

UDC 629.7

SCOPUS CODE 2202

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2023-4-107-122>

სხვადასხვა სიმრუდის ზედაპირზე აგებული ტრანსფორმირებადი, პანტოგრაფული სტრუქტურები

ელგუჯა
მემმარიაშვილი

კომპანია „Transformable Structures Georgia – T.S Georgia LLC“, საქართველო, თბილისი, პლ. იოსელიანის ქ. 2;
ნაგებობების, სპეციალური სისტემებისა და საინჟინრო უზრუნველყოფის ინსტიტუტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 68^ბ
E-mail: medzmariashvili@gtu.ge

რეცენზენტები:

შ. წეროძე, სტუ-ის სამშენებლო ფაკულტეტის პროფესორი, კომპანია „Transformable Structures Georgia – T.S Georgia LLC“-ს დირექტორი

E-mail: tserodze@gtu.ge

ნ. წიგნაძე, სტუ-ის ნაგებობების, სპეციალური სისტემებისა და საინჟინრო უზრუნველყოფის ინსტიტუტის მეცნიერი თანამშრომელი

E-mail: tsignadze@gtu.ge

ანოტაცია. სტატიაში განხილულია გასაშლელ-დასაკეცი კონსტრუქციების შექმნის შესაძლებლობები სხვადასხვა სიმრუდის ზედაპირზე. განხილული სქემები წარმოადგენს ჩაკეტილი და გახსნილი კონტურების ტრანსფორმირებად სტრუქტურებს. ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სქემები აგებულია ელემენტარული პანტოგრაფული სტრუქტურის ურთიერთდაკავშირებული სიმრავლით. ელემენტარული ტრანსფორმირებადი სტრუქტურა შედგება ცილინდრული სახსრით ჯვარედინად დაკავშირებული ორი ბერკეტისაგან. განხილული

სქემების გამოყენება ტრანსფორმირებად კონსტრუქციებში ეფექტურია კოსმოსურ ნაგებობებში, კონკრეტულად კი გასაშლელ კოსმოსურ რეფლექტორებში, ასევე მიწისზედა ტრანსფორმირებად სტრუქტურებში.

საკვანძო სიტყვები: ბერკეტი; გასაშლელ-დასაკეცი; ზედაპირები; კონუსი; კოსმოსი; ოვალი; პანტოგრაფი; რეფლექტორი; სფერო; ტრანსფორმირებადი; ღერო; ცილინდრი; ცილინდრული სახსარი; წრე; ჰიპერბოლოიდი.

შესავალი

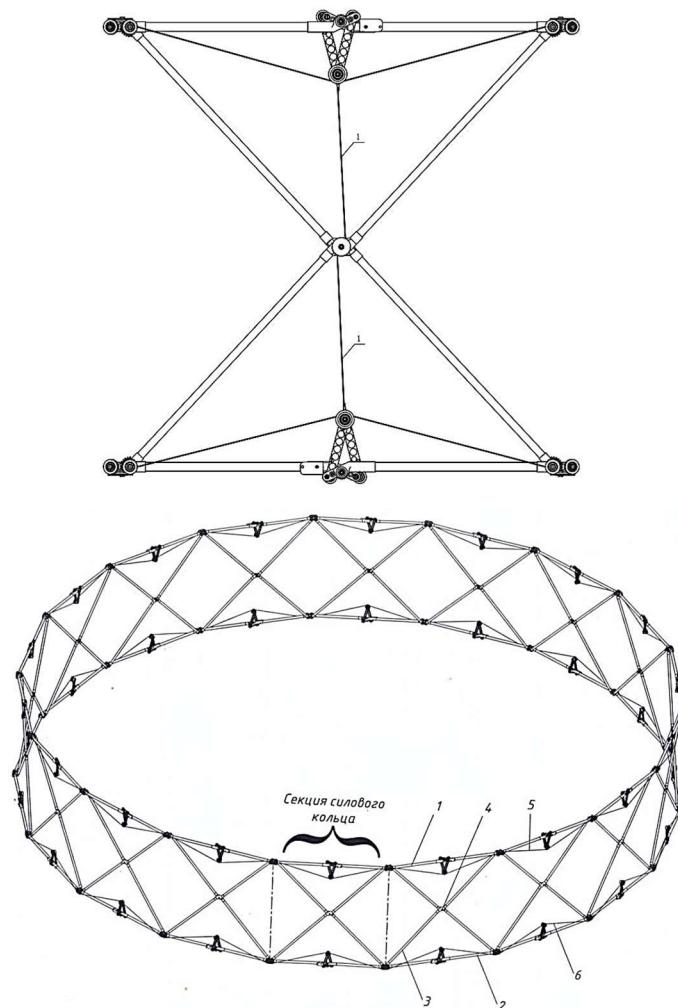
პანტოგრაფული სტრუქტურებისაგან შედგენილი, მრგვალი ან ოვალური კონტურის მქონე ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციები გამოიყენება გასაშლელ-დასაკეც ნაგებობებში, როგორც დედამიწაზე, ისე კოსმოსური ბაზირების საინჟინრო სისტემებში.

ძირითადი ნაწილი

მრგვალი ან ოვალური ტრანსფორმირებადი პანტოგრაფული სტრუქტურებით მიიღწევა კოსმოსუ-

რი რეფლექტორის გაშლა და მისი ფორმის ფიქსაცია [1] [2].

პირველ სურათზე წარმოდგენილი რეფლექტორის გაშლელი რგოლი [3], მიუხედავად მისი გამორჩეული ტექნიკური პარამეტრებისა, მაინც ხასიათდება უარყოფითი თვისებით. სექციების დამაკავშირებელ ზედა და ქვედა კვანძებში ნაცვლად ორ-ორი ცილინდრული სახსრისა, უმჯობესი იქნებოდა, რომ ყოფილიყო თითო სახსარი.

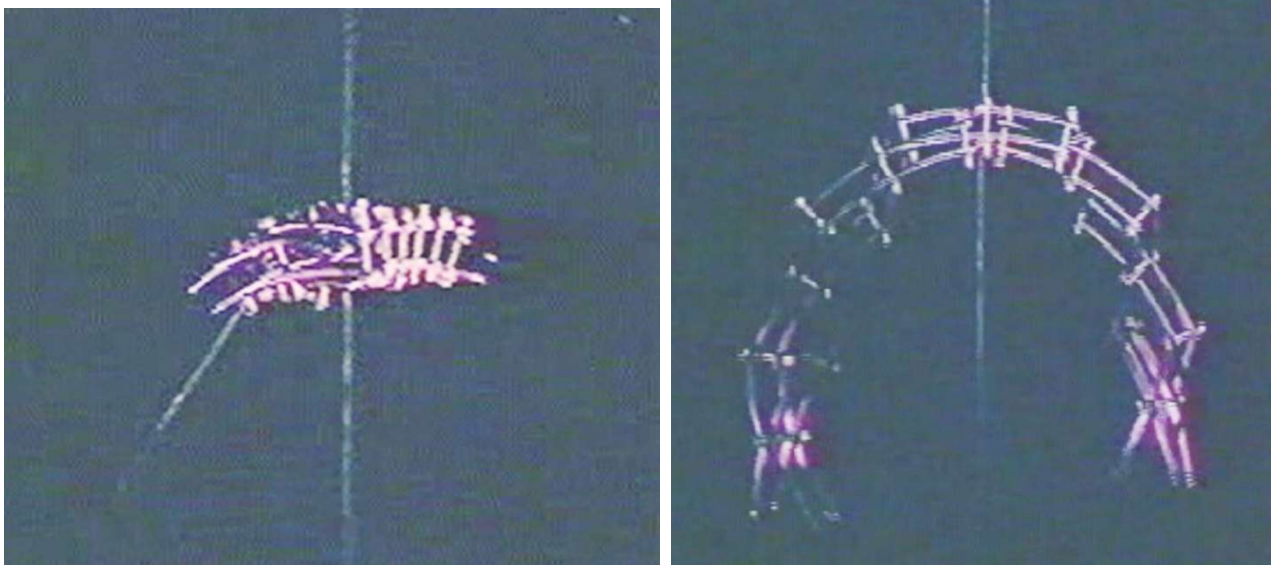


სურ. 1. გასაშლელი ოფსეტური კოსმოსური რეფლექტორის გასაშლელი პანტოგრაფული სტრუქტურის რგოლის სექცია და საერთო ხედი

ანალოგიური თვისებებით გამოირჩევა რეფლექტორის გამშლელი რგოლის სხვა კონსტრუქციები [4] [5], რომელთა სტრუქტურებში არ არის გამოყენებული პანტოგრაფები.

