

Proiectarea și realizarea a două prototipuri de RPC,
simulări APLAC ale impedanței liniei de transmisie,
proiectarea zonei interne a subdetectorului de timp de
zbor al CBM bazat pe detaliile constructive ale
aceastora (partea II)

1 Introducere

Subsistemul de timp de zbor (TOF) va fi unul din subsistemele de bază ale aranjamentului experimental CBM [1] dela FAIR [2]. Cu o suprafață de 120 m^2 acest detector acoperă unghiuri polare între 2.5° și 25° cu o acoperire azimutală completă. Cerințele impuse acestui subsistem sunt să aibă o rezoluție temporală mai bună de 80 ps , și o eficiență de detecție mai bună de 95% [3]. Rezoluția temporală a sistemului cerută în experiment include atât contribuția detectorului cât și a referinței de moment zero și a electronicii asociate. Provocarea pentru

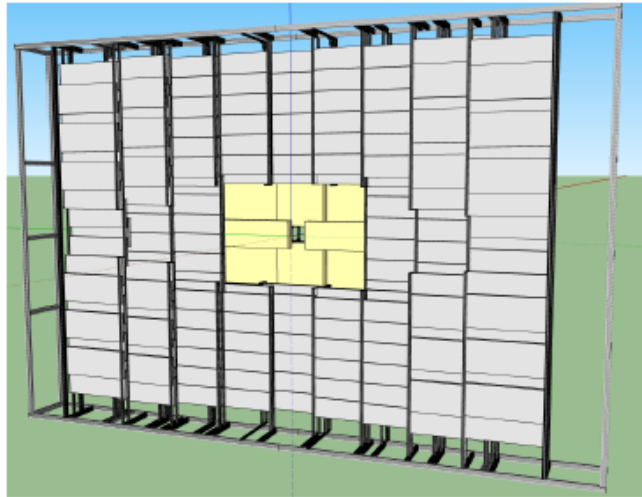


Figure 1: CBM-TOF wall.

subdetectorul de timp de zbor este de a menține această performanță până la cea mai înaltă rată de numărare anticipată prin simulări Monte-Carlo, de până la 30 kHz/cm^2 în zona unghiurilor polare mici, în apropierea axei de fascicul (Fig. 2-stânga).

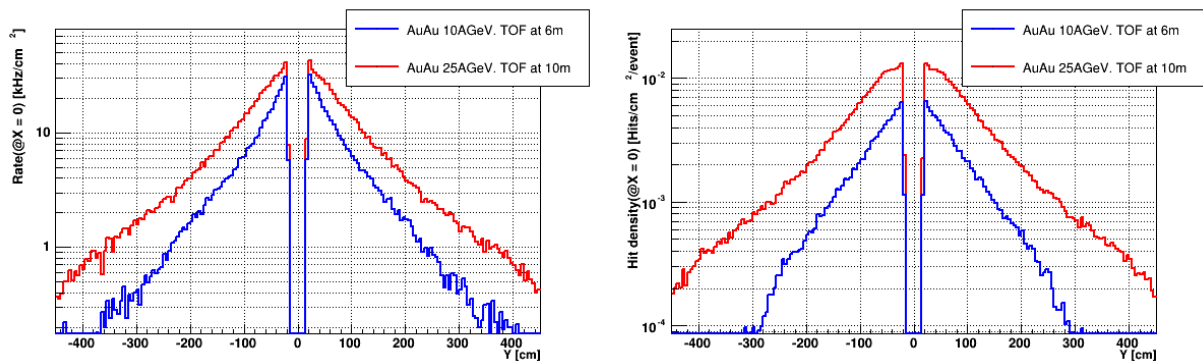


Figure 2: Fluxul de particule (stânga) și densitatea de traiectorii (dreapta) pe suprafața subdetectorului CBM-TOF, poziționat la 10 m (roșu) și la 6m (albastru) față de țintă

Pentru a satisface cerințele impuse, subsistemul de timp de zbor al experimentului CBM este bazat pe detectori cu electrozi rezistivi plan paraleli ce definesc o structură cu spații multiple [4] și citire a semnalelor pe electrozi multi-strip (MSMGRPC) [5]. Granularitatea detectorilor este definită de cerința de a avea o ocupare a detectorului $\leq 5\%$. Deoarece densitatea de traiectorii, așa cum se observă în simularea Monte Carlo a unui eveniment de ciocnire prezentată în Fig. 3, scade rapid cu creșterea distanței față de axa fasciculului (Fig. 2-dreapta), dimensiunea celulei de citire a semnalului crește cu creșterea unghiului

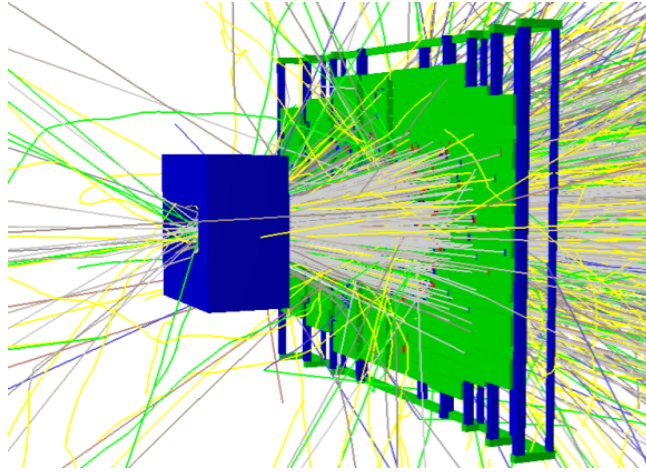


Figure 3: Simulare Monte Carlo a unui eveniment de ciocnire în CBM.

polar. Pentru o valoare dată a pasului stripurilor aceasta creștere este satisfăcută prin creșterea lungimii stripurilor.

Datorită ratelor mari de interacție la care experimentul CBM este proiectat sa opereze (până la 10^7 interacții/s), subsistemul CBM-TOF, ca și celelalte sisteme de detecție ce compun aranjamentul experimental, va fi operat de un sistem de procesare și achiziție a semnalelor netriggerat, ceea ce înseamnă că toate semnalele furnizate de detectori și care depășesc pragul electronicii front-end vor fi procesate. În scopul minimizării procesării unui număr mare de semnale parazite ce pot rezulta din posibile reflexii, pentru detectori MSMGRPC se impune o adaptare foarte bună a liniei de transmisie a semnalului cu impedanța de intrare a electronicii front-end.

Impedanța liniei de transmisie a semnalului este un parametru care depinde de proprietățile dielectrice ale materialelor electrozilor utilizați la construcția detectorilor, de grosimea electrozilor plan paraleli folosiți și de grosimea și numărul spațiilor de separare dintre electrozi, precum și de lățimea stripului de citire a semnalului. Din acest motiv, în funcție de valorile acestor parametrii, prototipurile MSMGRPC realizate în grupul nostru [6, 8] au avut impedanța liniei de transmisie de 100Ω pentru un detector cu 2×5 spații de detecție și 1.4 mm lățime a stripurilor (2.54 mm pas al stripurilor), sau de 50Ω pentru același număr de spații, dar o lățime a stripurilor de 5.6 mm (7.4 mm pas al stripurilor). Deoarece electronica front-end utilizată pentru procesarea semnalelor furnizate de detector are tipic o impedanță de intrare de 100Ω , în cel de al doilea caz s-a făcut o adaptare specială pentru fiecare canal de intrare al cartelelor de electronică front-end utilizate în testele efectuate. Pentru un număr fixat de spații de separare și aceleași materiale utilizate la realizarea detectorului, parametrul care determină valoarea impedanței liniei de transmisie este lățimea stripului de citire a semnalului. Deoarece prototipurile dezvoltate de grupul nostru au, de asemenea, o structură de stripuri și pentru electrozii de înaltă tensiune, lățimea stripurilor de înaltă tensiune determină granularitatea detectorului (pentru o lungime dată a stripului).

Ceea ce se observă din cele prezentate mai sus este că nu este simplu să fie îndeplinite simultan cerințele de granularitate și adaptare de impedanță. De aceea, două prototipuri MSMGRPC cu cea mai mare granularitate a zonei centrale a subsistemului CBM-TOF, având impedanța liniei de transmisie de 100Ω adaptată la impedanța de intrare a canalului de electronică front-end au fost proiectate și construite în grupul nostru. Pentru estimarea impedanței liniei de transmisie s-a utilizat pachetul software APLAC [11] pentru circuite integrate de înaltă frecvență.

