

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი



ATLAS დეტექტორის ერთიანი გეომეტრიული მოდელის ანალიზის და სინთეზის მეთოდების დამუშავება

არჩილ სურმავა

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

„სადოქტორო პროგრამა ინფორმატიკა“, შიფრი 0401

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

ოქტომბერი, 2017 წელი



საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

არჩილ სურმავა

**ATLAS დეტექტორის ერთიანი გეომეტრიული მოდელის ანალიზის
და სინთეზის მეთოდების დამუშავება**

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

„სადოქტორო პროგრამა ინფორმატიკა“, შიფრი 0401

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

ოქტომბერი, 2017 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი,

ჩვენ, ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით არჩილ სურმავას მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „ATLAS დეტექტორის ერთიანი გეომეტრიული მოდელის ანალიზის და სინთეზის მეთოდების დამუშავება“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას ----- დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი: „-----“ „-----“, 2017 წელი

ხელმძღვანელი: პროფ. ალექსანდრე შარმაზანაშვილი

რეცენზენტი: _____

რეცენზენტი: _____

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სურმავა არჩილი

ATLAS დეტექტორის ერთიანი გეომეტრიული მოდელის ანალიზის და სინთეზის მეთოდების დამუშავება

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის

ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

ოქტომბერი, 2017 წელი

„ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემომოყვანილი დასახელების სადისერტაციო ნაშრომის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტს“. 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 დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას“.

ავტორის ხელმოწერა_____

რეზიუმე

გეომეტრიულ მოდელირებას ძირითადი ადგილი უჭირავს საინჟინრო პროექტებში. გეომეტრიული მოდელირება საწყისი ეტაპია, რომელზეც არის დამოკიდებული საინჟინრო პროექტებთან ასოცირებული სხვადასხვა ამოცანების გადაწყვეტა. მსხვილ საინჟინრო პროექტებში აუცილებელია ერთიანი გეომეტრიული მოდელის არსებობა, რადგან საინჟინრო ამოცანების გადაწყვეტა მის გარეშე შეუძლებელია. ერთიანი გეომეტრიული მოდელი წარმოადგენს სტრუქტურირებულ ერთ მთლიან ანაწყობს, რომელშიც გაერთიანებულია პროექტით გათვალისწინებული ყველა გეომეტრიული მოდელი.

მსხვილ საინჟინრო პროექტების ერთ-ერთ სირთულეს წარმოადგენს საინჟინრო მონაცემთა მართვა EDM/PDM (Engineering Data Management) რომელიც უზრუნველყოფს საინფორმაციო ნაკადის კლასიფიცირებას საწარმოო სრული ციკლის მართვის პერიოდში (PLM Product Life Management)

CERN-ში EDM/CAD სისტემების ცვლილებამ ატლასის პროექტზეც უარყოფითად გავლენა მოახდინა რადგან დაფიქსირდა მიგრაციის პრობლემები, რაც არ იძლევა საინჟინრო ამოცანების გადაჭრის საშუალებას. ამიტომ აუცილებელი გახდა ერთიანი გეომეტრიული მოდელის შექმნა რაც მიგრაციით გამოწვეულ პრობლემებს მოაგვარებდა.

შედეგად, სადისერტაციო ნაშრომის კვლევის მიზანს წარმოადგენს დეტექტორის ერთიანი საინჟინრო გეომეტრიული მოდელის შესაქმნელად საჭიროა სტრუქტურული ფორმალიზმის დამუშავება, რაც თავის მხრივ გულისხმობს გარკვეული ნიშნებით კომპონენტების კლასიფიკაციას, დეკომპოზიციას და ტიპიური სტრუქტურების გამოყოფას.

პირველ თავში მიმოხილულია საინჟინრო IT ინფრასტრუქტურის დანიშნულება. აღწერილია CERN-ის PLM/PDM/CAD სისტემები. დეტალურად არის განხილული PDM/CAD სისტემების ცვლილებით გამოწვეული მიგრაციის პრობლემები.

მეორე თავში აღწერილია ATLAS დეტექტორს ყველა ძირითადი და დამხმარე კომპონენტები, სადაც განხილულია მათი ფუნქციონალური, ფიზიკური და გეომეტრიული თვისებები. ატლასის დეტექტორი წარმოადგენს რთული და კომპლექსურ საინჟინრო ნაგებობას, რომელიც შედგება სხვადასხვა ტიპის და დანიშნულების მქონე ანაწყობებისგან და ქვეანაწყობებისგან. შედეგად, დეტექტორის ერთიანი გეომეტრიის შესაქმნელად საჭიროა სტრუქტურული ფორმალიზმის დამუშავება, რაც თავის მხრივ გულისხმობს გარკვეული ნიშნებით კომპონენტების კლასიფიკაციას, დეკომპოზიციას და ტიპიური სტრუქტურების გამოყოფას.

ამრიგად, დისერტაციის საკვლევ ამოცანებს წარმოადგენენ:

1. კომპონენტების დეკომპოზიციის კრიტერიუმების დამუშავება
2. კლასიფიკატორების შერჩევა
3. სტრუქტურაში იერარქიული დონეების გამოყოფა
4. სტრუქტურული კლასებისა და ქვეკლასების გამოყოფა
5. თითოეულ კლასში იერარქიული დონეების მიხედვით ობიექტების სტრუქტურირება.

6. 3D მოდელების შეფასებისა და შერჩევის მეთოდების დამუშავება.

მესამე თავში აღწერილია დეტექტორის სტრუქტურირებისთვის საჭირო კლასიფიკაციის მეთოდების დამუშავება. ATLAS დეტექტორის კომპონენტების სიმრავლის დაყოფა-დაჯგუფებისთვის შეირჩა კლასიფიკატორები, რომლის საფუძველზეც განხორციელდა დეტექტორის დეკომპოზიციის ეტაპები.

დეკომპოზიციის I ეტაპი „კომპონენტების დაშლა მათი ფუნქციონალური დანიშნულების მიხედვით“. დეტექტორის ყველა კომპონენტის დეკომპოზიცია განხორციელდა იმ დონემდე სანამ კომპონენტის ფუნქციონალური თვისება არ დაიკარგა. შესაბამისად {G} ფუნქციონალური კრიტერიუმის შედეგად მიღებულია 6 დონიანი იერარქიული ხე, სადაც გამოიყო 153 ქვეკომპონენტი და 248 ელემენტარული ანაწყობი.

მეოთხე თავში აღწერილია დეკომპოზიციის მე-2 ეტაპი „კომპონენტების დაშლა მათი სივრცეში განაწილების მიხედვით“. დეკომპოზიციის მე-2 ეტაპზე უნდა გამოიყოს ფუნქციონალური დეკომპოზიციის შედეგად მიღებული ისეთი ელემენტარული ანაწყობები, რომლებსაც გააჩნიათ სივრცეში განაწილებული არაერთგვაროვანი სტრუქტურები და უნდა განხორციელდეს მათი დეკომპოზიცია {F} კრიტერიუმთა სისტემის მიხედვით. ანალიზის საფუძველზე გამოიყო ორი სიმრავლე:

1. სიმრავლე სადაც ელემენტარული ანაწყობების სექტორული დეკომპოზიციით ერთგვაროვანი სტრუქტურები მიიღება
2. სიმრავლე რომლის კომპონენტების სექტორული დეკომპოზიციით მიიღება არაერთგვაროვანი სტრუქტურა.

ATLAS დეტექტორის ძირითადი პავილიონის ინფრასტრუქტურული კომპონენტების სივრცული დეკომპოზიციისთვის გამოიყენება დონეები, რომლებიც დანომრილია ინფრასტრუქტურული პლატფორმების სართულების შესაბამისად. შედეგად, ინფრასტრუქტურის მე-2 ეტაპის ანალიზით გამოიყო ისეთი EA კომპონენტები რომელთა დონეებად დაყოფა არის შესაძლებელი.

მეხუთე თავში აღწერილია დეკომპოზიციის მე-3 ეტაპი „კომპონენტების დაშლა მათი სიმეტრიულობის მიხედვით“. ამ ეტაპზე $EA|_F$ -დან უნდა გამოიყოს კომპონენტები რომელთა დეკომპოზიციით მიიღება ორი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი Z0-ის მიმართ. $EA|_F$ სიმრავლის დაყოფისთვის მე-3 ეტაპის დეკომპოზიცია განხორციელდა ორ ეტაპად:

1. პირველი რიგის ანალიზით გამოიყო დეტექტორის ისეთი კომპონენტები, რომლებიც შედგება Z0-ის მიმართ სიმეტრიულად განაწილებული ქვეკომპონენტებისაგან Side A და Side C მხარეებში. შედეგად ასეთი კომპონენტები შეიძლება აღიწეროს მხოლოდ ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტით.
2. მეორე რიგის ანალიზით გამოიყო დეტექტორის ისეთი კომპონენტები, რომლებიც შედგება Z0-ის მიმართ სიმეტრიულად განაწილებული ქვეკომპონენტებისაგან US15 და USA15 მხარეებში. შედეგად ასეთი კომპონენტები შეიძლება აღიწეროს მხოლოდ ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტით.

მე-3 ეტაპის პირველი რიგის ანალიზით მიღებული შედეგებით გამოიყო 110 ქვეკომპონენტი, ხოლო მეორე რიგის ანალიზით გამოიყო 4 ქვეკომპონენტი.

მეექვსე თავში განხილული იქნა, ერთიანი გეომეტრიული მოდელის დამუშავება. საკვლევი თემატიკის მიზანი იყო ერთიანი გეომეტრიული მოდელის პირველი მიახლოების შექმნა, რაც ითვალისწინებდა ATLAS დეტექტორის გეომეტრიული მოდელების ერთ სტრუქტურაში გაერთიანებას.

ამისთვის გადაწყდა შემდეგი ამოცანები:

1. საინჟინრო დაპროექტების სისტემად შეირჩა CATIA V5, რომელიც უზრუველყოფს დიდ ანაწყოებთან მუშაობას და ასევე სხვადასხვა ფორმატის გეომეტრიული მოდელების ინტეგრაციას მის პლატფორმაზე.
2. შეირჩა დეტექტორის კომპონენტების საძიებო სამი წყარო: CERN-ის საინჟინრო მონაცემთა ბაზა - SmarTeam; ლოკალური ბაზა, სადაც გაერთიანებულია ქართული ჯგუფის მიერ მიგრირებული გეომეტრიული მოდელი; და Geant4-ის გეომეტრიული მოდელები ბაზა. CATIA V5-ში ამ გეომეტრიული მოდელების გამოყენებისთვის აუცილებელია გეომეტრიების WRL ფორმატში კონვერტაცია.
3. საინჟინრო მონაცემთა ბაზად შეირჩა ლოკალური კომპიუტერის HDD მყარი დისკი, რომელშიც შეიქმნება ერთიანი საინჟინრო გეომეტრიული მოდელის ბაზის დისტრიბუცია. მოცემული დისტრიბუციით შესაძლებელია ნებისმიერი EDM სისტემაზე ინსტალაცია.
4. EA კომპონენტების შეფასების კრიტერიუმების შერჩევით გამოიყო გეომეტრიული მოდელის შეფასების სამი ძირითადი კრიტერიუმი:
 - Detalization – გეომეტრიის დეტალიზაცია, რომელიც ასახავს გეომეტრიის დეტალურობის ხარისხს.
 - Completeness – გეომეტრიის სისრულე განსაზღვრავს EA-ს გეომეტრიაში ანაწყოების სისრულეს.
 - Cleanness - გეომეტრიის სისუფთავე განისაზღვრავს EA-ს გეომეტრიაში დამატებული სხვა გეომეტრიების რაოდენობრივ მაჩვენებელს.
5. ერთიანი გეომეტრიული მოდელის დანერგვა და გამოყენება. ATLAS-ის ერთიან გეომეტრიულ მოდელში გაერთიანდა 242 ანაწყოები და 207 EA ელემენტარული ანაწყოები 246-დან. ფიზიკურად შეიქმნა 242 CATProduct. ფაილი, რომელთა ჯამური ზომა 3 მეგაბაიტამდეა. ხოლო რადგან ზოგიერთ WRL ფაილში რამდენიმე ელემენტარული ანაწყოები დაფიქსირდა, მათი დაშლა ამ ეტაპზე არ განხორციელდა და ისინი ერთ ფაილად მივიღეთ, რითაც საბოლოოდ 87 WRL. ფაილი გამოვიდა ზომით 5.32 გიგაბაიტი.

აღნიშნული გეომეტრიული მოდელები გამოყენებული იქნა სხვადასხვა საინჟინრო პროექტებში ბირთვული კვლევების ევროპულ ორგანიზაციაში CERN-ში.

პროექტი #1 „ტოროიდული მაგნიტის Geant4 საბაზო გეომეტრიის შემოწმება ინტეგრაციის კონფლიქტზე და ადეკვატურობაზე“

პროექტი #2 „ახალი კომპონენტების დამატება Geant4 საბაზო გეომეტრიაში“

პროექტი #3 „სასწავლო აპლიკაცია ელემენტარული ნაწილაკების შემთხვევებისა და ATLAS დეტექტორის მოწყობილობების Web-ვიზუალიზაციისთვის“

ABSTRACT

Geometry modeling is widely used in engineering projects. It is starting point for solving different tasks associated with engineering projects. Complete engineering geometry model is necessary in big engineering projects, because engineering tasks can't be solved without it. The complete engineering geometry model represents one whole structured assembly which includes all 3d geometry models provided in the project.

One of the challenges of big engineering projects is Engineering Data Management EDM/PDM (Engineering Data Management) which classifies information flow in PLM (Product Life Management).

Changes made in EDM/CAD systems of CERN had a negative effect on ATLAS project, because it had serious migration problems, which have not gave engineering solutions possibility. Therefore, it is necessary to create a complete engineering geometry model that will solve problems caused by migration.

As a result, aim of a research is to develop the structural formalism in order to build the complete engineering geometry model of the detector, which in turn implies the classification of components, decomposition and the allocation of typical structures.

The First chapter reviews the necessity and purpose of IT infrastructure in big engineering projects. Description of CERN PDM/CAD/PLM systems and gives detailed information about migration problems caused by changes in PDM/CAD systems.

The Second chapter describes the functional, physical and geometrical properties of all main and infrastructure components of the ATLAS detector. The ATLAS detector is compound and complex engineering structure, which consist of various types of assemblies and sub-assemblies. Therefore, aim of a research is to develop the structural formalism which implies following steps:

1. Developing criteria for components decomposition
2. Selection of classifiers
3. Allocate hierarchical levels in the structure
4. Allocate structural classes and subclasses
5. Structuring objects according to hierarchical levels in each class
6. Processing of evaluation and selection methods of 3D models.

Third chapter describes classification methods for ATLAS detector structuring.

Selecting classifiers for dividing and grouping components of the ATLAS detector, which are the basis for decomposition phases of the detector.

1st phase of the decomposition "dividing components by their functional purpose." Components of the detector were decomposed until the functional properties of the component were not lost. Thus, 1st phase criterion {□} gave us a 6-level hierarchy tree with 153 sub-components and 248 elemental assemblies.

Fourth chapter describes the second phase of the decomposition "division of components by their position in space ". At the second phase, elemental assembly (EA) which have non identical structures must be chosen and decomposed by their position in space.

There are two groups based on the analysis:

1. Elemental assembly components that were decomposed to homogenous structures
2. Elemental assembly components that were decomposed to non-homogeneous structures.

For 2nd phase decomposition of the infrastructure components of atlas detector, are used levels numbered according to the infrastructure platform levels. As a result of infrastructure analysis we got EA components which can be divided into levels.

Fifth chapter describes the 3rd phase of the decomposition "division of components according to their symmetry." Components that are divided into two symmetric sub-components are decomposed at the 3rd phase. Division of EA components for 3rd phase has been done in two steps:

1. On first stage of analysis were chosen detector components that contain two symmetrical sub-components: Side A and Side C. Therefore, these components can be described only by one symmetric sub-component.
2. On second stage of analysis were chosen detector components that contain two symmetrical sub-components: US15 and USA15. Therefore, these components can be described only by one symmetric sub-component.

As a result of 1st stage decomposition we have 110 sub-components and for 2nd stage we have 4 sub-components.

Sixth chapter reviews development of complete engineering geometry model. The goal of the research topic is to create the first release of complete engineering geometry model that implies uniting all geometry models of ATLAS detector into one structure.

For this the following steps were taken:

1. Selection of the CAD system
2. Selection of sources for searching detector components (engineering databases, local databases and at.)

3. Selection of engineering database
4. Assessment criteria for EA components
5. EA components selection and integration into a complete model

Thus, in ATLAS complete engineering geometry model were combined 242 assemblies and 207 EA components. 242 CATProduct files were created and their size is up to 3 megabytes. Because some EA were united into one WRL file, they weren't divided at this stage, so we have some EA models as one file. Finally there were released 87 WRL files with the size of 5.32 GB.

These Geometry models have been used in various engineering projects at the European Organization for Nuclear Research, CERN.

Project # 1 “Checking G4 baseline geometry for Integration conflicts and Conformity with as-built geometry”

Project # 2 “Adding New Volumes in Geant4 Baseline Geometry”

Project # 3 “Development of Learning Application for Visualization of Events and Facilities of ATLAS Detector”

თავი I: გეომეტრიული მოდელირება საინჟინრო დაპროექტების ამოცანებში	15
1.1 2007 წლამდე CERN-ში CAD/PDM საინჟინრო ინფრასტრუქტურა	22
1.2 CERN-ის CAD/PDM პლატფორმების ცვლილება	24
1.3 ATLAS-ის 3D/2D მოდელების მიგრაცია EUCLID DB-დან Smarteam-ის ბაზაში	26
1.4 3D მოდელების მიგრაციის პრობლემები	28
თავი II: ATLAS-ის დეტექტორის აღწერა	30
2.1 მაგნიტური სისტემა – Magnet System	32
2.1.1 Central Solenoid	32
2.1.2 Barrel Toroid	34
2.1.3 End Cap Toroid	36
2.2 შიდა დეტექტორი (Inner Detector, ID)	37
2.2.1 პიქსელის დეტექტორი (Pixel Detector)	38
2.2.2 ნახევარგამტარული კვალის დამაფისირებელი (Semi-Conductor Tracker, SCT)	39
2.2.3 გარდამავალი რადიაციული კვალის დამაფიქსირებელი (Transition Radiation Tracker, TRT)	40
2.3 კალორიმეტრი – Calorimetry	41
2.3.1 LAr Calorimeter	43
2.3.2 Tile Calorimeter	44
2.4 მიონური სისტემა (Muon Spectrometer)	45
2.5 დამხმარე კომპონენტები	49
2.6 პრობლემის დასმა და საკვლევი ამოცანები	55
თავი III: დეკომპოზიციის I ეტაპი: კომპონენტების დაშლა მათი ფუნქციონალური დანიშნულების მიხედვით	57
3.1 კომპონენტების დეკომპოზიციის კრიტერიუმების დამუშავება	57
3.2 კლასიფიკატორების შერჩევა	59
3.3 დეტექტორის დეკომპოზიციის ფუნქციონალური კრიტერიუმების მიხედვით	64
თავი IV: დეკომპოზიციის II ეტაპი: კომპონენტების დაშლა მათი სივრცეში განაწილების მიხედვით	112
4.1 დეკომპოზიცია ერთგვაროვან სტრუქტურებად	112
4.2 დეკომპოზიცია არაერთგვაროვან სტრუქტურებად	114
4.3 დეტექტორის გარე კომპონენტების დეკომპოზიცია	127
თავი V: დეკომპოზიციის III ეტაპი: კომპონენტების დაშლა მათი სიმეტრიულობის მიხედვით	132

5.1 დეტექტორის გრძივ-სიმეტრიული კომპონენტების დეკომპოზიცია.....	132
5.2 დეტექტორის განივ-სიმეტრიული კომპონენტების დეკომპოზიცია.....	161
თავი VI: ერთიანი გეომეტრიული მოდელის დამუშავება.....	166
6.1 საინჟინრო დაპროექტების სისტემის CAD შერჩევა	166
6.2 დეტექტორის კომპონენტების საძიებო წყაროების შერჩევა	167
6.3 საინჟინრო მონაცემთა ბაზის შერჩევა	168
6.4 EA კომპონენტების შეფასების კრიტერიუმების შერჩევა.....	171
6.5 ერთიანი გეომეტრიული მოდელის დანერგვა და გამოყენება.....	176
ლისერტაციის დასკვნები.....	183
გამოყენებული ლიტერატურა	184

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. Detector-ის მეორე დონის დეკომპოზიცია	65
ცხრილი 2. შიდა დეტექტორის ფუნქციონალური დეკომპოზიცია	68
ცხრილი 3. კალორიმეტრის ფუნქციონალური დეკომპოზიცია	75
ცხრილი 4. Muon Spectrometer-ის ფუნქციონალური დეკომპოზიცია	77
ცხრილი 5. Shielding-ის ფუნქციონალური დეკომპოზიცია	78
ცხრილი 6. Alignment სისტემის ფუნქციონალური დეკომპოზიცია	101
ცხრილი 7. კონტროლის სისტემის ფუნქციონალური დეკომპოზიცია	104
ცხრილი 8. ინფრასტრუქტურის დეკომპოზიცია მე-3 დონეზე.....	107
ცხრილი 9 – Muon Barrel-ის სივრცული დეკომპოზიცია.....	114
ცხრილი 10 – Muon Endcap-ის სივრცული დეკომპოზიცია	117
ცხრილი 11 – MB პლატფორმების სივრცული დეკომპოზიცია.....	121
ცხრილი 12 - საკომპუტაციო პანელების სივრცული დეკომპოზიცია	124
ცხრილი 13 - II ეტაპის დეკომპოზიცია სექტორების მიხედვით	125
ცხრილი 14 - მოქნილი გაყვანილობის დეკომპოზიცია	129
ცხრილი 15 - II ეტაპის დეკომპოზიცია დონეების მიხედვით.....	131
ცხრილი 16 - შიდა დეტექტორის გრძივი სიმეტრიული დეკომპოზიცია	133
ცხრილი 17 - Muon Endcap-ის სიმეტრიული დეკომპოზიცია	139
ცხრილი 18 - Shielding-ების სიმეტრიული დეკომპოზიცია	142
ცხრილი 19 - Feet and Rails-ის სიმეტრიული დეკომპოზიცია	162
ცხრილი 20 - III ეტაპის დეკომპოზიცია სიმეტრიულობის მიხედვით	163
ცხრილი 21 - EA კომპონენტების შეფასების ცხრილი	174
ცხრილი 22 - კომპონენტების შეფასების ცხრილის ველები	176
ცხრილი 23 -ერთიანი გეომეტრიული მოდელის ფიზიკური პარამეტრები.....	176
ცხრილი 24 - კომპიუტერის რეკომენდირებული სისტემური პარამეტრები	176

სურათების ნუსხა

სურათი 1. PLM სრული ციკლის მართვის სისტემა.....	16
სურათი 2. პროექტირების CAD და PDM სისტემები.....	16
სურათი 3. EDM/PDM სისტემა.....	18
სურათი 4. საწარმოო ინდუსტრიის ინვესტიცია IT ინფრასტრუქტურაში.....	19
სურათი 5. საინჟინრო პროექტებში EDM/CAD სისტემების ცვლილება.....	20
სურათი 6. CERN-ის EDM სისტემის ინფრასტრუქტურა 2007 წლამდე.....	22
სურათი 7. CERN-ის PLM სისტემა. EDMS-ის ინფრასტრუქტურა.....	26
სურათი 8. ATLAS-ის 3D/2D მოდელების მიგრაცია EUCLID DB-დან Smarteam-ის ბაზაში.....	27
სურათი 9. მიგრაციის პრობლემები.....	29
სურათი 10. ATLAS დეტექტორის ძირითადი კომპონენტები.....	31
სურათი 11. ატლას დეტექტორის მაგნიტური სისტემა.....	32
სურათი 12. სოლენოიდის მაგნიტი.....	33
სურათი 13. Barrel ტოროიდის მაგნიტის აგებულება.....	35
სურათი 14. Barrel ტოროიდის მაგნიტური სისტემა.....	35
სურათი 15. EndCap ტოროიდული მაგნიტის სტრუქტურა.....	37
სურათი 16. პიქსელის სტრუქტურა.....	39
სურათი 17. შიდა დეტექტორი.....	40
სურათი 18. TRT დეტექტორი.....	41
სურათი 19. კალორიმეტრი.....	42
სურათი 20. LAr კალორიმეტრი.....	44
სურათი 21. Tile კალორიმეტრი.....	45
სურათი 22. Muon Barrel დეტექტორი.....	47
სურათი 23. Muon დეტექტორი.....	49
სურათი 24. Warm სტრუქტურა და დეტექტორის ფეხები.....	52
სურათი 25 - ATLAS დეტექტორის სექტორები.....	58
სურათი 26 - ATLAS დეტექტორის სექტორები.....	59
სურათი 27. ATLAS ექსპერიმენტის დეკომპოზიცია.....	64
სურათი 28. სოლენოიდი.....	66
სურათი 29. Barrel Toroid-ის Coil-ი.....	67
სურათი 30. Endcap ტოროიდი.....	67
სურათი 31. Pixel დეტექტორი.....	70
სურათი 32. TRT დეტექტორი.....	72
სურათი 33. LAr და Tile კალორიმეტრები.....	74
სურათი 34 - Muon Barrel-ის კამერები.....	115
სურათი 35 - Muon EM კამერების დეკომპოზიცია.....	120
სურათი 36 - MBAP პლატფორმები.....	121
სურათი 37 - PP2 საკომუტაციო პანელები.....	123

სურათი 38 - მოქნილი გაყვანილობა და HS პლატფორმები	130
სურათი 39 - EndCap Toroid-ის სიმეტრიული დეკომპოზიცია.....	133
სურათი 40 - Pixel Endcap-ის სიმეტრიული დეკომპოზიცია	134
სურათი 41 - SCT დეტექტორის სიმეტრიული ნახევარი	137
სურათი 42 - Shielding-ების სიმეტრიული კომპონენტები	144
სურათი 43 – EndCap Toroid-ის ორი გეომეტრიული მოდელი.....	170
სურათი 44 – ლოკალური და CATIA v5 სტრუქტურული ხე გეომეტრიული მოდელი	171
სურათი 45 – დეტალურობა, სისრულე, სისუფთავე	173
სურათი 46 – EndCap ტოროიდული მაგნიტის პროექტი.....	177
სურათი 47 - რეპროდუცირებით მიღებული გეომეტრიული მოდელი.....	178
სურათი 48 – შედარებითი ანალიზის შედეგები	178
სურათი 49 – New Small Wheel-ის გეომეტრიული მოდელი.....	179
სურათი 50 – EndCap ტოროიდული მაგნიტის პროექტი.....	180
სურათი 51 – EndCap ტოროიდული მაგნიტის პროექტი.....	181
სურათი 52 – ვებ-ვიზუალიზატორში გამოტანილი შიდა დეტექტორის კომპონენტები	182

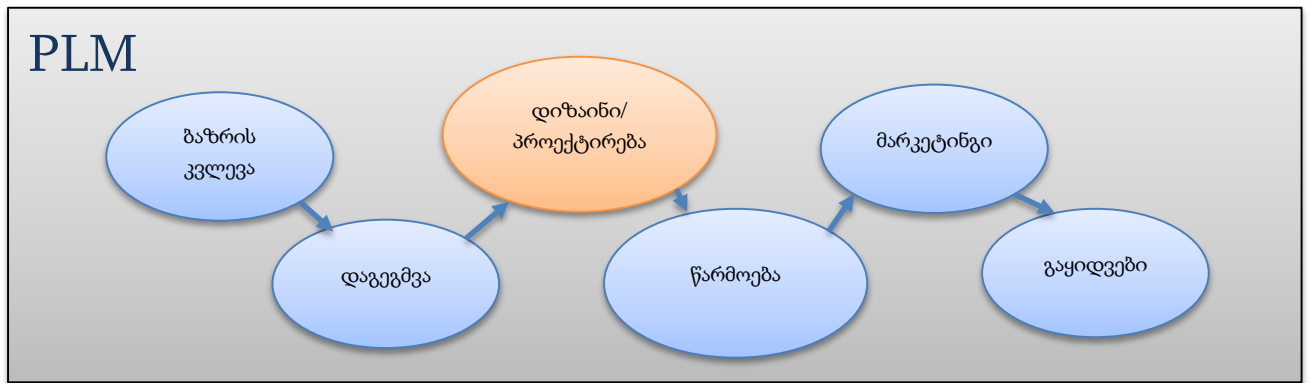
თავი I: გეომეტრიული მოდელირება საინჟინრო დაპროექტების ამოცანებში

საწარმოს ერთერთ მთავარ მიზანს წარმოადგენს, შექმნას წარმოების ისეთი სწრაფი განვითარების სისტემა, რომელიც შეამცირებს საწარმოო ციკლის დროს. თავის მხრივ შემცირებულ დროში იგულისხმება ნაწარმის დაბალი ღირებულება.

წარმოებაში სწრაფი განვითარების სისტემის დაგეგმარების ძირითად რგოლს წარმოადგენს IT ინფრასტრუქტურა. შესაბამისად საჭიროა ისეთი IT ინფრასტრუქტურის მომზადება რომელიც უზრუნველყოფს საინჟინრო და საწარმოო ამოცანების გადაჭრას [1].

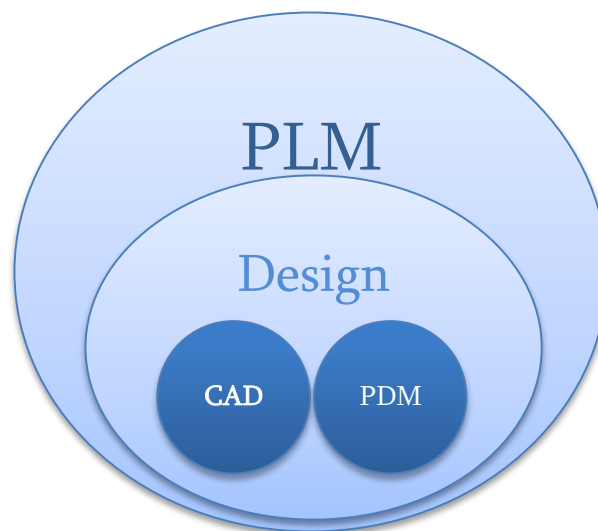
ამჟამად წარმოების პროგრამული უზრუნველყოფა გვთავაზობს წარმოების სხვადასხვა ეტაპზე ე.წ. პარალელურ ოპტიმიზაციას, რომელსაც ეწოდება წარმოების სრული ციკლის მართვა PLM (Product Lifecycle Management) [2]. PLM სისტემა აერთიანებს საწარმოო ციკლის ყველა რგოლს (სურ. 1):

1. ბაზრის კვლევა
2. დაგეგმვა
3. დიზაინი/პროექტირება
4. წარმოება
5. მარკეტინგი
6. გაყიდვები



სურათი 1. PLM სრული ციკლის მართვის სისტემა

PLM სისტემის პროექტირების “Design” სექტორში გაერთიანებულია ორი ძირითადი სისტემა CAD (computer-aided design) - კომპიუტერული დაპროექტების სისტემა და PDM (Product data management) - ნაკეთობასთან ასოცირებული მონაცემთა მართვის სისტემა [3] (სურ. 2)



სურათი 2. პროექტირების CAD და PDM სისტემები

CAD (computer-aided design) - კომპიუტერული დაპროექტების სისტემებში ძირითადი ადგილი 3D გეომეტრიული მოდელირებას უჭირავს, რომელშიც გეომეტრიული მოდელირება საწყისი ეტაპია და რომელზეც არის

დამოკიდებული CAD სისტემის სხვა ისეთი ამოცანების გადაწყვეტა როგორიცაა:

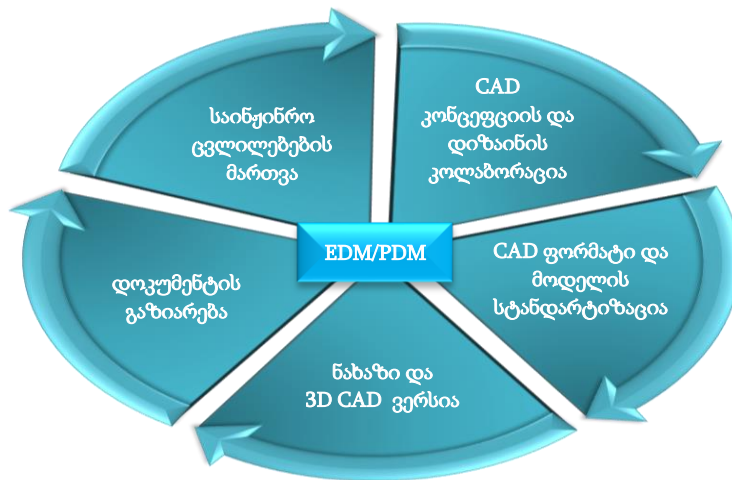
- საინჟინრო ნახაზების შექმნა
- გეომეტრიული მოდელების ინტეგრაცია, ანაწყოების შექმნა
- ინსტალაცია. პროცესების მოდელირება
- გეომეტრიული და ფიზიკური ანალიზის ჩატარება

თანამედროვე CAD პლატფორმის გამოყენებით შესაძლებელია ისეთი დეტალური 3D მოდელს მიღება, რომლის გამოყენებაც შესაძლებელია წარმოების ტექნოლოგიურ პროცესებში, რაც საწარმოო ნახაზების ექვივალენტურია. მეორეს მხრივ ნახაზები მაინც აუცილებელია ინჟინერ-ტექნოლოგებისთვის, რომლის მომზადებისთვის გამოიყენება 3D მოდელები. ამრიგად ინჟინერ-ტექნოლოგები ნახაზებით ცდილობენ ჩაწვდნენ დიზაინერულ გადაწყვეტილებებს, რათა შემდგომ დაამუშაონ საწარმოო პროდუქტი [4].

PLM-ის მეორე ძირითად რგოლს წარმოადგენს PDM (Product data management) - ნაწარმის მონაცემთა მართვის სისტემა, ხშირად მას EDM (Engineering data management) - საინჟინრო მომცემთა მართვის სისტემას უწოდებენ [3].

EDM/PDM მონაცემთა მართვის სისტემა უზრუნველყოფს საინჟინრო მონაცემების და საინჟინრო აქტივობების მართვას. EDM უზრუნველყოფს როგორც საინჟინრო მონაცემების მართვას და საინჟინრო პროცესების გაუმჯობესებას, ასევე ტექნიკისა და საინჟინრო ჯგუფის აქტივობის მხარდაჭერას, რათა მოხდეს სამუშაო პროცესის ოპტიმიზირება.

EDM სისტემა ინახავს ტექნიკურ ინფორმაციას როგორც მნიშვნელოვან რესურსს, რომელსაც კომპანია იყენებს სხვადასხვა დანიშნულებით. ის საშუალებას აძლევს ორგანიზაციას იქონიოს სრული კონტროლი ტექნიკურ ინფორმაციაზე, და ასევე მართოს სრულად საინჟინრო პროცესი.



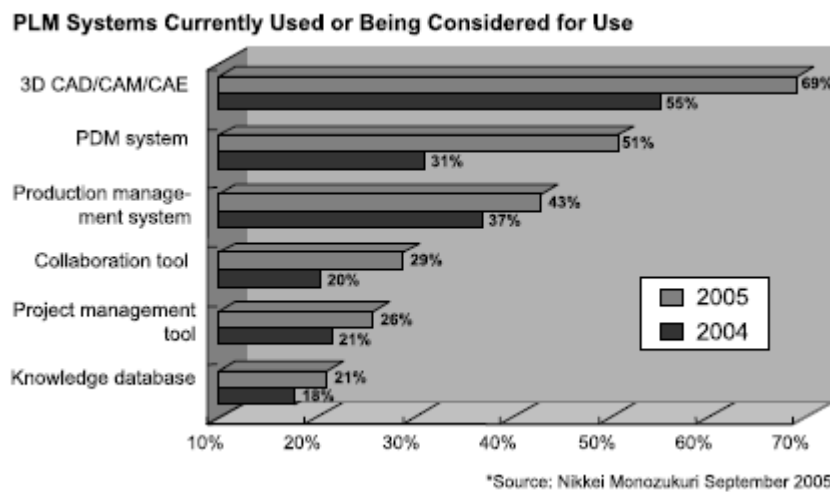
სურათი 3. EDM/PDM სისტემა

EDM არის პროგრამული უზრუნველყოფა რომელიც აერთიანებს მთლიან ტექნიკურ ინფორმაციას, რომელიც მოიცავს საინჟინრო მოდელებს (CAD computer-aided design), ინფორმაციას დეტალებზე, საწარმოო ინსტრუქციას, შენიშვნებს და ტექნიკური დოკუმენტაციებს. დღესდღეობით კომპლექსური საინჟინრო პროექტების მართვა საწარმოო IT ინფრასტრუქტურის მოწყობის გარეშე, რომელიც ითვალისწინებს CAD და EDM კომპიუტერული სისტემებს, წარმოუდგენელია [2].

ერთის მხრივ გრძელვადიან საწარმოო პროექტებში დგება პროგრამული უზრუნველყოფის განახლების საჭიროება, რადგან მოძველებულმა სისტემებმა შესაძლოა პროექტის ფარგლებში დასმული ახალი ამოცანების გადაჭრა ვერ შეძლოს. თუმცა მეორეს მხრივ პროგრამულ განახლებასაც აქვს თავისი უარყოფით მხარეები, რადგან ეს მოითხოვს ინჟინრების და დიზაინერების გადამზადებას და ასევე საინჟინრო მონაცემების ახალ სისტემაზე თავსებადობას, რაც თავის მხრივ გულისხმობს პროექტის შენელებას ან ზოგ შემთხვევაში დროებით გაჩერებასაც კი.

საწარმოო კომპანიები მზარდად ინვესტირებენ IT ტექნოლოგიებში, რადგან მათი მნიშვნელობა საწარმოო პროცესებში პრიორიტეტულია. როგორც სურათზეა ნაჩვენები 2005 წელს IT ინფრასტრუქტურის წილი

საგრძნობლად დიდია 2004 წლის მონაცემებისგან, განსაკუთრებით 3D CAD და PDM სისტემებში [1].



სურათი 4. საწარმოო ინდუსტრიის ინვესტიცია IT ინფრასტრუქტურაში

PLM სისტემა დაფუძნებულია „Top-down“ მიდგომაზე, სადაც შესაძლებელია ნაწარმის სრული ციკლის ინფორმაციის მართვა და გამოყენება. PLM სისტემებში არსებული ამოცანების გადასაჭრელად საწყის ეტაპზე მიზანშეწონილია 3D CAD მონაცემების ერთიან საინჟინრო გეომეტრიულ მოდელში გაერთიანება, რათა ყველა ადამიანს ჰქონდეს ინფორმაციაზე წვდომა. ერთიანი გეომეტრიული მოდელი წარმოადგენს სტრუქტურირებულ ერთ მთლიან ანაწყობს, რომელშიც გაერთიანებულია პროექტით გათვალისწინებული ყველა გეომეტრიული მოდელი.

მსხვილ საინჟინრო პროექტის ერთ-ერთ სირთულეს წარმოადგენდა საინჟინრო მონაცემთა მართვა EDM/PDM (Engineering Data Management), რომელიც უზრუნველყოფს საინფორმაციო ნაკადის კლასიფიცირებას საწარმოო სრული ციკლის მართვის პერიოდში (PLM Product Life Management).

მსხვილ საინჟინრო პროექტებიდან გამოვყოფდი რამდენიმე EDM/CAD სისტემების ცვლილებას, რომლებმაც პროექტებზე უარყოფითი გავლენა მოახდინეს:

Airbus-ის ერთ-ერთი ყველაზე დიდი საინჟინრო ანაწყოებს წარმოადგენს Airbus A380, რომელიც მსოფლიოში ყველაზე დიდი სამგზავრო თვითმფრინავია [6]. Airbus-ში ოთხი ქვეყნის 16 სხვადასხვა ჯგუფი მუშაობს, სადაც დაახლოებით 63000 ადამიანია დასაქმებული. Airbus A380 დაყოფილია 1150 დამოუკიდებელი კომპონენტისგან, რომელიც შედგება დაახლოებით 40'000 კვანძისგან და 100'000 კაბელისგან, რომელთა ჯამური სიგრძე 530 კმ-ია. პროექტის ფარგლებში ერთერთ ყველაზე დიდ საინჟინრო პრობლემას წარმოადგენდა EDM/CAD სისტემების ცვლილება, კერძოდ CATIA v4-დან CATIA v5 გადასვლა (სურ. 5). სისტემის ცვლილებას მოჰყვა საინჟინრო ანალიზის ცდომილებები, რამაც პროექტი გადაავადა ერთი წლით.



კომპონენტი	1150
კვანძი	40'000
კაბელი	100'000

CAD/EDM პლატფორმის ცვლილება
CATIA V4 ➡ CATIA V5



მოდელის მიგრაცია	235'000
ინჟინრების გადამზადება	6200
მიგრაციაზე მომუშავე ინჟინრები	300

CAD/EDM პლატფორმის ცვლილება
CATIA V5 ➡ Siemens NX

სურათი 5. საინჟინრო პროექტებში EDM/CAD სისტემების ცვლილება

Daimler Benz უმსხვილესი მანქანის მწარმოებელია, რომელმაც 2008 წელს ასევე განახორციელა EDM/CAD სისტემების ცვლილება, რამაც გამოიწვია 6200 ინჟინრის გადამზადება. განახორციელეს ახალ CAD სისტემაში 235'000 მოდელის მიგრაცია, რომლისთვისაც 300-ზე მეტი ინჟინერი მუშაობდა მონაცემების მიგრაციაზე. [7] (სურ. 5).

თანამედროვე ბირთვული ფიზიკა ხასიათდება რთული და კომპლექსური საინჟინრო ნაგებობებით, რომლებიც საჭიროა ექსპერიმენტის ჩასატარებლად. ბირთვული ფიზიკის ერთერთ ექსპერიმენტს წარმოადგენს

ATLAS დეტექტორი, რომელიც შედგება 3'705 საკვანძო ანაწყობისგან და 10'000'000-ზე მეტი ფუნქციონალური ელემენტისგან.

ATLAS ექსპერიმენტის კოლაბორაცია აერთიანებს 170 ინსტიტუტის 3000-მდე მეცნიერს 38 ქვეყნიდან [5]. შესაბამისად საინჟინრო პროექტის ერთ-ერთ სირთულეს წარმოადგენდა საინჟინრო მონაცემთა მართვას EDM/PDM (Engineering Data Management) რომელიც უზრუნველყოფს საინფორმაციო ნაკადის კლასიფიცირებას საწარმოო სრული ციკლის (PLM Product Life Cycle Management) პერიოდში.

CERN-ში არსებობს ძირითადი PLM სისტემა, EDMS (The CERN Engineering and Equipment Data Management Service), რომელიც სრულად მართავს ტექნიკურ დოკუმენტაციას და მასთან ასოცირებულ სამუშაოების პროცესებს. EDMS დაშენებულია Oracle Agile PLM პროგრამაზე, რომელიც მოიცავს სტანდარტულ PDM ფუნქციას, BOM (Bills of Material), კონფიგურაციის მართვა, ასევე დოკუმენტებისა და ნახაზების მართვა [8].

EDMS სისტემა დაფუძნებულია ორ ძირითად კომერციულ პროდუქტზე:

- პროდუქტის სასიცოცხლო ციკლის მართვა PLM (Product Lifecycle Management)
- საწარმოო აქტივების მართვა EAM (Enterprise Asset Management)

EDMS წარმოადგენს ვებ აპლიკაციას, რაც ტექნიკური ინფორმაციის მოძიებას და მართვას ამარტივებს. თვეში საშუალოდ 10000 ახალი დოკუმენტი რეგისტრირდება.

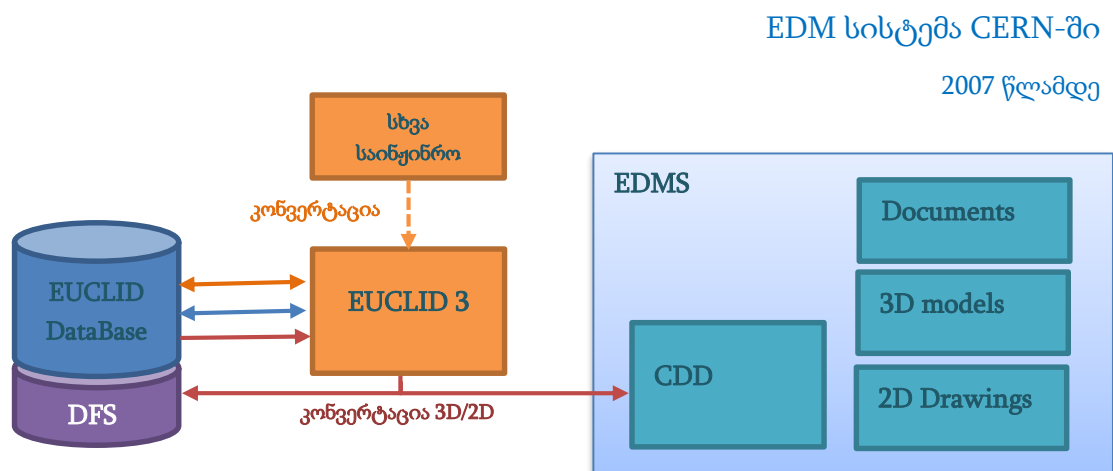
CERN EDMS წარმოადგენს საინჟინრო და ხელსაწყობების მონაცემთა მართვის უზრუნველყოფას. ეს ნიშნავს, როგორც კომპლექსური ინფორმაციული სისტემების უზრუნველყოფას, ასევე ტექნიკა-მოწყობილობების მონაცემების მართვის პროცესებისთვის მეთოდის და პროცედურის განვითარებას და ფორმალიზებას [9].

EDMS საშუალებას იძლევა საინჟინრო და მოწყობილობების მონაცემების, ასევე პროექტის და ინსტალაციის დოკუმენტაციების დაცვას, ორგანიზებას, შემოწმებას და შენახვას ხანგძლივი ვადით.

1.1 2007 წლამდე CERN-ში CAD/PDM საინჟინრო ინფრასტრუქტურა

CERN-ში 2007 წლამდე ოფიციალურად იყენებდნენ საინჟინრო აპლიკაცია EUCLID3-ს (Matra Datavision 1993წ.), რომელიც ვერ განვითარდა და ახალ CAD სისტემების მოთხოვნებს ვერ აკმაყოფილებდა [11]. შესაბამისად ვერც საინჟინრო მონაცემთა ეფექტური მართვა ვერ მოხერხდა, რამაც გამოიწვია ერთიანი საინჟინრო მოდელის არარსებობა.

საინჟინრო მონაცემთა მართვის პრობლემა გამოიწვია სხვადასხვა უნივერსიტეტებში და სხვადასხვა საინჟინრო პლატფორმაზე (Mechanical Desktop, ANSYS, CATIA) დაპროექტებულმა ნაკეთობებმა, რომელთა გაერთიანება ერთიან სისტემაში ვერ მოხერხდა. ძირითადი მიზეზი იყო დეტალური გეომეტრიების არარსებობა EUCLID (DataBase) DB -ის ბაზაში, რომელიც საერთო სერვერულ ბაზას წარმოადგენდა (სურ. 6).



სურათი 6. CERN-ის EDM სისტემის ინფრასტრუქტურა 2007 წლამდე

EUCLID3 აპლიკაციის ნორმალურად ფუნქციონირებისთვის გეომეტრიულ მოდელში წერტილების რეკომენდირებული რაოდენობა იყო 80'000 წერტილზე ნაკლები [10]. ხოლო 240'000 წერტილის მქონე გეომეტრიული ანაწყობი იწვევდა EUCLID3-ის ავარიულ დახურვას. ამიტომ დეტალური გეომეტრიული მოდელის ბაზაში მოსახვედრად მიმდინარეობდა გეომეტრიული მოდელების დაყოფა ან/და გამარტივება. დაყოფა-გამარტივების პროცესი ასევე გათვალისწინებული იყო, კოლაბორაციით სხვა საინჟინრო პლატფორმაზე დამუშავებული 3D მოდელების, კონვერტაციის დროსაც. ამრიგად, EUCLID DB-ის ბაზაში დაფიქსირდა დიდი ოდენობით სხვადასხვა დონეზე გამარტივებული კლონირებული გეომეტრიები.

EUCLID DB-ის საერთო სერვერულ ბაზაში ინახებოდა როგორც დროებით ისე დასრულებული გეომეტრიული მოდელები. მეორეს მხრივ დასრულებული 3D მოდელები და 2D ნახაზები რეგისტრირდება CDD-ზე (EDMS), სადაც ახალი სახელები ენიჭებოდა. CDD (CERN Drawing Directory) CERN-ის საინჟინრო ნახაზების ბაზაა და ხელმისაწვდომია CERN-ის ყველა თანამშრომლისთვის, რადგან მასზე წვდომა შესაძლებელია ვებ ბრაუზერით.

CDD-ზე ძირითადად ინახებოდა ორი ტიპის ნახაზები, საწარმოო ნახაზები და დასრულებული 3D მოდელისთვის შექმნილი ნახაზები.

საწარმოო ნახაზებზე მასალის სპეციფიკაციის BOM-ის (Bill Of Materials) შესაქმნელად იყენებდნენ CartWeb, რომელიც ბრაუზერის მეშვეობით მასალის სპეციფიკაციებს ანიჭებდა საწარმოო ნახაზებს.

დასრულებული 3D მოდელების ინიციალიზაცია CDD-ზე ხორციელდებოდა მარტივი ნახაზის რეგისტრაციის გავლით, ანუ 3D გეომეტრიული მოდელიდან ჯერ იქმნებოდა მარტივი ნახაზი, შემდეგ CDD-ზე რეგისტრაციის დროს ნახაზზე ებმებოდა 3D მოდელი, რომელსაც CDD ახალ სახელს ანიჭებდა. დასრულებული 3D მოდელების ინიციალიზაცია

პარალელურად მიმდინარეობდა მოდელების სხვადასხვა საინჟინრო ფორმატში (.CATPart .CATProduct .CGR .WRML) კონვერტაცია და DFS (Distributed File System) ბაზაში შენახვა.

მოცემული სისტემის ძირითადი მინუსი იყო:

- კოლაბორაციულ საინჟინრო ჯგუფებში არსებული დოკუმენტაციის (საინჟინრო, საწარმოო მოდელების და ნახაზების) მოძიების პრობლემა.
- EDMS-ზე სრულად არ მოხდა დასრულებული მოდელების ინიციალიზება, რაც ართულებდა საინჟინრო მოდელების და ნახაზების მოძებნის პროცესს.
- EUCLID 3-ის პროგრამული სუსტი მახასიათებლები, რაც ართულებდა დეტალური მოდელის შენახვის საშუალებას.

ამრიგად, ამ სამმა ძირითადმა პრობლემამ განაპირობა გლობალური პრობლემა - ერთიანი საინჟინრო მოდელის არ არსებობა, რაც პრობლემას უქმნიდა ინჟინრებს, ტექნიკოსებს და ფიზიკოსებს ATLAS პროექტის ინსტალაციის, ინტეგრაციის და სიმულაციის ამოცანების გადასაჭრელად.

1.2 CERN-ის CAD/PDM პლატფორმების ცვლილება

2007 წელს CERN-ის ხელმძღვანელობამ გადაწყვიტა პლატფორმების ცვლილება:

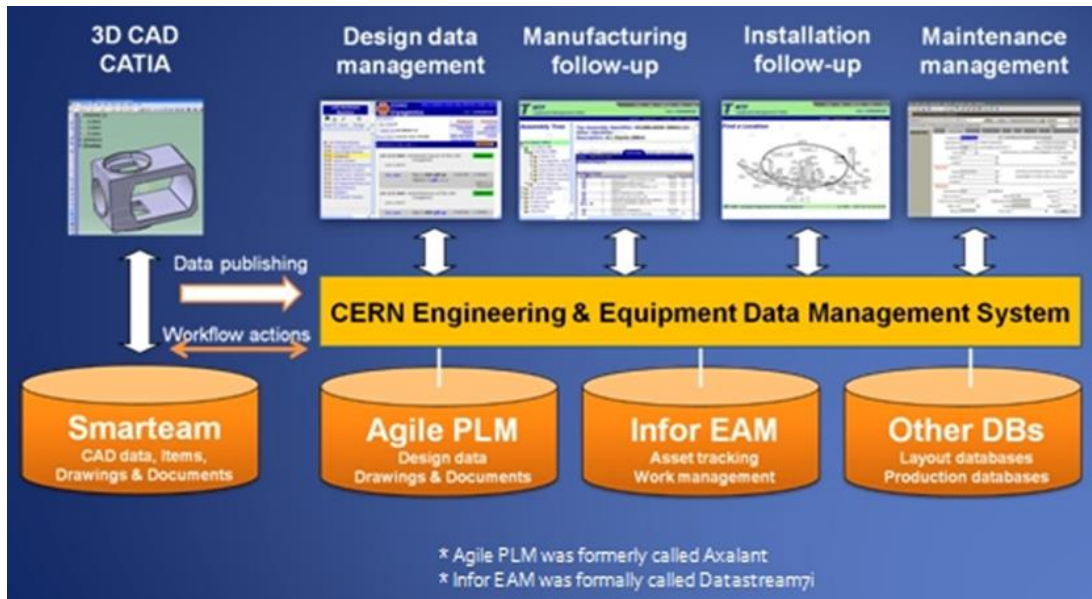
- CAD სისტემა - EUCLID3 შეიცვალა CATIA V5-ით, ხოლო
- EDM/PDM სისტემა - EUCLID DB შეიცვალა Smarteam-ით.