ამ მიზნის მისაღწევად ჯერ კიდევ 1979 წელს საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მეცნიერი თანამშრომლის მიხეილ ჯანიკაშვილისა და ელგუჯა მეძმარიაშვილის მიერ ბათუმის მანქანათმშენებელ ქარხანაში დამზადდა მოდელი, რომელ-

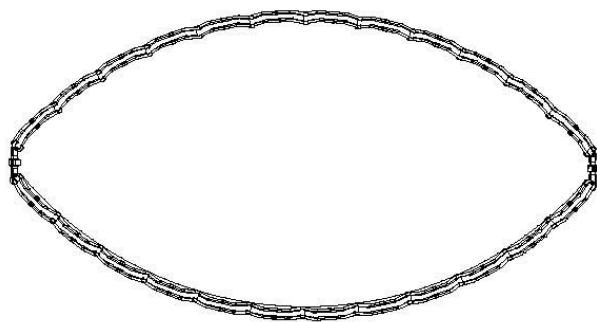
შიც გამოყენებული იყო პანტოგრაფული სტრუქტურა წრის მონაკვეთის მქონე პანტოგრაფის ბერკეტებით, რომლებიც ზედა და ქვედა კვანძებში ერთმანეთს უკავშირდებოდნენ თითო ცილინდრული სახსრით/სახსრის ღერძი ორიენტირებული იყო სფეროს ცენტრისკენ, რომლის რადიუსი ტოლი იყო ბერკეტების ქორდაზე გარშემოწერილი წრის რადიუსისა (სურ. 2).



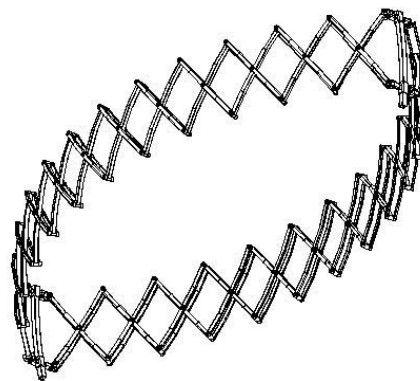
სურ. 2. წრიული მოხაზულობის ტრანსფორმირებადი პანტოგრაფული სტრუქტურის მოდელი დაკეცილ და გაშლილ მდგომარეობაში. კადრები 1983 წელს გადაღებული ფილმიდან (არქივი)

აღნიშნული მიმართულებით სამუშაო გაგრძელდა. მან ასახვა პოვა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ნაგებობების, სპეციალური სისტემებისა და საინჟინრო უზრუნველყოფის ინსტიტუტის და ევროპული კოსმოსური სააგენტოს სამუშაოში, რომელიც 2010-2015 წლებში ჩატარდა.

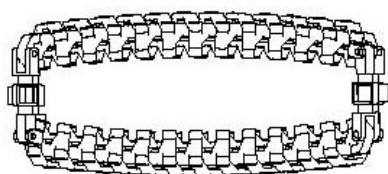
გამშლელი რგოლის სქემას საფუძვლად დაედო ერთრიგა პანტოგრაფი, რომლის ურთიერთგადაჯვარედინებული გრძივი ელემენტები რკალის მოხაზულობისაა. ისინი ურთიერთგადაკვეთისა და ერთმანეთთან ურთიერთკავშირის წერტილებში მხოლოდ თითო-თითო ცილინდრული სახსრით არიან დაკავშირებული (სურ. 3).



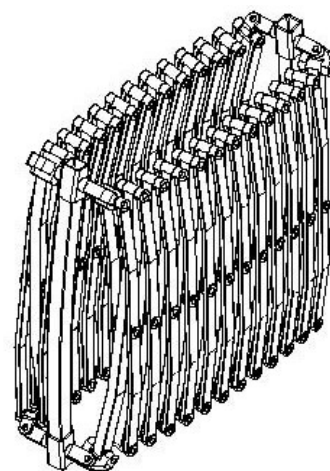
სრულად გაშლილი რგოლი



ნახევრად გახსნილი რგოლი



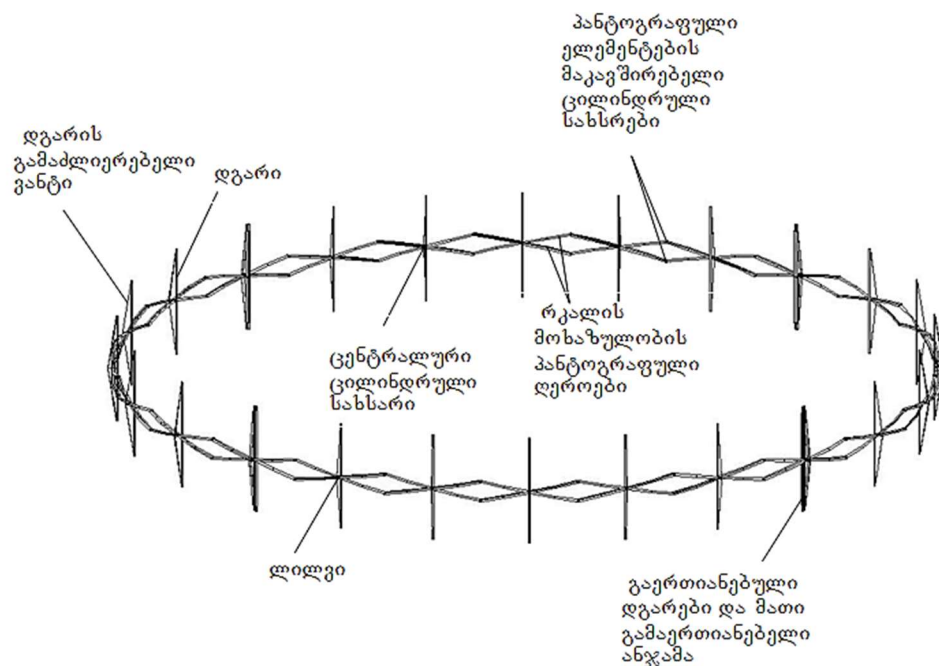
დაკეცილი რგოლი



სურ. 3. ერთრიგა პანტოგრაფი, ურთიერთგადაჯვარდინებული გრძივი ელემენტების რკალური მოხაზულობით

მე-3 სურ-ზე მოცემულია აღნიშნული გამშლელი რგოლის ტიპური სტრუქტურით შედგენილი კონსტრუქცია და მისი გაშლის ხედი.

თუ აღნიშნული გამშლელი ძალოვანი რგოლის ტიპურ სტრუქტურას გამოვიყენებთ, შეიძლება შევქმნათ გამშლელი რგოლი, რომელიც მოცემულია მე-4 და მე-5 სურ-ებზე.



