

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ნაგებობების, სპეციალური სისტემებისა და საინჟინრო უზრუნველყოფის ინსტიტუტი

**ტრანსფორმირებადი მიწისზედა და კოსმოსური
კონსტრუქციები და ნაგებობები**

ლექციების კურსი

თბილისი
2018 წ.

შემდგენელი – პროფესორი, გენერალ-მაიორი ელგუჯა მამუკაიშვილი

შინაარსი

შესავალი	1
I. ტრანსფორმირებადი სტრუქტურების კვლევების და გამოყენების ძირითადი მიმართულებები	
I.1. ტრანსფორმირებადი საინჟინრო სისტემების სამეცნიერო კვლევის ძირითადი მეთოდები	3
I.2. ტრანსფორმირებად კონსტრუქციათა გამოყენების ძირითადი მიმართულებანი	10
II. ტრანსფორმირებადი საინჟინრო სისტემების თეორია	
II.1. ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების ზოგადი ნიშნები	19
II.2. ფორმათწარმოქმნის პროცესები	22
II.3. სისტემის ტრანსფორმირებადი სტრუქტურები და გეომეტრია	29
II.4. ტრანსფორმირებადი სისტემების ძირითადი პარამეტრები	36
II.5. ტრანსფორმირებადი სისტემების ნაირსახეობანი	44
II.6. ტრანსფორმაციის ტიპები და ფორმები	48
II.7. ტრანსფორმირებადი სისტემების დინამიკური სტრუქტურა	52
II.8. ტრანსფორმირებადი სისტემების კლასიფიკაციისა და გამოყენების ზოგიერთი საკითხები	55
III. გაჭიმული კონსტრუქციული სისტემები	
III.1. გაჭიმული არქიტექტურის – „fensile architecture“, როგორც გაჭიმული ტრანსფორმირებადი სტრუქტურების ერთ-ერთი ძირითადი მიმართულებები	57
III. 2. ტრანსფორმირებადი სისტემები, რომელთა ფორმა მიიღწევა მხოლოდ გაჭიმული კონსტრუქციული სტრუქტურებით	62
III.3. სისტემები, რომელთა ფორმა მიიღწევა გაჭიმული კონსტრუქციული სტრუქტურის მიხედვით სტაციონალურ, მუდმივი და უცვლელი ფორმის მქონე კონსტრუქციულ სისტემასთან, რომელთაც შეუძლიათ უპირატესად მკუმშავი ძალების ათვისება	72
III. 4. ერთიანი ფორმის მიღწევა გაჭიმული ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურის მიხედვით ხისტ ტრანსფორმირებად კონსტრუქციულ სტრუქტურასთან	102

შესავალი

ტრანსფორმირებადი, გასაშლელი კონსტრუქციები და ნაგებობები ძალზე ხშირად გვხვდება საინჟინრო პრაქტიკაში. მათ ჯერ კიდევ უხსოვარი დროიდან იყენებდნენ. თანამედროვე ეტაპზე, არქიტექტურული, ფუნქციური და გარემოს ექსტრემალური პირობების განსაკუთრებული მოთხოვნებიდან გამომდინარე, ცალკეული კონსტრუქციების და საინჟინრო ნაგებობების ტრანსფორმაციის უნარი განაპირობებს მათი გამოყენების აუცილებლობას დედამიწაზე და კოსმოსში.

ტრანსფორმირებადი საინჟინრო სისტემები – გასაშლელი, გასახსნელ-დასაკეცი, მრავალჯერადი გამოყენების, მობილური და ფორმაცვალებადი კონსტრუქციები, ნაგებობები და შენობები, ხიდების, დახურვების, მიწისზედა დიდი ზომის რადიოტექნიკური კომპლექსის, ასევე ორბიტული ტექნოლოგიური მოედნების და პლატფორმების, დიდგაბარიტიანი კოსმოსური რადიო და ენერგეტიკული რეფლექტორების, მზის იალქნების და ბატარეების და სხვათა სახით, გამოიყენება ჩვეულებრივ და ექსტრემალურ პირობებში.

ზოგჯერ, ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციები და ნაგებობები ნაწილია კონკრეტული საინჟინრო კომპლექსებისა, რომლებიც სხვადასხვა დანიშნულების, სამოქალაქო და სამხედრო, მიწისზედა და კოსმოსური სისტემების შემადგენლობაში შედიან. ეს იმით აიხსნება, რომ ხშირ შემთხვევებში ნაგებობა თუ კონკრეტული კონსტრუქცია განიხილება ერთობლივად მათი სამონტაჟო, სატრანსპორტო და განთავსების საშუალებებთან ერთად.

იმისდა მიხედვით, თუ რომელი სისტემის შემადგენელი ნაწილია საინჟინრო ტრანსფორმირებადი კომპლექსი, იგი უნდა აკმაყოფილებდეს საკომუნიკაციო, სატრანსპორტო, ენერგეტიკულ, რადიოტექნიკურ ან სხვა მრავალ მოთხოვნას.

წინამდებარე ნაშრომი მოიცავს საკითხთა ფართო სპექტრს. მასში განხილულია ტრანსფორმირებადი – გასაშლელი საინჟინრო სისტემების თეორია; გაანალიზებულია დედამიწისეული და კოსმოსური კონსტრუქციების და ნაგებობების შექმნის ლოგიკა; განხილულია საინჟინრო ტრანსფორმირებადი კომპლექსები და კონსტრუქციები, რომელთაც ანალოგი არ გააჩნიათ; შესწავლილია მათი შექმნის ტექნოლოგიური პროცესები; გაანალიზებულია კონსტრუქციებისა და ნაგებობების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის სტადიები კვლევის ექსპერიმენტული და ცნობილი თეორიული მეთოდებით.

წიგნი განკუთვნილია მათთვის, ვინც განაზოგადებს და ავითარებს ნაგებობათა ფორმათწარმოქმნის და ფორმაცვალებადობის პროცესებს, ფორმისა და სტრუქტურის ლოგიკას. ქმნის ახალ ტრანსფორმირებად კონსტრუქციებს, ნაგებობებს და შენობებს, როგორც კოსმოსში, ასევე დედამიწაზე.

წინამდებარე ნაშრომში განხილული ტრანსფორმირებადი – გასაშლელი საინჟინრო სისტემების თეორია და პრაქტიკა დააინტერესებს მეცნიერებს, აკადემიური წრის წარმომადგენლებს, სტუდენტებს, დამპროექტებლებს და სპეციალისტებს, რომლებიც კონსტრუქციათა ფორმათწარმოქმნის დარგში მუშაობენ, მათ შორის მშენებლებს, მექანიკოსებს, რადიოინჟინრებს, კოსმოსური ტექნიკის შემქმნელებს, სამხედრო ინჟინრებს, არქიტექტორებს და სხვებს.

I. ტრანსფორმირებადი სტრუქტურების კვლევების და გამოყენების ძირითადი მიმართულებები

I.1. ტრანსფორმირებადი საინჟინრო სისტემების სამეცნიერო კვლევის ძირითადი მეთოდები

სამშენებო კონსტრუქციების და ნაგებობების ერთ-ერთი უმთავრესი სამეცნიერო მიმართულებაა მათი ფორმათწარმოქმნის თეორიის კვლევა.

ფორმათწარმოქმნის თეორია მოიცავს კონსტრუქციებისა და ნაგებობების ფორმის შექმნისა და ფორმათწარმოქმნის პროცესების განსაზღვრას, რაც ეფუძნება ცნებების, კატეგორიების, კანონებისა და პრინციპების სისტემურ განხილვას.

სამშენებლო კონსტრუქციებისა და ნაგებობების ფორმის ლოგიკა მოიცავს ფორმალური და არაფორმალური ელემენტთა სიმრავლეს, რაც განსაზღვრავს ფორმათწარმოქმნის კვლევის სამეცნიერო და შემოქმედებით პროცესებს.

ამასთან, ფორმათწარმოქმნის პროცესი და ზოგადად მისი თეორია ნაკლებად არის სისტემურად შესწავლილი, ამ მხრივ ისეთ აქტუალურ დარგში, როგორიც არის ტრანსფორმირებადი – გასაშლელი კონსტრუქციები და ნაგებობები.

განსხვავებული ტიპის, ახალი, დიდგაბარიტიანი, სხვადასხვა ფუნქციური დანიშნულების მქონე, გასაშლელი ნაგებობების შექმნის პრობლემის დასა და მისი გადაწყვეტა კომპლექსური ამოცანაა.

მიუხედავად დასმული პრობლემის მრავალმხრივობისა, ერთი შეხედვით ქაოსურ კონკრეტულ ამოცანებს შორის, მაინც იკვეთება უმთავრესი მიმართულება მისი გადაწყვეტისა: ეს არის ნაგებობების საერთო სტრუქტურისა და ფორმის შერჩევა მრავალ შესაძლო გადაწყვეტათა შორის.

ნაგებობის შექმნისათვის, სტრუქტურისა და ფორმის წინასწარ შერჩევა, რაც პირველ რიგში უნდა შეესაბამებოდეს მის ფუნქციურ დანიშნულებას, უნდა პასუხობდეს მრავალ ამოცანას, მათ შორის:

- ნაგებობის ზომებს და წონას;
- ნაგებობის დაკეცილი სატრანსპორტო პაკეტის გაბარიტებს;
- ნაგებობის ფორმაცვალებადობისა და ფუნქციური ფორმის ფიქსაციის პროცესებს;

- ნაგებობის გეომეტრიული პარამეტრების სიზუსტეს და მათი შენარჩუნების უნარს;
- ნაგებობის მზიდუნარიანობის – სიმტკიცის, სიხისტისა და დეფორმაციულობის მოთხოვნების დაცვას სტატიკური, დინამიკური და ტემპერატურული ზემოქმედებების დროს;
- ნაგებობის შექმნის კონსტრუქციულ მასალებს;
- ნაგებობის ტრანსფორმაციის ამძრავი მექანიზმების სახეობებს და ენერგეტიკულ უზრუნველყოფას;
- ნაგებობის დამზადების ტექნოლოგიას;
- ნაგებობის სრულმასშტაბიანი გამოცდის სქემების რეალიზაციის შესაძლებლობებს დედამიწის და კოსმოსური გარემოს იმიტაციის შექმნის პირობებში;
- ნაგებობის და მისი სამონტაჟო და სატრანსპორტო საშუალების, ასევე კოსმოსური აპარატის ურთიერთკავშირის სქემებს და სხვა მრავალ ამოცანას.

მათი გადაწყვეტის შემდეგ უკვე შესაძლებელია, მკაცრად ფორმალიზებული მიმართულებებით, შემოთავაზებული ნაგებობის კვლევა და ოპტიმალური პარამეტრების შერჩევა. ამ მხრივ, მნიშვნელოვანია ნაგებობის და მისი კონსტრუქციული ნაწილების, ელემენტებისა და კვანძების ყოველმხრივი გაანგარიშება და სტრუქტურის დაძაბულ-დეფორმირებული სურათის დადგენა მისი ტრანსპორტირების, ორბიტაზე გატანის, გაშლის, ფორმის ფიქსაციის და ექსპლუატაციის ეტაპების გათვალისწინებით.

ასევეა ექსპერიმენტული კვლევების მეთოდების გამოყენების საკითხებიც. თუმცა, ამ მხრივ, კოსმოსური ბაზირების ნაგებობების დედამიწის პირობებში ექსპერიმენტული კვლევებისას და სრულმასშტაბიანი გამოცდების დროს, აუცილებელი მოითხოვნაა მათი განხორციელების ახალი ტექნოლოგიური სქემების შემუშავება.

ამდენად, თუ ახალი ტიპის ნაგებობის შექმნის ეტაპებს განვიხილავთ, მეცნიერული კვლევის მეთოდების და საშუალებების მხრივ, როგორც აღინიშნა, პრობლემატურია სწორედ პირველი ეტაპი, როდესაც უნდა განისაზღვროს ნაგებობის სტრუქტურა და ფორმა, როგორც მრავალფუნქციური და მრავალდარგობრივი მიმართულება, რომლის გადაწყვეტაში აუცილებლად უნდა იქნეს გააზრებული ყველა თუ არა უმთავრესი ამოცანები მაინც, რომლებიც

განაპირობებენ საბოლოო ჯამში ნაგებობის – მისი სტრუქტურისა და ფორმის დადებით გადაწყვეტას.

ასეთი მიდგომით ისახება შემდეგი ლოგიკური სვლა:

- პირველ ეტაპზე იქმნება ნაგებობის სტრუქტურა და ფორმა;
- მეორე ეტაპზე იწყება მისი შესწავლა.

როგორც აღინიშნა, დასმული ამოცანის სირთულე და პრობლემურობა სწორედ პირველ ეტაპს შეეხება, სადაც თუნდაც რაღაც კანონზომიერებით უნდა მოხერხდეს მრავალი კონსტრუქციული სქემიდან – ნაგებობის სტრუქტურიდან და ფორმიდან, რამოდენიმე პერსპექტიული ვარიანტის შერჩევა და შერწყმა, რაც ნაგებობის დასრულებული სქემის სახით განაპირობებს მის წინაშე დასახული ფუნქციის შესრულებას.

1972 წელს გამომცემლობამ “Wiley-Interscience”, ინგლისურ ენაზე, გამოსცა J.Christopher Jones მონოგრაფია “Design Methods Seeds of Human Futures” – საინჟინრო და მხატვრული კონსტრუირება. წიგნში ფაქტიურად გადმოცემულია პროექტირების ანალიზის მეთოდები.

წიგნში ასევე მოყვანილია ციტატები, რომლებშიც გადმოცემულია ამ პრობლემატიკის სირთულე – “ტექნიკური კონსტრუირება – ეს არის, სამეცნიერო პრინციპების, ტექნიკური ინფორმაციისა და წარმოსახვის გამოკვლევა” – ფილდენი.

წიგნში მოყვანილი გამონათქვამები მიუთითებს იმაზე, რომ საჭიროა სამი პარამეტრის შერწყმა. ეს არის მეცნიერულად დასაბუთებული პრინციპები, ტექნიკური ინფორმაცია და სისტემის შემქმნელის წარმოსახვის და შემეცნების უნარი.

თავისთავად მნიშვნელოვანია, როდესაც კონსტრუირების პროცესში მეცნიერებისა და ტექნიკური ინფორმაციის წილი იზრდება. ამასთან, კიდევ უფრო მნიშვნელოვანია, თუ ტექნიკური ინფორმაცია, უკვე ახალ საფეხურზე იქნება ფორმალიზებული და იგი უკვე ახალი სამეცნიერო დებულებების სახით უფრო ჭეშმარიტს გახდის კონსტრუირებისთვის განკუთვნილ ინფორმაციას.

ამ პროცესის გაგრძელებას წარმოადგენს, კონსტრუქციული სისტემის შემქმნელისმიერ, მესამე პარამეტრის, წარმოსახვის მეტი სისტემატიზაცია, რადგან იგი უპირატესად არაფორმალიზებულ ელემენტებს მიეკუთვნება.

ამოცანა მდგომარეობს იმაში, რომ კონსტრუირების სამი პარამეტრის – მეცნიერების, სამეცნიერო-ტექნიკური ინფორმაციის და კონსტრუქციული

სისტემის შემქმნელის წარმოსახვის უნარის, როგორც ერთიანი პროცესის შემადგენლების, ახალი კვლევების საფუძველზე უფრო მეტი ნაწილი გახდეს სისტემატიზებული ელემენტი, რაც განაპირობებს არსებული მეცნიერების გაღრმავებას და გაფართოებას ან, უკეთეს შემთხვევაში, ახალი სამეცნიერო მიმართულების შექმნას.

სწორედ ამ მიზანს ემსახურება 1977 წელს, გერმანიაში გამომცემლობა VEB Verlag Für Bauwesen-ის მიერ გამოცემული Oskar Büttner-ის და Erhard Hampe-ის მონოგრაფია – Bauwerk Tragwerk Tragstruktur (ოსკარ ბიუტნერი, ერჰარდ ჰამპე – ნაგებობა-მზიდი კონსტრუქცია-მზიდი სტრუქტურა).

წიგნში, სისტემური მიდგომით და ლოგიკური მსვლელობით, განმარტებულია მზიდი სისტემების ევოლუცია და კონკრეტული დახურვის კონსტრუქციების ადგილი და როლი მზიდ სისტემებში. ასევე, მნიშვნელოვანია ის, რომ სამშენებლო პროცესები განხილულია სამი ათასი წლის განმავლობაში განსაზღვრული, მეცნიერულად დასაბუთებული კრიტერიუმებით. მაგალითად, მზიდ სისტემაში მალის ზრდასა და იატაკის ერთ კვადრატულ მეტრზე დახურვის წონას შორის თანაფარდობა. მიღებული კანონზომიერება, როგორც ამ წყაროში, ასევე სხვა შრომებშიც არის განხილული, მათ შორის, გრაფიკულადაც, სადაც მითითებულია შესაბამისი წლები და იმ წლებში დომინირებული დახურვის კონსტრუქციები სათანადო დაყვანილი წონის ჩვენებით.

განხილული ლოგიკით, ასევე შესაძლებელია, შენობა-ნაგებობის კონსტრუქციული ჯგუფების მიხედვით, გრაფიკული წარმოდგენა ფუნქციების გადანაწილებისა საინჟინრო და არქიტექტურულ დარგებს შორის.

მნიშვნელოვანია ე. ტოროხას წიგნიდან, “ფორმის ლოგიკა”, მოყვანილი ციტატა – “ყოველ ავტორს აქვს საჭირო საპროექტო გადაწყვეტის მიმართ მიდგომის თავისი წესები და მეთოდური ხერხები”.

აღსანიშნავია ე. ზელენსკის ციტატა – “კონსტრუქტორ-მშენებლის შემოქმედებითი მუშაობის არსი მდგომარეობს კონსტრუქციული ფორმების პოვნაში, რომლებიც ეთანხმება მექანიკის კანონებს და ეკონომიურად უზრუნველყოფილია სამშენებლო სამუშაოების შესრულების კონკრეტული პირობების გათვალისწინებით”.

და ბოლოს, ისევ ამონაწერი ე. ტოროხას წიგნიდან – “ფორმის ლოგიკა” – “თუმცა მზიდი კონსტრუქციის პროექტის შექმნის პროცესი წარმოადგენს

შემოქმედებით პროცესს და იგი, როგორც ნებისმიერი სხვა შემოქმედებითი პროცესი, უნდა ექვემდებარებოდეს განსაზღვრულ საერთო წესებს... სტატიკური გაანგარიშების შესაძლებლობები ემსახურება მხოლოდ სტრუქტურის ელემენტების ზომების დაზუსტებას ან ამ ზომების წინასწარი დანიშვნის სისწორის შემოწმებას” (ყველა ციტატა წიგნიდან. ოსკარ ბიუტნერი, ერხად ხამპე, გვ. 23).

ამ მხრივ, ასევე მეტად მნიშვნელოვანია ცნობილი გერმანელი მეცნიერის ფ. ოტტოს მიერ დაწერილი წიგნისა “ტენტური და ვანტური სამშენებლო კონსტრუქციები”, ფრეი ოტტოსა და ფრიდრიხ შლეიერის ავტორობით გამოცემული 1966 წელს (Zugbeanspruchte Konstruktionen. Gestalt, Struktur und Berechnung von Bauten aus Seilen, Netzen und Mebranen Herausgegeben von Frei Otto) და მისი თარგმანი, რომელიც გამოიცა მოსკოვში 1970 წელს.

წიგნის პირველ ნაწილში არის მცდელობა დაძაბული მდგომარეობის კონსტრუქციის გეომეტრიული ფორმისა და მასალის ფიზიკური თვისებების მიხედვით განისაზღვროს კონსტრუქციების ზოგადი კლასიფიკაცია.

ლოგიკის მიხედვით, ასევე მნიშვნელოვანია გ. რიულეს მონოგრაფია “სივრცითი დახურვები/კონსტრუქცია და აგების მეთოდები (გერმანულიდან ნათარგმნი, მოსკოვი, 1974), ვვ. ერმოლოვის წიგნი “საინჟინრო კონსტრუქციები” (“უმაღლესი სკოლა”, მოსკოვი 1991 წ.) და სხვა მრავალი გამოცემა და სამეცნიერო სტატია.

აღნიშნულ შრომებში, უმთავრესია ის რომ, კონკრეტული კლასის კონსტრუქციები და ნაგებობები, მიუხედავად მათი სიმრავლისა, მრავალმხრივობისა და მრავალფეროვნებისა, სისტემატიზებული და კლასიფიცირებულია მწყობრი სამეცნიერო მიდგომებით, სადაც კვლევის საერთო ლოგიკური მეთოდებისა და ხერხების მხრივ უპირატესობა ენიჭება სტრუქტურულ-ფუნქციურ მეთოდს.

როგორც ცნობილია – სტრუქტურულ-ფუნქციურ (სტრუქტურული) მეთოდს საფუძვლად უდევს მთლიან სისტემებში მათი სტრუქტურის გამოყოფა, რომელიც წარმოადგენს ელემენტებს შორის მდგრადი დამოკიდებულებების, ურთიერთაკვშირებისა და ერთმანეთის მიმართ მათი როლის ერთობლიობას.

სტრუქტურა მოიაზრება, როგორც რაღაც ინვარიანტული (უცვლელი) განსაზღვრული გარდაქმნებისას, ხოლო ფუნქცია, როგორც “დანიშნულება” მოცემული სისტემის ყოველი ელემენტისა.

სტრუქტურულ-ფუნქციური მეთოდის ძირითადი მოთხოვნებია:

- ა) სისტემური ობიექტის აგებულების სტრუქტურის შესწავლა;
- ბ) მისი ელემენტების და მათი ფუნქციური მახასიათებლების გამოკვლევა;
- გ) ამ ელემენტებისა და მათი ფუნქციის ცვლილების ანალიზი;
- დ) სისტემური ობიექტის განვითარების (ისტორიის) განხილვა;
- ე) ობიექტის, როგორც ჰარმონიულად და ფუნქციონირებადი სისტემის წარმოდგენა, რომლის ყველა ელემენტი “მუშაობს” ამ ჰარმონიის შესანარჩუნებლად.

ძირითადად სტრუქტურულ-ფუნქციური მეთოდი დაედო საფუძვლად ტრანსფორმირებადი საინჟინრო სისტემებისა და ტრანსფორმირებადი კარკასულ-საყრდენიანი სისტემების თეორიის შექმნას.

აღნიშნულ სისტემებში, ტრანსფორმაციის შესაძლებლობებიდან გამომდინარე, ნაგებობების სტრუქტურა და ფორმა უმთავრესი, საერთო და ნიშანდობლივია, რაც განსაზღვრავს დიდგაბარიტიანი, ფორმაცვალებადი სისტემების ძირითად თვისებებს.

ტრანსფორმირებადი, დიდი ზომის ნაგებობების შესწავლაში კვლევების ემპირული და თეორიული მეთოდების დიდი წილია. მაგალითად, როდესაც ტრანსფორმირებად სისტემებში ვიხილავთ ფორმაცვალებადობის სახეობებს, აქ კვლევების ემპირული მეთოდი იქნა გამოყენებული, რომელიც დაკვირვებისა და შედარების გზით განისაზღვრა.

აღნიშნული ამოცანის გადაწყვეტის დროს კვლევების თეორიული მეთოდებიდან, ასევე გამოყენებულია აზრობრივი ექსპერიმენტის მეთოდი. იგი წარმოადგენს მოდელირების განსაკუთრებულ სახეს. ასეთ ექსპერიმენტში მკვლევარი აზრობრივად ქმნის იდეალურ ობიექტებს, ადარებს მათ ერთმანეთს გარკვეული დინამიკური მოდელის ფარგლებში, აზრობრივად ახდენს, რა მოძრაობის და იმ სიტუაციების იმიტაციას, რომლებიც შეიძლება წარმოიშვას რეალურ ექსპერიმენტში. ამასთან, იდეალური მოდელები და ობიექტები ხელს უწყობენ ყველაზე უფრო მნიშვნელოვანი, არსებითი კავშირებისა და დამოკიდებულებების “სუფთა სახით” გამოვლენას, შესაძლო სიტუაციების აზრობრივ გადათამაშებას, არასაჭირო ვარიანტების განთესვას.

ამასთან, ტრანსფორმაციის ძირითადი, სისტემების ემპირული მეთოდით კვლევების გარდა გამოყენებულია თეორიული შემეცნების მეთოდის სახეობა – ფორმალიზაცია, მათი ურთიერთდამოკიდებულების კლასიფიკაციით.

ფორმალიზაცია არის შინაარსიანი ცოდნის ასახვა ნიშან-სიმბოლოების სახით (ფორმალიზებულ ენაზე), იგი იქმნება აზრის ზუსტი გამოხატვისათვის,

არაერთმნიშვნელოვანი გაგების შესაძლებლობის გამორიცხვის მიზნით. ფორმალიზაციის დროს ობიექტების შესახებ მსჯელობა გადაყავთ ნიშნებით (ფორმულებით) ოპერირების სიბრტყეში, რაც დაკავშირებულია ხელოვნურ ენებთან (მათემატიკის, ლოგიკის, ქიმიის და ა.შ. ენა).

ძირითადი მასალა ტრანსფორმირებადი სისტემებისა შედგენილია თეორიული კვლევის მეთოდებით, რომელშიც დომინირებს ზემოთ აღნიშნული სტრუქტურულ-ფუნქციური მოდელი. ამასთან, რაც შეეხება სამეცნიერო კვლევების შემეცნების საშუალებებს, აქ უპირატესად გამოყენებულია შემეცნების ლოგიკური საშუალებები. მისი გამოყენება მსჯელობის და დამტკიცების პროცესში, მკვლევარს საშუალებას აძლევს აკონტროლოს რეალური არგუმენტები და განაცალკევოს ისინი ყალბი მტკიცებულებებისაგან.

კვლევებში ასევე გამოყენებულია კვლევების მათემატიკური საშუალებები.

მათემატიკა – მეცნიერება რაოდენობრივი დამოკიდებულებებისა და სივრცითი ფორმების შესახებ, საშუალებას იძლევა განხილულ იქნას არა მარტო უშუალოდ აბსტრაგირებული რაოდენობრივი დამოკიდებულებები და სივრცითი ფორმები, არამედ ლოგიკურად შესაძლებელიც, რომლებიც ლოგიკური წესებით გამოყავთ ცნობილი დამოკიდებულებებიდან და ფორმებიდან.

შემეცნების აღნიშნული საშუალება ძირითადად გამოყენებულია ტრანსფორმირებადი სისტემების, როგორც ფორმაცვალებადი სიმრავლის პარამეტრების განსაზღვრის გამოსახატავად.

ნაგებობის უკვე მიღწეული სტრუქტურის და ფორმის განსაზღვრის შემდეგ, მისი შესასწავლად ფართოდ არის გამოყენებული სამეცნიერო კვლევების მათემატიკური საშუალებები, რომელიც მოიცავს უკვე ცნობილ და აღიარებულ მექანიკის, მათემატიკის და თანამედროვე პროგრამული უზრუნველყოფის საშუალებებს.

შრომებში განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს კარკასულ-საყრდენიანი სტრუქტურის შესწავლას, ნაგებობის საყრდენი კარკასების, კარკასებს შორის სივრცის შევსებისა და საკონტაქტო ზონების განსაზღვრას.

ამ მხრივ, უპირატესად გამოყენებულ იქნა კვლევების თეორიული მეთოდის ერთ-ერთი შემადგენელი – აზრობრივი მოდელირება, რომელიც აგრეთვე წარმოადგენს პრაქტიკაში ადრე არ არსებული, ახალი სისტემების კონსტრუირების ხერხს. მკვლევარი შეისწავლის რა რეალური პროცესების დამახასიათებელ თვისებებს და მათ ტენდენციებს, წამყვანი იდეის საფუძველზე, ეძებს მათ ახალ შეთანწყობას, ახორციელებს მათ აზრობრივ

გადაკონსტრუირებას, ე.ი. ახდენს შესასწავლი სისტემის საჭირო მდგომარეობის მოდელირებას. ამასთანავე, იქმნება მოდელი-ჰიპოთეზები, რომლებიც ავლენენ შესასწავლი სისტემის კომპონენტებს შორის კავშირის მექანიზმებს, რაც შემდგომ, პრაქტიკაში მოწმდება.

ამდენად, ახალი ნაგებობის – ახალი ფორმისა და სტრუქტურის შექმნის პირველ ეტაპზე, წინა პლანზე გადმოდის ლოგიკური საფუძვლების შემეცნება, სისტემის ფორმისა და სტრუქტურის დადგენა და ამ მხრივ საწყის და სასაზღვრო პირობებში, რაც შეიძლება მეტი ფორმალიზებული დებულების განსაზღვრა.

რაც შეეხება შემოთავაზებული სისტემის ფორმისა და სტრუქტურის შესწავლას, ოპტიმიზაციას და მათი შედეგების მიხედვით თვით, სტრუქტურისა და ფორმის ნაწილობრივი ან მთლიანი ცვლილების აუცილებლობას, ეს უკვე მკაცრად ფორმალიზებული, არსებული ან ახალი მეთოდებით ხორციელდება. ეს ამოცანები უკვე მეორე ეტაპის, ასევე მეტად მნიშვნელოვანი, სამუშაოებია.

1. 2. ტრანსფორმირებად კონსტრუქციათა გამოყენების ძირითადი მიმართულებანი

ტექნიკის სხვა დარგებთან შედარებით საინჟინრო პრაქტიკაში მშენებლობის პროცესს, კერძოდ, სამშენებლო კონსტრუქციების შექმნას, გარკვეული კონსერვატიზმი ახასიათებს. ეს ძირითადად შეეხება სისტემის ტრადიციულ ფორმებს, მასალების შერჩევას და აგების ხერხებს, თუმცა ამ მიმართულებაშიც არის ბევრი ახალი და ორიგინალური გადაწყვეტა.

სამშენებლო კონსტრუქციები, ზოგადი სახით, ყოველთვის გამოხატავდნენ მათი აშენების დროს და ეპოქას. სამშენებლო კონსტრუქციებისადმი წაყენებული ფუნქციური და არქიტექტურული მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად საჭირო ფორმების მიღწევა სხვა ფაქტორებთან ერთად განისაზღვრება კონსტრუქციული მასალების თვისებებით, აგების ტექნოლოგიით და მშენებლობის მეთოდით.

ზემოაღნიშნული საკითხების გადაწყვეტისას წარმოების ტექნიკური, ეკონომიკური, მატერიალური, მეცნიერული და ინჟინრული უზრუნველყოფა და მშენებლობის პირობები ძირითად მახასიათებლებს წარმოადგენენ. ასეთ ურთიერთდამოკიდებულებაში სამშენებლო კონსტრუქციების განვითარება ყოველთვის მიმდინარეობს გადასაწყვეტი ამოცანების მოთხოვნების მიხედვით.

სამშენებლო კონსტრუქციების განვითარება არა მარტო ინჟინრული, არამედ გაცილებით უფრო ფართო თვალსაზრისის საკითხია, რომელიც სოციალური, ეკონომიკური, რელიგიური, ისტორიული, ზნეობრივი და სხვა პრობლემების მრავალფეროვან სპექტრს მოიცავს.

ინჟინრული თვალსაზრისით, კერძოდ, კონსტრუქციებში, პრიორიტეტულ საკითხად გვევლინება ფორმების წარმოქმნის პრინციპი. მეტწილად, ახალი კონსტრუქციების ფორმისა და სტრუქტურის განსაზღვრა ეფუძნება მრავალი ახალი სქემის შემუშავებას მასალატევადობისა და დამზადების ხარჯების გათვალისწინებით, მაგრამ, ამასთანავე, ნაკლებად ითვალისწინებენ ნაგებობათა აშენების მეთოდებს.

ეს საკითხები ხშირად ხდება მშენებლობის ხერხის შერჩევის ძირითადი კრიტერიუმი, რომელსაც მნიშვნელოვანწილად ექვემდებარება მასალის სახეობა, გარკვეული ფორმები და სტრუქტურა. ასეთი გახლავთ რეალობა და იგი ზოგჯერ წარმოადგენს პრინციპების განსაზღვრის თვითმარეგულირებელს. სწორედ ამით აიხსნება უპირატესობა და პოპულარობა, ვთქვათ, ასაწყობი სტრუქტურებისა მონოლითურთან შედარებით, რომელთაც ხშირად ანიჭებს პრიორიტეტს ეკონომიკური გაანგარიშება. ზოგჯერ პირიქითაც ხდება და ა.შ.

ხშირად თვით მშენებლობის პირობებიც განსხვავებულია. ზოგჯერ ისინი ექსტრემალურია, რომლის დროსაც საინჟინრო კონსტრუქციებისა და შენობა-ნაგებობების მშენებლობა არატრადიციულ გადაწყვეტებს მოითხოვს.

ექსტრემალური პირობები სხვადასხვა დარგისა და ტექნიკის სახეობებისათვის შეიძლება სხვადასხვაგვარად ჩამოყალიბდეს. სამშენებლო კონსტრუქციების შექმნისას ეს შეიძლება იყოს:

- მკვეთრად შეზღუდული მშენებლობის ვადები;
- არაორდინარული გარემოს არსებობა კოსმოსის, წყლის, ატმოსფეროს სახით და ა.შ.;
- სამშენებლო პროცესები ძნელად მისადგომ ადგილებში და რთულ პირობებში;
- კონსტრუქციების აგება კატასტროფებისა და საომარი მოქმედების ზონებში;
- ნაგებობებისა და კონსტრუქციების დაჩქარებული ადგილგადანაცვლება;
- კონსტრუქციის ფორმის პერიოდული შეცვლის მოთხოვნა;
- კონსტრუქციების მრავალგზის გამოყენების საჭიროება, როგორც ერთ, ისე სხვადასხვა ადგილას;

- გარდა ამისა, ახლად წარმოშობილი განსაკუთრებული პირობები, მოტივები და სხვა.

ექსტრემალურ პირობებში კონსტრუქციების შექმნას ცვლილება შეაქვს ამოცანის გადაწყვეტის შერჩევისა და შეფასების ლოგიკაში.

საექსპლუატაციო და ფუნქციური პარამეტრების მიღწევისას ზოგჯერ ეკონომიკური მაჩვენებლები უკანა პლანზე აღმოჩნდება და წინა პლანზე გადმოდის პრობლემების გადაჭრის ტექნიკური და ტექნოლოგიური პარამეტრები.

ზემოაღნიშნული პირობები ხშირად მინიმუმამდე ამცირებენ იმის გარანტიას, რომ ადგილზე მოხდეს ცალკეული კონსტრუქციების შექმნა. ამიტომ ნაკეთობის ეგრეთ წოდებული „საქარხნო მზაობის“ დონე შეძლებისდაგვარად მაქსიმალურად მაღალ ნიშნულამდე უნდა იქნეს აყვანილი.

კონსტრუქციის სტრუქტურის აგების არქიტექტურა და ფორმების წარმოქმნის პროცესი, თითქოსდა მრავალი ვარიანტის არსებობის მიუხედავად, რეალურად ხორციელდება ორი მიმართულებით:

- ფორმის აგება და შეცვლა კონსტრუქციის ფუნქციონირების ადგილას, მისი სტრუქტურის ცალკეული ელემენტებისაგან აწყობის საფუძველზე;
- ფორმის აგება და შეცვლა კონსტრუქციის ფუნქციონირების ადგილას იმ სისტემის გეომეტრიის ტრანსფორმაციაზე დაყრდნობით, რომელსაც აქვს წინასწარ შექმნილი შესაბამისი სტრუქტურა ურთიერთ-დაკავშირებული ცალკეული ელემენტების საფუძველზე.

ფორმატწარმოქმნის განხილული ორი მიმართულება „ასაწყობი“ და „ტრანსფორმირებადი“ სტრუქტურების გამოყენებით გამორიცხავს მშენებლობაში დამკვიდრებულ ფორმატწარმოქმნის „მონოლითურ“ სტრუქტურას, რადგან იგი წარმოადგენს „ტრანსფორმირებად“ სტრუქტურებში კერძო შემთხვევას.

ეს ორი მიმართულება, რომლებიც ზემოთ განვიხილეთ, მთლიანად მოიცავენ ფორმების წარმოქმნის პროცესების ყველა შესაძლო გეომეტრიულ და ფიზიკურ მოდელს. წინასწარი შეფასებისათვის უნდა აღვნიშნოთ, რომ მონოლითური მშენებლობის პროცესში ფიგურირებს ორი კომპონენტი, ეს არის: „ფორმები“ ანუ „ყალიბი“ და გამყარებადი მასა.

თუ გამყარებად მასას განვიხილავთ შემადგენელი კომპონენტების დონეზე, ვნახავთ, რომ იგი შედგება, ე.ი. „იწყობა“ ცალკეული ელემენტებისაგან, რომლებიც ერთმანეთთან ამყარებენ ქიმიურ ან სხვაგვარ ბმას – კავშირს, და გადაიქცევა ფორმაცვლად ანუ ტრანსფორმირებად სისტემად, ან რჩება

ცალკეული ელემენტების უბრალო ანაკრებად. გარკვეული დროის შემდეგ, როდესაც კავშირების გამყარებითი შექმნით მოხდება “ფორმის ფიქსაცია”, გამყარებულ კონსტრუქციას მოხსნიან „ფორმებს“ – ყალიბს.

ორივე ქვევარიანტში დასახული ფორმების წარმოქმნა, ე.ი. ტრანსფორმაცია, ხორციელდება დამატებითი დროებითი საბმულებით, – „ფორმებით“, რომლებიც ფუნქციონირებენ სტრუქტურის შიგნით მუდმივი ბმების წარმოქმნამდე. სწორედ ამით აიხსნება “მონოლითური” სტრუქტურის მიკუთვნება ტრანსფორმირებადი სტრუქტურებისადმი.

რაც შეეხება კოსმოსში მშენებლობას, დროთა განმავლობაში ისინი სულ უფრო აქტუალური ხდება. კაცობრიობა უკვე შეუდგა კოსმოსის ათვისებას და აქ უკან აღარ დაიხვეს. მეცნიერული, საწარმოო, ტექნიკური და ტექნოლოგიური პროცესები სულ უფრო მჭიდროდ უკავშირდება ორბიტული ტექნოლოგიის სისტემებს. ისინი განსაზღვრავენ საზოგადოების ცივილიზაციის დონეს და საქმიანობას. ბევრი პრობლემის ეფექტიანი გადაწყვეტა კოსმოსისა და კოსმოსური ტექნიკის გარეშე არათუ მომავალში, უკვე დღეს არის შეუძლებელი, რომ აღარაფერი ვთქვათ პლანეტების ათვისებასა და სუპერსადგურების მშენებლობაზე.

აქედან გამომდინარე, კოსმოსის პრობლემები ვერ ეტევა მხოლოდ საფრენი აპარატებისა და რაკეტამატარებლების სპეციალისტთა საქმიანობის სფეროში და სცილდება მას. ისინი მოითხოვენ ადამიანთა საქმიანობის ყველა სფეროს წარმომადგენელთა თანამშრომლობას. კოსმოსთან ადამიანის კონტაქტის პირველ ეტაპზე დღის წესრიგში დადგა მშენებლობის – კოსმოსური მშენებლობის საკითხი. ეს დაკავშირებულია პრაქტიკულ საქმიანობასთან და მრავალმხრივ კვლევებთან.

მაგრამ უკვე შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ორბიტულ ნაგებობებში გამოყენებას ჰპოვებს და ინერგება არა მარტო ახალი კონცეფციები, არამედ დედამიწაზე შექმნილი უკვე ცნობილი კონსტრუქციებიც. ეს გასაგებიც არის – კაცობრიობა ხომ ათასწლეულების მანძილზე დაგროვილ გამოცდილებას ხშირად იყენებს თავის შემოქმედებით საქმიანობაში.

კაცობრიობის აზროვნებას, „დედამიწა-კოსმოსის“ სქემით მოქმედებისას, არ შეიძლებოდა, არ შეემჩნია უკუკავშირიც – „კოსმოსი-დედამიწა“ – მით უმეტეს, რომ მშენებლობაში „უწონადობის“ გამოყენება “კოსმოსური ეპოქის” დადგომამდე დიდი ხნით ადრე დაიწყო. მაგალითისათვის შეგვიძლია დავასახელოთ ამწეზე ჩამოკიდებული მძიმე ტვირთების ხელით ორიენტაცია, კვანძების შეპირაპირების

ან გადანაცვლების დროს. სწორედ ეს არის ნაკეთობის „გაუწონადობა“, ე.ი გრავიტაციის ფაქტორის ნაწილობრივი მოხსნა, რაც კოსმოსის პირობების იმიტაციას წარმოადგენს.

დედამიწისგარე მშენებლობა დღესდღეობით სავსებით ტრადიციულად გამოიყურება – ნაგებობები, სადგურები და სათაფსები სიცოცხლის უზრუნველყოფისა და ტექნიკის ფუნქციონირებისათვის, ენერგორესურსების აკუმულაციისა და გაცემისათვის; მზის ბატარეები; კონცენტრატორები; ამრეკლები და იალქნები; ტექნოლოგიური ბაქნები; მზიდი კარკასები; ზომავრძელი და მდობავი ელემენტები და ა.შ. აი, იმ საინჟინრო ნაგებობათა მთელი ანაკრები, რომლებიც უნდა ვაშენოთ კოსმოსის ერთობ სპეციფიურ და ექსტრემალურ პირობებში. სწორედ ეს განასხვავებს მათ უკვე ცნობილი ინჟინერული გადაწყვეტებისაგან.

მიწისზედა ნაგებობებისაგან კოსმოსურ საინჟინრო ნაგებობათა განსხვავების ხარისხი ნაირგვარია. იგი კლებულობს იმ კონსტრუქციების მიმართ, რომლებიც ნავარაუდევია აშენდეს ექსტრემალურ პირობებში და ძნელად მისადგომ ადგილებში დედამიწაზე. ასეთი მიდგომა ბუნებრივია, ვინაიდან ყველაზე ფანტასტიკურ კოსმოსურ ტექნიკასაც კი ადამიანი ქმნის დაგროვილი ცოდნისა და გამოცდილების გამოყენებით, რომლებიც ასევე დედამიწაზეა შექმნილი.

ამიტომ, სულ ცოტა დრო, მხოლოდ 25-35 წელიწადი, დასჭირდა იმას, რომ კოსმოსურ საინჟინრო ნაგებობათა მშენებლობის პრობლემის გადაწყვეტაში მშენებლებიც ჩართულიყვნენ.

კოსმოსში დიდ საინჟინრო კონსტრუქციათა აგება და მათთვის „მშენებლობის“ სტატუსის მინიჭება წყვეტს არა მარტო ფორმალურ, არამედ მეთოდურ ამოცანასაც. საწყის ეტაპზე კოსმოსში დიდი საინჟინრო კონსტრუქციების შემუშავებას ინერციით მოჰყიდეს ხელი კოსმოსური ტექნიკის პროფესიონალებმა: რადისტებმა, მექანიკოსებმა, მასალათმცოდნეებმა, ენერგეტიკოსებმა, ელექტრომექანიკოსებმა და სხვებმა. ამიტომ, ნაგებობის შექმნაში სრულიად ბუნებრივად ვაწყდებოდით რთული მექანიკური და სხვა მანქანების აგების პრინციპთა დიდ სიჭარბეს. ამავე დროს, ნაგებობების შექმნა სამშენებლო მეცნიერების დახმარებით, არსებული ტრადიციებისა და დარგის სპეციალისტთა გამოცდილების გათვალისწინებით, ძირფესვიანად ამარტივებს ამოცანის გადაწყვეტას. ამიტომ აღნიშნულ პრობლემატიკაში სამშენებლო კონსტრუქციების სპეციალისტების საბაზო ყოფნა უზრუნველყოფს სამუშაოთა

შესრულების უფრო მოსახერხებელი გადაწყვეტილების და მეთოდების დანერგვას.

კოსმოსში ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების გამოყენების დიდი პერსპექტივები არ სცილდება სისტემის ფორმათწარმოქმნის ზოგადი ლოგიკის ფარგლებს. ისინი მხოლოდ ამდიდრებენ გადაწყვეტის ვარიანტებს, რაც უკუკავშირის მეოხებით ხელს შეუწყობს ტრადიციული, დედამიწისეული ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების გამოყენებას და განვითარებას.

