

# გეომეტრიული აღწერების უზუსტობების გამოკვლევა ATLAS-ის ექსპერიმენტისათვის

ნიკო ცუცქერიძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

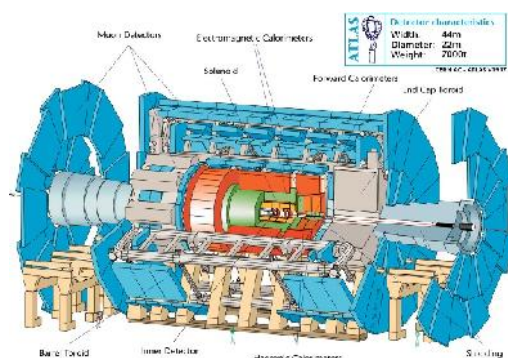
## რეზიუმე

ბირთვული კვლევების ევროპულ ორგანიზაციაში (CERN) მიმდინარე ATLAS-ის ექსპერიმენტთან ერთად ხორციელდება აღნიშნული ექსპერიმენტის მოდელირების პროცესი. შედეგად, რეალური ექსპერიმენტიდან (Data) და მოდელირებიდან (MC) მიიღება მონაცემები. ანალიზი აჩვენებს, რომ ATLAS-ის დეტექტორის ზოგიერთ რეგიონში ფიქსირდება Data vs. MC მონაცემებს შორის სხვაობა. ერთ-ერთი მოსაზრების თანახმად სხვაობა შეიძლება გამოწვეული იყოს გეომეტრიული უზუსტობებით. არსებობს მათი გამომწვევი ორი ჰიპოთეზა: - გეომეტრიული მოდელირების ინფრასტრუქტურაში გეომეტრიული ტრანსფორმაციების უზუსტობები; - მოდელირების პაკეტებში არსებულ ATLAS-ის დეტექტორის გეომეტრიულ მოდელსა და რეალურს შორის სხვაობა. აღნიშნული ჰიპოთეზების შემოწმებისათვის განხორციელდა სპეციალური სატესტო მაგალითების ფორმირება და ATLAS-ის დეტექტორის ერთ-ერთი კომპონენტის - მაგნიტური ღეროს ანალიზი. შედეგად გამოვლენილ იქნა მნიშვნელოვანი უზუსტობები.

**საკვანძო სიტყვები:** CERN. ATLAS დეტექტორი. სიმულაცია. გეომეტრიული აღწერა.

## 1. შესავალი

ნაწილაკების ფიზიკა შეისწავლის იმ ნაწილაკების ბუნებას და ურთიერთქმედებას, რომლისგანაც შედგება მატერია და ენერგია [1]. ის ასევე ცნობილია როგორც *მაღალი ენერგიების ფიზიკა*, რადგან ელემენტარული ნაწილაკების უმრავლესობა წარმოიქმნება სხვა ნაწილაკების მაღალი ენერგიებით დაჯახებისას, რომელიც წარმოებს ამაჩქარებლების საშუალებით. შესაბამისად, ნაწილაკების შესწავლისათვის გამოიყენება ამაჩქარებლის კომპლექსები. დღესდღეობით მსოფლიოში ყველაზე დიდ ამაჩქარებელს წარმოადგენს 27 კილომეტრიანი დიდი ადრონული კოლაიდერი, რომელიც არის ბირთვული კვლევების ევროპული ორგანიზაციის (CERN) პროექტი [2]. ამაჩქარებელი განთავსებულია მიწის ქვეშ

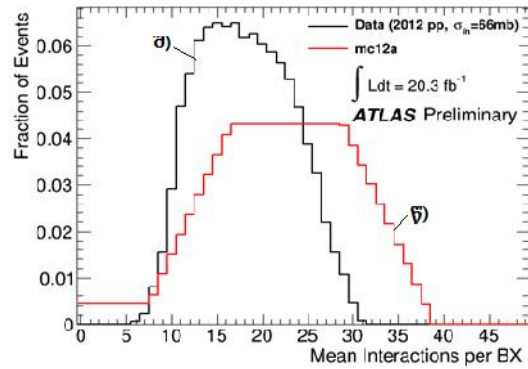


ნახ. 1. ATLAS-ის დეტექტორი

100 მეტრის სიღრმეზე შვეიცარიისა და საფრანგეთის ტერიტორიაზე და ძირითადად განკუთვნილია პროტონების აჩქარებისა და დაჯახებისათვის. ამაჩქარებელზე ნაწილაკების დაჯახება წარმოებს ოთხ სხვადასხვა ადგილზე. შესაბამისად, თითოეულ მათგანზე განთავსებულია ოთხი სხვადასხვა დეტექტორი - ATLAS, CMS, ALICE და LHCb (ნახ.1). აღნიშნული დეტექტორებიდან ყველაზე დიდი და კომპლექსური ATLAS-ის დეტექტორია, რომელიც შედგება ქვედეტექტორების რამდენიმე შრისა-

აღნიშნულ ექსპერიმენტთან ერთად ასევე ხორციელდება ფიზიკური პროცესების მოდელირება, რისთვისაც გამოიყენება მონტე-კარლოს (MC) ალგორითმები, რომლებიც Event (მოვლენა - ნაწილაკების დაჯახებისა და დეტექტორის ქვე-კომპონენტებში გაბნევის პროცესი) - ების გენერატორის საშუალებით აწარმოებენ მოდელირებისათვის საჭირო მონაცემების ფორმირებას [3]. აღნიშნული მონაცემები იდენტურია რეალური ექსპერიმენტიდან მიღებული Event - ებისა.