CATIA V5 (ფრანგული კომპანიის Dassault Systèmes-ის დისტრიბუტივი) არის MS Windows და UNIX ოპერაციულ სისტემებზე მომუშავე საინჟინრო პროგრამა, რომელიც 1998 წელს გამოვიდა. იგი დღესდღეობით ფართოდ გამოიყენება მრავალ სფეროში [12]. მაგალითად: თვითმფრინავის

დაპროექტებისას, გემთმშენებლობისას, სამრეწველო საქმიანობაში, ავტომანქანის დაპროექტებისას, ცალკეული კომპონენტების მოდელის შესაქმნელად და სხვა. CATIA-ს იყენებენ მთელი რიგი წამყვანი კომპანიები როგორებიც არიან: BMW, Porsche, DaimlerChrysler, Audi, Volvo, Fiat, PSA Peugeot Citroën, Toyota, Honda, Ford, Hyundai, Tata Motors და Mahindra.

CATIA V5 შეუძლია იმუშაოს ისეთ ცნობილ PLM სისტემებთან როგორებიცაა: DELMIA, ENOVIA, SIMULIA და SmarTeam [13]. რომელთაგანაც CERN-ის ხელმძღვანელობამ არჩევანი SmarTeam-ზე გააკეთა. SmarTeam-ც Dassault Systèmes-ის პროდუქტია და CATIA სრულად ინტეგრირდება მასში. SmarTeam უზრუნველყოფს კოლაბორაციულ სამუშაოებს, რომელიც ფოკუსირებულია დიზაინის, საინჟინრო და საწარმოო პროცესების განვითარებაზე. SmarTeam-ის პლატფორმა მომხმარებლებს დედამიწის სხვადასხვა ადგილებიდან ურთიერთანამშრომლობის საშუალებას აძლევს, რაც ძალზედ მოქნილი არის მსგავსი კოლაბორაციული პროექტის შემთხვევაში.

იმისდა მიუხედავად რომ SmarTeam სრულფასოვანი PLM სისტემაა, CERN-ში ძირითად PLM სისტემად მაინც EDMS რჩება, ხოლო SmarTeam-ს მხოლოდ EDM საინჟინრო მონაცემთა მართვის ფუნქცია აქვს [14] (სურ. 7). SmarTeam-ის ძირითადი დანიშნულება CATIA V5-ს საინჟინრო მოდელების და ნახაზების კოორდინირება და საწარმოო ნაკეთობის ანაწყობის სიის შედგენაა. ხოლო დასრულებული 3D მოდელები EDMS-ზე რეგისტრირდება.

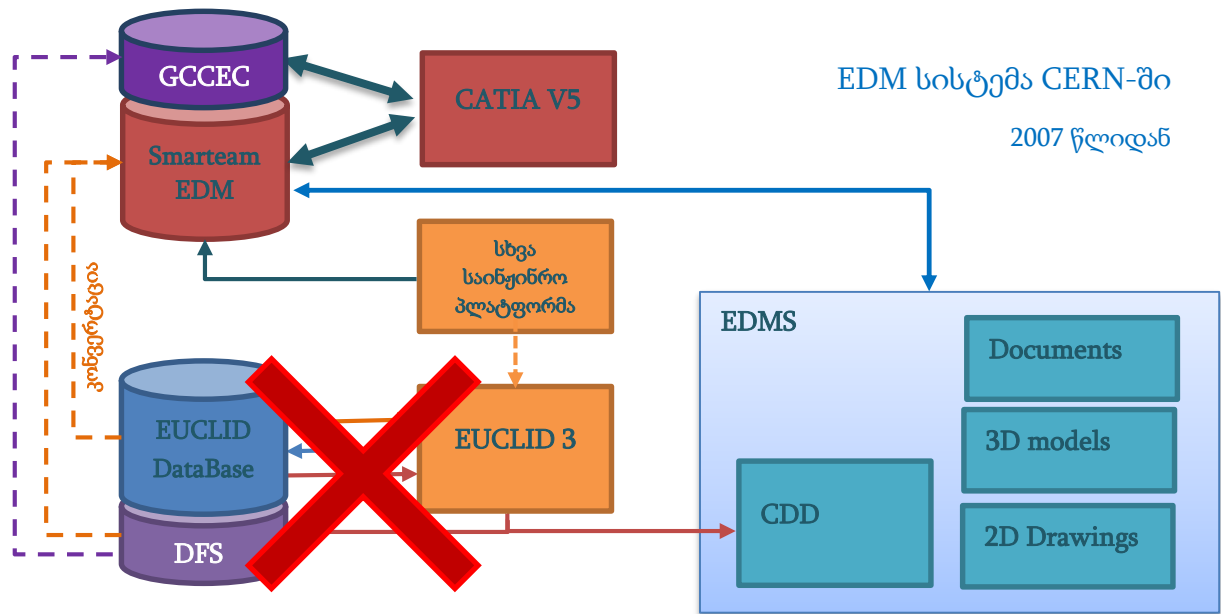


სურათი 7. CERN-ის PLM სისტემა. EDMS-ის ინფრასტრუქტურა

EUCLID3-დან CATIA V5-ში გადასვლა რამდენიმე დადებითი ფაქტორის გათვალისწინებით მოხდა. CATIA V5 გაცილების მოქნილი, ახალი EDM სისტემებზე მორგებული საინჟინრო პლატფორმაა, რამაც EUCLID-ით გამოვლენილი პრობლემები აღმოფხვრა. თუმცა მოცემულმა ცვლილებამ მაინც შექმნა გარკვეული პრობლემა, რაც გამოწვეული იყო EUCLID DB-დან Smarteam ბაზაში 3D/2D მოდელების მიგრაციით [15].

1.3 ATLAS-ის 3D/2D მოდელების მიგრაცია EUCLID DB-დან Smarteam-ის ბაზაში

პირველ ეტაპზე Smarteam პლატფორმაზე მოხდა DFS-ზე არსებული CATIA-ს ფორმატის გეომეტრიული მოდელების მიგრაცია, რომლებიც დასრულებული 3D გეომეტრიული მოდელების EDMS-ზე ინიციალიზაციის დროს იქმნებოდა (სურ. 8).



სურათი 8. ATLAS-ის 3D/2D მოდელების მიგრაცია EUCLID DB-დან Smarteam-ის ბაზაში

მიგრაციის მეორე ეტაპზე EUCLID-ის ბაზიდან არსებული 3D/2D გეომეტრიული მოდელების კონვერტაციისთვის მოხდა მათი გაფილტრვა და ინჟინრების მიერ დაახლოებით ფაილების 40% გამოციხრილა. დარჩენილი გეომეტრიული მოდელების კონვერტაცია CATIA-ს ფორმატში განხორციელდა ორი გზით:

- I. ATLAS-ის საინჟინრო ჯგუფმა ავტომატური კონვერტაციით ყველა EUCLID-ის გეომეტრიული მოდელები გადაიყვანეს CATIA-ს (CATPart, CATProduct.) ფორმატში და ინტეგრაცია მოახდინეს SmarTeam-ის ბაზაში.
- II. ქართულმა საინჟინრო ჯგუფმა (GCCEC) კოლაბორაციული პროექტის ფარგლებში ევალუბოდა EUCLID-ის ყველა დასრულებული 3D გეომეტრიული მოდელის ინიციალიზება EDMS/CDD ბაზაში და შემდგომ მათი კონვერტაცია CATIA-ს ფორმატში. ამ პროცესში ანალიზი ჩატარა კონვერტირებულ 3'705 მოდელს და თითოეულ მოდელზე რეპორტი შეიქმნა, თუ რამდენად ზუსტად მოხდა მოდელების კონვერტაცია.

საინჟინრო მოდელების მიგრაციის პროცესი 2008 წელს დასასრულდა და EUCLID-ის პლატფორმაზე მუშაობაც ავტომატურად შეწყდა.

1.4 3D მოდელების მიგრაციის პრობლემები

Euclid-დან CATIA-ში 3D მოდელების მიგრაციის პერიოდში აღმოჩენილ იქნა შემდეგი პრობლემები:

1. SmarTeam-ში არ არის სტრუქტურული ხე
2. ბაზაში არსებობს მსგავსი 3D გეომეტრიული მოდელები
3. ზოგი გეომეტრიული მოდელი არ არსებობს
4. გეომეტრიული მოდელების კონვერტაცია ხორციელდებოდა შეცდომებით
5. არსებობს გამარტივებული და დეტალური მოდელის სინქრონიზების პრობლემა
6. ბაზაში ფიქსირდება არასრული გეომეტრიული მოდელები
7. გეომეტრიული მოდელები რიგ შემთხვევებში მეორდება
8. საექვო მოდელების არსებობა, რომლებიც არცერთი კომპონენტის სტრუქტურაში არ შედის
9. არა სტრუქტურირებული მოდელები - მცდარი მიკუთვნება აქვს სტრუქტურულ ხეზე
10. კონვერტაციით მიღებული მოდელები არასწორი სახელებით
11. გეომეტრიული მოდელები არასწორი პოზიციონირებითი
12. გეომეტრიული მოდელებს მოყვებოდა არასაჭირო კომპონენტები

მოცემული მიგრაციის (M) პრობლემები დაჯგუფდა სამი ტიპის პრობლემებად და მისი ფორმულირება შეიძლება შემდეგნაირად (სურ. 9):

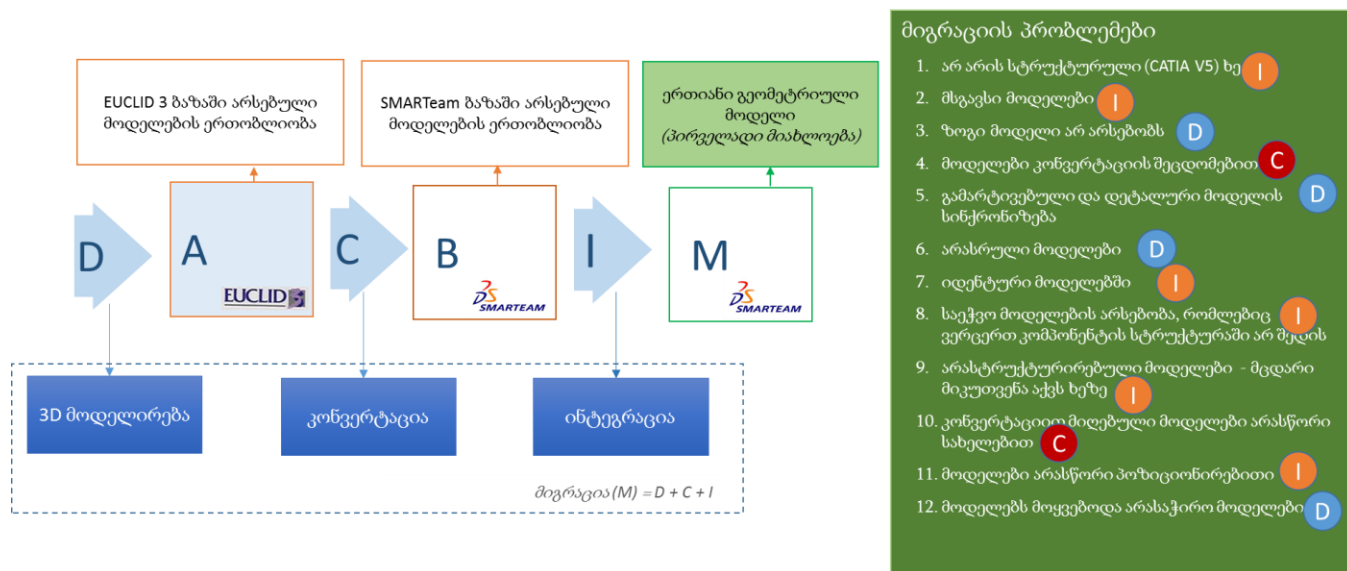
$$\text{მიგრაციის (M)} = D + C + I$$

სადაც,

D – 3D მოდელირების პრობლემები

C – კონვერტაციის პრობლემები

I - ინტეგრაციის პრობლემები



სურათი 9. მიგრაციის პრობლემები

ამრიგად, აღნიშნული პრობლემები დეტექტორის ერთიანი საინჟინრო გეომეტრიული მოდელის შექმნისთვის დასმულ ამოცანას ხდის კომპლექსურს, რომელის გადაწყვეტაც მოითხოვს უნიკალური მეთოდური და ტექნიკური სამუშაოების დამუშავებას.

სადისერტაციო ნაშრომში მოყვანილია მიგრაციის ერთერთი უმთავრესი პრობლემის გადაწყვეტა, ეს არის დეტექტორის სტრუქტურული ფორმალიზმის შექმნა, რაც საფუძვლად უდევს ერთიანი გეომეტრიული მოდელის დამუშავებას.

თავი II: ATLAS-ის დეტექტორის აღწერა

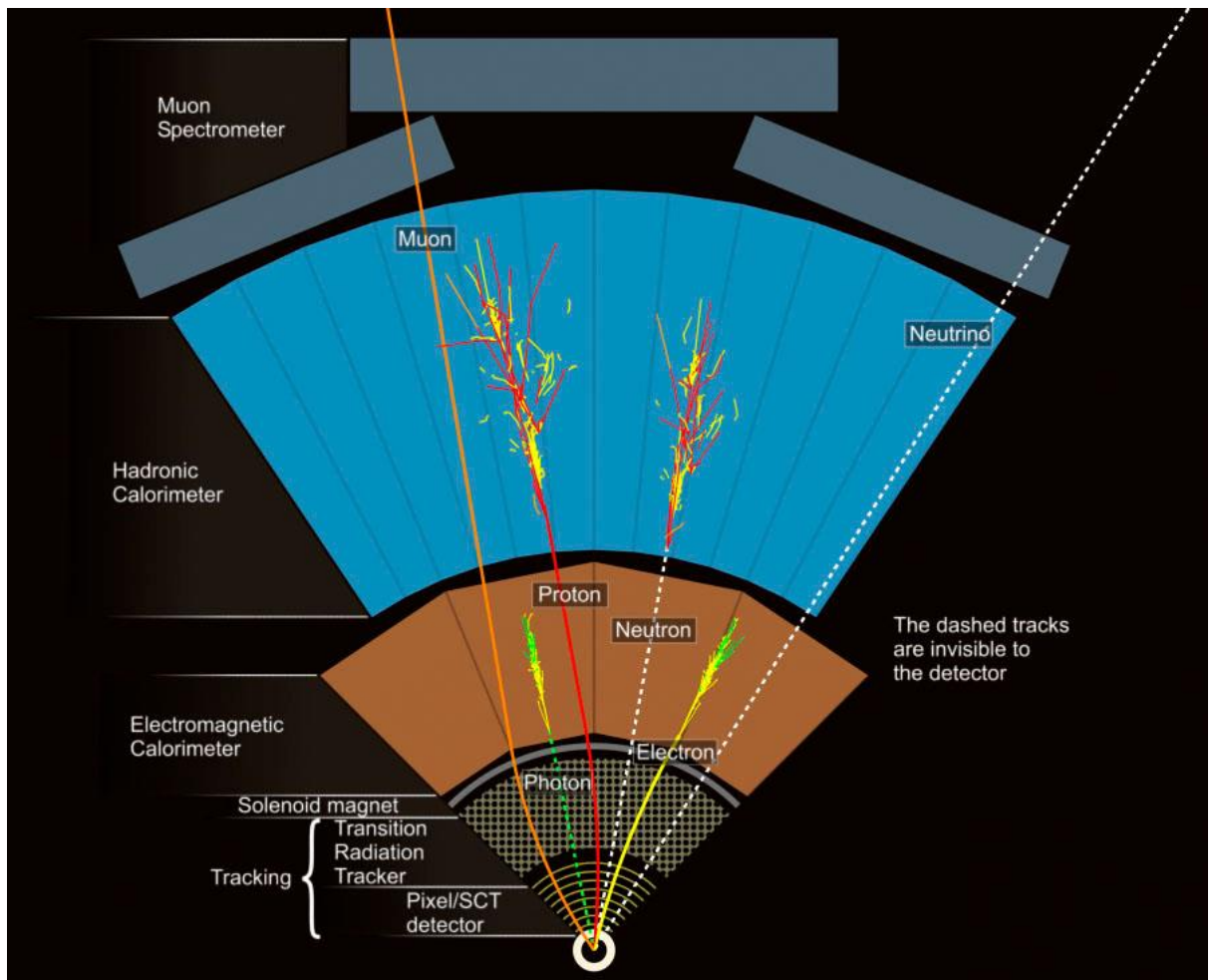
ატლას დეტექტორში ნაწილაკების დეტექტირებისთვის გამოიყენება 4 ძირითადი სისტემა:

1. *მაგნიტური სისტემა (Magnet System)* საჭიროა ელექტრულად დამუხტული ნაწილაკის გადახრისთვის, როგორცაა პროტონი, ელექტრონი, მიონი და ა.შ. ელექტრულად დამუხტული ნაწილაკი მაგნიტური ველში მოხვედრისას განიცდის გადახრას [16].

2. *შიდა დეტექტორი (Inner Detector)* ტრეკერული (დამკვალავი) დეტექტორია და ელექტრულად დამუხტული ელემენტარული ნაწილაკების ტრაექტორიის დასაფიქსირებლად გამოიყენება. დაფიქსირებული მრუდის საფუძველზე ელემენტარული ნაწილაკების მუხტი და იმპულსი განსაზღვრება. შიდა დეტექტორი იკვლევს ისეთ ნაწილაკებს როგორცაა პროტონები და ელექტრონები (სურ. 10).

3. *ელექტრომაგნიტური და ადრონული კალორიმეტრები (Electromagnetic and Hadronic Calorimeters)* გამოიყენება ელექტრომაგნიტურ და ძლიერ ურთიერთქმედებაში მყოფი ნაწილაკების იმპულსის გამოსათვლელად. კონკრეტულად ელექტრომაგნიტური კალორიმეტრით გამოითვლება ელექტრომაგნიტურ ურთიერთქმედებაში მყოფ ნაწილაკთა იმპულსი, ასეთებია ფოტონი და ელექტრონი. ხოლო ადრონული კალორიმეტრი გამოითვლება ძლიერ ურთიერთქმედებაში მყოფი ელემენტარული ნაწილაკების იმპულსი, მაგალითად პროტონი და ნეიტრონი (სურ. 10).

4. *მიონური სისტემა (Muon System)*, ისევე როგორც შიდა დეტექტორი ესეც ტრეკერული სისტემაა, ოღონდ ის აფიქსირებს მიონური ნაწილაკების ტრაექტორიას და შესაბამის მუხტს (სურ. 10).



სურათი 10. ATLAS დეტექტორის ძირითადი კომპონენტები

მოცემული 4 ძირითადი სისტემა შედგება ქვეკომპონენტებისაგან. ქვეკომპონენტებად დაყოფა მოხდა დეტექტორების ტიპისა და ადგილმდებარეობის შესაბამისად. თითოეული ტიპის დეტექტორი ისეა განლაგებული რომ ელემენტარული ნაწილაკის დაუფიქსირებლობის ალბათობა 0 მდე იყოს დაყვანილი. დეტექტორული მოდულები ორი სახით არიან განლაგებულები:

1. Z ღერძის ირგვლივ გრძივად განლაგებულ დეტექტორის მოდულებს Barrel ნაწილი ეწოდება. ძირითადად Barrel-ს ცილინდრული მილის ფორმა აქვს და Z0-დან სიმეტრიულად არის გადანაწილებული;

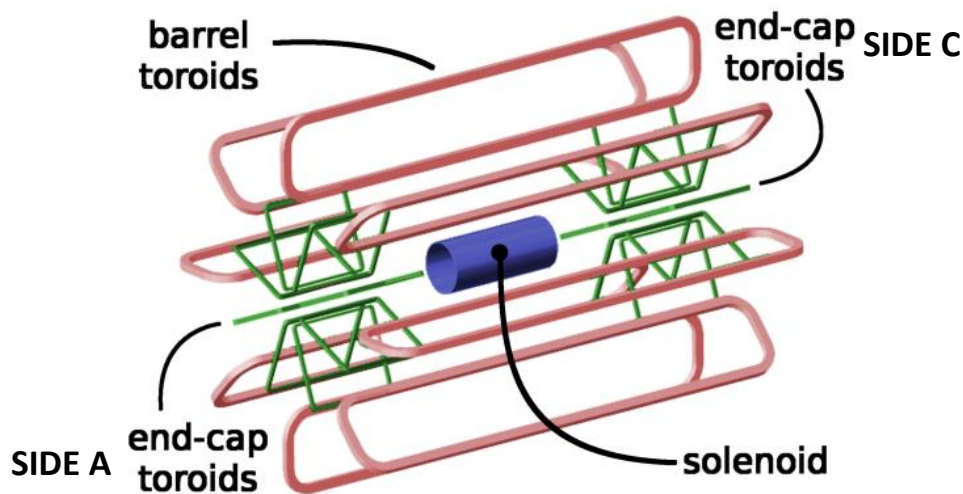
2. Z ღერძის მართობულად განლაგებულ დეტექტორის მოდულებს EndCap ნაწილს ეწოდება. EndCap ძირითადად ორი სიმეტრიული დისკის ფორმის ნაწილია რომელიც Barrel-ის ბოლოებში მდებარეობს.

2.1 მაგნიტური სისტემა – Magnet System

ATLAS-ის დეტექტორში არსებობს 2 ტიპის მაგნიტური სისტემა: სოლენოიდური, რომელიც ATLAS-ის შიდა ნაწილში მდებარეობს და ATLAS-ის გარე ნაწილში მდებარე ტოროიდული მაგნიტური სისტემა, რომელიც ძლიერ ურთიერთქმედებაში მყოფ ელექტრულად დამუხტული ნაწილაკების გადახრისთვის გამოიყენება [17].

სულ ATLAS-ის დეტექტორში მაგნიტურ ველს 4 ზეგამტარი მაგნიტი წარმოქმნის, ესენია (სურ. 11):

1. Central Solenoid (CS)
2. Barrel Toroid (BT)
3. End Cap Toroid (ECT) – Side A
4. End Cap Toroid (ECT) – Side C



სურათი 11. ატლას დეტექტორის მაგნიტური სისტემა

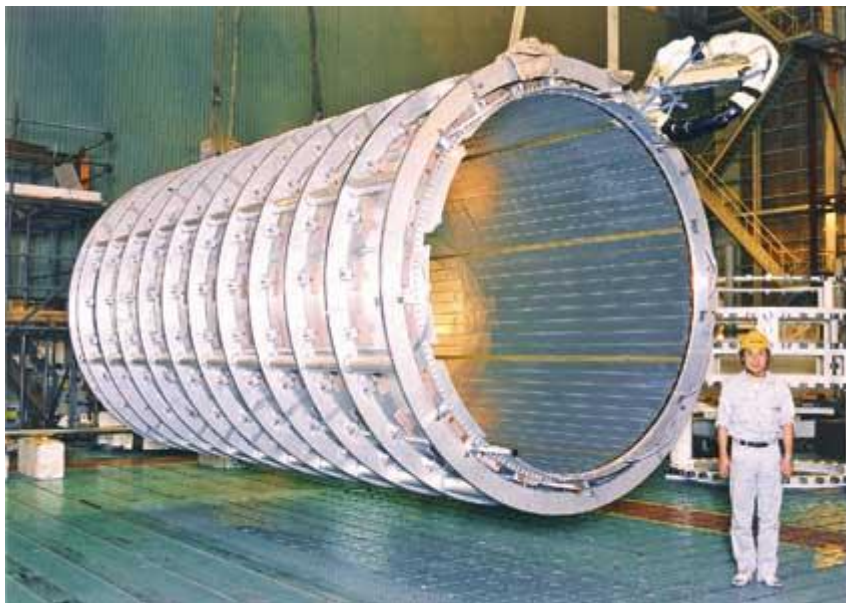
2.1.1 Central Solenoid

ცენტრალური სოლენოიდი ქმნის 2 ტესლა მაგნიტურ ველს შიდა დეტექტორის გარშემო. ცენტრალური სოლენოიდი უზრუნველყოფს უმრავლესობა ტიპის ნაწილაკების გადახრას რათა მოხდეს მათი კვალის

განსაზღვრა. სოლენოიდს აქვს კონდუქციურად გაცივებადი ზეგამტარი სისტემა, რომელიც მაქსიმალურად თხელი მასალებით არის შექმნილი, რათა ნაწილაკების გაზნევა მინიმუმზე დავიდეს, რაც აუცილებელია კალორიმეტრის სრულყოფილად მუშაობისთვის.

Solenoid-ი ერთფენიანი ხვიაა, რომლსაც მილის ფორმა აქვს და თორმეტი სამკუთხა მინა-ბოჭკოვანი კონსტრუქციაზეა დამაგრებული. სოლენოიდის თერმული დაცვის უზრუნველსაყოფად შიდა მხრიდან გრძივად გასდევს 2 mm სისქის ალუმინის პანელები, რომლებიც ეხმარება სითბოგამტარობაში.

Solenoid-ი, სიგრძით 5.8 m და შიდა-გარე დიამეტრით 2.46-2.56 m, იწონის 5.7 ტონას [18] (სურ. 12). სოლენოიდის მაგნიტი იყენებს 7.73 kA ენერგიას. თუმცა ამ ენერგიით მიღებული ელექტრომაგნიტური ველი არასაკმარისია რამდენიმე TeV ენერგიის მქონე ნაწილაკებისთვის და ამისთვის შექმნილია გარე Toroid მაგნიტური სისტემა.



სურათი 12. სოლენოიდის მაგნიტი

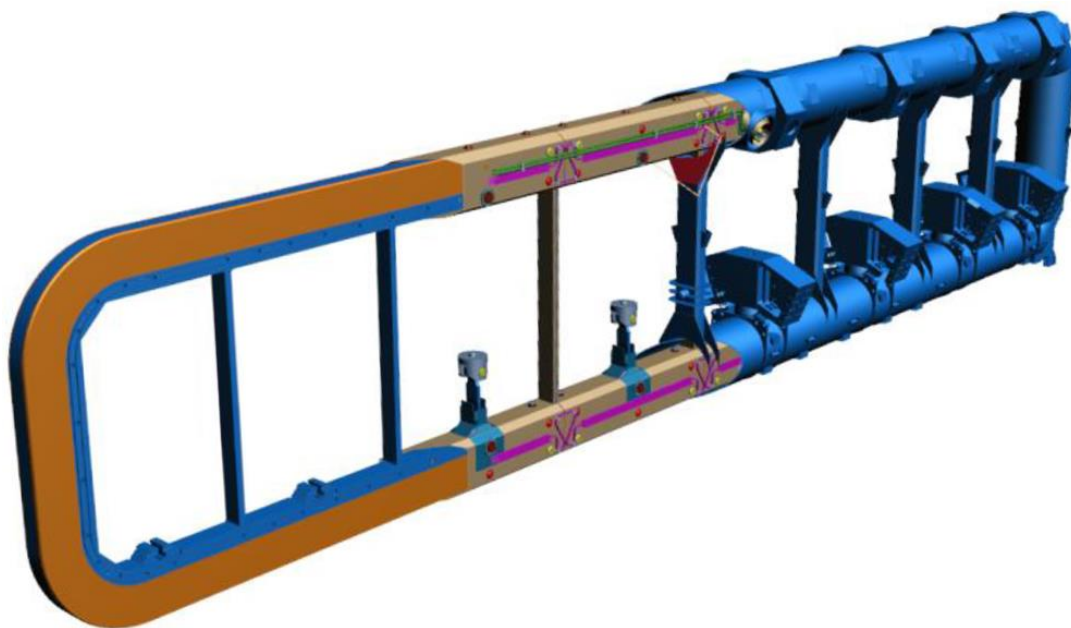
2.1.2 Barrel Toroid

Barrel Toroid-ის მაგნიტური სისტემა იმ ელემენტარული ნაწილაკების გადახრისთვის არის განკუთვნილი, რომლებზეც სოლენოიდის მაგნიტურმა ველმა ვერ იქონია გავლენა და მიონ დეტექტორის სისტემა იკვლევს.

Barrel Toroid-ის მაგნიტური სისტემა შედგება წრიულად განაწილებული რვა მაგნიტისგან (ე.წ. Coil-გან). თითოეული მაგნიტი ინდივიდუალურ ვაკუუმის კამერაშია მოთავსებული. Barrel Toroid-ის მაგნიტები ერთმანეთთან Warm Structure-ის დამხმარე კონსტრუქციით არიან დაკავშირებულნი. რადგან Barrel Toroid-ის მაგნიტურ სისტემას ერთიანი გაციების სისტემა აქვს, არსებული რვა Coil-ი ერთმანეთთან დაკავშირებულია გაციების მილით, რომელიც წრიულად გასდევს მთლიან Barrel Toroid-ს.

Barrel Toroid-ის Coil-ს მართკუთხა ჩარჩოს ფორმა აქვს წაკვეთილი კუთხეებით, რომლის სიგრძე და სიგანე 25.3 x 5 m-ია. Coil-ის გარე ზედაპირი - „Cover“ მთლიანად ფოლადისგან არის დამზადებული. Cover-ის ორი გრძივი მხარე ერთმანეთთან დაკავშირებულია შვიდი ფოლადის Strut-ით, რაც კონსტრუქციას დეფორმირებისგან იცავს. Coil-ს გარედან ასევე აქვს 8 წერტილში გადანაწილებული Voussoir და Strut, რომლებიც Warm Structure-ის შემადგენელი ნაწილებია [20].

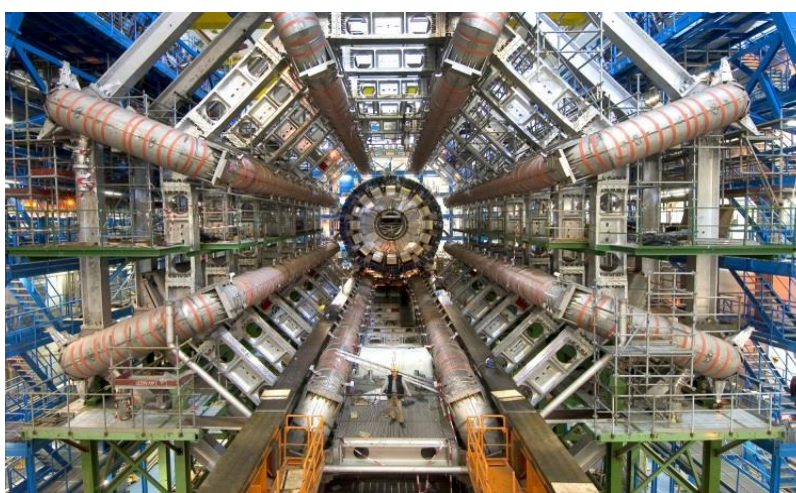
მაგნიტის შიდა ანაწყობი შედგება ალუმინის კარკასული ბუდისგან და დახვეული ორმაგი ალუმინის „Superconductor“ ხვიისგან, რაც მთლიანობაში „Cold Mass“-ს წარმოადგენს (სურ. 13). TieRod და Cryogenic Stop სამაგრები კი Cold Mass-ს Cover-ზე ხისტად აკავშირებს რვა წერტილში. ასევე Cold Mass-ს გარედან აქვს სპილენძის ფირფიტისგან დამზადებული დამცავი ზედაპირი - „Thermal Shielding“, რომელიც Cold Mass-ს იცავს რადიაციით მიღებული გადახურებისგან. Thermal Shielding-ზე ასევე დამაგრებულია გაციების მილები და სხვადასხვა სერვის-სამაგრები.



სურათი 13. Barrel ტოროიდის მაგნიტის აგებულება

სოლენოიდისგან განსხვავებით Barrel Toroid 4 ტესლა მაგნიტურ ველს ქმნის და 21 kA ელექტროენერგიას მოიხმარს.

Barrel Toroid-ის მაგნიტური სისტემის სიგრძე 25.3 მეტრია, შიდა და გარე დიამეტრით 9.4 - 20.1მ და 740 ტონაა საერთო მასით (სურ. 14).



სურათი 14. Barrel ტოროიდის მაგნიტური სისტემა

Barrel Toroid-ის ერთი Coil-ის შიდა საინჟინრო ანაწყობი შედგება დაახლოებით 220 დეტალისგან.

2.1.3 End Cap Toroid

EndCap Toroid-იმ, Barrel-ის მსგავსად, იმ ელემენტარული ნაწილაკების გადახრისთვის გამოიყენება, რომლებზეც სოლენოიდის მაგნიტმა ვერ იქონია გავლენა და მიონ დეტექტორის სისტემა იკვლევს.

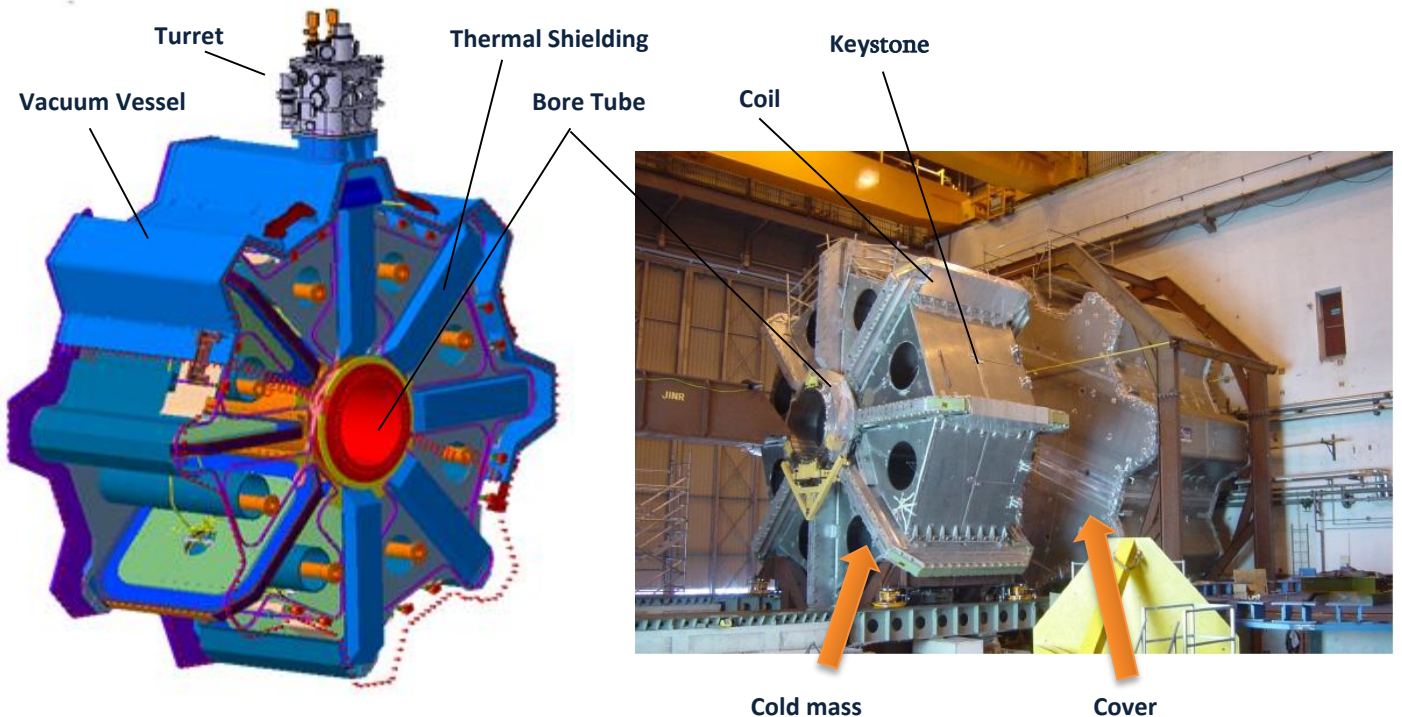
ორი EndCap Toroid-ი განთავსებულია Side A და Side C მხარეს. თითო EndCap Toroid 2 Tev მაგნიტურ ველს ქმნის და გამოიყენებს 20 kA ელექტროენერგიას. EndCap Toroid სრული წონა 221,5 ტონაა [19].

EndCap Toroid შედგება 8 მაგნიტის ფირფიტისგან, რომლებსაც ერთი ვაკუუმ კამერა - „Vacuum vessel“ აქვთ. EndCap Toroid-ის ვაკუუმ კამერა წრიული ფორმისაა რომელიც სისქით 5 მეტრია და შიდა-გარე დიამეტრით 1.5-5 მეტრია (სურ.15). Vacuum vessel-ის გარე კარკასი შედგება Cover და BoreTube-გან. BoreTube მილის ფორმის ნაწილია, ხოლო Cover დანარჩენი გარე ნაწილი, რომელიც BoreTube-თან ერთად ვაკუუმ კამერას ქმნიან.

შიდა ანაწყობის ძირითადი ნაწილი Cold Mass-ია, რომელიც შედგება 8 Coil მაგნიტის ფირფიტისგან და 8 Keystone სამაგრისგან. თითო Coil თავის მხრივ შედგება ალუმინის კარკასული ბუდისგან და მასზე დახვეული ორმაგი ალუმინის ხვიისგან. ხოლო Keystone - სამკუთხა ფორმის კონსტრუქციაა და მისი ძირითადი დანიშნულება Coil-ის ფირფიტების წრიულად განთავსება და ერთმანეთთან ხისტად დაკავშირება, რაც მთლიანობაში Cold Mass-ს წარმოადგენს. როგორც მაგნიტის ფირფიტები Keystone-იც ალუმინის მასალით შედგენილი კონსტრუქციაა. ასევე ერთერთი მნიშვნელოვანი ნაწილია Thermal Shielding, რომელიც ფოლადის 5მმ-იანი სისქის მასალით არის შექმნილი და Cold Mass-ის ხვიებს იცავს თერმული გადახურებისგან. ის გარე Vacuum vessel-სა და Cold Mass-ს შორის მდებარეობს, რომელიც Vacuum vessel-თან დამაგრებულია 16 ცალი TieRod-ით.

გარდა ამისა თითოეულ EndCap Toroid გააჩნია საკუთარი ჰელიუმის გაციების სისტემა, რომელიც განთავსებულია Vacuum vessel-ის თავზე. ECT-ის ჰელიუმით გაციების სისტემას და მის დამხმარე კონსტრუქციას წარმოადგენენ Turret და მისი დამხმარე კონსტრუქცია Tower.

EndCap Toroid-ი ასაგებად შეიქმნა 900-ზე მეტი საინჟინრო გეომეტრიული მოდელი.



სურათი 15. EndCap ტოროიდული მაგნიტის სტრუქტურა

2.2 შიდა დეტექტორი (Inner Detector, ID)

შიდა დეტექტორი ATLAS დეტექტორის Z0-ში მდებარეობს და მისი ძირითადი ფუნქცია ელექტრულად დამუხტული ელემენტარული ნაწილაკების გამოკვლევაა, რაც გულისხმობს მათ ტიპისა და იმპულსის განსაზღვრას. ელექტრულად დამუხტული ელემენტარული ნაწილაკის მოხვედრა ელექტრომაგნიტური ველში იწვევს წრფივად მოძრავი ელემენტარული ნაწილაკის გადახრას გარკვეული კუთხით, რაც ქმნის

მრუდს. მიღებული მრუდის და ლორენცის ძალის გამოყენებით გამოითვლება ნაწილაკის იმპულსი და მუხტი [21].

ელექტრომაგნიტური ველს შიდა დეტექტორისთვის სოლენოიდის მაგნიტი ქმნის.

შიდა დეტექტორი აფიქსირებს მის შრეებში გამავალი ელემენტარული ნაწილაკის სივრცული კოორდინატებს, რომლის გამოყენებით აღდება მისი ტრაექტორია და შემდგომ განისაზღვრება ნაწილაკის ტიპი და იმპულსი [22].

შიდა დეტექტორი სამი ტიპის დეტექტორისგან შედგება:

1. პიქსელის დეტექტორი (Pixel Detector);
2. ნახევარგამტარული კვალის დამაფიქსირებელი (SCT);
3. გარდამავალი რადიაციული კვალის დამაფიქსირებელი (TRT).

2.2.1 პიქსელის დეტექტორი (Pixel Detector)

პიქსელის დეტექტორი (Pixel Detector) – ID დეტექტორის შიდა ნაწილში არსებული მაღალი სიზუსტის ხელსაწყოა, რომელიც Z0-დან რაც შეიძლება მინიმალურ დისტანციაზეა განთავსებული. შედეგად პიქსელის დეტექტორს შეუძლია ხანმოკლე ნაწილაკების დაფიქსირება, როგორიცაა B-Hadron და τ ლეპტონი.

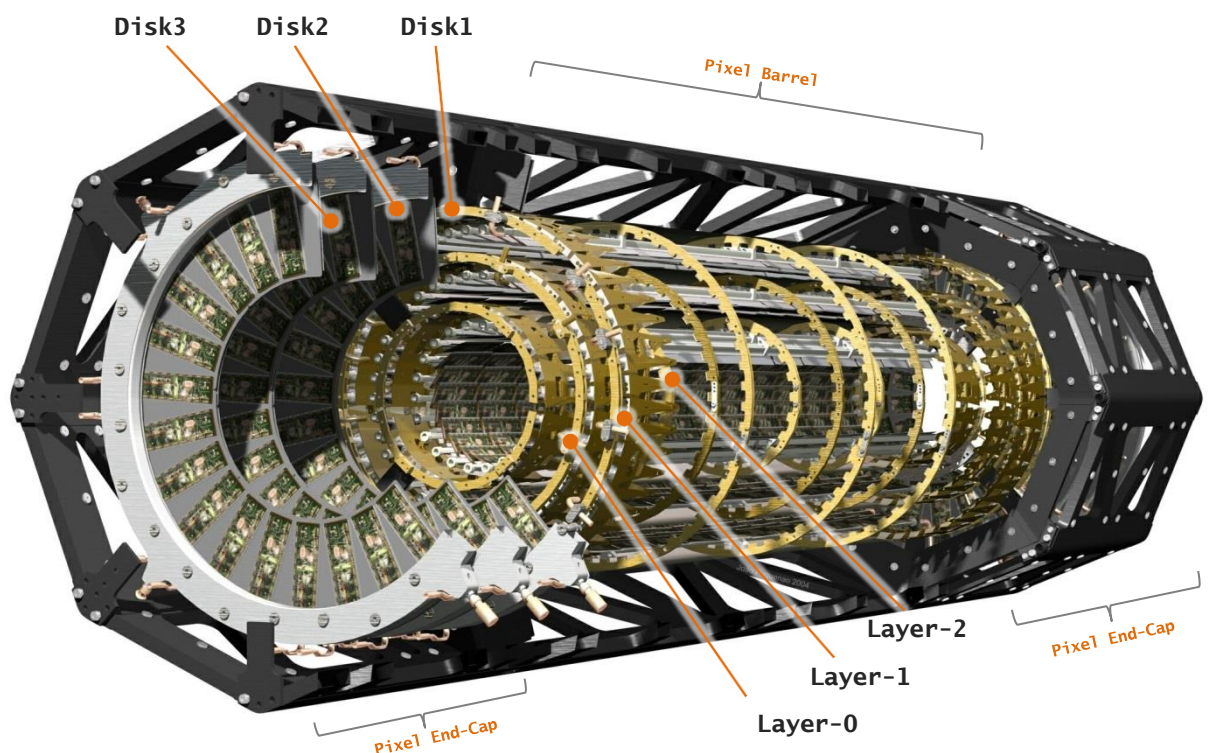
პიქსელში გამოყენებულია სილიკონური ტიპის დეტექტორი, კერძოდ N-ტიპის სილიკონის სენსორი. პიქსელ დეტექტორი შედგება 1744 პიქსელ მოდულისგან. თითოეული პიქსელ მოდული დაახლოებით 250 μm მიკრომეტრის სისქისაა და შეუძლია 19x63 მმ² ფართობზე დეტექტირება. ის შეიცავს 16 წამკითხავ ჩიპს, რომელსაც გააჩნია 47000 წამკითხავი არხი, რაც ელემენტარული ნაწილაკების მაღალი სიზუსტით დაფიქსირების საშუალებას იძლევა [23].

პიქსელის სისტემა დაყოფილია Pixel Barrel და ორ Pixel EndCap ნაწილად.

- Pixel Barrel შედგება სამი მილის ფორმის შრისგან (Layer-0, Layer-1, Layer-2) (სურ. 16), რომლებიც ერთმანეთში ზის რადიუსებით $\sim 4\text{cm}$, $\sim 10\text{cm}$ და

~13cm. Pixel Barrel ნაწილში სულ 1456 პიქსელ მოდულისგან შედგება რომლის ზომა 50 μm

- Pixel EndCap ორ (Side A და Side C) მხარეზე მდებარეობს. თითო მხარე შედგება სამი დისკის ფორმის დეტექტორებისგან (Disk1, Disk2, Disk3), შიდა და გარე რადიუსით 11-20სმ. Pixel EndCap-ის დისკები Z0-დან დაშორებულნი არიან 495, 580 და 650 მილიმეტრით. Pixel EndCap-ის ერთი მხარე 144 პიქსელ მოდულისგან შედგება.



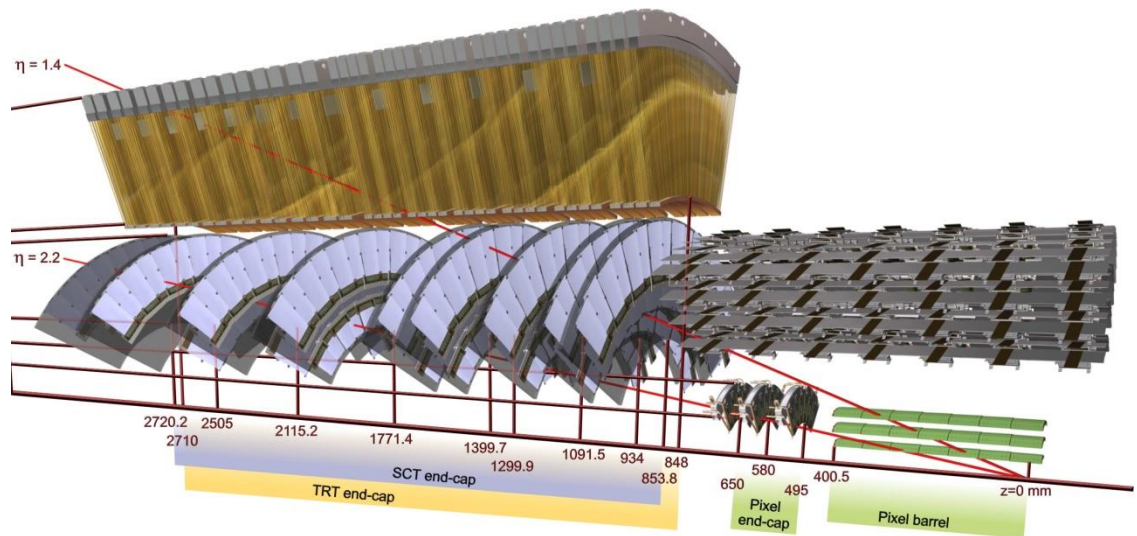
სურათი 16. პიქსელის სტრუქტურა

2.2.2 ნახევარგამტარული კვალის დამაფისირებელი (Semi-Conductor Tracker, SCT)

ნახევარგამტარული კვალის დამაფისირებელი (Semi-Conductor Tracker, SCT) - ID დეტექტორის შუა ნაწილია, რომელიც ნაწილაკის იმპულსს ზომავს როგორც პიქსელი. პიქსელისგან განსხვავებით SCT დეტექტორში გამოყენებულია სილიკონის მიკროგამტარული დამკვალავი სისტემა,

რომელიც 61 მ^2 ფართობზე ახდენს ნაწილაკების დაფიქსირებას 6.2 მილიონი წამკითხავი არხით (სურ. 17).

SCT Barrel ნაწილი შედგება ოთხი ერთმანეთში ჩაწყობილი ცილინდრული შრისგან, დიამეტრებით 299, 371, 443 და 514 mm. მოცემული შრეები აგებულია კარბონ-ბოჭკოვან კონსტრუქციაზე, რომელიც მეორეს მხრივ გაციების სისტემას წარმოადგენს. Endcap ნაწილები კი ორივე მხარეს სამ-სამად დაჯგუფებული ცხრა დისკისგან შედგება, რომლებიც სივრცული კარკასით არიან ერთმანეთთან დაკავშირებული [24].



სურათი 17. შიდა დეტექტორი

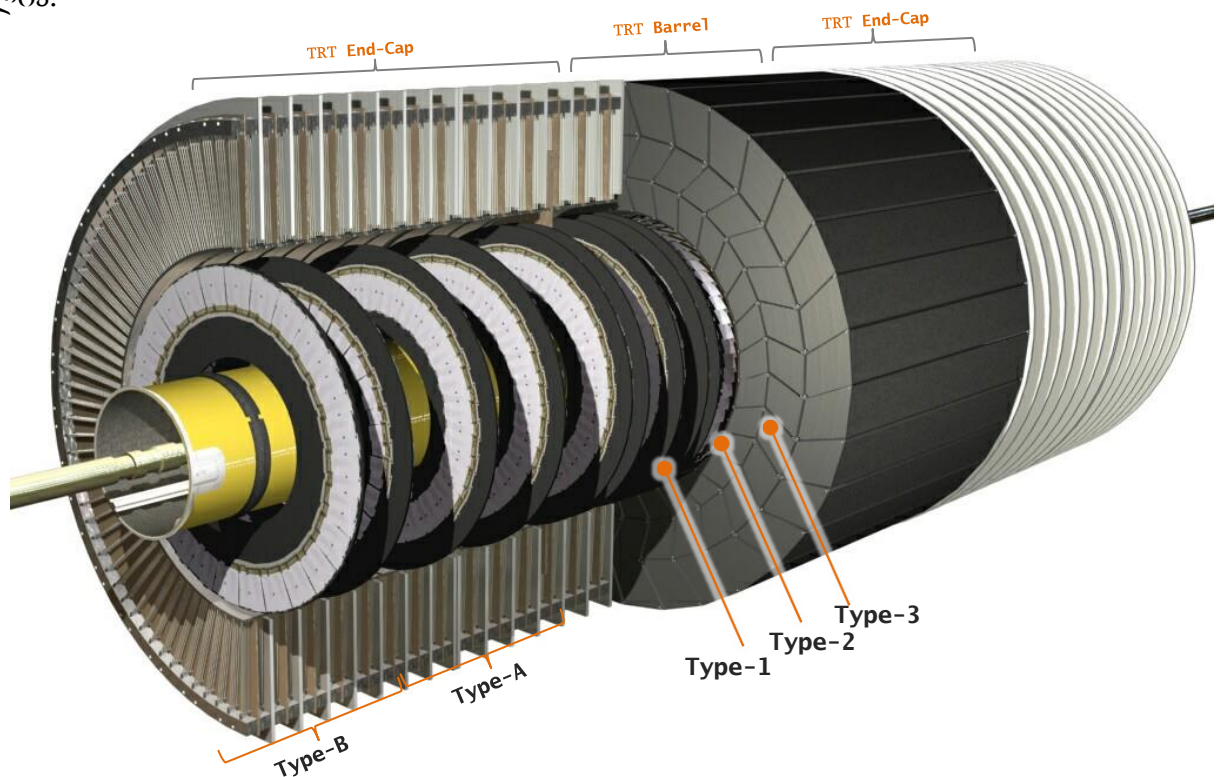
2.2.3 გარდამავალი რადიაციული კვალის დამაფიქსირებელი (Transition Radiation Tracker, TRT)

გარდამავალი რადიაციული კვალის დამაფიქსირებელი (Transition Radiation Tracker, TRT) - ID დეტექტორის გარე ნაწილია. მას ორი დატვირთვა აქვს: ერთი - როგორც ნაწილაკის კვალის და მეორე - გარდამავალი რადიაციის დაფიქსირება. TRT დეტექტორი შედგება 4 მმ-იანი მილებისგან და მილში არსებული ქსენონის გაზისგან, რომელიც იწვევს იონიზირებას ნაწილაკის მილში მოხვედრისას.

