

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ნიკო ცუცქერიძე

ATLAS-ის დეტექტორის გეომეტრიული აღწერის დამუშავება
სიმულაციისა და რეკონსტრუქციის პროგრამული პაკეტებისათვის

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა „ინფორმატიკა“, შიფრი 0401

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

ოქტომბერი, 2016 წელი

საავტორო უფლება © 2016 წელი, ნიკო ცუცქერიძე

თბილისი

2016 წელი

სამუშაო შესრულებულია ბირთვული კვლევების ევროპულ ორგანიზაციაში (CERN),
შვეიცარია, ჟენევა.

ხელმოწერა: პროფ. ალექსანდრე შარმაზანაშვილი

რეცენზენტები: -----

დაცვა შედგება ----- წლის "-----" -----, ----- საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის -----
----- ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის
სხდომაზე, კორპუსი -----, აუდიტორია -----
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

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

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი პროფ. თინათინ კაიშაური

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავაცანით ნიკო ცუცქერიძის მიერ შესრულებულ სადოქტორო ნაშრომს დასახელებით: „ATLAS-ის დეტექტორის გეომეტრიული აღწერის დამუშავება სიმულაციისა და რეკონსტრუქციის პროგრამული პაკეტებისათვის“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი

ხელმძღვანელი: პროფ. ალექსანდრე შარმაზანაშვილი

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2016

ავტორი: ნიკო ცუცქერიძე

დასახელება: „ATLAS-ის დეტექტორის გეომეტრიული აღწერის დამუშავება სიმულაციისა და რეკონსტრუქციის პროგრამული პაკეტებისათვის“

ფაკულტეტი : ინფორმატიკისა და მართვის სისტემები

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა:

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

ავტორის ხელმოწერა

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

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

რეზიუმე

ამჟამად მიმდინარე მაღალი ენერგიების ფიზიკის ექსპერიმენტები უკავშირდება ისეთი საკითხების გარკვევას, როგორიცაა: დიდი აფეთქების გამოკვლევა, როგორ შეიქმნა მატერია, არსებობს თუ არა დამატებითი განზომილებები, მიკროსკოპული შავი ხვრელები და ა.შ. ამ მიმართულებით შეიძლება გამოიყოს ბირთვული კვლევების ევროპულ ორგანიზაციაში (CERN) მიმდინარე ATLAS-ის ექსპერიმენტი, რომლის ძირითად ფუნქციას წარმოადგენს პროტონულ-პროტონული დაჯახების შედეგად წარმოქმნილი ელემენტარული ნაწილაკების დაფიქსირება და შესწავლა.

რეალურად მიმდინარე ATLAS-ის ექსპერიმენტის პარალელურად ასევე ხორციელდება აღნიშნული ექსპერიმენტის მოდელირების პროცესი. შედეგად მიიღება ორი სახის მონაცემი: რეალური ექსპერიმენტიდან და მოდელირებიდან მიღებული მონაცემები. ზოგიერთ შემთხვევაში ისინი არ ემთხვევა ერთმანეთს რაც პრობლემას წარმოადგენს. ერთ-ერთი მოსაზრების თანახმად სხვაობა გამოწვეულია გეომეტრიული უზუსტობებით. არსებობს გეომეტრიული უზუსტობების გამოწვევის ორი ჰიპოტეზა:

1. ჰიპოტეზა I - უზუსტობები გამოწვეულია მოდელირების ინფრასტრუქტურაში არაზუსტი გეომეტრიული ტრანსფორმაციებით

2. ჰიპოტეზა II - უზუსტობები გამოწვეულია რეალურად არსებულ და მოდელირებულ გეომეტრიებს შორის სხვაობით.

აქედან გამომდინარე, სადისერტაციო ნაშრომის კვლევის მიზანს წარმოადგენს გეომეტრიული უზუსტობების გამომწვევი ჰიპოტეზების შემოწმება.

პირველი თავი ასახავს LHC-ისა და ATLAS-ის ექსპერიმენტის დანიშნულებას. აღწერილია ATLAS-ის ექსპერიმენტთან დაკავშირებული IT ამოცანები, რომლებიც დაყოფილია 4 ტიპად: 1. მონაცემთა მიღება და შეგროვება 2. მონაცემთა ბაზების ორგანიზაცია 3. რეკონსტრუქცია 4. ფიზიკური პროცესების მოდელირება. მიმოხილულია მოდელირების პაკეტი Geant4 და მისი დანიშნულება მაღალი ენერგიების ფიზიკის პროექტებსა (BaBar, Borexino, MINOS,) და თანამედროვე მედიცინაში.

მეორე თავში მიმოხილულია ATLAS-ის ექსპერიმენტის გეომეტრიული მოდელირების ინფრასტრუქტურა. დეტალურად არის განხილული თუ როგორ არის შესაძლებელი გეომეტრიული მოდელირება Geant4-ის, GeoModel-ისა და AGDD/XML-ის ბაზაზე. აღწერილია CAD სისტემების Geant4-თან ინტეგრაციის მეთოდები. აღწერილია პროგრამული პაკეტის CATIA-ს ბაზაზე დამუშავებული პლატფორმა, რომელიც საშუალებას იძლევა მოხდეს სიმულაციის პაკეტებში გამოყენებული სხვადასხვა გეომეტრიული აღწერების ერთად თავმოყრა.

აღწერილია გეომეტრიული უზუსტობების გამომწვევი ორი ჰიპოტეზა და განსაზღვრულია მათი შემოწმებისათვის ჩასატარებელი კვლევის ეტაპები. ჰიპოტეზა I-ის შემოწმებისათვის განხორციელდა: ATLAS-ის დეტექტორის კომპონენტების ტიპიზაცია, დაპროგრამების მეთოდების შერჩევა, მოდელირების საცდელი სესიების ჩატარება, ტრანზაქციის ოპერაციების შესწავლა და შედეგების სისტემატიზაცია და შესწავლა. ჰიპოტეზა II-ის შემოწმებისათვის განხორციელდა:

ATLAS-ის დეტექტორის ერთ-ერთი კომპონენტის გეომეტრიული მოდელის რეპროდუცირება, საკვლევი კომპონენტის დეკომპოზიცია და მოცულობებისა და მასის ანალიზი, რეპროდუცირებული გეომეტრიის ურთიერთშედარებითი ანალიზი მოდელირებაში გამოყენებულ გეომეტრიასთან და მოდელირებაში გამოყენებული გეომეტრიის ინტეგრაციის კონფლიქტების ანალიზი.

მესამე თავი ასახავს ჰიპოტეზა I-ის შემოწმებისთვის ჩატარებულ კვლევას. პირველი ჰიპოტეზის შემოწმებისათვის განხორციელდა სპეციალური სატესტო მაგალითების შერჩევა, რისთვისაც შესწავლილ იქნა სიმულაციის პაკეტებში არსებული ATLAS-ის დეტექტორის გეომეტრიული მოდელი. შედეგად, გამოიყო სამი კლასი: გეომეტრიული პრიმიტივები, კომბინირებული ობიექტები და ტიპური შეერთებები. თითოეული კლასისათვის შემუშავდა სპეციალური ამოცანების კრიტერიუმები, რომლის მიხედვითაც შეირჩა 84 გეომეტრიული პრიმიტივი. მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა თითოეული 84 გეომეტრიული პრიმიტივისათვის შესაძლო დაპროგრამების ვარიანტების შერჩევა. შედეგად, მიღებულ იქნა 15'675 ვარიანტი. მომდევნო ეტაპზე დამუშავდა 4 შერჩევის კრიტერიუმი, რომლის საშუალებითაც მოხდა მიღებული დაპროგრამების ვარიანტებიდან უნიკალური შემთხვევების ამოჩვენება. შედეგად შეირჩა 77 უნიკალური შემთხვევა, რომელიც გამოყენებულ იქნა მოდელირების ინფრანსტრუქტურის ტესტირებისათვის. ტესტირების შედეგმა აჩვენა, რომ 51 მაგალითისათვის დაფიქსირდა ცდომილება, ხოლო 26 მაგალითის შემთხვევაში ცდომილებას ადგილი არ ქონდა. მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა თითოეულ ცდომილებიან მაგალითში შემავალი ტრანზაქციის ოპერაციების შესწავლა, რისთვისაც ჩატარდა დამატებითი საცდელი სესიები და განხორციელდა მიღებული შედეგების სისტემატიზაცია და შესწავლა.

შედეგად, გაკეთებულ იქნა შემდეგი დასკვნები:

1. ჰიპოტეზა I დადასტურდა: უზუსტობები გამოწვეულია მოდელირების ინფრასტრუქტურაში უზუსტო გეომეტრიული ტრანსფორმაციებით
2. Boolean ოპერაცია არის ცდომილებების გამომწვევი ძირითადი მიზეზი
3. Subtraction Boolean ოპერაცია არ იწვევს ცდომილებას იმ შემთხვევაში როდესაც ჭრა მიმდინარეობს პრიზმის გამოყენებით და ამავე დროს ადგილი აქვს შიდა ჭრას
4. Boolean ოპერაცია კორელირებს Boolean ოპერაციის შემდეგ არსებულ გადაადგილება/შემობრუნება ტრანზაქციაზე
5. Subtraction Boolean ოპერაცია არ კორელირებს გადაადგილება/შემობრუნება ტრანზაქციაზე იმ შემთხვევაში როდესაც ოთკუთხა პრიზმა იჭრება ოთკუთხა პრიზმით და ჭრის შედეგად მიიღება გარე ზედაპირი ანუ ადგილი აქვს გარე ჭრას.
6. Subtraction Boolean ოპერაცია არ კორელირებს გადაადგილების ტრანზაქციაზე იმ შემთხვევაში, როდესაც Arbitrary Polygon, Symmetric Polygon, Cube/Box და Pyramid მეთოდების გამოყენებით მიღებულ გეომეტრიული პრიმიტივი იჭრება Tube მეთოდების

გამოყენებით მიღებული გეომეტრიული პრიმიტივით და ჭრის შედეგად მიიღება შიდა ზედაპირი (შიდა ჭრა)

მეოთხე თავში ასახულია ჰიპოტეზა II-ის შემოწმებისთვის ჩატარებულ კვლევა, რისთვისაც განხორციელდა ATLAS-ის დეტექტორის მაგნიტური ღეროს გეომეტრიისა და მასის თვისების ანალიზი. თავდაპირველად მაგნიტური ღეროს გეომეტრიული მოდელი ამოღებულ იქნა CERN-ის საინჟინრო მონაცემთა ბაზიდან. მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა აღნიშნული მოდელის რეპროდუცირება CATIA-ს საშუალებით, დამატებითი 255 საინჟინრო ნახაზებიდან მიღებული ინფორმაციის საფუძველზე. შედეგად მიღებულ იქნა მაგნიტური ღეროს დეტალური გეომეტრიული მოდელი. განხორციელდა რეპროდუცირებული მაგნიტური ღეროს სეგმენტაცია 21 ცალკეულ კვანძად და თითოეული მათგანისათვის დათვლილ იქნა მოცულობა და მასა. მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა CATIA-ში რეპროდუცირებული და Geant4-ში არსებული მაგნიტური ღეროს გეომეტრიული მოდელის ურთიერთშედარება, რისთვისაც Geant4-დან ამოღებული გეომეტრიული მოდელი დაიყო CATIA-ში რეპროდუცირებული მოდელის შესაბამის კვანძებად. შედეგად გამოვლინდა 11.6 ტონიანი სხვაობა მასაში. ბოლო ეტაპზე განხორციელდა Geant4-ში არსებული მაგნიტური ღეროს პოზიციონირების შემოწმება. როგორც შემოწმების შედეგად აღმოჩნდა, მაგნიტური ღეროს ცენტრის პოზიცია 35მმ-ით არის დაძრული რეალურად პოზიციონირებული ღეროების ცენტრებიდან.

შედეგად, გაკეთებულ იქნა შემდეგი დასკვნები:

1. ჰიპოტეზა II დადასტურდა: მოდელირებული გეომეტრია არ შეესაბამება რეალურად არსებულს
2. მაგნიტური ღეროს გეომეტრიული მოდელი ფუნქციონალური დანიშნულების მიხედვით დაიყო 21 კვანძად
3. განხორციელდა თითოეული კვანძის მოცულობის და მასის ანალიზი; ასევე ურთიერთშედარებითი ანალიზი Geant4-ის შესაბამის კვანძებთან
4. მასებს შორის მნიშვნელოვანი სხვაობა იქნა აღმოჩენილი შემდეგი კვანძებისათვის: ქვედა სოლენოიდი – 1'738 კგ; გარე მილტუჩები – 1'248 კგ; თერმული დამცავი – 2'020 კგ; მაგნიტური ღეროს შიდა კომპონენტები – 5'297.5 კგ.
5. როგორც აღმოჩნა თერმული დამცავი (2'020 კგ.) საერთოდ არ იყო გათვალისწინებული მოდელირებულ გეომეტრიაში
6. მაგნიტური ღეროს ანალიზის შედეგად აღმოჩენილ იქნა 11.6 ტონიანი მასათა შორის სხვაობა რეალურად არსებულ და მოდელირებულ გეომეტრიულ ობიექტებს შორის
7. მაგნიტური ღეროს ცენტრის პოზიცია 35მმ-ით არის დაძრული რეალურად პოზიციონირებული ღეროების ცენტრიდან

Abstract

The main objectives of High Energy Physics experiments are to determine and explore elementary particles of the Standard Model of particle physics and possible extensions like extra dimensions which could occur as, phenomena like black holes, etc. Nowadays one of the most known High Energy Physics project is A Toroidal LHC ApparatuS (ATLAS) which is an ongoing experiment at CERN (The European Organization for Nuclear Research). The main aim of ATLAS the Experiment to investigate elementary particles generated in proton-proton collision.

The simulation of the real experiment is performed in parallel to the real experiment at CERN. As a result two kinds of data are processed: data recorded by the real experiment and data obtained from its simulation. Sometimes they show discrepancies what could result in wrong interpretations. Several investigations uncovered that their origin are differences of geometry descriptions in simulation with respect to reality. It is possible to formulate two hypotheses why differences exist in the geometry description:

1. Hypothesis #01: Inaccuracies added by geometry transactions within the simulation software infrastructure
2. Hypothesis #02: Discrepancies between the design and the geometry implementation inside the simulation

Therefore, the main research goal of this dissertation is the investigation and verification of these hypotheses.

The **First Chapter** of the dissertation describes the main aims of the Large Hadron Collider (LHC) and the ATLAS experiments. There are four types of IT tasks carried out within the ATLAS experiment described: 1) Data Collection; 2) Organization of Databases; 3) Reconstruction; 4) Simulation. The simulation of the ATLAS experiment is based on the Geant4 Simulation Toolkit. There are manifold applications of Geant4 in High Energy Physics projects like BaBar, Borexino, MINOS and Modern Medicine.

The geometry software infrastructure of the ATLAS experiment is presented in the **Second Chapter**. There are described: software geometric description based on Geant4, GeoModel and AGDD/XML; Integration methods for the CAD Systems and Geant4; Platform based on CATIA which allows to incorporate the geometry descriptions of the various simulation packages.

In the same chapter two hypotheses regarding geometrical mismatches and there detailed investigation are reviewed. The following researches have been carried out for the investigation of Hypothesis #01: Categorization of the geometry of the detector components; Selection methods for there description; Validation runs of the test examples; Case studies of geometrical transactions; Systematization and interpretation of the results. Furthermore researches have been performed for the examination of Hypothesis #02: Reproduction of the geometrical model of the barrel toroid COIL in CATIA; Decomposition of the COIL geometry with precise volume and mass analysis, Comparison of the CATIA model and the simulated geometry; Integration conflict checking of the simulated geometry.

The **Third Chapter** describes studies of Hypothesis #01. Selections of special test examples were undertaken for the verification of Hypothesis #01. For this purpose the existing simulated geometrical model of ATLAS detector has been analysed. As a result three classes have been separated: Geometrical Primitives, Combined Objects and Typical Joining. Afterwards, special selection criteria have been created. 84 geometrical primitives have been selected according to the selection criteria. At the

next stage 15'675 alternative programming ways were adopted for the 84 primitives. According to the selection criteria there have been selected 77 unique cases out of the 15'675 programming possibilities. Subsequently they were used to test the simulation infrastructure. As a result 51 test examples with and 26 without inaccuracies were found. The next stage was the analysis of transaction operations for each test example. For this purpose additional test scenarios have been examined and the obtained results were systematized and studied.

As a result, the following conclusions have been received:

1. Hypothesis #01 has been confirmed: The simulation software infrastructure introduces geometrical inaccuracies
2. For all type of detector geometries the faults in dimension, form and positioning are caused by *Boolean* operations
3. All internal surfaces received by *Boolean* subtraction of parametrical primitives from a *Box* result in zero faults
4. *Boolean* operation inaccuracies are correlated with *Moving/Rotation* transactions in GEANT4
5. For all external surfaces created by the subtraction of parametrical primitives from a *Box*, *Boolean* operation Inaccuracies do not correlate with *Moving/Rotation* transactions
6. For some internal surfaces created by the subtraction of a Polygon methods via Tube method, *Boolean* operation do not correlate with *Moving* transactions

The **Fourth Chapter** describes investigation of Hypothesis #02. For this purpose the geometry and mass of the COIL geometrical model of ATLAS detector were analysed: At the first stage, the COIL geometry has been exported from CERN's engineering database, where all CAD models are situated. According to the information retrieved from additional 225 drawings, a reproduction of the COIL has been implemented inside CATIA. As result a detailed model of the COIL geometry has been received. It was segmented into 21 individual components, and the volume and mass have been determined for each of them. Afterwards, the import of the COIL from Geant4 to CATIA was implemented. A detailed comparison between the reproduced model of COIL and the Geant4 model has exposed a difference in mass at 11.6 tone. As next step the placement of the existing COIL geometry in the simulation was checked. The obtained result shows that the COIL geometry is moved by 35 mm with respect to the design position.

As a result, the following conclusions have been made:

1. Finally, Hypothesis #02 has been confirmed: The geometry descriptions in the simulation are not consistent with design geometry description
2. The COIL was divided into 21 separate volume
3. Volume and Weight analyses of the COIL have been implemented; Comparison of the volume and weight between CATIA and XML descriptions have been implemented
4. Important differences have been discovered for the following volumes: Cryostat Bottom missing 1'738 kg., Rib missing 1'248 kg., Thermal Shielding missing 2'020 kg., Inner parts of the COIL missing 5'297.5 kg.
5. It was found that there was not Thermal Shielding in the Geant 4 description
6. 11.6 tonnes missed materials were discovered for Geant 4 geometry
7. 35mm dispositioning of the COIL has been discovered

შინაარსი

შესავალი.....	16
თავი I: ATLAS-ის ექსპერიმენტის IT ამოცანები.....	21
1.1 მონაცემთა მიღება და შეგროვება.....	23
1.2 მონაცემთა ბაზების ორგანიზაცია.....	24
1.3 რეკონსტრუქცია.....	27
1.4 ფიზიკური პროცესების მოდელირება.....	31
თავი II: ATLAS-ის დეტექტორის გეომეტრიული მოდელირება ფიზიკური პროცესების მოდელირების ამოცანებში.....	42
2.1 გეომეტრიული მოდელირების მეთოდი Geant4-ის ბაზაზე.....	43
2.2 გეომეტრიული მოდელირების მეთოდი GeoModel-ის ბაზაზე.....	49
2.3 გეომეტრიული მოდელირების მეთოდი AGDD-ის ბაზაზე.....	52
2.4 CAD სისტემების ინტეგრაცია Geant4-თან.....	56
2.5 მოდელირების პლატფორმა CATIA-ს ბაზაზე.....	61
2.6 პრობლემის დასმა.....	63
თავი III: I ჰიპოტეზის შემოწმება. მოდელირების ინფრასტრუქტურის ანალიზი.....	67
3.1 ATLAS-ის დეტექტორის კომპონენტების ტიპიზაცია.....	67
3.2 სატესტო მაგალითების ფორმირება.....	70
3.3 მოდელირების საცდელი სესიების ჩატარება.....	80
3.4 ტრანზაქციის ოპერაციების შესწავლა.....	85
3.5 შედეგების სისტემატიზაცია და შესწავლა.....	98
მე-3 თავის დასკვნები.....	111
თავი IV. II ჰიპოტეზის შემოწმება. რეალური და Geant4 გეომეტრიული მოდელის ურთიერთშედარებითი ანალიზი.....	113
4.1 ATLAS-ის დეტექტორის მაგნიტური ღეროს გეომეტრიული მოდელის რეპროდუცირება.....	113
4.2 მაგნიტური ღეროს დეკომპოზიცია და მოცულობისა და მასის ანალიზი.....	122
4.3 გეომეტრიული მოდელის ურთიერთშედარებითი ანალიზი.....	135
მე-4 თავის დასკვნები.....	148
ძირითადი დასკვნები.....	149
გამოყენებული ლიტერატურა.....	150

ცხრილების ნუსხა

ცხ. 1. კლასებში შემავალი გეომეტრიული პრიმიტივების რაოდენობა	70
ცხ. 2. გეომეტრიული პრიმიტივების შესაბამისი დაპროგრამების ვარიანტები	72
ცხ. 3. შერჩეული უნიკალური შემთხვევების რაოდენობა	79
ცხ. 4. კუბის ტესტირების შედეგი	83
ცხ. 5. სატესტო მაგალითების ტესტირების შედეგები	84
ცხ. 6. შვიდკუთხა პრიზმის ტესტირების შედეგი	87
ცხ. 7. ქვე-შემთხვევა II-ის ცდომილებები	89
ცხ. 8. ქვე-შემთხვევა III-ის ცდომილებები	90
ცხ. 9. ქვე-შემთხვევა IV-ის ცდომილებები	91
ცხ. 10. ტრანზაქციის ოპერაციების ტესტირების შედეგები	97
ცხ. 11. სატესტო მაგალით №4-ის ტესტირების შედეგი	99
ცხ. 12. თერმული დამცავის კომპონენტების მოცულობა და მასა	128
ცხ. 13. სერვისების მოცულობა და მასა	131
ცხ. 14. მილის სამაგრების მოცულობა და მასა	132
ცხ. 15. დამატებითი სამაგრების მოცულობა და მასა	133
ცხ. 16. CATIA და Geant4 მოდელების მასათა შორის სხვაობა	146

ნახაზების ნუსხა

ნახ. 1. დიდი ადრონული კოლაიდერი (LHC).....	21
ნახ. 2. ATLAS-ის დეტექტორი	22
ნახ. 3. Online Software – ის ფუნქციონირების სქემა	24
ნახ. 4. დეტექტორიდან მიღებული ინფორმაციის დამუშავება და შენახვა	25
ნახ. 5. პროტონულ–პროტონული დაჯახების შედეგად წარმოქმნილი ნაწილაკების დეტექტირება.....	30
ნახ. 6. Geant4 მოდელირების პროგრამული პაკეტის ფუნქციონირება.....	32
ნახ. 7. ნაწილაკის გეომეტრიულ პრიმიტივში გავლის პროცესი.....	33
ნახ. 8. ნაწილაკების ATLAS-ის დეტექტორში გავრცელების პროცესის მოდელირება [13].....	33
ნახ. 9. PEP-II აჩქარებელი	34
ნახ. 10. BaBar დეტექტორი	34
ნახ. 11. მოდელირების პროცესი BaBar ექსპერიმენტში.....	35
ნახ. 12. Borexino დეტექტორი.....	36
ნახ. 13. event-ის მოდელირება Borexino დეტექტორში.....	37
ნახ. 14. MINOS ექსპერიმენტი.....	37
ნახ. 15. XCAT სერიის ადამიანის მულაუი. მაგალითის სახით წარმოდგენილია ზრდასრული ქალი (ზედა), ზრდასრული კაცისა (შუა) და 16 თვის ბიჭის (ქვედა) მულაუები.....	39
ნახ. 16. MOBY (ზედა) და ROBY (ქვედა) მულაუები. თავის და ვირთხის ანატომიური მოდელები.....	40
ნახ. 17. რეალური გამოკვლევიდან და მოდელირების პროცესიდან მიღებული მონაცემები (საკვლევი ობიექტი: ადამიანი).....	41
ნახ. 18. რეალური გამოკვლევიდან და მოდელირების პროცესიდან მიღებული მონაცემები (საკვლევი ობიექტი: თავი).....	41
ნახ. 19. გეომეტრიული მოდელირების პლატფორმა ATLAS-ის ექსპერიმენტისათვის.....	42
ნახ. 20. Geant4-ში მოდელირებული ცილინდრული ობიექტი	45
ნახ. 21. Geant4-ში არსებული სტანდარტული პრიმიტივები.....	46
ნახ. 22. Substraction Boolean ოპერაციის მაგალითი	46
ნახ. 23. Union Boolean ოპერაციის მაგალითი.....	47
ნახ. 24. Intersection Boolean ოპერაციის მაგალითი.....	47
ნახ. 25. GeoModel-ში მოდელირებული ცილინდრული ობიექტი.....	50
ნახ. 26. GeoModel-ში არსებული სტანდარტული პრიმიტივები	50

ნახ. 27. AGDD-ში მოდელირებული ATLAS-ის დეტექტორის მიონური სისტემის პასიური კომპონენტები	53
ნახ. 28. AGDD-ში მოდელირებული ცილინდრული ობიექტი	54
ნახ. 29. AGDD-ში არსებული სტანდარტული პრიმიტივები.....	54
ნახ. 30. CAD მოდელის დეკომპოზიცია.....	57
ნახ. 31. CAD სისტემების ინტეგრაცია Geant4-თან.....	57
ნახ. 32. MCAM-ის ფუნქციონირება.....	58
ნახ. 33. MCAM-ის დეკომპოზიციის პრობლემა.....	59
ნახ. 34. MCAM-ის საშუალებით Geant4-თვის საჭირო ფაილის გენერირების პრობლემა	60
ნახ. 35. მოდელირების პლატფორმა.....	61
ნახ. 36. რეალური ექსპერიმენტიდან და მოდელირებიდან მიღებულ მონაცემებს შორის სხვაობა	64
ნახ. 37. მოდელირების ინფრასტრუქტურის გეომეტრიული ტრანსფორმაციები.....	65
ნახ. 38. ATLAS-ის დეტექტორის მოდელირებული გეომეტრია.....	67
ნახ. 39. კლასი I. გეომეტრიული პრიმიტივები	68
ნახ. 40. კლასი II. კომბინირებული ობიექტები.....	69
ნახ. 41. კლასი III. ტიპური შეერთებები.....	70
ნახ. 42. ექვსკუთხა პრიზმის დაპროგრამების ორი შესაძლო ვარიანტი..	71
ნახ. 43. თერამეტკუთხა პრიზმა როგორც კრიტერიუმ I-ის მაგალითი.....	74
ნახ. 44. კუბის როგორც კრიტერიუმ II-ის მაგალითი.....	76
ნახ. 45. ექვსკუთხა პრიზმა როგორც კრიტერიუმ III-ის მაგალითი	77
ნახ. 46. ოცდაოთხკუთხა პრიზმა როგორც კრიტერიუმ IV-ის მაგალითი	78
ნახ. 47. კუბის დაპროგრამების ორი შესაძლო ვარიანტი.....	79
ნახ. 48. შიგნიდან ამოჭრილი კუბის დაპროგრამება AGDD/GeoModel-ის ბაზაზე	80
ნახ. 49. CATIA-ს, GeoModel-სა და Geant4-ის ბაზაზე აგებული კუბი	81
ნახ. 50. სატესტო მაგალითების ტესტირების შედეგები.....	83
ნახ. 51. შვიდკუთხა პრიზმის დაპროგრამება.....	86
ნახ. 52. ქვე-შემთხვევა I.....	88
ნახ. 53. ქვე-შემთხვევა II.....	88
ნახ. 54. ქვე-შემთხვევა III.....	89
ნახ. 55. ქვე-შემთხვევა IV	91
ნახ. 56. სატესტო მაგალითების ორი ჯგუფი	98

ნახ. 57. სატესტო მაგალითები №4.....	99
ნახ. 58. სატესტო მაგალითი №9	101
ნახ. 59. სატესტო მაგალითი №15	101
ნახ. 60. სატესტო მაგალითი №15 ამოზნექილი/ჩაზნექილი პრიზმებით..	102
ნახ. 61. სატესტო მაგალითი №64.....	103
ნახ. 62. სატესტო მაგალითი №65	103
ნახ. 63. სატესტო მაგალითი №2	104
ნახ. 64. სატესტო მაგალითი №8.....	106
ნახ. 65. სატესტო მაგალითი №56	107
ნახ. 66. სატესტო მაგალითი №19	108
ნახ. 67. სატესტო მაგალითი №35	109
ნახ. 68. სატესტო მაგალითი №23	110
ნახ. 69. საინჟინრო ბაზაში არსებული მაგნიტური ღეროს გეომეტრიული მოდელი.....	113
ნახ. 70. CATIA–ში მოდიფიცირებული საინჟინრო მოდელი.....	114
ნახ. 71. CATIA–ში შექმნილი თერმული დამცავი.....	115
ნახ. 72. CATIA–ში შექმნილი შემკვრელი შტანგა	115
ნახ. 73. CATIA–ში შექმნილი ღეროს ყალიბი.....	116
ნახ. 74. CATIA–ში შექმნილი ხვიები.....	117
ნახ. 75. CATIA–ში შექმნილი ხუფები.....	117
ნახ. 76. CATIA–ში შექმნილი შიდა მილტუხები	118
ნახ. 77. CATIA–ში შექმნილი მილები.....	119
ნახ. 78. CATIA–ში შექმნილი მილების სამაგრები.....	120
ნახ. 79. CATIA–ში შექმნილი სამაგრები და ჭანჭიკი	120
ნახ. 80. CATIA–ში შექმნილი მაგნიტური ღეროს დეტალური გეომეტრიული მოდელი.....	121
ნახ. 81. სოლენოიდის ღერო.....	122
ნახ. 82. დამხმარე სტრუქტურის ბლოკები	124
ნახ. 83. გარე სამაგრები	125
ნახ. 84. გარე მილტუხები.....	126
ნახ. 85. თერმული დამცავი	127
ნახ. 86. შემკვრელი შტანგები.....	127
ნახ. 87. ღეროს ყალიბი, ჭანჭიკები და მოკლე ხუფები	129

ნახ. 88. გრძელი ხუფი.....	129
ნახ. 89. ხვები.....	130
ნახ. 90. სერვისები	130
ნახ. 91. მილის სამაგრები	131
ნახ. 92. დამატებითი სამაგრები	132
ნახ. 93. შიდა მილტუხები	134
ნახ. 94. Geant4-ში არსებული მაგნიტური ღეროს გეომეტრიული მოდელი.....	135
ნახ. 95. CATIA-სა და Geant4-ში არსებული სოლენოიდის ზედა ღერო	136
ნახ. 96. CATIA-სა და Geant4-ში არსებული სოლენოიდის კუთხეები....	137
ნახ. 97. CATIA-სა და Geant4-ში არსებული სოლენოიდის გვერდები....	139
ნახ. 98. CATIA-სა და Geant4-ში არსებული სოლენოიდის ქვედა ღერო	140
ნახ. 99. CATIA-სა და Geant4-ში არსებული დამხმარე სტრუქტურის ბლოკი	141
ნახ. 100. CATIA-სა და Geant4-ში არსებული გარე სამაგრი.....	142
ნახ. 101. CATIA-სა და Geant4-ში არსებული გარე მილტუხი	143
ნახ. 102. CATIA-სა და Geant4-ში არსებული მაგნიტური ღეროს შიდა გეომეტრია	144
ნახ. 103. CATIA-სა და Geant4-ში არსებული მაგნიტური ღეროს სრული გეომეტრიული მოდელი.....	145
ნახ. 104. მაგნიტური ღეროს პოზიციონირება.....	146
ნახ. 105. მაგნიტური ღეროს ზედა და ქვედა სოლენოიდის პოზიცია	147

შესავალი

პრობლემის აღწერა და აქტუალობა. დღესდღეობით მსოფლიოში მიმდინარე მაღალი ენერგიების ფიზიკის პროექტებს შორის შეიძლება გამოიყოს ბირთული კვლევების ევროპულ ორგანიზაციაში (European Organisation for Nuclear Research (CERN)) მიმდინარე დიდი ადრონული კოლაიდერის (Large Hadron Collider (LHC)) პროექტი. LHC-ის ექსპერიმენტის ძირითად მიზანს წარმოადგეს მოახდინოს პროტონების აჩქარება ერთმანეთის საწინააღმდეგო მიმართულებით. მას შემდეგ რაც მიიღწევა საჭირო ენერგია, ხდება ნაწილაკების დაჯახება, რის შედეგადაც წარმოიქმნება ახალი ელემენტარული ნაწილაკები. ნაწილაკების დაჯახების პროცესი წარმოებს ATLAS-ის დეტექტორის გეომეტრიულ ცენტრში (Z0). დეტექტორის ძირითად ფუნქციას წარმოადგენს პროტონულ-პროტონული დაჯახების შედეგად წარმოქმნილი სხვადასხვა ელემენტარული ნაწილაკის დაფიქსირება და შესწავლა

აღნიშნული ექსპერიმენტის პარალელურად ასევე მიმდინარეობს მისი სიმულაციის პროცესი. ATLAS-ის ექსპერიმენტის მოდელირების პროგრამები დაფუძნებულია Geant4 მოდელირების პაკეტის გამოყენებაზე, რომელიც უზრუნველყოფს გარკვეული მასალის მქონე ობიექტში ნაწილაკების გავლის პროცესის მოდელირებას. აქედან გამომდინარე მოდელირების პროცესი საჭიროებს ერთი მხრივ შესაბამის ელემენტარული ნაწილაკების არსებობას, რისთვისაც გამოიყენება მონტე კარლოს (MC) ალგორითმებზე მომუშავე გენერატორი, ხოლო მეორე მხრივ რეალურად არსებული ATLAS-ის დეტექტორის იდენტურ მოდელირებულ გეომეტრიულ მოდელს.

შედეგად, ATLAS-ის ექსპერიმენტის მიმდინარეობის პროცესში წარმოებს ინფორმაციის მიღება ერთი მხრივ რეალური ექსპერიმენტიდან, ხოლო მეორე მხრივ სიმულაციიდან. იდეალურ შემთხვევაში აღნიშნული მონაცემები უნდა იყვნენ იდენტური, თუმცა ზოგიერთ შემთხვევაში არსებობს სხვაობა, რაც პრობლემას წარმოადგენს. არსებული სხვაობა შეიძლება გამოწვეული იყოს სხვადასხვა მიზეზით. ერთ-ერთი მოსაზრების თანახმად რეალურ და მოდელირებულ მონაცემებს შორის სხვაობა შეიძლება გამოწვეული

იყოს გეომეტრიული უზუსტობებით. ამიტომ იმის დადგენა არის თუ არა რეალური ექსპერიმენტიდან და მოდელირების პროცესიდან მიღებულ მონაცემებს შორის სხვაობის გამომწვევი მიზეზი გეომეტრიული უზუსტობა, წარმოადგენს აქტუალურ ამოცანას.

არსებობს გეომეტრიული უზუსტობების გამოწვევის ორი ჰიპოტეზა:

ჰიპოტეზა I - უზუსტობები გამოწვეულია მოდელირების ინფრასტრუქტურაში უზუსტო გეომეტრიული ტრანსფორმაციებით: ATLAS-ის დეტექტორის გეომეტრიული აღწერები ინახება მონაცემთა ბაზაში XML ფაილისა და Oracle ცხრილების სახით. მოდელირების პროცესის დროს ისინი განიცდიან ტრანსფორმაციას Geant4-ში. კერძოდ, მიმდინარეობს ორი სახის ტრანსფორმაცია: XML -> GeoModel და GeoModel -> Geant4. აქედან გამომდინარე, თითოეული ტრანსფორმაცია შეიძლება იყოს უზუსტობების გამომწვევი მიზეზი, რადგანაც თითოეული მათგანი იყენებს საკუთარ ინტერპრეტატორს, რომლებიც მუშაობენ განსხვავებული ძრავების გამოყენებით.

ჰიპოტეზა II - უზუსტობები გამოწვეულია რეალურად არსებულ და მოდელირებულ გეომეტრიებს შორის სხვაობით.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე კვლევის მიზანს წარმოადგენს გეომეტრიული უზუსტობების გამომწვევი ორივე ჰიპოტეზის შემოწმება.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. კვლევის ობიექტს წარმოადგენს გეომეტრიული მოდელირების ინფრასტრუქტურა და ATLAS-ის დეტექტორის გეომეტრიული მოდელი. კვლევის ფარგლებში დამუშავდა გეომეტრიული პრიმიტივების კლასიფიკაციის მეთოდი, დაპროგრამების მეთოდების სელექციის მეთოდი, საცდელი სესიების ჩატარების მეთოდი, ტრანზაქციის ოპერაციების გამოკვლევის მეთოდი, სისტემატიზაციის მეთოდი, გეომეტრიული მოდელის რეპროდუცირების მეთოდი, დეკომპოზიციის მეთოდი, მოცულობისა და მასის ანალიზის მეთოდი, ურთიერთშედარებითი ანალიზის მეთოდი და ინტეგრაციის კონფლიქტებზე შემოწმების მეთოდი.

მეცნიერული სიახლე.

1. განხორციელდა ATLAS-ის დეტექტორის გეომეტრიული აღწერების კლასიფიკაცია. შედეგად, გამოვლინდა 84 ტიპური გეომეტრიული პრიმიტივი
2. დადასტურდა, რომ მოდელირების ინფრასტრუქტურა შეიძლება იყოს გეომეტრიული უზუსტობების გამომწვევე მიზეზი
3. დადგინდა, რომ გეომეტრიული ცდომილებების ძირითად გამომწვევ მიზეზს წარმოადგენს Boolean (ლოგიკური) ოპერაცია და გამოვლენილ იქნა შემთხვევები, რომლის დროსაც Boolean ოპერაციები კორელირებს გადაადგილება/შემობრუნების გეომეტრიულ ტრანზაქციებზე
4. დადასტურდა, რომ Geant4-ში გამოყენებული გეომეტრიული აღწერები არ შეესაბამება რეალურად არსებულ ATLAS-ის დეტექტორის გეომეტრიას

პრაქტიკული მნიშვნელობა.

1. კვლევის ფარგლებში მიღებული შედეგები შეიძლება გამოყენებულ იქნას როგორც მეთოდური მითითება გეომეტრიული მოდელირების დროს, რაც საშუალებას იძლევა გეომეტრიული მოდელირება განხორციელდეს ცდომილებების გარეშე
2. პროგრამული პაკეტის CATIA-ს ბაზაზე დამუშავდა პლატფორმა რომელიც საშუალებას იძლევა სიმულაციის პაკეტებში გამოყენებული სხვადასხვა გეომეტრიული აღწერები ერთად იქნას თავმოყრილი. შედეგად შესაძლებელი ხდება სხვადასხვა გეომეტრიების ურთიერთშედარებითი ანალიზი
3. გამოვლენილ იქნა გეომეტრიული პრიმიტივების დაპროგრამების შემთხვევები, რომლის დროსაც Boolean ოპერაცია და გადაადგილება/შემობრუნების გეომეტრიული ტრანზაქციები არ იწვევენ ცდომილებებს
4. გამოვლენილ იქნა 11.6 ტონიანი მასათა შორის სხვაობა რეალურად არსებულ და Geant4-ში აღწერილ ATLAS-ის დეტექტორის მაგნიტური ღეროს გეომეტრიულ მოდელებს შორის. აღნიშნული

ინფორმაციის საფუძველზე განხორციელდა სიმულაციის პაკეტებში არსებული მაგნიტური ღეროს გეომეტრიული მოდელის მოდიფიცირება

5. გამოვლენილ იქნა სიმულაციის პაკეტებში არსებული მაგნიტური ღეროს 35 მმ-იანი გადახრა რეალურად პოზიციონირებული ღეროების ცენტრებიდან და შესაბამისად განხორციელდა მისი პოზიციონირების მოდიფიცირება.

სამუშაოს აპრობაცია. კვლევის შედეგები განხილულ იქნა შემდეგ სამეცნიერო კონფერენციებზე და სიმპოზიუმებზე:

1. “Development of CATIA_2_GEANT Interface for Simulation of High Energy Physics Experiments”. Tools and Methods of Competitive Engineering-TMCE 2016, Aix-en-Provence, France, 9-13 May, 2016
2. “Simulation Loop between CAD systems, Geant4 and GeoModel: Implementation and Results”. XXV International Symposium on Nuclear Electronics & Computing-NEC’2015; Montenegro, Budva, Becici, 28 Sep. - 2 Oct., 2015
3. “Development of Simulation Loop for the ATLAS Geant4 Packages”. Third ATLAS South Caucasus Grid & Cloud Computing Workshop & Tutorial, Organized by CERN/European Organization for Nuclear, Tbilisi, Georgia, 20-25 Oct., 2014
4. “Modification of G4 geometry baseline according to comparison with CATIA reference”. 2nd ATLAS-SouthCaucasus Software/Computing Workshop & Tutorial, Tbilisi, Georgia 23-27 Oct., 2012

ასევე შედეგები განხილულ იქნა CERN-ში ორგანიზებულ შემდეგ ვორქშოპებზე:

1. “Investigation of Simulation Infrastructure. Study 2: Systematization and Learning of Results”. Simulation Group Meeting, Geneva, Switzerland, 14 Jun, 2016
2. “The Results of Precision and Double Checking”. Simulation Group Meeting, Geneva, Switzerland, 29 Mar 2016
3. “Geometry Infrastructure Quality Analyses”. ATLAS-SW-Week: Software & Computing Workshop, Geneva, Switzerland, 29 Feb. – 4 Mar., 2016

4. “Atlas Geometry Validation – Tools and Case Study”. Simulation Group Meeting, Geneva, Switzerland, 12 Jun 2015
5. “Development of Loop for ATLAS Simulation Packages”. Simulation Group Meeting, Geneva, Switzerland, 15 Jul 2014
6. “Development of Loop for ATLAS Simulation Packages”. Simulation Group Meeting, Geneva, Switzerland, 2 Jul 2014
7. “Updates on MS geometry including NSW based on CATIA drawings”. ATLAS-Muon-Week: Muon/Simulation workshop, Geneva, Switzerland, 8 Mar 2013

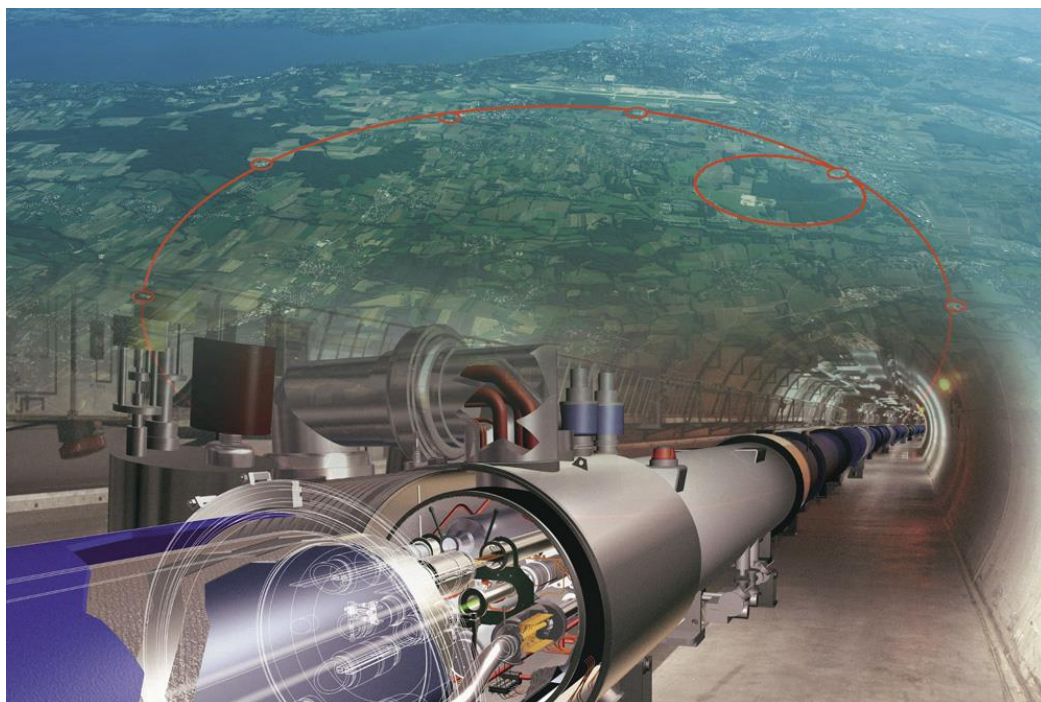
დისერტაციის მასალებზე მომზადდა და დაიბეჭდა 3 სტატია:

1. Sharmazanashvili A., Tsutskiridze N. Simulation Loop Between CAD Systems, Geant-4 and GeoModel: Implementation and Results. *PEPAN, Letters*. 2016. Volume 13, issue 5. 7p
2. Sharmazanashvili A., Tsutskiridze N. Development of CATOA_2_Geant Interface for Simulation of High Energy Physics Experiments. *Proceedings of TMCE 2016*. 2016, 10, 363-372
3. შარმაზანაშვილი ა., ცუცქირიძე ნ., სურმაგა ა., კეკელია ბ., ATLAS-ის დეტექტორის მაგნიტური ღეროს გეომეტრიული აღწერების შედარებითი ანალიზი. *მართვის ავტომატიზირებული სისტემები*. 2015. №1(19), გვ. 13-22

სადისერტაციო ნაშრომის სტრუქტურა. სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, ოთხი თავის, ძირითადი დასკვნების, გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხისაგან და ორი დანართისაგან. ნაშრომის ძირითადი მოცულობა (დანართის გარეშე) შეადგენს 152 გვერდს.

თავი I: ATLAS-ის ექსპერიმენტის IT ამოცანები

მაღალი ენერგიების ფიზიკის (High Energy Physics (HEP)) პროექტებს შორის შეიძლება გამოიყოს ბირთვული კვლევების ევროპულ ორგანიზაციაში (European Organisation for Nuclear Research (CERN)) მიმდინარე დიდი ადრონული კოლაიდერის (Large Hadron Collider (LHC)) პროექტი. LHC არის მსოფლიოში ყველაზე დიდი ამაჩქარებელი, რომელიც მაღალი ენერგეტიკული ნაწილაკების აღმოჩენას და კვლევას ემსახურება [1]. ამაჩქარებელი მიწის ქვეშ 50 დან 175 მეტრამდე სიღრმეშია განთავსებული და უჭირავს 3.8 მეტრი სიგანის ბეტონით გარშემორტყმული გვირაბი, რომლის რკალის სიგრძე 27 კილომეტრია [2].

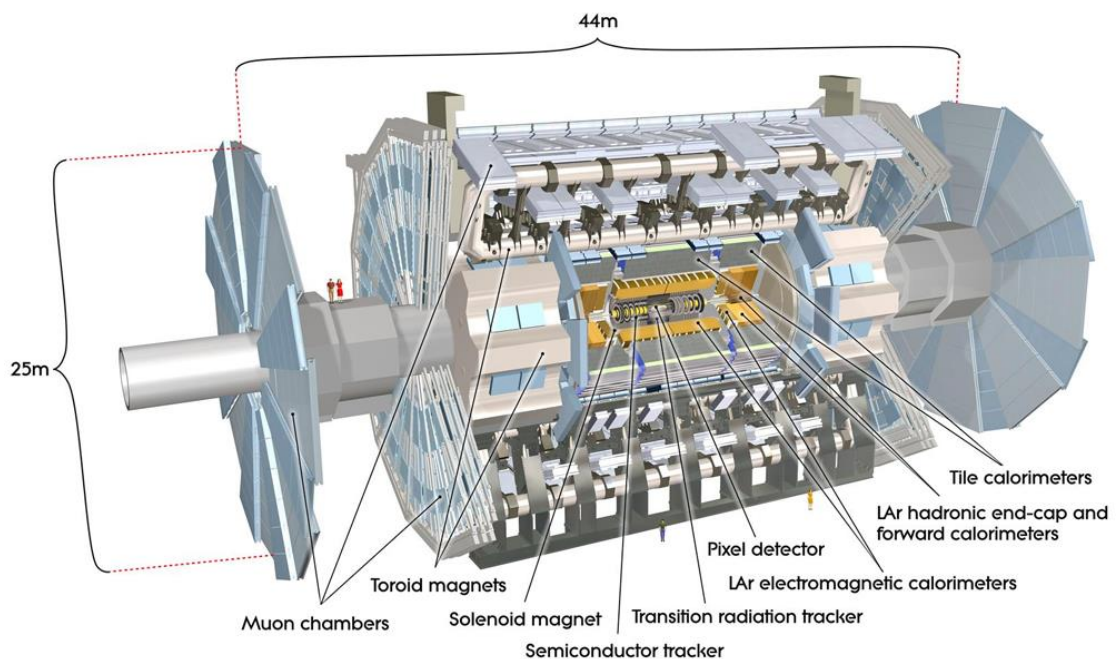


ნახ. 1. დიდი ადრონული კოლაიდერი (LHC)

LHC-ის ტემპერატურა დაწეულია -271°C -მდე. ამით შექმნილია ისეთი პირობები, როგორიც დიდი აფეთქების (Big Bang) დროს იყო. ამაჩქარებლის გვირაბში ორი ვაკუუმური მილია მოთავსებული. ელემენტარული ნაწილაკები ამაჩქარებლებზე ერთმანეთის საწინააღმდეგო მიმართულებით მოძრაობენ და ყოველ წრეზე უფრო მეტ ენერგიას აგროვებენ. მას შემდეგ რაც მიიღწევა საჭირო ენერგია,

ხდება ნაწილაკების დაჯახება და გახლეჩა, რის შედეგადაც წარმოიქმნება ახალი/იშვიათი თვისების მქონე ნაწილაკები. LHC-ის ექსპერიმენტის ძირითად მიზანს წარმოადგეს დაჯახების შედეგად წარმოქმნილი იმ ახალი/იშვიათი ნაწილაკების აღმოჩენა, რომელთა არსებობის ხანგრძლივობა წამის მემილიონედზე მცირეა.

ამაჩქარებელზე, ნაწილაკების დაჯახების ადგილზე, 4 დეტექტორია განთავსებული (ATLAS, CMS, ALICE და LHCb), რომელთა დანიშნულებაა სხვადასხვა კუთხით შეისწავლოს დაჯახების შედეგად წარმოქმნილი ელემენტარული ნაწილაკები [2]. მათგან ყველაზე კომპლექსურს წარმოადგენს ATLAS-ის დეტექტორი, რომელიც განკუთვნილია LHC-ში პროტონულ-პროტონული დაჯახების შედეგად წარმოქმნილი ელემენტარული ნაწილაკების დასაფიქსირებლად. დაჯახება წარმოებს ATLAS-ის დეტექტორის გეომეტრიულ ცენტრში, რომელიც აღინიშნება Z0-ით. ATLAS-ის დეტექტორი შედგება ქვედეტექტორების რამდენიმე შრისაგან, რომლებიც განლაგებულნი არიან Z0-ის გარშემო. თითოეული მათგანის ძირითად ფუნქციას წარმოადგენს პროტონულ-პროტონული დაჯახების შედეგად წარმოქმნილი ნაწილაკების დაფიქსირება და მათი იმპულსის გაზომვა.



ნახ. 2. ATLAS-ის დეტექტორი

აღსანიშნავია, რომ ნაწილაკების დაჯახებისას და მისი გახლეჩის შედეგად არ ხდება მხოლოდ ერთი სახის ნაწილაკის წარმოქმნა, არამედ ამ დროს წარმოიქმნება სხვადასხვა სახის ნაწილაკი. სწორედ ამიტომ გააჩნია ATLAS-ის დეტექტორს ქვედეტექტორების სხვადასხვა სისტემები, რომლებიც ახორციელებენ ელემენტარული ნაწილაკების დეტექტირებას სხვადასხვა შრეში. [3].

ATLAS-ის დეტექტორის ფუნქციონირება დაკავშირებულია სხვადასხვა IT ამოცანების განხორციელებასთან, რომელიც შეიძლება დაიყოს ოთხ ტიპად: 1. მონაცემთა მიღება და შეგროვება; 2. მონაცემთა ბაზების ორგანიზაცია; 3. რეკონსტრუქცია; 4. მოდელირება;

1.1 მონაცემთა მიღება და შეგროვება

ATLAS-ის ექსპერიმენტის მსვლელობისას მიიღება დიდი რაოდენობით ინფორმაცია, რომელსაც დეტექტორის კომპონენტები გარდაქმნიან ციფრულ ინფორმაციად. ეს ინფორმაცია გამუდმებით საჭიროებს დაგროვებას, დამუშავებასა და შენახვას შემდგომი გამოყენებისათვის.

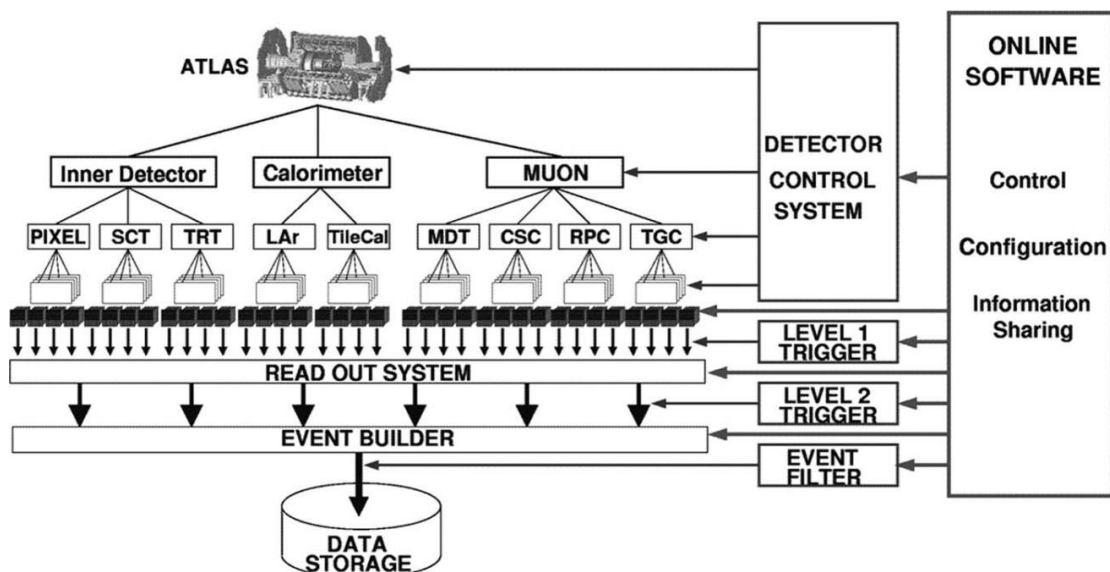
27 კმ. სიგრძის მქონე LHC-ის ამაჩქარებელში 10^{11} პროტონისგან შემდგარი კონა კვეთს ATLAS-ის დეტექტორის ცენტრს (Z0) 40 მილიონჯერ წამში [4]. თითოეული ესეთი გადაკვეთა განაპირობებს 25 დაჯახების მომენტს (event). ესეიგი, სულ წამში ივენთების რაოდენობა არის 10^8 (40 MHz). იმისათვის, რომ მოხდეს ერთდროულად მოსული ასეთი დიდი რაოდენობის ივენთების პროცესირება, ATLAS-ის დეტექტორი შემუშავებულია ისე, რომ მას გააჩნია მაღალი ხარისხის სპექტომეტრის მქონე არხები. დეტექტორიდან მიღებული სიგნალების დამუშავებისათვისა და გაფილტრისათვის გამოიყენება DAQ (Data Acquisition) სისტემა [5].

დიდი ინტენსივობის event-ები და მათ მიერ წარმოებული მონაცემები, 1.5 MB თითო event-ზე, მოითხოვს ძალიან ეფექტურ DAQ სისტემას. ამისათვის ATLAS-ის დეტექტორისათვის შეიქმნა სამდონიანი ტრიგერულ სისტემა [5]:

პირველი დონის ტრიგერი event-ების 40 MHz-იან მნიშვნელობას ამცირებს 100 KHz-მდე. ამის შემდეგ მიიღება event-ის შემცირებული რაოდენობა, კერძოდ კი 10^8 event-დან მათი რაოდენობა მცირდება დაახლოებით 100 000 event-მდე წამში.

მეორე დონის ტრიგერი კიდევ უფრო ამცირებს event-ების მაჩვენებელს და დაჰყავს იგი 3.5 KHz-მდე. აქ შემცირებული event-ების რაოდენობა დაახლოებით ტოლია 3 000 წამში.

მესამე დონის ტრიგერი, რომელსაც event-ების ფილტრაციის ტრიგერი ეწოდება, ახდენს event-ების ფილტრაციას. იგი event-ების რაოდენობას ამცირებს 200 Hz-მდე. event-ების ფილტრაციის ტრიგერი ყოველ წამში 200 “საინტერესო” event-ის შესაბამისი მოცულობის ინფორმაციას, (დაახლოებით 300 Mbyte/s) მუდმივი შენახვისათვის, საბოლოოდ აგზავნის მონაცემთა ბაზაში.



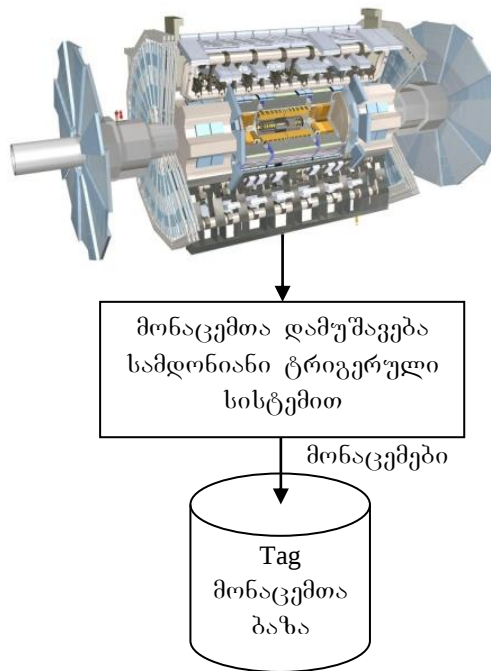
ნახ. 3. Online Software – ის ფუნქციონირების სქემა

მეორე და მესამე დონის ტრიგერები, ერთად, ქმნიან მაღალი დონის ტრიგერს (High Level Trigger).

1.2 მონაცემთა ბაზების ორგანიზაცია

ტიპურული სისტემის შემდეგ მიღებული მონაცემთა ნაკადიდან ხდება ანაბეჭდების ანუ Tag-ების აღება (Data Taking), რომელიც თავის

მხრივ, ინახება ATLAS Tag მონაცემთა ბაზაში, რომელიც ორგანიზებულია ORACLE-ზე.



ნახ. 4. დეტექტორიდან მიღებული ინფორმაციის დამუშავება და შენახვა

ATLAS Tag მონაცემთა ბაზა არის მეტამონაცემების (metadata) სისტემა, რომელიც იძლევა მასში ინფორმაციის შენახვის და შემდეგ ამ ინფორმაციიდან საინტერესო მონაცემების შერჩევის და ამოღების საშუალებას, რითაც მომხმარებელს საშუალება ეძლევა მოახდინოს მისი ანალიზი.

Tag მონაცემები შეიძლება ჩაწერილი იყოს ორი სახით [6]:

1. ფაილის სახით;
2. Query;

ფაილზე დაფუძნებული Tag-ები არის რეალური მონაცემების შემცველი. მაგალითად სწორედ ასეთი ფაილზე დაფუძნებული Tag-ები გამოიყენება Tier 0-ში. Query წარმოადგენს ეგრედწოდებულ მაჩვენებელს, რომელიც მიუთითებს მონაცემთა ბაზაში განთავსებულ რეალურ მონაცემზე.

ATLAS-ის მონაცემთა ბაზის Tag-ი თავისი შინაარსის მიხედვით შედგება ექვსი ტიპის ატრიბუტისაგან [6]:

1. Event Quantities—ატრიბუტები, რომლებიც ეხება Event-ებს. მაგალითად: გაშვებების რაოდენობა, Event-ების რაოდენობა, გამოსხივება და ა.შ.

2. Data Quality-მიუთითებს ქვედეტექტორების სტატუსს და გასცემს “კარგია ფიზიკისათვის” (“Good for Physics”) სიგნალს თუ ისინი აკმაყოფილებენ მოთხოვნებს

3. Physics Objects—ელექტრონები, მიონები, ტაუები, ჯეტები, ფოტონები და მათი ატრიბუტები

4. Physics or Performance Group Attributes—სივრცე თითოეული ფიზიკოსთა ჯგუფისათვის საკუთარი ატრიბუტების განსაზღვრისათვის;

5. Trigger Information—ინფორმაცია მაღალი და დაბალი დონის ტრიგერების შესახებ

6. Pointers to Event Data—AOD (Analysis Object Data), ESD (Event Summary Data) და RAW მონაცემთა ფაილების მისამართი, რომელიც შეიცავს Event-ს; გამოყენებული პროგრამული უზრუნველყოფის ვერსიას და ა.შ.