ამრიგად, ATLAS-ის ექსპერიმენტის მიმდინარეობისას წარმოებს მონაცემების მიღება ერთი მხრივ რეალური ექსპერიმენტიდან, ხოლო მეორე მხრივ მოდელირების პროცესიდან (Data vs. MC). როგორც მიღებული მონაცემების ანალიზი აჩვენებს, ATLAS-ის დეტექტორის ზოგიერთ რეგიონში ფიქსირდება Data vs. MC შორის სხვაობა. მაგალითად, ერთ-ერთი ასეთი სხვაობა მოცემულია მე-2 ნახაზზე, სადაც რეალური ექსპერიმენტიდან მიღებული მონაცემები ასახულია შავი მრუდით, ხოლო მოდელირებიდან მიღებული მონაცემები კი წითელი მრუდით [4].



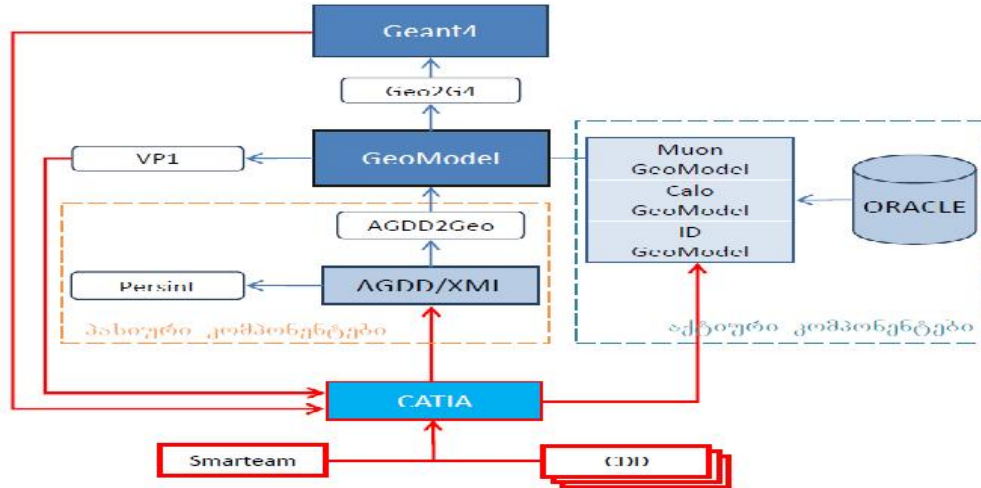
ნახ. 2. Data vs. MC სხვაობა

Data vs. MC შორის სხვაობა შეიძლება გამოწვეული იყოს სხვადასხვა მიზეზით, რომელთა შორის ერთერთი სიმულაციაში გამოყენებული გეომეტრიული აღწერების უზუსტობებია. აქედან გამომდინარე, Data vs. MC შორის სხვაობის გამოკვლევისას, პირველ რიგში უნდა განხორციელდეს გეომეტრიული უზუსტებების ანალიზი, რომელიც მოიცავს ორ ფაზას: 1) გეომეტრიული მოდელირების ინფრასტრუქტურაში გეომეტრიული ტრანსფორმაციების უზუსტობების შესწავლა; 2) მოდელირების პაკეტებში არსებულ ATLAS-ის დეტექტორის გეომეტრიულ მოდელსა და რეალურს შორის სხვაობა.

## 2. მოდელირების პლატფორმა CATIA-ს ბაზაზე

CERN-ის გეომეტრიული მოდელირების პროგრამები დაფუძნებულია სპეციალური პროგრამული რესურსის - Geant4 ის გამოყენებაზე, რომელიც საშუალებას იძლევა მოხდეს ATLAS-ის დეტექტორის კომპონენტების აღწერა დაპროგრამების სხვადასხვა ენაზე [5]. ATLAS-ის დეტექტორის გეომეტრიული აღწერები შენახულია XML და Oracle მონაცემთა ბაზაში. იქედან გამომდინარე რომ, ფიზიკური პროცესების მოდელირებისას გამოიყენება Geant4 აღწერები, XML-სა და Oracle-ში შენახული გეომეტრიული აღწერები Geant4-ში მოხვედრამდე განიცდის ტრანსფორმაციას, GeoModel მოდელირების პლატფორმის გავლით: XML->GeoModel, Oracle->GeoModel და GeoModel->GEANT4 (ნახ.3).

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ბირთვული ინჟინერიის ცენტრის მიერ დამუშავდა გეომეტრიული მოდელირების პლატფორმა, სადაც გრაფიკული პროგრამა CATIA გამოყენებულია როგორც დამაკავშირებელი კვანძი. ამ მიზნით შეიმნა CATIA -> XML/Persint, CATIA -> GeoModel/VP1, GeoModel/VP1 -> CATIA და Geant4 -> CATIA ინტერფეისები. მოდელირების პლატფორმა გამოყენებულ იქნა გეომეტრიული უზუსტებების ანალიზისათვის.