დიდი საინჟინრო კონსტრუქციები კოსმოსში – ეს ნიშნავს მშენებლობის პროცესის გადასვლას კოსმოსურ სივრცეში. ყველა ტექნიკური გადაწყვეტა, ტექნოლოგიური პრინციპები და კონსტრუქციული სქემები, შესაბამისი ცვლილებებით, გარკვეულ ვითარებებში შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ორბიტაზე, ასე რომ, უსამართლობა იქნებოდა მიგვენიჭებინა რომელიმე მათგანისათვის უნივერსალური პრიორიტეტი.

ორბიტებზე საინჟინრო ნაგებობების შექმნა შეიძლება განხორციელდეს ოთხი ძირითადი ხერხით ან მათი კომბინირებით:

ფუნქციონირების ადგილზე კონსტრუქცია შეიძლება მიტანილ იქნეს საპროექტო ფორმის მქონე მზა ნაკეთობის სახით, ასეთი პროდუქციის ორბიტებზე მიტანა ყველაზე საიმედო და, ერთი შეხედვით, შედარებით მარტივ ხერხს წარმოადგენს. მაგრამ დიდი გაბარიტის ნაგებობისათვის, თუ გავითვალისწინებთ წონითს პარამეტრებს და რაკეტა მატარებლების სატვირთო ნაკვეთურების ტევადობას, ასეთი მიდგომა ტექნიკური და ეკონომიკური თვალსაზრისით ერთობ შეზღუდულია.

პრობლემების გადაჭრის მეორე გადაწყვეტა – ეს არის უკვე კოსმოსში აწყობილი კონსტრუქციის მიტანა ერთი ორბიტიდან მეორეზე. მაგრამ ეს უფრო განეკუთვნება ტვირთის ტრანსპორტირების ამოცანებს, ვიდრე სისტემების ფორმათწარმოქმნის ხერხებს.

ორბიტებზე კონსტრუქციების ცალკეული მზა ელემენტებისაგან აწყობა, კოსმონავტთა საქმიანობის აქტივიზაციის შემდეგ, რობოტებისა და სპეცტექნიკის გამოყენებით სულ უფრო ხელმისაწვდომი ხერხი ხდება, მაგრამ მოცემულ ეტაპზე მათი გამოყენება მაინც შეზღუდულია.

ამიტომ, თუ გავითვალისწინებთ გარემოს ექსტრემალურობას, მეტწილ შემთხვევებში ორბიტული კომპლექსების მუშაობის ავტომატურ რეჟიმებს, რობოტოტექნიკასთან დაკავშირებულ პრობლემებს და კოსმონავტთა მანევრების შეზღუდულობას, ცხადი ხდება, რომ დედამიწაზე ან ორბიტალურ სადგურზე

წინასწარ შექმნილი ნაგებობის და კონსტრუქციის დაკეცილი სატრანსპორტო პაკეტიდან კოსმოსში გაშლის – ტრანსფორმაციის ხერხი პრიორიტეტულ პოზიციას ინარჩუნებს.

რაც შეეხება კოსმოსში მშენებლობას ელემენტთა და ნაკეთობათა დამზადების ტექნოლოგიური ციკლების განხორციელებით, ეს პერსპექტივა უფრო მასშტაბურად გვესახება კოსმონავტიკის განვითარების მომდევნო და არც თუ შორეულ ეტაპებზე. ამასთან ერთად, სხვა ხერხებთან კომბინირებით, მასალის „ფორმის დამამახსოვრებელი“ ნივთიერების გამყარების ტექნოლოგიური პროცესების გამოყენება, პროფილებისა და თვით ფერმების აგრეგატული დამზადება უკვე დღეს არის აქტუალური.

როგორც აღინიშნა, კონსტრუქციების შექმნა მათი ტრანსფორმირების საფუძველზე პრიორიტეტულად გვესახება კოსმონავტიკის განვითარების ამჟამინდელ ეტაპზე.

კოსმოსში მშენებლობისათვის პერსპექტიული კონსტრუქციული გადაწყვეტებისა და მათი გამოყენების ხერხების ანალიზის დროს ვრწმუნდებით, რომ ხელოვნურია სქემების და პროცესების გადანაწილება პერსპექტიული ჯგუფების სახით. ამას ადასტურებს დედამიწაზე მშენებლობის ისტორიაც და მისი თანამედროვე განვითარებაც.

ყოველი კონკრეტული სქემა, თითოეული ტექნოლოგიური მიმართულება და ყოველი მასალის ტიპი შეფასებულ უნდა იქნეს არა ზოგადად, არამედ კონკრეტული ამოცანისათვის განკუთვნილი, დაზუსტებული ტექნიკური მოთხოვნების შესაბამისად. ტრანსფორმირებად სისტემებში კონკრეტულ გადაწყვეტებს წარმოადგენენ ფერმების, კოჭისებრი, ვანტური, ვანტურდეროიანი, ფურცლოვანი, გარსული, ბრტყელი და სივრცითი, აგრეთვე წინასწარდაძაბული, ცნობილი და ახალი კონსტრუქციების სხვადასხვა სახეობები.

მაგრამ კოსმოსური ბაზირების ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების თითოეული სქემის რეალიზაციისათვის განსაკუთრებულ ინტერესს წარმოადგენს სისტემის ფორმაცვალებადი სტრუქტურები. მაგალითად, ფერმების კონსტრუქცია შეიძლება აიგოს სახსრებისა და ღეროებისაგან, აგრეთვე პნევმატიკური აფსკისებრი მილებისაგან, რომლებიც იბერება ან ივსება პლასტიკური მასით, ეს მასა შემდეგ მყარდება.

ეს ადასტურებს, რომ ტრანსფორმირებადობა არ წარმოადგენს კონსტრუქციის დამახასიათებელ ნიშანს რომელიმე სქემატური კლასისადმი მისი

მიკუთვნების თვალსაზრისით, როგორც ეს მეტწილ კლასიფიკაციებშია მიღებული.

ტრანსფორმირებადი სისტემებისათვის ასევე არ წარმოადგენს კონსტრუქციულ ნიშანს მისი დინამიკური საფუძვლები. სისტემის მახასიათებელი, მიუხედავად იმისა, არის იგი მექანიკური, ავტომატური, თუ ხელისა, ცენტრიდანულად თუ სხვაგვარად გასაშლელი, არ ზღუდავს სქემების კლასს მათი რეალიზაციისათვის. მაგალითად, ცენტრიდანულად შეიძლება გაიშალოს არა მარტო ვანტური სისტემები, რომლებიც ტრადიციულად შეესაბამება ამ გადაწყვეტებს, არამედ აგრეთვე ზომავრძელი ფერმის ელემენტები, თუ მოხდება ამ კონსტრუქციების მოდიფიცირება ასეთი ამოცანების შესაბამისად.

სურვილი, მოვახდინოთ ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების კლასიფიცირება მათი სქემების სახეობებისა და ჯგუფების მიხედვით, კონსტრუქციული ერთიანი სისტემისაგან ცალკე, საფუძველს არის მოკლებული. ყველა არსებული ტრანსფორმირებადი სისტემა თავის ადგილს პოულობს კონსტრუქციების სქემათა არსებულ გრადაციებში, მათი „ტრანსფორმირებადობა“ თუ „აწყოებადობა“ სხვადასხვა სახეობათა კონსტრუქციების ტექნოლოგიურ თავისებურებას წარმოადგენს.

ამიტომ, ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების შესწავლისას წინა პლანზე გადმოდის ტრანსფორმაციის რეალური სტრუქტურები, ფორმათა წარმოქმნის კინემატიკური და დინამიკური საფუძვლები.

კოსმოსური ნაგებობანი პრაქტიკულად, ისევე როგორც დედამიწისეული სისტემები, თავიანთი ფუნქციური დანიშნულების მიხედვით შეიძლება იყოს:

- ძალური;
- პრეციზიული;
- მღობავი.

ეს ფუნქციური თვისებები ემატება კონსტრუქციის ექსპლუატაციის მოთხოვნებს და აყენებს პირობებს, რომლებიც განმსაზღვრელ გავლენას ახდენენ გასაშლელი კონსტრუქციის შერჩევის პრინციპებზე. მაგალითად, პრეციზიული კონსტრუქციების შემთხვევაში, რომლებიც დიდი საექსპლუატაციო გაბარიტებით გამოირჩევა და შეზღუდულია დაკეცილი პაკეტის ზომებით, გაძნელებულია ტრანსფორმირებადი ფერმული სტრუქტურების გამოყენება, ვინაიდან უამრავი მექანიკური სახსრისა და ელემენტის არსებობა განაპირობებს ფოლხვას და

ცდომილებებს დამზადებისას. ეს ართულებს ზუსტი საპროექტო გეომეტრიის მიღწევას და იწვევს დეფორმაციის ზრდას, რაც ტრანსფორმაციისათვის ხელისშემშლელი ფაქტორია.

აღნიშნული გარემოება განსაკუთრებით იჩენს თავს მაშინ, როდესაც ფერმა სტატიკურად ურკვევადია. ამის მიზეზი გახლავთ ის, რომ ფერმის კვანძებისა და ღეროების გეომეტრიის უმნიშვნელო ცვლილების დროს ღეროები, რომლებიც ხშირად გაშლის ენერგოშემცველებს და ფორმის საბოლოო ფიქსატორებს წარმოადგენენ, ბოლომდე ვერ იმართება, და, ამის შედეგად ვერ უზრუნველყოფენ ფორმათწარმოქმნის პროცესის დასრულებას.

ტრანსფორმაციის მეშვეობით კონსტრუქციული სისტემების ფორმების წარმოქმნა უნდა აკმაყოფილებდეს იმ განსაკუთრებულ მოთხოვნებს, რომლებსაც ეუყენებთ ახალი ფორმების შექმნას პრაქტიკულად ყველგან – როგორც დედამიწაზე, ისე კოსმოსურ სივრცეში.

მაგრამ ამ მოთხოვნების დაკმაყოფილების დროსაც კი, ტრანსფორმაციის გზით კონსტრუქციის ფორმათწარმოქმნა თავის გადაწყვეტის სირთულის და ძვირადღირებულების გამო მკაცრ შეფასებას მოითხოვს.

ტრანსფორმირებადი სისტემის შექმნისათვის საჭირო დრო, ტექნიკური გადაწყვეტის კვალობაზე, უმეტესწილად უფრო მეტიც კი არის იმ დროსთან შედარებით, რომელიც ანალოგიური არატრანსფორმირებადი სისტემების დამზადებას სჭირდება. ამასთან, არცთუ იშვიათად, საჭიროა მაღალი კვალიფიკაციის მუშახელის, ძვირადღირებული მასალების, რთული მექანიზმებისა და მოწყობილობის გამოყენება. მაგრამ შრომისა და დანახარჯების აკუმულაცია ტრანსფორმაციის სტარტამდე ხდება.

მეცნიერების და ტექნიკის შემდგომ განვითარებასთან ერთად დღის წესრიგში დადგება ამოცანა, შეექმნათ საინჟინრო კონსტრუქციები ექსტრემალური პირობებისთვის და სწორედ ამ მიმართულებით გვესახება პერსპექტიულად ტრანსფორმირებადი სისტემების ფართო გამოყენება.

ზემოაღნიშნულიდან ნათლად ჩანს, რომ ზოგადად ტრანსფორმირებადი სისტემის ანალიზი და მათი ლოგიკა ერთობ მრავალფეროვანი და მრავალმხრივია. ამდენად, საწყის ეტაპზე, აუცილებელი ხდება საინჟინრო ტრანსფორმირებადი სისტემის მათემატიკური მოდელის შემუშავება და მათემატიკური ლოგიკის საფუძველზე განზოგადებული თვისებების ჩამოყალიბება. ერთი სიტყვით, საქმე შეეხება ტრანსფორმირებადი სისტემების თეორიას, როგორც ფორმათწარმოქმნის კანონზომიერების განსაზღვრას.

II. ტრანსფორმირებადი საინჟინრო სისტემების თეორია

II.1. ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების ზოგადი ნიშნები

სიტყვა „ტრანსფორმაცია“ ლათინური „transformatio“-დან მომდინარეობს და ნიშნავს გარდასახვას, სახეცვლილებას და სხვას.

ამ ტერმინის ხმარების დიაპაზონი საკმაოდ ფართოა. იგი პრაქტიკულად მეცნიერების, ტექნიკისა და ხელოვნების ყველა სფეროში გამოიყენება.

ტრანსფორმირებადობა საინჟინრო სისტემებში განისაზღვრება შემდეგი ტერმინებით: „ტრანსფორმირებადი ნაგებობები“, „ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციები“, „ტრანსფორმირებადი დახურვები“ და ა.შ.

მაგრამ პრაქტიკულად, ლიტერატურაში, ყოფა-ცხოვრებისა და ტექნიკის სხვადასხვა სფეროში, ხმარობენ ტერმინებს, „გასაშლელი“, „დასაკეცი“, „გამოსაწევი“, „გასაბერი“, „მარაოსებრი“, „გარმონისებრი“, „პანტოგრაფიული“ და ა.შ., რომლებიც ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების აზრობრივ სინონიმებს და დაზუსტებებს წარმოადგენენ.

არადა, ისინი ყველანი ერთად ასახავენ ერთიან ტრანსფორმირებად სისტემას, ვინაიდან ის საერთო და პრინციპული ნიშნები, რაც ზემოჩამოთვლილ კონსტრუქციებს ახასიათებს, ეს არის მათი ტრანსფორმირებადობა.

ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციები ჯერ კიდევ უძველეს ხანაში გამოიყენებოდა გასაბერი ტყავის ბალიშების – ნავტიკების სახით, რომლებიც წყლის დაბრკოლების ინდივიდუალური გადალახვის საშუალებას წარმოადგენენ. ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციები იყო აგრეთვე გასაშლელი თოკის კიბეები, რომლებიც სხვადასხვა მიზნით გამოიყენებოდა. ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების მაგალითია ქოლგები, ხომალდების ასაწევი იალქნები, მარაოები, კარის და ფანჯრის ასაწევ-გადმოსაწევი საჩრდილობლები და მრავალი სხვა.

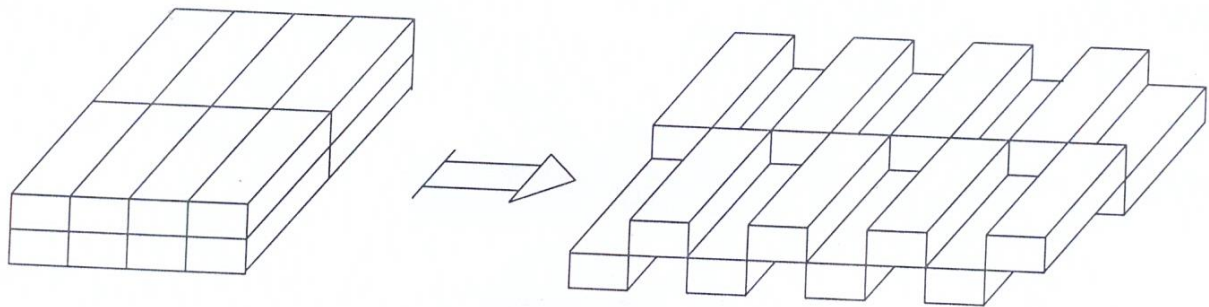
ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციები, დაკეცილი სახით უმეტეს შემთხვევაში კომპაქტური და მცირეგაბარიტია. ისინი იოლი გადასატანია ყოველგვარი ტრანსპორტით.

ამასთან, ტრანსპორტაბელობა როდია გასაშლელ კონსტრუქციათა და ნაგებობათა სავალდებულო და საკმარისი ნიშანი. მაგალითად, გასაშლელი ხიდები, რომლებიც წარმოადგენენ მსხვილ სტაციონარულ ტრანსფორმირებად საინჟინრო ნაგებობებს, საჭიროებისამებრ იშლება, მაგრამ ამავე დროს ასეთი ხიდები ყოველთვის არ არის ტრანსპორტაბელური.

ამრიგად, არის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციები ტრანსპორტაბელური და არატრანსპორტაბელური, მაგრამ ორივეს აქვს უნარი – შეიცვალოს ფორმა.

კონსტრუქციის ფორმის შეცვლა ნიშნავს მისი ცალკეული ელემენტების ერთმანეთის მიმართ ფარდობით ურთიერთგადაადგილებას. მაგრამ კონსტრუქციის ზოგადი ფორმის ყველა ცვლილება როდი განაპირობებს სისტემის ტრანსფორმირებადობას.

მაგალითად, მრავალი პრიზმის ერთობლიობა, ერთმანეთის მიმართ ნაირგვარი განლაგებისას წარმოშობს განსხვავებულ ფორმებს (ფიგ. II.1).



ფიგ. II.1 – ასაწყობ კონსტრუქციაში კუბების გადანაწილება სხვადასხვა ფორმის მიხედვით

ამავე დროს, მრავალი ელემენტის ეს ერთობლიობა ტრანსფორმირებად სისტემად გვევლინება მხოლოდ მაშინ, როდესაც ელემენტები გარკვეული სახით არის დაკავშირებული ერთმანეთთან და წარმოშობენ ერთგვარ მოღიანობას. ამ პირობების გარეშე ელემენტთა ასეთი სიმრავლე წარმოადგენს ასაწყობ კონსტრუქციებს, რომლებიც არ უნდა გავაიგიოთ ტრანსფორმირებად კონსტრუქციებთან.

ელემენტების სისტემა, რომელსაც შეუძლია შეიცვალოს ფორმა, მრავალფეროვანია. სისტემები, რომლებშიც ერთმანეთთან დაკავშირებულ შემადგენელ ელემენტებს შეუძლიათ გადაადგილდნენ ერთურთის მიმართ, შეიძლება დაიყოს ორ ძირითად ჯგუფად.

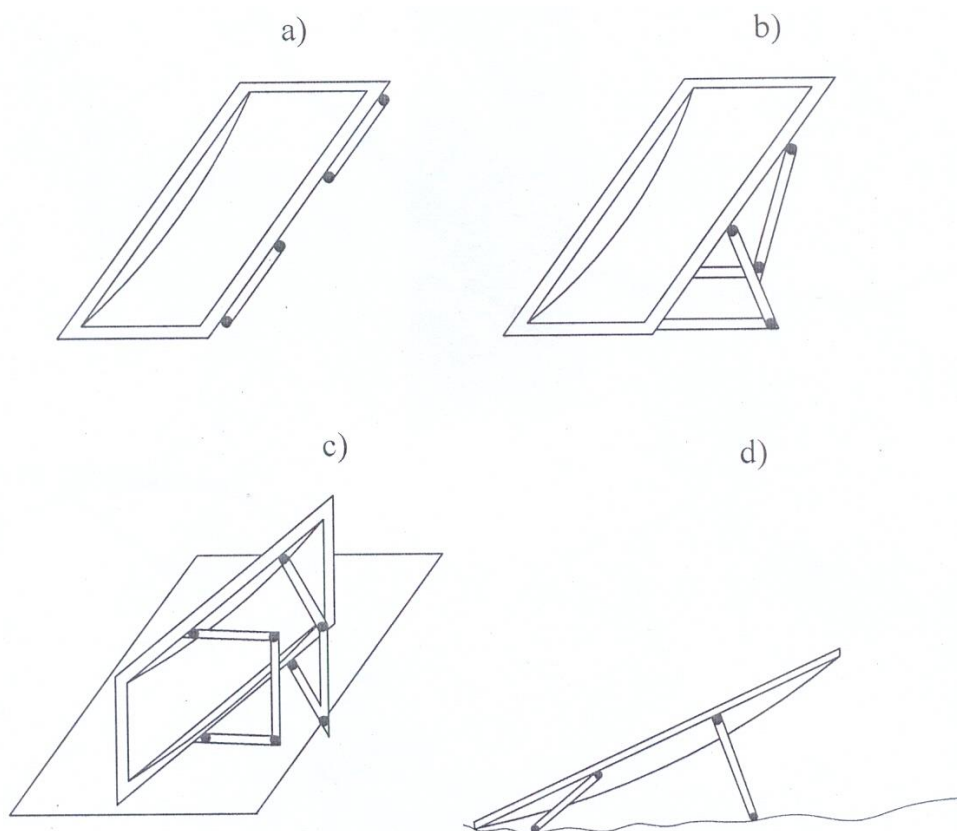
პირველი ჯგუფის სისტემები თავიანთი ფუნქციონირების პროცესში ტრანსფორმირდებიან, ანუ დროის თითოეულ შუალედში ყველა ელემენტის მდებარეობა ერთურთის მიმართ სხვადასხვაა. ასეთი სისტემა წარმოადგენს მექანიზმს, ე.ი. სხეულთა სისტემას, რომელიც განკუთვნილია ერთი ან რამდენიმე სხეულის მოძრაობის გარდაქმნისათვის სხვა სხეულების საჭირო მოძრაობად. ასეთი სისტემის მაგალითია საათი, რომლის ელემენტები დროის სხვადასხვა შუალედში ერთურთის მიმართ სხვადასხვაგვარად არის განლაგებული.

მეორე ჯგუფის სისტემები ფუნქციონირებენ ტრანსფორმაციის შედეგად წარმოქმნილი ფიქსირებული გეომეტრიული ფორმის სტადიაში. მაგალითად, ჩამოსაშვები შტორები ტრანსფორმაციის შემდეგ ასრულებენ თავის ფუნქციებს, ფარავენ რა შენობის შიდა ნაწილს გარე სივრცისაგან.

ორივე შემთხვევაში სისტემის ფუნქციონირებად იგულისხმება სისტემის მიერ თავისი უშუალო დანიშნულების შესრულების პროცესი.

არის სისტემები, რომლებშიც შეხამებულია ორივე ჯგუფის ნიშნები, ე.ი. ისინი ერთდროულად წარმოადგენენ მექანიზმებსაც და ტრანსფორმირებად სისტემებსაც. ასეთი სისტემის მაგალითად შეიძლება მოვიყვანოთ გასაბერი აეროსტატი, რომელიც ეტაპობრივად, სიტუაციის მიხედვით იცვლის ფორმას და აირით გაბერილი ასრულებს თავის ფუნქციას.

ტრანსფორმირებად სისტემებს კონკრეტულ შემთხვევებში შეიძლება ჰქონდეთ ნაირგვარი ფორმა. მაგალითად, გასაშლელი საგარძღის შენახვა დაკეცილი სახით უფრო მოსახერხებელია და გადასატანადაც იოლია (ფიგ. II.2. a).



ფიგ. II.2 – გასაშლელ-დასაკეცი საგარძღი:

- a – დაკეცილი მდგომარეობა; b – გაშლილი, საექსპლოატაციო მდგომარეობა;
c – შუალედური ფიქსირებული ფორმა; d – გაშლილი საექსპლოატაციო მდგომარეობის განსხვავებული ფორმა.

ტრანსფორმაციის შემდეგ, გაშლილი სახით (ფიგ. II.2.b) სავარძელი იღებს ფუნქციურ ფორმას, ანუ ისეთ ფორმას, როცა მასში შეიძლება ჩაჯდეს ელემენტების მდებარეობის მიხედვით მას ასევე შეიძლება მიენიჭოს განსხვავებული ფუნქციური ფორმა (ფიგ. II.2.c). სავარძლის ფორმის ფიქსირებული მდგომარეობა მიიღწევა არა მარტო ფუნქციონირების პროცესში, არამედ ელემენტების სხვაგვარი მდებარეობის დროსაც (ფიგ. II.2.d).

სავარძლის კონსტრუქციის ტრანსფორმაციის ყველა ეტაპზე მის ფორმაში დაცულია ცალკეული ელემენტების ურთიერთდაკავშირების და მოთიანობის სტრუქტურა.

განვსაზღვრავთ რა ტრანსფორმირებადი სისტემების ფიქსირებული ფორმების ფიზიკურ აზრს, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ იგი შეესაბამება მექანიკურ სისტემათა წონასწორობას.

ზოგადად ტრანსფორმირებადი სისტემა წარმოადგენს მექანიზმისა და ნაგებობის სინთეზს. გაშლის ეტაპზე იგი სრულყოფილი მექანიზმია, ხოლო გაშლილ მდგომარეობაში ტრანსფორმირებადი – გასაშლელი სისტემა წარმოადგენს ნაგებობას.

ამდენად, ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციები, როგორც რთულად ორგანიზებული სტრუქტურა მოითხოვს მის თანმიმდევრულ განხილვას და სისტემატიზაციას.

II. 2. ფორმათწარმოქმნის პროცესები

მშენებლობის სწრაფი ტემპი, დასახულ სამუშაოთა დიდი მოცულობა, მაღალი ხარისხი და საიმედოობა, ეკონომიურობა და ინდუსტრიულობა, ესთეტიკურობა და სხვა მოთხოვნები, რომლებსაც კონსტრუქციებს ვუყენებთ, განაპირობებენ იმის საჭიროებას, რომ შეირჩეს ან შეიქმნას ეფექტიანი საშენი მასალები, შემუშავდეს კონსტრუქციის დამზადებისა და აწყობის ახალი ტექნოლოგიები, უზრუნველყოფილ იქნეს ნაკეთობის ტრანსპორტირება, მაქსიმალური საქარხნო მზაობა, მოვლი პროცესის ორგანიზაციის, მექანიზაციისა და ავტომატიზაციის მაღალი დონე – კონსტრუქციის დაპროექტებით დაწყებული და მისი განხორციელებით დამთავრებული.

ტექნიკური ამოცანის ეფექტიან გადაწყვეტასთან დაკავშირებულ მრავალ საკითხთა შორის ერთ-ერთი ძირითადია ნაგებობის კონსტრუქციული ფორმა. მშენებლობის განვითარების მოვლი ისტორია, როგორც საინჟინრო, ისე

არქიტექტურული თვალსაზრისით, უშუალო კანონზომიერ კავშირშია კონსტრუქციის ფორმების განვითარებასთან.

კონსტრუქციის ახალი ფორმების ძიება და შესწავლა დღეს მოიცავს მკვლევართა და სპეციალისტთა ფართო წრეს. უნდა აღინიშნოს, რომ იგი სამშენებლო ხელოვნების და მეცნიერების ნომერ პირველი პრიორიტეტია.

ფორმათწარმოქმნის პროცესების შესწავლა მკვლევართა თანაბარ ინტერესს იწვევს როგორც ტექნიკის, ისე ცოცხალი ბუნების დარგში.

ჩვენ აქ არ ჩავუღრმავდებით ბიონიკური მეთოდის გამოყენების საკითხებს. მოცემულ ეტაპზე მისი მეშვეობით ძირითადად წყდება ამოცანები ისეთი ფორმის შერჩევის, რომლებიც უზრუნველყოფენ კონსტრუქციების და ნაგებობების გაუმჯობესებულ საექსპლუატაციო და ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს და სრულყოფილ, ბუნებრივ და ბუნებასთან შერწყმულ არქიტექტურას.

კონსტრუქტორთა ამოცანაა განსაზღვრონ არა მარტო კონსტრუქციის ოპტიმალური ფორმა, არამედ, აგრეთვე მისი განხორციელების, ე.ი. კონსტრუქციის საკუთარი ფორმის მიღწევის საუკეთესო და მისაღები ხერხები.

სწორედ ეს მხარე, კონსტრუქციის ფორმირების რეალურად შესაძლო და ხელმისაწვდომი ხერხების გამოვლენა, გვევლინება მეტწილად ტექნიკური გადაწყვეტის და კონსტრუქციის შექმნის პრობლემის გადაჭრის დონის შეფასების ძირითად კრიტერიუმად.

ფორმათწარმოქმნის კანონზომიერებათა განმარტებასთან ერთად, ინტერესს წარმოადგენს ფორმის განხორციელების ძირითადი ხერხების არსიც. კერძოდ, უფრო კონკრეტულად დაისმის კითხვა: რა ხერხებით იქმნება კონსტრუქცია, ე.ი. როგორ შეიძლება მიმდინარეობდეს მისი საკუთარი ფორმის ჩამოყალიბება.

საინჟინრო კონსტრუქცია – ეს არის ურიერთდაკავშირებული ელემენტების სისტემა. როგორც ელემენტების სისტემას, მას აქვს სტრუქტურა – ობიექტის მდგრადი ბმების ერთობლიობა, რომლებიც უზრუნველყოფენ მის მთლიანობას და იგივეობას საკუთარი თავისადმი.

ნებისმიერი ფორმის კონსტრუქციის ამოსავალი წერტილია მისი შემადგენელი ელემენტები და მათი ურთიერთდამაგრების კავშირები.

რეალურ პირობებში ხშირად წაშლილია მკაფიო საზღვარი ცალკე წარმოდგენილ ელემენტსა და ცალკე წარმოქმნილ ბმებს შორის, ვინაიდან ფუნქციონალურად ისინი ერთმანეთთან არის შერწყმული. მიუხედავად ამისა, ამოცანის გადაწყვეტის მწყობრი სისტემატიზაციისათვის მოსახერხებლად ისახება სისტემის ელემენტების და მათი ბმების ურთიერთგამიჯვნა.

კონსტრუქციის ფორმირების პროცესი იწყება ელემენტებისა და ბმების შერჩევით. კონსტრუქციის ფორმის მიღწევისა და განხორციელების მიზნით, შეიძლება წარმოიშვას პირობები ახალი, დამატებითი, ეგრეთ წოდებული ფიქსაციის ბმების კონსტრუქციაში მოწყობისა.

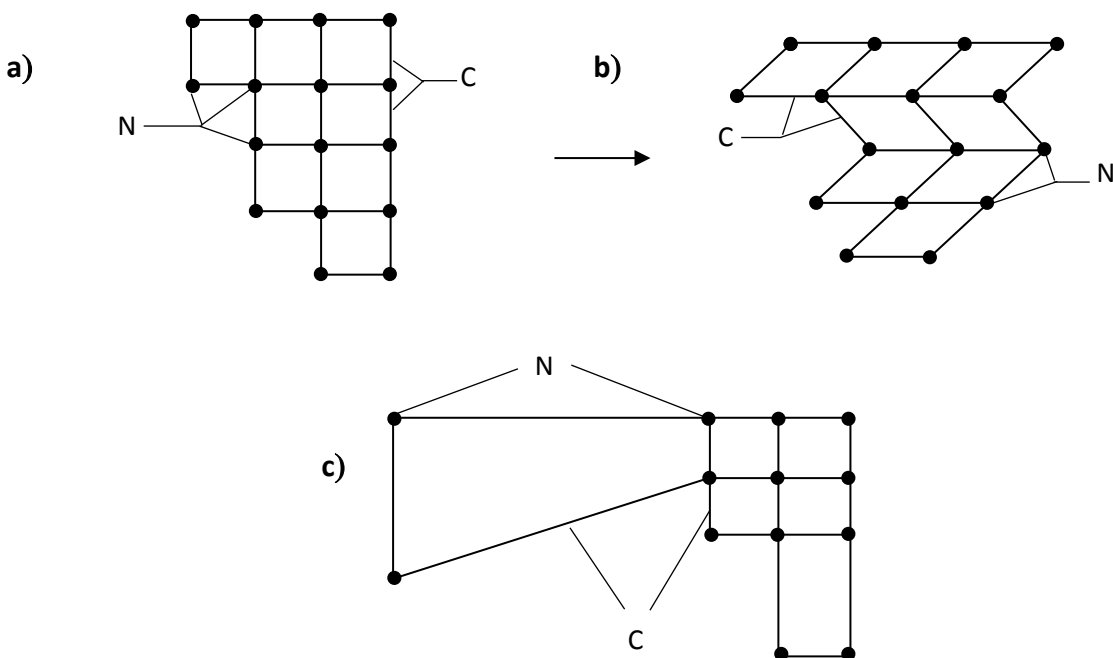
ნებისმიერ შემთხვევაში კონსტრუქციის ფორმა არის მრავალი სხვადასხვა ელემენტის კონკრეტული სიმრავლე, რომლებიც, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, გარკვეულ კავშირშია ერთმანეთთან და წარმოშობს გარკვეულ სისტემას.

ფორმის შეცვლა არსებითად იგივეა, რაც კონფიგურაციის გეომეტრიის შეცვლა. ამიტომ, ფორმის ყოველი ცვლილების დროს წარმოიშობა ელემენტების ახალი სიმრავლე, ვინაიდან თითოეულ მათგანს აქვს შემადგენელი ელემენტების თავისი კერძო გეომეტრიული განლაგება.

ვინაიდან კონსტრუქციის ფორმა ელემენტთა სიმრავლის კონკრეტული სისტემაა, ამ უკანასკნელის შეცვლა ნიშნავს სისტემის შეცვლას.

თუ კონსტრუქციის ფორმის წარმოქმნა ან შეცვლა ყოველთვის ნიშნავს კონსტრუქციის სისტემის წარმოქმნას ან შეცვლას, სტრუქტურა ასეთ ვითარებაში უცვლელი რჩება, ან იცვლება.

განვიხილოთ იმ სისტემისაგან აგებული ფორმა, რომელსაც ქმნის “N” ელემენტების სიმრავლე დაკავშირებული “C” ბმების ერთობლიობით (ფიგ. II.3).



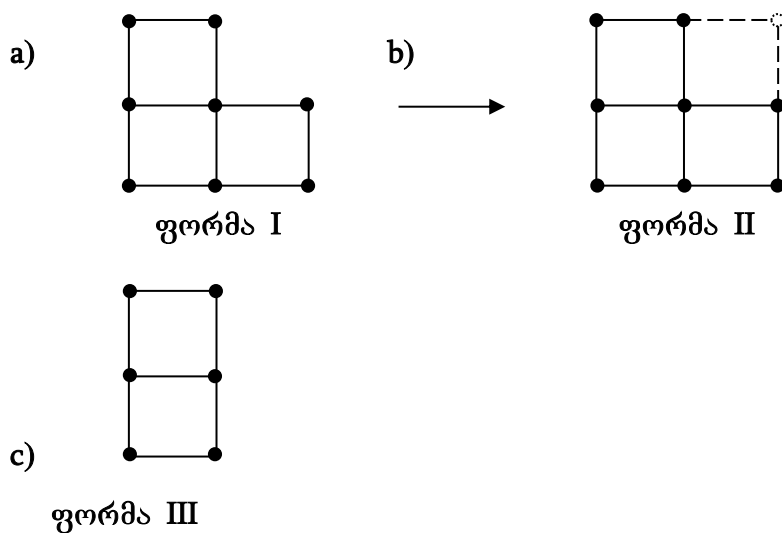
ფიგ. II.3 – ფორმები, რომელიც შექმნილია “N” ელემენტების სიმრავლით და “C” ბმების ერთობლიობით.

a – ფორმა I; b – ფორმა II; c – ფორმა III.

როგორც ვხედავთ, საბმურების ტიპისა და სიგრძის შეუცვლელად, სხვადასხვა შესაძლო ზემოქმედების მეშვეობით, იცვლება კვადრატული სისტემის ფორმა (ფიგ. II.3.a) რომბისებური სისტემის ფორმად (ფიგ. II.3.b). ფორმა I გარდაისახა ფორმა II-ად, ანუ მოხდა ფორმათწარმოქმნა სტრუქტურის შეუცვლელად.

სტრუქტურის ცალკეული კავშირების დეფორმაციებით, ფორმის ცვლილების საილუტრაციოდ, განვიხილოთ ფორმა I (ფიგ. II.3.a), რომელშიც უცვლელი რაოდენობით არის დატოვებული “N” ელემენტების რაოდენობა. ელემენტთა ახალ სიმრავლეს, რომელიც წარმოქმნის ფორმა III-ის მქონე ახალ სისტემას (ფიგ. II.3.c), ვიღებთ სტრუქტურის დეფორმაციის ცვლილების შედეგად ბმების დამოკლებისა და დაგრძელების გზით. ფორმა III წარმოიშვა ბმულების “არამდგრადობის” შედეგად, ზემოაღნიშნული ფორმათწარმოქმნისაგან განსხვავებით (ფიგ. II.3.b), როცა ბმები მდგრადი რჩებოდა.

ახალი ფორმების შექმნის გავრცელებული შემთხვევაა სისტემის შემადგენელი ელემენტების რაოდენობის ცვლილება. ფორმათწარმოქმნის ასეთი პროცესები მიმდინარეობს ახალი ელემენტების დამატებით და ახალი საბმურების წარმოშობით ან მათი კლებით (ფიგ. II.4).



ფიგ. II.4 – ახალი ფორმის შექმნა სისტემის ელემენტების დამატებით ან კლებით

a – ფორმა I; b – ფორმა II; c – ფორმა III.

ფორმატწარმოქმნის ყველა სახეობაში კონსტრუქციის ელემენტები შეიძლება იყოს როგორც ერთნაირი, ისე ნაირგვარი.

ამდენად, ფორმატწარმოქმნის ყველა შესაძლო პროცესი ეფუძნება ორ კომპონენტს: 1) N – სისტემის ელემენტებს, და 2) C – სტრუქტურის ბმებს.

ახალი ფორმები შეიძლება შეიქმნას ყველა შემთხვევაში, როდესაც ელემენტების რაოდენობა იცვლება – N^{\sim} ან მუდმივი რჩება – N^{-} . თითოეულ შემთხვევაში სტრუქტურის ბმები ასევე იცვლება – C^{\sim} , ან მუდმივი რჩება – C^{-} . ეს ნიშნავს, რომ ფორმატწარმოქმნის დროს შეიძლება დაცულ იქნეს შემდეგი ოთხი კომბინაცია:

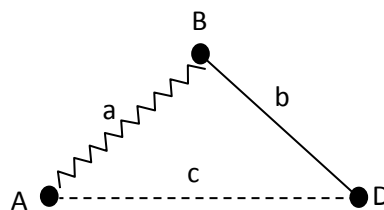
N^{-}	C^{-}
N^{-}	C^{\sim}
N^{\sim}	C^{-}
N^{\sim}	C^{\sim}

კონსტრუქციის ფორმატწარმოქმნის პროცესში ცალკე უნდა განვიხილოთ მისი სტრუქტურა - ბმების ერთობლიობა.

ყოველ ბმას ახასიათებს ორი ძირითადი პარამეტრი:

- 1) გეომეტრიული – G ;
- 2) მექანიკური – M .

ბმის გეომეტრიული პარამეტრი განსაზღვრავს მხოლოდ უშუალოდ გადაბმული ელემენტების ურთიერთგანლაგებას, ხოლო მექანიკური – მათს ძალურ ურთიერთკავშირს და თავისუფლების ხარისხს. თვალსაჩინოებისათვის განვიხილოთ სამი ურთიერთდაკავშირებული ელემენტის a , b და d -ს სტრუქტურა (ფიგ. II.5).



ფიგ. II.5 – ელემენტების და მათი ბმების გეომეტრიული და მექანიკური თვისების გამოვლენა.

სტრუქტურის გეომეტრიული პარამეტრები გულისხმობს ბმების სიგრძეს - a, b, c , და მათ ორიენტაციას სიბრტყეზე ან სივრცეში. მექანიკური პარამეტრები გულისხმობს: ბმების ზამბარულობას – a , დეროვან – b და მოქნილ დეროვან,

ცალმხრივ – **c** კავშირებს, ასევე ელემენტთან ჩამაგრების ხარისხს. კავშირების ჩამაგრება ხარისხის მიხედვით შეიძლება იყოს სახსრული, ხისტი და სხვა.

ყველა შემთხვევაში, როდესაც ფორმათწარმოქმნა არ მიმდინარეობს და კონსტრუქციას ფიქსირებული ფორმა აქვს, ან ფორმათწარმოქმნა სტრუქტურის შეუცვლელად სრულდება, ბმები ითვლება მდგრად – C^- .

ბმები, რომლებსაც ეცვლებათ გეომეტრიული ან მექანიკური მახასიათებლები, ან – ორივე ერთად, ითვლება არამდგრადად – C^\sim .

ფორმათწარმოქმნას კონსტრუქციებში განაპირობებს შიდა და გარე ძალური ფაქტორები. ამასთან, შესაძლებელია **N** ელემენტების რაოდენობის და სტრუქტურის გეომეტრიული და მექანიკური მახასიათებლების კომბინაციის შემდეგი ვარიანტები:

N^-	G^-	M^-
N^-	G^-	M^\sim
N^-	G^\sim	M^-
N^-	G^\sim	M^\sim
N^\sim	G^-	M^-
N^\sim	G^-	M^\sim
N^\sim	G^\sim	M^-
N^\sim	G^\sim	M^\sim

ჩამოთვლილი კომბინაციები ფორმათწარმოქმნის სხვადასხვა შემთხვევებს წარმოადგენენ. რეალურ პირობებში ეს პროცესები შეიძლება მიმდინარეობდეს მათი რამდენიმე კომბინაციის არსებობისას.

ამასთან, ასევე უნდა აღინიშნოს, რომ თუ გარდაქმნის კომბინაციაში იცვლება ელემენტთა რაოდენობა ან მიმდინარეობს მათი გადაჯგუფება, ბმების მოხსნის ან დამატების გზით, მაშინ ასეთი პროცესი შეესაბამება მშენებლობას ასაწყოები ელემენტებისაგან და ისინი არ არიან ტრანსფორმირებადი სისტემები.

ხოლო თუ პროცესის კომბინაციაში ელემენტთა რაოდენობა არ იცვლება და ბმები მათ შორის დაცულია, ასეთ სისტემებს ტრანსფორმირებადს უწოდებენ.

აღნიშნული ლოგიკიდან გამომდინარე სიმბოლიკები ჯგუფდება შემდეგნაირად:

I. ასაწყოები სისტემები

$N^\sim \quad G^- \quad M^-$

II. ტრანსფორმირებადი სისტემები

$N^- \quad G^- \quad M^-$

$N^{\sim} \quad G^{\sim} \quad M^{\sim}$
 $N^{\sim} \quad G^{\sim} \quad M^{\sim}$
 $N^{\sim} \quad G^{\sim} \quad M^{\sim}$

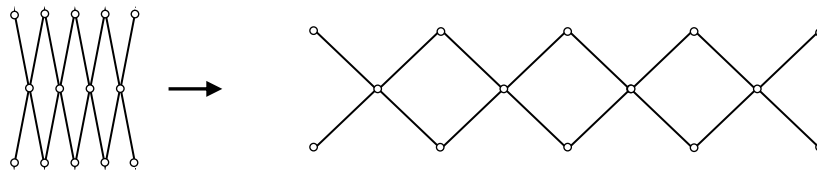
$N^- \quad G^- \quad M^-$
 $N^- \quad G^- \quad M^-$
 $N^- \quad G^- \quad M^-$

რომელ კომბინაციებში ერთობლივად სრულდება ფორმათწარმოქმნის როგორც პირველი, ისე მეორე პროცესები.

უნდა გავითვალისწინოთ, რომ ფუნქციონალურ ფორმაში, სისტემის წონასწორობის მისაღწევად, შეიძლება საჭირო გახდეს დამატებითი ბმები.

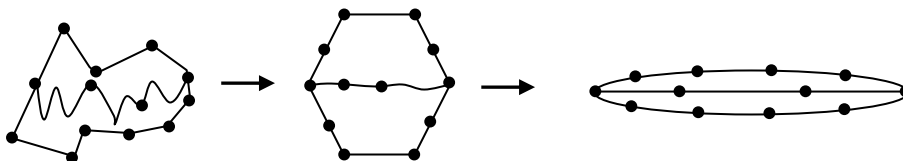
განასხვავებენ ფორმათწარმოქმნის ფორმამდგრად, ფორმა არამდგრად და ფორმადაზუსტებულ ტიპებს.

ფორმამდგრადი ტიპები შეესაბამება ტრანსფორმაციის ისეთ სახეობას, როდესაც პროცესის დაწყებიდან დამთავრებამდე ზუსტად ხდება პროგნოზირება და ფორმათწარმოქმნა მიმდინარეობს ამ პროგნოზის შესაბამისად. ტრანსფორმაციის ფორმამდგრადი პროცესის მაგალითი ნაჩვენებია ფიგ. II. 6-ზე.



ფიგ. II.6 – ფორმამდგრადი ტრანსფორმაცია.

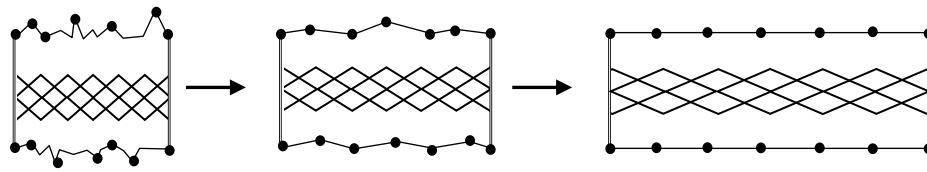
ფორმა არამდგრად ტრანსფორმაციებში პროცესს აქვს ფორმათწარმოქმნის ნებისმიერი, დაუპროგნოზებელი ეტაპები. ტრანსფორმაციის ფორმა არამდგრადი პროცესების მაგალითი მოცემულია ფიგ. II.7-ზე.



