლით“. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“ 4(35), 2014წ;
3. В. Ш. Турашвили «Расчет балок с перфорированной стенкой» სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“ 1(36), 2015წ;
4. О. Г. Хазарадзе, В. Ш. Турашвили, Ф. Г. Верулашвили „Металлические Составные балки с гибкой стенкой“. Труды ГТУ 4(498) 2015 г
5. ვ. ტურაშვილი, ო. ხაზარაძე. „სამრეწველო შენობების განივი ჩარჩოს (ღუნვადი ელემენტები) გაანგარიშების თავისებურებანი“, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის 83-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის თეზისების კრებული, „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, 2015წ.

## RESUME

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.