სტრუქტურულად TRT იყოფა Barrel-ად და ორ EndCap-ად.

Barrel თავის მხრივ ორი დამოუკიდებელი ნაწილისგან შედგება, რომელთა შიდა-გარე დიამეტრებია 554-1082mm და სისქე 780mm. თითო ნაწილში მოდულების სამი შრეა (Type-1, Type-2, Type-3), ხოლო თითო შრეში 32 მოდული (სურ. 18). სულ TRT Barrel-ის ორივე მხარე შედგება 96 მოდულისგან და მათში არსებული 52'544 მილისგან [22].

თითო EndCap იყოფა ორ ნაწილად (Type-A wheels, Type-B wheels), რომელთა შიდა გარე დიამეტრებია 615-1106mm და საერთო სისქე 1917mm. EndCap-ის ორივე ნაწილში 20 დისკის ფორმის მოდულია, სადაც სულ 122'880 მილია.



სურათი 18. TRT დეტექტორი

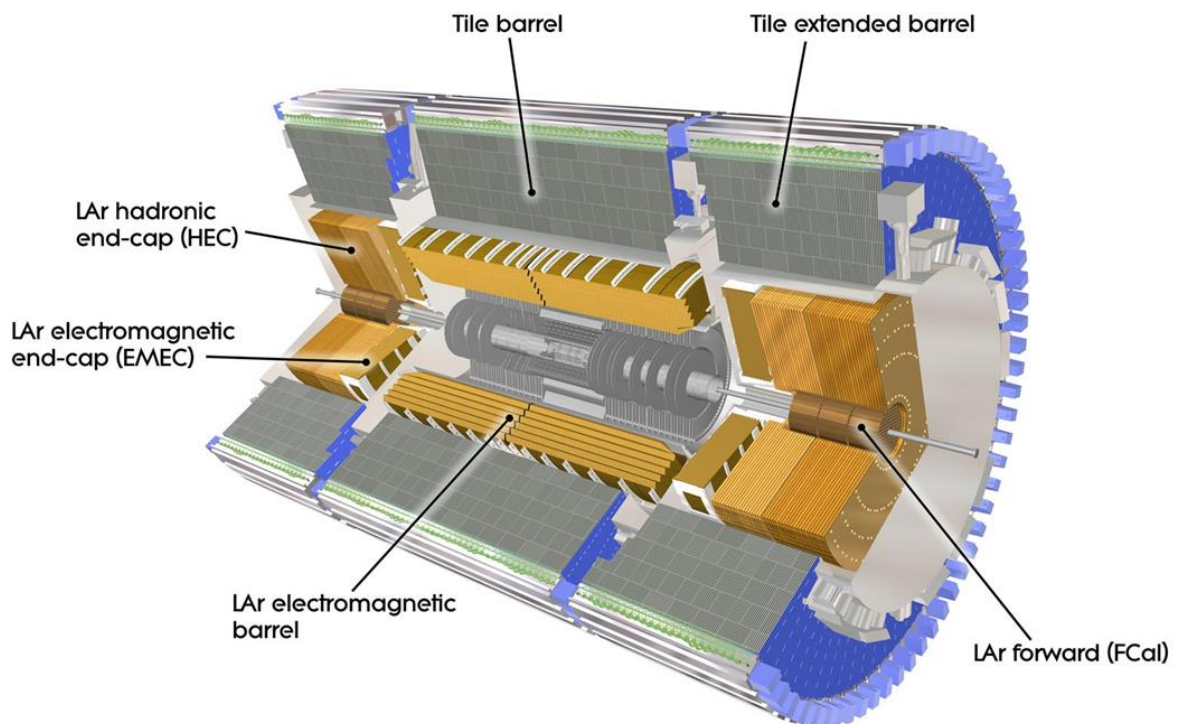
2.3 კალორიმეტრი - Calorimetry

კალორიმეტრის ძირითადი დანიშნულებაა დამუხტული და ნეიტრალური ელემენტარული ნაწილაკების ენერგიის გაზომვა. კალორიმეტრში არის ორი ძირითადი ნაწილი. ერთი შთანთქმელი ნივთიერება, რომელიც წარმოქმნის მუხტს და მეორე კალორიმეტრის

აქტიური ნაწილი, რომლიც აფიქსირებს და ზომავს ამ მუხტს. ელემენტარული ნაწილაკი ურთიერთქმედებაში შესვლით კალორიმეტრის მშთანთქმელ ნივთიერებასთან იშლება ქვენაწილაკებად, რომლებიც გამოყოფენ ენერგიას. კალორიმეტრის აქტიური ნაწილით კი გამოყოფილი ენერგიები იზომება და იჯამება [25].

კალორიმეტრი ორი ტიპის არსებობს:

- *ელექტრო-მაგნიტური კალორიმეტრი (ემკ)*, რომელიც ელექტრონისა და ფოტონის აღმოსაჩენად და გასაზომად არის შექმნილი. ემკ ყველა იმ ნაწილაკების ენერგიას შთანთქავს, რომლებიც ელექტრომაგნიტურ ურთიერთქმედებაშია.
- *ადრონული კალორიმეტრი* - შექმნილია ადრონული ჭავლის (jet) იდენტიფიცირებისა და გამოტოვებული განივი ენერგიის E_t^{Miss} გასაზომად. ადრონული კალორიმეტრი შთანთქავს ძლიერ ურთიერთქმედებაში მყოფი ნაწილაკების ენერგიას, რომელებიც ელექტრომაგნიტურ კალორიმეტრს გაცდნენ.



სურათი 19. კალორიმეტრი

ATLAS დეტექტორში კალორიმეტრები დაყოფილია ორ ნაწილად (სურ. 19):

1. შიდა ნაწილში თხევადი არგონის კალორიმეტრია LAr Calorimeter
2. გარე ნაწილში ტაილ-კალორიმეტრი Tile Calorimeter

2.3.1 LAr Calorimeter

თხევადი არგონის კალორიმეტრი იყოფა 3 Cryostat კამერად LAr Barrel-ად და ორ სიმეტრიულ LAr EndCap-ად.

1.1.1. LAr Barrel Cryostat-ში განთავსებულია ელექტრომაგნიტური კალორიმეტრი, რომელიც შედგება თხელი ზიგზაგისებრი სპილენძის ფირფიტებისგან და თხევადი არგონისგან. დეტექტორში მოხვედრილი ელექტრულად დამუხტული ნაწილაკი იწვევს თხევადი არგონის იონიზაციას, რისი დაფიქსირებაც შემდეგ სპილენძის ფირფიტებით ხდება. ასევე ელექტრომაგნიტური კალორიმეტრის შემადგენელი ნაწილია Presemples რომელიც გამოიყენება დაკარგული ენერგიის კორექციისთვის, რაც გამოწვეულია ID, Cryostat და Coil-ის მატერიალებით [26].

LAr ელექტრო მაგნიტური კალორიმეტრი და Presemples მოთავსებულები არიან იზოლირებულ „Cold wall“ კამერაში, რადგან LAr Barrel Cryostat-ში ელექტრომაგნიტური კალორიმეტრს და სოლენოიდის მაგნიტს საერთო LAr Barrel Cryostat კამერა აქვთ. Cryostat კამერის გარე კედელს Warm Wall-ს უწოდებენ (სურ.20).

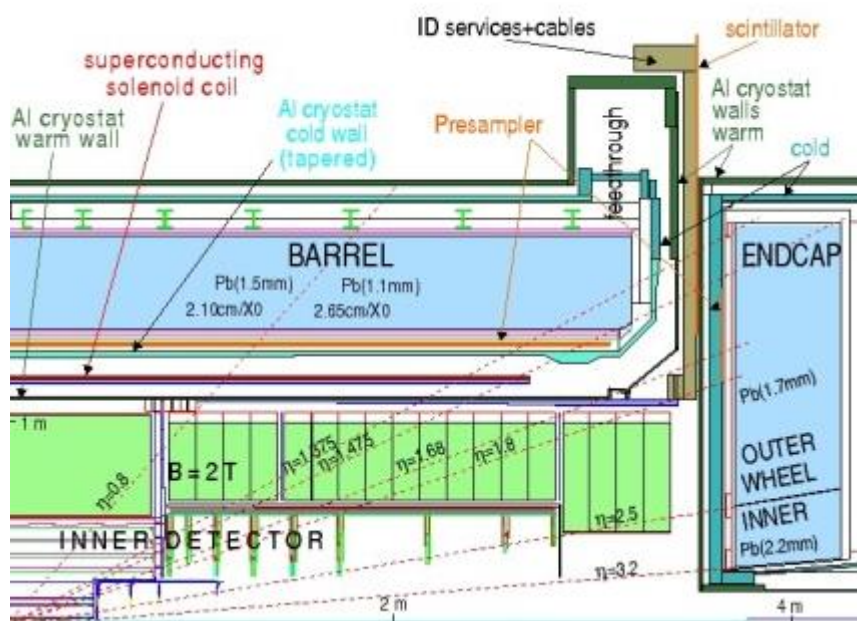
LAr EndCap-ში სამი ტიპის კალორიმეტრი:

1. LAr Electromagnetic EndCap (EMEC) - ელექტრომაგნიტური კალორიმეტრი, Presemples-ს ფირფიტასთან ერთად
2. LAr Hadronic EndCap Calorimeter (HEC) - ადრონული კალორიმეტრი. რომელიც ორი რგოლისგან შედგება, დიამეტრით 2.03 მეტრი. ადრონული კალორიმეტრი შედგება 25 მილიმეტრიანი სიგანის სპილენძის

ფირფიტებისგან. ფირფიტებს შორის 8.5 მილიმეტრიანი სიცარიელე შევსებულია სამი პარალელური ელექტროდით რომელთა შორის 1.8 მილიმეტრიანი შუალედი. თითოეული რგოლი 32 იდენტური მოდულისგან შედგება.

3. LAr EndCap-ის რგოლის ცენტრალურ ნაწილში არის LAr Forward Calorimeter (FCAL) -ფრონტალური ადრონული კალორიმეტრი, რომელიც სამი ნაწილისგან შედგება. პირველი სპილენძისგან არის დამზადებული, ხოლო დანარჩენი ორი ვოლფრამისგან.

ისევე როგორც LAr Barrel Cryostat-ს, EndCap-საც აქვს Warm Wall და Cold Wall კამერები.

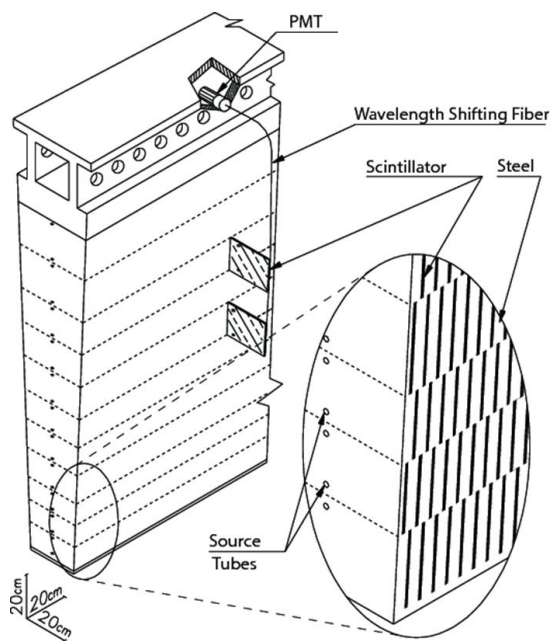


სურათი 20. LAr კალორიმეტრი

2.3.2 Tile Calorimeter

Tile Calorimeter - ადრონული კალორიმეტრია, რომელიც შესაბამისად ძლიერ ურთიერთქმედებაში მყოფი ნაწილაკების მუხტს ზომავს. Tile Calorimeter-ი შედგება სამი ნაწილისგან, Tile Barrel-გან და განაპირა ორი Tile Extended Barrel კალორიმეტრისგან. Tile კალორიმეტრი 64 მოდულისგან

შედგება რომლებიც წრიულად არიან განთავსებული და მთლიან რგოლს ქმნიან, შიდა და გარე დიამეტრით 2.28 - 4.25 m. Tile კალორიმეტრის მოდულის ძირითადი ნაწილებია რკინის ფირფიტები ანუ შთანთქმელი და სცინტილატორის ფირფიტები როგორც აქტიური მასალა, რომლებიც განლაგებულნი არიან სენდვიჩის სისტემით, თანმიმდევრობით [27] (სურ. 21).



სურათი 21. Tile კალორიმეტრი

2.4 მიონური სისტემა (Muon Spectrometer)

ბოლო შრე - მიონური სპექტრომეტრი არის დამკვალავი დეტექტორი, რომელიც ტოროიდული მაგნიტების დახმარებით მიონური ნაწილაკების ტრაექტორიის გამოსათვლელად არის საჭირო. მიონური ნაწილაკი ნაკლებად შედის სხვა ელემენტებთან კავშირში და მისი ძალის დანაკარგი ნაკლებია. შესაბამისად მიონური ნაწილაკების გამოსაკვლევად მიონური სისტემას გარკვეული სივრცე და ძლიერი მაგნიტური ველი სჭირდება რათა შედეგები მაქსიმალურად ზუსტი იყოს მიღებული [28].

მიონური სპექტრომეტრი შედგება ოთხი ქვესისტემური კამერებისგან:

ზუსტი კვალის ამომცნობი კამერები

- MDT – Monitored Draft-tube Chambers
- CSC – Cathode Strip Chambers

ტრიგერული კამერები

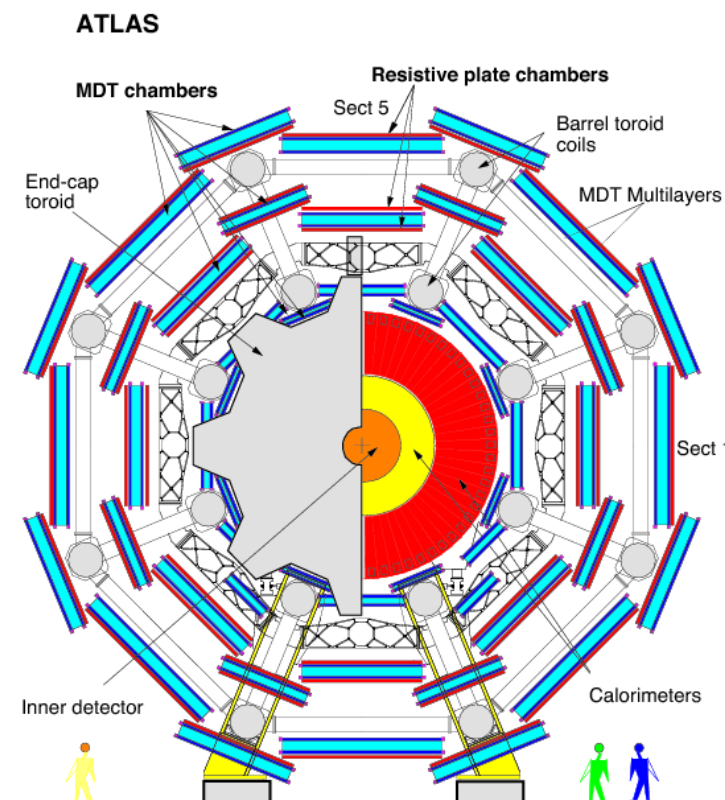
- RPC – Resistive Plate Chambers
- TGC – Thin Gap Chambers

MDT - Monitored Draft-Tube Chambers დრეიფული კამერაა, რომელიც შედგება ალუმინის თხელი 30mm-იანი დიამეტრის მილებისგან, მათში გამავალი წვრილი 50 μm მავთულისგან და ნარევი გაზისგან, რომლის იონიზაცია წარმოქმნის სიგნალს.

CSC – Cathode Strip Chambers მრავალ მავთულიანი პროპორციული კამერის ძირითადი ნაწილებია გრძივად განლაგებული 1.5mm სიგანის კათოდის ფირფიტები და მის მართობულად განლაგებული ანოდის წვრილი მავთულები. ასევე გარე დამცავი თხელი ზედაპირისგან და შიგ არსებული გაზისგან.

ტრიგერული კამერების RPC და TGC ძირითადი დანიშნულებაა კვალის ინფორმაციის სწრაფი მიღება, რომლითაც გამოითლება ნაწილაკების სავარაუდო რაოდენობა და ენერგია. შემთხვევითი უზუსტობების შესამცირებლად, რომელიც გამოწვეულია ფონური ნაწილაკების სიგნალებით, ტრიგერულ კამერებში გათვალისწინებულია დამოუკიდებელ ორ კოორდინატზე სიგნალების დამთხვევის აუცილებლობა.

ATLAS დეტექტორში მიონ სპექტრომეტრის სტრუქტურა დაყოფილია Barrel და ორ სიმეტრიულ End-Cap. ეს კამერები შემდეგნაირად არიან განლაგებულნი. ბარელში კამერები სამ (Inner, Middle და Outer) შრედ, წრიულად არის განაწილებულები, რადიუსით 5m, 7.5m, და 10m-ზე (სურ. 22). თითო წრიულ შრეში 16 სექტორად არის დაყოფილი, სადაც კენტ სექტორებში დიდი (Large) კამერებია, ხოლო ლუწ სექტორში - პატარა (Small) კამერები. თითო სექტორში 12 კამერაა, Z0-დან ექვს-ექვსად სიმეტრიულად გადანაწილებული და გადანომრილი 1-დან 6-მდე. შესაბამისად კამერის სახელებიც მათი ადგილმდებარეობიდან გამომდინარეობს. მაგალითად: BOL – Barrel Outer Large, BIS- Barrel Inner Small და ა.შ. ასევე არის გამოწვევები BOF, BOG, BMF, BMR და BIR რომლებიც დეტექტორის ფეხებთან არიან განთავსებულები და არასტანდარტული ფორმა აქვთ. ძირითადად თითო მოდულის ჩარჩოზე ორ მხარეს, 3-4 ფენად არის განლაგებული MDT დრეიფული მილები, მათი მთლიანი რაოდენობა ბარელ ნაწილში 191568 მილია.



სურათი 22. Muon Barrel დეტექტორი

ბარელის სამივე შრეში MDT კამერების საერთო რაოდენობა 656 კამერაა.

Barrel Inner შრეში ყველა მოდული მხოლოდ MDT კამერებისგან შედგება.

Barrel Middle შრეში თითო მოდული აგებულია ორი ფენა MDT კამერისგან და ორი RPC კამერისგან, რომელიც MDT ზევიდან და ქვევიდან აკრავს.

Barrel Outer შრის მოდული ერთი MDT და ერთი RPC კამერისგან შედგება.

Muon EndCap კალორიმეტრი იყოფა სამი დისკის ფორმის ნაწილად (სურ. 23)

- EndCap Inner (EI) - Small Wheel,
- EndCap Middle (EM) - Big Wheel
- EndCap Outer (EO) - Outer Wheel

თითო დისკი ისევე როგორც ბარელში აქაც დაყოფილია 16 სექტორად. სადაც კენტ სექტორებში დიდი (Large) ზომის კამერებია გამოყენებული და ლუწ სექტორებში პატარა (Small).

EndCap Inner შრე თავის მხრივ კიდევ დაყოფილია 5 წრიულ შრედ:

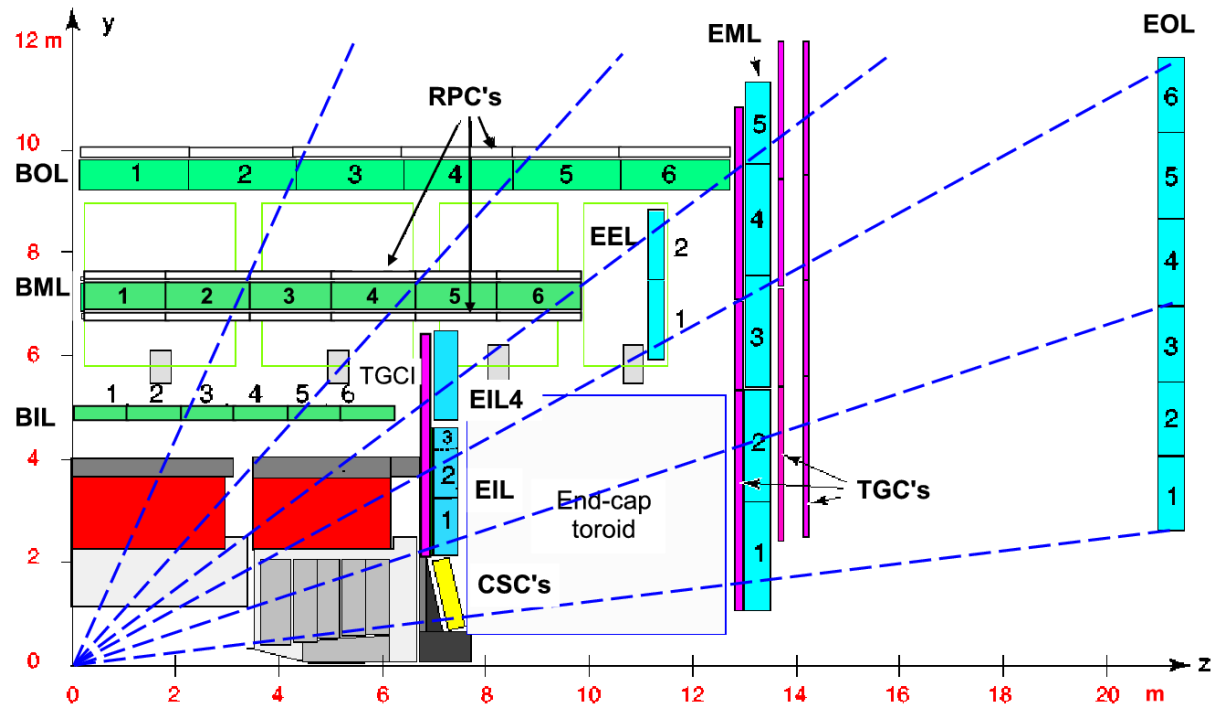
პირველი წრიული შრე, რომელის ყველაზე ახლოსაა Z0-თან, შედგება CSC კამერებისგან. მეორე შრე MDT და TGC კამერებისგან. დანარჩენი 3 წრიული შრე მხოლოდ MDT კამერებით შედგენილი მოდულებია [29].

EndCap Middle-იც 5 წრიული შრისგან შედგება, სადაც თითო მოდული ორმაგი MDT კამერაა. ამასთანავე EndCap Middle ანუ Big Wheel აქვს 3 დისკის ფორმის TGC კამერისგან შედგენილი მოდული.

EndCap Outer 6 წრიული შრისგან შედგება, რომელიც ასევე MDT კამერებისგან შედგება.

გარდა ამისა, გარკვეულ უბანზე მონაცემების უფრო ზუსტად მისაღებად ჩაემატა კიდევ ერთი შრე EndCap Extra (EE), რომელიც EndCap Inner-სა და Middle შორის არის. EndCap Extra სულ ორი წრიული შრისგან შედგება და

EndCap Toroid-ის ირგვლივ არის განთავსებული. სულ Muon EndCap კალორიმეტრში 494 MDT და 16 CSC კამერაა.



სურათი 23. Muon დეტექტორი

ATLAS დეტექტორში გარდა 4 ძირითადი კომპონენტისა ასევე არის დეტექტორის კონსტრუქციისთვის საჭირო დამხმარე სისტემები და სერვისები.

2.5 დამხმარე კომპონენტები

1. მაკონტროლებელი სისტემა (Alignment system)
2. Warm Structure
3. Feet - დეტექტორის ფეხები
4. შიდა პლატფორმები, Inner platforms
5. პავილიონის გარე სტრუქტურა - Surrounding Structure (HS, HO)
6. ელექტრო კარადები - Racks

7. კაბელები და მილები - *Cables and tubes*
8. სერვისები და მისი სამაგრები - *Supports for services*
9. კრიოგენული სისტემა - *Cryogenic system*
10. შენობა-ნაგებობა - *Civil Engineering*
11. ვენტილაცია და გაციების სისტემა - *Air-conditioning and cooling system*

მაკონტროლებელი სისტემა (Alignment system) უზრუნველყოფს Muon სპექტრომეტრის MDT და CSC კამერების პოზიციონირებას და დეფორმაციის განსაზღვრას ოპტიკური მზომი სენსორებით [31]. ოპტიკური მზომი არის სხვა და სხვა ორ ობიექტზე განთავსებული ორი სენსორული მოწყობილობა და მათ შორის არსებული ოპტიკური სხივი რომლითაც იზომება მანძილი ორ ობიექტს შორის. სენსორის მუშაობისთვის აუცილებელი პირობაა რომ სხივი არ უნდა იკვეთებოდეს რამე სხვა ობიექტით. Muon სპექტრომეტრის არეალში გამოყენებულია ასობით სენსორი, რამაც ინჟინრებისთვის ინსტალაციის პროცესი ძალიან გაართულა. Muon სპექტრომეტრში სენსორების სამი ტიპი გამოიყენება RASNIK (R), BCAM (B) და SaCam (S). მაკონტროლებელი სისტემა არის როგორც Barrel ნაწილში ისე End-Cap ნაწილში.

Barrel Alignment სისტემა იყოფა 7 კომპონენტად:

1. In-plane (R) – აკონტროლებს MDT კამერის დეფორმაციას;
2. Praxial (R) - ზომავს მანძილს გვერდიგვერდ მდებარე MDT კამერებს შორის;
3. Axial (R) - ზომავს სექტორში შრეების დეფორმაციას ;
4. Projective (R) - ზომავს სექტორში შრეების შორის მანძილს;
5. Reference (S) – ზომავს მანძილს კამერებსა და ტოროიდულ მაგნიტს შორის;
6. CCC (S) - ზომავს მანძილს Large და Small კამერებს შორის;
7. BIR-BIM (R) – ზომავს მანძილს ორი BIR და BIM კამერებს შორის.

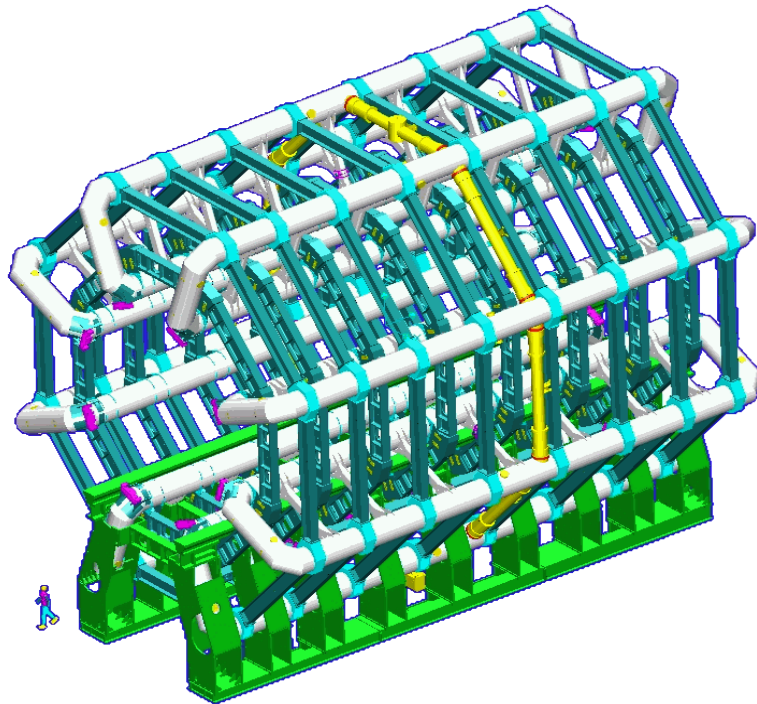
End-Cap Alignment სისტემა კი იყოფა 8 კომპონენტად:

1. In-plate (R) – MDT კამერის დეფორმაციის მზომი
2. In-Bar (R) – End-cap Muon სექტორული კონსტრუქციის ჩარჩოს დეფორმაციის მზომი
3. Radial (B) – End-cap Muon სექტორული კონსტრუქციის ჩარჩოს დეფორმაციის მზომი
4. Polar (B) – End-cap ის შრეებს შორის მანძილის მზომი
5. Azimuthal (B) – სექტორის ჩარჩოს გრძივ ღერძებს შორის მანძილის მზომი
6. Proximity (R) – სექტორში არსებული MDT კამერების ერთმანეთთან კავშირის მზომი
7. Saloon Door (B) – MDT კამერის ჩარჩოს მზომი
8. 3D Sensor (B) – CSC კამერების ერთმანეთთან კავშირისა და კამერის ჩარჩოს მზომი

Warm Structure – Barrel ტოროიდის დამხმარე სტრუქტურაა, რომელიც 8 მაგნიტის ერთმანეთთან აკავშირებს წრიულად. Warm Structure დაყოფილია 8 შრედ (სურ. 27). ხოლო თითო შრე შედგება ორი წრიული ფორმის ალუმინის კონსტრუქციისგან [16]. Warm Structure-ს ანაწყობი შედგება ოთხი ძირითადი დეტალისგან (Voussoir; Voussoir Box; Strut; Struts Ring). გარე წრეზე გამოყენებულია Struts და Struts Ring, ხოლო შიდა წრეზე Voussoir და Voussoir Box. Struts Ring და Voussoir Box დეტალები Coil მაგნიტზეა დამაგრებული (სურ. 24).

Feet – დეტექტორის ფეხები. დეტექტორი წყვილად განლაგებულ 14 ფოლადის კონსტრუქციაა, რომელზეც დგას ატლას დეტექტორის მოწყობილობა (სურ. 24). თითო წყვილი ფეხი ერთმანეთთან დაკავშირებულია ალუმინის H ფორმის ძელით, ხოლო 7 წყვილი ფეხი ერთმანეთზე დაკავშირებულია თავზე გადებული ორი რელსით. ამ ორი რელსის საშუალებით დამონტაჟდა შიდა დეტექტორის კომპონენტები და სამომავლო განახლებებისთვისაც ამ რელსების საშუალებით მოხდება ძველი კომპონენტების გამოტანა და ახლის კომპონენტების ჩადგმა.

ასევე ფეხებზე დაკიდულია ბარელ ტოროიდის ორ მაგნიტი, რაზეც შემდგომ აიგო Warm Structure.



სურათი 24. Warm სტრუქტურა და დეტექტორის ფეხები

დეტექტორის Warm Structure-ზე დამაგრებულია შიდა პლატფორმები (Inner platforms) რომლებიც უზრუნველყოფენ ინჟინრების და მომსახურე პერსონალის დეტექტორის ყველა წერტილთან წვდომას დეტექტორის ასაგებად და შემდგომი ექსპლუატაციისთვის. პლატფორმები დეტექტორის 8 ძირითად წერტილშია (1,3,5,7,9,11,15 და 13 სექტორებშია) განთავსებული

პავილიონის გარე სტრუქტურა - Surrounding Structure (HS, HO)

პავილიონის გარე სტრუქტურა 20 მეტრის სიმაღლის, 13 სართულიანი სტრუქტურაა, რომელიც გამოიყენებოდა დეტექტორის ასაგებად და შიდა პლატფორმებთან წვდომისთვის. HS სტრუქტურა განთავსებულია ATLAS დეტექტორის ცენტრალური ნაწილის გარშემო, პავილიონის კედელზე. HO სტრუქტურა პავილიონის 2 ბოლოშია აგებული, რომლის ძირითადი მიზანია End-Wall მიონური კამერების დამაგრება და ასევე Big Wheel მიონური კამერების აგება. მთლიანი გარე სტრუქტურა დაახლოებით 1000 ტონას იწონის და ძირითად მასალად რკინაა გამოყენებული.

კარადები (Racks) ემსახურება როგორც ელექტროენერგიის განაწილებას ისე დეტექტორიდან სიგნალების მიღებას და გაცემას. დაახლოებით 100 კარადაა განთავსებული ძირითადი პავილიონის HS გარე სტრუქტურაზე. USA15 ორსართულიან პავილიონში განთავსებულია 250 მდე კარადა. ხოლო US15 პავილიონში - 70 მდე კარადაა. გარდა კარადებისა ასევე ძირითადი პავილიონის 3 ზონაში არის გამანაწილებელი პანელები (Patch Panel - PP3, PP2, PP1). სადაც PP3 HS გარე სტრუქტურაზეა განთავსებული, ხოლო PP2 და PP1 დეტექტორის შიგნით.

დეტექტორის ფუნქციონირებისთვის გამოიყენება ათასობით კაბელი და მილები (Cables and tubes). კაბელები გამოიყენება როგორც ელექტრო ენერგიის გადასაცემად ისე დეტექტორიდან გამომავალი სიგნალების მისაღებად. ძირითადად გამოიყენება სპილენძის და ალუმინის მასალის კაბელები და ასევე ოპტიკური კაბელები ინფორმაციის ჩქარი გადაცემისთვის. მილების ძირითადი ნაწილი ეკუთვნის გაციების სისტემას, რომლის მასალა სპილენძი და ალუმინია. დეტექტორში დაახლოებით 50000 კაბელი და 3000 მდე მილია გამოყენებული.

სერვისებში იგულისხმება დეტექტორისთვის საჭირო დამხმარე კონსტრუქციები. ასე მაგალითად კაბელების ძირითადი ნაწილი დეტექტორს ცენტრალური ნაწილში იყრის თავს და გარეთ გამოდის კაბელების არხებით. კაბელების არხები დეტექტორის 8 წერტილშია დამონტაჟებული დამხმარე კონსტრუქციებზე. კაბელისა და მილების არხები კი თავის მხრივ დამაგრებულია შესაბამისი სამაგრებით ზოგი ზედ დეტექტორში ზოგი პავილიონის გარე სტრუქტურაზე. კაბელებისთვის გარე სტრუქტურაზე წრიულად გასდევს 4 ძირითადი არხი. რომლებიც საბოლოოდ მიემართება USA15 პავილიონში.

კრიოგენული სისტემის (Cryogenic system) აგრეგატები და გაცივებისთვის საჭირო სითხის საცავები ძირითად პავილიონის HS გარე სტრუქტურაზეა განთავსებული. LAr კალორიმეტრის ძირითადი გაციების

აგრეგატი HS გარე სტრუქტურის ძირშია განთავსებული. მე-5 სართულზე არსებულ საცავებთან ერთად არის დრეკადი მილებისგან შექმნილი კონსტრუქცია, რომელიც End-Cap ტოროიდს ეხმარება გადაადგილებისას.

UX15 - ATLAS-ის ძირითადი პავილიონია (50 მეტრი სიგრძის, 30 მეტრი სიგანის და 35 მეტრი სიმაღლის), რომელიც რკინა ბეტონით არის აშენებული. მის კონსტრუქცია არასტანდარტულია და სახურავი 7000 ტონას იწონის. სახურავზე არის გამჭოლი ორი შახტის მილი PX14 და PX16, რომელთა დიამეტრებია 18 და 12.6 მეტრი [32]. მოცემული მილებიდან მოხდა დეტექტორისთვის საჭირო კომპონენტების ჩატანა. Side A და C მხარე კედლის შუაში არის LHC-ის ამაჩქარებლის გვირაბთან დაკავშირებული. USA15 და US15 პავილიონები UX15-ის გვერდითა პავილიონებია, რომლებიც გვირაბებით არიან დაკავშირებულები ძირითად პავილიონთან. ამ გვირაბებიდან ხდება სერვისების შეყვანა UX15 პავილიონში.

პავილიონში ვენტილაცია და გაციების სისტემა (Air-conditioning and cooling system) უზრუნველყოფენ $25 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურას და 25%-60% ნესტიანობას. პავილიონში პირველ ეტაპზე მათი დაინსტალირება მოხდა.

Shielding - ცილინდრული ფორმის დამცავი ეკრანია, რომლის ფუნქციაა დეტექტორი დაიცვას კონკრეტული ელემენტარული ნაწილაკებისგან. Shielding-ის დეკომპოზიციით მიიღება 6 ტიპის სხვადასხვა დამცავი ეკრანი [30]:

Disk Shielding - დამცავი ეკრანი მდებარეობს Endcap კალორიმეტრსა და Endcap Inner Muon დეტექტორს შორის. მისი ძირითადი ფუნქციაა EC Inner Muon დეტექტორის დაცვა ფონური რადიაციისგან და ასევე სოლენოიდის მაგნიტური ველის ნაკადის გავრცელებისგან.

Forward Shielding – შედგება ორი ანაწყობისგან რომლებიც უზრუნველყოფენ Endcap Middle (EM) და Endcap Outer (EO) მიონური სისტემის დაცვას ფონური ნაწილაკებისგან, რომლებიც წარმოიქმნება მეორადი ურთიერთქმედებით კალორიმეტრთან და TAS კალორიმეტრთან. ორივე ნაწილი შედგება თუჯის მასალისგან, რომელიც გარედან დაფარულია

პოლიეთილენის შრით. ერთ ნაწილს ცილინდრული ფორმა აქვს, ხოლო მეორეს ოქტაგონალური ფორმა. ამისდა მიუხედავად Forward Shielding-ის არის EA, რადგან მისი დეკომპოზიცია იწვევს მიონური სისტემისთვის დამცავი ეკრანის თვისების დაკარგვას.

2.6 პრობლემის დასმა და საკვლევი ამოცანები

ამრიგად, ატლასის დეტექტორი წარმოადგენს რთული და კომპლექსურ საინჟინრო ნაგებობას, რომელიც შედგება სხვადასხვა ტიპის და დანიშნულების მქონე ანაწყობებისგან და ქვეანაწყობებისგან. შედეგად, დეტექტორის ერთიანი გეომეტრიის შესაქმნელად საჭიროა სტრუქტურული ფორმალიზმის დამუშავება, რაც თავის მხრივ გულისხმობს გარკვეული ნიშნებით კომპონენტების კლასიფიკაციას, დეკომპოზიციას და ტიპური სტრუქტურების გამოყოფას.

ATLAS-ის დეტექტორის სტრუქტურა შეიძლება აღიწეროს იერარქიული ხის სახით დეტექტორის კომპონენტებს შორის არსებული ლოგიკური კავშირებიდან გამომდინარე. როგორც ATLAS დეტექტორის აღწერაში იქნა განხილული თითქმის ყველა კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება ქვეკომპონენტები, რომლებიც თავის მხრივ კიდევ იყოფა ქვეანაწილებად, სხვადასხვა კრიტერიუმებიდან გამომდინარე.

ATLAS-ის დეტექტორის კლასიფიკაციისათვის და სტრუქტურული ფორმალიზმის დამუშავებისთვის მნიშვნელოვანია დეკომპოზიციის კრიტერიუმები, რომლის გათვალისწინებითაც დეტექტორის თითოეულ ნაწილს მიკუთვნებული იქნება იერარქიულ ხის შესაბამის კომპონენტზე.

ATLAS-ის დეტექტორის სტრუქტურის შესაქმნელად დეკომპოზიცია უნდა განხორციელდეს ისე რომ შენარჩუნებული იქნას ძირითადი კომპონენტების სისტემური თვისებები. ანუ სტრუქტურის დაშლა უნდა განხორციელდეს ე.წ. ელემენტარული ანაწყობების (EA) დონემდე. EA წარმოადგენს მექანიკურ სტრუქტურას, რომლის შემდგომი დეკომპოზიცია

იწვევს დეტექტორის შესაბამისი კომპონენტების სისტემური თვისების დაკარგვას.

ამრიგად, დისერტაციის საკვლევ ამოცანებს წარმოადგენენ:

1. კომპონენტების დეკომპოზიციის მიდგომის დამუშავება
2. კლასიფიკატორების შერჩევა
3. სტრუქტურაში იერარქიული დონეების გამოყოფა
4. სტრუქტურული კლასებისა და ქვეკლასების გამოყოფა
5. თითოეულ კლასში იერარქიული დონეების მიხედვით ობიექტების სტრუქტურირება
6. 3D მოდელების შეფასებისა და შერჩევის მეთოდების დამუშავება.

თავი III: დეკომპოზიციის I ეტაპი: კომპონენტების დაშლა მათი ფუნქციონალური დანიშნულების მიხედვით

3.1 კომპონენტების დეკომპოზიციის პრიტერიუმების დამუშავება

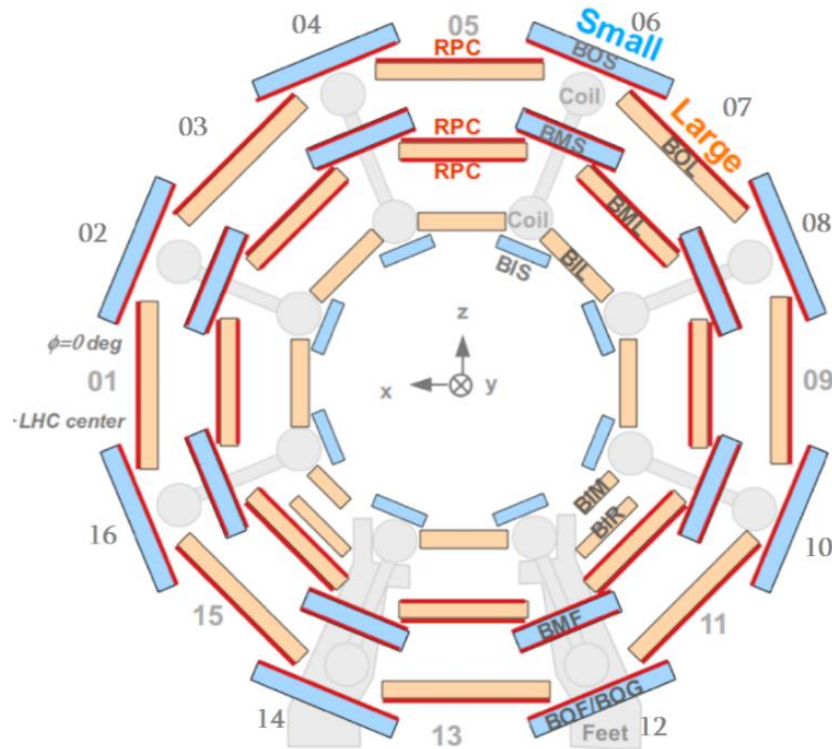
ATLAS-ის დეტექტორი კომპლექსური საინჟინრო ნაგებობაა, რომლის სტრუქტურა, როგორც უკვე მე-2 თავში იყო აღნიშნული, შეიძლება წარმოდგენილი იქნას იერარქიული ხის სახით. კომპონენტების დეკომპოზიციისთვის საჭიროა კრიტერიუმების არსებობა. ATLAS დეტექტორის შემთხვევაში იარსებებს რამდენიმე ტიპის კრიტერიუმთა სისტემა:

1. ფუნქციონალური კრიტერიუმები {Φ}, რომლებიც ახასიათებენ დეტექტორის კომპონენტების სისტემურ თვისებებს;
2. {Γ} კრიტერიუმები, რომლებიც ახასიათებენ კომპონენტების სივრცეში განაწილებას
3. {Ψ} კომპონენტების სიმეტრიული კრიტერიუმები

{Φ} კრიტერიუმი შეიძლება შერჩეულ იქნას მე-2 თავში განხილული დეტექტორის აღწერის შესაბამისად.

{Φ} კრიტერიუმებით დეკომპოზიციის შედეგად მიღებული ელემენტარული ანაწყობები დეტექტორის ზოგიერთი ქვეკომპონენტისთვის წარმოადგენენ რთულ და კომპლექსურ ანაწყობებს, მაგალითად Coil-ების სისტემა, EndCap მიონური სისტემა, პლატფორმები და ა.შ. ამასთანავე რიგი ქვეკომპონენტები, თავისი შემადგენლობით სივრცეში განაწილებული არაერთგვაროვანი სტრუქტურებია. ამიტომ საჭიროა დეკომპოზიციის შემდგომი ეტაპები {Γ} კრიტერიუმთა სისტემის მიხედვით, რათა მიღებული იქნას დეტექტორის ერთიანი გეომეტრიული მოდელის ისეთი ფორმალიზმი რომელიც უპასუხებს ფიზიკური და საინჟინრო ამოცანების გადაწყვეტას.

ATLAS-ის დეტექტორის სივრცეში განაწილებისთვის გამოიყენება სექტორებად დაყოფის სისტემა (სურ. 25). დეტექტორის სექტორები იყოფა 16 თანაბარ ნაწილად რომლებიც ამაჩქარებლის ღერძის ირგვლივ 22.5°

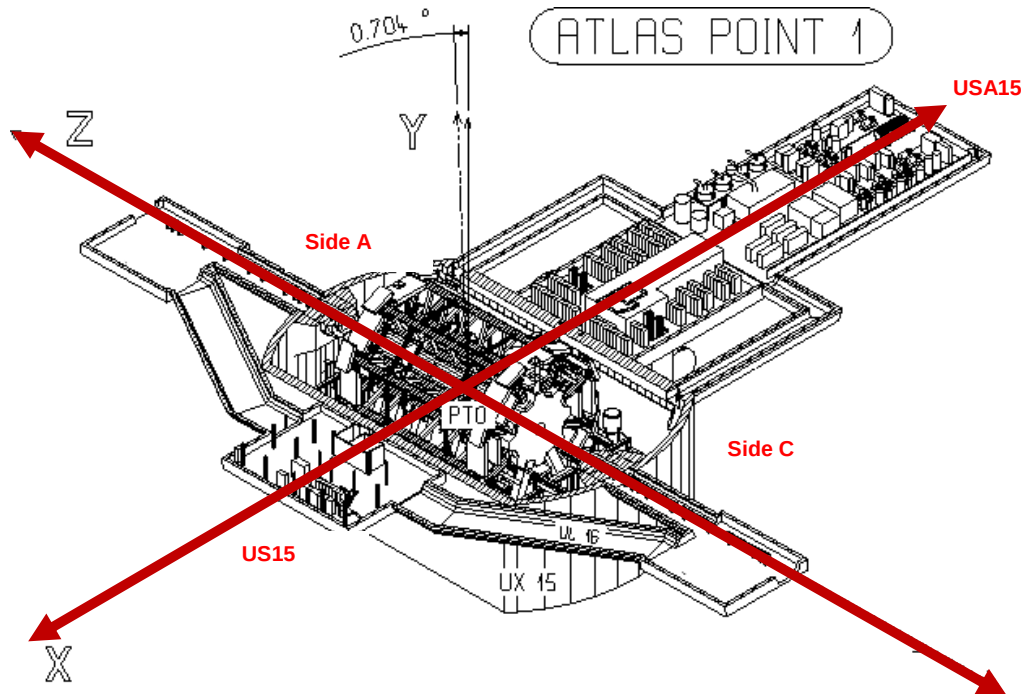


სურათი 25 - ATLAS დეტექტორის სექტორები

გრადუსით არიან შემობრუნებულები. საინჟინრო კოორდინატთა სისტემის მიმართ სექტორები დაყოფილია Y ღერძზე და სექტორების გადათვლა იწყება X_0 -დან.

ATLAS-ის დეტექტორი სიმეტრიული საინჟინრო ნაგებობაა Z_0 -ის მიმართ. მისი სიმეტრია განპირობებულია თვითონ დეტექტორის ამოცანიდან გამომდინარე. შესაბამისად $\{P\}$ და $\{F\}$ დეკომპოზიციის შედეგად მიიღება ისეთი ელემენტარული ანაწყოები რომლებიც შეიცავენ სიმეტრიულ კომპონენტებს. მაგალითად EndCap Toroid, Endcap მიონური სისტემა, Endcap კალორიმეტრი და ა. შ. იგივე შეეხება ინფრასტრუქტურის ზოგიერთ კომპონენტებსაც, მაგალითად Surrounding Structure HO. აქედან გამომდინარე შემდეგ ეტაპზე უნდა მოხდეს დეტექტორის იმ EA კომპონენტების დაშლა, რომლებიც ადგილმდებარეობით სიმეტრიულად

არიან განაწილებულები Z0-ის მიმართ. ATLAS დეტექტორის აღწერის თანახმად [21] სიმეტრია Z0-ის მიმართ შესაძლებელია არსებობდეს Z ღერძის (Side_A და Side_C) და X ღერძის მიმართ (US15 და USA15) (სურ. 26).



სურათი 26 - ATLAS დეტექტორის სექტორები

კომპონენტების დეკომპოზიცია მოყვანილი კრიტერიუმებით უნდა განხორციელდეს შემდეგი თანმიმდევრობით: ჯერ უნდა მოხდეს $\{\Phi\}$ კრიტერიუმებით ფუნქციონალური დეკომპოზიცია და $EA|_{\Phi}$ -ს გამოყოფა; შემდგომ $EA|_{\Phi}$ უნდა დაიშალოს სივრცითი კრიტერიუმებით $\{\Gamma\}$ და გამოიყოს $EA|_{\Gamma}$; შემდგომ ეტაპზე $EA|_{\Gamma}$ უნდა დაიშალოს სიმეტრიულობის კრიტერიუმით $\{\Psi\}$ და გამოიყოს $EA|_{\Psi}$.

3.2 კლასიფიკატორების შერჩევა

კლასიფიკაცია არის მეთოდი რომელიც საშუალებას იძლევა განხორციელდეს ობიექტების დაყოფა/დაჯგუფება სიმრავლეში მათი შემდგომი გამოყენების გამარტივების მიზნით.

კლასიფიკაცია ეფუძნება დეკომპოზიციისა და სინთეზის სამეცნიერო მეთოდებს. დეკომპოზიცია ახორციელებს ერთიანი დიდი ამოცანის დაშლას განსხვავებული ნიშნის მქონე პატარა ამოცანებად, ხოლო სინთეზი, საერთო ნიშნის მქონე ამოცანების გაერთიანებას ერთ ამოცანად. დეკომპოზიცია უნდა აკმაყოფილებდეს 2 ძირითად პირობას - სისავსე და სიმარტივე:

- სისავსე გულისხმობს დეკომპოზიციით დაყოფილი ობიექტებიდან მაქსიმალურად დეტალური ინფორმაციის მიღებას
- სიმარტივე - გამოყოფილი ჯგუფების ერთობლიობა უნდა იყოს მაქსიმალურად კომპაქტური როგორც სიგრძეში ისე სიღრმეში. დაყოფის სიღრმე არ უნდა აღემატებოდეს 7 დონეს, რადგან ადამიანს შეუძლია 7-მდე არსებული მასივების დონის აქტიური აღქმა და ანალიზის გაკეთება. 5 დონის შემთხვევაში ტვინი მუშაობს კომფორტულად, დიდი დატვირთვის გარეშე, შესაბამისად გამოირიცხება დაღლილობა და შეცდომების დაშვება. 3 დონის შემთხვევაში პროცესი მიმდინარეობს ფაქტიურად ავტომატურად, ანუ შინაგანი განხილვის გარეშე.

კლასიფიკაციის ორი ტიპი არსებობს [34]:

- ფასეტური კლასიფიკაცია გულისხმობს ურთიერთდამოუკიდებელი თვისებების კომბინაციით განხორციელებულ კლასიფიკაციას. მისი დადებითი მხარეა მოქნილობა, ანუ ფასეტის შეცვლა არ იწვევს დიდ ცვლილებას უკვე არსებულ დაჯგუფებაში, ხოლო უარყოფითი მხარეა ჯგუფებში მემკვიდრეობითობის არარსებობა.
- იერარქიული კლასიფიკაცია გულისხმობს ობიექტების დაჯგუფებას მემკვიდრეობითობის მიხედვით და სტრუქტურის ფორმალიზაციას იერარქიული ხის სახით. მისი ძირითადი პლუსია სტრუქტურის ელემენტებში გენეალოგიური ინფორმაციის არსებობა, ხოლო უარყოფითი მხარეა სტრუქტურის სიხისტე. წინასწარი დაყოფა არ იძლევა ახალი ობიექტების დამატების საშუალებას. ხოლო თუ

დაემატება ახალი ობიექტი, მაშინ ხელახლა უნდა მოხდეს დაყოფის გადახედვა.

ATLAS დეტექტორის სტრუქტურული თვისებიდან გამომდინარე კლასიფიკატორის იერარქიულ ტიპს შეესაბამება და შესაბამისად დეკომპოზიციით მიიღება იერარქიული სტრუქტურული ხე.