ფიგ. II.7 – ფორმა არამდგრადი ტრანსფორმაცია.

რაც შეეხება სისტემის ტრანსფორმაციის ფორმადაზუსტებულ პროცესებს, აქ პროგნოზირებას ექვემდებარება ფორმათწარმოქმნის საწყისი და საბოლოო ეტაპები. შუალედური ეტაპები შეიძლება მიმდინარეობდეს ტრანსფორმაციის სხვადასხვა სქემებით. ზოგიერთ შემთხვევაში ფორმადაზუსტებული ტრანსფორმაციის პროცესი არის სინთეზი ფორმამდგრადი და

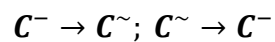
ფორმაარამდგრადი ტრანსფორმაციისა. ფორმადაზუსტებული ტრანსფორმაციის მაგალითი მოცემულია ფიგ. II.8-ზე.



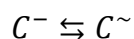
ფიგ. II.8 – ფორმადაზუსტებული ტრანსფორმაცია

ბმეების თვისებები განსაზღვრავენ ფორმის ტრანსფორმაციის ქცევას.

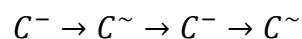
მდგრად და არამდგრად ბმებს ზოგჯერ ახასიათებთ თვისება, გადაიქცნენ შესაბამისად ბმის არამდგრად ან მდგრად სახეობებად.



ხდება, რომ ბმის გადაქცევის პროცესები შექცევადია:



ხოლო ზოგჯერ კი პერიოდული:



როდესაც ფორმათწარმოქმნის ძირითად ტიპებს ვაანალიზებთ, უნდა აღვნიშნოთ, რომ ტრანსფორმაციისას ფორმაარამდგრადი პროცესები, ამ ცნების პირდაპირი აზრით, ნიშნავს ფორმის მდგრადობას მთელი პროცესის დროის ყოველ შუალედში, სხვადასხვაგვარის ზემოქმედების მიმართ. ამასთან, ნებისმიერი კონსტრუქციული სისტემა შეიძლება გახდეს ისეთი ძალოვანი ზემოქმედების ობიექტი, რომლის დროსაც იგი კარგავს ფორმის მდგრადობას. ამიტომ, როდესაც ფორმა მდგრად ტრანსფორმაციას იხილავენ, გულისხმობენ მხოლოდ მის მდგრადობას ფორმის ცვლილების ეტაპებზე და არა მდგრადობის დაკარგვის ძალოვანი ზემოქმედებით.

II.3. სისტემის ტრანსფორმირებადი სტრუქტურები და გეომეტრია

ზოგადი სახით, როგორც აღინიშნა, ტრანსფორმირებადი სისტემები, ფორმის ფიქსირებული და ტრანსფორმაციის სტადიების არსებობის გათვალისწინებით, წარმოადგენენ საინჟინრო ნაგებობებისა და მექანიზმების სინთეზს. სისტემა ტრანსფორმაციის პროცესში მექანიზმია, ხოლო ფიქსირებულ მდგომარეობაში ნაგებობა.

ამდენად, ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების სისტემატიზაცია კონკრეტული პარამეტრების მიხედვით მეტად მრავალმხრივია, რომელთა შორის ერთ-ერთი და მეტად მნიშვნელოვანია ტრანსფორმირებადი სისტემების გეომეტრია – ფორმა და მისი ცვალებადობის კანონზომიერებები.

განხილული რეალური კონსტრუქციული სისტემები გვიჩვენებენ, რომ ურთიერთდაკავშირებული ელემენტებიდან ცალკე-ცალკე თითოეულმა, გამონაკლისის გარეშე სხვადასხვაგვარი ძალოვანი ზემოქმედების დროს შეიძლება განიცადოს დეფორმაცია. ეს ნიშნავს, რომ ეგრეთ წოდებული საწყისი ელემენტი, რომელიც საბაზოა და თეორიულად აბსოლუტურად მყარად არის მიჩნეული, რეალურ პირობებში დრეკადობისა და პლასტიკურობის შედეგად, სხვადასხვაგვარი ზემოქმედების დროს, თვითონ იცვლის ფორმას და გადაიქცევა არამდგრადი ბმების მქონე ელემენტარულ ტრანსფორმირებად სისტემად.

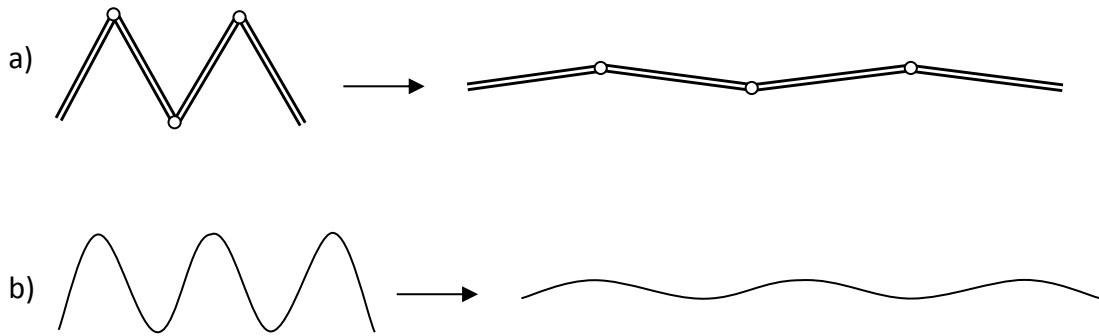
საკითხის ასეთი დაყენების დროს, ფორმათწარმოქმნის უნარის მიხედვით, იშლება სისტემათა კლასიფიკაციის ყველა საზღვარი, ვინაიდან ქრება “მდგრადი ბმების” ცნება.

რეალური მასალებისაგან დამზადებულ კონსტრუქციებში ტრანსფორმირებადი სისტემა შეიძლება განხილულ იქნეს, როგორც ცალკეული მარტივი კონსტრუქციული ელემენტები.

ზემონათქვამიდან გამომდინარე, თუ განვიხილავთ ფერმის კონსტრუქციას, როგორც ტრანსფორმირებად სისტემას მოლეკულური ბმის დონეზე, გეომეტრიულად მისი ტრანსფორმაცია განისაზღვრება დრეკადი ან დრეკად-პლასტიკური დეფორმაციებით.

ფორმათწარმოქმნის პრინციპების განზოგადების თვალსაზრისით აქ წინააღმდეგობა არ არის. მაგრამ თუ განვიხილავთ ისეთი ელემენტებისაგან შედგენილ კონსტრუქციულ სისტემებს, რომელთა დეფორმაციულობაც არ ასრულებს მნიშვნელოვან როლს კონსტრუქციის ფორმის ზოგად ცვლილებებში, მაშინ ასეთი ელემენტები შეიძლება ჩაითვალოს აბსოლუტურად ხისტად (ფიგ. II.9, a).

თუ კონსტრუქციებში ტრანსფორმაციის პროცესის დროს, ყოველ ეტაპზე, ფორმა მიიღწევა დრეკადი, დრეკად-პლასტიკური ან პლასტიკური დეფორმაციების ხარჯზე, მაშინ ამ შემთხვევაში დეფორმაციის აბსოლუტურად დაუქვემდებარებელ ელემენტად შეიძლება ჩაითვალოს მოლეკულური დონე და დეფორმირდება მხოლოდ მოლეკულებს შორის არსებული ბმები (ფიგ. II.9, b).



ფიგ. II.9 – ტრანსფორმაციები, რომლებიც სორცელებს:

a – ხისტი, სახსრულად დაკავშირებული ელემენტებისაგან და **b** – დრეკადი დეფორმაციებით, რომელიც სრულდება მასალის მოლეკულურ დონეზე, რომლის ელემენტად მიჩნეულია მოლეკულები, ხოლო ბმებად მოლეკულებს შორის არსებული კავშირები.

ამრიგად, ტრანსფორმირებადი შეიძლება იყოს კონსტრუქციები, რომლებიც შეიცავენ მუდმივი რაოდენობის მდგრად ბმებს და აკმაყოფილებენ სისტემის გეომეტრიული ცვალებადობის პირობებს. ამასთან, მათ შეიძლება გააჩნდეთ არამდგრადი ბმების როგორც ცვალებადი, ასევე მუდმივი რაოდენობა.

ტრანსფორმირებად სისტემებს აქვთ ფიქსირებული ფორმები და გარდასახვის ფორმები. ეს უკანასკნელნი წარმოიშობიან ტრანსფორმაციის პროცესში და მათი რეალიზაცია ხდება წრფივი, ბრტყელი, გარსისებრი და მოცულობითი ფორმათწარმოქმნის გზით.

ასეთი გარდაქმნები განაპირობებენ ერთგანზომილებიანი, ორგანზომილებიანი და სამგანზომილებიანი ფიქსირებული ფორმების სხვადასხვა კომბინაციებს.

შესაძლო გარდაქმნების კლასიფიკაციისათვის შემოვიღოთ შესაბამისი სიმბოლიკა:

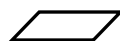
- ერთგანზომილებიანი ფორმა – $F = f(x)$;
- ორგანზომილებიანი ფორმა – $F = f(x;y)$;
- სამგანზომილებიანი ფორმა – $F = f(x;y;z)$.





უფრო კონკრეტულად, სიმბოლიკის გამოყენების გზით ფორმები ასე გამოვსახოთ.

- წრფივი ფორმა –



- ბრტყელი ფორმა –



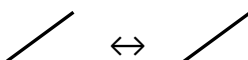
- მრუდხაზოვანი ფორმა – 
- გარსისებრი ფორმა – 
- სივრცულ-მრუდხაზოვანი ფორმა – 
- მოცულობითი ფორმა – 

სიმბოლიკის გამოყენებით, ძირითადი გეომეტრიული ფორმების გარდაქმნების კომბინაცია შეგვიძლია ამგვარად გამოვხატოთ:

I. ერთგანზომილებიანი ფორმა ერთგანზომილებიანად და პირიქით:

$$F' = f'(x) \leftrightarrow F'' = f''(x)$$

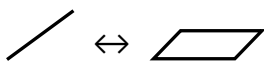
1) წრფივი ფორმა წრფივად



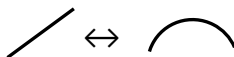
II. ერთგანზომილებიანი ფორმა ორგანზომილებიანად და პირიქით:

$$F' = f'(x) \leftrightarrow F'' = f''(x; y)$$

1) წრფივი ფორმა ბრტყლად



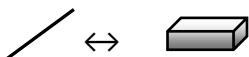
2) წრფივი ფორმა მრუდხაზოვნად



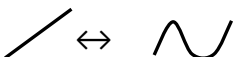
III. ერთგანზომილებიანი ფორმა სამგანზომილებიანად და პირიქით

$$F' = f'(x) \leftrightarrow F'' = f''(x; y; z)$$

1) წრფივი ფორმა მოცულობითად



2) წრფივი ფორმა სივრცულ-მრუდხაზოვნად



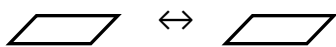
3) წრფივი ფორმა გარსისებურ ფორმად



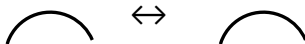
IV. ორგანზომილებიანი ფორმა ორგანზომილებიანად და პირიქით,

$$F' = f'(x) \leftrightarrow F'' = f''(x; y)$$

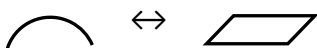
1) ბრტყელი ფორმა ბრტყლად



2) მრუდხაზოვანი ფორმა მრუდხაზოვნად



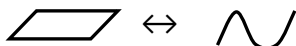
3) მრუდხაზოვანი ფორმა ბრტყლად



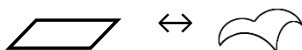
V. ორგანზომილებიანი ფორმა სამგანზომილებიანად და პირიქით

$$F' = f'(x) \leftrightarrow F'' = f''(x; y; z)$$

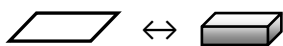
1) ბრტყელი ფორმა სივრცულ-წრფივად



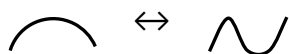
2) ბრტყელი ფორმა გარსისებურად



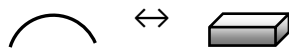
3) ბრტყელი ფორმა მოცულობითად



4) მრუდხაზოვანი ფორმა სივრცულ-მრუდხაზოვნად



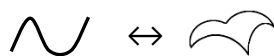
5) მრუდხაზოვანი ფორმა მოცულობითად



VI. სამგანზომილებიანი ფორმა სამგანზომილებიანად და პირიქით

$$F'=f'(x;y;z) \leftrightarrow F''=f''(x;y;z)$$

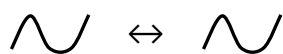
1) სივრცულ-მრუდხაზოვანი ფორმა გარსისებურად



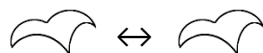
2) სივრცულ-მრუდხაზოვანი ფორმა მოცულობითად



3) სივრცულ-მრუდხაზოვანი ფორმა სივრცულ-მრუდხაზოვნად



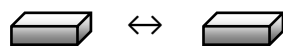
4) გარსისებრი ფორმა გარსისებრად



5) გარსისებრი ფორმა მოცულობითად



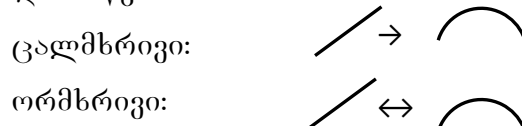
6) მოცულობითი ფორმა მოცულობითად



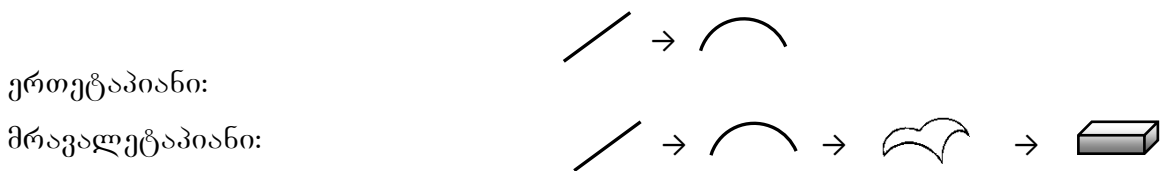
კომბინაციების ჯგუფების განხილვა გვიჩვენებს, რომ ფორმების ზოგადი გეომეტრიის თვალსაზრისით, მათი წარმოქმნისას შესაძლებელია სხვადასხვაგვარი გადასვლები, როგორც მათი განზომილების, ისე ტიპის მიმართ – წრფივი, ბრტყელი, მრუდხაზოვანი, სივრცულ-მრუდხაზოვანი, გარსისებრი და მოცულობითი.

თუ ტრანსფორმირებად სისტემებს ფორმის გარდაქმნის დროს აქვთ თვისება გარდაისახონ მხოლოდ „ერთი მიმართულებით“. მაგალითად, წრფივი ფორმის მოცულობითად ტრანსფორმაციის შემდეგ სისტემას არ ძალუძს უკუტრანსფორმირება, ასეთ სისტემებს უწოდებენ „ცალმხრივ ტრანსფორმირებადს“, სხვა შემთხვევებში ისინი „ორმხრივ ტრანსფორმირებადი“ იქნება.

სიმბოლურად „ცალმხრივი“ და „ორმხრივი“ ტრანსფორმაცია შეიძლება შემდეგნაირად ჩაიწეროს:



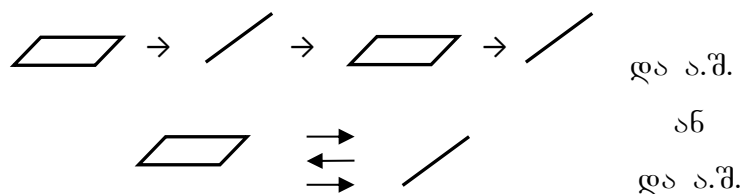
სისტემებს, რომელთაც შეუძლიათ ერთი მიმართულებით ერთხელ ტრანსფორმირება, ეწოდებათ „ერთეტაპიანი“, ხოლო სისტემებს, რომელთაც შეუძლიათ შესაბამისად განაგრძონ ფორმების წარმოქმნა - „მრავალეტაპიანი“:



თუ ტრანსფორმირებადი სისტემა ცალმხრივი და ერთეტაპიანია, ეს ნიშნავს, რომ იგი “ერთჯერად-ტრანსფორმირებადია”.

სხვა შემთხვევებში ასეთ სისტემებს ეწოდებათ “მრავალჯერად-ტრანსფორმირებადი” სისტემები.

თუ მრავალჯერად-ტრანსფორმირებად სისტემებში გარდაქმნა ხდება მხოლოდ ორ ფორმას შორის, და თითოეული მათგანი თანამიმდევრული რიგითობით წარმოიქმნება, ასეთი სისტემა იქნება “ერთ ტიპად ტრანსფორმირებადი”:



ხოლო თუ გარდაქმნა განაპირობებს სხვადასხვა ფორმების წარმოქმნას, სისტემა იქნება “მრავალ ტიპად ტრანსფორმირებადი”,



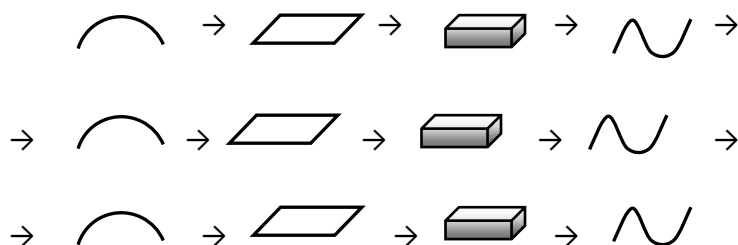
თუ ერთ შემთხვევაში მრავალ ტიპად ტრანსფორმირებადი სისტემის ყოველი კონკრეტული ფორმის წარმოქმნის რიგითობა არ არის დამოკიდებული სხვა ფორმების წარმოქმნის თანამიმდევრობაზე, მაშინ სისტემას ეწოდება “ნებისმიერად ტრანსფორმირებადი”:



ხოლო თუ ყოველი კონკრეტული ფორმის წარმოქმნის წესი დამოკიდებულია სხვა კონკრეტული ფორმების წარმოქმნის რიგითობაზე, მაშინ სისტემა იქნება “არანებისმიერად არატრანსფორმირებადი”:



თუ გარკვეული ფორმების წარმოქმნის რიგითობა პერიოდულად მეორდება, მაშინ სისტემა იქნება “პერიოდულად ტრანსფორმირებადი”:



II.4. ტრანსფორმირებადი სისტემების ძირითადი პარამეტრები

ფორმის – წრფივის, ბრტყელის ან მოცულობითი ტიპის მიუხედავად რეალურ პირობებში ტრანსფორმირებად სისტემას აქვს სამი განზომილება და წარმოგვიდგება სამგანზომილებიანი სხეულის სახით. იგი შედგება მრავალი ურთიერთდაკავშირებული ელემენტისაგან თავისი განსაზღვრის არით – $F(x; y; z)$.

განსაზღვრის არე ახასიათებს თითოეული სისტემის საკუთარ გეომეტრიას და უკავია განსაზღვრული მოცულობა სივრცეში – განსაზღვრის მოცულობა $V_{\text{განს.}}$. წარმოადგენს ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციის ელემენტებს და ბმების ჯამურ მოცულობას.

ტრანსფორმირებადი სისტემებისათვის განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს გაბარიტული შეფუთვის მოცულობას $V_{გ.შ.}$ ე.ი. იმ მინიმალურ მოცულობას, რომელშიც ის არის მოთავსებული. გაბარიტული შეფუთვის მოცულობაში შედის აგრეთვე გამჭოლი და შიდა ღიობების მოცულობა.

სივრცეში გაბარიტული შეფუთვის მოცულობა აღიწერება მისი ზედაპირით – $S_{შფ.}$, რომელსაც ყველა შესაძლო ზედაპირთაგან, რომლებიც გარედან ეკვრის კონკრეტულ ტრანსფორმირებად სისტემას, ყველაზე მცირე, მინიმალური ფართობი აქვს და არ ითვალისწინებს არავითარ სიცარიელეს და ღიობს სისტემაში.

ტრანსფორმირებადი სისტემის გაბარიტებს უწოდებენ მართი ოთხკუთხა პრიზმის წიბოების სიგრძეს – E_x, E_y, E_z . მასში თავსდება ტრანსფორმირებადი სისტემა, რომელიც მჭიდროდ ეკვრის პრიზმის წიბოებსა და წახნაგებს.

განსაზღვრის არე $F(x; y; z)$, მისი მოცულობა $V_{გან.}$, გაბარიტული შეფუთვის მოცულობა $V_{გ.შ.}$ და გაბარიტები E_x, E_y, E_z არის ტრანსფორმირებადი სისტემის ძირითადი გეომეტრიული პარამეტრები. სწორედ მათზეა დამოკიდებული მისი სხვა მახასიათებლები, რომლებიც ასევე მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ თითოეული სისტემის შეფასებისას.

ძალზე ხშირად, ტრანსფორმირებადი სისტემის ღირსებად ითვლება მისი შეფუთვის სიმჭიდროვის მაღალი ხარისხი – $n_{შ.ს.}$, რომელიც დგინდება განსაზღვრის არის და გაბარიტული შეფუთვის მოცულობათა თანაფარდობით:

$$n_{შ.ს.} = \frac{V_{გან.}}{V_{გ.შ.}} \leq 1$$

უფრო სრულყოფილი კონსტრუქციული სისტემები თითქმის ყოველთვის გამოირჩევა შეფუთვის სიმჭიდროვის კოეფიციენტის მატეხის ტენდენციით.

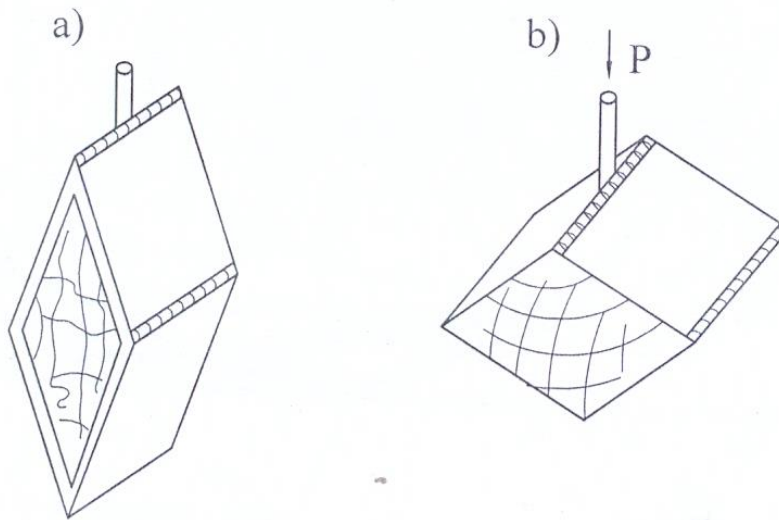
ტრანსფორმაციის სტადიებში, სისტემის ყოველი კონკრეტული ფორმის დროს, მუდმივად რჩება განსაზღვრის არის მოცულობა $V_{გან.} = \text{const.}$ დანარჩენი პარამეტრები, გაბარიტული შეფუთვის მოცულობა და თვითგაბარიტები შეიძლება იცვლებოდეს ან მუდმივად დარჩეს. მაგრამ ტრანსფორმაციის ყველა შემთხვევაში, როგორც წესი, შეიცვლება სისტემის განსაზღვრის არე, ვინაიდან ხდება ერთი სიმრავლის მეორედ გარდაქმნა.

განვიხილოთ ტრანსფორმირებადი სისტემა შემდეგ პარამეტრებით – $F(x; y; z); V_{გან.}; V_{გ.შ.}$ და E_x, E_y, E_z . ზემოაღნიშნულის გათვალისწინებით, ტრანსფორმაციის პროცესების შემდეგი ალბათობაა მოსალოდნელი:

1. $F(x; y; z) \sim V_{\text{განს.}} - V_{\text{გ.შ.}} - (E_x, E_y, E_z) \sim$
2. $F(x; y; z) \sim V_{\text{განს.}} - V_{\text{გ.შ.}} - (E_x, E_y, E_z) \sim$
3. $F(x; y; z) \sim V_{\text{განს.}} - V_{\text{გ.შ.}} - (E_x, E_y, E_z) -$

ყველა კომბინაციაში შენარჩუნებულია სისტემის განსაზღვრის არის უცვლელი მოცულობა. ამას ადასტურებს ის გარემოება, რომ კონსტრუქციულ სისტემებში ტრანსფორმაციის სტადიების დროს მატერიალური ელემენტების რაოდენობა არ იცვლება. ეს მტკიცება შეესაბამება ტრანსფორმირებადი სისტემის პარამეტრებს. მაგრამ მისი ნამდვილობა ყოველთვის დასტურდება პროცესის საგულდაგულო ანალიზით.

განვიხილოთ ჰერმეტიკი ტრანსფორმირებადი სისტემის მაგალითი, რომელიც შედგება სახსრულად დაკავშირებული ოთხი ბრტყელი წიბოსაგან და მათზე ორი მხრიდან მიმაგრებული ელასტიური გარსისაგან (ფიგ. II.10).



ფიგ. II.10 – ტრანსფორმირებადი სისტემის განსაზღვრის არის უცვლელობის კონკრეტული მაგალითი:

- a - ჰერმეტიკი ტრანსფორმირებადი სისტემა გაბერვამდე;
- b - ჰერმეტიკი ტრანსფორმირებადი სისტემა გაბერვის შემდეგ.

თავდაპირველად შეიძლება მოგვეჩვენოს, რომ სისტემის განსაზღვრის არის მოცულობა აირით გავსებამდე (ფიგ. II.10.a) ნაკლები იყო, ვიდრე გავსების შემდეგ (ფიგ. II.10.b). არადა, სულაც არ არის ასე. აირი აქ მეორე სისტემას წარმოადგენს, რომლითაც P წნევის ქვეშ ივსება ჰერმეტიკი მოცულობის ტრანსფორმირებადი სისტემა. ამიტომ მატერიალური ნაწილის ე.ი. განსაზღვრის არის მოცულობა ტრანსფორმაციამდეც და მის შემდეგაც, მუდმივი რჩება.

აქ მასალების ელასტიურობის მიმართ ორი შემთხვევა განიხილება:

- პირველ შემთხვევაში ელასტიური მასალა არ განიცდის წაგრძელებებს და ამ ვარიანტში მასალის მოცულობის ზრდის პრობლემა არ არსებობს;
- მეორე შემთხვევაში ელასტიური მასალა განიცდის წაგრძელებებს, მაგრამ ამასთან მისი მოცულობა უცვლელი რჩება, რადგანაც წაგრძელებას შედეგად მოჰყვება ელასტიური მასალის სისქის შემცირება – გათხელება.

სისტემის ტრანსფორმაცია ხასიათდება ტრანსფორმაციის სიდიდით – $V_{ტრ.}$, რომელიც წარმოადგენს ტრანსფორმირებადი სისტემის მეორადი და პირველადი ფორმის გაბარიტული შეფუთვის მოცულობათა სხვაობას:

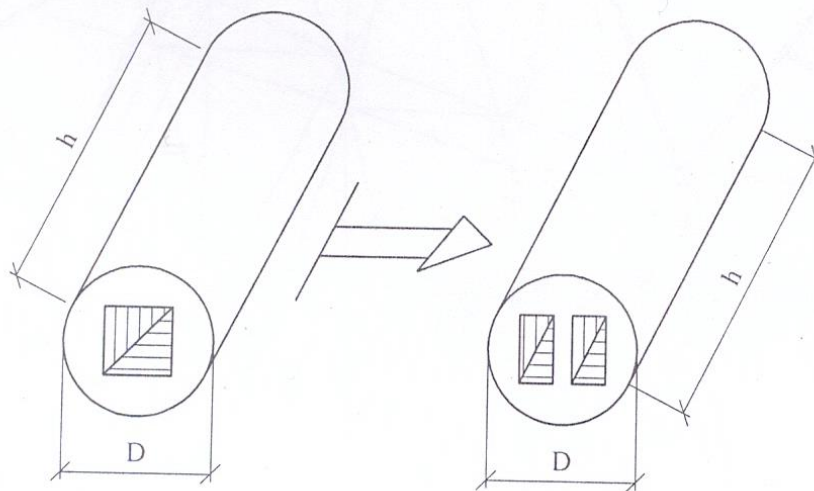
$$V_{ტრ.} = V''_{გ.შ.} - V'_{გ.შ.}$$

ტრანსფორმაციის პროცესებში იგი შეიძლება იყოს დადებითი, უარყოფითი ან ნულის ტოლი.

$$0 < V_{ტრ.} \leq 0$$

სისტემის ტრანსფორმაცია, როცა $0 < V_{ტრ.} < 0$ გასააზრებლად იოლია, მაგრამ შემთხვევა $V_{ტრ.} = 0$ ერთგვარ განმარტებას მოითხოვს.

თუ მოცულობა, რომელსაც იგი იკავებს სივრცეში მისი შიდა და გამჭოლი ღიობების გათვალისწინებით, ტრანსფორმაციის დროს არ იცვლება, მაშინ გვექნება $V_{ტრ.} = 0$. სწორედ მაშინ $V_{ტრ.} = V''_{გ.შ.} - V'_{გ.შ.} = 0$ (ფიგ. II.11).



ფიგ. II.11 – ტრანსფორმაცია პირველადი და მეორადი ფორმის გაბარიტული შეფუთვის მოცულობის შეუცვლელად

- a** – ტრანსფორმირებადი სისტემა ოთხკუთხა პრიზმის სიცარიელით;
- b** – ტრანსფორმაციის შემდეგ იგივე გარე ზომების მქონე ტრანსფორმირებადი სისტემა ორი ოთხკუთხა პრიზმის შიდა სიცარიელით, რომლის მოცულობა **a** შემთხვევაში გამოსახული სხეულის შიდა ოთხკუთხა პრიზმის მოცულობის ტოლია.

ტრანსფორმაციის მნიშვნელოვანი პარამეტრია მისი ჯერადობა.

ტრანსფორმაციის ჯერადობა შეიძლება იყოს ერთგანზომილებიანი – წრფივი, ორგანზომილებიანი და სამგანზომილებიანი ანუ მოცულობითი.

ერთგანზომილებიანი – ტრანსფორმაციის წრფივი ჯერადობა იწვევს გამოსახავს მეორადი ფორმის შეფუთვის მოცულობის გაბარიტების E''_x, E''_y, E''_z თანაფარდობას პირველადი ფორმის გაბარიტებთან - E'_x, E'_y, E'_z .

$$n^x_{\text{წ}} = \frac{E''_x}{E'_x} \quad ; \quad n^y_{\text{წ}} = \frac{E''_y}{E'_y} \quad ; \quad n^z_{\text{წ}} = \frac{E''_z}{E'_z} .$$

ტრანსფორმაციის ორგანზომილებიანი, ზედაპირული ჯერადობა იწვევს გამოხატავს მეორადი ფორმის გაბარიტული შეფუთვის მოცულობის შემომფარგლავი ზედაპირის $S_{\text{გ.}}''$ თანაფარდობას პირველადი ფორმის ასეთივე მნიშვნელობასთან $S_{\text{გ.}}'$:

$$n_{\text{გ}} = \frac{S_{\text{გ.}}''}{S_{\text{გ.}}'}$$

ტრანსფორმაციის სამგანზომილებიანი, მოცულობითი ჯერადობა – $n_{\text{მოც.}}$ გამოხატავს მეორადი ფორმის გაბარიტული შეფუთვის მოცულობის $V_{\text{გ.შ.}}''$ თანაფარდობას პირველადი ფორმის ასეთივე მაჩვენებელთან $V_{\text{გ.შ.}}'$:

$$n_{\text{მოც.}} = \frac{V_{\text{გ.შ.}}''}{V_{\text{გ.შ.}}'}$$

სისტემის ტრანსფორმაციის ხარისხის შეფასებისათვის იმის კვალობაზე, თუ რა შეფარდებით შეიძლება შეიცვალოს სიგრძე, ფართობი ან მოცულობა, შემოვიღოთ გარდობითი ტრანსფორმაციის სიდედე – η .

ისინი გამოიხატება შემდეგი ფორმულებით:

$$\eta_x = \frac{E''_x - E'_x}{E'_x} ;$$

$$\eta_y = \frac{E''_y - E'_y}{E'_y} ;$$

$$\eta_z = \frac{E''_z - E'_z}{E'_z} ;$$

$$\eta_{\text{გ}} = \frac{S_{\text{გ.}}'' - S_{\text{გ.}}'}{S_{\text{გ.}}'} ;$$

$$\eta_{\text{მოც.}} = \frac{V_{\text{გ.შ.}}'' - V_{\text{გ.შ.}}'}{V_{\text{გ.შ.}}'}$$

სისტემის როგორც ურთიერთდაკავშირებული მატერიალური ელემენტების სიმრავლის ფორმათწარმონაქმნა მიმდინარეობს სივრცესა და დროში.

ტრანსფორმაციის დრო – $t_{ტრ}$. მიღებულია დროის შუალედად პირველადი ფორმის განსაზღვრის არის გარდაქმნის პირველი ნიშნების გამოჩენიდან, მეორადი ფორმის წარმოშობის მომენტამდე.

განსაკუთრებული პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს ტრანსფორმირებადი სისტემების მასის მახასიათებლებს. ისევე, როგორც სხვა სისტემებში, ამ უკანასკნელებში ძალაში რჩება კრიტერიუმი – რა მასა მოდის სიგრძის ფართობის და მოცულობის ერთეულზე.

სიგრძის ერთეულის წილად მოსული მასის განსაზღვრავად სისტემის მასა იყოფა მაქსიმალური გაბარიტის სიგრძეზე.

$$g_{\vartheta} = \frac{G}{E_{\max}}$$

ფართობის ერთეულის წილად მოსული მასა განისაზღვრება მასის გაყოფით გაბარიტული შეფუთვის შემომფარგვლელი ზედაპირის ფართზე:

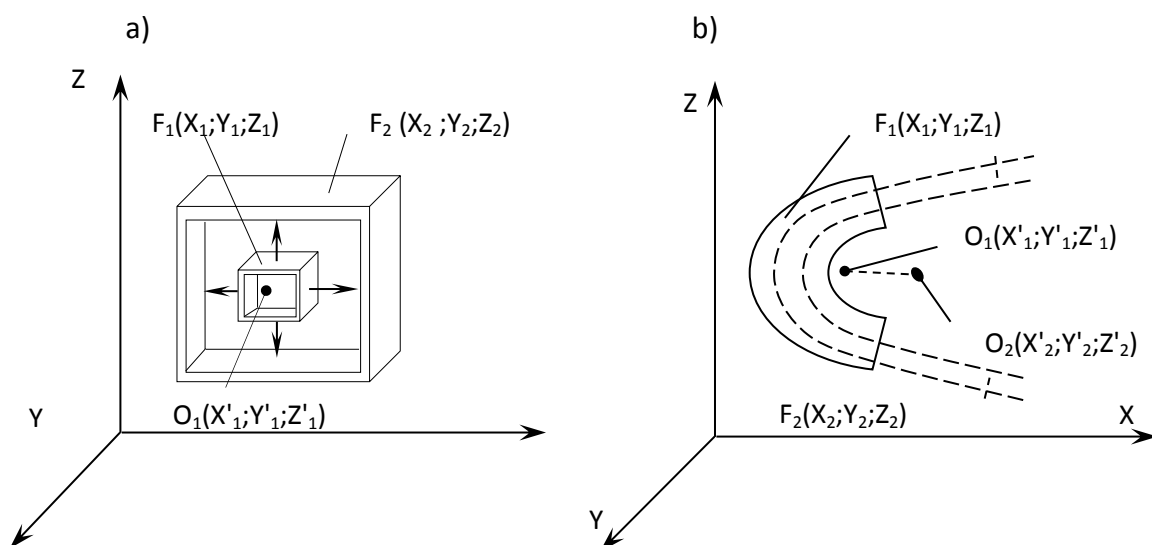
$$g_s = \frac{G}{S_{\vartheta}}$$

მოცულობის ერთეულის წილად მოსული მასა განისაზღვრება მასის გაყოფით გაბარიტული შეფუთვის მოცულობაზე:

$$g_v = \frac{G}{V_{\vartheta \cdot \vartheta}}$$

ტრანსფორმირებადი სისტემის ელემენტთა სიმრავლეს აქვს სიმძიმის თეორიული ცენტრი, რომლის განსაზღვრის დროსაც, რეალურისაგან განსხვავებით, ყველა ელემენტის და ბმების ხვედრითი წონა ერთმანეთის ტოლია.

ტრანსფორმაციის პროცესში მთელი სისტემის გადატანითი მოძრაობის გაუთვალისწინებლად, სიმძიმის ცენტრი სივრცეში შეიძლება უძრავად დარჩეს ან გადაადგილდეს (ფიგ. II.12).

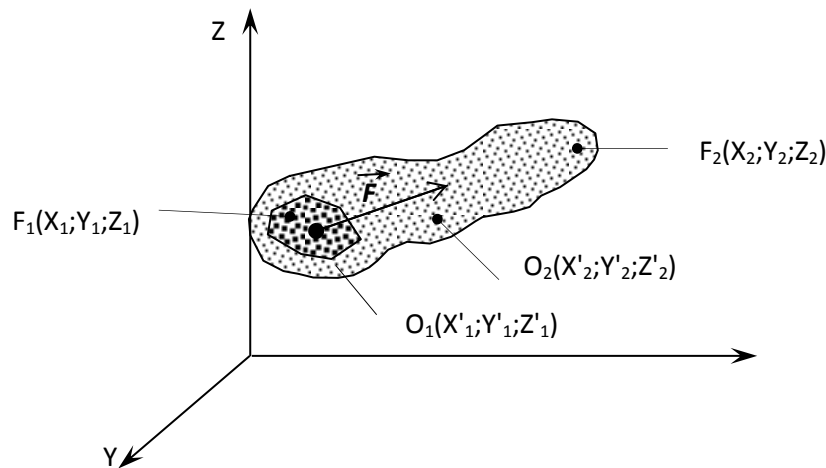


ფიგ. II.12 – სიმძიმის თეორიული ცენტრის მდებარეობა სისტემის ტრანსფორმაციის პროცესებისას:

- a – ტრანსფორმირებადი სისტემების თეორიული ცენტრი არ გადაადგილდება;
- b – ტრანსფორმირებადი სისტემის თეორიული ცენტრი გადაადგილდება.

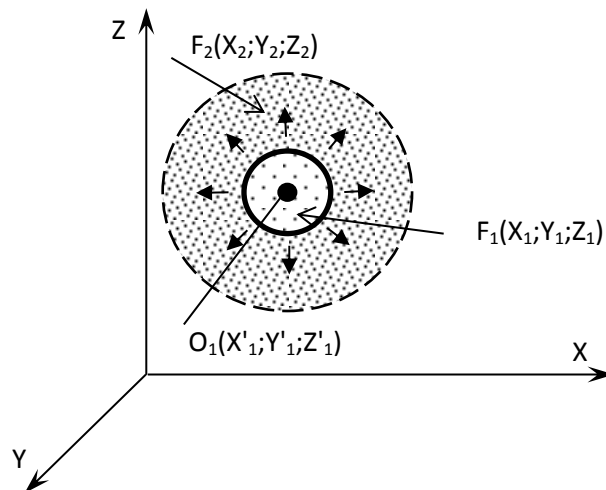
წარმოდგენილ ფიგურაზე, პირველ შემთხვევაში მიუხედავად სისტემის ტრანსფორმაციისა, რამაც მისი განსაზღვრის არე შეცვალა, სიმძიმის ცენტრი O_1 უცვლელი დარჩა. მეორე შემთხვევაში კი, სისტემის ტრანსფორმაციის შედეგად სიმძიმის ცენტრი O_1 წერტილიდან გადაადგილდა O_2 წერტილში.

ტრანსფორმირებადი სისტემის პირველადი ფორმის სიმძიმის ცენტრიდან მეორადი ფორმის სიმძიმის ცენტრისაკენ მიმართულ \vec{F} ვექტორს, სივრცეში მთელი სისტემის გადატანითი მოძრაობის გაუთვალისწინებლად, ეწოდება „ტრანსფორმაციის მიმართულება“, ხოლო თვით სისტემას - „მიმართულად ტრანსფორმირებადი“ (ფიგ. II.13).



ფიგ. II.13 – მიმართულად ტრანსფორმირებადი სისტემა

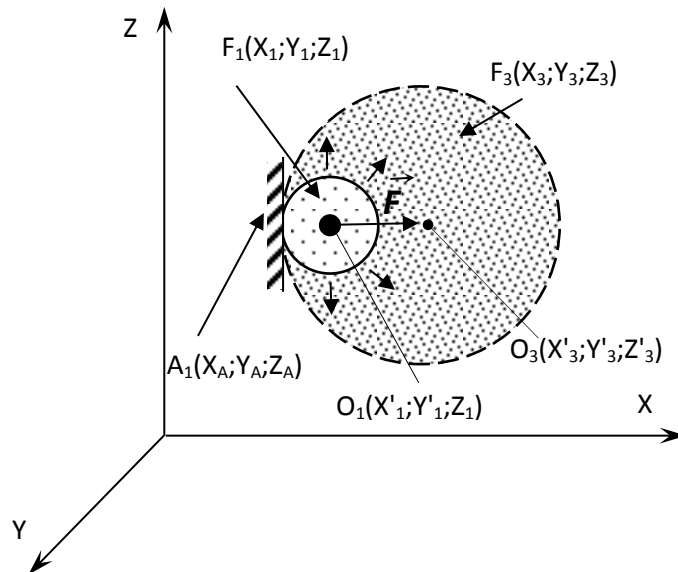
განვიხილოთ მიუმართავად ტრანსფორმირებადი სისტემა, რომელიც სივრცეში დაუმაგრებლად არის განლაგებული (ფიგ. II.14).



ფიგ. II.14 – მიუმართავად ტრანსფორმირებადი სისტემა

ტრანსფორმირებადი სისტემის განსაზღვრის სხვადასხვა არის მიუხედავად - $F_1(X_1; Y_1; Z_1)$ და $F_2(X_2; Y_2; Z_2)$ სიმძიმის ცენტრი უცვლელი იქნება $O_1(X'_1; Y'_1; Z'_1)$.

მაგრამ თუ ამავე სისტემას პირველად ფორმაში, განსაზღვრის არით $F_1(X_1; Y_1; Z_1)$, ტრანსფორმაციამდე დავამაგრებთ A წერტილში, განსაზღვრის შემდეგი არე იქნება არა $F_2(X_2; Y_2; Z_2)$ (იხ. ფიგ. II.14), არამედ $F_3(X_3; Y_3; Z_3)$. ანუ, სიმძიმის ცენტრი $O_1(X'_1; Y'_1; Z'_1)$ წერტილიდან გადაინაცვლებს $O_3(X'_3; Y'_3; Z'_3)$ წერტილში. ეს ნიშნავს, რომ სისტემა მიმართულად ტრანსფორმირებადი გახდა (ფიგ. II.15).



ფიგ. II.15 – მიუმართავად ტრანსფორმირებადი სისტემის გარდაქმნა მიმართულად ტრანსფორმირებად სისტემად

მიმართულად ტრანსფორმირებადი სისტემები თავისთავად ვერ იქნება საკუთრივ მიმართული და საკუთრივ მიუმართავი. მიმართულობა შეიძლება განვიხილოთ როგორც მთლიანად სისტემისათვის, ისე მისი ცალკეული ფრაგმენტებისათვის. მის კვალობაზე განასხვავებენ ზოგად \bar{F} და ფრაგმენტულ მიმართულობას $\bar{F}^{\text{ფრ.}}$.

ზოგადი მიმართულობა – ეს არის ფრაგმენტულ მიმართულობათა ვექტორების ჯამი:

$$\bar{F} = \bar{F}_1^{\text{ფრ.}} + \bar{F}_2^{\text{ფრ.}} + \dots + \bar{F}_n^{\text{ფრ.}}$$

თუ სისტემა მიუმართავია ($\bar{F} = 0$), მასში ყოველთვის მოიძებნება ფრაგმენტული მიმართულობანი, რომლებიც განსხვავდებიან ნულისაგან $\bar{F}^{\text{ფრ.}} \neq 0$.

სიმძიმის ცენტრის გადაადგილების კვალობაზე განასხვავებენ სიმეტრიულ ტრანსფორმაციას.