2 Calculul impedanței caracteristice a liniei de transmisie

2.1 Linia de transmisie

O linie de transmisie formată de doi conductori paraleli poate fi descrisă ca fiind formată din secțiuni infinit mici caracterizate de patru parametri: inductanța serie L' , rezistența serie R' , capacitatea paralel C' și conductanța paralel G' (Fig. 4 - stânga). Notatia ($'$) semnifică faptul că valoarea respectivă este corespunzătoare unității de lungime. O linie de

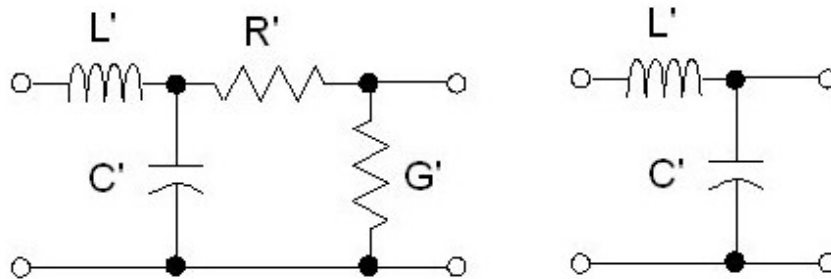


Figure 4: Schiță a unei linii de transmisie a semnalului: cu pierderi - stânga și fără pierderi - dreapta.

transmisie fără pierderi, așa cum a fost considerată în simulările prezentate în continuare, se reduce la schița din Fig. 4 - dreapta, formată numai dintr-o inductanță L' și o capacitate C' . Impedanța caracteristică Z_0 a unei linii de transmisie fără pierderi este dată de relația:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L'}{C'}} \quad (1)$$

Viteza de propagare a semnalului pe linia de transmisie este dată de relația:

$$v_p = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

unde $c = 2.9972 \times 10^8$ m/s este viteza luminii în vid, iar ϵ_r este permitivitatea efectivă a dielectricului dintre conductori.

Teoria propagării semnalelor electrice provenite de la un generator de tensiune cu rezistența internă R_g pe o linie de transmisie cu impedanța caracteristică Z_0 terminată pe o sarcină cu impedanța Z_L arată că atunci când linia este neadaptată, apare un semnal reflectat V_r de la sarcină către generator, care se compune cu semnalul de intrare V_i . Rezultă un semnal modificat ca formă și amplitudine, în funcție de amplitudinea și faza reflexiei. Se definește coeficientul de reflexie r ca raportul dintre tensiunea incidentă și tensiunea reflectată:

$$r = \frac{V_r}{V_i} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (3)$$

Se observă că pentru :

$$Z_L = Z_0 \quad (\text{circuit adaptat}) \quad \text{rezultă } r=0$$

$$Z_L \rightarrow \infty \quad (\text{circuit deschis}) \quad \text{rezultă } r=1$$

$$Z_L = 0 \quad (\text{circuit închis}) \quad \text{rezultă } r=-1$$

Pentru un circuit format dintr-o linie de transmisie fara pierderi de impedanta Z_0 terminata pe o sarcina $Z_L=Z_0$ alimentata de la un generator de tensiune V_g cu rezistenta $R_g= Z_0$ coeficientul de reflexie este zero, tensiunea de intrare este egala cu tensiunea de iesire si egala cu $1/2 V_g$.

2.2 Calculul impedanței caracteristice a liniei de transmisie a prototipului MSMGRPC

Geometria internă a prototipului MSMGRPC pentru care s-a estimat impedanța liniei de transmisie a semnalului a fost în detaliu prezentată în raportul de etapă al proiectului NUCLEU PN19060103 din data de 10.11.2019. Detectorul MSMGRPC este format din două secțiuni identice dispuse simetric față de electrodul central de preluare a semnalelor, anodul. Fiecare secțiune este formată din șase electrozi de sticlă rezistivi ($\rho = 1.5 \times 10^{10} \Omega \text{cm}$) [9], egal separați de 5 spații de detecție de $140 \mu\text{m}$ grosime. Cei șase electrozi de sticlă rezistivi sunt încadrați de fiecare parte de electrozii de înaltă tensiune și de cei de citire a semnalelor, separați între ei de straturi izolatoare electrice. Luând în considerație arhitectura prototipului dezvoltat și modul de funcționare al acestui tip de detectori, cu ajutorul simulărilor APLAC s-a făcut estimarea impedanței liniei de transmisie, așa cum se arată în continuare.

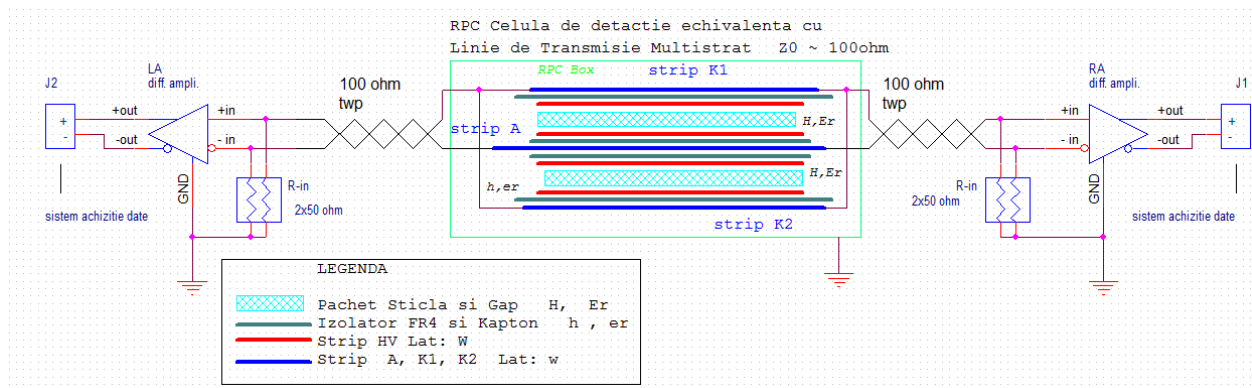


Figure 5: Schiță a unei linii de transmisie a semnalului în detectorul MSMGRPC.

Simulările realizate au la bază faptul că la apariția unei avalanșe de sarcină în spațiile de detecție dintre electrozii rezistivi, pe electrozii de înaltă tensiune (+HV și -HV) apare o variație de potențial, care se transmite capacitiv pe electrozii de semnal. Deoarece variația

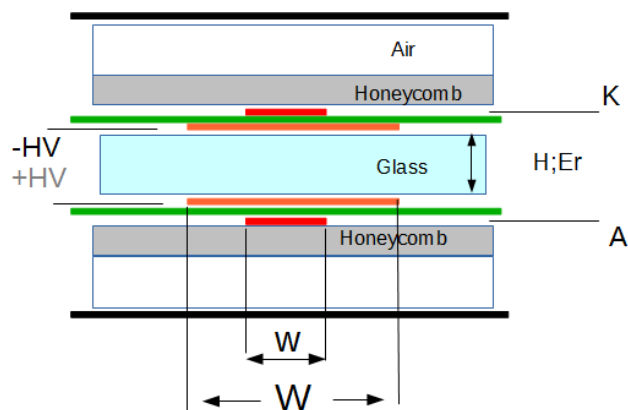


Figure 6: Structura echivalentă considerată în simulări.

indusă de potențial este în sensul scăderii valorii absolute a acestuia, rezultă un semnal de tensiune pe impedanțele de sarcină ale electrozilor de citire a semnalelor, negativ pentru anod (A) și respectiv pozitiv pentru catod (K).

Semnalele de tensiune se propaga în lungul stripurilor și sunt preluate la capetele stripurilor de amplificatoare rapide. Electrozii exteriori de semnal (catozii) sunt conectați în paralel

la capete pentru însumarea semnalului indus pe aceștia în cele două secțiuni ale detectorului. Din punct de vedere al propagării semnalului electric, o celulă de detecție formată din două stripuri K, patru stripuri HV și un strip central A, separate de izolatori și spații de aer este considerată o linie de transmisie cu structură multistrat având intrările/ieșirile la capetele stripurilor. Conexiunile între ieșirea de pe electrozii detectorului și amplificatoare se fac cu cabluri alcătuite din perechi de fire torsadate (twisted pair) având impedanța diferențială caracteristică de 100Ω . Impedanța de intrare diferențială a amplificatoarelor rapide conectate la capetele liniei de transmisie a semnalului este, de asemenea, de 100Ω . Pentru păstrarea integrității semnalului este necesar ca impedanța caracteristică a liniei de transmisie a detectorului (așa cum a fost definită mai sus) să fie egală cu impedanța de intrare a amplificatoarelor electronice și a cablurilor de conexiune (100Ω diferențial), caz în care coeficientul de reflexie a semnalului este nul. Schema echivalentă considerată în simulări este prezentată în Fig. 5.