ATLAS-ის მონაცემთა ბაზები ორგანიზებულია Oracle-ის სერვერზე, რომლის ყველა მონაცემთა ბაზის აპლიკაცია გაშვებულია Oracle RAC (Real Application Cluster)-ზე. იგი შეიცავს ოთხ ორმაგ CPU კვანძს. მას ახასიათებს მაღალი დონის ხელმისაწვდომობა და მონაცემთა სრული აღდგენა.

დეტექტორში არსებული სტატუსის (Condition) აღწერა ხდება COOL მონაცემთა ბაზაში [7], რომელიც მუშაობს Oracle ინფრასტრუქტურაზე. გარდა ამისა, COOL მონაცემთა ბაზაში ინახება Monte Carlo გათვლებთან დაკავშირებული ინფორმაცია, როგორცაა: მოდელირებასთან, რეკონსტრუქციასთან, პოზიციონირების შემოწმებასთან და ა.შ. დაკავშირებული ინფორმაციები.

COOL მონაცემთა ბაზაში ATLAS-ის სხვადასხვა ქვედეტექტორებთან დაკავშირებული Tag-ები დაჯგუფებულია სპეციალური სქემის მიხედვით. თავის მხრივ, თითოეული სქემის შიგნით მონაცემები დაჯგუფებულია ცალკე ბაზებში: COMP, CMCP, OFLP, TBP, TBMCP.

COOL მონაცემთა ბაზაში ასევე არსებობს საქაღალდეების (Folder) ცნება, რომელსაც აქვს ხის მაგვარი იერარქიული სტრუქტურა. საქაღალდეები ორგანიზებულია foldersets-ში, რომელიც შეიძლება შეიცავდეს საქაღალდეების ნარევს.

მონაცემთა ბაზის ორგანიზაციისათვის COOL-ის გარდა ასევე გამოიყენება COndition MetadatA (COMA) მეტამონაცემების მონაცემთა ბაზა, რომელიც შეიქმნა იმისათვის, რომ გლობალური მნიშვნელობის მეტამონაცემები იყოს ადვილად ხელმისაწვდომი [8]. ზოგადად მეტამონაცემები ეს არის “მონაცემები მონაცემების შესახებ”.

COMA მონაცემთა ბაზაში არსებობს ეგრედწოდებული ცხრილების და სვეტების ცნება. თითოეულ ცხრილს გააჩნია საკუთარი სახელი, რომელიც იწყება “COMA_” პრეფიქსით. COMA მონაცემთა ბაზის ცხრილები შეიცავენ ინფორმაციას Event-ების ჩაწერის დროის შესახებ, ინფორმაციას სხვა მონაცემთა ბაზების ცხრილებისა და სვეტების შესახებ და ასევე ის საშუალებას იძლევა დამატებული იქნას მოგვიანებით განხორციელებული ანალიზის შედეგად მიღებული მონაცემები.

COMA ცხრილებთან წვდომა შესაძლებელია Web ინტერფეისზე დაფუძნებული აპლიკაციის საშუალებით, რომლის დანიშნულებას წარმოადგენს დაეხმაროს მომხმარებელს იპოვოს მისთვის საჭირო მეტამონაცემები COOL მონაცემთა ბაზაში.

1.3 რეკონსტრუქცია

ATLAS-ის დეტექტორიდან ინფორმაციის მიღებისა და დამუშავების შემდეგ მიმდინარეობს რეკონსტრუქცია, რისთვისაც გამოიყენება რეკონსტრუქციის ალგორითმები. ტიპური რეკონსტრუქციის ალგორითმის ძირითად მიზანს წარმოადგენს მიღებულ იქნას ერთი ან რამდენიმე მონაცემთა კრებულიდან, რომელიც მოწოდებულია Atlas-ის დეტექტორის სხვადასხვა ქვედეტექტორებიდან, რეკონსტრუქტირებული ობიექტების მთლიანი ნაკადი, რომელიც თავის მხრივ წარმოადგენს ნაწილაკის რაღაც გარკვეული თვისებების მახასიათებელ პარამეტრს

[9]. რეკონსტრუქციის შედეგად მიიღება ინფორმაცია, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია კონკრეტული ნაწილაკის თვისებებისა და ტრაექტორიის განსაზღვრა (Track reconstruction). მომდევნო ეტაპზე აღნიშნული ინფორმაცია გამოიყენება სხვადასხვა ფიზიკური ანალიზისათვის.

Track reconstruction განსაზღვრავს დამუხტული ნაწილაკების ტრაექტორიას. სწორედ რეკონსტრუქციის Track-ის საშუალებით ხდება ნაწილაკის მიმართულებისა და იმპულსის განსაზღვრა [10]. Track-ის განსაზღვრა ხორციელდება ATLAS-ის დეტექტორის ქვედეტექტორების-Inner Detector (ID)-სა და Muon Spectrometer (MS)-დან მიღებული ინფორმაციის საფუძველზე. დამუხტული ნაწილაკები გადიან აღნიშნული დეტექტორების სენსორებს, რის შედეგადაც ხდება სენსორში ნაწილაკის გავლის ადგილის (Hit) დაფიქსირება. Track reconstruction ერთმანეთთან აკავშირებს დეტექტორის მიერ დაფიქსირებულ Hit-ებს, რის საფუძველზეც ახდენს ნაწილაკების გადაადგილების ტრაექტორიის აღდგენას.

ასევე რეკონსტრუქციის კიდევ ერთ სახეს წამოადგენს კლასტერული რეკონსტრუქცია (Cluster Reconstruction) [10]. კლასტერული რეკონსტრუქციის დროს ხდება ენერგიების დაჯგუფება რომელიც ფიქსირდება ATLAS-ის დეტექტორის კალორიმეტრების სხვადასხვა შრეში ელემენტარული ნაწილაკების გავლისას. ელექტრომაგნიტური (მაგ. ელექტრონი და ფოტონი) და ადრონული (მაგ. პროტონი და ნეიტრონი) ნაწილაკები კალორიმეტრში გავლისას დეტექტორის მასალასთან ურთიერთქმედების გამო წარმოშობს დამატებით ელექტრომაგნიტურ და ადრონულ ნაწილაკების ღვარს (ნაწილაკების ერთობლიობა). ამ გზით წარმოქმნილ ღვარში შემავალი ნაწილაკები ურთიერთქმედებს კალორიმეტრის აქტიურ კომპონენტებთან (ქვედეტექტორის კომპონენტები, რომლებიც ემსახურებიან სიგნალის დაფიქსირებას) რაც წარმოშობს სიგნალს. შედეგად, კალორიმეტრის აქტიური კომპონენტის სხვადასხვა შრეში ხდება ნაწილაკების ენერგიის გაზომვა.

კლასტერული რეკონსტრუქციის დროს თითოეული ნაწილაკისათვის წარმოებს აღნიშნული შრეებიდან მიღებული

სიგნალების დაჯგუფება და მიღებული ინფორმაციის საფუძველზე ნაწილაკის საწყისი ენერგიის გაზომვა.

კლასტერული რეკონსტრუქცია ხორციელდება როგორც ელექტრომაგნიტური ასევე ადრონული კალორიმეტრიდან მიღებული ინფორმაციის საფუძველზე. ელექტრომაგნიტური ნაწილაკები ATLAS-ის დეტექტორის ელექტრომაგნიტურ კალორიმეტრში (Electromagnetic Calorimeter) წარმოშობს ნაწილაკების ხშირ და ვიწრო ღვარს, ხოლო ადრონული ნაწილაკები კი ATLAS-ის დეტექტორის ადრონულ კალორიმეტრში (Hadronic Calorimeter) წარმოშობს ნაწილაკების ფართო ღვარს (ნახ.5). ნაწილაკის ადგილმდებარეობის და ენერგიის მიხედვით კლასტერული რეკონსტრუქციის ალგორითმი განსაზღვრავს ნაწილაკი ელექტრომაგნიტურია თუ ადრონული.

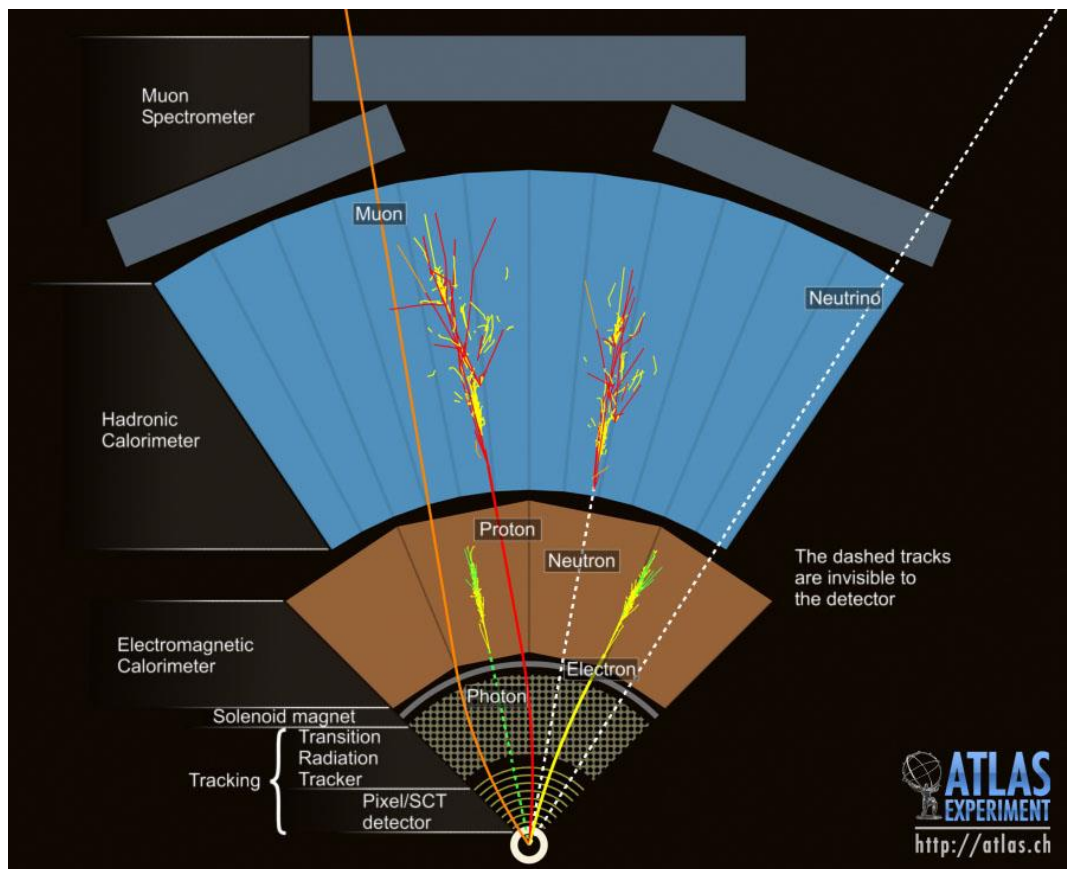
რეკონსტრუირებული ნაწილაკების ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვან ჯგუფს წარმოადგენს დამუხტული ლეპტონები. ისინი უზრუნველყოფენ სუფთა სიგნალს, რის გამოც შესაძლებელია განხორციელდეს მათი ზუსტი და ეფექტური რეკონსტრუქცია.

ლეპტონის ოჯახს მიეკუთვნება მიონი (Muon). ეს არის ნაწილაკი რომლის იდენტიფიცირებაც ყველაზე მარტივია, რადგანაც როგორც ნახ.5-ზეა ნაჩვენები, მიონი არის ერთადერთი ნაწილაკი რომელიც გადის მთელ ATLAS-ის დეტექტორს ისე, რომ არ მიიღევა. მისი Track-ის განსაზღვრა ხდება Inner დეტექტორისა (ID) და Muon დეტექტორის საშუალებით.

ელექტრონი (Electron) ასევე არის ლეპტონის ოჯახის წარმომადგენელი. მისი Track-ის განსაზღვრა ხდება Inner დეტექტორის საშუალებით და ქმნის ელექტრომაგნიტურ ღვარს ელექტრომაგნიტურ კალორიმეტრში, სადაც ხდება მისი მიღევა.

ასევე ტაუ ლეპტონი (Tau Lepton) არის დამუხტული ლეპტონი, მაგრამ ექსპერიმენტული თვალსაზრისით ის განსხვავდება ელექტონისა და მიონისაგან. ნახ.5-ზე აღნიშნული ნაწილაკი არ არის ნაჩვენები რადგანაც დეტექტორში შესვლამდე ხდება მისი შერწყმა სხვა ნაწილაკებთან. წარმოქმნილი ტაუ ლეპტონების 40%-ის შერწყმა ხდება ელექტონებთან და მიონებთან, ხოლო დარჩენილი 60%-ის კი

პროტონებთან, ნეიტრონებთან და ნეუტრინოებთან. შესაბამისად, ტაუს Track-ის განსაზღვრა ხდება ისევე როგორც იმ ნაწილაკების, რომელთაც ის შეერწყა.



ნახ. 5. პროტონულ-პროტონული დაჯახების შედეგად წარმოქმნილი ნაწილაკების დეტექტირება

ნეუტრინო (Neutrino) არის ასევე ლეპტონების ოჯახის წარმომადგენელი. იმის გამო, რომ იგი დეტექტორის კომპონენტებთან ურთიერთქმედებს ძალიან მცირე ძალით, ATLAS-ის დეტექტორი მას ვერ აფიქსირებს და როგორც ნახ.5.-ზეა ნაჩვენები იგი გადის ATLAS-ის დეტექტორის ყველა ქვედეტექტორს. მიუხედავად იმისა, რომ აღნიშნული ნაწილაკი არ ფიქსირდება პირდაპირ დეტექტორის მიერ, მისი არსებობა შეიძლება დადგინდეს “ივენთის” საერთო განივი იმპულსის ენერგიის დისბალანსის გაზომვით [10]. აქედან გამომდინარე, ნეუტრინოს რეკონსტრუქცია მიმდინარეობს ივენთიდან მიღებული ინფორმაციის საფუძველზე.

ფოტონი (Photon) არის დამუხტული ნაწილაკის სხვა ტიპი, რომელიც შეიძლება იდენტიფიცირებული და რეკონსტრუირებული იყოს ATLAS-ში. დეტექტორში შეიძლება დაფიქსირებულ იქნას ფოტონის 2

ანაბეჭდი. ეს დამოკიდებულია იმაზე თუ როგორ ხდება ფოტონის გარდაქმნა e^+ (პოზიტრონი (Positron)) e^- (ელექტრონი (Electron)) წყვილში დეტექტორის მასალაში გავლისას, სანამ აღნიშნული ნაწილაკი შევა კალორიმეტრში. ფოტონები, რომელიც არ განიცდიან ასეთ გარდაქმნას ეწოდებათ “უცვლელი” (un-converted) ფოტონები, ხოლო ისინი, რომლებიც განიცდიან გარდაქმნას გარდაქმნილი (converted) ფოტონი. სწორედ უცვლელი ფოტონის ანაბეჭდია ნახ.5.-ზე ნახევნები. იმის გამო, რომ აღნიშნული ნაწილაკი არ არის ელექტრულად დამუხტული, მისი Track-ი ვერ ფიქსირდება ID-ის მიერ, თუმცა წარმოქმნიან ელექტრომაგნიტურ ღვარს კალორიმეტრში. შესაბამისად, “უცვლელი” ფოტონის რეკონსტრუქცია ხდება ელექტრომაგნიტურ კალორიმეტრში და არ აქვს Track-ი. ფოტონების გარდაქმნისას ის გარდაიქმნება საპირისპიროდ დამუხტულ ელექტრონების წყვილად. რეკონსტრუქციის ალგორითმი აღნიშნული ნაწილაკის იდენტიფიცირებას ახდენს სწორედ რეკონსტრუქციებული Track-ის წყვილის (დადებითი და უარყოფითი ელექტრონის Track-ი) მიხედვით.

1.4 ფიზიკური პროცესების მოდელირება

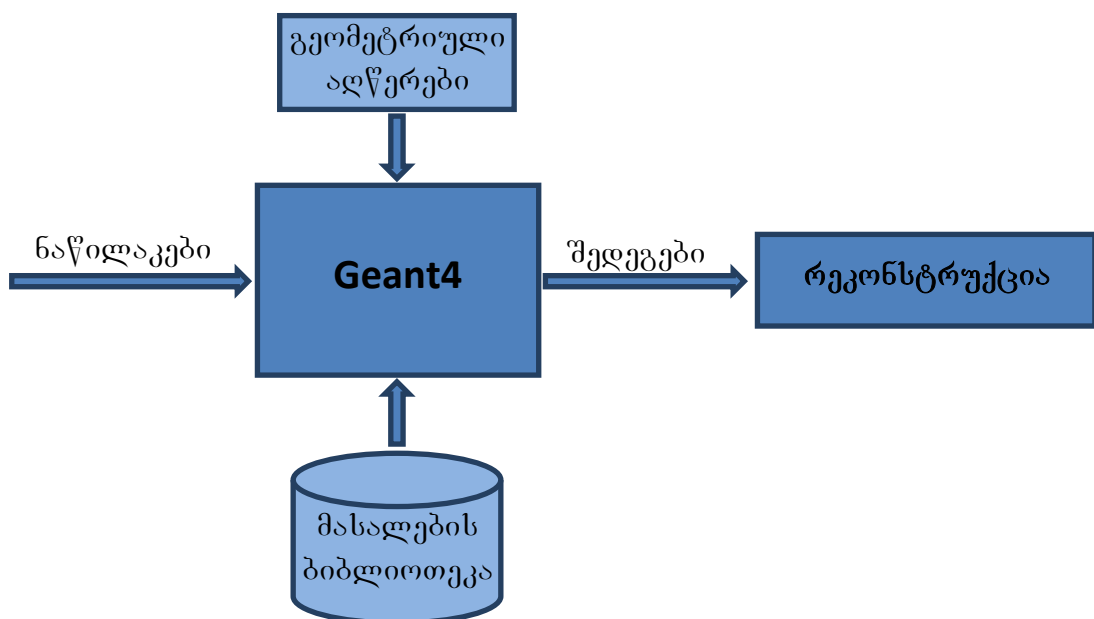
იმისათვის, რომ მოხდეს ელემენტარული ნაწილაკების წარმოქმნა და ATLAS-ის დეტექტორის მიერ მათი დაფიქსირება, თავდაპირველად ხორციელდება პროტონების აჩქარება ამაჩქარებლის საშუალებით. მას შემდეგ რაც მიიღწევა საჭირო ენერგია, ხდება პროტონების ნაკადის ერთმანეთთან დაჯახება ATLAS-ის დეტექტორის გეომეტრიულ ცენტრში (Z0). დაჯახების შედეგად წარმოიქმნება ელემენტარული ნაწილაკები, რომელიც ვრცელდება დეტექტორის ქვედეტექტორებში და ფიქსირდება მათი სხვადასხვა შრეების მიერ. ATLAS-ის დეტექტორის გეომეტრიულ ცენტრში ნაწილაკების დაჯახების და დაჯახების შედეგად ელემენტარული ნაწილაკების მიღების პროცესს ეწოდება Event-ი.

ამასთან ერთად, რეალური ექსპერიმენტის პარალელურად მიმდინარეობს აღნიშნული ექსპერიმენტის მოდელირების პროცესი. მოდელირების შედეგად მიღებული ინფორმაცია, რეალური

ექსპერიმენტიდან მიღებულ ბაიტების ნაკადთან ერთად, ქმნის Raw Data Object (RDO)–ს. ამრიგად, RDO წარმოადგენს ერთი მხრივ Atlas–ის დეტექტორიდან, ხოლო მეორე მხრივ გენერატორიდან მიღებულ და მოდელირებულ მონაცემების ერთობლიობას, რომელიც გამოიყენება რეკონსტრუქციის ამოცანების შესასრულებლად.

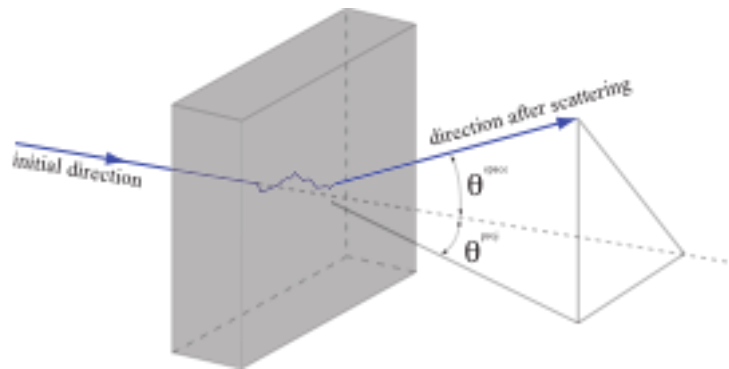
აღსანიშნავია, რომ მოდელირებისას არ წარმოებს ნაწილაკების აჩქარების პროცესის მოდელირება და ამ გზით event-ების გენერირება, არამედ მოდელირებისათვის საჭირო event-ები მიიღება event-ების გენერატორის საშუალებით, რისთვისაც გამოიყენება მონტე კარლოს (MC) ალგორითმები. MC მეთოდი ეს არის მატემატიკური გამოთვლითი ალგორითმი, რომელიც ეყრდნობა შემთხვევით ამორჩევის პრინციპს [11]. გენერატორის მიერ გენერირებული event-ები არის რეალური event-ების იდენტური.

Atlas–ის დეტექტორის მოდელირების პროგრამები დაფუძნებულია Geant3–ის მოდელირების პაკეტის გამოყენებაზე, რომელიც შემდეგ თანდათან განვითარდა და ჩამოყალიბდა ახალი მოდელირების პაკეტი Geant4 [12]. Geant4 არის პროგრამული პაკეტი, რომელიც უზრუნველყოფს გარკვეული მასალის მქონე ობიექტში ნაწილაკების გავლის პროცესის მოდელირებას.



ნახ. 6. Geant4 მოდელირების პროგრამული პაკეტის ფუნქციონირება

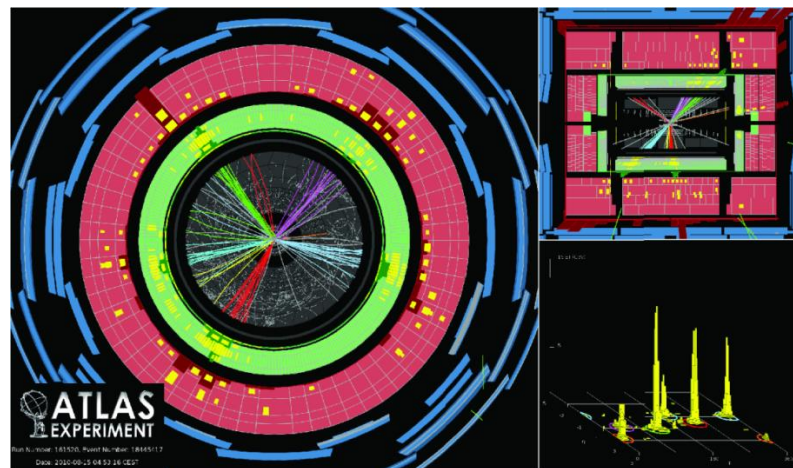
მაგალითად, როგორც ნახ.7.-ზეა ნაჩვენები, ნაწილაკი გეომეტრიულ პრიმიტივში გავლისას მის მასალასთან ურთიერთქმედების გამო იცვლის ტრაექტორიას. Geant4-ის საშუალებით შესაძლებელია აღნიშნული პროცესის მოდელირება და შესწავლა თუ რა შედეგი მიიღება მაგალითად იგივე ნაწილაკის სხვა მასალის მქონე გეომეტრიულ პრიმიტივში გავლის შედეგად.



ნახ. 7. ნაწილაკის გეომეტრიულ პრიმიტივში გავლის პროცესი

Geant4 არის ღია სისტემა, რაც მომხმარებელს საშუალებას აძლევს შექმნას და დაამატოს თავისი საკუთარი მეთოდები და კლასები.

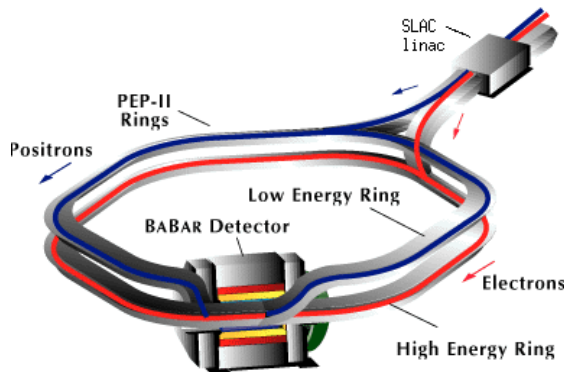
ATLAS-ის ექსპერიმენტში Geant4 ემსახურება ATLAS-ის დეტექტორის კომპონენტების გეომეტრიულ მოდელირებასა და event-ების გენერატორის მიერ გენერირებული ელემენტარული ნაწილაკების დეტექტორის ქვედეტექტორის სხვადასხვა შრეში გავლის პროცესის მოდელირებას, რის შედეგადაც მიიღება ინფორმაცია Hit (დეტექტორში ნაწილაკების გვლის ადგილი)-ების შესახებ.



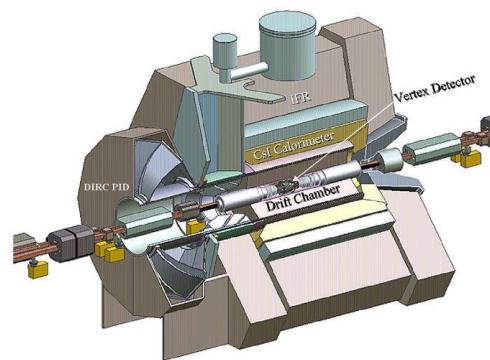
ნახ. 8. ნაწილაკების ATLAS-ის დეტექტორში გავრცელების პროცესის მოდელირება [13]

Geant4-ი გამოიყენება მაღალი ენერგიების ფიზიკის სხვადასხვა პროექტებში:

BaBar Experiment. ნაწილაკების ფიზიკის ექსპერიმენტი, რომლის შექმნის ძირითად მიზანს წამოადგენს ელემენტარული ნაწილაკების შესწავლით სამყაროს შესახებ ფუნდამენტალურ კითხვებზე პასუხის გაცემა, მაგალითად ისეთზე როგორიცაა: რა სხვაობა მატერიასა და ანტიმატერიას შორის [14].



ნახ. 10. PEP-II აჩქარებელი

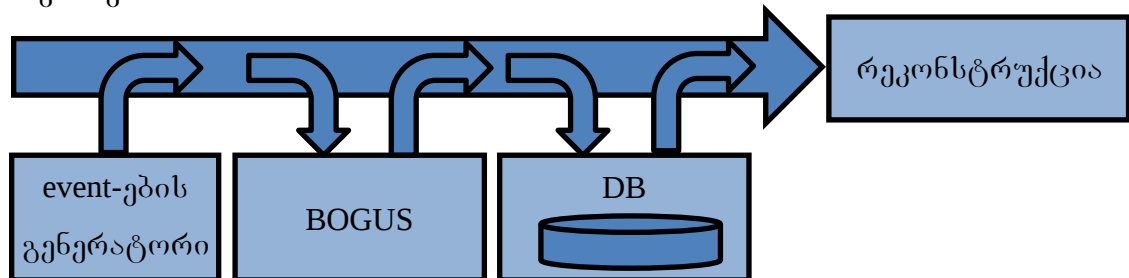


ნახ. 10. BaBar დეტექტორი

BaBar ექსპერიმენტი იყენებს ორ ამაჩქარებელს (ნახ.9): 1. SLAC ხაზოვანი ამაჩქარებელი (SLAC linac), სადაც ხდება ელექტრონების ან პოზიტრონების აჩქარება და გადასვლა PEP-II ამაჩქარებელში. 2. PEP-II, რომელიც შედგება ორი რგოლისაგან: მაღალი ენერგიის რგოლი (High Energy Ring) 9.0 GeV ელექტრონის სხივისათვის და დაბალი ენერგიის რგოლი (Low Energy Ring) 3.1 GeV პოზიტრონის სხივისათვის. აღნიშნული ნაწილაკები შესაბამის რგოლში მოძრაობენ ერთმანეთის საწინააღმდეგო მიმართულებით და ეჯახებიან ერთმანეთს იქ, სადაც BaBar დეტექტორია განთავსებული (ნახ.10). BaBar დეტექტორი ემსახურება ნაწილაკების დაჯახების შედეგად წარმოქმნილი დროებითი ნაწილაკების დაფიქსირებას.

BaBar ექსპერიმენტში მოდელირების პროცესი დაფუძნებულია Geant4-ის მოდულის - BOGUS (BaBar Object-oriented Geant4-based Unified Simulation)-ის გამოყენებაზე [15]. BOGUS-ის საშუალებით დეტექტორის გეომეტრია აღწერილია მარტივი გეომეტრიული პრიმიტივების, მასალებისა და Boolean (ლოგიკური) ოპერაციების გამოყენებით.

გარდა გეომეტრიული მოდელირებისა, Geant4-ის მოდულის ფუნქციას წარმოადგენს ფიზიკური პროცესების, კერძოდ კი ნაწილაკების დეტექტორის ქვედეტექტორებში გავლის პროცესის მოდელირება, რომლის საშუალებითაც მიიღება ინფორმაცია Hit-ების შესახებ.

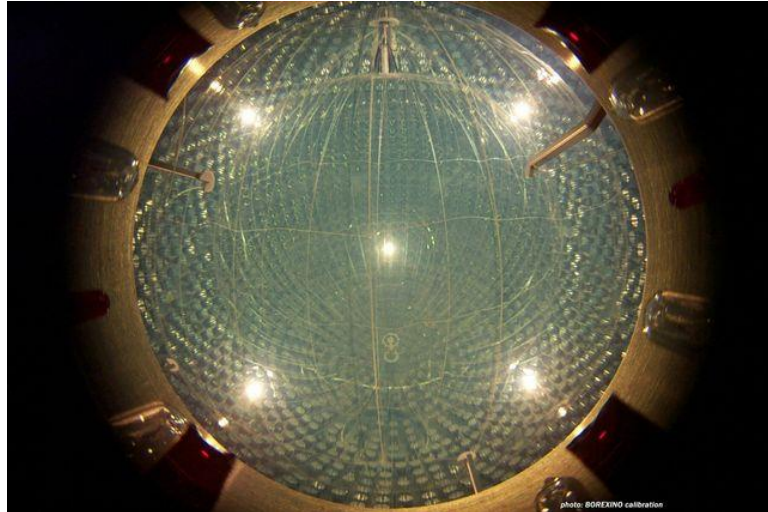


ნახ. 11. მოდელირების პროცესი BaBar ექსპერიმენტში

აღნიშნული მოდელირების პროცესისათვის საჭირო event-ების გენერირებას უზრუნველყოფს გენერატორი, რომელიც წარმოადგენს ე.წ. შემავალ ინფორმაციას მოდელირების პროცესისათვის (ნახ.11). მომდევნო ეტაპზე ხორციელდება ნაწილაკების დეტექტორის ქვედეტექტორებში გავლის მოდელირების პროცესი და მიღებული Hit-ების დაფიქსირება. შედეგად, მოდელირების პროცესის გამოსავლელზე მიღება მოდელირებული Hit-ების სია, რომელიც იგზავნება მონაცემთა ბაზაში და გამოიყენება რეკონსტრუქციის ამოცანის განსახორციელებლად.

Borexino. ნაწილაკების ფიზიკის ექსპერიმენტი, რომელიც Borexino-ს დეტექტორის საშუალებით რეალურ დროში შეისწავლის მზიდან მომავალ დაბალი ენერგიის მქონე ნეუტრინოებს [16]. კოსმოსური სხივების ნაკადის შესამცირებლად დეტექტორი განთავსებულია მიწის ქვეშ. ასევე, დეტექტორის შიდა კომპონენტებისათვის კიდევ ერთ დამცავ ფარს წარმოადგენს ულტრა-სუფთა წყალი, რომელიც დეტექტორს აკრავს გარშემო და იცავს მის შიდა კომპონენტებს ნეიტრონებისგან და გამა გამოსხივებისგან, რომელიც წარმოიქმნება ლაბორატორიის ქვის კედლებში რადიაქტიული დაშლის შედეგად.

Borexino-ს დეტექტორის ბირთვს წამოადგენს 300 ტონა თხევადი სკინტილატორი, რომელიც მოთავსებულია უჟანგავი ფოლადის სფეროში.

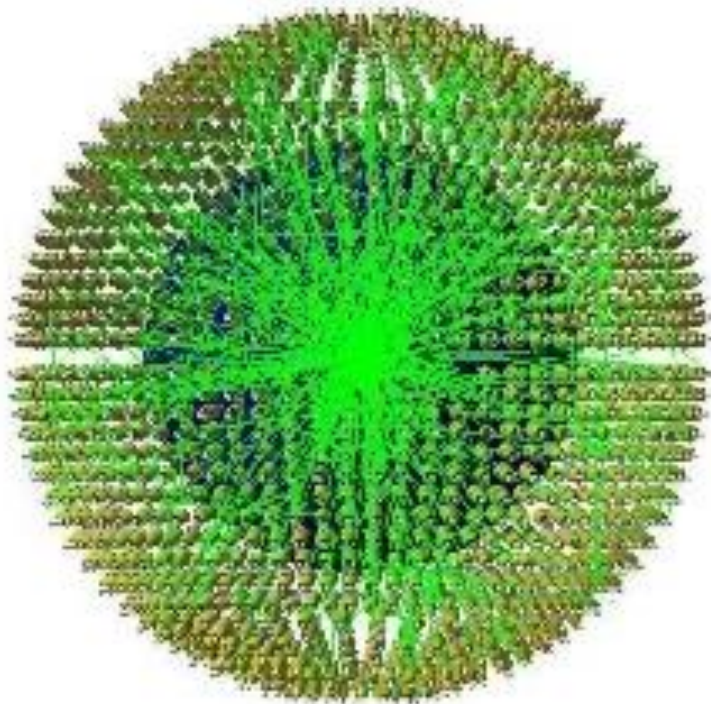


ნახ. 12. Borexino დეტექტორი

სკინტილატორის ელექტრონებთან ნეუტრინოს ურთიერთქმედების გამო წარმოიქმნება კაშკაშა სინათლე, რომელიც ფიქსირდება 20 სმ. დიამეტრის მქონე ფოტოელექტრონული გამამრავლებელი მილების მიერ.

გარდა ამისა, კოსმოგენური ნეუტრინოს და რადიოაქტიური იზოტოპების შესწავლა მიმდინარეობს სიმულაციის პროცესის საშუალებით, რომლისათვისაც გამოიყენება Geant4 სიმულაციის პაკეტი. სიმულაციიდან მიღებული მონაცემები დარდება რეალური ექსპერიმენტიდან მიღებულ მონაცემებთან. Geant4-ში დეტექტორის გეომეტრიული სტრუქტურა აღწერილია ისე, რომ მაქსიმალურადაა შენარჩუნებული დეტექტორის ზომები და თვისებები. ასევე გეომეტრიული სივრცეები შევსებულია შესაბამისი მასალებით მაგალითად ისეთით როგორიცაა წყალი და სკინტილატორი. იმისათვის, რომ მოხდეს სიმულაციის პროცესის აჩქარება, მიმდინარეობს დეტექტორის მხოლოდ იმ კომპონენტების მოდელირება, რომელიც უშუალოდ გამოიყენება ფიზიკური პროცესების მოდელირებისათვის.

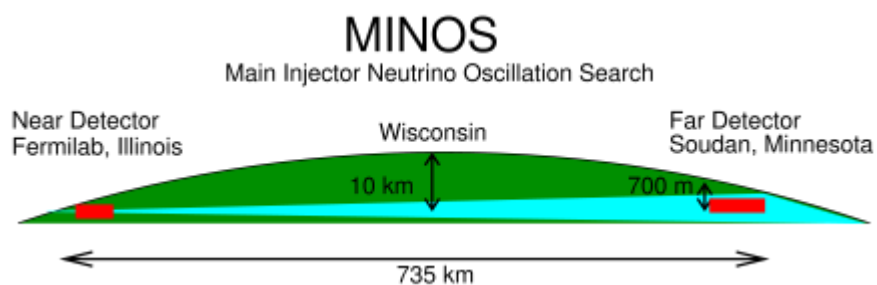
ისევე როგორც სხვა მაღალი ენერგიების ფიზიკის პროექტების შემთხვევაში Geant4, გარდა გეომეტრიული მოდელირებისა, ასევე უზრუნველყოფს ფიზიკური პროცესების მოდელირებას.



ნახ. 13. event-ის მოდელირება Borexino დეტექტორში

Borexino-ს ექსპერიმენტში Geant4 უზრუნველყოფს event-ების გენერირებას და მის მართვას დაწყებული მის წარმოქმნიდან იქამდე სანამ არ მოხდება მისი მიღება ან გასვლა დეტექტორის ქვედეტექტორების არეალიდან [17]. აღნიშნული მოდელირების პროცესის შედეგად მიღებული ინფორმაცია გამოიყენება რეკონსტრუქციის ამოცანის განსახორციელებლად.

MINOS Experiment (Main Injector Neutrino Oscillation Search). MINOS ექსპერიმენტის ძირითად მიზანს წამოადგენს ნეუტრინოს აღმოჩენა და შესწავლა [18]. MINOS ექსპერიმენტი მოიცავს ერთმანეთისგან 735 კმ-ის დაშორებით განთავსებულ ორ დეტექტორს: ახლო დეტექტორს (Near Detector), რომელიც განთავსებულია ფერმილაბში (ილინოისი, ამერიკა) და შორ დეტექტორს (Far Detector) (მინესოტა, ამერიკა).



ნახ. 14. MINOS ექსპერიმენტი

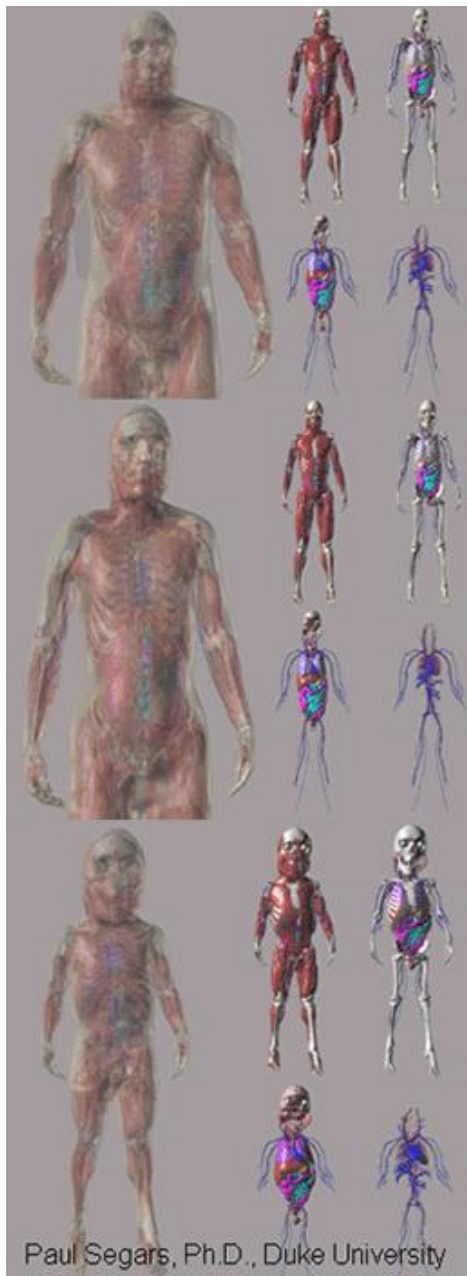
MINOS ექსპერიმენტი პროტონების ნაკადის აჩქარებისათვის იყენებს Main Injector ამაჩქარებელს. ამაჩქარებელში პროტონების კარბონთან ურთიერთქმედება წარმოქმნის მიზონებს (Meson – ნაწილაკი, რომელიც შედგება 1 კვარკისაგან და 1 ანტიკვარკისაქან). მომდევნო ეტაპზე მიზონები დამშლელ მილში (Decay Tunnel) მოძრაობის გამო იშლება მიონებად და ნეუტრინოებად. დამშლელი მილის ადრონული მშთანთქმელი (Hadron Absorber) ახდენს ნაწილაკების ნაკადში დარჩენილი პროტონებისა და მიზონების მოცილებას. მიღებული მიონები შეიწოვება Subsequent Earth Shield-ის მიერ, ხოლო დარჩენილი ნეუტრინოების ნაკადი აგრძელებს მოძრაობას MINOS-ის Near Detector-ისა და MINOS-ის Far Detector-ის მიმართულებით, რომელიც გამოიყენება ნეუტრონების დაფიქსირებისა და შესწავლისათვის.

MINOS ექსპერიმენტში მოდელირების პროცესი დაყოფილია ორ ფაზად [19]: პირველი ფაზა არის beamline (იგივე დეტექტორის ცენტრი-Z0) სისტემის და დეტექტორის კომპონენტების მოდელირება. ხოლო მეორე კი დეტექტორის ქვედეტექტორებში ნაწილაკების გავლისა და შედეგად მიღებული ენერგიის მოდელირება. აღნიშნული პროცესების მოდელირებისათვის გამოიყენება Geant4. აღსანიშნავია, რომ Geant4 არ გამოყენება ამაჩქარებელში პროტონების აჩქარების პროცესების მოდელირებისათვის. ამის ნაცვლად გამოიყენება GENIE გენერატორი, რომელიც ასრულებს იგივე ფუნქციას და უზრუნველყოფს ფიზიკური პროცესების მოდელირებისათვის საჭირო ივენთების გენერირებას. მომდევნო ეტაპზე Geant4 იყენებს აღნიშნული ივენთებიდან მიღებულ ნეუტრინოებს მათი დეტექტორის კომპონენტებში გავრცელებისათვის, შედეგად კი მიიღება ინფორმაცია Hit-ების შესახებ.

გარდა მაღალი ენერგიების ფიზიკის პროექტებისა, Geant4 ასევე გამოიყენება მედიცინაში. GATE (Geant4 Application for Tomographic Emission) არის Geant4-ის ღია პროგრამული უზრუნველყოფა, რომელიც დამუშავებულ იქნა საერთაშორისო OpenGATE კოლაბორაციის მიერ და გამოიყენება რენტგენოლოგიაში, რადიოთერაპიაში, სხივური ტომოგრაფიისა (Positron Emission Tomography - PET და Single Photon Emission

Computed Tomography - SPECT) და კომპიუტერული ტომოგრაფიაში (Computed Tomography-CT) [20].

თანამედროვე მედიცინის განვითარებამ, თავის მხრივ, განაპირობა შესაბამის დარგში პროგრამული უზრუნველყოფის განვითარების აუცილებლობა, რომელიც მოიცავს ინსტრუმენტებს ტესტირებისათვის,



ნახ. 15. XCAT სერიის ადამიანის მულაჟი. მაგალითის სახით წარმოდგენილია ზრდასრული ქალი (ზედა), ზრდასრული კაცისა (შუა) და 16 თვის ბიჭის (ქვედა) მულაჟები

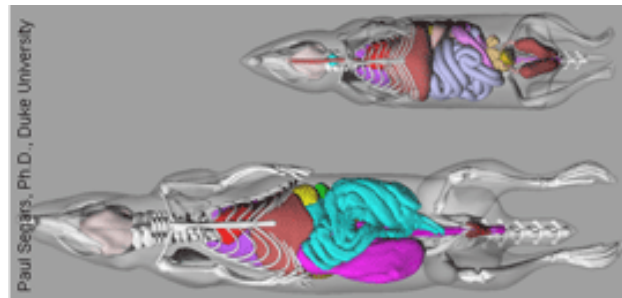
მიღებული შედეგების ანალიზისათვის და შედარებებისათვის [21]. მედიცინაში მოდელირების პროცესის აუცილებლობა განაპირობა იმ ფაქტმა, რომ რეალურ პაციენტებზე შეუძლებელია განხორციელდეს ყველა სახის კლინიკური ამოცანა და ტესტირება განსაკუთრებით კი რენტგენული სისტემების გამოყენების დროს, რადგანაც ამ დროს გამოყენებული რადიაციული გამოსხივება არის ძალიან მაღალი. ასევე, ფიზიკური მულაჟი გამოყენება არის შეზრუდული, რადგანაც ძალიან ძვირადღირებულია და მისი შექმნის დროს აუცილებელია პაციენტის ანატომიური და ფიზიოლოგიური პარამეტრების შენარჩუნება. აქედან გამომდინარე, ერთადერთ პრაქტიკულ მიდგომას წარმოადგენს რეალისტური კომპიუტერული მოდელირების განხორციელება.

მედიცინაში კომპიუტერული მოდელირება მოიცავს კომპიუტერული მულაჟებსა და ორგანიზმის ორგანოებისა და ქსოვილების ფუნქციონირების მოდელირების და ვიზუალიზაციის პროცესის.

კომპიუტერული მულაჟებში შენარჩუნებულია ობიექტის ანატომია და ფიზიოლოგიური პარამეტრები. აქედან გამომდინარე მულაჟები შეიძლება განხილულ იქნას როგორც ცოცხალი ობიექტები. იმისათვის, რომ მოხდეს ორგანიზმის ორგანოებისა და ქსოვილების ფუნქციონირების მოდელირება და ვიზუალიზაცია, საჭიროა მაღალი სიზუსტის მულაჟების არსებობა. დღესდრეობით მედიცინაში ფართოდ გამოიყენება პაულ სეგარსის (Paul Segars) მიერ შექმნილი Cardiac-Torso (XCAT), Mouse Whole-Body (MOBY) და Rat Whole-Body (ROBY) მულაჟები.

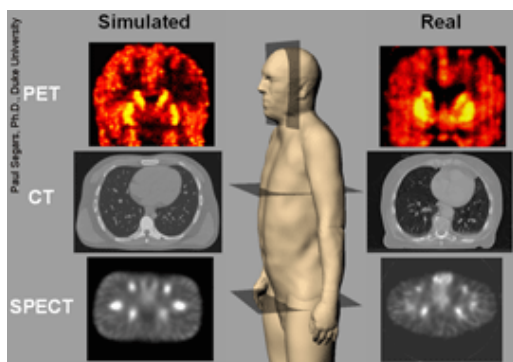
XCAT სერიის მულაჟები (ნახ.15.) შეიცავს ადამიანის სხეულის ანატომიურ ვარიაციებს სხვადასხვა ასაკისათვის, რომელიც წარმოადგენს ერთგვარ ვირტუალურ პაციენტს ორგანიზმის ფუნქციონირების მოდელირებისათვის.

MOBY და ROBY მულაჟები ასახავს ლაბორატორიის ანატომიურ მოდელს, რომელიც გამოიყენება პატარა ცხოველების ორგანიზმის ფუნქციონირების მოდელირებისათვის (ნახ.16.).

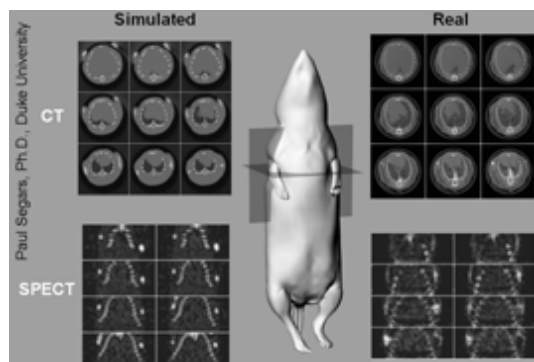


ნახ. 16. MOBY (ზედა) და ROBY (ქვედა) მულაჟები. თავის და ვირთხის ანატომიური მოდელები

აღნიშნული მულაჟების გამოყენებით შესაძლებელია განხორციელდეს ორგანიზმის ორგანოებისა და ქსოვილების ფუნქციონირების მოდელირებისა და მიღებული შედეგის ვიზუალიზაცია. იმის გათვალისწინებით, რომ მულაჟები არის მოქნილი, შესაძლებელია მათი ანატომიური პარამეტრების ცვლილება და შეცვლილ მულაჟებზე შესაბამისი ინფორმაციის გამოტანა.



ნახ. 17. რეალური გამოკვლევიდან და მოდელირების პროცესიდან მიღებული მონაცემები (საკვლევი ობიექტი: ადამიანი)



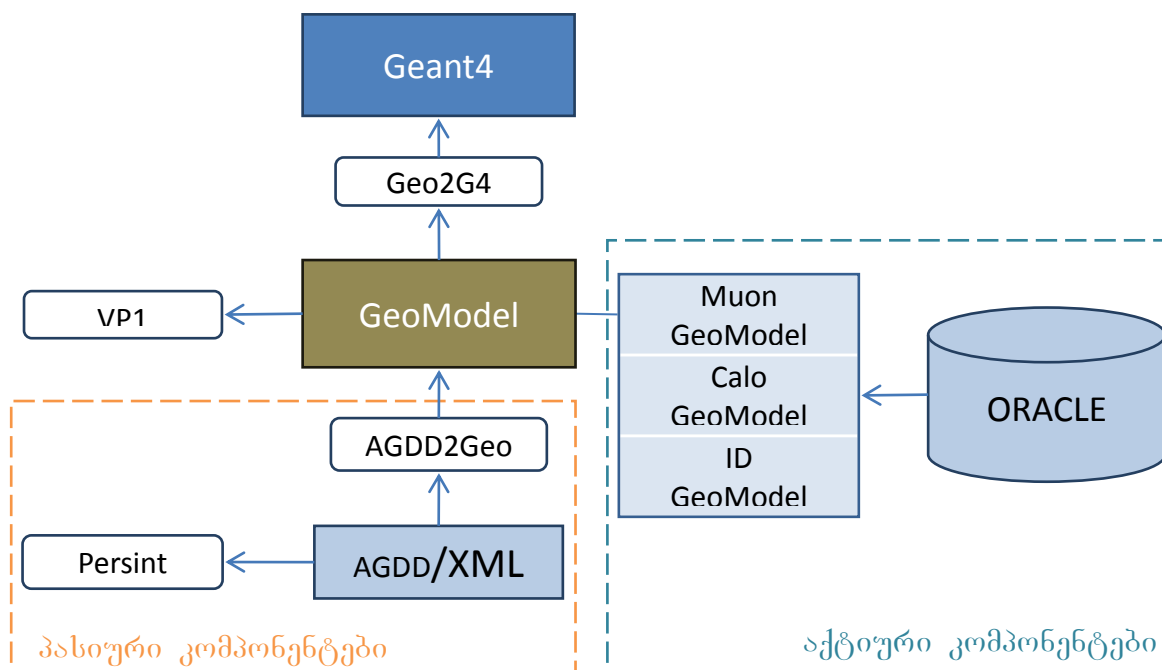
ნახ. 18. რეალური გამოკვლევიდან და მოდელირების პროცესიდან მიღებული მონაცემები (საკვლევი ობიექტი: თაგვი)

ნახ.17.-ზე ნახვენებია მაგალითი, როდესაც მიმდინარეობს რეალური პაციენტის გამოკვლევის შედეგად მიღებული მონაცემების შედარება მოდელირებიდან მიღებულ მონაცემებთან. აღნიშნულ მაგალითი ასახავს სხივური ტომოგრაფიითა (PET და SPECT) და კომპიუტერული ტომოგრაფიით (CT) გამოკვლეულ ზრდასრული კაცის სხეულის სხვადასხვა რეგიონიდან მიღებულ მონაცემს. ხოლო, ნახ.18. ასახავს რეალური კვლევიდან და MOBY მულაჟის გამოყენებით მიღებულ შედეგებს.

თავი II: ATLAS-ის დეტექტორის გეომეტრიული მოდელირება ფიზიკური პროცესების მოდელირების ამოცანებში

ATLAS-ის დეტექტორის გეომეტრიული მოდელირება დაფუძნებულია Geant4 მოდელირების პაკეტის გამოყენებაზე, რომელსაც გააჩნია საჭირო ინსტრუმენტები ATLAS-ის დეტექტორის კომპონენტების ზუსტი აღწერისათვის [22] [პარაგრაფი 2.1.].

იმისათვის, რომ Geant4-თვის მიღებულ იქნას დეტექტორის გეომეტრიული აღწერების ერთიანი ფორმატი, გამოიყენება GeoModel პროგრამული პაკეტი. თითოეული ქვედეტექტორის მოდელირება მიმდინარეობს GeoModel-ის კლასების საშუალებით, რომლებიც შეესაბამება Geant4-ის კლასებს [პარაგრაფი 2.2.]. ამრიგად, GeoModel-ი წარმოადგენს ერთგვარ რეზერვუარს, სადაც ხდება Geant4-თვის საჭირო მოდელირებული Atlas-ის დეტექტორის კომპონენტების თავმოყრა.



ნახ. 19. გეომეტრიული მოდელირების პლატფორმა ATLAS-ის
ექსპერიმენტისათვის

ფუნქციონალური დანიშნულების მიხედვით ATLAS-ის დეტექტორი დაყოფილია ორ ნაწილად: აქტიურ და პასიურ კომპონენტებად. აქტიურ კომპონენტებში მოიაზრება ATLAS-ის დეტექტორის ის კომპონენტები,

რომელიც უშუალოდ ემსახურებიან Z0-ში ნაწილაკების დაჯახების შედეგად წარმოქმნილი ელემენტარული ნაწილაკების დაფიქსირებას. ხოლო, პასიური კომპონენტები კი აერთიანებს ATLAS-ის დეტექტორის მექანიკურ სტრუქტურებს (მაგ. სერვისები, მიონური სისტემის პასიური კომპონენტები და ა.შ.). შესაბამისად, GeoModel-ში აღნიშნული კომპონენტების აღწერა ხდება სხვადასხვა გზით:

ATLAS-ის დეტექტორის აქტიური კომპონენტები აღწერილია C++ პროგრამული ენის საშუალებით უშუალოდ GeoModel-ში, რომელიც დაყოფილია სამ ნაწილად: Muon GeoModel, Calo GeoModel და ID GeoModel. მაგრამ აღსანიშნავია, რომ GeoModel-ში აღიწერება აღნიშნული კომპონენტების მხოლოდ სემატიკური ნაწილი, რიცხვითი პარამეტრების (მაგ. გეომეტრიული პრიმიტივების ზომები, გადაადგილებების და შემობრუნებების რიცხვითი მნიშვნელობები და ა.შ.) კი შენახულია Oracle-ის მონაცემთა ბაზაში. GeoModel-ის კოდის Geant4-ში კონვერტაციისათვის გამოიყენება Geo2G4 კონვერტორი. GeoModel-ში მოდელირებული გეომეტრიის ვიზუალიზაციისათვის გამოიყენება VP1 (Virtual Point 1), რომელიც ვიზუალიზაციისათვის იყენებს Qt ბიბლიოთეკას [23].

ATLAS-ის დეტექტორის პასიური კომპონენტები მოდელირებულია AGDD (ATLAS Generic Detector Description) პროგრამული ენის გამოყენებით და შენახულია XML ფორმატში [პარაგრაფი 2.3.]. AGDD კოდის GeoModel/C++-ში კონვერტაციისათვის გამოიყენება AGDD2Geo კონვერტორი, ხოლო ვიზუალიზაციისათვის კი პროგრამა PERSINT [24].

2.1 გეომეტრიული მოდელირების მეთოდი Geant4-ის ბაზაზე

გეომეტრიული მოდელი, რომელიც უნდა მომზადდეს მოდელირებისთვის, შეიძლება აღიწეროს სხვადასხვა მეთოდებით [25]: ნახევარსივრცული (Half Space), პრიმიტიული მყარი ტანის (Primitive solid), ბადური (Mesh), CAD მოდელი და ა.შ. მონტე კარლო გეომეტრიული მოდელირების პაკეტებში გეომეტრიის ზუსტი

მოდელირებისათვის ძირითად შემთხვევაში გამოიყენება კონსტრუქციული მყარი ტანის გეომეტრიული მეთოდი (Constructive Solid Geometry (CSG)), რომელიც მოიცავს ნახევარსივრცულ და პრიმიტიულ მყარი ტანის მეთოდებს. ნახევარსივრცულ მეთოდი სოლიდს აგებს ნახევარსივრცული ზედაპირების გამოყენებით, რომელიც მიიღება მათემატიკური განტოლებებით. პრიმიტიული მყარი ტანის მეთოდი სოლიდს აგებს Boolean ოპერაციებისა და პოზიციონირების და შემობრუნების ოპერაციების საშუალებით.

