

Raport stiintific 17/8/2017 – 15/12/2017

Dispozitiv de monitorizare a securitatii infrastructurilor subterane folosind fluxul miuonilor cosmici (OSCAR)

Proiectul are ca scop proiectarea si dezvoltarea unui model experimental care sa culeaga informatii despre structura mediului subteran scanat prin intermediul masuratorilor de flux directional al miuonilor cosmici.

Acest detector va fi o imbunatatire a tehnologiei deja disponibile si functionale in IFIN-HH, cum ar fi detectorul mobil pentru masurarea fluxului miuonilor [1], detectorul WILLI [2], sistemul de detectie WILLI-AIR [3], detectorul SiRO [4], etc.

Pentru a putea functiona in mediul subteran, un mediu greu accesibil, fara acces la retea electrica, cateva cerinte vor trebui indeplinite, cum ar fi: consumul de electricitate va trebui sa fie cat mai redus cu putinta, pentru a putea fi alimentat prin intermediul bateriilor, greutatea ansamblului cat mai mica, pentru a putea fi usor de carat pe brate, compact si rezistent la vibratii. De asemenea, pentru a putea fi implementat pe scara larga ca sistem de siguranta in exploatarile subterane, pretul reprezinta un alt factor important de luat in calcul.

Pentru a indeplini aceste conditii, clasicele PMT-uri vor fi inlocuite cu dispozitive de tip SiPM, datorita tensiunii de operare mult mai mici (70 V in loc de 1500 V necesare pentru PMT-uri), rezistenta mult mai buna la vibratiile generate de transport, dar si a dimensiunilor mult mai mici, reducand astfel dimensiunile detectorului. De asemenea, un DAQ avand la baza un dispozitiv tip FPGA va fi dezvoltat pentru a inlocui cadrul si modulele VME, mult mai scumpe si masive, reducand in acest fel si consumul de energie.

Simularea Geant4 a functionalitatii detectorului

Prezenta etapa, denumita Etapa 1 “Simularea raspunsului detectorului”, a fost compusa dintr-o singura activitate, Activitatea 1 “Simularea raspunsului detectorului folosind codul GEANT4”. Faza a avut ca obiectiv simularea raspunsului detectorului la interactia cu fluxul miuonilor cosmici in subteran si a eficientei de detectie a acestuia. Platforma GEANT4 [5] a fost folosita in acest scop. Avand la baza metoda Monte Carlo, GEANT4 este un pachet de instrumente ce permite simularea interactiei particulelor cu materia.

Au fost simulate doua configuratii ale unui detector directiona al fluxului de miuoni. Prima configuratie a detectorului este alcatuita din sase straturi de volum sensibil, fiecare strat fiind compus in 24 de bare de plastic scintilator, lungi de 100 cm, groase de 1 cm si 4 cm latime, acoperite cu un material izolator pentru a elimina crosstalk-ul optic, citite prin intermediul

fibrelor optice de 24 de dispozitive de tip SiPM. Fiecare strat va fi incapsulat intr-o carcasa de aluminiu pentru a proteja volumul sensibil si electronica de alimentare a SiPM-urilor si de pre-amplificare a semnalului masurat de lumina si mediul extern.

