

Contractor: Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare  
pentru Fizică Tehnică - IFT Iași  
Cod fiscal: RO 5640892

## RAPORT ANUAL DE ACTIVITATE privind desfășurarea programului nucleu

*(Magnetism, materiale magnetice și aplicații, acronim - MAGNA2022, cod: PN 19 28)  
anul 2021*

Durata programului: 4 ani

Data începerii: Februarie 2019

Data finalizării: 2022

### 1. Scopul programului:

Scopul programului-nucleu MAGNA2022 este dezvoltarea în cadrul INCDFT-IFT Iași a unor noi activități de cercetare fundamentală și aplicativă de vârf în domeniul magnetismului, materialelor magnetice și aplicațiilor acestora, competitive la nivel internațional. Programul propus va permite dezvoltarea de cercetări avansate în domeniul materialelor magnetice nanocompozite și nanodimensionate, cu caracteristici superioare, pentru utilizarea acestora în diferite aplicații în inginerie și medicină. Se vor evidenția și dezvolta noi procese fizice de bază în materialele magnetice, în domeniul nanotehnologiilor și a controlului nedistructiv, în realizarea de microsenzori și sisteme inteligente de senzori, micro- și nanodispozitive.

Programul-nucleu MAGNA2022 conține 2 proiecte, ale celor 2 departamente/laboratoare de cercetare existente la INCDFT-IFT Iași, care răspund unui obiectiv general comun, și anume: Fizica Proceselor și Materialelor Magnetice. Aceste proiecte dezvoltă direcții de cercetare de perspectivă în domeniul magnetismului, materialelor magnetice și aplicațiilor acestora în realizarea de senzori și sisteme de senzori pentru medicină, microelectronică, IT, telecomunicații, securitate, industria auto sau aeronautică. Cercetările propuse vor conduce la implementarea unor noi tehnici de caracterizare a nanomaterialelor și materialelor nanostructurate, la dezvoltarea de noi nanotehnologii aplicabile nu numai materialelor magnetice dar și altor tipuri de materiale, fapt care deschide o nouă arie de activități multi- și interdisciplinare cu importante colaborări în diferite domenii ale științei și tehnicii. Rezultatele obținute din derularea activităților de cercetare din cadrul acestui program vor permite identificarea și abordarea unor noi direcții de cercetare în vederea aplicării cu propuneri de proiecte noi în programul PN III și viitorul program național de CDI, în programele ORIZONT 2020 și HORIZON EUROPE ale Uniunii Europene, în alte programe internaționale.

### 2. Modul de derulare al programului:

#### 2.1. Descrierea activităților:

Activitățile de cercetare științifică dezvoltate în anul 2021 în **Programul Nucleu MAGNA2022 - cod PN 19 28, Obiectiv 1 - Fizica Proceselor și Materialelor Magnetice**, au fost derulate în cadrul a **2 proiecte**, și anume: proiectul **PN 19 28 01 01** care a cuprins **7 faze de execuție** și proiectul **PN 19 28 01 02** care a cuprins **2 faze de execuție**. Tematicile fazelor de execuție derulate în anul 2021 au constat din activități de cercetare independente. Alocarea sumelor pe cele 2 proiecte componente s-a făcut în funcție de quantumul veniturilor obținute de fiecare departament/laborator de cercetare în anul precedent, o procedură în vigoare la INCDFT-IFT Iași de la începutul derulării Programelor-nucleu și asumată de către șefii de compartimente/laboratoare.

În continuare sunt prezentate activitățile de cercetare dezvoltate în anul 2021 în cadrul proiectelor **PN 19 28 01 01** și **PN 19 28 01 02**.

### **PROIECT PN 19 28 01 01: Noi materiale magnetice inteligente pentru dezvoltarea de aplicații high-tech.**

Activitățile de cercetare desfășurate în anul 2021, în cadrul proiectului **PN 19 28 01 01**, au fost dezvoltate în cadrul a **7 faze de execuție**, după cum urmează:

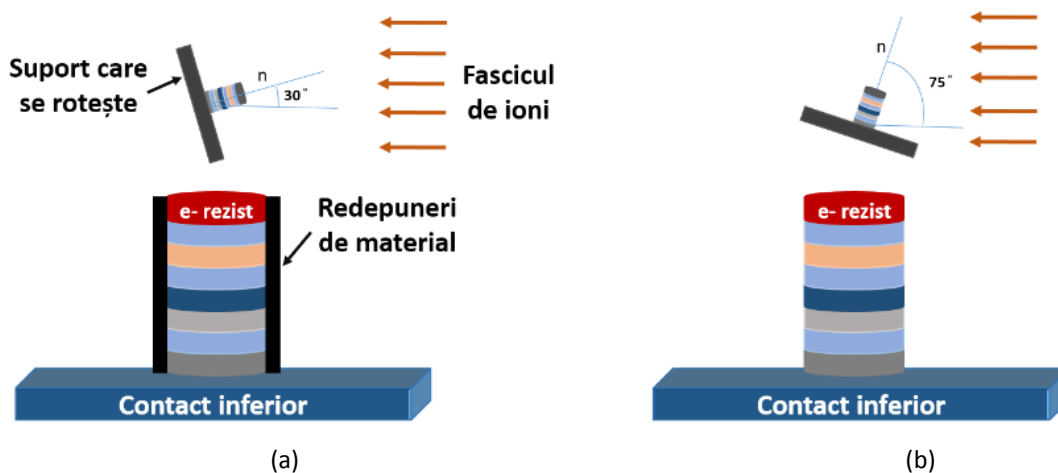
#### **• Faza nr. 15/2021: Senzori magnetorezistivi pentru detecția de particule magnetice distribuite în volum.**

În cadrul acestei faze, activitățile de cercetare s-au axat pe îmbunătățirea caracteristicilor tehnice ale sensorului magnetic bazat pe efectul de magnetorezistență de tunelare (TMR), în scopul creșterii capacității de detecție a particulelor magnetice distribuite în volum, având diferite concentrații. Efectul de magnetorezistență de tunelare apare în structuri multistrat formate dintr-o succesiune de 2 straturi feromagnetice separate de un strat izolator subțire și constă în tunelarea dependentă de spin a electronilor de conducție prin stratul izolator atunci când este aplicată o tensiune electrică de polarizare. Valoarea răspunsului TMR este influențată de natura stratului izolator [ $\text{AlO}_x$  amorf sau  $\text{MgO}$  cristalin cu orientare (001)], de grosimea stratului izolator (care trebuie să fie de ordinul nanometrilor), precum și de uniformitatea în grosime a acestuia. Configurația sensorului magnetorezistiv realizat în faza anterioară este următoarea:

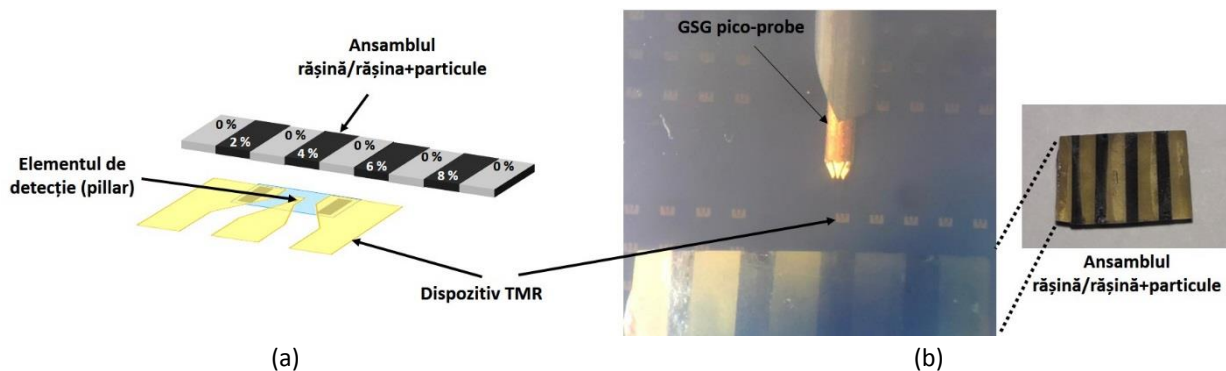
$\text{Si/SiO}_2/\text{Ta}(5\text{nm})/\text{Ru}(20\text{nm})/\text{Ta}(5\text{nm})/\text{CoFe}(3\text{nm})/\text{IrMn}(20\text{nm})/\text{CoFe}(2,5\text{nm})/\text{Ru}(0,85\text{nm})/\text{CoFeB}(3\text{nm})/\text{MgO}(1,8\text{nm})/\text{CoFeB}(3\text{nm})\text{Ta}(10\text{nm})$ ,

unde valorile grosimii straturilor componente, din paranteze, sunt optime pentru obținerea de valori mari ale răspunsului TMR și ale sensibilității sensorului. În timpul depunerii straturilor feromagnetice, paralel cu planul acestora, a fost aplicat un câmp magnetic de aproximativ 100 Oe. Senzorii TMR sunt utilizați în aplicații biomedicale pentru detecția de câmpuri magnetice de valori foarte mici și frecvență redusă. Pentru aceste tipuri de aplicații trebuie ca nivelul de zgomot să fie redus iar variația rezistenței (R) a sensorului TMR, în funcție de câmpul magnetic aplicat, trebuie să fie liniară. Liniaritatea sensorului TMR, pe un domeniu larg de câmp, este influențată de forma și dimensiunile sensorului. Dacă sensorul are formă dreptunghiulară, raportul lungime/lățime trebuie să fie mare pentru a avea o anizotropie de formă mare. Pe de altă parte, creșterea raportului lungime/lățime poate conduce la micșorarea sensibilității sensorului. Pentru a păstra valoarea mare a sensibilității sensorului și liniaritatea rezistenței acestuia, pe un domeniu de câmp magnetic cât mai larg, a fost aleasă pentru sensorul TMR o geometrie cilindrică, diametrul în secțiune transversală fiind de 4  $\mu\text{m}$ . În același timp, suprafața mică, în secțiune, a sensorului tip "pillar" și anume de  $400 \times 250 \mu\text{m}^2$ , permite realizarea unei rețele de senzori, pe același suport. Sensorul TMR tip "pillar" cilindric se obține prin desfășurarea unor succesiuni de operații specifice și anume: depuneri de straturi în vid, structurări geometrice prin litografiere cu fascicul de electroni și fascicul laser, corodare ionică și proces de "lift-off". Etapa de corodare ionică este critică pentru definirea geometriei circulare a secțiunii "pillar-ului" cilindric, deoarece, o parte din materialul corodat se redepune în jurul "pillar-ului", conducând la scăderea rezistenței sensorului TMR și implicit a sensibilității acestuia. Controlul procesului de corodare ionică s-a făcut prin realizarea de teste de optimizare a unghiurilor de corodare în scopul diminuării cantității de material redepus pe "pillar". În Fig.1 (a și b) sunt prezentate două variante de corodare ionică succesivă la două unghiuri diferite dintre direcția fascicului de ioni și axa "pillar-ului", care se poate roti odată cu suportul pe care este format. Curățarea suplimentară prin corodare ionică a suprafeței laterale a sensorului tip "pillar", la un unghi de  $75^\circ$  (Fig.1b), a condus la îndepărtarea totală a materialului redepus, cu efect pozitiv asupra sensibilității sensorului TMR. Urmare a acestei acțiuni, magnetorezistența, MR, a crescut de la 37,5% la 52,94%, iar sensibilitatea, S, a crescut de la 0,26%/Oe la 1,24%/Oe. A fost testată capacitatea sensorului TMR de a detecta particule magnetice poziționate pe un ansamblu format din zone dreptunghiulare de rășină și zone dreptunghiulare de rășină + particule magnetice pe bază de  $\text{FeCrNbB}$  (în concentrații diferite), dispuse succesiv, care simulează o probă de țesut uman (Fig.2). Sensorul TMR testat prezintă o variație liniară a tensiunii electrice în funcție de concentrația particulelor, până la o valoare de saturație a acesteia. S-a

demonstrat astfel că, senzorul TMR optimizat constructiv, are capacitatea de a detecta particule magnetice distribuite în volum, având diferite concentrații.