სურ. 4. გამშლელი რგოლის ახალი კონცეფცია



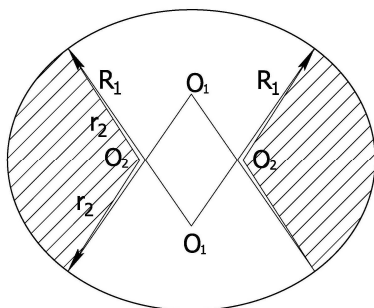
სურ. 5. რგოლის ფრაგმენტები

მე-5 სურ-ზე მოცემულია გამშლელი რგოლის კონსტრუქციის ფრაგმენტები.

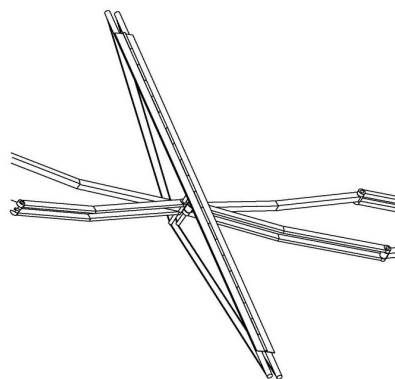
ასევე, ისმის კითხვა, როგორ შეიძლება ოვალური რგოლის აგება აღნიშნული სტრუქტურით, როცა მისი თითოეული პანტოგრაფული ღერო არის რკალის ან ტეხილი რკალის ფორმის და კონკრეტული რადიუსის.

აღნიშნული ამოცანის გადაწყვეტის მრავალი ვარიანტი არსებობს, რომლებითაც ზუსტად მიიღწევა საპროექტო ოვალის ფორმა და ისინი ჩვენ მიერ არის დამუშავებული. აქ წარმოდგენილია ამოცანის გადაწყვეტის მიახლოებული ვარიანტი.

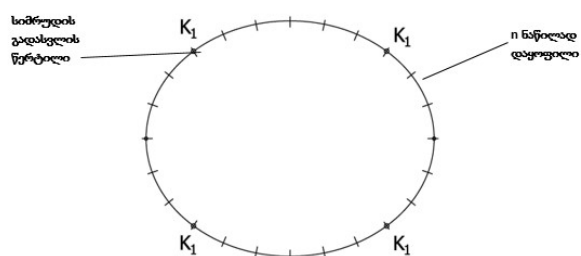
ამ ამოცანის მიახლოებით გადასაწყვეტად განვიხილოთ ელიფსური ოვალი (სურ. 6).



სურ. 6. ელიფსური ოვალი



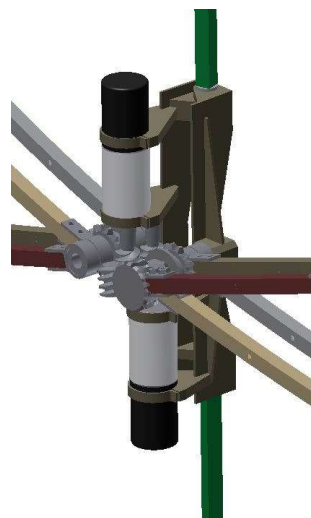
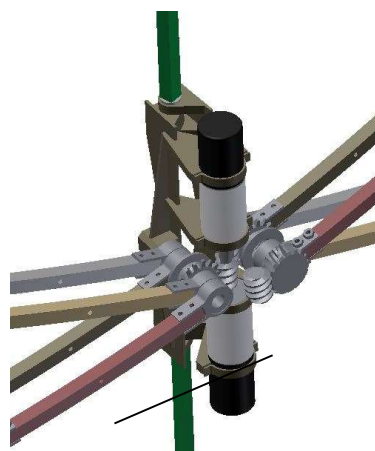
განხილულ ელიფსურ ოვალზე, ყოველთვის შეიძლება ისეთი O_1 და O_2 საფოკუსე წერტილების პოვნა, რომლებიდანაც R_1 და R_2 რადიუსებით, საკმარისი მიახლოებითი სიზუსტით შემოიხაზება წრეწირები. ამდენად, თუ მთელ ოვალს დავყოფთ n ნაწილად (სურ. 7), მაშინ



სურ. 7. ოვალის დაყოფა n ნაწილად

სიმრუდის გადასვლის K_1 წერტილების მდებარეობა შეიძლება ასევე დიდი სიზუსტით შეესაბამებოდეს ოვალის n ნაწილად დაყოფის წერტილებს.

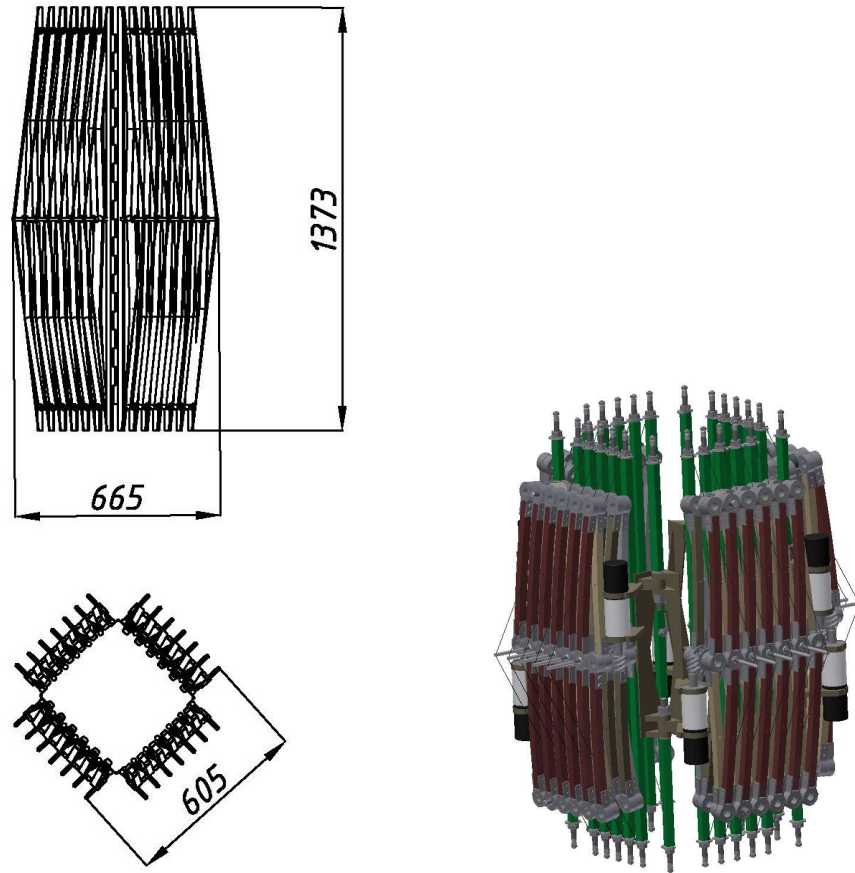
სწორედ K_1 წერტილებში განთავსდება გაერთიანებული დგარები და მათი გამაერთიანებელი ანჯამა სურათზე წარმოდგენილი კონსტრუქციის სახით (სურ. 8)



სურ. 8. გაერთიანებული დგარების ფრაგმენტები

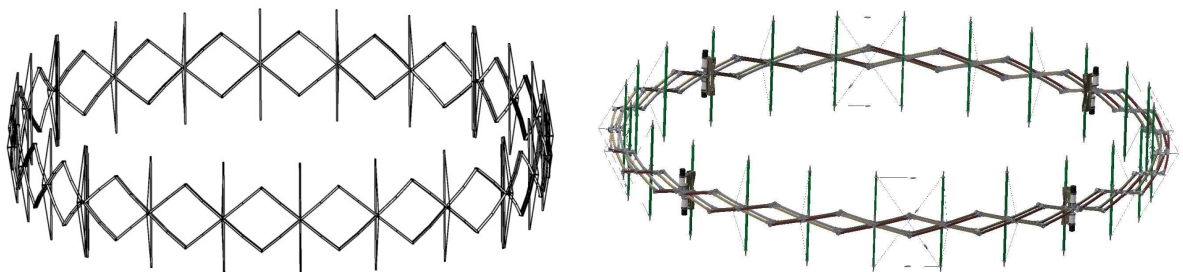
ასეთი გადაწყვეტით, გამშლელი ძალოვანი რგოლის დაკეცილი სატრანსპორტო პაკეტი, დანაწევ-

რებული ორ, სამ და ოთხ ნაწილად, წარმოგვიდგება შემდეგი ფორმით (სურ. 9).