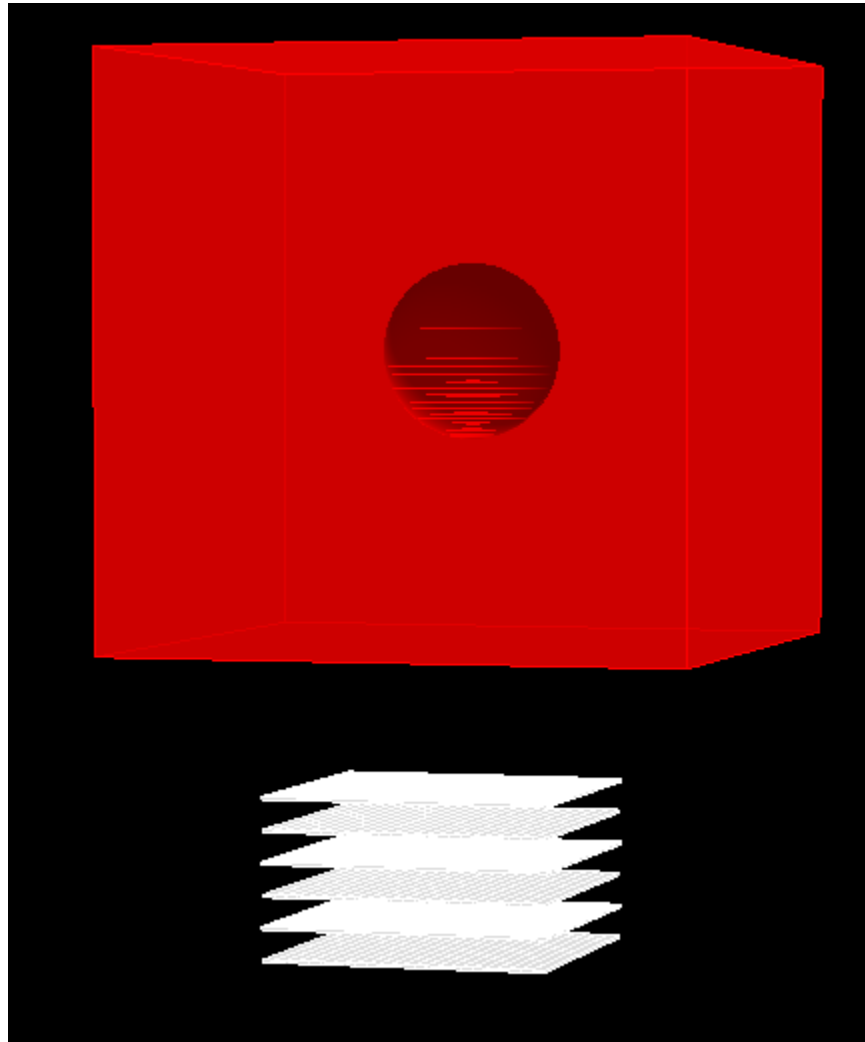


Fig.1 Schema primei configuratii a detectorului

Pentru a putea masura traiectoriile miunilor incidenti, cele 6 straturi sunt grupate doua cate doua, cu directiile lungimilor barelor asezate perpendicular pentru fiecare grup, rezultand astfel trei plane de detectie, rezolutia in determinarea traiectoriei miunilor fiind de aproximativ 2° .

De asemenea, prin suprapunerea celor 6 straturi active se asigura si discriminarea miunilor dintre particulele incidente.

Spectrul energiei depuse in scintilatori (Fig. 2) a fost determinat pentru a fi comparat cu spectrul de amplitudini care va fi masurat experimental pentru determinarea pragului care trebuie impus in electronica pentru eliminarea dark-countului.