**Fig. 1.** Reprezentarea schematică a etapelor de corodare ionică succesivă ale elementului de detecție tip "pillar", pentru 2 unghiuri diferite dintre direcția fasciculului de ioni și axa pillar-ului: (a) 30°; (b) 75°.

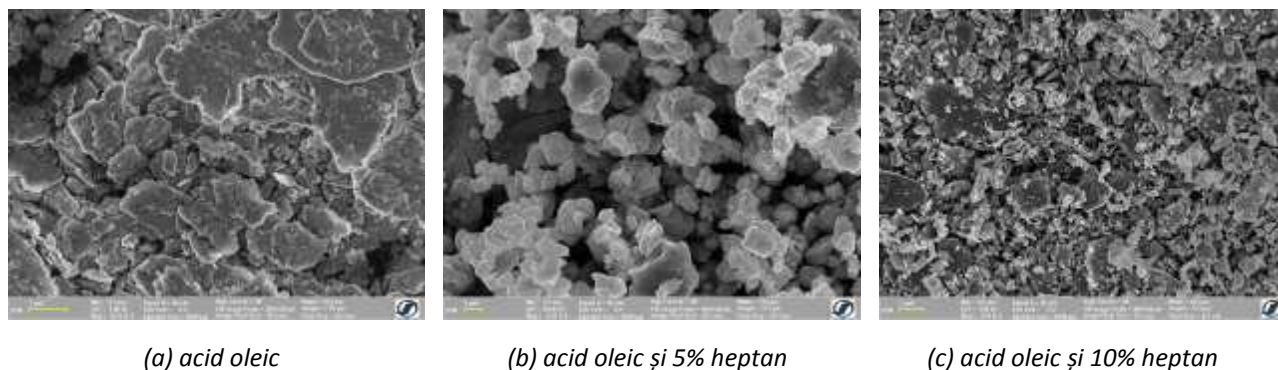


**Fig. 2. (a)** Reprezentarea schematică a ansamblului rășină/rășină + particule magnetice cu diferite concentrații și a dispozitivului TMR; **(b)** Imaginea optică a senzorului TMR și a ansamblului rășină/rășină + particule, înainte de a fi plasat pe zona de detecție.

• **Faza nr. 16 /2021: Studiul influenței surfactanților în procesul măcinării mecanice asupra dimensiunii, formei și proprietăților magnetice ale pulberilor pe bază de Fe.**

În cadrul acestei faze s-a studiat influența surfactanților în procesul măcinării mecanice asupra dimensiunii, formei și proprietăților magnetice ale pulberilor pe bază de Fe, ținându-se cont și de influența parametrilor de măcinare (mediu de măcinare - uscat sau umed, energia de măcinare, timp de măcinare, temperatura din incinta de măcinare, raport masă bile/masă pulberi) asupra caracteristicilor structurale și magnetice ale pulberilor. Au fost preparate și caracterizate structural și magnetic pulberi având compoziția nominală  $Fe_{76,2}Cr_{12,5}Nb_{0,3}B_{20}$  obținute prin măcinarea mecanică, într-o moară planetară cu bile, a precursorilor amorf  $Fe_{76,2}Cr_{12,5}Nb_{0,3}B_{20}$  în formă de benzi. Mediul de măcinare, uscat sau umed (apă sau diferiți surfactanți) este parametrul cheie care influențează forma, dimensiunile și proprietățile magnetice ale pulberilor. Benzile  $Fe_{76,2}Cr_{12,5}Nb_{0,3}B_{20}$  as-cast, obținute prin răcire rapidă pe disc metalic în rotație, au fost tratate la temperatura de 400°C, timp de o oră, pentru a deveni casante, păstrând caracterul amorf. Ulterior bucățile de bandă de 3÷5 mm au fost imersate în azot lichid, timp de 30 minute, cu scopul de deveni și mai casante, micșorându-și astfel și mai mult dimensiunile înainte de măcinare. Măcinarea s-a realizat atât în mediu uscat cât și în mediu umed (apă sau diferiți surfactanți: acid oleic, oleat de sodiu, acid stearic). Dimensiunile particulelor scad cu timpul de măcinare, pentru toate tipurile de medii de măcinare. Prin măcinarea mecanică în mediu uscat, au fost obținute particule cu formă neregulată și dimensiuni cuprinse între 2 și 3 μm. Acest rezultat este o consecință a creșterii temperaturii din incintă până la ~60°C, precum și a temperaturii de impact pulbere/bilă, care este mai mare de 60°C, cu efect negativ asupra păstrării structurii amorphe și a

caracteristicilor magnetice moi ale acestor pulberi. Măcinarea mecanică în mediul umed conduce la următoarele efecte: reducerea temperaturii din incinta de măcinare; împiedicarea sudării și aglomerării particulelor; creșterea frecvenței de impact bile-particule datorită suspensiei particulelor în mediul umed; obținerea de pulberi cu dimensiuni nanometrice ale particulelor. Comparativ cu măcinarea în apă, unde se obțin pulberi core - shell, cu efect de alterare a proprietăților magnetice moi, în cazul măcinării în medii umede care conțin surfactanți, forma și dimensiunea particulelor depind de tipul de surfactant. În Fig. 3 sunt prezentate imaginile SEM ale pulberilor măcinate mecanic în acid oleic simplu (Fig.3a) sau în acid oleic combinat cu heptan (5% și 10 %) (Fig. 3b și respectiv 3c).



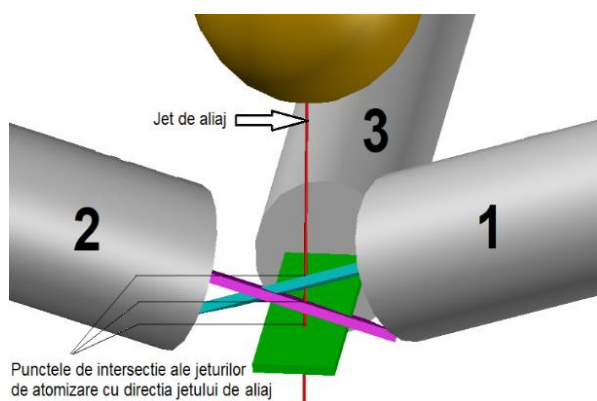
**Fig. 3.** Imagini SEM ale pulberilor de  $Fe_{67,2}Cr_{12,5}Nb_{0,3}B_{20}$  măcinate mecanic, timp de 50 ore, în acid oleic simplu (a), sau combinat cu heptan (5% și 10%) (b și c).

Cele mai bune rezultate au fost obținute pentru pulberile măcinate în acid oleic simplu, timp de până la 150 ore, unde au fost obținute particule în formă de fulgi cu lungimi între 20 și 100 nm, grosimi între 5 și 20 nm și proprietăți magnetice aproape identice cu cele ale benzilor precursorare (ex. Temperatura Curie,  $T_c = 45^\circ C$ , Magnetizarea de saturație,  $M_s = 35$  emu/g), favorabile aplicațiilor în medicină (ex. tratamentul cancerului prin hipertermie).

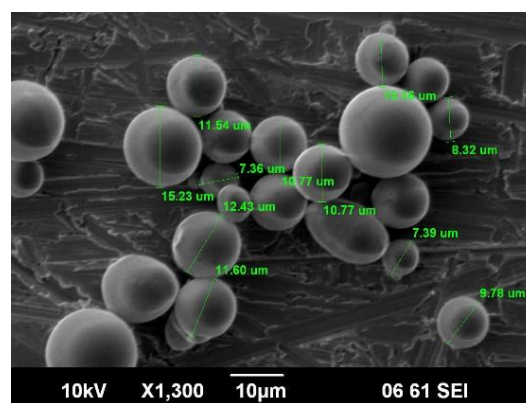
• **Faza nr. 17 / 2021: Optimizarea instalației de obținere prin procedeul atomizării de pulberi din aliaje magnetice pe bază de Fe și Co cu caracteristici structurale și magnetice controlate.**

Activitățile de cercetare derulate în cadrul acestei faze s-au axat pe optimizarea instalației de obținere a pulberilor din aliaje magnetice pe bază de Fe și Co prin procedeul atomizării în jeturi de gaz și lichid în vederea unui control riguros al dimensiunilor și al caracteristicilor structurale și magnetice ale acestora. Instalația de preparare a pulberilor magnetice amorfe prin atomizare gaz-lichid a fost realizată pe baza unui brevet de invenție din portofoliul institutului. Cu ajutorul instalației realizate pe baza acestui brevet de invenție, au fost obținute pulberi cu diametre mari ale particulelor și anume între 50÷200  $\mu m$ . Obținerea de pulberi cu structură amorfă sau nanocristalină, la aceste diametre mari ale particulelor, era dificilă. Pentru obținerea de pulberi amorfe sau nanocristaline pe bază de metal de tranziție (Fe, Co, Ni) - metaloid (Si, B, P, etc) cu dimensiuni mici ale particulelor (de ordinul nanometrilor), era necesară, în principal, asigurarea unei viteze de răcire a aliajului topit de aproximativ  $10^6 K/s$ . Atingerea acestui obiectiv s-a făcut prin optimizarea instalației de atomizare cu gaz-lichid existente în institut, în sensul reprojecării constructive a sistemului de atomizare și îmbunătățirii procedurii de preparare al pulberilor. Aceste optimizări experimentale și procedurale au constituit baza unei cereri de brevet de invenție (Cerere de brevet de invenție nr.a 2019 00373 depusă la OSIM în data de 21.06.2019). Varianta constructivă a sistemului de atomizare a fost optimizată prin introducerea unei duze suplimentare pentru gaz. În acest caz, sistemul de atomizare constă din trei duze, două pentru gaz și una pentru lichid, astfel dispuse unghiular, atât pe orizontală cât și pe verticală, încât jetul de aliaj topit să fie fragmentat succesiv de către cele două jeturi de gaz și apoi să fie concomitent fragmentat și răcit de către jetul de lichid. Pulberile au fost colectate într-o baie de lichid plasată sub dispozitivul de atomizare. Jeturile de gaz și lichid au formă lamelară datorită geometriei fantelor (ex. dreptunghiuri de 3 ÷ 5 mm lungime și 0,2 ÷ 0,5 mm lățime) practicate în tuburile de cuarț care constituie cele trei duze din componența sistemului de atomizare. Distanța mică între tubul de cuarț în care este aliajul topit