სურ. 9. სატრანსპორტო პაკეტი

გაზლის შუალედური და საბოლოო მომენტები ნაჩვენებია მე-10 სურ-ზე.



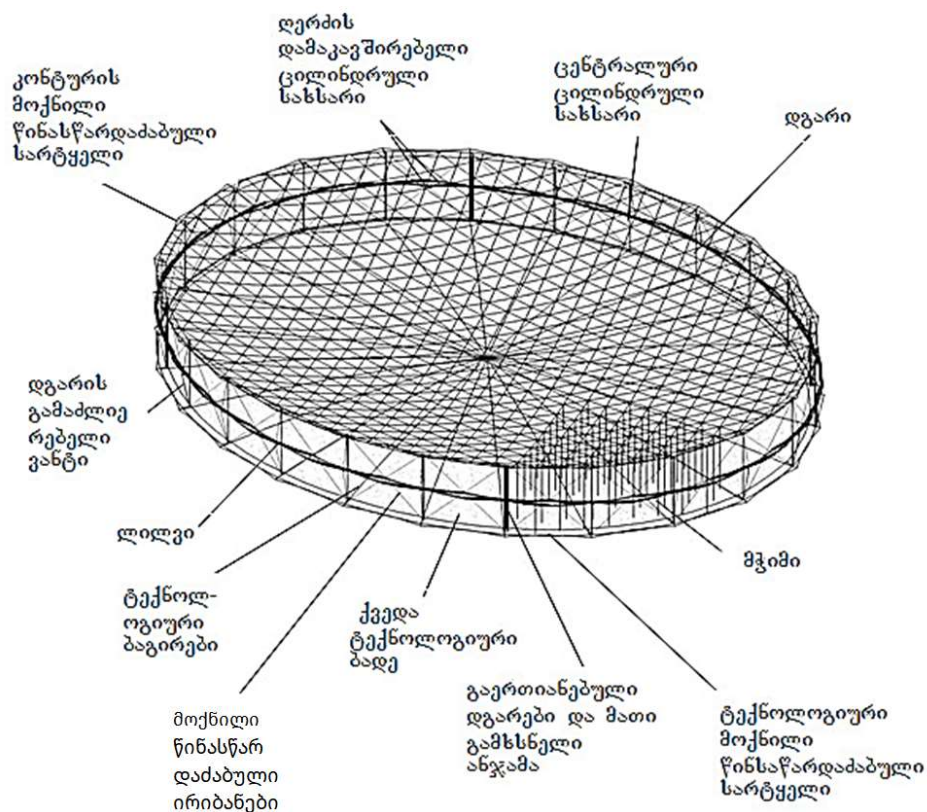
სურ. 10. რგოლის გაშლის ეტაპები

სრული კონსტრუქციის სქემა არის შპრენგელური სისტემა, რომელშიც ცენტრალური ღერო წარმოადგენილია პანტოგრაფული ელემენტებით, ხოლო მოქნილი წინასწარდაძაბული ელემენტებია: მოქნილი წინასწარდაძაბული სარტყელი, ტექნოლოგიური მოქნილი წინასწარდაძაბული სარტყელი და მოქნილი, წინასწარდაძაბული ირიბანები.

ასეთი სისტემა მეტად მოსახერხებელია. მისი სიზუსტე მიიღწევა მოქნილი ელემენტების სიგრძის დარეგულირებით, რომლებსაც არ გააჩნია ჩამგრების ლუფტები.

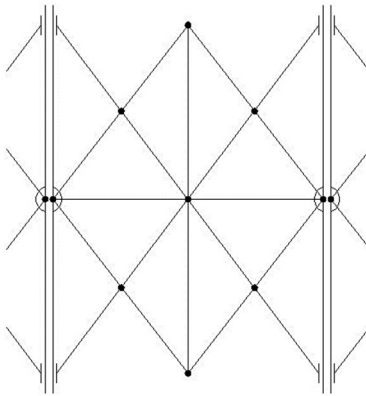
რაც შეეხება მოქნილი ელემენტების წინასწარ დაძაბვას, იგი მიიღება პანტოგრაფული ელემენტებით რგოლის გაშლის ხარჯზე.

თუ გამშლელი რგოლის სრული კონსტრუქციის სქემაზე დავითანთ ტექნოლოგიურ სამკუთხა უჯრედების მქონე ბადეს, ამრეკლ ბადეს, მათზე მოვაწყობთ მჭიმებს მათი ტექნოლოგიურ ბადეში ჩამაგრებით, რომლის ფორმაც მიიღწევა ტექნოლოგიური რადიანული ბაგირებით, მივიღებთ რეფლექტორის კონსტრუქციას (სურ. 11).

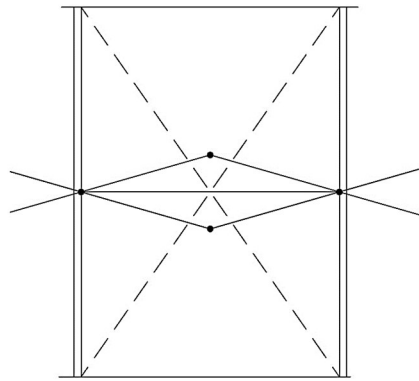


სურ. 11. რეფლექტორის სქემა

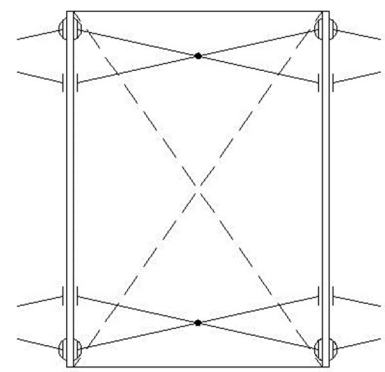
თუ სქემატურად გავაანალიზებთ რგოლის ორ სხვა სქემას და შევადარებთ მოცემულ სქემას (სურ. 12), მივიღებთ შემდეგ შედეგს.



სქემა 1
14 კვანძი, მათგან
5 მოსრიალე



სქემა 2
10 კვანძი, მათგან
4 მოსრიალე



სქემა 3
გამშლელი რგოლის 4 კვანძი, მათგან
არც ერთია მოსრიალე

სურ. 12. სხვადასხვა რგოლის ფრაგმენტები

როგორც სქემების ანალიზი აჩვენებს, მე-3 სქემა გამოირჩევა დიდი უპირატესობით, რაც მისი დამზადების სიმარტივის, კვანძების სიმცირის და შედეგად სიზუსტის დიდ გარანტიას იძლევა.