როდესაც მეორადი ფორმის სიმძიმის ცენტრი პირველადი ფორმის სიმეტრიის ხაზზე რჩება, ტრანსფორმაციას უწოდებენ „სიმეტრიულს“, ხოლო სისტემას, რომელსაც შეუძლია სიმეტრიულად ტრანსფორმირება – „სიმეტრიულად ტრანსფორმირებადს“. სხვა შემთხვევებში საქმე გვაქვს ტრანსფორმაციის არასიმეტრიულ სისტემებთან.

სხვადასხვა ფრაგმენტის ტრანსფორმაცია შეიძლება წარმოებდეს სხვადასხვა სიჩქარით. მაგრამ მთელი სისტემის ტრანსფორმაციის სიჩქარე ხასიათდება ტრანსფორმაციის დაყვანილი სიჩქარით – $V_{დაყ}^{ტრ}$.

$$V_{დაყ}^{ტრ} = \frac{|\vec{F}|}{t_{ტრ}}$$

სადაც $|F|$ არის ტრანსფორმაციის ვექტორის სიგრძე, ხოლო $t_{ტრ}$ – ტრანსფორმაციის დრო.

ტრანსფორმირებად სისტემებს, რომლებშიც ფრაგმენტების ტრანსფორმაციის სიჩქარე ერთმანეთის ტოლია, „თანაბარსიჩქარიანი“ ეწოდება. საპირისპირო შემთხვევაში ისინი „სხვადასხვასიჩქარიანი“ არიან.

კონკრეტულ კონსტრუქციულ სისტემებში სხვადასხვასიჩქარიანი ტრანსფორმაცია განაპირობებს ფაქტორთა თავისებურ გადანაწილებას.

II.5. ტრანსფორმირებადი სისტემების ნაირსახეობანი

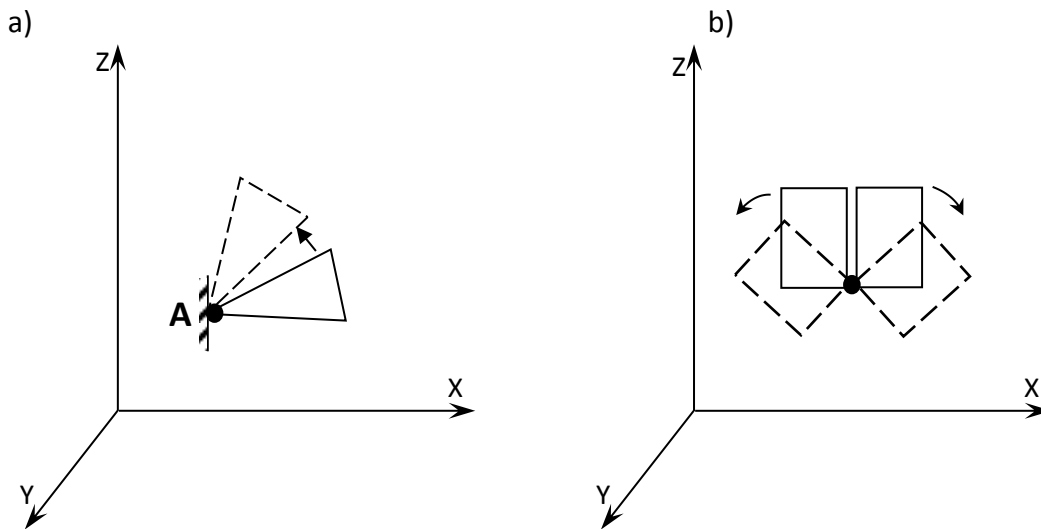
სივრცეში ქცევის ზოგადი ხასიათის თვალსაზრისით, ტრანსფორმირებადი სისტემები შეიძლება იყოს ტრანსპორტაბელური, მობილური, დინამიკური, სტატიკური, ასაწყობ-ტრანსფორმირებადი და ტრანსფორმირებად-ასაწყობი. განვიხილოთ თითოეული შემთხვევა ცალ-ცალკე.

თუ ტრანსფორმირებადი სისტემის ფიქსირებული ფორმის გაბარიტული შეფუთვის მინიმალური მოცულობა $V_{გ.შ}$, გაბარიტები E_x , E_y , E_z და მასა G განაპირობებენ მისი სატრანსპორტო საშუალებით გადაადგილების შესაძლებლობას – სისტემა ტრანსპორტაბელურია.

თუ ტრანსფორმირებადი სისტემის ფიქსირებული, საექსპლუატაციო ფორმების გაბარიტული შეფუთვის მაქსიმალური მოცულობა და გაბარიტები განაპირობებენ მის ტრანსპორტირებას – სისტემა მობილურია.

მაგალითად, თუ კონსტრუქციის დაკეცილი პაკეტი ტრანსპორტირებას ექვემდებარება – სისტემა ტრანსპორტაბელურია. ხოლო თუ გაშლილი კონსტრუქცია მოძრაობს – სისტემა მობილურია.

თუ ტრანსფორმაციის შემდეგ ტრანსფორმირებად სისტემას შესწევს ექსპლოატაციის ადგილზე მანევრირების უნარი, ისე, რომ ამასთან შეინარჩუნოს არემარეს მორგების გარკვეული ხარისხი, მაშინ იგი დინამიკურია. დინამიკური იქნება ისეთი სისტემებიც, რომელთა შემადგენელი ნაწილები გადაადგილდებიან ერთურობის მიმართ (ფიგ. II.16).



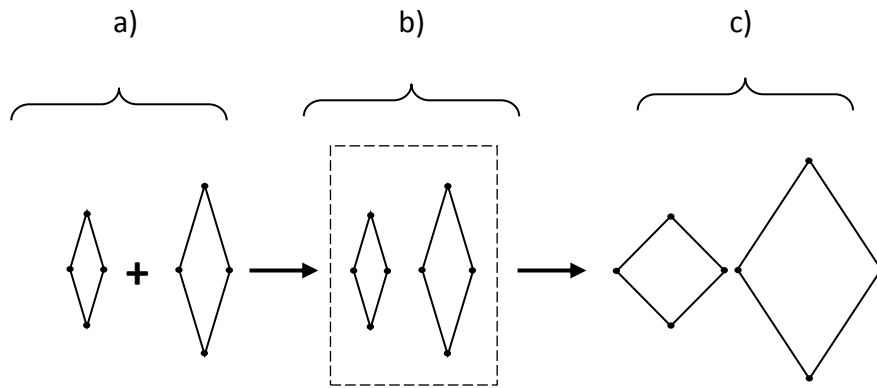
ფიგ. II.16 – დინამიკური ტრანსფორმირებადი სისტემის სქემატური ასახვა:

- a** – დინამიკური ტრანსფორმირებადი სისტემა, რომელიც ფუნქციონირების პირობებში მანევრირებს;
- b** – დინამიკური ტრანსფორმირებადი სისტემა, რომლის ცალკეული ნაწილები ფუნქციონირების სტადიაზე ერთმანეთის მიმართ გადაადგილდება.

სხვა შემთხვევაში ტრანსფორმირებადი სისტემა სტატიკურად ითვლება.

განსაკუთრებული ყურადღება უნდა დაეთმოთ ტრანსფორმირებად-ასაწოები სისტემებისაგან ასაწო-ტრანსფორმირებადი სისტემების განსხვავების არსს.

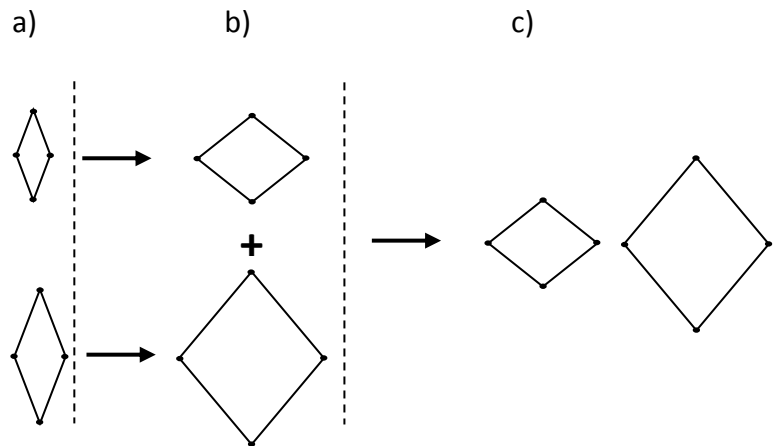
თუ ფორმათწარმოქმნის სტადიაში თავდაპირველად ცალკეული პირველადი, ე.წ. შემადგენელი ტრანსფორმირებადი ფორმები ერთ მთლიან სისტემად იწყოება, ხოლო შემდეგ ხდება ტრანსფორმაცია, ასეთი სისტემა ასაწო-ტრანსფორმირებადი იქნება (ფიგ. II.17).



ფიგ. II.17 – ასაწყობ-ტრანსფორმირებადი სისტემის სქემატური მოდელი:

- a** – ცალკეული ტრანსფორმირებადი სისტემების გაერთიანება;
- b** – ტრანსფორმირებადი სისტემა აწყობილი ორი ცალკეული ტრანსფორმირებადი სისტემისაგან;
- c** – აწყობილი ტრანსფორმირებადი სისტემის ტრანსფორმაცია.

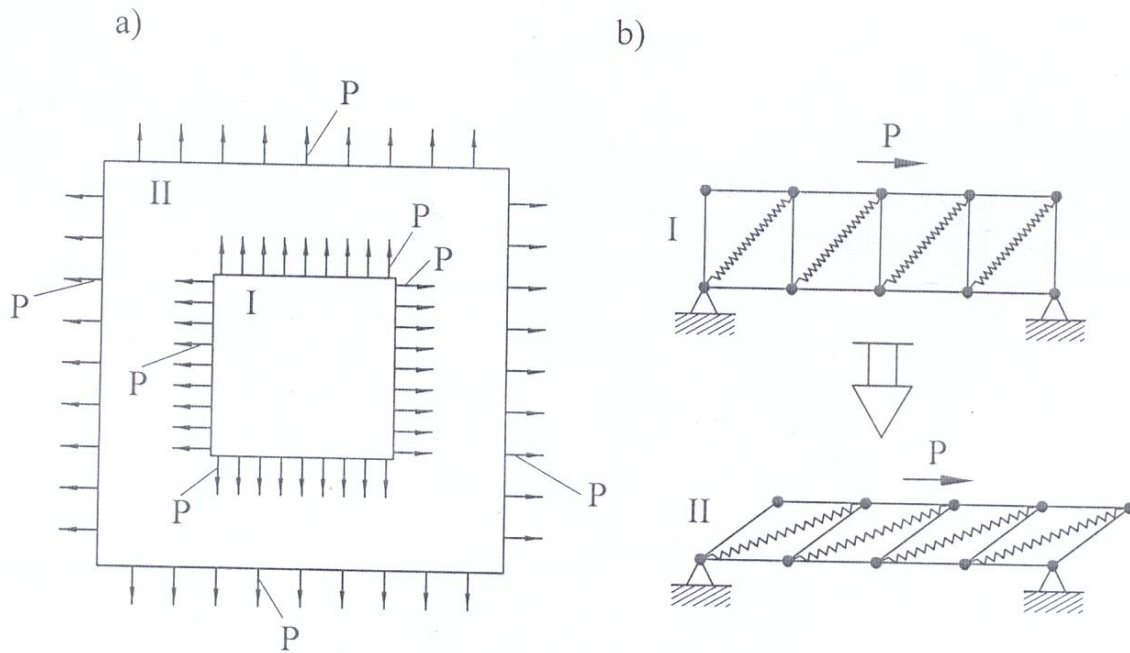
თუ თავდაპირველად მიმდინარეობს ცალკეული სისტემების ტრანსფორმაცია, შემდეგ კი მათ აწყობენ და აერთიანებენ, სისტემა ტრანსფორმირებად-ასაწყობი იქნება (ფიგ. II.18).



ფიგ. II.18 – ტრანსფორმირებად-ასაწყობი სისტემის მოდელი

- a** – ცალკეული სისტემები ტრანსფორმირებაზე;
- b** – ცალკეული სისტემები ტრანსფორმაციის შემდეგ;
- c** – ტრანსფორმაციის შემდეგ აწყობილი, ცალკეული ტრანსფორმირებადი სისტემები და შედგენილი ახალი ასაწყობი სისტემები.

ბმათა განაწილების თვალსაზრისით, ტრანსფორმირებადი სისტემის სტრუქტურები შეიძლება იყოს მთლიანი და დისკრეტული (ფიგ. II.19).



ფიგ. II.19 – მთლიანი ტრანსფორმირებადი სტრუქტურის და დისკრეტული ტრანსფორმირებადი სტრუქტურის სქემატური მოდელები

- a** – ოთხკუთხა ფორმის დრეკადი გაჭიმული აპკის ტრანსფორმაცია P ძალების მოქმედებით: I – ტრანსფორმაციამდე; II – ტრანსფორმაციის შემდეგ.
- b** – ცალკეული ელემენტებით და მათი მაკავშირებელი ბმეებით განხორციელებული ტრანსფორმირებადი სისტემის ტრანსფორმაცია: I – ტრანსფორმაციამდე; II – ტრანსფორმაციის შემდეგ.

მთლიანი ტრანსფორმირებადი სტრუქტურის მაგალითია დრეკადი, ჭიმვადი აპკი, რომელსაც ყველა მიმართულებით აქვს მოდერულათაშორისი კავშირები, ანუ ბმეები, ხოლო დისკრეტული ტრანსფორმაციის მაგალითია, ცალკეულ არატრანსფორმირებად კონსტრუქციულ ელემენტებს შორის გადებული ბმეებით შექმნილი ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურა.

ამასთან, საჭიროა მკაფიოდ გაიმიჯნოს ერთმანეთისაგან მთლიანი და დისკრეტული ტრანსფორმირებადი სისტემების და მთლიანი და დისკრეტული კონსტრუქციების ცნება.

აღნიშნული სახელწოდებანი არ განსაზღვრავენ ტრანსფორმირებადი სისტემების კონსტრუქციულ თავისებურებებს, არამედ ისინი ახასიათებენ კონსტრუქციის ტრანსფორმირებად სტრუქტურებს.

ასეთივე დებულება უდევს საფუძვლად ერთგვაროვანი და ნაირგვაროვანი, იზოტროპიული და ანიზოტროპიული ტრანსფორმირებადი სისტემების განსაზღვრას.

თუ ტრანსფორმირებად სისტემაში ყველა მიმართულებით არის მხოლოდ ერთნაირ სახეობათა მდგრადი და არამდგრადი საბმულები, მას „ერთგვაროვანი“ ეწოდება. წინააღმდეგ შემთხვევაში ასეთი სისტემა „ნაირგვაროვანი“ იქნება.

სხვადასხვა მიმართულებით სისტემას შეიძლება ჰქონდეს უნარი ერთნაირად ან სხვადასხვანაირად განიცადოს ტრანსფორმირება. პირველ შემთხვევაში იგი იზოტროპიული იქნება, მეორეში – ანიზოტროპიული.

II.6. ტრანსფორმაციის ტიპები და ფორმები

პროცესებისა და ფორმათწარმოქმნის მრავალფეროვნების მიუხედავად ტრანსფორმირებადი სტრუქტურის კლასიფიკაცია ტიპებისა და სახეობების მიხედვით შედარებით მარტივად ხდება.

განასხვავებენ ფორმის ტრანსფორმაციის ორგანულ და არაორგანულ ტიპს.

პირველ შემთხვევაში ტრანსფორმაცია ხდება მხოლოდ კონსტრუქციის მასალების შიდა აგებულების ელემენტთა გადაადგილების გზით. მაგალითად: გაჭიმული რეზინების, გასაბერი უჭიმვადი და ჭიმვადი აფსკების და ღრეკადი ფირფიტების ღუნვის შედეგად ფორმების შეცვლა, ორგანულ ტრანსფორმაციებს მიეკუთვნება.

ორგანული ტიპის ტრანსფორმაციის პროცესში შეიძლება დაგეგმირდეს შემთხვევას, როდესაც ფარდობითი თვალსაზრისით, ფორმა არ იცვლება, არამედ ხდება მისი მასშტაბური პროპორციული ზრდა ან შემცირება.

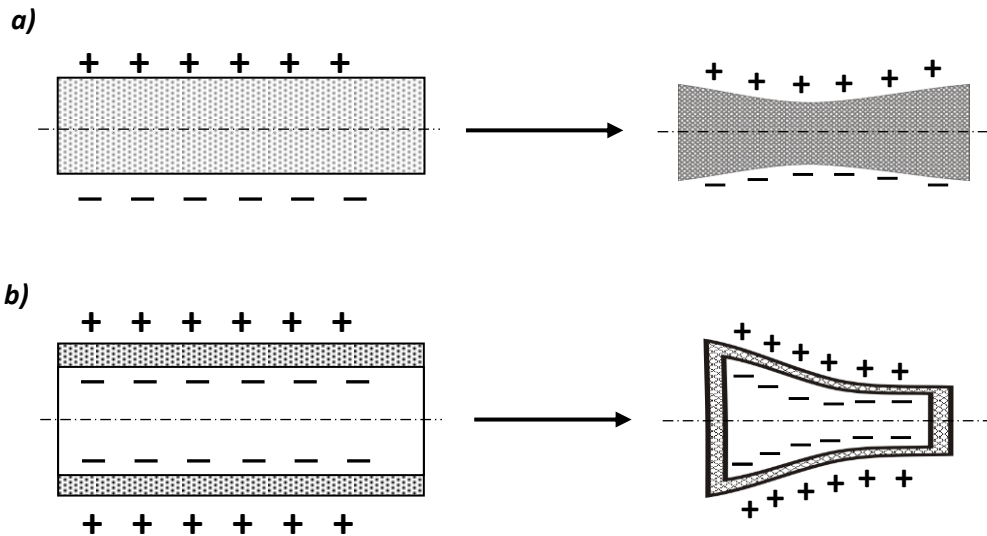
მეორე შემთხვევაში, ე.ი. არაორგანული ტიპის დროს, ტრანსფორმაცია ხდება იმ ელემენტთა ურთიერთგადაადგილების შედეგად, რომლებიც თავად წარმოადგენენ კონსტრუქციის სქემის დეტალებს. მათი საკუთარი დეფორმაციები, რომლებიც შიდა აგებულების შედეგია, მხედველობაში არ მიიღება. ასეთი ტიპის მაგალითია სხვადასხვა სახეობათა სახსროვანი მექანიზმები. შესაბამისად, ტრანსფორმირებად სისტემასაც არაორგანული ეწოდება.

რეალურ პირობებში ვხვდებით ფორმის ტრანსფორმაციის როგორც ორგანულსა და არაორგანულ, ისე შერეულ ტიპებს.

ტრანსფორმაციის პროცესში ფორმის ცვლა ძირითადი ფაქტორია იმ ელემენტთა სიმრავლის ქცევისა სივრცეში, რომლებიც წარმოშობენ სისტემის ფიგურას.

ტრანსფორმაციის მიმართებით ყოველთვის მოიძებნება ელემენტთა ისეთი აქტიური სიმრავლეები, რომლებიც განლაგდება არა მიმდინარე პროცესების ნეიტრალურ ღერძებზე, არამედ მის ნაპირებზე, შიდა ან გარე მხარეებზე და გარს შემოწერენ ფიგურის მოხაზულობას.

ამის მიხედვით მოვნიშნოთ საპირისპირო წერტილები, რომლებიც სიმრავლის ელემენტებს წარმოადგენენ, და შესაბამისად ღრუ ფორმების შიდა წერტილები „პლიუს“ და „მინუს“ ნიშნებით (ფიგ. II.20).

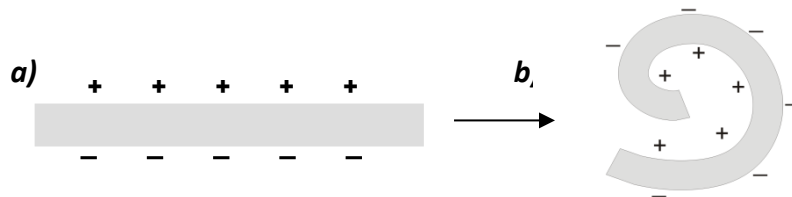


ფიგ. II.20 – მთლიანტანიანი და ღრუტანიანი ტრანსფორმირებადი სისტემების განაპირა წერტილების აღნიშვნა “+” და “-” სიმბოლოებით

- a** – მთლიანტანიანი ტრანსფორმირებადი სისტემა და მისი ფორმის ტრანსფორმაცია;
b – ღრუტანიანი ტრანსფორმირებადი სისტემა და მისი ფორმის ტრანსფორმაცია.

ყველა ეს ფორმა იყოფა ფიგურის ტრანსფორმაციის ორ ძირითად ფორმად – სპირალური და ნაოჭური ტრანსფორმაციის ფორმად.

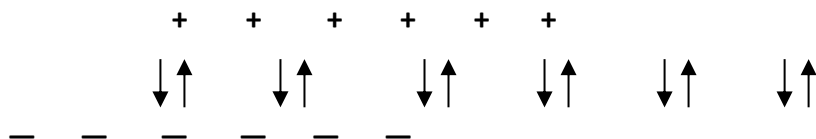
1. სპირალური ფორმა – გასწვრივი შეთავსება განისაზღვრება სისტემის მთელ სიგრძეზე „საპირისპირო ზედაპირების“ სიმრავლის ელემენტთა სისტემის ურთიერთდაახლოებით ან დაშორიშორებით (ფიგ. II.21).



ფიგ. II.21 – სპირალური ფორმით ტრანსფორმირებადი სისტემა

- a** – ფიგურა ტრანსფორმაციამდე; **b** – ფიგურა ტრანსფორმაციის შემდეგ.

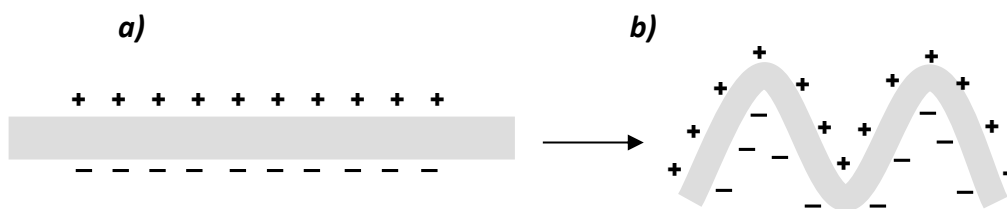
სიმბოლურად სპირალური ფორმა შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:



შემოთავაზებულ სქემაში და მის სიმბოლურ ჩანაწერში მოჩანს არსი შეთავსებისა, როდესაც ხდება გარე და შიდა ზედაპირების ურთიერთშეთავსება.

რეალურ პირობებში სპირალური ფორმა ერთობ ხშირია. სწორედ ასეთ სახეობას განეკუთვნებიან დასახვევი კონსტრუქციები.

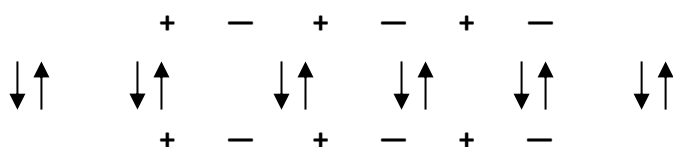
2. ნაოჭა ფორმა – განივი შეთავსება განისაზღვრება საპირისპირო ზედაპირთა ისეთი ურთიერთშეთავსებით, რომლის დროსაც ზედაპირთა ერთი დასახელების სიმრავლის ელემენტები უახლოვდებიან ან სცილდებიან ერთმანეთს (ფიგ. II.22).



ფიგ. II.22 ნაოჭა ფორმით ტრანსფორმირებადი სისტემა

a – ფიგურა ტრანსფორმაციამდე; **b** – ფიგურა ტრანსფორმაციის შემდეგ.

სიმბოლურად იგი ასე შეიძლება ჩაიწეროს:



როგორც სქემიდან და სიმბოლური ჩანაწერიდან ჩანს, პლიუსიანი ზედაპირები უახლოვდებიან ან ცილდებიან პლიუსიან ზედაპირს, ხოლო მინუსიანი ზედაპირები უახლოვდებიან ან ცილდებიან მინუსიან ზედაპირს.

ბევრი ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციის უნარს განაპირობებს განივი შეთავსება, ე.ი. ტრანსფორმაციის ნაოჭა ფორმა.

სწორედ ეს ორი ფორმა ტრანსფორმაციისა განსაზღვრავს ფორმათ-წარმოქმნას, რომლის შედეგად ხდება ერთი ფიგურიდან მეორეს მიღება. ყველა სხვა შემთხვევა წარმოადგენს მათ ნაირსახეობას და კომბინაციებს. ამის მაგალითები შეიძლება მრავლად იქნას განხილული.

ტრანსფორმირებადი სისტემების აგებულების ინტერპრეტირება საკმაოდ რთულია. ამავე დროს, თითოეული რთული ტრანსფორმირებადი სისტემა შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ როგორც ელემენტარული ტრანსფორმირებადი სისტემებისაგან შედგენილი.

მაგრამ აქ არ უნდა აგვერიოს ერთმანეთში „ტრანსფორმირებადი სისტემის ელემენტების“ და „ელემენტარული ტრანსფორმირებადი სისტემის“ ცნებები. მათ შორის დიდი განსხვავებაა.

ელემენტარული ტრანსფორმირებადი სისტემა თავისთავად მოიცავს ურთიერთდაკავშირებულ ელემენტებს. იმის კვალობაზე, თუ რა დონეზე განვიხილავთ სისტემას, ასეთი ელემენტები შეიძლება იყოს მიკრო და მაკროსხეულები, რომლებიც მონაწილეობას იღებენ ტრანსფორმაციაში.

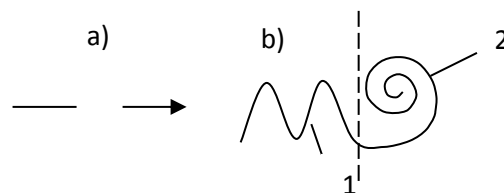
სისტემას, რომელშიც არ მოიძებნება ისეთი ბმები, რომელთა დაცალკეება გამოიწვევს ტრანსფორმაციის რომელიმე ფორმის დაკარგვას, უწოდებენ ელემენტარულ ტრანსფორმირებად სისტემას.

ასეთი სისტემის მაგალითია ჩვეულებრივი დრეკადი ზამბარა (ფიგ. II.23).



ფიგ. II.23 – ელემენტარული ტრანსფორმირებადი სისტემის – ზამბარის მაგალითი, როდესაც ბმის განცალკეებით წარმოქმნილი ორი ზამბარა ინარჩუნებს ტრანსფორმაციის ნაოჭა ფორმის უნარს.

თუ ტრანსფორმაცია შეიცავს რამდენიმე ფორმას, იგი შედგენელი ფორმის ტრანსფორმაციაა (ფიგ. II.24).

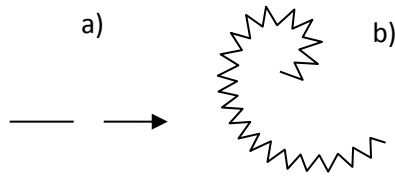


ფიგ. II.24 – შედგენილი ფორმის ტრანსფორმირებადი სისტემა:

a – სისტემა ტრანსფორმაციამდე; b – სისტემა ტრანსფორმაციის შემდეგ;

I – ტრანსფორმაციის ნაოჭა ფორმა; II – ტრანსფორმაციის სპირალური ფორმა.

რეალურ პირობებში ხშირად ვხვდებით ტრანსფორმაციის ფორმის უფრო რთულ სახეობას – იარუსებიანს, როდესაც ერთი ფორმა უკვე შეიცავს თავის თავში მეორეს (ფიგ. II.25).



ფიგ. 2.25 – იარუსებიანი ტრანსფორმირებადი სისტემა:

a – სისტემა ტრანსფორმაციამდე; **b** – სპირალური ფორმით დახვეული, ნაოჭა ტრანსფორმირებადი სისტემა.

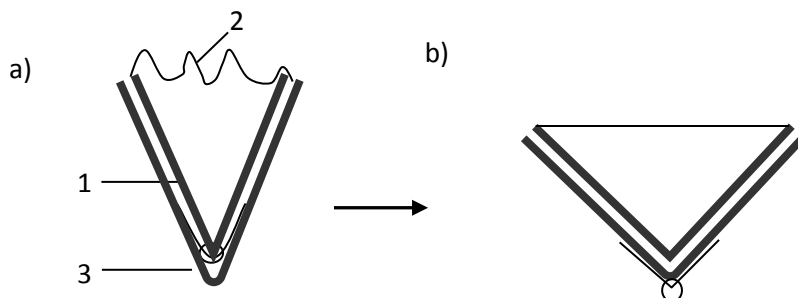
შეიძლება ითქვას, რომ ტრანსფორმაციის ფორმა შეიძლება იყოს ერთიარუსიანი და მრავალარუსიანი, ამასთან პროცესი შეიძლება მიმდინარეობდეს ცალ-ცალკე თითოეულ იარუსზე ან ერთდროულად.

II.7. ტრანსფორმირებადი სისტემების დინამიკური სტრუქტურა

დინამიკური ანალიზის თვალსაზრისით, ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სისტემები შედგება წამყვანი, ამყოლი და ძალური ნაწილებისაგან. ტრანსფორმირებად ნაწილს, რომელსაც ნაკლები თავისუფლების ხარისხი აქვს, „წამყვანი“ სტრუქტურა ეწოდება, ვინაიდან სწორედ ის არის ძირითადად ფორმათწარმოქმნის წამყვანი ფაქტორი. დანარჩენი ტრანსფორმირებადი ნაწილები „ამყოლად“ ითვლება.

ძალურია ის ნაწილი, რომელიც განსაზღვრავს იმ ძალური ფაქტორების წარმოშობას, რომლებიც უზრუნველყოფენ სამუშაოს შესრულებას ტრანსფორმაციის დროს, ხოლო ზოგჯერ დამატებით ძალისხმევასაც ფიქსირებული ფორმის მისაღწევად.

ტრანსფორმირებადი სისტემის სქემა, რომელიც შედგება „წამყვანი“, „ამყოლი“ და „ძალური“ ნაწილებისაგან წარმოდგენილია ფიგ. II.26-ზე.



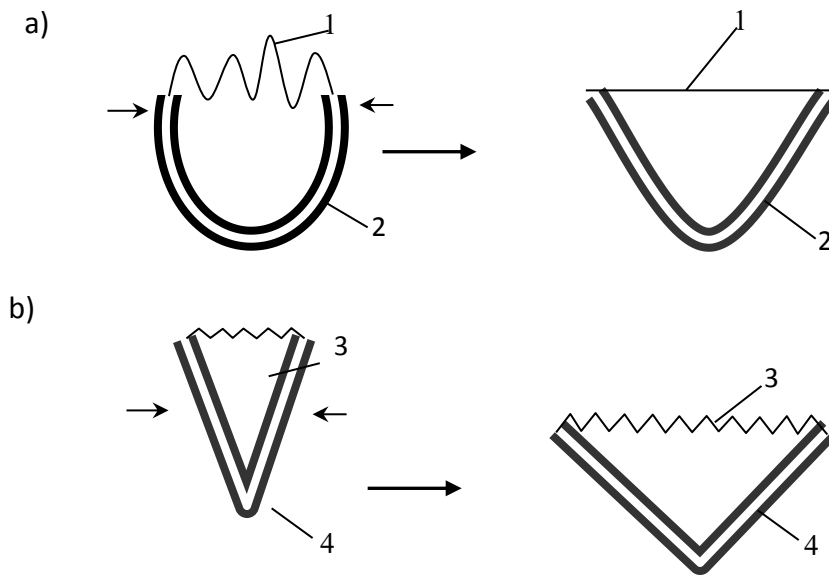
ფიგ. II.26 – ტრანსფორმირებადი სისტემის სქემა, რომელიც შედგება „წამყვანი“ – 1, „ამყოლი“ – 2 და „ძალური“ – 3 ნაწილებისაგან.

ფიგურაზე წარმოდგენილ სქემაში ორი ღეროსაგან შედგენილი სისტემა წამყვანია. ამასთან, ღეროების ერთი ბოლოები სახსრულად არის შეერთებული ერთმანეთთან, ხოლო მეორეები კი გადამხულია ბაგირით, რომელიც ამჟღავნებს წარმოდგენს.

მთელი ამ სისტემის ტრანსფორმირებას ახდენს ძალური ნაწილი გრესის ზამბარის მეშვეობით.

ტექნიკური გადაწყვეტის თვალსაზრისით, ძალური ნაწილები შეიძლება იყოს მოსახსნელი ან არამოსახსნელი, მაგრამ ეს როდი ცვლის მთლიანად ძალური ნაწილების განსაზღვრის არსს. ამასთან ერთად, მიღებულია აგრეთვე ცნებები: „შეთავსებული“ და „შეუთავსებელი“ ძალური ნაწილები.

როდესაც ძალური ნაწილი წარმოდგენილია წამყვანის სახით, როგორც დრეკადი ღეროები, ან ამჟღავნის სახით, როგორც დრეკადი ზამბარა, მაშინ ადგილი აქვს შეთავსებულ ტრანსფორმირებად სისტემას (ფიგ. II.27).



ფიგ. II.27 – შეთავსებული ტრანსფორმირებადი სისტემის სქემატური მოდელი:

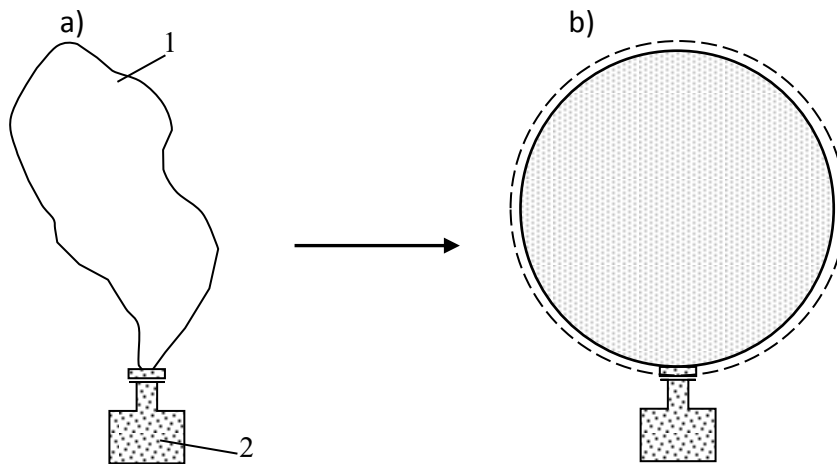
a – ძალოვანი ნაწილის და წამყვანი ნაწილის შეთავსება;

b – ამჟღავნის ნაწილის და ძალოვანი ნაწილის შეთავსება;

1 – ამჟღავნის ნაწილი; 2 – წამყვანი და ძალოვანი შეთავსებული ნაწილი;

3 – ამჟღავნის და ძალოვანი შეთავსებული ნაწილი; 4 – წამყვანი ნაწილი;

ხშირად შეიმჩნევა წამყვანი და ამჟღავნის ნაწილების შეთავსება, ე.ი. საჭმე გვაქვს შეთავსებულ სისტემასთან. ასეთი შეთავსების მაგალითია – გასაბერი ელასტიკურ-ჭიმვადი ბუშტი (ფიგ. II.28).



ფიგ. II.28 – წამყვანი ნაწილის და ამოვლი ნაწილის ურთიერთშეთავსებული ტრანსფორმირებადი სისტემა.

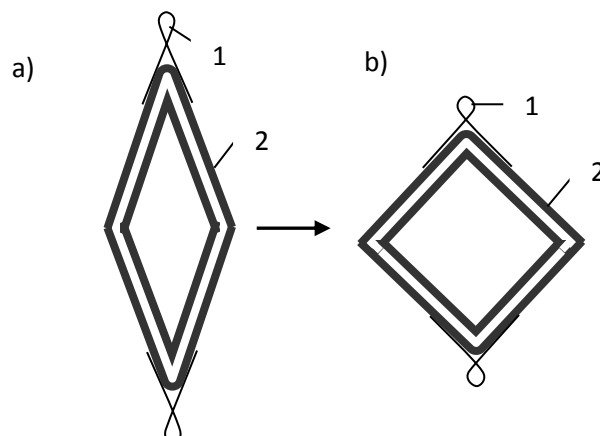
a – სისტემა ტრანსფორმაციამდე; **b** – სისტემა ტრანსფორმაციის შემდეგ;
1 – ამოვლი და წამყვანი ურთიერთშეთავსებული სისტემები; **2** – ძალოვანი სისტემები.

განსაკუთრებულ შემთხვევებში, თუ ძალოვანი ნაწილისათვის საჭირო გახდა მოსახმარი ენერგორესურსების გარდაქმნა, სისტემები აღიჭურვება ენერგოგარდამქმნელი მანქანებით.

სისტემის ტრანსფორმაცია დინამიკური პროცესია, რომლის დროსაც წარმოიშობა ინერციის ძალები. ეს თავისებურებანი უფრო დაწვრილებით შეგვიძლია დავახასიათოთ კონკრეტული მაგალითებით.

ყოველი ტრანსფორმაცია თავისი ბუნებით ძალოვანი ფაქტორია. ამავე დროს, განასხვავებენ სისტემის როგორც ძალოვან, ისე არა ძალოვან ტრანსფორმაციას.

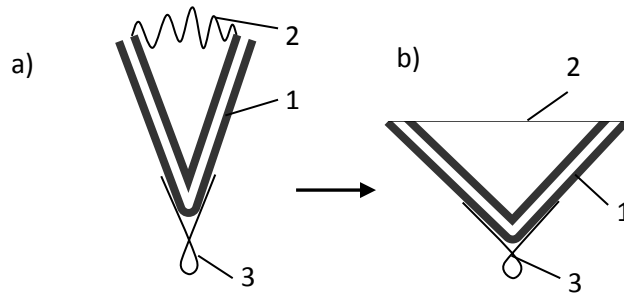
თუ ტრანსფორმაციის შემდეგ სისტემის ელემენტებში არ არის ძალოვანი ფაქტორი – ღუნვა, შეკუმშვა, გაჭიმვა და გრესა, ტრანსფორმაციას „არა ძალოვანს“ უწოდებენ (ფიგ. II.29).



ფიგ. II.29 – სისტემის არა ძალოვანი ტრანსფორმაცია

a – სისტემა ტრანსფორმაციამდე; **b** – სისტემა ტრანსფორმაციის შემდეგ;
1 – ოთხკუთხა სახსროვანი ტრანსფორმირებადი კონტური; **2** – დაძაბული ზამბარა; **3** – დაუძაბავი ზამბარა;

ხოლო თუ პროცესის დასრულების შემდეგ ელემენტებში რჩება ზემოაღნიშნული ძალები, ტრანსფორმაციას „ძალოვანს“ უწოდებენ (ფიგ. II.30).



ფიგ. II.30 – სისტემის ძალოვანი ტრანსფორმაცია:

a – სისტემა ტრანსფორმაციამდე; **b** – სისტემა ტრანსფორმაციის შემდეგ;
1 – წამყვანი ნაწილი; **2** – ამყოლი ნაწილი; **3** – ძალოვანი ნაწილი.

ასეთ შემთხვევაში ტრანსფორმაციის შემდეგ ბაგირი დაჭიმულია, წამყვანი ნაწილის დეროები განიცდიან ღუნვას, ხოლო ძალოვან ზამბარაში კვლავ რჩება აკუმულირებული დრეკადი ძალები.

II.8. ტრანსფორმირებადი სისტემების კლასიფიკაციისა და გამოყენების ზოგიერთი საკითხები

უკანასკნელ დროს ტარდება ფართო დიაპაზონით ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სისტემების სხვადასხვა ტიპების შექმნის და გამოყენების სამუშაოები. სულ უფრო დიდი ყირადღეა ეთმობა მათ თეორიულ ანალიზს, მათ შორის კლასიფიკაციის საკითხებსაც.

მაგრამ არსებული კლასიფიკაციის ნაწილში ძირითად ნაკლს წარმოადგენს ფორმატწარმოქმნის შესაზღებლობებისა და სისტემის კონსტრუქციული ნიშნების ორგანული საკითხების ერთმანეთში შერევა, რაც განაპირობებს გარკვეულ ცდომილებებს კლასიფიკაციის მიღებულ ვარიანტებში.

ტრანსფორმირებადი სისტემების კლასიფიცირება უნდა მოხდეს სამი ძირითადი მიმართულებით ცალკე-ცალკე:

1) ფორმატწარმოქმნის პროცესების გეომეტრიული ნიშნების მიხედვით;

- 2) გაშლის ძალოვანი სისტემის მიხედვით;
- 3) კონსტრუქციული ნიშნების მიხედვით.

ჩვენს მიერ შემოთავაზებულ კლასიფიკაციაში პირველი და მეორე მიმართულებები ახალია. ამ მიმართულებების არსი უკვე განხილული იყო.

მესამე მიმართულებაში – კლასიფიკაციები კონსტრუქციული ნიშნების მიხედვით – ტრანსფორმირებად კონსტრუქციათა გრადაცია ვრცელდება ტრადიციულ სისტემებზე – წამწეები, წიბოვანი, კომბინირებული, პნევმო-ვანტური და სხვა, იმისდა მიხედვით, რომელ მათგანს წარმოადგენს ტრანსფორმირებადი სტრუქტურა ფუნქციონალურ, ფიქსირებულ მდგომარეობაში.

ასევე მნიშვნელოვანია ისიც, რომ კონსტრუქციული სისტემების ფორმატწარმოქმნა ტრანსფორმაციის დახმარებით უნდა აკმაყოფილებდეს იმ განსაკუთრებულ მოთხოვნებს, რომლებიც წაყენება ახალი ფორმების წარმოქმნას პრაქტიკულად ყველგან – როგორც დედამიწაზე, ისე კოსმოსურ სივრცეში.

ამ მოთხოვნებს მიეკუთვნება:

1. კონსტრუქციული ფორმის შექმნა უმოკლეს ვადებში;
2. კონსტრუქციული სისტემის სწრაფი გადადისლოკაციის შესაძლებლობა;
3. კონსტრუქციული ფორმის მრავალჯერადი გამოყენების შესაძლებლობა;
4. კონსტრუქციული ფორმების ნაირსახეობა და სხვა.

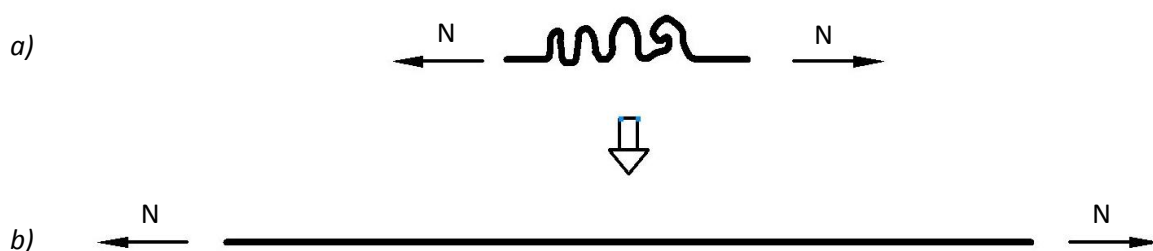
მაგრამ ამ მოთხოვნების დაცვის შემთხვევაშიც კი ფორმატწარმოქმნა ტრანსფორმაციით არ არის უფრო მარტივი პროცესი, ვიდრე ფორმამდგრადი კონსტრუქციების წარმოქმნის პროცესი, რომლებსაც მიეკუთვნება ასაწყობი ან მონოლითური სისტემები.

ტრანსფორმირებადი სისტემის შექმნისათვის აუცილებელი დრო ტექნიკური გადაწყვეტის მიხედვით, ზოგჯერ აჭარბებს კიდევაც ანალოგიური არატრანსფორმირებადი სისტემების დამზადებაზე დახარჯულ დროს. ამასთან, არაიშვიათად საჭიროა მაღალი კვალიფიკაციის მუშახელის, ძვირადღირებული მასალების, რთული მექანიზმებისა და მოწყობილობის გამოყენება. მაგრამ შრომისა და დანახარჯების აკუმულაცია ხდება ტრანსფორმაციის სტარტამდე, სისტემის ფუნქციონირება კი განპირობებული ან ტრანსფორმაციის პროცესით, ან ტრანსპორტირებით და შემდეგ – წინასწარ ურთიერთდაკავშირებული ელემენტებისაგან შექმნილი მზა სისტემის ტრანსფორმაციით.