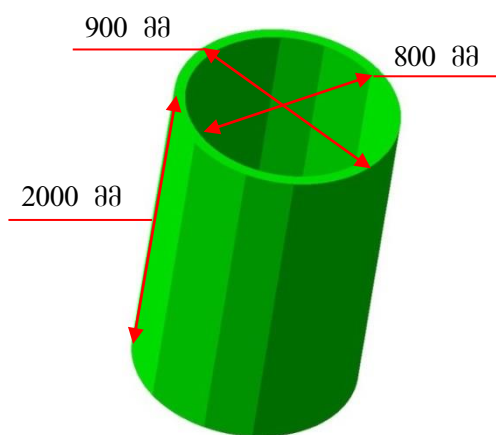
Geant4-ი გეომეტრიული მოდელირებისათვის იყენებს CSG მეთოდს. CSG-ის საშუალებით მყარი ტანის გეომეტრიული მოდელები აღიწერება სამგანზომილებიანი გეომეტრიული პრიმიტივების სახით [26]. შესაბამისად, Geant4-ში გეომეტრიული მოდელირება ხორციელდება აქ არსებული სტანდარტული პრიმიტივების გამოყენებით. CSG მეთოდის გამოყენებით გეომეტრიული მოდელების უპირატესობა მდგომარეობს იმაში, რომ რაიმე სახის გეომეტრიული ობიექტების აღწერისათვის მოითხოვება პრიმიტივის მინიმალური პარამეტრების ცოდნა. მაგალითად, Geant4-ში ცილინდრული ობიექტის აგება შესაძლებელია Tube მეთოდის გამოყენებით, რისთვისაც საჭიროა მისი შიდა და გარე რადიუსების, Tube-ის სიგრძისა და რკალის დაწყებისა და დასრულების კუთხის ცოდნა. Tube-ის შესაქმნელად გამოიყენება კონსტრუქტორი, რომელიც აღიწერება შემდეგი სახით:

```
G4Tubs(const G4String& pName, G4double pRmin,
G4double pRmax, G4double pDz, G4double pSPhi, G4double
pDPhi);
```

სადაც pName არის გეომეტრიის სახელი, pRmin–Tube-ის შიდა რადიუსი, pRmax–Tube-ის გარე რადიუსი, pDz–Tube-ის ნახევარი სიგრძე, pSPhi და pDPhi კი შესაბამისად Tube-ის რკალის დაწყებისა და დასრულების კუთხე. მაგალითად:

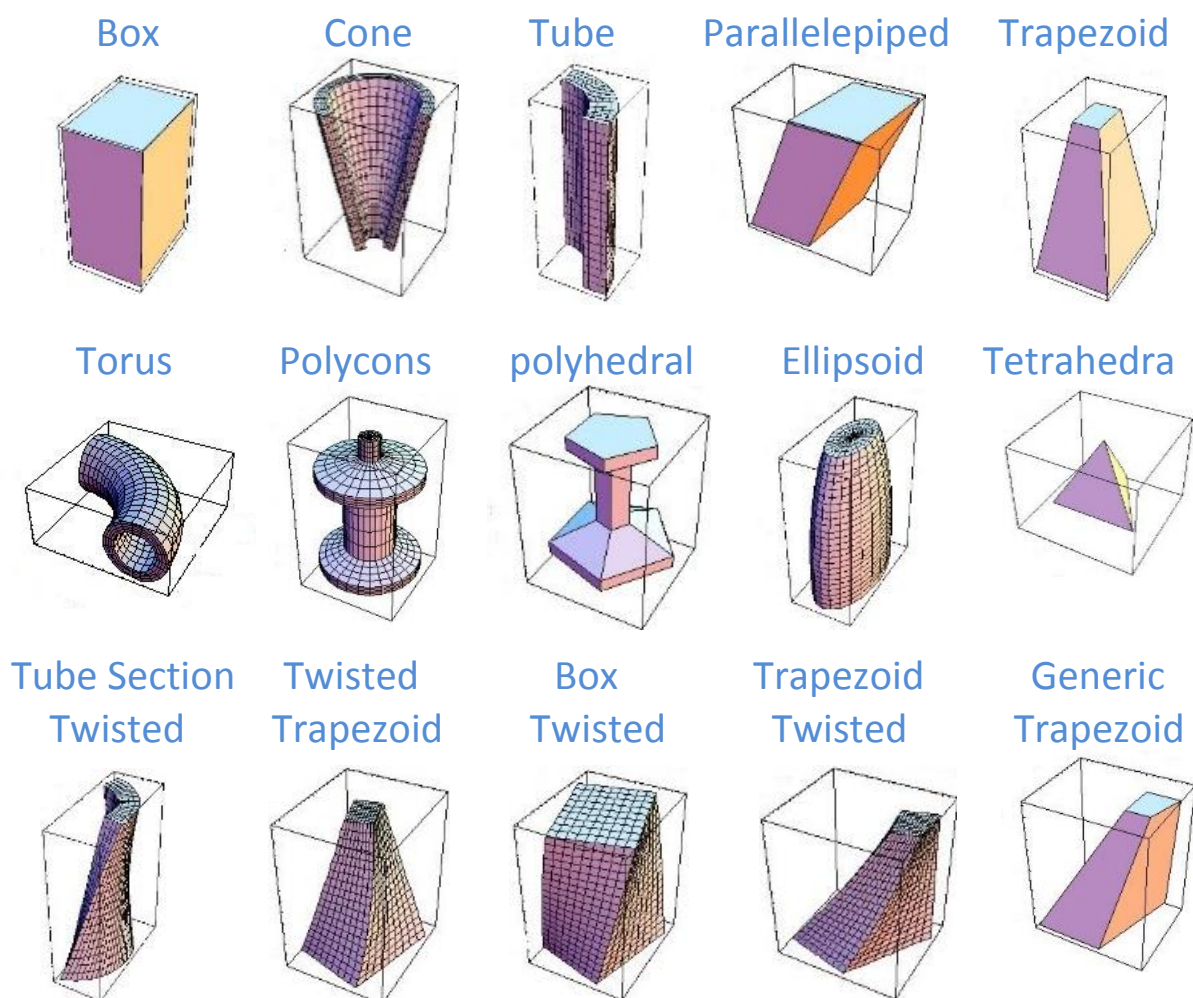
```
G4Tubs *Test_Tubs = new G4Tubs ("Test_Tubs", 400*mm,
450*mm, 1000*mm, 0., 360*deg);
```

ამ შემთხვევაში მიღებულ პრიმიტივს ექნება შემდეგი სახე:

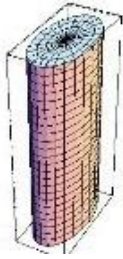


ნახ. 20. Geant4-ში მოდელირებული ცილინდრული ობიექტი

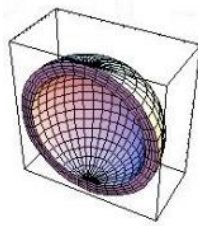
გარდა Tube მეთოდისა, Geant4-ი გეომეტრიული მოდელირებისათვის იყენებს შემდეგი სახის პრიმიტივებს:



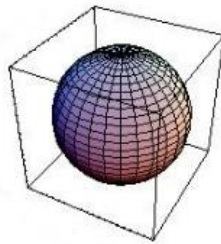
Tube with an
Elliptical Cross
Section



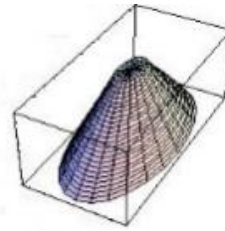
Spherical
Shell Section



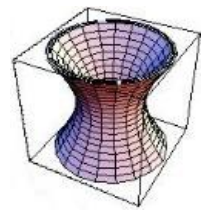
Solid Sphere



Cone with an
Elliptical Cross
Section



Tube with an
Hyperbolic
Profile



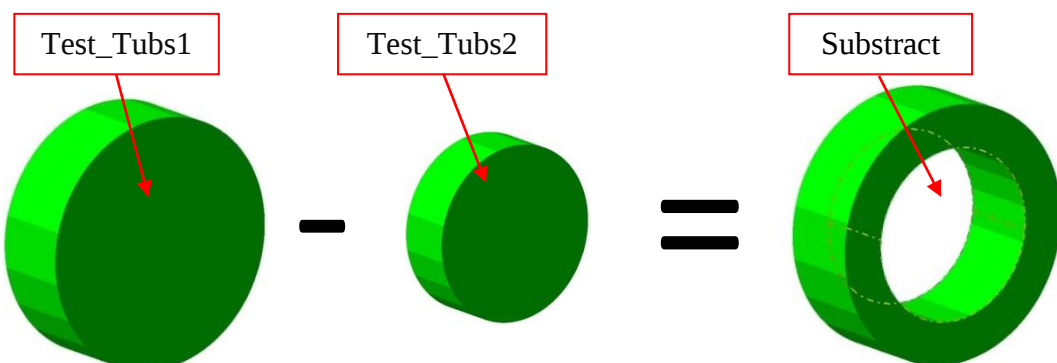
ნახ. 21. Geant4-ში არსებული სტანდარტული პრიმიტივები

გარდა სტანდარტული პრიმიტივებისა, ასევე შესაძლებელია შედარებით რთული გეომეტრიული ობიექტების მოდელირება Boolean ოპერაციების საშუალებით. Geant4-ი იყენებს სამი სახის ლოგიკურ ოპერაციას: Subtraction (ჭრა), Union (გაერთიანება) და Intersection (თანაკვეთა).

Subtraction Boolean ოპერაციის საშუალებით შესაძლებელია ერთი ობიექტის ჭრა მეორე ობიექტის საშუალებით. მაგალითად:

```
- G4Tubs *Test_Tubs1 = new G4Tubs ("Test_Tubs1", 0*mm,
    450*mm, 300*mm, 0., 360*deg);
- G4Tubs *Test_Tubs2 = new G4Tubs ("Test_Tubs2", 0*mm,
    300*mm, 300*mm, 0., 360*deg);
- G4VSolid *Test_Substr = new
    G4SubtractionSolid("Test_Substr", Test_Tubs1,
    Test_Tubs2);
```

ამ შემთხვევაში მიღებულ გეომეტრიას ექნება შემდეგი სახე:

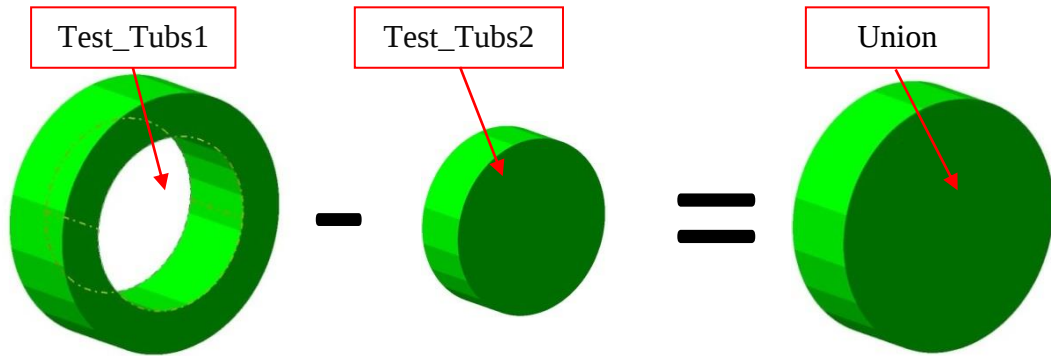


ნახ. 22. Subtraction Boolean ოპერაციის მაგალითი

Union Boolean ოპერაციის გამოყენებისათვის შესაძლებელია ორი ობიექტის გაერთიანება. მაგალითად:

- `G4Tubs *Test_Tubs1 = new G4Tubs ("Test_Tubs1", 300*mm, 450*mm, 300*mm, 0., 360*deg);`
- `G4Tubs *Test_Tubs2 = new G4Tubs ("Test_Tubs2", 0*mm, 300*mm, 300*mm, 0., 360*deg);`
- `G4VSolid *Test_Union = new G4UnionSolid("Test_Union", Test_Tubs1, Test_Tubs2);`

ამ შემთხვევაში მიღებულ გეომეტრიას ექნება შემდეგი სახე:

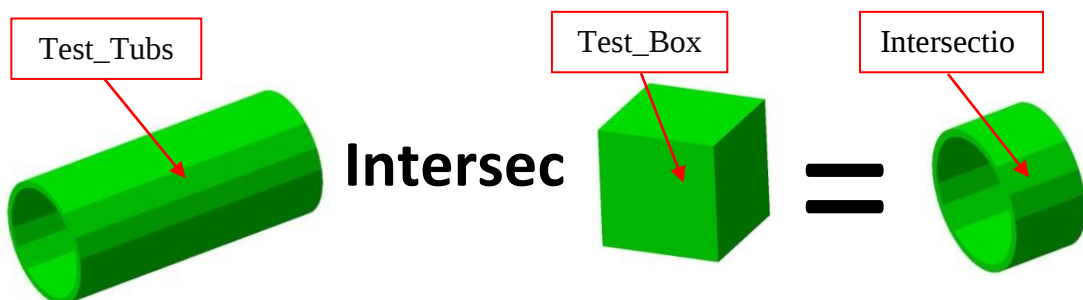


ნახ. 23. Union Boolean ოპერაციის მაგალითი

Intersection Boolean გამოყენებისას რჩება გეომეტრიული პრიმიტივის მხოლოდ ის ნაწილი, რომელსაც მეორე გეომეტრიული პრიმიტივი ფარავს. მაგალითად:

- `G4Tubs *Test_Tubs = new G4Tubs ("Test_Tubs", 400*mm, 450*mm, 1000*mm, 0., 360*deg);`
- `G4Box *Test_Box = new G4Box ("Test_Box", 500*mm, 500*mm, 300*mm);`
- `G4VSolid *Test_Intersection = new G4IntersectionSolid("Test_Intersection", Test_Tubs, Test_Box);`

ამ შემთხვევაში მიღებულ გეომეტრიას ექნება შემდეგი სახე:



ნახ. 24. Intersection Boolean ოპერაციის მაგალითი

Geant4-ში შესაძლებელია კოორდინატთა ღერძის მიმართ გეომეტრიის შემობრუნება რისთვისაც გამოიყენება `G4RotationMatrix` ფუნქცია. შემობრუნება შეიძლება განხორციელდეს:

➤ ერთი კონკრეტული ღერძის მიმართ (X, Y ან Z):

```
G4RotationMatrix *rm = new G4RotationMatrix;
rm -> rotateX(45*deg);
```

ამ შემთხვევაში შემოტრიალება მიმდინარეობს X ღერძის მიმართ;

➤ ორი ღერძის მიმართ:

```
G4RotationMatrix *rm = new G4RotationMatrix;
rm -> rotateX(45*deg);
```

ამ შემთხვევაში შემოტრიალება მიმდინარეობს ჯერ X ღერძის მიმართ,

```
rm -> rotateY(45*deg);
```

შემდეგ კი Y-ღერძის მიმართ.

➤ განსაზღვრული ვექტორით:

```
G4RotationMatrix *rm = new G4RotationMatrix;
rm -> rotate(45*deg, Hep3Vector(1.,1.,1.));
```

გარდა შემობრუნებისა, Geant4-ი იძლევა საშუალებას მოვასდინოთ შექმნილი გეომეტრიის გადაადგილება, რომელიც აღიწერება შემდეგნაირად:

```
G4TreeVector Test (posX, posY, posZ);
```

სადაც posX, posY და posZ წარმოადგენს მნიშვნელობებს რომელიც მიუთითებს თუ რა მანძილით უნდა გადაადგილდეს ობიექტი შესაბამისად X, Y და Z – ის ღერძების გასწვრივ.

Geant4-ში ასევე შესაძლებელია გეომეტრიისათვის რაიმე სახის მასალის მინიჭება. მაგალითად, Geant4-ში შეიძლება აღიწეროს მასალა, რომელსაც მინიჭებული ექნება სახელი, სიმკვრივე, მოლური მასა და ატომების რაოდენობა:

```
G4double density=1.390*g/cm3;
G4double a=39.95*g/mole;
G4double z=18.;
G4String name;
...
G4Material* MAT = new G4Material(name="Liquid Argon",
z, a, density);
```

შედეგად, მიღებული მასალა (სახელით MAT) შეიძლება მინიჭებული იქნას რომელიმე პრიმიტივს.

2.2 გეომეტრიული მოდელირების მეთოდი GeoModel-ის ბაზაზე

გარდა Geant4-ისა, გეომეტრიის მოდელირებისათვის გამოიყენება GeoModel მოდელირების პაკეტი. აქ განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა მონაცემთა ოპტიმიზაციას, რადგან მიღწეულ იქნას ძალიან რთული გეომეტრიის მქონე Atlas-ის დეტექტორის კომპონენტების აღწერა, რაც შეიძლება მინიმალური მეხსიერების მოხმარებით [27]. ამის გათვალისწინებით მას გააჩნია სრულყოფილი მექანიზმი მთელი Atlas-ის დეტექტორის გეომეტრიული აღწერისათვის ისე, რომ მეხსიერების მოხმარება მინიმუმამდე არის დაყვანილი.

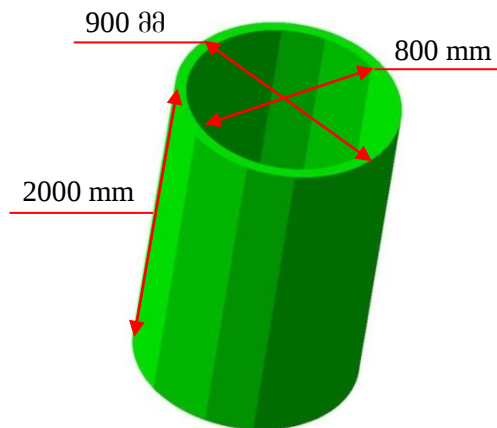
რადგანაც Geant4-ში მოხვედრამდე Atlas-ის დეტექტორის კომპონენტების თავს იყრის GeoModel-ში და შემდეგ ხდება აქ მოდელირებული გეომეტრიის კონვერტაცია Geant4-ში, ამიტომ GeoModel-ის კლასები შეესაბამება Geant4-ში გამოყენებულ კლასებს. შესაბამისად, GeoModel-ში გეომეტრიის არწერისათვის გამოიყენება ისეთივე მეთოდი (CSG) როგორიც Geant4-ში, რაც გულისხმობს გეომეტრიული ობიექტების დაპროგრამებას სტანდარტული მყარი ტანის მქონე პრიმიტივების გამოყენებით. მაგალითად, GeoModel-ში ცილინდრული ობიექტი შეიძლება აღიწეროს Tube Section მეთოდის გამოყენებით, რისთვისაც საჭიროა მისი შიდა და გარე რადიუსების, ცილინდრული ობიექტის ნახევარი სიგრძისა და რკალის დაწყებისა და დასრულების კუთხის ცოდნა. Tube Section-ის შესაქმნელად გამოიყენება კონსტრუქტორი, რომელიც აღიწერება შემდეგი სახით:

```
GeoTubs (double pRmin, double pRmax, double pDz,  
double pSPhi, double pDPhi);
```

სადაც pRmin არის ცილინდრული ობიექტის შიდა რადიუსი, pRmax–გარე რადიუსი, pDz–ცილინდრული ობიექტის ნახევარი სიგრძე, pSPhi და pDPhi შესაბამისად ცილინდრული ობიექტის რკალის დაწყების და დასრულების კუთხე. მაგალითად:

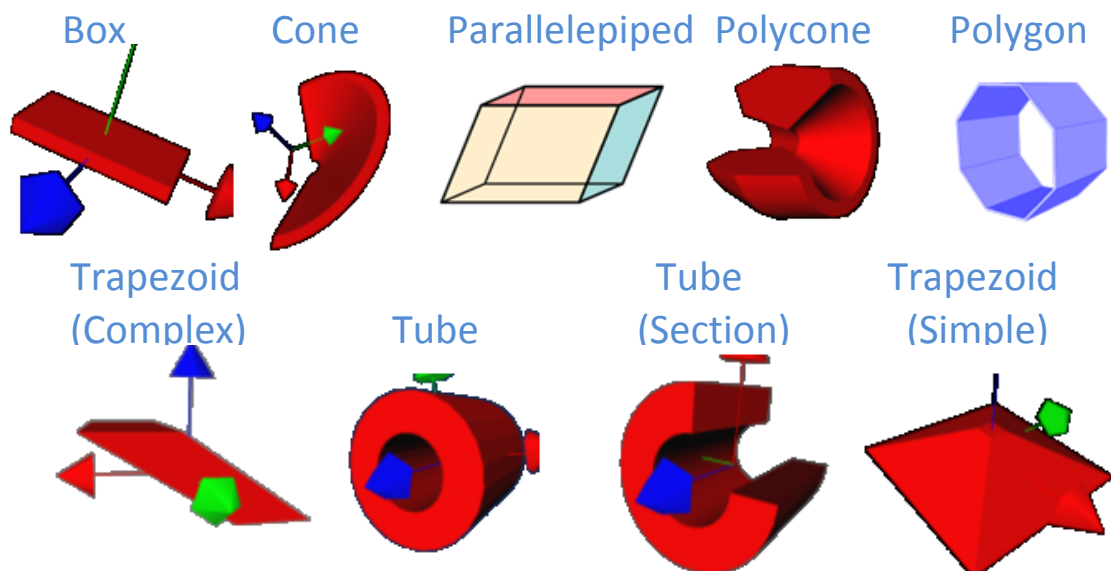
```
GeoTubs *Test_Tubs = new GeoTubs (400*mm, 450*mm,  
1000*mm, 0., 360*degree);
```

ამ შემთხვევაში მიღებულ გეომეტრიას ექნება შემდეგი სახე:



ნახ. 25. GeoModel-ში მოდელირებული ცილინდრული ობიექტი

გარდა Tube Section მეთოდისა, GeoModel-ი გეომეტრიული მოდელირებისათვის იყენებს შემდეგი სახის პრიმიტივებს:



ნახ. 26. GeoModel-ში არსებული სტანდარტული პრიმიტივები

გარდა სტანდარტული პრიმიტივებისა, ასევე შესაძლებელია რთული გეომეტრიული ობიექტების მოდელირება Boolean ოპერაციის საშუალებით. GeoModel-ი იყენებს სამი სახის Boolean ოპერაციას: Subtraction (ჭრა), Union (გაერთიანება) და Intersection (თანაკვეთა).

Subtract Boolean ოპერაციის საშუალებით შესაძლებელია ერთი ობიექტის ჭრა მეორე ობიექტის საშუალებით. მაგალითად:

- `GeoTubs *Test_Tubs1 = new GeoTubs ("Test_Tubs1", 0*mm, 450*mm, 300*mm, 0., 360*degree);`
- `GeoTubs *Test_Tubs2 = new GeoTubs ("Test_Tubs", 0*mm, 300*mm, 300*mm, 0., 360*degree);`

```
- const GeoShapeSubtract& Test_Subtract = Test_Tubs1-
>add(*Test_Tubs2);
```

შედგად, მიიღება ნახ.22.-ზე მოცემული გეომეტრიული ობიექტი.

Union Boolean ოპერაციის გამოყენებით შესაძლებელია ორი ობიექტის გაერთიანება. მაგალითად:

```
- GeoTubs *Test_Tubs1 = new GeoTubs ("Test_Tubs1",
300*mm, 450*mm, 300*mm, 0., 360*degree);
- GeoTubs *Test_Tubs2 = new GeoTubs ("Test_Tubs",
0*mm, 300*mm, 300*mm, 0., 360*degree);
- const GeoShapeUnion& Test_Union = Test_Tubs1-
>add(*Test_Tubs2);
```

ამ შემთხვევაში მიღებული გეომეტრიული ობიექტი იქნება ისეთივე, როგორც ნახ.23.-ზეა ნაჩვენები.

Intersection Boolean ოპერაციის გამოყენებისას რჩება პირველი გეომეტრიული პრიმიტივის მხოლოდ ის ნაწილი, რომელსაც მეორე გეომეტრიული პრიმიტივე ფარავს.

```
- G4Tubs *Test_Tubs = new G4Tubs ("Test_Tubs", 400*mm,
450*mm, 1000*mm, 0., 360*deg);
- G4Box *Test_Box = new G4Box ("Test_Box", 500*mm,
500*mm, 300*mm);
- const GeoShape& Test_Intersection = Test_Tubs-
>intersect(*Test_Box);
```

შედგად, მიიღება ნახ.24.-ზე მოცემული გეომეტრიული ობიექტი.

GeoModel-ში შესაძლებელია კოორდინატთა ღერძის მიმართ გეომეტრიის შემობრუნება. შემობრუნება შეიძლება განხორციელდეს:

➤ ერთი კონკრეტული ღერძის მიმართ (X, Y ან Z):

```
HepTransform3D Rot=HepRotateX3D(45*degree);
```

ამ შემთხვევაში შემოტრიალება მიმდინარეობს X ღერძის მიმართ;

➤ ორი ღერძის მიმართ:

```
HepTransform3D Rot=HepRotateX3D(45*degree) *
HepRotateY3D(90*degree);
```

ამ შემთხვევაში შემოტრიალება მიმდინარეობს X და Y ღერძების მიმართ.

განსაზღვრული ვექტორით:

```
HepTransform3D Rot=HepRotate3D(1.5, HepVector3D
(1*mm, 0*mm, 0*mm));
```

გარდა შემობრუნებისა, GeoModel-ი იძლევა საშუალებას მოვახდინოთ შექმნილი გეომეტრიის გადაადგილება, რომელიც აღიწერება შემდეგნაირად:

```
HepTransform3D Tr = HepTranslate(posX*mm, posY*mm, posZ*mm);
```

სადაც posX, posY და posZ წარმოადგენს მნიშვნელობებს რომელიც მიუთითებს თუ რა მანძილით უნდა გადაადგილდეს ობიექტი შესაბამისად X, Y და Z – ის ღერძების გასწვრივ.

GeoModel-ში ასევე შესაძლებელი გეომეტრიული ობიექტისათვის რაიმე მასალის მინიჭება. მასალის აღწერისათვის გამოიყენება ორი სახის კლასი:

1. GeoMaterial-ში ხდება მასალის სახელისა და სიმკვრივის მინიჭება. იგი აღიწერება შემდეგნაირად:

```
GeoMaterial (const std::string &Name, double Density);
```

სადაც Name არის სახელი, ხოლო Density კი სიმკვრივე;

2. GeoElement-ში ხდება მასალის შემადგენელი ელემენტის სახელის, ქიმიურ სიმბოლოს, ატომების რაოდენობისა და მასის მითითება. იგი აღიწერება შემდეგნაირად:

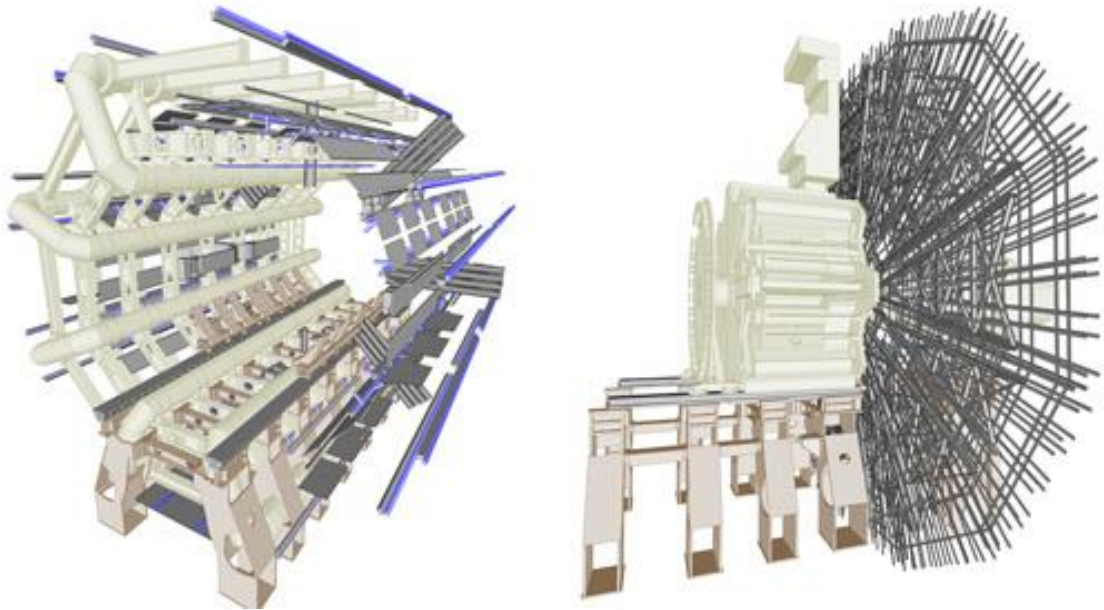
```
GeoElement (const std::string & Name, const std::string & Symbol, double Z, double A);
```

სადაც Name არის ელემენტის სახელი, Symbol-ქიმიური სიმბოლო, Z-ატომების რაოდენობა და A-მასა;

2.3 გეომეტრიული მოდელირების მეთოდი AGDD-ის ბაზაზე

AGDD არის პროგრამირების ენა, რომელიც შეიქმნა ATLAS-ის მოდელირების ჯგუფის მიერ სპეციალურად ATLAS-ის დეტექტორის პასიური კომპონენტების მოდელირებისათვის [22].

ისევე როგორც Geant4-ისა და GeoModel-ის შემთხვევაში, AGDD-ში გეომეტრიული მოდელირება ხორციელდება CSG მეთოდით, სტანდარტული მყარი ტანის გეომეტრიული პრიმიტივების გამოყენებით.



ნახ. 27. AGDD-ში მოდელირებული ATLAS-ის დეტექტორის მიონური სისტემის პასიური კომპონენტები

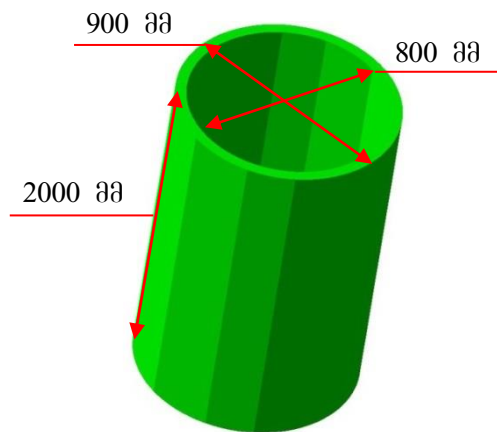
მაგალითად, AGDD-ში ცილინდრული ობიექტი შეიძლება აღიწეროს Tubs მეთოდის გამოყენებით, რისთვისაც საჭიროა მისი შიდა და გარე რადიუსების, ცილინდრული ობიექტის სიგრძისა და რკალის დაწყებისა და დასრულების კუთხის ცოდნა. Tubs-ის შესაქმნელად გამოიყენება კონსტრუქტორი, რომელიც აღიწერება შემდეგი სახით:

```
<tubs name="Tube" material="Iron" Rio_Z="pRmin;  
pRmax; pDz" profile=" pSPhi; pDPhi"/>
```

სადაც “Tube” არის ცილინდრული ობიექტის სახელი, “Iron”-მასალა, pRmin-ცილინდრული ობიექტის შიდა რადიუსი, pRmax-გარე რადიუსი, pDz-ცილინდრული ობიექტის სიგრძე, pSPhi და pDPhi შესაბამისად ცილინდრული ობიექტის რკალის დაწყების და დასრულების კუთხე. მაგალითად:

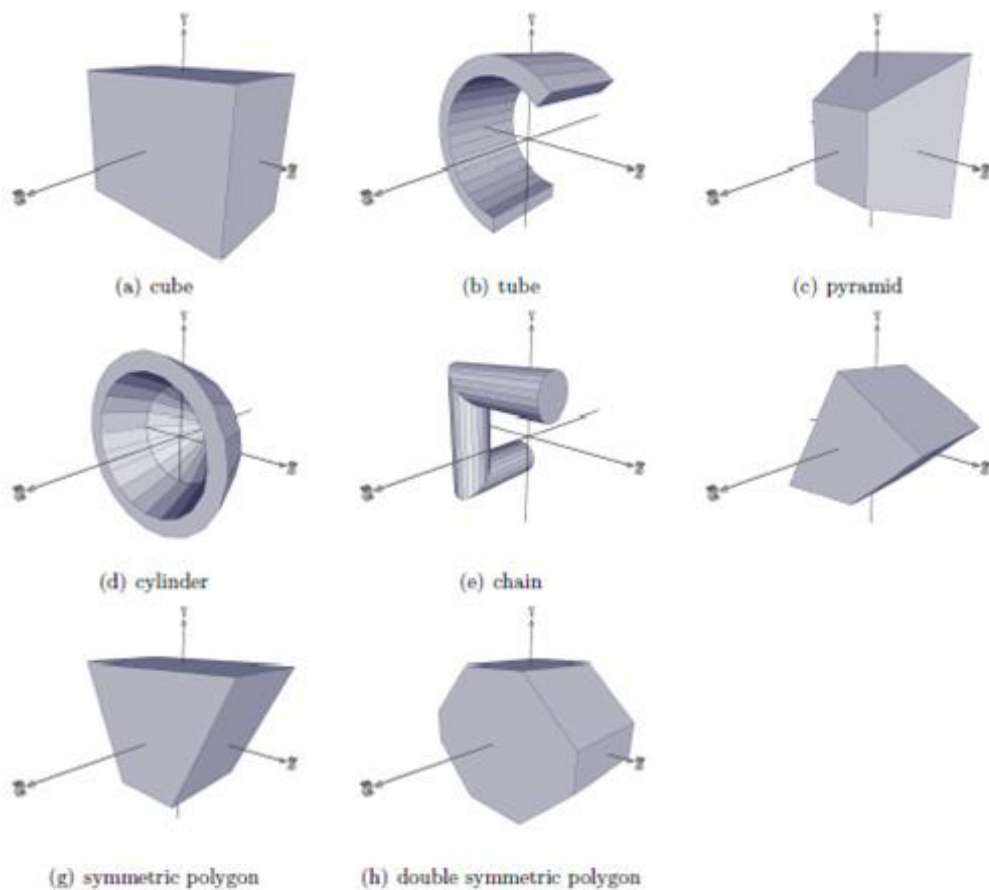
```
<tubs name="Tube" material="Iron" Rio_Z="400.; 450.;  
1000." profile="0.;360." />
```

ამ შემთხვევაში მიღებულ გეომეტრიას ექნება შემდეგი სახე:



ნახ. 28. AGDD-ში მოდელირებული ცილინდრული ობიექტი

გარდა Tubs მეთოდისა, AGDD გეომეტრიული მოდელირებისათვის იყენებს შემდეგი სახის პრიმიტივებს:



ნახ. 29. AGDD-ში არსებული სტანდარტული პრიმიტივები

გარდა სტანდარტული პრიმიტივებისა, ასევე შესაძლებელია რთული გეომეტრიული ობიექტების მოდელირება Boolean (ლოგიკური) ოპერაციის საშუალებით. AGDD-ი იყენებს სამი სახის Boolean

ოპერაციას: Subtraction (ჭრა), Union (გაერთიანება) და Intersection (თანაკვეთა).

Subtract Boolean ოპერაციის საშუალებით შესაძლებელია ერთი ობიექტის ჭრა მეორე ობიექტის საშუალებით. მაგალითად:

```
- <tubs name="Tubel" material="Iron" Rio_Z="0.; 450.;  
600." profile="0.;360." />  
- <tubs name="Tube2" material="Iron" Rio_Z="0.; 300.;  
600." profile="0.;360." />  
- <subtraction name="Subtraction" >  
    <posXYZ volume=" Tube1"/>  
    <posXYZ volume=" Tube2"/>  
</subtraction>
```

შედეგად, მიიღება ნახ.22.-ზე მოცემული გეომეტრიული ობიექტი.

Union Boolean ოპერაციის გამოყენებით შესაძლებელია ორი ობიექტის გაერთიანება. მაგალითად:

```
- <tubs name="Tubel" material="Iron" Rio_Z="300.;  
450.; 600." profile="0.;360." />  
- <tubs name="Tube2" material="Iron" Rio_Z="0.; 300.;  
600." profile="0.;360." />  
- <union name="union" >  
    <posXYZ volume=" Tube1" />  
    <posXYZ volume=" Tube2"/>  
</union>
```

ამ შემთხვევაში მიღებული გეომეტრიული ობიექტი იქნება ისეთივე, როგორც ნახ.23.-ზეა ნაჩვენები.

Intersection Boolean ოპერაციის გამოყენებისას რჩება პირველი გეომეტრიული პრიმიტივის მხოლოდ ის ნაწილი, რომელსაც მეორე გეომეტრიული პრიმიტივე ფარავს.

```
- <tubs name="Tubel" material="Iron" Rio_Z="400.;  
450.; 2000." profile="0.;360." />  
- <box name="Box" material="Aluminium" X_Y_Z="1000.;  
1000.; 600."/>  
- <intersection name="Hybrid" >  
    <posXYZ volume=" Tube1" />  
    <posXYZ volume=" Tube2" />  
</intersection>
```

შედეგად, მიიღება ნახ.24.-ზე მოცემული გეომეტრიული ობიექტი.

AGDD-ში შესაძლებელია კოორდინატთა ღერძის მიმართ გეომეტრიის შემობრუნება, რისთვისაც გამოიყენება შემდეგი ფუნქცია:

```
<posXYZ volume="Box" rot="XRot; YRot; ZRot"/>
```

სადაც Box შემოსაბრუნებელი გეომეტრიული პრიმიტივის სახელია, ხოლო XRot, YRot და ZRot შესაბამისად X, Y და Z ღერძების მიმართ შემობრუნების კუთხის მნიშვნელობები.

გარდა შემობრუნებისა, AGDD საშუალებას იძლევა მოვახდინოთ შექმნილი გეომეტრიის გადაადგილება, რომელიც აღიწერება შემდეგნაირად:

```
<posXYZ volume="Box" X_Y_Z="posX; posY; posZ"/>
```

სადაც Box შემოსაბრუნებელი გეომეტრიული პრიმიტივის სახელია, ხოლო posX, posY და posZ წარმოადგენს მნიშვნელობებს რომელიც მიუთითებს თუ რა მანძილით უნდა გადაადგილდეს ობიექტი შესაბამისად X, Y და Z – ის ღერძების გასწვრივ.

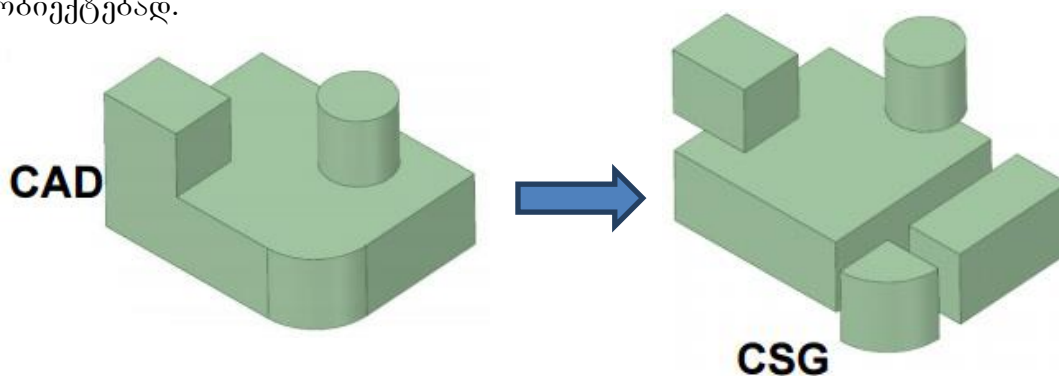
2.4 CAD სისტემების ინტეგრაცია Geant4-თან

Geant4-ში გეომეტრიული პრიმიტივების აღწერის პროცესი შედარებით მარტივია, როდესაც არსებობს მარტივი გეომეტრიული მოდელი, რომელსაც აქვს მცირე რაოდენობის ზედაპირები. სიტუაცია იცვლება, როდესაც არსებობს კომპლექსური გეომეტრიული მოდელი დიდი რაოდენობის ზედაპირებით, რადგანაც ამ დროს საჭიროა დამატებითი მათემატიკური გამოთვლები, რაც ზრდის შეცდომების დაშვების ალბათობას და საჭიროებს დიდ დროს.

გარდა ამისა, გეომეტრიული მოდელირებისათვის საჭირო 3D მოდელები ხელმისაწვდომია კომპიუტერული დაპროექტების სისტემების (Computer Aided Design) - CAD ფაილის სახით. CAD სისტემის ძირითად უპირატესობას წარმოადგენს ის, რომ აქ გეომეტრიული ობიექტების აგება შედარებით მარტივია და ასევე CAD მოდელები თავსებადია საინჟინრო ანალიზისათვის გამოყენებულ ზოგიერთ პროგრამებთან, თუმცა ამ ეტაპზე შეუძლებელია CAD ფაილების გამოყენება როგორც

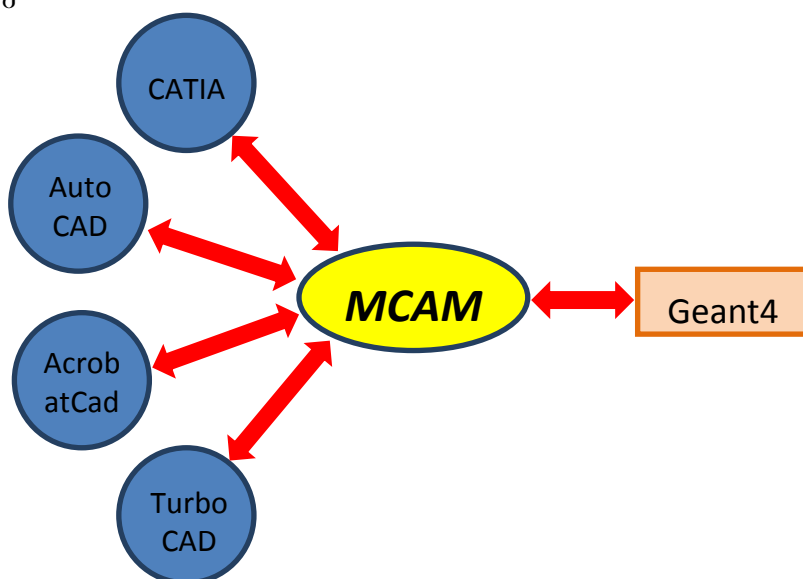
შემაგალი ფაილი Geant4-თვის რადგან მათ 3D გეომეტრიების წამოგდენისათვის გააჩნიათ განსხვავებული სქემა.

აღნიშნულმა ფაქტებმა განაპირობა MCAM (Multi-Physics Coupling Analysis Modeling Program)-ის შექმნა, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია CAD ფაილების კონვერტაცია Geant4 კოდში [28]. MCAM-ში ჩადებულია ზემოთ აღწერილი კონსტრუქციული მყარი სხეულის გეომეტრიული მეთოდი (CSG). მეთოდის საშუალებით ხორციელდება CAD მოდელების დეკომპოზიცია ამოზნექილ მყარი სხეულის ობიექტებად.



ნახ. 30. CAD მოდელის დეკომპოზიცია

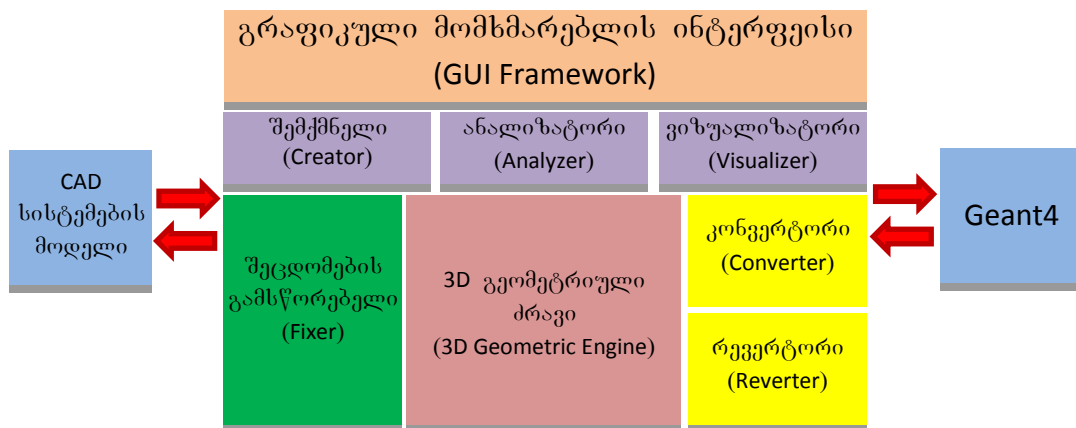
MCAM-ის საშუალებით შესაძლებელია ერთი მხრივ კომპლექსური და მაშტაბური CAD მოდელებიდან Geant4 კოდის შექმნა, ხოლო მეორე მხრივ მომხმარებელს შეუძლია Geant4 კოდის ვიზუალიზაცია და მათი განახლება.



ნახ. 31. CAD სისტემების ინტეგრაცია Geant4-თან

MCAM მხარს უჭერს ისეთ ფაილურ სისტემებს, როგორიცაა: STEP (.st[e]p), SAT(.sat) და IGES(.ig[e]s) და შესაბამისად იგი თავსებადია ყველა იმ კომერციულ CAD სისტემასთან, რომელთაც შეუძლიათ აღნიშნული ფორმატის ფაილების გენერირება (მაგ. CATIA, AutoCAD, TurboCAD, Acrobat3D და ა.შ.).

MCAM-ი შეიცავს სპეციალურ მოდულებს, რომლებიც უზრუნველყოფენ მის ფუნქციონირებას [28].



ნახ. 32. MCAM-ის ფუნქციონირება

კონვერტორი (Converter) - ერთ-ერთ ძირითად მოდული, რომელიც უზრუნველყოფს CAD მოდელების Geant4 კოდში კონვერტაციას

რევერტორი (Revertor) - კონვერტორის შებრუნებული ფუნქცია, რომელიც უზრუნველყოფს Geant4 კოდის წაკითხვას და CAD მოდელად კონვერტაციას

შეცდომების გამსწორებელი (Fixer) - ახდენს CAD ფაილში არსებული შესაძლო ცდომილებების შემოწმებას და გასწორებას. მაგალითად ისეთის, როგორიცაა: ორ ობიექტს შორის არსებული გადაფარვების (Overlaps) და დაშორებების (Gaps) გასწორება; კომპლექსური მყარი ტანის ობიექტების მარტივ მყარი ტანის ობიექტებად დეკომპოზიცია (სურ.30.)

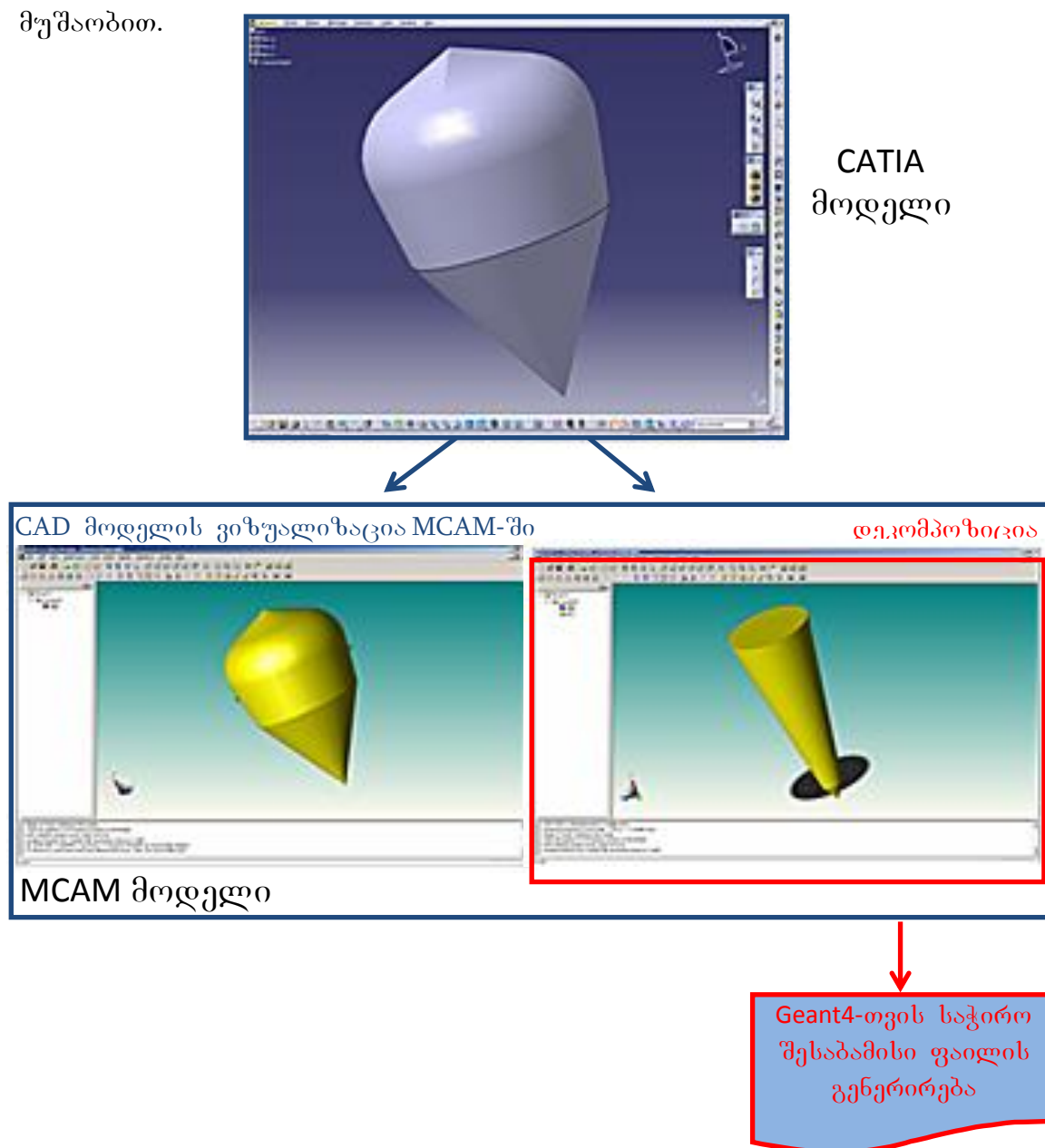
CAD მოდელების შემქმნელი (Creator) - მსგავსია კომერციული CAD სისტემებისა და იძლევა CAD მოდელების შექმნის შესაძლებლობას. MCAM-ი მხარს უჭერს 3D მოდელირებას, ლოგიკურ ოპერაციების განხორციელებას, გეომეტრიული ტრანსფორმაციების განხორციელებას

მაგალითად ისეთი როგორიცაა არეკვლა, გადაადგილება, შემობრუნება და მაშტაბირება

ანალიზატორი (Analyzer) – იძლევა ინფორმაციას 3D გეომეტრიასა და მასთან დაკავშირებულ ატრიბუტების შესახებ: ინფორმაცია მასალების შესახებ, შენიშვნების შესახებ და ა.შ.

ვიზუალიზატორი (Visualizer) – უზრუნველყოფს შექმნილი 3D მოდელების ვიზუალიზაციას.

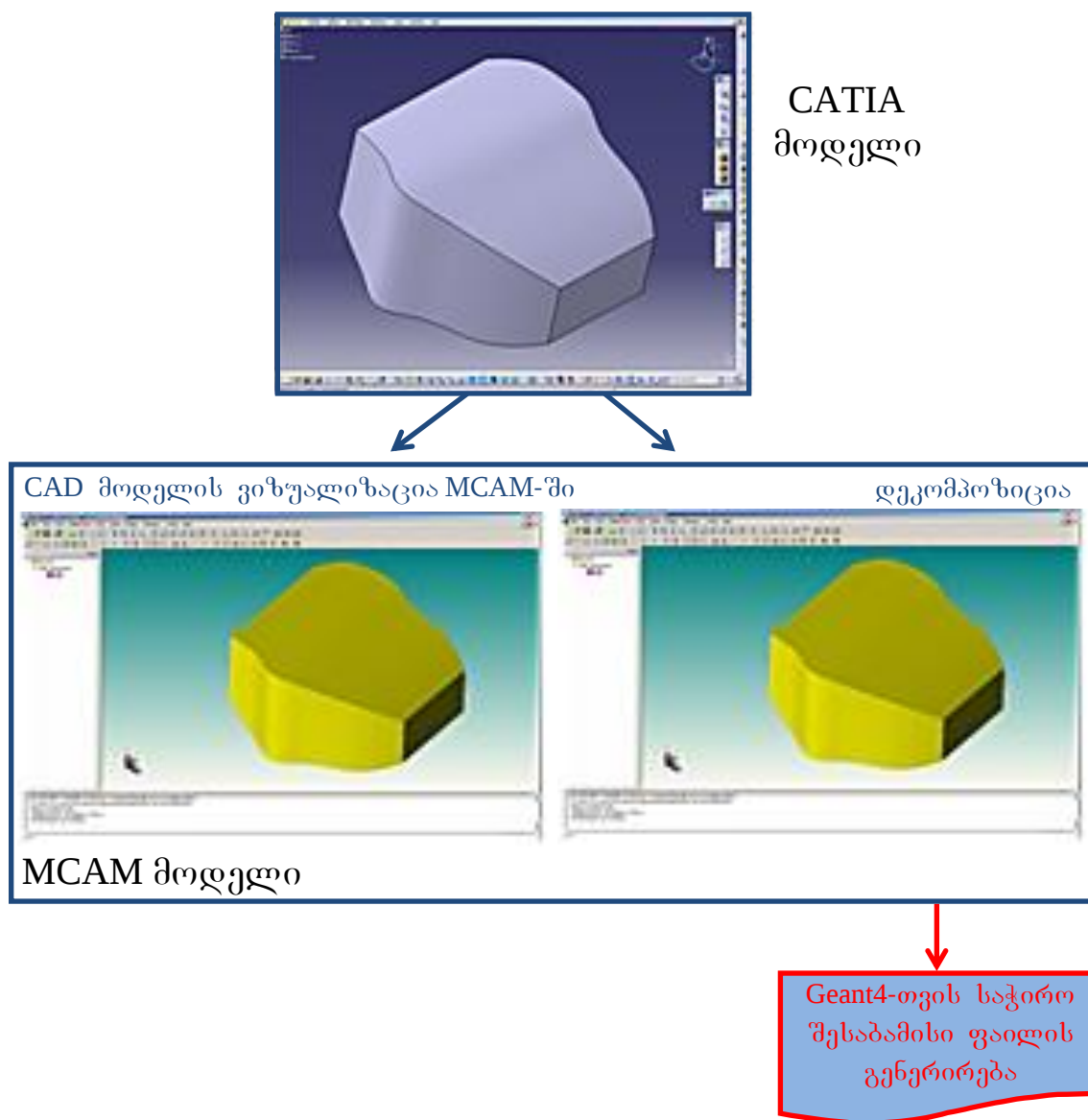
მაგრამ აღნიშნულ მეთოდს (ნახ.31.) გააჩნია ნაკლი [29] რაც განპირობებულია ზოგიერთ შემთხვევაში MCAM-ის არასწორი მუშაობით.



ნახ. 33. MCAM-ის დეკომპოზიციის პრობლემა

მაგალითად, ზოგიერთ შემთხვევაში MCAM-ი ვერ ახდენს რთული გეომეტრიული ობიექტის სწორ დეკომპოზიციას, რაც თავის მხრივ განაპირობებს არასწორი ფაილის გენერირებას Geant4-თვის. როგორც ნახ.33-დან ჩანს, CAD მოდელი კარგად აისახება MCAM-ში, თუმცა მისი დეკომპოზიცია მიმდინარეობს არასწორად, რაც თავის მხრივ განაპირობებს არასწორი Geant4 კოდის გენერირებას.

გარდა ამისა, არის შემთხვევები როდესაც CAD მოდელი კარგად აისახება MCAM-ში და ასევე ხდება მისი სწორი დეკომპოზიცია, თუმცა MCAM-ის შესაბამისი მოდული ვერ უზრუნველყოფს შესაბამისი Geant4 კოდის გენერირებას.

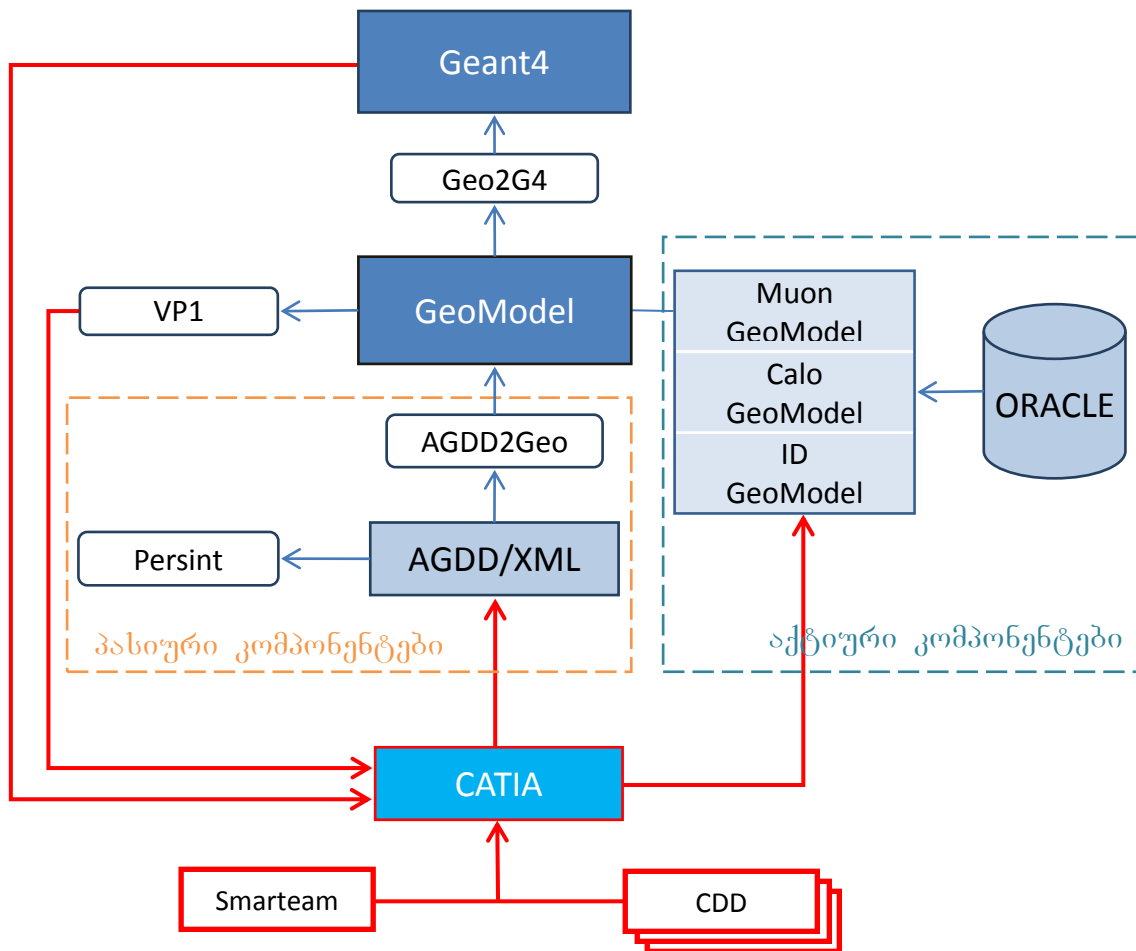


ნახ. 34. MCAM-ის საშუალებით Geant4-თვის საჭირო ფაილის გენერირების პრობლემა

აღნიშნული ნაკლოვანებიდან გამომდინარე MCAM-ის საშუალებით Geant4 კოდის გენერირებისას აუცილებელია მიღებული შედეგის გადამოწმება, რათა გამორიცხულ იქნას MCAM-ის მიერ გამოწვეული ცდომილებები.

2.5 მოდელირების პლატფორმა CATIA-ს ბაზაზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ბირთვული ინჟინერიის ცენტრის მიერ, შექმნილი იქნა მოდელირების პლატფორმა [30].



ნახ. 35. მოდელირების პლატფორმა

მოდელირების პლატფორმაში გრაფიკული პროგრამა CATIA [31] გამოყენებულია როგორც შემაკავშირებელი კვანძი (Hub). ამ მიზნით შეიქმნა ინტერფეისები:

1. CATIA -> XML/Persint



აღნიშნული ინტერფეისის მუშაობის პრონციპი შემდეგია: თავდაპირველად ხორციელდება გეომეტრიული მოდელირება პროგრამული პაკეტის - CATIA-ს გამოყენებით, რისთვისაც საჭირო პარამეტრები აიღება Smarteam (საინჟინრო მონაცემთა ბაზა, სადაც შენახულია ATLAS-ის დეტექტორის 3D მოდელები) და CDD (თეორიულ მონაცემთა ბაზა, სადაც შენახულია ATLAS-ის დეტექტორის კომპონენტის 2D ნახაზები [32]) მონაცემთა ბაზებიდან. მომდევნო ეტაპზე ხორციელდება გეომეტრიული პრიმიტივების დაპროგრამება AGDD/XML ბაზაზე CATIA-დან აღებული პრიმიტივების რიცხვითი პარამეტრების გამოყენებით. AGDD/XML-ში დაპროგრამებული გეომეტრიული პრიმიტივების ვიზუალიზაციისათვის გამოიყენება პროგრამა Persint-ი.

2. CATIA -> GeoModel/VP1



ისევე როგორც CATIA -> XML/Persint ინტერფეისი შემთხვევაში, აქაც CATIA-ში გეომეტრიული მოდელირებისათვის საჭირო პარამეტრები აიღება Smarteam და CDD მონაცემთა ბაზიდან. მომდევნო ეტაპზე ხორციელდება გეომეტრიული პრიმიტივების დაპროგრამება GeoModel-ის ბაზაზე CATIA-დან აღებული პრიმიტივების რიცხვითი პარამეტრების გამოყენებით. აღნიშნული გზით მოდელირებული პრიმიტივების ვიზუალიზაციისათვის გამოიყენება Virtual Point 1 (VP1).

3. GeoModel/VP1 -> CATIA



აღნიშნული ინტერფეისის საშუალებით შესაძლებელია AGDD/XML-სა და GeoModel-ში დაპროგრამებული გეომეტრიული პრიმიტივების ექსპორტი VP1-ის გავლით .iv ფაილის (ტექსტური ფაილი, რომელიც გამოიყენება 3D ელემენტების აღწერისათვის. მაგალითად ისეთის, როგორიცაა გეომეტრიული პრიმიტივები, განათება,

ტექსტურები, ფერები და ა.შ. [33]) სახით. იქედან გამომდინარე, რომ გადმოწერილი ფაილი საბოლოოდ შეტანილ უნდა იქნეს CATIA-ში შემდგომი ანალიზისათვის და CATIA-ს არ გააჩნია .iv ფაილის მხარდაჭერა, მომდევნო ეტაპზე მიმდინარეობს .iv ფაილის კონვერტაცია .wrl ფაილში (ტექსტური ფორმატის ფაილი სამგანზომილებიანი გეომეტრიული ობიექტის წარმოდგენისათვის [34]). შემდეგ უკვე შესაძლებელია .wrl ფაილის შეტანა CATIA-ში და მასზე ანალიზის ჩატარება.

4. Geant4 -> CATIA



Geant4->CATIA ინტერფეისი საშუალებით წარმოებს მესხიერებიდან მოდელირებული გეომეტრიული ობიექტების გადმოწერა Geant4 ფაილურ ფორმაში-.gdml, რის შემდეგაც ხორციელდება .gdml ფაილის .wrl ფაილში კონვერტაცია და შეტანა CATIA-ში შემდგომი ანალიზისათვის.

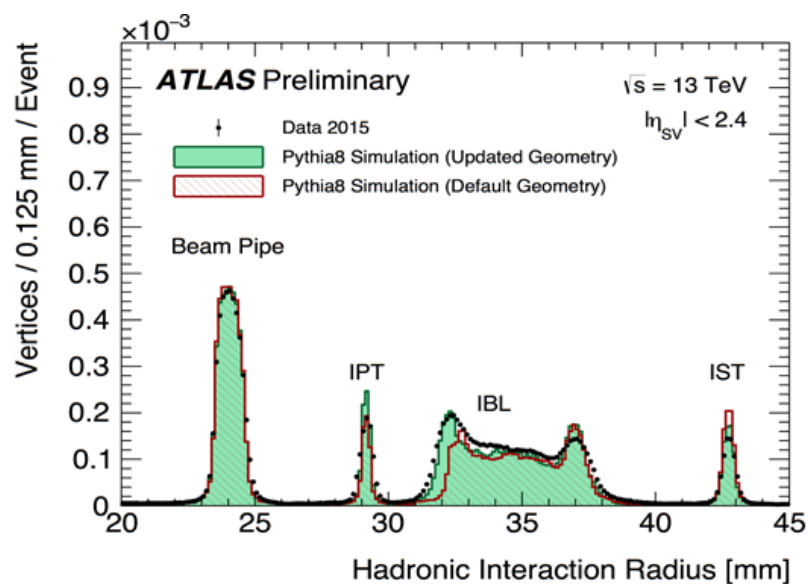
2.6 პრობლემის დასმა

ATLAS-ის ექსპერიმენტის მიმდინარეობის პროცესში წარმოებს ინფორმაციის მიღება ერთი მხრივ რეალური ექსპერიმენტიდან, ხოლო მეორე მხრივ მოდელირების პროცესიდან. იდეალურ შემთხვევაში აღნიშნული მონაცემები უნდა იყვნენ იდენტური, თუმცა ზოგიერთ შემთხვევაში ამ მონაცემებს შორი არსებობს სხვაობა, რაც პრობლემას წარმოადგენს.