კლასიფიკაციის, როგორც მეთოდის, გამოყენება უნდა ეფუძნებოდეს შემდეგ პრინციპებს [35]:

1. ჯგუფების ინკაპსულაციის პრინციპი - რომელიც გულისხმობს დაჯგუფებას ისეთი კრიტერიუმებით რომელიც გამორიცხავს ჯგუფების ურთიერთგადაფარვას.
2. მოვლენებისა და ცნებების პროპორციულად დაყოფის პრინციპი. ამ პრინციპით ცნებების სიღრმის რაოდენობა ან ხდომილების რაოდენობა თანაბარი უნდა იყოს დაყოფადი ცნებების რაოდენობისა ან საკვლევი მოვლენების რაოდენობის
3. გამოყოფილი ჯგუფების ორიგინალობის პრინციპი. გამოყოფილი ჯგუფი არ უნდა მიეკუთვნებოდეს ერთდროულად კლასიფიკაციის სხვადასხვა ჯგუფს
4. კლასიფიკაციის მრავალსაფეხუროვნობის პრინციპი, რომელიც გულისხმობს თანმიმდევრულ და ეტაპობრივ კლასიფიკაციას. ამის გათვალისწინებით ყოველთვის არსებობს კლასიფიკაციის დაყოფის ზღვარი, როდესაც შემდგომმა დაყოფამ შეიძლება გამოიწვიოს მისი სისტემური თვისების დაკარგვა.
5. კლასიფიკაციის სასრულობის პრინციპი - კლასიფიკაციის ყოველ ეტაპზე არ შეიძლება ობიექტის დაყოფა ნაწილობრივი ტიპით და ქვეტიპით.

კლასიფიკაციის შედეგად ობიექტებს ენიჭებათ კოდები ანუ კლასიფიკატორები. არსებობს კოდირების რამდენიმე მეთოდი:

1. რიგითი მეთოდი - თითოეულ ობიექტს ენიჭება ნატურალური რიცხვი სიმრავლეში მათი რიგითობის მიხედვით. მისი დადებითი ასპექტია სიმარტივე და კოდის სიმოკლე. მეორეს მხრივ ასეთი კოდი არ ატარებს ინფორმაციას თვითონ ობიექტზე
2. სერიულ-რიგითი მეთოდი ემსახურება სიმრავლის იმ ქვეჯგუფებს რომლებიც ერთმანეთისგან გამოიყოფიან სერიული ნიშნით, ხოლო მათში შემავალი ობიექტები გამოიყოფიან ქვეჯგუფში რიგითობის მიხედვით.
3. თანმიმდევრული მეთოდი. კოდურ აღნიშვნაში დაჯგუფების ყოველ ეტაპზე ობიექტს ენიჭება კოდი მემკვიდრეობითობის მიხედვით. შედეგად კოდური აღნიშვნა გვაძლევს ინფორმაციას ქვეჯგუფზე და მის გენეალოგიაზე. ეს მეთოდი ყველაზე მეტად გამოიყენება იერარქიული კლასიფიკაციის მეთოდებში.
4. პარალელური კოდირების შემთხვევაში არსებობს ნიშნების ერთობლიობა. ჯგუფების გამოყოფა ხდება ამ ნიშნების ერთობლივი შესრულების შემთხვევაში. ძირითადად გამოიყენება ფასეტურ კლასიფიკატორებში.

მოცემული 4 კოდირების მეთოდიდან ATLAS დეტექტორის კომპონენტების კლასიფიკაციისთვის პირველი კოდირების მეთოდი გამოვიყენეთ. დეტექტორის ფუნქციონალური $\{\Phi\}$ დეკომპოზიციისთვის გამოვიყენება რიცხვით მეთოდი (3.1).

$$\left| \begin{array}{l} \{\Phi_1\}=\{x\} \\ \{\Phi_2\}=\{x,x\} \\ \\ \{\Phi_n\}=\{x,x,x...x_n\} \end{array} \right| \quad (3.1)$$

სადაც, $\{\Phi\}$ აღნიშნავს დეკომპოზიციას ფუნქციონალური კრიტერიუმით, n -ით აღინიშნება ფუნქციონალური კრიტერიუმით დეკომპოზიციის სიღრმე, ხოლო x არის დეკომპოზიციით მინიჭებული რიგითი ნომერი.

კლასიფიკატორის ნატურალური რიცხვები ერთმანეთისგან „.“ წერტილით არის გამოყოფილი.

მეორე რიგის $\{\Gamma\}$ სივრცეში განაწილების დეკომპოზიცია $\{\Phi\}$ დეკომპოზიციის გაგრძელებაა. შესაბამისად Φ_n ბოლო დონის ფუნქციონალურ კლასიფიკატორს ემატება $\{\Gamma\}$ დეკომპოზიციით მიღებული კლასიფიკატორი.

$$\left| \begin{array}{l} \{\Gamma_1\}=\{\Phi_n .x\} \\ \{\Gamma_2\}=\{\Phi_n .x.x\} \\ \\ \{\Gamma_m\}=\{\Phi_n .x.x.x...x_m\} \end{array} \right| \quad (3.2)$$

სადაც, $\{\Gamma\}$ აღნიშნავს დეკომპოზიციას სივრცეში განაწილების კრიტერიუმით, ხოლო m -ით აღინიშნება სივრცეში განაცვლების კრიტერიუმით დეკომპოზიციის სიღრმე.

მესამე რიგის $\{\Psi\}$ დეკომპოზიცია, რომელიც სიმეტრიულობის კრიტერიუმის მიხედვით მხოლოდ ორი რიგის კლასიფიკატორი გააჩნია, Γ_m ბოლო დონის სივრცეში განაწილების კლასიფიკატორის ემატება

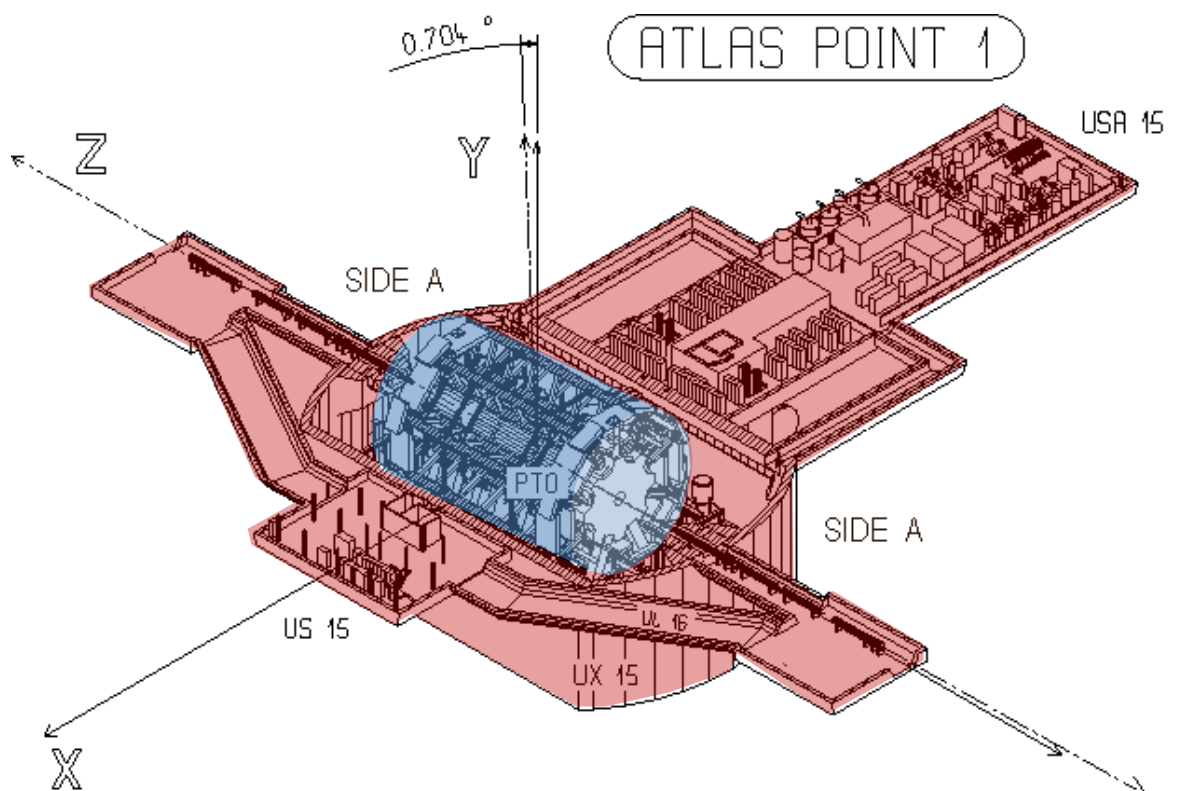
$$\left| \begin{array}{l} \{\Psi_1\}=\{\Gamma_m .x\} \\ \{\Psi_2\}=\{\Gamma_m .x.x\} \end{array} \right| \quad (3.3)$$

სადაც, Ψ_1 არის დეკომპოზიცია სიმეტრიულობის პირველი რიგის (Side A / Side C) კრიტერიუმით, ხოლო Ψ_2 არის დეკომპოზიცია სიმეტრიულობის მეორე რიგის (US15 / USA15) კრიტერიუმით.

3.3 ლებეჭტორის დეკომპოზიციის ფუნქციონალური კრიტერიუმების მიხედვით

ATLAS-ის ექსპერიმენტში შემავალი კომპონენტები { Φ } კრიტერიუმების შეიძლება დაიყოს ძირითად და დამხმარე მოწყობილობებად. შესაბამისად ATLAS-ის ექსპერიმენტის შემდგომი დეკომპოზიციით მიიღება 2 ჯგუფი (სურ. 27):

1. ძირითადი მოწყობილობები (Detector, დეტექტორი) დეტექტორის ის შემადგენელი კომპონენტებია, რომლებიც ზეგავლენას ახდენენ ელემენტარული ნაწილაკების დეტექტირების პროცესზე.
2. დამხმარე მოწყობილობები (Infrastructure, ინფრასტრუქტურა) ის კომპონენტებია რომლებიც უზრუნველყოფენ დეტექტორის ფუნქციონირებას.



სურათი 27. ATLAS ექსპერიმენტის დეკომპოზიცია

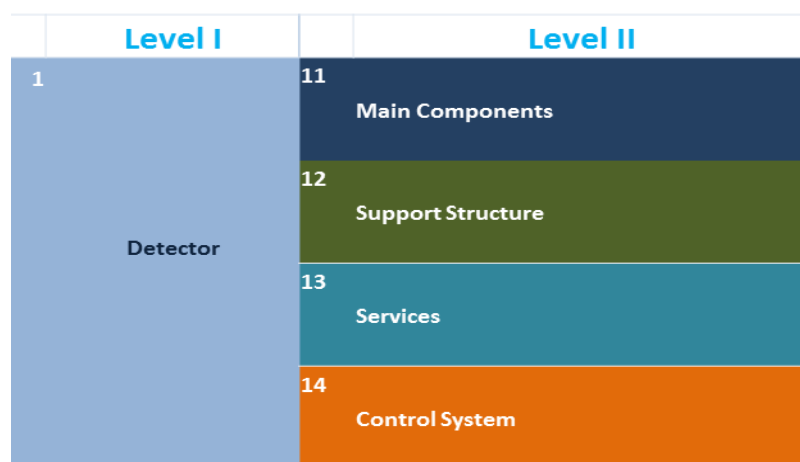
1. დეტექტორის ძირითადი მოწყობილობების დეკომპოზიციით
მიიღება 4 ქვესისტემა (ცხრილი 1):

110.00.000.00 დეტექტორის ძირითადი კომპონენტები უზრუნველყოფენ ელემენტარული ნაწილაკის დაფიქსირებას და გადახრას. ამ ნაწილის ცალკე გამოყოფა მნიშვნელოვანია რადგან მასში არსებული დეტექტორული და მაგნიტური სისტემები ATLAS-ის დეტექტორის საკვანძო კომპონენტებია.

120.00.000.00 დეტექტორის დამხმარე მოწყობილობებში გაერთანებულია ყველა ის მოწყობილობა რომელიც უზრუნველყოფს დეტექტორის კონსტრუქციის მექანიკურ სტაბილურობას, მის კომპონენტებთან წვდომას და ზუსტ პოზიციონირებას.

130.00.000.00 დეტექტორის სერვისებში გაერთანებულია დეტექტორის შიგნით არსებული ელექტრო და ოპტიკური კაბელები, ელექტრო კარადები. ასევე გაციებისა და სხვა დანიშნულების მილები.

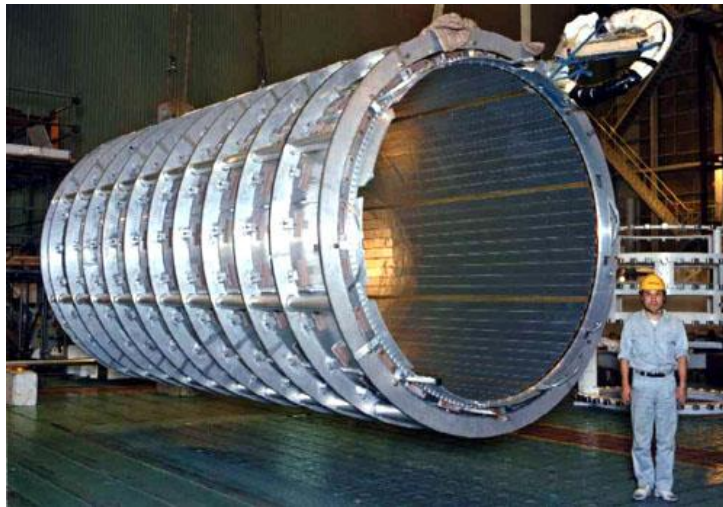
140.00.000.00 კონტროლის სისტემა (DCS) უზრუნველყოფს დეტექტორის ფუნქციონირებისთვის საჭირო პარამეტრების კონტროლს. აღნიშნული პარამეტრები ახასიათებენ სერვისის სისტემების მუშაობას, დეტექტორის ძირითადი კომპონენტების მუშაობას და მათ მდგომარეობას; ასევე დეტექტორის გარემოს და რადიაციის დონეს [33].



ცხრილი 1. Detector-ის მეორე დონის დეკომპოზიცია

111 მაგნიტური სისტემა. მაგნიტური სისტემის ძირითადი თვისებაა მაგნიტური ველის შექმნა. მაგნიტური სისტემის დეკომპოზიციის შედეგად მიიღება 2 ქვესისტემა, სოლენოიდი და ტოროიდი

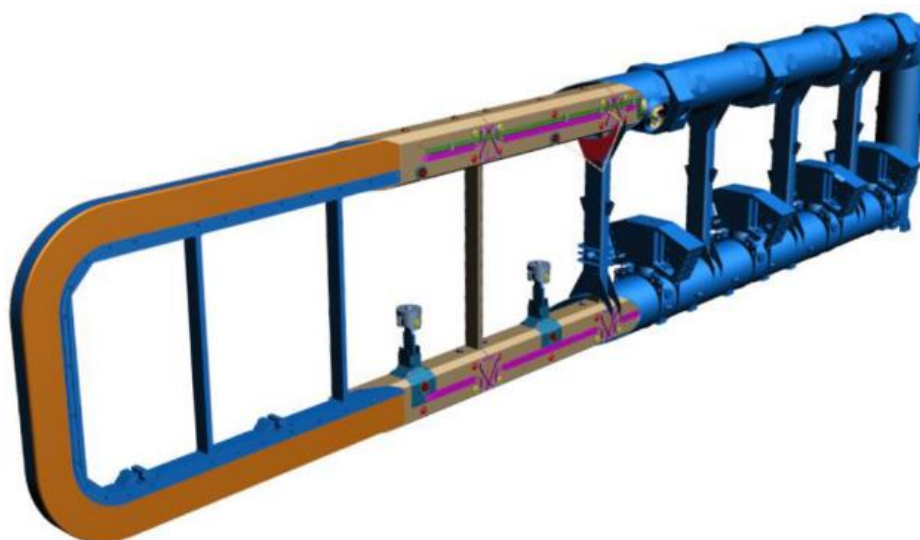
1111 სოლენოიდი - რომელიც ქმნის მაგნიტური ველს შიდა დეტექტორში. შემდგომი დეკომპოზიცია ცენტრალური სოლენოიდისთვის იწვევს სისტემური თვისების დაკარგვას, ამიტომ ცენტრალური სოლენოიდი წარმოადგენს EA-ს (სურ. 28).



სურათი 28. სოლენოიდი

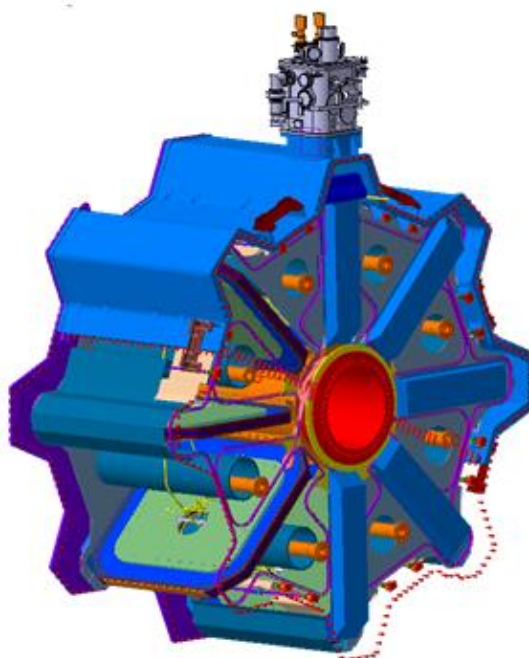
1112 ტოროიდი - რომელიც ქმნის მაგნიტური ველს მიონური სისტემისთვის. ტოროიდის შემდგომი დეკომპოზიცია გვაძლევს 2 ელემენტს:

11121 Barrel ტოროიდი, რომელიც უზრუნველყოფს ველის წარმოქმნას დეტექტორის მთელ სიგრძეზე Z0-ის გარშემო. ამ კომპონენტისთვის EA წარმოადგენს 8 Coil-ის ერთობლიობას. 1 ცალი Coil ამ შემთხვევაში არ შეიძლება განხილული იქნას როგორც EA, ვინაიდან ის არ უზრუნველყოფს სრულად, ყველა სექტორებზე განაწილებულ მაგნიტურ ველს (სურ. 29). ასევე თვითონ Coil წარმოადგენს რთულ მექანიკურ ანაწყობს, მაგრამ მისი დეკომპოზიცია იწვევს მაგნიტური სისტემის, როგორც დეტექტორის კომპონენტის თვისების დაკარგვას.



სურათი 29. Barrel Toroid-ის Coil-ი

11122 Endcap ტოროიდი (ECT) უზრუნველყოფს მაგნიტური ველის შექმნას დეტექტორის ბოლოებში. თვის მხრივ ECT წარმოადგენს რთულ მექანიკურ ანაწყობს, მაგრამ მისი დეკომპოზიცია იწვევს მაგნიტური სისტემის, როგორც დეტექტორის კომპონენტის თვისების დაკარგვას. ვინაიდან დეტექტორს 2 ბოლო აქვს, EA-ში მოიაზრება 2 ცალი ECT-ის ერთობლიობა (სურ. 30).



სურათი 30. Endcap ტოროიდი

112.	Inner Detector		
	112.1	Pixel	
		112.11	Barrel
			112.111 Layer 0
			112.112 Layer 1
			112.113 Layer 2
		112.12	EndCap
			112.121 Disk 1
			112.122 Disk 2
			112.123 Disk 3
	112.2	SCT	
		112.21	Barrel
			112.211 Layer 3
			112.212 Layer 4
			112.213 Layer 5
			112.214 Layer 6
		112.22	EndCap
			112.221 Disk 4
			112.222 Disk 5
			112.223 Disk 6
			112.224 Disk 7
			112.225 Disk 8
			112.226 Disk 9
			112.227 Disk 10
			112.228 Disk 11
			112.229 Disk 12
	112.3	TRT	
		1.1.2.3.1.	Barrel
			112.311 Type 1
			112.312 Type 2
			112.313 Type 3
		1.1.2.3.2.	EndCap
			112.321 Type A
			112.322 Type B

ცხრილი 2. შიდა დეტექტორის ფუნქციონალური დეკომპოზიცია

112 შიდა დეტექტორი. შიდა დეტექტორის ძირითადი თვისებაა ელემენტარული ნაწილაკის ტიპისა და იმპულსის განსაზღვრა დამკვალავი სისტემით. შიდა დეტექტორი შედგება 3 ტიპის დეტექტორისგან და შესაბამისად მისი დეკომპოზიცია 3 ნაწილისგან შედგება (ცხრილი 2):

1121 Pixel დეტექტორი აფიქსირებს ხანმოკლე ნაწილაკებს. Pixel-ი, როგორც ATLAS-ის დეტექტორის აღწერაშია განხილული შედგება ცილინდრული და დისკური ფორმის დეტექტორული შრეებისგან, ამიტომ Pixel-ის დეკომპოზიცია გახორციელდა 2 ნაწილად (სურ. 31):

11211 Barrel Pixel წარმოადგენს 3 ცილინდრული ფორმის დეტექტორებს, რომლებიც $45.5 < R < 242 \text{ mm}$, $|Z| < 400 \text{ mm}$ ზონაში უზრუნველყოფენ ნაწილაკების დაფიქსირებას. მისი შემდგომი დეკომპოზიციით მიიღება 3 ცილინდრულ შრე:

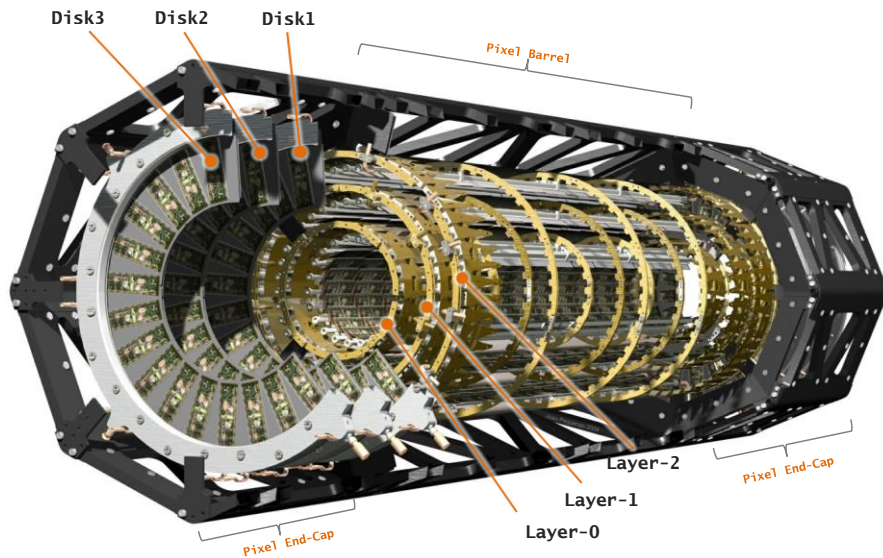
112111 Layer 0 უზრუნველყოფს Z0-დან 4cm-ის რადიუსის მანძილზე ნაწილაკების დაფიქსირებას. აღნიშნული ანაწყობი Layer 0 თავის მხრივ წარმოადგენს რთულ მექანიკურ ანაწყობს, მაგრამ მისი შემდგომი დეკომპოზიცია იწვევს Pixel Layer 0-ის, როგორც დეტექტორის კომპონენტის სისტემური თვისების დაკარგვას. შესაბამისად Layer 0 ცილინდრული შრე წარმოადგენს EA-ს.

112112 Layer 1 უზრუნველყოფს Z0-დან 10cm-ის რადიუსის მანძილზე ნაწილაკების დაფიქსირებას. აღნიშნული ანაწყობი Layer 1 თავის მხრივ წარმოადგენს რთულ მექანიკურ ანაწყობს, მაგრამ მისი შემდგომი დეკომპოზიცია იწვევს Pixel Layer 1-ის, როგორც დეტექტორის კომპონენტის სისტემური თვისების დაკარგვას. შესაბამისად Layer 1 ცილინდრული შრე წარმოადგენს EA-ს.

112113 Layer 2 უზრუნველყოფს Z0-დან 13cm-ის რადიუსის მანძილზე ნაწილაკების დაფიქსირებას. აღნიშნული ანაწყობი Layer 2 თავის მხრივ წარმოადგენს რთულ მექანიკურ ანაწყობს, მაგრამ მისი შემდგომი დეკომპოზიცია იწვევს Pixel Layer 2-ის, როგორც დეტექტორის კომპონენტის სისტემური თვისების დაკარგვას. შესაბამისად Layer 2 ცილინდრული შრე წარმოადგენს EA-ს.

11212 Endcap Pixel შედგება დისკური ფორმის 3 შრისგან და დეტექტორის ორივე მხარეს, Side A და Side C მხარეს, უზრუნველყოფს ნაწილაკების დაფიქსირებას $495 < |Z| < 650 \text{ mm}$ ზონაში. Endcap Pixel-ის დეკომპოზიციით მიიღება 3 სიმეტრიული დისკური შრე:

112121 Disk 1 უზრუნველყოფს ნაწილაკების დაფიქსირებას $88.8 < R < 149.6$ $|Z| = 495$ რადიუსსა და მანძილზე. რადგან Disk 1 შემდგომი დეკომპოზიცია იწვევს Pixel-ის, როგორც დეტექტორის კომპონენტის სისტემური თვისების დაკარგვას მოცემული დისკური ფორმის შრე Disk 1 წარმოადგენს EA-ს,



სურათი 31. Pixel დეტექტორი

112122 Disk 2 უზრუნველყოფს ნაწილაკების დაფიქსირებას $88.8 < R < 149.6$ $|Z| = 580$ რადიუსსა და მანძილზე. რადგან Disk 2 შემდგომი დეკომპოზიცია იწვევს Pixel-ის, როგორც დეტექტორის კომპონენტის სისტემური თვისების დაკარგვას მოცემული დისკური ფორმის შრე Disk 2 წარმოადგენს EA-ს,

112123 Disk 3 უზრუნველყოფს ნაწილაკების დაფიქსირებას $88.8 < R < 149.6$ $|Z| = 650$ რადიუსსა და მანძილზე. რადგან Disk 3 შემდგომი დეკომპოზიცია იწვევს Pixel-ის, როგორც დეტექტორის კომპონენტის სისტემური თვისების დაკარგვას მოცემული დისკური ფორმის შრე Disk 3 წარმოადგენს EA-ს,

1122 SCT ელემენტარულ ნაწილაკების კვალის დამაფიქსირებელია. როგორც ATLAS-ის დეტექტორის აღწერაშია ნაჩვენები, SCT დეტექტორის ზომებია $251 < R < 610\text{mm}$ $|Z| < 2797\text{mm}$.

SCT-ს დეკომპოზიციით გამოიყოფა ცილინდრული და დისკური დეტექტორები (ცხრილი 2):

11221 SCT Barrel წარმოადგენს ცილინდრული ფორმის შრეებისგან შედგენილ დეტექტორს, რომლის დეკომპოზიციით მიიღება 4 ცილინდრული შრე:

112211 Layer 3 რადიუსით $R=299\text{mm}$

112212 Layer 4 რადიუსით $R=371\text{mm}$

112213 Layer 5 რადიუსით $R=443\text{mm}$

112214 Layer 6 რადიუსით $R=514\text{mm}$

აღნიშნული ანაწყობები Layer 3, Layer 4, Layer 5 და Layer 6 თავის მხრივ წარმოადგენენ რთულ მექანიკურ ანაწყობებს, მაგრამ მათი შემდგომი დეკომპოზიცია იწვევს SCT-ს დეტექტორის კომპონენტის სისტემური თვისების დაკარგვას. შესაბამისად ცილინდრული შრეები წარმოადგენენ EA-ს.

11222 SCT Endcap შედგება დისკური ფორმის დეტექტორული შრეებისგან და ორივე მხარეს სიმეტრიულად არის განაწილებული. SCT Endcap-ი შემდგომი დეკომპოზიციით 9 დისკად იყოფა, რომლებიც თავისი ზომებისა და ადგილმდებარეობის შესაბამისად უზრუნველყოფენ ნაწილაკების დაფიქსირებას:

112221 Disk 4 რადიუსი $337.6 < R < 560$ და Z_0 დან დაშორება $|Z|=853.8$

112222 Disk 5 რადიუსი $275 < R < 560$ და Z_0 დან დაშორება $|Z|=934$

112223 Disk 6 რადიუსი $275 < R < 560$ და Z_0 დან დაშორება $|Z|=1091.5$

112224 Disk 7 რადიუსი $275 < R < 560$ და Z_0 დან დაშორება $|Z|=1299.9$

112225 Disk 8 რადიუსი $275 < R < 560$ და Z_0 დან დაშორება $|Z|=1399.7$

112226 Disk 9 რადიუსი $275 < R < 560$ და Z_0 დან დაშორება $|Z|=1771.4$

112227 Disk 10 რადიუსი $337.6 < R < 560$ და Z_0 დან დაშორება $|Z|=2115.2$

112228 Disk 11 რადიუსი $408 < R < 560$ და Z_0 დან დაშორება $|Z|=2505$

112229 Disk 12 რადიუსი $438.8 < R < 560$ და Z_0 დან დაშორება $|Z|=2720.2$

მოცემული დისკების შემდგომი დეკომპოზიცია იწვევს მათ თვისობრივ ცვლილებას რაც გულისხმობს დისკების EA-დ დარჩენას.

1123 TRT დეტექტორი ელემენტარული ნაწილაკების ტრაექტორიის კვალს აფიქსირებს. მისი გარე ზომებია $554 < R < 1106 \text{ mm}$ $|Z| < 2744 \text{ mm}$, რომლის დაფიქსირების ზონა $|\eta| < 2$ არ ცდება.

TRT-ს დეკომპოზიციით მიიღება 2 ნაწილი Barrel და Endcap (სურ. 32) (ცხრილი 2).

11231 Barrel TRT შედგება 3 ცილინდრული ფორმის ჯგუფს (Type1, Type2, Type3). შესაბამისად Barrel TRT დეტექტორის დეკომპოზიცია 3-ად იშლება:

112311 Type1 ზომით $563 < R < 694 \text{ mm}$, $7.5 < |Z| < 712.1 \text{ mm}$

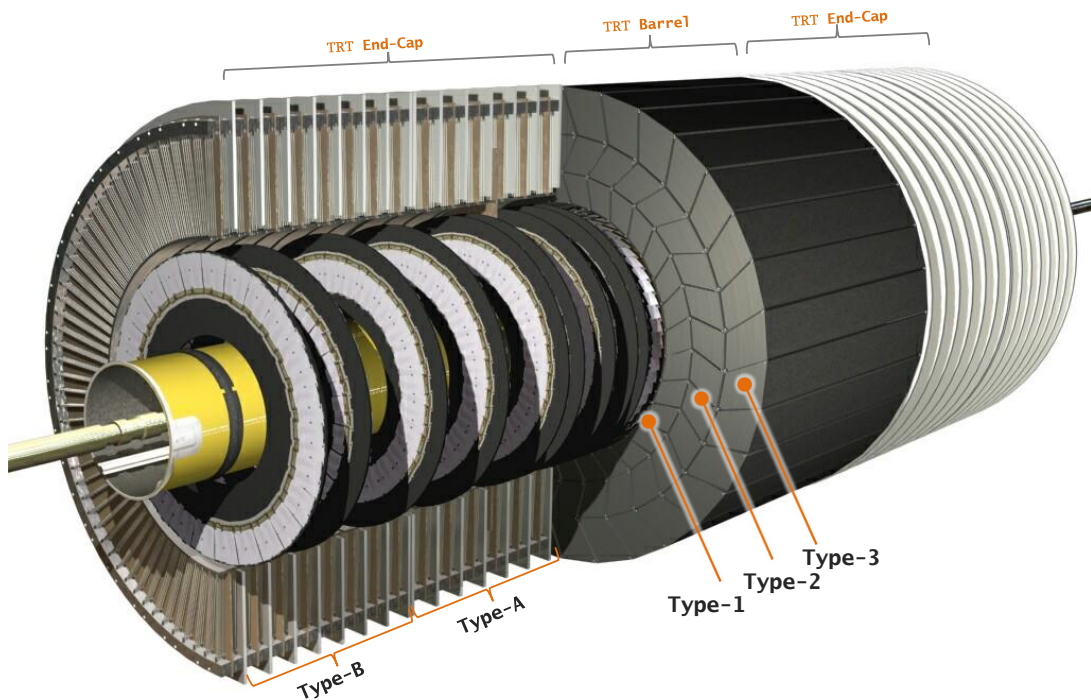
112312 Type2 ზომით $697 < R < 860 \text{ mm}$, $7.5 < |Z| < 712.1 \text{ mm}$

112313 Type3 ზომით $863 < R < 1060 \text{ mm}$, $7.5 < |Z| < 712.1 \text{ mm}$

11232 Endcap TRT დეკომპოზიციით მიიღება 2 ჯგუფი Type A და Type B.

112321 Type A რადიუსით $615 < R < 1106 \text{ mm}$

112322 Type B რადიუსით $615 < R < 1106 \text{ mm}$



სურათი 32. TRT დეტექტორი

აღნიშნული ანაწყობები Type1 Type2 Type3 TypeA და TypeB თავის მხრივ წარმოადგენენ რთულ მექანიკურ ანაწყობებს, მაგრამ მათი შემდგომი დეკომპოზიცია იწვევს TRT-ს, როგორც დეტექტორის კომპონენტის

სისტემური თვისების დაკარგვას. შესაბამისად მოცემული ანაწყოები წარმოადგენენ EA-ს.

113 კალორიმეტრის დანიშნულებაა დამუხტული და ნეიტრალური ელემენტარული ნაწილაკების ენერგიის გაზომვა $|\eta| < 4.9$ დიაპაზონში. ATLAS-ის დეტექტორის აღწერიდან გამომდინარე კალორიმეტრის დეკომპოზიცია გვამღევს 2 დეტექტორულ ხელსაწყოს (ცხრილი. 2):

1131 LAr კალორიმეტრი რომელიც უზრუნველყოფს ელექტრომაგნიტურ და ძლიერ ურთიერთქმედებაში მყოფი ელემენტარული ნაწილაკების დაფიქსირებას (სურ. 34)(ცხრილი 3).

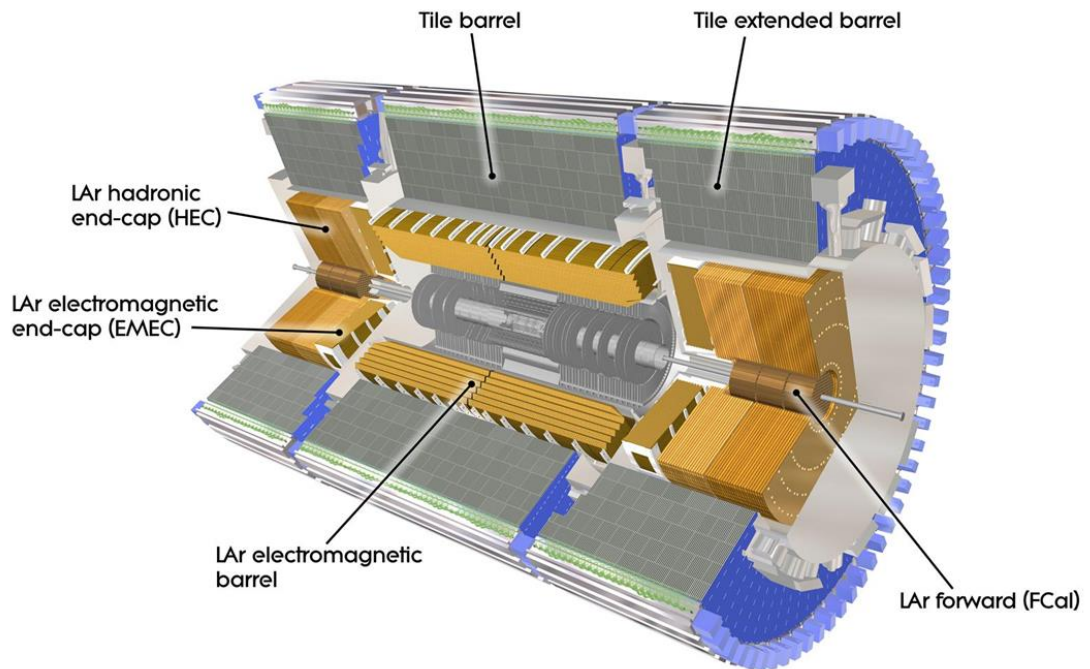
1132 Tile ადრონული კალორიმეტრი, რომელიც ცილინდრული ფორმისა და უზრუნველყოფს მხოლოდ ძლიერ ურთიერთქმედებაში მყოფი ნაწილაკების დაფიქსირებას.

LAr კალორიმეტრის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ნაწილი Barrel და Endcap.

11311 LAr Barrel უზრუნველყოფს ელემენტარული ნაწილაკების ენერგიის გაზომვას $|\eta| < 1.475$ ზონაში. LAr Barrel-ის ზომებია $1.4 < R < 2\text{m}$, $|Z| < 3.2\text{m}$. LAr Barrel წარმოადგენს EA-ს, რადგან მისი დეკომპოზიციით მიღებული ნაწილები იწვევს LAr დეტექტორის სისტემური თვისების დაკარგვას.

11312 LAr Endcap უზრუნველყოფს ელემენტარული ნაწილაკების ენერგიის გაზომვას $1.375 < |\eta| < 3.2$ ზონაში. $R < 2\text{m}$, $3.5 < |Z| < 6.5\text{m}$. LAr Endcap-ის შემდგომი დეკომპოზიციით გამოიყოფა 3 ტიპის დეტექტორი:

113121 EMEC ელექტრომაგნიტური დეტექტორი. EMEC არის EA, რადგან მისი დეკომპოზიცია იწვევს მისი, როგორც ელექტრომაგნიტურ ურთიერთქმედებაში მყოფი ელემენტარული ნაწილაკების დამაფიქსირებელის, თვისების დაკარგვას.



სურათი 33. LAr და Tile კალორიმეტრები

113122 HEC ადრონული დეტექტორი უზრუნველყოფს ძლიერ ურთიერთქმედებაში მყოფის ელემენტარული ნაწილაკების დაფიქსირება, რომელიც ფარავს $1.5 < |\eta| < 3.2$ ზონას. HEC-ის შემდეგი დეკომპოზიციით მიიღება ორი ცილინდრული შრე (ცხრილი 3):

1131221 HEC1

1131222 HEC2

113123 FCal ფრონტალური დეტექტორი ფარავს $3.1 < |\eta| < 4.9$ ზონას და აფიქსირებს ელექტრომაგნიტურ და ძლიერ ურთიერთქმედებაში მყოფის ელემენტარული ნაწილაკებს. FCal ის დეკომპოზიციით მიიღება FCal-ის 3 შრე:

1131231 FCal1 უზრუნველყოფს ელექტრომაგნიტურ ურთიერთქმედებაში მყოფ ელემენტარული ნაწილაკების დაფიქსირებას

1131232 FCal2 უზრუნველყოფს ძლიერ ურთიერთქმედებაში მყოფ ელემენტარული ნაწილაკების დაფიქსირებას

1131233 FCal3 უზრუნველყოფს ძლიერ ურთიერთქმედებაში მყოფ ელემენტარული ნაწილაკების დაფიქსირებას

აღნიშნული ანაწყობები FCal1, FCal2 და FCal3 თავის მხრივ წარმოადგენენ რთულ მექანიკურ ანაწყობებს, მაგრამ მათი შემდგომი დეკომპოზიცია იწვევს კალორიმეტრის, როგორც დეტექტორის კომპონენტის სისტემური თვისების დაკარგვას. შესაბამისად მოცემული ანაწყობები წარმოადგენენ EA-ს.

113. Calorimetry			
	113.1 LAr		
		113.11 Barrel	
		113.12 EndCap	
			113.121 EMEC
			113.122 HEC
			113.123 FCal
	113.2 Tile		
		113.21 Barrel	
		113.22 Barrel extended	

ცხრილი 3. კალორიმეტრის ფუნქციონალური დეკომპოზიცია

Tile ადრონული კალორიმეტრის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ნაწილი (სურ. 7) (ცხრილი 3):

11321 Tile Barrel ცილინდრული ფორმის დეტექტორია, რომელიც ცენტრალურ ნაწილშია განთავსებული და სიგანით 5.8 მეტრია, ხოლო რადიუსი $2.28 < R < 4.25\text{m}$.

11322 Tile Barrel Extended ცილინდრული ფორმის დეტექტორია, რომელიც ორ ბოლოშია განთავსებული და სიგანით 2.6 მეტრია, ხოლო რადიუსი $2.28 < R < 4.25\text{m}$.

ორივე ნაწილი თავის მხრივ წარმოადგენს რთულ ანაწყობს, მაგრამ მისი შემდგომი დეკომპოზიცია იწვევს Tile კალორიმეტრის სისტემის, როგორც დეტექტორის კომპონენტის სისტემური თვისების დაკარგვას.

114 Muon Spectrometer მიონური სისტემა. მიონური სპექტრომეტრის სისტემის ძირითადი თვისება არის მიონური ნაწილაკების დეტექტირება კამერების საშუალებით, როგორც დეტექტორის სიგრძეზე წრიულ შრეებში ასევე Z0-დან სხვადასხვა მანძილზე დაშორებულ დეტექტორის ბოლოებში.

აღნიშნული თვისებიდან გამომდინარე დეკომპოზიცია გვაძლევს 2 ტიპის ანაწყოებს:

1141 Muon Barrel ანაწყოები, რომელიც უზრუნველყოფს დეტექტირებას დეტექტორის სიგრძეზე სხვადასხვა წრიულ შრეებში.

1142 Muon EndCap ანაწყოები, რომელიც უზრუნველყოფს მიონების დეტექტირებას Z0-დან სხვადასხვა მანძილზე დაშორებულ ბოლოებში.

Muon Barrel ანაწყოების შემდგომი დეკომპოზიცია, ATLAS-ის დეტექტორის აღწერიდან გამომდინარე (თავი 2), გვაძლევს 3 ანაწყოებს (ცხრილი 4):

11411 Barrel Inner (BI) – რომელიც უზრუნველყოფს 5 მეტრიან რადიუსზე მიონური ნაწილაკების დეტექტირებას;

11412 Barrel Middle (BM) – რომელიც უზრუნველყოფს 7.5 მეტრიან რადიუსზე მიონური ნაწილაკების დეტექტირებას;

11413 Barrel Outer (BO) – რომელიც უზრუნველყოფს 10 მეტრიან რადიუსზე მიონური ნაწილაკების დეტექტირებას.

აღნიშნული ანაწყოები BI, BM და BO თავის მხრივ წარმოადგენენ რთულ მექანიკურ ანაწყოებს, მაგრამ მათი შემდგომი დეკომპოზიცია იწვევს მიონური სისტემის, როგორც Muon დეტექტორის კომპონენტის სისტემური თვისების დაკარგვას.

Endcap Chambers ანაწყოების დეკომპოზიცია, ATLAS-ის დეტექტორის აღწერიდან გამომდინარე (თავი 2), გვაძლევს 4 ანაწყოებს (ცხრილი 4):

11421 Endcap Inner (EI) წარმოადგენს 2 ანაწყოების ერთობლიობას, რომელიც განთავსებულია Z0-დან სიმეტრიულად 7.4m მანძილზე;

11422 Endcap Extra (EE) წარმოადგენს 2 ანაწყოების ერთობლიობას, რომელიც განთავსებულია Z0-დან სიმეტრიულად 10.8m მანძილზე;

11423 Endcap Middle (EM) წარმოადგენს 2 ანაწყოების ერთობლიობას, რომელიც განთავსებულია Z0-დან სიმეტრიულად 14m მანძილზე;

11424 Endcap Outer (EO) წარმოადგენს 2 ანაწყოების ერთობლიობას, რომელიც განთავსებულია Z0-დან სიმეტრიულად 21.5m მანძილზე.

აღნიშნული ანაწყობები EI, EE, EM და EO თავის მხრივ წარმოადგენენ რთულ მექანიკურ ანაწყობებს, მაგრამ მათი შემდგომი დეკომპოზიცია იწვევს მიონური სისტემის, როგორც დეტექტორის კომპონენტის სისტემური თვისების დაკარგვას, ვინაიდან 114-ის თვისებაა კამერით მიონის დეტექტირება. ე.ი. კამერების სხვადასხვა ტიპებად დაყოფა არ განიხილება.

114.	Muon Spectrometer		
	114.1	Barrel	
		114.11	BI Inner
			114.111 BIL
			114.112 BIS
			114.113 BIR/BIM
		114.12	BM Middle
			114.121 BML
			114.122 BMS
			114.123 BMF
		114.13	BO Outer
			114.131 BOL
			114.132 BOS
			114.133 BOF/BOG
	114.2	Endcap	
		114.21	EI Small wheel
			114.211 EIL/CSCL
			114.212 EIS/CSCL
			114.213 TGC(I)
		114.22	EE Extra wheel
			114.221 EEL
			114.222 EES
		114.23	EM Big wheel
			114.231 EML
			114.232 EMS
			114.233 TGC(M1,M2,M3)
		114.23	EO Outer wheel
			114.241 EOL
			114.242 EOS

ცხრილი 4. Muon Spectrometer-ის ფუნქციონალური დეკომპოზიცია

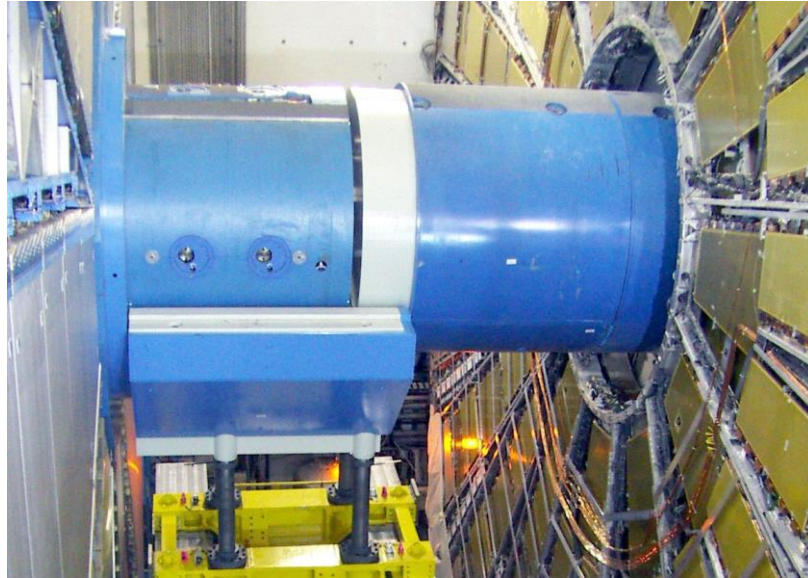
115 Shielding - ცილინდრული ფორმის დამცავი ეკრანია, რომლის ფუნქციაა დეტექტორი დაიცვას კონკრეტული ელემენტარული ნაწილაკებისგან. Shielding-ის დეკომპოზიციით მიიღება 6 ტიპის სხვადასხვა დამცავი ეკრანი:

1151 Disk Shielding - დამცავი ეკრანი მდებარეობს Endcap კალორიმეტრისა და Endcap Inner Muon დეტექტორს შორის. მისი ძირითადი ფუნქციაა EC Inner Muon დეტექტორის დაცვა ფონური რადიაციისგან და ასევე სოლენოიდის მაგნიტური ველის ნაკადის გავრცელებისგან. Disk Shielding-ის შემდგომი დეკომპოზიცია იწვევს EC Inner Muon დეტექტორის დამცავი ეკრანის თვისების დაკარგვას. ამიტომ, Disk Shielding წარმოადგენს EA-ს.

115. Shielding	
115.1	Disk shielding
115.2	Forward shielding
115.3	Moderate shielding
115.4	LAr Cal shielding plugs
115.5	Toroid shielding
	115.51 Toroid Inner Bore Tube
	115.52 Endcap Toroid Shielding
115.6	Nose shielding

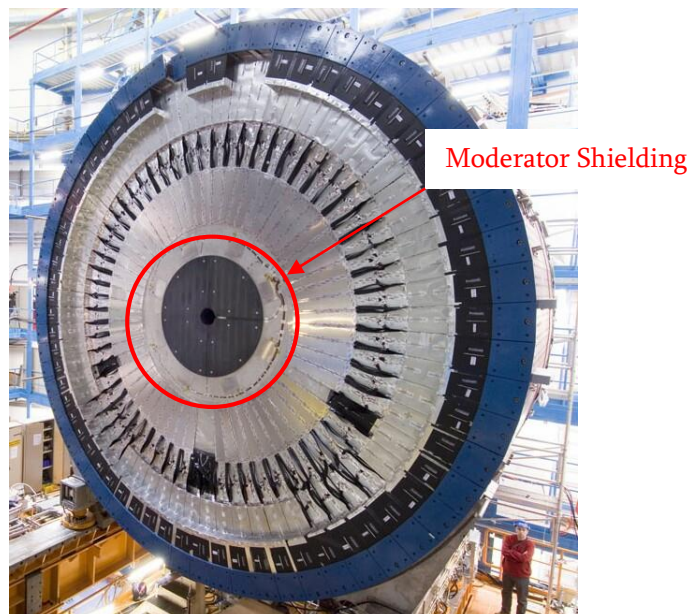
ცხრილი 5. Shielding-ის ფუნქციონალური დეკომპოზიცია

1152 Forward Shielding – შედგება ორი ანაწყობისგან რომლებიც უზრუნველყოფენ Endcap Middle (EM) და Endcap Outer (EO) მიონური სისტემის დაცვას ფონური ნაწილაკებისგან (სურ. 8), რომლებიც წარმოიქმნება მეორადი ურთიერთქმედებით კალორიმეტრთან და TAS კოლიმატორთან. ამისდა მიუხედავად Forward Shielding-ის არის EA, რადგან მისი დეკომპოზიცია იწვევს მიონური სისტემისთვის დამცავი ეკრანის თვისების დაკარგვას.



სურათი 8. Forward Shielding

1153 Moderator Shielding-ის დამცავი ეკრანი იცავს შიდა დეტექტორს კალორიმეტრიდან უკან არეკლილი ნაწილაკებისგან. მოცემული დამცავი ეკრანი Endcap კალორიმეტრსა და შიდა დეტექტორს შორის მდებარეობს. Moderator Shielding-ის შემდგომი დეკომპოზიცია იწვევს შიდა დეტექტორისთვის დამცავი ეკრანის თვისები დაკარგვას. შესაბამისად, Moderator Shielding წარმოადგენს EA-ს.



სურათი 9. Moderator Shielding

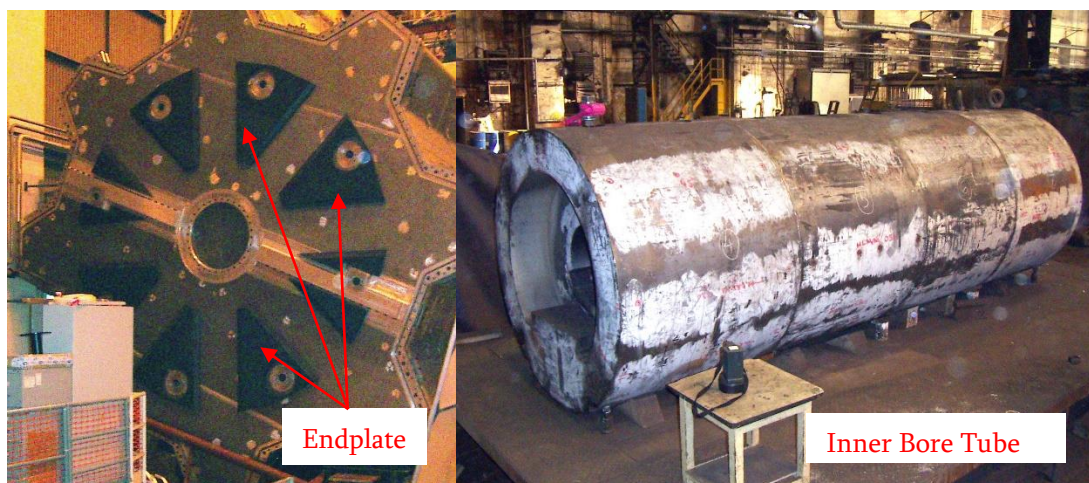
1154 LAr Cal Shielding Plugs - მოცემული დამცავი ეკრანი Endcap კალორიმეტრის შიგნით არის განთავსებული და მისი ფუნქციაა დაიცვას EI

მიონ დეტექტორი ფონური რადიაციისგან. LAr Cal Shielding Plugs-ის შემდგომი დეკომპოზიცია იწვევს EI მიონ დეტექტორისთვის დამცავი ეკრანის თვისები დაკარგვას. შესაბამისად, LAr Cal Shielding Plugs წარმოადგენს EA-ს.