ნახ. 3. მოდელირების პლატფორმა

### 3. გეომეტრიული ტრანსფორმაციების უზუსტობების შესწავლა

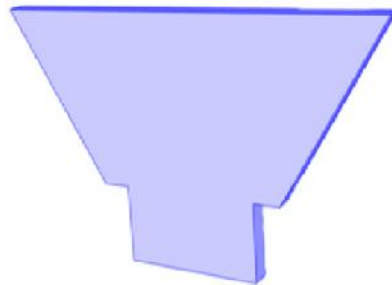
გეომეტრიული მოდელირების ინფრასტრუქტურაში გეომეტრიული ტრანსფორმაციების უზუსტობების შესწავლისათვის განხორციელდა სპეციალური სატესტო მაგალითების ფორმირება. ამისათვის ჩატარდა შემდეგი სახის სამუშაოები [5]:

- 1) ATLAS-ის დეტექტორის კომპონენტების ტიპიზაცია;
- 2) სატესტო მაგალითების ფორმირება;
- 3) მოდელირების საცდელი სესიების ჩატარება.

#### 3.1. ATLAS-ის დეტექტორის კომპონენტების ტიპიზაცია

სატესტო მაგალითების შერჩევის პირველ ეტაპზე განხორციელდა ATLAS-ის დეტექტორის კომპონენტების ტიპიზაცია. ტიპიზაციის ძირითადი მიზანია მოდელირების პაკეტებში არსებული ATLAS-ის დეტექტორის გეომეტრიული აღწერებიდან, გეომეტრიული მსგავსებადობის მიხედვით, გეომეტრიული პრიმიტივების ამორჩევა და მათი დაჯგუფება. შედეგად გამოიყო 3 კლასი:

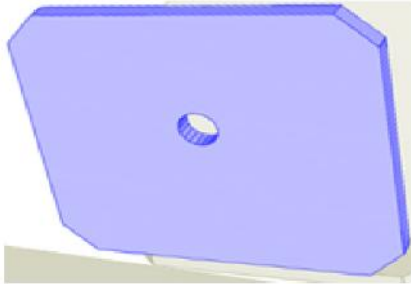
- პირველ კლასში გაერთიანდა ATLAS-ის დეტექტორის ის კომპონენტები, რომლებიც წარმოდგენილია მარტივი გეომეტრიული პრიმიტივების სახით. კონსტრუქციული მყარი ტანის გეომეტრიაში (CSG) მარტივ გეომეტრიულ პრიმიტივს განეკუთვნება: კუბი, ცილინდრი, სფერო, კონუსი, პირამიდა და ტორუსი [6]. შედეგად, ჩამოყლიბდა პირველი კლასი- „გეომეტრიული პრიმიტივები“. აღნიშნული კლასისათვის დეტექტორის გეომეტრიული აღწერებიდან შეირჩა 22 უნიკალური გეომეტრიული პრიმიტივი.



ნახ. 4. გეომეტრიული პრიმიტივი

- გამომდინარე იქიდან, რომ ATLAS-ის დეტექტორი კომპლექსური მოწყობილობაა, მოდელირების პაკეტებში მისი მხოლოდ მარტივი გეომეტრიული პრიმიტივების სახით აღწერა არ არის საკმარისი. ამიტომ, დეტექტორის გეომეტრიული აღწერისათვის ასევე გამოყენებულია შედარებით რთული გეომეტრიული პრიმიტივები, რომელიც მიიღება

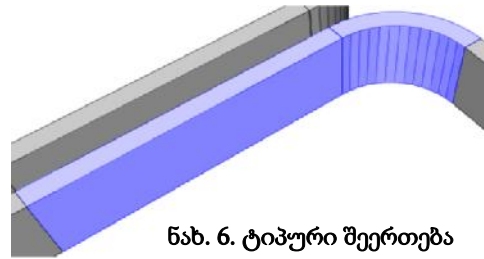
მარტივი გეომეტრიული პრიმიტივების კომბინაციით - მაგალითად, ერთი მარტივი გეომეტრიული პრიმიტივის მეორე გეომეტრიული პრიმიტივით ამოჭრით (Subtraction Boolean ოპერაცია).



ნახ. 5. კომბინირებული ობიექტი

აქედან გამომდინარე, მეორე კლასში გაერთიანდა ATLAS-ის დეტექტორის ის კომპონენტები, რომლებიც მიიღება მარტივ გეომეტრიულ პრიმიტივზე Boolean ოპერაციების განხორციელებით (ნახ.5). შედეგად, ჩამოყალიბდა „კომბინირებული ობიექტები“ კლასი. აღნიშნული კლასისათვის დეტექტორის გეომეტრიული აღწერებიდან შეირჩა 33 უნიკალური გეომეტრიული ობიექტი.

• ATLAS-ის დეტექტორის კომპონენტების მოდელირებისათვის გამოყენებული მარტივი თუ რთული გეომეტრიული პრიმიტივები ერთმანეთის მიმართ განლაგებულია ისე, რომ ქმნის გარკვეული სახის ტიპურ შეერთებებს. აღნიშნული „ტიპური შეერთებები“ გაერთიანდა მესამე კლასში.



ნახ. 6. ტიპური შეერთება

კლასი	რაოდენობა	ჯამი
გეომეტრიული პრიმიტივები	22	84
კომბინირებული ობიექტები	33	
ტიპური შეერთებები	29	

შედეგად, დეტექტორის გეომეტრიული აღწერებიდან შეირჩა 29 უნიკალური ტიპური შეერთება.