ნახ.36-ზე ნაჩვენებია 2015 წელს ATLAS-ის დეტექტორის სხვადასხვა უბანზე დაფიქსირებული მონაცემები. როგორც მოცემული შემთხვევიდან ჩანს, რეალური ექსპერიმენტიდან და მოდელირებიდან მიღებულ მონაცემებს შორის არის სხვაობა.

არსებული სხვაობა შეიძლება გამოწვეული იყოს სხვადასხვა მიზეზით. ერთ-ერთი მოსაზრების თანახმად რეალურ და მოდელირებულ

მონაცემებს შორის სხვაობა შეიძლება გამოწვეული იყოს გეომეტრიული უზუსტობებით.

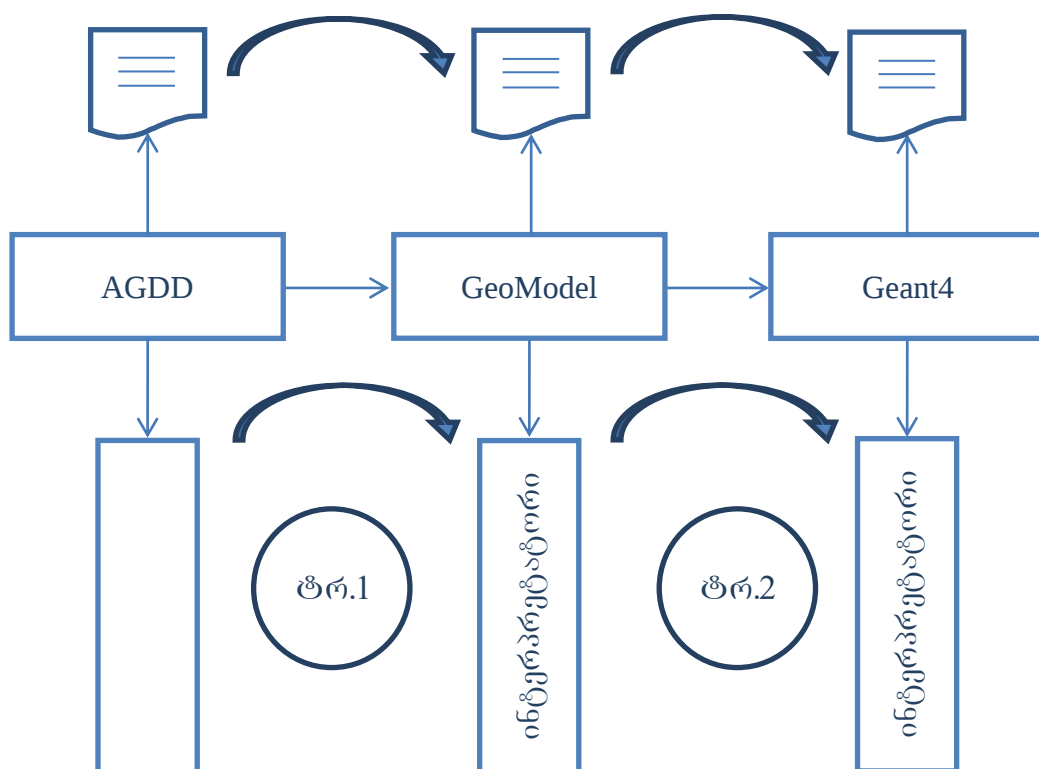


ნახ. 36. რეალური ექსპერიმენტიდან და მოდელირებიდან მიღებულ მონაცემებს შორის სხვაობა

ამ მიმართულებით შეიძლება განხილულ იქნას ორი ჰიპოტეზა:

ჰიპოტეზა I უზუსტობები გამოწვეულია მოდელირების ინფრასტრუქტურაში უზუსტო გეომეტრიული ტრანსფორმაციებით.

ჰიპოტეზა II უზუსტობები გამოწვეულია რეალურად არსებულ და მოდელირებულ გეომეტრიებს შორის სხვაობით.



ნახ. 37. მოდელირების ინფრასტრუქტურის გეომეტრიული ტრანსფორმაციები

პირველი ჰიპოტეზის ფარგლებში შეიძლება ითქვას, რომ გეომეტრიული მოდელირების პროგრამულ ინფრასტრუქტურაში გეომეტრიული მოდელები განიცდიან 2 ტიპის ტრანსფორმაციას: XML - > GeoModel და GeoModel->Geant4 [35]. თითოეული ტრანსფორმაცია შეიძლება იყოს უზუსტობების გამომწვევი მიზეზი, რადგანაც თითოეული მათგანი იყენებს საკუთარ ინტერპრეტატორს, რომლებიც მუშაობენ განსხვავებული ძრავების გამოყენებით. აქედან გამომდინარე, იმისათვის, რომ დადგინდეს უზუსტობების გამომწვევი მიზეზი, უნდა განხორციელდეს მოდელირების ინფრასტრუქტურაში გეომეტრიული ტრანსფორმაციების გამოკვლევა, რისთვისაც საჭიროა მოდელირების საცდელი სესიების ჩატარება, შედეგების შეგროვება და მათი ურთიერთშედარება.

მოდელირების საცდელის სესიების ჩატარებისათვის საჭიროა შესაბამისი სატესტო მაგალითების არსებობა, რაც თავის მხრივ გულისხმობს ATLAS-ის დეტექტორის გეომეტრიის კლასიფიკაციას, ტიპური გეომეტრიული პრიმიტივების ამორჩევს და თითოეული გეომეტრიული პრიმიტივისათვის დაპროგრამების მეთოდების შერჩევას. სატესტო მაგალითების შერჩევის შემდეგ, უნდა განხორციელდეს მოდელირების პროგრამული ინფრასტრუქტურის ტესტირება. საბოლოოდ, მიღებული შედეგებიდან გამომდინარე უნდა განხორციელდეს გეომეტრიული ტრანსფორმაციების გამოკვლევა, მიღებული შედეგების სისტემატიზაცია და შესწავლა.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, პირველი ჰიპოტეზის თანახმად განხორციელდა შემდეგი სახის ამოცანები:

1. ATLAS-ის დეტექტორის კომპონენტების ტიპიზაცია
2. დაპროგრამების მეთოდების შერჩევა
3. მოდელირების საცდელი სესიების ჩატარება
4. ტრანზაქციის ოპერაციების შესწავლა
5. შედეგების სისტემატიზაცია და შესწავლა

მეორე ჰიპოტეზის თანახმად არის შემთხვევები, როდესაც ATLAS-ის დეტექტორის გეომეტრიული აღწერები არ შეესაბამება რეალურად არსებულ დეტექტორის გეომეტრიას. ამიტომ, აღნიშნული ჰიპოტეზის შესწავლისათვის საჭიროა რეალურად არსებული და მოდელირებული გეომეტრიების ურთიერთშედარება და მათ შორის სხვაობების დადგენა.

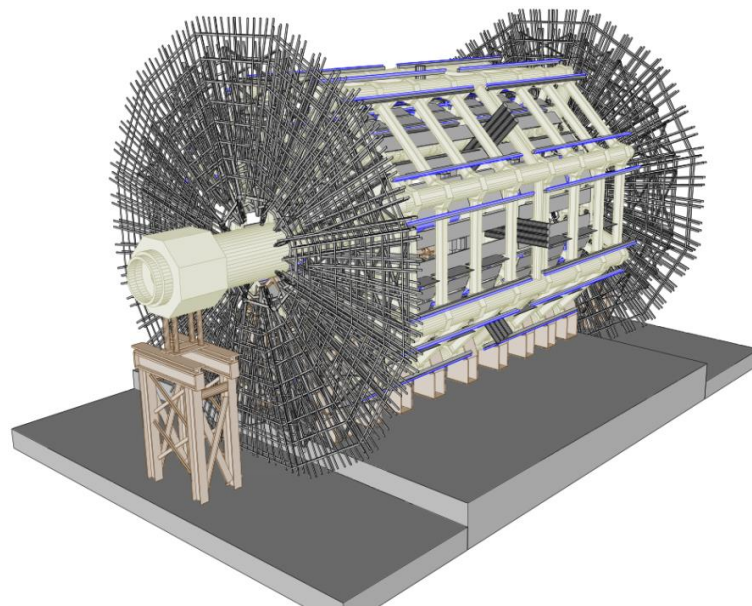
მეორე ჰიპოტეზის შესამოწმებლად განსახორციელებელ საკვლევ ამოცანებს წარმოადგენს:

1. ATLAS-ის დეტექტორის ერთერთი კომპონენტის გეომეტრიული მოდელის რეპროდუცირება
2. საკვლევ კომპონენტის დეკომპოზიცია და მოცულობებისა და მასის ანალიზი
3. რეპროდუცირებული გეომეტრიის ურთიერთშედარებითი ანალიზი მოდელირებაში გამოყენებულ გეომეტრიასთან
4. მოდელირებაში გამოყენებული გეომეტრიის ინტეგრაციის კონფლიქტების ანალიზი.

თავი III: I ჰიპოთეზის შემოწმება. მოდელირების ინფრასტრუქტურის ანალიზი

3.1 ATLAS-ის დეტექტორის კომპონენტების ტიპიზაცია

ჰიპოთეზა I-ის შემოწმების პირველ ეტაპზე, რაც გულისხმობს ATLAS-ის დეტექტორის კომპონენტების ტიპიზაციას, განხორციელდა მოდელირებული ATLAS-ის დეტექტორის გეომეტრიული მოდელის ანალიზი. ტიპიზაციის ძირითად მიზანს წარმოადგენს მოდელირებული ATLAS-ის დეტექტორიდან გეომეტრიული მსგავსებადბის მიხედვით ერთნაირი გეომეტრიული პრიმიტივების ამოჩევა და გაერთიანება შესაბამის ჯგუფებში.



ნახ. 38. ATLAS-ის დეტექტორის მოდელირებული გეომეტრია

როგორც ანალიზის შედეგად გამოჩნდა, ATLAS-ის დეტექტორის მოდელირებული გეომეტრია წარმოდგენილია სხვადასხვა გეომეტრიული პრიმიტივის სახით, ამიტომ გეომეტრიული ანალიზი ჩატარდა ეტაპობრივად:

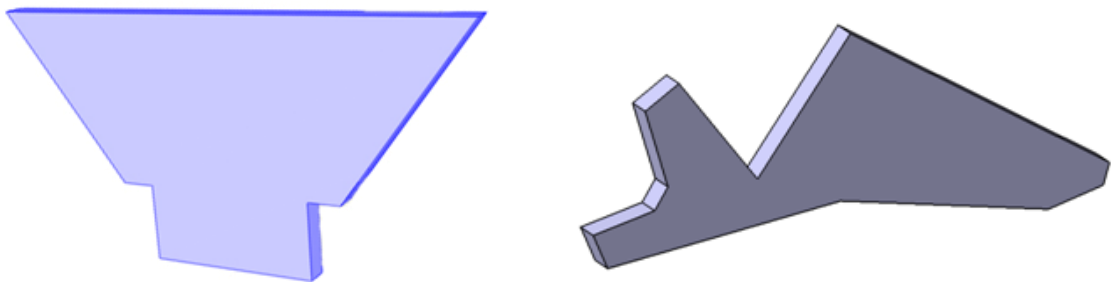
პირველადი გეომეტრიული ანალიზის დროს დაფიქსირდა ის შემთხვევები, როდესაც ATLAS-ის დეტექტორის კომპონენტები წარმოდგენილია მარტივი გეომეტრიული პრიმიტივების სახით.

კონსტრუქციული მყარი ტანის გეომეტრიაში (CSG) მარტივ გეომეტრიული პრიმიტივებს განეკუთვნება: კუბი, ცილინდრი, სფერო, კონუსი, პირამიდა და ტორუსი [36]. შედეგად, ჩამოყალიბდა “*გეომეტრიული პრიმიტივები*” კლასი. აღნიშნულ კლასში გეომეტრიული პრიმიტივების გაერთიანებისათვის, შემუშავდა სპეციალური შერჩევის კრიტერიუმები, რომლის მიხედვითაც მოხდა დეტექტორის მოდელირებული გეომეტრიის ანალიზი და შესაბამისი პრიმიტივების შერჩევა.

“გეომეტრიული პრიმიტივები” კლასი აერთიანებს პრიმიტივებს, რომლებსაც გააჩნიათ შემდეგი მახასიათებლები:

- გეომეტრიული პრიმიტივები, რომლებზეც არ სრულდება Boolean ოპერაციები
- პრიმიტივები, რომლის ზედაპირები წარმოადგენენ წესიერ ან არაწესიერ პოლიგონებს
- პრიმიტივები, რომლის ზედაპირები წარმოადგენენ ამოხსნეილ ან ჩახსნეილ პოლიგონებს

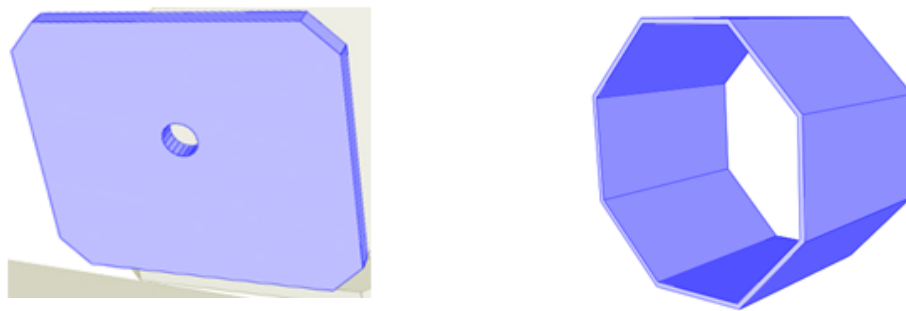
მოცემული ამორჩევის კრიტერიუმების მიხედვით ანალიზის შედეგად დეტექტორის მოდელირებული გეომეტრიიდან ამორჩეულ იქნა 22 უნიკალური გეომეტრიული ობიექტი. აქედან 19 გეომეტრიული ობიექტი შეირჩა ATLAS-ის დეტექტორის პასიური კომპონენტებიდან, ხოლო 3 კი აქტიური კომპონენტებიდან.



ნახ. 39. კლასი I. გეომეტრიული პრიმიტივები

იქედან გამომდინარე, რომ ATLAS-ის დეტექტორი წარმოადგენს რთულ და კომპლექსურ მოწყობილობას, მისი გეომეტრიული მოდელირებისათვის დეტექტორის კომპონენტების მარტივი გეომეტრიული პრიმიტივების სახით წარმოდგენა არ არის საკმარისი. ამიტომ, დეტექტორის გეომეტრიული მოდელირებისათვის ასევე

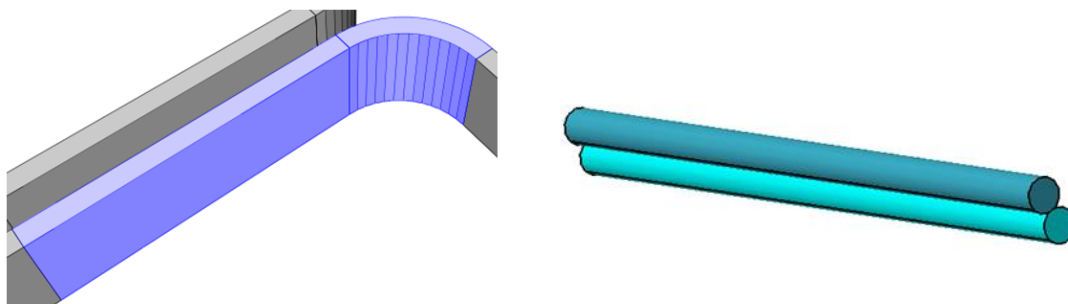
გამოყენებულია შედარებით რთული გეომეტრიული პრიმიტივები, რომელიც მიიღება მარტივი გეომეტრიული პრიმიტივების კომბინაციით-მაგალითად ერთი მარტივი გეომეტრიული პრიმიტივის მეორე გეომეტრიული პრიმიტივით ამოჭრით (Subtraction Boolean ოპერაცია). შესაბამისად, გეომეტრიული ანალიზის მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა ATLAS-ის დეტექტორიდან ისეთი გეომეტრიული პრიმიტივების შერჩევა, რომლებიც მიიღებიან მარტივ გეომეტრიული პრიმიტივზე Boolean ოპერაციების განხორციელებით. შედეგად ჩამოყალიბდა “*კომბინირებული ობიექტები*” კლასი.



ნახ. 40. კლასი II. კომბინირებული ობიექტები

აღნიშნული შერჩევის კრიტერიუმის მიხედვით ATLAS-ის დეტექტორის მოდელირებული გეომეტრიიდან შეირჩა 33 უნიკალური პრიმიტივი, რომელიც გაერთიანდა “*კომბინირებული ობიექტები*” კლასში. აქედან 26 გეომეტრიული ობიექტი შეირჩა ATLAS-ის დეტექტორის პასიური კომპონენტებიდან, ხოლო 7 კი აქტიური კომპონენტებიდან.

ATLAS-ის დეტექტორის კომპონენტების მოდელირებისათვის გამოყენებული მარტივი თუ რთული გეომეტრიული პრიმიტივები ერთმანეთის მიმართ განლაგებულნი არიან ისე, რომ ქმნიან გარკვეული სახის ტიპურ შეერთებებს. ამიტომ, ტიპიზაციის ბოლო ეტაპზე განხორციელდა მოდელირებულ გეომეტრიაში არსებული უნიკალური ტიპური შეერთებების შერჩევა და გაერთიანება “*ტიპური შეერთებები*” კლასში. შედეგად, ATLAS-ის დეტექტორის მოდელირებული გეომეტრიიდან შეირჩა 29 უნიკალური ტიპური შეერთება. აქედან 13 ტიპური შეერთება შეირჩა ATLAS-ის დეტექტორის პასიური კომპონენტებიდან, ხოლო 16 კი აქტიური კომპონენტებიდან.



ნახ. 41. კლასი III. ტიპური შეერთებები

შედგად, ამორჩევის კრიტერიუმების მიხედვით დეტექტორის მოდელირებული გეომეტრიიდან სულ ამორჩეულ იქნა 84 უნიკალური გეომეტრიული პრიმიტივი, რომლებიც გადანაწილდა შესაბამის კლასებში. აქედან 56 პრიმიტივი შეირჩა ATLAS-ის დეტექტორის პასიური კომპონენტებიდან, ხოლო 26 კი აქტიური კომპონენტებიდან.

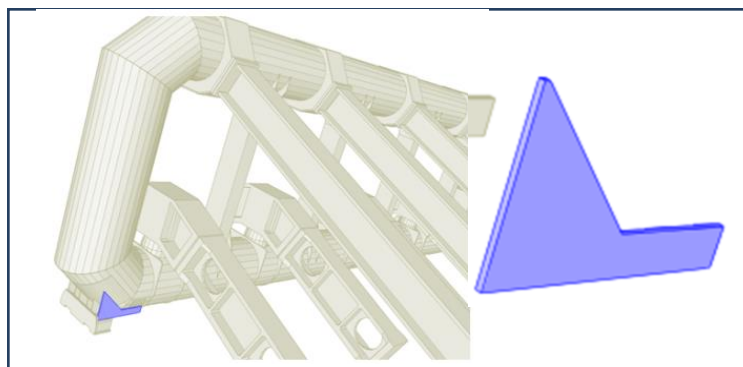
პასიური კომპონენტები	გეომეტრიული პრიმიტივები	19	სულ: 58
	კომბინირებული ობიექტები	13	
	ტიპური შეერთებები	26	
აქტიური კომპონენტები	გეომეტრიული პრიმიტივები	3	სულ: 26
	კომბინირებული ობიექტები	16	
	ტიპური შეერთებები	7	

ცხ. 1. კლასებში შემავალი გეომეტრიული პრიმიტივების რაოდენობა

3.2 სატესტო მაგალითების ფორმირება

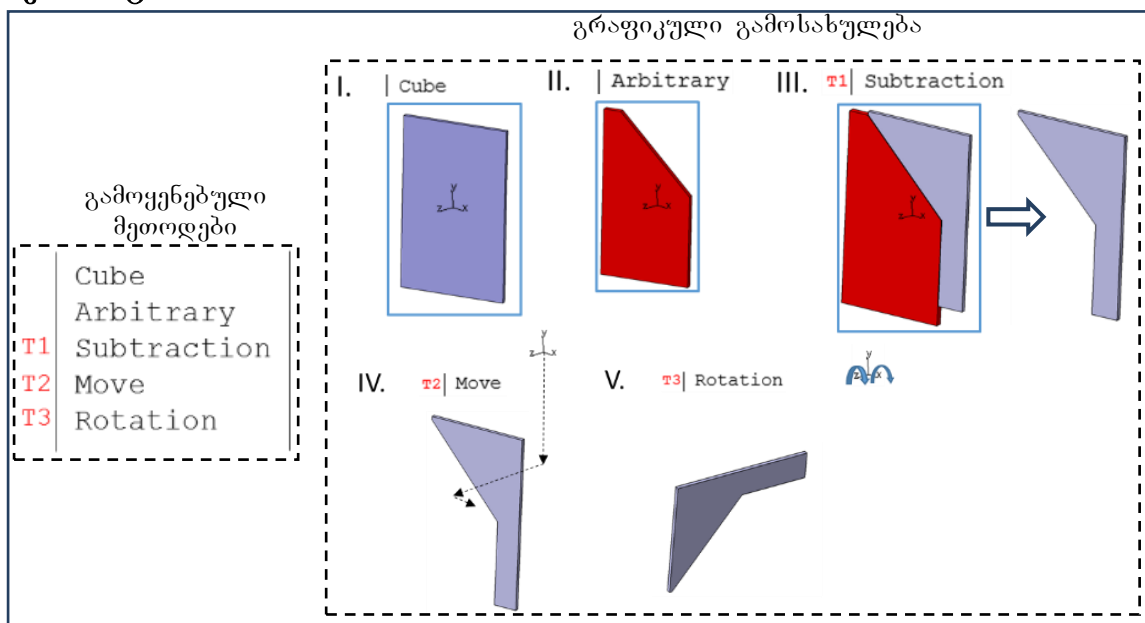
სატესტო მაგალითების შერჩევის მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა AGDD-ში და GeoModel-ში არსებული დაპროგრამების მეთოდების ანალიზი, რის შემდეგაც მოხდა თითოეული 84 შემთხვევისათვის ყველა შესაძლო დაპროგრამების გზის ფორმირება, რომელიც შეიძლება

განხორციელდეს AGDD-ში და GeoModel-ში არსებული დაპროგრამების მეთოდების გამოყენებით.



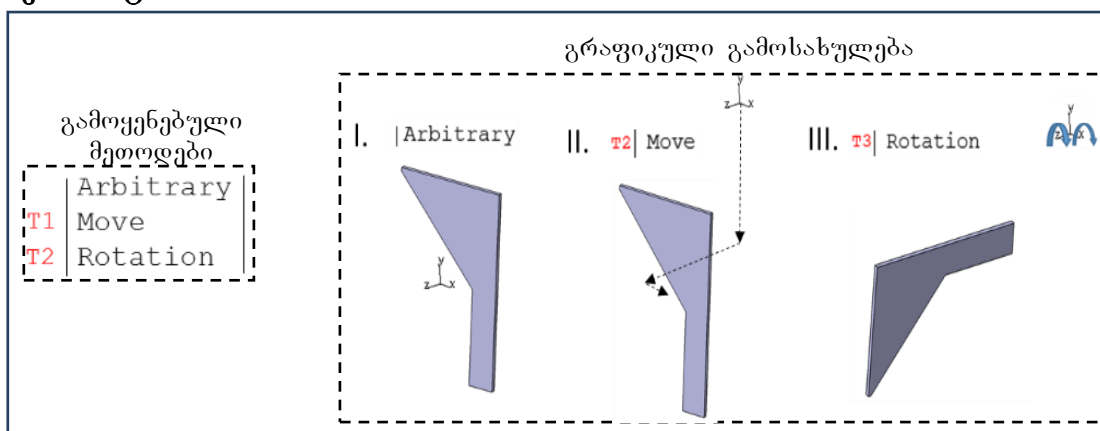
ა.

ვარიანტი 01



ბ.

ვარიანტი 02



ბ.

ნახ. 42. ექვსკუთხა პრიზმის დაპროგრამების ორი შესაძლო ვარიანტი

მაგალითად, ნახ.42.-ზე მოცემულა ექვსკუთხა პრიზმა (Pentagonal Prism) (ა) და მისი AGDD-ის ბაზაზე დაპროგრამების ორი შესაძლო ვარიანტი (ბ, გ). პირველ შემთხვევაში (ნახ.42.ბ.) ექვსკუთხა პრიზმის (ნახ.42.ა.) დაპროგრამებისათვის თავდაპირველად წარმოებს ოთკუთხა პრიზმის აგება Cube მეთოდის გამოყენებით (ნახ.42.ბ.I.). მომდევნო ეტაპზე ხორციელდება დამხმარე ხუთკუთხა პრიზმის ფორმირება Arbitrary Polygon მეთოდის საშუალებით (ნახ.42.ბ.II.), რომელიც გამოიყენება Subtraction Boolean ოპერაციისათვის (ნახ.42.ბ.III.). შედეგად მიიღება ექვსკუთხა გეომეტრიული პრიმიტივი, რომლის საბოლოო პოზიციონირებისათვის გამოიყენება გადაადგილების (ნახ.42.ბ.IV.) და შემობრუნების (ნახ.42.ბ.V.) ტრანზაქციის ოპერაციები.

მეორე შემთხვევაში (ნახ.42.ბ.) ექვსკუთხა პრიზმის (ნახ.42.ა.) დაპროგრამება ხორციელდება Arbitrary Polygon მეთოდისა (ნახ.42.ბ.I) და გადაადგილების (ნახ.42.ბ.II) და შემობრუნების (ნახ.42.ბ.III) ტრანზაქციის ოპერაციების საშუალებით.

გარდა აღწერილი ორი ვარიანტისა, ასევე მოცემული ექვსკუთხა პრიზმის დაპროგრამება შესაძლებელია კიდევ 11 სხვადასხვა გზის საშუალებით.

ზემოთ აღწერილი შემთხვევის მსგავსად განხორციელდა ყველა-84 გეომეტრიული პრიმიტივისათვის შესაძლო დაპროგრამების გზების ფორმირება, რის შედეგადაც მიღებულ იქნა დაპროგრამების 15'675 შესაძლო ვარიანი.

კლასები		გეომეტრიული პრიმიტივების რაოდენობა	დაპროგრამების ვარიანტების რაოდენობა
გეომეტრიული პრიმიტივები		22	4'460
ტიპიური შეერთებები		29	4'636
კომბინირებული ობიექტები		33	6'579
	სულ:	84	15'675

ცხ. 2. გეომეტრიული პრიმიტივების შესაბამისი დაპროგრამების ვარიანტები

სატესტო მაგალითების შერჩევის მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა 15'675 დაპროგრამების ვარიანტიდან უნიკალური შემთხვევების ამორჩევა, რისთვისაც დამუშავებული იქნა 4 სპეციალური ამორჩევის კრიტერიუმი:

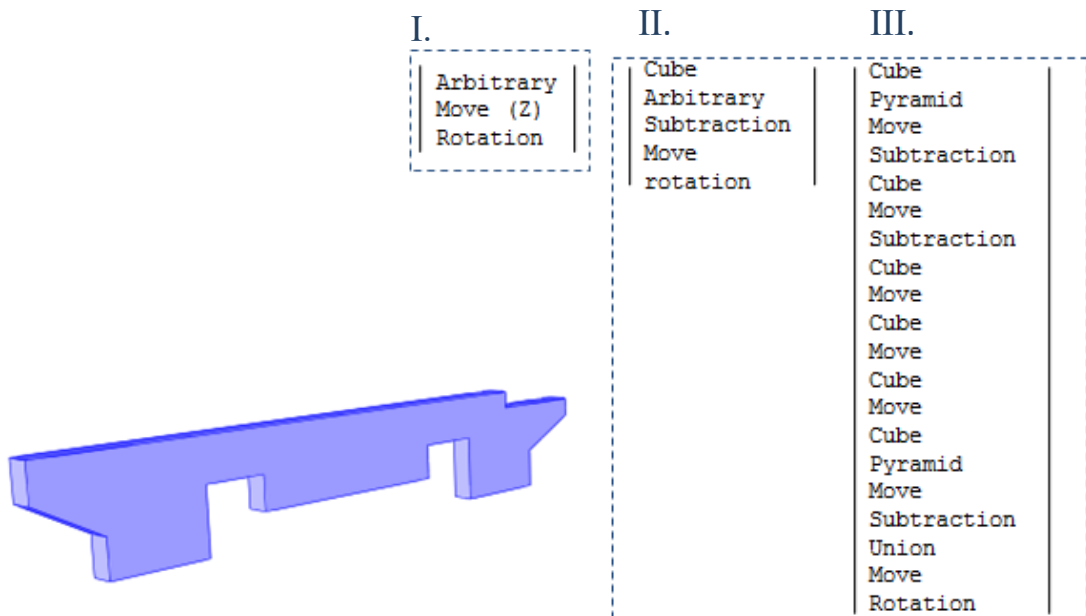
კრიტერიუმი I: Arbitrary Polygon მეთოდი გამოიყოს როგორც უნიკალური მეთოდი.

გეომეტრიული დაპროგრამებისას Boolean ოპერაციების გამოყენება ამცირებს სისტემის წარმადობას, ამიტომ პროგრამირებისას გამოყენებული უნდა იყოს რაც შეიძლება ცოტა Boolean ოპერაცია. Arbitrary Polygon მეთოდით გეომეტრიული პრიმიტივის დაპროგრამებისას საჭირო Boolean ოპერაციების რაოდენობა მინიმუმამდეა დაყვანილი, რადგანაც Arbitrary Polygon მეთოდი წარმოადგენს ერთადერთ მეთოდს, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია ნებისმიერი მრავალკუთხა პრიზმის აგება. აღნიშნული ფაქტი თავის მხრივ ამცირებს პროგრამირებისას გამოყენებული გადაადგილებისა და შემობრუნების ტრანზაქციის ოპერაციების რაოდენობას.

გარდა ამისა, ზოგადად AGDD-სა და GeoModel-ში არსებული დაპროგრამების მეთოდების გამოყენებით გეომეტრიული პრიმიტივების აღწერისას წარმოებს მათი ავტომატური აგება კოორდინატთა სისტემის ცენტრში. Arbitrary Polygon მეთოდი არის ერთადერთი მეთოდი, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია მრავალკუთხა პრიზმის აგება კოორდინატთა სისტემის ცენტრიდან მოშორებით ისე, რომ მიღებული პრიმიტივი საბოლოო პოზიციონირებისათვის საჭიროებს მხოლოდ Z კოორდინატთა ღერძის მიმართ გადაადგილებას და შემობრუნებას.

მაგალითად ნახ.43.-ზე მოცემულია შემთხვევა, როდესაც თვრამეტკუთხა პრიზმის დაპროგრამება ხორციელდება 3 სხვადასხვა გზით. როგორც მოცემული სურათიდან ჩანს, Arbitrary Polygon მეთოდით თვრამეტკუთხა პრიზმის დაპროგრამებისას საჭიროა მხოლოდ ერთი მეთოდის (Arbitrary Polygon მეთოდი), გადაადგილებისა (მხოლოდ Z ღერძზე) და შემობრუნების ტრანზაქციის ოპერაციები განხორციელდება (ნახ.43.I.), მაშინ როდესაც დანარჩენი ორი გზით პრიზმის აგება მოითხოვს უფრო მეტი მეთოდების, Boolean ოპერაციებისა და

გადაადგილება/შემობრუნება ტრანზაქციების ოპერაციების გამოყენების აუცილებლობას (ნახ.43.II. და ნახ.43.III.). ამასთან ერთად აღსანიშნავია, რომ ამ კონკრეტული მაგალითისათვის, Arbitrary Polygon მეთოდით, თვრამეტკუთხა პრიზმის აგებისას Boolean ოპერაციის გამოყენება საერთოდ არ არის საჭირო, მაშინ როდესაც მაგალითად მესამე გზით (ნახ.43.III) იგივე გეომეტრიული პრიმიტივის აგებისას საჭიროა 3 Subtraction Boolean ოპერაციის განხორციელება.



ნახ. 43. თვრამეტკუთხა პრიზმა როგორც კრიტერიუმ I-ის მაგალითი აღნიშნული მახასიათებლები Arbitrary Polygon მეთოდს ხდის უნიკალურს და გამოარჩევს სხვა მეთოდებისგან. აქედან გამომდინარე, კრიტერიუმ I-ის თანახმად, Arbitrary Polygon მეთოდი გამოიყოს სხვა მეთოდებისგან როგორც უნიკალური მეთოდი რადგანაც:

1. Arbitrary Polygon მეთოდით გეომეტრიული პრიმიტივის აღწერა მოითხოვს Boolean ოპერაციებისა და გადაადგილება/შემობრუნება ტრანზაქციის ოპერაციების მინიმალურ რაოდენობას
2. გეომეტრიული პრიმიტივის საბოლოო პოზიციაზე აგებისათვის საჭიროა მხოლოდ Z კოორდინატთა ღერძის მიმართ მისი გადაადგილება

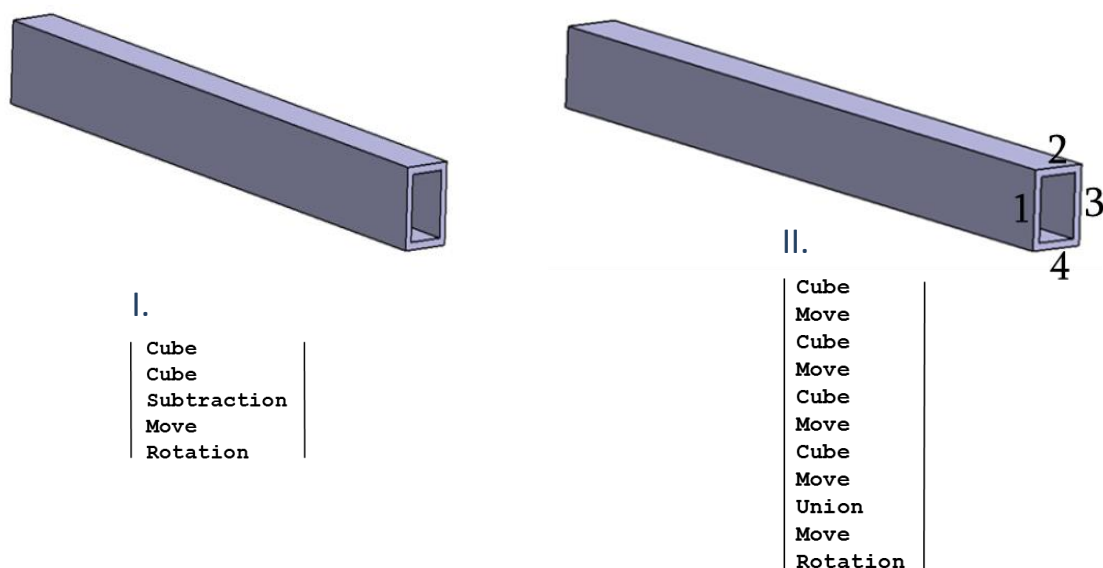
კრიტერიუმი II: გეომეტრიული ობიექტების აღწერისათვის გამოყენებული მეთოდების მინიმიზაცია.

გეომეტრიული მოდელირებისას პრიმიტივებს შორის ადგილი შეიძლება ჰქონდეს 3 შემთხვევას: 1. შემთხვევა, როდესაც ორ ობიექტს შორის არსებობს დაშორება (Gap); 2. შემთხვევა, როდესაც ორი ობიექტი ეხება ერთმანეთს (Contact); 3. შემთხვევა, როდესაც ორი გეომეტრიული პრიმიტივი შეჭრილია ერთმანეთში ანუ ადგილი აქვს ორ ობიექტს შორის თანაკვეთას (Clash). თითოეული მათგანი უარყოფითად მოქმედებს მოდელირების პროცესზე თუმცა მოდელირებისათვის განსაკუთრებულ კრიტიკულია, როდესაც ორ გეომეტრიული პრიმიტივს შორის არის კონტაქტი ან თანაკვეთა. მოდელირების დროს აღნიშნულ მონაკვეთებში ნაწილაკის გავლისას მოდელირების პაკეტები ვერ ახდენენ იდენტიფიცირებას თუ რომელ გეომეტრიული პრიმიტივში გაიარა ნაწილაკმა, რაც თავის მხრივ იწვევს მოდელირების ინფრასტრუქტურის მუშაობის შეფერხებას. მოდელირებისათვის შედარებით უფრო მისაღებ შემთხვევას წარმოადგენს როდესაც ორ ობიექტს შორის არის დაშორება, თუმცა ამ შემთხვევასაც გააჩნია ნაკლი: ნაწილაკების გადაადგილების მოდელირების დროს რაც უფრო დიდა გეომეტრიულ პრიმიტივებს შორის დაშორება მით უფრო მეტი ნაწილაკი გაიძვრება მათ შორის ისე, რომ ვერ მოხდება მათი დაფიქსირება. შესაბამისად, გეომეტრიული მოდელირებისას ობიექტებს შორის აიღება დაშორება, თუმცა რაც შეიძლება მინიმალური მანძილით.

იქედან გამომდინარე, რომ სამივე აღნიშნულ შემთხვევას გააჩნია ნაკლი, იდეალურ შემთხვევას წარმოადგენს თუ სამივე მათგანი აცილებული იქნება თავიდან. მაგალითად, ნახ.42.-ზე მოცემულია შემთხვევა, როდესაც შიგნიდან ამოჭრილი კუბის დაპროგრამება მიმდინარეობს ორი სხვადასხვა გზით.

პირველ შემთხვევაში (ნახ.44.I.) შესაბამისი პრიმიტივის მიღება ხორციელდება ორი კუბის საშუალებით, როდესაც ერთი კუბი შიგნიდან იჭრება მეორე კუბით. მეორე შემთხვევაში (ნახ.44.II.) შესაბამისი პრიმიტივის მიღება ხორციელდება 4 კუბის აგებით, მათი შესაბამის ადგილზე პოზიციონირებით და Union Boolean ოპერაციის საშუალებით. შესაბამისად ამ შემთხვევაში შიგნიდან ამოჭრილი კუბის

დაპროგრამებისას გასათვალისწინებელია ზემოთ აღწერილი შემთხვევები-დაშორება, კონტაქტისა და თანაკვეთის შესახებ, მაშინ როდესაც პირველ შემთხვევაში აღნიშნული პრობლემა საერთოდ შეიძლება იქნას აცილებული.



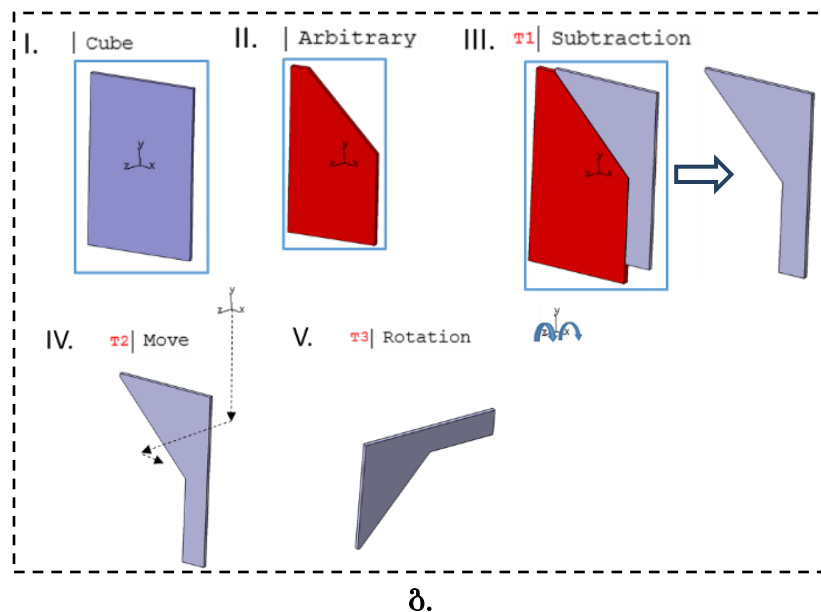
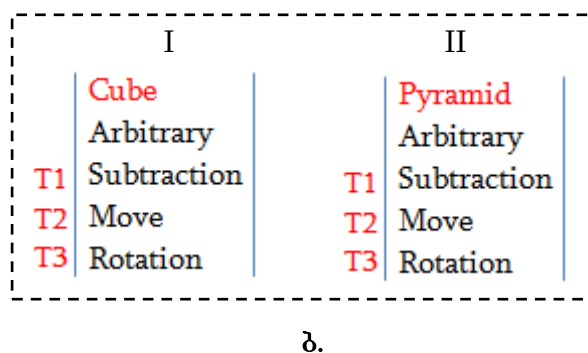
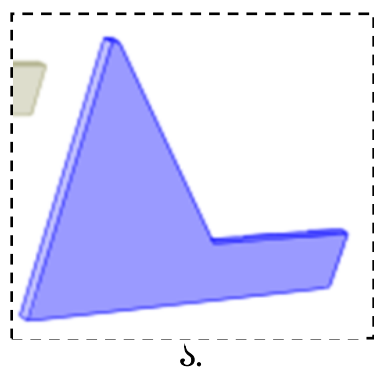
ნახ. 44. კუბის როგორც კრიტერიუმ II-ის მაგალითი

აქედან გამომდინარე, კრიტერიუმ II-ის თანახმად, რაც გულისხმობს გამოყენებული მეთოდების მინიმალურად, ნახ.44.I-ზე მოცემული შემთხვევის მსგავსი შემთხვევები გამოიყო ნახ.44.II-ზე მოცემული შემთხვევისგან რადგანაც:

1. მიღებული კოდი არის კომპაქტური
2. ობიექტებს შორის დაშორებებს, კონტაქტებს და გადაფარვებს ადგილი არ აქვს
3. დაშორებებს, კონტაქტებს და გადაფარვებს არარსებობის გამო მაღალია სისტემის წარმადობა.

კრიტერიუმი III: დაპროგრამებისას გამოყენებული მეთოდების მსგავსება.

კრიტერიუმი III შეეხება შემთხვევას, როდესაც დასაპროგრამებელი გეომეტრიული პრიმიტივის ასაგებად გამოყენებულ მეთოდებს შორის არის მსგავსება. მაგალითად ნახ.45-ზე მოცემულია ექვსკუთხა პრიზმა (ა) და მის AGDD-ის ბაზაზე დაპროგრამების ორი შესაძლო ვარიანტი (ბ).



ნახ. 45. ექვსკუთხა პრიზმა როგორც კრიტერიუმ III-ის მაგალითი

აღნიშნული მაგალითის ძირითადი იდეა მდგომარეობს იმაში, რომ ექვსკუთხა პრიზმის დასაპროგრამებლად თავდაპირველად უნდა მოხდეს კუბ გეომეტრიული პრიმიტივის აგება (ნახ.45.ბ.I), რისთვისაც ერთ შემთხვევაში გამოიყენება Cube მეთოდი (ნახ.45.ბ.I), ხოლო მეორე შემთხვევაში Pyramid მეთოდი (ნახ.45.ბ.II). ყველა დანარჩენი ტრანსფორმაციის ოპერაციები ორივე ვარიანტისათვის არის იდენტური.

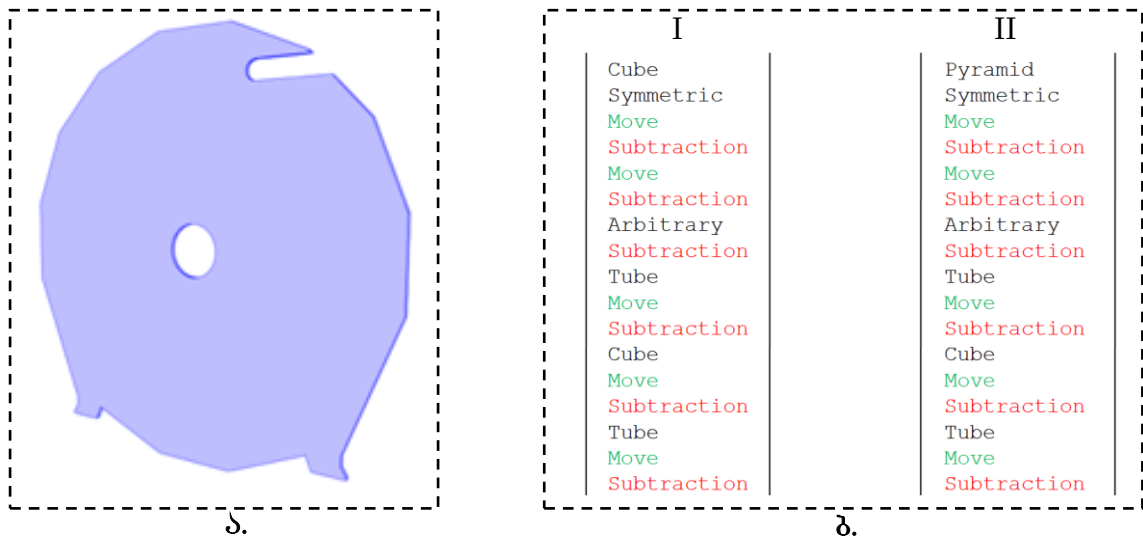
კრიტერიუმი III-ის თანახმად, რაც გულისხმობს გამოყენებული მეთოდების მსგავსებას, განხილული შემთხვევები შეიძლება ჩაითვალოს როგორც იდენტური და ის მეთოდი სადაც კუბ გეომეტრიული პრიმიტივის ასაგებად გამოიყენება Cube მეთოდი (ნახ.45.ბ.I) გამოიყოს სხვა შემთხვევებისგან, რადგანაც:

1. კუბ გეომეტრიული პრიმიტივის ასაგებად AGDD-ში არსებობს უკვე მზა Cube მეთოდი

2. ორივე მეთოდის გამოყენებისას (Cune და Pyramid) ხდება ერთი და იგივე გეომეტრიული პრიმიტივის (კუბი) აგება

კრიტერიუმი IV: კოდის სტრუქტურის მსგავსება.

კრიტერიუმი IV შეეხება შემთხვევას, როდესაც გეომეტრიული პრიმიტივის ასაგებად გამოიყენება ერთი და იგივე რაოდენობის მეთოდი და ტრანზაქციის ოპერაცია. მაგალითად, ნახ.46.-ზე მოცემულია ოცდაოთკუთხა პრიზმა (ა) და მისი AGDD-ის ბაზაზე დაპროგრამების 2 შესაძლო ვარიანტი (ბ).



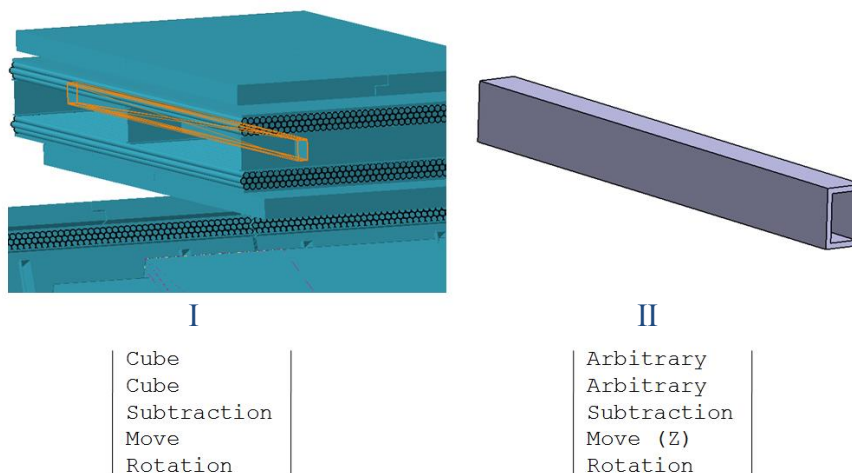
ნახ. 46. ოცდაოთხკუთხა პრიზმა როგორც კრიტერიუმ IV-ის მაგალითი

როგორც მოცემული სურათიდან ჩანს, ოცდაოთხკუთხა პრიზმის დაპროგრამების ორივე შესაძლო ვარიანტის შემთხვევაში გამოიყენება ერთი და იგივე რაოდენობის მეთოდი, ტრანზაქციისა და Boolean ოპერაციები. შესაბამისად, კრიტერიუმ IV-ის თანახმად აღნიშნული შემთხვევები შეიძლება ჩაითვალოს ერთი და იგივე შემთხვევად და სატესტო მაგალითად შეიძლება გამოყენებული იქნას ერთერთი მათგანი.

სატესტო მაგალითების შერჩევის მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა აღწერილი 4 კრიტერიუმის გამოყენებით 15'675 დაპროგრამების შემთხვევის ანალიზი და მათგან უნიკალური შემთხვევების ამორჩევა.

მაგალითად, ნახ.47.-ზე მოცემული კუბ გეომეტრიული პრიმიტივის AGDD-ის ბაზაზე დაპროგრამების 16 შესაძლო ვარიანტიდან შერჩეულ

იქნა 2 უნიკალური შემთხვევა: კრიტერიუმი I – ის თანახმად შეირჩა ის შემთხვევა სადაც კუბის ასაგებად გამოიყენებოდა Arbitrary Polygon მეთოდი, ხოლო დანარჩენი 3 კრიტერიუმის საფუძველზე კი შემთხვევა, როდესაც კუბის ასაგებად გამოიყენება ნახ.47.I-ზე მოცემული ვარიანტი.



ნახ. 47. კუბის დაპროგრამების ორი შესაძლო ვარიანტი

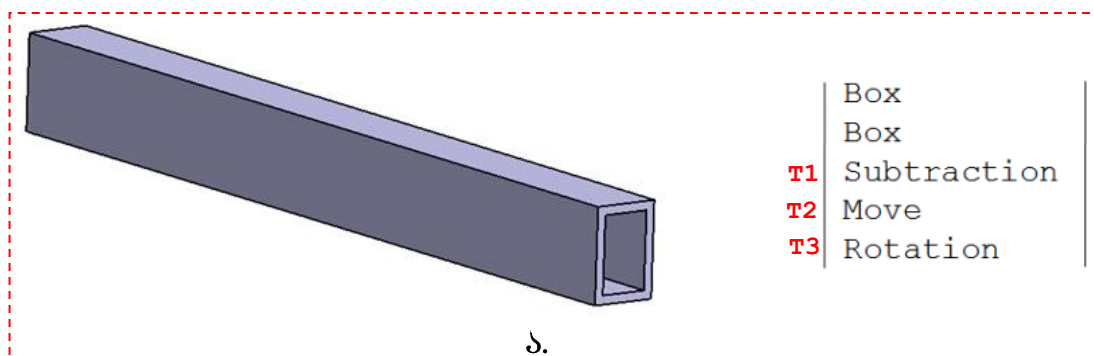
უნიკალური შემთხვევების ამორჩევის შედეგად საბოლოოდ შერჩეულ იქნა 77 შემთხვევა (დანართი 1), რომლებიც გამოყენებულ იქნა როგორც სატესტო მაგალითები მოდელირების ინფრასტრუქტურის ტესტირებისათვის.

კლასები		დაპროგრამების ვარიანტების რაოდენობა	უნიკალური შემთხვევების რაოდენობა
გეომეტრიული პრიმიტივები		4'460	11
ტიპიური შეერთებები		4'636	28
კომბინირებული ობიექტები		6'579	38
	სულ:	15'675	77

ცხ. 3. შერჩეული უნიკალური შემთხვევების რაოდენობა

3.3 მოდელირების საცდელი სესიების ჩატარება

პირველი ჰიპოტეზის შემოწმების მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა შერჩეული 77 უნიკალური შემთხვევის გამოყენებით მოდელირების ინფრასტრუქტურის ტესტირება. ინფრასტრუქტურის ტესტირებისათვის გამოყენებულ იქნა მოდელირების პლატფორმა (ნახ.35), სადაც მოხდა თითოეული სატესტო მაგალითის გატარება.



ა.

```
<box name="TestExample_N11_Box1" material="Aluminium" X_Y_Z="3783.5 ; 230. ; 50. " />
<box name="TestExample_N11_Box2" material="Aluminium" X_Y_Z="3790. ; 212. ; 43. " />

<subtraction name="TestExample_N11" >
  <posXYZ volume="TestExample_N11_Box1" X_Y_Z=" 0. ; 0. ; 0. " />
  <posXYZ volume="TestExample_N11_Box2" X_Y_Z=" 0. ; 0. ; 0. " />
</subtraction>

<composition name="TestExample_N11_Move" >
  <posXYZ volume="TestExample_N11" X_Y_Z=" 0. ; 10570. ; -515." rot=" 0.; 0.; 0. " />
</composition>

<composition name="ECT_Toroids" >
  <posXYZ volume="TestExample_N11_Move" X_Y_Z=" 0. ; 0. ; 0." rot=" 0.; 0.; 22.5 " />
</composition>
```

ბ.

```
const GeoMaterial *Aluminium = m_materialManager->getMaterial("std::Aluminium");
GeoBox * Box1 = new GeoBox(1891.75*CLHEP::mm, 115.*CLHEP::mm, 25.*CLHEP::mm);
GeoBox * Box2 = new GeoBox(1895.*CLHEP::mm, 106.*CLHEP::mm, 21.5*CLHEP::mm);
const GeoShape & ExampleN63_Subtract = (Box1->subtract(*Box2));
const GeoLogVol *ExampleN63_logVol = new GeoLogVol ("Test",&ExampleN63_Subtract, Aluminium);
GeoPhysVol *ExampleN63_PhysVol = new GeoPhysVol(ExampleN63_logVol);

GeoTransform *Move = new GeoTransform(HepGeom::RotateZ3D(22.5*CLHEP::deg)
    * HepGeom::Translate3D(0.*CLHEP::mm,10570.*CLHEP::mm,-515.*CLHEP::mm));

world->add(tag);
world->add(Move);
parent->add(ExampleN63_PhysVol);
```

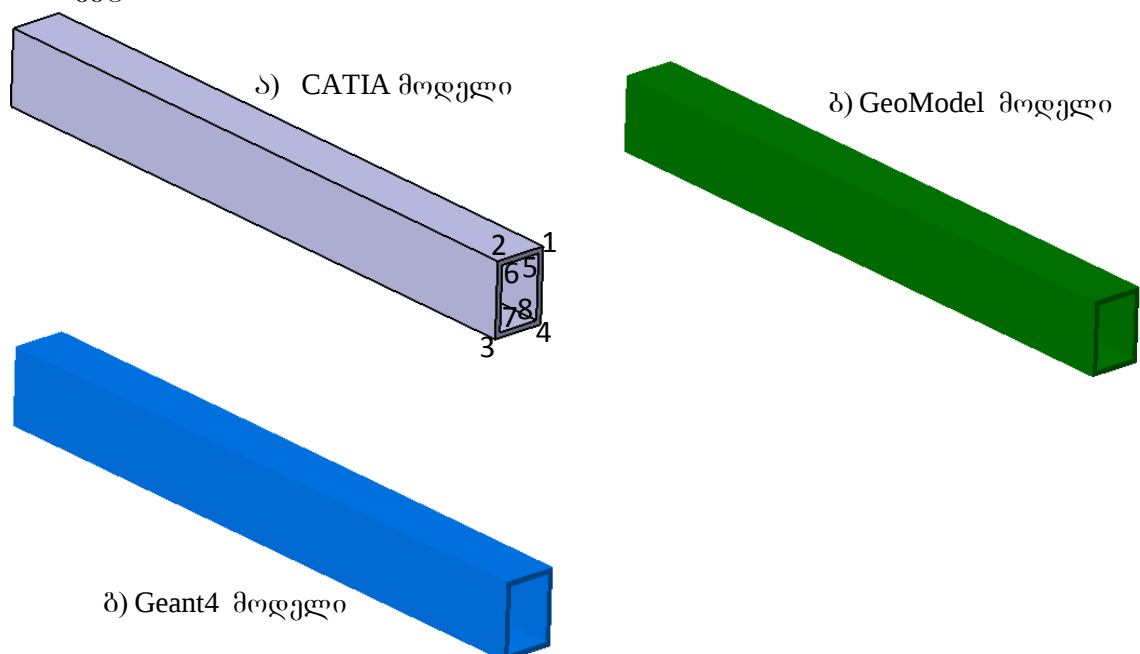
გ.

ნახ. 48. შიგნიდან ამოჭრილი კუბის დაპროგრამება AGDD/GeoModel-ის ბაზაზე მოდელირების პლატფორმის მიხედვით თავდაპირველად განხორციელდა შერჩეული უნიკალური შემთხვევების შესაბამისი გეომეტრიული პრიმიტივების აგება CATIA-ს ბაზაზე. მომდევნო ეტაპზე

CATIA-დან აღებულ იქნა გეომეტრიული პრიმიტივების რიცხვითი პარამეტრები (მაგ. პრიმიტივის სიგრძე, სიგანე, სისქე და ა.შ.), რომლის საშუალებითაც მოხდა შესაბამისი პროგრამული კოდის მომზადება: ATLAS-ის დეტექტორის აქტიური კომპონენტებიდან შერჩეული უნიკალური შემთხვევები აღიწერა GeoModel-ის ბაზაზე, ხოლო პასიური კომპონენტებიდან შერჩეული კი AGDD-ის ბაზაზე.

მაგალითად ნახ.48.ა.-ზე მოცემულია შიგნიდან ამოჭრილი კუბი და მისი აღწერები AGDD (ნახ.48.ბ.) და GeoModel-ის (ნახ.48.გ.) ბაზაზე.

აღნიშნული შემთხვევის მსგავსად განხორციელდა ყველა დანარჩენი 76 შემთხვევისათვის შესაბამისი პროგრამული კოდის მომზადება, რის შემდეგადაც თითოეულმა მათგანმა გაიარა მოდელირების პლატფორმით განსაზღვრული ტრანსფორმაციები და საბოლოოდ CATIA-ს ბაზაზე აგებული გეომეტრიული პრიმიტივების შესაბამისი მოდელირებული გეომეტრიები ამოღებულ იქნა Geant4-დან და GeoModel-დან. შედეგად თითოეული სატესტო მაგალითისათვის მიღებულ იქნა 3 სახის გეომეტრიული ობიექტი: 1. CATIA-ს ბაზაზე აგებული გეომეტრიული ობიექტი; 2. GeoModel-დან ამოღებული გეომეტრიული ობიექტი; 3. Geant4-დან ამოღებული გეომეტრიული ობიექტი.



ნახ. 49. CATIA-ს, GeoModel-სა და Geant4-ის ბაზაზე აგებული კუბი

მომდევნო ეტაპზე CATIA გამოყენებულ იქნა თითოეულ მათგანზე ანალიზის ჩასატარებლად. ამისთვის CATIA-ს საშუალებით დათვლილი იქნა თითოეული გეომეტრიული ობიექტის საყრდენი წერტილების X, Y და Z კოორდინატების მნიშვნელობები და მიღებული შედეგები აისახა ცხრილის სახით.

