

Contractor: .....

Cod fiscal : (anexa la procesul verbal de avizare interna nr. ....)

De acord,  
DIRECTOR GENERAL  
Dr. Ing. Sergiu Nicolaie

Avizat,  
DIRECTOR DE PROGRAM  
Dr. Ing. Georgeta Alecu

## RAPORT DE ACTIVITATE AL FAZEI

Contractul nr.: 35N/2018

Proiectul: PN18240302 *“Structuri complexe dedicate ecranarii electromagnetice - ecrane cu atenuare controlata pentru spectru extins de frecvente”*

Faza: nr. 1/2018, *“Studiu documentar ecrane electromagnetice compozite/multistrat si transparente optic si aerodinamic”*

Termen: 15.05.2018

### 1. Obiectivul proiectului:

Obiectivul principal al proiectului este dezvoltarea de materiale compozite usoare, obtinute prin tehnologii noi si emergente, cu proprietati de ecranare electromagnetica controlabile/selective de pana la 18 GHz, inclusiv materiale transparente optic si aerodinamic.

### 2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului:

- studiu documentar privind ecrane electromagnetice compozite/multistrat si transparente optic si aerodinamic;
- model experimental de material metalic/oxid metalic nanostructurat obtinut prin sinteza chimica: dimensiunea medie a particulei <100nm, puritate >98%;
- model experimental de material netesut compozit polimeric cu proprietati de ecranare selectiva de pana la 18 GHz;
- obtinere de ecrane electromagnetice transparente optic si aerodinamic avand ca precursor tehnologia 3D Printing;
- atenuare electromagnetica a ecranelor obtinute  $SE_{dB} = 50 - 100$  dB in gama de frecvente 10 MHz – 18 GHz.

### 3. Obiectivul fazei:

Realizarea unui studiu documentar privind ecranele electromagnetice compozite/multistrat si transparente optic si aerodinamic.

### 4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei:

- prezentarea aspectelor teoretice ale ecranarii electromagnetice a panourilor formate din ghiduri de unda;
- evaluarea influentei dimensiunilor si numarului ghidurilor de unda precum si a dimensiunii panourilor asupra eficacitatii ecranarii electromagnetice (SE);
- determinarea efectului grosimii stratului conductiv asupra SE in cazul panourilor de ghiduri de unda realizate dintr-un material dielectric si acoperite cu un strat conductiv;
- prezentarea principiului general de realizare a ecranelor electromagnetice transparente optic si aerodinamic folosind tehnologia *3D printing*;
- prezentarea aspectelor teoretice pentru eficacitatea ecranarii electromagnetice a ecranelor plane – dependenta de parametrii de material  $\epsilon$ ,  $\mu$ ,  $\sigma$ ;
- evaluarea efectelor dimensiunii particulelor asupra permeabilitatii pentru materiale de umplutura magnetice;
- prezentarea stadiului actual in ceea ce priveste materialele compozite hibride utilizate in aplicatii de ecranare electromagnetica.

### 5. Rezumatul fazei: (maxim 5 pagini)

Obiectivul principal al acestei etape a constat in realizarea unui studiu documentar privind ecranele electromagnetice compozite/multistrat si transparente optic si aerodinamic.

In ceea ce priveste ecranele electromagnetice transparente optic si aerodinamic, studiul prezinta teoria ecranarii electromagnetice a panourilor formate din ghiduri de unda, rezultatele unor studii privind influenta numarului de ghiduri de unda ( $n$ ) asupra eficacitatii ecranarii electromagnetice (SE) si influenta asupra SE a grosimii stratului de material conductiv in cazul ecranelor realizate prin acoperirea panourilor perforate din materiale dielectrice cu un strat de material conductiv, precum si aspecte referitoare la realizarea practica a ecranelor electromagnetice transparente optic si aerodinamic avand ca precursor tehnologia de imprimare tridimensionala (*3D printing*).

Eficacitatea ecranarii electromagnetice a panourilor de ghiduri de unda este data in principal de atenuarea electromagnetica a ghidului de unda unitar al panoului, care depinde de dimensiunea sa transversala ( $a$ ) si de lungimea ( $t$ ) sa (care este de fapt grosimea panoului de ghiduri de unda). La atenuarea ghidului de unda se adauga contributia numarului de ghiduri de unda ( $n$ ) din panou.

Pentru analiza panourilor infinite formate din ghiduri de unda cu pereti paraleli se foloseste metoda Wiener-Hopf. Primul termen al ecuatiilor furnizate de metoda Wiener-Hopf reprezinta SE a celulei unitare de ghid de unda iar termenii al doilea si al treilea reprezinta SE a unui panou infinit de ghiduri de unda cu pereti paraleli. Studiile efectuate in cazul panourilor infinite formate din ghiduri de unda cu geometrie hexagonala, releva o neconcordana in zona frecventelor joase intre datele numerice obtinute prin simulare prin metoda elementelor finite (FEM) si atenuarea obtinuta din

ecuatia data de metoda Wiener-Hopf pentru geometria hexagonala. Astfel, pentru a aproxima mai bine comportamentul din zona frecventelor joase, ecuatia a fost modificata prin adaugarea unui termen suplimentar.