III. გაჭიმული კონსტრუქციული სისტემები

III.1. გაჭიმული არქიტექტურის – „fensile architecture“, როგორც გაჭიმული ტრანსფორმირებადი სტრუქტურების ერთ-ერთი ძირითადი მიმართულებები

გაჭიმული სისტემები მოიცავს კონსტრუქციათა სხვადასხვა სახეობების სიმრავლეს, რომელთა საექსპლუატაციო ფორმა მიიღწევა და შენარჩუნდება გაჭიმვის შედეგად. მათი არქიტექტურის ამოსავალი პოზიციაა მომუშავე სისტემები, რომლის ყველა ელემენტი იჭიმება და ამასთან ერთად მათი საექსპლუატაციო ფორმაც გაჭიმვით მიიღწევა (ფიგ. III.1)



ფიგ. III.1 – კონსტრუქციული ელემენტი რომლის ფორმა მიიღწევა მისი გაჭიმვის შედეგად

- a – კონსტრუქციული ელემენტი დეფორმირებულ მდგომარეობაშია გაჭიმვამდე;
- b – კონსტრუქციული ელემენტის ფორმა მიღწეულია მისი გაჭიმვით.

აღსანიშნავია ის, რომ კონსტრუქციული ელემენტის დეფორმირებული მდგომარეობა შეიძლება გამოწვეული იყოს მისი დრეკადი, დრეკადპლასტიკური და და პლასტიკური დეფორმაციებით.

ფიგ. III.1-ზე წარმოდგენილი კონსტრუქციული ელემენტის ფორმათ-წარმოქმნა ერთნიშნად შეესაბამება ტრანსფორმაციის პროცესს – დაკეცილი მდგომარეობიდან გაშლილ მდგომარეობაში გადასვლას.

ამდენად, გაჭიმული კონსტრუქციული სისტემები, როგორც ნაგებობათა კლასების ერთ-ერთი მიმართულება, ასევე წარმოადგენენ გაჭიმულ ტრანსფორმირებად კონსტრუქციულ სტრუქტურას.

გაჭიმული კონსტრუქციული სისტემები ბოლო ათწლეულებში ფართოდ გავრცელდა მშენებლობაში. მათ გამოყენება ჰპოვეს არა მარტო სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობაში არამედ სპეციალურ ნაგებობებშიც, რომლებიც ექსტრემალურ პირობებში იქმნება. ამ მხრივ ცალკე უნდა აღინიშნოს კოსმოსური ნაგებობები, სადაც „გაჭიმულ არქიტექტურას“ – გაჭიმულ ტრანსფორმირებად, კონსტრუქციულ სტრუქტურას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება.

„გაჭიმულ არქიტექტურას“ მრავალი ნიშანდობლივი და უპირატესი თვისებები გააჩნია, მაგრამ მათ შორის გამორჩეულია მინიმალური წონა, ფორმაცვალებადობის უნარი ტრანსფორმაციის მეთოდით და განსაკუთრებული არქიტექტურული ფორმების სიმრავლე.

გაჭიმული სტრუქტურების მინიმალური წონა მიიღწევა იმით, რომ კონსტრუქციული ელემენტები ყოველთვის გაჭიმულია, თუნდაც მაშინ, როდესაც გარე ძალებისაგან ისინი კუმშვით ძალებს ითვისებენ. სწორედ ამიტომ, რადგანაც კონსტრუქციული ელემენტების მუშა მდგომარეობას წარმოადგენს გაჭიმვა, მათი კონსტრუქციული მასალის სიმტკიცე მაქსიმალურად არის გამოყენებული. შესაბამისად, განსხვავებით შეკუმშული ელემენტებისაგან, სადაც გრძივი ღუნვის ფაქტორიდან გამომდინარე დომინირებს დაძაბულობის შემცირების აუცილებლობა, მდგრადობის დაკარგვის პირობების გათვალისწინებით, გაჭიმულ ელემენტებში მაქსიმალურად ხდება მასალის სიმტკიცის ათვისება. ამასთან, აღნიშნული ფაქტორის გამო მათში ასევე აღარ არის მაღალი და ზემაღალი სიმტკიცის მასალების გამოყენების ხელისშემშლელი პირობები, რაც კიდევ უფრო ამსუბუქებს გაჭიმულ კონსტრუქციულ სისტემას.

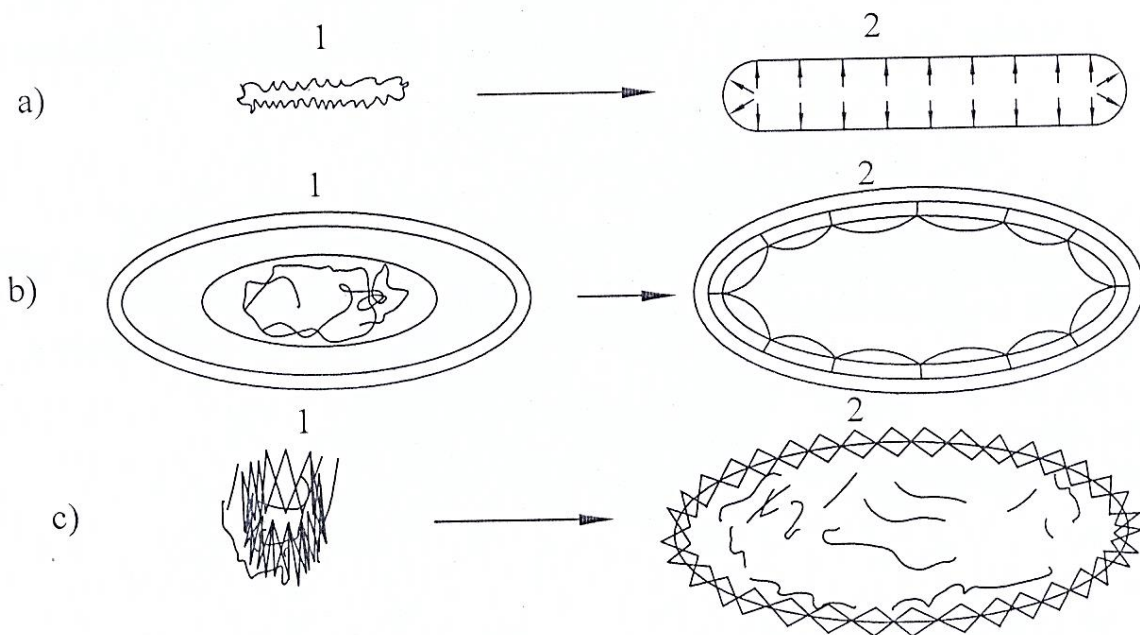
არქიტექტურული ფორმების სიმრავლის, შესახებ მოგვიანებით იქნება მსჯელობა.

რაც შეეხება „გაჭიმული“ ტრანსფორმირებადი სტრუქტურის ფორმატცვალებადობას და მისი საბოლოო ფორმის მიღწევას, ზოგადად აღგილი აქვს შემდეგ მეთოდებს:

- ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურის ფორმის მიღწევა, გარე ძალების ზემოქმედების გარეშე, კონსტრუქციულ ელემენტებში შინაგანი ძალების აღძვრით (ფიგ. III. 2, *a*);
- ფორმის მიღწევა მოქნილი, პერმეტული ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურის გაჭიმვით, რაც ძირითადად მიიღწევა მათი შეესებით აირით, სითხით, ფხვიერი ან პლასტიკური მასით (ფიგ. III.2, *b*);
- ფორმის მიღწევა მოქნილი, პერმეტული კონსტრუქციული სტრუქტურის გაჭიმვით, მასში აირის, სითხის, ფხვიერი ან პლასტიკური მასის შეშვებით, რის შემდეგ ხდება მოქნილი სტრუქტურის გახისტება და შედეგად შეკუმხნილი აირის, სითხის, ფხვიერი ან პლასტიკური მასის გამოდევნა კონსტრუქციიდან (ფიგ. III. 2, *c*);

- ფორმის მიღწევა დაკეცილი, ხისტი, ჰერმეტიკული ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურის გაჭიმვით, მასში აირის, სითხის, ფხვიერი ან პლასტიკური მასის შეჭმუხვნით. კონსტრუქციის გაშლილი ტრანსფორმირებადი სტრუქტურის ფორმის მდგრადი შენარჩუნებით უმეტეს შემთხვევაში ხდება კონსტრუქციიდან აირის, სითხის, ფხვიერი ან პლასტიკური მასის გამოდევნა (ფიგ. III. 2, d).
- ფორმის მიღწევა მოქნილი ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურის გარეშე ძალით დაჭიმვით და მისი მიმაგრებით ხისტი კონსტრუქციასთან, რომელიც უპირატესად მუშაობს კუმშვაზე და ღუნვაზე (ფიგ. III. 2, e).
- ფორმის მიღწევა მოქნილი ან ხისტი ელემენტებისგან შემდგარი ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურის გაერთიანებით კუმშვა და ღუნვაზე მომუშავე გასაშლელ ტრანსფორმირებად კონსტრუქციულ სტრუქტურასთან და მისი საშუალებით ერთიანი სტრუქტურის ტრანსფორმაცია – გაშლა და ფიქსაცია (ფიგ. III. 2, f).

განხილული მეთოდებით „გაჭიმული“ ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურების ფორმაცვალებადობის პროცესების საილუსტრაციოტ განხილული კონკრეტული მაგალითები – *a, b, c, d, e, f* – ნაჩვენებია ფიგ. III.2-ზე.



ფიგ. III.2 – „გაჭიმული“ ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურების ფორმათწარმოქმნის სქემები

I – დაკეცილი მოქნილი ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურა;

- II – გაშლილი ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურა;
- III – გაშლილი ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურა გამყარების პროცესში;
- IV – გამყარებული ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურა.

- a) 1 – დაჭიმული აპი წამოცმული ლილვზე; 2 – ლილვი; 3 – ცენტრიდანული ძალით 4 გაშლილი აპი 3, რაც გამოიწვია ლილვის 2 ბრუნვამ;
- b) 1 – ჰერმეტიკული ფიგურა დაკეცილ მდგომარეობაში; 2 – ჰერმეტიკულ ფიგურასთან მიერთებული ბალონი; 3 – არგონი ბალონში; 4 – ბალონის ჩამკეტი დაკეცილია; 5 – ჰერმეტიკული ფიგურა გაშლილია; 6 – ჰერმეტიკული ფიგურის გამჭიმავი არგონი, რომელიც ბალონიდან 2 გადავიდა ფიგურაში ჩამკეტის 4 გახსნის შემდეგ.
- c) 1 – ჰერმეტიკული ფიგურა დაკეცილ მდგომარეობაში; აირის ბალონი; 3 – აირის ბალონის ჩამკეტი; 4 – გამყარებული მასალა ბალონში აეროზოლის სახით; 5 – აეროზოლის ბალონის ჩამკეტი; 6 – აირი; 7 – გამყარებული აეროზოლი; 8 – აირით გაბერილი ფიგურა, რომელშიც ონკანი 3-ის გახსნით შევიდა აირი; 9 – გამყარებული აეროზოლის ნივთიერებით გახსტებული გაშლილი ფიგურა; 10 – ხისტი ფიგურა, რომლიდანაც გამოსულია აირი და მოხსნილია ბალონები.
- d) 1 – ხისტი, დაკეცილი, ჰერმეტიკული ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურა; 2 – აირით გავსებული ბალონი; 3 – ჩამკეტი; 4 – საკეტი; 5 – ხისტი გასაშლელი კონსტრუქციული ტრანსფორმირებადი სტრუქტურა; 6 – საკეტი მოხსნილია; 7 – ბალონი მოხსნილია.
- e) 1 – ხისტი რგოლი; 2 – მრგვალი დრეკადი აპი; 3 – გაჭიმული დრეკადი აპი კონტურზე ჩამაგრებული 4 ხისტ რგოლთან.
- f) 1 – ხისტი ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურა; 2 – მოქნილი, დაკეცილი ტრანსფორმირებადი სტრუქტურა, რომელიც რგოლზეა ჩამაგრებული; 3 – გაჭიმული ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურა, რომელიც გაშლილ, ხისტ ტრანსფორმირებად კონსტრუქციულ სტრუქტურაზეა 4 მიმაგრებული 5.

აღსანიშნავია, რომ გაჭიმული ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურის ხისტი საყრდენები სტაციონარულია, თუ ტრანსფორმირებადი სტრუქტურა ორივე შემთხვევაში წარმოადგენს საყრდენ, ძალოვან ელემენტებს, რომლებიც ითვისებენ გაჭიმული სტრუქტურიდან მათზე გადაცემულ გამბრჯენის ძალებს.

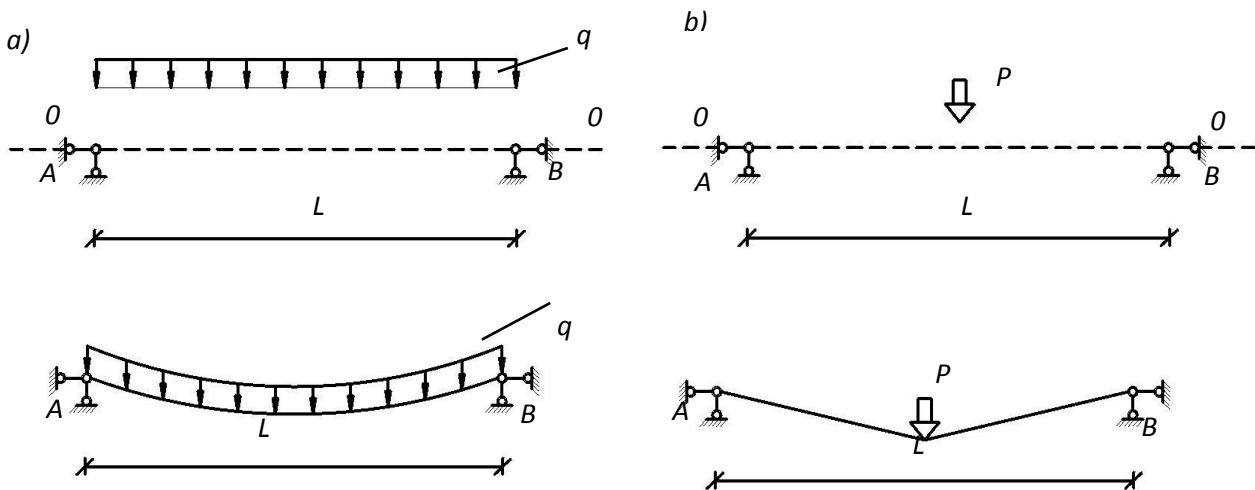
დაჭიმული სტრუქტურების მზიდი ელემენტები დამზადებულია:

- ძაფებისაგან, რომლებიც შეიძლება რეალურად წარმოადგენდნენ მავთულებს, ბაგირებს, ტროსებს, ხისტ პროფილებს და ხისტი ელემენტებისაგან შედგენილ გრძივ კონსტრუქციებს;
- ბადეებისაგან, რომელიც შედგება ურთიერთგადამკვეთი და გადაკვეთის ადგილებში ერთმანეთთან დაკავშირებული მრავალი ძაფებისაგან;
- მემბრანისაგან, რომელიც თავისი ფიზიკური ბუნებით ახლოს დგას ბადესთან და ისინი იდეალიზებულია როგორც ბადეები, რომელთა მოსაზღვრე კვანძები უსასრულოდ ახლოს არიან განთავსებული ერთმანეთთან;

— ხისტი ფურცლოვანი მასალისაგან.

მიუხედავად იმისა, თუ კონკრეტულ შემთხვევაში რეალურად რას წარმოადგენენ მავთულები, მათი მუშაობის ხასიათიდან გამომდინარე, ისინი იყოფიან ორ ძირითად სახეობად – მოქნილ ძაფებად და ვანტებად.

მოქნილი ძაფები დერძული მიმართულებით გაჭიმვის გარდა, ასევე განიცდიან განივი ძალების ზემოქმედებას და შესაბამისად იღებენ ერთადერთ ფორმას კონკრეტული განივი ძალების ზემოქმედების სურათის მიხედვით (ფიგ. III.3).



ფიგ. III.3 – მოქნილი ძაფების ფორმები მათზე მოქმედი ძალების შესაბამისად

a – მოქნილი ძაფის ფორმა, მასზე განივად მოქმედი თანაბარგანაწილებული დატვირთვით;

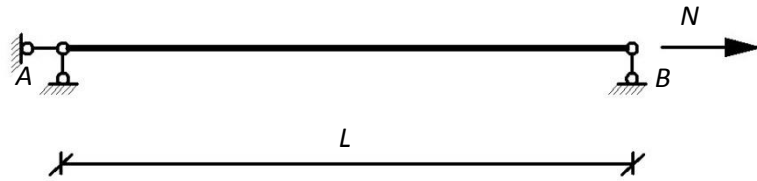
b – მოქნილი ძაფის ფორმა, მასზე განივად მოქმედი შეყურსული დატვირთვით.

წარმოდგენილი სქემების მიხედვით, q თანაბარგანაწილებული ტვირთით და P შეყურსული ძალით, პირველ ეტაპზე უნდა დაიტვირთოს 0-0 სწორის გასწვრივ A და B საყრდენებზე ჩაბმული მოქნილი ძაფი. მეორე ეტაპზე, მათი ზემოქმედება იწვევს ძაფის დეფორმაციას იმის შესაბამისად, თუ რა მოხაზულობის თეორიული მდუნავი მომენტის ეპიურა განვითარდება მალში. ამის საშუალებას იძლევა მოქნილი ძაფები, რომელთა სიგრძე მეტია, ვიდრე A და B საყრდენებს შორის გავლებული სწორი მონაკვეთის სიგრძე.

მოქნილი ძაფები წარმოადგენენ “გაჭიმულ არქიტექტურაში” გავრცელებული მრავალრიცხოვანი და მრავალფეროვანი კიდული სისტემების შექმნის ძირითად ელემენტებს, რომელთაც, როგორც განვიხილეთ, ახასიათებთ კინემატიკური გადაადგილება.

რაც შეეხება ძაფების მეორე სახეობას – ვანტებს, იგი მოქნილი ძაფებისაგან განსხვავდება იმით, რომ არ განიცდის განივი დატვირთვის ზემოქმედებას. მასზე ძალები მოდებულია მხოლოდ ჩამაგრების კვანძებში და

ამდენად მის განივკვეთში აღიძვრება მხოლოდ ღერძული გამჭიმავი ძალები. მისი ფორმა ორ ჩასატეხ კვანძს შორის არის წრფივი (ფიგ. III.4.)

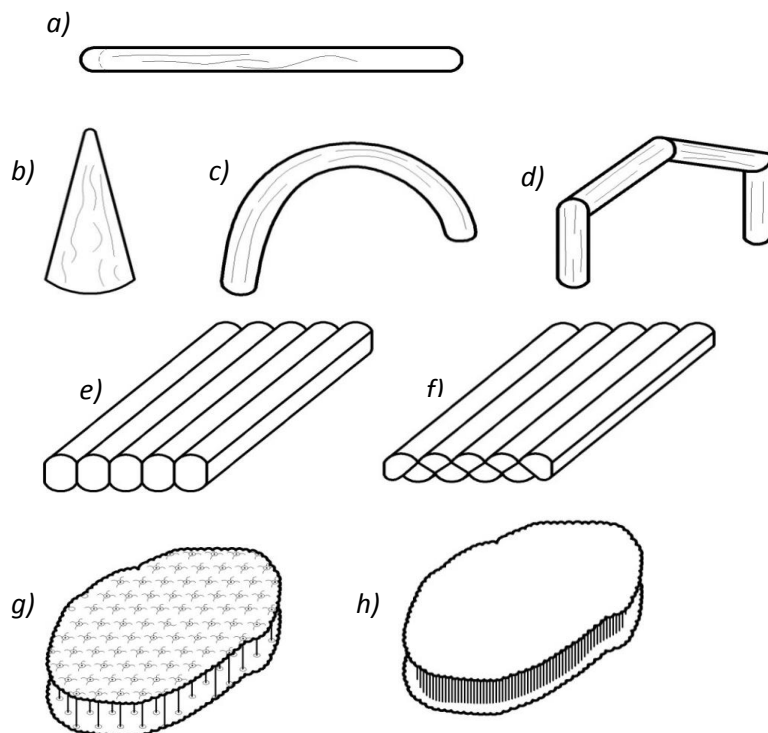


ფიგ. III.4 – ვახუშტის სეზარის სეკსა, რომელიც გასაცდის მხოლოდ გრძივი ღერძის მიმართულებით გაჭიმვას და არ განიცდის ძალების განივ ზემოქმედებას

მსგავსად მოქნილი ძაფებისა „გაჭიმულ არქიტექტურაში“ ვანტებიც მრავალი კონსტრუქციების შემადგენლობაშია, როგორც ძირითადი მზიდი ელემენტები.

III. 2. ტრანსფორმირებადი სისტემები, რომელთა ფორმა მიიღწევა მხოლოდ გაჭიმული კონსტრუქციული სტრუქტურებით

აღნიშნული სისტემების გავრცელებულ კლასს წარმოადგენს პნევმოზიდი კონსტრუქციები. აღნიშნული კლასის კონსტრუქციები, როგორც წესი მზადდება ცალკეული ელემენტების – პნევმო კოჭების, პნევმო დგარების, პნევმო თაღების, პნევმო ჩარჩოების, პნევმო ბალიშების, პნევმო ორთოტროპიული და პნევმოიზოტროპული ფილების და სხვათა სახით მათი საშუალებით კი ხდება სხვადასხვა ფორმის და ნაგებობების შექმნა-შენება (ფიგ. III.5).



ფიგ. III.5 – პნევმოზიდი კონსტრუქციები, წარმოქმნილი დასახვევი ან დასაკეცი, სხვადასხვა პერმეტულ ფორმებში აირების ჭარბი წნევით ჩაჭირხვნის შედეგად

a – პნევმო კოჭი; **b** – პნევმო დგარი; **c** – პნევმო თალი; **d** – პნევმო ჩარჩო;
e – პნევმო ორთოტროპული ფილა პარალელური ტიხრებით; **f** – პნევმო ორთოტროპული ფილა დახრილი ტიხრებით; **g** – იზოტროპული პნევმო ფილები სარტყელების დაშორიშორებული მომჭერებით; **h** – იზოტროპული პნევმო ფილები მჭიდროდ განთავსებული სარტყელის მაკავშირებელი მომჭიმებით.

აღნიშნული პნევმოზიდი კონსტრუქციების საექსპლუატაციო ფორმა მიღწეულია მასში ჩაჭირხნული გაზების, როგორც დაბალი, ასევე მაღალი წნევებით. სათანადოდ ეს იწვევს მისი გეომეტრიული ზომების ცვალებადობას.

მაგალითად თუ დაბალწნევიანი პნევმო თალისთვის, სადაც წნევები აღწევს მხოლოდ 20-25 კილოპასკალს, განიგვეთის დიამეტრის შეფარდება სიმრუდის რადიუსის სიდიდეებთან ცვალებადობს $1/8 - 1/14$ შორის, მაღალწნევიან პნევმოთაღებში აღნიშნული სიდიდე ცვალებადობს $1/20 - 1/45$ შორის.

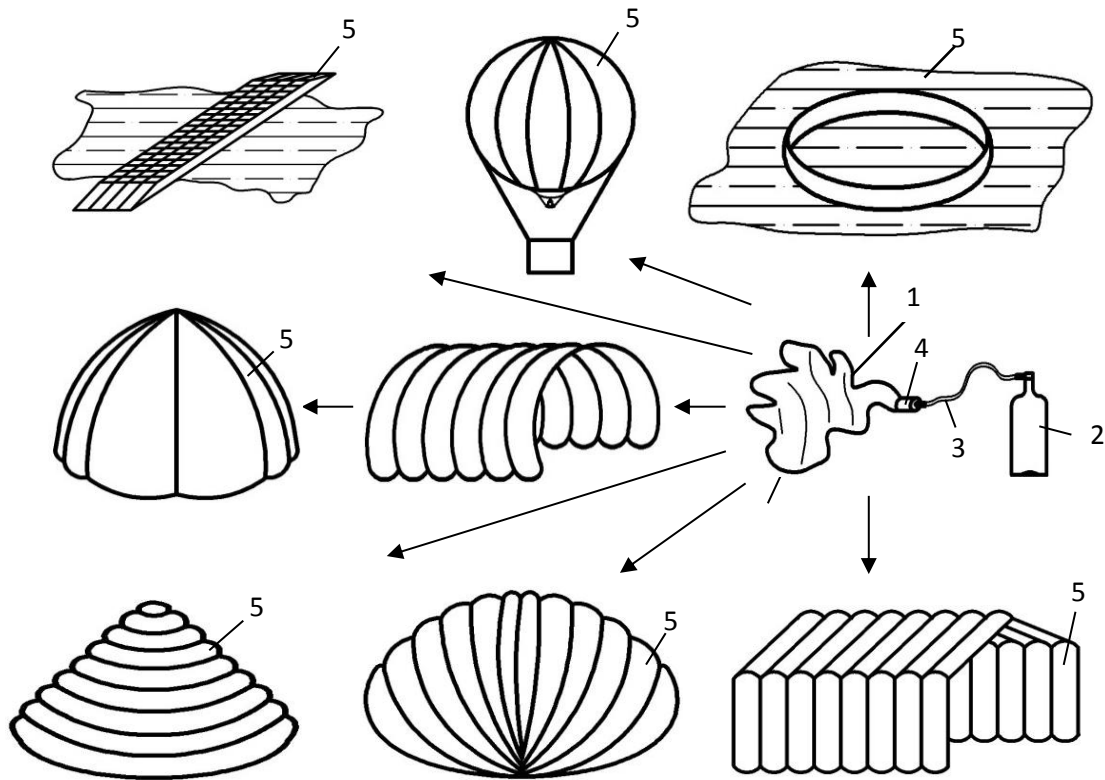
ამასთან, მაღალი წნევების განვითარება პნევმოზიდ კონსტრუქციებში მოითხოვს კონსტრუქციული მასალების ნაქსოვი შემადგენლობის მაღალ სიმტკიცეს გაჭიმვაზე, მაგალითად: პნევმოთაღებში განვითარებული მაღალი 80–750 კილოპასკალის წნევების პირობებში, თალის ქსოვილი უნდა იყოს თავიდან ბოლომდე მთლიანი, გადაბმების გარეშე და ორივე მხრიდან დაფარული ანალოგიური წნევების გაზის გაუმტარი შემავსებელისაგან.

ასეთი მოთხოვნების დაკმაყოფილება, მაღალწნევიან პნევმოზიდ კონსტრუქციებში, ართულებს მათი მიღწევის ტექნიკურ და ტექნოლოგიურ გადაწყვეტებს და პროცესებს. იწვევს ღირებულების 2,5 – 5 – ჯერ გაზრდას, ჩვეულებრივ, დაბალწნევიან პნევმოზიდ კონსტრუქციებთან შედარებით. ამასთან უმთავრეს პირობად და ძნელად მისაღწევად მაინც რჩება მაღალწნევიან კონსტრუქციებში პერმეტულობა, რაც კიდევ უფრო რთულდება დიდი მასების შემთხვევაში.

ზოგადად პნევმოზიდი კონსტრუქციები გავრცელებულია 6-24 მეტრი მასების მქონე ნაგებობებში, თუმცა არის გამონაკლისები, როდესაც პნევმო თაღებით გადახურულია 50 მეტრზე მაღლის მქონე ნაგებობებიც.

პნევმოზიდი კონსტრუქციებით ხმელეთზე, წყალში, ჰაერში და კოსმოსში ხდება სხვადასხვა ფორმის ნაგებობების შექმნა, რომელიც შეიძლება იყოს

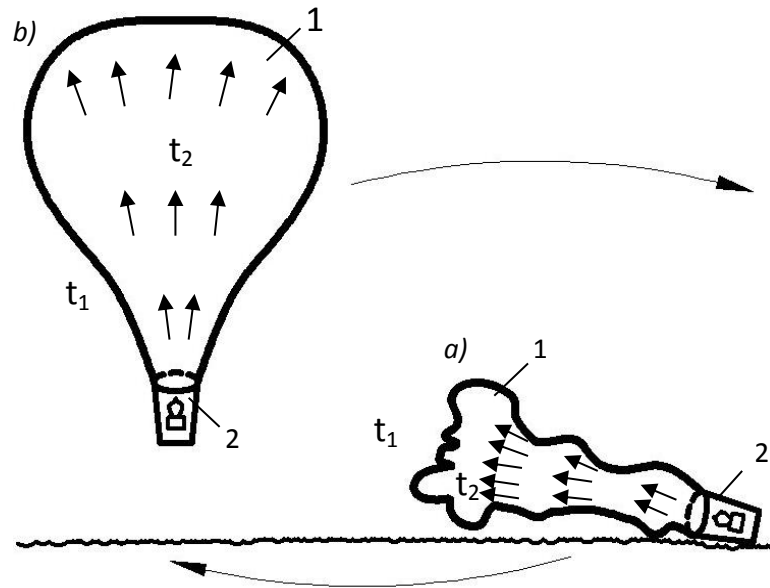
დგარებისა და კოჭებისაგან შედგენილი, ცილინდრული გარსების და გუმბათის ფორმების და სხვა (ფიგ. III.6).



ფიგ. III.6 – დაკეცილი, დახვეული ან უბრალოდ დაჭმუჭნული, ჰერმეტიკული, გარკვეული ფორმის ნაკეთობის გაზით შევსების შემთხვევაში, ტრანსფორმაციის პროცესით ხდება სხვადასხვა ფორმის პნევმოხისტი ნაგებობებისა და კონსტრუქციების ფორმათწარმოქმნა

- 1 – დამზადებული ნაკეთობა დაკეცილი სატრანსპორტო პაკეტის სახით;
- 2 – გაზით დატენილი ბალონი ან კომპრესორი;
- 3 – გაზის ბალონის ან კომპრესორის მიერთების საშუალება ნაკეთობასთან;
- 4 – ნაკეთობის ჰერმეტიკული, გასახსნელ-დასაკეცი სარქველი;
- 5 – პნევმოხიდი, ტრანსფორმაციის შედეგად წარმოქმნილი დაჭიმული სტრუქტურები – ნაგებობები და კონსტრუქციები.

გარდა, პნევმოხიდი ჰერმეტიკულ-ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურისა, ბოლო პერიოდში ასევე იქმნება სისტემები რომელთა ფორმა წარმოიქმნება სხვა კონსტრუქციაზე მიბმის გარეშე. ამის მაგალითად შეიძლება მოვიყვანოთ აეროსტატი, რომელიც მასში არაჰერმეტიკულად განთავსებული ჰაერის და გარეთ არსებულ ჰაერის ტემპერატურების სხვაობის შედეგად წარმოქმნის ფორმას (ფიგ. III.7), რაც უკავშირდება ასევე წნევათა სხვაობას შიგა და გარე ზედაპირის სხვადასხვა მონაკვეთებში.



ფიგ. III.7 – არაჰერმეტიკული ტრანსფორმირებადი კონსტრუქცია, რომელიც ფორმას აღწევს შედარებით გამთბარი ჰაერის ზესწრაფვით, ნაწილობრივ შემოფარგლულ სივრცეში წარმოქმნილი მაღალი დაწნევით

- a – არაჰერმეტიკული ტრანსფორმირებადი კონსტრუქცია დაკეცილ მდგომარეობაში;
b – არაჰერმეტიკული ტრანსფორმირებადი კონსტრუქცია გაშლილ მდგომარეობაში;
1 – არაჰერმეტიკული ტრანსფორმირებადი კონსტრუქცია; 2 – სითბოს გამომყოფი წყარო.

დაკეცილ არაჰერმეტიკულ კონსტრუქციებში, შიგა მოცულობაში ხდება გამთბარი ჰაერის შეშვება, რაც განპირობებულია მისი აღმძვრელით. გარეთ არსებული ცივი ჰაერის მასებთან შედარებით – $t_1 < t_2$. ამის გამო გასაბერ კონსტრუქციაში წარმოიქმნება შედარებით მაღალი წნევა, ვიდრე ეს მის გარეთ არის, რაც იწვევს კონსტრუქციის გაბერვას. ამასთან, იმის გამო, რომ გამთბარი ჰაერით არაჰერმეტიკულად შევსებული კონსტრუქცია უფრო მსუბუქია ვიდრე მის მიერ დაკავებული სივრცის გარეთ არსებული, შედარებით დაბალტემპერატურიანი ჰაერის წონა, კონსტრუქცია იწვევს ჰაერში მაღლა აწევას და ამასთან ფორმის შენარჩუნებას, რისი პირობაც არის შიგა სივრცეში ჰაერის მუდმივი გათბობა სითბოს წყაროს საშუალებით.

მიუხედავად განმარტებისა, რომ „ფორმის მიღწევა მხოლოდ კონსტრუქციული სტრუქტურის გაჭიმვით“ არის შესაძლებელი ყოველგვარ სტაციონალურ სხვა გასაშლელ კონსტრუქციაზე მიბმის გარეშე, ფიგ. IV.7-ზე წარმოდგენილი სქემა, როგორც ტრანსფორმირებადი სტრუქტურა, აკმაყოფილებს აღნიშნულ მოთხოვნას. ამასთან მშენებლობაში დამკვიდრებული კლასიფიკაციის მიხედვით იგი თითქმის შეესაბამება ჰაერსაყრდენიან პნევმოხისტ კონსტრუქციების კლასს, რაც შეიძლება საკამათო იყოს. მაგრამ თვით არსი

კონსტრუქციის ტრანსფორმაციისა, რაც ჩვენთვის არის აუცილებელი, სრულად შეესაბამება გაჭიმული ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურის ლოგიკას.

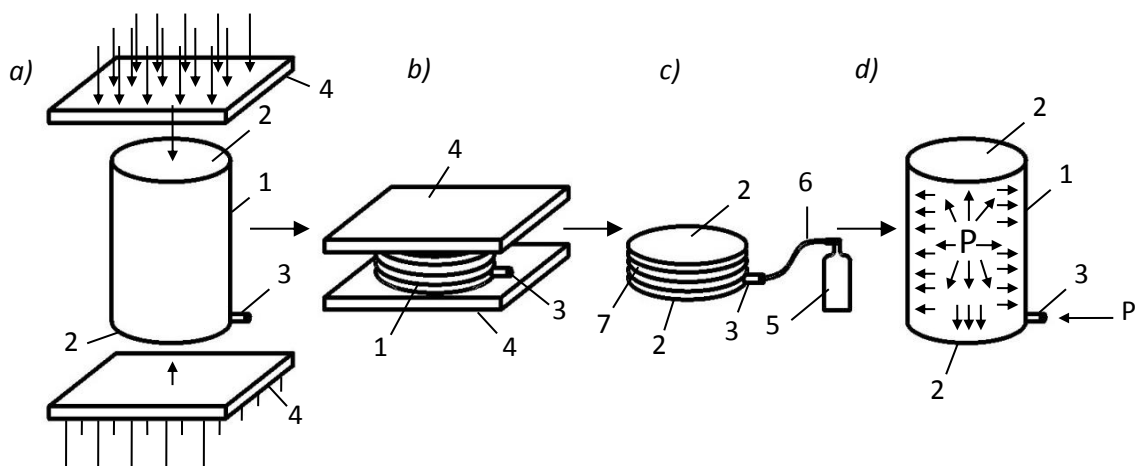
როდესაც განიხილება პნევმოსისტემები და განსაკუთრებით პნევმოზიდი კოსმოსური სისტემები მეტად მნიშვნელოვანია განხილვა ისეთი მაგალითებისა, როდესაც კონსტრუქცია თავისი ფორმათწარმოქმნის ეტაპზე პასუხობს „გაჭიმული არქიტექტურის“ მოთხოვნებს, იმასთან დაკავშირებით, რომ კონსტრუქციის ყველა ელემენტში ფორმის მიღწევისას წარმოიშვება მხოლოდ გამჭიმავი ძალები.

მაგრამ არსებობენ კონსტრუქციები, რომლებიც გაჭიმვით ფორმის მიღწევის შემდეგ, ექსპლუატაციის პირობებში, მის ცალკეულ ან მთლიან ნაწილში მუშაობენ კუმშვაზე. ასეთებს მიეკუთვნებიან გამყარებადი პნევმოკონსტრუქციები და კონსტრუქციები, რომელთა დაკეცვა განხორციელებულია კონსტრუქციული მასალის დრეკად-პლასტიკური და უფრო მეტად პლასტიკური დეფორმაციის ხარჯზე.

ასეთი კონსტრუქციები არის პნევმატური კონსტრუქციებისა და ხისტი კონსტრუქციების ჰიბრიდები. მათი გამოყენების პერსპექტივები დროთა განმავლობაში კიდევ უფრო გაიზრდება.

განვიხილოთ ზემოთ აღნიშნული ტიპის სხვადასხვა ფორმის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციები.

გადაზიდვების პრაქტიკაში დაცლილი ჭურჭლის, მაგალითად კასრების, ტრანსპორტირებისას ტვირთების მოცულობის შემცირების მიზნით, რიგ შემთხვევებში გამოიყენება კასრის დაჭმუჭვნა, მისი ამ სახით ტრანსპორტირება და შემდგომი გამოყენების დროს კასრისთვის, მისი „გაბერვით“ პირველადი საექსპლუატაციო ფორმის მინიჭება (ფიგ. III.8).



ფიგ. III.8 – კასრის ცილინდრული ფორმის ტრანსფორმირების პროცესები მისი დაჭმუჭვნისა და შემდგომ ეტაპზე, ხელახლა ფორმის მინიჭება კასრის „გაბერვით“

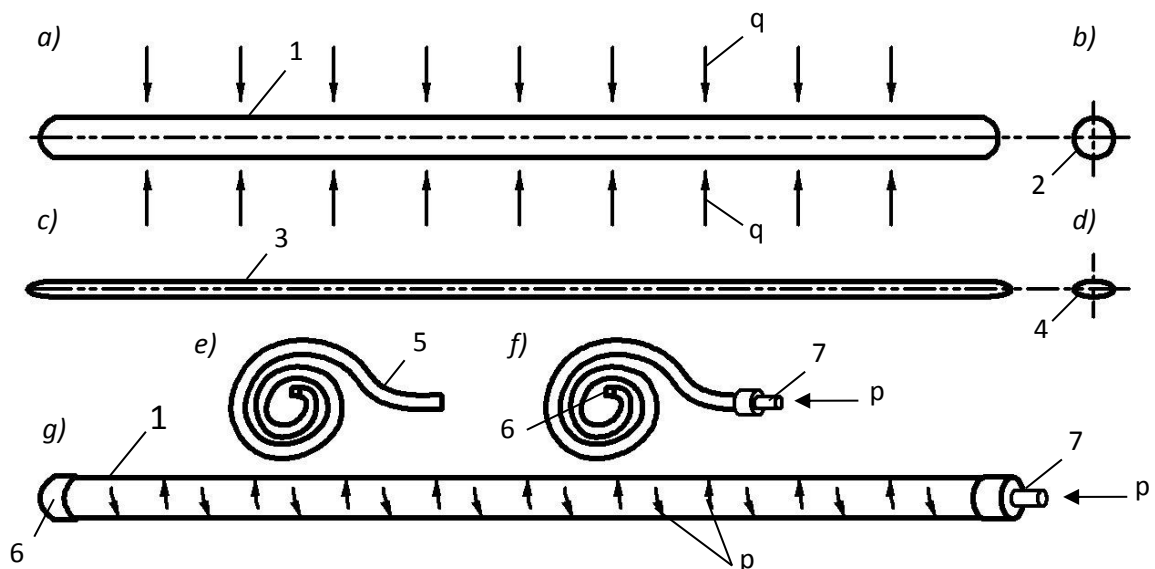
a – ორივე მხრიდან დახუფული, ცილინდრული კასრის განთავსება წნეხის ქვეშ;
b – წნეხის მიერ დაჭმუჭნული კასრი; **c** – ცარიელი კასრის დაჭმუჭნული, კომპაქტური, სატრანსპორტო პაკეტი; **d** – “გაბერილი”, საექსპლუატაციო ფორმა, აღდგენილი კასრისა.

1 – კასრის გვერდითი ცილინდრული ნაწილი; 2 – კასრის ზედა და ქვედა ხუფი; 3 – კასრის გაზით შევსების სარქველი; 4 – წნეხი; 5 – გაზის ბალონი ან კომპრესორი; 6 – გაზის მიმწოდებელი მოწყობილობა; 7 – კასრის დაჭმუჭნული ნაწილი.

თუ განვიხილავთ ფიგ. III.8 – ზე წარმოდგენილი პროცესების სქემებს, ცხადი გახდება, რომ დაჭმუჭნული მდგომარეობიდან კასრის, საწყისი – საექსპლუატაციო ფორმის წარმოქმნა ხდება კასრის გვერდითი ზედაპირის გასწორებით – გაჭიმვით. გაჭიმვის ძალებს განაპირობებს კასრში, ჭარბი წნევით შეყვანილი გაზი.

ამდენად ფორმათწარმოქმნის სტადიაზე კასრის ცილინდრული გვერდითი ზედაპირი და მისი ხუფი განიცდის გაჭიმვას, მაგრამ შემდგომ კასრის კონსტრუქციაში აღიძვრება ნებისმიერი ნიშნის ძაღვები, რაც მიუღებელია “გაჭიმული არქტექტურის” იდეოლოგიით შექმნილი სისტემისათვის.

აღნიშნული – გაბერვის მეთოდის გამოყენება ძალიან მოსახერხებელია გაბრტყელებული ხისტი მიღების დახვეულ მდგომარეობაში ტრანსპორტირების შემდეგ ეტაპზე (ფიგ. III.9).



ფიგ. III.9 – გაბერვის მეთოდის გამოყენება ხისტი პროფილის მიღების გაბრტყელებული, დახვეული მდგომარეობიდან საექსპლუატაციო, მრგვალი პროფილიანი მიღების მისაღებად

a – ხისტი, მრგვალი პროფილის მილი; **b** – მილის მრგვალი კონტურის განივკვეთი; **c** – გაბრტყელებული მილი; **d** – გაბრტყელებული მილის განივკვეთის პროფილი დეფორმირებულ მდგომარეობაში; **e** – დახვეული, გაბრტყელებული მილი; **f** – მილის გაშლა და პროფილის აღდგენა მასში ჭარბი წნევის შექმნით; **g** – ჭარბი შიგა წნევის შედეგად გაბრტყელებული და დახვეული მილი გაიშალა და მისი განივკვეთი გახდა წრიული მოხაზულობის კონტური.

1 – მილი გაშლილი და განივკვეთის წრიული კონტურით; 2 – მილის წრიული კონტური; 3 – გაბრტყელებული მილი; 4 – გაბრტყელებული მილის განივკვეთის პროფილი; 5 – დახვეული, გაბრტყელებული მილი – დაკეცილი მილის სატრანსპორტო პაკეტი; 6 – მილის ბოლოს გერმეტიზაცია; 7 – მილის მეორე ბოლოში მოწყობილი გაზის მაღალი წნევის სარქველი.

მილის გაბრტყელება ხდება მის გაყოლებაზე, ზემოდან და ქვემოდან *q* ინტენსივობის ძალის მოდებით, რომლის შემდეგ უკვე გაბრტყელებული მილი ეხვევა კომპაქტური სატრანსპორტო პაკეტის სახით. ასეთ მდგომარეობაში, ექსპლოატაციის ადგილას მილის ერთ ბოლოზე ეწყობა გერმეტიკული ხუფი, ხოლო მეორე ბოლოზე მაგრდება გაზის მაღალი წნევით მილში შეყვანის სარქველი, საიდანაც ხდება მილის “გაბერვა” – მაღალი წნევის მქონე გაზით შევსება. მილის შიგნით წარმოქმნილი ჭარბი წნევის შემდეგ მილი იშლება, სწორდება და ამასთან გაბრტყელებული განივკვეთი დებულობს წრიული კონტურის ფორმას.