și intersecția jeturilor de atomizare, dar și distanța mică (sub 1 mm) între două ciocniri succesive ale jeturilor de gaz și jetul de lichid de răcire cu jetul de aliaj topit nu permite solidificarea aliajului înainte de interacțiunea succesivă cu jeturile de gaz și lichid. Varianta optimă de poziționare în plan orizontal a celor trei duze este de  $120^\circ$  astfel încât fiecare jet de gaz și respectiv de lichid acționează independent asupra jetului de aliaj topit. Pentru poziționarea unghiulară în plan vertical a celor 3 duze, față de planul orizontal, au fost testate 3 variante și anume:  $15^\circ$ ,  $16,5^\circ$ ,  $18^\circ$ , concomitent cu poziționarea jetului de aliaj topit în mijlocul distanței dintre duzele pentru gaz 1 și 2 și duza pentru lichid 3 (Fig. 4). Cele mai bune rezultate (dimensiuni ale particulelor sub  $20\ \mu\text{m}$ ) - (Fig. 5) au fost obținute pentru poziționarea unghiulară în plan vertical a celor 3 duze, față de planul orizontal, de  $15^\circ$ . La o viteză a jetului de aliaj topit de 10-20 m/s, corespunzătoare unei suprapresiuni de eiecție de 5-15 bar, distanța pe verticală de 1-2 mm dintre zonele de interacțiune a jeturilor de gaz și lichid cu jetul de aliaj topit este parcursă de jetul de aliaj într-un timp mai mic de  $10^{-4}$  s. S-au obținut astfel viteze de răcire mai mari de  $10^5\text{K/s}$ , cu efect pozitiv asupra obținerii de pulberi cu structură amorfă sau nanocristalină. Au fost realizate și studiate pulberi având compozițiile nominale:  $\text{Co}_{68,25}\text{Fe}_{4,25}\text{Si}_{12,5}\text{B}_{15}$  și  $\text{Fe}_{73,5}\text{Cu}_3\text{Nb}_1\text{Si}_{13,5}\text{B}_9$ . Difractogramele de raze X ale pulberilor cu compoziția nominală  $\text{Co}_{68,25}\text{Fe}_{4,25}\text{Si}_{12,5}\text{B}_{15}$  evidențiază prezența majoritară a fazei amorse, indiferent de dimensiunea pulberilor ( $< 20\ \mu\text{m}$ ;  $20\div 32\ \mu\text{m}$ ;  $32\div 63\ \mu\text{m}$ ,  $63\div 100\ \mu\text{m}$  și  $100\div 150\ \mu\text{m}$ ), absența picurilor specifice fazelor cristaline și o prezență minimă a fazei nanocristaline. În cazul pulberilor având compoziția nominală  $\text{Fe}_{73,5}\text{Cu}_3\text{Nb}_1\text{Si}_{13,5}\text{B}_9$  și dimensiuni sub  $20\ \mu\text{m}$ , procentul pulberilor cu diametre de sub  $20\ \mu\text{m}$  este mai mic (cu aproximativ 3-5% comparativ cu 20-30% în cazul aliajelor pe bază de Co) datorită temperaturii de solidificare mai mari, cu aprox. 100-150 K.



**Fig. 4.** Detaliu - sistem de atomizare (poziționarea optimă a duzelor).



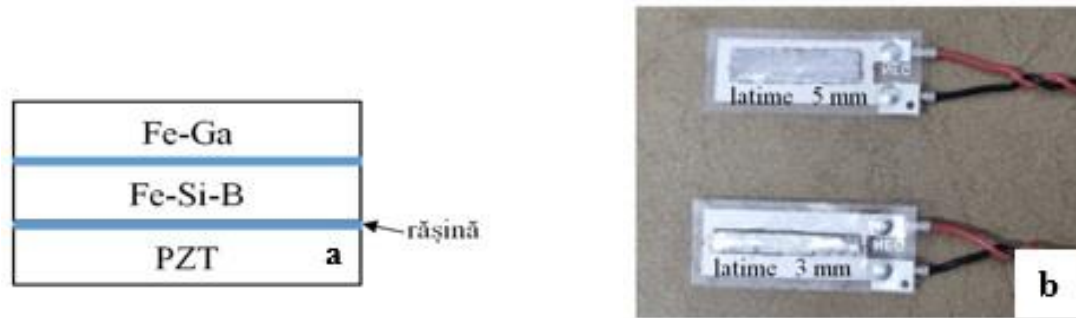
**Fig. 5.** Imagine SEM a pulberilor cu diametrul de până la  $20\ \mu\text{m}$ .

Particulele submicronice dispersate în baia de apă sunt colectate după decantare timp de 24 de ore. Cele mai fine particule submicronice obținute din aliajele magnetice moi studiate au diametre între 200 și 400 nm ( $0,3$  și  $0,4\ \mu\text{m}$ ). Utilizarea variantei optimizate a instalației de atomizare permite obținerea de particule de dimensiuni nanometrice (aprox. 0,5% din cantitatea totală) care pot fi utilizate în aplicații speciale în industrie și medicină.

- **Faza nr. 9/2021: Materiale magnetoelectrice compozite laminate, cu coeficient de cuplaj magnetoelectric mare și sensibilitate ridicată la câmp magnetic, obținute prin suprapunerea de benzi magnetostrictive (amorse/policrostaline) pe suporturi piezoelectrice/electrostrictive.**

Activitățile de cercetare derulate în cadrul acestei faze s-au axat pe prepararea a două noi materiale magnetoelectrice compozite laminate, cu coeficient de cuplaj magnetoelectric mare și sensibilitate ridicată la câmpul magnetic. Pentru realizarea materialelor magnetoelectrice compozite au fost utilizate benzi metalice din aliaje magnetostrictive realizate la INCDFT-IFT Iași și benzi tip PZT (zirconat titanat de plumb) comerciale. Utilizând metoda solidificării ultrarapide din topitură, au fost preparate două tipuri de benzi magnetice magnetostrictive având compozițiile  $\text{Fe}_{79}\text{Si}_9\text{B}_{12}$  și  $\text{Fe}_{80,5}\text{Ga}_{19,5}$ , cu grosimi de  $35\ \mu\text{m}$  și  $23\ \mu\text{m}$  și lățimi de 3 mm și 5 mm. Constanta de magnetostricțiune a fost determinată utilizând metoda SAMR (Small Angle

Magnetization Rotation). Benzile feromagnetice magnetostrictive din aliaj  $Fe_{79}Si_9B_{12}$  au constanta de magnetostricțiune  $\lambda_s \approx 30$  ppm, iar benzile feromagnetice magnetostrictive din aliaj  $Fe_{80,5}Ga_{19,5}$  au constanta de magnetostricțiune  $\lambda_s \approx 110$  ppm. Caracterizarea structurală a benzilor magnetostrictive s-a realizat utilizând tehnica difracție de raze X și s-a constatat că benzile având compoziția  $Fe_{79}Si_9B_{12}$  au structură predominant amorfă, iar benzile având compoziția  $Fe_{80,5}Ga_{19,5}$  au structura policristalină, indiferent de lățimea acestora. Au fost realizate și caracterizate un număr de șase noi structuri magnetoelectrice compozite laminate, tip „sandwich”, formate din benzi magnetostrictive/senzor PZT și anume: 3 structuri obținute prin suprapunerea succesivă de benzi Fe-Si-B/benzi Fe-Ga, cu lățimea de cca 3 mm, în rapoartele numerice de 1:1, 3:3 și 6:6 și 3 structuri obținute prin suprapunerea succesivă de benzi Fe-Si-B/benzi Fe-Ga, cu lățimea de cca 5 mm, în rapoartele numerice 1:1, 3:3 și 6:6. Fiecare din aceste structuri compozite au fost lipite cu rășină epoxidică pe senzorul comercial PZT (Fig. 6).



**Fig. 6. (a)** Reprezentarea schematică a unei structuri magnetoelectrice compozite laminate de tip 1:1, lipită pe un senzor PZT și **(b)** fotografiile ale structurilor compozite laminate cu lățimi diferite ale benzilor magnetoelectrice de 3 mm și 5 mm.

Eficacitatea structurilor magnetoelectrice compozite având configurația prezentată în Fig.6 a fost stabilită urmărind variația tensiunii electrice a senzorului PZT atunci când sistemul compozit este supus acțiunii simultane a unui câmp magnetic alternativ ( $f = 80$  Hz) și a unui câmp magnetic continuu care are rolul de a magnetiza longitudinal structura compozitului. Testarea sensibilității la câmpului magnetic a compozitelor magnetoelectrice laminate s-a realizat cu ajutorul unui montaj experimental format dintr-un solenoid, un amplificator de putere, un generator de semnal AC și DC și un osciloscop (Fig.7 a).

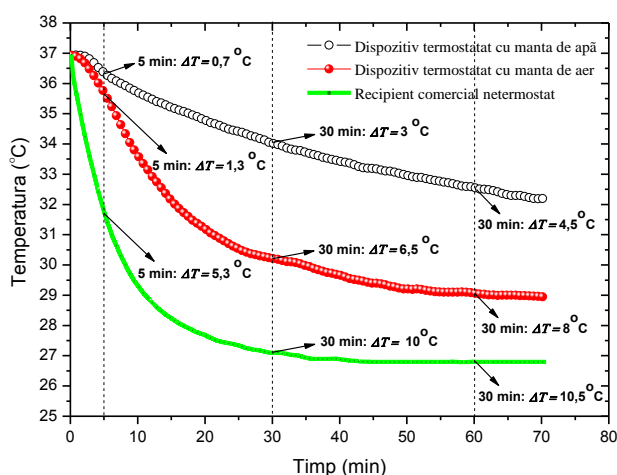


**Fig.7. (a)** Schema de principiu a montajului experimental; **(b)** montajul experimental utilizat pentru testarea eficacității noilor structuri magnetoelectrice compozite laminate și **(c)** sistemul de bobine în care se introduce compozitul laminat.

Din analiza valorilor tensiunii  $dV_{pp}$  (V) obținute de la senzorul PZT indică faptul că, sensibilitatea la câmpul magnetic a compozitelor laminate investigate, formate din benzi magnetostrictive Fe-Si-B /Fe-Ga având lățimi diferite (3 mm și 5 mm), suprapuse succesiv în rapoartele numerice 1:1, 3:3 și 6:6, este mai mare în cazul compozitului format din benzi Fe-Si-B/Fe-Ga cu lățimea de 3 mm, suprapuse în raportul numeric 6:6.

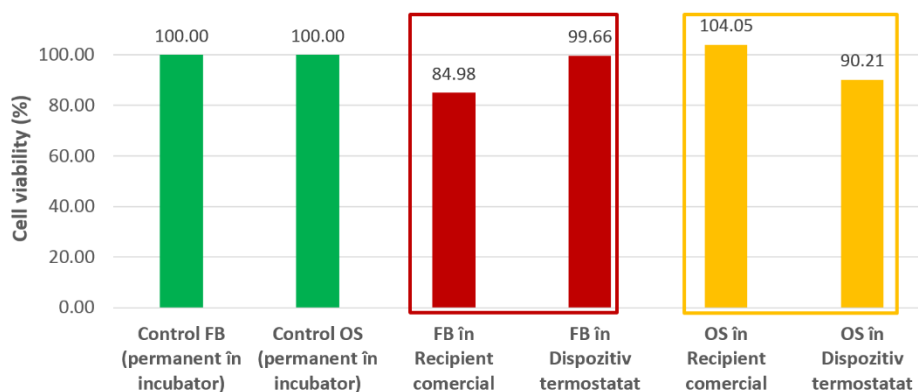
• **Faza nr. 18.1 / 2021: Metodă de incubare a celulelor tumorale și normale, încărcate cu nanoparticule magnetice cultivate în recipiente comerciale.**

Activitățile dezvoltate în cadrul acestei faze a proiectului au fost axate pe elaborarea unei metode și pe realizarea unui dispozitiv de incubare a celulelor încărcate cu nanoparticule magnetice, având la bază recipiente comerciale care au fost modificate special (ex. au fost termostatate) pentru a diminua semnificativ schimburile de căldură dintre mediul de cultură al celulelor și mediul exterior. Această metodă de incubare și dispozitivul asociat acesteia au permis creșterea de celule biologice normale în condiții optime, atât în incubator cât și în afara acestuia, pentru perioade de timp mult mai extinse, comparativ cu recipientele comerciale simple, netermostatate. Nanoparticulele magnetice utilizate pentru încărcarea celulelor biologice au fost sintetizate prin metoda co-precipitării chimice. Nanoparticulele magnetice, au fost caracterizate structural și magnetic și eficacitatea acestora a fost testată pe celule normale și tumorale în recipientele termostatate, iar rezultatele obținute au confirmat biocompatibilitatea dintre celule și nanoparticulele magnetice. Cel mai important rezultat a fost demonstrarea potențialului crescut al acestei abordări de incubare a culturilor celulare (metodă și dispozitiv) de a reduce semnificativ riscul de denaturare al culturilor celulare atunci când acestea sunt manipulate, pentru perioade de timp extinse, în afara incubatorului în care sunt crescute (Fig.8).