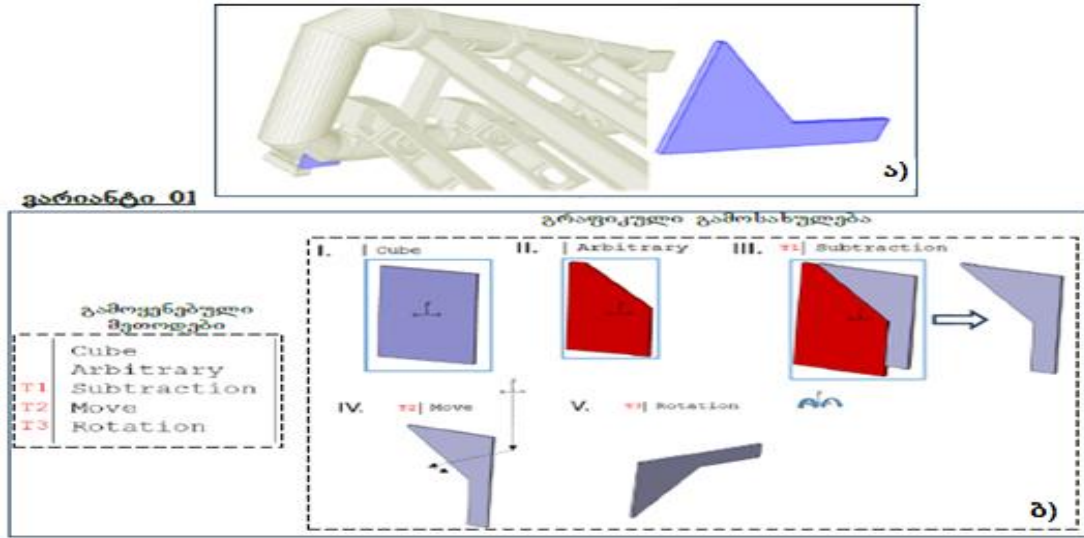
ნახ. 7. დეტექტორის კომპონენტების ტიპიზაცია

### 3.2. სატესტო მაგალითების ფორმირება

ATLAS-ის დეტექტორის კომპონენტების ტიპიზაციის შედეგად სულ შერჩეულ იქნა 84 უნიკალური შემთხვევა, რომელიც დაჯგუფდა სამ კლასად. მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა AGDD-ში და GeoModel-ში არსებული დაპროგრამების მეთოდების ანალიზი [7], რის შემდეგაც მოხდა თითოეული 84 შემთხვევისათვის ყველა შესაძლო დაპროგრამების ვარიანტის ფორმირება, რომელიც შეიძლება განხორციელდეს AGDD-ში და GeoModel-ში არსებული დაპროგრამების მეთოდების გამოყენებით.

მაგალითად, მე-8 ნახაზზე მოცემულია ექვსკუთხა პრიზმა (Pentagonal Prism) (ა) და მისი AGDD-ის ბაზაზე დაპროგრამების შესაძლო ვარიანტი (ბ). როგორც მოცემული სურათიდან ჩანს, თავდაპირველად წარმოებს ოთკუთხა პრიზმის აგება Cube მეთოდის გამოყენებით (ნახ.8.ბ.I.). მომდევნო ეტაპზე ხორციელდება დამხმარე ხუთკუთხა პრიზმის ფორმირება Arbitrary Polygon მეთოდის საშუალებით (ნახ.8.ბ. II.), რომელსაც იყენებს Subtraction Boolean ოპერაცია, ოთკუთხა პრიზმაზე ჭრის განხორციელებისათვის (ნახ.8.ბ.III.). შედეგად, მიიღება ექვსკუთხა გეომეტრიული პრიმიტივი, რომლის საბოლოო პოზიციონირებისათვის გამოიყენება გადაადგილების (ნახ.8.ბ.IV.) და შემობრუნების (ნახ.8.ბ.V.) ტრანზაქციის ოპერაციები.

გარდა აღწერილი ვარიანტისა, შესაძლებელია ასევე მოცემული ექვსკუთხა პრიზმის დაპროგრამება 12 სხვადასხვა გზით.



ნახ. 8. ექვსკუთხა პრიზმის დაპროგრამების ვარიანტი

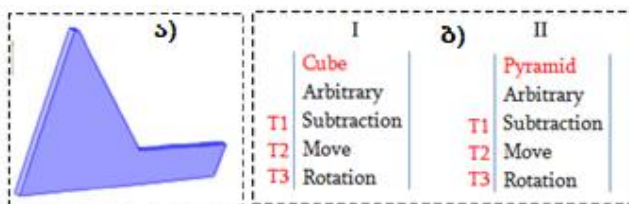
აღწერილი შემთხვევის მსგავსად განხორციელდა ყველა - 84 გეომეტრიული პრიმიტივისათვის შესაძლო დაპროგრამების ვარიანტების ფორმირება, რის შედეგადაც მიღებულ იქნა დაპროგრამების 15'675 შესაძლო შემთხვევა (ნახ.9). მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა დაპროგრამების ამ ვარიანტებიდან უნიკალური შემთხვევების ამორჩევა, რისთვისაც დამუშავებულ იქნა ამორჩევის კრიტერიუმები:

კლასი	რაოდენობა	დაპროგრამების ვარიანტების რაოდენობა
გეომეტრიული პრიმიტივები	22	4'460
კომბინირებული ობიექტები	33	4'636
ტიპური შეერთებები	29	6'579
<b>სულ:</b>	<b>84</b>	<b>15'675</b>

ნახ. 9. დაპროგრამების ვარიანტი

1) *Arbitrary Polygon მეთოდი გამოიყოს როგორც უნიკალური მეთოდი.* იქიდან გამომდინარე, რომ Arbitrary Polygon მეთოდის საშუალებით შესაძლებელია ნებისმიერი მრავალკუთხა პრიზმის აგება, აღნიშნული მეთოდით გეომეტრიული პრიმიტივის აღწერისას გამოყენება Boolean და ტრანზაქციის ოპერაციების მინიმალური რაოდენობა. გარდა ამისა, 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;

2) *დაპროგრამებისას გამოყენებული მეთოდების მსგავსება.* მე-10 ნახაზზე მოცემულია ექვსკუთხა პრიზმა (ა) და მის AGDD-ის ბაზაზე აღწერის ორი შესაძლო ვარიანტი (ბ).

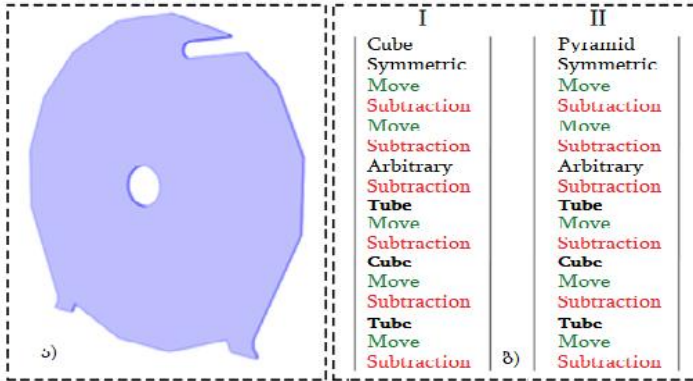


ნახ.10. ექვსკუთხა პრიზმის დაპროგრამების ორი ვარიანტი

ექვსკუთხა პრიზმის აღწერისათვის თავდაპირველად ხდება კუბ გეომეტრიული პრიმიტივის აგება, რისთვისაც ერთ შემთხვევაში გამოიყენება Cube მეთოდი (ნახ.10.ბ.I.), ხოლო მეორე შემთხვევაში Pyramid მეთოდი (ნახ.10.ბ.II.). ყველა დანარჩენი

ტრანსფორმაციის ოპერაცია ორივე ვარიანტისათვის არის იდენტური. შესაბამისად, განხილული შემთხვევები შეიძლება ჩაითვალოს როგორც იდენტური და ის მეთოდი, სადაც კუბ გეომეტრიული პრიმიტივის ასაგებად გამოიყენება Cube მეთოდი (ნახ.10.ბ.1.), გამოიყოს სხვა შემთხვევებისგან;

3) კოდის სტრუქტურის მსგავსება. მე-11 ნახაზზე მოცემულია ოცდაოთხკუთხა პრიზმა (ა) და მისი AGDD-ის ბაზაზე დაპროგრამების 2 შესაძლო ვარიანტი (ბ). როგორც მოცემული



ნახაზიდან ჩანს, ოცდაოთხკუთხა პრიზმის დაპროგრამების ორივე შესაძლო ვარიანტის შემთხვევაში გამოიყენება ერთნაირი რაოდენობის მეთოდი, ტრანზაქციისა და Boolean ოპერაციები. შესაბამისად, ადგილი აქვს კოდის სტრუქტურის მსგავსებას. აქედან გამომდინარე, აღნიშნული შემთხვევები შეიძლება ჩაითვალოს მსგავს შემთხვევად და სატესტო

ნახ. 11. 24-კუთხა პრიზმის დაპროგრამების 2 ვარიანტი

მაგალითად შეიძლება გამოყენებულ იქნას ერთერთი მათგანი.

სატესტო მაგალითების შერჩევის მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა აღწერილი კრიტერიუმების გამოყენებით დაპროგრამების 15'675 შემთხვევის ანალიზი და მათგან უნიკალურის ამორჩევა. შედეგად, შეირჩა 77 შემთხვევის სატესტო მაგალითი.