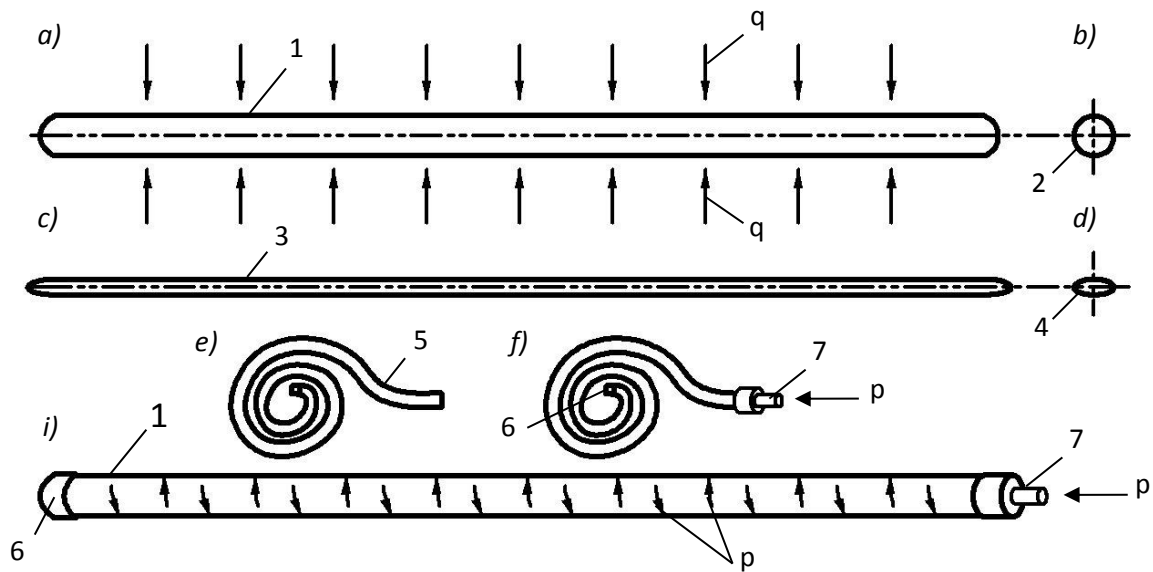
მილის გაბრტყელება, დახვევა, შემდეგ გაშლა და პროფილის აღდგენა წარმოადგენს ფორმის ტრანსფორმაციის ეტაპებს. ამასთან, დახვეული და გაბრტყელებული მილის გაშლა და წრიული პროფილის აღდგენა, რაც განპირობებულია მისი „გაბერვით“, ზუსტად შეესაბამება „გაჭიმული არქიტექტურის“ პრინციპებს.

ფორმის მიღწევის შემდეგ, გასწორებული და განივკვეთის წრიული პროფილის აღდგენის მიღზე მომქმედმა ძალებმა, შეიძლება გამოიწვიოს მისი კუმშვა, ღუნვა ან გრეხვა, რაც ბუნებრივია გამოიწვევს მასში რეალური მკუმშავი ძალების აღძვრასაც, რაც აღარ შეესაბამება “გაჭიმული არქიტექტურის” პრინციპებს.

მსგავს პროცესებში, როდესაც ხდება გარე ძალების საშუალებით ხისტი პროფილების დაჭმუჭვნა, დახვევა ან დაკეცვა, რაც შედეგია მათში პლასტიკური დეფორმაციების განვითარებისა, მეტად მნიშვნელოვანია აღნიშნული პროცესების გეგმაზომიერი და მიზანმიმართული წარმართვა. ეს აუცილებელია იმისათვის, რომ მოხდეს დიდგაბარიტიანი კონსტრუქციის დაპატარავება და ასევე არ

მოხდეს დასაბატარაებელ სხეულში კედლის ისეთი დაზიანება, რაც გამოიწვევს მისი შიგა მოცულობის ჰერმეტიზაციის დარღვევას.

კონსტრუქციის გეგმაზომიერი და მიზანმიმართული დაკეცვის მაგალითად შეიძლება განვიხილოთ ტორის ფორმის კონსტრუქცია, რომელთა გამოყენების ერთ-ერთ მაგალითად შეიძლება განვიხილოთ კოსმოსური დიდი გასაშლელი რეფლექტორები. რეფლექტორის ძალოვანი გამშლელი რგოლი შეიძლება შესრულებული იყოს გასაშლელი, ხისტი კონსტრუქციისაგან, რომლის ფორმათწარმოქმნა – გაშლა ხდება ტორის მცირე ფორმის “ გაბერვით” და საპროექტო სიდიდის, დიდი ტორის წარმოქმნით (ფიგ. III.10).



ფიგ. III.10 – ტორის ფორმის, ხისტი კონსტრუქციის ტრანსფორმაციის–დაკეცვისა და გაშლის შესაძლებლობები მისი შეკუმშვით და “გაბერვით”

- a – ტორი გაშლილ მდგომარეობაში;
- b – ტორი დაკეცილ-სატრანსპორტო პაკეტის მდგომარეობაში;
- 1 – გაშლილი ტორის ხისტი ტალღოვანი ფორმა;
- 2 – სარქველი;
- 3 – დაკეცილი ტორის ხისტი, ნაოჭოვანი ფორმა.

ტორს, მისი ცენტრის მიმართ მერიდიანულ სიბრტყეებში უკეთდება ოდნავ შესამჩნევი ტალღისებური პროფილი. მასზე მერიდიანული მკუმშავი q დატვირთვის შედეგად ტორი დიამეტრით – D ტრანსფორმირდება – იკეცება მცირე დიამეტრის – d ტორად. მისი დაკეცვა განპირობებულია ტორის ტალღოვანი ტანის შეჭმუხვნით, რის შედეგადაც იგი უკვე ღებულობს ნაოჭოვან ფორმას. ასეთი ტრანსფორმაციის შედეგად ასევე ხდება ტორის განივკვეთის ზომის ცვალებადობაც. თუ გაშლის D დიამეტრიანი ტორის განივკვეთის

მაქსიმალური ზომა შეადგენს h , მისი დაკეცვის შემთხვევაში, როცა დიამეტრი შემცირდა d -მდე ტორის განივკვეთის სიმაღლემ, პირიქით, მოიმატა და გახდა H .

ტორის გეგმაზომიერი დაკეცვა სწორედ მისი ტალღოვანი ტანის საშუალებით ხდება. ტორის დაკეცვისას ტანის ტალღის სიგრძე მცირდება და შესაბამისად მატულობს ტალღის ამპლიტუდა. მასალის ასეთი ფორმაცვალებადობა, როგორც ითქვა განაპირობებს ტორის გეგმაზომიერ და მიზანდასახულ პროგნოზირებად დაპატარავებას და მისი განივკვეთის ზრდას.

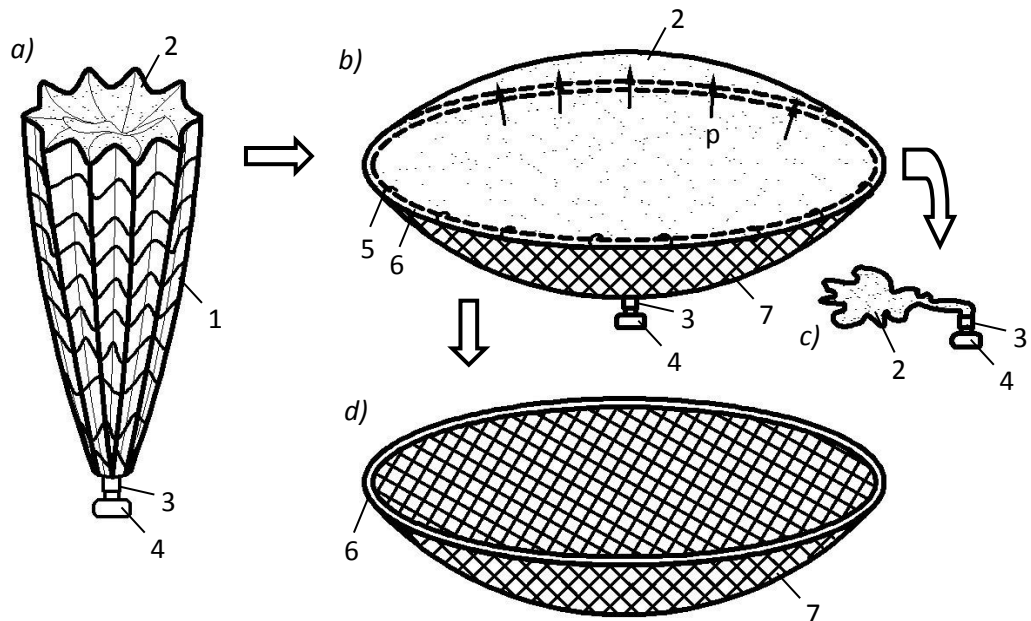
ტორის გაშლისათვის ხდება მისი “გაბერვა” P ჭარბი წნევით, რომლის შედეგად ტორის ნაოჭოვანი ტანი იშლება, გადადის ტალღისებურ ფორმაში და იშლება – ღებულობს საწყის, საექსპლუატაციო ფორმას.

განხილული მაგალითები (იხ. ფიგ. III.8, ფიგ. III.9 და ფიგ. III.10), ერთის მხრივ შეესაბამება „გაჭიმული კონსტრუქციების“ არქიტექტურის იდეოლოგიას, ოღონდ, მხოლოდ ფორმათწარმოქმნის სტადიაზე. რაც შეეხება მეორე სტადიას – კონსტრუქციის მუშაობას სასარგებლო დატვირთვებზე, აქ ისინი განიხილება, როგორც ჩვეულებრივი, ხისტი მასალისაგან შექმნილი ნაკეთობები, რომლებიც ასევე იტანენ მკუმშავი ძალების წარმოქმნას.

ამდენად, განხილულ მაგალითებში მოყვანილი და მათი ტიპის სხვა კონსტრუქციები შეიძლება მივიჩნიოთ ჰიბრიდულ, პნევმოზიდ სტრუქტურებად.

ნახევრად პნევმოზიდი კონსტრუქციული სტრუქტურა შეიძლება ასევე იყოს კომბინირებული და არამთლიანტანიანიც. ეს ის შემთხვევებია, როცა ხისტი ნაწილის გარსაცმის გაშლა ხორციელდება მასში განთავსებული, მოქნილი მასალისაგან დამზადებული გასაბერი ბალიშით. ასეთ შემთხვევაში გარსაცმის გერმეტულობა აღარ არის აუცილებელი და იგი შეიძლება ბადისებრი, ნახვრეტებიანი, ან სხვა სახის ამონაჭრების მქონე, არამთლიანი ხისტი კონსტრუქცია იყოს. ამის მაგალითად შეიძლება განვიხილოთ გარსაცმისაგან ღეროვანი გუმბათის ფორმათწარმოქმნა, როდესაც გუმბათის სატრანსპორტო პაკეტი, ცალკეული ელემენტების პლასტიკური დეფორმაციების შედეგად დაკეცილია და მასში განთავსებულია გერმეტული, დრეკადტანიანი გასაბერი ბალიშით. სწორედ ბალიშის გაშლის შედეგად დაკეცილ გუმბათში წარმოიქმნება ძალები, რომლის შედეგად იწყებს გასწორებას პლასტიკური დეფორმაციების შედეგად დეფორმირებული ცალკეული ღეროები. ასეთი

პროცესი საბოლოო ჯამში განაპირობებს გუმბათის გაშლილი, საექსპლუატაციო ფორმის მიღწევას (ფიგ. III.11).



ფიგ. III.11 – ერთშირიანი, ბადისებრი გუმბათის ტრანსფორმაციის სტადიები განხორციელებული კომბინირებული, ნახევრად პნევმომაზიდი, ჰიბრიდული ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურით

- a** – ნახევრად პნევმომაზიდი, კომბინირებული, ერთშირიანი ბადისებრი ხისტი დეროებისაგან შედგენილი გუმბათი დაკეცილ მდგომარეობაში, რომელშიც განთავსებულია გასაბერი ბალიში;
- b** – გუმბათი გაშლილ მდგომარეობაში, რომელიც გაერთიანებულია გაბერილ ბალიშთან ერთად;
- c** – დაკეცილი, გაზისაგან დაცლილი ბალიში გაზის ბალონთან ერთად მოცილებულია გაშლილი გუმბათისაგან;
- d** – გაშლილი, ერთშირიანი ბადისებრი გუმბათი.

1 – ბადისებრი გუმბათის დეროები დეფორმირებულია პლასტიკური დეფორმაციებით;
 2 – გასაბერი ბალიში განთავსებული გუმბათში; 3 – გერმეტული ბალიშის გაზის ბალონის მიერთების სარქველი; 4 – გაზის ბალონი ან კომპრესორი; 5 – ბალიშის, კონტინერისა და გუმბათის კონტურის შემაერთებელი დროებითი სამაგრები; 6 – გუმბათის წრიული პერიფერიული კონტური; 7 – გუმბათს გასწორებული დეროები, რომლებიც ქმნიან ერთშირიანი ბადისებრი გუმბათის სტრუქტურას.

დაკეცილი გუმბათიდან 1 გაშლილი გუმბათის 7 ფორმათწარმოქმნის შემდეგ, რომელიც განხორციელდა ბალიშის 2 გაბერვის ძალოვანი ზემოქმედებით, დროებითი სამაგრების 5 მოხსნით, გუმბათის პერიფერიული დეროვანი კონტურიდან 6, შესაძლებელია ბალიშის 2, ბალიშის სარქველის მოწყობილობის 3 და ბალიშის აირის დამტენი ბალონის 4, ან კომპრესორის მოხსნა გაშლილი გუმბათისაგან 7. ამდენად რჩება გაშლილი ფორმის ერთშირიანი დეროვანი ბალიშების გუმბათი.

თავისი საექსპლუატაციო ფორმით “გაჭიმული არქიტექტურის” სახასიათო პიბრიდული, გაჭიმული ტრანსფორმირებადი სტრუქტურებისაგან შეიძლება ფორმათწარმოქმნა დაბალი, საშუალო და მაღალი წნევების შექმნის შედეგად. რაც მეტია ტრანსფორმირებადი გაჭიმული ზედაპირის ფართი, მით ნაკლები დაწნევაა საჭირო მისი საექსპლუატაციო საპროექტო ფორმის მისაღებად. ზოგადად დაწნევის სიდიდე დიდ დიაპაზონში 0,5 – 700 კილო პასკალის ფარგლებშია.

მნიშვნელოვანია ის, რომ განსაკუთრებით მაღალი წნევების შექმნისას, ჩვეულებრივ “გაჭიმულ კონსტრუქციებთან” შედარებით, მოცემულ შემთხვევაში პერმეტიზაციის დაცვა აუცილებელია მხოლოდ კონსტრუქციული სტრუქტურის გაშლის და ფორმის მიღების ეტაპებზე. ეს კი გამორიცხავს იმ ძნელად მისაღწევ აუცილებლობას – პერმეტიზაციას ყველა ეტაპზე, მათ შორის საექსპლუატაციო პირობებშიც, რაც ჩვეულებრივ “გაჭიმული სტრუქტურებით” შექმნილ ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სისტემისთვის არის აუცილებელი.

III.3. სისტემები, რომელთა ფორმა მიიღწევა გაჭიმული კონსტრუქციული სტრუქტურის მიბმით სტაციონალურ, მუდმივი და უცვლელი ფორმის მქონე კონსტრუქციულ სისტემასთან, რომელთაც შეუძლიათ უპირატესად მკუმშავი ძალების ათვისება

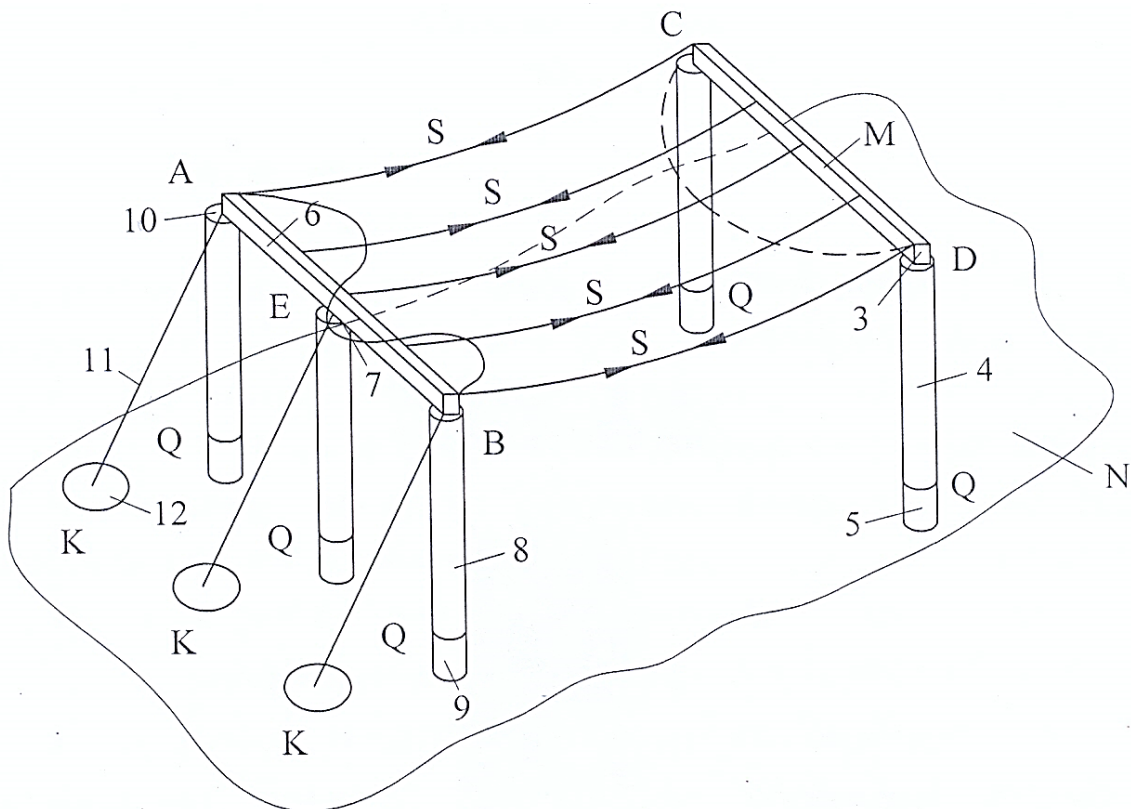
აღნიშნული სისტემების მახასიათებელი ძირითადი კონსტრუქციული სქემა წარმოდგენილი იყო ფიგ. III.2.e-ზე. განხილული სქემიდან ჩანს, რომ ასეთი სისტემები ორი ძირითადი ნაწილისაგან შედგება – ტრანსფორმირებადი, გაჭიმული კონსტრუქციული სტრუქტურისაგან, რომელიც მიბმულია სტაციონარულ მუდმივ და უცვლელი ფორმის მქონე სტრუქტურასთან.

აღნიშნული სისტემის ანალიზის მიხედვით, გაჭიმულ კონსტრუქციულ სტრუქტურას გააჩნია უნარი, მასალის შინაგანი სტრუქტურიდან გამომდინარე თვისებით განიცადოს ტრანსფორმაცია – გაიშალოს ან დაიკეცოს და საპროექტო ფორმას მიაღწიოს გაჭიმვის შედეგად.

კონსტრუქციის სტრუქტურის ეს თვისება განაპირობებს, მისი, კომპაქტურად დახვევა-დაკეცვის საშუალებას. ასეთი მინიმალური გაბარიტების სატრანსპორტო პაკეტის სახით ხდება მათი ტრანსპორტირება დანიშნულების ადგილამდე. მონტაჟის დროს დახვეული კონსტრუქციული სტრუქტურა იშლება და ბოლო ეტაპზე ხდება მისი საპროექტო გაჭიმვა. ამ სახით ტრანსფორმაციის შედეგად სტრუქტურა დებულობს საექსპლუატაციო ფორმას.

ამასთან, მას გააჩნია ნაკლოვანებებიც, რაც სტრუქტურის დიდ დეფორმაციულობასთან არის დაკავშირებული. უფრო მეტიც, ერთშრიან სტრუქტურებს კინემატიკური გადაადგილებაც კი გააჩნია. სწორედ სტრუქტურების დეფორმაციულობის შემცირების და რიგ შემთხვევებში ხისტი კონსტრუქციის დეფორმაციებთან მიახლოების მიზნით, ხდება სხვადასხვა კონსტრუქციული სქემების, მათ შორის “გაჭიმული ფერმების”, შექმნა და სხვა.

ამ მხრივ, განვიხილოთ გაჭიმული ერთშრიანი ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურის პარალელურგვერდებიანი საყრდენები (ფიგ. III.12)



1 – მოქნილი ძაფი; 2 – მოქნილი ძაფების საყრდენი კოჭი; 3 – კოჭის დგარზე დაყრდნობის

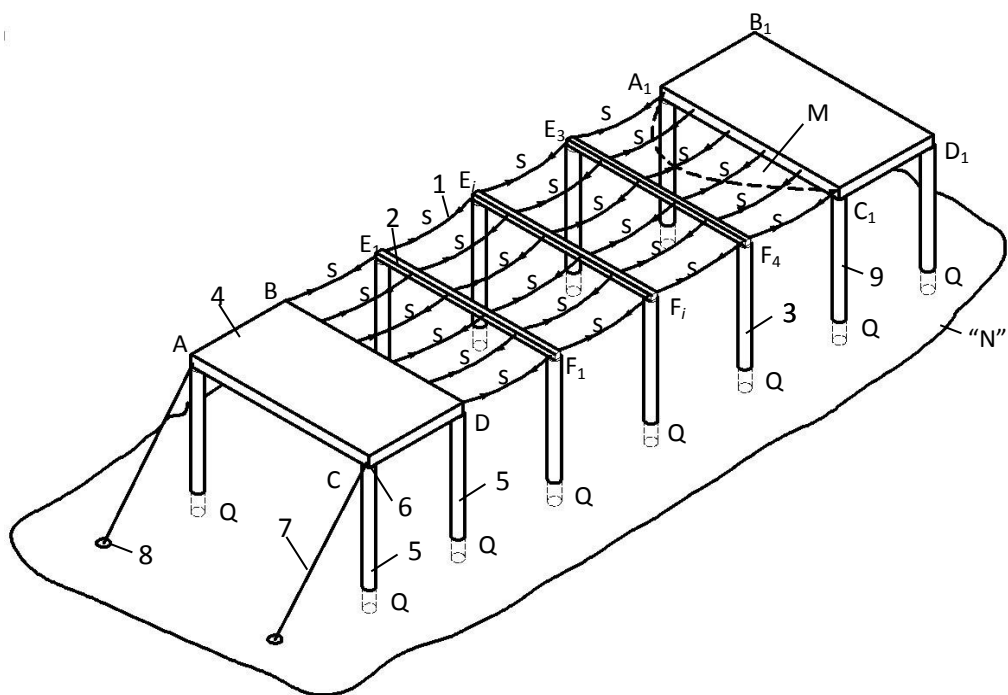
კვანძი; 4 – ღუნვა-კუმშვაზე მომუშავე დგარი; 5 – დგარის ფუძე-საძირკველი; 6 – მოქნილი ძაფების საყრდენი უჭრი კოჭი; 7 – უჭრი კოჭის დაყრდნობის შუალედური, ხისტი კვანძი; 8 – კუმშვაზე მომუშავე დგარი; 9 – კუმშვაზე მომუშავე დგარის ფუძე-საძირკველი; 10 – დგარისა და მჭიმის შეერთების კვანძი; 11 – მჭიმი-გაჭიმული ბაგირი; 12 – მჭიმის ბოლოში, გრუნტში განთავსებული ანკერი.

როგორც წარმოდგენილი სქემიდან ჩანს, მოქნილი ძაფები ერთ შემთხვევაში შეიძლება ჩაებან კოჭს – CD , რომელიც ითვისებს ძაფების დაჭიმვისაგან – S , წარმოქმნილ მღუნავ მომენტს M . ასეთ შემთხვევაში დიდია მღუნავი მომენტის მაქსიმალური მნიშვნელობა. გარდა ამისა, CD კოჭი, რომელიც არის დაყრდნობილი დგარზე, მასშიც განაპირობებს არა მარტო კუმშვას, არამედ ღუნვასაც. დგარის ღუნვის ფაქტორი განპირობებულია, დგარის თავზე გადაცემული ჰორიზონტალური რეაქციით, რომელიც კოჭში წარმოიქმნება მასში ჩამაგრებული გაჭიმული ძაფებისაგან.

შეიძლება გვექონდეს საყრდენი კოჭის განსხვავებული, უფრო შემსუბუქებული მუშაობის სურათიც. მაგალითად, უჭრი კოჭი AB , რომელიც ასევე განიცდის მასში ჩამაგრებული ბაგირისაგან ღუნვას, გაცილებით უკეთეს დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობაშია ვიდრე ეს იყო CD კოჭის შემთხვევაში. ეს შედეგია იმისა, რომ დგარებს, კოჭის დაყრდნობის ადგილებში ჩაებმება მჭიმები – გაჭიმული ბაგირები, რომლებიც ძირითადად ითვისებენ იმ ჰორიზონტალურ დატვირთვებს, რასაც განაპირობებს გაჭიმული ძაფები. ამის შედეგად კოჭში წარმოიქმნება მღუნავი მომენტი – M_1 – რომლის მაქსიმალური სიდიდე გაცილებით ნაკლებია მღუნავი მომენტის – M – სიდიდესთან შედარებით.

თუ წარმოდგენილი სქემის განხილვას გავაგრძელებთ, ერთ შემთხვევაში, ნახაზის მიხედვით “ N ” სიბრტყეზე განლაგებული “ Q ” დონის ქვემოთ განთავსებული ფუძე-საძირკველი 5, რომელსაც უწევს ღუნვა-კუმშვაზე მომუშავე დგარის დაჭერა, გაცილებით რთულ დაძაბულ მდგომარეობაშია, ვიდრე დგარი 8 – ის დამჭერი ფუძე-საძირკველი, რომელიც ძირითადად მუშაობს მხოლოდ შეკუმშული დგარის დასაფიქსირებლად.

გვემაში ოთხკუთხა, განსაკუთრებით კი, წაგრძელებული ფორმის, კიდულ სისტემებში გართულებულია განმბრჯენების ათვისება, რომელიც კიდული სისტემის ყოველი მოქნილი ძაფის ჩამაგრების ადგილებში წარმოიქმნება. ასეთ შემთხვევებში გაცილებით გართულებულია განმბრჯენების ათვისება წაგრძელებული ნაგებობების ბოლოებში ვიდრე, შუალედურ კოლონებს შორის განთავსებულ საყრდენ კოჭებზე (ფიგ. III.13).



ფიგ. III.13 – ოთხკუთხა წაგრძელებული, მრავალმალიანი გაჭიმული, კიდული სისტემისაგან განხორციელებული დახურვა. საწყის და ბოლო მალში დახურვა განხორციელებულია ფილების სახით, რაც “კოჭი-კედელის” პრინციპით არის დიდი სიხისტის პორიზონტალურ სიბრტყეში და უზრუნველყოფს კიდული სისტემის განმბრჯენის ათვისებას

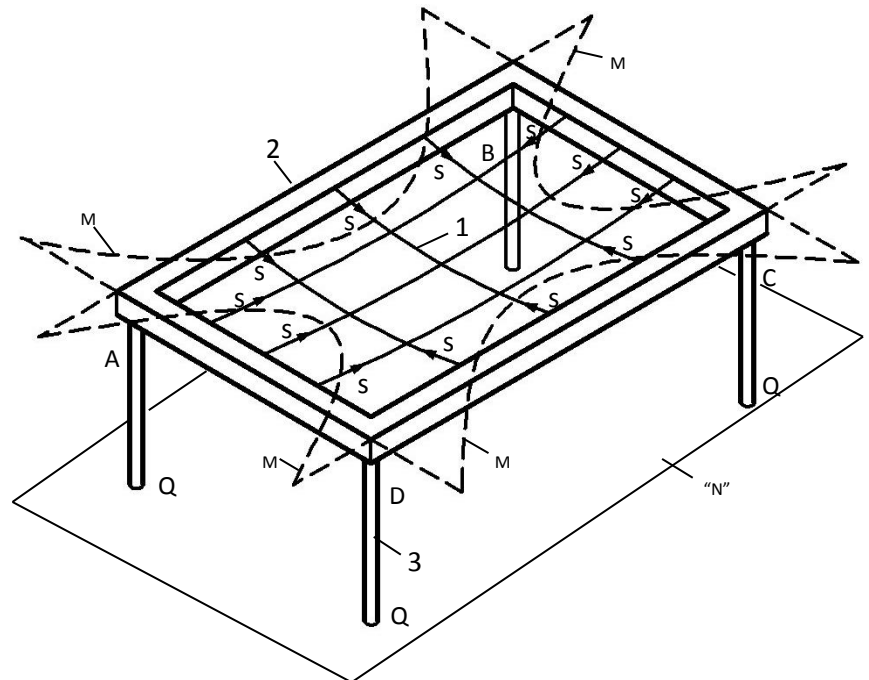
- 1 – მოქნილი ძაფები;
- 2 – მოქნილი ძაფების ჩამაგრების შუალედური კოჭები;
- 3 – შუალედური გვერდითი დგარები, რომლებზეც შუალედური კოჭებია განთავსებული;
- 4 – განაპირა ფილა, რომელშიც მოქნილი ძაფებია ჩამაგრებული. აღნიშნული ფილა მოქნილი ძაფების განმბრჯენებს ითვისებს “კოჭი-კედელის” პრინციპზე მუშაობით;
- 5 – განაპირა ფილის დასაყრდნობი დგარები;
- 6 – მოქნილი მჭიმის, ფილისა და დგარის შეერთების ადგილი;
- 7 – მოქნილი მჭიმი;
- 8 – მოქნილი მჭიმის საანკერო მოწყობილობა;
- 9 – მჭიმების გარეშე ფილის დასაყრდენი დგარი.

ასევე, თუ განვიხილავთ წარმოდგენილი დახურვის სქემის დაძაბულ-დეფორმირებულ სურათს, ნათელი გახდება ის, რომ შუალედურ საყრდენ კოჭებზე – E_i F_i მოსაზღვრე ძაფების არასიმეტრიული დატვირთვის შედეგად წარმოქმნილი $S_2 \neq S_1$ დამბაბავი ძალების შემთხვევაშიც, შუალედური კოჭები და გვერდითი დგარები საკმაოდ დაძაბულ მდგომარეობაშია.

განაპირა ძალების ფილით დახურვის შემთხვევაში, ფილა, როგორც “კოჭი-კედელი”, გაცილებით იოლად აიტანს ბაგირების ჩაბმების შედეგად მათში წარმოქმნილ მღუნავ მომენტებს - M .

ამასთან, მნიშვნელოვანია ის, რომ ასეთ შემთხვევაშიც კი ღვარების მიერ ათვისება კიდულ სისტემისაგან განაპირებში გადაცემული ჰორიზონტალური ძალებისა უცვლელი რჩება. მისი ათვისება, როგორც წინა შემთხვევაში (იხ. ფიგ. III.12), წყდება ორი ხერხით. პირველი გულისხმობს ბაგიროვანი მჭიმების მოწყობას ბოლო ღვარებზე, ხოლო მეორე თვით ფილის საყრდენი ღვარების გაძლიერებულ ღუნვა-კუმშვაზე მუშაობას.

შედარებით იცვლება ვითარება, როდესაც გეგმაში ნაგებობა არის ოთხკუთხა ფორმის, ოღონდ მისი სიგრძის და სიგანის შეფარდება 1:1 ან 1:2-მდე იცვლება, და რაც მთავარია მოქნილი ძაფები ერთმანეთის მართობულად არიან განლაგებულნი (ფიგ. III.14).



ფიგ. III.14 – ორთოგონალურად განთავსებული მოქნილი ძაფების ჩამაგრება ოთხკუთხა კონტურის მქონე ჩარჩოს ტიპის საყრდენთან

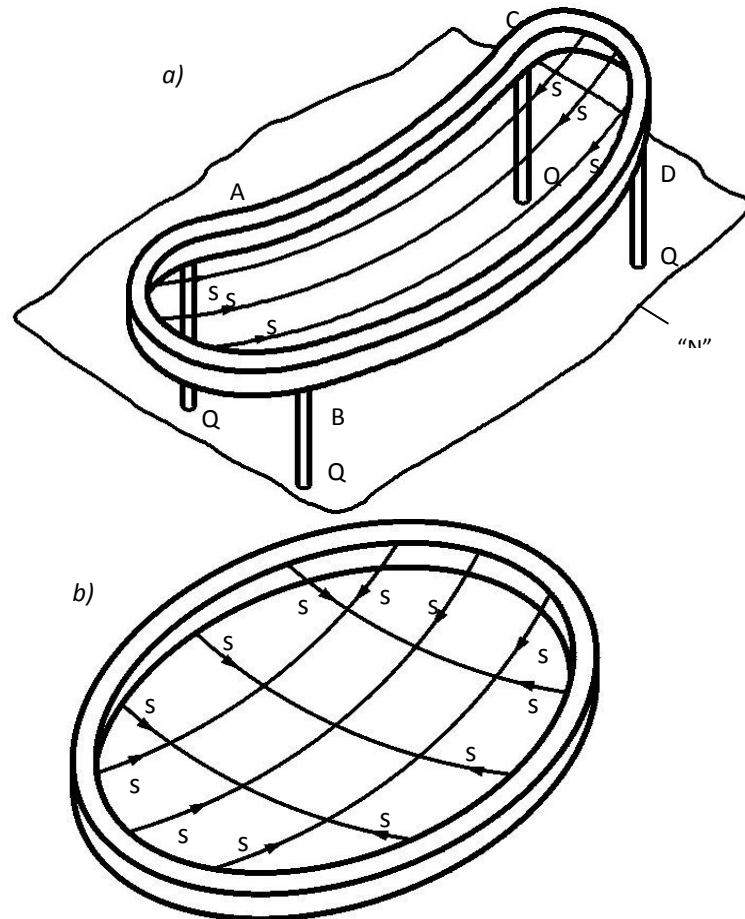
- 1 – ორთოგონალურად განლაგებული ურთიერთგადაამკვეთი მოქნილი ძაფები;
2 – საყრდენი ხისტი, ჩარჩოსებრი კონტური; 3 – დახურვის კონსტრუქციისაგან – გაჭიმული სისტემისაგან და ჩარჩოსებრი კონტურისაგან გამოცემულ ძალებზე, დერძულ კუმშვაზე მომუშავე კოლონები.

როგორც სქემიდან ჩანს, წარმოდგენილ სისტემაში უფრო ოპტიმალურად ნაწილდება ძალები საყრდენ კონტურში ვიდრე ეს იყო წინა ორ შემთხვევაში (იხ. ფიგ. III.12 და ფიგ. III.13).

მოცემულ შემთხვევაში $ABCD$ ოთხკუთხა ჩარჩო, მასზე ორთოგონალურად განლაგებული ბაგირების ჩამაგრებისაგან, ჩარჩოს კვანძში და მალში გადანაწილებით ითვისებს მღუნავ მომენტს – M –ს. აღსანიშნავია, რომ სწორედ მღუნავი მომენტის გადანაწილება მალში და კვანძებში უფრო ოპტიმალურს ხდის მთლიანად ჩარჩოსებრი

საყრდენის მუშაობას. ამასთან, მოცემულ შემთხვევაშიც არ გამოირიცხება ნაგებობაში დაანკერებული ბაგიროვანი მჭიმების გამოყენება

საყრდენი კონტურის დაძაბულ-დეფორმირებული სურათის მუშაობის კიდევ უფრო გაუმჯობესებულ შემთხვევას წარმოადგენს მრუდხაზოვანი კონტურები. მათი გამოყენება შესაძლებელია, როგორც ერთ რიგად განლაგებული, ასევე ურთიერთგადაკვეთი, მოქნილი ძაფების შემთხვევაში. ამასთანავე, აუცილებელია შეიქმნას როგორც კონსტრუქციული, ასევე არქიტექტურული პირობები (ფიგ. III.15).



ფიგ. III.15 – ოვალურ საყრდენ კონტურზე დამაგრებული კიდული სისტემები

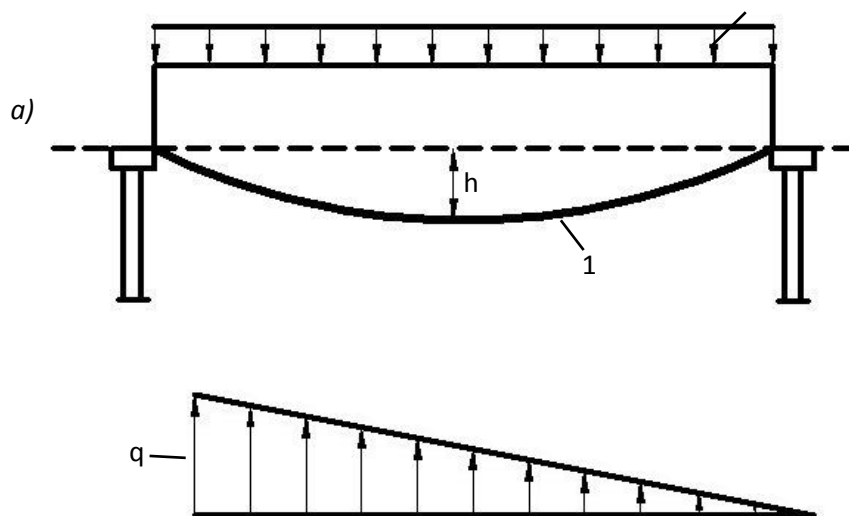
- a – სივრცითი ოვალური ფორმის საყრდენი კონტური, პარალელურად განთავსებული დაჭიმული ძაფებისათვის;
- b – წრიული ფორმის საყრდენი კონტური, ორთოგონალურად განთავსებული დაჭიმული ძაფებისათვის.

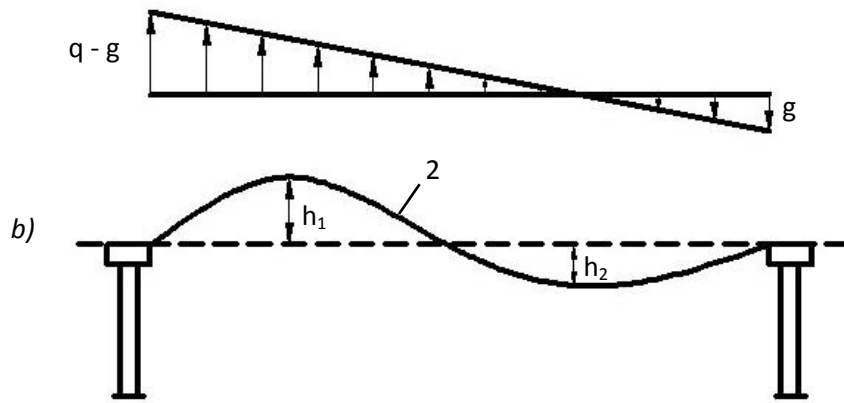
წარმოდგენილ სქემებზე, პირველ შემთხვევაში, დაჭიმული ძაფების პარალელურად განთავსებული ხისტი მონაკვეთები AC და BD საყრდენისა, წარმოადგენს ერთგვარ მაკავშირებელს გაჭიმული ძაფების ბოლოებზე განთავსებული საყრდენის მოწყობილობებისა AD და BC, რომელთაც თაღის ფორმები აქვს. ასეთი სქემა განაპირობებს წაგრძელებული ფორმის კიდული დახურვების მოწყობისათვის ოპტიმალურ გადაწყვეტას. საყრდენების თაღურ

მონაკვეთებში ძირითადად წარმოიშვება მკუმშავი ძალები, რომლებიც შემდეგ გადაეცემა საყრდენის წაგრძელებულ მონაკვეთებს, სადაც ხდება მათი ათვისება. ამასთან საგულისხმოა, რომ C, D, B და A წერტილებში ადგილი აქვს CD და AB გასწვრივ მოქმედი ძალების წარმოქმნას, რაც თაღის განმბრჯენების რეაქციებია. მათი ათვისება ხდება, როგორც საყრდენების გრძელი ელემენტების კვეთის გაძლიერებით, ასევე სხვა მრავალი კონსტრუქციული სქემების განხორციელებით.

ხისტი საყრდენის მუშაობის ოპტიმალური ფორმა მიიღწევა წარმოდგენილი სქემების b – შემთხვევაში. მოცემულ საყრდენში, გაჭიმული, ორთოგონალურად განლაგებული ურთიერთგადამკვეთი ძაფებისაგან – ბაგირებისაგან წარმოიქმნება მინიმალური სიდიდის მღუნავი მომენტები. კონსტრუქცია ძირითადად მუშაობს კუმშვაზე.

საყრდენი კონტურების განხილვასთან ერთად, ასევე ანალიზია ჩასატარებელი თვით გაჭიმული, მოქნილი ღეროებით შექმნილი სისტემის მიმართ. საკითხი შეეხება ერთშრიან გაჭიმულ, კიდულ სისტემას, უმეტეს წილად კი პარალელურად განთავსებულ გაჭიმულ მოქნილ ძაფებს. მიუხედავად მრავალი დადებითი თვისებისა ისინი, როგორც აღინიშნა ხასიათდებიან დიდი დეფორმაციულობით, რაც გამოწვეულია მათი კინემატიკური გადაადგილების საშუალებით და ამასთან ძალიან მცირე წონით, რაც არასიმეტრიული დატვირთვების, ან ქარის ზემოქმედებისას იწვევს მათ დიდ ფარგლებში დეფორმაციებს (ფიგ. III.16).



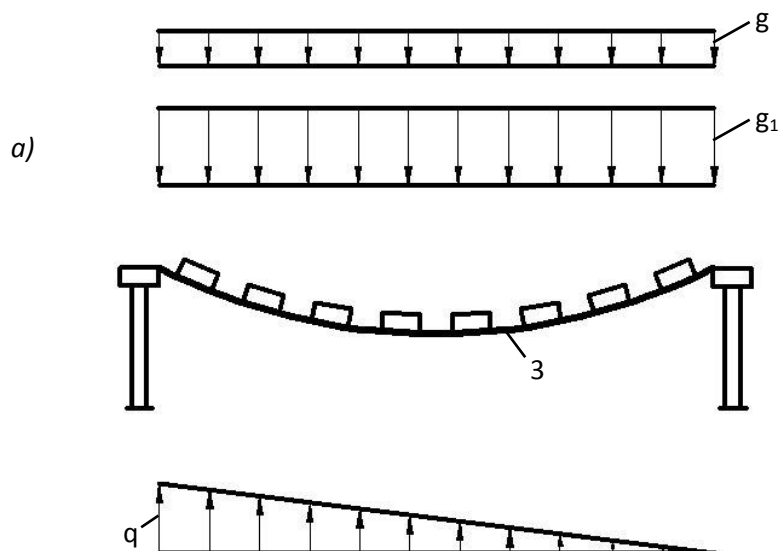


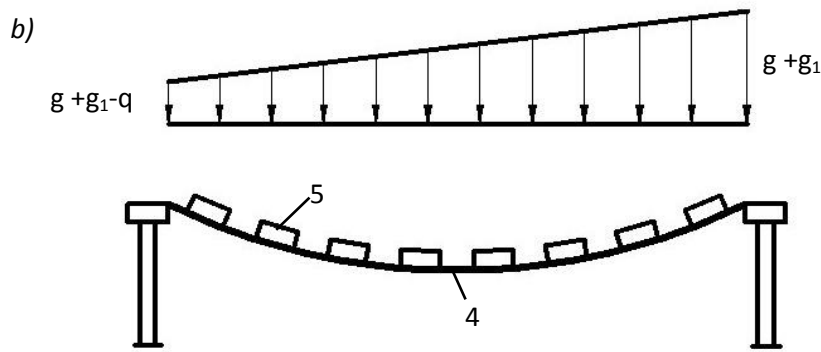
ფიგ. III.16 – ორ საყრდენზე ჩამაგრებული მოქნილი ძაფის დეფორმაციები
სხვადასხვა ფორმის დატვირთვისას

a – მოქნილი ძაფის დეფორმაცია მუდმივი დატვირთვისას; **b** – მოქნილი ძაფის დეფორმაცია მუდმივი და არასიმეტრიული, საპირისპიროდ მოქმედი დატვირთვისას;
1 – ძაფის ღერძის ფორმა მუდმივი დატვირთვისას; 2 – ძაფის ღერძის ფორმა

წარმოდგენილი სქემების მიხედვით ირკვევა, რომ თუ ზემოდან ქვემოთ მოქმედი მუდმივი ინტენსივობის დატვირთვა იწვევს ბაგირის, მოქნილი ძაფის, სიმეტრიულ მრუდე ჩაკიდულობას, არასიმეტრიული და ამასთან ქვემოდან ზემოთ მოქმედი მაქსიმალური სიდიდის q ინტენსივობის დატვირთვის დამატება იწვევს ძაფის “ტალღის” ფორმის დეფორმაციას.

ასეთი დიდი სიდიდის, კინემატიკური დეფორმაციების შეზღუდვისათვის, განსაკუთრებით სტაციონარულ დახურვებში გამოიყენება შედარებით დიდი წონის, რკინაბეტონის ჩვეულებრივი ფილები, რომლებიც თავისი შემომზღუდავი, შემომფარგვლელი ფუნქციის გარდა, საკუთარი დიდი წონის ფაქტორით, ასევე იწვევს ბაგირის დეფორმაციების დასტაბილიზებას (ფიგ. III.17).