იქედან გამომდინარე, რომ CATIA-ს ბაზაზე აგებული გეომეტრიული ობიექტის ანალიზის შედეგად მიღებული ინფორმაცია ასახავს შესასვლელ ინფორმაციას მოდელირების ინფრასტრუქტურისათვის, ხოლო Geant4-დან და GeoModel-დან ამოღებული გეომეტრიული ობიექტის ანალიზის შედეგად მიღებული ინფორმაცია კი მოდელირების ინფრასტრუქტურიდან გამოშვებულ ინფორმაციას, ამიტომ მოდელირების ინფრასტრუქტურის ცდომილებები დათვლილი იქნა შემდეგი ფორმულებით:

$$\text{GeoModel-ის ცდომილება: } \Delta_{\text{GMod.}} = A_{\text{Cat.}} - B_{\text{GMod.}}$$

$$\text{Geant4-ის ცდომილება: } \Delta_{\text{G4}} = A_{\text{Cat.}} - B_{\text{G4}}$$

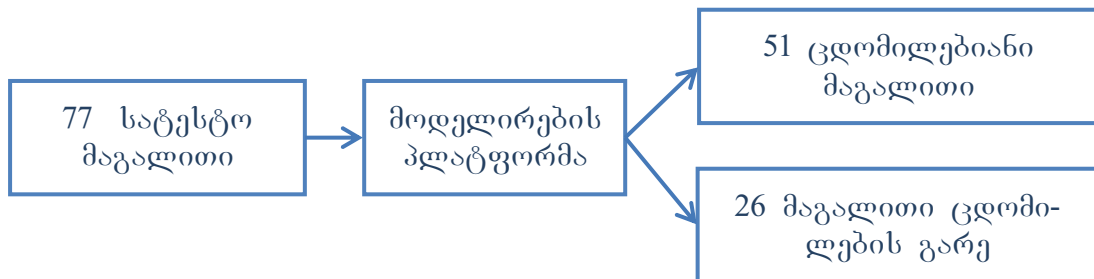
რაც გულისხმობს იმას, რომ GeoModel-ის ცდომილებები გამოითვლება CATIA-ში აგებული გეომეტრიული პრიმიტივის საყრდენი წერტილების კოორდინატების მნიშვნელობებს გამოკლებული GeoModel-დან ამოღებული იდენტური გეომეტრიული პრიმიტივის საყრდენი წერტილების კოორდინატების მნიშვნელობები. Geant4-ის ცდომილებები კი გამოითვლება CATIA-ში აგებული გეომეტრიული პრიმიტივის საყრდენი წერტილების კოორდინატების მნიშვნელობებს გამოკლებული Geant4-დან ამოღებული იდენტური გეომეტრიული პრიმიტივის საყრდენი წერტილების კოორდინატების მნიშვნელობები.

		CATIA (მმ)	G4 (მმ)	GeoModel (მმ)	Δ_{G4} (მმ)	$\Delta_{\text{GMod.}}$ (მმ)
1	x	-5836.72	-5836.72	-5836.72	0	0
	y	9147.71	9147.71	9147.71	0	0
	z	-490.00	-490.00	-490.00	0	0
2	x	-5836.72	-5836.72	-5836.72	0	0
	y	9147.71	9147.71	9147.71	0	0
	z	-540.00	-540.00	-540.00	0	0
3	x	-5748.70	-5748.70	-5748.70	0	0

	y	8935.22	8935.22	8935.22	0	0
	z	-540.00	-540.00	-540.00	0	0
4	x	-5748.70	-5748.70	-5748.70	0	0
	y	8935.22	8935.22	8935.22	0	0
	z	-490.00	-490.00	-490.00	0	0
5	x	-5833.28	-5833.31	-5833.31	0.03	0.03
	y	9139.40	9139.48	9139.48	-0.08	-0.08
	z	-493.50	-493.44	-493.44	-0.06	-0.06
6	x	-5833.28	-5833.31	-5833.31	0.03	0.03
	y	9139.40	9139.48	9139.48	-0.08	-0.08
	z	-536.50	-536.44	-536.44	-0.06	-0.06
7	x	-5752.15	-5752.18	-5752.18	0.03	0.03
	y	8943.53	8943.61	8943.61	-0.08	-0.08
	z	-536.50	-536.44	-536.44	-0.06	-0.06
8	x	-5752.15	-5752.18	-5752.18	0.03	0.03
	y	8943.53	8943.61	8943.61	-0.08	-0.08
	z	-493.50	-493.44	-493.44	-0.06	-0.06

ცხ. 4. კუბის ტესტირების შედეგი

მაგალითად ცხ.4.-ში მოცემულია კუბ გეომეტრიული პრიმიტივის ტესტირების შედეგები თითოეული 8 საყრდენი წერტილისათვის (საყრდენი წერტილები ნაჩვენებია ნახ.49.ა.-ზე). როგორც მოცემული ცხილიდან ჩანს კუბ გეომეტრიული პრიმიტივისათვის მოდელირების ინფრასტრუქტურა მართლაც არის ცდომილებებს გამომწვევი მიზეზი (Δ_{G4} , Δ_{Gmod}). შედეგებში დაფიქსირებული რიცხვითი პარამეტრების სიზუსტედ აღებულ იქნა წერტილის შემდეგ ორი თანრიგი. აღნიშნული სიზუსტის განსაზღვრა მოხდა CERN-ის ოფიციალური 2D საინჟინრო მონაცემთა ბაზაზე-CDD-ზე დაყრდნობით, სადაც განთავსებულ საინჟინრო ნახაზებზე ზომები დატანილია სწორედ აღნიშნული სიზუსტით [32].



ნახ. 50. სატესტო მაგალითების ტესტირების შედეგები

საბოლოოდ, 77 სატესტო მაგალითის ტესტირების შედეგად ცხრ.4-ში მოცემული შემთხვევის მსგავსად 51 მაგალითისათვის დაფიქსირდა ცდომილებები, ხოლო დანარჩენი 26 მაგალითის შემთხვევაში ცდომილებას ადგილი არ აქვს.

მაგალითი N	მაქსიმალური ცდომილება (მმ)	მაგალითი N	მაქსიმალური ცდომილება (მმ)	მაგალითი N	მაქსიმალური ცდომილება (მმ)
1	0.25	28	0.26	55	0.08
2	0.03	29	0.03	56	0.03
3	0.00	30	0.03	57	0.07
4	0.03	31	0.03	58	0.21
5	0.00	32	0.08	59	0.26
6	0.23	33	0.08	60	0.09
7	0.09	34	0.01	61	0.09
8	0.01	35	0.01	62	0.00
9	0.01	36	0.17	63	0.09
10	0.04	37	0.21	64	0.00
11	0.09	38	0.03	65	0.00
12	0.09	39	0.24	66	0.00
13	0.03	40	0.12	67	0.00
14	0.03	41	0.12	68	0.06
15	0.01	42	0.00	69	0.00
16	0.04	43	0.00	70	0.00
17	0.04	44	0.00	71	0.08
16	0.19	45	0.00	72	0.00
19	0.06	46	0.00	73	0.08
20	0.14	47	0.00	74	1.44
21	0.00	48	0.00	75	1.75
22	0.03	49	0.00	76	0.00
23	0.23	50	0.00	77	0.00
24	0.02	51	0.00		
25	0.21	52	0.00		
26	0.2	53	0.00		
27	0.26	54	0.00		

ცხ. 5. სატესტო მაგალითების ტესტირების შედეგები

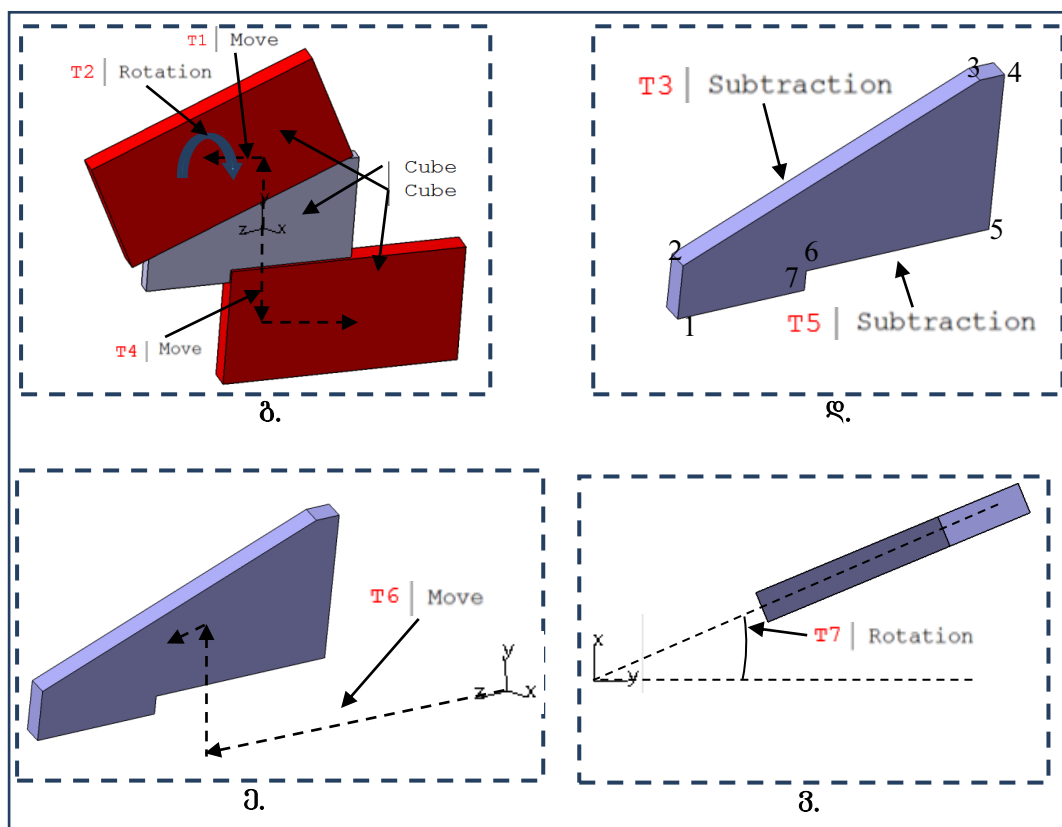
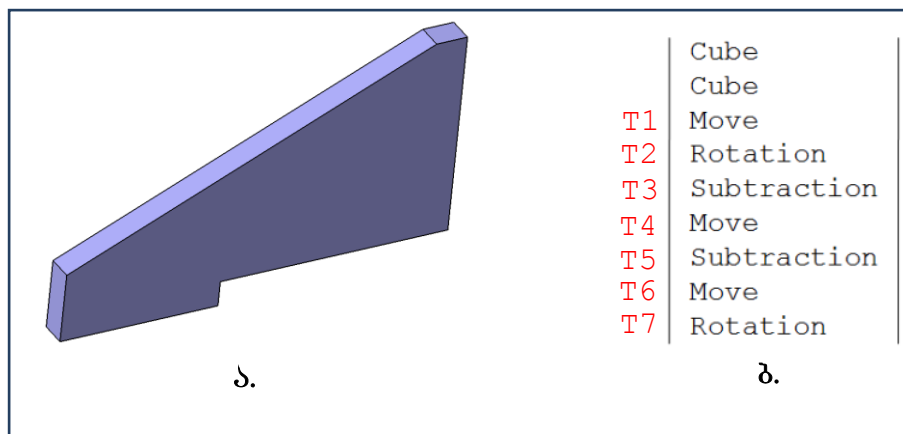
3.4 ტრანზაქციის ოპერაციების შესწავლა

როგორც სატესტო მაგალითების ტესტირების შედეგად გამოჩნდა, 51 სატესტო მაგალითისათვის მოდელირების ინფრასტრუქტურა აფიქსირებს ცდომილებებს. თითოეულ სატესტო მაგალითში გეომეტრიული პრიმიტივის აგებას და პოზიციონირებას ემსახურება გარკვეული რაოდენობის მეთოდი, Boolean ოპერაცია და ტრანზაქციის ოპერაცია, რომლის შესრულებისათვის მოდელირების ინფრასტრუქტურაში გამოიყენება სხვადასხვა ალგორითმები. შესაბამისად თითოეული მეთოდისათვის, Boolean ოპერაციისათვის და ტრანზაქციებისათვის მოდელირების ინფრასტრუქტურა შეიძლება იწვევდეს ცდომილებებს. ამიტომ იმის გასარკვევად თუ რა არის მიზეზი 51 სატესტო მაგალითში დაფიქსირებული ცდომილებისა, ინფრასტრუქტურის ტესტირების მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა გეომეტრიული პრიმიტივის ფორმირებისათვის გამოყენებული მეთოდების, Boolean ოპერაციებისა და ტრანზაქციის ოპერაციების ტესტირება.

ამისათვის თითოეული ცდომილებიანი სატესტო მაგალითი გეომეტრიული პრიმიტივის აგებისათვის გამოყენებულ მეთოდების, Boolean ოპერაციებისა და ტრანზაქციის ოპერაციების შესაბამისად დაიყო ქვე-შემთხვევებად და შემოწმდა თითოეული მათგანის გავლენა მოდელირების ინფრასტრუქტურის მუშაობაზე.

მაგალითად ნახ.51-ზე მოცემულია შვიდკუთხა პრიზმა (ა), პრიზმის დაპროგრამების შერჩეული უნიკალური ვარიანტი (ბ), დაპროგრამების პროცესის გრაფიკული გამოსახულება (გ, დ, ე, ვ) და შესაბამისი AGDD კოდი (ზ). როგორც მოცელუმი სურათიდან ჩანს შვიდკუთხა პრიზმის ასაგებად თავდაპირველად ხდება ძირითადი კუბის აგება. მომდევნო ეტაპზე, მასზე შესაბამისი Subtraction Boolean ოპერაციის განხორციელებისათვის მიმდინარეობს დამხმარე კუბების აგება და მათი პოზიციონირება (გადაადგილება/შემობრუნება) შესაბამის ადგილზე (ბ). მას შემდეგ რაც დამხმარე კუბები დაიკავებენ საჭირო პოზიციას, სრულდება Subtraction Boolean ოპერაცია და შედეგად მიიღება შვიდკუთხა პრიზმა (დ), რომლის საბოლოო პოზიციაზე

განთავსებისათვის გამოიყენება გადაადგილებისა (1) და შემობრუნების (3) ტრანზაქციის ოპერაციები.



```

<box name="Box" material="Aluminium" X_Y_Z="20.; 180.; 305. " />
<box name="Box1" material="Aluminium" X_Y_Z="21.; 180.; 350 " />

<subtraction name="ExampleN02" >
  <posXYZ volume="Box" X_Y_Z=" 0.; 0. ; 0. " rot=" 0. ; 0. ; 0. "/>
  <posXYZ volume="Box1" X_Y_Z=" 0. ; 107. ; 55. " rot=" 24. ; 0. ; 0. "/>
  <posXYZ volume="Box1" X_Y_Z=" 0. ; -160. ; -147.5 " rot=" 0. ; 0. ; 0. "/>
</subtraction>

<composition name="ECT_Toroids" >
  <posXYZ volume="ExampleN02" X_Y_Z=" 2121. ; 4154. ; 12462.5 " rot=" 0.; 0.; -22.5 " />
</composition>

```

ბ

ნახ. 51. შეიდეგუთხა პრიზმის დაპროგრამება

აღნიშნული მაგალითის ტესტირების შედეგად მიღებული იქნა შემდეგი სახის ცდომილებები:

		$\Delta_{GMod.}$ (მმ)	Δ_{G4} (მმ)
1	x	0	0
	y	0	0
	z	0	0
2	x	-0.01	-0.02
	y	0	0
	z	0	0
3	x	0	0
	y	0	0
	z	-0.02	0.01
4	x	0	0
	y	0	0
	z	0	0

		$\Delta_{GMod.}$ (მმ)	Δ_{G4} (მმ)
5	x	0	0
	y	0	0
	z	0	0
6	x	0	0
	y	0	0
	z	0	0
7	x	0	0
	y	0	0
	z	0	0
მოცუ- ლობა (კგ/მ3)			
		0	0

ცხ. 6. შეიდკუთხა პრიზმის ტესტირების შედეგი

როგორც მოცემული ცხრილიდან ჩანს ცდომილებები ფიქსირდება შეიდკუთხა პრიზმის მეორე და მესამე წერტილებზე (წერტილების აღვილმდებარეობა მოცემულია ნახ.51.დ.-ზე).

აღნიშნული ცდომილებების გამომწვევი მიზეზების შესასწავლად განხორციელდა აღწერილ მაგალითში გამოყენებული მეთოდების, Boolean ოპერაციებისა და გეომეტრიული ტრანზაქციების ცდომილებების შესწავლა, რისთვისაც თითოეული სატესტო მაგალითი დაიყო ქვე-შემთხვევებად. თითოეული ქვე-შემთხვევა თავიდან იქნა გატარებული მოდელირების ინფრასტრუქტურაში და მოხდა მიღებული შედეგების დაფიქსირება.

მაგალითად მოცემული შემთხვევისათვის პირველ ეტაპზე განხორციელდა კუბ გეომეტრიული პრიმიტივებისა და დამხმარე კუბის პოზიციონირებისათვის საჭირო გადაადგილებისა და შემობრუნების ტრანზაქციის ოპერაციების შემოწმება (ნახ.51.ბ.), რისთვისაც პროგრამული კოდი დაიწერა ისე, რომ გამოყენებული ყოფილიყო მხოლოდ აღნიშნული ოპერაციები. შედეგად, მიღებულ იქნა პირველი ქვე-შემთხვევა.

	Cube	<code><box name="Box" material="Aluminium" X_Y_Z="20.; 180.; 305. " /></code>
	Cube	<code><box name="Box1" material="Aluminium" X_Y_Z="21.; 180.; 350 " /></code>
T1	Move	<code><composition name="ExampleN02" ></code>
T2	Rotation	<code><posXYZ volume="Box" X_Y_Z=" 0.; 0. ; 0. " rot=" 0. ; 0. ; 0. "/></code>
T3	Subtraction	<code><posXYZ volume="Box1" X_Y_Z=" 0. ; 107. ; 55. " rot=" 24. ; 0. ; 0. "/></code>
T4	Move	<code><posXYZ volume="Box1" X_Y_Z=" 0. ; -160. ; -147.5 " rot=" 0. ; 0. ; 0. "/></code>
T5	Subtraction	<code></composition></code>
T6	Move	<code><composition name="ECT_Toroids" ></code>
T7	Rotation	<code><posXYZ volume="ExampleN02" X_Y_Z=" 0. ; 0. ; 0" rot=" 0.; 0.; 0. " /></code>
		<code></composition></code>

ნახ. 52. ქვე-შემთხვევა I

მოდელირების პლატფორმის შესაბამისად მოხდა მოდელირების ინფრასტრუქტურის ტესტირება პირველი ქვე-შემთხვევის გამოყენებით და მიღებული შედეგების დაფიქსირება. როგორც მიღებული შედეგიდან გამოჩნდა აღნიშნული მაგალითისათვის კუბ მეთოდის გამოყენებით მიღებული კუბ გეომეტრიული პრიმიტივი და დამხმარე კუბის პოზიციონირებისათვის გამოყენებული გადაადგილებისა და შემობრუნების ტრანზაქციის ოპერაციები ცდომილებას არ იწვევენ.

მომდევნო ეტაპზე მოხდა Subtraction Boolean ოპერაციების შემოწმება, რისთვისაც პროგრამული კოდი დაიწერა ისე, რომ ამოღებულ იქნა Subtraction Boolean ოპერაციის შემდგომი გადაადგილება და შემობრუნება ტრანზაქციის ოპერაციები. შედეგად, მიღებულ იქნა მეორე ქვე-შემთხვევა.

	Cube	<code><box name="Box" material="Aluminium" X_Y_Z="20.; 180.; 305. " /></code>
	Cube	<code><box name="Box1" material="Aluminium" X_Y_Z="21.; 180.; 350 " /></code>
T1	Move	<code><subtraction name="ExampleN02" ></code>
T2	Rotation	<code><posXYZ volume="Box" X_Y_Z=" 0.; 0. ; 0. " rot=" 0. ; 0. ; 0. "/></code>
T3	Subtraction	<code><posXYZ volume="Box1" X_Y_Z=" 0. ; 107. ; 55. " rot=" 24. ; 0. ; 0. "/></code>
T4	Move	<code><posXYZ volume="Box1" X_Y_Z=" 0. ; -160. ; -147.5 " rot=" 0. ; 0. ; 0. "/></code>
T5	Subtraction	<code></subtraction></code>
T6	Move	<code><composition name="ECT_Toroids" ></code>
T7	Rotation	<code><posXYZ volume="ExampleN02" X_Y_Z=" 0. ; 0. ; 0." rot=" 0.; 0.; 0. " /></code>
		<code></composition></code>

ნახ. 53. ქვე-შემთხვევა II

მოდელირების პლატფორმის შესაბამისად მოხდა მოდელირების ინფრასტრუქტურის ტესტირება მეორე ქვე-შემთხვევის გამოყენებით და მიღებული შედეგების დაფიქსირება.

იქედან გამომდინარე, რომ ქვე-შემთხვევა II-ის ტესტირების შედეგები ასევე მოიცავს ქვე-შემთხვევა I-ის შედეგებს, ქვე-შემთხვევა II-ის ცდომილებების გამოთვლა ხდება ქვე-შემთხვევა II-ის ტესტირების შედეგად მიღებულ ცდომილებების მნიშვნელობებს გამოკლებული ქვე-შემთხვევა I-ის ტესტირების შედეგად მიღებული ცდომილებები.

შედგად, ქვე-შემთხვევა II-თვის მიღებულ იქნა შემდეგი ცდომილებები:

		$\Delta G_{Mod.}$ (მმ)	ΔG_4 (მმ)
1	x	0	0
	y	0	0
	z	0	0
2	x	0	0
	y	-0.01	-0.01
	z	0	0
3	x	0	0
	y	0	0
	z	-0.02	-0.02
4	x	0	0
	y	0	0
	z	0	0

		$\Delta G_{Mod.}$ (მმ)	ΔG_4 (მმ)
5	x	0	0
	y	0.01	0.01
	z	0	0
6	x	0	0
	y	0.01	0.01
	z	0	0
7	x	0	0
	y	0	0
	z	0	0
მოცულობა (კგ/მ3)		0	0

ცხ. 7. ქვე-შემთხვევა II-ის ცდომილებები

როგორც მიღებული შედეგიდან გამოჩნდა, იმ ადგილებში სადაც სრულდება Subtraction Boolean ოპერაცია ფიქსირდება ცდომილებები.

მომდევნო ეტაპზე მოხდა Subtraction Boolean ოპერაციების შემდეგ გამოყენებული გადაადგილების ტრანზაქციის ოპერაციის შემოწმება, რისთვისაც პროგრამული კოდი დაიწერა ისე, რომ იქედან ამოღებულ იქნა Subtraction Boolean ოპერაციის შემდგომი შემოხრუნება ტრანზაქციის ოპერაცია. შედეგად მიღებულ იქნა მესამე ქვე-შემთხვევა.

	Cube	<code><box name="Box" material="Aluminium" X_Y_Z="20.; 180.; 305. " /></code>
	Cube	<code><box name="Box1" material="Aluminium" X_Y_Z="21.; 180.; 350 " /></code>
T1	Move	
T2	Rotation	
T3	Subtraction	<code><subtraction name="ExampleN02" ></code>
T4	Move	<code><posXYZ volume="Box" X_Y_Z=" 0.; 0.; 0. " rot=" 0.; 0.; 0. "/></code>
T5	Subtraction	<code><posXYZ volume="Box1" X_Y_Z=" 0.; 107.; 55. " rot=" 24.; 0.; 0. "/></code>
T6	Move	<code><posXYZ volume="Box1" X_Y_Z=" 0.; -160.; -147.5 " rot=" 0.; 0.; 0. "/></code>
T7	Rotation	<code></subtraction></code>
		<code><composition name="ECT_Toroids" ></code>
		<code><posXYZ volume="ExampleN02" X_Y_Z=" 2121. ; 4154. ; 12462.5" rot=" 0.; 0.; 0. "/></code>
		<code></composition></code>

ნახ. 54. ქვე-შემთხვევა III

მოდელირების პლატფორმის შესაბამისად მოხდა მოდელირების ინფრასტრუქტურის ტესტირება მესამე ქვე-შემთხვევის გამოყენებით და მიღებული შედეგების დაფიქსირება.

იქედან გამომდინარე, რომ ქვე-შემთხვევა III-ის ტესტირების შედეგები ასევე მოიცავს ქვე-შემთხვევა II-ის შედეგებს, ქვე-შემთხვევა III-ის ცდომილებების გამოთვლა ხდება ქვე-შემთხვევა III-ის ტესტირების შედეგად მიღებულ ცდომილებების მნიშვნელობებს გამოკლებული ქვე-შემთხვევა II-ის ტესტირების შედეგად მიღებული ცდომილებები.

საბოლოოდ, ქვე-შემთხვევა III-თვის მიღებულ იქნა შემდეგი ცდომილება:

		$\Delta_{GMod.}$ (მმ)	Δ_{G4} (მმ)
1	x	0	0
	y	0	0
	z	0	0
2	x	0	0
	y	0	0
	z	0	0
3	x	0	0
	y	0	0
	z	0	0.03
4	x	0	0
	y	0	0
	z	0	0

		$\Delta_{GMod.}$ (მმ)	Δ_{G4} (მმ)
5	x	0	0
	y	0	0
	z	0	0
6	x	0	0
	y	0	0
	z	0	0
7	x	0	0
	y	0	0
	z	0	0
მოცუ- ლობა (კგ/მ3)			
		0	0

ცხ. 8. ქვე-შემთხვევა III-ის ცდომილებები

როგორც მიღებული შედეგიდან გამომდინარე ცდომილება ფიქსირდება მხოლოდ Geant4-დან მიღებული შეიდეგითა პრიმიტივის მხოლოდ ერთი წერტილის z ღერძზე.

ბოლო ეტაპზე განხორციელდა დარჩენილი შემოტრიალება ტრანზაქციის ოპერაციის შემოწმება, რისთვისაც პროგრამული კოდი დაიწერა ისე, რომ იქედან ამოღებულ იქნა Subtraction Boolean ოპერაციის შემდგომი გადაადგილება ტრანზაქციის ოპერაცია. შედეგად მიღებულ იქნა მეოთხე ქვე-შემთხვევა. მოდელირების პლატფორმის შესაბამისად მოხდა მოდელირების ინფრასტრუქტურის ტესტირება მეოთხე ქვე-შემთხვევის გამოყენებით.

	Cube	<box name="Box" material="Aluminium" X_Y_Z="20.; 180.; 305. " />
	Cube	<box name="Box1" material="Aluminium" X_Y_Z="21.; 180.; 350 " />
T1	Move	<subtraction name="ExampleN02" >
T2	Rotation	<posXYZ volume="Box" X_Y_Z=" 0.; 0. ; 0. " rot=" 0. ; 0. ; 0. "/>
T3	Subtraction	<posXYZ volume="Box1" X_Y_Z=" 0. ; 107. ; 55. " rot=" 24. ; 0. ; 0. "/>
T4	Move	<posXYZ volume="Box1" X_Y_Z=" 0. ; -160. ; -147.5 " rot=" 0. ; 0. ; 0. "/>
T5	Subtraction	</subtraction>
T6	Move	<composition name="ECT_Toroids" >
T7	Rotation	<posXYZ volume="ExampleN02" X_Y_Z=" 0. ; 0. ; 0. " rot=" 0. ; 0. ; -22.5 " />
		</composition>

ნახ. 55. ქვე-შემთხვევა IV

იქედან გამომდინარე, რომ ქვე-შემთხვევა IV-ის ტესტირების შედეგები ასევე მოიცავს ქვე-შემთხვევა II-ის შედეგებს, ქვე-შემთხვევა IV-ის ცდომილებების გამოთვლა ხდება ქვე-შემთხვევა IV-ის ტესტირების შედეგად მიღებულ ცდომილებების მნიშვნელობებს გამოკლებული ქვე-შემთხვევა II-ის ტესტირების შედეგად მიღებული ცდომილებები.

საბოლოოდ, ქვე-შემთხვევა IV-თვის მიღებულ იქნა შემდეგი ცდომილება:

		$\Delta G_{Mod.}$ (მმ)	ΔG_4 (მმ)
1	x	0	0
	y	0	0
	z	0	0
2	x	0	0
	y	0	0
	z	0	0
3	x	0	0.01
	y	0	0.01
	z	0	0
4	x	0	0.01
	y	0	0.01
	z	0	0

		$\Delta G_{Mod.}$ (მმ)	ΔG_4 (მმ)
5	x	0.01	0.01
	y	0	-0.02
	z	0	0
6	x	0.01	0.01
	y	0	-0.02
	z	0	0
7	x	0.01	0
	y	0	0
	z	0	0
მოცულობა (კგ/მმ)			
		0	0

ცხ. 9. ქვე-შემთხვევა IV-ის ცდომილებები

როგორც მიღებული შედეგიდან ჩანს ასევე შემობრუნება ტრანზაქციის ოპერაციაც იწვევს ცდომილებებს.

აღწერილი სატესტო მაგალითის მსგავსად განხორციელდა ყველა 51 მაგალითის შესაბამისი ქვე-შემთხვევის ფორმირება და თავიდან

გატარება მოდელიების ინფრასტრუქტურაში. მიღებული შედეგები
დაფიქსირებული იქნა ერთიანი ცხრილის სახით:

	აგების მეთოდები											ტრანსპარენციის ოპერაციები					ცდობილებები											
	No	Cub	Tube	Pyr	Trap	Cone	PolyC	PolyG	Arbitr	Sym	Dsym	M1	R1	Subt	M2	R2	GeoModel					Geant4						
																	M1	R1	Subtr.	M2	R2	Conf	M1	R1	Subt	M2	R2	Conf
1	1			3X								5X	4X	5X	X	X	0	0	$\Delta X=0.25$ $\Delta Y=-0.15$ $\Delta_V=0.0014$	$\Delta X=-0.02$ $\Delta Y=0.01$	$\Delta X=0.07$ $\Delta Y=-0.18$		0	0	$\Delta X=0.25$ $\Delta Y=-0.15$ $\Delta_V=0.0014$	$\Delta X=-0.02$ $\Delta Y=0.01$	$\Delta X=0.06$ $\Delta Y=-0.17$	
2	2	2X										2X	X	2X	X	X	0	0	$\Delta Y=0.01$ $\Delta Z=-0.02$	0	$\Delta X=0.01$		0	0	$\Delta Y=0.01$ $\Delta Z=-0.02$	$\Delta Z=0.03$	$\Delta X=-0.01$ $\Delta Y=-0.02$	
3	4	X							X					X	X	X			$\Delta X=-0.03$ $\Delta Y=-0.02$	0	$\Delta X=0.02$ $\Delta Y=-0.02$ $\Delta Z=-0.02$				$\Delta X=-0.03$ $\Delta Y=-0.02$	0	$\Delta X=0.02$ $\Delta Y=-0.02$	
4	6	2X										X		X	X	X	0		$\Delta X=-0.23$ $\Delta Z=-0.13$ $\Delta V=0.0002$	0	$\Delta X=0.03$ $\Delta Y=0.1$ $\Delta Z=0.01$		0		$\Delta X=-0.23$ $\Delta Z=-0.13$ $\Delta V=0.0002$	$\Delta Z=0.03$	$\Delta X=0.03$ $\Delta Y=0.1$ $\Delta Z=0.01$	
5	7	X							X					2X	X	X			$\Delta X=-0.07$ $\Delta Y=-0.05$	$\Delta X=0.01$ $\Delta Y=0.05$	$\Delta X=-0.02$ $\Delta Y=0.09$				$\Delta X=-0.07$ $\Delta Y=-0.05$	$\Delta X=0.01$ $\Delta Y=0.05$	$\Delta X=0.04$ $\Delta Y=0.09$	
6	8	2X										X	X	X	X	X	0	0	$\Delta Z=-0.01$	0	0		0	0	$\Delta Z=-0.01$	0	0	
7	9								2X			2X		2X	X	X	0		0	0	$\Delta X=-0.01$		0		0	0	0	
8	10	3X										4X		4X	X	X	0		$\Delta X=0.03$ $\Delta Y=0.03$	$\Delta X=0.03$ $\Delta Y=0.03$	$\Delta X=-0.04$ $\Delta Y=-0.02$		0		$\Delta X=0.03$ $\Delta Y=0.03$	$\Delta X=0.03$ $\Delta Y=0.03$	$\Delta X=-0.04$ $\Delta Y=-0.02$	
9	11	2X												X	X	X			$\Delta Y=-0.09$ $\Delta Z=-0.06$	0	$\Delta X=0.03$ $\Delta Y=0.01$				$\Delta Y=-0.09$ $\Delta Z=-0.06$	$\Delta Y=-0.01$ $\Delta Z=-0.01$	$\Delta X=0.03$ $\Delta Y=0.02$	
10	12								2X					X	X	X			$\Delta X=-0.09$ $\Delta Y=-0.06$	$\Delta Y=-0.02$	$\Delta X=0.03$ $\Delta Y=0.01$				$\Delta X=-0.09$ $\Delta Y=-0.06$	$\Delta Y=-0.03$	$\Delta X=0.03$ $\Delta Y=0.02$	
11	13	X	X							X		X		2X	X	X	0		$\Delta X=0.01$ $\Delta_V=0.0002$	$\Delta X=-0.03$ $\Delta Y=-0.02$	$\Delta X=-0.01$ $\Delta Y=0.02$		0		$\Delta X=0.01$ $\Delta_V=0.0002$	$\Delta X=0.03$ $\Delta Y=-0.03$	$\Delta X=-0.01$ $\Delta Y=0.03$	
12	14	X	X						X			2X		2X	X	X	0		$\Delta X=-0.03$ $\Delta Y=-0.02$ $\Delta_V=0.0002$	0	$\Delta X=-0.01$ $\Delta Y=0.02$		0		$\Delta X=-0.03$ $\Delta Y=-0.02$ $\Delta_V=0.0002$	0	$\Delta X=-0.01$ $\Delta Y=0.03$	
13	15	X		X								X		X	X	X	0		0	0	$\Delta X=0.01$		0		0	0	$\Delta X=0.01$ $\Delta Y=-0.01$	
14	16		X						X			X		X	X	X	0		$\Delta X=-0.03$ $\Delta Y=-0.02$	0	$\Delta X=-0.01$ $\Delta Y=0.02$		0		$\Delta X=-0.04$ $\Delta Y=-0.03$	0	$\Delta X=-0.01$ $R=0.01$	
15	17		2X									2X	2X	2X	X	X	0	0	$\Delta X=0.04$ $\Delta Y=0.02$ $\Delta V=0.002$	$\Delta X=0.01$	$\Delta X=0.02$ $\Delta Y=0.03$ $R=0.01$		0	0	$\Delta X=0.04$ $R=0.02$ $\Delta V=0.002$	$\Delta X=0.01$ $\Delta Y=0.01$ $\Delta Z=0.01$	$\Delta X=0.02$ $\Delta Y=0.03$ $R=0.05$	
16	18		2X						X	X		2X		3X	X		0		$\Delta X=-0.11$ $\Delta Y=0.19$ $\Delta_V=0.0003$	0			0		$\Delta X=-0.11$ $\Delta Y=0.19$ $R=0.01$ $\Delta_V=0.0003$	$\Delta X=-0.07$ $\Delta Y=-0.04$ $R=0.08$		

ა) ცდობილებები

	აგების მეთოდები												ტრანზაქციის ოპერაციები					ცდომილებები														
	№	Cub	Tube	Pyr	Trap	Cone	PolyC	PolyG	Arbitr	Sym	Dsym		M1	R1	Subt	M2	R2		GeoModel					Geant4								
																			M1	R1	Subtr.	M2	R2	Conf	M1	R1	Subt	M2	R2	Conf		
17	19		2X						X				2X		2X	X	X		0		$\Delta X=0.06$ $\Delta Y=0.04$ $\Delta V=0.0003$	0	$\Delta Y=-0.03$		0		$\Delta X=0.06$ $\Delta Y=0.01$ $R=0.03$ $\Delta V=0.0003$	$\Delta X=-0.03$ $\Delta Y=-0.04$ $R=0.05$	$\Delta X=0.04$ $\Delta Y=0.06$ $R=0.09$			
18	20		2X	X						X			3X	X	3X	X	X		0	0	$\Delta X=-0.14$ $\Delta Y=-0.08$ $\Delta V=0.0003$	$\Delta X=0.01$ $\Delta Y=0.01$	$\Delta X=-0.03$ $\Delta Y=0.06$		0	0	$\Delta X=-0.14$ $\Delta Y=-0.08$ $R=0.03$ $\Delta V=0.0003$	$\Delta X=0.01$ $\Delta Y=-0.04$ $R=0.03$	$\Delta X=-0.03$ $\Delta Y=0.06$ $R=0.01$			
19	22		X						X				X		X	X	X		0		$\Delta X=-0.03$ $\Delta Y=-0.02$ $\Delta V=0.0001$	0	$\Delta Y=0.02$		0		$\Delta X=-0.03$ $\Delta Y=-0.02$ $\Delta V=0.0001$	0	$\Delta Y=0.02$			
20	23		X	X					2X				X	2X	4X	X	X		0	0	$\Delta X=0.23$ $\Delta Y=-0.09$ $\Delta V=0.0001$	0	$\Delta X=-0.03$ $\Delta Y=-0.09$		0	0	$\Delta X=0.23$ $\Delta Y=-0.09$ $\Delta V=0.0001$	0	$\Delta X=-0.03$ $\Delta Y=-0.09$			
21	24	X	X										X		X	X	X		0		$\Delta X=-0.02$ $\Delta Y=0.01$ $\Delta Z=-0.01$	$\Delta X=-0.01$ $\Delta Y=-0.01$ $\Delta Z=-0.01$	$\Delta X=0.02$ $\Delta Y=0.01$		0		$\Delta X=-0.02$ $\Delta Y=0.01$ $\Delta Z=-0.01$	$\Delta X=-0.02$	$\Delta X=0.01$ $\Delta Y=0.02$			
22	25		X						2X				2X		3X	X	X		0		$\Delta X=0.03$ $\Delta Y=0.02$ $\Delta V=0.0005$ $R=0.01$	0	$\Delta Y=-0.02$		0		$\Delta X=0.03$ $\Delta Y=0.21$ $\Delta V=0.0001$ $R=0.17$	0	$\Delta Y=0.23$ $R=0.05$			
23	26	2X	X										2X		3X	X	X		0		$\Delta X=0.03$ $\Delta Y=0.02$	$\Delta Y=-0.02$ $R=0.01$	$\Delta X=0.02$		0		$\Delta X=0.03$ $\Delta Y=0.2$ $R=0.02$	$\Delta Y=-0.01$ $R=0.02$	$\Delta X=0.07$ $\Delta Y=-0.03$ $R=0.05$			
24	27								4X				3X	2X	4X	X	X		0	0	$\Delta X=0.15$ $\Delta Y=-0.22$ $\Delta Z=-0.06$	$\Delta X=0.01$ $\Delta Z=-0.02$	$\Delta X=-0.09$ $\Delta Y=0.07$		0	0	$\Delta X=0.15$ $\Delta Y=-0.16$ $\Delta Z=0.08$	$\Delta X=0.26$ $\Delta Y=0.03$ $\Delta Z=-0.02$	$\Delta X=-0.07$ $\Delta Y=-0.04$			
25	28	2X									2X		3X	2X	4X	X	X		0	0	$\Delta X=0.15$ $\Delta Y=-0.22$ $\Delta Z=-0.06$	$\Delta X=0.01$ $\Delta Z=-0.02$	$\Delta X=-0.09$ $\Delta Y=0.07$		0	0	$\Delta X=0.15$ $\Delta Y=-0.16$ $\Delta Z=0.08$	$\Delta X=0.26$ $\Delta Y=0.03$ $\Delta Z=-0.02$	$\Delta X=-0.07$ $\Delta Y=-0.04$			
26	29		X						2X				X	2X	3X	X	X		0	0	$\Delta X=0.01$ $\Delta Y=-0.03$ $\Delta Z=0.01$ $\Delta V=0.0002$	$\Delta Y=-0.01$ $\Delta Z=0.01$	$\Delta X=-0.01$ $\Delta Y=0.01$ $\Delta Z=0.01$		0	0	$\Delta X=0.01$ $\Delta Y=-0.03$ $\Delta Z=0.01$ $\Delta V=0.0002$	$\Delta Y=0.01$ $\Delta Z=0.03$	$\Delta X=0.01$ $\Delta Y=0.03$ $\Delta Z=-0.01$			
27	30		X						2X				8X	7X	8X	X	X		0	0	$\Delta X=0.03$ $\Delta Y=-0.03$ $\Delta Z=-0.02$ $\Delta V=0.0003$	$\Delta Y=-0.03$ $\Delta Z=0.03$	$\Delta Y=0.01$ $\Delta Z=0.04$		0	0	$\Delta X=0.03$ $\Delta Y=-0.03$ $\Delta Z=0.03$ $\Delta V=0.0003$	$\Delta Y=0.03$ $\Delta Z=-0.03$ $R=0.01$	$\Delta X=0.01$ $\Delta Y=-0.03$ $\Delta Z=0.02$ $R=0.01$			

ა) ცდომილებიანი მაგალითები

	აგების მეთოდები										ტრანსპარანსის ოპერაციები						ცდომილებები											
	No	Cub	Tube	Pyr	Trap	Cone	PolyC	PolyG	Arbitr	Sym	Dsym	M1	R1	Subt	M2	R2	GeoModel				Geant4							
																	M1	R1	Subtr.	M2	R2	Conf	M1	R1	Subt	M2	R2	Conf
28	31		X							X	X	8X	8X	8X	X	X	0	0	$\Delta X=0.03$ $\Delta Y=-0.03$ $\Delta Z=-0.03$ $\Delta_v=0.0003$ 1	$\Delta Y=-0.03$ $\Delta Z=0.03$	$\Delta Y=0.01$ $\Delta Z=0.04$		0	0	$\Delta X=0.03$ $\Delta Y=-0.03$ $\Delta Z=-0.03$ $\Delta_v=0.0003$ 1	$\Delta X=0.02$ $\Delta Y=0.03$ $R=0.01$	$\Delta X=-0.02$ $\Delta Y=-0.03$ $\Delta Z=0.03$ $R=0.01$	
29	32					X			3X			7X	5X	7X	X	X	0	0	$\Delta X=0.03$ $\Delta Y=0.03$ $\Delta Z=0.03$ $\Delta_v=0.0016$	$\Delta X=-0.03$ $\Delta Z=-0.02$ $\Delta_v=0.003$ 3	$\Delta X=0.01$ $\Delta Z=0.02$		0	0	$\Delta X=-0.05$ $\Delta Y=0.03$ $\Delta Z=-0.03$ $\Delta_v=0.0016$ $R=0.01$	$\Delta X=0.04$ $\Delta Y=0.06$ $\Delta Z=-0.05$ $\Delta_v=0.003$ 3 $R=0.02$	$\Delta X=0.05$ $\Delta Y=-0.08$ $\Delta Z=-0.02$ $R=0.04$	
30	33					X			2X	X		7X	5X	7X	X	X	0	0	$\Delta X=0.03$ $\Delta Y=0.03$ $\Delta Z=0.03$ $\Delta_v=0.0016$	$\Delta X=-0.03$ $\Delta Z=-0.02$ $\Delta_v=0.003$ 3	$\Delta X=0.01$ $\Delta Z=0.02$		0	0	$\Delta X=-0.05$ $\Delta Y=0.03$ $\Delta Z=-0.03$ $\Delta_v=0.0016$ $R=0.01$	$\Delta X=0.04$ $\Delta Y=0.06$ $\Delta Z=-0.05$ $\Delta_v=0.003$ 3 $R=0.02$	$\Delta X=0.05$ $\Delta Y=-0.08$ $\Delta Z=-0.02$ $R=0.04$	
31	34		X						X			2X	2X	2X	X	X	0	0	$\Delta_v=0.0001$	0	0		0	0	$\Delta Y=0.01$ $\Delta_v=0.0001$	0	0	
32	35		X							X		2X	2X	2X	X	X	0	0	$\Delta_v=0.0001$	0	0		0	0	$\Delta Y=0.01$ $\Delta_v=0.0001$	0	0	
33	36		X						X			2X		2X	X	X	0		$\Delta X=0.02$ $\Delta_v=0.0000$ 1	0	$\Delta X=-0.01$ $\Delta Z=-0.01$		0		$\Delta X=0.02$ $\Delta Z=0.01$ $\Delta_v=0.00007$	$\Delta X=0.02$ $\Delta Z=-0.02$ $R=0.03$	$\Delta X=-0.17$ $\Delta Z=0.17$ $R=0.25$	
34	37	2X	2X									3X		3X	X	X	0		$\Delta X=0.01$ $\Delta Z=0.01$ $\Delta_v=0.0000$ 7	0	$\Delta Z=0.02$		0		$\Delta X=0.02$ $\Delta Z=0.01$	$\Delta X=-0.03$ $\Delta Z=0.05$ $R=0.05$	$\Delta X=-0.16$ $\Delta Z=-0.21$ $R=0.19$	
35	38		2X						X			X		2X	X		0		$\Delta X=-0.03$ $\Delta Y=-0.03$ $\Delta V=0.0009$	0			0		$\Delta X=-0.03$ $\Delta Y=-0.03$ $\Delta V=0.0009$	0		
36	39	X	2X						X	X		2X		4X	X		0		$\Delta X=-0.24$ $\Delta Y=-0.18$ $\Delta V=0.0009$	0			0		$\Delta X=-0.24$ $\Delta Y=-0.18$ $\Delta V=0.0009$	0		
37	40								5X				2X	4X	X	X		0	$\Delta X=0.11$ $\Delta Y=0.09$ $\Delta Z=-0.12$ $\Delta_v=0.0004$	$\Delta X=0.01$ $\Delta Y=-0.01$ $\Delta Z=0.01$	$\Delta X=0.09$ $\Delta Y=0.1$			0	$\Delta X=0.11$ $\Delta Y=0.09$ $\Delta Z=-0.12$ $\Delta_v=0.0004$	$\Delta X=0.01$ $\Delta Y=0.01$ $\Delta Z=0.01$	$\Delta X=0.09$ $\Delta Y=0.1$	

ა) ცდომილებიანი მაგალითები

აგების მეთოდები												ტრანზაქციის ოპერაციები					ცდომილებები											
																	GeoModel						Geant4					
№	Cub	Tube	Pyr	Trap	Cone	PolyC	PolyG	Arbitr	Sym	Dsym		M1	R1	Subt	M2	R2	M1	R1	Subtr.	M2	R2	Conf	M1	R1	Subt	M2	R2	Conf
38	41	X						4X					3X	4X	X	X		0	$\Delta X=0.11$ $\Delta Y=0.09$ $\Delta Z=-0.12$ $\Delta_V=0.0004$	$\Delta Y=0.01$	$\Delta X=0.09$ $\Delta Y=0.1$			0	$\Delta X=0.11$ $\Delta Y=0.09$ $\Delta Z=-0.12$ $\Delta_V=0.0004$	$\Delta Y=0.01$	$\Delta X=0.09$ $\Delta Y=0.1$	
39	55	X		X								2X	2X	2X	X	X	0	0	$\Delta X=0.08$ $\Delta Y=0.01$	$\Delta Y=0.02$	$\Delta X=-0.01$ $\Delta Y=0.02$	-	0	0	$\Delta X=0.08$ $\Delta Y=0.01$	$\Delta Y=0.02$	$\Delta X=-0.01$ $\Delta Y=0.01$	-
40	56	2X										3X		3X	X	X	0		$\Delta X=0.03$ $\Delta Y=0.02$	0	$\Delta X=0.01$	-	0		$\Delta X=0.03$ $\Delta Y=0.02$	0	0	-
41	57		2X									2X	2X	X	X	X	0	0	$\Delta X=0.04$ $\Delta Y=0.02$ $\Delta V=0.002$	$\Delta X=0.01$	$\Delta X=0.02$ $\Delta Y=0.03$ $R=0.01$		0	0	$\Delta X=0.04$ $\Delta Y=0.01$ $\Delta V=0.002$	$\Delta X=0.01$ $\Delta Y=0.01$	$\Delta X=0.02$ $\Delta Y=0.03$ $R=0.05$	-
42	58	2X	X									X		2X	2X	X	0		$\Delta X=0.03$ $\Delta Y=0.02$	$\Delta Y=-0.02$ $R=0.01$	$\Delta X=0.02$		0		$\Delta X=0.03$ $\Delta Y=0.2$ $R=0.02$	$\Delta Y=-0.01$ $R=0.02$	$\Delta X=0.07$ $\Delta Y=-0.03$ $R=0.05$	-
43	59	2X	X									X		2X	2X	X	0		$\Delta X=0.03$ $\Delta Y=0.02$ $\Delta_V=0.0005$ $R=0.01$	0	$\Delta Y=-0.02$		0		$\Delta X=0.03$ $\Delta Y=0.21$ $\Delta_V=0.0001$ $R=0.17$	0	$\Delta Y=0.23$ $R=0.05$	-
44	60	X								2X		X	X	2X	2X	2X	0	0	$\Delta X=0.15$ $\Delta Y=-0.22$ $\Delta Z=-0.06$	$\Delta X=0.01$ $\Delta Z=-0.02$	$\Delta X=-0.09$ $\Delta Y=0.07$		0	0	$\Delta X=0.15$ $\Delta Y=-0.16$ $\Delta Z=0.08$	$\Delta X=0.26$ $\Delta Y=0.03$ $\Delta Z=-0.02$	$\Delta X=-0.07$ $\Delta Y=-0.04$	-
45	61							3X				X	X	2X	2X	2X	0	0	$\Delta X=0.15$ $\Delta Y=-0.22$ $\Delta Z=-0.06$	$\Delta X=0.01$ $\Delta Z=-0.02$	$\Delta X=-0.09$ $\Delta Y=0.07$		0	0	$\Delta X=0.15$ $\Delta Y=-0.16$ $\Delta Z=0.08$	$\Delta X=0.26$ $\Delta Y=0.03$ $\Delta Z=-0.02$	$\Delta X=-0.07$ $\Delta Y=-0.04$	-
46	63	2X												X	X	X	0		$\Delta Y=-0.09$ $\Delta Z=0.06$	$\Delta Z=0.01$	$\Delta X=0.03$ $\Delta Y=0.01$	-	0		$\Delta Y=-0.09$ $\Delta Z=0.06$	$\Delta Y=-0.01$ $\Delta Z=0.01$	$\Delta X=0.03$ $\Delta Y=0.02$	-
47	68	X	X									X		X	X		0		$\Delta X=-0.06$ $\Delta Y=-0.05$	0		-	0		$\Delta X=-0.06$ $\Delta Y=-0.05$	0		-
48	71	X		X								3X	3X	2X	X	X	0	0	$\Delta X=0.08$ $\Delta Y=0.01$	$\Delta Y=0.02$	$\Delta X=-0.01$ $\Delta Y=0.02$	0	0	0	$\Delta X=0.08$ $\Delta Y=0.01$	$\Delta Y=0.02$	$\Delta X=-0.01$ $\Delta Y=0.01$	0
49	73	4X		2X								6X	6X	5X	2X	2X	0	0	$\Delta X=0.08$ $\Delta Y=0.01$	$\Delta Y=0.02$	$\Delta X=-0.01$ $\Delta Y=0.02$	-	0	0	$\Delta X=0.08$ $\Delta Y=0.01$	$\Delta Y=0.02$	$\Delta X=-0.01$ $\Delta Y=0.01$	-
50	74	2X	X									2X		X		X	0		$\Delta X=-1.34$ $\Delta Z=0.94$ $\Delta_V=0.175$		$\Delta X=-0.47$ $\Delta Z=0.33$	Clash=1 .28	0		$\Delta X=-1.44$ $\Delta Z=-0.9$ $\Delta_V=0.044$		$\Delta Z=-0.09$	Clash=0 .91
51	75	X	2X									X	X	X	X	X	0		$\Delta X=-1.71$ $\Delta Z=-1.25$ $\Delta_V=34.45$	0	0	-	0	0	$\Delta X=-1.75$ $\Delta Z=-1.25$ $R=0.05$ $\Delta V=34.45$	0		-

ა) ცდომილებიანი მაგალითები

	აგების მეთოდები											ტრანზაქციის ოპერაციები					ცდომილებები											
	№	Cub	Tube	Pyr	Trap	Cone	PolyC	PolyG	Arbitr	Sym	Dsym	M1	R1	Subt	M2	R2	GeoModel					Geant4						
																	M1	R1	Subtr.	M2	R2	Conf	M1	R1	Subt	M2	R2	Conf
1	3									X		X	X				0	0					0	0				
2	5								X			X	X				0	0					0	0				
3	21						X					X					0	0					0	0				
4	42		2X									2X					0	0				0	0	0				0
5	43		3X									X					0	0				0	0	0				0
6	44		X						X			2X	2X				0	0				0	0	0				0
7	45	X	X									2X	2X				0	0				0	0	0				0
8	46		2X									2X	X				0	0				0	0	0				0
9	47								2X								0	0				0	0	0				0
10	48	2X										2X					0	0				0	0	0				0
11	50		2X			X						2X					0	0				0	0	0				0
12	51	X								X		2X	2X				0	0				0	0	0				0
13	52		X						X			2X	X				0	0				0	0	0				0
14	53	X	X									2X	X				0	0				0	0	0				0
15	54				X							X	X				0	0					0	0				
16	62						X					X					0											
17	64	3X	X									10X	2X	10X	X	X	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	
18	65	2X	X		X							7X	X	7X	X	X	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	
19	66							X				X					0						0					
20	67		2X									2X					0						0					
21	69		2X			X						3X					0						0					
22	70		3X									3X					0					0	0					0
23	72	2X										2X					0					0	0					0
24	76	X	X									2X					0					0	0					0
25	77				2X							2X	2X				0	0				0	0					0
26	49	X	2X									2X	2X	2X	2X	2X	CATIA-მ ვერ დაითვალა შედეგები					CATIA-მ ვერ დაითვალა შედეგები						

ბ) მახასიათებელი ცდომილების ბარშე

M1-გადაადგილება ტრანზაქცია Boolean ოპერაციამდე

R1-შემობრუნება ტრანზაქცია Boolean ოპერაციამდე

Subtr- Boolean ოპერაცია

M1-გადაადგილება ტრანზაქცია Boolean

ოპერაციამდე

R1-შემობრუნება ტრანზაქცია Boolean ოპერაციამდე

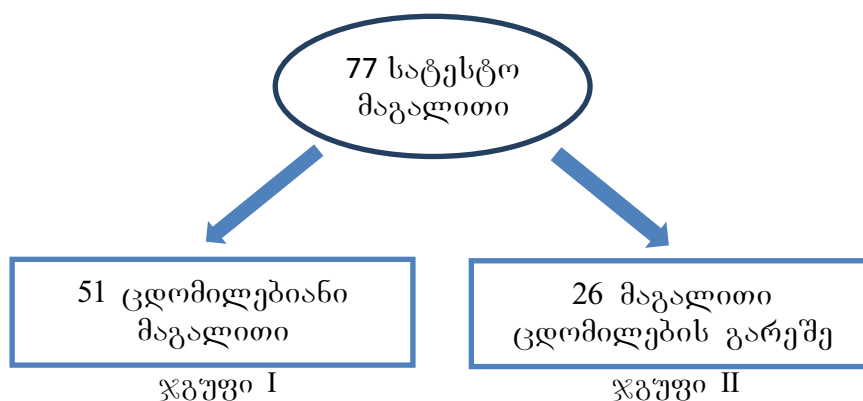
ცხრილში მოცემულია გეომეტრიული პრიმიტივის იმ წერტილებების ცდომილებები რომელზედაც დაფიქსირდა ყველაზე მაღალი ცდომილება

ცხ. 10. ტრანზაქციის ოპერაციების ტესტირების შედეგები

3.5 შედეგების სისტემატიზაცია და შესწავლა

მოდელირების ინფრასტრუქტურის ტესტირების მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა საცდელი სესიების ჩატარების შედეგად მიღებული შედეგების შესწავლა (ცხ.10.).

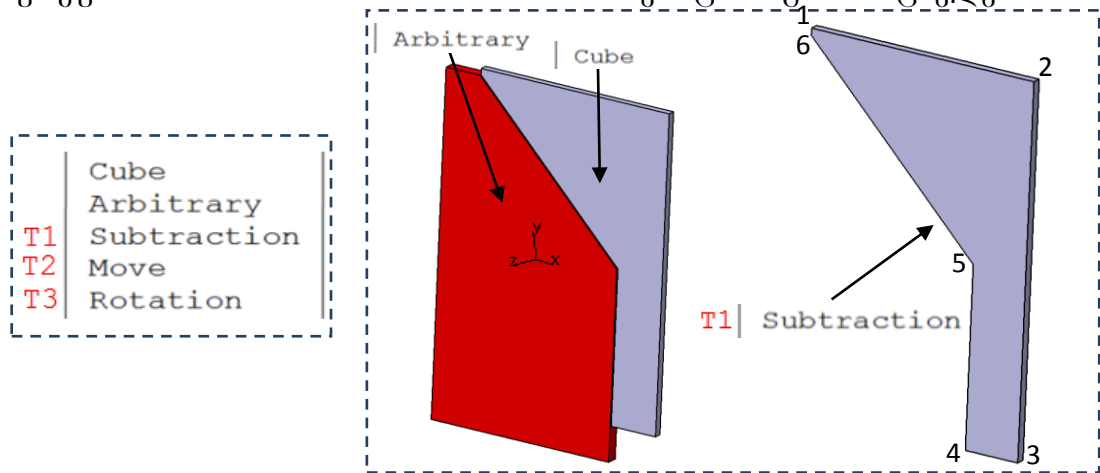
თავდაპირველად მოხდა მიღებული შედეგების დახარისხება ორ ჯგუფად: ჯგუფ I-ში გაერთიანდა სატესტო მაგალითები, რომლის ტესტირების შედეგად მიღებულ იქნა ცდომილებები (ცხ.10.ა.), ხოლო ჯგუფ II-ში კი სატესტო მაგალითები რომლის ტესტირების შედეგად მიღებულ იქნა ნულოვანი ცდომილებები (ცხ.10.ბ.) და შემდეგ განხორციელდა მათი ანალიზი.



ნახ. 56. სატესტო მაგალითების ორი ჯგუფი

აღნიშნული ჯგუფების პირველადი ანალიზის შედეგად გამოჩნდა, რომ იმ მაგალითებში სადაც არ გამოიყენება Boolean ოპერაცია, ფიქსირდება ნულოვანი ცდომილება: მაგალითად ჯგუფ I-ში შემავალ ყველა მაგალითში გამოყენებულია Boolean ოპერაცია და ყველა მათგანში ფიქსირდება ცდომილებები, მაშინ როდესაც ჯგუფ II-ში შემავალი 26 მაგალითიდან 24 მათგანში არ არის გამოყენებული Boolean ოპერაციები და მიღებულ შედეგებში ფიქსირდება ნულოვანი ცდომილებები. ამასთან ერთად ცდომილებები ფიქსირდება გეომეტრიული პრიმიტივის მხოლოდ იმ წერტილებზე, რომლის ფორმირებაშიც მონაწილეობდა Boolean ოპერაცია. აქედან გამომდინარე შეიძლება ითქვას, რომ **Boolean ოპერაცია არის ცდომილებების გამომწვევი მიზეზი**. მაგალითად ნახ.57-ზე მოცემულია ექვსკუთხა პრიზმა, რომლის აგება ხორციელდება ოთკუთხა (Cube) გეომეტრიულ

პრიმიტივზე Arbitrary Polygon მეთოდის გამოყენებით შექმნილი ხუთკუთხა პრიზმით Subtraction Boolean ოპერაციის განხორციელებით.



ნახ. 57. სატესტო მაგალითები №4

ხოლო ცხ.11.-ში კი ნაჩვენებია აღნიშნული სატესტო მაგალითის ტესტირებით მიღებული შედეგები.