თეორიულმა ანალიზმა, რომელიც ათმეტრიანი აპერტურის მქონე რეფლექტორის სქემის მიხედვით ჩატარდა, აჩვენა, რომ:

- ზედა ფუნქციური ბადე ყოველთვის იჭიმება;
- რადიანული ტექნოლოგიური ბადეები იჭიმება;
- იზრდება ტექნოლოგიური ბადის გამოყენების დიაპაზონი – მასში მაგრდება ყველა მჭიმის ბოლოები;
- მჭიმები იჭიმება და არ საჭიროებს სიგრძის რეგულირების კომპენსატორებს;
- ფუნქციური მოქნილი სარტყელი წინასწარ დაძაბულია – გაჭიმულია;
- ტექნოლოგიური მოქნილი სარტყელი წინასწარ დაძაბულია – გაჭიმულია;
- დგარები შეკუმშულია;

— პანტოგრაფული ღეროები შეკუმშულია. კონსტრუქციის საკუთარი წონაა 21 კგ.

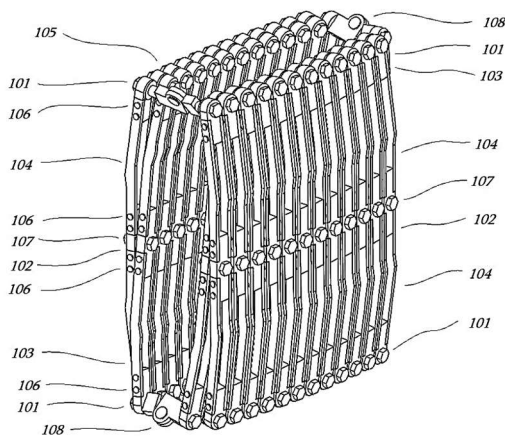
აღსანიშნავია, რომ მე-3 სურ-ზე წარმოდგენილი სქემა, დაედო საფუძვლად დოქტორანტ რევაზ სახვაძის მიერ შექმნილ მოდელს (სურ. 13 და სურ.14), რომელშიც მეცნიერულ სიახლედ მან შეიტანა მოდელის 108 კვანძის დამუშავება (სურ. 15).



სურ. 13. სისტემა დაკეცილ მდგომარეობაში



სურ. 14. კონსტრუქციის ტრანსფორმირება



სურ. 15. წრიული ფორმის სისტემა
ტრანსფორმაციის უნარით

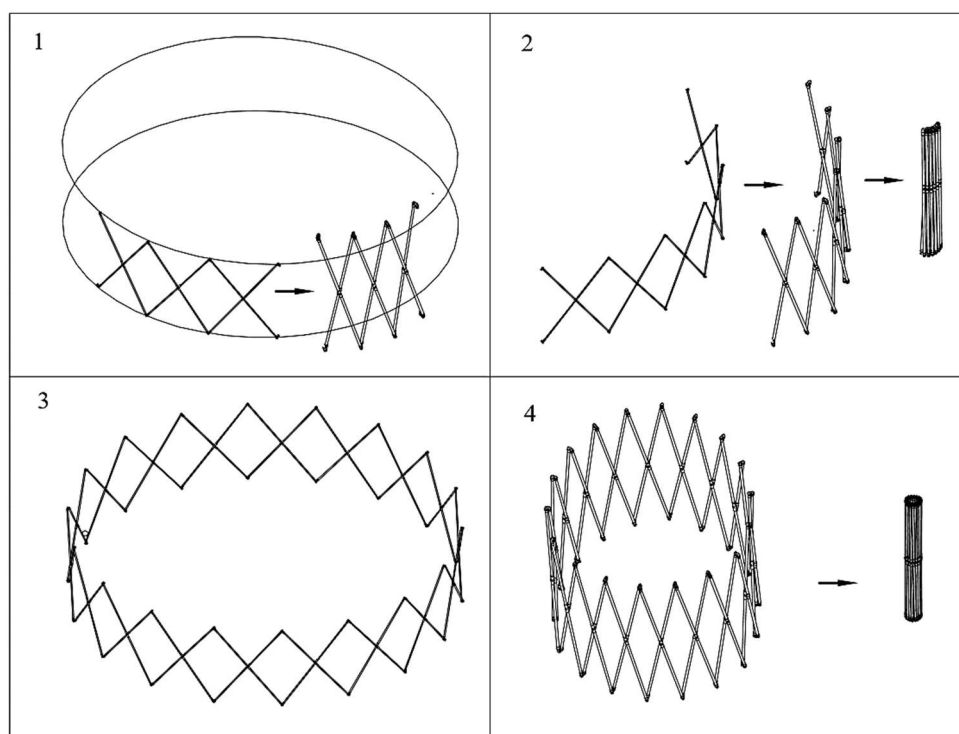
2018 წლიდან, კომპანია „EOS Data Analytics Inc.“-ის მიერ, საქართველოში დაარსდა კომპანია „Transformable Structures Georgia – T.S. Georgia LLC“, სადაც დამუშავდა კონსტრუქციები, რომელთა სტრუქტურა ეფუძნება ერთმაგი და ორმაგი სიმრუ-

დის ზედაპირზე აგებულ ტრანსფორმირებად პანტოგრაფებს. სამუშაოები კონფიდენციალურია.

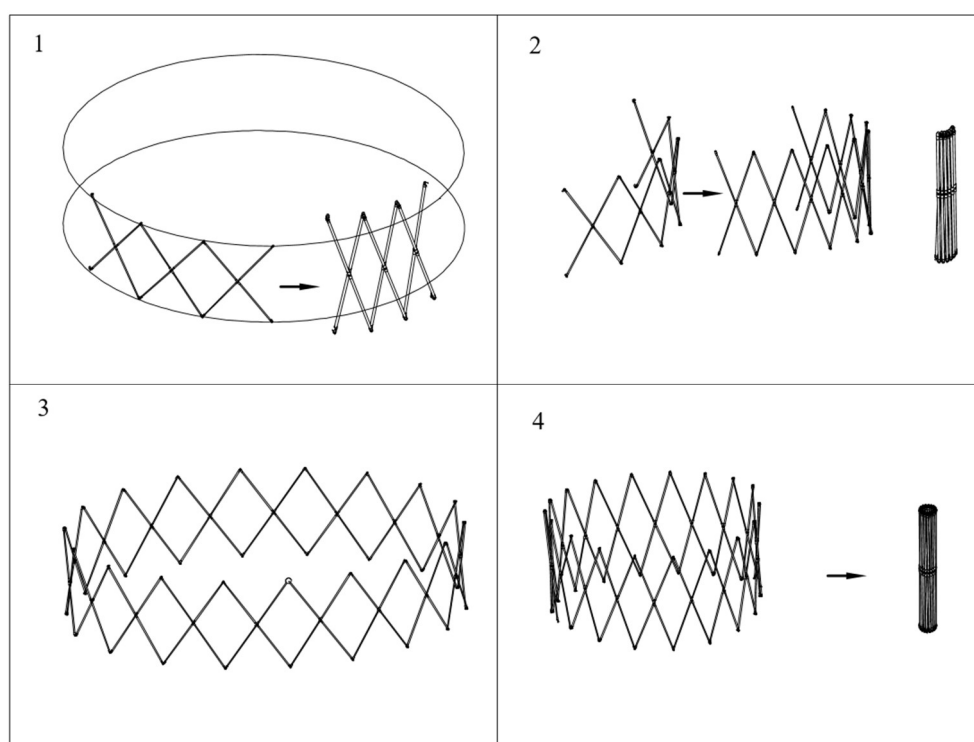
მოცემულ ეტაპზე, კომპანიის სამომავლო პერსპექტივების გათვალისწინებით, კოსმოსური ტექნოლოგიების ქართული სკოლის სამუშაოებისა და კონკრეტული პუბლიკაციების [7] ბაზაზე, შეიქმნა ახალი კლასი ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციებისა. მათი შექმნის საფუძველია ჩვენ მიერ დამუშავებული სქემები, რომლებიც რკალური გეომეტრიის პრინციპებს შეესაბამება.