1155 Toroid Shielding – დამცავი ეკრანის იცავს Endcap ტოროიდს ფოტონისგან. მისი დეკომპოზიციით მიიღება 2 ნაწილი (ცხრილი 5):

11551 Toroid Inner Bore Tube - ტოროიდის დამცავი ეკრანი ცილინდრული ფორმისაა და Beampipe-ის სიახლოვეს არის განთავსებული (სურ. 9), მისი ძირითადი მასალა თუჯია, რომელიც გარედან დაფარულია პოლიეთილენის შრით. დამცავი ეკრანი იცავს Endcap Toroid-ის მაგნიტურ სისტემას ფოტონებისგან, რომელიც წარმოიქმნება პოლიეთილენის შრეში. Toroid Inner Bore Tube -ის შემდგომი დეკომპოზიცია იწვევს Endcap Toroid-ის მაგნიტურ სისტემისთვის დამცავი ეკრანის თვისები დაკარგვას. ამიტომ, იგი წარმოადგენს EA-ს.

11552 Endcap Toroid დამცავ ეკრანს, endplate-ს, დისკის ფორმა აქვს და Cryostat-ის შიგნით არის განთავსებული (სურ. 10). Endcap Toroid დამცავი ეკრანი პოლიეთილენის მასალით არის დამზადებული. Endcap Toroid დამცავი ეკრანი შთანთქმავს ფოტონს , რომელიც გამოყოფა ნეიტრონის ბორონთან ურთიერთქმედებით. Endcap Toroid დამცავი ეკრანის შემდგომი დეკომპოზიციით იკარგება Endcap Toroid-ის დამცავი ეკრანის თვისება. ამიტომ, Endcap Toroid დამცავ ეკრანი წარმოადგენს EA-ს.



სურათი 10. Forward Shielding

1156 Nose Shielding დამცავი ეკრანი დამონტაჟებულია მთავარი პავილიონის კედელში და ATLAS დეტექტორს იცავს TAS კოლიმატორიდან წარმოქმნილი რადიაციისგან (სურ. 11). Nose Shielding შედგება ცილინდრული ფორმის მონობლოკისგან და დამხმარე 6 დისკური ფორმის დამცავი ეკრანისგან, რომლებიც თუჯის მასალით არიან დამზადებული. 6 დისკური ფორმის დამცავი ეკრანი მონობლოკის იმ რეგიონში არის განთავსებული სადაც მისი კედელი თხელია. შესაბამისად, Nose Shielding-ის შემდგომი დეკომპოზიცია გამოიწვევს ATLAS დეტექტორის ნაწილობრივ დაცვას, რომლითაც Nose Shielding დამცავი ეკრანის თვისება იკარგება. ამიტომ, Nose Shielding წარმოადგენს EA-ს.



სურათი 11. Nose Shielding

116 Beam Pipe უზრუნველყოფს აჩქარებული ნაწილაკების ATLAS დეტექტორში დაჯახებას. Beam Pipe შედგება 7 ნაწილისგან რომელიც 38 მეტრზე არის ერთმანეთთან დაკავშირებული. მისი შემდგომი დეკომპოზიცია გამოიწვევს მისი ფუნქციის, როგორც თვისების დაკარგვას. შესაბამისად, Beam Pipe არის EA.

12 Support Structures - დეტექტორის დამხმარე კონსტრუქციები უზრუნველყოფენ დეტექტორის ძირითადი კომპონენტების მექანიკური

მდგრადობას, სწორ პოზიციონირებას და მასზე წვდომას. Support Structures-ის დეკომპოზიციით მიიღება 3 ნაწილი:

121 Mechanical Structure - უზრუნველყოფს ძირითადი კომპონენტების მექანიკურ მდგრადობას. Mechanical Structure შემდგომი დეკომპოზიციით იყოფა 9 ნაწილად:

121.01. Feet and Rails წარმოადგენენ ATLAS დეტექტორის მექანიკურ კონსტრუქციას, რომელზეც აგებულია დეტექტორული სისტემა. Feet and Rails-ის დეკომპოზიციით იყოფა 2 ნაწილად:

121.01.1 Feet დეტექტორის ფეხებია, რომელიც უზრუნველყოფს დეტექტორული სისტემის მექანიკურ მდგრადობას და რომელზეც ეყრდნობა მიონური სისტემა და Barrel ტოროიდი. Feet შედგენილი კონსტრუქციაა და მისი დეკომპოზიცია იწვევს მიონური სისტემისა და Barrel ტოროიდის მექანიკური მდგრადობის თვალსაზრისით სისტემური თვისების დაკარგვას. ამრიგად, Feet არის EA.

121.01.2 Rails არის დეტექტორის ფეხებზე გადებული რელსები, რომელიც უზრუნველყოფს დეტექტორის კომპონენტების, კალორიმეტრიასა და შიდა დეტექტორის, მექანიკურ მდგრადობას. რელსები მარტივ კონსტრუქციას წარმოადგენენ და მისი შემდგომი დეკომპოზიცია იწვევს კალორიმეტრის მექანიკური მდგრადობის, როგორც თვისების დაკარგვას. შესაბამისად, Rails წარმოადგენს EA.

121.02. Pixel Supports - უზრუნველყოფს Pixel დეტექტორის მექანიკურ მდგრადობას. Pixel Supports-ის კონსტრუქციის დეკომპოზიციით მიიღება 3 ნაწილი:

121.02.1 Pixel Barrel Supports უზრუნველყოფს Pixel Barrel დეტექტორის მექანიკურ მდგრადობას, რომლის შემდგომი დეკომპოზიციით მიიღება 4 ნაწილი. აქედან 3 ცილინდრული შრე Pixel Barrel დეტექტორის სენსორების სამაგრებია, ხოლო მეოთხე შრე გარე დამცავი შრეა, რომელსაც ოქტაგონალური ფორმა აქვს

121.02.11 Pixel Layer 0 Support უზრუნველყოფს Pixel Barrel Layer 0 შრის დეტექტორის მექანიკურ მდგრადობას. რადგან Pixel Layer 0 დეტექტორული შრე წარმოადგენს EA-ს, მისი შესაბამისი Support სამაგრებიც EA-ს წარმოადგენენ.

121.02.12 Pixel Layer 1 Support უზრუნველყოფს Pixel Barrel Layer 1 შრის დეტექტორის მექანიკურ მდგრადობას. რადგან Pixel Layer 1 დეტექტორული შრე წარმოადგენს EA-ს, მისი შესაბამისი Support სამაგრებიც EA-ს წარმოადგენენ.

121.02.13 Pixel Layer 2 Support უზრუნველყოფს Pixel Barrel Layer 2 შრის დეტექტორის მექანიკურ მდგრადობას. რადგან Pixel Layer 2 დეტექტორული შრე წარმოადგენს EA-ს, მისი შესაბამისი Support სამაგრებიც EA-ს წარმოადგენენ.

121.02.14 Pixel Barrel Frame უზრუნველყოფს Pixel Barrel შრეების ერთ მთლიან ანაწყობში გაერთიანებას. მოცემული შრის შემდგომი დეკომპოზიცია იწვევს მისი მექანიკური მდგრადობის, როგორც თვისების დაკარგვას. ამრიგად, ის წარმოადგენს EA-ს.

121.02.2 Pixel Endcap Supports უზრუნველყოფს Pixel Endcap დეტექტორის მექანიკურ მდგრადობას, რომლის შემდგომი დეკომპოზიციით მიიღება 4 ნაწილი. აქედან 3 დისკური შრე Pixel Endcap დეტექტორის სენსორების სამაგრებია, ხოლო მეოთხე შრე გარე დამცავი კარკასული შრეა, რომელსაც ოქტაგონალური ფორმა აქვს.

121.02.21 Pixel Disk 1 Support უზრუნველყოფს Pixel Disk 1 შრის დეტექტორის მექანიკურ მდგრადობას. რადგან Pixel Disk 1 დეტექტორული შრე წარმოადგენს EA-ს, მისი შესაბამისი Support სამაგრებიც EA-ს წარმოადგენენ.

121.02.22 Pixel Disk 2 Support უზრუნველყოფს Pixel Disk 2 შრის დეტექტორის მექანიკურ მდგრადობას. რადგან Pixel Disk 2 დეტექტორული შრე წარმოადგენს EA-ს, მისი შესაბამისი Support სამაგრებიც EA-ს წარმოადგენენ.

121.02.21 Pixel Disk 3 Support უზრუნველყოფს Pixel Disk 3 შრის დეტექტორის მექანიკურ მდგრადობას. რადგან Pixel Disk 3 დეტექტორული შრე წარმოადგენს EA-ს, მისი შესაბამისი Support სამაგრებიც EA-ს წარმოადგენენ.

121.02.24 Pixel Endcap Frame უზრუნველყოფს Pixel Endcap დისკური ფორმის შრეების ერთ მთლიან ანაწყობში გაერთიანებას. მოცემული შრის შემდგომი დეკომპოზიცია იწვევს მისი მექანიკური მდგრადობის, როგორც თვისების დაკარგვას. ამრიგად, ის წარმოადგენს EA-ს.

121.03. SCT Supports უზრუნველყოფს SCT დეტექტორის მექანიკურ მდგრადობას. SCT Supports-ის კონსტრუქცია დეკომპოზიციით იყოფა 2 ნაწილად.

121.03..1 SCT Barrel Supports უზრუნველყოფს SCT Barrel დეტექტორის მექანიკურ მდგრადობას და მისი დეკომპოზიციით მიიღება 5 ცილინდრული ფორმის კონსტრუქცია.

აქედან 4 შრე დამზადებულია კარბონ-ბოჭკოვანი და ციანიტ-ეთერის მასალით, რომლებიც უზრუნველყოფს SCT Barrel დეტექტორული შრეების მექანიკურ მდგრადობას.

121.03..11 SCT Layer 3 Support უზრუნველყოფს SCT Barrel Layer 3 ცილინდრული შრის მექანიკურ მდგრადობას. რადგან SCT Layer 3 დეტექტორული შრე წარმოადგენს EA-ს, მისი შესაბამისი Support სამაგრებიც EA-ს წარმოადგენენ.

121.03..12 SCT Layer 4 Support უზრუნველყოფს SCT Barrel Layer 4 ცილინდრული შრის მექანიკურ მდგრადობას. რადგან SCT Layer 4 დეტექტორული შრე წარმოადგენს EA-ს, მისი შესაბამისი Support სამაგრებიც EA-ს წარმოადგენენ.

121.03..13 SCT Layer 5 Support უზრუნველყოფს SCT Barrel Layer 5 ცილინდრული შრის მექანიკურ მდგრადობას. რადგან SCT Layer 5 დეტექტორული შრე წარმოადგენს EA-ს, მისი შესაბამისი Support სამაგრებიც EA-ს წარმოადგენენ.

121.03..14 SCT Layer 6 Support უზრუნველყოფს SCT Barrel Layer 6 ცილინდრული შრის მექანიკურ მდგრადობას. რადგან SCT Layer 6 დეტექტორული შრე წარმოადგენს EA-ს, მისი შესაბამისი Support სამაგრებიც EA-ს წარმოადგენენ.

მე-5-ე შრე უზრუნველყოფს SCT Barrel დეტექტორული შრეების ერთ მთლიან ანაწყობში გაერთიანებას.

121.03..15 SCT Barrel Support Cylinder შედგება 2 ცილინდრული შრისგან, რომლის შიდა და გარე შრეებშია მოთავსებული SCT Layer-ები და შესაბამისად მათ ხისტ დაკავშირებას უზრუნველყოფს. SCT Barrel Support Cylinder-ის შემდგომი დეკომპოზიცია იწვევს SCT Barrel-ის მექანიკური მდგრადობის, როგორც თვისების დაკარგვას. შესაბამისად, SCT Barrel Support Cylinder წარმოადგენს EA-ს.

121.03..2 SCT Endcap Supports უზრუნველყოფს SCT Endcap დეტექტორის მექანიკურ მდგრადობას და მისი დეკომპოზიციით მიიღება 9 დისკური და 1 ცილინდრული ფორმის კონსტრუქცია.

121.03..21 SCT Disk 4 Support კარბონ-ბოჭკოვანი მასალით დამზადებული დისკის ფორმის კონსტრუქციაა, რომელიც უზრუნველყოფს SCT Disk 4 დეტექტორული შრეების მექანიკურ მდგრადობას. რადგან SCT Disk 4 დეტექტორული შრე წარმოადგენს EA-ს, მისი შესაბამისი Support სამაგრებიც EA-ს წარმოადგენენ.

121.03..22 SCT Disk 5 Support კარბონ-ბოჭკოვანი მასალით დამზადებული დისკის ფორმის კონსტრუქციაა, რომელიც უზრუნველყოფს SCT Disk 5 დეტექტორული შრეების მექანიკურ მდგრადობას. რადგან SCT Disk 5 დეტექტორული შრე წარმოადგენს EA-ს, მისი შესაბამისი Support სამაგრებიც EA-ს წარმოადგენენ.

121.03.23 SCT Disk 6 Support კარბონ-ბოჭკოვანი მასალით დამზადებული დისკის ფორმის კონსტრუქციაა, რომელიც უზრუნველყოფს SCT Disk 6 დეტექტორული შრეების მექანიკურ მდგრადობას. რადგან SCT Disk 6

დეტექტორული შრე წარმოადგენს EA-ს, მისი შესაბამისი Support სამაგრებიც EA-ს წარმოადგენენ.

121.03.24 SCT Disk 7 Support კარბონ-ბოჭკოვანი მასალით დამზადებული დისკის ფორმის კონსტრუქციაა, რომელიც უზრუნველყოფს SCT Disk 7 დეტექტორული შრეების მექანიკურ მდგრადობას. რადგან SCT Disk 7 დეტექტორული შრე წარმოადგენს EA-ს, მისი შესაბამისი Support სამაგრებიც EA-ს წარმოადგენენ.

121.03.25 SCT Disk 8 Support კარბონ-ბოჭკოვანი მასალით დამზადებული დისკის ფორმის კონსტრუქციაა, რომელიც უზრუნველყოფს SCT Disk 8 დეტექტორული შრეების მექანიკურ მდგრადობას. რადგან SCT Disk 8 დეტექტორული შრე წარმოადგენს EA-ს, მისი შესაბამისი Support სამაგრებიც EA-ს წარმოადგენენ.

121.03.26 SCT Disk 9 Support კარბონ-ბოჭკოვანი მასალით დამზადებული დისკის ფორმის კონსტრუქციაა, რომელიც უზრუნველყოფს SCT Disk 9 დეტექტორული შრეების მექანიკურ მდგრადობას. რადგან SCT Disk 9 დეტექტორული შრე წარმოადგენს EA-ს, მისი შესაბამისი Support სამაგრებიც EA-ს წარმოადგენენ.

121.03.27 SCT Disk 10 Support კარბონ-ბოჭკოვანი მასალით დამზადებული დისკის ფორმის კონსტრუქციაა, რომელიც უზრუნველყოფს SCT Disk 10 დეტექტორული შრეების მექანიკურ მდგრადობას. რადგან SCT Disk 10 დეტექტორული შრე წარმოადგენს EA-ს, მისი შესაბამისი Support სამაგრებიც EA-ს წარმოადგენენ.

121.03.28 SCT Disk 11 Support კარბონ-ბოჭკოვანი მასალით დამზადებული დისკის ფორმის კონსტრუქციაა, რომელიც უზრუნველყოფს SCT Disk 11 დეტექტორული შრეების მექანიკურ მდგრადობას. რადგან SCT Disk 11 დეტექტორული შრე წარმოადგენს EA-ს, მისი შესაბამისი Support სამაგრებიც EA-ს წარმოადგენენ.

121.03.29 SCT Disk 12 Support კარბონ-ბოჭკოვანი მასალით დამზადებული დისკის ფორმის კონსტრუქციაა, რომელიც უზრუნველყოფს

SCT Disk 12 დეტექტორული შრეების მექანიკურ მდგრადობას. რადგან SCT Disk 12 დეტექტორული შრე წარმოადგენს EA-ს, მისი შესაბამისი Support სამაგრებიც EA-ს წარმოადგენენ.

121.03.210 SCT Endcap Support Cylinder შედგება 2 ცილინდრული შრისგან, რომლის შიდა და გარე შრეებშია მოთავსებული SCT დისკები და შესაბამისად უზრუნველყოფს მათ ხისტ დაკავშირებას. SCT Endcap Support Cylinder-ის შემდგომი დეკომპოზიცია იწვევს SCT Endcap-ის მექანიკური მდგრადობის, როგორც თვისების დაკარგვას. შესაბამისად, SCT Endcap Support Cylinder წარმოადგენს EA-ს.

121.04. TRT Support წარმოადგენს TRT დეტექტორის დამხმარე ცილინდრული ფორმის კონსტრუქციას, რომელიც უზრუნველყოფს TRT დეტექტორის მექანიკურ მდგრადობას. TRT Support-ის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ნაწილი, TRT Barrel Support და TRT Endcap Support.

121.04.1 TRT Barrel Support შედგება ორი სიმეტრიული ნაწილისგან. თითო მათგანი შედგება 2 ცილინდრული და 2 დისკური ფორმის კარბონ-ბოჭკოვანი ჩარჩოსგან. თუმცა მათი დეკომპოზიცია შეუძლებელია, რადგან მათი დაყოფა გამოიწვევს TRT Barrel-ის მექანიკური მდგრადობის, როგორც თვისების დაკარგვას. ამიტომ, იგი წარმოადგენს EA-ს.

121.04.2 TRT Endcap Support ცილინდრული ფორმის კონსტრუქციაა და უზრუნველყოფს TRT Endcap-ის Type A და Type B დეტექტორული შრეების მექანიკურ მდგრადობას. TRT Endcap Support-ის შემდგომი დეკომპოზიციით მიიღება 2 ნაწილი:

121.04.21 TRT Type-A Support უზრუნველყოფს Type-A დეტექტორულ შრეში გაერთიანებული დისკების ხისტად დაკავშირებას. რადგან TRT Type-A დეტექტორული შრე წარმოადგენს EA-ს, მისი შესაბამისი Support სამაგრიც EA-ს წარმოადგენს.

121.04.22 TRT Type-B Support უზრუნველყოფს Type-B დეტექტორულ შრეში გაერთიანებული დისკების ხისტად დაკავშირებას. რადგან TRT Type-

B დეტექტორული შრე წარმოადგენს EA-ს, მისი შესაბამისი Support სამაგრიც EA-ს წარმოადგენს.

121.05. LAr Support უზრუნველყოფს LAr დეტექტორული მოწყობილობის მექანიკურ მდგრადობას. LAr Support-ის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ნაწილი.

121.05.1 LAr Barrel Cryostat წარმოადგენს LAr Barrel დეტექტორისა და სოლენოიდ მაგნიტის ყუთს, რომელიც და უზრუნველყოფს მათ მექანიკურ მდგრადობას. LAr Barrel Cryostat-ის შემდგომი დეკომპოზიცია იწვევს LAr Barrel დეტექტორის მექანიკური მდგრადობის, როგორც თვისების დაკარგვას. შესაბამისად, LAr Barrel Cryostat წარმოადგენს EA-ს.

121.05.2 LAr Endcap Cryostat უზრუნველყოფს LAr Endcap დეტექტორების და LAr Shielding-ის მექანიკურ მდგრადობას. LAr Endcap Cryostat-ის შემდგომი დეკომპოზიცია იწვევს LAr Endcap დეტექტორის მექანიკური მდგრადობის, როგორც თვისების დაკარგვას. შესაბამისად, LAr Endcap Cryostat წარმოადგენს EA-ს.

121.06. Tile Calorimeter Feet უზრუნველყოფს Tile Calorimeter-ის მექანიკურ მდგრადობას. მისი დეკომპოზიციით მიიღება 2 ნაწილი:

121.06.1 Tile Barrel Feet არის კონსტრუქცია რომელზეც არის აგებული Tile Barrel Calorimeter. Tile Barrel Feet-ის შემდგომი დეკომპოზიცია იწვევს მისი თვისების დაკარგვას რაც გულისხმობს მათ EA-დ დარჩენას.

121.06.2 Tile Endcap Feet არის კონსტრუქცია რომელზეც არის აგებული Tile Endcap Calorimeter. Tile Endcap Feet-ის შემდგომი დეკომპოზიცია გამოიწვევს მისი თვისების დაკარგვას რაც გულისხმობს მათ EA-დ დარჩენას.

121.07. Muon Supports უზრუნველყოფს მიონური სისტემის მექანიკურ მდგრადობას. მისი შემდგომი დეკომპოზიციით მიიღება 2 ნაწილი:

121.07.1 Muon Barrel Brackets - მიონური კამერების დამჭერები უზრუნველყოფენ კამერების მექანიკურ მდგრადობას. Muon Barrel Brackets-ის დეკომპოზიცია განხორციელდა მიონური კამერების შრეების შესაბამისად, ანუ ის დაიყო 3 ნაწილად:

121.07.11 Muon Barrel Inner (BI) Brackets უზრუნველყოფს Muon Barrel Inner შრის მექანიკურ მდგრადობას. ვინაიდან Muon Barrel Inner დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.11), მისი შესაბამისი Support სამაგრებიც EA-ს წარმოადგენენ.

121.07.12 Muon Barrel Middle (BM) Brackets უზრუნველყოფს Muon Barrel Middle შრის მექანიკურ მდგრადობას. ვინაიდან Muon Barrel Middle დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.12), მისი შესაბამისი Support სამაგრებიც EA-ს წარმოადგენენ.

121.07.13 Muon Barrel Outer (BO) Brackets უზრუნველყოფს Muon Barrel Outer შრის მექანიკურ მდგრადობას. ვინაიდან Muon Barrel Outer დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.13), მისი შესაბამისი Support სამაგრებიც EA-ს წარმოადგენენ.

121.07.2 Muon Endcap Supports უზრუნველყოფს Endcap მიონური სისტემის მექანიკურ მდგრადობას. Endcap მიონური სისტემის შესაბამისად მისი დეკომპოზიციაც 4 ნაწილად განხორციელდა.

121.07.21 Muon Endcap Inner (EI) Support დისკური ფორმის ალუმინის კონსტრუქციაა და უზრუნველყოფს EI დეტექტორული შრის მექანიკურ მდგრადობას. ვინაიდან Muon Endcap Inner დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.21), მისი შესაბამისი Support სამაგრებიც EA-ს წარმოადგენენ.

121.07.22 Muon Endcap Extra (EE) Support დისკური ფორმის ალუმინის კონსტრუქციაა და უზრუნველყოფს EE დეტექტორული შრის მექანიკურ მდგრადობას. ვინაიდან Muon Endcap Extra დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.22), მისი შესაბამისი Support სამაგრებიც EA-ს წარმოადგენენ.

121.07.23 Muon Endcap Middle (EM) Support დისკური ფორმის ალუმინის კონსტრუქციაა და უზრუნველყოფს EM დეტექტორული შრის მექანიკურ მდგრადობას. ვინაიდან Muon Endcap Middle დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.23), მისი შესაბამისი Support სამაგრებიც EA-ს წარმოადგენენ.

121.07.24 Muon Endcap Outer (EO) Support დისკური ფორმის ალუმინის კონსტრუქციაა და უზრუნველყოფს EO დეტექტორული შრის მექანიკურ მდგრადობას. ვინაიდან Muon Endcap Outer დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.24), მისი შესაბამისი Support სამაგრებიც EA-ს წარმოადგენენ.

121.08 BT Warm Structure (WS) Barrel ტოროიდის დამხმარე სტრუქტურაა, რომელიც უზრუნველყოფს Barrel ტოროიდის მაგნიტების მექანიკურ მდგრადობას. WS შედგება 8 წრიული შრისგან, რომელიც აერთიანებს წრიულად განლაგებულ 8 Barrel ტოროიდის მაგნიტებს. შესაბამისად, WS-ის დეკომპოზიცია სექტორებად ან გრძივ შრეებად იწვევს Barrel ტოროიდის მაგნიტური სისტემის მექანიკურ მდგრადობის, როგორც თვისების დაკარგვას. ამიტომ, WS ანაწყობი წარმოადგენს EA-ს.

121.09 Shielding Supports უზრუნველყოფს დამცავი ეკრანების მექანიკურ მდგრადობას. მისი შემდგომი დეკომპოზიციით მიიღება 3 ნაწილი.

121.09.1 Disk Shielding Support წარმოადგენს Disk Shielding დამცავი ეკრანის საყრდენს ფეხებს და უზრუნველყოფს მის მექანიკურ მდგრადობას. მისი შემდგომი დეკომპოზიცია იწვევს Disk Shielding-ის მექანიკური მდგრადობის, როგორც თვისების დაკარგვას.

121.09.2 Forward Shielding Support წარმოადგენს Forward Shielding დამცავი ეკრანის საყრდენს და უზრუნველყოფს მის მექანიკურ მდგრადობას. მისი შემდგომი დეკომპოზიციით იყოფა 2 ნაწილად.

121.09.21 Forward Shielding Support Frame წარმოადგენს Forward Shielding დამცავი ეკრანის საყრდენ ფეხებს, რომელსაც სამკუთხა კონსტრუქცია აქვს და უზრუნველყოფს Forward Shielding-ის წინა ნაწილის მექანიკურ

მდგრადობას. რადგან მისი შემდგომი დეკომპოზიცია იწვევს Forward Shielding-ის მექანიკური მდგრადობის, როგორც თვისების დაკარგვას. ამრიგად Forward Shielding Support Frame არის EA.

121.09.22 HF Truck არის მექანიკური სტრუქტურა, რომელიც წარმოადგენს Forward Shielding-ის სადგამს. ის ხისტად არ არის დამონტაჟებული და აქვს ღია და დახურული პოზიცია. ღია პოზიციაში, ინსტალაციის მიზნით, მას იყენებენ როგორც კალორიმეტრის და ბარელ ტოროიდის დროებით სადგამს. მისი შემდგომი დეკომპოზიცია იწვევს Forward Shielding-ის მექანიკური მდგრადობის, როგორც თვისების დაკარგვას. ამრიგად HF Truck შეგვეძლია განვიხილოთ როგორც EA.

121.09.3 Nose Shielding Support წარმოადგენს Nose Shielding დამცავი ეკრანის ცილინდრული ფორმის სამაგრს და უზრუნველყოფს მის მექანიკურ მდგრადობას. შემდგომი დეკომპოზიცია იწვევს Nose Shielding-ის მექანიკური მდგრადობის, როგორც თვისების დაკარგვას.

121. 10 Beam Pipe Support Structure (BPSS) უზრუნველყოფს Beam Pipe-ის მექანიკურ მდგრადობას $850 < |Z| < 3100\text{mm}$ მანძილზე. BPSS შედგება 3 ოქტაგონალური დისკისგან და მათი დამჭერი 4 ალუმინის ღეროსგან. მისი დეკომპოზიცია იწვევს BPSS მექანიკური მდგრადობის, როგორც თვისების დაკარგვას. შესაბამისად BPSS წარმოადგენს EA-ს.

122 Muon Barrel Access Platforms (MBAP) – წარმოადგენს პლატფორმებს მიონ Barrel ზონაში და უზრუნველყოფს წვდომას მიონურ სისტემაზე. MBAP-ის შემდგომი დეკომპოზიცია იწვევს მიონურ სისტემაზე წვდომის, როგორც თვისების დაკარგვას. შესაბამისად MBAP არის EA.

123.1 Alignment - მაკონტროლებელი სისტემა არის საზომი ხელსაწყო, რომელიც უზრუნველყოფს მიონური კამერების ზუსტ პოზიციონირებას. როგორც ATLAS-ის დეტექტორის აღწერაში არის მოყვანილი, მიონური კამერების მაკონტროლებელი სისტემა შედგება 2 ძირითადი ნაწილისგან, შესაბამისად დეკომპოზიციითაც დაიყო 2 ნაწილად (ცხრილი 6).

123.11 Barrel Alignment რომელიც უზრუნველყოფს Muon Barrel კამერების სწორ პოზიციონირებას. Barrel Alignment-სი შემდგომი დეკომპოზიციით იყოფა 7 ტიპად:

123.111 In-plane უზრუნველყოფს MDT კამერის დეფორმაციის კონტროლს. რადგან მიონურ სისტემაში კამერების 3 შრე არსებობს, შესაბამისად In-plane მაკონტროლებელი სისტემის დეკომპოზიციითაც მიიღება 3 შრე:

123.111.1 Barrel Inner In-plane უზრუნველყოფს Barrel Inner მიონური კამერების დეფორმაციის კონტროლს. ვინაიდან Muon Barrel Inner დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.11), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენს.

123.111.2 Barrel Middle In-plane უზრუნველყოფს Barrel Middle მიონური კამერების დეფორმაციის კონტროლს. ვინაიდან Muon Barrel Middle დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.12), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენს.

123.111.3 Barrel Outer In-plane უზრუნველყოფს Barrel Outer მიონური კამერების დეფორმაციის კონტროლს. ვინაიდან Muon Barrel Outer დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.13), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენს.

123.112 Praxial ზომავს მანძილს გვერდიგვერდ მდებარე MDT კამერებს შორის. რადგან მიონურ სისტემაში კამერების 3 შრე არსებობს, შესაბამისად Praxial მაკონტროლებელი სისტემის დეკომპოზიციითაც მიიღება 3 შრე:

123.112.1 Barrel Inner Praxial უზრუნველყოფს გვერდიგვერდ მდებარე Barrel Inner მიონური კამერების მანძილის კონტროლს. ვინაიდან Muon Barrel Inner დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი

კომპონენტების განშტოებაზე (114.11), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენენ.

123.112.2 Barrel Middle Praxial უზრუნველყოფს გვერდიგვერდ მდებარე Barrel Middle მიონური კამერების მანძილის კონტროლს. ვინაიდან Muon Barrel Middle დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.12), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენენ.

123.112.3 Barrel Outer Praxial უზრუნველყოფს გვერდიგვერდ მდებარე Barrel Outer მიონური კამერების მანძილის კონტროლს. ვინაიდან Muon Barrel Outer დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.13), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენენ.

123.113 Axial ზომავს მიონური სისტემის სექტორში შრეების დეფორმაციას. რადგან მიონური სისტემის სექტორის შრეებად დაყოფა იწვევს მიონური სისტემის თვისების დაკარგვას, შესაბამისად Axial სისტემის შემდგომი დეკომპოზიციაც გამოიწვევს მიონური სისტემის თვისების დაკარგვას. ამრიგად, Axial არის EA-ს.

123.114 Projective ზომავს მიონური სისტემის შრეებს შორის მანძილს ყველა სექტორში, ანუ წრეზე. ვინაიდან აღნიშნული თვისება ვრცელდება ყველა სექტორზე, ამიტომ Projective სისტემის შემდგომი დეკომპოზიცია ცალკე სექტორებად გამოიწვევს სისტემური თვისების დაკარგვას. მაშასადამე, Projective არის EA-ს.

123.115 Reference ზომავს მანძილს კამერებსა და ტოროიდულ მაგნიტს შორის. მისი შემდგომი დეკომპოზიციით მიიღება 3 ნაწილი:

123.115.1 Barrel Inner Reference უზრუნველყოფს Barrel Inner მიონური კამერებსა და ტოროიდულ მაგნიტს შორის მანძილის კონტროლს. ვინაიდან Muon Barrel Inner დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.11), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენენ.

123.115.2 Barrel Middle Reference უზრუნველყოფს Barrel Middle მიონური კამერებსა და ტოროიდულ მაგნიტს შორის მანძილის კონტროლს. ვინაიდან Muon Barrel Middle დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.12), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენენ.

123.115.3 Barrel Outer Reference უზრუნველყოფს Barrel Outer მიონური კამერებსა და ტოროიდულ მაგნიტს შორის მანძილის კონტროლს. ვინაიდან Muon Barrel Outer დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.13), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენენ.

123.116 Chamber to Chamber Conector (CCC) აკავშირებს Large და Small კამერებს ერთმანეთთან. მისი შემდგომი დეკომპოზიციით მიიღება 3 ნაწილი:

123.116.1 Barrel Inner CCC უზრუნველყოფს Barrel Inner მიონური Large და Small კამერებს შორის მანძილის კონტროლს. ვინაიდან Muon Barrel Inner დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.11), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენენ.

123.116.2 Barrel Middle CCC უზრუნველყოფს Barrel Middle მიონური Large და Small კამერებს შორის მანძილის კონტროლს. ვინაიდან Muon Barrel Middle დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.12), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენენ.

123.116.3 Barrel Outer CCC უზრუნველყოფს Barrel Outer მიონური Large და Small კამერებს შორის მანძილის კონტროლს. ვინაიდან Muon Barrel Outer დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.13), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენენ.

123.117 BIR-BIM აკავშირებს ორი BIR და BIM კამერებს ერთმანეთთან მოცემული კამერები მხოლოდ Barrel Inner-ის ორ სექტორში გვხვდება

შესაბამისად მისი დეკომპოზიცია იწვევს Barrel Inner მიონური სისტემის, თვისების დაკარგვას. ამრიგად, BIR-BIM არის EA.

123.12 Endcap Alignment უზრუნველყოფს Muon Endcap კამერების სწორ პოზიციონირებას. ვინაიდან Endcap Alignment-ის 8 ნაირსახეობა არსებობს (თავი I), ამიტომ მისი შემდგომი დეკომპოზიციით მიიღება 8 ობიექტი (ცხრილი 6):

123.121 In-plane უზრუნველყოფს MDT კამერის დეფორმაციის კონტროლს. რადგან მიონურ სისტემაში კამერების 4 შრე არსებობს, შესაბამისად In-plane მაკონტროლებელი სისტემის დეკომპოზიციითაც მიიღება 4 შრე:

123.121.1 Endcap Inner In-plane უზრუნველყოფს Endcap Inner მიონური კამერების დეფორმაციის კონტროლს. ვინაიდან Muon Endcap Inner დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.21), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენს.

123.121.2 Endcap Extra In-plane უზრუნველყოფს Endcap Extra მიონური კამერების დეფორმაციის კონტროლს. ვინაიდან Muon Endcap Extra დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.22), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენს.

123.121.3 Endcap Middle In-plane უზრუნველყოფს Endcap Middle მიონური კამერების დეფორმაციის კონტროლს. ვინაიდან Muon Endcap Middle დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.23), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენს.

123.121.4 Endcap Outer In-plane უზრუნველყოფს Endcap Outer მიონური კამერების დეფორმაციის კონტროლს. ვინაიდან Muon Endcap Outer დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი

კომპონენტების განშტოებაზე (114.24), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენენ.

123.122 In-Bar მდებარეობს End-cap ჩარჩოების რადიალური მილების შიგნით და უზრუნველყოფს End-cap Muon სექტორული კონსტრუქციის ჩარჩოების დეფორმაციის კონტროლს. რადგან მიონურ სისტემაში კამერების 4 შრე არსებობს და შესაბამის 4 სექტორული კონსტრუქციაა, ამიტომ In-Bar მაკონტროლებელი სისტემის დეკომპოზიციითაც მიიღება 4 შრე:

123.122.1 Endcap Inner In-Bar უზრუნველყოფს Endcap Inner სექტორული ჩარჩოს დეფორმაციის კონტროლს. ვინაიდან Muon Endcap Inner დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.21), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენენ.

123.122.2 Endcap Extra In-Bar უზრუნველყოფს Endcap Extra სექტორული ჩარჩოს დეფორმაციის კონტროლს. ვინაიდან Muon Endcap Extra დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.22), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენენ.

123.122.3 Endcap Middle In-Bar უზრუნველყოფს Endcap Middle სექტორული ჩარჩოს დეფორმაციის კონტროლს. ვინაიდან Muon Endcap Middle დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.23), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენენ.

123.122.4 Endcap Outer In-Bar უზრუნველყოფს Endcap Outer სექტორული ჩარჩოს დეფორმაციის კონტროლს. ვინაიდან Muon Endcap Outer დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.24), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენენ.

123.123 Radial მდებარეობს End-cap ყველა შრის ჩარჩოს შუაში და უზრუნველყოფს End-cap Muon სექტორული კონსტრუქციის თითოეული

შრის ჩარჩოს დეფორმაციის კონტროლს. რადგან მიონურ სისტემაში კამერების 4 შრე არსებობს და შესაბამის 4 სექტორული კონსტრუქციაა, ამიტომ Radial მაკონტროლებელი სისტემის დეკომპოზიციითაც მიიღება 4 შრე:

123.123.1 Endcap Inner Radial უზრუნველყოფს Endcap Inner სექტორული ჩარჩოს დეფორმაციის კონტროლს. ვინაიდან Muon Endcap Inner დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.21), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენს.

123.123.2 Endcap Extra Radial უზრუნველყოფს Endcap Extra სექტორული ჩარჩოს დეფორმაციის კონტროლს. ვინაიდან Muon Endcap Extra დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.22), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენს.

123.123.3 Endcap Middle Radial უზრუნველყოფს Endcap Middle სექტორული ჩარჩოს დეფორმაციის კონტროლს. ვინაიდან Muon Endcap Middle დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.23), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენს.

123.123.4 Endcap Outer Radial უზრუნველყოფს Endcap Outer სექტორული ჩარჩოს დეფორმაციის კონტროლს. ვინაიდან Muon Endcap Outer დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.24), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენს.

123.124 Polar უზრუნველყოფს End-cap ის შრეებს შორის მანძილის გაზომვას. რადგან Polar მაკონტროლებელი სისტემა შრეებს შორის ზომავს მანძილს მისი შრეებად დეკომპოზიცია შეუძლებელია, შესაბამისად Polar არის EA.

123.125 Azimuthal ზომავს Endcap Muon დეტექტორის ყველა შრის სექტორულ კონსტრუქციაში ყველა სექტორში არსებული გრძივ ღერძებს შორის მანძილებს. რადგან მიონურ სისტემაში 4 შრე არსებობს და შესაბამისი 4 სექტორული კონსტრუქციაა, ამიტომ Azimuthal მაკონტროლებელი სისტემის დეკომპოზიციითაც მიიღება 4 კომპონენტი:

123.125.1 Endcap Inner Azimuthal უზრუნველყოფს Endcap Inner სექტორის ჩარჩოს გრძივ ღერძებს შორის მანძილის კონტროლს. ვინაიდან Muon Endcap Inner დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.21), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენენ.

123.125.2 Endcap Extra Azimuthal უზრუნველყოფს Endcap Extra სექტორის ჩარჩოს გრძივ ღერძებს შორის მანძილის კონტროლს. ვინაიდან Muon Endcap Extra დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.22), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენენ.

123.125.3 Endcap Middle Azimuthal უზრუნველყოფს Endcap Middle სექტორის ჩარჩოს გრძივ ღერძებს შორის მანძილის კონტროლს. ვინაიდან Muon Endcap Middle დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.23), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენენ.

123.125.4 Endcap Outer Azimuthal უზრუნველყოფს Endcap Outer სექტორის ჩარჩოს გრძივ ღერძებს შორის მანძილის კონტროლს. ვინაიდან Muon Endcap Outer დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.24), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენენ.

123.126 Proximity უზრუნველყოფს Endcap ზონის ყველა სექტორში არსებული MDT კამერების ერთმანეთთან კავშირის გაზომვას. რადგან Endcap მიონური სისტემის სექტორის შრეებად დაყოფა იწვევს მიონური სისტემის თვისების დაკარგვას, შესაბამისად Proximity სისტემის შემდგომი

დეკომპოზიციაც გამოიწვევს მიონური სისტემის სექტორში არსებული MDT კამერების ერთმანეთთან კავშირის გაზომვის კონტროლის თვისების დაკარგვას. ამრიგად, Proximity არის EA-ს.

123.127 Saloon Door უზრუნველყოფს MDT კამერის ჩარჩოს გაზომვას. რადგან მიონურ სისტემაში MDT კამერების 4 შრე არსებობს, შესაბამისად Saloon მაკონტროლებელი სისტემის დეკომპოზიციითაც მიიღება 4 შრე:

123.127.1 Endcap Inner Saloon Door უზრუნველყოფს Endcap Inner მიონური კამერების დეფორმაციის კონტროლს. ვინაიდან Muon Endcap Inner დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.21), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენს.

123.127.2 Endcap Extra Saloon Door უზრუნველყოფს Endcap Extra მიონური კამერების დეფორმაციის კონტროლს. ვინაიდან Muon Endcap Extra დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.22), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენს.

123.127.3 Endcap Middle Saloon Door უზრუნველყოფს Endcap Middle მიონური კამერების დეფორმაციის კონტროლს. ვინაიდან Muon Endcap Middle დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.23), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენს.

123.127.4 Endcap Outer Saloon Door უზრუნველყოფს Endcap Outer მიონური კამერების დეფორმაციის კონტროლს. ვინაიდან Muon Endcap Outer დეტექტორული შრე თავის მხრივ წარმოადგენს EA-ს ძირითადი კომპონენტების განშტოებაზე (114.24), მისი კამერების მაკონტროლებელი სისტემაც EA-ს წარმოადგენს.

123.128 3D Sensor CSC უზრუნველყოფს CSC კამერების ერთმანეთთან კავშირის და კამერის ჩარჩოს დეფორმაციის კონტროლს. CSC კამერები მხოლოდ Endcap Inner მიონური სისტემაში გვხვდება, შესაბამისად 3D Sensor

CSC შემდგომი დეკომპოზიციით მიონური კამერების ერთმანეთთან კავშირისა და Endcap Inner ჩარჩოს მაკონტროლებელი სისტემის თვისების დაკარგვას იწვევს. ამრიგად 3D Sensor CSC არის EA.

123.	Muon Alignment		
	123.1	Barrel Alignment	
	123.11	In-plane	
		123.111	BI In-plane
		123.112	BM In-plane
		123.113	BO In-plane
	123.12	Praxial	
		123.121	BI Praxial
		123.122	BM Praxial
		123.123	BO Praxial
	123.13	Axial	
	123.14	Projective	
	123.15	Reference	
		123.151	BI Reference
		123.152	BM Reference
		123.153	BO Reference
	123.16	CCC	
		123.161	BI CCC
		123.162	BM CCC
		123.163	BO CCC
	123.17	BIR-BIM	
	123.12	Endcap Alignment	
	123.21	In-plate	
		123.211	EI In-plate
		123.212	EE In-plate
		123.213	EM In-plate
		123.214	EO In-plate
	123.22	In-Bar	
		123.221	EI In-Bar
		123.222	EE In-Bar
		123.223	EM In-Bar
		123.224	EO In-Bar
	123.23	Radial	
		123.231	EI Radial
		123.232	EE Radial
		123.233	EM Radial
		123.234	EO Radial
	123.24	Polar	
	123.25	Azimuthal	
		123.251	EI Azimuthal
		123.252	EE Azimuthal
		123.253	EM Azimuthal

		123.254	EO Azimuthal
123.26	Proximity		
123.27	Saloon Door		
		123.271	EI Saloon Door
		123.272	EE Saloon Door
		123.273	EM Saloon Door
		123.274	EO Saloon Door
123.28	3D Sensor		

ცხრილი 6. Alignment სისტემის ფუნქციონალური დეკომპოზიცია

13 Services წარმოადგენს ATLAS დეტექტორის ფუნქციონირებისთვის საჭირო კაბელების, კარადების, სერვის სამაგრების და სხვადასხვა დანიშნულების მილების ერთობლიობას. ამრიგად მისი შემდგომი დეკომპოზიციით მიიღება 4 კომპონენტი.

131 Cables - კაბელები უზრუნველყოფენ ATLAS დეტექტორში არსებული ელექტრო მოწყობილობების ელექტრო ენერგიით კვებას და დეტექტორიდან მიღებულ მონაცემთა გაცვლას. შესაბამისად მისი დეკომპოზიციით მიიღება 2 ნაწილი.

131.1 Power Supply Cable (PSC) უზრუნველყოფს დეტექტორის ელექტრო მოწყობილობების ელექტრო ენერგიით მომარაგებას. დეტექტორის ძირითადი კომპონენტების ელექტრო მოწყობილობებს სხვადასხვა ტიპის კვების კაბელები ემსახურება. მეორეს მხრივ კაბელების დეკომპოზიცია ცალკეულ ტიპებად არ წარმოადგენს დეტექტორის ფუნქციონალური დეკომპოზიციის ამოცანას. ამიტომ კვების კაბელების მთლიანი ერთობლიობა შეგვიძლია განვიხილოთ როგორც EA.

131.2 Data Transmission Cables (DTC) აერთიანებს ყველა, ინფორმაციის მატარებელ კაბელებს. ATLAS დეტექტორში სხვადასხვა ტიპის კაბელი არსებობს, მაგრამ მათი დეკომპოზიცია ცალკეულ ტიპებად არ წარმოადგენს დეტექტორის ფუნქციონალური დეკომპოზიციის ამოცანას. ამიტომ

ინფორმაციის მატარებელი კაბელების მთლიანი ერთობლიობა შეგვიძლია განვიხილოთ როგორც EA.

132 Patch Panel (PP) საკომუტაციო პანელების ერთობლიობაა, რომლსაც დეტექტორში კაბელების გამანაწილებლის ფუნქცია აქვს. Patch Panel-ის შემდგომი დეკომპოზიციით მიიღება 6 ნაწილი

132. 1 Patch Panel 0/1 (PP 0/1) წარმოადგენენ შიდა დეტექტორული კომპონენტიდან გამომავალი კაბელების საკომუტაციო პანელების ერთობლიობას. იგი შედგება PP0 და PP1 ტიპის პანელებისგან და შეიცავს მხოლოდ პასიურ ელემენტებს, რომლებიც განკუთვნილია კაბელების განშტოებების შესაქმნელად. ამიტომ მათი ერთობლიობა შეგვიძლია განვიხილოთ როგორც EA.

132.2 Patch Panel 2 (PP2) წარმოადგენს სხვადასხვა დეტექტორული კომპონენტიდან გამომავალი კაბელების საკომუტაციო პანელებს, რომლებიც პასიურ კომპონენტებთან ერთად ასევე შეიცავენ DCS სისტემის ელექტრონულ პლატებს და მოწყობილობებს. მათი ერთობლიობაც შეგვიძლია განვიხილოთ როგორც EA.

133 Pipes არის დეტექტორში არსებული მილების ერთობლიობა რომლებიც უზრუნველყოფენ გაზის ნაერთის, გაციების და კრიოგენული სისტემის ნივთიერებების მიწოდებას დეტექტორში მილების ერთობლიობა შეიძლება დაიყოს მათი გაზის, გაციების ან კრიოგენული სისტემასთან მიკუთვნების მიხედვით. შედეგად დეკომპოზიციით მივიღებთ მილების 3 ჯგუფს:

133.1 გაციების სისტემის მილები უზრუნველყოფენ დეტექტორის კომპონენტებამდე წყლის, C_3F_8 და $C_6 F_{14}$ ნივთიერებების მიწოდებას. გაციების სისტემის მილების ერთობლიობა წინამდებარე კვლევაში განიხილება როგორც EA.

133.2 გაზის მიმწოდებელი მილები უზრუნველყოფენ სხვადასხვა ნარევი გაზის მიწოდებას დეტექტორულ კომპონენტებამდე, კონკრეტულად შიდა

დეტექტორამდე და მიონ სპექტრომეტრამდე. გაზის მიმწოდებელი მილების ერთობლიობა წინამდებარე კვლევაში განიხილება როგორც EA.

133.3 კრიოგენული სისტემის მილები უზრუნველყოფენ მაგნიტური სისტემისა და LAr კალორიმეტრის გასაციებელი ნივთიერების, თხევადი ჰელიუმისა და ნიტროგენის, მიწოდებას. კრიოგენული სისტემის მილების ერთობლიობა წინამდებარე კვლევაში განიხილება როგორც EA.

134 Service Support-ი ATLAS დეტექტორში არსებული სერვისების სამაგრებია, რომლებიც უზრუნველყოფენ დეტექტორში არსებული კაბელებისა და მილების დამაგრებას. სამაგრები ემსახურებიან სერვისების მთლიან ერთობლიობას და არა რომელიმე მილის ან კაბელების ტიპს. ამიტომ სამაგრების შემდგომი დეკომპოზიციას არ აქვს აზრი და ის შეიძლება განვიხილოთ როგორც EA.

14 კონტროლის სისტემა (DCS) უზრუნველყოფს დეტექტორის ფუნქციონირებისთვის საჭირო პარამეტრების კონტროლს. აღნიშნული პარამეტრები ახასიათებენ სერვისის სისტემების მუშაობას, დეტექტორის ძირითადი კომპონენტების მუშაობას და მათ მდგომარეობას; ასევე დეტექტორის გარემოს და რადიაციის დონეს. აქედან გამომდინარე სისტემის დეკომპოზიციით მიიღება სხვადასხვა ქვეკომპონენტები, რომლებიც შეიძლება დაჯგუფდეს მაკონტროლებელი პარამეტრების ტიპით (ცხრილი 7).

14	141. Cooling CS	
		141.1 Pixel Cooling CS
		141.2 SCT Cooling CS
		141.3 TRT Cooling CS
	142. Detector Comp. CS	
		142.1 Magnet Field CS
		142.2 Alignment CS
		142.3 Position, Strain CS
	143. Power supply CS	
	144. Temperature CS	
	145. Gas CS	
		145.1 TRT Gas CS
Control System		145.2 Muon Gas CS
	146. Cryogenic CS	
		146.1 LAr Cryogenic CS

ცხრილი 7. კონტროლის სისტემის ფუნქციონალური დეკომპოზიცია

141 გაციების კონტროლის სისტემა (Cooling Control System - CCS) უზრუნველყოფს შიდა დეტექტორის კომპონენტების გაციების კონტროლს. ვინაიდან (თავი I) შიდა დეტექტორი 3 კომპონენტისგან შედგება, ამიტომ გაციების კონტროლის სისტემის შემდგომი დეკომპოზიციით მიიღება 3 ქვესისტემა:

141.1 Pixel-ის გაციების კონტროლის სისტემა აწარმოებს მუდმივ მონიტორინგს Pixel-ის გაციების სისტემაზე და მის პარამეტრებზე. რაც თავის მხრივ უზრუნველყოფს Pixel დეტექტორის გამართულად ფუნქციონირებას. რადგან Pixel დეტექტორს ერთი გაციების სისტემა ემსახურება, შესაბამისად მისი კონტროლის სისტემაც ერთ მთლიანობას წარმოადგენს. მაშასადამე Pixel-ის გაციების კონტროლის სისტემა წარმოადგენს EA-ს.

141.2 SCT-ს გაციების კონტროლის სისტემა აწარმოებს მუდმივ მონიტორინგს 2 SCT-ს გაციების სისტემაზე და მის პარამეტრებზე. რაც თავის მხრივ უზრუნველყოფს SCT დეტექტორის გამართულად ფუნქციონირებას. რადგან SCT დეტექტორს ერთი გაციების სისტემა ემსახურება, შესაბამისად მისი კონტროლის სისტემაც ერთ მთლიანობას წარმოადგენს. მაშასადამე SCT-ს გაციების კონტროლის სისტემა წარმოადგენს EA-ს.

141.3 TRT-ს გაციების კონტროლის სისტემა აწარმოებს მუდმივ მონიტორინგს TRT-ს გაციების სისტემაზე და მის პარამეტრებზე. რაც თავის მხრივ უზრუნველყოფს TRT დეტექტორის გამართულად ფუნქციონირებას. რადგან TRT დეტექტორს ერთი გაციების სისტემა ემსახურება, შესაბამისად მისი კონტროლის სისტემაც ერთ მთლიანობას წარმოადგენს. მაშასადამე TRT-ს გაციების კონტროლის სისტემა წარმოადგენს EA-ს.