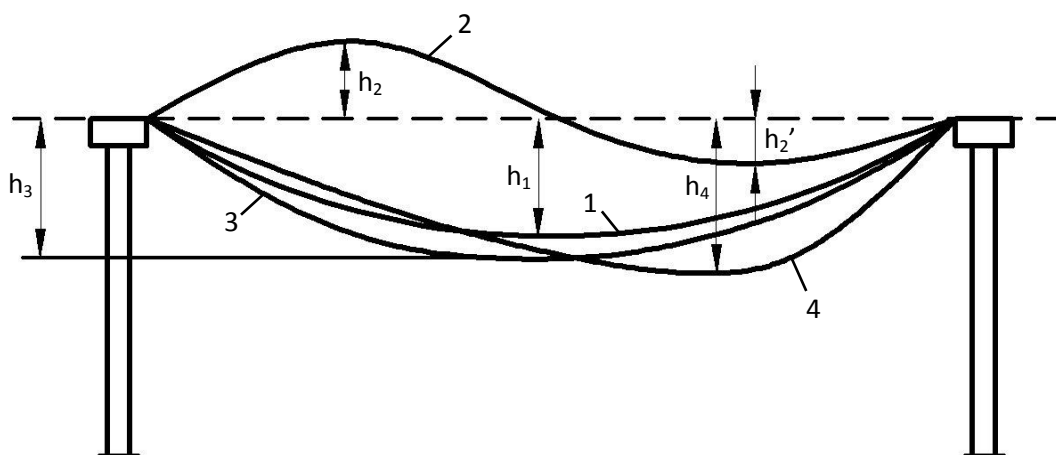




ფიგ. III.17 – ერთშრიან კიდულ დახურვებში, მზიდი მოქნილი ძაფის-ბაგირის სტაბილიზაცია შედარებით დიდი წონის, თანაბარგანაწილებული მუდმივი დატვირთვით

- a – საკუთარი წონისაგან და ფილების წონისაგან გამოწვეული მოქნილი ძაფის – ბაგირის დეფორმაცია;
- b – საკუთარი წონისაგან, ფილების წონისაგან და ამასთან საპირისპირო მიმართულებით მომქმედი არასიმეტრიული დატვირთებისაგან გამოწვეული მოქნილი ძაფის ბაგირის დეფორმაცია.

ამდენად ფიგ. III.16-ზე და ფიგ. III.17-ზე წარმოდგენილი სქემების – ბაგირების დეფორმაციების შედეგებით მკაფიოდ ჩანს, რომ მოქნილი ძაფების დიდი კინემატიკური დეფორმაციების შემცირებისა და სტაბილიზაციისათვის მეტად მოსახერხებელია, ერთშრიან კიდულ სისტემებში დახურვის შედარებით დიდი წონის ფილების გამოყენება (ფიგ. III.18).



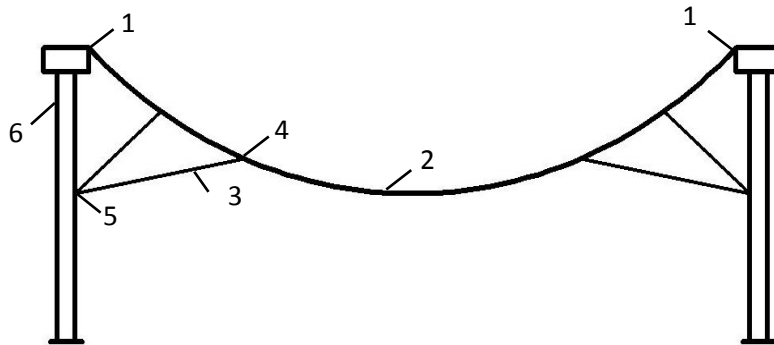
ფიგ. III.18 – მოქნილი ძაფის დეფორმაციები სხვადასხვა დატვირთვებზე

- 1 – მოქნილი ძაფი დატვირთულია მცირე ინტენსივობის საკუთარი წონით და ამ დროს მისი მაქსიმალური ჩაღუნვის ისარია h_1 ;

- 2 – ძაფი დატვირთულია მცირე ინტენსივობის საკუთარი წონით და ქვემოდან ზემოთ მომქმედი არასიმეტრიული დატვირთვით. ამ დროს მისი მაქსიმალური აწევა არის h_2 , ხოლო ჩაზნექვა h_2^1 ;
- 3 – მოქნილი ძაფი დატვირთულია საკუთარი წონით და შემომზღუდავი ფილების წონით და ამ დროს მისი მაქსიმალური ჩაზნექვა არის h_3 ;
- 4 – ჩაზნექილი ძაფი დატვირთულია საკუთარი წონით, დახურვის ფილის წონით და არასიმეტრიული, საპირისპირო მხარეს მომქმედი დატვირთვით. ამ დროს ძაფის მაქსიმალური ჩაწევა არის h_4 და მთლიანად ბაგირი, მცირე გადახრებით ტალღური ფორმისაა.

როგორც წარმოდგენილი სქემიდან ირკვევა, არასიმეტრიული საპირისპირო დატვირთვისა და მცირე ინტენსივობის მუდმივ დატვირთვასთან შედარებით, გაცილებით ნაკლები დეფორმაციებია დიდი ინტენსივობის მუდმივი დატვირთვის შემთხვევაში, როდესაც ბაგირზე ასევე მოქმედებს საპირისპირო ნიშნის არასიმეტრიული დატვირთვა.

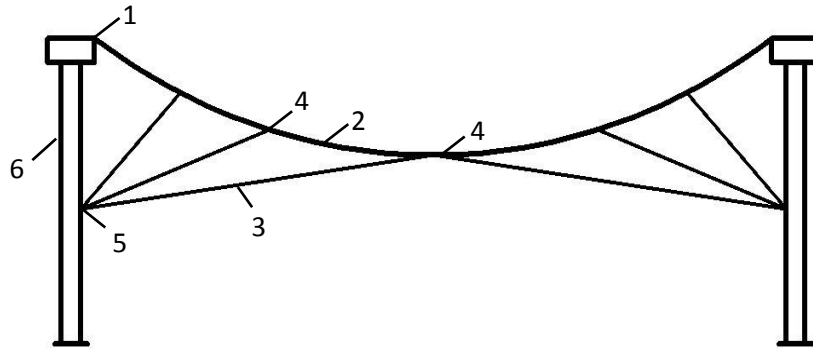
ერთშრიანი კიდული სისტემების დიდი დეფორმაციების შემცირების მიზნით, ლიტერატურულ წყაროებში, ასევე მოცემულია მოქნილი ძაფები – ბაგირები, რომლებიც დამატებით მომჭიმებით არის აღჭურვილი (ფიგ. III.19).



ფიგ. III.19 – ორ საყრდენზე ჩამაგრებული მოქნილი ძაფის დეფორმაციების შემცირება მჭიმების საშუალებით, რომელიც ერთი ბოლოთი უკავშირდება მოქნილ ძაფს, ხოლო მეორე ბოლოთი ჩამაგრებულია დგარებზე.

- 1 – მოქნილი ძაფის ჩამაგრების კვანძი; 2 – მოქნილი ძაფი; 3 – ვანტური მჭიმები;
 4 – ვანტის და მოქნილი ძაფის შეერთების კვანძი; 5 – ვანტების ჩამაგრების კვანძი დგარზე; 6 – დგარი.

აღსანიშნავია, რომ აღნიშნული სისტემა უფრო უახლოვდება ორშრიან-ორსართულიან კიდულ სისტემას, რომელიც შემდგომ არის განხილული, ვიდრე ერთშრიან კიდულ სისტემას. ამის სადემონსტრაციოდ წარმოდგენილ სქემაზე შეიძლება გავაგრძელოთ მჭიმების მოწყობა, ვიდრე კვანძ 4-ში არა ერთი ვანტი, არამედ უკვე ორი ვანტი იქნა მიმაგრებული მოქნილ ძაფზე – ბაგირზე (ფიგ. III.20).



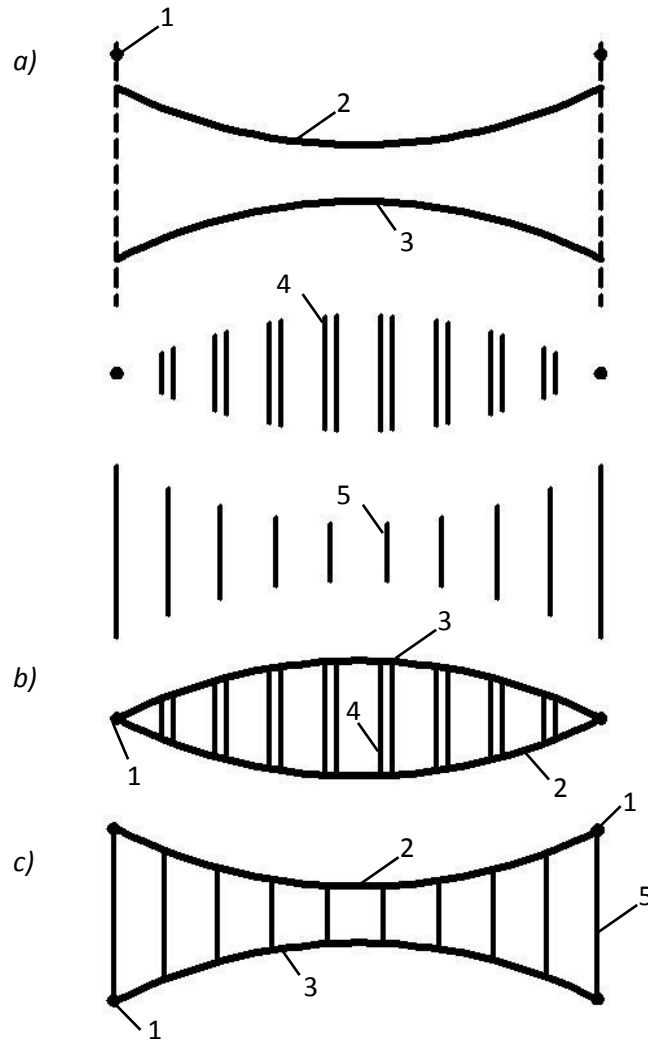
ფიგ. III.20 – მჭიმებით გამაგრებული ერთშრიანი მოქნილი ძაფის სქემა, რომელიც ასევე შეიძლება განხილულ იქნას, როგორც ორშრიანი-ორსართველიანი კიდული-ბაგიროვანი სისტემა

თუ ფიგ. III.20-ზე წარმოდგენილი სქემის შემადგენელ ელემენტებს იგივე ნუმერაციით ავლნიშნავთ, როგორც ფიგ. III.19-ზეა წარმოდგენილი, მაშინ იოლად წარმოვიდგენთ, რომ ორი ბაგირის და მოქნილი ძაფის ურთიერთდამაკავშირებელი კვანძის 4 არსებობით სისტემა გადაიქცევა ორსართველიან ბაგიროვან სისტემად. მასში ბაგრი 2 არის მზიდი ბაგირი, ხოლო ბაგირები 3, რომელთაგან ორი იკრიბება კვანძ 4-ში წარმოადგენს ორშრიანი კიდული სისტემის ტიპურ მასტაბილიზებელ ქვედა ბაგიროვან სარტყელს.

ტრანსფორმირებადი სტრუქტურების შესწავლის მხრივ, განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებენ ერთშრიანი კიდული სისტემები. ისინი შეიძლება განხორციელდნენ მოქნილი ძაფებისაგან – ბაგირებისაგან და დახვეული ფურცლებისაგან, რომლებისგანაც შეიძლება მემბრანების მიღება. აღნიშნული ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურები ერთობლიობაში მუშაობენ ხისტ საყრდენებთან და ასევე შუალედურ ხისტ და ზოგიერთ შემთხვევაში, ასევე ვანტურ ბაგიროვან საყრდენებთან. მათი ურთიერთშეთანხმებით და სხვადასხვა სახით ურთიერთგანლაგებით იქმნება სხვადასხვა კონფიგურაციის, არქიტექტურულად გამომხატველი ფიგურები. ისინი ფართოდ გამოიყენება მცირე და დიდმალიან ნაგებობებში. მათ შესახებ ქვემოთ იქნება განმარტებები წარმოდგენილი, რადგანაც მათი გეომეტრიული ფორმები მეტწილად მიეკუთვნება ორმაგი სიმრუდის ზედაპირს.

როგორც კიდული სისტემების მხრივ, ასევე მათი ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურების შექმნის მხრივ ძალიან მრავალფეროვანია ორშრიანი-ორსართველიანი ბაგიროვანი სისტემები.

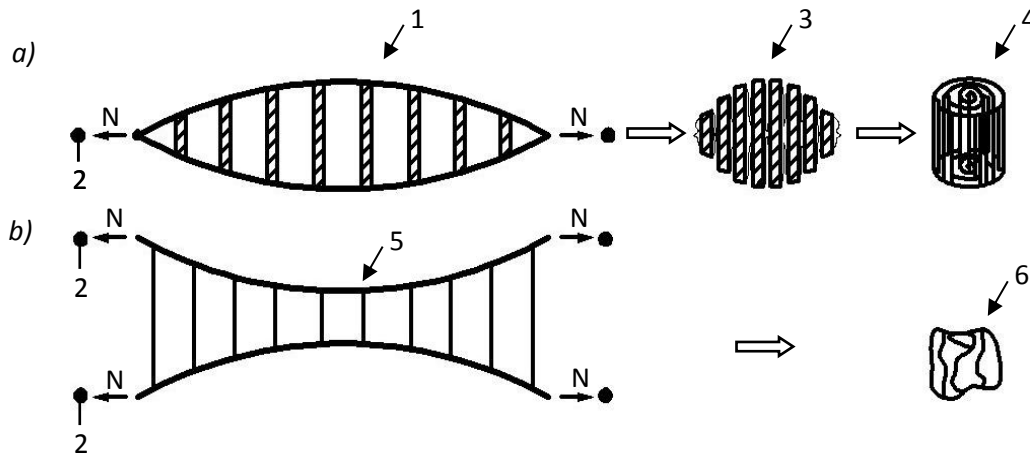
ორსართველიანი ბაგიროვანი სისტემა ხასიათდება რამოდენიმე აუცილებელი ელემენტის სიმრავლით (ფიგ. III.21).



ფიგ. III. 21 – ორსართველიანი ბაგიროვანი სისტემის შემადგენელი აუცილებელი ელემენტები და მათი გაერთიანების შედეგად მიღებული ორსართველიანი ბაგიროვანი სისტემის ძირითადი სქემები

a – ძირითადი ელემენტების კრებული; **b** – ამოზნექილი, ხისტი დეროვანკავშირებიანი, ორსართველიანი ბაგიროვანი სისტემა; **c** – ჩაზნექილი, მოქნილდეროვებიანი – ვანტებიანი კავშირებით განხორციელებული ორსართველიანი ბაგიროვანი სისტემა.
1 – საყრდენი; 2 – მზიდი ბაგირი; 3 – მასტაბილიზებული ბაგირი; 4 – მზიდ და მასტაბილიზებულ ბაგირებს შორის ხისტი კავშირების დეროვები; 5 – მზიდ და მასტაბილიზებულ ბაგირებს შორის მოქნილი დეროვანი კავშირების ვანტები.

აღნიშნული სისტემები შეიძლება ასევე განვიხილოთ ტრანსფორმირებად კონსტრუქციულ სტრუქტურებად, რომლებიც სტაციონალურ, ხისტ და ფორმაუცვლელ საყრდენებზეა ჩასამაგრებელი. ამასთან, ფორმათწარმოქმნა მათი ტრანსფორმაციით, დაკეცვა-გაშლის სხვადასხვა სქემებით არის შესაძლებელი (ფიგ. III.22).



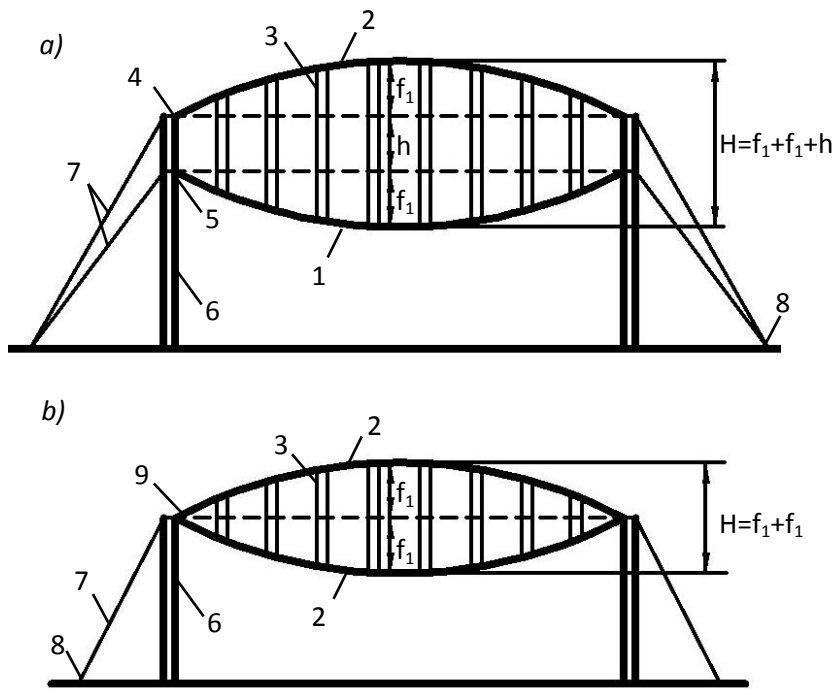
ფიგ. III.22 – ორსართყელიანი ბაგიროვანი, ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურის ფორმაცვალებადობა, დაკეცვა-გაშლა სხვადასხვა სქემებით

- a** – ორსართყელიანი, ხისტკავშირებიანი ბაგიროვანი სტრუქტურის ტრანსფორმაციები;
b – ორსართყელიანი, მოქნილკავშირებიანი ბაგიროვანი სტრუქტურის ტრანსფორმაცია.

1 – ორსართყელიანი, ხისტკავშირებიანი ბაგიროვანი სტრუქტურა N ძალით გაჭიმვის შედეგად საექსპლუატაციო ფორმას იღებს; 2 – სტაციონალური საყრდენები, რომელშიც ჩამაგრებით დაჭიმული ბაგიროვანი სტრუქტურა საექსპლუატაციო ფორმას ინარჩუნებს; 3 – სტრუქტურის ტრანსფორმაცია დაკეცვის მეთოდით; 4 – სტრუქტურის ტრანსფორმაცია დახვევის მეთოდით; 5 – ორსართყელიანი, მოქნილკავშირებიანი ბაგიროვანი სტრუქტურა, დაჭიმული N ძალებით იძენს საექსპლუატაციო ფორმას; 6 – სტრუქტურის ტრანსფორმაცია ნებისმიერი დაკეცვა-დახვევის მეთოდით.

ახლა განვიხილოთ ორსართყელიანი ბაგიროვანი სისტემების საპროექტო ფორმები და მათი ჩაბმა სტაციონალურ ფორმაუცვლელ საყრდენებთან.

ამოზნექილი, ორსართყელიანი ბაგიროვანი სისტემები, რომლებიც მზიდ და მასტაბილიზირებელ ბაგირებს შორის ხისტი კავშირებით მიიღწევა, ძირითადად ორი პრინციპული სქემის მიხედვით ხორციელდება (ფიგ. III.23).



ფიგ. III.23 – ორსართულიანი ბაგიროვანი სისტემების პრინციპული სქემები

- a** – ბაგიროვანი სისტემის სქემა განცალკევებული – მზიდი და მასტაბილიზებული ბაგირების დაშორებული ჩამაგრებით საყრდენებზე.
b – ბაგიროვანი სისტემის სქემა მზიდი და მასტაბილიზებული ბაგირების საყრდენებზე, ერთმანეთთან შეერთებით და საყრდენებში ჩამაგრებით.

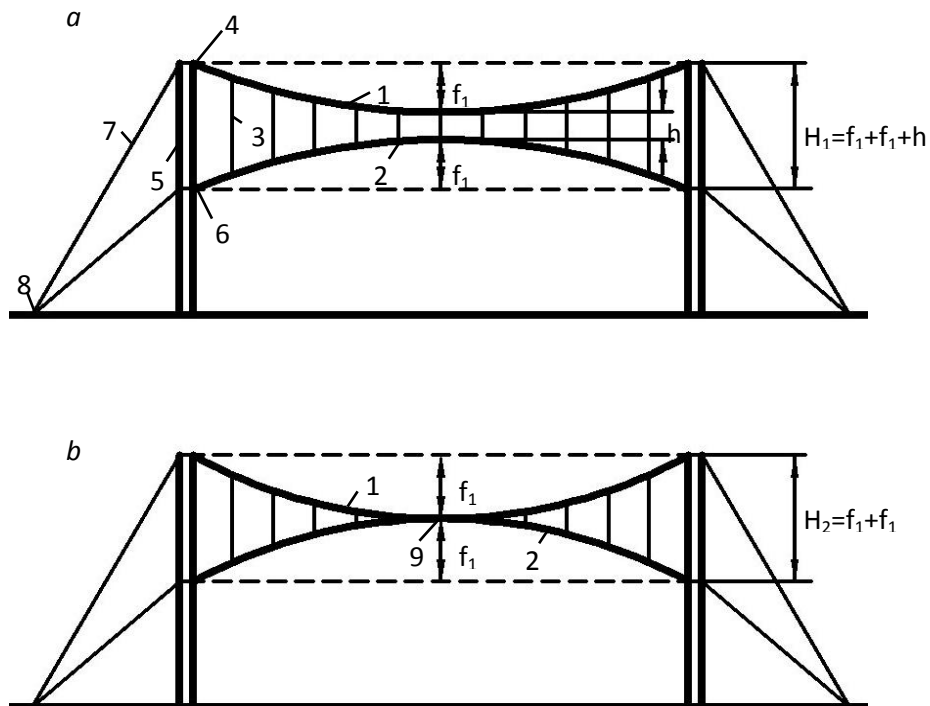
1 – მზიდი ბაგირი; 2 – მასტაბილიზებული ბაგირი; 3 – ხისტი, დეროვანი კავშირები დგარების სახით; 4 – მასტაბილიზირებული ბაგირების საყრდენი კვანძი დგარზე; 5 – მზიდი ბაგირის საყრდენი კვანძი დგარზე; 6 – დგარი; 7 – მჭიმები; 8 – ანკერი; 9 – მზიდი და მასტაბილიზებული ბაგირების გამაერთიანებელი საყრდენი კვანძი.

განხილული სქემებიდან უფრო გავრცელებულია **b** პოზიციაზე გამოსახული სისტემა, რომლის მზიდი და მასტაბილიზებული ბაგირები ერთიანდებიან საყრდენ კვანძში. ამასთან, მისი განივკვეთის სიმაღლე მაღის შუაში – $H = f^l + f_1$ ნაკლებია, ვიდრე **a** – პოზიციაზე წარმოდგენილი სიტემისა, რომლის განივკვეთის სიმაღლე მაღის შუაში შეადგენს $H = f^l + f_1 + h$.

ძირითადი მიზანი ერთშრიანი კიდული სისტემიდან ორშრიან – ორსართულიან სისტემაზე გადასვლისა არის მისი კინემატიკური დეფორმაციების შემცირება, რაც მოცემულ შემთხვევაში მიიღწევა მასტაბილიზებული ბაგირის წინასწარდაბავით. სწორედ უკვე არსებული გაჭიმვის ძაბვები მასტაბილიზებულ ბაგირში იძლევა საშუალებას, ისიც ჩაერთოს სისტემის მუშაობაში მანამ, სანამ აღძრული მკუმშავი ძალები არ გადააჭარბებენ არსებული წინასწარი გაჭიმვის ძალებს. ამ სახით სისტემა გაცილებით ნაკლებდეფორმაციულია ვიდრე ერთშრიანი კიდული სისტემა, თუმცა

მოცემულ სქემებში ნაკლები სიდიდით, მაგრამ მაინც, კვლავ შენარჩუნებულია კინემატიკური გადაადგილებები. მოცემული კიდული სისტემისათვის ერთ-ერთი ძირითადი დადებითი თვისებაა ის, რომ მათი დახურვებში გამოყენების შემთხვევაში გაიოლებულია ამოზნექილი ზედაპირიდან წყლის გადაყვანის პრობლემა და ასევე ფაქტიურად გამოირიცხულია „თოვლის ტომრების“ დაგროვება დახურვის ზედაპირზე.

რაც შეეხება ორსართულიან კიდულ სისტემას, მზიდი და მასტაბილიზებული ბაგირების ვანტებით დაკავშირებით, აქ ორი სქემა არის დომინანტური (ფიგ. III.24).



ფიგ. III.24 – ორსართულიანი ბაგიროვანი სტრუქტურის მოქნილკავშირებიანი სქემები

a – ერთმანეთისაგან h მანძილით დაცილებული მზიდი და მასტაბილიზებული ბაგირები;

b – ერთ შუა წერტილში გადამკვეთი მზიდი და მასტაბილიზებული ბაგირები.

1 – მზიდი ბაგირი; 2 – წინასწარდაჭიმული მასტაბილიზებული ქვედა ამოზნექილი ბაგირი;

3 – მოქნილი ღეროვანი – ვანტური კავშირები მზიდ და მასტაბილიზებულ ბაგირებს შორის; 4 –

მზიდი ბაგირის ღვართან მიერთების კვანძი; 5 – ღვარი; 6 – მასტაბილიზებული ბაგირის ღვართან მიერთების კვანძი; 7 – მჭიმო; 8 – ანკერი; 9 – ზედა და ქვედა მზიდი და დამასტაბილიზებული ბაგირების ურთიერთგადაკვეთის კვანძი.

პირველ რიგში უნდა აღინიშნოს, რომ წარმოდგენილი ორსართულიანი ბაგიროვანი სტრუქტურა ვანტური ურთიერთკავშირით მოქნილ სარტყელებს შორის წარმოადგენს „გაჭიმული სტრუქტურის“ ტიპურ განსახიერებას. იგი გარდა საყრდენი ღვარებისა შედგება მხოლოდ გაჭიმული ელემენტებისაგან, რაც

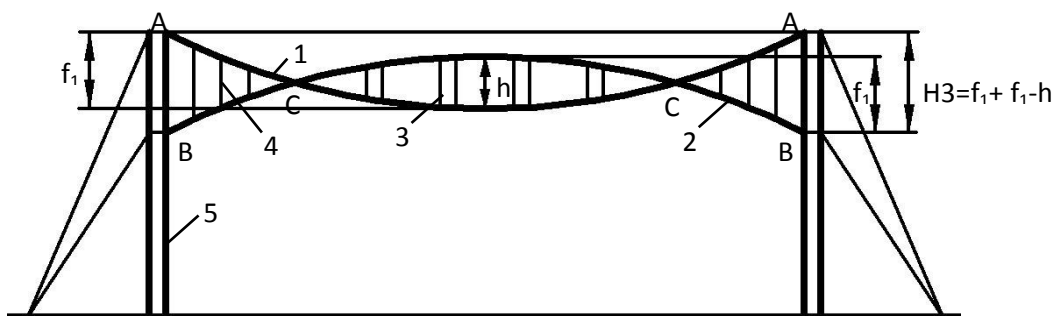
თავის მხრივ განაპირობებს კონსტრუქციული მასალების ეკონომიურ გამოყენებას მათი გაჭიმვის გამო.

თუ აღნიშნული სტრუქტურები გამოყენებული იქნება დახურვებში, მაშინ თვით შენობის შიგა მოცულობის ათვისების მხრივ იქმნება ოპტიმალური პირობა იმის გამო, რომ მასტაბილიზებული ბაგირი ამოზნექილ მდგომარეობაშია. რაც შეეხება მზიდ, ჩაზნექილ, გარე ბაგირს, იგი ქმნის ორ ნაკლოვან მხარეს. ერთის მხრივ ეს არის დახურვიდან წყლის გადაყვანის საკითხი და მეორე, კი ჩაზნექილ დახურვაში „თოვლის ტომრების“ წარმოქმნის შესაძლებლობა.

რაც შეეხება დეფორმაციებს, ორსართყელიანი ბაგიროვანი სტრუქტურა მოქნილი კავშირებით თითქმის ისეთივეა, როგორც წინა შემთხვევაში – ორსართყელიანი, ხისტი დეროებით დაკავშირებული ბაგიროვანი სარტყელების სტრუქტურა. თუმცა, ფიგ. III.24-ზე წარმოდგენილი b – პოზიციის სქემა უფრო მდგრადია დეფორმაციების მიმართ, რადგანაც ზედა და ქვედა ბაგირები, მაღლის შუაში ერთ წერტილში იკვეთება და ამით წარმოიქმნება სამკუთხედის შეკრულ კონტურთან მიახლოებული ფორმის სისტემა, რაც მეტი სიხისტით გამოირჩევა.

სიმაღლის მხრივ ჩაზნექილ და ამოზნექილ ბაგირებს შორის ურთიერთდაცვილების მაქსიმალური სიმაღლე შეადგენს $H_1=f^l+f_1+h$, ხოლო მათი ერთ წერტილში გადაკვეთის შემთხვევაში მაქსიმალური სიმაღლე შეადგენს $H_2=f^l+f_1$, რაც h -ით ნაკლებია პირველ შემთხვევასთან შედარებით.

დახურვის განიგეგვითში საკუთარი სიმაღლის და დეფორმაციულობის შემცირების მხრივ ოპტიმალურია ზედა და ქვედა ბაგირების, ურთიერთგადაკვეთი კომბინირებული სქემის შექმნა, სადაც ერთ სისტემაშია შეთავსებულია სარტყელებს შორის ხისტი და მოქნილი კავშირები (ფიგ. III.25).



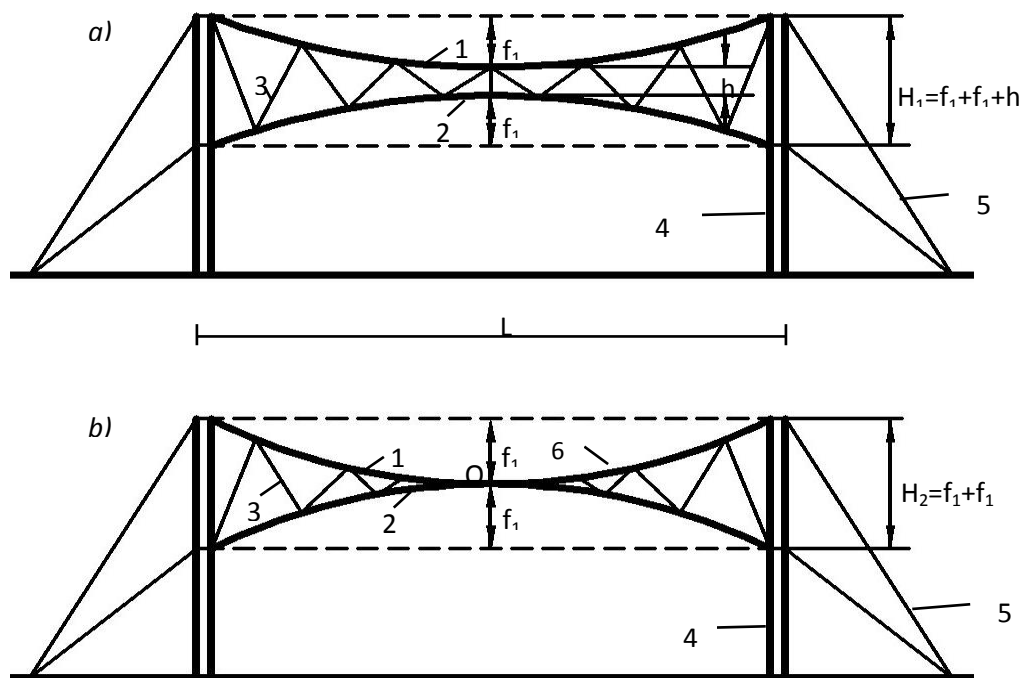
ფიგ. III.25 – კომბინირებული სქემა მზიდი და მასტაბილიზებული ბაგირების ურთიერთგადაკვეთისა და მათ შორის ხისტი და მოქნილი კავშირის გამოყენებისა

- 1 – მზიდი ბაგირი; 2 – მასტაბილიზებული ბაგირი;
3 – ხისტი, დეროიანი კავშირი; 4 – მოქნილდეროიანი კავშირები;
C – მზიდი და მასტაბილიზებული ბაგირების ურთიერთგადაკვეთის წერტილი;

A – მზიდი ბაგირის დგართან ჩამაგრების კვანძი; B – მასტაბილიზებული ბაგირის დგართან ჩამაგრების კვანძი; 5 – დგარი.

წარმოდგენილ სქემაში ორსართყელიანი სისტემის განივკვეთის სიმაღლე, მაღის შუაში არის მინიმალური და იგი ტოლია $H_3=f^1+f_1-h$. ამასთან ორი სამკუთხა სქემა ACB, რომელიც განთავსებულია დახურვის ბოლოებში, დგარების ჩათვლით და სარტყელების ურთიერთგადაკვეთის წერტილებს შორის განთავსებული ხისტკავშირებიანი ორსართყელიანი სტრუქტურა, ქმნის სისტემის დეფორმაციულობის კიდევ უფრო შემცირების პირობებს. მიუხედავად ამისა, სისტემისათვის კვლავ დამახასიათებელია გარკვეული სიდიდის – კინემატიკური გადაადგილებები.

“გაჭიმულ არქიტექტურაში” მინიმალური დეფორმაციულობა, ანუ მხოლოდ გაჭიმვაზე მომუშავე ღეროს დრეკადი წაგრძელებების შედეგად განპირობებული “დრეკადი დეფორმაციები”, მიიღწევა ორსართყელიან სისტემაში – ვანტურ ფერმებში, როდესაც მზიდი და მასტაბილიზებული ბაგირები სამკუთხა ფორმის გაჭიმული ბაგირებისაგან, ვანტებისაგან არის ურთიერთდაკავშირებული (ფიგ. III.26).



ფიგ. III.26 – ორსართყელიანი, ვანტური, წინასწარდაძაბული ფერმა – ბაგიროვანი სტრუქტურა ზედა და ქვედა ვანტური სარტყელების, სამკუთხა ფორმით განლაგებული და წინასწარ დაჭიმული ირიბნებით

a – ვანტური წინასწარდაძაბული ფერმა ერთმანეთის მიმართ დაცილებული ზედა და ქვედა ბაგირებით – სარტყელებით;

b – ვანტური წინასწარდაბული ფერმა ზედა და ქვედა სარტყელების ურთიერთშეხებით;

c – ზედა და ქვედა სარტყელების ურთიერთშეხების კვანძი;

1 – ზედა სარტყელი; 2 – ქვედა სარტყელი; 3 – მოქნილი ირიბნები; 4 – დგარები; 5 – მჭიმები; 6 – ფერმის კვანძები.

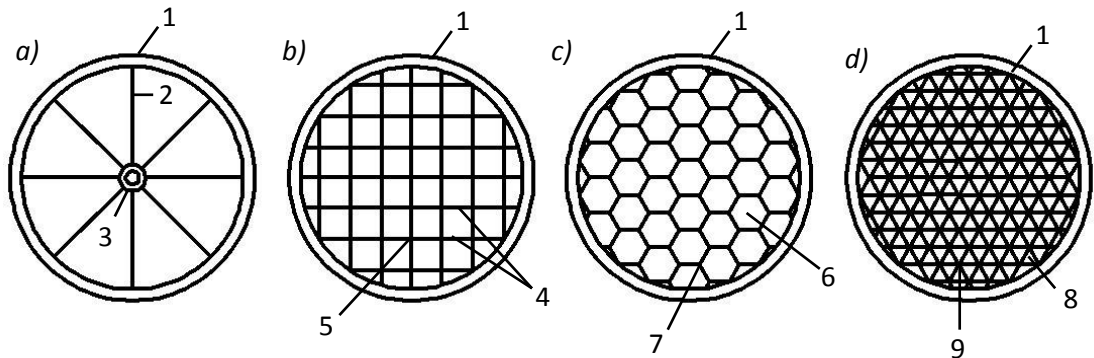
წარმოდგენილი სისტემა პრინციპულად განსხვავდება განხილული, კიდული, ორსარტყელიანი სისტემისაგან. მასში, როგორც ფერმაში, ნებისმიერ დროს წარმოშობილი ძალები, თუ ისინი შესაბამის კვეთებში არ აღემატება შესაბამის ელემენტებში წინასწარ დაბადებულობით წარმოქმნილ გამჭიმავ ძალებს, ხდება ისეთი დეფორმაციები, როგორც ანალოგიური ფორმის ხისტი ელემენტებისაგან შედგენილ ფერმებში. ამდენად, ბაგიროვანი, წინასწარდაბული ფერმის დეფორმაციები მხოლოდ დრეკადი მდგენელებისაგან შედგება, რაც გამორიცხავს კინემატიკურ გადაადგილებას.

როგორც წესი, ზედა ჩახნეჩილი სარტყელის ჩაწევის ისრის შეფარდება მალთან L მიიღება $f/L = \frac{1}{20} - \frac{1}{15}$ - მდე, ხოლო ქვედა სარტყელის აწევის ისარს f_1 შეფარდება მალთან L მიიღება $f_1/L = 1/20 - 1/30$;

ამასთან, დახურვებში რეკომენდირებულია, რომ ზედა სარტყელისთვის $f/L = 1/17$, ხოლო ქვედა სარტყელისთვის $f_1/L = 1/25$, იმ პირობით, რომ ზედა სარტყელი, ისევე, როგორც ქვედა სარტყელი და ირიბნები წარმოადგენენ ვანტებს, ფერმის ზედა სარტყელზე – ვანტებზე გარე დატვირთვები მოდებულია მის კვანძებზე.

ბაგიროვანი ფერმებით შესაძლებელია საკმაოდ დიდი – 100 მეტრამდე და მეტი სიგრძის მალეების დახურვა. ამასთან სისტემა წარმოადგენს ტრანსფორმირებად კონსტრუქციულ სტრუქტურას. მისი ტრანსპორტირება დამზადების ადგილიდან გამოყენების ადგილამდე შესაძლებელია დაკეცილ მდგომარეობაში. ამას ემატება „გაჭიმული არქიტექტურისთვის“ დამახასიათებელი მინიმალური წონა, რომელიც გააჩნია ბაგიროვან ფერმებს.

რაც შეეხება კიდულ სისტემებს და მათ შორის ორსარტყელიან ბაგიროვან სისტემებს, ისინი დიდი უპირატესობით გამოიყენებიან როდესაც გააჩნიათ მრგვალი საყრდენი კონტური, რომელშიც ხდება მათი სხვადასხვა სქემით განთავსება (ფიგ. III.27).



ფიგ. III.27 – წრიულ კონტურში განთავსებული ორსართყელიანი სისტემები

a – რადიანული განთავსება; **b** – ორთოგონალური განთავსება;

c – ექვსკუთხა ფორმით განთავსება; **d** – სამკუთხა ფორმით განთავსება.

1 – საყრდენი კონტური, რომელიც ბაგიროვანი სისტემისაგან ძირითადად მუშაობს კუმშვაზე და ასევე ღუნვაზე; 2 – რადიანულად განთავსებული ბაგიროვანი სისტემა; 3 – წრიული დოლი, სადაც უერთდება და იკვეთება რადიალურად განთავსებული ორსართყელიანი ბაგიროვანი ფერმები; 4 – ორთოგონალურად განთავსებული ორსართყელიანი ბაგიროვანი ფერმები; 5 – ორთოგონალურად განთავსებული ბაგიროვანი სისტემების ურთიერთგადაკვეთის კვანძები; 6 – ექვსკუთხა ფორმით დაკავშირებული ბაგიროვანი ორსართყელიანი სისტემები; 7 – ექვსკუთხა ფორმით განთავსებული ბაგიროვანი სისტემების ურთიერთგადაკვეთის კვანძები; 8 – სამკუთხა ფორმით დაკავშირებული ბაგიროვანი ორსართყელიანი სისტემები; 9 – სამკუთხა ფორმით განთავსებული ბაგიროვანი სისტემების სართყელების ურთიერთგადაკვეთის კვანძები.

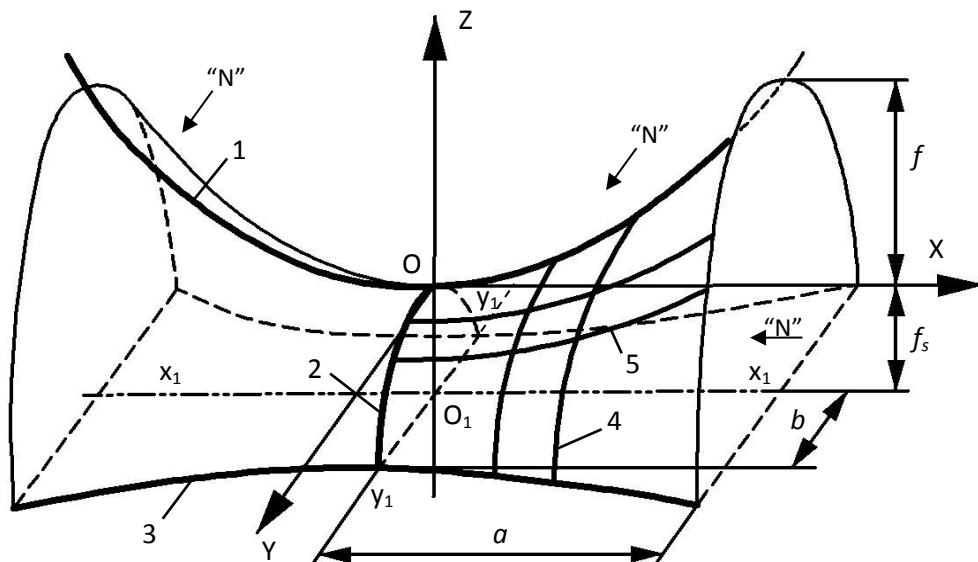
წრიულ კონტურზე ჩამაგრებული ბაგიროვანი ორსართყელიანი სისტემები, გამოყენებულია მშენებლობაში გადახურვის კონსტრუქციად. ისინი ასევე გამოყენებულია სხვა ნაგებობებშიც, განსაკუთრებით კი კოსმოსურ დიდ გასაშლელ რეფლექტორებში. ამდენად, მათ შესახებ უფრო დეტალური გარჩევა შემოთავაზებული იქნება სხვა თავებში.

ტრანსფორმირებადი სტრუქტურების მხრივ, და ასევე სტაციონალურ ნაგებობებში დიდი უპირატესობით გამოიყენება ბაგიროვანი ბადეები, რომლებიც უმეტეს კონსტრუქციულ გადაწყვეტებში ქმნიან უნაგირისებრ, ურთიერთგადაკვეთ, წინასწარდაძაბულ ბადისებრ სისტემებს.

აღნიშნული სისტემის დაპროექტების პირველსავე ეტაპებზე მეტად მნიშვნელოვანია ზედაპირის ფორმის გეომეტრიის განსაზღვრა და მისი დაძაბვის სიდიდეების დადგენა. შერჩეული ფორმა ოპტიმალური უნდა იყოს იმ მხრივ, რომ დატვირთვების შედეგად ბადეში აღძრული ძალების შედეგად გამოწვეული დეფორმაციები იყოს მინიმალური. ამ პირობების დაცვა ხშირ შემთხვევებში გაცილებით უკეთესად ხდება მაშინ, როდესაც წინასწარდაძაბული ბაგიროვანი ბადე აღწევს ჰიპერბოლური პარაბოლოიდის ფორმის ზედაპირს, რომლის განტოლება შემდეგი სახისაა:

$$Z = f x^2/a^2 - f_s y^2/b^2$$

ფორმულიდან გამოდინარე ავაგოთ და განვიხილოთ ჰიპერბოლური პარაბოლოიდის მქონე ზედაპირი (ფიგ. III.28).



ფიგ. III.28 – ჰიპერბოლური პარაბოლოიდის სქემა და მისი გეომეტრიის ძირითადი პარამეტრები

OX, OY, OZ – სივრცითი, ორთოგონალური, კოორდინატული სისტემა; „N“ – ჰიპერბოლური პარაბოლოიდის ზედაპირი; f – მზიდ ბაგირის ჩაკიდების ისარი;

f_s – მასტაბილიზებული ბაგირის აწევის ისარი; a და b – ნახევარმადლები X და Y ღერძების მიმართულებით; „M“ – OX და OY ურთიერთგადამკვეთი ღერძების პარალელურად, O წერტილიდან f_s მანძილზე გადატარებული ჰიპერბოლური პარაბოლოიდის გადამკვეთი სიბრტყე.