		$\Delta G4$ (მმ)	$\Delta GMod.$ (მმ)
1	x	0	0
	y	0	0
	z	0	0
2	x	0	0
	y	0	0
	z	0	0
3	x	0	0
	y	0	0
	z	0	0
4	x	-0.01	-0.01
	y	-0.02	-0.02
	z	0	0

		$\Delta G4$ (მმ)	$\Delta GMod.$ (მმ)
5	x	-0.01	-0.01
	y	-0.02	-0.02
	z	0	-0.02
6	x	0	0
	y	-0.01	-0.01
	z	0	-0.02
მოცულობა	x		
	y	0.00002	0.00002
	z		

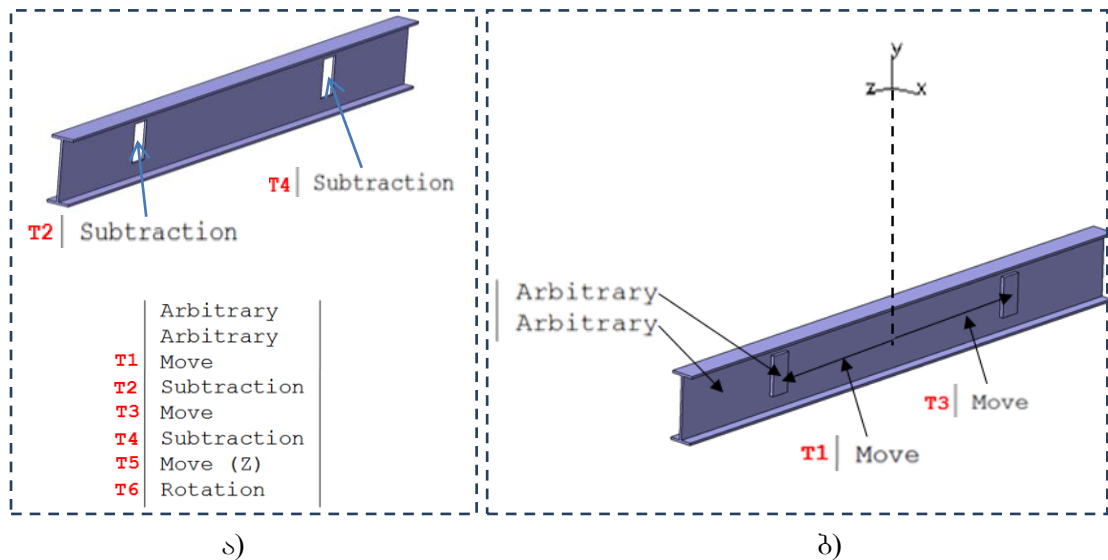
ცხ. 11. სატესტო მაგალით №4-ის ტესტირების შედეგი

როგორც მოცემული ცხრილიდან ჩანს ცდომილებები ფიქსირდება გეომეტრიული პრიმიტივის მხოლოდ იმ წერილებზე (4, 5, 6), რომლის ფორმირებაშიც მონაწილეობა მიიღო Subtraction Boolean ოპერაციამ (ნახ.57). აქედან გამომდინარე, შეიძლება ითქვას, რომ **Subtraction Boolean** ოპერაცია იწვევს გეომეტრიული პრიმიტივის ფორმის შეცვლას

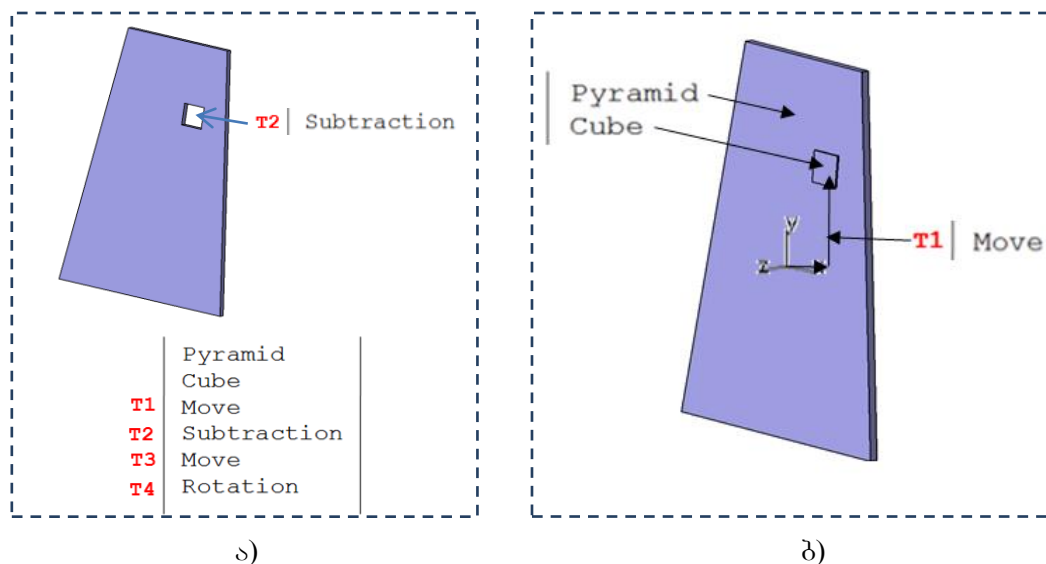
და რაც უფრო მეტი წერტილია ფორმირებული Boolean ოპერაციის გამოყენებით, მით უფრო იცვლის ფორმას გეომეტრიული პრიმიტივი. გარდა ამისა, გეომეტრიული პრიმიტივის ფორმის შეცვლა თავის მხრივ ცვლის მის მოცულობას და შესაბამისად ცდომილება მიიღება მოცულობაშიც (ცხ.11.).

ამასთან ერთად, ორივე ჯგუფში ფიქსირდება შემთხვევები, როდესაც გამოყენებულია Boolean ოპერაცია, თუმცა ცდომილებას ადგილი არ აქვს. შესაბამისად, მომდევნო ეტაპზე თითოეული ჯგუფისათვის განხორციელდა აღნიშნული სატესტო მაგალითების ანალიზი და დადგენა თუ რატომ არ იწვევს ცდომილებებს Boolean ოპერაციები აღნიშნული მაგალითების შემთხვევაში.

პირველ ეტაპზე განხორციელდა ჯგუფ I-ში შემავალი მაგალითების ანალიზი. აღნიშნულ ჯგუფში შემავალი 51 მაგალითიდან მხოლოდ 2 მათგანში (სატესტო მაგალითი №9 და სატესტო მაგალითი №15) (დანართი 1) ფიქსირდება შემთხვევა, როდესაც Boolean ოპერაცია არ იწვევს ცდომილებებს (ცხ.10.ა.). აღნიშნული მაგალითების განხილვის შედეგად გამოჩნდა, რომ ორივე მაგალითში გამოყენებულ Subtraction Boolean ოპერაციას გააჩნია ერთნაირი მახასიათებლები: 1. ორივე მათგანის შემთხვევაში Subtraction Boolean ოპერაცია მიმდინარეობს დამხმარე პრიზმის საშუალებით. სატესტო მაგალითი №9-ის შემთხვევაში დამხმარე პრიზმის აგება ხორციელდება Arbitrary Polygon მეთოდის საშუალებით რომლის ამოჭრის ადგილას პოზიციონირებისათვის გამოიყენება გადაადგილება T1/T3 ტრანზაქციის ოპერაციები (ნახ.58.ბ.), ხოლო სატესტო მაგალითი №15-ის შემთხვევაში დამხმარე პრიზმის აგება ხორციელდება Cube მეთოდით, რომლის შესაბამის პოზიციაზე განთავსებისათვის გამოიყენება გადაადგილება T1 ტრანზაქციის ოპერაცია (ნახ.59.ბ.). 2. ამასთან ერთად ორივე სატესტო მაგალითის შემთხვევაში ჭრის შედეგად მიიღება შიდა ზედაპირი, ანუ ადგილი აქვს შიდა ჭრას.



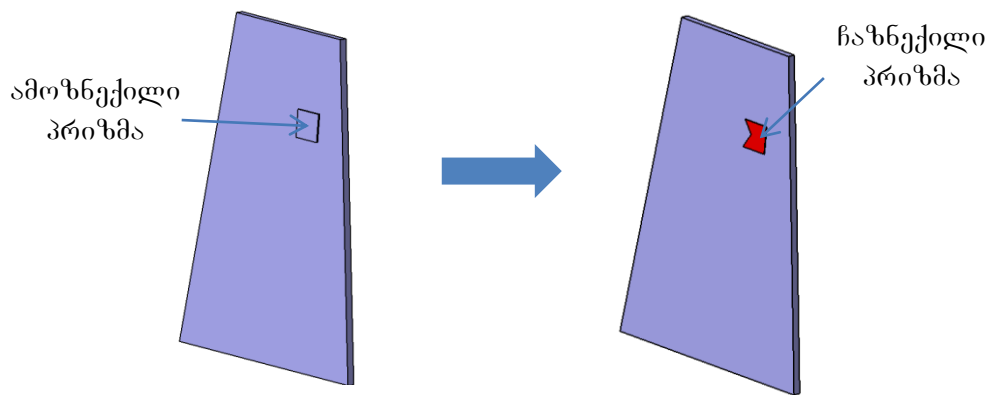
ნახ. 58. სატესტო მაგალითი №9



ნახ. 59. სატესტო მაგალითი №15

გარდა ამისა სატესტო მაგალითი №9–სა და №15–ის შემთხვევაში ჩატარებულ იქნა დამატებითი კვლევა. ორივე სატესტო მაგალითში Subtraction Boolean ოპერაციის განხორციელებისათვის გამოყენებული პრიზმა წარმოადგენს ამოზნექილ გეომეტრიული პრიმიტივს. ამიტომ იმის გასარკვევად მოქმედებს თუ არა პრიზმის ამოზნექილი/ჩაზნექილი ფორმები Subtraction Boolean ოპერაციის შედეგებზე, ჩატარდა დამატებითი კვლევა. კერძოდ, აღებული იქნა ერთერთი სატესტო მაგალითი (სატესტო მაგალითი №15), სადაც Subtraction ოპერაციისათვის გამოყენებული ოთხუთხა ამოზნექილი პრიზმა

შეიცვალა ხუთკუთხა ჩაზნექილი პრიზმით (ნახ.59.) და მიღებული ახალი სატესტო მაგალითი თავიდან იქნა გატარებული მოდელირების ინფრასტრუქტურაში.



ნახ. 60. სატესტო მაგალითი №15 ამოზნექილი/ჩაზნექილი პრიზმებით

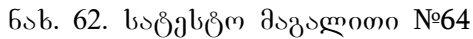
როგორც მიღებული შედეგიდან გამოჩნდა, ამოზნექილი პრიზმის მსგავსად ჩაზნექილი პრიზმის შემთხვევაშიც დაფიქსირდა ნულოვანი ცდომილება.

მომდევნო ეტაპზე ორივე სატესტო მაგალითი შედარებულ იქნა ცდომილებიან სხვა სატესტო მაგალითებთან იმის გასარკვევად, ხომ არ არსებობდა მსგავსი თვისების მქონე სატესტო მაგალითები, სადაც ფიქსირდებოდა ცდომილებები. შედეგად აღმოჩნა, რომ ისინი წარმოადგენენ უნიკალურ შემთხვევებს, რომელთაც ანალოგი არ ჰყავთ.

აღნიშნული შედეგებიდან გამომდინარე შეიძლება ითქვას, რომ **Subtraction Boolean** ოპერაცია არ იწვევს ცდომილებას იმ შემთხვევაში როდესაც ჭრა მიმდინარეობს პრიზმის გამოყენებით და ამავე დროს აღვილი აქვს შიდა ჭრას.

სატესტო მაგალით №9-სა და №15-ის მსგავსად, ჯგუფ II-ში შემავალ სატესტო მაგალითებ №64-სა და №65-ის (დანართი 1) შემთხვევაში ასევე გამოყენებულია Subtraction Boolean ოპერაცია, თუმცა ფიქსირდება ნულოვანი ცდომილებები. აღნიშნული მაგალითების შემთხვევაში პრიმიტივები წარმოადგენენ ზომით ძალიან პატარა გეომეტრიული ობიექტებს: სატესტო მაგალით №64-ის შემთხვევაში

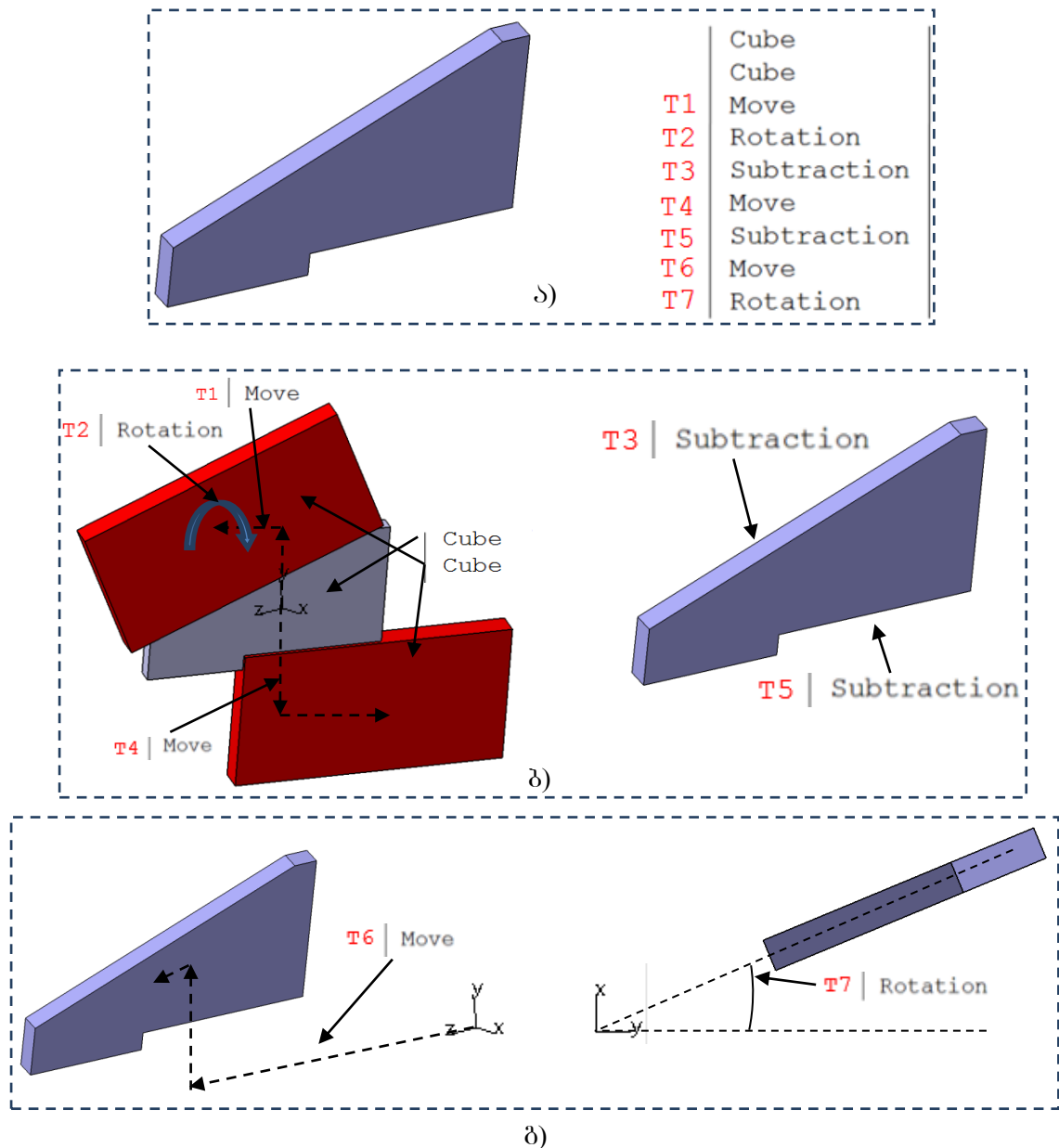
#59: BOX WITH CUPS



იქედან გამომდინარე, რომ სატესტო მაგალითების ტესტირებით მიღებულ შედეგებში დაფიქსირებულ რიცხვითი მნიშვნელობების სიზუსტედ აღებულია წერტილის შემდეგ ორი თანრიგი, ხოლო სატესტო მაგალით №64-სა და №65-ში არსებული გეომეტრიული პრიმიტივები არის ზომით ძალიან პატარა, აღნიშნული სატესტო მაგალითებისათვის ცდომილებები ნაკლებია განსაზღვრულ სიზუსტეზე, რის გამოც შედეგებში ფიქსირდება ნულოვანი მნიშვნელობა.

103

მაგალითად ნახ.62.-ზე მოცემულია შვიდკუთხა პრიზმა (ა) და მისი AGDD-ის ბაზაზე დაპროგრამების ვარიანტის გრაფიკული გამოსახულება (ბ, გ).



ნახ. 63. სატესტო მაგალითი №2

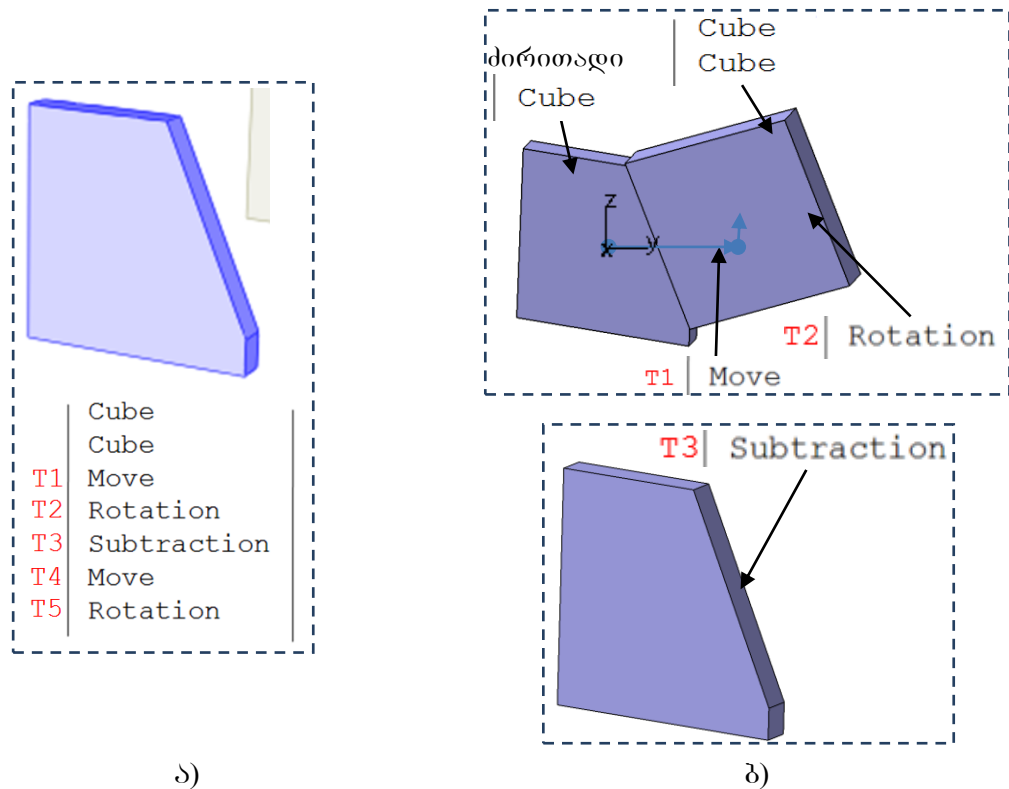
როგორც მოცემული სურათიდან ჩანს შვიდკუთხა პრიზმა მიიღება კუბ გეომეტრიულ პრიმიტივზე დამხმარე კუბ გეომეტრიული პრიმიტივით Subtraction Boolean ოპერაციების განხორციელებით (ბ), რაც თავის მხრივ საჭიროებს დამხმარე კუბის საჭირო ადგილზე პოზიციონირებას, რისთვისაც გამოყენებულია T1/T4(გადაადგილება) და

T2(შემობრუნება) ტრანზაქციის ოპერაციები (ბ). აღნიშნულ მაგალითში ასევე გამოიყენება T6(გადაადგილება) და T7(შემობრუნება) ტრანზაქციის ოპერაციები რომლებიც ემსახურებიან ჭრის შედეგად მიღებული შეიდკუთხა პრიზმის საბოლოო პოზიციაზე განთავსებას. შესაბამისად, როგორც ნახ.63-დან ჩანს სატესტო მაგალით №2-ში გამოყენებულია Subtraction Boolean ოპერაციამდელი T1/T2/T4 და Subtraction Boolean ოპერაციის შემდგომი T6/T7 ტრანზაქციის ოპერაციები.

სატესტო მაგალითების ტესტირებისას აღნიშნული შემთხვევები შემოწმდა როგორც სხვადასხვა ქვე-შემთხვევა და თითოეული მათგანისათვის შედეგები აისახა ცალ-ცალკე. ცხ.10.-ში ლოგიკურ ოპერაციამდე გამოყენებული ტრანზაქციის ოპერაციების შედეგები ასახულია M1(გადაადგილება)/R1(შემობრუნება) სვეტში, ხოლო Boolean ოპერაციის შემდეგ გამოყენებული ტრანზაქციის ოპერაციების შედეგები კი M2(გადაადგილება)/R2 (შემობრუნება) სვეტში. აღნიშნული შედეგების ანალიზის შედეგად ნათლად გამოჩნდა, რომ ტრანზაქციის ოპერაციები, რომლებიც გამოიყენება ლოგიკურ ოპერაციამდე ყველა 77 სატესტო მაგალითის შემთხვევაში აფიქსირებენ ნულოვან ცდომილებებს. იმ შემთხვევაში როდესაც ტრანზაქციის ოპერაციები სრულდება Boolean ოპერაციის შემდეგ, ძირითად შემთხვევაში ფიქსირდება ცდომილებები. აქედან გამომდინარე შეიძლება ითქვას, რომ **Boolean ოპერაცია კორელირებს Boolean ოპერაციის შემდეგ არსებულ გადაადგილება/შემობრუნება ტრანზაქციაზე.** ამასთან ერთად აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ Boolean ოპერაციით გამოწვეული გადაადგილება/შემობრუნება ტრანზაქციების ცდომილებები ფიქსირდება გეომეტრიული პრიმიტივის მხოლოდ იმ წერტილებზე, რომლის ფორმირებაშიც მონაწილეობა მიიღო უშუალოდ ლოგიკურმა ოპერაციამ.

ძირითად შემთხვევაში Boolean ოპერაცია კორელირებს გადაადგილება/შემობრუნება ტრანზაქციაზე, თუმცა მიღებულ შედეგებში არის ისეთი შემთხვევები, როდესაც სრულდება Boolean ოპერაცია მაგრამ Boolean ოპერაციის შემდგომ

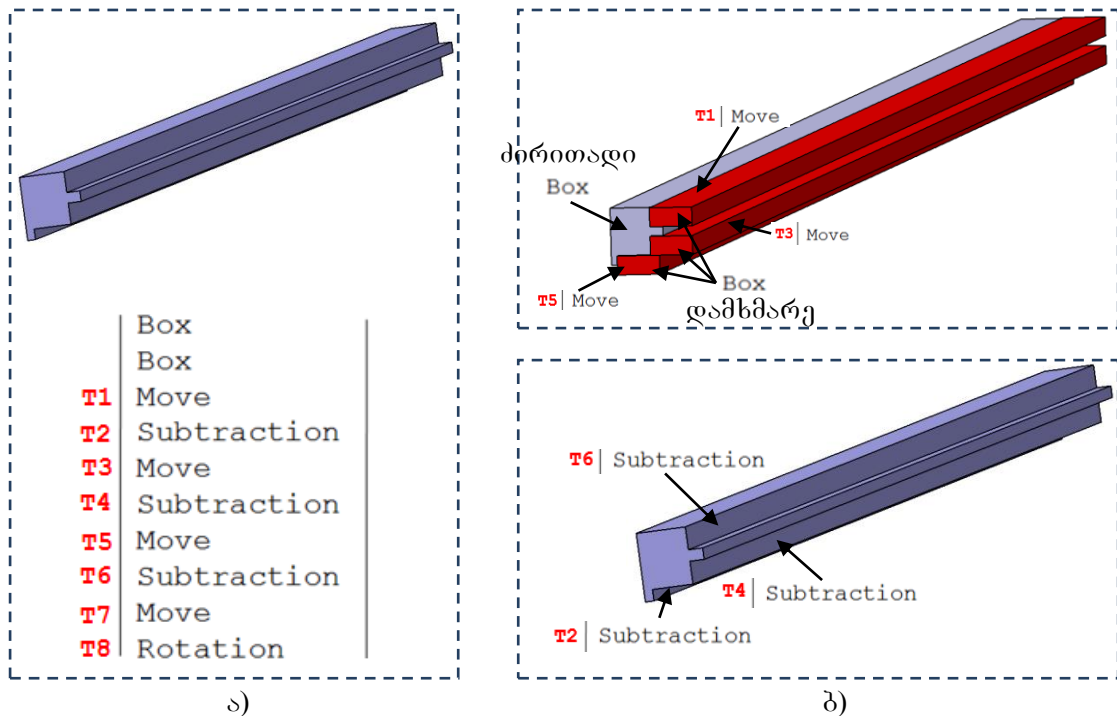
გადაადგილება/შემობრუნება ტრანზაქციის ოპერაციებში ფიქსირდება ნულოვანი ცდომილებები. ამიტომ მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა აღნიშნული შემთხვევების ანალიზი რისთვისაც, პირველ რიგში დაფიქსირებულ იქნა ასეთი შემთხვევები. მაგალითად სატესტო მაგალით №8-სა და №56-ში (დანართი 1) გადაადგილება/შემობრუნება ტრანზაქციებში ფიქსირდება ნულოვანი ცდომილებები.



ნახ. 64. სატესტო მაგალითი №8

აღნიშნული მაგალითების განხილვის შედეგად აღმოჩნდა, რომ ორივე მათგანს გააჩნიათ ერთნაირი მახასიათებლები: 1. ორივე შემთხვევაში ძირითადი გეომეტრიული პრიმიტივს წარმოადგენს ოთკუთხა პრიზმა. სატესტო მაგალითი №8-ის შემთხვევაში ძირითადი პრიზმის აგება ხორციელდება AGDD-ში არსებული Cube მეთოდით (იხ. დანართი 2), ხოლო სატესტო მაგალითი №56-ის შემთხვევაში კი GeoModel-ში არსებული Box მეთოდით. 2. ორივე შემთხვევაში Subtraction Boolean ოპერაცია მიმდინარეობს დამხმარე ოთკუთხა პრიზმის საშუალებით. სატესტო მაგალითი №8-ის შემთხვევაში დამხმარე პრიზმის აგება ხორციელდება AGDD-ში არსებული Cube მეთოდის

საშუალებით, ხოლო სატესტო მაგალითი №56-ის შემთხვევაში კი GeoModel-ში არსებული Box მეთოდით. 3. ამასთან ერთად ორივე სატესტო მაგალითის შემთხვევაში ჭრის შედეგად იქმნება გარე ზედაპირი, ანუ ადგილი აქვს გარე ჭრას.



ნახ. 65. სატესტო მაგალითი №56

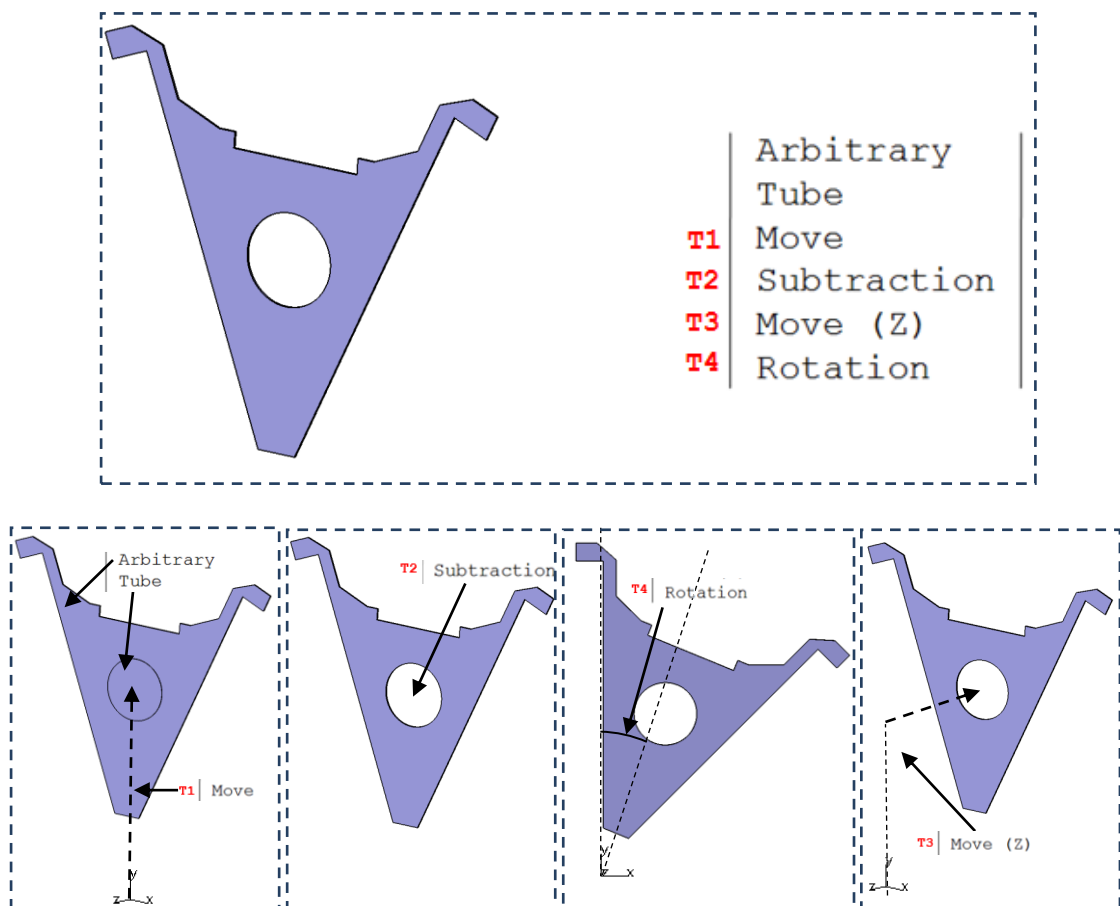
მომდევნო ეტაპზე ორივე სატესტო მაგალითი შედარებულ იქნა ცდომილებიან სხვა სატესტო მაგალითებთან იმის გასარკვევად, ხომ არ არსებობდა მსგავსი თვისების მქონე სატესტო მაგალითები, სადაც ფიქსირდებოდა ცდომილებები. შედეგად აღმოჩნა, რომ ისინი წარმოადგენენ უნიკალურ შემთხვევებს, რომელთაც ანალოგი არ ყავთ.

აღნიშნული შედეგებიდან გამომდინარე შეიძლება ითქვას, რომ **Subtraction Boolean** ოპერაცია არ კორელირებს გადაადგილება/შემობრუნება ტრანზაქციაზე იმ შემთხვევაში როდესაც ოთკუთხა პრიზმა იჭრება ოთკუთხა პრიზმით და ჭრის შედეგად მიიღება გარე ზედაპირი ანუ ადგილი აქვს გარე ჭრას.

გარდა ამისა როგორც მიღებული შედეგებიდან გამოჩნდა (ცხ.10.) არის შემთხვევები, როდესაც **Boolean** ოპერაცია კორელირებს შემობრუნების ტრანზაქციაზე, მაგრამ არა გადაადგილების

ტრანზაქციაზე. ამიტომ მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა აღნიშნული შემთხვევების ანალიზი.

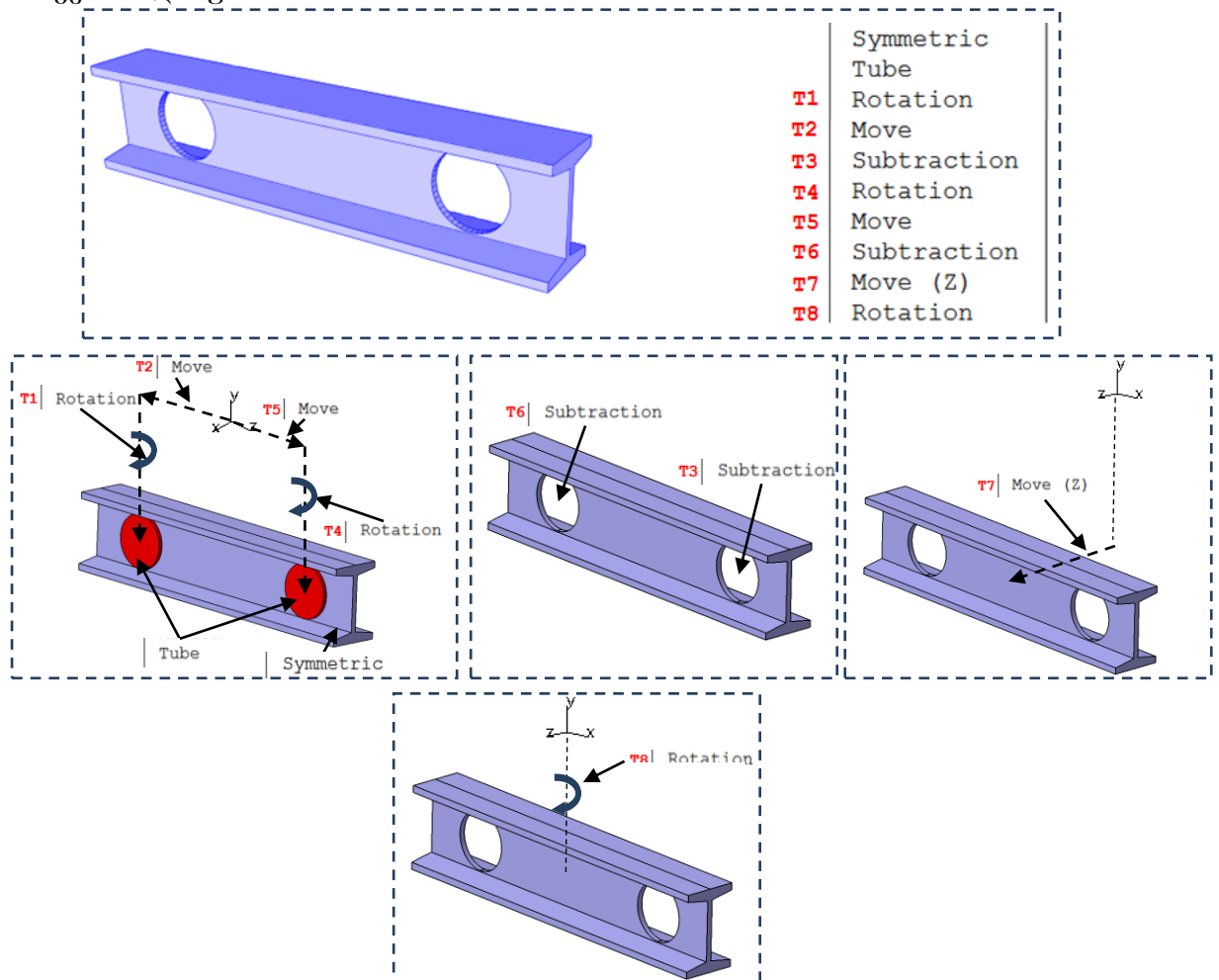
აღნიშნული შემთხვევისათვის გამოიყო სხვადასხვა ჯგუფი სატესტო მაგალითებისა, სადაც Subtraction Boolean ოპერაცია მიმდინარეობს სხვადასხვა გეომეტრიული პრიმიტივების საშუალებით. მაგალითად პირველ ჯგუფში გაერთიანდა სატესტო მაგალითები: №19, №22, №34 და №38 (დანართი 1), რადგანაც მათ გააჩნიათ ერთნაირი მახასიათებლები. კერძოდ კი თითოეული მათგანისათვის ძირითადი გეომეტრიული პრიმიტივის აგება ხორციელდება AGDD-ში არსებული Arbitrary Polygon მეთოდის საშუალებით; Subtraction Boolean ოპერაცია მიმდინარეობს Tube გეომეტრიული პრიმიტივის საშუალებით და ამასთან ერთად ჭრის შედეგად მიიღება შიდა ზედაპირი ანუ ადგილი აქვს შიდა ჭრას.



ნახ. 66. სატესტო მაგალითი №19

მაგალითად როგორც ნახ.66.-ზე მოცემული სატესტო მაგალითიდან ჩანს, ძირითადი ოცკუთხა პრიზმის აგება ხორციელდება Arbitrary Polygon მეთოდის საშუალებით, ხოლო მასზე Subtraction ოპერაცია მიმდინარეობს Tube მეთოდის გამოყენებით, რომლის შედეგადაც მიიღება შიდა ჭრა (დანართი 2).

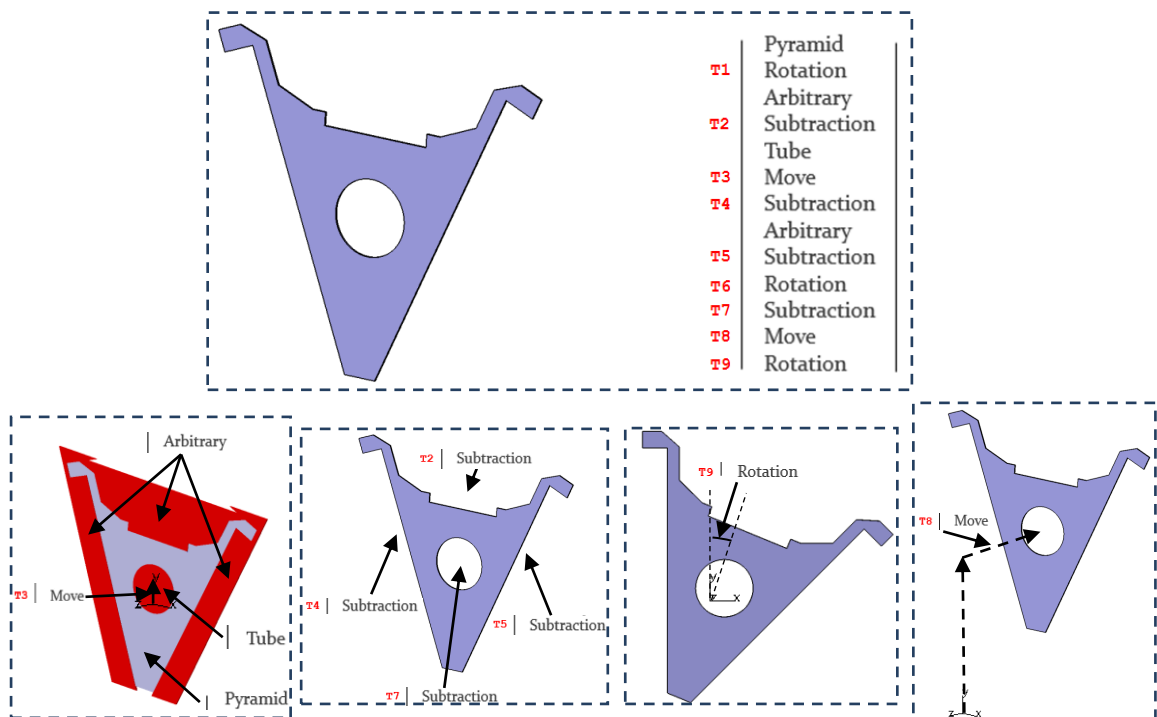
მეორე ჯგუფში გაერთიანდა სატესტო მაგალითები: №20, №35 და №39 (დანართი 1). აღნიშნულ სატესტო მაგალითებში ძირითადი გეომეტრიული პრიმიტივის აგება ხორციელდება AGDD-ში არსებული Symmetric Polygon მეთოდის საშუალებით. Subtraction Boolean ოპერაცია კი მიმდინარეობს Tube გეომეტრიული პრიმიტივის საშუალებით და ამასთან ერთად ჭრის შედეგად მიიღება შიდა ზედაპირი ანუ ადგილი აქვს შიდა ჭრას.



ნახ. 67. სატესტო მაგალითი №35

მაგალითად როგორც ნახ.67-ზე მოცემული სატესტო მაგალითიდან ჩანს, ძირითადი თორმეტკუთხა პრიზმის აგება ხორციელდება Symmetric Polygon მეთოდის საშუალებით, ხოლო მასზე Subtraction ოპერაცია მიმდინარეობს Tube მეთოდის გამოყენებით, რომლის შედეგადაც მიიღება შიდა ჭრა (დანართი 2).

მესამე ჯგუფში გაერთიანდა სატესტო მაგალითები: №23 და №68. აღნიშნულ სატესტო მაგალითებში ძირითადი გეომეტრიული პრიმიტივის აგება ხორციელდება Pyramid და Box მეთოდის საშუალებით. Subtraction Boolean ოპერაცია კი მიმდინარეობს Tube გეომეტრიული პრიმიტივის საშუალებით და ამასთან ერთად ჭრის შედეგად მიიღება შიდა ზედაპირები (შიდა ჭრა).



ნახ. 68. სატესტო მაგალითი №23

სატესტო მაგალით №23-ის შემთხვევაში შედეგების ამსახველ ცხრილში (ცხ.10.) M2 (გადაადგილება ტრანზაქციის ცდომილება) სვეტში დაფიქსირებულია ცდომილება, რადგანაც როგორც მოცემული სურათიდან ჩანს (ნახ.68.) ოცკუთხა გეომეტრიული პრიმიტივის ფორმირებაში მონაწილეობას ღებულობს სხვადასხვა დამხმარე გეომეტრიული პრიმიტივები, რომლებიც იწვევენ ცდომილებებს. სწორედ

აღნიშნული ცდომილება არის ასახული ცხრილში. იმ ადგილას კი სადაც Pyramid იჭრება Tube-ით და ადგილი აქვს შიდა ჭრას, ფიქსირდება ნულოვანი ცდომილება.

ზემოთ აღწერილი შედეგებიდან გამომდინარე შეიძლება ითქვას, რომ **Subtraction Boolean** ოპერაცია არ კორელირებს გადაადგილების ტრანზაქციაზე იმ შემთხვევაში, როდესაც **Arbitrary Polygon, Symmetric Polygon, Cube/Box** და **Pyramid** მეთოდების გამოყენებით მიღებულ გეომეტრიული პრიმიტივი იჭრება **Tube** მეთოდების გამოყენებით მიღებული გეომეტრიული პრიმიტით და ჭრის შედეგად მიიღება შიდა ზედაპირი (შიდა ჭრა).

მე-3 თავის დასკვნები

1. ჰიპოთეზა I დადასტურდა: უზუსტობები გამოწვეულია მოდელირების ინფრასტრუქტურაში უზუსტო გეომეტრიული ტრანსფორმაციებით

2. Boolean ოპერაცია არის ცდომილებების გამომწვევი ძირითადი მიზეზი

✓ Subtraction Boolean ოპერაცია იწვევს გეომეტრიული პრიმიტივის ფორმის შეცვლას. რაც უფრო მეტი წერტილია ფორმირებული Boolean ოპერაციის გამოყენებით, მით უფრო იცვლის ფორმას გეომეტრიული პრიმიტივი

✓ გეომეტრიული პრიმიტივის ფორმის შეცვლა თავის მხრივ იწვევს ცდომილებას მოცულობაში

3. Subtraction Boolean ოპერაცია არ იწვევს ცდომილებას იმ შემთხვევაში როდესაც ჭრა მიმდინარეობს პრიზმის გამოყენებით და ამავე დროს ადგილი აქვს შიდა ჭრას

4. Boolean ოპერაცია კორელირებს Boolean ოპერაციის შემდეგ არსებულ გადაადგილება/შემობრუნება ტრანზაქციებზე

5. Subtraction Boolean ოპერაცია არ კორელირებს გადაადგილება/შემობრუნება ტრანზაქციებზე იმ შემთხვევაში როდესაც ოთკუთხა

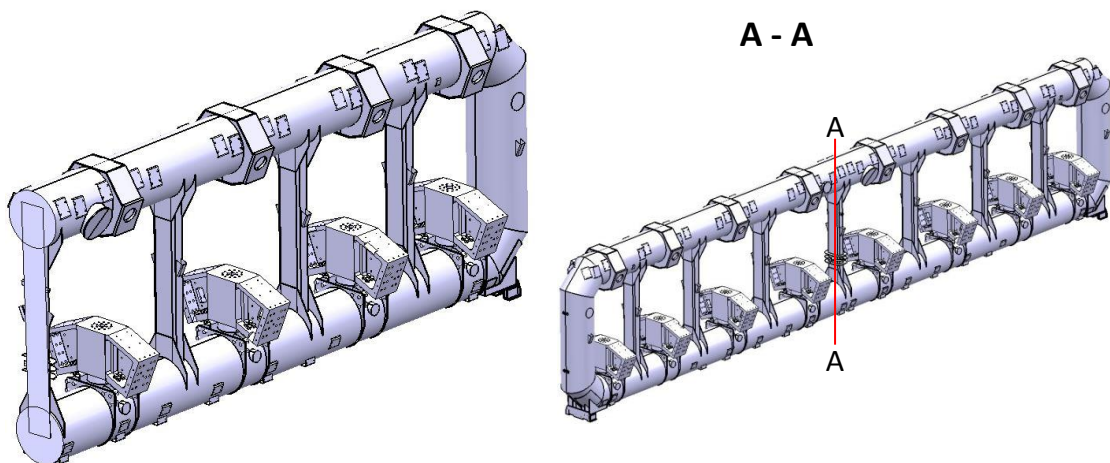
პრიზმა იჭრება ოთკუთხა პრიზმით და ჭრის შედეგად მიიღება გარე ზედაპირი ანუ ადგილი აქვს გარე ჭრას.

6. Subtraction Boolean ოპერაცია არ კორელირებს გადაადგილების ტრანზაქციაზე იმ შემთხვევაში, როდესაც Arbitrary Polygon, Symmetric Polygon, Cube/Box და Pyramid მეთოდების გამოყენებით მიღებულ გეომეტრიული პრიმიტივი იჭრება Tube მეთოდების გამოყენებით მიღებული გეომეტრიული პრიმიტით და ჭრის შედეგად მიიღება შიდა ზედაპირი (შიდა ჭრა).

თავი IV. II კიპოტეზის შემოწმება. რეალური და Geant4
გეომეტრიული მოდელების ურთიერთშედარებითი
ანალიზი

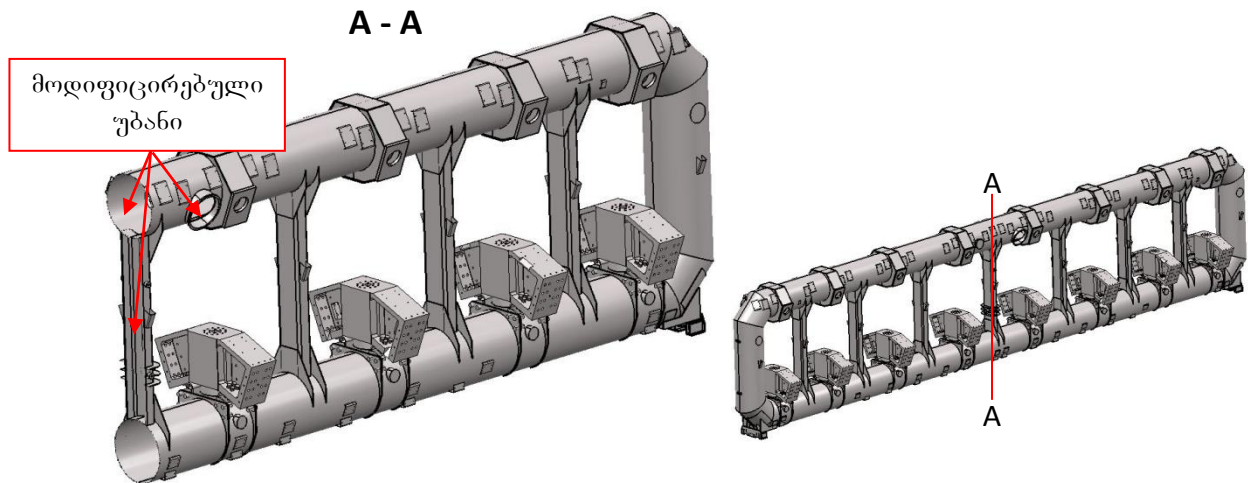
4.1 ATLAS-ის დეტექტორის მაგნიტური ღეროს გეომეტრიული
მოდელის რეპროდუცირება

კიპოტეზა II-ის შემოწმების პირველ ეტაპზე, რაც გულისხმობს ATLAS-ის დეტექტორის ერთ-ერთი კომპონენტის გეომეტრიული მოდელის რეპროდუცირებას, განხორციელდა მაგნიტური ღეროს დეტალური გეომეტრიული მოდელის შექმნა CATIA-ს საშუალებით [37]. ამისათვის პირველ რიგში განხორციელდა საინჟინრო ბაზაში არსებული მაგნიტური ღეროს გეომეტრიული მოდელის ანალიზი.



ნახ. 69. საინჟინრო ბაზაში არსებული მაგნიტური ღეროს გეომეტრიული მოდელი

როგორც ანალიზის შედეგად გამოჩნდა, საინჟინრო ბაზაში არსებული მოდელი არ წარმოადგენდა დეტალურ მოდელს-შეიცავდა მხოლოდ გარე გეომეტრიის კომპონენტებს. ამასთან ერთად გარე გეომეტრიის კომპონენტებს არ გააჩნდათ შიდა ჭრილები, რომელშიდაც განთავსებული უნდა ყოფილიყო მაგნიტური ღეროს შიგნით არსებული გეომეტრიული ობიექტები. ამიტომ, მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა მაგნიტური ღეროს მოდელის მოდიფიცირება CATIA-ში. მოდიფიცირების შედეგად დამატებულ იქნა ჭრილები გარე გეომეტრიაზე.

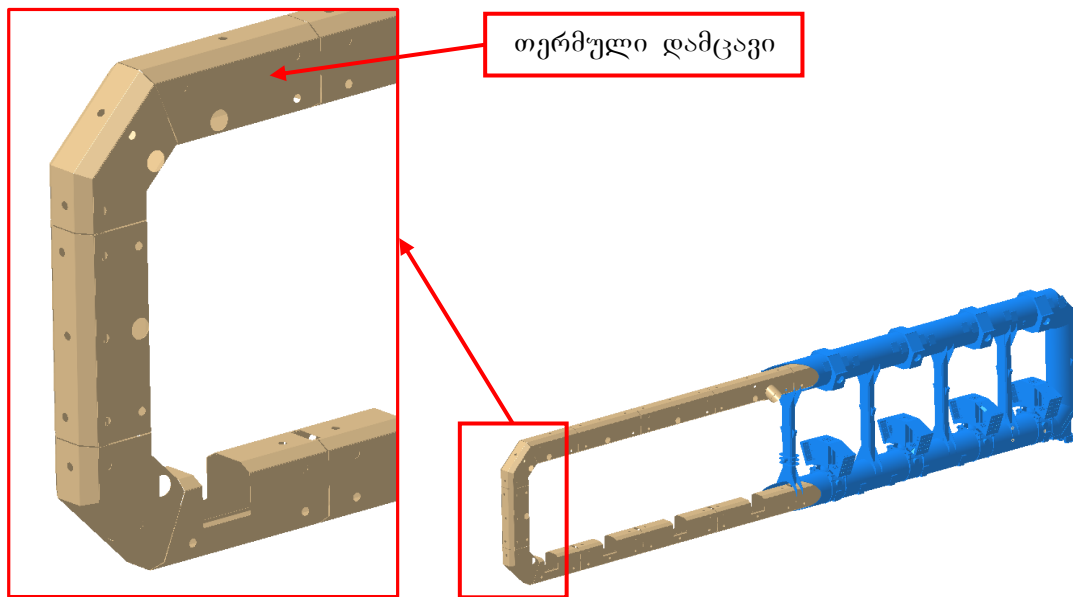


ნახ. 70. CATIA-ში მოდულიზირებული საინჟინრო მოდელი

იმის გამო, რომ Smarteam-დან ამოღებული მოდელი შეიცავდა მხოლოდ გარე გეომეტრიას, სინამდვილეში კი მაგნიტური ღერო შედგება ერთმანეთის შიგნით განთავსებული გეომეტრიული ობიექტების რამდენიმე ფენისაგან, საჭირო გახდა მაგნიტური ღეროს შიდა გეომეტრიის დეტალური მოდელის შექმნა, რისთვისაც გამოყენებულ იქნა CDD ნახაზების ბაზა, საიდანაც განხორციელდა მაგნიტური ღეროს კომპონენტების შესაბამისი 2D საინჟინრო ნახაზების ამოღება და მათი მიხედვით სრული 3D მოდელის შევსება ქვეანაწყოების მოდულებით:

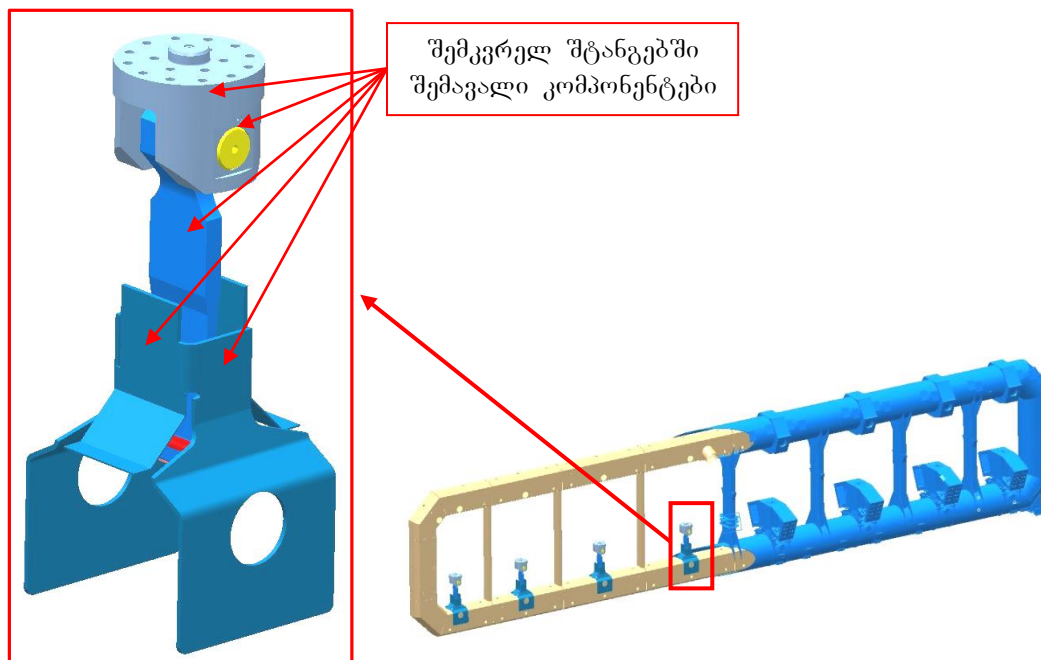
I. თერმული დამცავი წარმოადგენდა გეომეტრიული ობიექტს, რომელიც განთავსებული იყო მაგნიტური ღეროს გარე კომპონენტების შიგნით, მთელ სიგრძეზე და იმეორებდა მის ფორმას. ძირითადი სხვაობა გარე გეომეტრიასთან შედარებით არის ის, რომ თუ გარე ნაწილი წარმოადგენდა ცილინდრის ფორმის მიღებს, თერმული დამცავი შედგებოდა პრიზმისაგან. გარდა ამისა მთლიანი თერმული დამცავი იყოფოდა 22 პრიზმად, რომელთაც გააჩნდათ დამატებითი ნახვრეტები მასთან სხვა კომპონენტების დასამაგრებლად.

თერმული დამცავის CATIA-ში აგებისათვის გამოყენებულ იქნა 25 CDD ნახაზი. აღნიშნულ ნახაზებზე მითითებული ზომების მიხედვით შეიქმნა თერმული დამცავის გეომეტრიული მოდელი, რომელსაც შემდეგი სახე აქვს:



ნახ. 71. CATIA-ში შექმნილი თერმული დამცავი

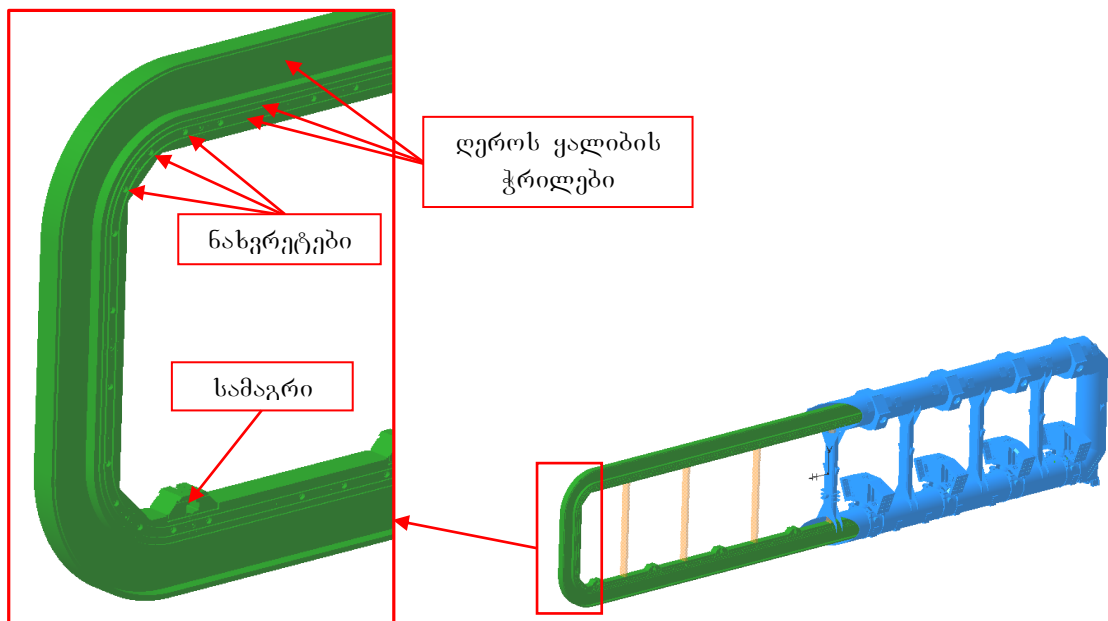
II. შემკვრელი შტანგები შედგებოდა სხვადასხვა გეომეტრიული კომპონენტისაგან, ამიტომ თითოეული მათგანისათვის CDD-დან ამოღებულ იქნა შესაბამისი ნახაზები და მითითებული პარამეტრების მიხედვით მოხდა შესაბამისი გეომეტრიული მოდელის აგება CATIA-ში. აღნიშნული სამუშაოსათვის გამოყენებულ იქნა 11 CDD ნახაზი. CATIA-ში აგებულ შემკვრელი შტანგის გეომეტრიული მოდელს აქვს შემდეგი სახე:



ნახ. 72. CATIA-ში შექმნილი შემკვრელი შტანგა

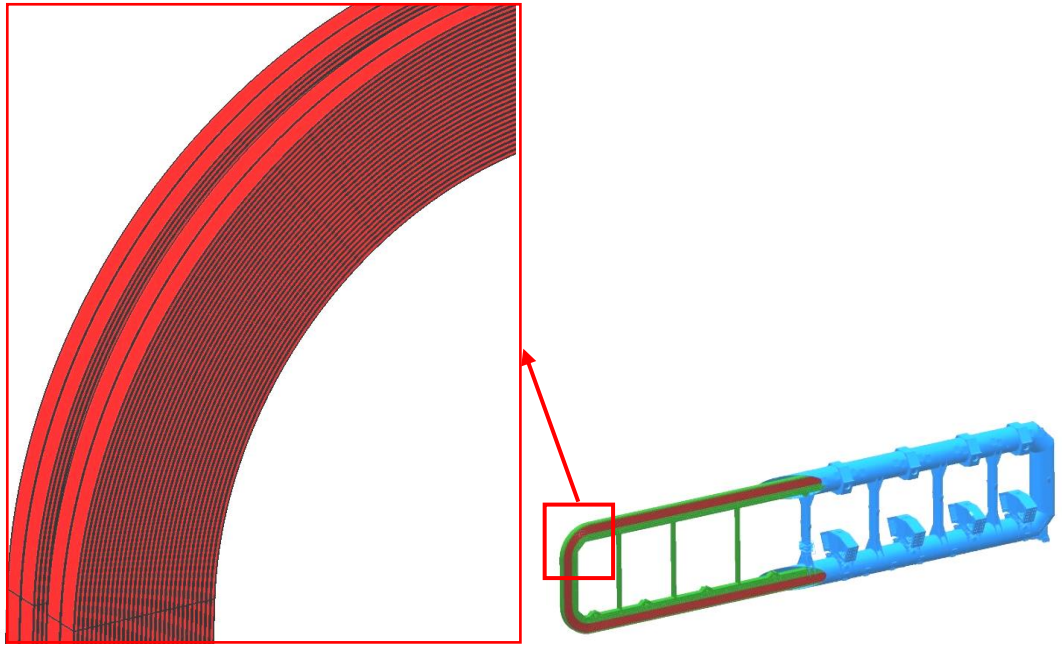
სულ სტრუქტურაში გამოყენებული იყო რვა ასეთი ელემენტი, რომლებიც განლაგდა მაგნიტური ღეროს ქვედა ნაწილში.