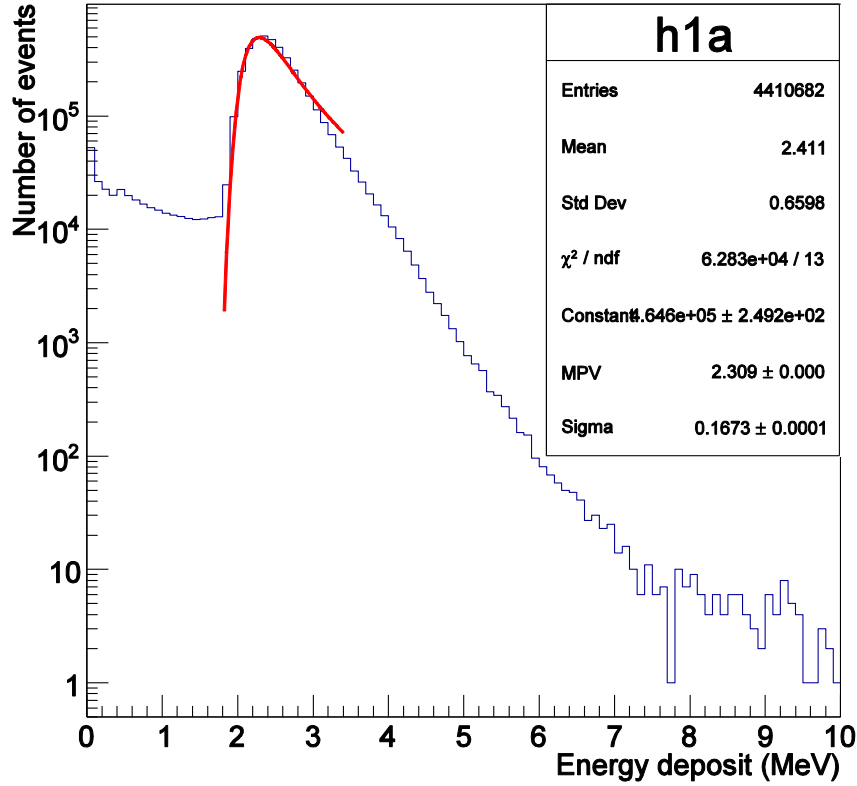


Fig.2 Spectrul energiei depuse de miuoni in scintilatori

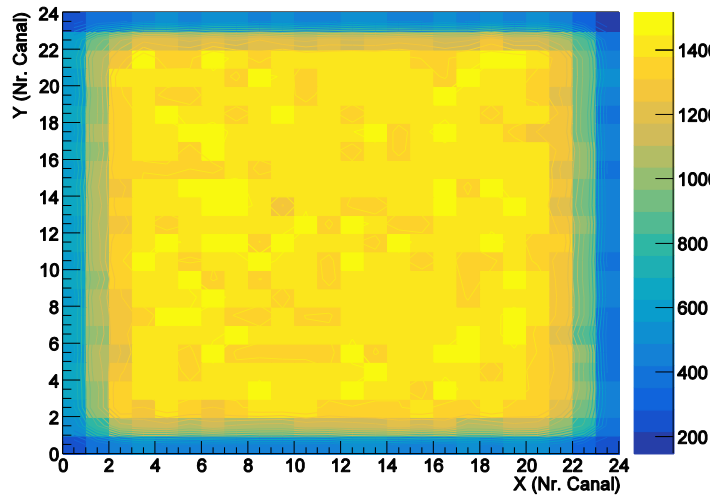


Fig.3 Raspunsul detectorului la un flux de miuoni uniform distribuiti

Pentru a testa uniformitatea detectorului, un flux de miuoni distribuit uniform pe o suprafata mai mare decat cea a detectorului ($2 \times 2 \text{ m}^2$) a fost implementat in codul de simulare. Miuonii incidenti au un unghi cu verticala cuprins intre $0^\circ - 30^\circ$ si energii distribuite uniform intre $0.2 - 7 \text{ GeV}$. Nu au fost simulate unghiuri de incidenta mai mari pentru ca abundenta miuonilor inclinati in subteran este neglijabila. Se poate observa ca din motive geometrice, canalele de pe marginea detectorului au un numar de evenimente valide mai mic decat cele din centrul detectorului (Fig. 3).

O cavitate sferica cu diametrul de 0.6 m incorporata intr-o masa de pamant cu dimensiunile de $2 \times 2 \times 2 \text{ m}^3$ a fost adaugata in simulare pentru a testa sensibilitatea dispozitivului la detectia cavitatilor. Se poate observa un numar mai mare de evenimente detectate in dreptul cavitatii.

Detectorul este plasat in aer la o distanta de 1 m sub masa de pamant care contine cavitatea sferica (Fig.1).