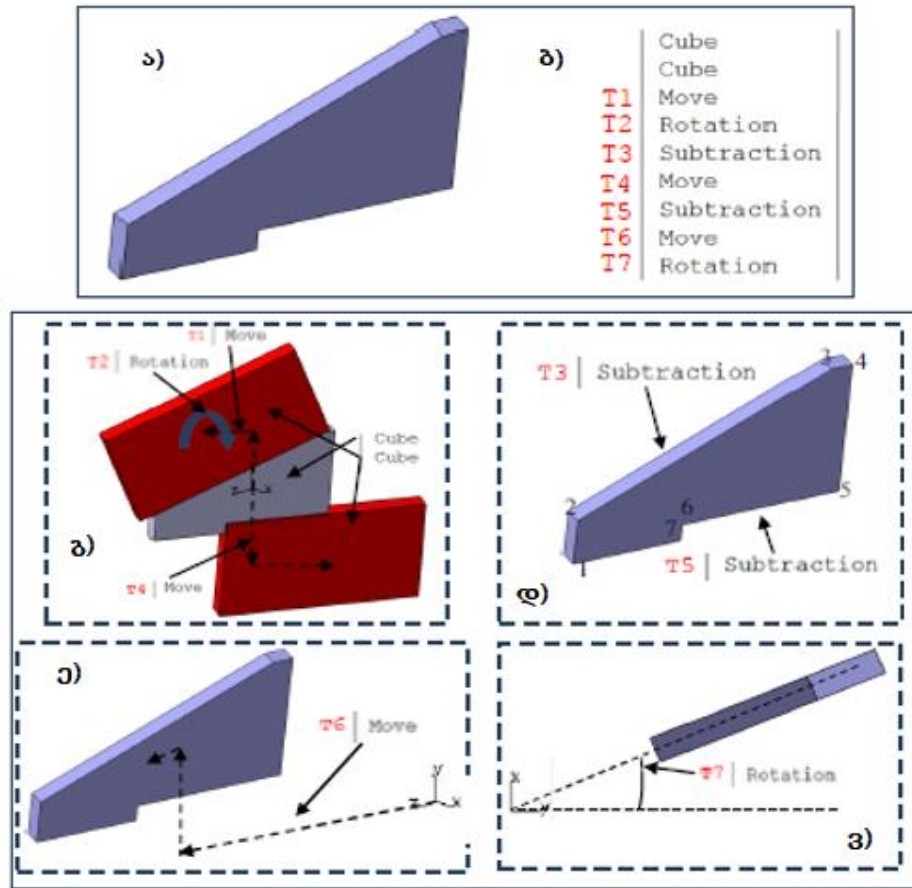
კლასი	დაპროგრამების ვარიანტების რაოდენობა	შერჩეული ვარიანტების რაოდენობა
გეომეტრიული პრიმიტივები	4'460	11
კომბინირებული ობიექტები	4'636	28
ტიპური შეერთებები	6'579	38
<b>სულ:</b>	<b>15'675</b>	<b>77</b>

ნახ.12. შერჩეული სატესტო მაგალითები

### 3.3. მოდელირების საცდელი სესიების ჩატარება

პირველი ჰიპოთეზის შემოწმების მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა მოდელირების ინფრასტრუქტურის ტესტირება შერჩეული 77 უნიკალური სატესტო მაგალითის გამოყენებით, რისთვისაც თითოეული მათგანი გატარებულ იქნა მოდელირების პლატფორმაში. შედეგად, 51 მაგალითისათვის დაფიქსირდა ცდომილებები.

სატესტო მაგალითებში გეომეტრიული პრიმიტივის აგებისათვის გამოიყენება გარკვეული რაოდენობის მეთოდი, Boolean ოპერაცია და ტრანზაქციის ოპერაცია, რომელთაგანაც თითოეული შეიძლება იყოს ცდომილების გამომწვევი მიზეზი. ამიტომ თითოეული ცდომილებიანი სატესტო მაგალითი გეომეტრიული პრიმიტივის აგებისათვის გამოყენებულ მეთოდების, Boolean ოპერაციებისა და ტრანზაქციის ოპერაციების შესაბამისად დაიყო ქვეშემთხვევებად და შემოწმდა თითოეული მათგანი. მაგალითად მე-13 ნახაზზე მოცემულია შვიდკუთხა პრიზმა, რომლის ასაგებად თავდაპირველად ხდება ძირითადი კუბის აგება.



ნახ.13. შვიდკუთხა პრიზმის დაპროგრამების ვარიანტი

მომდევნო ეტაპზე, მასზე შესაბამისი Subtraction Boolean ოპერაციის განხორციელებისათვის, მიმდინარეობს დამხმარე კუბების აგება და მათი პოზიციონირება (გადაადგილება/შემობრუნება) შესაბამის ადგილზე (გ). მას შემდეგ რაც დამხმარე კუბები დაიკავებს საჭირო პოზიციას, მათი გამოყენებით წარმოებს Subtraction Boolean ოპერაცია და შედეგად მიიღება შვიდკუთხა პრიზმა (დ), რომლის საბოლოო პოზიციასზე განთავსება წარმოებს გადაადგილებისა (ე) და შემობრუნების (ვ) ტრანზაქციებით. ცდომილებების გამომწვევი მიზეზის დადგენის მიზნით განხორციელდა აღნიშნული ტრანსფორმაციების შესწავლა:

**1) T1/T2/T4 ტრანზაქციის ოპერაციები.**

აღნიშნული ტრანზაქციის ოპერაციების გამოყენებით მოხდა მოდელირების ინფრასტრუქტურის ტესტირება. როგორც მიღებული შედეგიდან გამოჩნდა, Cube მეთოდის გამოყენებით მიღებული კუბ გეომეტრიული პრიმიტივისა და დამხმარე კუბის პოზიციონირებისათვის გამოყენებული გადაადგილებისა და შემობრუნების ტრანზაქციის ოპერაციები არ იწვევს ცდომილებას;

**2) T3/T5 Subtraction Boolean ოპერაციები.**

როგორც მიღებულმა შედეგმა აჩვენა, მე-2, მე-3, მე-5 და მე-6 წერტილებზე დაფიქსირდა ცდომილებები. კერძოდ კი:

	Cube
	Cube
T1	Move
T2	Rotation
T3	Subtraction
T4	Move
T5	Subtraction
T6	Move
T7	Rotation

		$\Delta G_{Mod}$ (მმ)	$\Delta G_4$ (მმ)			$\Delta G_{Mod}$ (მმ)	$\Delta G_4$ (მმ)	
T1 Cube	1	x	0	5	x	0	0	
		y	0		y	0.01	0.01	
		z	0		z	0	0	
T2 Cube	2	x	0	6	x	0	0	
		y	-0.01		-0.01	y	0.01	0.01
		z	0		0	z	0	0
T3 Move	3	x	0	7	x	0	0	
		y	0		0	y	0	0
		z	-0.02		-0.02	z	0	0
T4 Subtraction	4	x	0	მომკვე- ლობა (კმ/წმ)				
		y	0		0		0	0
		z	0		0			

მე-2 წერტილი - Y ღერძზე -0.01 მმ იანი ცდომილებები  
 მე-3 წერტილი - Z ღერძზე -0.02 მმ იანი ცდომილებები  
 მე-5 წერტილი - Y ღერძზე 0.01 მმ იანი ცდომილებები  
 მე-6 წერტილი - Y ღერძზე 0.01 მმ იანი ცდომილებები

ნახ. 14. T3/T5 ტრანსფორმაციის შედეგი

3) T6 ტრანსფორმაციის ოპერაცია.

მიღებულმა შედეგმა აჩვენა 0.03 მმ-იანი ცდომილება მე-3 წერტილის Z ღერძზე

		$\Delta G_{Mod}$ (მმ)	$\Delta G_4$ (მმ)			$\Delta G_{Mod}$ (მმ)	$\Delta G_4$ (მმ)	
T1 Cube	1	x	0	5	x	0	0	
		y	0		y	0	0	
		z	0		z	0	0	
T2 Move	2	x	0	6	x	0	0	
		y	0		y	0	0	
		z	0		z	0	0	
T3 Rotation	3	x	0	7	x	0	0	
		y	0		y	0	0	
		z	0		0.03	z	0	0
T4 Subtraction	4	x	0	მომკვე- ლობა (კმ/წმ)				
		y	0		0		0	0
		z	0		0			

ნახ. 15. T6 ტრანსფორმაციის შედეგი

4) T7 რანსფორმაციის ოპერაცია

მიღებულმა შედეგმა აჩვენა ცდომილებები მე-3, მე-4, მე-5, მე-6, და მე-7 წერტილებისათვის. კერძოდ:

		$\Delta G_{Mod}$ (მმ)	$\Delta G_4$ (მმ)			$\Delta G_{Mod}$ (მმ)	$\Delta G_4$ (მმ)	
T1 Cube	1	x	0	5	x	0.01	0.01	
		y	0		y	0	-0.02	
		z	0		z	0	0	
T2 Cube	2	x	0	6	x	0.01	0.01	
		y	0		y	0	-0.02	
		z	0		z	0	0	
T3 Move	3	x	0	7	x	0.01	0	
		y	0		y	0	0	
		z	0		z	0	0	
T4 Subtraction	4	x	0	მომკვე- ლობა (კმ/წმ)				
		y	0		0.01		0	0
		z	0		0			

ნახ.16. T7 ტრანსფორმაციის შედეგი

მე-3 და მე-4 წერტილები - X და Y ღერძზე 0.01 მმ-იანი ცდომილებები;  
 მე-5 და მე-6 წერტილები - X ღერძზე 0.01 მმ-იანი ცდომილებები, ხოლო Y ღერძზე - 0.02 მმ-იანი ცდომილება;  
 მე-7 წერტილი - X ღერძზე 0.01 მმ-იანი ცდომილება

აღნიშნულის მსგავსად განხორციელდა ტრანსფორმა-

ციების შესწავლა თითოეული ცდომილებიანი მაგალითისათვის და მიღებული შედეგების სისტემატიზაცია და შესწავლა. შედეგად დადგინდა, რომ მოდელირების ინფრასტრუქტურა იწვევს გარკვეული სახის ცდომილებებს. ამასთან ერთად Boolean ოპერაცია არის ცდომილებების გამომწვევი ძირითადი მიზეზი და იგი კორელირებს მის შემდეგ გამოყენებულ გადაადგილება/შემობრუნება ტრანსფორმაციებზე.

4. მოდელირების პაკეტებში არსებულ ATLAS-ის დეტექტორის გეომეტრიულ მოდელსა და რეალურს შორის სხვაობის გამოკვლევა

გეომეტრიულ მოდელებს შორის სხვაობის გამოკვლევა განხორციელდა ATLAS-ის დეტექტორის ერთ-ერთი კომპონენტის – მაგნიტური ღეროს ანალიზით [8]. ამისათვის მაგნიტური ღეროს გეომეტრიული მოდელი ამოღებულ იქნა CERN-ის საინჟინრო მონაცემთა ბაზიდან (SmarTeam) და განხორციელდა მისი ანალიზი. როგორც ანალიზმა



აჩვენა, აღნიშნული მოდელი არ იყო დეტალური, ამიტომ განხორციელდა მისი რეპროდუცირება CATIA-ში, რისთვისაც გამოყენებულ იქნა 255 საინჟინრო ნახაზი. რეპროდუცირების შედეგად მიღებულ იქნა მაგნიტური ღეროს დეტალური მოდელი.