În simulările APLAC fiecare secțiune a detectorului a fost asimilată cu o structură multistrat formată din straturi suprapuse (steclo-textolit FR4, material compozit nomex, sticlă rezistivă, kapton, aer), caracterizate de o anumită grosime și constantă dielectrică, mărginită de cele două stripuri de Cu ale electrozilor de citire (anod și catod), caracterizați de lățimea w și lungimea L . Deoarece structura formată din straturi de materiale diferite este neomogenă, pentru o secțiune a detectorului s-a calculat o grosime echivalentă (H) și o constantă dielectrică echivalentă (E_r) care au fost considerate ca parametri de intrare în simulări. Din punct de vedere electric impedanțele egale ale celor două secțiuni sunt conectate în paralel, ele definind astfel impedanța liniei de transmisie a semnalului cu o impedanță echivalentă cu jumătate din impedanța obținută pentru o singură secțiune. Deoarece grosimile și constantele dielectrice ale materialelor folosite nu pot fi variate, singurul parametru ce poate fi ajustat în simulări este lățimea stripului de semnal. Lățimea stripului de înaltă tensiune (W) este cea care stă la baza granularității detectorului, și a fost aleasă astfel încât să se folosească la maxim lungimea disponibilă a electrozilor rezistivi, distribuind pe această lungime 32 de stripuri cu un pas al stripurilor de 9.02 mm (aceiași atât pentru electrozii de înaltă tensiune cât și pentru cei de semnal). În alegerea valorii de $W=7.36 \text{ mm}$ a lățimii stripurilor de înaltă tensiune, s-a luat în considerare estimarea numărului de stripuri cu semnal într-un eveniment și lungimea stripurilor, astfel încât să fie satisfăcut gradul de ocupare a ariei active al experimentului, menționat în secțiunea 1.

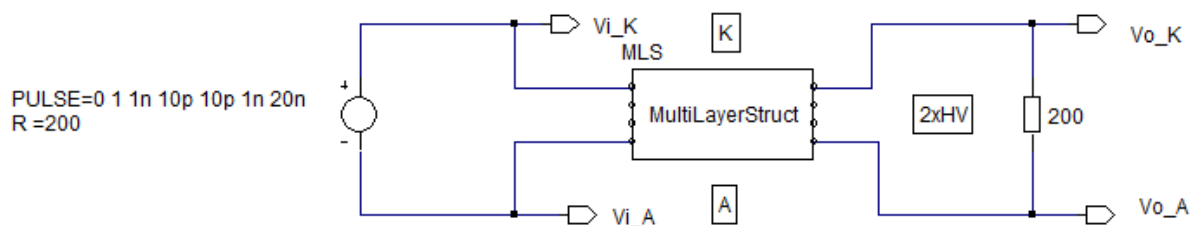


Figure 7: Schema de simulare.

Schema echivalentă considerată în simulări, pentru o singură secțiune a detectorului, este prezentată în figura 7. Linia de transmisie este analizată prin simularea aplicării la unul din capetele acesteia a unor impulsuri de tensiune electrică cu o formă ce reproduce pe cea a impulsurilor electrice furnizate de detector. Un semnal diferențial cu caracteristicile temporale 10 ps timp de creștere, 1 ns durată și 10 ps timp de cădere a fost injectat de un generator cu rezistența internă R la intrarea liniei de transmisie (V_{i-K} și V_{i-A}), așa cum se arată în Fig. 7. La capătul opus a fost conectată diferențial o rezistență de sarcină

cu impedanța Z_L . Au fost înregistrate semnalele de ieșire (V_{o_K} și V_{o_A}) pentru diferite valori ale lățimii stripului de citire a semnalelor. Dacă linia de transmisie a semnalului este adaptată la impedanțele de intrare și de ieșire de la cele două capete, adică $R=Z_0=Z_L$, nu se observă pierderi de semnal la ieșirea liniei de transmisie.

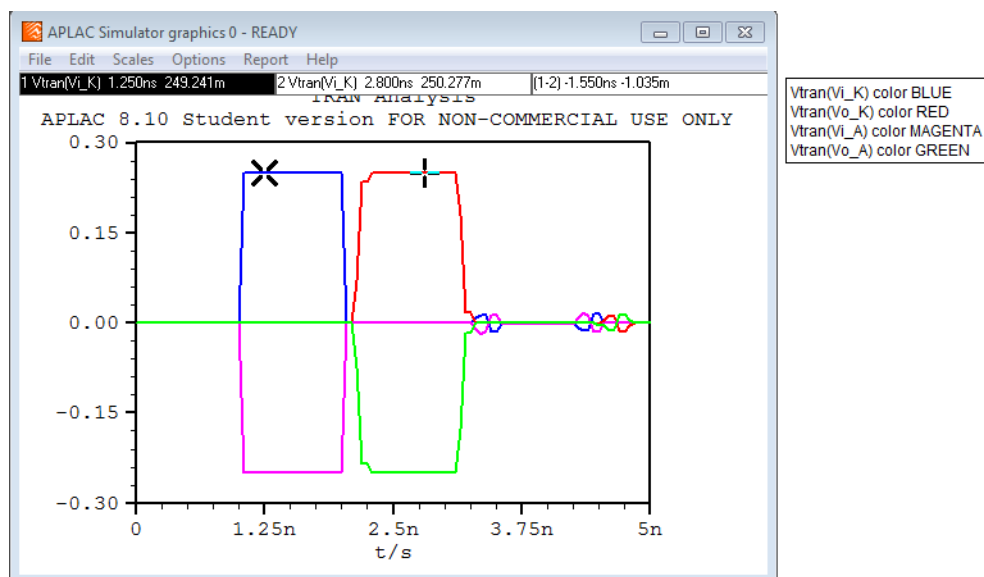


Figure 8: Semnalele simulate înregistrate la intrarea intrarea (magenta) și ieșirea (verde) stripului de anod și la intrarea (albastru) și ieșirea (roșu) stripului de catod.

Semnalele simulate înregistrate la intrarea (magenta) și ieșirea (verde) stripului de anod și la intrarea (albastru) și ieșirea (roșu) stripului de catod pentru o secțiune a structurii de detecție sunt prezentate în Fig. 8. Ele sunt injectate de un generator de puls cu o rezistență internă de 200Ω și înregistrate la ieșire pe o rezistență de sarcină având o valoare identică. Se observă că semnalele de ieșire reproduc foarte bine pe cele de intrare, fără nici o distorsiune a formei sau amplitudinii. Această adaptare foarte bună a fost obținută pentru o valoarea de $w=1.27 \text{ mm}$ a lățimii stripului de citire a semnalului.

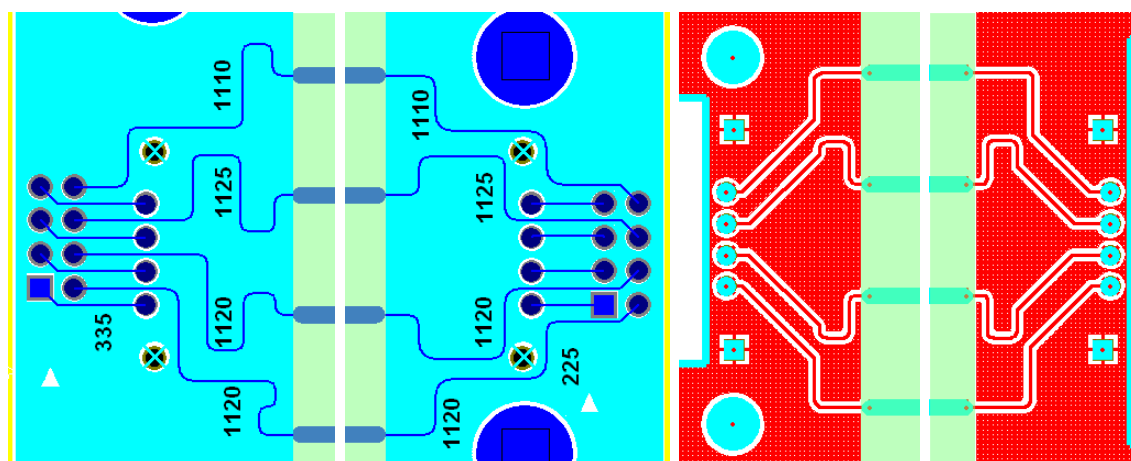


Figure 9: Trasele de transmitere a semnalelor de la capetele stripurilor ce compun linia de transmisie a semnalului: albastru (primele două schițe) - cele două capete ale stripului anodic, roșu (ultimele două schițe) - cele două capete ale stripului catodic.