142 დეტექტორის კომპონენტების მუშაობის კონტროლი უზრუნველყოფს დეტექტორის ძირითადი კომპონენტების

ფუნქციონირებისთვის საჭირო პარამეტრების კონტროლს. ATLAS დეტექტორში 2 ასეთი კონტროლის სისტემაა:

142.1 მაგნიტური ველის კონტროლი უზრუნველყოფს მაგნიტური სისტემის კომპონენტებში მაგნიტური ველის მონიტორინგს და მართვას. მაგნიტური ველის კონტროლის შემდგომი დეკომპოზიცია არ წარმოადგენს დეტექტორის ფუნქციონალური დეკომპოზიციის ამოცანას. შესაბამისად მაგნიტური ველის კონტროლი წარმოადგენს EA-ს

142.2 მიონური Alignment სისტემის ფუნქციონირებისთვის საჭიროა პარამეტრების მონიტორინგის სისტემა. Alignment სისტემის კონტროლის შემდგომი დეკომპოზიცია არ წარმოადგენს დეტექტორის ფუნქციონალური დეკომპოზიციის ამოცანას. შესაბამისად Alignment სისტემის კონტროლი წარმოადგენს EA-ს

142.3 LAr დეტექტორის პოზიციის და დეფორმაციის მუდმივი მონიტორინგის სისტემა. პოზიცია-დეფორმაციის კონტროლის შემდგომი დეკომპოზიცია არ წარმოადგენს დეტექტორის ფუნქციონალური დეკომპოზიციის ამოცანას. შესაბამისად პოზიცია-დეფორმაციის კონტროლი წარმოადგენს EA-ს

143 დეტექტორის კომპონენტების ელექტრო მოწყობილობების ელექტრო მომარაგების კონტროლი უზრუნველყოფს დეტექტორის ყველა ძირითადი კომპონენტის ელექტრო მოწყობილობებზე ელექტროენერგიის მახასიათებლების მონიტორინგს და მართვას. დეტექტორის კომპონენტების ელექტრო მოწყობილობების ელექტრო მომარაგების კონტროლის შემდგომი დეკომპოზიცია არ წარმოადგენს დეტექტორის ფუნქციონალური დეკომპოზიციის ამოცანას. შესაბამისად დეტექტორის კომპონენტების ელექტრო მოწყობილობების ელექტრო მომარაგების კონტროლი წარმოადგენს EA-ს.

144 დეტექტორის კომპონენტების ელექტრო მოწყობილობების ტემპერატურის კონტროლი უზრუნველყოფს დეტექტორის ყველა ძირითადი კომპონენტის ტემპერატურული მახასიათებლების

მონიტორინგს. დეტექტორის კომპონენტების ელექტრო მოწყობილობების ტემპერატურის კონტროლის შემდგომი დეკომპოზიცია არ წარმოადგენს დეტექტორის ფუნქციონალური დეკომპოზიციის ამოცანას. შესაბამისად დეტექტორის კომპონენტების ელექტრო მოწყობილობების ტემპერატურის კონტროლი წარმოადგენს EA-ს.

145 გაზის სისტემის კონტროლი უზრუნველყოფს გაზის ნარევის, მოცულობისა და განაწილების კონტროლს. მოცემული კონტროლის სისტემები გვხვდება დეტექტორის 2 ძირითად კომპონენტში და შესაბამისად მისი დეკომპოზიციითაც მიიღება 2 ქვედანაყოფი:

145.1 TRT გაზის კონტროლის სისტემა უზრუნველყოფს TRT დეტექტორის გაზის ნარევის კონტროლს და გაზის სისტემის მონიტორინგს და მართვას. მისი შემდგომი დეკომპოზიცია არ წარმოადგენს დეტექტორის ფუნქციონალური დეკომპოზიციის ამოცანას, ამიტომ TRT გაზის კონტროლის სისტემა წარმოადგენს EA-ს.

145.2 Muon გაზის კონტროლის სისტემა უზრუნველყოფს Muon დეტექტორის კამერებში გაზის სისტემის მონიტორინგს და მართვას. მისი შემდგომი დეკომპოზიცია არ წარმოადგენს დეტექტორის ფუნქციონალური დეკომპოზიციის ამოცანას, ამიტომ Muon გაზის კონტროლის სისტემა წარმოადგენს EA-ს.

146 კრიოგენული სისტემის კონტროლი უზრუნველყოფს დეტექტორის LAr და Magnet კომპონენტებში, თხევადი არგონის ხარისხის კონტროლს და კრიოგენული სისტემის მონიტორინგს და მართვას. მისი შემდგომი დეკომპოზიციით მიიღება 2 კომპონენტი:

146.1 LAr კრიოგენული კონტროლის სისტემა უზრუნველყოფს LAr კალორიმეტრში თხევადი არგონის ხარისხის კონტროლს და კრიოგენული სისტემის მონიტორინგს და მართვას. LAr კრიოგენული სისტემის კონტროლის შემდგომი დეკომპოზიცია არ წარმოადგენს დეტექტორის ფუნქციონალური დეკომპოზიციის ამოცანას, ამიტომ LAr კრიოგენული კონტროლის სისტემა წარმოადგენს EA-ს.

146.2 Magnet კრიოგენული კონტროლის სისტემა უზრუნველყოფს თხევადი არგონის ხარისხის კონტროლს და კრიოგენული სისტემის მონიტორინგს და მართვას. Magnet კრიოგენული სისტემის კონტროლის შემდგომი დეკომპოზიცია არ წარმოადგენს დეტექტორის ფუნქციონალური დეკომპოზიციის ამოცანას, ამიტომ Magnet კრიოგენული კონტროლის სისტემა წარმოადგენს EA-ს.

Level I	Level II	Level III	
2 Infrastructure	21	Civil Engineering	
		211.	UX15
		212.	US15/USA15
	22	Surrounding Structure	
		221.	HO
		222	HS
	23	Cable and Pipe Distribution	
		231.	Cables/Cable Trays
		232.	Cooling and Gas Pipes
		233.	Racks
		234.	Flaxible Chain
	24	Air-conditioning	
	25	Cooling system	
	26	Gas system	
	27	Cryogenic system	
		271.	Magent Cryogenic System
	272.	LAr Cryogenic System	

21 Civil Engineering საინჟინრო ნაგებობები წარმოადგენენ ATLAS დეტექტორის იმ ნაგებობებს რომლებიც ემსახურებიან დეტექტორის მიწისქვეშა კომპონენტებს. როგორც ATLAS დეტექტორის აღწერაშია განხილული ATLAS ექსპერიმენტს მიწისქვეშე გააჩნია 3 ძირითადი

პავილიონი. შესაბამისად Civil Engineering-ის დეკომპოზიციით მიიღება 3 პავილიონი:

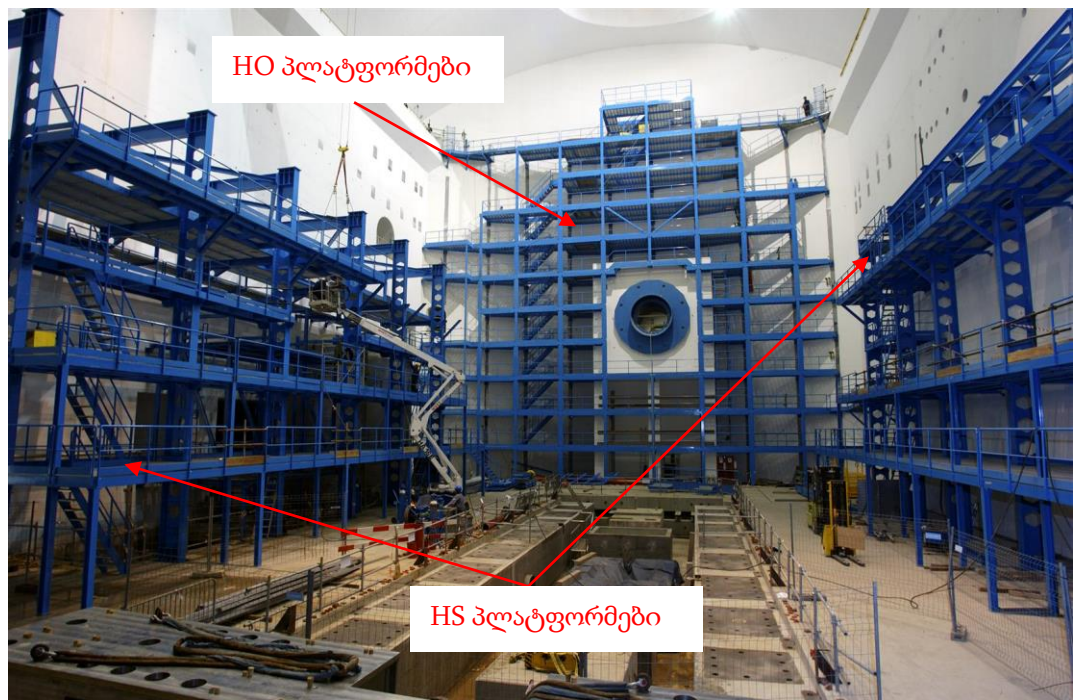
211 UX1 პავილიონი არის რკინა-ბეტონის ნაგებობა, რომელშიც განთავსებულია ATLAS დეტექტორი. რადგან მისი შემდგომი დეკომპოზიციით იკარგება პავილიონის თვისება. ამრიგად UX1 წარმოადგენს EA-ს.

212 USA15/US15 პავილიონები არიან რკინა-ბეტონის ნაგებობები, რომლებშიც განთავსებულია ATLAS დეტექტორი ელექტრო მოწყობილობები. რადგან მათი შემდგომი დეკომპოზიციით იკარგება პავილიონის თვისება. ამრიგად USA15/US15 წარმოადგენს EA-ს.

22 Surrounding Structure ინფრასტრუქტურული პლატფორმები დეტექტორის გარშემო არის განთავსებული და უზრუნველყოფს დეტექტორის კომპონენტებზე გარედან წვდომას. პლატფორმების 13 სართულიანი სტრუქტურა 2 ძირითადი ნაწილისგან შედგება, შესაბამისად მისი შემდგომი დეკომპოზიციით მიიღება 2 ქვესტრუქტურა (სურ. 12):

221 HS სტრუქტურით შესაძლებელია მიონ Barrel დეტექტორის გარე კამერებთან წვდომა. HS სტრუქტურის შემდგომი დეკომპოზიციით იკარგება მისი, როგორც მიონ Barrel დეტექტორის გარე კამერებთან წვდომის თვისება. შესაბამისად 221 HS სტრუქტურა წარმოადგენს EA-ს.

222 HO სტრუქტურით უზრუნველყოფს მიონ Endcap დეტექტორის Outer wheel-ის დაფიქსირებას და მასზე წვდომას. HO სტრუქტურის შემდგომი დეკომპოზიციით იკარგება მისი, როგორც უზრუნველყოფს მიონ Endcap დეტექტორის Outer wheel-ის კამერებთან წვდომის თვისება. შესაბამისად 221 HS სტრუქტურა წარმოადგენს EA-ს.



სურათი 12. HO და HS პლატფორმები

23 Cable and Pipe Distribution კაბელების და მილების გაყვანილობები უზრუნველყოფს დეტექტორის კომპონენტების კავშირს გარე სისტემებთან. მოცემული გაყვანილობები მოიცავს კაბელებს დამჭერი არხებით, მილებს, სერვის კარადებს და სხვა დამხმარე კონსტრუქციებს. შესაბამისად მისი შემდგომი დეკომპოზიციით მიიღება 4 კომპონენტი:

231 Cables/Cable Trays წარმოადგენს კაბელებს და კაბელების არხების გაყვანილობას, რომლებიც უზრუნველყოფენ დეტექტორამდე ელექტრო ენერგიის მიყვანას და დეტექტორიდან ინფორმაციის გაცვლას გარე ელექტრო აპარატურასთან. რადგან კაბელების და კაბელების არხების ცალ-ცალკე დეკომპოზიციით იკარგება სისტემური თვისება, ამიტომ კაბელებს და კაბელების არხებს გაყვანილობის მთლიანი ერთობლიობა შეგვიძლია განვიხილოთ როგორც EA.

232 Cooling and Gas Pipes გაციებისა და გაზის გაყვანილობა უზრუნველყოფენ დეტექტორის მომარაგებას თხევადი და გაზის ნაერთებით. გაციებისა და გაზის გაყვანილობის დეკომპოზიცია ცალკეულ ტიპებად არ წარმოადგენს დეტექტორის ფუნქციონალური დეკომპოზიციის

ამოცანას. ამიტომ გაციებისა და გაზის გაყვანილობა შეგვიძლია განვიხილოთ როგორც EA.

233 Racks სერვის კარადები უზრუნველყოფენ ელექტრო ენერგიის, მონაცემთა და გაზის მიღება-განაწილებას. მოცემული სერვის კარადები განთავსებულია ძირითადი პავილიონის ინფრასტრუქტურულ პლატფორმებზე და დამხმარე US15/USA15 პავილიონებში. რადგან სერვის კარადების შემდგომი დეკომპოზიცია არ წარმოადგენს დეტექტორის ფუნქციონალური დეკომპოზიციისთვის ამოცანას. ამიტომ Racks სერვის კარადები შეგვიძლია ვიგულისხმოთ EA-დ.

234 Flexible Chains კაბელების და მილების მოქნილი კონსტრუქციაა, რომელიც უზრუნველყოფს დეტექტორის მოძრავი ქვეკომპონენტების მომსახურებას, რომელთა გადაადგილებაც ხორციელდება დეტექტორის შიგნითა კომპონენტებზე წვდომისთვის. ასეთი ქვეკომპონენტებია Endcap ტოროიდული მაგნიტი, Endcap Inner მიონური შრე და კალორიმეტრის Endcap დეტექტორები. შესაბამისად შემდგომი დეკომპოზიციით მიიღება 3 კომპონენტი:

234.1 Toroid Magnet Flexible Chains (TM FC) ემსახურება მოქნილი კრიოგენული გაყვანილობის კონსტრუქციას, რომელიც მილებით თხევად ჰელიუმს აწვდის Endcap ტოროიდული მაგნიტს.

234.2 Muon Endcap Inner Flexible Chains წარმოადგენს 4 მოქნილი გაყვანილობის კონსტრუქციას, რომელიც ემსახურება მიონური Endcap Inner კამერებს.

234.3 Calorimeter Endcap Flexible Chains წარმოადგენს 3 მოქნილი გაყვანილობის კონსტრუქციას, რომელიც ემსახურება Endcap კალორიმეტრს.

24 Air-conditioning system ვენტილაციის სისტემა უზრუნველყოფს UX15, USA15 და US15 პავილიონებში ნამეტი ტემპერატურის და ნესტიანობის გარეთ გამოტანას. მისი შემდგომი დეკომპოზიცია არ წარმოადგენს დეტექტორის ფუნქციონალური დეკომპოზიციისთვის ამოცანას. ამიტომ Racks სერვის კარადები შეგვიძლია ვიგულისხმოთ EA-დ.

25 Cooling System გაციების სისტემა უზრუნველყოფს დეტექტორის კომპონენტების ლოკალურ გაციებას და ასევე კაბელების, სერვის კარადების და სხვა დამხმარე მოწყობილობების გაციებას. მისი შემდგომი დეკომპოზიცია არ წარმოადგენს დეტექტორის ფუნქციონალური დეკომპოზიციისთვის ამოცანას. ამიტომ გაციების სისტემა შეგვიძლია ვიგულისხმოთ როგორც EA.

26 Gas System უზრუნველყოფს შიდა დეტექტორის და მიონური სისტემის მომარაგებას გაზის ნარევით. შემდგომი დეკომპოზიცია არ წარმოადგენს დეტექტორის ფუნქციონალური დეკომპოზიციისთვის ამოცანას. ამიტომ გაციების სისტემა შეგვიძლია ვიგულისხმოთ როგორც EA.

27 Cryogenic Systems კრიოგენული სისტემა შედგება 2 დამოუკიდებელი სისტემისგან. ერთი ემსახურება მაგნიტის გაციებას, ხოლო მეორე LAr კალორიმეტრის გაციებას, ამიტომ მისი შემდგომი დეკომპოზიციით მიიღება 2 სისტემა

271 Magent Cryogenic Systems უზრუნველყოფს მაგნიტში თხევადი არგონის მიწოდებას თხევადი არგონის საცავებიდან რომლებიც UX15 პავილიონში დგას. მისი შემდგომი დეკომპოზიცია არ წარმოადგენს დეტექტორის ფუნქციონალური დეკომპოზიციისთვის ამოცანას. ამიტომ გაციების სისტემა შეგვიძლია ვიგულისხმოთ როგორც EA.

272 LAr Cryogenic Systems უზრუნველყოფს LAr კალორიმეტრში თხევადი ნიტროგენის მიწოდებას თხევადი ნიტროგენის საცავებიდან რომლებიც UX15 პავილიონში დგას. მისი შემდგომი დეკომპოზიცია არ წარმოადგენს დეტექტორის ფუნქციონალური დეკომპოზიციისთვის ამოცანას. ამიტომ გაციების სისტემა შეგვიძლია ვიგულისხმოთ როგორც EA.

თავი IV: დეკომპოზიციის II ეტაპი: კომპონენტების დაშლა მათი სივრცეში განაწილების მიხედვით

დეკომპოზიციის მე-2 ეტაპზე უნდა გამოიყოს ფუნქციონალური დეკომპოზიციის შედეგად მიღებული ისეთი ელემენტარული ანაწყოები (EA), რომლებსაც გააჩნიათ სივრცეში განაწილებული არაერთგვაროვანი სტრუქტურები და უნდა განხორციელდეს მათი დეკომპოზიცია $\{F\}$ (3.2) კრიტერიუმთა სისტემის მიხედვით.

დეტექტორის ფუნქციონალური დეკომპოზიციით მიღებული ყველა $EA|_{\Phi}$ არ ექვემდებარება დაყოფას სექტორულ ელემენტებად. ამიტომ ჯერ უნდა მოხდეს $EA|_{\Phi}$ სიმრავლის გაცხრილვა ისეთი კომპონენტებისგან რომელთა დაყოფა სექტორებად არ არის შესაძლებელი. ხოლო, შემდეგ დარჩენილი სიმრავლე, ანალიზის საფუძველზე უნდა გაიყოს ორ სიმრავლედ:

1. სიმრავლე სადაც EA კომპონენტების სექტორული დეკომპოზიციით ერთგვაროვანი სტრუქტურები მიიღება
2. სიმრავლე რომლის კომპონენტების სექტორული დეკომპოზიციით მიიღება არაერთგვაროვანი სტრუქტურა.

4.1 დეკომპოზიცია ერთგვაროვან სტრუქტურებად

111.21 Toroid Barrel მაგნიტის დეკომპოზიცია შესაძლებელია 8 იდენტური Coil-ად რომლებიც განაწილებულია მე-2, მე-4, მე-6, მე-8, მე-10, მე-12, მე-14 და მე-16 სექტორებში, შესაბამისად ისინი ერთგვაროვან სტრუქტურას წარმოადგენენ, ამიტომ დეკომპოზიციის შედეგად მივიღებთ ტიპიურ კომპონენტს ერთ სექტორში. დანარჩენ სექტორებში გეომეტრიები მიიღება ტიპიური კომპონენტის შემობრუნებით.

113.21/113.22 რადგან Tile Barrel და Barrel Extended კალორიმეტრები წარმოადგენენ 64 იდენტური ელემენტისგან შედგენილი დეტექტორებს, მათი დაყოფა 16 სექტორადაც შესაძლებელია. თუმცა მათი ერთგვაროვნებიდან გამომდინარე მათი დეკომპოზიციის შედეგად მივიღებთ ტიპიურ კომპონენტს ერთ სექტორში. დანარჩენ სექტორებში გეომეტრიები მიიღება ტიპიური კომპონენტის შემობრუნებით.

121.07.11/121.07.12/121.07.13 Muon Barrel Brackets მიონური კამერების დამჭერები სამივე შრეში (BI, BM და BO) კამერების შესაბამისად შესაძლებელია 16 სექტორად დაყოფა. მეორეს მხრივ მათი ერთგვაროვანი სტრუქტურიდან გამომდინარე შემდგომ სივრცულ დეკომპოზიციის შედეგად მივიღებთ ტიპიურ კომპონენტს ერთ სექტორში. დანარჩენ სექტორებში გეომეტრიები მიიღება ტიპიური კომპონენტის შემობრუნებით.

121.07.21/121.07.22/121.07.23/121.07.24 Muon Endcap Brackets მიონური კამერების დამჭერები სამივე შრეში (EI, EE, EM და EO) კამერების შესაბამისად შესაძლებელია 16 სექტორად დაყოფა. მეორეს მხრივ მათი ერთგვაროვანი სტრუქტურიდან გამომდინარე შემდგომ სივრცულ დეკომპოზიციის შედეგად მივიღებთ ტიპიურ კომპონენტს ერთ სექტორში. დანარჩენ სექტორებში გეომეტრიები მიიღება ტიპიური კომპონენტის შემობრუნებით.

121.08 BT Warm Structure ტორიიდის დამხმარე სტრუქტურას წრიული ფორმა აქვს და 8 მაგნიტის დამხმარე კონსტრუქცია, რომელიც 8 ერთგვაროვანი ანაწყობისგან შედგება. ამიტომ მათ სივრცულ დეკომპოზიციის შედეგად მივიღებთ ტიპიურ კომპონენტს ერთ სექტორში. დანარჩენ სექტორებში გეომეტრიები მიიღება ტიპიური კომპონენტის შემობრუნებით.

123 Alignment მაკონტროლებელი სისტემის ყველა ქვეკომპონენტი ერთის მხრივ ემსახურება მიონური კამერების პოზიციონირებას და შესაბამისად კამერებთან ერთად მაკონტროლებელი სისტემაც იყოფა 16

სექტორად. თუმცა მეორეს მხრივ მათი გეომეტრიული ფორმა და პოზიციონირება სექტორებში ერთგვაროვან სტრუქტურულ ერთეულებს წარმოადგენენ. აქედან გამომდინარე შემდგომ სივრცულ დეკომპოზიციის შედეგად მივიღებთ ტიპიურ კომპონენტს ერთ სექტორში. დანარჩენ სექტორებში გეომეტრიები მიიღება ტიპიური კომპონენტის შემობრუნებით.

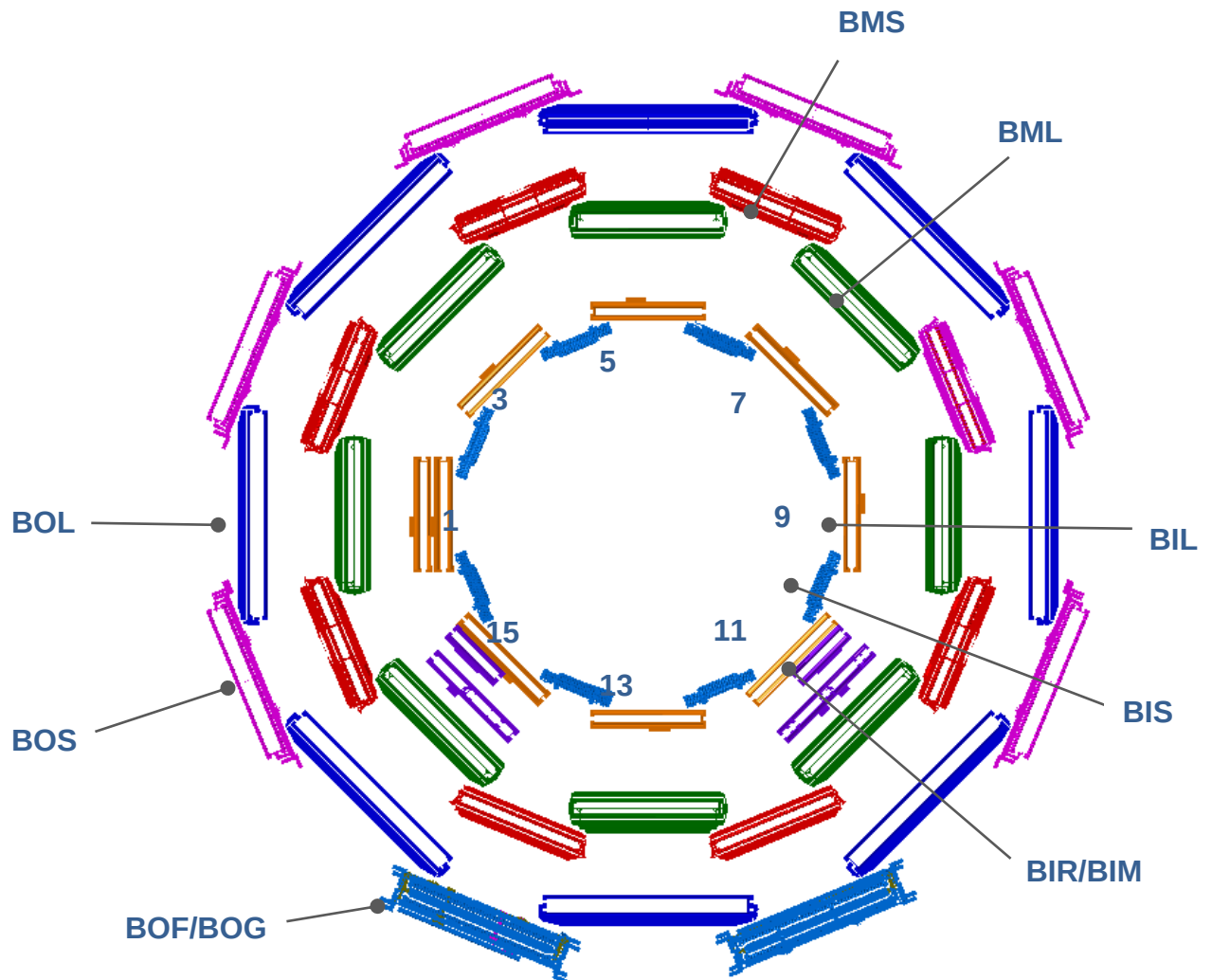
4.2 დეკომპოზიცია არაერთგვაროვან სტრუქტურებად

დეტექტორში გარდა ერთგვაროვანი EA კომპონენტებისა ასევე გამოყოფილია ისეთი EA კომპონენტები რომელთა სექტორული დეკომპოზიციაც შესაძლებელია და იმავდროულად არ აქვთ ერთგვაროვანი სახე.

Muon Barrel შრეებში კამერები ზუსტად 16 სექტორად არის დაყოფილი. როგორც ATLAS დეტექტორის აღწერაშია მოყვანილი სექტორებში არსებობს დიდი (Large) და პატარა (Small) ტიპის კამერები. დიდი ზომის კამერები კენტ სექტორებში არიან განაწილებულები, ხოლო პატარა კამერები - ლუწში. გარდა ამ ორი ტიპის კამერებისა კიდევ არსებობს გამონაკლისი კამერული სექტორები დეტექტორის ფეხებთან, რომლებიც მე-12 და მე-14 სექტორებში ერთმანეთის სიმეტრიულად არიან განაწილებულები. შესაბამისად Muon Barrel-ის თითოეული შრის სივრცული დეკომპოზიციით მიიღება 3 არაერთგვაროვანი სექტორული კამერა (ცხრილი 9):

114.1 Barrel			
114.11 BI Inner		114.111	BIL
		114.112	BIS
		114.113	BIR/BIM
114.12 BM Middle		114.121	BML
		114.122	BMS
		114.123	BMF
114.13 BO Outer		114.131	BOL
		114.132	BOS
		114.133	BOF/BOG

ცხრილი 9 – Muon Barrel-ის სივრცული დეკომპოზიცია



სურათი 34 - Muon Barrel-ის კამერები

114.11 Muon Barrel Inner კამერების ერთობლიობაა 16 სექტორში. აქედან შეიძლება გამოიყოს 3 არაერთგვაროვანი სექტორული კამერა BIL, BIS და BIR/BIM.

114.111. BIL -ის 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 და 15 სექტორების ტიპური შრე წარმოადგენს ერთგვაროვან სტრუქტურას, ამიტომ მათი შემდგომი სივრცული დეკომპოზიცია არ განხორციელდება და ის განიხილება როგორც EA.

114.112. BIS-ის 2, 4, 6, 8, 10 და 16 სექტორების ტიპური შრე წარმოადგენს ერთგვაროვან სტრუქტურას, ამიტომ მათი შემდგომი სივრცული დეკომპოზიცია არ განხორციელდება და ის განიხილება როგორც EA.

114.113. BIR/BIM-ის მე-12 და მე-14 სექტორების ტიპური შრე წარმოადგენს ერთგვაროვან სტრუქტურას, ამიტომ მათი შემდგომი სივრცული დეკომპოზიცია არ განხორციელდება და ის განიხილება როგორც EA.

114.12 Muon Barrel Middle კამერების ერთობლიობაა 16 სექტორში. აქედან შეიძლება გამოიყოს 3 არაერთგვაროვანი სექტორული კამერა BML, BMS და BMF.

114.121. BML-ის 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 და 15 სექტორების ტიპური შრე წარმოადგენს ერთგვაროვან სტრუქტურას, ამიტომ მათი შემდგომი სივრცული დეკომპოზიცია არ განხორციელდება და ის განიხილება როგორც EA.

114.122. BMS-ის 2, 4, 6, 8, 10 და 16 სექტორების ტიპური შრე წარმოადგენს ერთგვაროვან სტრუქტურას, ამიტომ მათი შემდგომი სივრცული დეკომპოზიცია არ განხორციელდება და ის განიხილება როგორც EA.

114.123. BMF-ის მე-12 და მე-14 სექტორების ტიპური შრე წარმოადგენს ერთგვაროვან სტრუქტურას, ამიტომ მათი შემდგომი სივრცული დეკომპოზიცია არ განხორციელდება და ის განიხილება როგორც EA.

114.13 Muon Barrel Outer კამერების ერთობლიობაა 16 სექტორში. აქედან შეიძლება გამოიყოს 3 არაერთგვაროვანი სექტორული კამერა BOL, BOS და BOF/BOG.

114.131. BOL-ის 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 და 15 სექტორების ტიპური შრე წარმოადგენს ერთგვაროვან სტრუქტურას, ამიტომ მათი შემდგომი სივრცული დეკომპოზიცია არ განხორციელდება და ის განიხილება როგორც EA.

114.132. BOS-ის 2, 4, 6, 8, 10 და 16 სექტორების ტიპური შრე წარმოადგენს ერთგვაროვან სტრუქტურას, ამიტომ მათი შემდგომი

სივრცული დეკომპოზიცია არ განხორციელდება და ის განიხილება როგორც EA.

114.133. BOF/BOG-ის მე-12 და მე-14 სექტორების ტიპური შრე წარმოადგენს ერთგვაროვან სტრუქტურას, ამიტომ მათი შემდგომი სივრცული დეკომპოზიცია არ განხორციელდება და ის განიხილება როგორც EA.

Muon Endcap-ის დისკური შრეები დაყოფილია ზუსტად 16 სექტორად. როგორც ATLAS დეტექტორის აღწერაშია მოყვანილი Muon Endcap-ის სექტორებში არსებობს დიდი (Large) და პატარა (Small) ტიპის კამერები. დიდი ზომის კამერები კენტ სექტორებში არიან განაწილებულები, ხოლო პატარა კამერები - ლუწში. გარდა ამ ორი ტიპის კამერებისა კიდევ არსებობს სხვა ტიპის კამერები რომლებიც სექტორულად არ განსხვავდება. შესაბამისად Muon Endcap-ის შრეების სივრცული დეკომპოზიციით მიიღება 2 ან 3 არაერთგვაროვანი სექტორული კამერები (ცხრილი 10):

114.2 Muon Endcap			
114.21	EI Small Wheel	114.211	EIL/CSCL
		114.212	EIS/CSCS
		114.213	TGC(I)
114.22	EE Extra Wheel	114.221	EEL
		114.222	EES
114.23	EM Big Wheel	114.231	EML
		114.232	EMS
		114.233	TGC(M1,M2,M3)
114.23	EO Outer Wheel	114.241	EOL
		114.242	EOS

ცხრილი 10 – Muon Endcap-ის სივრცული დეკომპოზიცია

114.21 Muon Endcap Small Wheel (EI) სექტორებში არსებობენ დიდი (Large) და პატარა (Small) ზომის კამერები, რომლებიც შეესაბამება MDT-ს. დიდი ზომის კამერები კენტ სექტორებში არიან განაწილებულები, ხოლო პატარა კამერები - ლუწში. გარდა ამისა არსებობს კამერები რომლებიც ერთი ზომისაა 16-ვესექტორში და რომლებიც შეესაბამება TGC-ს. შედეგად გვექნება:

114.211. EIL/CSCS-ის 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 და 15 სექტორების ტიპური შრე წარმოადგენს ერთგვაროვან სტრუქტურას, ამიტომ მათი შემდგომი სივრცული დეკომპოზიცია არ განხორციელდება და ის განიხილება როგორც EA

114.212. EIS/CSCS-ის 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 და 16 სექტორების ტიპური შრე წარმოადგენს ერთგვაროვან სტრუქტურას, ამიტომ მათი შემდგომი სივრცული დეკომპოზიცია არ განხორციელდება და ის განიხილება როგორც EA.

114.213. TGC(I) 16 სექტორის ტიპური შრე წარმოადგენს ერთგვაროვან სტრუქტურას, ამიტომ მათი შემდგომი სივრცული დეკომპოზიცია არ განხორციელდება და ის განიხილება როგორც EA.

114.22 Muon Endcap Extra Wheel (EE) სექტორებში არსებობენ დიდი (Large) და პატარა (Small) ზომის კამერები, რომლებიც შეესაბამება MDT-ს. დიდი ზომის კამერები კენტ სექტორებში არიან განაწილებულები, ხოლო პატარა კამერები - ლუწში. შედეგად გვექნება:

114.221. EEL-ის 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 და 15 სექტორების ტიპური შრე წარმოადგენს ერთგვაროვან სტრუქტურას, ამიტომ მათი შემდგომი სივრცული დეკომპოზიცია არ განხორციელდება და ის განიხილება როგორც EA

114.222. EES-ის 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 და 16 სექტორების ტიპური შრე წარმოადგენს ერთგვაროვან სტრუქტურას, ამიტომ მათი შემდგომი

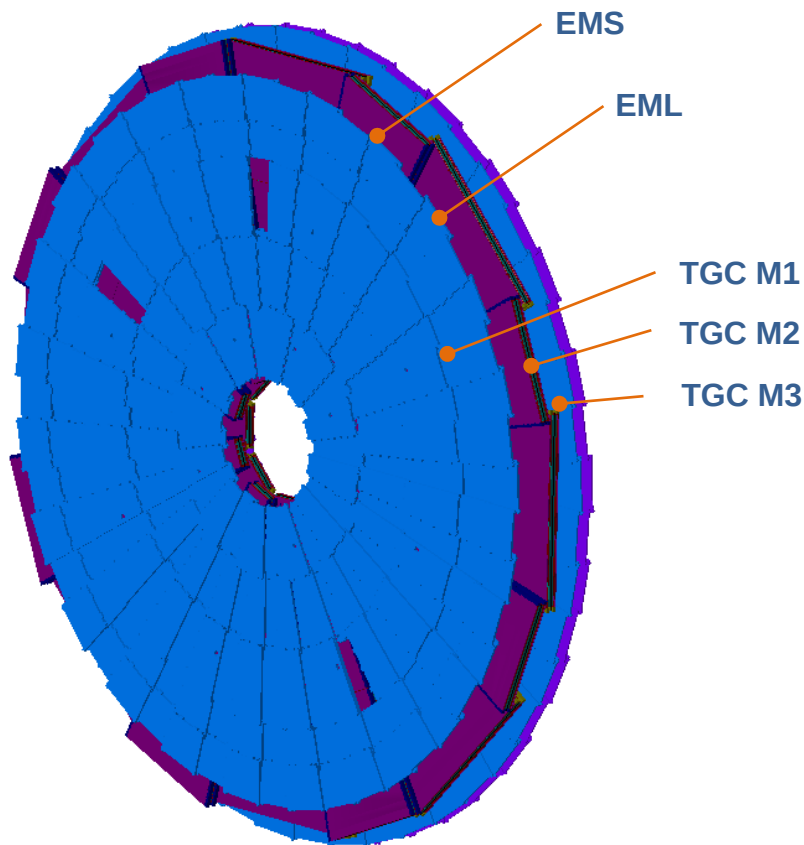
სივრცული დეკომპოზიცია არ განხორციელდება და ის განიხილება როგორც EA.

114.23 Muon Endcap Middle Wheel (EM) სექტორებში არსებობენ დიდი (Large) და პატარა (Small) ზომის კამერები, რომლებიც შეესაბამება MDT-ს. დიდი ზომის კამერები კენტ სექტორებში არიან განაწილებულები, ხოლო პატარა კამერები - ლუწში. გარდა ამისა არსებობს კამერები რომლებიც ერთი ზომისაა 16-ვესექტორში და რომლებიც შეესაბამება TGC-ს. შედეგად გვექნება:

114.231. EML-ის 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 და 15 სექტორების ტიპური შრე წარმოადგენს ერთგვაროვან სტრუქტურას, ამიტომ მათი შემდგომი სივრცული დეკომპოზიცია არ განხორციელდება და ის განიხილება როგორც EA

114.232. EMS-ის 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 და 16 სექტორების ტიპური შრე წარმოადგენს ერთგვაროვან სტრუქტურას, ამიტომ მათი შემდგომი სივრცული დეკომპოზიცია არ განხორციელდება და ის განიხილება როგორც EA.

114.233. TGC(M1/M2/M3) 16 სექტორის ტიპური შრე წარმოადგენს ერთგვაროვან სტრუქტურას, ამიტომ მათი შემდგომი სივრცული დეკომპოზიცია არ განხორციელდება და ის განიხილება როგორც EA.



სურათი 35 - Muon EM კამერების დეკომპოზიცია

114.24 Muon Endcap Outer Wheel (EO) სექტორებში არსებობენ დიდი (Large) და პატარა (Small) ზომის კამერები, რომლებიც შეესაბამება MDT-ს. დიდი ზომის კამერები კენტ სექტორებში არიან განაწილებულები, ხოლო პატარა კამერები - ლუწში. შედეგად გვექნება:

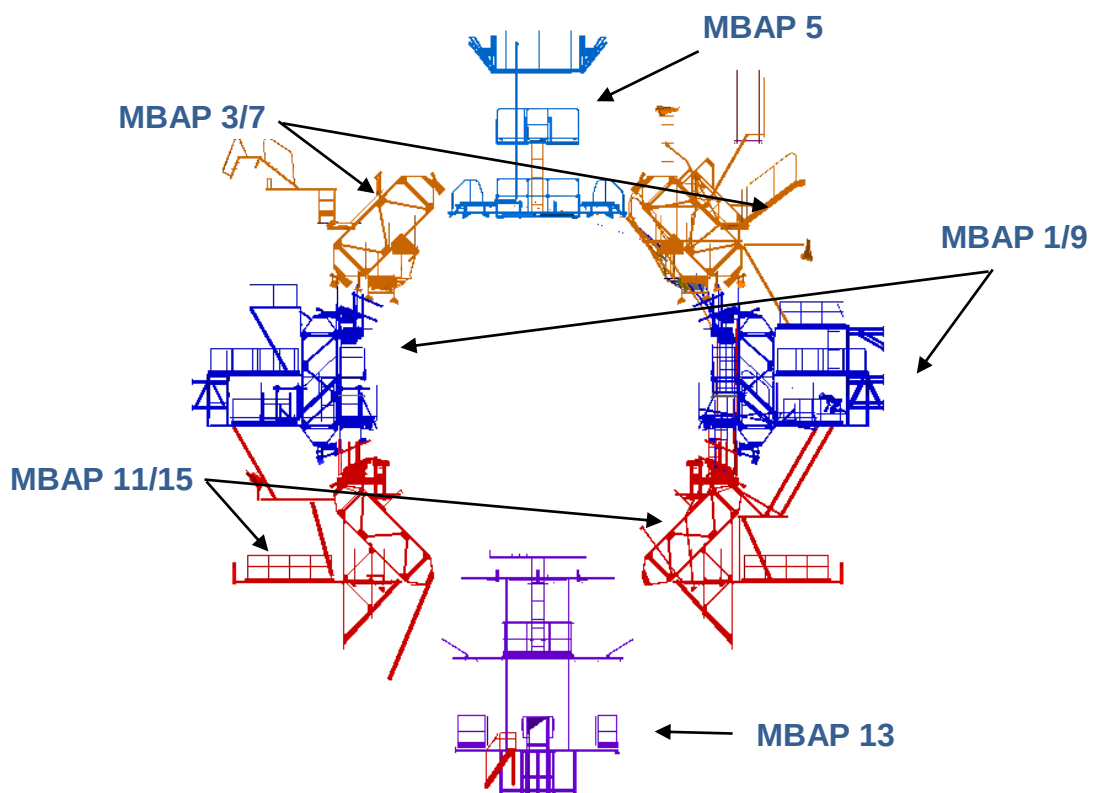
114.241. EOL-ის 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 და 15 სექტორების ტიპური შრე წარმოადგენს ერთგვაროვან სტრუქტურას, ამიტომ მათი შემდგომი სივრცული დეკომპოზიცია არ განხორციელდება და ის განიხილება როგორც EA

114.242. EOS-ის 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 და 16 სექტორების ტიპური შრე წარმოადგენს ერთგვაროვან სტრუქტურას, ამიტომ მათი შემდგომი სივრცული დეკომპოზიცია არ განხორციელდება და ის განიხილება როგორც EA.

122. MB Access Platforms პლატფორმები 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 და 15 სექტორშია განაწილებული დეტექტორის მიონურ კამერებთან წვდომისთვის. რადგან US15 და USA15 მხარეში არსებული პლატფორმები ერთმანეთის სიმეტრიულებია, ანუ 1 სექტორში არსებული პლატფორმა მე-9 სექტორის სიმეტრიულია, მე-3 სექტორი - მე-7 სექტორის ხოლო მე-11 სექტორის - მე-15 სექტორის სიმეტრიულია, ამიტომ პლატფორმების სივრცული დეკომპოზიციით მიიღება 5 ქვეკომპონენტი 1/9, 3/7, 5, 11/15 და 13 სექტორებზე განხორციელდა (ცხრილი 11).

122.	MB Access platforms
122.1	MBAP Sector 1/9
122.2	MBAP Sector 3/7
122.3	MBAP Sector 5
122.6	MBAP Sector 11/15
122.7	MBAP Sector 13

ცხრილი 11 – MB პლატფორმების სივრცული დეკომპოზიცია



სურათი 36 - MBAP პლატფორმები

131.1 Power Supply Cables ელექტრო ენერგიით მომარაგების კაბელები დეტექტორის ყველა სექტორში გვხვდება, მაგრამ დეტექტორში კაბელების შემავალი არხები დეტექტორის 8 სექტორშია განაწილებული და შესაბამისად დეტექტორის ელექტრო ენერგიით მომარაგებაც 8 სექტორიდან ხორციელდება. მეორეს მხრივ ერთ სექტორში შემავალი კაბელები დეტექტორის სხვადასხვა კომპონენტების ელექტრო ენერგიით მომარაგებისთვის სხვადასხვა სექტორებში გვხვდება, რასაც კაბელების თვისობრივ დაყოფამდე მივყავართ, რაც არ წარმოადგენს მოცემული დეკომპოზიციის ამოცანას. შესაბამისად სივრცული დეკომპოზიციით ელექტრო ენერგიით მომარაგების კაბელები დაყოფილია 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 და 15 სექტორებად დეტექტორში კაბელების შემავალი პოზიციის გათვალისწინებით.

131.2 Data Transmission Cable ინფორმაციის მატარებელი კაბელები დეტექტორის ყველა სექტორში გვხვდება, მაგრამ დეტექტორში კაბელების შემავალი არხები დეტექტორის 8 სექტორშია განაწილებული და შესაბამისად დეტექტორის ინფორმაციის გაცვლა 8 სექტორიდან ხორციელდება. მეორეს მხრივ ერთ სექტორში შემავალი კაბელები დეტექტორის სხვადასხვა სექტორის სხვადასხვა კომპონენტებიდან ინფორმაციის გაცვლას ახორციელებს, რასაც კაბელების თვისობრივ დაყოფამდე მივყავართ, რაც არ არის მნიშვნელოვანი მოცემული დეკომპოზიციისთვის. შესაბამისად სივრცული დეკომპოზიციით ინფორმაციის მატარებელი კაბელები დაყოფილია 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 და 15 სექტორებად დეტექტორში კაბელების შემავალი პოზიციის გათვალისწინებით.

132.2 Patch Panel 2 დეტექტორის საკომუტაციო პანელებს დეტექტორში სივრცულად 5 წერტილში არიან განთავსებულები, რომლებსაც 1, 3, 7, 9 და 13 სექტორებში არაერთგვაროვანი სტრუქტურა გააჩნიათ. შესაბამისად მათი შემდგომი სივრცული დეკომპოზიციით მიიღება 4 ქვეკომპონენტი (ცხრილი 12).

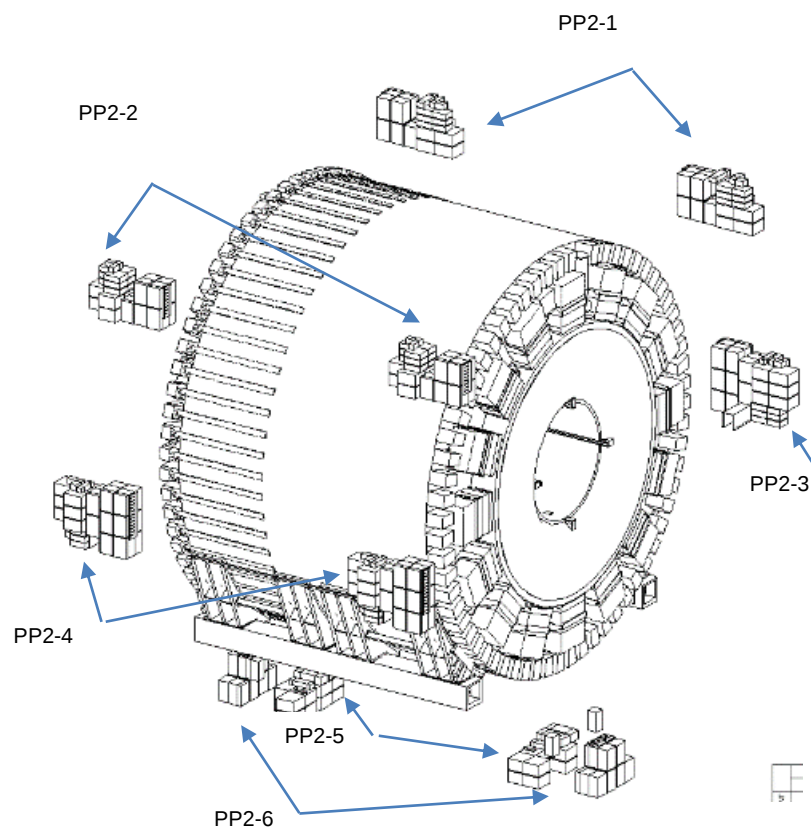
132.21 Patch Panel 2-1 (PP2-1) დეტექტორის საკომუტაციო პანელები პირველ სექტორში.

132.22 Patch Panel 2-2 (PP2-2) დეტექტორის საკომუტაციო პანელები მე-3 სექტორში.

132.23 Patch Panel 2-3 (PP2-3) დეტექტორის საკომუტაციო პანელები მე-7 სექტორში.

132.24 Patch Panel 2-4 (PP2-4) დეტექტორის საკომუტაციო პანელები მე-9 სექტორში.

132.24 Patch Panel 2-5, 2-6 (PP2-5, PP2-6) დეტექტორის საკომუტაციო პანელები მე-13 სექტორში.



სურათი 37 - PP2 საკომუტაციო პანელები

132.2 Patch Panels 2		
	132.21	PP2-1
	132.22	PP2-2
	132.23	PP2-3
	132.24	PP2-4
	132.25	PP2-5/PP2-6

ცხრილი 12 - საკომპუტაციო პანელების სივრცული დეკომპოზიცია

133.1 Cooling system გაცივების სისტემის მილები დეტექტორის ყველა სექტორში გვხვდება, მაგრამ დეტექტორში გაცივების მილებით შეტანა მხოლოდ 8 სექტორიდან (1,3,5,7,9,11,13 და 15 სექტორიდან) ხერხდება, შესაბამისად მათი დეკომპოზიციაც მოცემული სექტორებით არის შესაძლებელი. მეორეს მხრივ ერთ სექტორში შემავალი გაცივების მილები დეტექტორის სხვადასხვა სექტორის სხვადასხვა კომპონენტთან არის მიერთებული რასაც მილების თვისობრივ დაყოფამდე მივყავართ, რაც არ არის მნიშვნელოვანი მოცემული დეკომპოზიციისთვის. შესაბამისად სივრცული დეკომპოზიციით გაცივების მილები დაყოფილია 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 და 15 სექტორებად.

133.2 Gas Distribution გაზის მომარაგების მილები დეტექტორის ყველა სექტორში გვხვდება, მაგრამ დეტექტორში გაზის მილებით შეტანა მხოლოდ 8 სექტორიდან (1,3,5,7,9,11,13 და 15 სექტორიდან) ხერხდება, შესაბამისად მათი დეკომპოზიციაც მოცემული სექტორებით არის შესაძლებელი. მეორეს მხრივ ერთ სექტორში შემავალი გაზის მილები დეტექტორის სხვადასხვა სექტორის სხვადასხვა კომპონენტთან არის მიერთებული რასაც მილების თვისობრივ დაყოფამდე მივყავართ, რაც არ არის მნიშვნელოვანი მოცემული დეკომპოზიციისთვის. შესაბამისად სივრცული დეკომპოზიციით გაზის მომარაგების მილები დაყოფილია 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 და 15 სექტორებად.

133.3 Cryogenic system კრიოგენული სისტემით დეტექტორის კომპონენტები 3 სექტორიდან მარაგდება.

133.31/133.32 ტოროიდის კრიოგენული სისტემა მე-5 და მე-13 სექტორიდან შედის. ბარელ ტოროიდის 8 მაგნიტი წრიული მილით არიან ერთმანეთთან დაკავშირებული და მიმდევრობით ეწოდებათ თხევადი არგონი, ხოლო Endcap ტოროიდები კი მე-5 სექტორიდან არიან მოქნილი მილებით დაკავშირებულები კრიოგენულ სისტემასთან.

133.33 LAr-ის კრიოგენული სისტემა მე-7 სექტორიდან შედის დეტექტორში და მე-5 სექტორიდან არის დაერთებული მილებით LAr კალორიმეტრზე.

134 Service Supports დეტექტორში კაბელების და მილების დამხმარე კონსტრუქციები დეტექტორის 8 სექტორში არის განაწილებული. შესაბამისად სივრცული დეკომპოზიციით დამხმარე კონსტრუქციები დაყოფილია 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 და 15 სექტორებად დეტექტორში კაბელების და მილების შემავალი პოზიციის დასაფიქსირებლად.

ამრიგად, II ეტაპის ანალიზით ჩატარებული კვლევით EA კომპონენტების ერთობლიობა მოცემულია ცხრილ 13-ში.

ცხრილი 13 - II ეტაპის დეკომპოზიცია სექტორების მიხედვით

No.	EA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1.1.1.2.1.	Barrel Toroid	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
1.1.3.2.1.	Tile Barrel	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1.1.3.2.2.	Tile Barrel Extended	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1.1.4.1.1	BI Muon Barrel Inner	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1.1.4.1.2	BM Muon Barrel Middle	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1.1.4.1.3	BO Muon Barrel Outer	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1.1.4.2.1	EI Muon Small Wheel	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1.1.4.2.2	EE Muon Extra Wheel	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1.1.4.2.3	EM Muon Big Wheel	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1.1.4.2.4	EO Muon Outer Wheel	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
121.01.1	Feet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
121.01.2	Rails	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0

No.	EA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
121.06.1	Tile Barrel Feet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
121.06.2	Tile Barrel Extended Feet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
121.07.11	BI Muon Inner Brackets	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
121.07.12	BM Muon Middle Brackets	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
121.07.13	BO Muon Outer Brackets	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
121.07.21	EI Muon Supports	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
121.07.22	EE Muon Supports	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
121.07.23	EM Muon Supports	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
121.07.24	EO Muon Supports	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
121.08	BT Warm Structure	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
121.09.1	Disk Shielding	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
121.09.21	Forward Shielding Supports Frame	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
121.09.22	HF Truck	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
122.	MB Access platforms	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
123.111	BI Alignment In-plane	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.112	BM Alignment In-plane	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.113	BO Alignment In-plane	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.121	BI Alignment Praxial	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.122	BM Alignment Praxial	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.123	BO Alignment Praxial	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.13	Alignment Axial	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.114	Alignment Projective	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.151	BI Alignment Reference	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.152	BM Alignment Reference	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.153	BO Alignment Reference	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.161	BI Alignment CCC	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.162	BM Alignment CCC	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.163	BO Alignment CCC	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.17	BIR-BIM Alignment	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.211	EI Alignment In-plate	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.212	EE Alignment In-plate	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.213	EM Alignment In-plate	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.214	EO Alignment In-plate	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.221	EI Alignment In-Bar	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.222	EE Alignment In-Bar	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.223	EM Alignment In-Bar	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.224	EO Alignment In-Bar	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.231	EI Alignment Radial	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.232	EE Alignment Radial	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.233	EM Alignment Radial	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.234	EO Alignment Radial	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

No.	EA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
123.24	Polar Alignment	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.251	EI Alignment Azimuthal	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.252	EE Alignment Azimuthal	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.253	EM Alignment Azimuthal	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.254	EO Alignment Azimuthal	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.26	Proximity Alignment	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.271	EI Alignment Saloon Door	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.272	EE Alignment Saloon Door	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.273	EM Alignment Saloon Door	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.274	EO Alignment Saloon Door	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123.28	3D Sensor Alignment	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
131.1	Power Supply Cable	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
131.2	Data Transmission Cable	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
132.1	Patch Panels 0/1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
132.2	Patch Panels 2	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
133.1	Cooling system	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
133.2	Gas Distribution	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
133.3	Cryogenic System	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1.3.4.	Service Supports	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0

4.3 დეტექტორის გარე კომპონენტების დეკომპოზიცია

ATLAS დეტექტორის ძირითადი პავილიონის ინფრასტრუქტურული კომპონენტების სივრცული დეკომპოზიციისთვის გამოიყენება დონეები, რომლებიც დანომრილია ინფრასტრუქტურული პლატფორმების სართულების შესაბამისად. როგორც ATLAS-ის დეტექტორის აღწერაშია განხილული ინფრასტრუქტურული პლატფორმები დაყოფილია 13 სართულად, ხოლო პავილიონის იატაკი მიიჩნევა საწყის დონედ. შესაბამისად ძირითად პავილიონში არსებული ATLAS დეტექტორის ინფრასტრუქტურული კომპონენტების სივრცული დეკომპოზიციისთვის გამოიყენება 13 დონე (Level 0-დან Level 12-ის ჩათვლით).