ამასთანავე, სტრუქტურულ სქემებში:

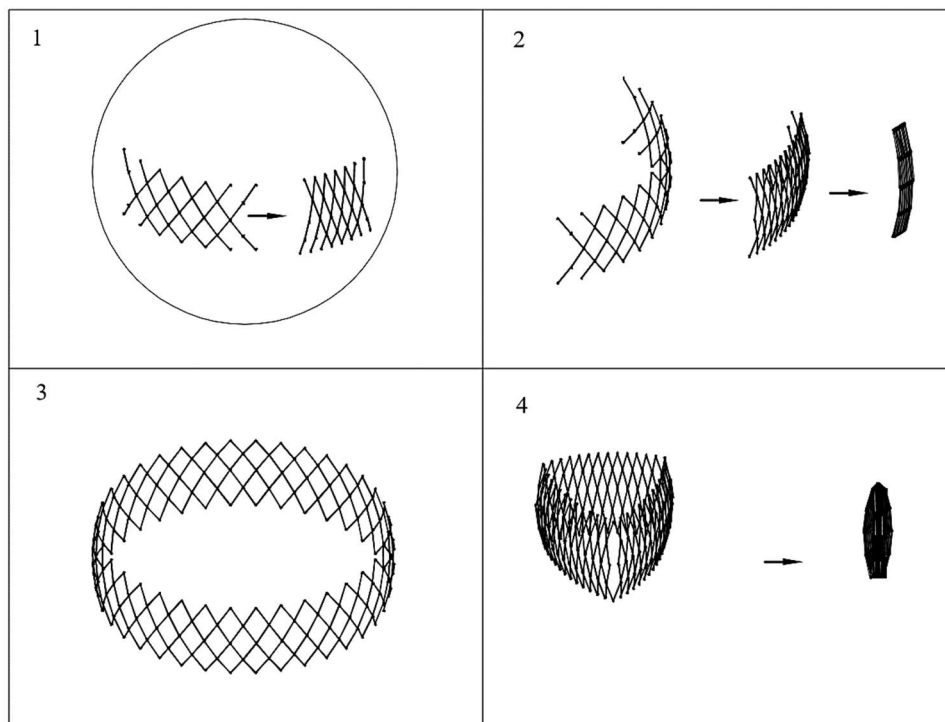
- პანტოგრაფული, ტრანსფორმირებადი სტრუქტურის შუალედური – ზედა, ქვედა და ცენტრალური ცილინდრული კვანძები ორიენტირებულია მოცემულ წერტილში სტრუქტურის კონტურის სიმრუდის ცენტრის მიმართ.
- პანტოგრაფული, ტრანსფორმირებადი სტრუქტურის განაპირა კვანძები სპეციალური სფერული სახსრებია, რომლითაც ხდება ცალკეული პანტოგრაფული სისტემების გაერთიანება.
- ყოველი მონაკვეთი კვანძებს შორის წრფივია. წარმოგიდგენთ კონსტრუქციული სტრუქტურების ტრანსფორმაციის სქემებს:



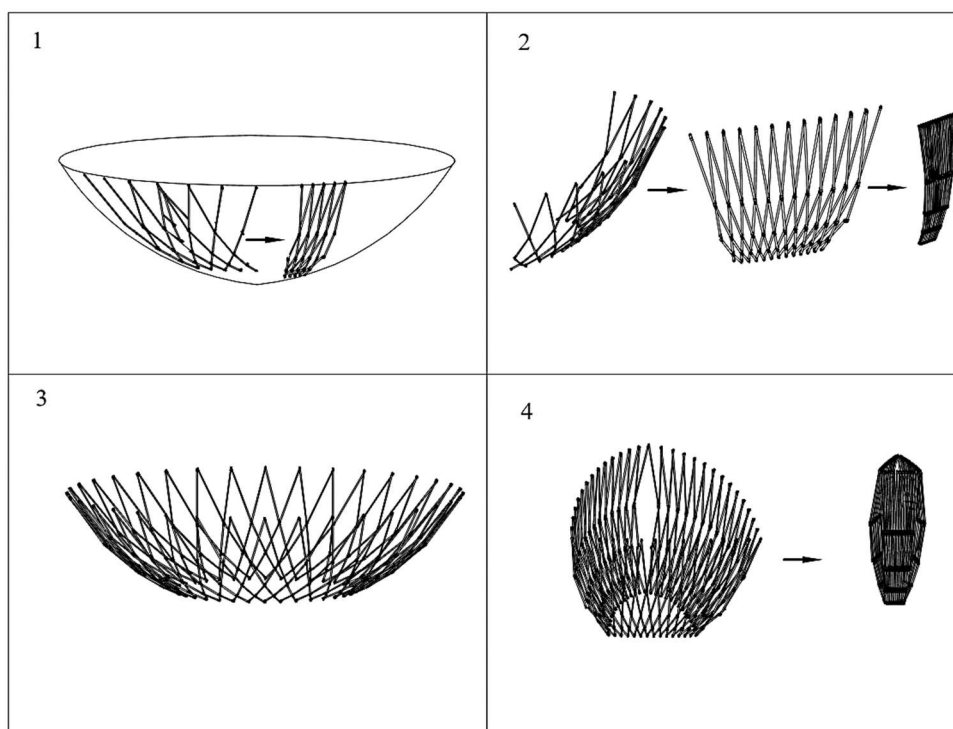
სურ. 16. მარტივი, პანტოგრაფული, ტრანსფორმირებადი სტრუქტურა, აგებული წრიული ცილინდრის გვერდით ზედაპირზე



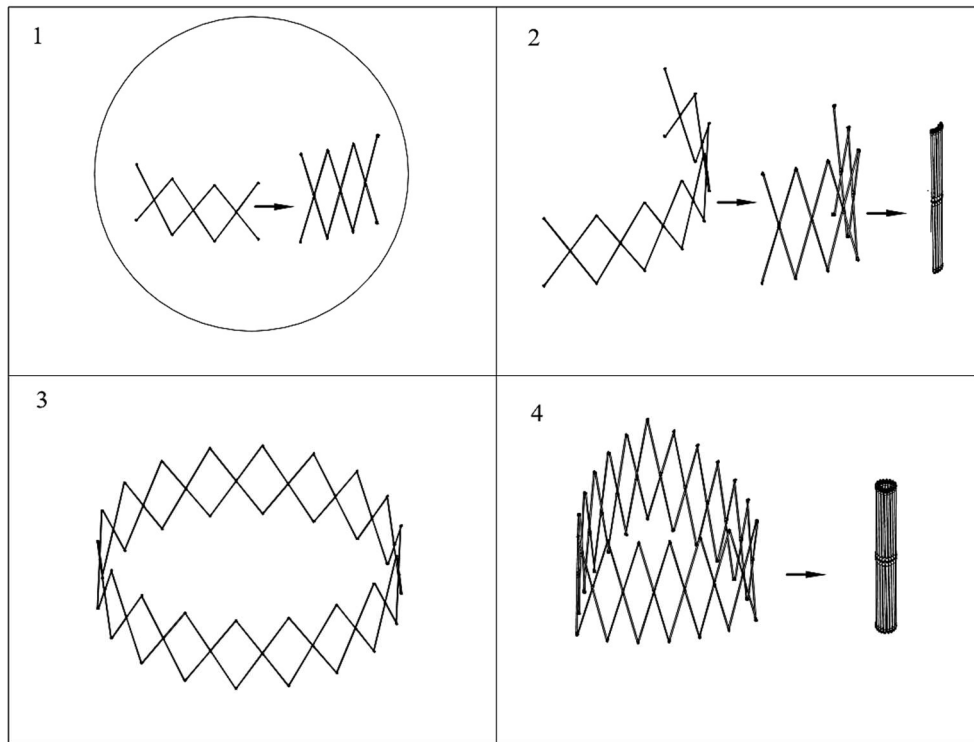
სურ. 17. მარტივი, პანტოგრაფული, ტრანსფორმირებადი სტრუქტურა, აგებული ელიფსური ცილინდრის გვერდით ზედაპირზე