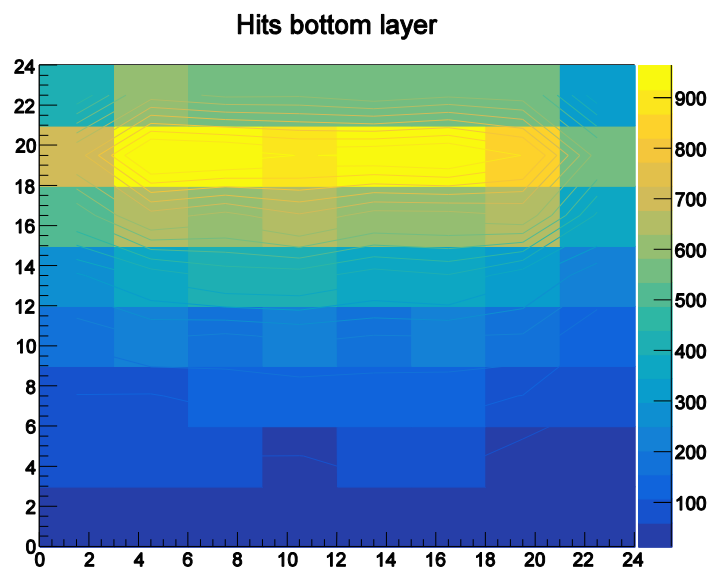


Fig. 4 Imagine miuonica a cavitatii

Deoarece rezolutia de pozitie a cavitatii nu este de o calitate satisfacatoare, a fost simulata o configuratie imbunatatita a detectorului. Noua simulare contine patru straturi de scintilatori, fiecare bara scintilatoare avand 100 cm lungime, 2.4 cm latime si 1 cm grosime (Fig.6).

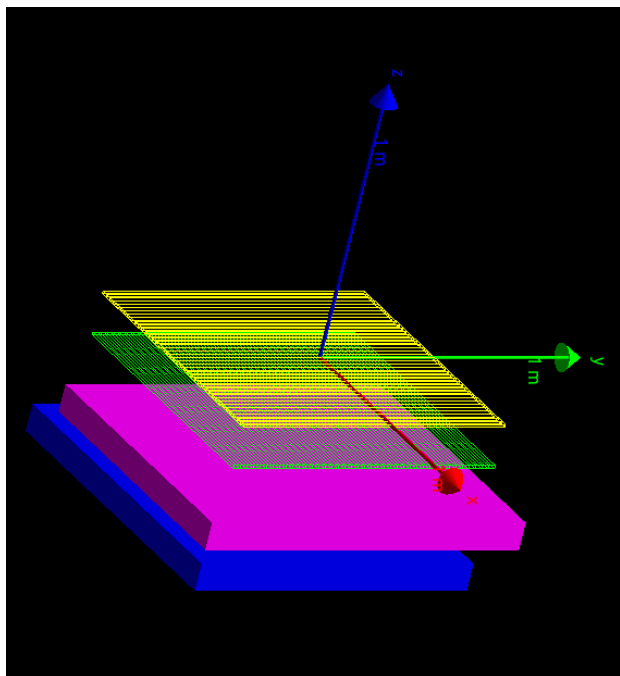


Fig.6 Schema celei de-a doua configuratii a detectorului

Se poate observa ca spectrul energiei depuse de catre miuoni in barele scintilatoare nu s-a modificat semnificativ fata de spectrul corespunzator primei configuratii, forma si valoarea peak-ului de particule minim ionizante fiind date doar de grosimea scintilatorului si de unghiul de incidenta al miuonilor.