შედეგად, ინფრასტრუქტურის II ეტაპის ანალიზით გამოიყო ისეთი EA კომპონენტები რომელთა დონეებად დაყოფა არის შესაძლებელი.

211. Civil Engineering UX15 ძირითადი პავილიონი რკინა-ბეტონის ნაგებობაა. შესაბამისად მისი დეკომპოზიცია არ განხორციელდება და ის განიხილება როგორც EA.

212. Civil Engineering US15/USA15 დამხმარე პავილიონები რკინა-ბეტონის ნაგებობაა, რომლების დაყოფაც შეუძლებელია. შესაბამისად მოცემული პავილიონების ერთობლიობა განიხილება როგორც EA.

231. Cables/Cable Trays ინფრასტრუქტურაში არსებული კაბელები ძირითადი პავილიონის გარდა ასევე გვხვდება დამხმარე US15/USA15 პავილიონებში, რაც მათი დონეებზე მიკუთვნება შეუძლებელს ხდის. გარდა ამისა Cables/Cable Trays კაბელების ძირითადი ნაწილი დეტექტორის გარშემო არის წრიულად განთავსებული რომლის მოკუთვნება რომელიმე დონეზე შეუძლებელია. შესაბამისად მათი სივრცული დეკომპოზიცია არ განხორციელდა.

232. Cooling and Gas Pipes-ის ძირითადი ნაწილი დეტექტორის გარშემო არის წრიულად განთავსებული რომლის მიკუთვნება რომელიმე დონეზე შეუძლებელია. შესაბამისად მათი სივრცული დეკომპოზიცია არ განხორციელდება.

233. Racks ელექტრო კარადების ერთ ნაწილი პლატფორმებზეა განთავსებული, ხოლო მერე USA15 პავილიონში. შესაბამისად მათი დაყოფა დონეებად შეუძლებელია.

24 Air-conditioning ვენტილაციის სისტემის მილები ძირითადი პავილიონის კედლებზე გრძივად არის განლაგებული რომელთა დონეებად დაყოფა შეუძლებელია. შესაბამისად ვენტილაციის სისტემის სივრცული დეკომპოზიცია არ განხორციელდება.

221. HO ინფრასტრუქტურული პლატფორმები წარმოადგენს 12 სართულიან ანაწყობს, რომელიც A და C მხარეზე უზრუნველყოფს ადამიანის გადაადგილებას დეტექტორის კომპონენტებზე წვდომისთვის. მისი სართულები Level 1-დან Level 12-მდე წარმოადგენს სართულოვან

ანაწყო. შესაბამისად მისი სივრცული დეკომპოზიციით მიიღება 12 ქვეანაწყო (221.01-დან 221.12-მდე).

222. HS ინფრასტრუქტურული პლატფორმები წარმოადგენს 9 სართულიან ანაწყო, რომელიც US15 და USA15 მხარეზე უზრუნველყოფს ადამიანის გადაადგილებას დეტექტორის კომპონენტებზე წვდომისთვის. მისი სართულები Level 1-დან და Level 9-მდე პლატფორმა სართულებად აგებული სტრუქტურაა, ხოლო Level 0 დეტექტორის ქვედა ნაწილში წვდომისთვის გამოიყენება. მოცემული HS პლატფორმების სივრცული დეკომპოზიციით მიიღება 9 ქვეანაწყო (222.01-დან 222.09-მდე).

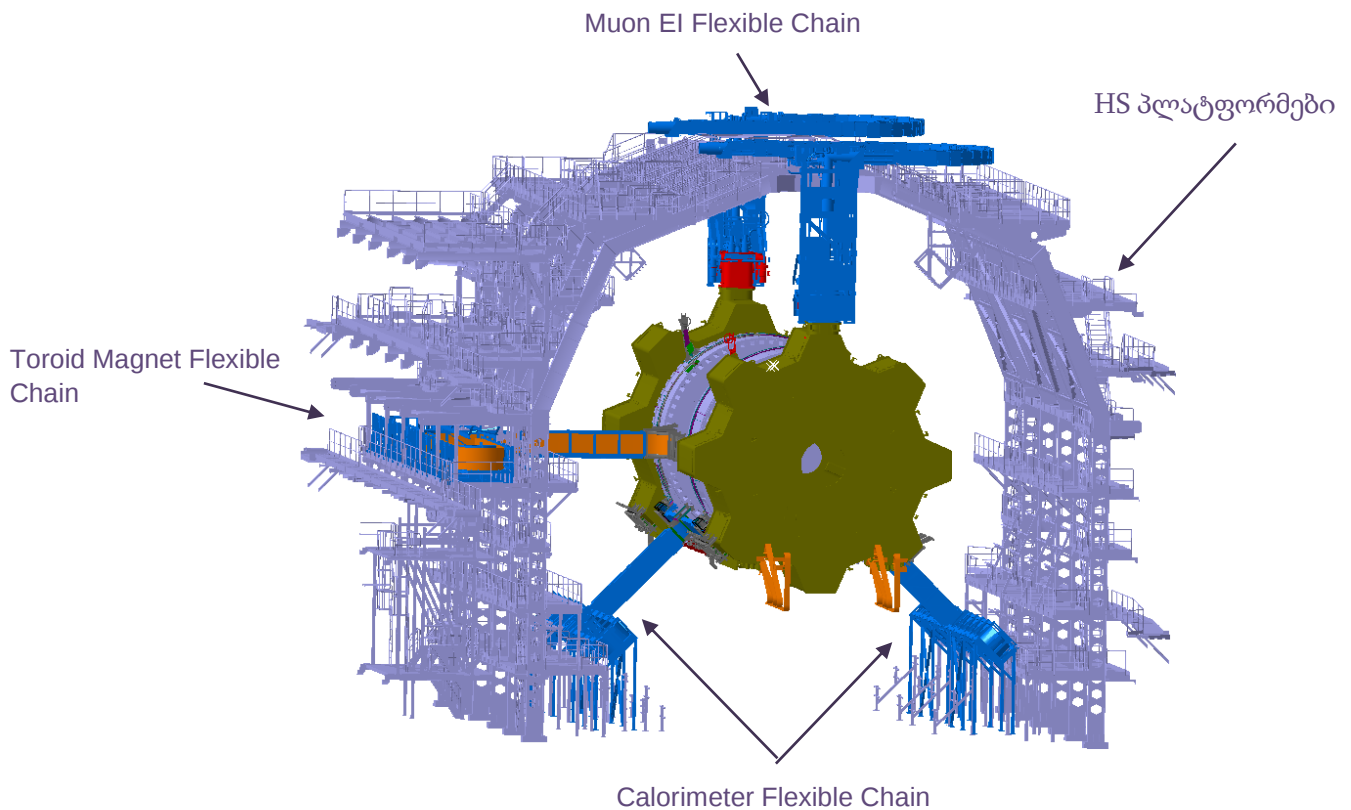
234.1 Toroid Magnet Flexible Chain ტოროიდული მაგნიტის მოქნილი კრიოგენული გაყვანილობის კონსტრუქციაა, რომელიც იწყება HS პლატფორმის მე-8 სართულზე და ბოლოვდება დეტექტორის შიგნით მე-5 სექტორში (ცხრილი 14).

234.2 Muon EI Flexible Chain მიონური სისტემის მოქნილი კრიოგენული გაყვანილობის კონსტრუქციაა, რომელიც იწყება HS პლატფორმის მე-5 სართულზე და ბოლოვდება დეტექტორის შიგნით მე-9 სექტორში.

234.3 Calorimeter Flexible Chain კალორიმეტრის მოქნილი გაყვანილობის კონსტრუქციაა, რომელიც იწყება HS პლატფორმის პირველ სართულზე და ბოლოვდება დეტექტორის შიგნით მე-11 და მე-15 სექტორებში.

234.	Flexible Chain
234.1	Toroid Magnet FC
234.2	Muon EI FC
234.3	Calorimeter FC

ცხრილი 14 - მოქნილი გაყვანილობის დეკომპოზიცია



სურათი 38 - მოქნილი გაყვანილობა და HS პლატფორმები

271. Magnet Cryogenic System მაგნიტების გაცივებისთვის კრიოგენული სისტემა განაწილებულია 2 დონეზე. მე-9 დონიდან ემსახურება Solenoid და Toroid Endcap მაგნიტებს, ხოლო Level 0 დონიდან ემსახურება Barrel ტოროიდის მაგნიტებს. გარდა ამისა Level 0 დონეზე არის განთავსებული არგონის საცავები. შესაბამისად მისი დეკომპოზიციით მიიღება 3 ქვეკომპონენტი:

271.1 Magnet Cryogenic System Level 0

271.2 Magnet Cryogenic System Level 9

272. LAr Cryogenic System თხევადი არგონის კალორიმეტრის მომარაგება ხორციელდება Level 0, Level 5 და Level 9 დონიდან. შესაბამისად მისი დეკომპოზიციით მიიღება 3 ქვეკომპონენტი

272.1 LAr Cryogenic System Level 0

272.2 LAr Cryogenic System Level 5

272.3 LAr Cryogenic System Level 9

ინფრასტრუქტურის II ეტაპის ანალიზით მიღებული შედეგები მოცემულია ცხრილი 15-ში. სადაც „1“ ნიშნით მონიშნულია სართულები რომლებშიც EA კომპონენტი არის განთავსებული დამლის შემდეგ.

ცხრილი 15 - II ეტაპის დეკომპოზიცია დონეების მიხედვით

No.	EA	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
221.	Surrounding Structure HO	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
221.	Surrounding Structure HS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
234.1	Toroid Magnet Flexible Chain	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
234.2	Muon EI Flexible Chain	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
234.3	Calorimeter Flexible Chain	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
271.	Magnet Cryogenic System	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
272.	LAr Cryogenic System	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0

თავი V: დეკომპოზიციის III ეტაპი: კომპონენტების დაშლა მათი სიმეტრიულობის მიხედვით

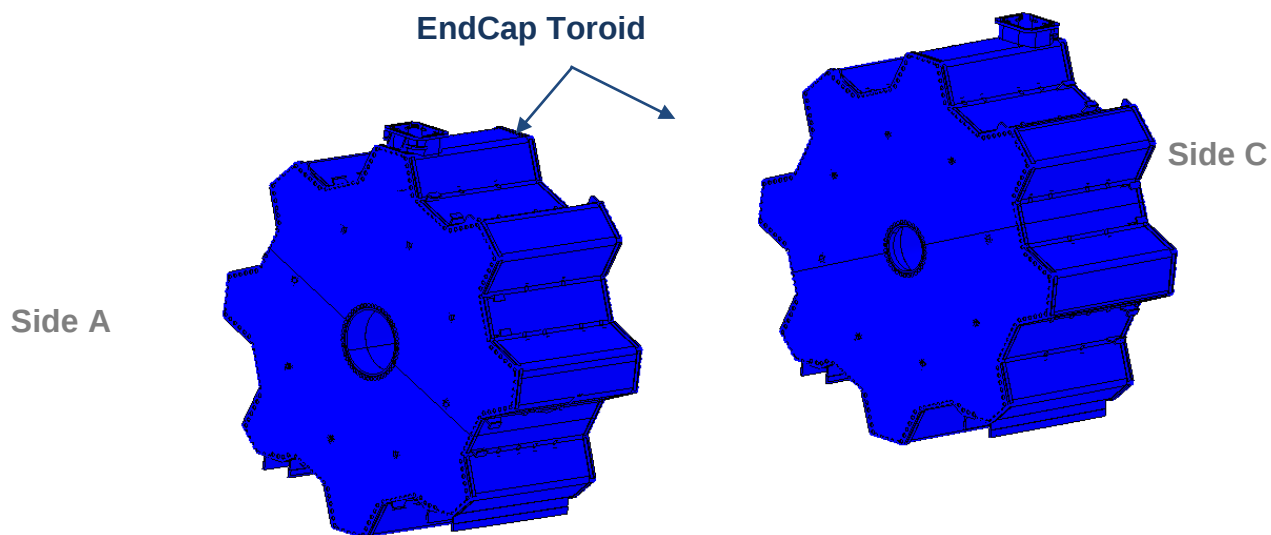
დეკომპოზიციის მე-3 ეტაპზე $EA|_F$ -დან უნდა გამოიყოს კომპონენტები რომელთა დეკომპოზიციით მიიღება ორი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი Z_0 -ის მიმართ. $EA|_F$ სიმრავლის დაყოფისთვის მე-3 ეტაპის დეკომპოზიცია განხორციელდა ორ ეტაპად:

3. პირველი რიგის ანალიზით გამოიყო დეტექტორის ისეთი კომპონენტები, რომლებიც შედგება Z_0 -ის მიმართ სიმეტრიულად განაწილებული ქვეკომპონენტებისაგან Side A და Side C მხარეებში. შედეგად ასეთი კომპონენტები შეიძლება აღიწეროს მხოლოდ ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტით.
4. მეორე რიგის ანალიზით გამოიყო დეტექტორის ისეთი კომპონენტები, რომლებიც შედგება Z_0 -ის მიმართ სიმეტრიულად განაწილებული ქვეკომპონენტებისაგან US15 და USA15 მხარეებში. შედეგად ასეთი კომპონენტები შეიძლება აღიწეროს მხოლოდ ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტით.

5.1 დეტექტორის გრძივ-სიმეტრიული კომპონენტების დეკომპოზიცია

გრძივ-სიმეტრიული დეკომპოზიცია განხორციელდა კომპონენტების Z ღერძის მიმართ Side A / Side C მდებარეობის მიხედვით.

111.22 EndCap Toroid კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ტოროიდული მაგნიტი, რომლებიც ერთმანეთის სიმეტრიულ ანაწყობებს წარმოადგენენ. EndCap Toroid-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z_0 -დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარეში, შესაბამისად EndCap Toroid დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (111.221) EndCap Toroid Sym. სახელით.



სურათი 39 - EndCap Toroid-ის სიმეტრიული დეკომპოზიცია

112.1 Pixel				
	112.12 EndCap			
	112.121	Disk 1	112.121.1	Disk 1 Sym.
	112.122	Disk 2	112.122.1	Disk 2 Sym.
	112.123	Disk 3	112.123.1	Disk 3 Sym.
112.2 SCT				
	112.22 EndCap			
	112.221	Disk 4	112.221.1	Disk 4 Sym.
	112.222	Disk 5	112.222.1	Disk 5 Sym.
	112.223	Disk 6	112.223.1	Disk 6 Sym.
	112.224	Disk 7	112.224.1	Disk 7 Sym.
	112.225	Disk 8	112.225.1	Disk 8 Sym.
	112.226	Disk 9	112.226.1	Disk 9 Sym.
	112.227	Disk 10	112.227.1	Disk 10 Sym.
	112.228	Disk 11	112.228.1	Disk 11 Sym.
	112.229	Disk 12	112.229.1	Disk 12 Sym.
112.3 TRT				
	112.32 EndCap			
	112.321	Type A	112.321.1	Type A Sym.
	112.322	Type B	112.322.1	Type B Sym.

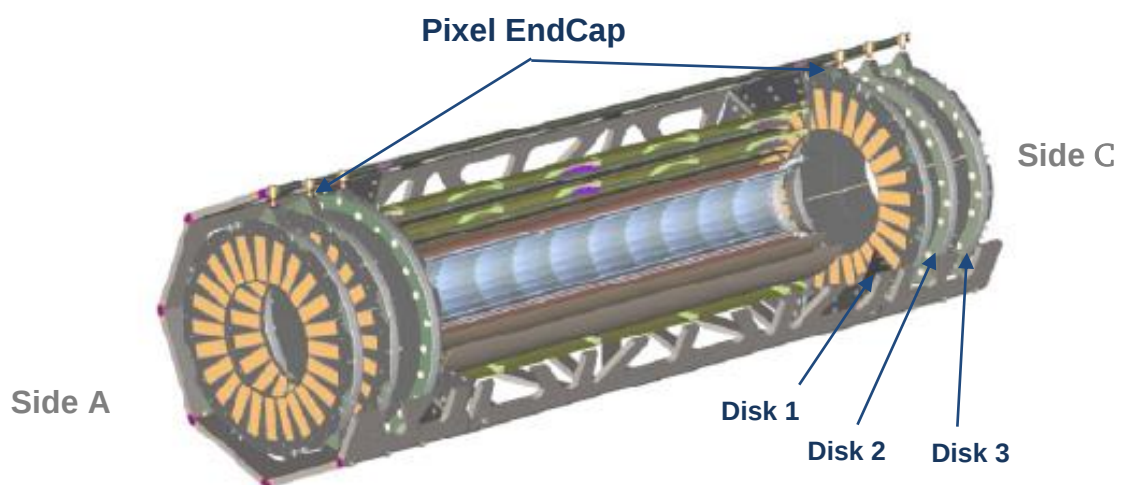
ცხრილი 16 - შიდა დეტექტორის გრძივი სიმეტრიული დეკომპოზიცია

112.121 Pixel Endcap Disk 1 კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Pixel Endcap Disk 1-ის

სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Pixel Endcap Disk 1-ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (111.221.1) Disk 1 Sym. სახელით (ცხრილი 16).

112.122 Pixel Endcap Disk 2 კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Pixel Endcap Disk 2-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Pixel Endcap Disk 2-ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (111.222.1) Disk 2 Sym. სახელით.

112.123 Pixel Endcap Disk 3 კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Pixel Endcap Disk 3-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Pixel Endcap Disk 3-ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (111.223.1) Disk 3 Sym. სახელით.



სურათი 40 - Pixel Endcap-ის სიმეტრიული დეკომპოზიცია

112.221 SCT Endcap Disk 4 კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან SCT Endcap Disk 4 -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად SCT Endcap Disk 4 -ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (112.221.1) Disk 4 Sym. სახელით.

112.221 SCT Endcap Disk 5 კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან SCT Endcap Disk 5 -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად SCT Endcap Disk 5 -ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (112.222.1) Disk 5 Sym. სახელით.

112.221 SCT Endcap Disk 6 კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან SCT Endcap Disk 6 -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად SCT Endcap Disk 6 -ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (112.223.1) Disk 6 Sym. სახელით.

112.221 SCT Endcap Disk 7 კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან SCT Endcap Disk 7 -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად SCT Endcap Disk 7 -ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (112.224.1) Disk 7 Sym. სახელით.

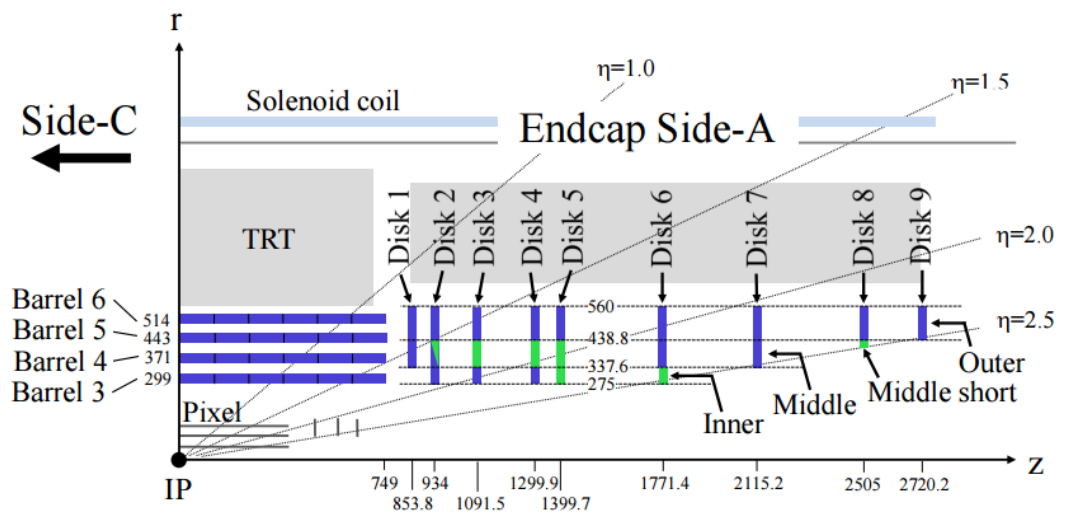
112.221 SCT Endcap Disk 8 კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან SCT Endcap Disk 8 -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად SCT Endcap Disk 8 -ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (112.225.1) Disk 8 Sym. სახელით.

112.221 SCT Endcap Disk 9 კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან SCT Endcap Disk 9 -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად SCT Endcap Disk 9 -ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (112.226.1) Disk 9 Sym. სახელით.

112.221 SCT Endcap Disk 10 კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან SCT Endcap Disk 10 -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად SCT Endcap Disk 10 -ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (112.227.1) Disk 10 Sym. სახელით.

112.221 SCT Endcap Disk 11 კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან SCT Endcap Disk 11 -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად SCT Endcap Disk 11 -ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (112.228.1) Disk 11 Sym. სახელით.

112.221 SCT Endcap Disk 12 კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან SCT Endcap Disk 12 -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად SCT Endcap Disk 12 -ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (112.229.1) Disk 12 Sym. სახელით.



სურათი 41 - SCT დეტექტორის სიმეტრიული ნახევარი

112.321 TRT Endcap Type A კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან TRT Endcap Type A-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად TRT Endcap Type A-ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (112.321.1) TRT Endcap Type A Sym. სახელით.

112.322 TRT Endcap Type B კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან TRT Endcap Type B-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად TRT

Endcap Type B-ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (112.322.1) TRT Endcap Type B Sym. სახელით.

113.121 LAr Endcap EMEC კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან LAr Endcap EMEC-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად LAr Endcap EMEC -ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (113.121.1) LAr Endcap EMEC Sym. სახელით.

113.122 LAr Endcap HEC კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან LAr Endcap HEC -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად LAr Endcap HEC -ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (113.122.1) LAr Endcap HEC Sym. სახელით.

113.123 LAr Endcap FCal კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან LAr Endcap FCal -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად LAr Endcap FCal -ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (113.123.1) LAr Endcap FCal Sym. სახელით.

113.22 Tile Barrel Extended კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Tile Barrel Extended-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Tile

Barrel Extended -ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (113.221.1) Tile Barrel Extended Sym. სახელით.

114.211 Muon EIL/CSCL კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Muon EIL/CSCL-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Muon EIL/CSCL-ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (114.211.1) EIL/CSCL Sym. სახელით (ცხრილი 17).

114.2 Muon Endcap			
114.21	EI Small Wheel	114.211	EIL/CSCL
		114.212	EIS/CSCS
		114.213	TGC(I)
114.22	EE Extra Wheel	114.221	EEL
		114.222	EES
114.23	EM Big Wheel	114.231	EML
		114.232	EMS
		114.233	TGC(M1,M2,M3)
114.23	EO Outer Wheel	114.241	EOL
		114.242	EOS

ცხრილი 17 - Muon Endcap-ის სიმეტრიული დეკომპოზიცია

114.212 Muon EIS/CSCS კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Muon EIS/CSCS-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Muon EIS/CSCS-ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (114.212.1) EIS/CSCS Sym. სახელით.

114.213 Muon TGC(I) კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Muon TGC(I)-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Muon TGC(I) -ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (114.213.1) TGC(I) Sym. სახელით.

114.221 Muon EEL კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Muon EEL-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Muon EEL-ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (114.221.1) EEL Sym. სახელით.

114.222 Muon EES კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Muon EES -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Muon EES -ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (114.222.1) EES Sym. სახელით.

114.231 Muon EML კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Muon EML -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Muon EML -ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (114.231.1) EML Sym. სახელით.

114.232 Muon EMS კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Muon EMS -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები

დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Muon EMS -ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (114.232.1) EMS Sym. სახელით.

114.233 Muon TGC (M1, M2, M3) კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყობი. ვინაიდან Muon TGC(M1,M2,M3) -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Muon TGC(M1,M2,M3) -ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (114.233.1) TGC(M1,M2,M3) Sym. სახელით.

114.241 Muon EOL კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყობი. ვინაიდან Muon EOL -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Muon EOL -ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (114.241.1) EOL Sym. სახელით.

114.242 Muon EOS კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყობი. ვინაიდან Muon EOS -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Muon EOS -ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (114.242.1) EOS Sym. სახელით.

115.11 Disk Shielding კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყობი. ვინაიდან Disk Shielding-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Disk Shielding-ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული

ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (115.111) Disk Shielding Sym. სახელით (ცხრილი 18).

115. Shielding			
115.1	Disk Shielding	115.11	Disk Shielding Sym.
115.2	Forward Shielding	115.21	Forward Shielding Sym.
115.3	Moderator Shielding	115.31	Moderator Shielding Sym.
115.4	LAr Cal Shielding Plugs	115.41	LAr Cal Shielding Plugs Sym.
115.5	Toroid Shielding		
		115.51	Toroid Inner Bore Tube
		115.52	Endcap Toroid Shielding
115.6	Nose Shielding	115.61	Nose Shielding Sym.
		115.511	Toroid Inner Bore Tube Sym.
		115.521	Endcap Toroid Shielding Sym.

ცხრილი 18 - Shielding-ების სიმეტრიული დეკომპოზიცია

115.21 Forward Shielding კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Forward Shielding-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Forward Shielding -ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (115.211) Forward Shielding Sym. სახელით.

115.31 Moderator Shielding კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Moderator Shielding -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Moderator Shielding -ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (115.311) Moderator Shielding Sym. სახელით.

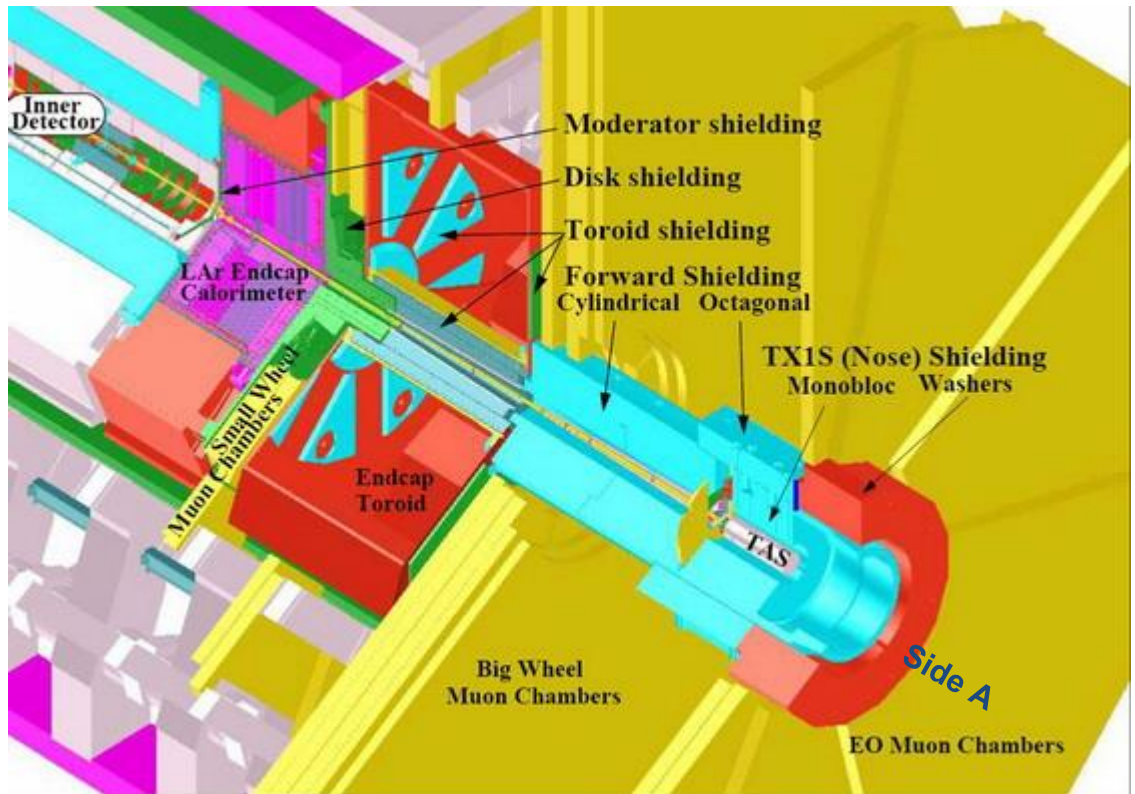
115.41 LAr Cal Shielding Plugs კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან LAr Cal Shielding Plugs -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად LAr Cal Shielding Plugs -ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი

სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (115.411) LAr Cal Shielding Plugs Sym. სახელით.

115.511 Toroid Inner Bore Tube კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Toroid Inner Bore Tube-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Toroid Inner Bore Tube-ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (115.511.1) Toroid Inner Bore Tube Sym. სახელით.

115.521 EndCap Toroid Shielding კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან EndCap Toroid Shielding-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად EndCap Toroid Shielding-ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (115.521.1) EndCap Toroid Shielding Sym. სახელით.

115.61 Nose Shielding კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Nose Shielding-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Nose Shielding-ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (115.611) Nose Shielding Sym. სახელით.



სურათი 42 - Shielding-ების სიმეტრიული კომპონენტები

121.02.21 Pixel Disk 1 Support კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Pixel Disk 1 Support-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Pixel Disk 1 Support-ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (121.02.211) Disk 1 Support Sym. სახელით.

121.02.22 Pixel Disk 2 Support კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Pixel Disk 2 Support-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Pixel Disk 2 Support-ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (121.02.221) Disk 2 Support Sym. სახელით.

121.02.23 Pixel Disk 3 Support კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Pixel Disk 3 Support-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Pixel Disk 3 Support-ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (121.02.231) Disk 1 Support Sym. სახელით.

121.02.24 Pixel Endcap Frame კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Pixel Endcap Frame -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Pixel Endcap Frame -ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (121.02.241) Pixel Endcap Frame Sym. სახელით.

121.03.2.01 SCT Disk 4 Support კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან SCT Disk 4 Support -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად SCT Disk 4 Support-ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (121.03.2.01.1) SCT Disk 4 Support Sym. სახელით.

121.03.2.02 SCT Disk 5 Support კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან SCT Disk 5 Support -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად SCT Disk 5 Support-ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (121.03.2.02.1) SCT Disk 5 Support Sym. სახელით.

121.03.2.03 SCT Disk 6 Support კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან SCT Disk 6 Support -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად SCT Disk 6 Support-ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (121.03.2.03.1) SCT Disk 6 Support Sym. სახელით.

121.03.2.04 SCT Disk 7 Support კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან SCT Disk 7 Support -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად SCT Disk 7 Support-ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (121.03.2.04.1) SCT Disk 7 Support Sym. სახელით.

121.03.2.05 SCT Disk 8 Support კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან SCT Disk 8 Support -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად SCT Disk 8 Support-ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (121.03.2.05.1) SCT Disk 8 Support Sym. სახელით.

121.03.2.06 SCT Disk 9 Support კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან SCT Disk 9 Support -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად SCT Disk 9 Support-ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (121.03.2.06.1) SCT Disk 9 Support Sym. სახელით.

121.03.2.07 SCT Disk 10 Support კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყობი. ვინაიდან SCT Disk 10 Support -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად SCT Disk 10 Support-ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (121.03.2.07.1) SCT Disk 10 Support Sym. სახელით.

121.03.2.08 SCT Disk 11 Support კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყობი. ვინაიდან SCT Disk 11 Support -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად SCT Disk 11 Support-ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (121.03.2.08.1) SCT Disk 11 Support Sym. სახელით.

121.03.2.09 SCT Disk 12 Support კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყობი. ვინაიდან SCT Disk 12 Support -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად SCT Disk 12 Support-ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (121.03.2.09.1) SCT Disk 12 Support Sym. სახელით.

121.03.2.10 SCT Endcap Support Cylinder კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყობი. ვინაიდან SCT Endcap Support Cylinder -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად SCT Endcap Support Cylinder-ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (121.03.2.10.1) SCT Endcap Support Cylinder Sym. სახელით.

121.04.21 TRT Type-A Support კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან TRT Type-A Support -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად TRT Type-A Support-ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (121.04.211) TRT Type-A Support Sym. სახელით.

121.04.22 TRT Type-B Support კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან TRT Type-B Support -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად TRT Type-B Support-ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (121.04.221) TRT Type-B Support Sym. სახელით.

121.07.21 Muon EI Supports კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Muon EI Supports -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Muon EI Supports -ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (121.07.211.1) Muon EI Supports Sym. სახელით.

121.07.22 Muon EE Supports კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Muon EE Supports -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Muon EE Supports -ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (121.07.221.1) Muon EE Supports Sym. სახელით.

121.07.23 Muon EM Supports კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Muon EM Supports -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Muon EM Supports -ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (121.07.231.1) Muon EM Supports Sym. სახელით.

121.07.24 Muon EO Supports კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Muon EO Supports -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Muon EO Supports -ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (121.07.241.1) Muon EO Supports Sym. სახელით.

121.08 BT Warm Structure კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან BT Warm Structure-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად BT Warm Structure-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (121.08.1) BT Warm Structure Sym. სახელით.

121.09.1 Disk Shielding Support კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Disk Shielding Support-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Disk Shielding Support-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (121.09.11) Disk Shielding Support Sym. სახელით.

121.09.21 Forward Shielding Supports Frame კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყობი. ვინაიდან Forward Shielding Supports Frame-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Forward Shielding Supports Frame-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (121.09.211) Forward Shielding Supports Frame Sym. სახელით.

121.09.22 HF Truck კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყობი. ვინაიდან HF Truck-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად HF Truck-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (121.09.221) HF Truck Sym. სახელით.

121.09.3 Nose Shielding კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყობი. ვინაიდან Nose Shielding-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Nose Shielding-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (121.09.31) Nose Shielding Sym. სახელით.

122. MB Access platforms კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყობი. ვინაიდან MB Access platforms-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად MB Access platforms-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (122.1) MB Access platforms Sym. სახელით.

123.111 BI Alignment In-plane კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან BI Alignment In-plane-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად BI Alignment In-plane-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.111.1) BI Alignment In-plane Sym. სახელით.

123.112 BM Alignment In-plane კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან BM Alignment In-plane-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად BM Alignment In-plane-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.112.1) BM Alignment In-plane Sym. სახელით.

123.113 BO Alignment In-plane კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან BO Alignment In-plane-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად BO Alignment In-plane-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.113.1) BO Alignment In-plane Sym. სახელით.

123.121 BI Alignment Praxial კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან BI Alignment Praxial-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად BI Alignment Praxial-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.121.1) BI Alignment Praxial Sym. სახელით.

123.122 BM Alignment Praxial კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან BM Alignment Praxial-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად BM Alignment Praxial-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.122.1) BM Alignment Praxial Sym. სახელით.

123.123 BO Alignment Praxial კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან BO Alignment Praxial-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად BO Alignment Praxial-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.123.1) BO Alignment Praxial Sym. სახელით.

123.13 Alignment Axial კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Alignment Axial-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Alignment Axial-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.131) Alignment Axial Sym. სახელით.

123.14 Alignment Projective კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Alignment Projective-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Alignment Projective-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.141) Alignment Projective Sym. სახელით.

123.151 BI Alignment Reference კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყობი. ვინაიდან BI Alignment Reference-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად BI Alignment Reference-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.151.1) BI Alignment Reference Sym. სახელით.

123.152 BM Alignment Reference კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყობი. ვინაიდან BM Alignment Reference-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად BM Alignment Reference-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.152.1) BM Alignment Reference Sym. სახელით.

123.153 BO Alignment Reference კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყობი. ვინაიდან BO Alignment Reference-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად BO Alignment Reference-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.153.1) BO Alignment Reference Sym. სახელით.

123.161 BI Alignment CCC კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყობი. ვინაიდან BI Alignment CCC-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად BI Alignment CCC-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.161.1) BI Alignment CCC Sym. სახელით.

123.162 BM Alignment CCC კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან BM Alignment CCC-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად BM Alignment CCC-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.162.1) BM Alignment CCC Sym. სახელით.

123.163 BO Alignment CCC კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან BO Alignment CCC-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად BO Alignment CCC-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.163.1) BO Alignment CCC Sym. სახელით.

123.17 BIR-BIM Alignment კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან BIR-BIM Alignment-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად BIR-BIM Alignment-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.171) BIR-BIM Alignment Sym. სახელით.

123.211 EI Alignment In-plate კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან EI Alignment In-plate-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად EI Alignment In-plate-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.211.1) EI Alignment In-plate Sym. სახელით.

123.212 EE Alignment In-plate კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან EE Alignment In-plate-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად EE Alignment In-plate-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.212.1) EE Alignment In-plate Sym. სახელით.

123.213 EM Alignment In-plate კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან EM Alignment In-plate-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად EM Alignment In-plate-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.213.1) EM Alignment In-plate Sym. სახელით.

123.214 EO Alignment In-plate კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან EO Alignment In-plate-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად EO Alignment In-plate-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.214.1) EO Alignment In-plate Sym. სახელით.

123.221 EI Alignment In-Bar კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან EI Alignment In-Bar-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად EI Alignment In-Bar-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.221.1) EI Alignment In-Bar Sym. სახელით.

123.222 EE Alignment In-Bar კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან EE Alignment In-Bar-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად EE Alignment In-Bar-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.222.1) EE Alignment In-Bar Sym. სახელით.

123.223 EM Alignment In-Bar კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან EM Alignment In-Bar-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად EM Alignment In-Bar-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.223.1) EM Alignment In-Bar Sym. სახელით.

123.224 EO Alignment In-Bar კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან EO Alignment In-Bar-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად EO Alignment In-Bar-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.224.1) EO Alignment In-Bar Sym. სახელით.

123.231 EI Alignment Radial კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან EI Alignment Radial -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად EI Alignment Radial -ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.231.1) EI Alignment Radial Sym. სახელით.

123.232 EE Alignment Radial კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან EE Alignment Radial -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად EE Alignment Radial -ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.232.1) EE Alignment Radial Sym. სახელით.

123.233 EM Alignment Radial კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან EM Alignment Radial -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად EM Alignment Radial -ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.233.1) EM Alignment Radial Sym. სახელით.

123.234 EO Alignment Radial კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან EO Alignment Radial -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად EO Alignment Radial -ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.234.1) EO Alignment Radial Sym. სახელით.

123.24 Polar Alignment კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Polar Alignment-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Polar Alignment-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.241) Polar Alignment Sym. სახელით.

123.251 EI Alignment Azimuthal კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან EI Alignment Azimuthal -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად EI Alignment Azimuthal -ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.251.1) EI Alignment Azimuthal Sym. სახელით.

123.252 EE Alignment Azimuthal კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან EE Alignment Azimuthal -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად EE Alignment Azimuthal -ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.252.1) EE Alignment Azimuthal Sym. სახელით.

123.253 EM Alignment Azimuthal კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან EM Alignment Azimuthal -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად EM Alignment Azimuthal -ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.253.1) EM Alignment Azimuthal Sym. სახელით.

123.254 EO Alignment Azimuthal კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან EO Alignment Azimuthal -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად EO Alignment Azimuthal -ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.254.1) EO Alignment Azimuthal Sym. სახელით.

123.26 Proximity Alignment კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Proximity Alignment-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Proximity Alignment-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.261) Proximity Alignment Sym. სახელით.

123.271 EI Alignment Saloon Door კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან EI Alignment Saloon Door -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად EI Alignment Saloon Door -ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.271.1) EI Alignment Saloon Door Sym. სახელით.

123.272 EE Alignment Saloon Door კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან EE Alignment Saloon Door -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად EE Alignment Saloon Door -ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.272.1) EE Alignment Saloon Door Sym. სახელით.

123.273 EM Alignment Saloon Door კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან EM Alignment Azimuthal -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად EM Alignment Azimuthal -ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.273.1) EM Alignment Azimuthal Sym. სახელით.

123.274 EO Alignment Saloon Door კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან EO Alignment Saloon Door -ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად EO Alignment Saloon Door -ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.274.1) EO Alignment Saloon Door Sym. სახელით.

123.28 3D Sensor Alignment კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან 3D Sensor Alignment-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად 3D Sensor Alignment-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (123.281) 3D Sensor Alignment Sym. სახელით.

132.1 Patch Panels 0/1 კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Patch Panels 0/1-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Patch Panels 0/1-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (132.11) Patch Panels 0/1 Sym. სახელით.

221 HO პლატფორმების დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან HO პლატფორმების სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად HO პლატფორმების დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (221.1) HO Sym. სახელით.

234.1 Flexible Chain Toroid Magnet FC კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყობი. ვინაიდან Flexible Chain Toroid Magnet FC-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Flexible Chain Toroid Magnet FC-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (234.11) Flexible Chain Toroid Magnet FC Sym. სახელით.

234.2 Flexible Chain Muon EI FC კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყობი. ვინაიდან Flexible Chain Muon EI FC-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Flexible Chain Muon EI FC-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (234.21) Flexible Chain Muon EI FC Sym. სახელით.

234.3 Flexible Chain Calorimeter FC კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყობი. ვინაიდან Flexible Chain Calorimeter FC-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის Side C და Side A მხარში, შესაბამისად Flexible Chain Calorimeter FC-ის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (234.31) Flexible Chain Calorimeter FC Sym. სახელით.

5.2 დეტექტორის განივ-სიმეტრიული კომპონენტების დეკომპოზიცია

განივ-სიმეტრიული კომპონენტების დეკომპოზიციისთვის გამოიყენება სურ.7-ზე მოცემული კომპონენტების დაჯგუფების მიდგომა. კომპონენტები დაჯგუფდა X ღერძის მიმართ US15 ან USA15 მდებარეობის მიხედვით.

121.01.1 Feet კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Feet-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის US15 და USA15 მხარში, შესაბამისად Feet-ის მეორე რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (121.01.11) Feet Sym. სახელით (ცხრილი 19).

121.01.2 Rails კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Rails-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის US15 და USA15 მხარში, შესაბამისად Rails-ის მეორე რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (121.01.21) Rails Sym. სახელით.

121.01 Feet and Rails			
121.01.1	Feet	121.01.11	Feet Sym.
121.01.2	Rails	121.01.21	Rails Sym.

ცხრილი 19 - Feet and Rails-ის სიმეტრიული დეკომპოზიცია

121.06.1 Tile Barrel Feet კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Tile Barrel Feet-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის US15 და USA15 მხარში, შესაბამისად Tile Barrel Feet-ის პირველი რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (121.06.11) Tile Barrel Feet Sym. სახელით.

121.06.2 Tile Barrel Extended Feet კომპონენტის დეკომპოზიციით მიიღება 2 ერთმანეთის სიმეტრიული ანაწყოები. ვინაიდან Tile Barrel Extended Feet-ის სიმეტრიული ქვეკომპონენტები Z0-დან თანაბარი მანძილით არიან დაშორებულები დეტექტორის US15 და USA15 მხარში,

შესაბამისად Tile Barrel Extended Feet-ის მეორე რიგის დეკომპოზიციით გამოიყო ერთი სიმეტრიული ქვეკომპონენტი, რომელიც სტრუქტურულ ხეში დაემატა (121.06.21) Tile Barrel Extended Feet Sym. სახელით.

ამგვარად, ცხრილი 20-ში მოყვანილია III ეტაპის ანალიზით მიღებული შედეგები.

ცხრილი 20 - III ეტაპის დეკომპოზიცია სიმეტრიულობის მიხედვით

No.	EA	Side A/C	US15/USA15
111.22	EndCap Toroid	1	0
112.121	Pixel Endcap Disk 1	1	
112.122	Pixel Endcap Disk 2	1	
112.123	Pixel Endcap Disk 3	1	
112.2.2.1	SCT Endcap Disk 4	1	
112.2.2.2	SCT Endcap Disk 5	1	
112.2.2.3	SCT Endcap Disk 6	1	
112.2.2.4	SCT Endcap Disk 7	1	
112.2.2.5	SCT Endcap Disk 8	1	
112.2.2.6	SCT Endcap Disk 9	1	
112.2.2.7	SCT Endcap Disk 10	1	
112.2.2.8	SCT Endcap Disk 11	1	
112.2.2.9	SCT Endcap Disk 12	1	
112.3.2.1	TRT Endcap Type A	1	
112.3.2.2	TRT Endcap Type B	1	
113.1.2.1	LAr Endcap EMEC	1	
113.1.2.2	LAr Endcap HEC	1	
113.1.2.3	LAr Endcap FCal	1	
113.2.2.	Tile Barrel Extended	1	
114.2.1	EI Muon Small Wheel	1	
114.2.2	EE Muon Extra Wheel	1	
114.2.3	EM Muon Big Wheel	1	
114.2.4	EO Muon Outer Wheel	1	
115.1	Disk Shielding	1	
115.2	Forward Shielding	1	
115.3	Moderator Shielding	1	
115.4	LAr Cal Shielding Plugs	1	
115.51	Toroid Inner Bore Tube	1	
115.52	Endcap Toroid Shielding	1	
115.6	Nose Shielding	1	
121.01.1	Feet		1
121.01.2	Rails		1
121.02.21	Pixel Disk 1 Support	1	
121.02.22	Pixel Disk 2 Support	1	
121.02.23	Pixel Disk 3 Support	1	
121.02.24	Pixel Endcap Frame	1	
121.02.3	Beampipe Support	1	
121.03.2.01	SCT Disk 4 Support	1	
121.03.2.02	SCT Disk 5 Support	1	
121.03.2.03	SCT Disk 6 Support	1	
121.03.2.04	SCT Disk 7 Support	1	
121.03.2.05	SCT Disk 8 Support	1	
121.03.2.06	SCT Disk 9 Support	1	
121.03.2.07	SCT Disk 10 Support	1	
121.03.2.08	SCT Disk 11 Support	1	

No.	EA	Side A/C	US15/USA15
121.03.2.09	SCT Disk 12 Support	1	
121.03.2.10	SCT Endcap Support Cylinder	1	
121.04.21	TRT Type-A Supp	1	
121.04.22	TRT Type-B Supp	1	
121.05.2	LAr Endcap Cryostat	1	
121.06.1	Tile Barrel Feet		1
121.06.2	Tile Barrel Extended Feet	1	1
121.07.11	BI Muon Inner Brackets	1	
121.07.12	BM Muon Middle Brackets	1	
121.07.13	BO Muon Outer Brackets	1	
121.07.21	EI Muon Supports	1	
121.07.22	EE Muon Supports	1	
121.07.23	EM Muon Supports	1	
121.07.24	EO Muon Supports	1	
121.08	BT Warm Structure	1	
121.09.1	Disk Shielding Support	1	
121.09.21	Forward Shielding Supports Frame	1	
121.09.22	HF Truck	1	
121.09.3	Nose Shielding	1	
122.	MB Access platforms	1	
123.111	BI Alignment In-plane	1	
123.112	BM Alignment In-plane	1	
123.113	BO Alignment In-plane	1	
123.121	BI Alignment Praxial	1	
123.122	BM Alignment Praxial	1	
123.123	BO Alignment Praxial	1	
123.13	Alignment Axial	1	
123.114	Alignment Projective	1	
123.151	BI Alignment Reference	1	
123.152	BM Alignment Reference	1	
123.153	BO Alignment Reference	1	
123.161	BI Alignment CCC	1	
123.162	BM Alignment CCC	1	
123.163	BO Alignment CCC	1	
123.17	BIR-BIM Alignment	1	
123.211	EI Alignment In-plate	1	
123.212	EE Alignment In-plate	1	
123.213	EM Alignment In-plate	1	
123.214	EO Alignment In-plate	1	
123.221	EI Alignment In-Bar	1	
123.222	EE Alignment In-Bar	1	
123.223	EM Alignment In-Bar	1	
123.224	EO Alignment In-Bar	1	
123.231	EI Alignment Radial	1	
123.232	EE Alignment Radial	1	
123.233	EM Alignment Radial	1	
123.234	EO Alignment Radial	1	
123.24	Polar Alignment	1	
123.251	EI Alignment Azimuthal	1	
123.252	EE Alignment Azimuthal	1	
123.253	EM Alignment Azimuthal	1	
123.254	EO Alignment Azimuthal	1	
123.26	Proximity Alignment	1	
123.271	EI Alignment Saloon Door	1	
123.272	EE Alignment Saloon Door	1	
123.273	EM Alignment Saloon Door	1	

No.	EA	Side A/C	US15/USA15
123.274	EO Alignment Saloon Door	1	
123.28	3D Sensor Alignment	1	
132.1	Patch Panels 0/1	1	
221.	HO	1	
234.1	Flexible Chain Toroid Magnet FC	1	
234.2	Flexible Chain Muon EI FC	1	
234.3	Flexible Chain Calorimeter FC	1	

III ეტაპის პირველი რიგის ანალიზით მიღებული შედეგებით გამოიყო 110 ქვეკომპონენტი, ხოლო მეორე რიგის ანალიზით გამოიყო 4 ქვეკომპონენტი. III ეტაპით გამოყოფილი ყველა სიმეტრიული EA კომპონენტი სტრუქტურულ ხეზე დაემატა ერთ შვილად, რომელიც წარმოადგენს სიმეტრიული წყვილიდან ერთერთს.

საბოლოოდ მოვიღეთ დეტექტორის სტრუქტურული ფორმალიზმის 8 დონიანი ხე, რომლიც შედგება 207 ქვეანაწყოებისგან და 247 ელემენტარული ანაწყოებისგან (იხ. დანართი 1).

თავი VI: ერთიანი გეომეტრიული მოდელის დამუშავება

საკვლევი თემატიკის მიზანია ერთიანი გეომეტრიული მოდელის პირველი მიახლოების შექმნა, რაც ითვალისწინებს ATLAS დეტექტორის გეომეტრიული მოდელების ერთ სტრუქტურაში გაერთიანებას. ამისთვის საჭიროა შემდეგი ამოცანების გადაწყვეტა:

1. საინჟინრო დაპროექტების სისტემის CAD შერჩევა
2. დეტექტორის კომპონენტების საძიებო წყაროების შერჩევა (საინჟინრო მონაცემთა ბაზები, ლოკალური ბაზები და აშ.)
3. საინჟინრო მონაცემთა ბაზის შერჩევა;
4. EA კომპონენტების შეფასების კრიტერიუმების შერჩევა;
5. EA კომპონენტების შერჩევა და ერთიან მოდელში ინტეგრაცია.

6.1 საინჟინრო დაპროექტების სისტემის CAD შერჩევა

დეტექტორის ერთიანი გეომეტრიული მოდელის ასაგებად არჩეულია საინჟინრო დაპროექტების სისტემა CATIA v5, რადგან ის აკმაყოფილებს 2 ძირითად პირობას:

1. CATIA V5 (ფრანგული კომპანიის Dassault Systèmes-ის დისტრიბუტივი) არის MS Windows და UNIX ოპერაციულ სისტემებზე მომუშავე საინჟინრო პროგრამა, რომელიც 1998 წელს გამოვიდა. CATIA v5 საინჟინრო დაპროექტების პლატფორმაზე შესაძლებელია დიდი ანაწყობების აგება და დღესდღეობით ფართოდ გამოიყენება მრავალ სფეროში. მაგალითად: თვითმფრინავის დაპროექტებისას, გემთმშენებლობისას, სამრეწველო საქმიანობაში, ავტომანქანის დაპროექტებისას, ცალკეული კომპონენტების მოდელის შესაქმნელად და სხვა. CATIA-ს იყენებენ მთელი რიგი წამყვანი კომპანიები როგორებიც არიან: BMW, Porsche, DaimlerChrysler, Audi, Volvo, Fiat, PSA Peugeot Citroën, Toyota, Honda, Ford, Hyundai, Tata Motors Mahindra და ასევე LHC (ATLAS) სამეცნიერო ექსპერიმენტებში.