**Fig.8.** Curbele de răcire ale mediilor de cultură în funcție de tipul recipientelor de cultură și al agenților de termostatare folosiți (apă sau aer).

Se constată că după un timp de 60 de minute, temperatura în recipientul termostatat cu apă a scăzut în valori nominale cu 4,5°C, celulele fiind doar ușor afectate din punct de vedere al regimului termic. Comparativ, temperatura în recipientul comercial a scăzut ajungând la temperatura camerei, scădere care poate afecta semnificativ creșterea și viabilitatea celulară. În Fig. 9 sunt prezentate rezultate axate pe evaluarea viabilității celulelor normale (*fibroblaști* - FB) și tumorale (*osteosarcom* - OS) cultivate doar în incubatorul de celule (coloanele de culoare verde) și, respectiv, cultivate alternativ/intermitent în incubatorul de celule și în afara acestuia, conform protocolului de lucru.

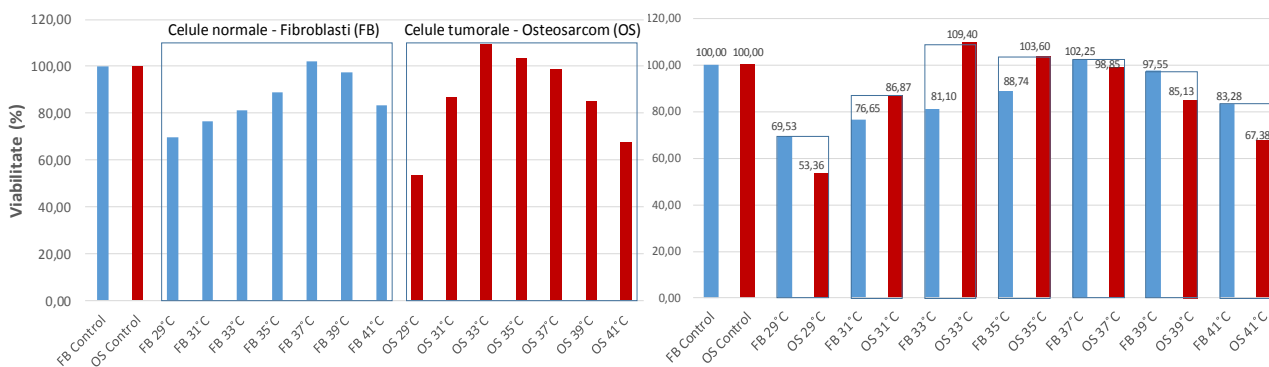


**Fig.9.** Viabilitatea celulelor normale (FB) și tumorale (OS) cultivate doar în incubatorul de celule (celulele de control/martor - coloanele de culoare verde) și, respectiv, cultivate alternativ/intermitent în incubatorul de celule și în afara acestuia, conform protocolului de lucru (coloane de culoare roșie - celule FB și de culoare portocalie - celule OS).

În cazul celulelor tumorale (OS), rezultatele obținute au arătat că acest tip de celule ar putea fi cultivate eficient la temperaturi mai joase decât cele standard folosite pentru creșterea celulelor normale (FB), fapt confirmat în faza următoare a proiectului.

• **Faza nr. 18.2 / 2021: Metodă de incubare a celulelor tumorale și normale, încărcate cu nanoparticule magnetice cultivate în recipiente comerciale, având la bază un sistem de ventilație controlat.**

În cadrul acestei faze, pornind de la recipiente comerciale, s-au dezvoltat o metodă și un sistem de ventilație dedicate cultivării celulelor încărcate cu nanoparticule magnetice, având la bază recipiente comerciale care au fost modificate special pentru a permite circulația gazului din incubator prin recipientele de cultură. Metoda de incubare dezvoltată și sistemul asociat acesteia au permis îmbunătățirea semnificativă a procesului de creștere a celulelor biologice normale și tumorale, comparativ cu recipientele comerciale simple, neventilate. În cazul celulelor normale, creșterea a fost mai mare de 40%. Viabilitatea celulelor tumorale s-a dovedit a fi mai puternic dependentă de variația de temperatură decât cea asociată celulelor normale, stabilindu-se că temperatura optimă de creștere a celulelor tumorale de osteosarcom este cu aproximativ 4°C mai scăzută decât temperatura standard folosită pentru cultivarea celulelor normale (37°C). S-a urmărit de asemenea obținerea de date experimentale suplimentare privind viabilitatea celulelor normale și tumorale cultivate la diferite temperaturi într-un incubator standard. Dependența viabilității celulare a celulelor normale (fibroblaști - FB) și tumorale (celule de osteosarcom - OS) de temperatura de incubare este prezentată în Fig. 10.



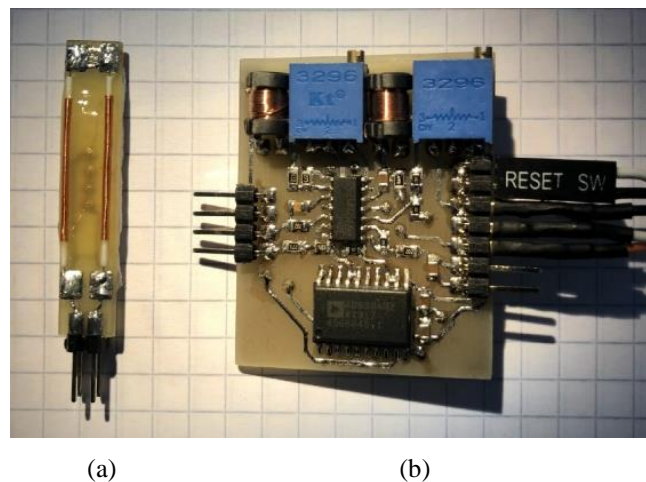
**Fig. 10.** Dependența viabilității celulare a celulelor normale (fibroblaști - FB) și tumorale (celule de osteosarcom - OS) de temperatura de incubare.

Comparativ cu celulele normale (FB), celulele tumorale (OS) prezintă o viabilitate superioară în plaja de temperaturi cuprinsă între 31°C și 35°C. În afara acestui domeniu de temperaturi, viabilitatea celulelor tumorale devine semnificativ mai scăzută comparativ cu celulele normale. S-a observat că profilul curbei de viabilitate a celulelor tumorale de osteosarcom, în funcție de temperatura de creștere, este semnificativ diferit față de profilul viabilității celulelor normale. În cazul celulelor tumorale, variația viabilității prezintă o pantă semnificativ crescută pe domeniul de temperaturi (29°C-35°C), indicând o sensibilitate mult mai crescută a celulelor tumorale la variațiile de temperatură (din incubator). Acest comportament rămâne valabil și pentru domeniul 35°C ÷ 41°C. Prin urmare, celulele tumorale prezintă un proces de creștere mai accelerat la temperaturi mai joase decât temperatura standard de incubare de 37°C, însă nu mai mici de 33°C. Temperatura de 33°C, chiar dacă a fost cu 4°C mai redusă decât cea standard, s-a dovedit a fi temperatura optimă de incubare pentru tipul de celule tumorale de osteosarcom uman testat.



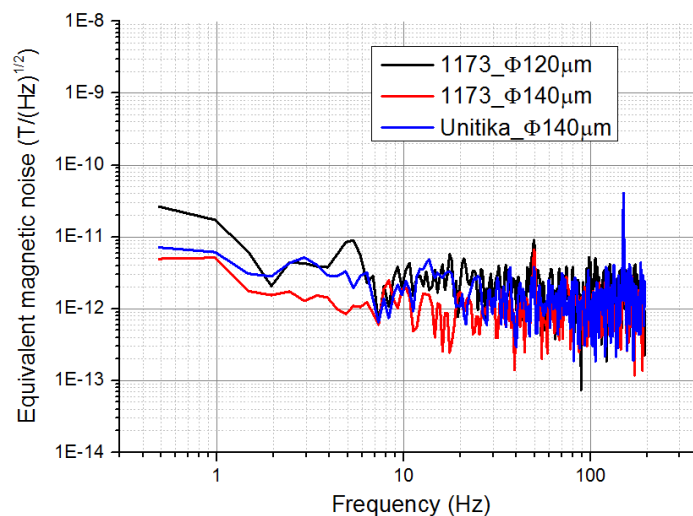
• **Faza nr. 19.1 /2021: Determinarea nivelului de zgomot în senzori magnetici de tip fluxgate pe bază de materiale magnetice amorfе.**

În cadrul acestei faze a fost dezvoltată o metodă de evaluare a nivelului de zgomot magnetic intrinsec în senzorii de tip flux-gate. Avantajul acestei metode de măsurare constă în aceea că permite evaluarea funcționării senzorilor flux-gate ortogonali în ambele moduri de operare, atât în modul fundamental, cât și în modul clasic (bazat pe detecția armonice a doua din semnalul util). În cadrul acestei faze a fost realizat un prototip de senzor flux-gate (Fig. 11) format din senzorul flux-gate propriu-zis (Fig.11.a) și electronica aferentă (Fig.11.b) care a fost optimizată și miniaturizată.



**Fig.11.** Prototip de senzor flux-gate: **(a)** senzorul flux-gate propriu-zis; **(b)** sistemul electronic de măsură.

La proiectarea senzorilor flux-gate selecția materialelor pentru miez este de importanță crucială. Materialele pentru miez, nu numai că trebuie să fie foarte ușor de saturat magnetic, dar trebuie să prezinte tranziții foarte fine între stările de magnetizare la saturație. Metoda dezvoltată și tehnicile utilizate au permis evaluarea nivelului de zgomot intrinsec în senzorii magnetici de tip flux-gate realizați pe bază de fire magnetice amorfе. Testele au fost realizate pe două tipuri de materiale: (1) fire de CoFeSiB (aliaj - cod 1173) produse la INCDFT-IFT Iași, cu diametre de 120 și 140  $\mu\text{m}$ ; (2) fire de CoFeSiB cu diametrul de 140  $\mu\text{m}$  produse de Unitika Ltd., Japonia. În Fig. 12 sunt prezentate rezultatele măsurătorilor de zgomot (spectre de zgomot) în intervalul de frecvență 0,1 ÷ 200 Hz.



**Fig. 12.** Zgomotul magnetic al senzorului flux-gate ortogonal cu operare în modul fundamental (pentru fire amorfе tip 1173 de la INCDFT- IFT Iași și fir amorf de la UNITIKA Ltd., Japonia).