Tinând cont de faptul că cele două secțiuni ale detectorului sunt cuplate în paralel, impedanța caracteristică a liniei diferențiale de transmisie a semnalului detectorului este

de 100Ω . Deoarece impedanța diferențială a liniei de transmisie are 100Ω , impedanța față de masă pentru fiecare tip de electrod de semnal, respectiv anod și catod, este de 50Ω . Pentru a păstra integritatea semnalului, trasele de transmitere a semnalelor de la capetele stripurilor ce compun linia de transmisie, trebuie să aibă o impedanță față de masă de 50Ω de la stripul anodic (Fig. 9, primele două figuri din stânga) la conectorii montați pe marginile plăcii anodice și respectiv, pentru fiecare strip catodic, (Fig. 9, cele două figuri din dreapta), o impedanță de 100Ω , (astfel încât, prin conectarea în paralel a celor doi catozi pentru însumarea semnalului celor două secțiuni, impedanța echivalentă rezultată să fie de 50Ω). O imagine de ansamblu a electrodului central de citire a semnalelor și a traselor de

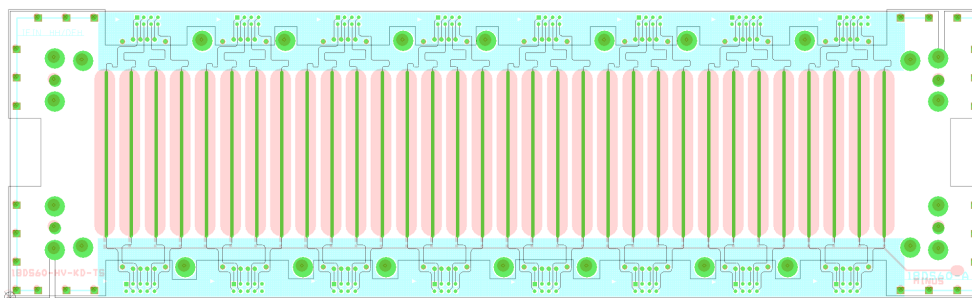


Figure 10: Vedere frontală a structurii detectorului: imagine de ansamblu a electrodului central de citire a semnalelor și a traselor de transmitere a semnalului către conectori.

transmitere a semnalului către conectori se poate vedea în Fig. 10, care prezintă o vedere frontală a detectorului. Se poate remarca, de asemenea, alinierea foarte bună care este necesară între electrozii de înaltă tensiune și cei de citire a semnalelor.

2.3 Asamblarea detectorului

Figura 11 prezintă cei doi electrozi de citire a semnalelor, anod (stânga) și catod (dreapta) manufacturați de către o companie care folosește tehnologia circuitelor integrate, în acord cu simulările APLAC prezentate în secțiunea 2.2 și schițele de execuție ale acestor componente prezentate detaliat în raportul de etapă nr.3 al proiectului NUCLEU PN19060103, din data de 10.11.2019.

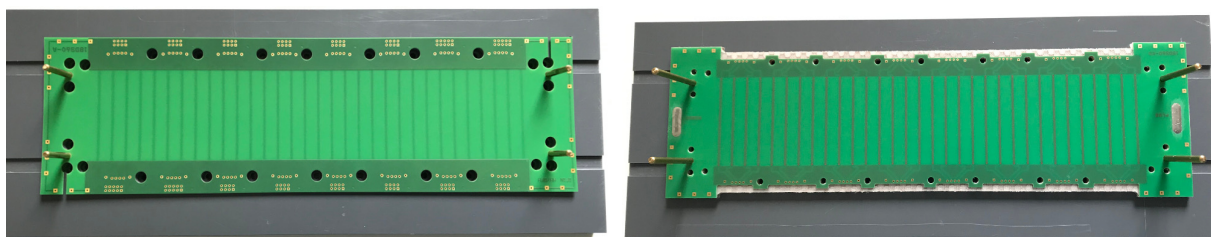


Figure 11: Cei doi electrozi de citire a semnalelor, anod (stânga) și catod (dreapta) manufacturați de către o companie care folosește tehnologia circuitelor integrate.

Asamblarea detectorului s-a făcut ținând seama de succesiunea componentelor mecanice ce îl compun (a se vedea Fig.2 din raportul de etapă nr.3 al proiectului PN19060103). Pentru realizarea spațiilor de separare dintre electrozi s-a folosit fir de nylon de $140 \mu\text{m}$ diametru. Fig. 12 - stânga prezintă operația de întindere a distanțorilor pe suprafața electrozilor rezistivi. Distanțorii se întind transversal pe lungimea electrozilor rezistivi astfel încât să se asigure un schimb cât mai rapid al gazului în spațiile de detecție.

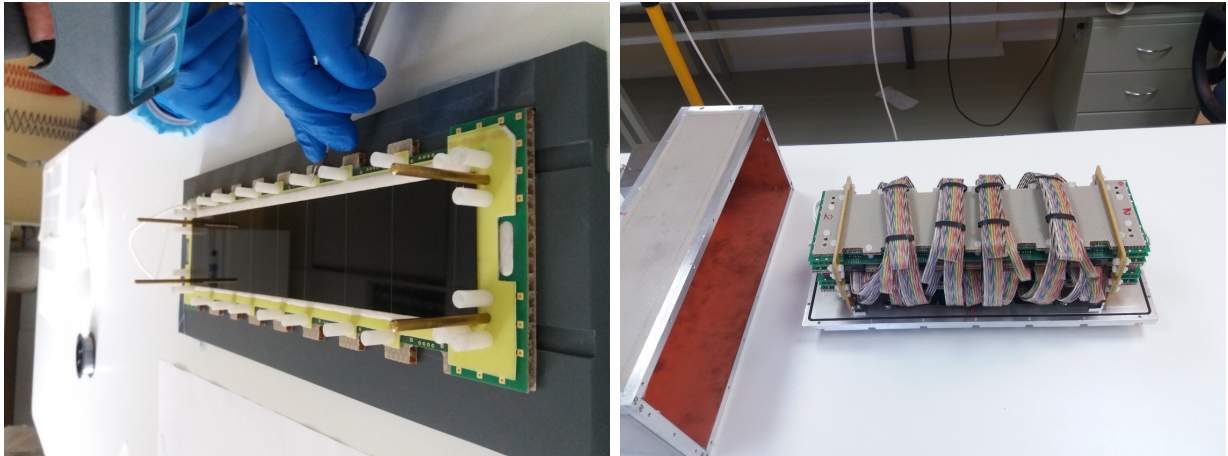


Figure 12: Operația de întindere a distanțorilor pe suprafața electrozilor rezistivi (stânga). Cele două prototipuri identice montate pe placa de bază care închide cutia etanșă la gaz.

Cele două prototipuri identice asamblate cu ajutorul suporturilor mecanice de susținere fixați pe placa de spate a cutiei etanșe la gaz sunt prezentați în Fig. 12 - dreapta. În partea stângă a fotografiei se observă incinta în care detectorii vor fi închiși etanș astfel încât să se asigure puritatea necesară a gazului pentru a putea opera detectorii.

3 Proiectarea zonei interne a subdetectorului de timp de zbor al CBM bazat pe detaliile constructive ale acestora

Subdetectorul CBM-TOF este organizat într-o structură modulară în care unitățile de bază care îl compun se numesc module. Modulele sunt unități complexe alcătuite din incinte/cutii etanșe la gaz care conțin detectorii MSMGRPC, conectorii de semnal, conectorii de înaltă tensiune și alimentare cu gaz (care asigură parametrii de operare necesari) și electronica front-end asociată.

Structură modulară a CBM-TOF acoperă o suprafață de aproximativ 120 m^2 , corespunzătoare unei deschideri a unghiului polar cuprinsă între 2.5° și 25° , pentru o distanță față de țintă de 10 m. Fluxul particulelor incidente pe suprafața menționată, poate atinge valori de până până la 30 kHz/cm^2 pentru cel mai mic unghi polar și scade cu aproape două ordine de mărime până la unghiul polar cel mai mare (Fig. 2 - stânga).