2. ATLAS დეტექტორის გეომეტრიული მოდელები კოლაბორაციული ჯგუფების მიერ სხვადასხვა საინჟინრო პლატფორმაზე დამუშავდა და მათი ერთიან გეომეტრიულ მოდელში გასაერთიანებლად აუცილებელია ნეიტრალურ ფორმატის ფაილების მიღება. CATIA v5-ს გააჩნია (Neutral formats) ნეიტრალური ფორმატის ფაილების იმპორტ-ექსპორტი საშუალება როგორიცაა CGR, WRL, STEP, IGES და აშ.

6.2 დეტექტორის კომპონენტების საძიებო წყაროების შერჩევა

CATIA V5 სრულად ინტეგრირებადია რამდენიმე PLM სისტემასთან როგორიცაა: DELMIA, ENOVIA, SIMULIA და SmarTeam. რომელთაგანაც CERN-მა არჩევანი SmarTeam-ზე გააკეთა. SmarTeam-ც Dassault Systèmes-ის პროდუქტია და უზრუნველყოფს კოლაბორაციულ სამუშაოებს, რომელიც ფოკუსირებულია დიზაინის, საინჟინრო და საწარმოო პროცესების განვითარების მხარდასაჭერად. SmarTeam-ის პლატფორმა მომხმარებლების სხვადასხვა ადგილებიდან ურთიერთანამშრომლობის საშუალებას იძლევა, რაც ძალიან მნიშვნელოვანია ATLAS-ის მსგავსი კოლაბორაციული პროექტებისთვის.

ATLAS დეტექტორის გეომეტრიული მოდელების მართვა და შენახვა 2008 წლამდე მიმდინარეობდა ძველ EDM სისტემა EUCLID-ში, ხოლო 2008 წელს მოხდა გეომეტრიული მოდელების ძველი სისტემიდან ახალ SmarTeam სისტემაზე მიგრაცია და სხვა პლატფორმაზე აგებული გეომეტრიული მოდელების იმპორტი. SmarTeam-ში არსებულ გეომეტრიულ მოდელებს ძირითადად აქვთ ისტორია, ანუ შესაძლებელია მათი მოდიფიცირება. SmarTeam-ში ერთერთ ექსპერიმენტად გამოყოფილია ATLAS დეტექტორი და მასში სტრუქტურირებულია ATLAS დეტექტორის კომპონენტები, რომლებიც ერთმანეთთან არ არიან ინტეგრირებულები.

Geant4 არის პროგრამული პაკეტი რომელიც უზრუნველყოფს ფიზიკური პროცესების მოდელირებას. ATLAS დეტექტორის მოდელირების პროგრამებიც დაფუძნებულია Geant4-ის ბაზაზე და უზრუნველყოფს ფიზიკური ექსპერიმენტის და დეტექტორის კომპონენტების სიმულაციას. Geant4-ში აღწერილი ATLAS დეტექტორის გეომეტრიული მოდელი არ არის კონვერტირებული საინჟინრო ბაზიდან, არამედ აღწერილია ტექსტური სახით XML ფორმატის ფაილში. Geant4-ის გეომეტრიული კომპონენტების ფაილები არ არიან სტრუქტურირებული და ყველა ერთ საქაღალდეშია თავმოყრილი. CATIA V5-ში ამ გეომეტრიული მოდელების გამოყენებისთვის აუცილებელია გეომეტრიების WRL ფორმატში კონვერტაცია.

Local Database შეიქმნა 2008 წელს, როცა მიმდინარეობდა ATLAS დეტექტორის SmarTeam-ზე გეომეტრიული მოდელების მიგრაცია. მოცემულ ბაზასაც საფუძვლად EUCLID საინჟინრო ბაზა აქვს როგორც SmarTeam-ს. მიგრაციის პროცესში მიმდინარეობდა ლოკალურ ბაზაში მოხვედრილი ყველა გეომეტრიული მოდელების კონვერტაციის და ინტეგრაციის კონტროლი და შეფასება, რაც SmarTeam-ის ბაზისგან განსხვავებით მეტად ინფორმაციულია. 2011 წელს მოხდა ლოკალური ბაზის განახლება, რის ფარგლებშიც გადამოწმდა გეომეტრიების დეტალურობა და დუბლირებული მოდელების ამოღება. ასევე ახალი და აღდგენილი გეომეტრიული მოდელების დამატება. ამისდა მიუხედავად ლოკალური ბაზა არ უზრუნველყოფს ერთიანი გეომეტრიული მოდელის სისრულეს.

6.3 საინჟინრო მონაცემთა ბაზის შერჩევა

საინჟინრო მონაცემთა ბაზად შეირჩა ლოკალური კომპიუტერის HDD მყარი დისკი, რომელშიც შეიქმნება ერთიანი გეომეტრიული მოდელის ბაზის დისტრიბუცია. მოცემული დისტრიბუციით შესაძლებელია ნებისმიერი EDM სისტემაზე ინსტალაცია.

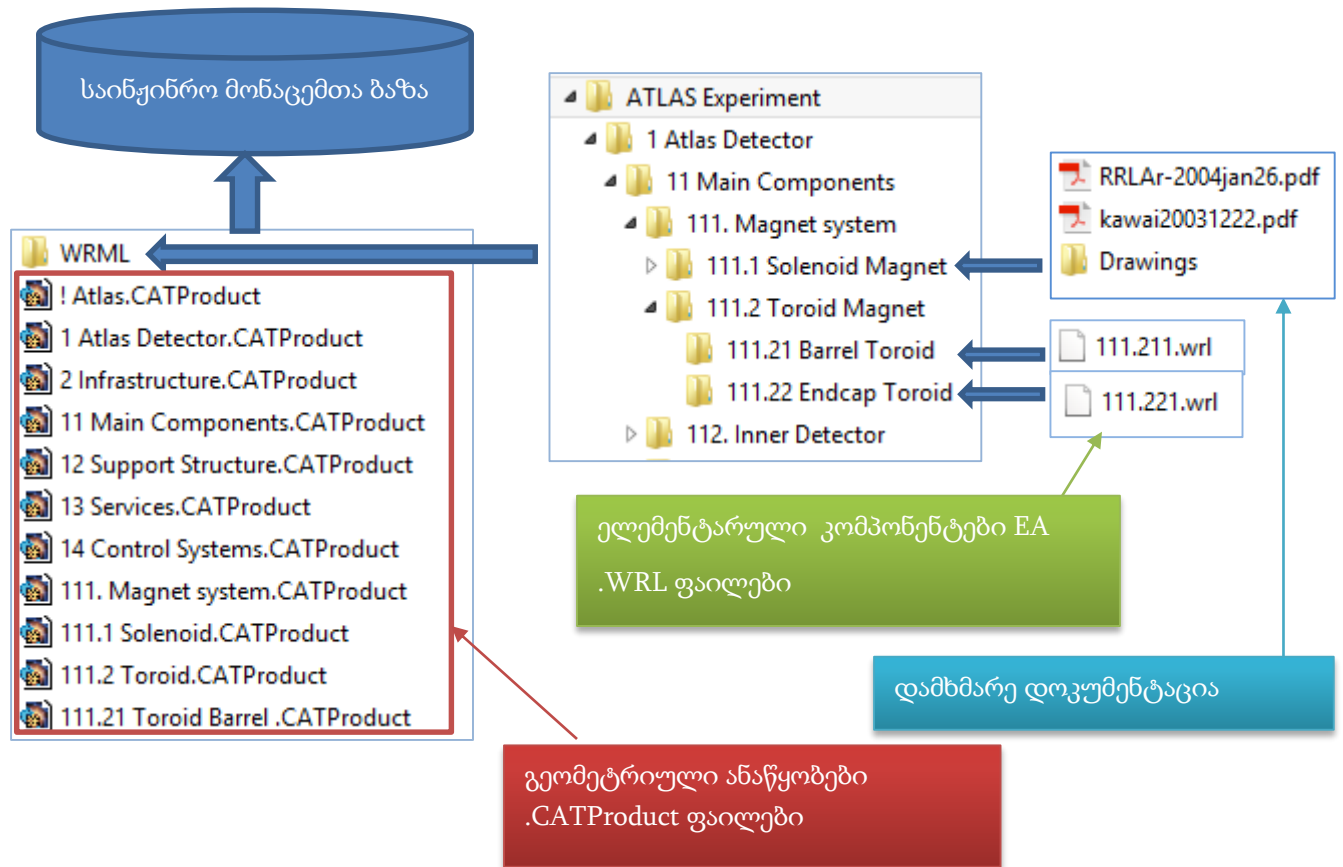
ლოკალური ბაზის დისტრიბუცია წარმოდგენილია საქალაქდებით, 3D გეომეტრიული ანაწყოებით და გეომეტრიული მოდელებით. ასევე დამხმარე ფაილებით, რომლებიც გამოიყენება ერთიანი გეომეტრიული მოდელის ასაგებად.

საინჟინრო ბაზაში გეომეტრიული მოდელების ასაგებად გამოყენებულია ორი ტიპის ფაილები:

1. .CATProduct ფორმატი, რომელიც წარმოადგენს CATIA v5-ის გეომეტრიული ანაწყოების ფაილის გაფართოებას. CATProduct ფაილში ინახება გეომეტრიული ანაწყოები და შესაძლებელია სტრუქტურული ხის შექმნა, შეცვლა და შენახვა. მოცემულ ფორმატის ფაილი ანაწყოების ისტორიის მატარებელია რაც მასში ცვლილებების საშუალებას იძლევა.
2. .WRL Neutral ფორმატია და ამ ფაილის მიღება და გაშვება შესაძლებელია ბევრი საინჟინრო პლატფორმაზე, რაც ამარტივებს სხვადასხვა პლატფორმაზე აგებული გეომეტრიული მოდელების მოპოვებას და CATIA v5 პლატფორმაზე ინტეგრაციას. WRL ფორმატის ფაილს არ მოყვება გეომეტრიის აგების ისტორია. შესაბამისად შეუძლებელია გეომეტრიული მოდელების მოდიფიცირება. საინჟინრო მონაცემთა ბაზაში ყველა EA კომპონენტი აღწერილი იქნება WRL ფორმატში.

საინჟინრო მონაცემთა ბაზის სტრუქტურა წარმოდგენილია შემდეგნაირად:

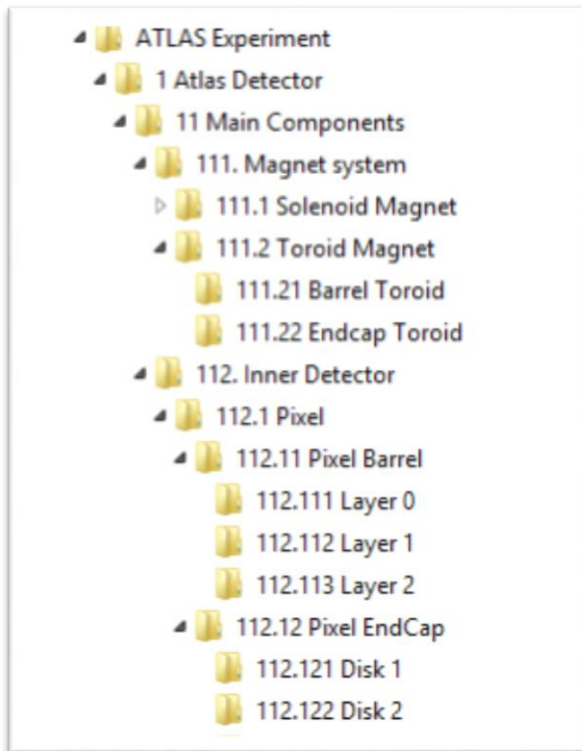
საინჟინრო მონაცემთა ბაზის ძირითად საქალაქდებში გაერთიანებულია გეომეტრიული ანაწყოების ყველა .CATProduct ფაილები და WRML საქალაქდე (სურ. 43).



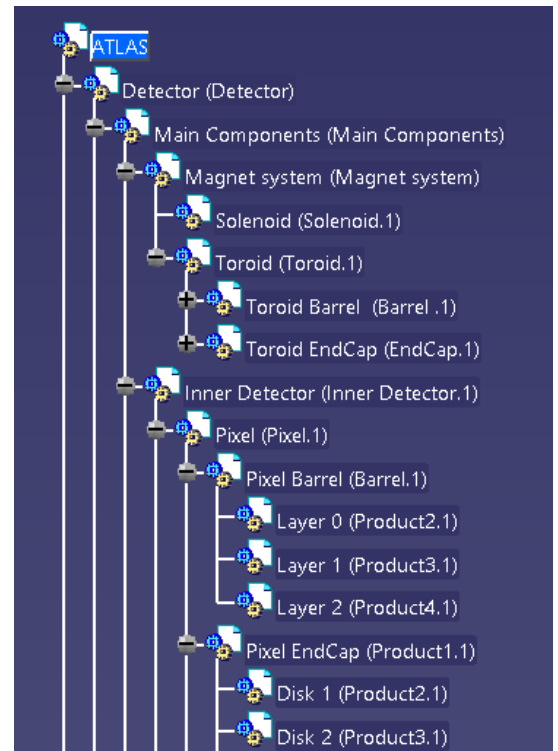
სურათი 43 – EndCap Toroid-ის ორი გეომეტრიული მოდელი

WRML საქაღალდეში განთავსებულია EA კომპონენტების გეომეტრიული მოდელები (WRL ფაილები), რომლებიც განაწილებულები არიან სტრუქტურირებულ საქაღალდეებში. სტრუქტურირებულ საქაღალდეებში ასევე განაწილებულია დამხმარე დოკუმენტაციები, რომლის მიხედვით კომპონენტებზე გვექნება დამატებითი ინფორმაცია.

EA კომპონენტებისთვის საქალაქდებით შექმნის სტრუქტურულ ხე , რომელიც სინქრონიზებულია CATIA-ში აგებულ სტრუქტურულ ხესთან, რათა გამარტივდეს გეომეტრიული მოდელების მოძებნა საინჟინრო მონაცემთა ბაზაში და CATIA-ს საინჟინრო სტრუქტურულ ხეზე განლაგება (სურ. 44).



ლოკალური სტრუქტურული ხე



CATIA v5-ის სტრუქტურული ხე

სურათი 44 – ლოკალური და CATIA v5 სტრუქტურული ხე გეომეტრიული მოდელი

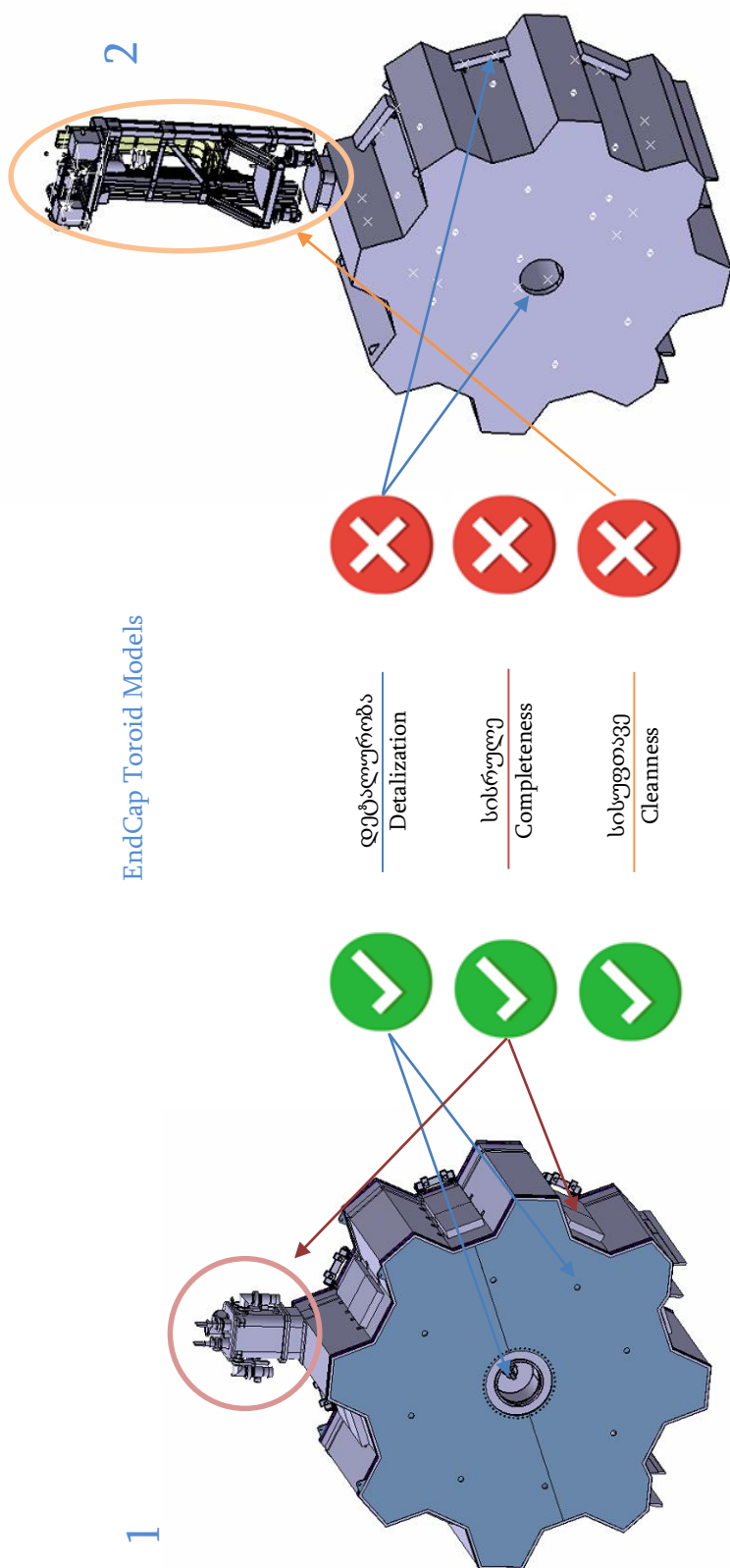
6.4 EA კომპონენტების შეფასების კრიტერიუმების შერჩევა

EA კომპონენტების შეფასების ძირითად კრიტერიუმს წარმოადგენს მისი გეომეტრიული დეტალურობა, რომელიც განსაზღვრავს თუ რამდენად მიახლოებულია გეომეტრიული მოდელი რეალურ მოდელთან. მაგალითად 45-ე სურათზე მოყვანილი ორი Endcap Toroid-ის გეომეტრიული მოდელიდან პირველი უფრო მიახლოებულია რეალურ მოდელთან ვიდრე მეორე, რადგან მასზე დატანილია ნახევრეტები და სხვა დეტალური გეომეტრიები რაც არ არის მეორე გეომეტრიაზე. შესაბამისად, რაც უფრო

დეტალური იქნება გეომეტრია მით უფრო მაღალია მისი შეფასების შკალა. მეორეს მხრივ EA კომპონენტის დეტალური მოდელი შეიძლება სრულად არ იყოს აღწერილი ან პირიქით, დამატებული ჰქონდეს სხვა გეომეტრიული ანაწყოები, რაც არასასურველი ინფორმაციის მატარებელია (სურ. 45). შესაბამისად, გეომეტრიული მოდელი დეტალურობასთან ერთად უნდა შეფასდეს მისი სისრულე და სისუფთავე. გეომეტრიის სისრულით განსაზღვრება ის თუ რამდენად სრულად არის აგებული გეომეტრიული მოდელი. მაგალითად 45-ე სურათზე მოყვანილი ორი (EndCap Toroid) ECT-ის გეომეტრიული მოდელებიდან პირველი გეომეტრიაზე არის Tower-ის გეომეტრია რომელიც ECT-ის ნაწილია, მეორე მოდელზე ეს ნაწილი გამოტოვებულია რაც ECT-ის არასრულ გეომეტრიაზე მეტყველებს. გეომეტრიის სისუფთავით განისაზღვრება კომპონენტებზე სხვა ნაწილების არსებობით, რომლებიც არ წარმოადგენს ამ კომპონენტის ნაწილს. მაგალითად როგორც სურათზე არის ნაჩვენები, მეორე გეომეტრიული მოდელზე დამატებულია ECT-ის დამხმარე კონსტრუქცია რაც არ წარმოადგენს ECT კომპონენტის ნაწილს.

ამრიგად გამოიყო გეომეტრიული მოდელის შეფასების სამი ძირითადი კრიტერიუმი:

- Detalization – გეომეტრიის დეტალიზაცია
- Completeness – გეომეტრიის სისრულე
- Cleanness - გეომეტრიის სისუფთავე



სურათი 45 – დეტალიზაცია, სისრულე, სისუფთავე

მოცემული სამი კრიტერიუმი ჩავთვალეთ თანაბარმნიშვნელოვნად, რადგან დეტალურობის პრიორიტეტულად მიჩნევის შემთხვევაში, ერთიან გეომეტრიულ მოდელში აირჩევა არასრული კომპონენტები და ასევე გადაფარვები, რაც გამოწვეული იქნება არასუფთა გეომეტრიებით. შესაბამისად დეტალურობის კრიტერიუმი ვერ იქნება პრიორიტეტული.

სისრულის და სისუფთავის შემთხვევაში, მათი მნიშვნელობის გაზრდით, ერთიანი გეომეტრიული მოდელში არ იქნება გეომეტრიული გადაფარვები და ნაკლული გეომეტრიები, მაგრამ არადეტალური გეომეტრიიდან არ მიიღება სრული, დეტალური ინფორმაცია, რითაც ერთიანი გეომეტრიული მოდელის მნიშვნელობა იკარგება.

ამრიგად, თითოეულის შეფასების შკალად გამოყენებულია 0-დან 10-მდე ქულა, სადაც 0-ით ფასდება EA კომპონენტი თუ მისი გეომეტრია არ მოიძებნა არსებულ წყაროებში, ხოლო 1-დან 10-მდე მისი გეომეტრიული ხარისხობრივი მაჩვენებელი. მაგ.: Pixel Barrel Layer 0 კომპონენტისთვის მოიძებნა ერთი გეომეტრიული მოდელი Geant4-ის ბაზაში რომლის დეტალურობა შეფასდა 8 ქულით, სისრულე 8-ით და სისუფთავე 7-ით, ხოლო SmarTeam და Local ბაზებში არ მოიძებნა გეომეტრიული მოდელები და შესაბამისად ისინი შეფასდნენ 0 ქულით. (იხ. ცხრილი 21)

nom	EA	SmarTeam			Local			Geant4		
		Detalization	Completnes	Cleanness	Detalization	Completnes	Cleanness	Detalization	Completnes	Cleanness
112.111	Pixel Barrel Layer 0	0	0	0	0	0	0	8	8	7

ცხრილი 21 - EA კომპონენტების შეფასების ცხრილი

ამრიგად, ერთი EA კომპონენტისთვის არსებობს სამი სხვადასხვა წყაროდან მიღებული გეომეტრიული მოდელები, რომლებიც ფასდება სამი კრიტერიუმით (Detalization, Completeness და Cleanness).

EA კომპონენტების შერჩევისთვის გამოყენებულია ფორმულა, რომლის მიხედვითაც შეირჩევა იმ წყაროს გეომეტრია რომლის შეფასებების ჯამი იქნება მეტი

$$EA = \text{Max} (\text{Detalization} + \text{Completeness} + \text{Cleanness})$$

მოცემული ანალიზის ჩასატარებლად შეიქმნა ცხრილი, რომლის საშუალებითაც შეფასდა და აირჩა EA კომპონენტები.

შედეგების ცხრილში გამოყოფილია შემდეგი ველები (იხ. ცხრილი 22) :

1. nom ველში იწერება EA კომპონენტის კლასიფიკატორი
2. EA - კომპონენტის სახელი
3. Status - სამი სხვადასხვა ბაზიდან მოპოვებულ გეომეტრიებს შორის საუკეთესო გეომეტრიის გასაშუალოებული შეფასებს პროცენტული მაჩვენებელი.
4. Smarteam – Smarteam ბაზაში მოძებნილი გეომეტრიის შეფასებებში ველია
 - a. Detalization - გეომეტრიის დეტალურობის შეფასება
 - b. Completeness - გეომეტრიის სისრულის შეფასება
 - c. Cleanness - გეომეტრიის სისუფთავის შეფასება
5. Local - ლოკალური ბაზებიდან მოძიებული გეომეტრიების შეფასების ველი
6. Geant4 – Geant4-ის ბაზიდან მოძიებული გეომეტრიების შეფასების ველი
7. Status - ამ ველში სტატუსი Finish იწერება სამივე ბაზაში მოდელების მოძებნის შემდეგ
8. Selected - ველში განისაზღვრება საუკეთესოდ შეფასებული გეომეტრიის წყარო ანუ ბაზა
9. Commnets - კომენტარები
10. VRL files – VRL ფაილის სახელი
11. Other sources - სხვა წყაროების მიმთითებელი ველი

nom	EA	Status	Smarteam	Local	Geant4	Status	Selected	Comments	VRL File	Other sources
			Detailation Completeness	Detailation Completeness	Detailation Completeness					
111.1	Solenoid	23%	0	0	0	1	3	ნახაზები		http://atlas.kek.jp/CDD-ATLAS
111.211	Toroid Barrel 2/4/6/8/10/12/14/16	100%	5	5	10	4	8	აღდგენილი ნახაზებიდან	111.211	
111.221	Toroid EndCap Sym.	100%	5	5	10	4	8	აღდგენილი ნახაზებიდან	111.221	

ცხრილი 22 - კომპონენტების შეფასების ცხრილის ველები

ATLAS-ის ერთიანი გეომეტრიული მოდელის პირველი მიახლოებისთვის ჩატარდა ანალიზი (იხ. დანართი 3). ხოლო შედეგები, რომლების მოიცავს ყველა EA კომპონენტის გეომეტრიული მოდელების მოძიებას, შეფასებას და შერჩევას, მოცემულია ცხრილში (იხ. დანართი 2).

6.5 ერთიანი გეომეტრიული მოდელის დანერგვა და გამოყენება

ამრიგად, ATLAS-ის ერთიან გეომეტრიულ მოდელში გაერთიანდა 242 ანაწყობი და 207 EA ელემენტარული ანაწყობი 246-დან. ფიზიკურად შეიქმნა 242 CATProduct. ფაილი, რომელთა ჯამური ზომა 3 მეგაბაიტამდეა. და რადგან ზოგიერთ WRL ფაილში გაერთიანებულია რამდენიმე ელემენტარული ანაწყობი, მათი დაშლა ამ ეტაპზე არ განხორციელდა და ისინი ერთ ფაილად მივიღეთ, რითაც საბოლოოდ 87 WRL. ფაილი გამოვიდა ზომით 5.32 გიგაბაიტი (ცხრილი 23).

ფიზიკური პარამეტრები	რაოდენობა	ზომა
CATProduct. ფაილები (ანაწყობები)	242	3,19 მბ
WRL ფაილები (EA ანაწყობები)	87 (207/246)	5,32 გბ

ცხრილი 23 - ერთიანი გეომეტრიული მოდელის ფიზიკური პარამეტრები

მოცემული რესურსის გამოყენებისთვის აუცილებელია კომპიუტერის რეკომენდირებული სისტემური პარამეტრები (ცხრილი 24).

კომპიუტერის რეკომენდირებული სისტემური პარამეტრები	
HDD	> 5.5 GB
RAM	> 8 GB

ცხრილი 24 - კომპიუტერის რეკომენდირებული სისტემური პარამეტრები

აღნიშნული გეომეტრიული მოდელები გამოყენებული იქნა სხვადასხვა საინჟინრო პროექტებში ბირთვული კვლევების ევროპულ ორგანიზაციაში CERN-ში.

პროექტი #1 „ტოროიდული მაგნიტის Geant4 საბაზო გეომეტრიის შემოწმება ინტეგრაციის კონფლიქტზე და ადეკვატურობაზე“ - კოლაბორაციული ხელშეკრულება CERN-თან Agr. No. 366/10; სამუშაო პაკეტი #01/2010



სურათი 46 – EndCap ტოროიდული მაგნიტის პროექტი

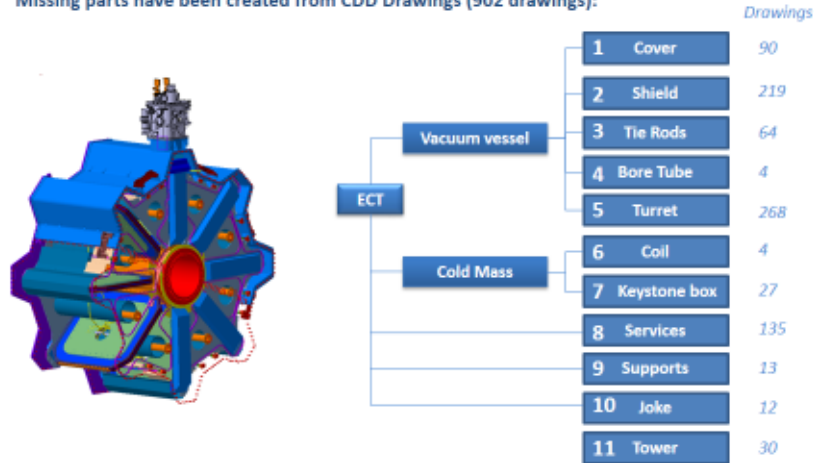
აღნიშნული პროექტების ფარგლებში გამოყენებული იქნა ერთიანი გეომეტრიული მოდელის ობიექტი კლასიფიკაციის კოდით 111.221 (სურ. 46). ობიექტს ბაზაში შეესაბამება ერთი ანაწყოები, რომელიც მიღებულ იქნა SmarTeam მოდელის რეპროდუცირების გზით. SmarTeam-ის მოდელს ST0268528 დაემატა 902 მოდელი CDD-ს ნახაზებიდან.

Sources

Source geometry has been taken from SmarTeam Engineering Database:

Path : ATLAS CURRENT/Detector System/Magnets ATLAS/Toroid Magnets ATLAS/Barrel Toroid Magnet ATLAS/End-cap Toroid Magnet
Model: ST0268528 ECT assembly side C (id: CAD000628534)

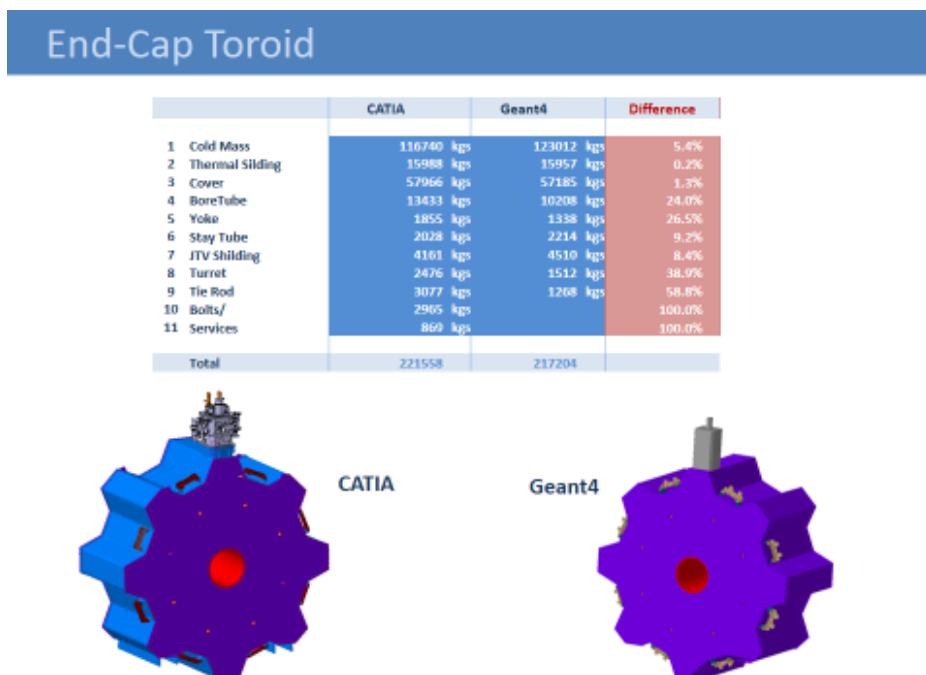
Missing parts have been created from CDD Drawings (902 drawings):



სურათი 47 - რეკონსტრუირებით მიღებული გეომეტრიული მოდელი

შედეგად, მთლიანი ანაწყოები დაიყო 11 ლოგიკურ კვანძად და მოხდა თითოეული კვანძის შედარებითი ანალიზი Geant4-ის შესაბამის კვანძთან [36] (სურ. 47).

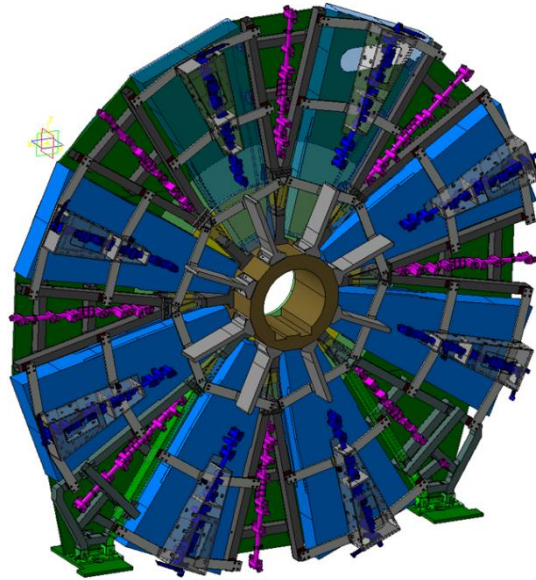
შედეგად, გამოვლინდა მნიშვნელოვანი განსხვავებები მოცულობებში და წონებში (სურ. 48).



სურათი 48 – შედარებითი ანალიზის შედეგები

პროექტი #2 „ახალი კომპონენტების დამატება Geant4 საბაზო გეომეტრიაში“

- კოლაბორაციული ხელშეკრულება CERN-თან Agr. No. 366/10 addm. 2;
სამუშაო პაკეტი #03/2012.



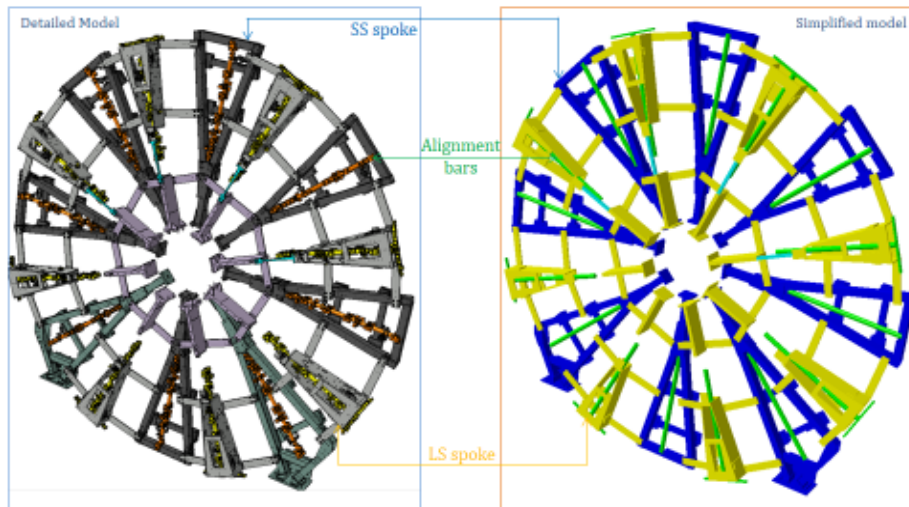
სურათი 49 – New Small Wheel-ის გეომეტრიული მოდელი

მოცემული პროექტების ფარგლებში გამოყენებული იქნა ერთიანი გეომეტრიული მოდელის ობიექტები კლასიფიკაციის კოდებით 121.07.221.1 (Muon EI supports Sym.) და 121.09.1 (Disk Shielding)(სურ. 49). ობიექტებს ბაზაში შეესაბამება ორი ანაწყობი, რომელიც მიღებულ იქნა SmarTeam მოდელიდან ST0485601_06 [37].

პროექტის ფარგლებში Geant4-ის საბაზისო გეომეტრიას დაემატა New Small Wheel (NSW) გეომეტრიული მოდელი, რისთვისაც განხორციელდა შემდეგი ეტაპები:

პირველ ეტაპზე გამარტივდა დეტალური გეომეტრიული მოდელები, ისე რომ შენარჩუნდა მისი მოცულობითი და წონითი მაჩვენებლები (სურ. 50).

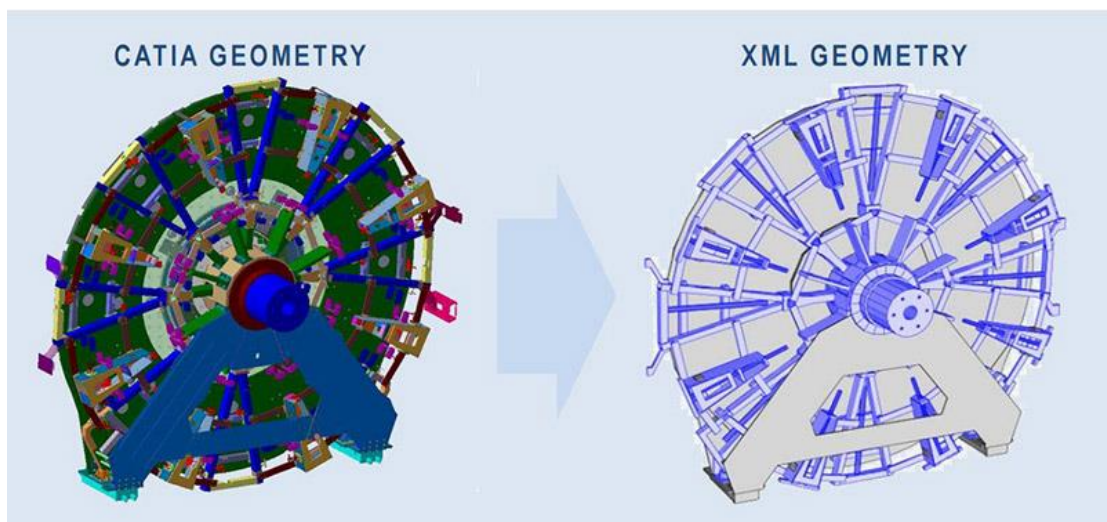
Simplification of "NSW Aluminum Structure"



			Detailed Model		Simplified Model	
Quantity	Name		Volume (m³)	Mass (kg)	Volume (m³)	Mass (kg)
8X	LS Spoke		0.964	2'855	0.9656	2'866
6X	SS Spoke		0.6054	1'791	0.609	1'806
2X	SS Spoke Foot		0.3284	1'567	0.3286	1'573
8X	Alignment Bars	SS Bar	0.1696	390	0.144	389
8X		LS Bar	0.1504	406	0.1512	409
Total:			2.2178	7'009	2.1984	7'043

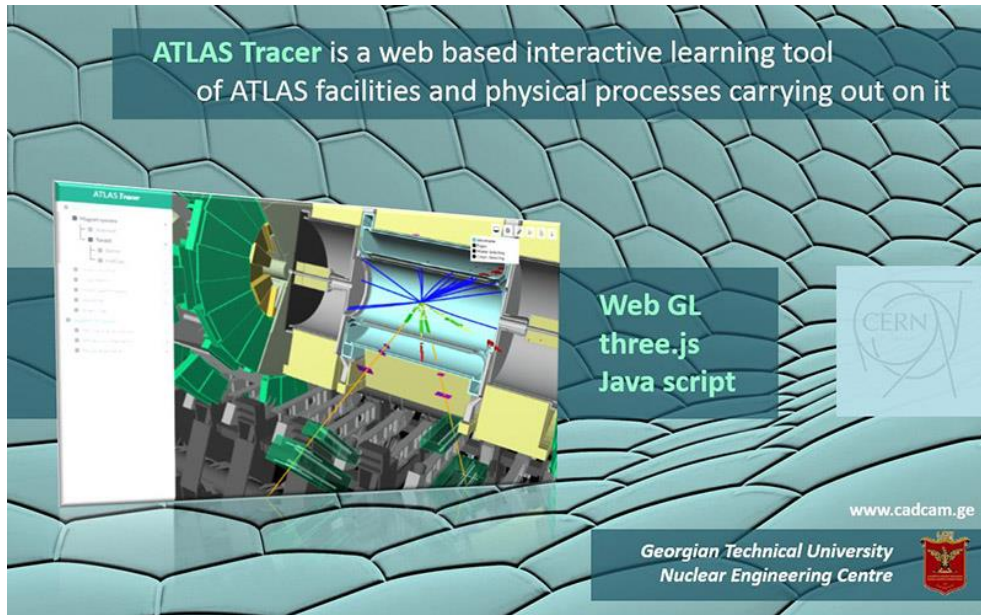
სურათი 50 – EndCap ტოროიდული მაგნიტის პროექტი
მეორე ეტაპზე გამარტივებული გეომეტრიული მოდელებიდან შედგა Geant4-ის გეომეტრიული მოდელის XML კოდი.

შედეგად, Geant4-ის საბაზო გეომეტრიულ აღწერებს დაემატა NSW და JD Disk-ის გეომეტრიული აღწერები (სურ. 51).



სურათი 51- EndCap ტოროიდული მაგნიტის პროექტი

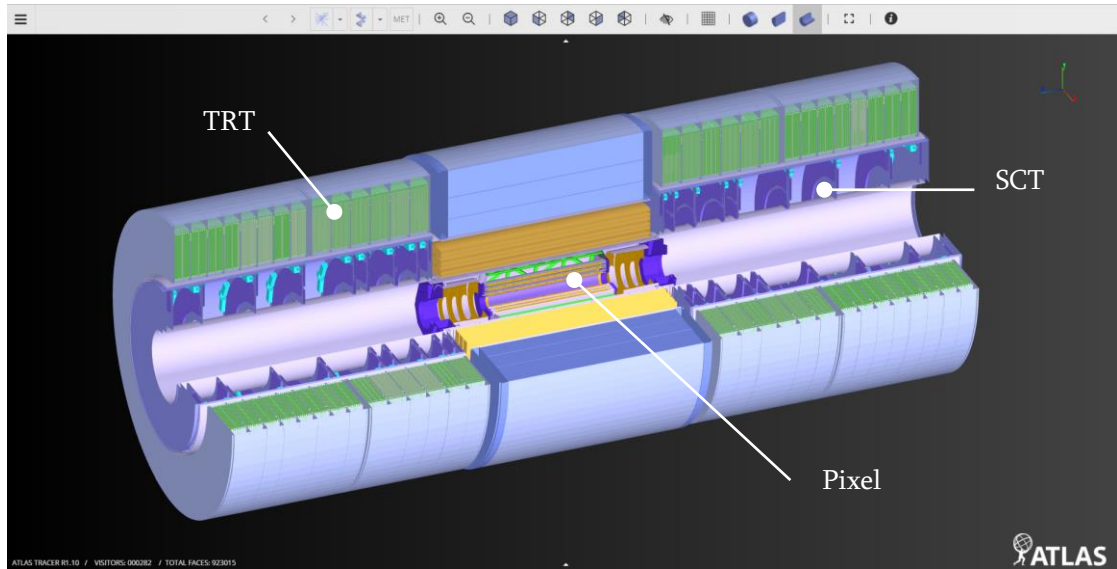
პროექტი #3 „სასწავლო აპლიკაცია ელემენტარული ნაწილაკების შემთხვევებისა და ATLAS დეტექტორის მოწყობილობების Web-ვიზუალიზაციისთვის“ - კოლაბორაციული ხელშეკრულება CERN-თან Agr. No. 366/10 addm. 3; სამუშაო პაკეტი #03/2016.



სურათი 51 – EndCap ტორიდაული მაგნიტის პროექტი

პროექტების ფარგლებში გამოყენებული იქნა ერთიანი გეომეტრიული მოდელის ობიექტები კლასიფიკაციის კოდებით 112.1 (Pixel); 112.2 (SCT); 112.3 (TRT) (სურ. 52). Web-ვიზუალიზატორი იყენებს three.js ბიბლიოთეკას რომელიც უზრუნველყოფს 3D გეომეტრიულ ვიზუალიზაციას. Web-ვიზუალიზატორში ATLAS დეტექტორის კომპონენტების გამოსატანად აუცილებელია გეომეტრიული მოდელები აღწერა Json ფორმატში, რომელთა პირდაპირი კონვერტაცია CATIA-ს გეომეტრიული მოდელებიდან შეუძლებელია. ამრიგად, პირველ ეტაპზე განხორციელდა CATIA-ს გეომეტრიული მოდელების კონვერტაცია ნეიტრალურ VRML ფორმატში. მეორე ეტაპზე VRML Viewer აპლიკაციის დახმარებით VRML ფაილები კონვერტირდება Json ფორმატის ფაილებში.

შედეგად, დამუშავდა ATLAS დეტექტორის სამი (Pixel, SCT და TRT) კომპონენტი, რომელთა Json ფორმატის ფაილები დაემატა Web-ვიზუალიზატორის გეომეტრიულ ბაზას [38] (სურ. 53).



სურათი 52 – ვებ-ვიზუალიზატორში გამოტანილი შიდა დეტექტორის კომპონენტები

დისერტაციის დასკვნები

1. დამუშავდა ATLAS-ის დეტექტორის სტრუქტურული ფორმალიზმის დეკომპოზიციის მიდგომა, რისთვისაც შეირჩა დეკომპოზიციის 3 კრიტერიუმი: ფუნქციონალური დანიშნულების, სივრცეში განაწილებისა და სიმეტრიულობის კრიტერიუმები
2. დეტექტორის სტრუქტურა აღიწერა 8-დონიანი იერარქიული ხის სახით
3. დეტექტორის სტრუქტურაში გამოიყო 207 კლასი და მათში გაერთიანებული 247 ობიექტი
4. მიღებული სტრუქტურული ფორმალიზმის საფუძველზე შეიქმნა დეტექტორის ერთიანი გეომეტრიული მოდელი. რისთვისაც შეირჩა საინჟინრო გეომეტრიული მოდელირების პლატფორმა და მონაცემთა ბაზა
5. დამუშავდა სამგანზომილებიანი გეომეტრიული მოდელების შეფასებისა და შერჩევის მეთოდები
6. დეტექტორის ერთიანი გეომეტრიული მოდელი გამოყენებულ იქნა CERN-ის 3 საინჟინრო კოლაბორაციულ პროექტში: ტოროიდული მაგნიტის შედარებითი ანალიზი; მცირე თვალის მოდელის აგება და შიდა დეტექტორის Web ვიზუალიზაცია.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Toriya H., 3D Manufacturing Innovation, Sprinter, 2008, 168 p.
2. Xun Xu, Integrating Advanced Computer-Aided Design, Manufacturing, and Numerical Control: Principles and Implementations, SCOPUS, 2009, 424 p.
3. Roles of PDM and PLM Software, <http://www.buyplm.com/plm-software/product-data-management-pdm-software.aspx> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 6.06.2017
4. Stark J., Engineering Information Management Systems: Beyond CAD/CAM to Concurrent Engineering Support (Automation in Manufacturing), Van Nostrand Reinhold, 1992, 209 p.
5. ATLAS DETECTOR AND PHYSICS PERFORMANCE, Technical Design Report, CERN/LHCC 99-14, 1999, 460 p.
6. Project Boing A380 <http://www.baselinemag.com/c/a/Projects-Processes/PLM-Boeings-Dream-Airbus-Nightmare/4> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 6.06.2017
7. Daimler chooses NX for Smaragd <http://schnitgercorp.com/2010/12/03/update-daimler-chooses-nx-for-smaragd/> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 6.06.2017
8. Wardzinska A., Petit S., The Evolution of CERN EDMS, Journal of Physics, 2015, 9 p.
9. EDMS - CERN's Engineering Data Management Service, <https://edms-service.web.cern.ch/edms-service/faq/EDMS/pages/> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 6.06.2017
10. Van Uytvinck E., EUCLID 3 Recommendations I: Modélisation 3D, 1995, 40 p.
11. Gengenbach U., The CAD*I processors for Matra Datavision's Euclid, Research Reports ESPRIT 90-111 pp
12. CATIA V5R20 <https://www.3ds.com/press-releases/single/dassault-systemes-launches-release-20-of-v5-plm-platform/> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 6.06.2017
13. Michaud M., CATIA Core Tools: Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application (Mechanical Engineering), McGraw-Hill Education, 2012, 800 p.

14. Andrews C., Berard G., ENGINEERING DESIGN MANAGEMENT AND TOOLS FOR THE CERN EDMS, EPAC, 2002, 2676-2678 p. “cartweb”
15. Hakulinen T., Delamare C., INTEGRATION OF CATIA/SMARTTEAM INTO CERN'S CORPORATE ENGINEERING DATA MANAGEMENT SYSTEM, Eleventh European Particle Accelerator Conference, Jun 2008
16. The CERN Large Hadron Collider: Accelerator and Experiments Volume 1: LHC Machine, Alice, and Atlas, CERN, 2008, 405 p.
17. ATLAS Collaboration, Magnet System Technical Design Report, CERN/LHCC/97-18, 1997, 101 p.
18. ATLAS Collaboration, Central Solenoid Technical Design Report, CERN/LHCC/97-21, 1997, 92 p.
19. ATLAS Collaboration, End-Cap Toroids Technical Design Report, CERN/LHCC/97-20, 1997, 283 p.
20. ATLAS Collaboration, Barrel Toroid Technical Design Report, CERN/LHCC/97-19, 1997, 217 p.
21. ATLAS detector and physics performance Volume I Technical Design Report, 1999, 460 p.
22. ATLAS Collaboration, Inner Detector Technical Design Report, Volume 1, CERN/LHCC/97-16, 1997, 270 p.
23. ATLAS Collaboration, Pixel Detector Technical Design Report, CERN/LHCC/98-13, 31 May 1998, 330 p.
24. Operation and performance of the ATLAS semiconductor Tracker, IOP PUBLISHING FOR SISSA MEDIALAB, 2014, 71 p.
25. ATLAS Collaboration, Calorimeter Performance Technical Design Report, CERN/LHCC/96-40, 1996, 189 p.
26. ATLAS Collaboration, Liquid Argon Calorimeter Technical Design Report, CERN/LHCC/96-41, 1996, 624 p.
27. ATLAS Collaboration, Tile Calorimeter Technical Design Report, CERN/LHCC/96-42, 1996, 347 p.
28. ATLAS Collaboration, Muon Spectrometer Technical Design Report, CERN/LHCC/97-22, 1997, 540 p.

29. ATLAS Phase-II Upgrade Scoping Document, CERN-LHCC-2015-020, 2015, 239 p.
30. The ATLAS Shielding Project
<http://atlas.web.cern.ch/Atlas/GROUPS/Shielding/shielding.htm> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 28.05.2017
31. Aefsky S., Amelung C., Bensinger J., Blocker C., Dushkin A., Gardner M., Hashemi K., Henry E., Kaplan B., Keselman P., The Optical Alignment System of the ATLAS Muon Spectrometer Endcaps, Journal of Instrumentation, 2008, 61 p.
32. ATLAS Collaboration, Technical Coordination Technical Design Report, CERN/LHCC/99-01, 1999, 475 p.
33. ATLAS Collaboration, DAQ, EF, LVL2 and DCS Technical Progress Report, CERN/LHCC/98-16, 1998, 291 p.
34. Беляев И.П., Капустян В.М. “Системный анализ для разработки и внедрения информационных технологий”. Методическое пособие – М.: МГСУ, 2007.
35. Коротков Эдуард Михайлович «Исследование систем управления». Учебник. Москва. Издательско-консалтинговая компания «ДеКА», 2000
36. Muon & NSW Software (Muon Week) <https://indico.cern.ch/event/394320/>, “Updates on Geometry comparison and related studies”, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 6.06.2017
37. Muon & NSW Software (Muon Week), <https://indico.cern.ch/event/640344/>, “updates on run-3 passive materials”, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 27.06.2017
38. HSF Visualization workshop, <https://indico.cern.ch/event/617054/>, “Tracer: WebGL and three.js in ATLAS”, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 6.06.2017