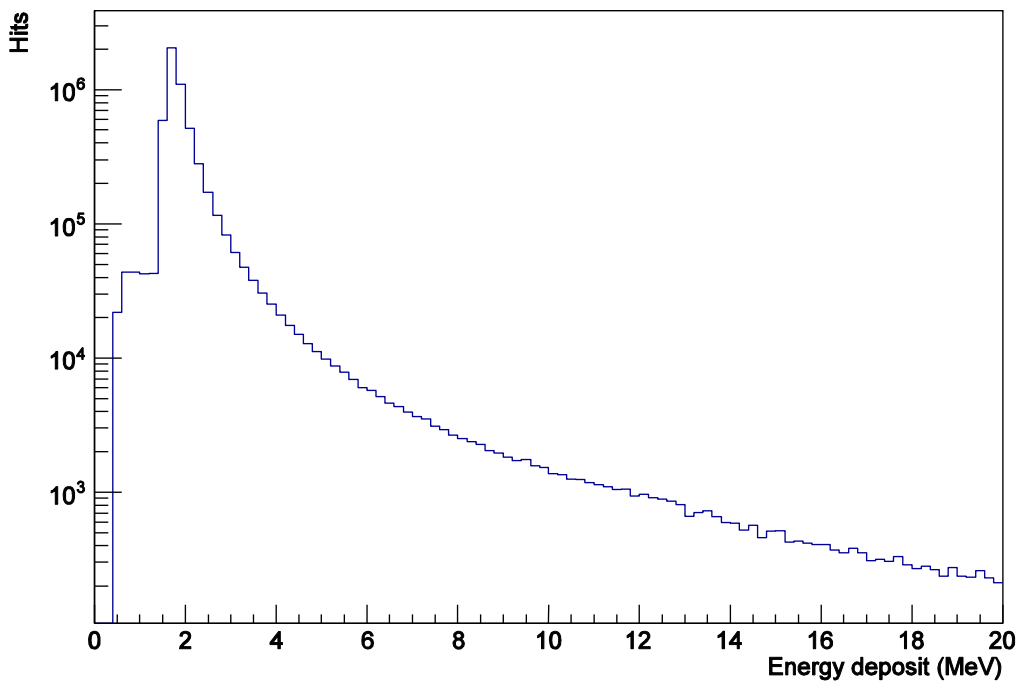


Fig. 7 Spectrul energiei depuse in scintilatori pentru a doua configuratie

Datorita faptului ca in a doua configuratie barele scintilatoare au o latime de 2.4 cm, numarul de pixeli pe care il formeaza intersectiile barelor scintilatoare este 1600 fata de 576 pixeli cat este dat de prima configuratie. Uniformitatea de detectie pentru acest caz este ilustrata in Fig.8. Se poate observa o rezolutie mult mai buna de pozitie fata de prima configuratie.

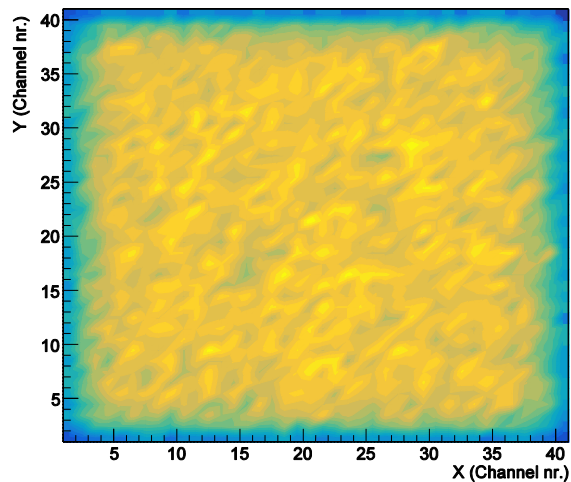


Fig. 8 Uniformitatea de detectie pentru a doua configuratie a detectorului

O cavitate de diametru 0.6 m a fost implementata si in acest caz in codul de simulare pentru a studia efectul acesteia asupra fluxului de miuoni incidenti. Se poate observa o crestere semnificativa a numarului de evenimente in dreptul cavitatii simulate.