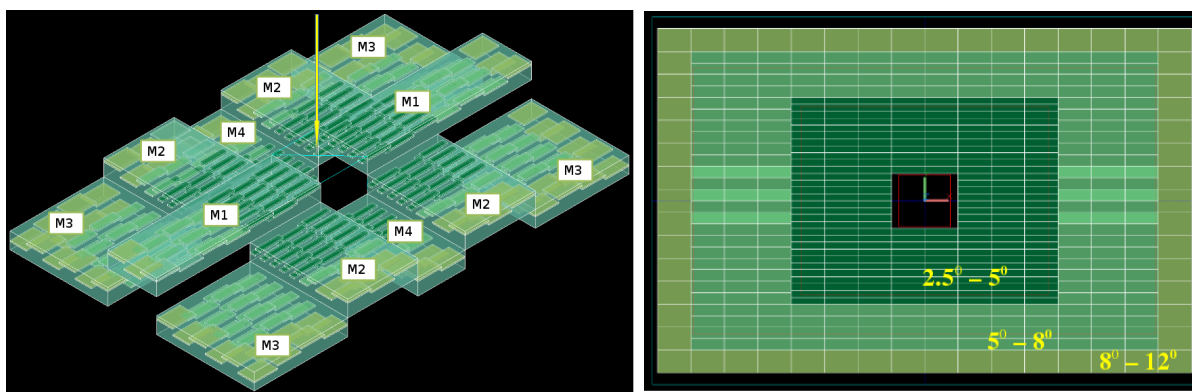


Figure 13: Configurarea modulară a zonei interne alcătuită din 12 module de patru tipuri (M1, M2, M3, M4), dispuse intercalat spațial - stânga. Domeniile de distribuție unghiulară spațială a celor trei tipuri de detectori MSMGRPC ai zonei interne.

Datorită acestor variații semnificative, subsistemul CBM-TOF a fost împărțit în două părți: zona interioară (inner wall) acoperind un unghi polar între 2.5° și $\sim 12^\circ$ (o arie de $\sim 14 \text{ m}^2$ centrată în jurul axei fascicului), corespunzătoare unui domeniu de fluxuri de particule între 30 kHz/cm^2 și 5 kHz/cm^2 , și zona exterioară care acoperă restul suprafeței menționate. Așa cum este menționat în secțiunea 1, densitatea hiturilor dintr-un eveniment, prezentată în Fig. 2 - dreapta, împreună cu cerința de a avea o ocupare a ariei active mai mică de 5%, definesc granularitatea detectorului. Pentru o valoare dată a pasului stripurilor de citire a semnalelor, aceasta creștere este satisfăcută prin creșterea lungimii stripului.

Prototipurile dezvoltate de grupul nostru din DFH/IFIN-HH [6, 8, 12] au demonstrat că satisfac cerințele deosebit de critice impuse pentru zona internă a subdetectorului de timp de zbor CBM-TOF și de aceea, modulele destinate acestei zone au fost proiectate și vor fi realizate bazat pe arhitectura acestor prototipuri, așa cum se va prezenta în continuare.

Zona internă a peretelui CBM-TOF este acoperită de un număr de 12 module de patru tipuri, (M1, M2, M3, M4) distribuite intercalat spațial, astfel încât să se asigure o arie activă continuă, așa cum este prezentat în Fig. 13. Fiecare modul conține până la trei tipuri de detectori MSMGRPC, cu granularități diferite în funcție de poziția lor, respectiv unghiul polar pe care îl acoperă.

Toate cele trei tipuri de detectori MSMGRPC au aceeași arhitectură internă și același pitch al stripurilor, ceea ce le diferențiază fiind numai lungimea stripurilor pentru fiecare tip în parte, specific unui anumit domeniu de unghi solid: 60 mm (MRPC1a) pentru cei situați

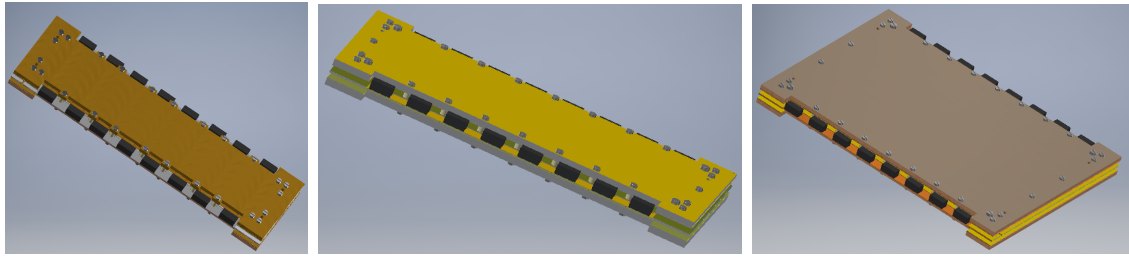


Figure 14: Cele trei tipuri de detectori MSMGRPC din componența modulelor sunt diferențiați numai prin lungimea stripurilor: 60 mm (MRPC1a) - stânga, 100 mm (MRPC1b) - centru și 200 mm (MRPC1c) - dreapta.

în vecinătatea axei fascicului până la un unghi polar de $\sim 5^{\circ}$ (Fig. 14 - stânga), 100 mm (MRPC1b) pentru cei situați între $\sim 5^{\circ}$ - $\sim 8^{\circ}$ (Fig. 14 - mijloc) și 200 mm (MRPC1c) pentru cei situați la un unghi polar cuprins între $\sim 8^{\circ}$ - $\sim 12^{\circ}$ (Fig. 14 - dreapta).

Principiile de realizare și asamblare a unui modul vor fi exemplificate în continuare pentru modulul M1, cel mai complex modul dintre cele 4 tipuri.

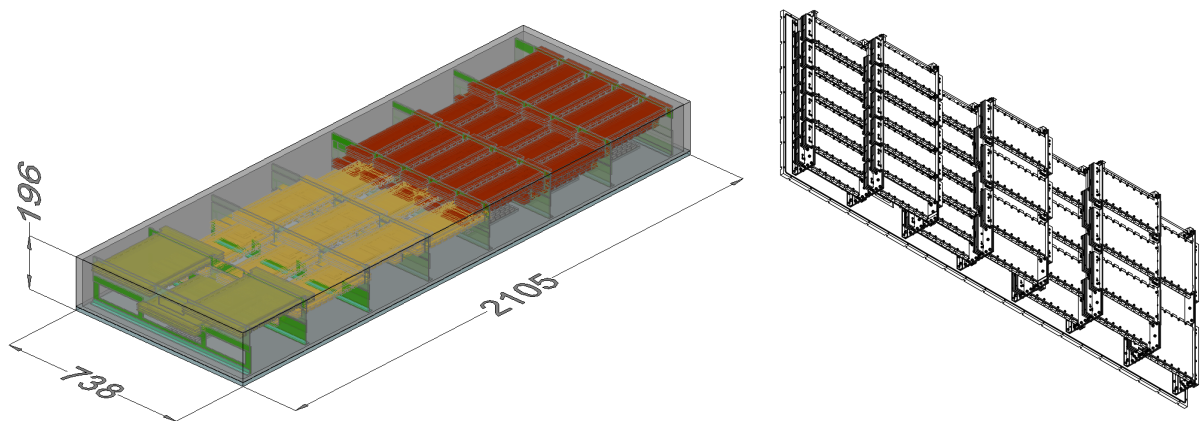


Figure 15: Configurația modulului M1.

Modulul M1 are dimensiunea de 2105 mm x 738 mm x 196 mm (imagine de ansamblu 3D, Fig. 15) și are în componența sa toate cele trei tipuri de detectori. Acesta conține în

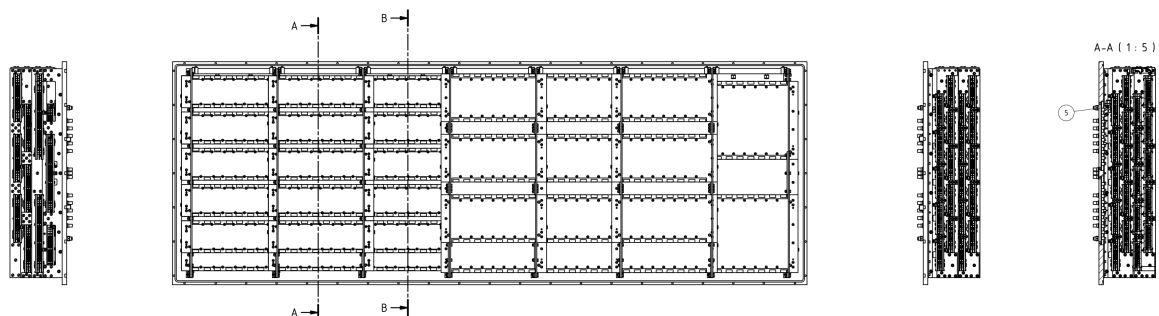


Figure 16: Proiecții frontală și laterale ale configurației modulului M1.