III. ღეროს ყალიბს გააჩნდა სპეციფიკური ფორმა, კერძოდ კი შეიცავდა სხვადასხვა ზომის ჭრილებს, რომლებიც განთავსებული იყო სიმეტრიულად ღეროს ყალიბის ორივე მხარეს. მას ასევე გააჩნდა ნახვრეტები, რომლის საშუალებითაც ხორციელდებოდა სტრუქტურის სხვა კომპონენტების მასთან დამაგრება. ღეროს ყალიბის ძირა ნაწილში განთავსებული იყო სამაგრები, რომელიც უზრუნველყოფდა მასზე შემკვრევი შტანგების დამაგრებას. ღეროს ყალიბის ასაგებად, ისევე როგორც სხვა დანარჩენ შემთხვევაში, გამოყენებულ იქნა CDD თეორიული მონაცემთა ბაზა, სადანაც ამოღებულ ნახაზებზე მითითებული ზომების საფუძველზე მოხდა შესაბამისი გეომეტრიული მოდელის შექმნა. აღნიშნული გეომეტრიული მოდელის შექმნისათვის გამოყენებულ იქნა 11 ნახაზი. შედეგად მიღებულ იქნა შემდეგი სახის გეომეტრიული მოდელი:



ნახ. 73. CATIA-ში შექმნილი ღეროს ყალიბი

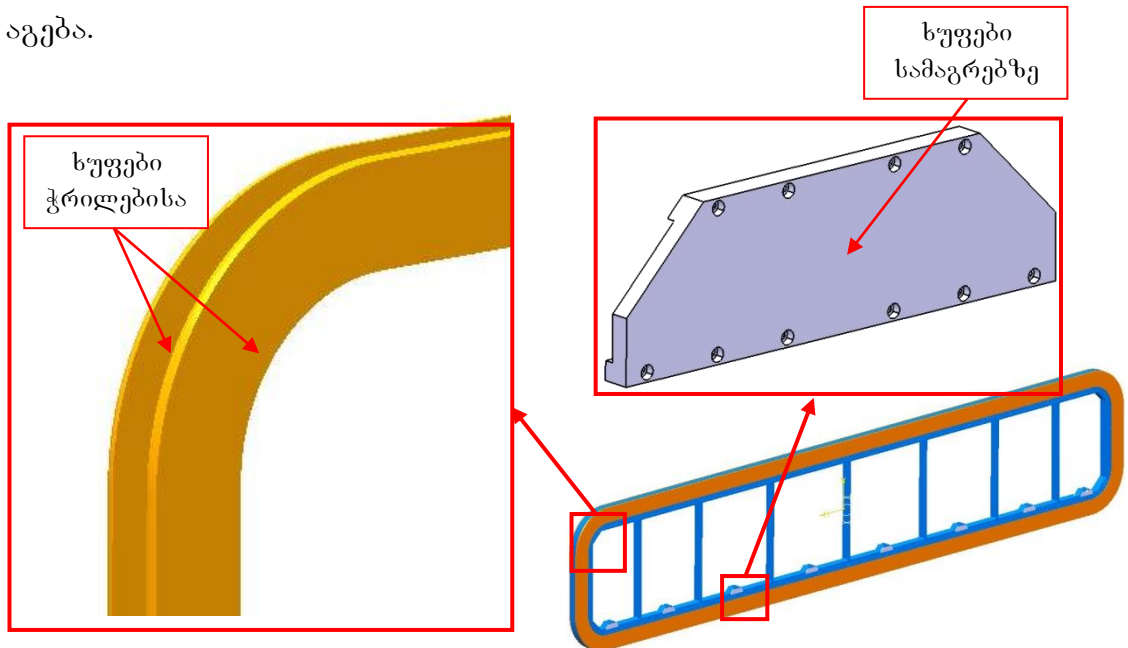
IV. როგორც მოცემული სურათიდან ჩანს, ღეროს ყალიბს გააჩნდა ჭრილი, რომელშიდაც განთავსებული უნდა ყოფილიყო ხვიების ფორმის სტრუქტურა. მის ასაგებად გამოყენებულ იქნა 7 CDD ნახაზი. CATIA-ში მიღებულ გეომეტრიული მოდელს აქვს შემდეგი სახე:



ნახ. 74. CATIA-ში შექმნილი ხეიები

მიღებული გეომეტრია განთავსდა ღეროს ყალიბის ჭრილებში ორივე მხარეს სიმეტრიულად.

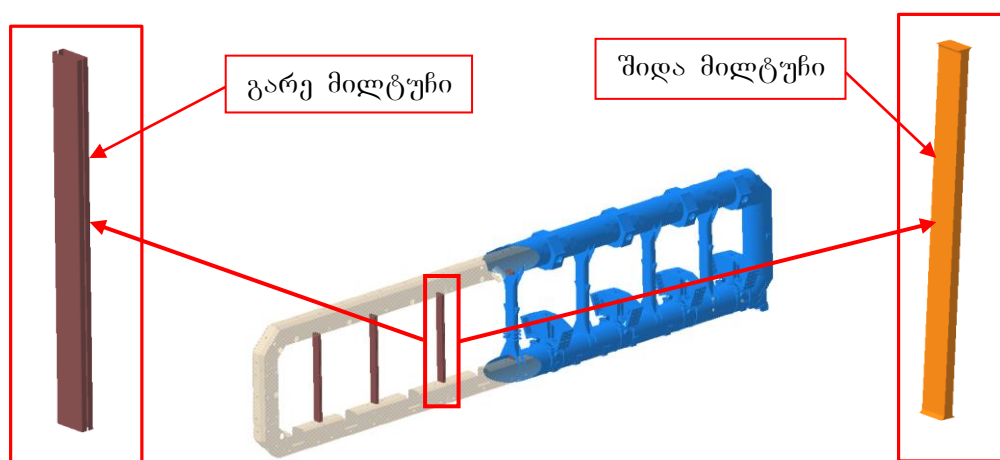
V. გარდა ხეიებისა, ასევე აგებულ იქნა ორი სახის ხუფი რომელიც დაკავშირებული იყო ღეროს ყალიბთან. ამისათვის გამოყენებულ იქნა 59 CDD ნახაზი და აქ მითითებული ზომების საშუალებით განხორციელდა შესაბამისი გეომეტრიული ობიექტის აგება.



ნახ. 75. CATIA-ში შექმნილი ხუფები

პირველი სახის ხუფი წარმოადგენდა მოკლე თხელ ფირფიტას, რომელიც განთავსდა შემკვერელი შტანგების სამაგრების ორივე მხარეს სიმეტრიულად. მეორე სახის ხუფი წარმოადგენდა თხელ ფირფიტას, რომელიც იმეორებდა ღეროს ყალიბის ფორმას და ეფარებოდა ღეროს ყალიბის ჭრილს ორივე მხარეს სიმეტრიულად, სადაც განთავსებული იყო ხვიები. ორივე სახის ხუფზე დატანილ იქნა ნახვრეტები მათი ღეროს ყალიბზე დასამაგრებლად.

VI. მაგნიტური ღეროს გეომეტრიული მოდელის შექმნის შემდეგ ეტაპზე განხორციელდა ორი სახის შიდა მილტუჩის შექმნა, რისთვისაც გამოყენებულ იქნა 3 CDD ნახაზი.

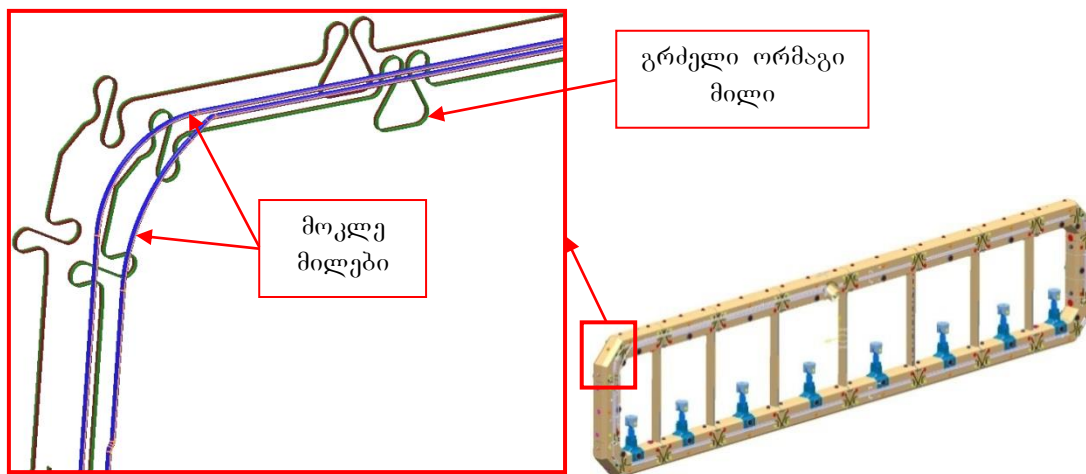


ნახ. 76. CATIA-ში შექმნილი შიდა მილტუჩები

პირველი სახის შიდა მილტუჩი ერთმანეთთან აკავშირებდა ღეროს ყალიბის ზედა და ქვედა გრძელ სტრუქტურას და წარმოადგენდა პრიზმას, რომლის გარშემო განთავსებული იყო მეორე სახის შიდა მილტუჩი. იგი წარმოადგენდა მართკუთხედის ფორმის თხელ ფირფიტას, რომელიც გამოიყენებოდა თერმული დამცავის ზედა და ქვედა გრძელი სტრუქტურის ურთიერთკავშირისათვის.

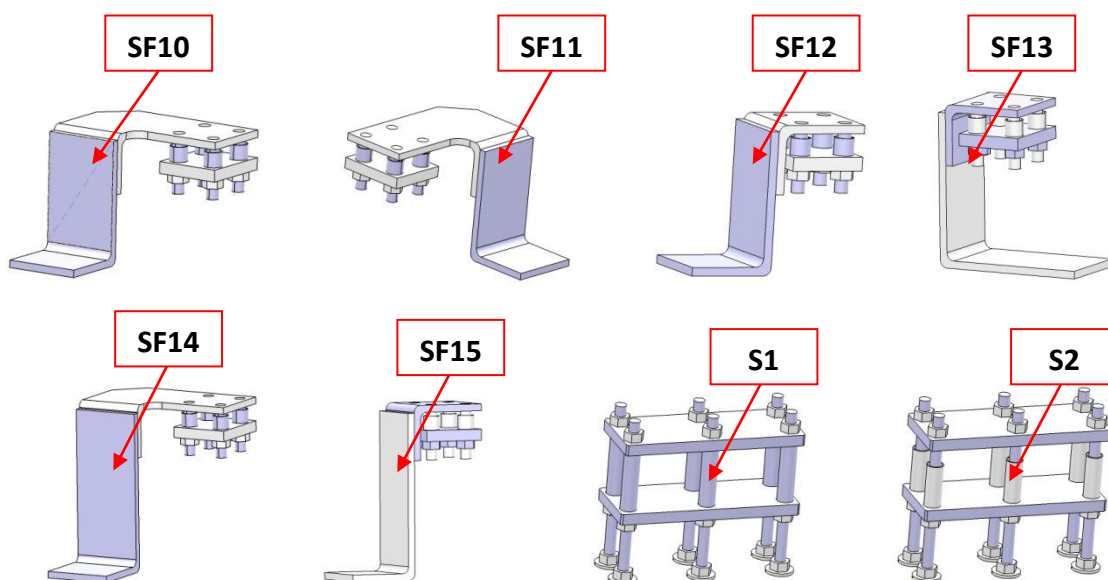
VII. მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა მაგნიტური ღეროს სერვისების შექმნა. CDD ნახაზების გამოყენებით აგებულ იქნა სამი განსხვავებული ფორმის მქონე მილი. ამ სამი მილიდან ორი მათგანი იყო მოკლე, რომელიც განთავსდა თერმული დამცავის ორივე მხარეს სიმეტრიულად და დაიკავა მისი მხოლოდ გვერდითა და ზედა ნაწილი, ხოლო მესამე კი წარმოადგენდა გრძელ მილს, რომელიც ასევე განთავსდა თერმული დამცავის ორივე მხარეს სიმეტრიულად და

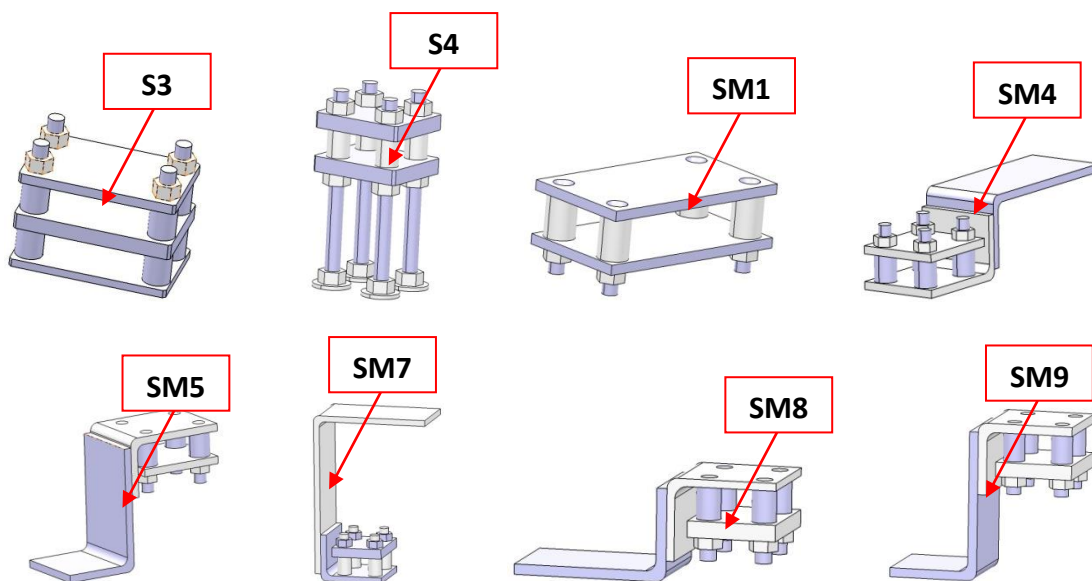
დაიკავა მისი მთელი სიგრძე. აღნიშნული გეომეტრიის ასაგებად გამოყენებულ იქნა 32 CDD ნახაზი. შედეგად მიღებულ იქნა შემდეგი გეომეტრიული მოდელი:



ნახ. 77. CATIA-ში შექმნილი მილები

VIII. მაგნიტური ღეროს რეპროდუცირების ბოლო ეტაპზე განხორციელდა სამაგრების აგება. პირველ ეტაპზე აგებულ იქნა ის სამაგრები, რომელთა საშუალებითაც ხორციელდებოდა მილების დამაგრება თერმულ დამცავზე და რომლებიც შედგებოდნენ ფირფიტებისაგან და ჭანჭიკებისაგან.

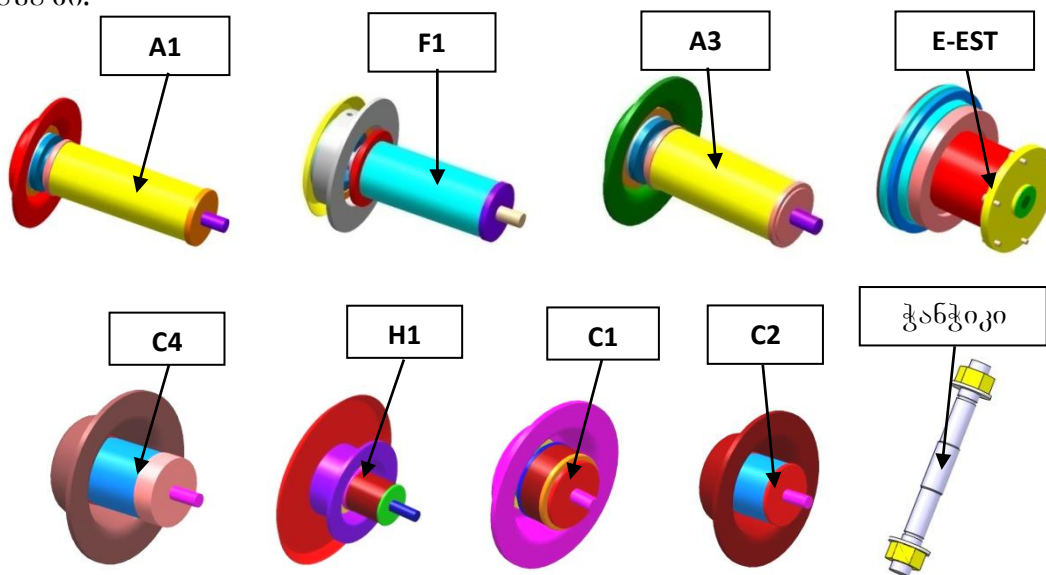




ნახ. 78. CATIA-ში შექმნილი მიღების სამაგრები

CDD-ის ნახაზებზე მითითებული პარამეტრების მიხედვით ისინი განთავსდნენ შესაბამის პოზიციაზე სტრუქტურის ორივე მხარეს სიმეტრიულად. სამაგრების ასეგაბად გამოყენებულ იქნა 2 CDD ნახაზი.

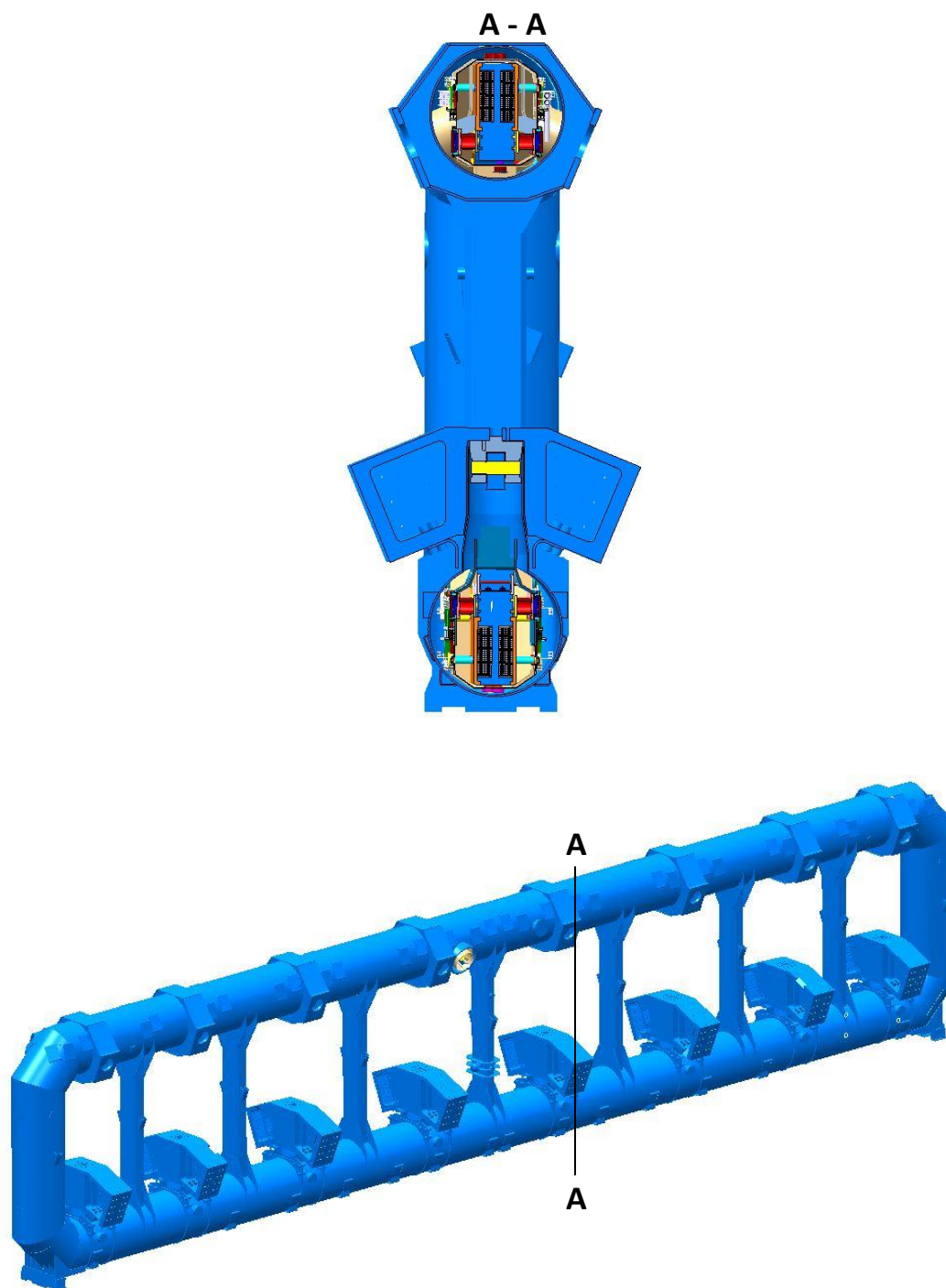
მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა მეორე ტიპის სხვადასხვა სახის სამაგრის და ჭანჭიკის აგება, რომლებიც მაგნიტური ღეროს შემადგენელ კომპონენტებს ამაგრებდა ერთმანეთთან. თითოეული სამაგრი და ჭანჭიკი თავის მხრივ შედგებოდა მრავალი პატარა დეტალისაგან, რომელთა აგებისათვის გამოყენებულ იქნა 28 CDD ნახაზი.



ნახ. 79. CATIA-ში შექმნილი სამაგრები და ჭანჭიკი

გარდა ამისა აგებული გეომეტრიული ობიექტების პოზიციონირებისათვის გამოყენებულ იქნა დამატებით 49 CDD ნახაზი.

საბოლოოდ, 225 CDD ნახაზის გამოყენებით რეპროდუცირებულ იქნა VIII ქვე ანაწყოების 3D მოდელი.

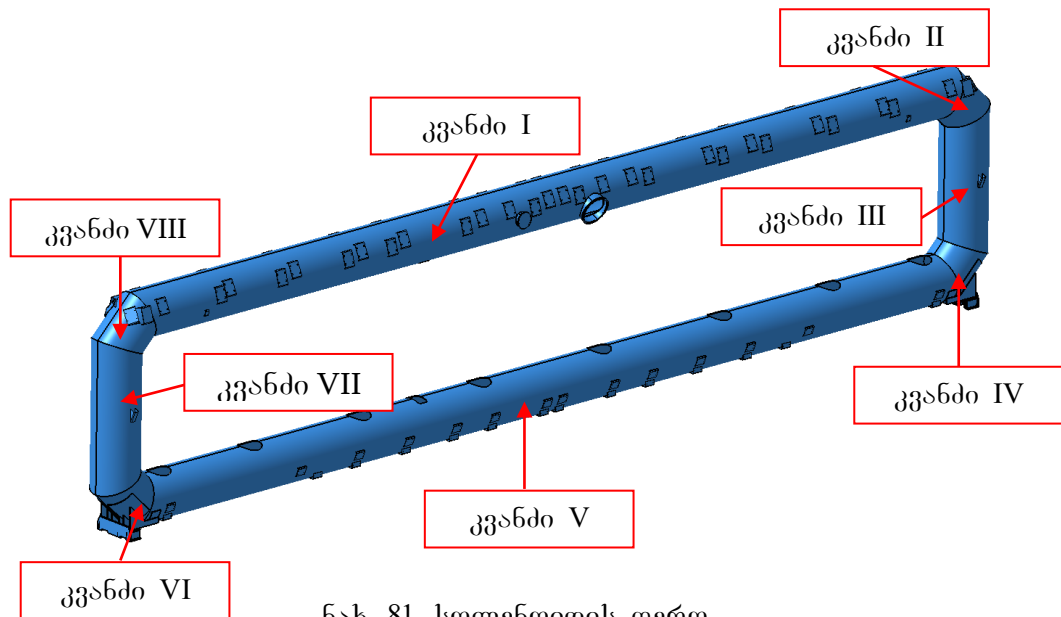


ნახ. 80. CATIA-ში შექმნილი მაგნიტური ღეროს დეტალური გეომეტრიული მოდელი

4.2 მაგნიტური ღეროს დეკომპოზიცია და მოცულობისა და მასის ანალიზი

მაგნიტური ღეროს მოცულობისა და მასის ანალიზისათვის მოელი გეომეტრიული მოდელი ფუნქციონალური დანიშნულების მიხედვით დაიყო ე.წ. კვანძებად და თითოეული მათგანისათვის დათვლილი იქნა მოცულობა და მასა [37]. იქედან გამომდინარე, რომ სხეულის მასა გამოითვლება $m = v * \rho$ ფორმულით, სადაც m სხეულის მასა, v მოცულობა, ხოლო ρ (რო) კი მისი სიმკვრივეა, პირველ ეტაპზე განხორციელდა თითოეული კვანძის მოცულობისა და სიმკვრივის დადგენა.

აღნიშნული სამუშაოს შესრულება დაიწყო მაგნიტური ღეროს გარე კომპონენტებით, რომელიც დაიყო 11 კვანძად.



ნახ. 81. სოლენოიდის ღერო

კვანძი I: სოლენოიდის ზედა ღეროს მოცულობის დათვა განხორციელდა CATIA-ს საშუალებით, სადაც ჩატარებულმა ანალიზმა აჩვენა, რომ მისი მოცულობა არის 1.261 მ³. გეომეტრიული მოდელის მასალისა და სიმკვრივის გასარკვევად გამოყენებულ იქნა CDD მონაცემთა ბაზა, საიდანაც ამოღებულ 2D ნახაზებზე მითითებული ინფორმაციის საფუძველზე დადგინდა, რომ მის მასალას წარმოადგენს Stainless Steel 304L (ფოლადი) სიმკვრივით 8'000 კგ/მ³. მოპოვებული

ინფორმაციის საფუძველზე დათვლილი იქნა სოლენოიდის ზედა ღეროს მასა რომელიც აღმოჩნდა 10'088 კგ.

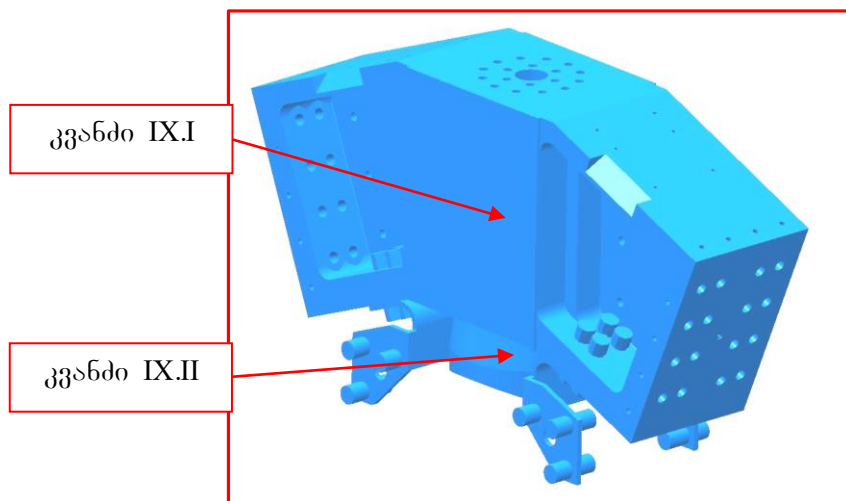
კვანძი II, კვანძი IV, კვანძი VI, კვანძი VIII: მასის დათვის იგივე პრინციპი იქნა გამოყენებული დანარჩენი სხვა გეომეტრიული ობიექტისათვის, მაგალითად მაგნიტური ღეროს სოლენოიდის კუთხეებისათვის. სოლენოიდის კუთხეები წარმოადგენენ მაგნიტური ღეროს გარე გეომეტრიის კუთხეებში განლაგებულ ცილინდრული ფორმის მიღებს, რომლებსაც ერთნაირი გეომეტრიული ფორმა და თვისებები აქვთ. ამიტომ პირველ ეტაპზე განხორციელდა მხოლოდ ერთი მათგანის მოცულობის დათვა. როგორც CATIA-ში ჩატარებულმა ანალიზმა აჩვენა, რომ მისი მოცულობა არის 0.042 მ³. მასალისა და სიმკვრივის გასაგებად გამოყენებულ იქნა CDD-დან ამოღებული ნახაზები, რომელზედაც მითითებული ინფორმაციის საფუძველზე დადგინდა მისი მასალა-Stainless Steel 304L (ფოლადი) და სიმკვრივე-8'000 კგ/მ³. მიღებული ინფორმაციიდან გამომდინარე დათვლილი იქნა კვანძ II-ის მასა, რომელიც არის 336 კგ-ის ტოლი. რადგანაც მაგნიტური ღეროს გეომეტრიული მოდელი შეიცავს ოთხ სოლენოიდის კუთხეს, ამიტომ ოთხივე მათგანის საერთო მოცულობა არის 0.168 მ³-ის, ხოლო საერთო მასა კი 1'344 კგ-ის ტოლი.

კვანძი III, კვანძი VII: მაგნიტური ღეროს მოცულობისა და მასის ანალიზის მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა მისი კიდევ ერთი გარე კომპონენტის-სოლენოიდის გვერდების ანალიზი. ისევე როგორც წინა შემთხვევაში, სოლენოიდის გვერდები არის ერთმანეთის იდენტური, წარმოადგენენ მაგნიტური ღეროს გარე გეომეტრიას და განთავსებულნი არიან მის გვერდებზე სიმეტრიულად. აქედან გამომდინარე თავდაპირველად განხორციელდა მხოლოდ ერთი მათგანის ანალიზი. როგორც CATIA-ში ჩატარებულმა ანალიზმა აჩვენა მაგნიტური ღეროს სოლენოიდის გვერდის მოცულობა არის 0.169 მ³-ის ტოლი. ისევე როგორც დანარჩენ სხვა შემთხვევაში, მასალისა და სიმკვრივის გასაგებად გამოყენებულ იქნა CDD ნახაზები, სადაც მითითებული ინფორმაციის საფუძველზე მის მასალა აღმოჩნდა Stainless Steel 304L (ფოლადი), სიმკვრივით 8'000 კგ/მ³. მოცემული ინფორმაციის

საფუძველზე დათვლილ იქნა მასა რომელიც არის 1'352 კგ-ის ტოლი. რადგანაც სტრუქტურაში გამოყენებულია 2 სოლენოიდის გვერდი (კვანძი II და კვანძი VII), ამიტომ მათი საერთო მოცულობა არის 0.338 მ³-ის, ხოლო მასა კი 2'704 კგ-ის ტოლი.

კვანძი V: სოლენოიდის ქვედა ღერო მსგავსია სოლენოიდის ზედა ღეროსი, თუმცა მას გააჩნია დამატებითი ჭრილები და გეომეტრიული ობიექტები რაც გამორიცხავდა იმას, რომ ამ ორ გეომეტრიული ობიექტს შეიძლება ჰქონდეს ერთნაირი მოცულობა და მასა. ამიტომ სოლენოიდის ქვედა ღეროს მოცულობა და მასა ცალკე იქნა დათვლილი. CATIA-ში ჩატარებულმა ანალიზმა აჩვენა, რომ მისი მოცულობა არის 1.421 მ³, ხოლო CDD მონაცემთა ბაზიდან ამოღებული ნახაზების მიხედვით კი გაირკვა, რომ სოლენოიდის ქვედა ღეროს მასალა არის Stainless Steel 304L (ფოლადი) სიმკვრივით 8'000 კგ/მ³. აღნიშნული ინფორმაციის საფუძველზე დათვლილი იქნა მისი მასა- 11'368 კგ.

კვანძი IX: მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა მაგნიტური ღეროს კიდევ ერთი გარე კომპონენტის-დამხმარე სტრუქტურის ბლოკების ანალიზი.

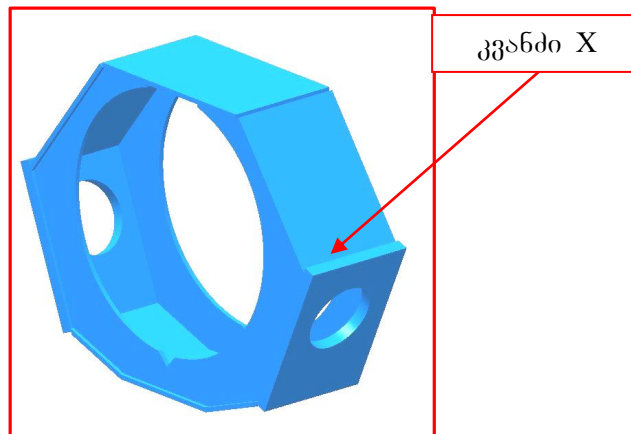


ნახ. 82. დამხმარე სტრუქტურის ბლოკები

რადგანაც მთლიანად სტრუქტურაში გამოიყენება რვა იდენტური დამხმარე სტრუქტურის ბლოკი, ამიტომ პირველ ეტაპზე განხორციელდა მხოლოდ ერთი მათგანის ანალიზი. ამასთან ერთად დამხმარე სტრუქტურის ბლოკი თავის მხრივ შედგება ორი

კომპონენტისაგან (კვანძი IX.I და კვანძი IX.II). თითოეული მათგანისათვის CATIA-ს საშუალებით დათვლილი იქნა მოცულობა: კვანძ IX.I-ის მოცულობა არის 0.537 მ³-ის, კვანძ IX.II-ის 0.015 მ³-ის, ხოლო მთელი დამხმარე სტრუქტურის ბლოკის მოცულობა კი 0.552 მ³-ის ტოლი. მომდევნო ეტაპზე CDD ნახაზების მიხედვით დადგენილ იქნა თითოეული მათგანის მასალა და სიმკვრივე. როგორც მიღებული ინფორმაციიდან გამოჩნდა, აღნიშნული კომპონენტების მასალა და სიმკვრივე არის განსხვავებული: კვანძ IX.I-ის მასალა არის Aluminium (ალუმინი) სიმკვრივით 2'650 კგ/მ³, ხოლო კვანძ IX.II-ის კი Stainless Steel 304L (ფოლადი) სიმკვრივით 8'000 კგ/მ³. აღნიშნული ინფორმაციის საფუძველზე გამოთვლილ იქნა თითოეული მათგანის მასა და საბოლოოდ მიღებულ იქნა დამხმარე სტრუქტურის ბლოკის საერთო მასა, რომელიც არის 1'543-ის ტოლი. რაგდანაც სტრუქტურაში გამოიყენება რვა დამხმარე სტრუქტურის ბლოკი, ამიტომ მათი საერთო მასა არის 12'344 კგ-ის ტოლი.

კვანძი X: დამხმარე სტრუქტურის ბლოკების მსგავსად, მთლიან სტრუქტურაში გამოყენებულია რვა ცალი გარე სამაგრი, ამიტომ პირველ ეტაპზე მოხდა მხოლოდ ერთი მათგანის ანალიზი.

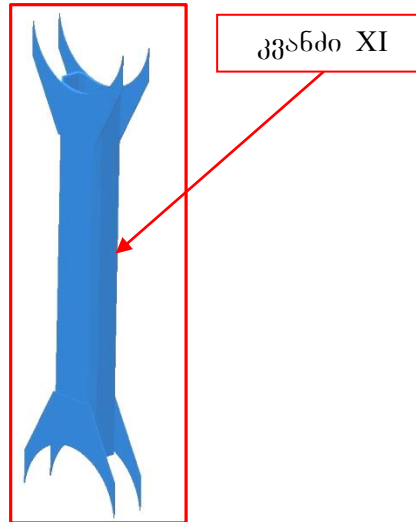


ნახ. 83. გარე სამაგრები

როგორც CATIA-ში ჩატარებულმა ანალიზმა აჩვენა, მისი მოცულობა არის 0.083 მ³-ის ტოლი, ხოლო CDD ნახაზების მიხედვით კი მაგნიტური ღეროს გარე სამაგრის მასალას წარმოადგენს Stainless Steel 304L (ფოლადი) 8'000 კგ/მ³ სიმკვრივით. აღნიშნული ინფორმაციის საფუძველზე დათვლილი იქნა მასა (667 კგ.) და მთლიან სტრუქტურაში

გამოყენებული რვა ცალი გარე სამაგრის საერთო მასა რომელიც არის 5'336 კგ.

კვანძი XI: მოცულობისა და მასის ანალიზის მომდევნო ეტაპი მოიცავდა გარე მილტუხების ანალიზს.

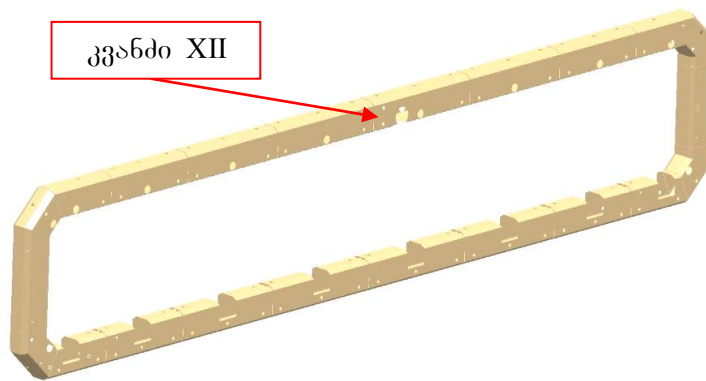


ნახ. 84. გარე მილტუხები

სულ სტრუქტურაში გამოიყენა შვიდი იდენტური გარე მილტუხი, ამიტომ განხორციელდა მხოლოდ ერთი მათგანის ანალიზი. ანალიზის შედეგად მისი მოცულობა აღმოჩნდა 0.086 მ³-ის ტოლი, ხოლო მასალა Stainless Steel 304L (ფოლადი) სიმკვრივით 8'000 კგ/მ³. რადგანაც სტრუქტურაში გამოიყენება შვიდი ესეთი გეომეტრიული ობიექტი, ამიტომ მათი საერთო მოცულობა არის 0.603 მ³ ხოლო მასა კი 4'824 კგ.

მოცულობებისა და მასის ანალიზის მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა მაგნიტური ღეროს შიდა გეომეტრიული ობიექტების დეკომპოზიცია კვანძებად და თითოეული მათგანის მოცულობისა და მასის დათვლა. შედეგად გამოიყო 11 კვანძი.

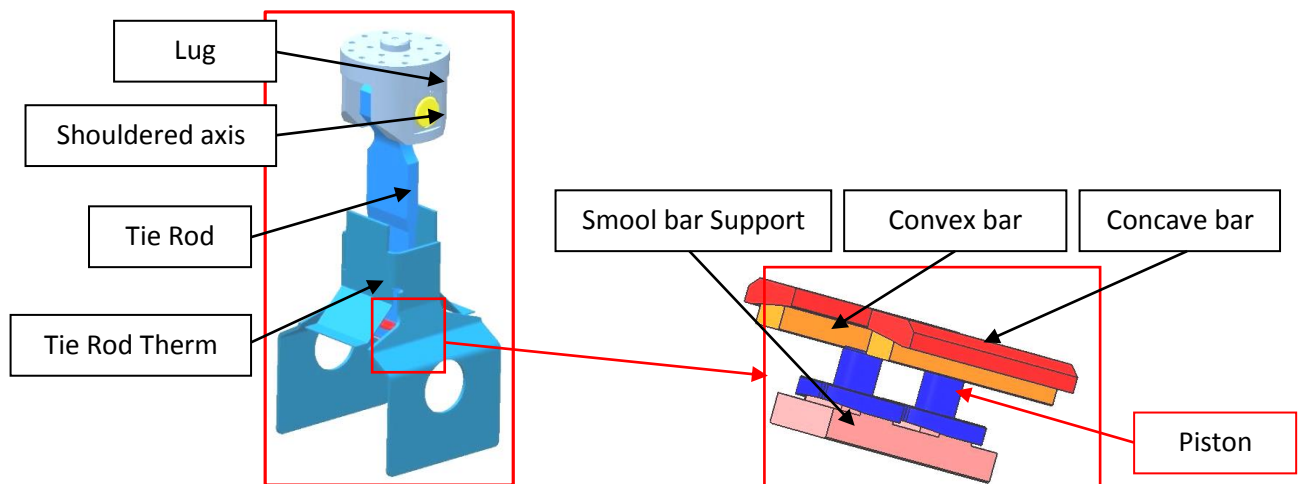
კვანძი XII: შიდა გეომეტრიული ობიექტების ანალიზის პირველ ეტაპზე განხორციელდა მაგნიტური ღეროს თერმული დამცავის ანალიზი.



ნახ. 85. თერმული დამცავი

როგორც CATIA-ში ანალიზმა აჩვენა კვანძ XII-ის მოცულობა არის 0.7373 მ³-ის ტოლი. მასალის და სიმკვრივის გასაგებად გამოყენებულ იქნა CDD-ის ნახაზები, სადაც მითითებული ინფორმაციის საფუძველზე დადგინდა, რომ თერმული დამცავის მასალა არის Aluminium 3003.H22 (ალუმინი) სიმკვრივით 2740 კგ/მ³. მოცემული ინფორმაციის საფუძველზე გამოანგარიშებული იქნა მასა - 2020 კგ.

კვანძი XIII: მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა მაგინტურის ღეროს კიდევ ერთი შიდა გეომეტრიული ობიექტის-შემკვრელი შტანგების ანალიზი.



ნახ. 86. შემკვრელი შტანგები

სულ სტრუქტურაში გამოყენებულია რვა შემკვრელი შტანგა, რომელიც არის ერთმანეთის იდენტური, ამიტომ განხორციელდა მხოლოდ ერთი მათგანის ანალიზი და მიღებული ინფორმაციის საფუძველზე მოხდა ყველა მათგანის საერთო მოცულობისა და მასის გამოთვლა. ამასთან ერთად თითოეული შემკვრელი შტანგა თავის მხრივ შედგება რვა

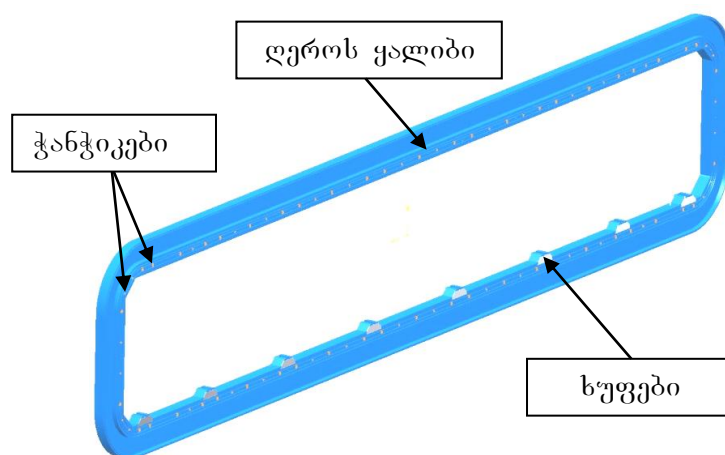
სახის ქვეკომპონენტისგან, რომელთაც გააჩნიათ სხვადასხვა მოცულობა და მასალა. ამიტომ პირველ ეტაპზე განხორციელდა თითოეული მათგანის მოცულობისა და მასალის დადგენა.

რაოდენობა	კომპონენტების სახელი	მასალა	სიმკვრივე (კგ/მ³)	მოცულობა(მ³)	საერთო მოცულობა(მ³)	საერთო მასა(კგ)
1	Tie rod	Titan TA5E-ELI	4480	0.016	0.016	71.68
1	Lug	Stainless Steel Z3 CN18-10	8000	0.028	0.028	224
1	Shouldered axis	Titan TA5E-ELI	4480	0.005	0.005	22.4
1	Small bar support	Stainless Steel Z3 CN18-10	8000	0.0002946	0.0002946	2.3568
2	Piston	Stainless Steel Z3 CN18-10	8000	0.00007062	0.00014124	1.12992
2	Convex bar	Stainless Steel Z3 CND 17-12 Az	8000	0.00008187	0.00016374	1.30992
2	Concave bar	Stainless Steel Z3 CND 17-12 Az	8000	0.0001569	0.0003138	2.5104
1	Tie-Rod Therm.	Aluminum 1050 H22	2705	0.015	0.015	40.575
				საერთო მასა(კგ)		366

ცხ. 12. თერმული დამცავის კომპონენტების მოცულობა და მასა როგორც მოცემული ცხრილიდან ჩანს, შემკვრელი შტანგის საერთო მასა არის 366 კგ. იქედან გამომდინარე, რომ სულ სტრუქტურაში გამოიყენება რვა შემკვრელი შტანგა, მათი საერთო მასა შეადგენს 2'928 კგ-ს.

კვანძი XIV: მაგნიტური ღეროს გეომეტრიული მოდელის ჭანჭიკები, მოკლე ხუფები და ღეროს ყალიბი გაერთიანებული იქნა როგორც ერთი კვანძი XIV. CATIA-ს და CDD ნახაზების გამოყენებით თითოეული მათგანისათვის დადგენილ იქნა მოცულობა და მასალა:

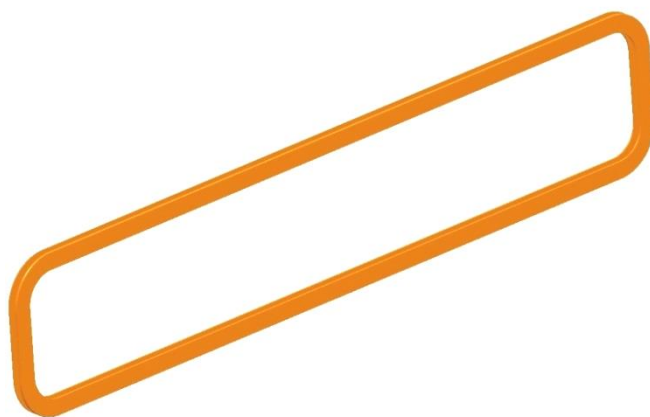
1. ღეროს ყალიბის მოცულობა არის 6.959 მ³-ის ტოლი, ხოლო მასალა კი Aluminium 5083 (ალუმინი) სიმკვრივით 2'650 კგ/მ³;
2. ერთი ჭანჭიკის მოცულობა აღმოჩნა 0.00022 მ³. რადგანაც სულ სტრუქტურაში გამოიყენებულია 96 ჭანჭიკი, მათმა საერთო მოცულობამ შეადგინა 0.0189 მ³. CDD ნახაზებში მითითებული ინფორმაციის საფუძველზე ჭანჭიკების მასალა არის Aluminium 7075 T73 (ალუმინი) სიმკვრივით 2'810 კგ/მ³;
3. ხუფის მოცულობა არის 0.032 მ³-ის ტოლი. სულ სტრუქტურაში გამოიყენება 16 ხუფი, რომელთა საერთო მოცულობა შეადგენს 0.032 მ³, ხოლო მასალა კი Aluminium 5083 (ალუმინი) სიმკვრივით 2'650 კგ/მ³;



ნახ. 87. დეროს ყალიბი, ჭანჭიკები და მოკლე ხუფები

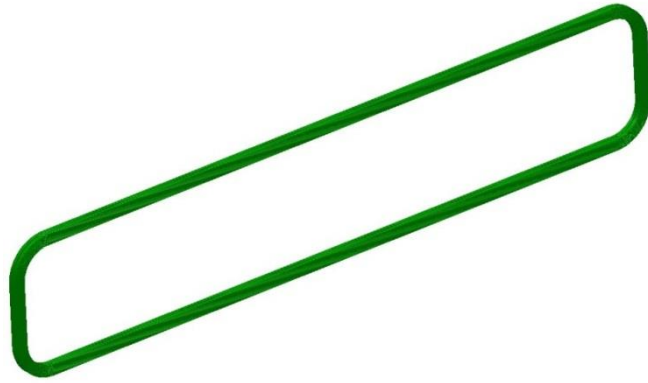
მოცემული ინფორმაციის საფუძველზე დათვლილი იქნა მთელი კვანძ XIV-ის მასა რომელიც არის 18'578.7 კგ.

კვანძი XV: მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა მაგნიტურის დეროს კიდევ ერთი შიდა გეომეტრიული ობიექტის-გრძელი ხუფის ანალიზი. ანალიზისათვის იგი შეტანილ იქნა CATIA-ში, რომლის საშუალებითაც დადგინდა, რომ მისი მოცულობა არის 1.866 მ³-ის ტოლი. როგორც სტრუქტურის შესაბამისმა CDD ნახაზებმა აჩვენა, კვანძ XV-ის მასალას წარმოადგენს Aluminium 5083 h112 (ალუმინი) სიმკვრივით 2'660 კგ/მ³. მოცემული ინფორმაციის საფუძველზე გამოთვლილ იქნა მასა, რომელიც აღმოჩნდა 4'963.6-ის ტოლი.



ნახ. 88. გრძელი ხუფი

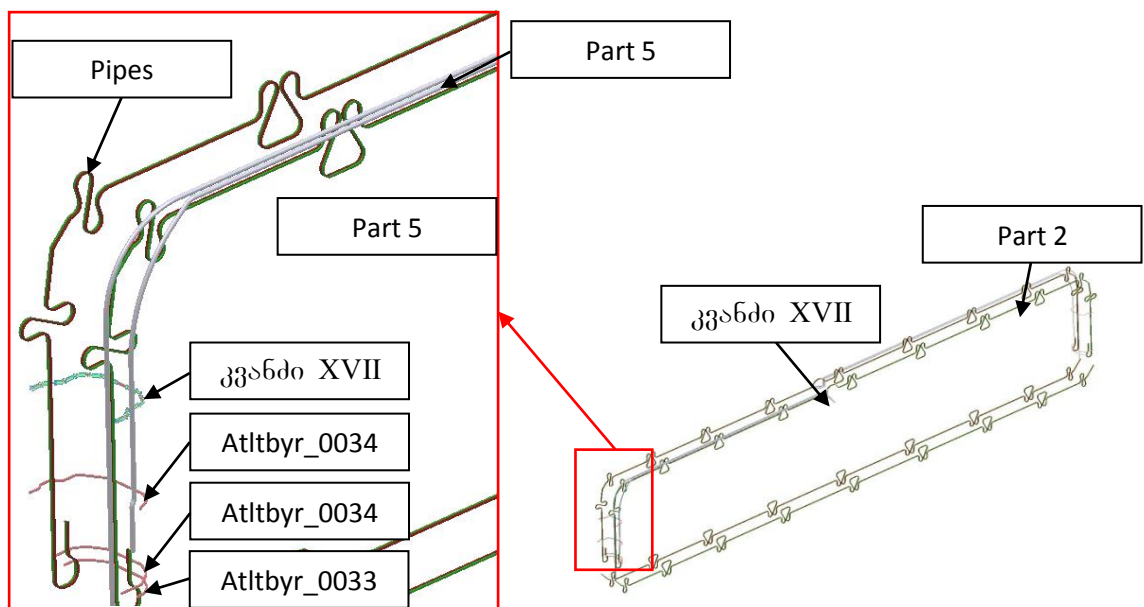
კვანძი XVI: მაგნიტური დეროს კიდევ ერთი შიდა კომპონენტ-ხეიბი გამოიყო ცალკე როგორც კვანძი XVI და შეტანილ იქნა CATIA-ში ანალიზისათვის.



ნახ. 89. ხეიბი

როგორც ანალიზმა აჩვენა, მოცულობა არის 4.367 მ³-ის ტოლი. მასალისა და სიმკვრივის გასაგებად, ისევე როგორც სხვა შემთხვევაში, გამოყენებულ იქნა CDD მონაცემტა ბაზა, საიდანაც ამოღებული ნახაზების მიხედვით ხეიბის მასალა არის Aluminium (ალუმინი) სიმკვრივით 2'650 კგ/მ³. მოცემული ინფორმაციის გამოყენებით გამოთვლილ იქნა ხეიბის მასა, რომელიც არის 11'572.55 კგ.-ის ტოლი.

კვანძი XVII: მაგნიტური ღეროს გეომეტრიულ მოდელში გამოყენებული სერვისები გაერთიანდა როგორც ერთი კვანძი XVII და მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა სწორედ მათი ანალიზი.



ნახ. 90. სერვისები

იქედან გამომდინარე, რომ სერვისები წარმოადგენენ სხვადასხვა სახის გეომეტრიულ ობიექტს, სხვა შემთხვევების მსგავსად

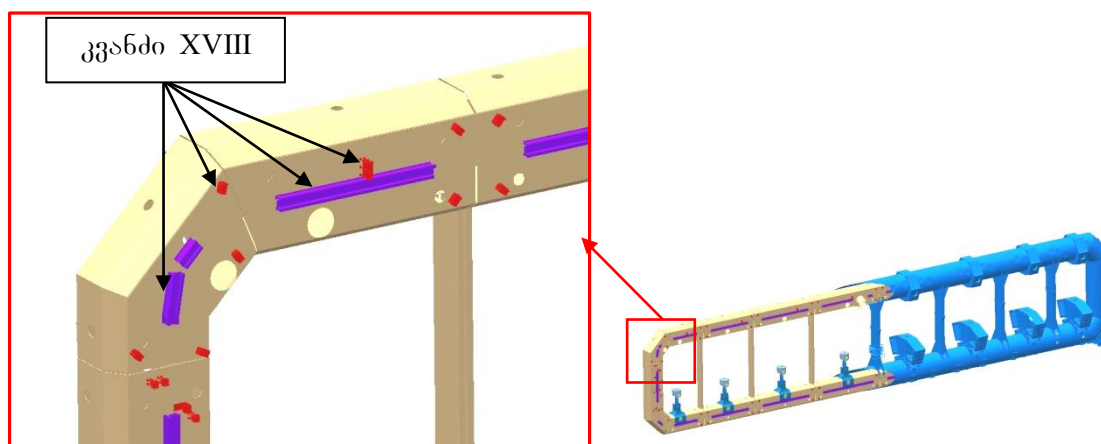
განხორციელდა თითოეული მათგანის მოცულობებისა და მასის დათვლა.

რაოდენობა	კომპონენტების სახელი	მასალა	სიმკვრივე (კგ/მ³)	მოცულობა(მ³)	საერთო მოცულობა(მ³)	საერთო მასა(კგ)
1	Pipes	Aluminum 1050	2705	0.064	0.064	173.1
1	Part5	Stainless Steel 304L	8000	0.004	0.004	32
1	Part2	Stainless Steel 304L	8000	0.004	0.004	32
1	atltbyr_0036	Stainless Steel 304L	8000	0.0006	0.0006	4.6
1	atltbyr_0035	Stainless Steel 304L	8000	0.0003	0.0005	4.1
1	atltbyr_0034	Stainless Steel 304L	8000	0.0005	0.0005	4.1
1	atltbyr_0033	Stainless Steel 304L	8000	0.0004	0.0004	3.2
საერთო მასა(კგ)						253

ცხ. 13. სერვისების მოცულობა და მასა

როგორც მოცემული ცხრილიდან ჩანს სტრუქტურაში გამოყენებულმა სერვისების საერთო მასამ შეადგინა 253 კგ.

კვანძი XVIII: წინა შემთხვევის მსგავსად, ასევე სტრუქტურაში გამოყენებული სხვადასხვა სახის მილის სამაგრი გაერთიანდა როგორც ერთი კვანძი XVIII და განხორციელდა მათი ანალიზი.



ნახ. 91. მილის სამაგრები

თითოეული სამაგრი, თავის მხრივ, შედგება სხვადასხვა კომპონენტისაგან, რომელიც გაერთიანდა სამ ჯგუფში და თითოეული მათგანისათვის დადგინა მოცულობა, მასალა და სიმკვრივე. მიღებული ინფორმაციის საფუძველზე გამოანგარიშებული იქნა მასა:

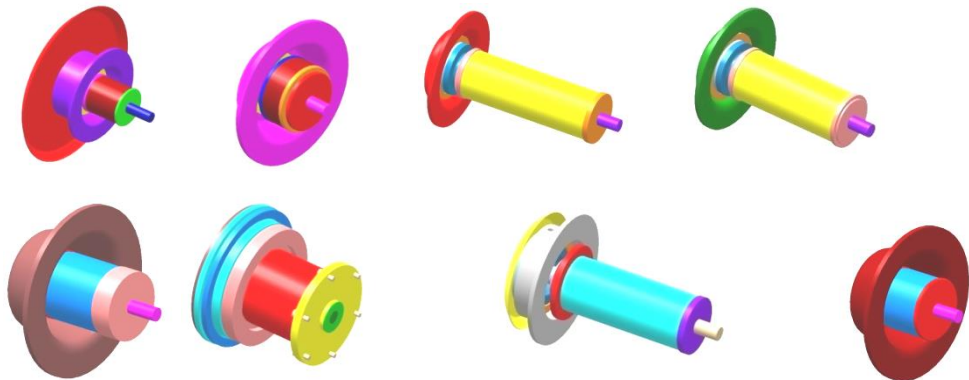
რაოდენობა	კომპონენტების სახელი	მასალა	სიმკვრივე (კგ/მ ³)	მოცულობა(მ ³)	საერთო მოცულობა(მ ³)	საერთო მასა(კგ)
139	S3	Multiple*		0.000085	0.01	31.72
81	Parts	Multiple*		0.00018	0.01479	22.1
1	Pipes	Aluminum 1050	2750	0.179	0.179	484.2
საერთო მასა(კგ)						538

Multiple *	მოცულობა(მ ³)
SSTEEL (304, 304L, 304H)	8000
Aluminum 7075 T73	2810
Aluminum mg 3	2670
Aluminum 5083 H111	2650
Aluminum 3003	2700
Aluminum 1050	2705
fibra de vetro	2600

ცხ. 14. მილის სამაგრების მოცულობა და მასა

როგორც მოცემული ცხრილიდან ჩანს კვანძ XVIII-ში შემაგალი კომპონენტების საერთო მასა არის 538 კგ.

კვანძი XIX: მაგნიტური ღეროს გეომეტრიულ მოდელში გამოყენებული სხვადასხვა სახის დამატებითი სამაგრები გაერთიანდა როგორც ერთი კვანძი XIX და მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა მათი ანალიზი.



ნახ. 92. დამატებითი სამაგრები

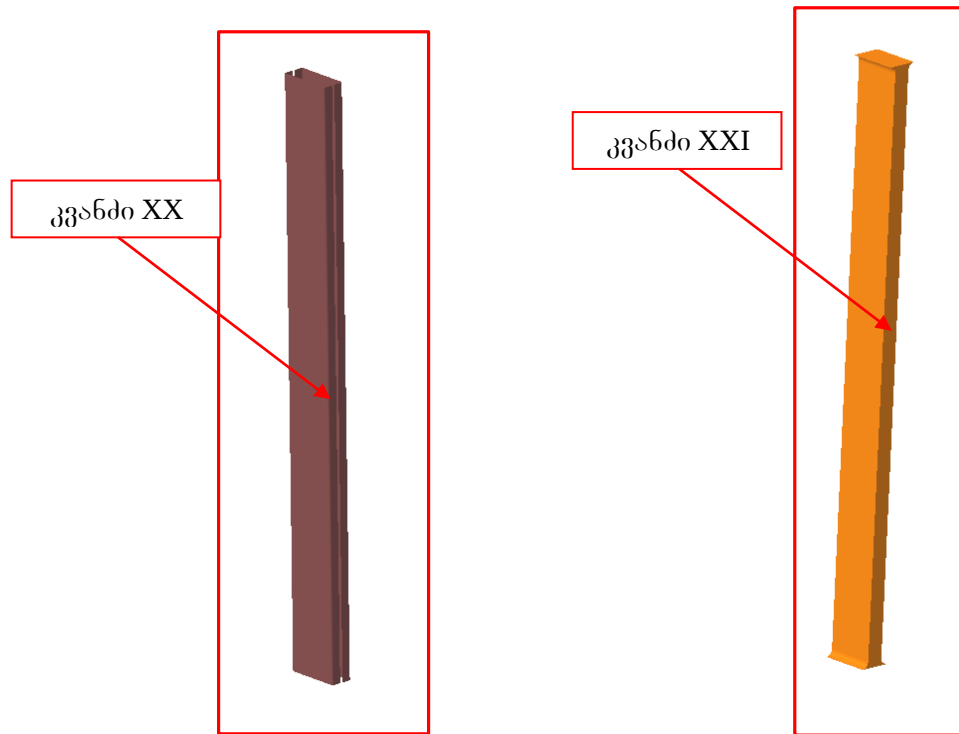
თითოეული სამაგრი თავის მხრივ შეიცავს სხვადასხვა ფორმის, მასალის და სიმკვრივის მქონე კომპონენტს. ამიტომ თითოეული მათგანისათვის დათვლილ იქნა მოცულობა და CDD ნახაზების მიხედვით დადგენილ იქნა მათი მასალა და სიმკვრივე.

რაოდენობა	სახელი	მასალა	სიმკვრივე (კგ/მ³)	მოცულობა (მ³)	საერთო მოცულობა (მ³)	საერთო მასა (კგ)
108	Support A1.1	Aluminum 5083 F	2660	0.0001048	0.0113184	30.1
108	Support A1.5	Stainless Steel 304L	8000	0.00004723	0.00510084	40.8
108	Support A1.6	Stainless Steel 304L	8000	0.00006412	0.00692496	55.4
100	Support A1.8	Stainless steel AISI 304 L	8000	0.00002734	0.002734	21.9
52	Support C1.2	Aluminum 5083 F	2660	0.0001228	0.0063856	17
58	Support C1.7	Stainless Steel 304L/316L	8000	0.0000223	0.0012934	10.3
58	Support C1.8	Stainless Steel 304L/316L	8000	0.00002888	0.00167504	13.4
28	Support D1.1	Stainless Steel 304L/316L	8000	0.00005369	0.00150332	12
28	Support D1.5	Aluminum 2024 T3	2780	0.0001857	0.0051996	14.5
44	E EST_2	Stainless Steel AISI 304 L	8000	0.0004261	0.0187484	150
44	E EST_3	PERMAGLAS TE630	1850	0.0005058	0.0222552	41.2
44	E EST_4	Aluminum	2700	0.0007714	0.0339416	91.6
44	E EST_5	Aluminum	2700	0.0005786	0.0254584	68.7
44	E EST_6	Aluminum	2700	0.0006777	0.0298188	80.5
44	E EST_7	Aluminum	2700	0.0001206	0.0053064	14.3
44	E EST_9	Aluminum	2700	0.0005685	0.025014	67.5
72	Support F1.1	Stainless Steel 304L/316L	8000	0.00008567	0.00616824	49.3
72	Support F1.3	Aluminum 2024 T3	2780	0.0001163	0.0083736	23.3
72	Support F1.5	Stainless Steel 304L/316L	8000	0.00003998	0.00287856	23
72	Support F1.6	Stainless Steel 304L/316L	8000	0.00009161	0.00659592	52.8
72	Support F1.8	Stainless Steel AISI 304L	8000	0.00002725	0.001962	15.7
72	Support F1.13	PERMAGLAS TE630	1850	0.00007735	0.0055692	10.3
საერთო მასა (კგ)						903.7

ცხ. 15. დამატებითი სამაგრების მოცულობა და მასა მიღებული ინფორმაციის საფუძველზე გამოანგარიშებულ იქნა კვანძი XIX-საერთო მასა, რომელიც არის 903.7 კგ-ის ტოლი.