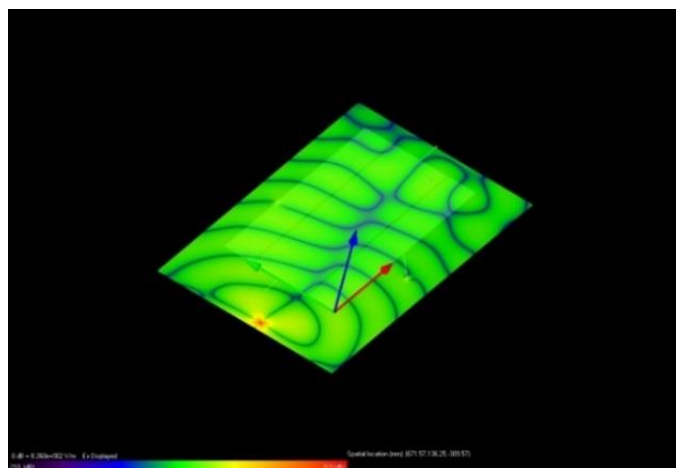
Spectrele de zgomot au fost măsurate cu senzorul în funcțiune, așezat într-un ecran magnetic cu 6 straturi, la câmp efectiv zero (pentru toate frecvențele din spectru). Spectrul de zgomot al senzorilor flux-gate prezintă două zone distincte: una în domeniul frecvențelor joase (sub 10 Hz), unde preponderent se manifestă zgomotul de tip  $1/f$  și cealaltă reprezentată de restul spectrului în care zgomotul termic (white noise) este dominant. Se observă că cel mai scăzut nivel de zgomot (5 pT/VHz la 1 Hz) este obținut pentru firele magnetice amorse cu diametrul de 140  $\mu\text{m}$ , prin optimizarea parametrilor de excitație, folosind magnetometrul flux-gate ortogonal operat în modul fundamental. Condițiile de excitație sunt parametri critici în optimizarea nivelului de zgomot al senzorilor flux-gate ortogonali în modul fundamental. Măsurătorile de zgomot (determinarea/trasarea spectrelor de zgomot) au condus la concluzia că nivelul de zgomot în domeniul frecvențelor joase este puternic influențat de condițiile de excitație și de caracteristicile dimensionale ale probelor (diametrele firelor amorse utilizate ca miez magnetic).

**Proiect PN 19 28 01 02: Fenomene și procese fizice în materiale electromagnetice multifuncționale realizate prin suprapunerea de substraturi de metamateriale mecanice pentru construcția de senzori cu aplicații în monitorizarea structurilor complexe.**

Activitățile de cercetare desfășurate în anul 2021 în cadrul proiectului PN 19 28 01 02 au fost dezvoltate în cadrul a 2 faze de execuție, după cum urmează:

• **Faza nr. 4.1/2021: Simularea și optimizarea numerică pentru proiectarea de materiale electromagnetice multifuncționale - extragerea parametrilor caracteristici.**

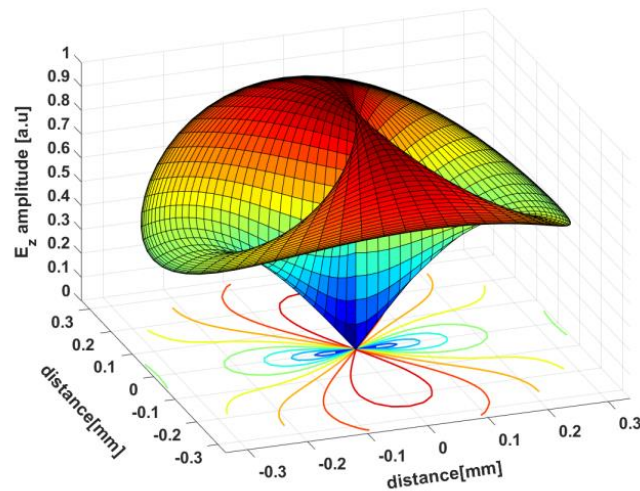
Activitățile dezvoltate în cadrul acestei faze au fost axate pe analiza influenței factorilor geometrici și de material în selectarea și suprapunerea de substraturi, astfel încât pe baza optimizării numerice a proprietăților de material multifuncțional să poată fi realizată extragerea parametrilor caracteristici cu consecințe directe asupra rezoluției spațiale, sensibilității și detecției, la un raport semnal/zgomot mai bun de  $1/3$ . În vederea proiectării de ME3Ms (Metamateriale electromagnetice multifuncționale 3D) s-a simulat funcționarea acestora utilizând pentru excitație un ghid de undă planar (Fig.1).



**Fig. 1.** Simularea ghidului de undă planar în XFDTD utilizat pentru excitație.

Au fost investigate proprietățile structurale și funcționale ale ansamblului microstructural ME3Ms. Proprietățile structurale și funcționale ale ansamblului microstructural ME3Ms sunt guvernate de lungimea ligamentelor dintr-o celulă unitate, cuplajul dintre elementele mecanice fondabile și unghiul de deschidere a celulei unitate. Cuplajul scade lent cu creșterea unghiului dintre ligamentele constitutive, pentru diferite direcții de încărcare. Indiferent de direcția de încărcare, coeficientul Poisson rămâne negativ atât timp cât comportamentul rămâne auxetic izotrop. S-a simulat un aranjament de patru celule unitate pentru a se determina cuplajul dintre ele. Coeficienții de cuplaj scad lent cu distanța, asimptotic cu  $1/r^3$  pentru distanțe mai mari. Datorită simetriei, celula unitate poate fi considerată transversal izotropă, ceea ce duce la unele

simplificări,  $E_x = E_y$ . Dependența amplitudinii componentei  $E_z$  în funcție de distanță pentru o celulă unitate concentratoare de câmp este prezentată în Fig.2.

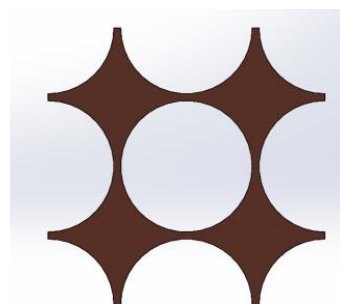
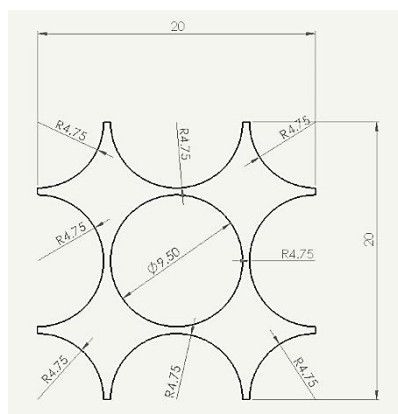


*Fig. 2. Amplitudinea componentei  $E_z$  pentru o celulă unitate concentratoare de câmp.*

Pentru a putea proiecta ansamblul ME3Ms, a fost necesară punerea la punct a unui procedeu de extragere a parametrilor unui mediu efectiv obținut prin algoritmi de regularizare. Aproximația de mediu efectiv este valabilă deoarece dimensiunea elementelor de metamaterial este mult mai mică decât lungimea de undă a radiației incidente. A fost stabilită metoda de evaluare a intensificării anumitor frecvențe din spectrul electromagnetic utilizând un software de simulare adecvat. Performanța sensibilității arhitecturii în raport cu frecvența ( $f$ ) este ridicată pentru cazul în care  $f$  are valori între 100 kHz și 10 MHz, asigurând o detecție bună a discontinuităților în material. Pentru determinarea parametrilor electromagnetici s-a analizat variația cu frecvența a impedanței și a parametrilor  $S$  a structurilor modelate. S-au efectuat simulări pentru extragerea de parametri caracteristici precum directivitate, sensibilitate, frecvența de rezonanță, impedanța caracteristică, utilizând în acest scop un cod numeric dezvoltat în Matlab, care a fost optimizat pentru a proiecta ansamblul ME3Ms.

- **Faza nr. 4.2.1/2021: Simularea și optimizarea numerică pentru proiectarea de materiale electromagnetice multifuncționale - proiectarea arhitecturilor CAD/CAM în vederea exportului arhitecturilor în software de proiectare.**

În cadrul acestei faze au fost proiectate două arhitecturi de material electromagnetic (EM) multifuncțional, plecând de la elemente constitutive (EC) tip pătratic și romboidal în alcătuirea unei celule unitare (CU), pentru care au fost investigate, utilizând aceeași procedură, constantele elastice la aceeași densitate de referință. De asemenea, a fost elaborat un model geometric pentru proiectarea arhitecturilor CAD/CAM. Arhitecturile proiectate CAD/CAM au fost investigate în funcție de unghiul de deschidere a CU, conexiunile între noduri au fost considerate elastice, precum și elementele de legătură izotrope. S-a demonstrat că densitatea relativă critică a structurii limitează valorile posibile ale modulelor de elasticitate care pot fi utilizate în aplicații practice. Au fost determinate analitic tensorul de elasticitate și constantele elastice în funcție de parametrii geometrici și elastici ai materialului CU. Au fost analizate proprietățile mecanice pentru diferite direcții de încărcare, asigurând posibilitatea de a introduce noi funcții pentru modelarea geometrică și funcții built-in care returnează corelații normalizate cu o fereastră extinsă pentru exportul valorilor și a arhitecturilor în softwarele de proiectare. În Fig. 3a este prezentat un element constitutiv romboedric proiectat, iar în Fig. 3b este prezentat elementul constitutiv romboedric exportat în software de proiectare.



**Fig. 3. Element constitutiv (EC) romboedric: (a) Proiectat; (b) Exportat în software de proiectare.**

## 2.2. Proiecte contractate:

Cod obiectiv	Nr. proiecte contractate	Nr. proiecte finalizate	Anul 2021
1. PN 19 28 01 01	1	-	1
2. PN 19 28 01 02	1	-	1
<b>Total:</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>2</b>

## 2.3 Situația centralizată a cheltuielilor privind programul-nucleu:

**Cheltuieli în lei**

	Anul 2021
<b>I. Cheltuieli directe</b>	<b>2.356.761</b>
1. Cheltuieli de personal	2.175.461
2. Cheltuieli materiale și servicii	181.300
<b>II. Cheltuieli Indirecte: Regia</b>	<b>1.789.801</b>
<b>III. Achiziții / Dotări independente din care:</b>	<b>18.500</b>
1. Pentru construcție/modernizare infrastructură	0
<b>TOTAL (I+II+III)</b>	<b>4.165.062</b>

## 3. Analiza stadiului de atingere a obiectivelor programului

Obiectivele specifice propuse spre dezvoltare în cadrul proiectelor PN 19 28 01 01 și PN 19 28 01 02, în anul 2021, au fost axate pe:

- realizarea de senzori magnetorezistivi cu performanțe tehnice îmbunătățite pentru detecția de particule magnetice distribuite în volum;
- studiul influenței surfactanților în procesul de măcinare mecanică asupra formei, dimensiunilor și caracteristicilor magnetice ale pulberilor pe bază de Fe utilizate în aplicații medicale și în industrie;
- optimizarea instalației de obținere prin procedeul atomizării în jeturi de gaz și lichid de pulberi magnetice cu structură amorfă și nanocristalină, cu dimensiuni și caracteristici magnetice controlate;
- realizarea de materiale magnetoelectrice compozite laminate, cu coeficient de cuplaj magnetoelectric mare și sensibilitate ridicată la câmp magnetic, obținute prin suprapunerea de benzi magnetostrictive (amorfe/policristaline) pe suporturi piezoelectrice/electrostrictive;
- dezvoltarea unei metode de incubare a celulelor tumorale și normale, încărcate cu nanoparticule magnetice;
- determinarea nivelului de zgomot în senzori magnetici de tip fluxgate realizați pe bază de materiale magnetice amorfe;

- **simularea și optimizarea numerică pentru proiectarea de metamateriale electromagnetice multifuncționale** - extragerea parametrilor caracteristici; proiectarea arhitecturilor CAD/CAM în vederea exportului arhitecturilor în software de proiectare.