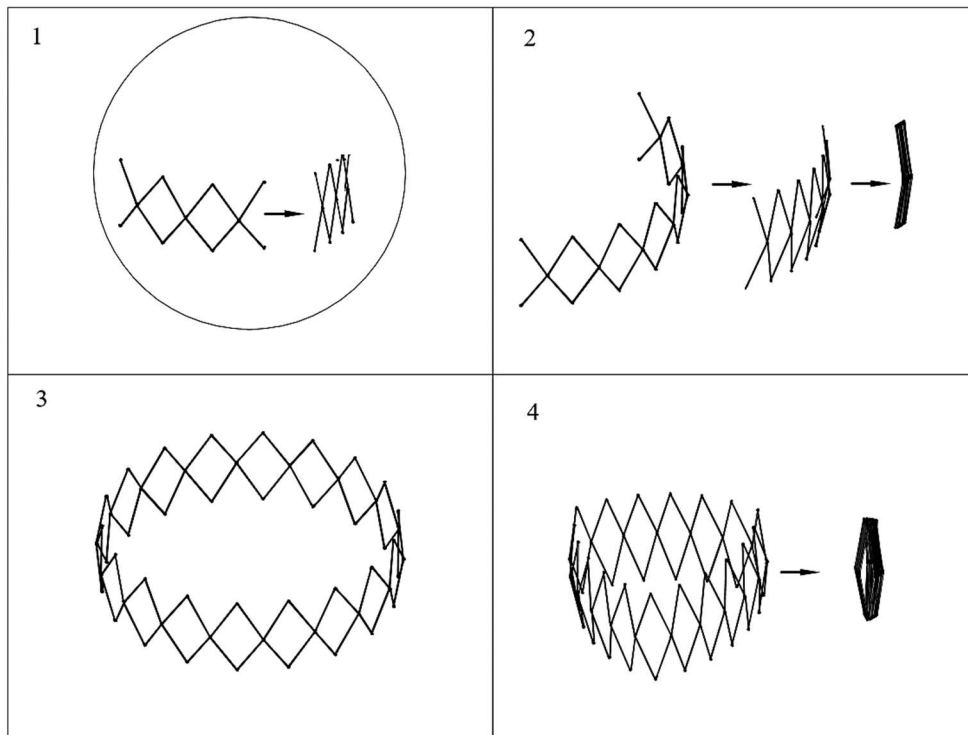
სურ. 18. რთული, სიმეტრიული, პანტოგრაფული, ტრანსფორმირებადი სტრუქტურა, აგებული სფეროს ზედაპირზე



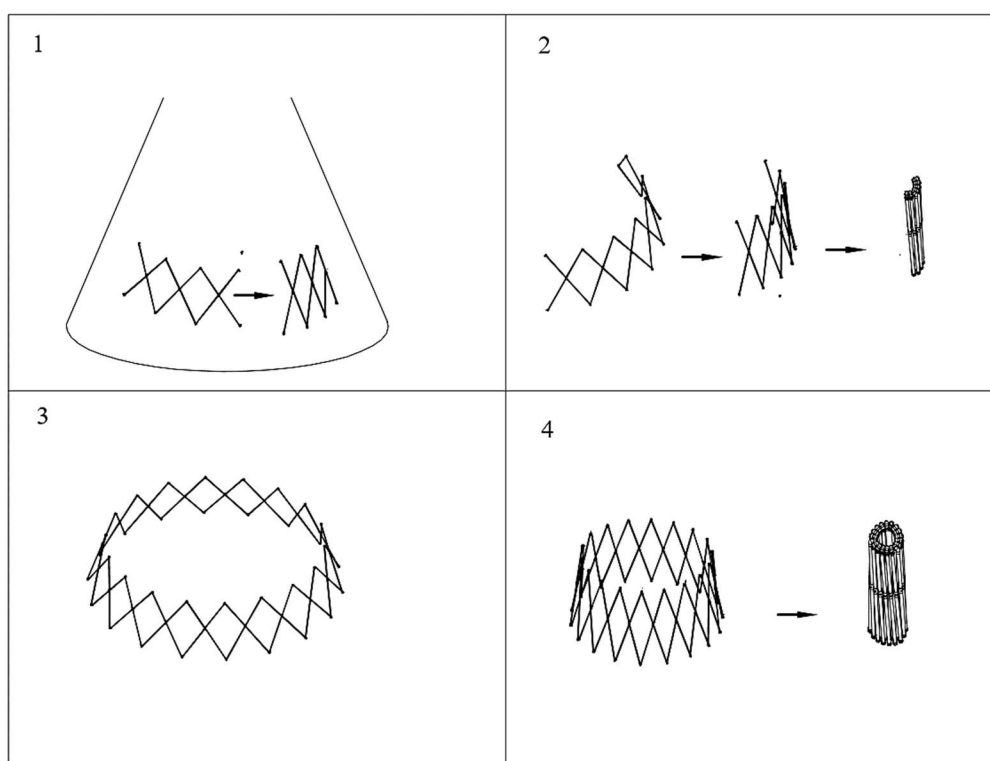
სურ. 19. რთული ასიმეტრიული, პანტოგრაფული, ტრანსფორმირებადი სტრუქტურა, აგებული სფეროს ზედაპირზე



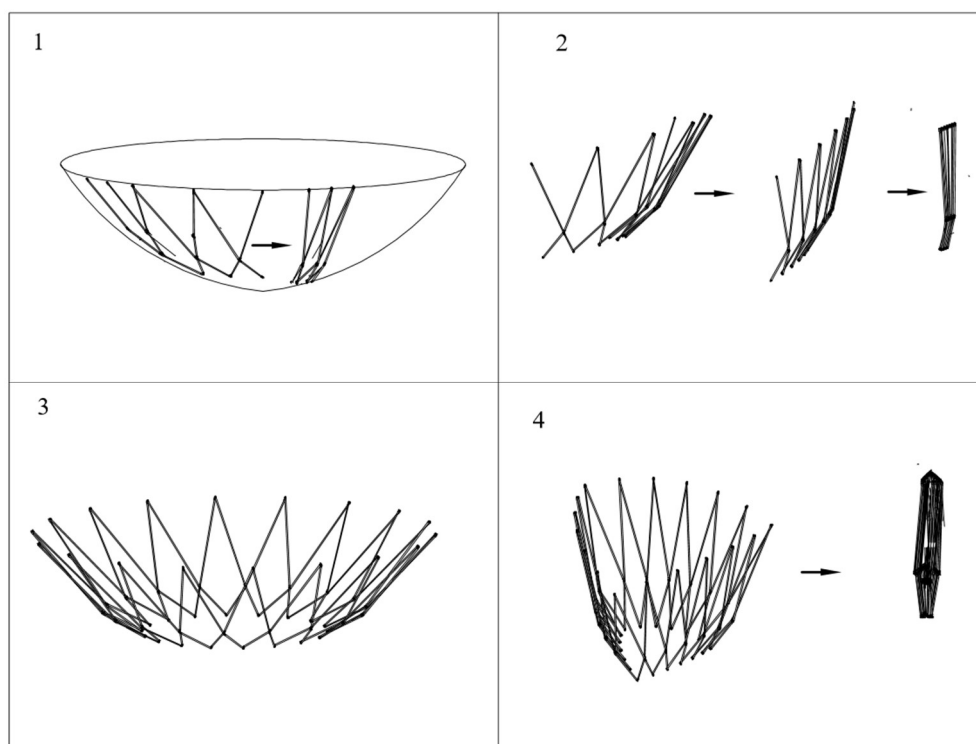
სურ. 20. მარტივი პანტოგრაფული, ტრანსფორმირებადი სტრუქტურა, აგებული სფეროს ზედაპირზე, როცა პანტოგრაფების ზერკეტების ბოლოები მდებარეობს სფეროს ზედაპირზე