ნახ.17. ATLAS-ის დეტექტორის მაგნიტური ღერო

მომდევნო ეტაპზე განხორციელდა მაგნიტური ღეროს მოცულობისა და მასის ანალიზი. ამისათვის რეპროდუცირებული მაგნიტური ღერო ფუნქციონალური დანიშნულებისა და მასალების გათვალისწინებით დაიყო ე.წ. კვანძებად და თითოეული კვანძისათვის დათვლილ იქნა მოცულობა და მასა. ამასთან ერთად, მაგნიტური ღეროს გეომეტრიული აღწერები ამოღებულ იქნა მოდელირების პაკეტებიდან. რეპროდუცირებული მოდელის მსგავსად, განხორციელდა მისი დაყოფა კვანძებად და თითოეული კვანძისათვის დათვლ იქნა მოცულობა და მასა. შედეგად, მიღებულ იქნა 11.4 ტონიანი სხვაობა რეპროდუცირებულ მოდელსა და მოდელირების პაკეტებში არსებულ გეომეტრიულ აღწერებს შორის.

	CATIA (კმ)	Geant4 (კმ)	სხვაობა (კმ)
კვანძი I	25'504	22'456	3'048
კვანძი II	12'344	13'255	-911
კვანძი III	5'336	4'556	780
კვანძი IV	4'824	3'576	1'248
კვანძი V	43'906.5	36'607	7'299.5
<b>სულ:</b>	<b>91'914.5</b>	<b>80'450</b>	<b>11'462.5</b>

ნახ.18. მაგნიტური ღეროს ანალიზის შედეგი

## 5. დასკვნა

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) ჩატარებულმა კვლევამ აჩვენა, რომ მოდელირების ინფრასტრუქტურა იწვევს გარკვეული სახის ცდომილებებს:

3.1. გეომეტრიული ცდომილებების ძირითად გამომწვევ მიზეზია Boolean (ლოგიკური) ოპერაცია;

3.2. Boolean ოპერაცია კორელირებს გადაადგილება/შემობრუნების გეომეტრიულ ტრანზაქციებზე;

4) ATLAS-ის დეტექტორის მაგნიტური ღეროს ანალიზმა აჩვენა, რომ Geant4-ში გამოყენებული გეომეტრიული აღწერები არ შეესაბამება რეალურ ATLAS-ის დეტექტორს;

4.1. ATLAS-ის დეტექტორის მაგნიტური ღეროს მასის შედარებითმა ანალიზმა აჩვენა 11.6 ტონიანი სხვაობა რეალურად არსებულ და Geant4 გეომეტრიულ აღწერებს შორის.

ლიტერატურა - References - :

1. Baianu I.C. et al. (2009). Fundamentals of Physics and Nuclear Physics. pg. 8
2. Lefevre P., Pettersson T. (1995). The large Hadron Collider. Conceptual Design. European Organization for Nuclear Research. CERN/AC/95-25 (LHC)
3. Gonzalez S., Sanchez J. ATLAS Data Challenge 2: A massive Monte Carlo production on the Grid
4. Fiorini L. (2013). Profiles Used for 2012 Monte Carlo Production. <http://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/AtlasPublic/DataPrepGenPublicResults>
5. ცუცქირიძე ნ. (2016). ATLAS დეტექტორის გეომეტრიული აღწერის დამუშავება სიმულაციის და რეკონსტრუქციის პროგრამული პაკეტებისთვის. სტუ. დოქტ. დისერტ..
6. Ghali Sh. "Introduction to Geometric Computing". Germany: Springer, 1st ed., 2008.
7. Chevalier L., Dell'Acqua A., Meyer J. (2012). An XML generic detector description system and geometry editor for the ATLAS detector at the LHC. Computing in High Energy and Nuclear Physics.
8. შარმაზანაშვილი ა., ცუცქირიძე ნ., სურმავა ა., კველია ბ. (2015). ATLAS დეტექტორის მაგნიტური ღეროს გეომეტრიული აღწერების შედარებითი ანალიზი. სტუ-ს „მას“, No 1(19), გვ.13-22.

## INVESTIGATION OF INACCURACIES OF GEOMETRIC DESCRIPTION FOR THE ATLAS EXPERIMENT

Tsutskiridze Niko

Georgian Technical University

### Summary

Simulation process of real experiment is carried out with the ATLAS experiment in European Organization for Nuclear Research (CERN). As a result, two kinds of data are obtained: Data from real experiments (Data) and Modeling process (MC). As their analysis shows, there are Data vs. MC differences for some region of ATLAS detector. According to one of the opinions, the difference can be caused by geometric inaccuracies. There are two hypotheses that challenge geometric inaccuracies: - Inaccuracies of geometry transformations added by simulation software infrastructure itself; - Difference between as-built and geometry descriptions. Creation of special tests examples and analysis of COIL geometry of ATLAS detector were carried out in order to check above hypotheses. As a result important inaccurateness were detected.

## ИССЛЕДОВАНИЕ НЕТОЧНОСТЕЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ATLAS

Цуцкиридзе Н.

Грузинский Технический Университет

### Резюме

ATLAS

(DATA)

(MC).

ATLAS

ATLAS