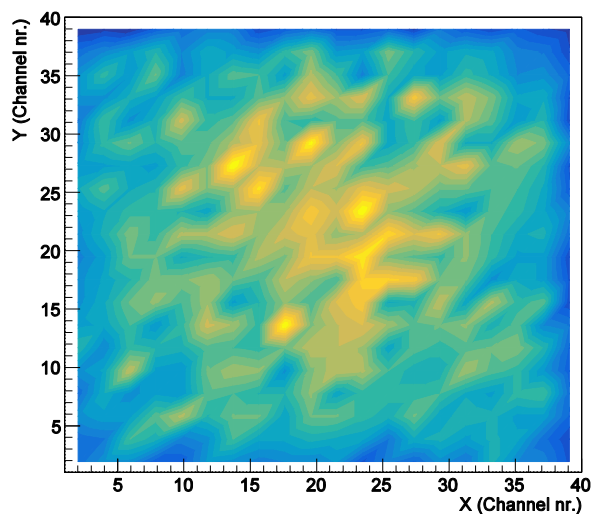


Fig. 9 Imagine a cavitatii cu diametrul de 0.6 m

A fost simulat și răspunsul detectorului la o cavitate cu diametrul de 1m (Fig.10). Se poate observa o separare mai bună a zonei cu numărul mai mare de hit-uri în detector cauzată de raportul mai mare dintre dimensiunea cavității și cea a stratului absorbant de pământ.

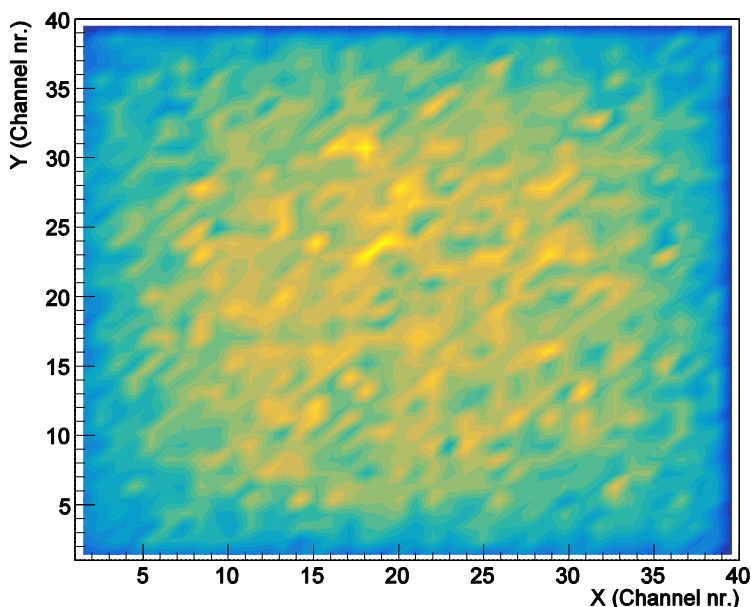


Fig. 10. Imagine a cavității cu diametrul de 1m

Simularea propagării fotonilor optici în modulele de detecție

După simularea funcționalității detectorului au fost efectuate simulări ale producerii prin scintilație a fotonilor optici, propagarea prin o fibră optică schimbătoare de undă și colectarea acestora de către un dispozitiv SiPM. A fost implementată o geometrie a barei scintilatoare având o lățime de 2.4 cm, grosime de 1 cm și lungime 1m. Fibră schimbătoare de lungime de undă are rolul de a colecta scintilațiile produse la interacția cu muonii și să le transporte la un dispozitiv SiPM plasat la capătul fibrei (Fig.11).



Fig. 11. Schema a geometriei modului simulat (bara scintilatoare și fibră)

Fibra scintilatoare are diametrul de 1.5 mm si un strat antirefractie. Aceasta este plasata intr-un canal situat in partea de sus a scintilatorului. Raspunsul modulului la interactia cu miuonii a fost simulat si fotonii care au fost absorbiti de catre stratul sensibil din dispozitivul SiPM au fost numarati (Fig. 12).