total 51 de detectori MSMGRPC ce urmează a fi montați în 7 rânduri pe 4 niveluri, așa cum se poate urmări în Fig. 15 - dreapta: primele trei rânduri din zona unghiurilor polare mici (vecinătatea axei fascicului) conțin 30 de detectori de tipul MRPC1a, următoarele trei

conțin 18 detectori de tip MRPC1b, iar ultimul rând contine trei detectori de tip MRPC1c. Modulul M1 (ca și modulul M2) are numărul cel mai mare de detectori de granularitate mare (30 MRPC1a), ceea ce face foarte dificil montajul lor mecanic în spațiul incintei etanșe la gaz. Semnalele livrate de toți acești detectori sunt procesate de un număr de 3264 de canale de electronică. Detectorii ce compun modulul M1 (ca și cei ai celorlalte module), au

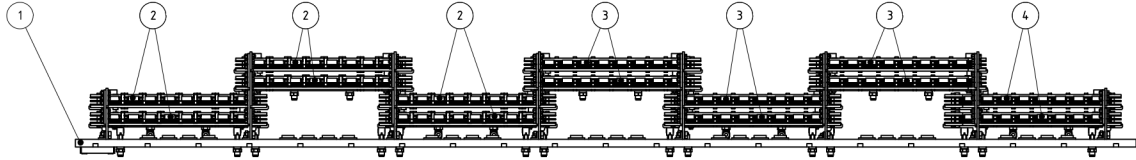


Figure 17: Proiecție laterală a configurației modulului M1.

suprapuneri spațiale parțiale care asigură o arie activă continuă, fără zone moarte din punct de vedere al detecției particulelor emergente din țintă, așa cum se poate observa în proiecțiile prezentate în Fig. 16 și Fig. 17. În proiecția din figura 17 numărul 1 indică placa de bază a modulului, numărul 2 - detectorii MRPC1a, numărul 3 - detectorii MRPC1b iar numărul 4 - detectorii MRPC1c. Detectorii MSMGRPC sunt susținuți în modul de suporturi din stezalit

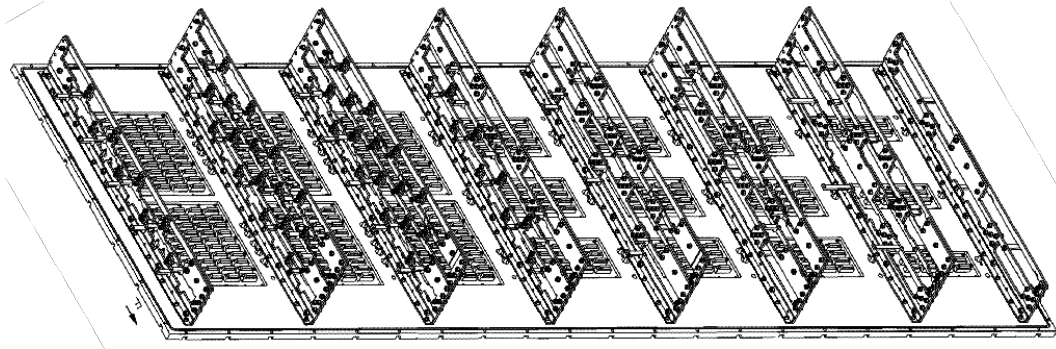


Figure 18: Suportii de montaj ai detectorilor MSMGRPC în interiorul modulului M1 și poziția plăcilor cu conectori.

care asigură o montare mecanică precisă a acestora, astfel încât să se asigure continuitatea ariei active. Suportii sunt fixați în șuruburi pe placa de bază din Al, așa cum este ilustrat în Fig. 18. Se observă că șuruburile de fixare a suporturilor sunt poziționate între rândurile de plăci cu conectori lipite pe placa de bază. Aceste plăci cu conectori asigură transferul semnalelor de la detectorii din interiorul incintei etanșe la gaz către electronica front-end conectată pe fața exterioară a plăcii de bază. Poziția suporturilor și cotele de montaj au fost stabilite cu foarte mare precizie, așa cum se poate vedea în Fig. 19, ținând cont că zonele de suprapunere dintre detectori au fost minimizate, evitând astfel informația redundantă și minimizând costurile canalelor de electronică de procesare a semnalelor.

Schița de execuție a unui astfel de suport prezentată în Fig. 20 arată complexitatea mecanică a acestuia, necesară pentru a fixa cu precizie detectorii. Cifrele de la 1 la 5 indică poziția de montaj a diferitelor plăci de stezalit utilizate pentru montarea detectorilor MSMGRPC pe cele 4 niveluri care asigură acoperirea uniformă a ariei active. Cifrele de la 6 la 12 indică poziția diferitelor șuruburi și piulițe de montaj pentru a construi ansamblul suport.

Placa de bază pe care sunt montați suportii este din Al de 12 mm grosime. În grosimea sa au fost realizate atât găurile de înfiletare a șuruburilor pentru montarea suporturilor mecanici

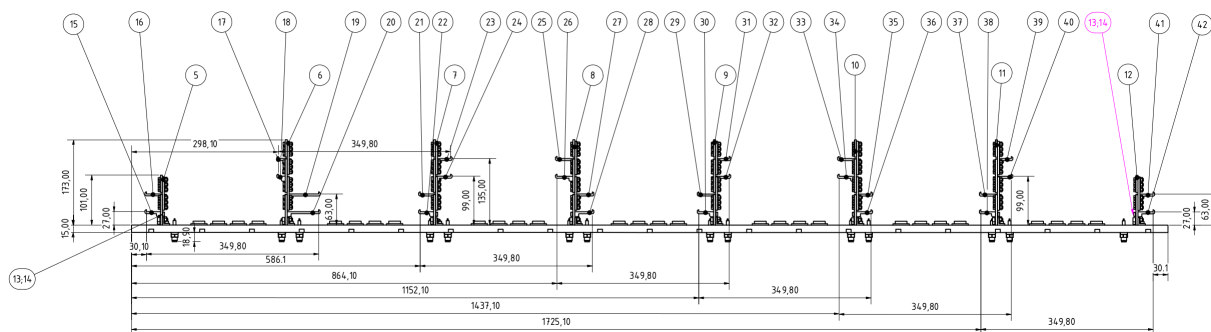


Figure 19: Poziția și cotele de montaj pentru suportii modulului M1.

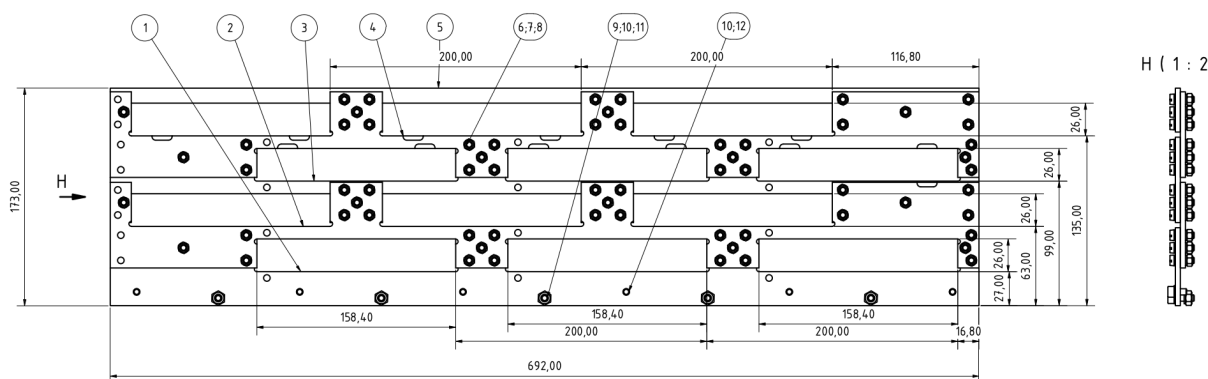


Figure 20: Schiță pentru suportii modulului M1.

cât și decupările rectangulare în care sunt lipite etanș plăci cu conectori de semnal, realizate din FR4 în tehnologia circuitelor integrate (a se vedea descrierea proiectării și realizării lor în raportul de etapă din 10.11.2019). Pe ambele fețe ale acestor plăci sunt cositoriți conectori pentru transportul semnalelor din interiorul către exteriorul incintei etanșe la gaz. Găurile pentru montarea etanșă a conectorilor de gaz și de înaltă tensiune sunt realizate tot în placa de bază, în spațiul existent între decupările rectangulare. Fiecare detector are nevoie de o tensiune de polarizare pozitivă și una negativă, iar densitatea fișelor de înaltă tensiune este mai mare în zona detectorilor de tip MRPC1a (de granularitate mare) și scade către cei de tip MRPC1c (Fig. 21). Un alt tip de găuri care trebuie executate în placa de bază sunt cele de prindere a suporturilor exteriori pentru susținerea electronicii front-end. Spre deosebire de celelalte, acestea sunt executate dinspre fața exterioară și nu strapung materialul până în interior. Suportii pentru susținerea cartelelor de electronică sunt de trei tipuri, corespunzătoare celor trei tipuri de MSMGRPC și respectiv, celor trei tipuri de plăci cu densități diferite de conectori, indicați în Fig. 21 de numerele 20, 21 și 22.