Rezultate obținute prin desfășurarea activităților de cercetare propuse spre dezvoltare în anul 2021, în cadrul celor 9 faze de execuție, au fost următoarele:

- (1) un senzor de magnetorezistiv bazat pe efectul de tunelare magnetică dependentă de spin cu performanțe tehnice îmbunătățite pentru detecția de particule magnetice distribuite în volum, cu concentrații diferite;
- (2) un studiu privind influența surfactanților utilizați în procesul de măcinare mecanică asupra formei, dimensiunilor și proprietăților magnetice ale pulberilor pe bază de Fe;
- (3) particule magnetice având compoziția  $Fe_{76,2}Cr_{12,5}Nb_{0,3}B_{20}$ , obținute prin măcinare mecanică sub formă de fulgi cu lungimi între 20 și 100 nm și cu grosimi între 5 și 20 nm și cu proprietăți magnetice favorabile aplicațiilor în medicină (ex. tratamentul cancerului prin hipertermie);
- (4) o instalație de atomizare gaz-lichid optimizată pentru prepararea de pulberi magnetice cu dimensiuni controlabile (submicronice) pentru aplicații în industrie și medicină;
- (5) nanoparticule magnetice obținute prin atomizare cu jeturi de gaz și lichid, având compozițiile nominale  $Co_{68,25}Fe_{4,25}Si_{12,5}B_{15}$  și  $Fe_{73,5}Cu_3Nb_1Si_{13,5}B_9$  și diametre între 200 și 400 nm, utilizabile într-un domeniu larg de aplicații în industrie și medicină;
- (6) un material magnetoelectric compozit laminat format din 2 tipuri de benzi  $Fe_{79}Si_9B_{12}$  (amorfe) /  $Fe_{80,5}Ga_{19,5}$  (policristaline) cu lățimea de 3 mm, suprapuse în rapoartele numerice 1:1, 3:3 și 6:6;
- (7) un material magnetoelectric compozit laminat format din 2 tipuri de benzi  $Fe_{79}Si_9B_{12}$  (amorfe) /  $Fe_{80,5}Ga_{19,5}$  (policristaline) cu lățimea de 5 mm, suprapuse în rapoartele numerice 1:1, 3:3 și 6:6;
- (8) un dispozitiv de incubare al culturilor celulare încărcate cu nanoparticule magnetice prevăzut cu sistem de ventilație controlat;
- (9) o metodă de incubare a celulelor tumorale și normale încărcate cu nanoparticule magnetice, utilizând recipiente comerciale îmbunătățite din punct de vedere al caracteristicilor de izolație termică;
- (10) o metodă de evaluare a nivelului de zgomot magnetic intrinsec în senzori de tip flux-gate pe bază de materiale amorfe;
- (11) un cod numeric optimizat pentru proiectarea ansamblului microstructural ME3Ms;
- (12) un model geometric pentru proiectarea arhitecturilor CAD/CAM.

#### 4. Prezentarea rezultatelor:

##### 4.1. Stadiul de implementare al proiectelor componente

Denumirea proiectului	Tipul rezultatului estimat/realizat (studiu proiect, prototip, tehnologie, etc., alte rezultate)	Stadiul realizării proiectului
<b>Proiect PN 19 28 01 01:</b> <b>Noi materiale magnetice inteligente pentru dezvoltarea de aplicații high-tech.</b>	<b>Produce: 1/1 (ESTIMAT/REALIZAT)</b> • <u>un senzor de magnetorezistiv de tunelare cu performanțe tehnice îmbunătățite</u> pentru detecția de particule magnetice distribuite în volum	Faza nr. 15 / 2021
	<b>Studii: 1/1 (ESTIMAT/REALIZAT)</b> • <u>un studiu privind influența surfactanților în procesul de măcinare mecanică asupra formei, dimensiunilor și proprietăților magnetice ale pulberilor pe bază de Fe</u> <b>Produce: 0/1 (ESTIMAT/REALIZAT)</b> • <u>particule magnetice <math>Fe_{76,2}Cr_{12,5}Nb_{0,3}B_{20}</math>, în formă de fulgi cu lungimi între 20 și 100 nm, grosimi între 5 și 20 nm și proprietăți magnetice favorabile aplicațiilor</u>	Faza nr. 16 / 2021

	în medicină (ex. tratamentul cancerului prin hipertermie)	
	<p><b>Produce: 1/1 (ESTIMAT/REALIZAT)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o instalație de atomizare gaz-lichid optimizată pentru prepararea de pulberi magnetice cu dimensiuni controlabile</li> </ul> <p><b>Materiale: 0/1 (ESTIMAT/REALIZAT)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>nanoparticule magnetice obținute prin atomizarea în jeturi de gaz și lichid, cu diametre între 200 și 400 nm și compozițiile nominale <math>Co_{68,25}Fe_{4,25}Si_{12,5}B_{15}</math> și <math>Fe_{73,5}Cu_3Nb_1Si_{13,5}B_9</math>, care pot fi utilizate pentru aplicații în industrie și medicină</li> </ul>	Faza nr. 17 / 2021
	<p><b>Materiale: 2/2 (ESTIMAT/REALIZAT)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>material magnetoelectric compozit laminat format din 2 tipuri de benzi <math>Fe_{79}Si_9B_{12}</math> (amorfe)/<math>Fe_{80,5}Ga_{19,5}</math> (policristaline) cu lățimea de 3 mm, suprapuse în rapoartele numerice 1:1, 3:3 și 6:6</li> <li>material magnetoelectric compozit laminat format din 2 tipuri de benzi <math>Fe_{79}Si_9B_{12}</math> (amorfe)/<math>Fe_{80,5}Ga_{19,5}</math> (policristaline) cu lățimea de 5 mm, suprapuse în rapoartele numerice 1:1, 3:3 și 6:6</li> </ul>	Faza nr. 9 / 2021
	<p><b>Metode: 0/1 (ESTIMAT/REALIZAT)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o metodă de incubare a celulelor tumorale și normale încărcate cu particule magnetice</li> </ul>	Faza nr. 18.1 / 2021
	<p><b>Produce: 1/1 (ESTIMAT/REALIZAT)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>un dispozitiv de incubare a culturilor celulare încărcate cu nanoparticule magnetice prevăzut cu sistem de ventilație controlat</li> </ul>	Faza nr. 18.2 / 2021
	<p><b>Metode: 1/1 (ESTIMAT/REALIZAT)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o metodă de evaluare a nivelului de zgomot magnetic intrinsec în senzori de tip flux-gate pe bază de materiale amorfe</li> </ul>	Faza nr. 19.1 / 2021
Proiect PN 19 28 01 02: Fenomene și procese fizice în materiale electromagnetice multifuncționale realizate prin suprapunerea de substraturi de metamateriale mecanice pentru construcția de senzori cu aplicații în monitorizarea structurilor complexe.	<p><b>Produce informatice: 1/1 (ESTIMAT/REALIZAT)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>un cod numeric optimizat pentru proiectarea ansamblului microstructural ME3Ms</li> </ul>	Faza nr. 4.1 / 2021
	<p><b>Modele experimentale/numerice/fizice: 1/1 (ESTIMAT/REALIZAT)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>un model geometric pentru proiectarea arhitecturilor CAD/CAM</li> </ul>	Faza nr. 4.2.1 / 2021

#### 4.2. Documentații, studii, lucrări, planuri, scheme și altele asemenea:

Tip	Nr. / Realizat în anul 2021
-----	-----------------------------

Documentații	- <u>9</u> rapoarte de fază
Studii	- <u>1</u> studiu experimental ( <u>1</u> a fost planificat)
Lucrări:	
• Articole	- <u>6</u> articole publicate/trimise spre publicare ( <u>4</u> au fost planificate) în reviste și proceeding-uri cotate ISI, din care <u>4</u> au fost publicate, <u>2</u> au fost trimise spre publicare;
• Lucrări științifice comunicate	- <u>1</u> articol acceptat pentru publicare ( <i>in press</i> ) într-o revistă BDI; - <u>1</u> articol aflat în stadiul final de redactare va fi trimis spre publicare într-o revistă cotate ISI, în perioada imediat următoare - <u>10</u> lucrări științifice comunicate ( <u>5</u> au fost planificate) la <u>7</u> manifestări științifice internaționale
Planuri	--
Scheme	--
Altele asemenea ( <i>se vor specifica</i> )	--

**Din care:**

**4.2.1. Lucrări științifice publicate/trimise spre publicare în jurnale cu factor de impact relativ ne-nul (2021): 7 articole, din care 4 publicate, 2 trimise spre publicare, 1 în faza de redactare**

Nr. Crt.	Titlul articolului	Numele Jurnalului, Volumul, pagina nr.	Nume Autori	Anul publicării	Scorul relativ de influență al articolului (AIS)	Numărul de citări ISI
1.	Magnetic Nanoparticles and Magnetic Field Exposure Enhances Chondrogenesis of Human Adipose Derived Mesenchymal Stem Cells But Not of Wharton Jelly Mesenchymal Stem Cells	FRONTIERS IN BIOENGINEERING AND BIOTECHNOLOGY 18 October 2021; <a href="https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.737132">https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.737132</a>	<b>Labusca L.;</b> <b>Herea D.D.;</b> <b>Minuti AE.;</b> <b>Stavila C.;</b> <b>Danceanu C.;</b> Plamadeala P.; <b>Chiriac H.;</b> <b>Lupu N.</b>	2021	1,45	--
2.	Underground Pipeline Identification into a Non-Destructive Case Study Based on Ground-Penetrating Radar Imaging	REMOTE SENSING Volume: 13 Issue: 17 Article Number: 3494 DOI: 10.3390/rs13173494 ISSN: eISSN: 2072-4292	<b>Iftimie N.;</b> <b>Savin A.;</b> <b>Steigmann R.;</b> <b>Dobrescu GS.</b>	2021	--	--
3.	High performance MM-FeCo-B spark plasma sintered magnets with nonmagnetic grain-boundary phase	INTERMETALLICS Volume: 135 Article Number: 107232	<b>Grigoras M.;</b> <b>Lostun M.;</b> <b>Stoian G.;</b> <b>Lupu N.;</b> <b>Borza F.</b>	2021	0,775	--

		DOI: 10.1016/j.in termet.2021.107 232				
4.	New aspects on the performance of a fundamental mode orthogonal fluxgate magnetometer based on amorphous wire cores	AIP ADVANCES Volume: 11 Issue: 1 Article Number: 015113 DOI: 10.1063/9.0 000146	<b>Tibu M.;</b> <b>Corodeanu S.;</b> <b>Hlenschi C.;</b> <b>Chiriac H.;</b> <b>Lupu N.</b>	2021	--	--
5.	Fe-Cr-Nb-B glassy powders obtained by high - energy ball milling of amorphous alloy ribbons <i>(trimis spre publicare)</i>	ISI journal	<b>Lostun M.;</b> <b>Grigoras M.;</b> <b>Ababei G.;</b> <b>Stoian G.;</b> <b>Chiriac H.;</b> <b>Lupu N.</b>	2022	--	--
6.	Tunnel magnetoresistance sensors for real time detection of magnetic nanoparticles <i>(trimis spre publicare)</i>	ISI journal	<b>Ghemes C.;</b> <b>Tibu M.;</b> <b>Dragos-Pinzaru O.;</b> <b>Lostun M.;</b> <b>Lupu N.;</b> <b>Chiriac H.</b>	2022	--	--
7.	Laminated magneto-electric composites for sensing applications <i>(în faza de redactare, pentru a fi trimis spre publicare)</i>	ISI journal	<b>Ababei G.;</b> <b>Lostun M.;</b> <b>Grigoras M.;</b> <b>Hlenschi C.;</b> <b>Chiriac H.;</b> <b>Lupu N.</b>	2022	--	--