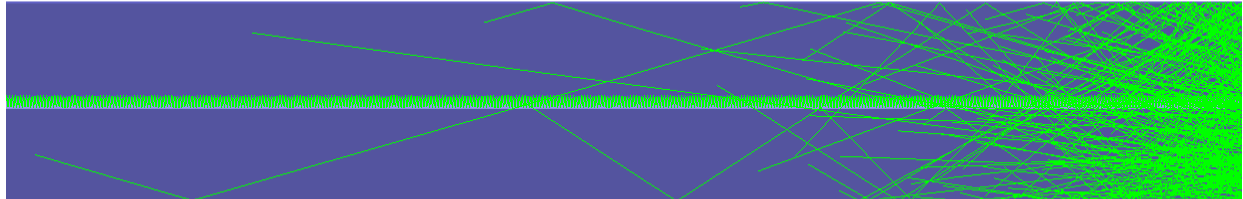


Fig. 12. Propagarea fotonilor prin fibra optica

S-a observat ca atunci cand miuonii interactioneaza cu modulul de detectie langa capatul scintilatorului de langa dispozitivul SiPM, numarul fotonilor este cu 30% mai mare decat in cazul in care particula loveste in capatul opus a barei scintilatoare. Dispozitivele SiPM pot detecta cu o precizie de minim 70% un singur foton incident, deci numarul de aproximativ 50 fotoni care sunt generati sunt mai mult decat suficienti pentru a obtine un semnal util masurabil.

Rezumatul etapei

Activitatea intreprinsa a umarit trei directii:

A fost simulat raspunsul a doua configuratii ale detectorului la interactia cu miuonii pozitivi si negativi. Pentru asta, fotonii rezultati in urma interactiei au fost simulati in volumul barelor de plastic scintilator. Colectarea acestora prin fibra optica a fost analizata, iar fotonii absorbiti de SiPM au fost numarati. Pentru a observa cum este afectata eficienta de detectie a detectorului cu variatia latimii barelor scintilatoare, doua latimi diferite au fost folosite: de 2.5 cm si 4 cm.

Urmatorul pas a fost simularea a doua cavitati sferice de cu diametrele de 0.6 m respectiv 1m si materiale diferite deasupra detectorului pentru a testa cum este influentat fluxul miuonilor incidenti de acestea. Obiectele au fost plasate deasupra detectorilor pentru a vedea cum este afectata reconstructia de diametrul obiectului observat.

Un cod de reconstructie a fost implementat avand la baza pachetul de analiza ROOT [6]. Acesta construiește imaginea generata de detector in urma informatiilor generate de simulari, tinand cont si de parametrii de intrare, cum ar fi distanta la care se afla obiectul, dimensiunile acestuia, etc. Acest cod a fost dezvoltat astfel incat sa poata fi folosit atat pentru interpretarea datelor

provenite din simulari cat si pentru analiza rezultatelor experimentale. Acest cod urmeaza sa fie imbunatatit prin o mai buna reconstructie a traiectoriei miuonilor incidenti pentru formarea unor imagini de rezolutie mai buna.

Bibliografie

[1] Mitrica Bogdan, Stanca Denis-Iulian, Petcu Mirel, Brancus Iliana Magdalena, Saftoiu Alexandra, Toma Gabriel, Niculescu-Oglinzanu Mihai, Gherghel-Lascu Alexandru, Margineanu Romul Mircea, “Laborator mobil pentru masurarea fluxului miuonilor proveniti din radiatia cosmica”, registered patent no. A/00956/2014

[2] B. Vulpescu et al., “A compact detector for the measurement of the cosmic-ray muon charge ratio”, NIMA 414 (1998) 205–217

[3] I.M. Brancus, B. Mitrica, M. Petcu, H. Rebel, A. Haungs, H.-J. Mathes, O. Sima, A. Saftoiu, G. Toma, M. Duma, “WILLI - EAS - a detection system for investigating the muon charge ratio in Extensive Air Showers”, Nuclear Physics B (Proceedings Supplements) 196 (2009) 227

[4] D. Stanca et al., “A feasibility study to track cosmic muons using a detector with SiPM devices based on amplitude discrimination”, Rom. Rep. Phys 69 (2017) 301

[5] J.Allison et al., “Geant4—a simulation toolkit”, NIM-A, Volume 506, Issue 3, 1 July 2003, Pages 250-303

[6] I.Antcheva et al., “Computer Physics Communications”, Volume 180, Issue 12, December 2009, Pages 2499-2512