Datorită granularității care descrește gradual cu creșterea unghiului polar, și densitatea de canale de electronică necesare procesării semnalelor se reduce. Acest lucru se reflectă și în proiectarea suporturilor pentru susținerea cartelelor electronice, așa cum se poate observa în figura 22 care prezintă în partea stângă suportul pentru zona detectorilor MRPC1a, iar în partea dreapta pe cel pentru zona detectorilor MRPC1b. Numerele 17, 18 și 19 indică în desenul de execuție detalii precum poziția șurubului și a șaibe de prindere a unuia din suportii. De jur împrejur pe marginile plăcii de bază, așa cum se observă în Fig. 21 sunt prevăzute găuri pentru șuruburile de montaj a plăcii de bază pe cutia modulului. În zona colțurilor modulului și zona mediană sunt prevăzute, de asemenea, găuri pentru șuruburile necesare sistemului de prindere al modulului pe suportul mecanic de montaj în care sunt

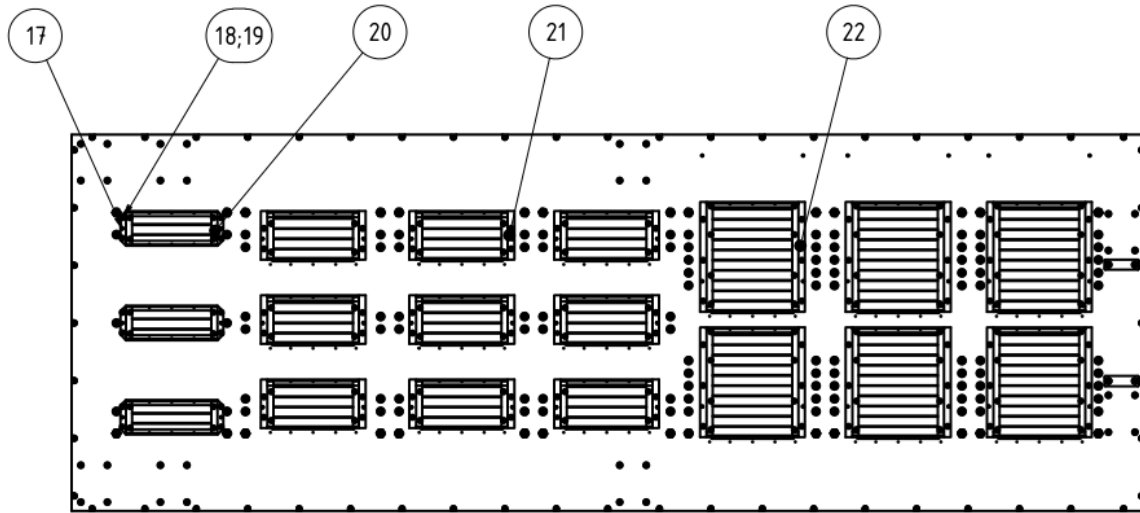


Figure 21: Poziția suporturilor mecanice de susținere a electronicii front-end; distribuția găurilor de înfiletare a șuruburilor pentru montarea suporturilor mecanice, a conectorilor de înaltă tensiune și de gaz, de etanșare și de prindere a modulului în suportul mecanic de susținere a celor 12 module.

asamblate intercalat toate cele 12 module.

Un element important în funcționarea performantă a unui detector MSMGRPC îl reprezintă asigurarea unei circulații de gaz cât mai bune în spațiile de detecție de $140 \mu\text{m}$. Având în vedere că detectorii din zona unghiurilor polare mici sunt supuși unor fluxuri mari de particule (a se vedea secțiunea 1), este necesar să se asigure o curgere și o împrăștiere a gazului în spațiile de detecție cât mai rapidă posibil. Pentru a optimiza curgerea de gaz, s-au adoptat două soluții tehnologice complementare:

- În proiectarea detectorului MSMGRPC a fost implementată o soluție tehnologică de distribuție a distanțorilor pe suprafața electrozilor rezistivi care este menționată în secțiunea 2.3. Această soluție permite înmulțirea numărului de schimburi de volum de gaz în spațiile de detecție datorită parcursului mai scurt prin spațiul de detecție.
- La aceasta se adaugă soluția implementată în proiectarea modulului și anume realizarea unui deflector de gaz care să asigure orientarea fluxului de gaz către spațiile de detecție dintre electrozii rezistivi, evitând curgerea acestuia preponderent printre spațiile dintre detectori, (o cale de curgere de mai mică "rezistență"). Schița acestui deflector este prezentată în Fig. 23 împreună cu un detaliu din desenul tehnic de execuție.

O schiță 3D a acestui deflector este prezentată în Fig. 24 - stânga, iar modul cum urmează a fi implementat în modul este prezentată în Fig. 24 - dreapta. În schița prezentată în Fig. 24 - stânga se observă cum jetul de gaz de la ieșirea conectorului este împărțit în două părți prin poziționarea primei suprafețe curbe pe jumătatea conectorului, aceasta dirijând aproximativ jumătate din jetul de gaz către primul nivel de detectori (orientat de-a lungul modulului). Cea de a doua suprafață curbă poziționată în spatele conectorului, are rolul de a dirija cealaltă jumătate a jetului către cel de al doilea nivel de detectori, situat deasupra primului. Fiecare două astfel de rânduri situate pe două niveluri succesive sunt deservite de un astfel de deflector, așa cum se arată în Fig. 24 - dreapta.

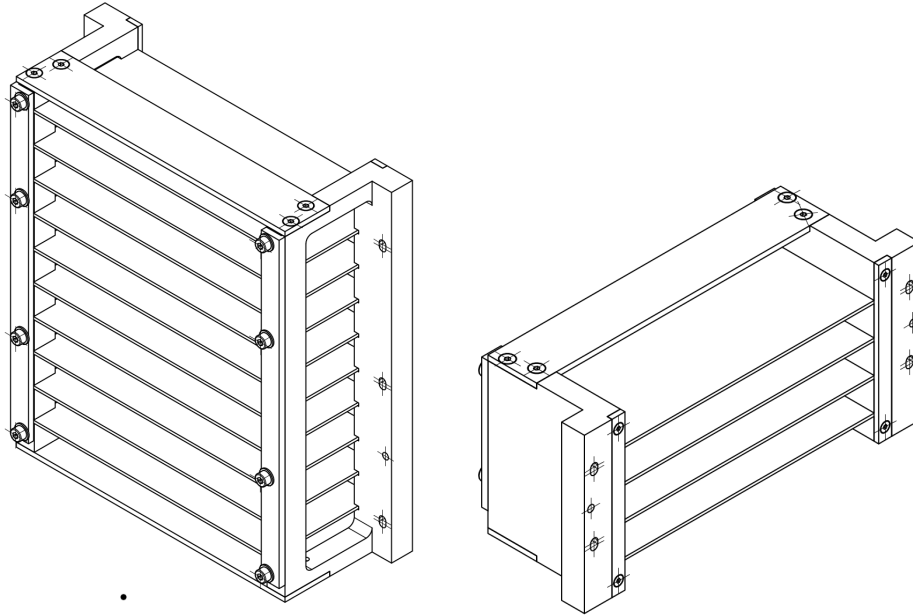


Figure 22: Suportii mecanici de susținere a electronicii front-end: pentru zona detectorilor MRPC1a - stânga, pentru zona detectorilor MRPC1b - dreapta.

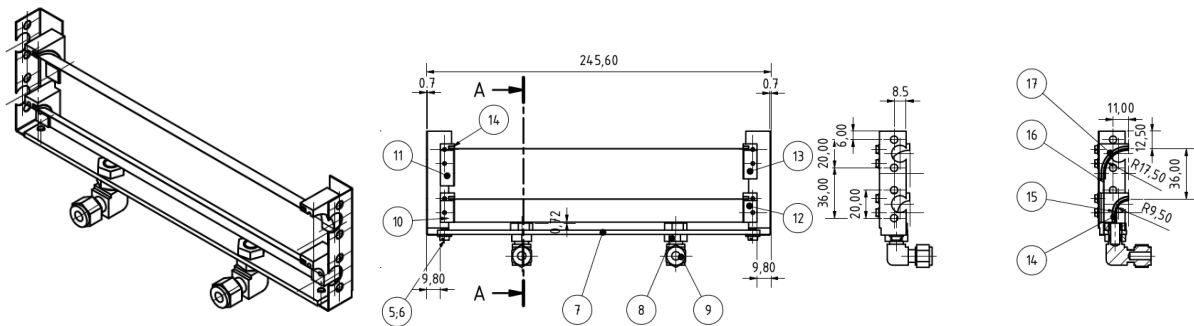


Figure 23: Detalii de execuție ale deflectorului de gaz.