#### 4.2.2. Lucrări/comunicări științifice la manifestări științifice (conferințe, seminarii, workshops, etc): 10

lucrări comunicate la 7 manifestări științifice internaționale

Nr. crt.	Titlul articolului <i>Manifestarea științifică</i>	Nume Autor	An apariție	Număr citări ISI
1.	Noninvasive evaluation of cultural and architectural heritage using electromagnetic adaptive sensors array <i>13<sup>th</sup> International Conference on Nondestructive Investigations and Microanalysis for the Diagnostics and Conservation of Cultural and Environmental Heritage, Art'21, virtual, 03-05 November 2021- Buenos Aires</i>	Facktorova D.; <b>Steigmann R.;</b> <b>Iftimie N.;</b> Ciobanu C.; Fabo P.; Ruch M; <b>Savin A.</b>	2021	--
2.	Electromagnetic adaptive sensors array for nondestructive testing of riveted joints	<b>Savin A.;</b> <b>Steigmann R.;</b> <b>Iftimie N.;</b> Stanciu M.D.; Facktorova D.	2021	--



	<i>9<sup>th</sup> International Conference on Computational Mechanics and Virtual Engineering, 21-23 October 2021, Brasov, Romania</i>			
3.	Nondestructive assesement of nanostructured materials based on reconfigurable design <i>9<sup>th</sup> International Conference on Computational Mechanics and Virtual Engineering, 21-23 October 2021, Brasov, Romania</i>	<b>Savin A.; Iftimie N.; Steigmann R.; Dobrescu G.S.; Mititelu I.</b>	2021	--
4.	Fe-Cr-Nb-B glassy powders obtained by high - energy ball milling of amorphous alloy ribbons <i>13<sup>th</sup> International Conference on Physics of Advanced Materials - ICPAM 13, 24 - 30 September, 2021, Sant Feliu de Guixols, Costa Brava, Spania (online)</i>	<b>Lostun M.; Grigoras M.; Ababei G.; Stoian G.; Chiriac H.; Lupu N.</b>	2021	--
5.	Laminated magneto-electric composites for sensing applications <i>13<sup>th</sup> International Conference on Physics of Advanced Materials - ICPAM 13, 24 - 30 September, 2021, Sant Feliu de Guixols, Costa Brava, Spania (online)</i>	<b>Ababei G.; Lostun M.; Grigoras M.; Hlenschi C.; Chiriac H.; Lupu N.</b>	2021	--
6.	Nondestructive evaluation of nanostructured components using eddy current microsensors <i>Innovative Manufacturing Engineering &amp; Energy International Conference, The 25th edition of IManEE 2021 International Conference , October 21- 23, 2021, Iasi, Romania</i>	<b>Iftimie N.; Steigmann R.; Facktorova D. and Savin A.</b>	2021	--
7.	Real time surveying using foldable architecture <i>Innovative Manufacturing Engineering &amp; Energy International Conference, The 25th edition of IManEE 2021 International Conference , October 21- 23, 2021, Iasi, Romania</i>	<b>Iftimie N.; Steigmann R. and Dobrescu G.S.</b>	2021	--
8.	Noninvasive evaluation of elastic properties for magnesium - calcium biodegradable alloys <i>ModTech2021 International Conference Modern Technologies in Industrial Engineering, June 23-26, 2021, Eforie Nord, Romania</i>	<b>Savin A.; Steigmann R.; Craus M.L.; Stanciu M.D.; Istrate B. and Munteanu C.</b>	2021	--

9.	Tunnel magnetoresistance sensors for real time detection of magnetic nanoparticles <i>INTERMAG 2021 Conference, 26-30 aprilie, 2021, Lyon, Franța</i>	<b>Ghemes C.; Tibu M.; Dragos-Pinzaru O.; Lostun M.; Lupu N.; Chiriac H.</b>	2021	--
10.	Nanocrystalline magnetic powders prepared by a three jet atomization technique <i>Joint European Magnetic Symposia - JEMS 2020 virtual conference, 7-11 decembrie 2020, Lisabona, Portugalia</i>	<b>Borza F.; Murgulescu I.; Grigoraș M.; Lupu N.; Chiriac H.</b>	2020	--

#### 4.2.3. Lucrări publicate în alte publicații relevante: 1 articol

Nr. Crt.	Titlul articolului	Numele Jurnalului, Volumul, Pagina nr.	Nume Autor	Anul publicării
1.	Real time surveying using foldable architecture <i>(in press)</i>	ImanEE 2021 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	<b>Iftimie N.; Steigmann R.; Dobrescu G.S.</b>	2021

#### 4.2.4. Studii, Rapoarte, Documente de fundamentare sau monitorizare care:

##### a) au stat la baza unor politici sau decizii publice:

Tip document	Nr. total	Publicat în:
Hotărâre de Guvern		
Lege		
Ordin ministru		
Decizie președinte		
Standard		
Altele ( <i>politici de cercetare</i> )		

##### b) au contribuit la promovarea științei și tehnologiei - evenimente de mediatizare a științei și tehnologiei:

Tip eveniment	Nr. apariții	Nume eveniment:
web-site		
Emisiuni TV		
Emisiuni radio		
Presă scrisă/ electronică	<b>1</b>	<b>1</b> articol - aprobat pentru publicare în revista MarketWatch (numărul din decembrie 2021)
Cărți		
Reviste		
Bloguri		
Altele <i>(Participarea la Târguri și expoziții)</i>	<b>3</b>	<b>Salonul Internațional al Inovării și Cercetării Științifice Studentești "Cadet INOVA'21" Academia Forțelor Terestre "Nicolae Bălcescu" Sibiu, 15-17 Aprilie 2021 (on-line):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 Medalii de Aur, cu felicitările Juriului</li> <li>• 1 Medalie de Argint, cu felicitările Juriului</li> <li>• Premiul Oficiului de Stat pentru Invenții și Mărci</li> </ul>

		<p><b>Salonul Internațional de Inventică și Educație Creativă pentru Tineret ICE-USV (Innovation and Creative Education Fair for Youth), Suceava, 28-29 Mai 2021 (on-line):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Medalie de Aur</li> <li>• 1 Medalie de Argint</li> </ul> <p><b>A XIX-a ediție a Salonului Cercetării Științifice, Inovării și Inventicii - PRO INVENT 2021, Cluj - Napoca, 20-22 octombrie 2021 (on-line):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 Medalii de Aur</li> <li>• Premiul Filialei Cluj-Napoca a "Academiei de Științe Tehnice" din România.</li> </ul>
--	--	--

#### 4.3. Tehnologii, procedee, produse informatice, rețele, formule, metode și altele asemenea:

Tip	Anul 2021
Tehnologii	--
Procedee	--
Produse informatice	<u>2</u> produse informatice ( <u>2</u> au fost planificate), din care <u>1</u> cod numeric optimizat și <u>1</u> model geometric
Rețele	--
Formule	--
Metode	<u>2</u> metode ( <u>una</u> a fost planificată)
Altele asemenea (se vor specifica)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produse/materiale</li> </ul>	<u>7</u> materiale /produse ( <u>5</u> au fost planificate), din care <u>4</u> noi tipuri de materiale magnetice/magneto-electrice, <u>1</u> tip de senzor, <u>0</u> instalație de atomizare gaz - lichid optimizată, <u>1</u> dispozitiv de incubare a culturilor celulare

#### Din care:

##### 4.3.1 Propuneri de brevete de invenție, certificate de înregistrare a desenelor și modelelor industriale și altele asemenea: 4 cereri de brevete de invenție înregistrate la OSIM

	Nr. cereri brevete / brevete acordate	Anul înregistrării / acordării	Inventatorul(ii)	Titlul cererii de brevet / brevetului
OSIM	O cerere de brevet de invenție	Cerere brevet de invenție nr. RO 134620 - A2	MURGULESCU Iulian Ioan, CHIRIAC Horia, LUPU Nicoleta	Procedeu și dispozitiv de atomizare pentru obținerea materialelor magnetice amorfe sub formă de pulberi micronice
OSIM	O cerere de brevet de invenție	Cerere brevet de invenție nr. RO134632-A0	HEREA Dumitru-Daniel, CHIRIAC Horia, LUPU Nicoleta	Metodă de preparare de nanoparticule magnetice pe bază de magnetită și oxihidroxid de fier

OSIM	O cerere de brevet de invenție	Cerere brevet de invenție nr. RO134811-A0	HEREA Dumitru-Daniel, CHIRIAC Horia, LUPU Nicoleta	Metodă de preparare a unui imunogen bazat pe nanoparticule de aur pentru realizarea de vaccinuri împotriva coronavirusurilor de tip SARS-CoV-2
OSIM	O cerere de brevet de invenție	Cerere brevet de invenție nr. RO134902-A2	HEREA Dumitru-Daniel, LĂBUȘCĂ Luminița	Recipient termoizolat pentru incubarea culturilor celulare

#### 4.4. Structura de personal:

Personal CD (Nr.)	Anul - 2021
Total personal	73
Total personal CD	40
cu studii superioare	40
cu doctorat	32
doctoranzi	5

#### 4.4.1 Lista personalului de cercetare care a participat la derularea Programului-nucleu:

Nr. crt.	Nume și prenume	Grad	Funcția	Echivalent normă întreagă	Anul angajării	Nr. ore lucrate/an
1	Ababei Gabriel	CS II	Responsabil fază	9,73	2004	1.648
2	Bărbieru Constantin	Muncitor calif.	Participant	1,13	1979	192
3	Borhan Adrian-Iulian	ACS	Participant	6,09	2018	1.032
4	Borza Firuța	CS I	Participant	6,51	1986	1.103
5	Buema Gabriela	ACS	Participant	7,46	2018	1.264
6	Buzea Călin	CS I	Participant	1,96	1991	332
7	Ciobanu Catalin	ACS stagiar	Participant	7,86	2020	1.331
8	Cîșlaru Laurențiu	Inginer	Participant	10,35	1988	1.752
9	Cojocaru Cristina	Economist	Participant	6,84	2006	1.158
10	Corodeanu Cristina	Fizician	Participant	7,72	2003	1.308
11	Corodeanu Sorin	CS II	Responsabil fază	5,86	2003	992
12	Damian Alina	ACS	Participant	9,40	2011	1.592
13	Darie Iulian**	CS III	Participant	5,41	2003	916
14	Dobrea Viorel	CS III	Participant	9,83	1986	1.664
15	Dobrescu Gabriel	Inginer	Participant	9,19	2010	1.556
16	Dragoș-Pînzaru Oana	CS III	Participant	10,77	2007	1.824
17	Duță Sergiu	Tehnician	Participant	1,37	1986	232
18	Găburici Maria	CS III	Participant	1,37	2009	232