კვანძი XX, კვანძი XXI: მაგნიტური ღეროს მოცულობისა და მასის ანალიზის ბოლო ეტაპზე განხორციელდა შიდა მიღტუქების ანალიზი.

მაგნიტური ღეროს შიდა სტრუქტურაში გამოყენებულია ორი სახის შიდა მილტუჩი, რომლებიც გამოიყო ცალ-ცალკე კვანძებად. ორივე მათგანი სტრუქტურაში განთავსებული არიან შვიდ ადგილას (სურ 14), ამიტომ მათი საერთო მასის დასათვლელად დადგინდა მხოლოდ თითოეული მათგანის მასალა, სიმკვრივე და მოცულობა.



ნახ. 93. შიდა მილტუჩები

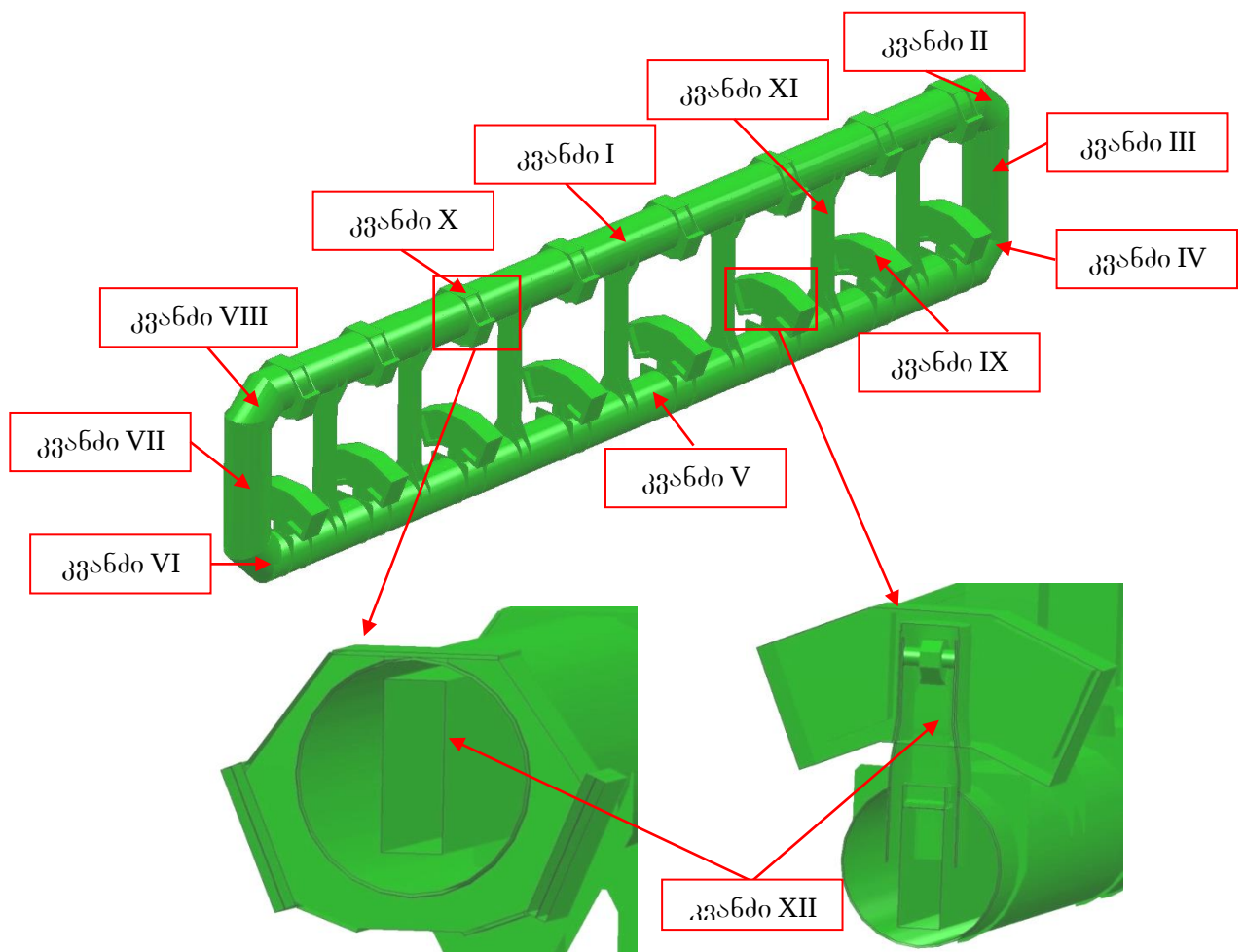
ანალიზისათვის ორივე კვანძი შეტანილ იქნა CATIA-ში. როგორც ჩატარებულმა ანალიზმა აჩვენა, კვანძ XX-ის მოცულობა არის 0.0144 მ³, ხოლო კვანძ XXI-ის კი 0.101 მ³. მომდევნო ეტაპზე CDD ნახაზების გამოყენებით დადგინდა მასალა და სიმკვრივე: კვანძ XX-ის მასალა არის Aluminium 3003.H22 (ალუმინი) სიმკვრივით 2'740 კგ/მ³, ხოლო კვანძ XXI-ის კი Aluminium 5'083 (ალუმინი) სიმკვრივით 2'650 კგ/მ³. რადგანაც შიდა შემკვერელი შტაგნების საერთო რაოდენობა შეადგე შვიდს (თითოეული მათგანისათვის), დათვლილი იქნა შვიდივე მათგანის საერთო მოცულობა, რომლის მიხედვითაც გამოანგარიშებულ იქნა საბოლოო მასა. კვანძ XX-ის საერთო მასა არის 276 კგ, ხოლო კვანძ XXI-ის კი 1'873 კგ-ის ტოლი.

აღნიშნული სამუშაოების ჩატარების შედეგად, მაგნიტური ღერო დაყოფილ იქნა 21 კომპონენტად და დათვლილი იქნა თითოეული

მათგანის მოცულობა და მასა. მთლიანი მაგნიტური ღეროს მოცულობა არის 24.75 მ³-ის, ხოლო მასა კი 91'914 კგ-ის ტოლი.

4.3 გეომეტრიული მოდელების ურთიერთშეღარებითი ანალიზი

კვლევის მიზანს წარმოადგენს, იმის დადგენა თუ რამდენად შეესაბამება მოდელირებაში არსებული მაგნიტური ღეროს გეომეტრიული მოდელი დეტალურ გეომეტრიულ მოდელს.

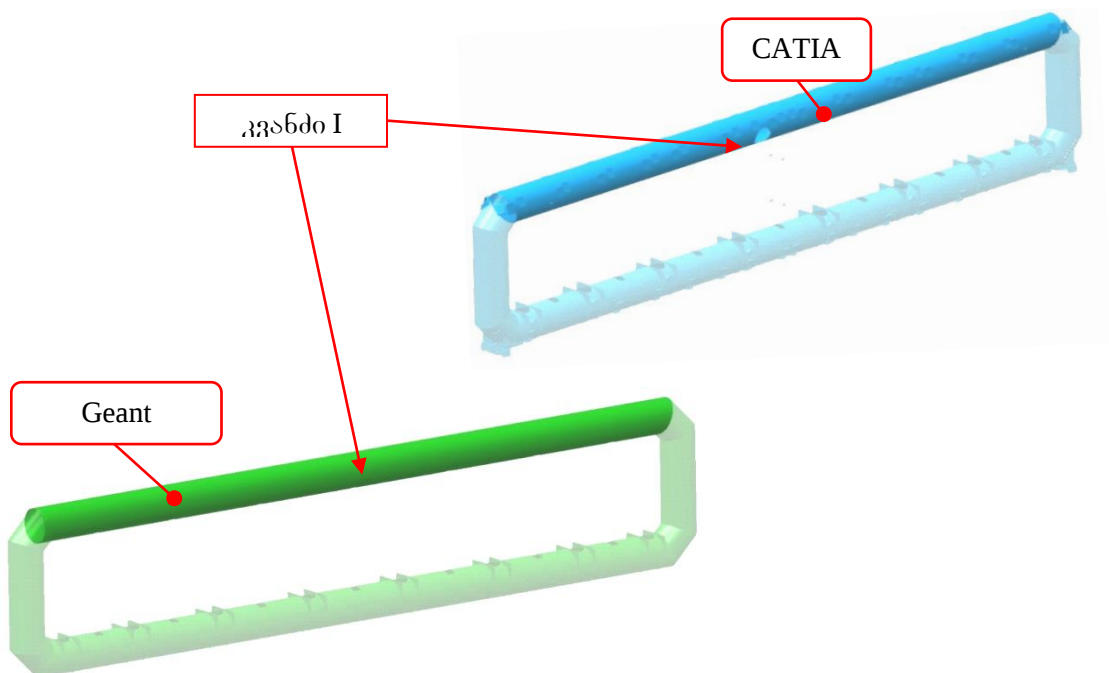


ნახ. 94. Geant4-ში არსებული მაგნიტური ღეროს გეომეტრიული მოდელი ამისათვის, პირველ რიგში, მაგნიტური ღეროს გეომეტრიული მოდელი ამოღებულ იქნა Geant4-დან და განხორციელდა მისი კვანძებად დეკომპოზიცია CATIA-ში აგებული გეომეტრიული მოდელის კვანძის შესაბამისად. მომდევნო ეტაპზე დათვლილ იქნა თითოეული

მათგანის მასა, რომელიც შედარდა CATIA-ში რეპროდუცირებულ გეომეტრიულ მოდელის შესაბამისი კომპონენტების მასასთან [1].

Geant4-ში აღწერილი მაგნიტური ღეროს კვანძების მასის დათვლა განხორციელდა ისევე როგორც CATIA-ში რეპროდუცირებული დეტალური გეომეტრიული მოდელის კომპონენტებისა. კერძოდ კი, პირველ რიგში გარკვეულ იქნა თითოეული მათგანის მოცულობა, მასალა და სიმკვრივე. მოცულობის დასთვლელად განხორციელდა CATIA-ს საშუალებით, ხოლო მასალის გასარკვევად კი გამოყენებულ იქნა თვითონ Geant4-ის პროგრამული კოდი, სადაც მითითებულია თუ რომელ გეომეტრიულ ობიექტს რა მასალა გააჩნია.

შედარებითი ანალიზის პირველ ეტაპზე განხორციელდა მაგნიტური ღეროს სოლენოიდის ზედა ღეროს მასების ურთიერთშედარება, რისთვისაც გამოთვლილ იქნა Geant4-ის მოდელის მოცულობა და სიმკვრივე.



ნახ. 95. CATIA-სა და Geant4-ში არსებული სოლენოიდის ზედა ღერო

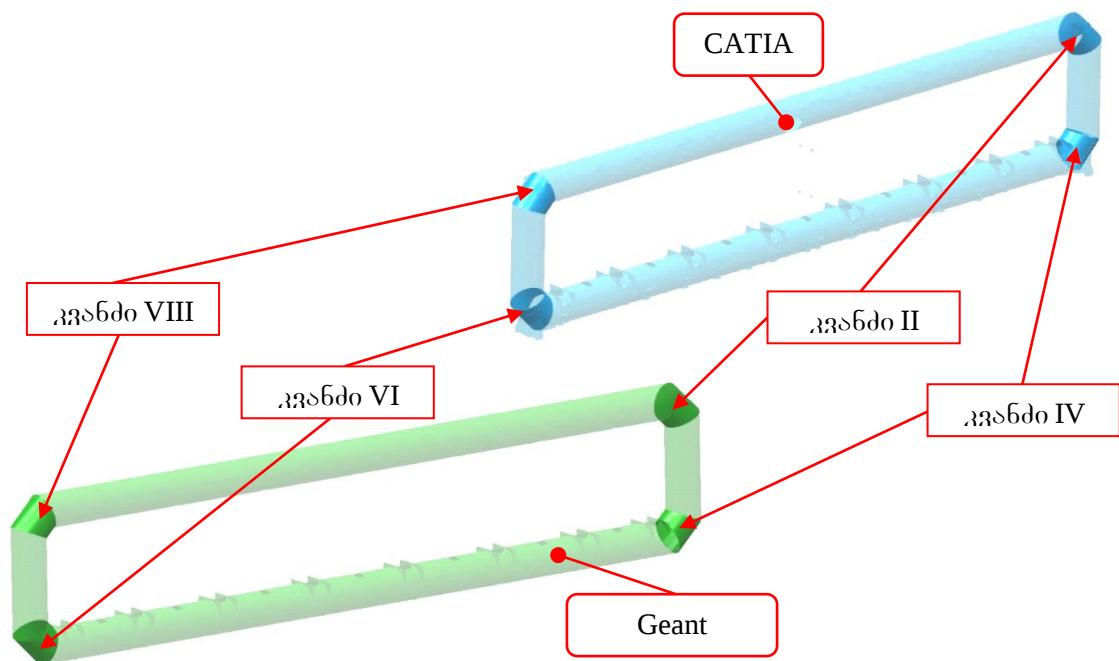
როგორც Geant4-ის კოდის ანალიზის შედეგად გამოჩნდა, მასში აღწერილი სოლენოიდის ზედა ღეროს მასალას წარმოადგენს Iron (რკინა) სიმკვრივით 7870 კგ/მ^3 . მომდევნო ეტაპზე CATIA-ს საშუალებით განხორციელდა მოცულობის დათვლა რომელიც აღმოჩნდა 1.261 მ^3 -ის

ტოლი. აღნიშნული ინფორმაციის საშუალებით გამოთვლილ იქნა Geant4-ში არსებული სოლენოიდის ზედა ღეროს მასა რომელიც არის 8'950 კგ-ის ტოლი, მაშინ როდესაც CATIA-ში რეპროდუცირებული იგივე გეომეტრიული ობიექტის მასა შეადგენს 10'088 კგ.

$$\Delta_1 = M_{Cat/კვანძი I} - M_{G4/კვანძი I} = 10'088 \text{ კგ} - 8'950 \text{ კგ} = 1'138 \text{ კგ}$$

როგორც მიღებულმა შედეგებმა აჩვენა Geant4-ში არსებული სოლენოიდის ზედა ღეროს მასა 1'138 კგ-ით ნაკლებია CATIA-ში რეპროდუცირებულ იგივე გეომეტრიული ობიექტის მასაზე.

შედარებითი ანალიზის მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა მაგნიტური ღეროს სოლენოიდის კუთხეების მასების ურთიერთშედარება. მასების ურთიერთშედარებისათვის, ისევე როგორც სხვა შემთხვევაში, პირველ რიგში გარკვეულ იქნა მათი მოცულობა, მასალა და სიმკვრივე.



ნახ. 96. CATIA-სა და Geant4-ში არსებული სოლენოიდის კუთხეები

იქედან გამომდინარე, რომ სოლენოიდის კუთხეები წარმოადგენდნენ იდენტურ გეომეტრიული ობიექტებს, პირველ რიგში დათვლილი იქნა მხოლოდ ერთი მათგანის მასა. მასის გამოსათვლელად საჭირო მოცულობის მნიშვნელობა გარკვეულ იქნა CATIA-ს საშუალებით, რომელიც აღმოჩნდა 0.042 მ³-ის ტოლი.

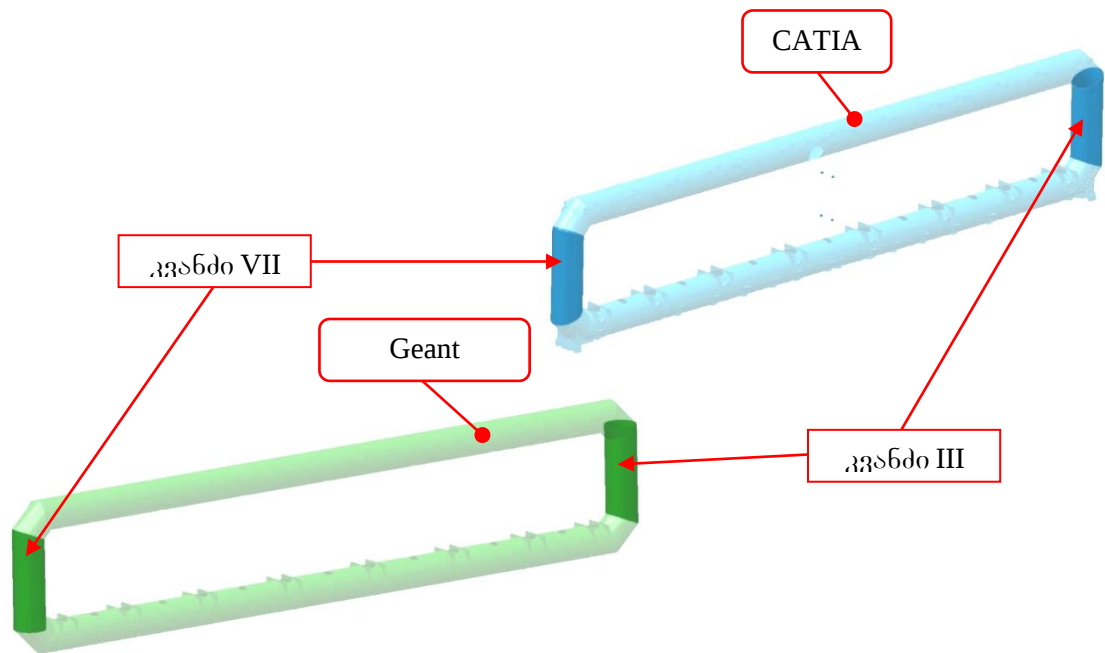
მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა Geant4-ის კოდის ანალიზი, რის მიხედვითაც გაირკვა, რომ სოლენოიდის კუთხეების მასალა არის Iron (რკინა) სიმკვრივით 7'870 კგ/მ³. მოცემული ინფორმაციის საშუალებით დათვლილ იქნა მასა - 332.5 კგ. რადგანაც მთლიან სტრუქტურაში გამოიყენება ოთხი სოლენოიდის კუთხე, მათმა საერთო მასამ შეადგინა 1'330 კგ., მაშინ როდესაც CATIA-ში რეპროდუცირებული იგივე გეომეტრიული ობიექტის მასა არის 1'344 კგ.

$$\Delta_2 = M_{Cat/კვანძი II, კვანძი IV, კვანძი VI, კვანძი VIII}$$

$$- M_{G4/კვანძი II, კვანძი IV, კვანძი VI, კვანძი VIII} = 1'344 \text{ კგ} - 1'330 \text{ კგ} \\ = 14 \text{ კგ}$$

როგორც მიღებულმა შედეგებმა აჩვენა Geant4-ში არსებული სოლენოიდის კუთხეების მასა 14 კგ-ით ნაკლებია CATIA-ში რეპროდუცირებულ იგივე გეომეტრიული ობიექტის მასაზე.

მომდევნო ეტაპზე შედარებულ იქნა მაგნიტური ღეროს სოლენოიდის გვერდების მასები, რისთვისაც პირველ რიგში განხორციელდა Geant4-ში არსებული სოლენოიდის გვერდების მასის დათვლა. იმის გამო, რომ წინა შემთხვევის მსგავსად, სოლენოიდის გვერდები არის ერთმანეთის იდენტური, თავდაპირველად დათვლილი იქნა მხოლოდ ერთი მათგანის მასა. მასის გამოსათვლელად საჭირო მოცულობის დათვლა განხორციელდა CATIA-ს საშუალებით. როგორც CATIA-ში ჩატარებულმა ანალიზმა აჩვენა, სოლენოიდის გვერდის მოცულობა არის 0.162 მ³-ის ტოლი. მასალის გასაგებად გამოყენებულ იქნა Geant4-ის პროგრამული კოდი სადაც მითითებულია, რომ კვანძ III-ის მასალა არის Iron (რკინა) სიმკვრივით 7'870 კგ/მ³. აღნიშნული ინფორმაციის საფუძველზე გამოთვლილ იქნა სოლენოიდის გვერდის მასა, რომელიც არის 1'273 კგ-ის ტოლი.



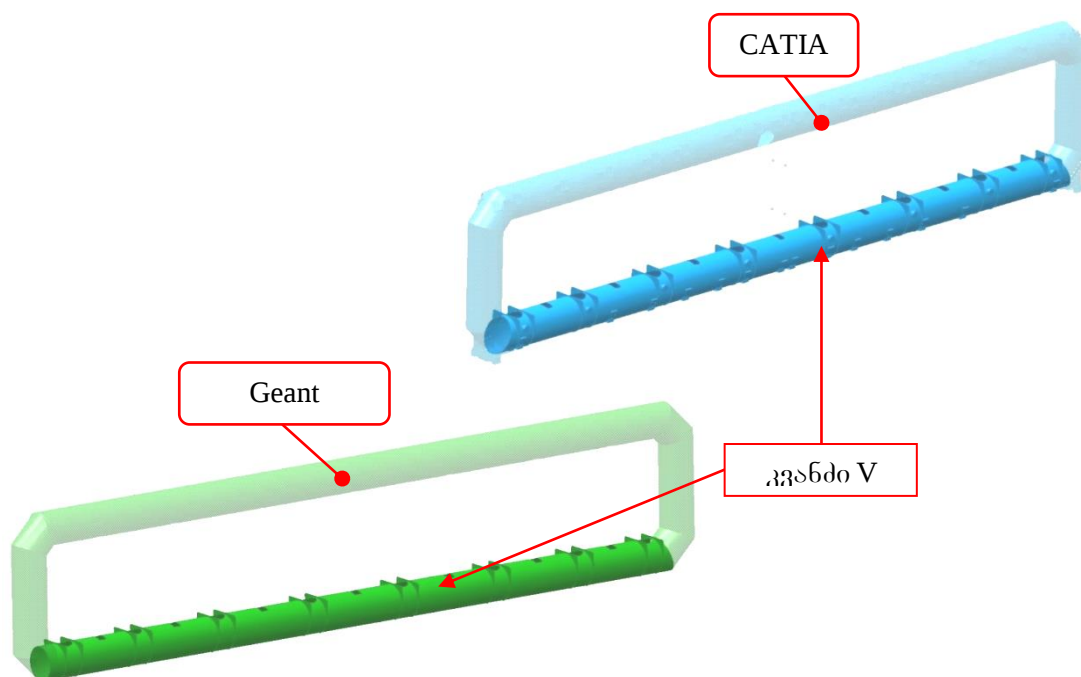
ნახ. 97. CATIA-სა და Geant4-ში არსებული სოლენოიდის გვერდები რადგანაც სულ სტრუქტურაში გამოიყენება ორი ესეთი სახის გეომეტრიული ობიექტი, საერთო მასამ შეადგინა 2'546 კგ, მაშინ როდესაც CATIA-ში რეპროდუცირებული იგივე გეომეტრიული მოდელების მასა არის 2'704 კგ.

$$\Delta_3 = M_{Cat/კვანძი III, კვანძი VII} - M_{G4/კვანძი III, კვანძი VII} = 2'704 \text{ კგ} - 2'546 \text{ კგ} \\ = 158 \text{ კგ}$$

როგორც მიღებულმა შედეგებმა აჩვენა Geant4-ში არსებული სოლენოიდის გვერდების მასა 158 კგ-ით ნაკლებია CATIA-ში რეპროდუცირებული იგივე გეომეტრიული ობიექტების მასაზე.

შედარებითი ანალიზის მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა სოლენოიდის ქვედა ღეროს მასების ურთიერთშედარება. ამისათვის პირველ რიგში დათვლილ იქნა Geant4-ში არსებული გეომეტრიული ობიექტის მასა. როგორც CATIA-ში ჩატარებულმა ანალიზმა აჩვენა, სოლენოიდის ქვედა ღეროს მოცულობა არის 1.223 მ³. მასალის დასადგენად გამოყენებულ იქნა Geant4-ის პროგრამული კოდის სადაც მითითებულია, რომ კვანძ IV-ის მასალა არის Iron (რკინა) სიმკვრივით 7'870 კგ/მ³. ამ ინფორმაციის საფუძველზე დათვლილი იქნა მასა, რომელიც არის 9'630 კგ-ის ტოლი, მაშინ როცა იდენტური CATIA-ს მოდელის მასა წარმოადგენს 11'368 კგ-ს.

$$\Delta_4 = M_{Cat/კვანძი V} - M_{G4/კვანძი V} = 11'368 \text{ კგ} - 9'630 \text{ კგ} = 1'738 \text{ კგ}$$



ნახ. 98. CATIA-სა და Geant4-ში არსებული სოლენოიდის ქვედა ღერო

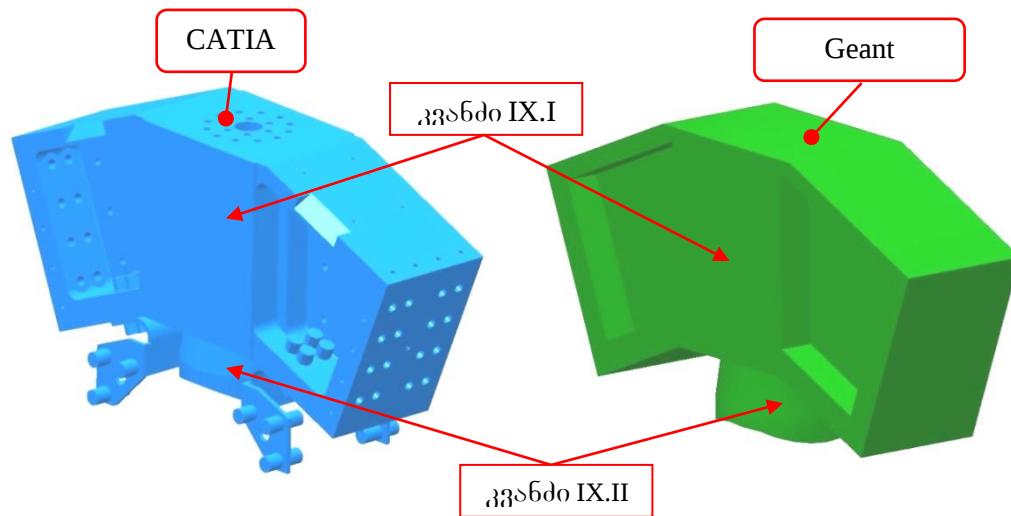
როგორც მიღებულმა შედეგებმა აჩვენა Geant4-ში არსებული სოლენოიდის ქვედა ღეროს მასა 1'738 კგ.-ით ნაკლებია CATIA-ში რეპროდუცირებულ იგივე გეომეტრიული ობიექტის მასაზე.

შედარებითი ანალიზის მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა მაგნიტური ღეროს კიდევ ერთი გარე კომპონენტის-დამხმარე სტრუქტურის ბლოკების მასათა ურთიერთშედარება, რისთვისაც დათვლილი იქნა Geant4-ში არსებული აღნიშნული გეომეტრიული მოდელის მასა.

იქედან გამომდინარე, რომ სულ სტრუქტურაში გამოყენებულია ერთმანეთის იდენტური რვა დამხმარე სტრუქტურის ბლოკი, პირველ რიგში განხორციელდა მხოლოდ ერთი მათგანის მასის დათვლა. დამხმარე სტრუქტურის ბლოკი თავის მხრივ შედგება ორი კომპონენტისაგან (კვანძი IX.I., კვანძი IX.II.) ამიტომ თითოეული მათგანის მოცულობა და მასალა ცალ-ცალკე იქნა დადგენილი. როგორც Geant4-ის პროგრამული კოდის ანალიზმა აჩვენა კვანძ IX.I.-ის მასალას წარმოადგენს Aluminium (ალუმინი) სიმკვრივით 2'700 კგ/მ³, ხოლო კვანძ IX.II.-ის კი Iron (რკინა) სიმკვრივით 7'870 კგ/მ³. ამასთან ერთად

CATIA-ში ჩატარებულმა ანალიზმა აჩვენა, რომ მათი საერთო მოცულობა არის 0.57 მ³-ის ტოლი. აღნიშნული ინფორმაციის საფუძველზე მოხდა კვანძ IX-ში შემავალი რვავე დამხმარე სტრუქტურის ბლოკის მასის დათვლა რომელიც არის 13'255 კგ., მაშინ როდესაც CATIA-ში რეპროდუცირებული იგივე გეომეტრიული ობიექტის მასა არის 12'344 კგ.

$$\Delta_5 = M_{Cat/კვანძი IX} - M_{G4/კვანძი IX} = 12'344 \text{ კგ} - 13'255 \text{ კგ} = -911 \text{ კგ}$$



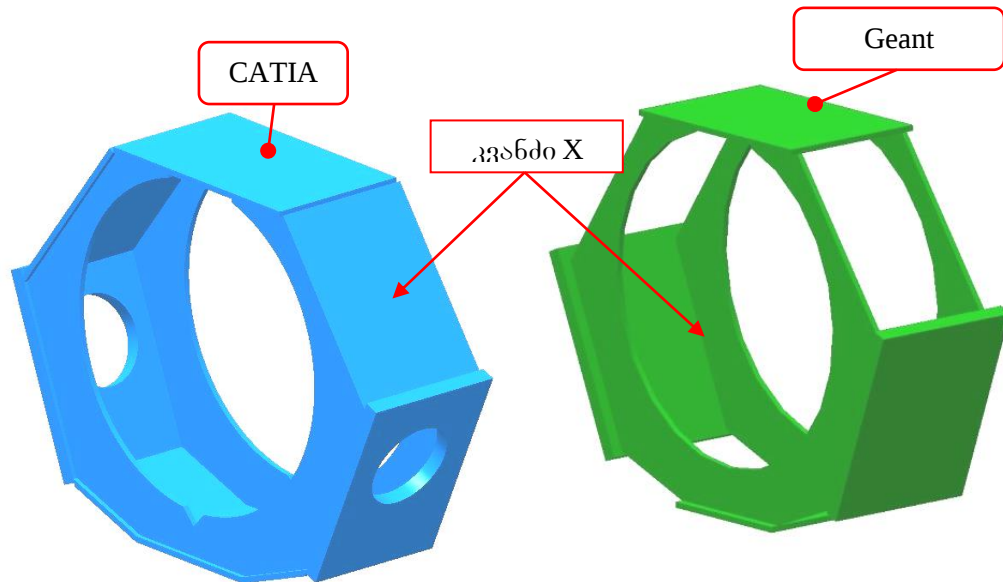
ნახ. 99. CATIA-სა და Geant4-ში არსებული დამხმარე სტრუქტურის ბლოკი

როგორც მიღებულმა შედეგებმა აჩვენა Geant4-ში აღწერილი კვანძ IX-ის მასა 911 კგ.-ით მეტია CATIA-ში რეპროდუცირებულ შესაბამის გეომეტრიული ობიექტის მასაზე.

მომდევნი ეტაპზე განხორციელდა მაგნიტური ღეროს გარე სამაგრების მასების შედარებითი ანალიზი, რისთვისაც თავდაპირველად დათვილ იქნა Geant4-ში არსებული შესაბამისი გეომეტრიული ობიექტის მასა. წინა შემთხვევის მსგავსად სულ სტრუქტურაში გამოყენებულია რვა იდენტური გეომეტრიული ობიექტი, ამიტომ პრიველ ეტაპზე განხორციელდა მხოლოდ ერთ-ერთი მათგანის მასის დათვლა. მოცულობის დასათვლელად გამოყენებულ იქნა CATIA, სადაც ჩატარებულმა ანალიზმა აჩვენა, რომ გარე სამაგრის მოცულობა არის 0.072 მ³. როგორც Geant4-ის პროგრამული კოდის ანალიზმა აჩვენა კვანძ X-ის მასალა არის Iron (რკინა) სიმკვრივით 7'870 კგ/მ³. ამ

ინფორმაციის საშუალებით გამოთვლილ იქნა გარე სამაგრის მასა, რის საფუძველზეც დადგინა სტრუქტურაში გამოყენებული რვავე გარე სამაგრის საერთო მასა რომელიც არის 4'558 კგ.-ის ტოლი, მაშინ როდესაც იდენტური CATIA მოდელის მასა არის 5'336 კგ.

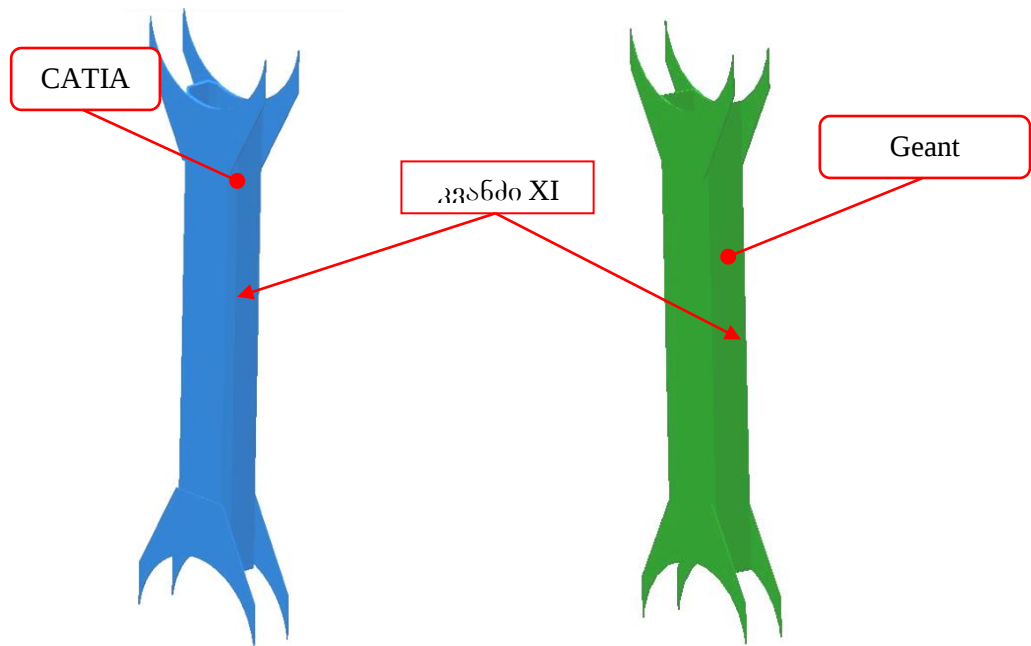
$$\Delta_6 = M_{Cat/კვანძი X} - M_{G4/კვანძი X} = 5'336 \text{ კგ} - 4'558 \text{ კგ} = 778 \text{ კგ}$$



ნახ. 100. CATIA-სა და Geant4-ში არსებული გარე სამაგრი ამრიგად, Geant4-ის კვანძ X-ის მასა 778 კგ.-ით მეტია CATIA-ში აგებული შესაბამის გეომეტრიული ობიექტის მასაზე.

შედარებითი ანალიზის მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა მაგიტური ღეროს ბოლო გარე გეომეტრიული ობიექტის-გარე მილტუჩების მასების შედარებითი ანალიზი. იქედან გამომდინარე, რომ სულ სტრუქტურაში გამოყენებულია ერთმანეთის ისენტური შვიდი გარე მილტუჩი, წინა შემთხვევის მსგავსად დათვლილი იქნა მხოლოდ ერთი მათგანის მოცულობა, მასალა და სიმკვრივე. მოცულობა აღმოჩნდა 0.065 მ³-ის ტოლი, ხოლო მასალა კი Iron (რკინა) სიმკვრივით 7'870 კგ/მ³. ამ ინფორმაციიდან გამომდინარე დავითვალეთ კვანძი XI შვიდივე გარე მილტუჩის საერთო მასა, რომელიც არის 3'576 კგ., მაშინ როდესაც CATIA-ში რეპროდუცირებული იგივე გეომეტრიული ობიექტის მასა არის 4'824 კგ.

$$\Delta_7 = M_{Cat/კვანძი XI} - M_{G4/კვანძი XI} = 4'824 \text{ კგ} - 3'576 \text{ კგ} = 1'248 \text{ კგ}$$



ნახ. 101. CATIA-სა და Geant4-ში არსებული გარე მიღტუჩი

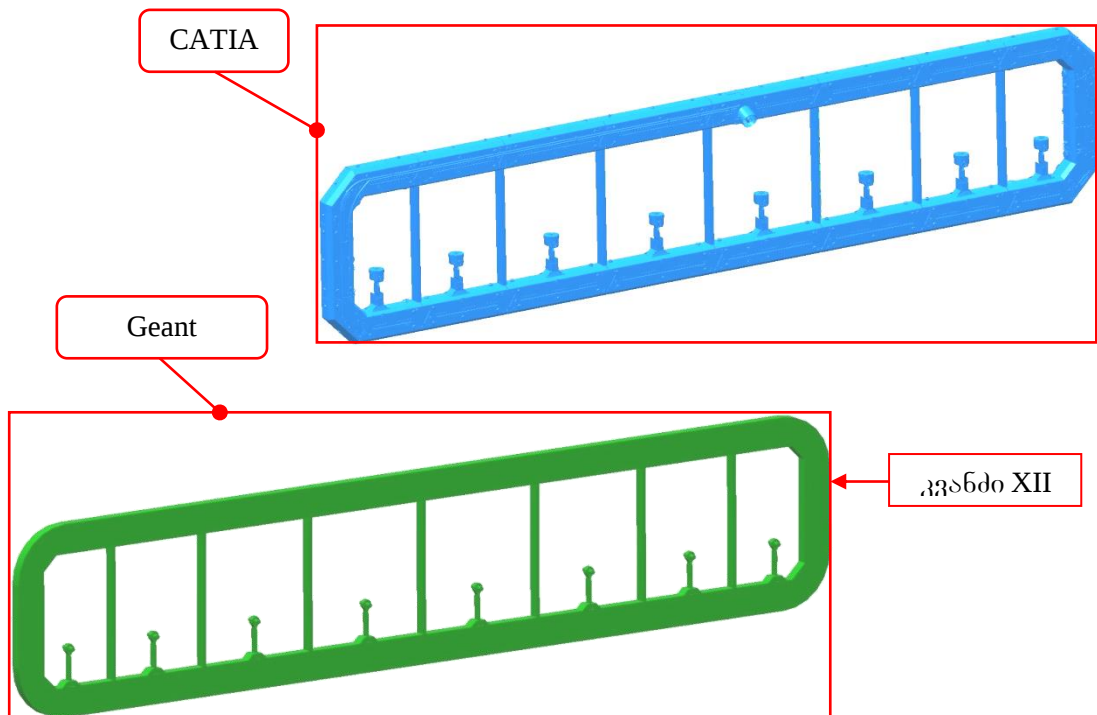
როგორც მიღებულმა შედეგებმა აჩვენა, Geant4-ში აღწერილი გარე მიღტუჩების საერთო მასა 1'248 კგ.-ით ნაკლებია CATIA-ში რეპროდუცირებულ შესაბამის გეომეტრიული ობიექტის მასაზე.

შედარებითი ანალიზის ბოლო ეტაპზე განხორციელდა Geant4-ში აღწერილი და CATIA-ში რეპროდუცირებული მაგნიტური ღეროს შიდა გეომეტრიული ობიექტების ურთიერთშედარება. როგორც Geant4-დან ამოღებული გეომეტრიული მოდელის ანალიზის შედეგად დადგინდა, აქ გეომეტრიული ობიექტები წარმოდგენილია როგორც ერთიანი გეომეტრიული მოდელი, მაშინ როდესაც სინამდვილეში მაგნიტური ღეროს შიდა გეომეტრია შეიცავს ერთმანეთის შიგნით განთავსებულ რამოდენიმე გეომეტრიული ობიექტს. ამიტომ მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა Geant4-ში აღწერილი მაგნიტური ღეროს შიდა გეომეტრიული ობიექტის შედარება CATIA-ში რეპროდუცირებულ მაგნიტური ღეროს შიდა გეომეტრიულ ობიექტებთან (კვანძი XII, კვანძი XIII, კვანძი XIV, კვანძი XV, კვანძი XVI, კვანძი XVII, კვანძი XVIII, კვანძი XIX, კვანძი XX, კვანძი XXI).

როგორც CATIA-ში ჩატარებულმა ანალიზმა აჩვენა, Geant4-ში არსებული გეომეტრიული მოდელის მოცულობა არის 13.558 მ³-ის ტოლი. მასალის და სიმკვრივის დასადგენად ისევ როგორც ყველა

სხვა შემთხვევაში გამოყენებულ იქნა Geant4-ის კოდი სადაც მითითებულია, რომ მაგნიტური ღეროს შიდა გეომეტრიის მასალას წარმოადგენს Aluminium (ალუმინი) სიმკვრივით 2700 კგ/მ³. აღნიშნული ინფორმაციის საფუძველზე დათვლილი იქნა მასა, რომელიც აღმოჩნდა 36'607 კგ-ის ტოლი, მაშინ როდესაც CATIA-ში რეპროდუცირებული მაგნიტური ღეროს შიდა გეომეტრიული ობიექტების საერთო მასა არის 44'338.3 კგ.

$$\Delta_8 = M_{Cat/Mix} - M_{G4/კვანძი XII} = 43'906.5 \text{ კგ} - 36'607 \text{ კგ} = 7'299.5 \text{ კგ}$$

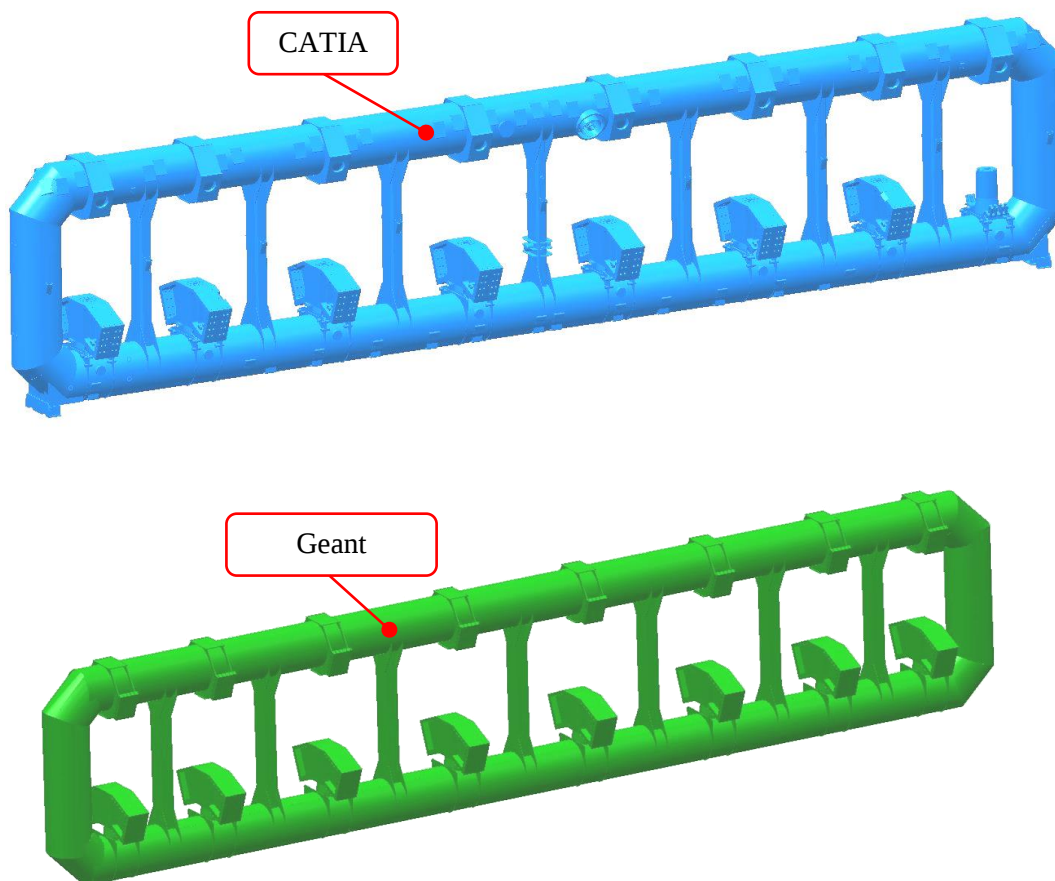


ნახ. 102. CATIA-სა და Geant4-ში არსებული მაგნიტური ღეროს შიდა გეომეტრია

როგორც მიღებული შედეგიდან ჩანს, Geant4-ში არსებული შიდა გეომეტრიული ობიექტის მასა 7'517.9 კგ-ით ნაკლებია CATIA-ში შექმნილ მაგნიტური ღეროს შიდა გეომეტრიული ობიექტების საერთო მასაზე.

საბოლოოდ დათვლილ იქნა მასათა შორის სხვაობა მოელი Geant4-ში აღწერილ და CATIA-ში რეპროდუცირებულ მაგნიტური ღეროს გეომეტრიული მოდელებს შორის:

$$\begin{aligned}
\Delta_{\Sigma/Dif} &= \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5 + \Delta_6 + \Delta_7 + \Delta_8 \\
&= 1'138 \text{ კგ} + 14 \text{ კგ} + 158 \text{ კგ} + 1'738 \text{ კგ} - 911 \text{ კგ} + 778 \text{ კგ} \\
&\quad + 1'248 \text{ კგ} + 7'299.5 \text{ კგ} = 11'462.5 \text{ კგ}
\end{aligned}$$



ნახ. 103. CATIA-სა და Geant4-ში არსებული მაგნიტური დეროს სრული გეომეტრიული მოდელი

ამრიგად, CATIA-ში რეპროდუცირებული მაგნიტური დეროს გეომეტრიული მოდელის მასა 11'462.5 კგ.-ით მეტია Geant4-ში არსებულ მაგნიტური დეროს მასაზე.

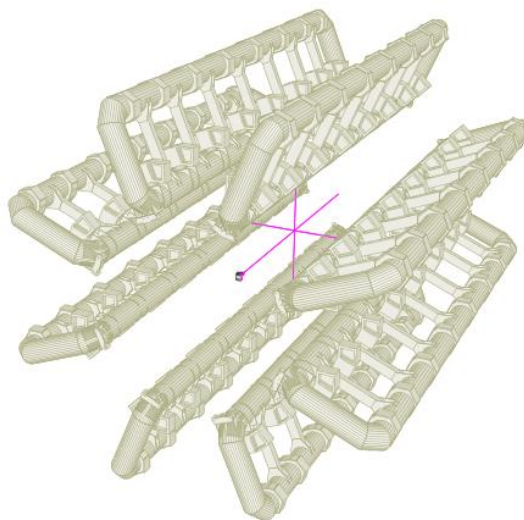
კვანძი №	სახელი	CATIA (კგ)	Geant4 (კგ)	სხვაობა (კგ)
კვანძი I	ზედა სოლენოიდი	10'088	8'950	1'138
კვანძი II, კვანძი IV, კვანძი VI, კვანძი VIII	სოლენოიდის კუთხეები	1'344	1'330	14
კვანძი III, კვანძი VII	სოლენოიდის გვერდები	2'704	2'546	158
კვანძი V	ქვედა სოლენოიდი	11'368	9'630	1'738

კვანძი IX	დამხმარე სტრუქტურის ბლოკები	12'344	13'255	-911
კვანძი X	გარე სამაგრები	5'336	4'558	778
კვანძი XI	გარე მიღტუნები	4'824	3'576	1'248
კვანძი XII	თერმული დამცავი	2'020	36'607	7'299.5
	შემკვრელი შტანგები	2'928		
	ჭანჭიკები, მოკლე ხუფები, ღეროს ყალიბი	18'578.7		
	გრძელი ხუფი	4'963.6		
	ხვიები	11'572.55		
	სერვისები	253		
	მილის სამაგრები	538		
	დამატებითი სამაგრები	903.7		
	შიდა მიღტუნები I	276		
	შიდა მიღტუნები II	1'873		
სულ:		91'914	80'452	11'462.5

ცხ. 16. CATIA და Geant4 მოდელების მასათა შორის სხვაობა

ურთიერთშედარებითი ანალიზისათვის ასევე მნიშვნელოვანია Geant4-ში არსებული მოდელის მთლიან ანაწყოში ინტეგრაციის ანალიზი. ამ მიზნით განხორციელდა მაგნიტური ღეროს პოზიციონირების შემოწმება.

ATLAS-ის დეტექტორი შეიცავს რვა მაგნიტურ ღეროს, რომლებიც განთავსებული არიან ნაწილაკების ურთიერთქმედების წერტილის (Z0) გარშემო თანაბარი მანძილით.



ნახ. 104. მაგნიტური ღეროს პოზიციონირება

ამიტომ CATIA-ში მაგნიტური ღეროს დეტალური მოდელის რეპროდუცირების შემდეგ ისინი განთავსდნენ Z0-ის მიმართ რეალურ პოზიციაზე რისთვისაც გამოყენებულ იქნა CDD ნახაზები.



ნახ. 105. მაგნიტური ღეროს ზედა და ქვედა სოლენოიდის პოზიცია

პოზიციონირების ანალიზისათვის Geant4-ში არსებული მაგნიტური ღეროს გეომეტრიული მოდელი შედარებულ იქნა CATIA-ში რეპროდუცირებული მოდელთან. შედარება განხორციელდა მაგნიტური ღეროს ზედა და ქვედა სოლენოიდის ცენტრის მიმართ პოზიციონირების რიცხვითი მნიშვნელობების მიხედვით. როგორც ჩატარებულმა ანალიზმა აჩვენა CATIA-ში რეპროდუცირებული სოლენოიდის ზედა ღეროები ცენტრის მიმართ დაშორებული არიან 9'515 მმ-ით, მაშინ როდესაც Geant4-ში არსებული იგივე გეომეტრიული ობიექტები ცენტრის მიმართ განთავსებული არიან 9'480 მმ-ის მანძილზე. მაშასადამე ცდომილება შეადგენს 35 მმ-ს.

$$\Delta R_1 = R_{1_{Catia}} - R_{1_{Geant4}} = 9'515 \text{ მმ} - 9'480 \text{ მმ} = 35 \text{ მმ}$$

გარდა ამისა, ასევე ცდომილება დაფიქსირდა სოლენოიდის ქვედა ღეროს შემთხვევაში: CATIA-ში რეპროდუცირებული სოლენოიდის ქვედა ღეროები ცენტრის მიმართ დაშორებული არიან 5'295 მმ-ით, მაშინ როდესაც Geant4-ში არსებული იგივე გეომეტრიული ობიექტები ცენტრის მიმართ განთავსებული არიან 5'270 მმ-ის მანძილზე. მაშასადამე ცდომილება შეადგენს 25 მმ-ს.

$$\Delta_{R2} = R2_{Catia} - R2_{Geant4} = 5'295 \text{ მმ} - 5'270 \text{ მმ} = 25 \text{ მმ}$$

ამრიგად, აღმოჩენილი ცდომილებებიდან გამომდინარე შეიძლება ითქვას, რომ Geant4-ში არსებული მაგნიტური ღეროს გეომეტრიულ მოდელს უჭირავს არასწორი პოზიცია.

მე-4 თავის დასკვნები

1. ჰიპოტეზა II დადასტურდა: მოდელირებული გეომეტრია არ შეესაბამება რეალურად არსებულს
2. მაგნიტური ღეროს გეომეტრიული მოდელი ფუნქციონალური დანიშნულების მიხედვით დაყო 21 კვანძად
3. განხორციელდა თითოეული კვანძის მოცულობის და მასის ანალიზი; ასევე ურთიერთშედარებითი ანალიზი Geant4-ის შესაბამის კვანძებთან
4. მასებს შორის მნიშვნელოვანი სხვაობა იქნა აღმოჩენილი შემდეგი კვანძებისათვის: ქვედა სოლენოიდი – 1'738 კგ; გარე მილტუხები – 1'248 კგ; თერმული დამცავი – 2'020 კგ; მაგნიტური ღეროს შიდა კომპონენტები – 5'297.5 კგ.
5. როგორც აღმოჩნა თერმული დამცავი (2'020 კგ.) საერთოდ არ იყო გათვალისწინებული მოდელირებულ გეომეტრიაში
6. მაგნიტური ღეროს ანალიზის შედეგად აღმოჩენილ იქნა 11.6 ტონიანი მასათა შორის სხვაობა რეალურად არსებულ და მოდელირებულ გეომეტრიული ობიექტს შორის
7. მაგნიტური ღეროს ცენტრის პოზიცია 35მმ-ით არის დაძრული რეალურად პოზიციონირებული ღეროების ცენტრიდან

ძირითადი დასკვნები

1. მოდელირების პაკეტებში არსებული ATLAS-ის დეტექტორის კომპონენტების ტიპიზაციის შედეგად გამოიყო 84 გეომეტრიული პრიმიტივი
2. შერჩეული გეომეტრიული პრიმიტივების მოდელირების პაკეტებში დაპროგრამების შესაძლო ვარიანტებიდან შემუშავდა 77 სატესტო მაგალითი
3. ჰიპოთეზა I, იმის შესახებ, რომ მოდელირების ინფრასტრუქტურას შემოაქვს გეომეტრიული უზუსტობები, დადასტურდა
4. გეომეტრიული ცდომილებების ძირითად გამომწვევ მიზეზს წარმოადგენს Boolean (ლოგიკური) ოპერაცია
5. გამოვლენილ იქნა ATLAS-ის დეტექტორის გეომეტრიული დაპროგრამების შემთხვევები, რომლის დროსაც Boolean ოპერაცია კორელირებს გადაადგილება/შემობრუნების გეომეტრიულ ტრანზაქციებზე
6. ჰიპოთეზა II, იმის შესახებ, რომ Geant4-ში გამოყენებული გეომეტრიული აღწერები არ შეესაბამება ATLAS-ის დეტექტორის რეალურად არსებულ გეომეტრიას, დადასტურდა
7. ATLAS-ის დეტექტორის მაგნიტური ღეროს მასის შედარებითმა ანალიზმა აჩვენა 11.6 ტონიანი სხვაობა რეალურად არსებულ და Geant4 გეომეტრიულ აღწერებს შორის
8. ATLAS-ის დეტექტორის მაგნიტური ღეროს ინტეგრაციის კონფლიქტებზე ანალიზმა აჩვენა Geant4 გეომეტრიული მოდელის 35მმ-იანი გადახრა რეალურად პოზიციონირებული დეტექტორის ცენტრიდან

ბამოყენებული ლიტერატურა

1. Evans L. The Large Hadron Collider. Switzerland: EPFL Press, 2009, 1 edition, 252 p.
2. Linkoln D. The Large Hadron Collider: The Extraordinary Story of the Higgs Boson and Other Stuff That Will Blow Your Mind. United State of America: Johns Hopkins University Press, 2014, 240 p.
3. Froidevaux D., Vincter M. The ATLAS Experiment at the CERN Large Hadron Collider. The Journal of Instrumentation (JINST). 2008, JINST 3, 407 p.
4. Stapnes S. Detector challenges at the LHC. *NATURE*. 2007, Vol 448, pp. 290-296
5. The ATLAS TDAQ Collaboration. The ATLAS Data Acquisition and High Level Trigger system. *Journal of Instrumentation* (JINST). 2016, 11, 6, pp. 1-148
6. Cranshaw J., Doyle A. T., Kenyon M. J., Malon D., McGlone H., Nicholson C. Integration of the ATLAS Tag Database with Data Management and Analysis Components. *Journal of Physics*. 2008, Conference Series 119, 10, pp. 1-10
7. Hawkings R. ATLAS conditions database user guide. *ATLAS Collaboration*. 2006, Draft 1.2, pp. 1-16
8. Gallas E. J., Albrand S., Fulachier J., Lambert F., Pachal K. E., Tseng J. C. L. , Zhang Q. Conditions and configuration metadata for the ATLAS experiment. *Journal of Physics*. 2012, Series 396, pp. 1-13
9. Duckeck G. at all. ATLAS Computing, Technical Design Report. Switzerland: ATLAS TDR--017, CERN-LHCC-2005-022, 234p.
10. John Alison. The Road to Discovery. Detector Alignment, Electron Identification, Particle Misidentification, WW Physics, and the Discovery of the Higgs Boson. USA: Springer, 2015, 314 p.
11. Kroese, D. P., Brereton T., Taimre T., Botev Z. I. Why the Monte Carlo method is so important today. *WIREs Comput Stat*. 2014, 6, 6, pp. 386–392
12. Aad G., Abbott B., Abdallah J., Abdelalim A.A., Abdesselam A., etc. The ATLAS Simulation Infrastructure. *The European Physical Journal C*. 2010, 70, pp. 823–874
13. Hauschild M. ATLAS Event Displays from papers. *Twiki*. 2011, pp. 1-33
14. <http://www-public.slac.stanford.edu/babar/>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 28.06.2016
15. <http://www-public.slac.stanford.edu/babar/>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 28.06.2016
16. <http://borex.lngs.infn.it/>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 28.06.2016
17. S. Davini. Measurement of the pep and CNO Solar Neutrino Interaction 59 Rates in Borexino. Switzerland: Springer International Publishing, 2014, XI, 114 p.

18. <http://www-numi.fnal.gov/index.html>, უკანასკნელად იქნა
გადამოწმებული 28.06.2016
19. <https://web.fnal.gov/project/Geant4/SitePages/NuExptUseOfG4.aspx>,
უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 28.06.2016
20. Jan S., Santin G., Strul D., Staelens S. , Assie K., etc. GATE: a simulation toolkit
for PET and SPECT. IOP Publishing Ltd. 2004, Phys. Med. Biol. 49, pp. 4543-
4561
21. <http://deckard.mc.duke.edu/xcatmobyrobyphantom.html>, უკანასკნელად იქნა
გადამოწმებული 28.06.2016
22. Chevalier L., Dell'Acqua A., Meyer J. An ATLAS generic detector description
system and geometry editor for the ATLAS detector at the LHC. *Journal of
Physics*. 2012, Conference Series 396, 13, pp. 1-13.
23. Kittelmann Th., Tsulaia V., Boudreau J., Moyse E. The Virtual Point 1 event
display for the ATLAS experiment. *Journal of Physics*. 2010, Conference Series
219, pp. 1-10.
24. Pomarede D, Virchaux M. The persint visualization program for the ATLAS
experiment. Computing in High Energy and Nuclear Physics. 2003, MOLT009,
pp. 1-9
25. Wang D., Song J., Yu Sh., Long P., Wang Y. CAD-based Monte Carlo automatic
modeling method based on primitive solid. *Annals of Nuclear Energy*. 2016, 87,
2, pp. 162-166.
26. Geant4 Collaboration. Geant4 User's Guide for Application Developers.
Publisher: Geant4 Collaboration, Version: geant4 10.2, 2015. 376 p.
27. Boudreau J. Geometry Kernel Classes. Switzerland: CERN, 2002, 60 p.
28. Wu Y. CAD-based interface programs for fusion neutron transport simulation.
Fusion Engineering and Design. 2009, 84, pp. 1987–1992
29. http://mathieu.trocme.free.fr/public/phdthesis/wiki/CAD_Coupling.html,
უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 28.06.2016
30. Sharmazanashvili A., Tsutskiridze N. Development of CATOA_2_Geant
Interface for Simulation of High Energy Physics Experiments. *Proceedings of
TMCE 2016*. 2016, 10, pp. 363-372.
31. FOUCHER H. CATIA V5 Student Edition. User Guide. United States of
America: THE 3DEXPERIENCE COMPANY, Version 1.6.0, 2014, 33 p.
32. Delamare Ch., Petit S. CDD CERN DRAWING DIRECTORY. User's manual.
Geneva, Switzerland: CERN EST/98-01 (ISS), EDMS Document 100100,
Version 1.2, 1998, 60 p.
33. Wernecke j., Open Inventor Architecture Group. The Inventor Mentor:
Programming Object-Oriented 3D Graphics with Open Inventor, Release 2.
United States, Boston: Addison-Wesley Professional. 1 edition, 1994, 560 p.
34. Carey R., Bell G. The Annotated VRML 2.0 Reference Manual. United States,
Boston: Addison-Wesley Professional, 1997, 528 p.

35. Sharmazanashvili A., Tsutskiridze N. Simulation Loop between CAD Systems, Geant-4 and GeoModel: Implementation and Results. *Physics of Particles and Nuclei Letters*. 2016, Vol. 13, No. 5, pp. 724–727
36. Ghali Sh. Introduction to Geometric Computing. Germany: Springer, 1st ed., 2008, 340 p.
37. ცუცქირიძე ნ. ATLAS-ის დეტექტორის მაგნიტური სისტემის გეომეტრიული აღწერების დამუშავება სიმულაციისა და რეკონსტრუქციის პროგრამული პაკეტებისათვის. დისერტაცია მაგისტრის ხარისხის მოსაპოვებლად. 2012, 175 გვ.