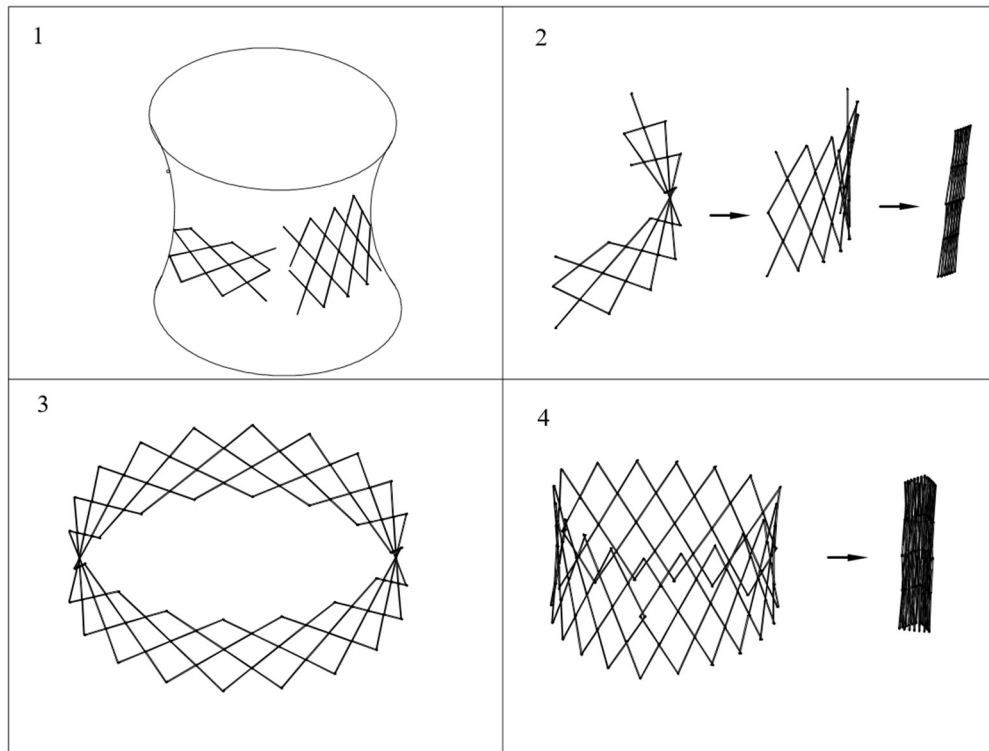
სურ. 21. მარტივი პანტოგრაფული, ტრანსფორმირებადი სტრუქტურა, აგებული სფეროს ზედაპირზე, როცა პანტოგრაფების ზერკეტების ბოლოები და მათი ურთიერთგადაკვეთის ცენტრალური კვანძი მდებარეობს სფეროს ზედაპირზე



სურ. 22. მარტივი პანტოგრაფული, ტრანსფორმირებადი სტრუქტურა, აგებული კონუსის გვერდით ზედაპირზე



სურ. 23. სფეროზე განთავსებული ასიმეტრიული, ტრანსფორმირებადი მარტივი პანტოგრაფული სტრუქტურა



სურ. 24. რთული პანტოგრაფული, ტრანსფორმირებადი სტრუქტურა, აგებული ჰიპერბოლოიდის ზედაპირზე

ყოველი სქემის შესაბამისად, საპატენტო უზრუნველყოფით, დამუშავებულია კონკრეტული კონსტრუქციები.

დასკვნა

აღნიშნული სქემები იძლევა ახალი თაობის

ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების შექმნის საშუალებას.

ამ მიმართულებით მიმდინარეობს კონსტრუქციული სქემების პატენტწარმოება.

ლიტერატურა

1. Medzmariashvili, E., Tserodze, Sh., Santiago-Provald, J., Medzmariashvili, N., Tsignadze, N. (2015). *Mechanical Support Ring Structure*. European Patent - N: EP 2825827 A1.;
2. Medzmariashvili, E., Tserodze, Sh., Santiago-Provald, J., Medzmariashvili, N., Tsignadze, N. (2015). *Mechanical Support Ring Structure*. USA Patent - Patent N: US 9153860 B2.;
3. Medzmariashvili, E. (2022). *Deployable Reflector*. International Publication Number WO 2022/219364 A1.
4. Medzmariashvili, E., Tserodze, Sh., Santiago-Provald, J., Medzmariashvili, N., Tsignadze, N. (2016). *Deployable Antenna Frame*. European Patent - Patent N: EP2904662 B1.;
5. Medzmariashvili, E., Tserodze, Sh., Santiago-Provald, J., Medzmariashvili, N., Tsignadze, N. (2017). *Deployable Antenna Frame*. USA Patent - Patent N: US 9660351 B2.;

6. Sakhvadze, R. (2023). *Creating an Air-space Defense System in Georgia by Improving the Tactical and Technical Parameters of the Orbital Complex*. [Doctoral Dissertation, Georgian Technical University]
7. Gogilashvili, V., Medzmariashvili, E., Tserodze, Sh., Sanikidze, M., Tsignadze, N. (2009). Structure and Kinematical Synthesis of Transformed Systems Mechanisms. *Proceedings of the 2nd International Conference – Advanced Lightweight Structures and Reflector Antennas*, p. 117-126, ISBN 978-9941-0-7008-2.

UDC 629.7

SCOPUS CODE 2202

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2023-4-107-122>

Transformable Pantographic Structures Built on Surfaces with Different Curvatures

Elguja

Medzmariashvili

Company “Transformable Structures Georgia – T.S. Georgia LLC”, Tbilisi, Georgia, 2, P. Ioseliani Str.; Institute of Constructions, Special Systems and Engineering Maintenance, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 68^b, M. Kostava Str.
E-mail: medzmariashvili@gtu.ge

Reviewers:

Sh. Tserodze, Professor, Faculty of Construction, GTU; Head of the Company “Transformable Structures Georgia – T.S. Georgia LLC”

E-mail: tserodze@gtu.ge

N. Tsignadze, Researcher, Institute of Constructions, Special Systems and Engineering Maintenance, GTU

E-mail: tsignadze@gtu.ge

Abstract. The possibilities to design expandable-foldable structures on various curvature surfaces are considered in the given paper. The presented geometrical layouts are unfolding structures with closed and open contours. The transformable designs are made by an interconnected set of elementary pantographic structure. The elementary transformable structure consists of two levers connected by a transverse cylindrical joint. The considered designs of transformable structures can be effectively used in space structures, in particular deployable space reflectors, also in ground-based transformable structures.

Keywords: circle, oval, cylinder, cone, sphere, hyperboloid, surfaces, pantograph, lever, cylindrical joint, rod, transformable, deployable, space, reflector.

განხილვის თარიღი 17.07.2023

შემოსვლის თარიღი 18.07.2023

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 21.12.2023