19	Ghemeș Crina	CS III	Responsabil faza	10,87	2014	1.840
20	Ghemeș Iulian-Adrian	CS III	Participant	7,89	2014	1.336
21	Ghercă Daniel	ACS	Participant	7,46	2019	1.264
22	Grigoraș Marian	CS II	Participant	4,35	2002	736
23	Grigoraș Mihaela	CS III	Responsabil faza	5,86	2005	992
24	Herea Daniel	CS III	Responsabil faza	6,87	2001	1.164
25	Hlenschi Costică	ACS	Participant	6,94	2010	1.176
26	Iftimie Nicoleta	CS III	Participant	9,59	2001	1.624
27	Lăbușcă Luminița	CS III	Participant	3,52	2015	596
28	Loiso Adrian	Inginer specialist	Participant	0,66	1984	112
29	Mihai Marius-Mugurel	ACS	Participant	6,09	2018	1.032
30	Minuti Anca	ACS	Participant	4,58	2018	776
31	Mititelu Ionut	ACS stagiar	Participant	8,29	2020	1.403
32	Mocanu Alexandru	Inginer	Participant	7,37	2005	1.248
33	Mocanu Manuela	Inginer	Participant	7,13	1999	1.208
34	Mohorianu Sergiu	CS III	Participant	11,29	1985	1.912
35	Murgulescu Iulian	CS III	Responsabil faza	4,84	2012	820
36	Nuțu Carmen	Subinginer	Participant	4,87	1986	824
37	Óvári Tibor-Adrian	CS I	Participant	0,85	1993	144
38	Pascalu Mircea	Tehnician	Participant	1,23	2001	208
39	Porcescu Marieta	Inginer	Participant	10,61	1985	1.796
40	Răcilă Luiza	ACS	Participant	7,18	2012	1.216
41	Roman Tiberiu	ACS	Participant	6,92	2018	1.172
42	Rosu Tudor	Ec.	Participant	3,26	2002	552
43	Rotărescu Nicolae-Cristian	CS	Participant	8,55	2012	1.448
44	Savin Adriana	CS II	Responsabil proiect/fază	2,79	1985	472
45	Steigmann Rozina	CS	Participant	9,59	2000	1.624
46	Stoian George	CS III	Participant	10,20	2006	1.728
47	Stoica Remus	Tehnician	Participant	9,54	1985	1.616
48	Surdu Georgiana	Resp. achizitii	Participant	10,51	2007	1.779
49	Tînjală Constantin	Muncitor	Participant	0,05	2000	8
50	Țibu Mihai	CS III	Responsabil faza	8,22	2001	1.392
51	Țugui Cătălin	Inginer	Participant	4,92	2015	833
52	Ureche Oana	Tehnician	Participant	5,32	2006	901
53	Urse Maria	CS II	Participant	3,24	1976	548
54	Zară Camelia	ACS	Participant	11,29	2012	1.912

\*Numărul de ore lucrate în anul 2021.

**4.5. Infrastructuri de cercetare rezultate din derularea programului-nucleu. Obiecte fizice și produse realizate în cadrul derulării programului; colecții și baze de date conținând înregistrări analogice sau digitale, izvoare**

**istorice, eşantioane, specimene, fotografii, observații, roci, fosile și altele asemenea, împreună cu informațiile necesare arhivării, regăsirii și precizării contextului în care au fost obținute:**

Nr. Crt.	Nume infrastructură / obiect / bază de date	Data achiziției	Valoarea achiziției (lei)	Sursa finanțării	Valoarea finanțării din bugetul Programului-Nucleu (lei)	Nr. ore-om de utilizare a infrastructurii pentru Programul-Nucleu
1.	Calculator Dell Optiplex 3080 Tower - Monitor Led Aoc X24p1 - Licenta Office Home And Business 2021	26.11.2021	7500	PN 19 28 01 01	7500	85%
2.	Calculator Dell Optiplex 3080 (1 buc) - Licenta Office Home and bussines 2019 (1 buc) - Monitor Philips 21,5" (1 buc)	11.08.2021	5775	PN 19 28 01 01	5775	90%
3.	Laptop Dell Vostro 3500 (1 buc) - Licenta Office Home and bussines 2019 (1 buc)	11.08.2021	5225	PN 19 28 01 01	5225	80%

**5. Rezultatele Programului-nucleu au fundamentat alte lucrări de cercetare: 31 propuneri de proiecte, din care 29 propuneri de proiecte naționale și 2 propuneri de proiecte internaționale/europene**

Propuneri proiecte	Nr.	Tip
Proiecte internaționale	2	<b><u>2 propuneri de proiecte internaționale /europene</u></b> din care, o <u>propunere de proiect</u> , depusă la competiția EURONANOMED III JOINT TRANSNATIONAL CALL FOR PROPOSALS (2021), <u>a fost aprobată pentru finanțare</u>
Proiecte naționale	29	<p>Proiecte de cercetare în programe ale Planului național PN III:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Programul P1- Dezvoltarea sistemului national de CD; Performanță instituțională - Competiția 2021 - <b><u>o propunere de proiect (a fost aprobată pentru finanțare)</u></b></li> <li>✓ Programul P1- Dezvoltarea sistemului national de CD; Resurse umane, Proiecte de cercetare pentru stimularea tinerelor echipe independente (TE) - Competiția 2021 (în evaluare) - <b><u>4 propuneri de proiecte</u></b></li> <li>✓ Programul P2 - Creșterea competitivității economiei românești prin prin cercetare, dezvoltare și inovare; Proiect experimental demonstrativ (PED) - Competiția 2021 (în evaluare) - <b><u>17 propuneri de proiecte</u></b></li> <li>✓ Program P4 - Cercetare fundamentală și de frontieră, Proiecte de cercetare exploratorie (PCE) - Competiția 2021 (în evaluare) - <b><u>7 propuneri de proiecte</u></b></li> </ul>

**6. Rezultate transferate în vederea aplicării:** 4 tipuri de materiale magnetice speciale, livrate pe bază de comenzi la beneficiari din țară și străinătate

Tip rezultat	Instituția beneficiară	Efecte socio-economice la
Fire magnetice amorfe CoFeSiB, cod 1173A	NDI Europe GmbH, Germania	Lărgirea gamei de produse ,high tech' realizate
Fire magnetice amorfe CoFeSiB, cod 791	Isorad Ltd., Israel	
Fire magnetice amorfe FeCuNbSiB, cod 2253	Universitatea Tehnică din Praga, Republica Cehă	
Fire magnetice amorfe CoFeSiB, cod 1173 A	Sasada Magnetics and Sensors Laboratory, Japonia	
Fire magnetice amorfe FeSiB, cod 851	Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, România	

**7. Alte rezultate:**

Nu este cazul.

**8. Aprecieri asupra derulării programului și propuneri:**

Rezultatele obținute în anul 2021 în cadrul celor 2 proiecte componente ale programului-Nucleu MAGNA2022 au fost următoarele:

**Articole / lucrări științifice comunicate / brevete:**

- 6 articole publicate/trimise spre publicare (4 au fost planificate) în reviste și proceeding-uri cotate ISI, din care 4 publicate, 2 trimise spre publicare;
- 1 articol acceptat pentru publicare (in press) într-o revistă BDI;
- 1 articol aflat în stadiul final de redactare va fi trimis spre publicare într-o revistă cotate ISI în perioada imediat următoare;
- 10 lucrări științifice comunicate (5 au fost planificate) la 7 manifestări științifice internaționale;
- 4 cereri de brevete de invenție naționale (2 au fost planificate);

**Documentații, studii, lucrări, planuri, și altele asemenea:**

- 9 rapoarte de fază (9 au fost planificate);
- 1 studiu experimental (1 a fost planificat);
- 2 metode (una a fost planificată).

**Materiale/Produce (inclusiv informatice):** 8 (4 tipuri de materiale noi și 4 produse, din care 2 informatice) (6 au fost planificate)

- particule magnetice  $Fe_{76,2}Cr_{12,5}Nb_{0,3}B_{20}$ , în formă de fulgi cu lungimi între 20 și 100 nm, grosimi între 5 și 20 nm și proprietăți magnetice favorabile aplicațiilor în medicină (ex. tratamentul cancerului prin hipertermie);
- nanoparticule magnetice cu diametre între 200 și 400 nm și compozițiile nominale  $Co_{68,25}Fe_{4,25}Si_{12,5}B_{15}$  și  $Fe_{73,5}Cu_3Nb_1Si_{13,5}B_9$ , obținute prin atomizare cu jeturi de gaz și lichid;
- material magnetoelectric compozit laminat format din benzi  $Fe_{79}Si_9B_{12}$  (amorfe)/ $Fe_{80,5}Ga_{19,5}$  (policristaline) cu lățimea de 3 mm, suprapuse;
- material magnetoelectric compozit laminat format din benzi  $Fe_{79}Si_9B_{12}$  (amorfe)/ $Fe_{80,5}Ga_{19,5}$  (policristaline) cu lățimea de 5 mm, suprapuse;
- o instalație de atomizare gaz-lichid optimizată pentru prepararea de pulberi magnetice cu dimensiuni controlabile, pentru aplicații în industrie și medicină;
- 1 dispozitiv de incubare a culturilor celulare încărcate cu nanoparticule magnetice, prevăzut cu sistem de ventilație controlat;
- 1 cod numeric optimizat pentru proiectarea ansamblului microstructural ME3Ms;
- 1 model geometric pentru proiectarea arhitecturilor CAD/CAM.

**Livrări de materiale / servicii:**

- **4** tipuri de fire magnetice amorfe livrate pe bază de comenzi, în străinătate: la **2** agenți economici, **1** laborator specializat pe realizarea de senzori și la **0** universitate și în țară, la **0** universitate; - morfologice și structurale prin tehnicile: EDX, UHR-TEM, HR-SEM, XRD, SAED; lamele pentru analize TEM) realizate pentru beneficiari din țară.

**Participarea la evenimente de promovare a științei și tehnologiei:** Participarea la **3** Saloane de invenție, desfășurate on-line, unde au fost obținute următoarele premii:

- **5** Medalii de Aur;
- **2** Medalii de Argint;
- **2** Premii speciale (Premiul Oficiului de Stat pentru Invenții și Mărci; Premiul Filialei Cluj-Napoca a "Academiei de Științe Tehnice" din România).

O parte din activitățile de cercetare din cadrul programului-Nucleu **MAGNA2022** au constituit tematici științifice pentru **referatele de doctorat** susținute de **5** tineri doctoranzi, angajați ai INCDFI-IFT Iași, dintre care, **1** doctorand și-a susținut public **teza de doctorat** în anul 2021.

Activitățile de cercetare-dezvoltate din cadrul proiectelor din programul-Nucleu **MAGNA2022** au condus la deschiderea de noi direcții de cercetare științifică și tehnologică, în domenii precum: Eco-Nano-Tehnologii și Materiale Avansate; Energie, Mediu și Schimbări Climatice; Bioeconomie; Tehnologia Informației și a Comunicațiilor, Spațiu și Securitate; Sănătate, care au constituit tematici pentru propuneri noi de proiecte de cercetare cu care institutul a participat la competițiile organizate în programe de cercetare naționale și internaționale. În anul 2021, institutul a participat cu **2** propuneri de proiecte de cercetare la competiții europene și internaționale (**1** proiect a fost aprobat pentru finanțare) și cu **29** propuneri de proiecte de cercetare la competiții naționale organizate în cadrul Planului național PN III (**1** proiect a fost aprobat pentru finanțare; **28** propuneri de proiecte sunt în faza de evaluare).

**DIRECTOR GENERAL,**  
Dr. Nicoleta LUPU

**DIRECTOR DE PROGRAM,**  
Prof. Dr. Horia CHIRIAC

**DIRECTOR ECONOMIC INTERIMAR,**  
Ec. Manuela MOCANU