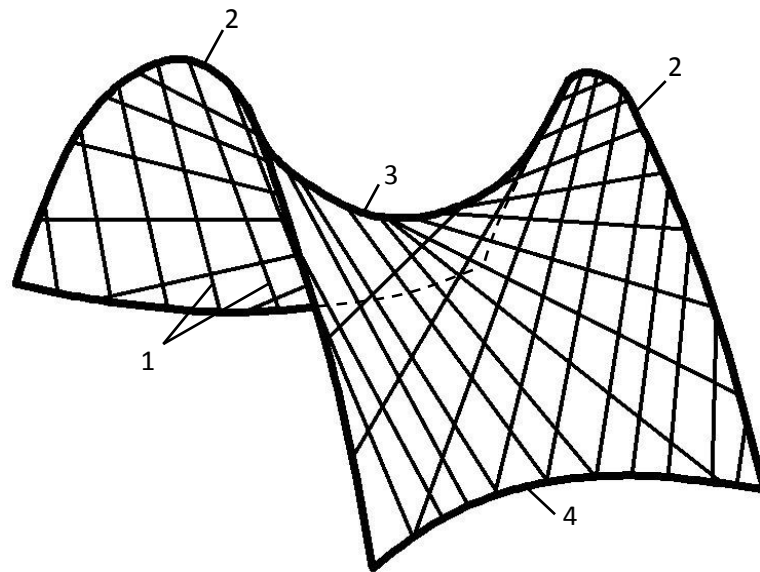
1 – მთავარი მზიდი პარაბოლა; 2 – მთავარი მასტაბილიზებული პარაბოლა;
3 – მთავარი ჰიპერბოლა; 4 – მთავარი მასტაბილიზებული პარაბოლის პარალელური პარაბოლოიდები, რომლებიც ბადისებრ სისტემაში, შეიძლება წარმოადგენდნენ ბაგირების მოხაზულობას; 5 – მთავარი მზიდი პარაბოლის პარალელური პარაბოლა, რომელიც ბადისებრ სისტემაში შეიძლება წარმოადგენდნენ ბაგირის მოხაზულობას.

წარმოდგენილი სქემის მიხედვით თუ ვიმსჯელებთ მთავარი მზიდი პარაბოლის და მთავარი მასტაბილიზირებული პარაბოლის ღერძი ერთი და იგივეა, ისინი ემთხვევა ერთმანეთს და მდებარეობს OZ ღერძზე გამავალ წრფეზე. რაც შეეხება მთავარი ჰიპერბოლის ნამდვილ ღერძს ის მდებარეობს $X_1 - X_1$ წრეხაზზე; რომელიც O_1 წერტილზე არის გადატარებული, ხოლო მთავარი ჰიპერბოლის წარმოსახვითი ღერძი მდებარეობს $Y_1 - Y_1$ წრფეზე, რომელიც ასევე არის გადატარებული O_1 წერტილზე.

რაც შეეხება ჰიპერბოლური პარაბოლოიდის ღერძს მისი მდებარეობა ემთხვევა OZ წრფეს.

კონსტრუქციის შექმნის დროს, გათვალისწინებული უნდა იყოს ის, რომ ჰიპერბოლური პარაბოლოიდი არ წარმოადგენს მბრუნავ ზედაპირს. იგი შეიძლება აგებული იქნას მთავარი პარაბოლის პარალელური გადაადგილებით.

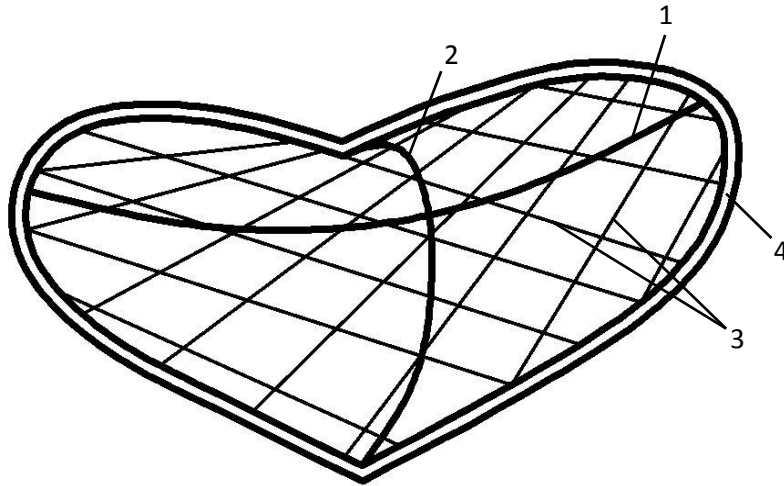
კონსტრუქციული თვალსაზრისით ასევე მნიშვნელოვანია და სხვადასხვა პირობებში საგულისხმოა ის, რომ ჰიპერბოლური პარაბოლოიდი საბოლოოდ შეიძლება აგებულ იქნას ურთიერთგადამკვეთი სწორი ღეროებისაგან შედგენილი ბადით (ფიგ. III.29).



ფიგ. III.29 – წრფივი მონაკვეთებისაგან აგებული ჰიპერბოლური პარაბოლოიდი

1 – ურთიერთგადამკვეთი სწორი მონაკვეთები, რომლებიც ქმნიან ბადეს; 2 – ზედაპირის პარაბოლური განაპირა კონტური; 3 – ზედაპირის წარმოსახვითი მზიდი პარაბოლის კონტური; 4 – სიბრტყეზე, სწორი ხაზების გადაკვეთის შემართებული ჰიპერბოლური კონტური.

ამდენად, ლიტერატურაში ფართოდ გავრცელებული ტერმინი ან ფრაზა, ბაგირების – ძაფების განთავსებისა ჰიპერბოლოიდური პარაბოლის ზედაპირის მთავარი ღერძების მიმართ სხვადასხვა კუთხით, გარკვეულ გაუგებრობას შეიცავს და ის დასაზუსტებელია. უნდა მივიჩნიოთ, რომ ავტორებს მხედველობაში ჰქონდათ ზედაპირის მთავარი მზიდი და მასტაბილიზებული პარაბოლები და მათ მიმართ გადატარებული ბადის წრფეების დახრის კუთხეები (ფიგ. III.30).

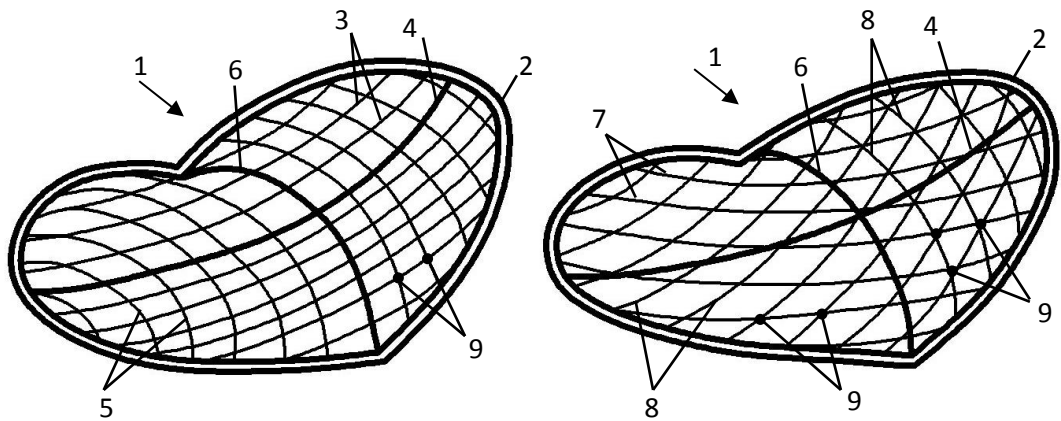


ფიგ. III.30 – ორსიმრუდიანი ზედაპირის მქონე ბადე, რომლის შემადგენელი წრფივად განლაგებული ბაგირები გარკვეული კუთხით არის განლაგებული ზედაპირის მთავარი პარაბოლის მიმართ

- 1 – მთავარი მზიდი პარაბოლა; 2 – მთავარი მასტაბილიზებული პარაბოლა;
- 3 – ბადის ურთიერთგადამკვეთი წრფივი ღეროები;
- 4 – ორსიმრუდიანი ზედაპირის ხისტი კონტური.

წარმოდგენილ სქემაზე ასევე საყურადღებოა ის ფაქტი, რომ ბადის შემადგენელი ძაფები არ არის განლაგებული ზედაპირის მთავარი პარაბოლოიდის პარალელურად და ისინი, როგორც აღინიშნა, მას გარკვეული კუთხით კვეთენ. ასეთ შემთხვევაში იზრდება მათი სიგრძეები, – მცირდება და მოცემულ შემთხვევაში ნულამდე დადის მათი სიმრუდე, სათანადოდ იზრდება მათში წარმოქმნილი ძაღვები, რაც საბოლოო ჯამში განაპირობებს ბადის მუშაობის უარყოფით დაძაბულ-დეფორმირებულ სურათს.

წრფივი, განლაგებული ბაგირებით შედგენილი ბადის შემთხვევაში, ყველაზე მნიშვნელოვანია ის, რომ დახურვის კონსტრუქციაში ფაქტიურად ქრება სტაბილიზაციის ეფექტი. სწორხაზოვანი ღეროები, რომლებიც წარმოქმნიან ზედაპირს, განივ დატვირთვას ითვისებენ მხოლოდ და მხოლოდ თავისი ღრეკადი დეფორმაციებით, რაც განაპირობებს მათში ძალიან დიდი ძაღვების წარმოქმნას. ამდენად კონსტრუქციის ოპტიმალური გადაწყვეტისათვის უფრო მიზანშეწონილია და უმეტეს შემთხვევებში აუცილებელიცაა ბადის შემადგენელი სწორი ბაგიროვანი ელემენტები, ყოველი უჯრედის შემდეგ, ადგენდეს უფრო დიდ კუთხეს მოსახდურე უჯრედის სწორ ელემენტთან. ეს ნიშნავს იმას, რომ ბადის თითოეული ბაგირი საყრდენებს შორის იყოს საგრძნობლად ჩაზნექილი ან ამოზნექილი (ფიგ. III.31).



ფიგ. III.31 – ჰიპერბოლური პარაბოლოიდის ზედაპირის მქონე წინასწარდაბული კიდული კონსტრუქცია, რომლის საყრდენ კონტურებს შორის განთავსებულ ბაგირებს გააჩნიათ საგრძნობი ჩაზნექვა და ამოზნექვა

a – ოთოგონალურად განლაგებული ბაგირები; **b** – ერთმანეთის მიმართ პარაბოლოიდურად განლაგებული ბაგირები.

- 1 – ჰიპერბოლური პარაბოლოიდის ზედაპირი, შექმნილი ბაგიროვანი ბადისაგან;
 2 – საყრდენი კონტური; 3 – მთავარი მზიდი, ჩაზნექილი პარაბოლის პარალელურად განთავსებული ბაგირები; 4 – მთავარი ჩაზნექვის პარაბოლა;
 5 – მთავარი მასტაბილიზებული, ამოზნექილი პარაბოლის პარალელურად განთავსებული ბაგირები; 6 – მთავარი მასტაბილიზებული ამოზნექილი პარაბოლა; 7; 8 – გაორებული, ერთმანეთის მიმართ კუთხით განთავსებული და მთავარი მზიდი და მასტაბილიზებული პარაბოლების მიმართ სიმეტრიულად დახრილი ბადის შემადგენელი ბაგირები; 9 – ბადეში ბაგირების გადაადგილების შეზღუდვისათვის, მათ გადაკვეთაზე მოწყობილი შემკრავი კვანძები.

წარმოდგენილ სისტემებში მთავარი პარაბოლების ჩაკიდვის ისრის შეფარდება შესაბამის მალეობთან f/L ცვალებადობს $1/10$ – დან $1/40$ -მდე.

ჰიპერბოლური პარაბოლოიდების ზედაპირები, რომლებიც მოცემულ შემთხვევებში მიიღწევა ჩაზნექილი და ამოზნექილი ბაგირებისაგან შედგენილი ბადით, დაბაბულ-დეფორმირებული სურათით ანალოგიურია ორშრიანი, ორსარტყელიანი ბაგიროვანი სისტემის მუშაობისა.

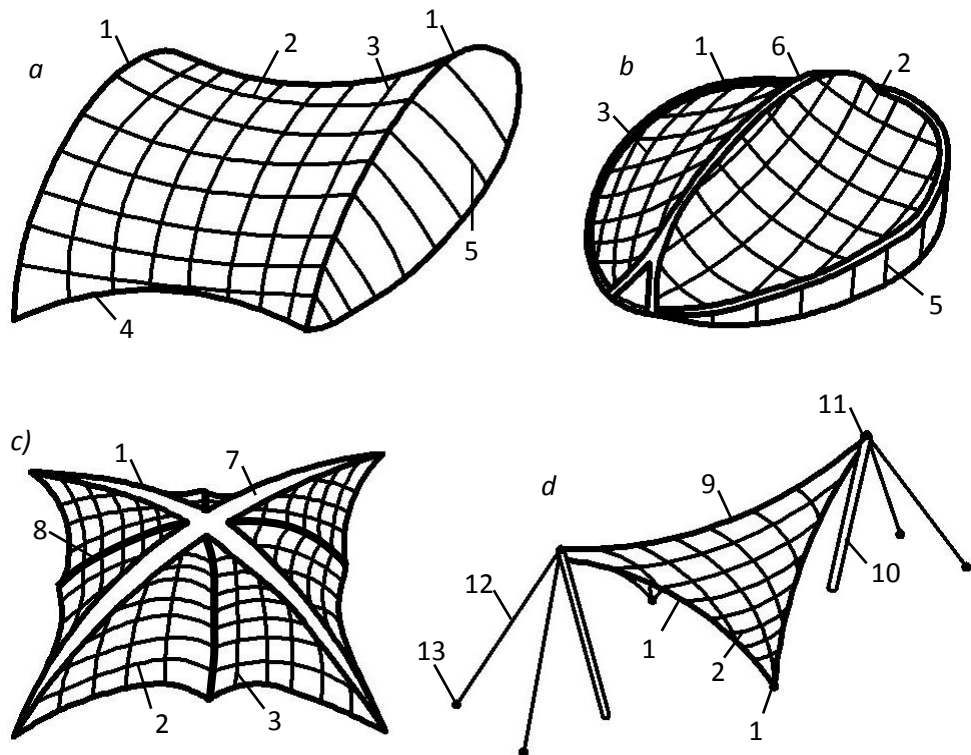
საყრდენ, პრაქტიკულად უძრავ, კონტურზე ჩამაგრებული ჩაზნექილი ბაგირები წარმოადგენენ მზიდ ელემენტებს და საექსპლუატაციო დატვირთვის პირობებში ისინი ძირითადად იჭიმება. რაც შეეხება ამოზნექილ მასტაბილიზებულ ბაგირებს, რომლებიც ასევე შემადგენელი ელემენტებია ბადისა, მათი წინასწარი დაჭიმვის შემთხვევაში, როგორც ორშრიან კიდულ სისტემებში, აქაც მასტაბილიზებულ ფუნქციას ასრულებენ. ამასთან წინასწარი დაჭიმვისაგან წარმოშობილი გამჭიმავი ძალები უნდა აჭარბებდეს იმ მკუმშავ ძალებს, რომლებიც დატვირთვებისაგან წარმოიშეება მასტაბილიზებულ ბაგირებში.

ორი სხვადასხვა სიმრუდის მქონე ზედაპირში ოთხკუთხა უჯრედების მქონე ბადეები, ორსართველიანი ბაგიროვანი სისტემების ანალოგიურად გამოირჩევიან მეტ-ნაკლები დეფორმაციულობით და მათ შორის კინემატიკური გადაადგილების უნარით. ამასთან მათი დეფორმაციულობის პარამეტრები გაცილებით ნაკლებია ერთშრიან კიდულ სისტემებთან შედარებით.

განსხვავებულ სურათს იძლევა ისეთი ჰიპერბოლური პარაბოლოიდური ზედაპირები, რომლებიც აგებულია არა ოთხკუთხა უჯრედების ფორმის მქონე ბადეებისაგან, არამედ სამკუთხა ფორმის უჯრედების მქონე ბადეებისაგან. მათი განხორციელების ფორმა წარმოდგენილი იყო ფიგ. III.31-ზე.

მნიშვნელოვანია ის, რომ სამკუთხა უჯრედები, განსაკუთრებით ხელსაყრელ პირობებს ქმნის შემომფარგვლელი, სხვადასხვა სახის, მათ შორის მინის ფილების გამოყენებისათვის. ეს აიხსნება იმით რომ ყოველ სამკუთხედზე შეიძლება სიბრტყის აგება და მასთან მხოლოდ ერთის.

ასეთი მიდგომებით შეიძლება ასევე სხვადასხვა არქიტექტურული და კონსტრუქციული ფორმების მიღება (ფიგ. III.32).



ფიგ. III.32 – ორმაგი, სხვადასხვა ნიშნიანი სიმრუდის რადიუსის მქონე წინასწარდაბუთი ბაგიროვანი ბადეებისაგან და მათი საყრდენებისაგან შექმნილი ფორმები

- a** – კიდული ბადისებრი კონსტრუქცია განთავსებულ ორ პარალელურ თაღს შორის;
b – კიდული ბაგიროვანი კონსტრუქცია შუალედური თაღოვანი საყრდენით და განაპირა „ვარდნილი“ თაღების საყრდენებით; **c** – ორი ურთიერთგადამკვეთი ხისტი თაღების და მათ

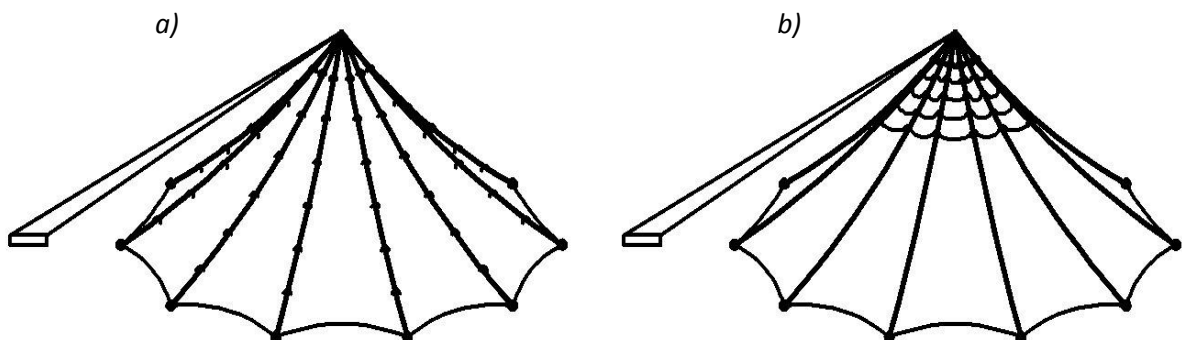
შორის განთავსებული ამოზნექილი ბაგირების საყრდენებზე ჩაბმული, კიდული ბადისებრი კონსტრუქცია; **d** – ორმაგი სხვადასხვა ნიშნიანი რადიუსის მქონე წინასწარდაძებული ბაგიროვანი ბადისაგან აგებული ზედაპირი მოქნილი კონტურებით და პილონებით.

- 1 – თაღოვანი საყრდენი; 2 – ჩაზნექილი ბაგირები; 3 – ამოზნექილი ბაგირები;
- 4 – ჰიპერბოლური ბაგიროვანი კონტური, ჩამაგრებული თაღების ბოლოებზე;
- 5 – მჭიმები ანკერებით; 6 – შუალედური თაღოვანი საყრდენი; 7 – წიბოვანი საყრდენი;
- 8 – ამოზნექილი ბაგიროვანი საყრდენი; 9 – ჩაზნექილი ბაგიროვანი საყრდენი;
- 10 – პილონი; 11 – მჭიმის ჩაბმის კვანძი, სადაც ასევე ჩამაგრებულია ბაგიროვანი ბადე; 12 – მჭიმი; 13 – ანკერი; 14 – ბაგიროვანი კონტურის საყრდენი;
- 15 – წერტილოვანი ანკერი, სადაც ემაგრება კონტურის ბაგიროვანი საყრდენები;

ფიგ. III.32-ზე წარმოდგენილი სქემები, გარდა ურთიერთგადამკვეთი ბაგიროვანი ბადეებისა, ასევე შეიძლება განხორციელდეს სხვადასხვა სინთეტიკური მეტალიზებული და ორგანული მასალებისაგან დამზადებული ქსოვილებისა და აპკებისაგან. ამის შედეგად მიიღება კიდული კონსტრუქციული სისტემები, რომლებიც თავისი არქიტექტურული ფორმის მიხედვით ასევე მრავალფეროვანია.

ამისათვის მათი კონსტრუქციული მასალა უზრუნველყოფს საპროექტო ფორმის წარმოქმნას დაკეცილი ან დახვეული, მცირე ზომის პაკეტის გაშლით.

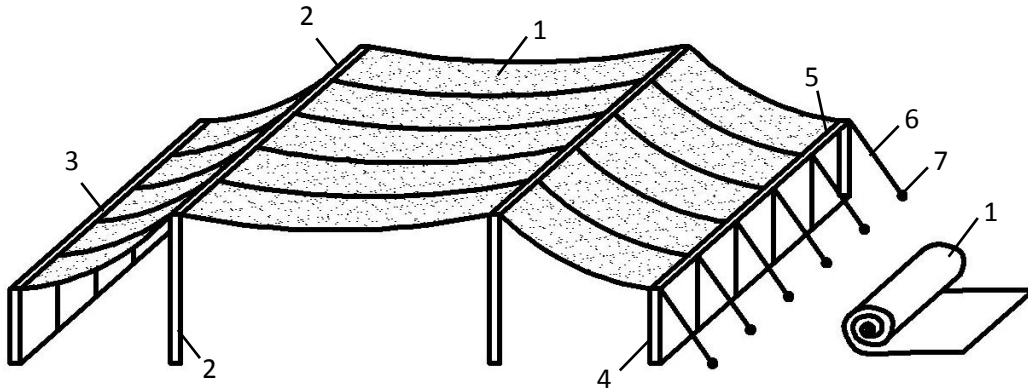
ფორმის ტრანსფორმაციები, განსაკუთრებით კარვის ტიპის კონსტრუქციულ სისტემაში, მისი გამოყენების ადგილზე ტრანსფორმაციის და მონტაჟის შემდეგ, როცა კონსტრუქციას მიღებული აქვს დასრულებული სახე, შეიძლება კვლავაც გაგრძელდეს. ასეთ ვითარებაში მონტაჟის შემდგომი ტრანსფორმაციები, რაც კონსტრუქციის არქიტექტურული და ფუნქციონალური მოთხოვნით არის განსაზღვრული, წარმოადგენენ დასრულებული ფორმის მეორად ტრანსფორმაციებს. მეორადი ტრანსფორმაციები, მაგალითად კარვის ტიპის ნაგებობებში შეიძლება განსაზღვრული იყოს მისი მრავალჯერადი აკეცვითა და გაშლით. ამის საჭიროებას განსაზღვრავს თუნდაც წვიმის პირობებში მოლიანი ნაგებობის მოქცევა დახურვის ქვეშ (ფიგ. III.33).



ფიგ. III.33 – საპროექტო ფორმის მინიჭების შემდეგ, კონსტრუქციის დახურვის ფენილის მეორადი ტრანსფორმაციის განხორციელება – აკეცვა და გაშლა

- a** – კარკასი გაშლილ მდგომარეობაში;
b – კარკასი მეორადი ტრანსფორმაციის დროს.

კიდულ სისტემებში, კონსტრუქციული ფორმის მიღება ასევე შესაძლებელია ლითონის ან სხვა მასალისაგან დამზადებული ფურცლებისაგან. ასეთ კონსტრუქციებს “გაჭიმულ არქიტექტურაში” მემბრანებს უწოდებენ. მათ შეიძლება გააჩნდეს სრულიად განსხვავებული ფორმები და მათ შორის ფიგ. III.34-ზე წარმოდგენილი ფორმაც.



ფიგ. III.34 – დახურვის მემბრანული კონსტრუქცია განხორციელებული ლითონის ფურცლებისაგან

- 1 – ლითონის ფურცლები საპროექტო მდგომარეობაში, როდესაც ის წარმოდგენილია მემბრანის სახით და იგივე ლითონის ფურცელი დახვეულ მდგომარეობაში; 2 – შუალედური საყრდენი კონტური; 3 – განაპირა საყრდენი კონტური – ღუნვაზე მომუშავე კედლის სახით; 4 – დგარები; 5 – განაპირა საყრდენი უჭრი კოჭი;
 6 – უჭრი კოჭისა და ძირითადად კუმშვაზე მომუშავე დგარის შეერთების ადგილას ჩასაბმელი მჭიმები; 7 – ანკერები.

როდესაც განიხილება სისტემები, რომელთა ფორმა მიიღწევა გაჭიმული, ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურის მიხედვით სტაციონალურ, მუდმივ და უცვლელი ფორმის მქონე კონსტრუქციულ სისტემებთან, რომელთაც შეუძლიათ უპირატესად მკუმშავი და მღუნავი ძალების ათვისება, აუცილებლად უნდა იქნეს ასევე განხილული პნევმოსაყრდენიანი – ჰაერსაყრდენიანი კონსტრუქციული სტრუქტურები.

ჩვენ რბილი გარსებიდან უკვე – პნევმოკონსტრუქციები განვიხილეთ, მათი ერთი ნაწილი, რომელთა ფორმა მიიღწეოდა მხოლოდ გაჭიმული კონსტრუქციული სტრუქტურებით – პნევმომზიდი. მათი განმასხვავებელი ნიშანი პნევმოსაყრდენიან კონსტრუქციულ სტრუქტურებთან არის ის, რომ ისინი საჭირო

ფორმის მისაღებად არ საჭიროებენ მიბმას უცვლელი ფორმის კონსტრუქციულ სისტემასთან.

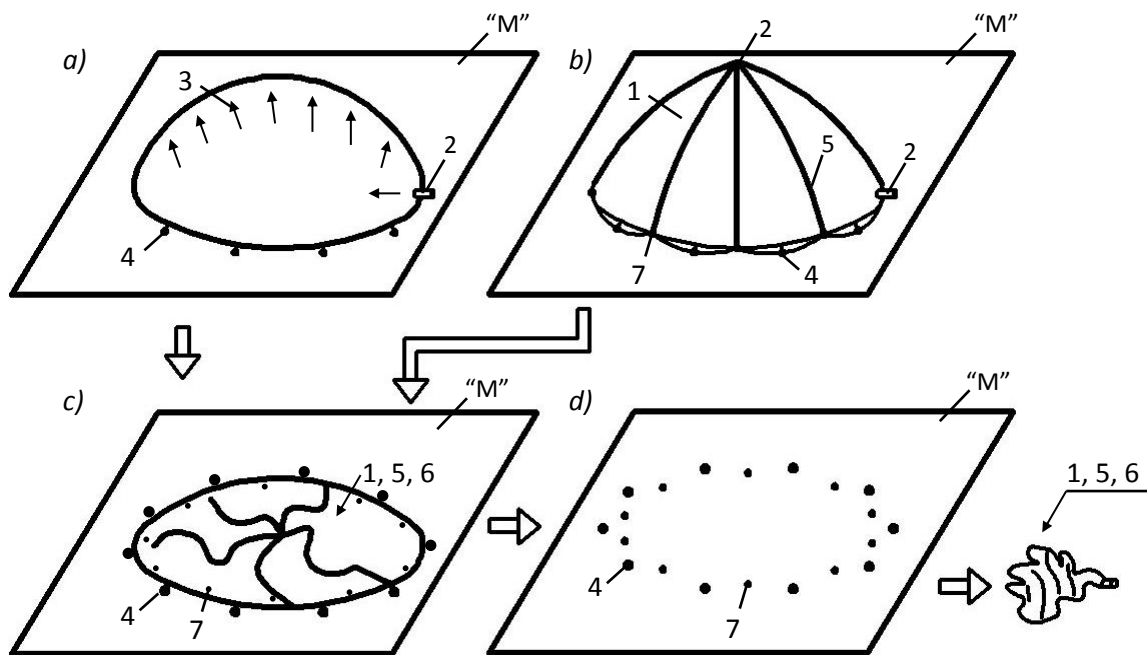
ზოგადად რბილი გარსების – პნევმოკონსტრუქციებისთვის უმთავრესია მისი ზედაპირის – გარსის შემქმნელი მასალები. მათ მრავალი მოთხოვნები წაყენებათ – ხანგამძლემდეგობა, უწყალობა, რიგ შემთხვევებში ყინვაგამძლეობა, შუქგაუმტარობა ან გამჭვირვალობა, სხვადასხვა შეფერილობა, შედარებით მცირე ღირებულება, ტექნოლოგიურობა და სხვა.

ამასთან, რბილი გარსების კონსტრუქციული მასალები აუცილებლად უნდა იყვნენ ჰაერგაუმტარები, რომ შექმნან და შეინარჩუნონ გარემოსაგან განსხვავებული შიგა ატმოსფერული წნევები. ისინი არ უნდა ატარებდნენ წყალს და ასევე უნდა შეინარჩუნონ საექსპლუატაციო პირობები მზის სპექტრის ულტრაიისფერი გამოსხივების პირობებში. კოსმოსის პირობებში მასალის მიმართ წაყენებული პირობები კიდევ უფრო დიდია და იგი სხვა მრავალ მოთხოვნასთან ერთად მოიცავს: კოსმოსური რადიაციის, ტემპერატურათა სხვაობის დიდი დიაპაზონის და ვაკუუმის პირობებში ხანგრძლივი მედეგობის შენარჩუნებას.

რაც შეეხება პნევმოსაყრდენიან რბილ გარსებს, ისინი უპირატესად მზადდებიან ორგანული და სინთეტიკური მასალებისაგან დამზადებული სქელი ძაფების ქსოვით და მათი დაფარვით ბუნებრივი და ხელოვნური ნივთიერებებით.

მასალის საანგარიშო წინაღობა რულონის მართობულად შეადგენს 10–25 კნ/მ, ხოლო მის გასწვრივ იგი 15-20%-ით ნაკლებია. მასალა, როგორც წესი, მზადდება 1–2 მეტრი სიგანის რულონების სახით. მათი ექსპლუატაციის ვადა სხვადასხვაა და ცვალებადობს 5 –დან 35 წლამდე ვადებში. ამასთან მათი წონა შეადგენს 500–100 გრ/მ²-ზე.

ფორმების და გარსის ზედაპირის დანაწევრების მხრივ პნევმოსაყრდენიანი სტრუქტურები შედარებით ნაკლებ მრავალფეროვანია ვიდრე პნევმოშიდი სტრუქტურები, მაგრამ ისინი მაინც მრავალფეროვან სპექტრს ქმნიან. ფიგ. III.35-ზე წარმოდგენილია ტიპური კონსტრუქციის სქემა პნევმოსაყრდენიანი რბილი გარსისა-გუმბათისა, რომელიც დანაოჭებულია, გაძლიერებულია, რადიანულ-წიბოვანი, გაჭიმული ბაგიროვანი სტრუქტურით.



ფიგ. III.35 – პნევმოსაყრდენიანი, ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურა რბილი გარსისა, რომელიც გაძლიერებულია გუმბათის ზედაპირზე რადიანულად განთავსებული, გაჭიმული ბაგირებისაგან შემდგარი, წიბოვანი ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურით

a – პნევმოსაყრდენიანი გუმბათი გაბერილ მდგომარეობაში;

b – გუმბათის გარე ხედი ბაგირებთან ერთად;

c – გუმბათი და ბაგიროვანი სისტემა, როდესაც გუმბათის შიგა არეში აღარ არის ჭარბი წნევა და მთლიანად კონსტრუქციული სისტემა ჩაფუშულია;

d – გუმბათის, მოქნილი მასალისაგან დამზადებული კონსტრუქცია ბაგირებთან ერთად დაკეცილია და მას აქვს გაცილებით მცირე გაბარიტების მქონე პაკეტის ზომა.

1 – რბილი კონსტრუქციის გუმბათი; 2 – ჭარბი წნევის მომწოდებელი დანადგარი;

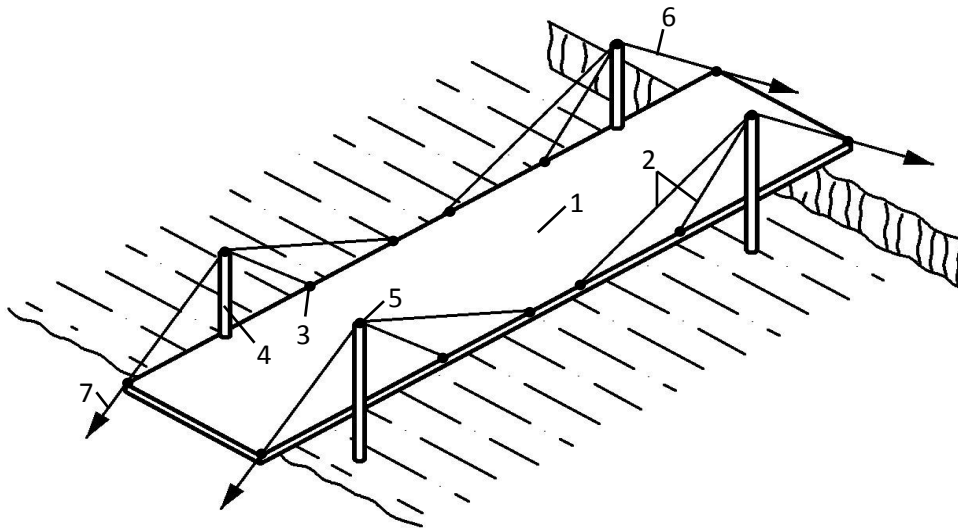
3 – შიგა წნევის ინტენსივობა მომქმედი გუმბათის და იატაკის ზედაპირებზე;

4 – რადიანულად განთავსებული ბაგირები; 5 – გუმბათის და ბაგირების მიბმის კვანძები;

6 – ჩაფუშული გუმბათი; 7 – სტაციონარული ბრტყელი სისტემა – იატაკი; 8 – ჩაფუშული, კომპაქტურად დაკეცილი გუმბათი.

როგორც განხილული სტრუქტურების ანალიზიდან ჩანს, გაჭიმული კონსტრუქციის მიმაგრება ხისტ სტაციონარულ ან ფორმაცვლელ სისტემასთან უკვე ნიშნავს იმას, რომ მთლიანი ნაგებობა არის კომბინირებული – ანუ იგი შედგება ელემენტებისაგან, რომლებიც მუშაობენ მხოლოდ და მხოლოდ გაჭიმვაზე და ასევე იმ ელემენტებისაგან, რომლებიც არიან ხისტი და მუშაობენ როგორც კუმშვაზე, ასევე ღუნვაზე. მიუხედავად ასეთი კლასიკური განმარტებისა „გაჭიმულ არქიტექტურაში“ ზოგიერთ ავტორს მაინც ცალკე ჯგუფად მოყავთ ე.წ. გაჭიმული სტრუქტურების კომბინირებული სისტემები. ასეთი სისტემის ერთ-

ერთი ტიპური მაგალითია ფიგ. III.36-ზე წარმოდგენილი ხისტი კიდული ხიდის სქემა.



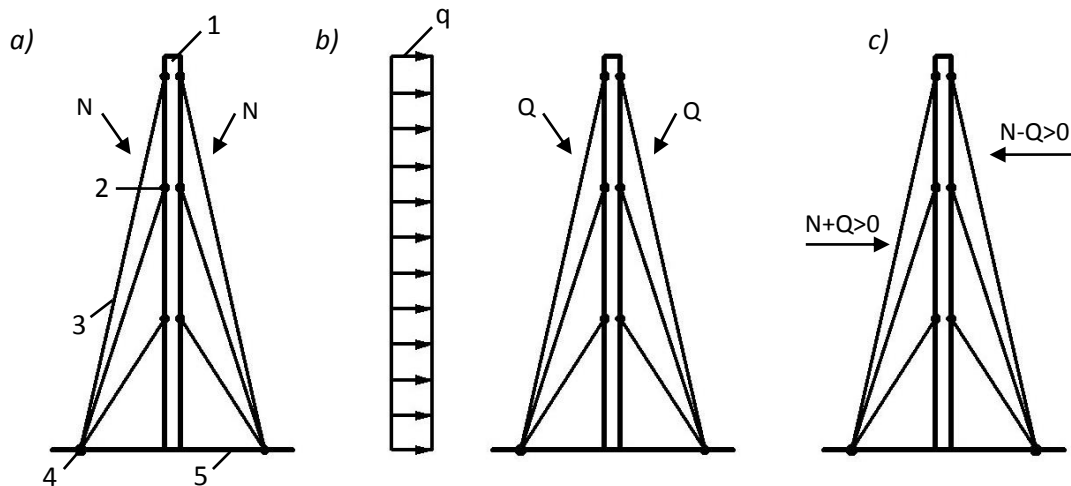
ფიგ. III.36 – კიდული ხიდის კომბინირებული კონსტრუქცია

1 – ხიდის მთავარი ფუნქციური ელემენტი – ხისტი კონსტრუქციისაგან შედგენილი სისტემა, რომელზეც სავალი ნაწილია განლაგებული; 2 – ბაგიროვანი მჭიმები; 3 – ბაგიროვანი მჭიმების ჩაბმის კვანძები ხისტ, კუმშვა-ღუნვაზე მომუშავე სავალ ნაწილთან;

4 – პილონები; 5 – პილონის თავაკზე განთავსებული კვანძი, სადაც ემაგრება მჭიმები 6.

თუ განვიხილავთ წარმოდგენილ სქემებს და შევადარებთ მათ კიდული სისტემების, უკვე განხილულ სხვა სქემებს, დავინახავთ ერთ პრინციპულ განსხვავებას. თუ კიდული სისტემების განხილულ სქემებში ძირითადი საექსპლუატაციო ფუნქციის მატარებელი თვით კიდული სტრუქტურაა, რომელიც მიბმული იყო ხისტ საყრდენებთან, მოცემულ შემთხვევაში ძირითადი საექსპლუატაციო ფუნქციის მატარებელია ხისტი, სავალი ნაწილის მომცველი სისტემა, რომელიც გაძლიერებულია ბაგირებით-მჭიმებით. ამდენად, კიდული კომბინირებული სისტემები, ერთის მხრივ, ხშირად უფრო წარმოადგენენ ხისტ სისტემებს, რომელთა მუშაობის შემსუბუქებას ან დაყრდნობის განსხვავებულ ფორმას ემსახურება გაჭიმული ბაგირები – ვანტები.

ასეთ კომბინირებულ სისტემას ასევე მიეკუთვნება ის კონსტრუქციები, სადაც უნდა მოხდეს ბაგირების არა თვითდაძაბვა კონსტრუქციული სქემიდან გამომდინარე, არამედ მათი წინასწარი დაძაბვა მომეტებული ძალით – დაჭიმვა. აღნიშნული კონსტრუქციის დაძაბულ-დეფორმირებული სურათი განვიხილოთ ვერტიკალურად აღმართული, ხისტად ჩამაგრებული კონსოლური დგარის მაგალითზე, რომელიც მჭიმებით არის გამაგრებული (ფიგ. III.37).



ფიგ. III.37 – დგარის და მჭიმების დაძაბული სტადიები წინასწარდაჭიმვის და შემდგომ ქარის ზემოქმედების დროს

a – დგარის მჭიმები წინასწარ იძაბება N ძალის სიდიდით; **b** – დგარზე მომქმედი ქარის დატვირთვა, რომელიც მჭიმებში დამატებით წარმოქმნის Q ძალვას;
c – სგარის და მჭიმების სისტემა, რომელიც ინარჩუნებს მჭიმების გაჭიმულობას წინასწარდაძაბვის და მასში ქარის დატვირთვით გამოწვეული კუმშვის ძალების ერთდროული ზემოქმედების შემდეგ.

1 – დგარის ხისტი დგარი; 2 – დგართან ბაგირის მიერთების კვანძი; 3 – ბაგიროვანი მჭიმები-ვანტები; 4 – ვანტების საძირკველში ჩამაგრების კვანძი; 5 – საძირკველის კვანძების ღონე.

წარმოდგენილ ფიგურაზე – **a** ვანტები წინასწარ იჭიმება-იძაბება N ძალით, ამის შემდეგ – **b** სქემაზე ხდება მასზე ქარის q ინტენსივობის დატვირთვის ჩვენება, რომელიც N ძალის გაუთვალისწინებლად ვანტებში წარმოქმნის Q ძალებს. ქარის ზემოქმედების მხარეს Q ძალვა გამჭიმავია ხოლო მეორე მხარეს ადგილი აქვს ვანტში მკუმშავ ძალვას – “ Q ” წარმოქმნას.

აუცილებელი პირობა გაჭიმული ვანტის კუმშვაზე მუშაობისა არის ის, რომ ქარისაგან კუმშვა იყოს ნაკლები ვიდრე ვანტის წინასწარდაძაბვის ძალა ანუ $N - Q > 0$, სქემა **c**.

აღნიშნული სქემაზე განხილული სტრუქტურის დაძაბულ-დეფორმირებული სურათი წარმოადგენს იმის ტიპურ მაგალითს, თუ როგორ შეიძლება იმუშაოს ბაგირმა მკუმშავი ძალების ათვისებაზე.

ასეთი პრინციპით მრავალი კონფიგურაციის კონსტრუქციები იქმნება.

როგორც განხილვამ აჩვენა ნებისმიერი კიდული სისტემა, თავისთავად კონსტრუქციული მასალის ორგანული თვისებიდან გამომდინარე, არის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურა, რომელიც ფორმის მისაღებად, მისი გაჭიმვისა და გაჭიმულ მდგომარეობაში ფორმების

შენარჩუნების მხრივ, მოცემულ შემთხვევაში ჩაებმებოდა ხისტ კუმშვა-ღუნვაზე მომუშავე სტაციონარულ ან არასტაციონარულ, ფორმაცვლელ ან ფორმაცვალებად სტრუქტურას.

III. 4. ერთიანი ფორმის მიღწევა გაჭიმული ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურის მიხედვით ხისტ ტრანსფორმირებად კონსტრუქციულ სტრუქტურასთან

ერთიანი, დიდი გაბარიტების მქონე ფორმის მიღწევისათვის მინიმალური ზომის პაკეტიდან, კიდული ტრანსფორმირებადი სტრუქტურის შემთხვევაში, აუცილებელია ასევე თვით მისი მისამაგრებელი ხისტი სისტემა თავადაც წარმოადგენდეს ტრანსფორმირებად კონსტრუქციულ სისტემას. სწორედ ასეთ შემთხვევაში მიიღწევა კონსტრუქციის წინაშე წაყენებული მკაცრი მოთხოვნები. მიუხედავად იმისა, რომ ასეთი ერთიანი, სრულად ტრანსფორმირებადი ფორმის შექმნა მოითხოვს გართულებულ ტექნოლოგიას, შემადგენელი კვანძების და ელემენტების სიმრავლეს, რაც ასევე ზრდის მის თვითღირებულებას, შედეგი მაინც ორიენტირებულია კონსტრუქციული ფორმის განხორციელების ოპტიმალურ მიმართულებაზე. მით უმეტეს, მათ შექმნას ექსტრემალურ სიტუაციებში და გარემოში, ასევე ნაგებობების მრავალჯერადი და სხვადასხვა ადგილებში გამოყენების შემთხვევაში.

აღნიშნული ფაქტორები განპირობებულია იმით, რომ არის მოთხოვნა ისეთი კონსტრუქციული სტრუქტურების შექმნაზე, რომელთაც დაკეცილ მდგომარეობაში გააჩნიათ სატრანსპორტო პაკეტის მინიმალური ზომები, ისინი იოლად ტრანსპორტირდებიან, აქვთ სრული საქარხნო მზადყოფნა და გაშლილ საექსპლუატაციო მდგომარეობაში, რომელიც გამოყენების ადგილას დროის უმცირეს ინტერვალში მიიღწევა, წარმოადგენენ დიდი გაბარიტების მქონე ნაგებობებს.

აღნიშნული, სრულად ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურის გამოყენების მაგალითია დიდი გასაშლელი კოსმოსური რეფლექტორები, რომლის შექმნას ეძღვნება წარმოდგენილი კურსის დიდი ნაწილი. სწორედ გასაშლელი რეფლექტორების განხილვისას იქნა სრული სპექტრით წარმოდგენილი აღნიშნული ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურები.

კომპიუტერული უზრუნველყოფა – მ. ხორხელი; გ. ქორიძე; ს. მაისურაძე

პასუხისმგებელი გამოცემაზე – ვ. ოკმელაშვილი