Asamblarea celorlalte module este bazată pe aceleași principii și tipuri de componente ca și cele menționate mai sus. Modulele sunt asamblate împreună pe un suport mecanic ca cel prezentat în Fig. 25. Asamblarea modulelor în suportul mecanic ține seama de principiul acoperirii continue a ariei active a întregii zone interne, menționat anterior. Pentru acest motiv, modulele sunt dispuse pe 4 nivele, așa cum se observă și în schița prezentată în Fig. 25.

Deoarece fasciculul este deflectat de câmpul magnetic a magnetului dipolar al CBM, în suportul mecanic de susținere al unuia din modulele M1 s-a realizat un dispozitiv mecanic care permite translația acestuia pe orizontală cu aproximativ 20 cm, pentru a adapta poziția sa la diferențele unghiuri de deflexie a fasciculului pentru diferite energii. Suportul mecanic de susținere a modulelor urmează a fi realizat prin asamblarea de profile metalice prefabricate.

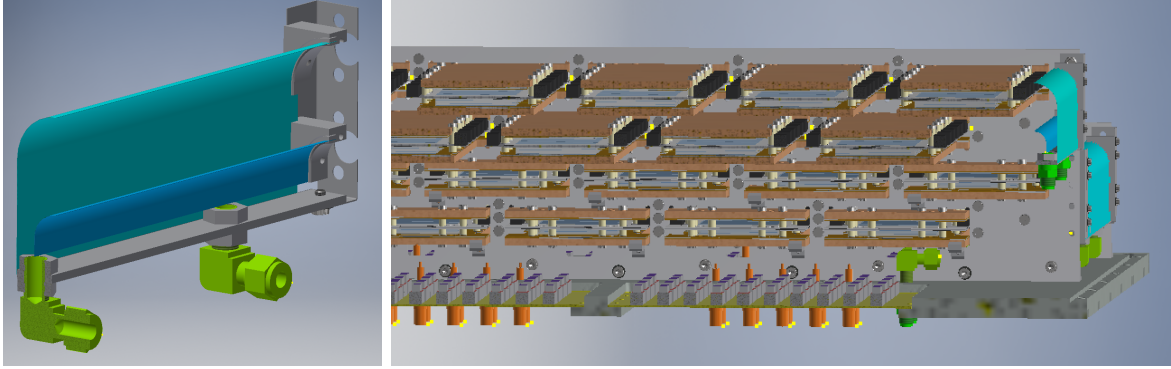


Figure 24: Schiță 3D a deflectorului de gaz - stânga. Imagine a implementării acestuia în modul - dreapta.

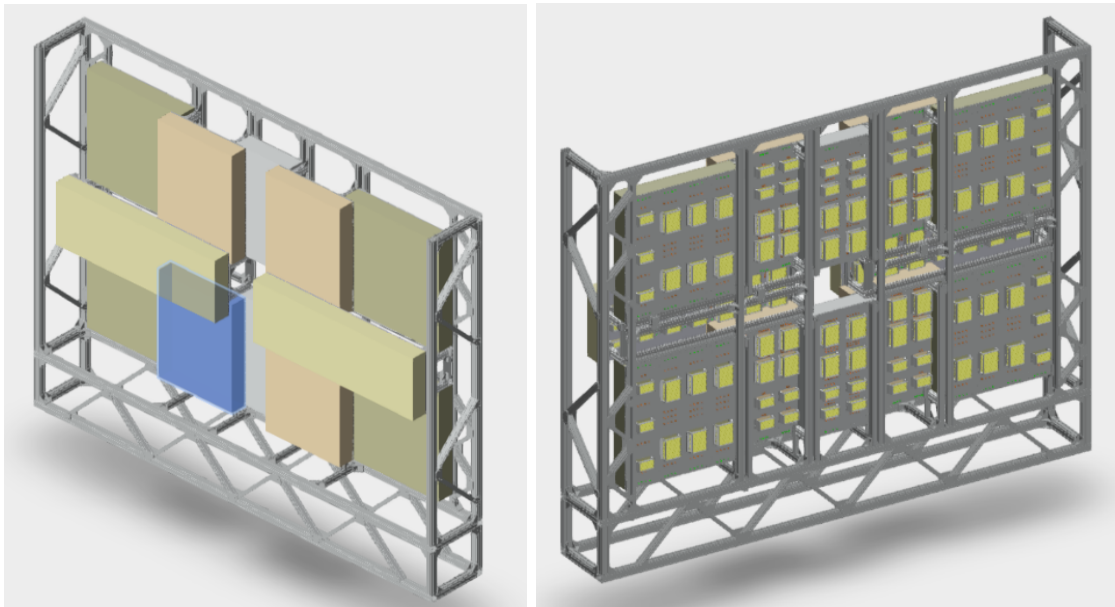


Figure 25: Schiță 3D a modulelor zonei interne a subdetectorului CBM-TOF asamblate în suportul mecanic de susținere: vedere frontală - stânga, vedere din spate - dreapta.

4 Concluzii

- Simulările APLAC au permis obținerea valorii lățimii stripului de citire a semnalului pentru care se realizează adaptarea impedanței liniei de transmisie a semnalului la impedanța de intrare a electronicii front-end de procesare a semnalului, pentru prototipul cu granularitatea cea mai ridicată a subdetectorului de timp de zbor al experimentului CBM de la FAIR. Electrozii de citire a semnalului și trasele care transmit semnalul la conectori, au fost proiectați ținând seama de aceste simulări. Pe baza lor s-au realizat desenele de execuție pentru realizarea acestor componente în companii dotate cu tehnologia circuitelor integrate. Componentele mecanice și electronice a două prototipuri au fost proiectate, realizate și folosite la asamblarea acestora. Ele urmează a fi testate în laborator cu raze cosmice și apoi în fascicul la aranjamentul experimental dedicat testelor în fascicul, mCBM de la SIS18, GSI Darmstadt.
- Proiectarea zonei unghiurilor polare mici s-a făcut pe baza detaliilor constructive și rezultatelor obținute în testele în fascicul pentru prototipurile raportate în etapele 1 din

30.07.2019 și 2 și 3 din 10.11.2019 ale proiectului NUCLEU PN19060103. Activitatea complexă de proiectare a unui modul, (modulul M1) a fost prezentată în detaliu.

- Activitatea raportată stă la baza comunicărilor la conferințe internaționale, enumerate mai jos:
 - M. Petriș et al., "Toward the construction of the inner zone for the CBM-TOF wal" XXIII International School on Nuclear Physics, Neutron Physics and Applications, September 22 - 28, 2019 Varna, Bulgaria, invited talk.
<http://www.inrne.bas.bg/international-school-varna>
 - M. Petriș et al., "Status of the activities for the inner zone of the CBM-TOF wall" 34th CBM Collaboration Meeting, 29 September - 3 October 2019, Bose Institute, Kolkata, India

References

- [1] <https://fair-center.eu/for-users/experiments/cbm.html>
- [2] <https://www.gsi.de/en/researchaccelerators/fair/research.htm>
- [3] CBM-TOF Collaboration, CBM-TOF TDR, October 2014
<https://repository.gsi.de/record/109024>.
- [4] E. Cerron Zeballos et al., Nucl. Instrum. Meth. A, 374 (1996), 132
- [5] M.Petrovici et al., Nucl. Instrum. Meth. A, 487 (2002), 337.
- [6] M.Petrovici et al., JINST 7 (2012) P11003
- [7] M. Petriș et al., J. Phys. Conf. Ser. 724 (2016), 012037.
- [8] M. Petriș et al. , JINST 11 (2016) C09009.
- [9] J. Wang et al., Nucl. Instrum. Meth. A, 713 (2013), 40.
- [10] D. Bartoș et al., Rom. J. Phys. 63 (2018), 901
- [11] <http://www.rfglobalnet.com/doc/aplac-800-student-version-0001>.
- [12] M. Petriș et al., Nucl. Instrum. Meth. A 920(2019), 100

Responsabil Proiect,

Prof. Dr. Mihai Petrovici