Influenta numarului de ghiduri de unda asupra  $SE$  a fost evaluata intr-un studiu care a constatat in proiectarea si simularea in domeniul FEM a diverse structuri fagure cu  $n$ -uri diferite. Concluzia acestui studiu este ca  $SE$  este aproape independenta de numarul de ghiduri de unda  $n$ ; depinde in primul rand de dimensiunea transversala si lungimea fiecarui ghid de unda.

In cazul panourilor de ghiduri de unda realizate din materiale dielectrice si acoperite cu un strat metalic, studiul efectuat de Xiao Li arata ca performantele de ecranare ale panoului cu acoperire metalica sunt mai scazute in zona frecventelor joase si fata de cele ale unui panou de ghiduri de unda realizat in intregime din acelasi metal. Totusi, s-a observat ca la cresterea grosimii stratului metalic de la  $2\ \mu\text{m}$  la  $4\ \mu\text{m}$ ,  $SE$  nu s-a modificat ceea ce arata faptul ca  $SE$  nu va fi afectata nici in cazul in care grosimea stratului metalic depaseste adancimea sa de patrundere.

In practica, panourile de ghiduri de unda sunt folosite ca panouri de ventilare si au mai multe denumiri: panouri de ventilare de tip ghid de unda, panouri de ventilare de tip honeycomb (fagure) sau panouri de ventilare ecranate. Cea mai frecventa forma constructiva de panou de ventilare fagure este din otel sau alama acoperit cu cositor (hot solder plated). Sunt disponibile panouri de pana la  $0.6 \times 0.9\ \text{m}$ . Trei forme diferite de panouri de ventilare sunt disponibile, in functie de tipul de ecran care se instaleaza. Cea mai frecventa este fagurele de otel cu celule de  $4.7$  sau  $3.2\ \text{mm}$ , cu grosime de  $25.4\ \text{mm}$ . Acesta este lipit intr-un panou de ecranare sau montat intr-o rama. Pentru o dimensionare mai precisa, la proiectarea acestor dispozitive, ar trebui luate in considerare si datele privind scaderea presiunii aerului. Pe langa aer, panourile de tip fagure permit si trecerea luminii. Experimente preliminare realizate in cadrul institutului nostru au aratat o transparenta la radiatia luminoasa de peste  $35\%$  la incidenta normala pentru un panou de tip fagure cu ghiduri de unda cu dimensiune  $a \approx 2.5\ \text{mm}$  si cu grosime  $t = 15\ \text{mm}$ .

Pentru obtinerea ecranelor electromagnetice transparente optic si aerodinamic, proiectul se bazeaza pe o idee originala, o noutate absoluta pe plan international, care permite realizarea de placi si/sau incinte ecranate electromagnetic in diferite game de frecvente folosind ca precursor tehnologia de imprimare tridimensionala (3D printing, additive manufacturing). Ideea consta in realizarea de panouri de tip fagure (perforate) folosind tehnologia de imprimare 3D si apoi acoperirea lor cu un strat de material conductiv cu parametri superiori, intr-un strat foarte subtire, astfel incat sa se obtina un panou de ghiduri de unda. Materialele care pot fi folosite pentru realizarea panourilor perforate prin imprimare 3D sunt: ABS-M30, Nylon 12 sau policarbonat. Stratul de material conductiv pentru acoperirea panourilor perforate se va obtine prin aplicarea unei vopsele conductive pe baza de argint.

Referitor la ecranele electromagnetice compozite, in cadrul acestei prime etape de cercetare a proiectului au fost realizate studii documentare in scopul determinarii materialelor componente necesare pentru obtinerea compozitelor care pot fi utilizate in

aplicatii de ecranare electromagnetica. In ultimii ani, o atentie deosebita a fost atribuita cercetarilor nanocompozitelor hibride cu proprietati magnetice si electrice pentru aplicatii in domeniile industriale si academice. De exemplu, nanocompozitele cu polimeri conductori si nanoparticulele magnetice sunt printre materialele cele mai studiate pentru absorbtia microundelor si ecranare electromagnetica. Dezvoltarea extensiva a dispozitivelor electronice, precum si utilizarea intensa a undelor electromagnetice a condus la necesitatea unor ecrane adecvate pentru protectia impotriva acestor unde electromagnetice.

In acest sens, un material compozit se poate realiza utilizand pe langa polimerii organici necesari pentru obtinerea proprietatilor mecanice, si a polimerilor cu proprietati electrice, de exemplu polimerii conductivi. Prin folosirea acestora se obtine un material compozit cu proprietati electrice imbunatatite. Cei mai utilizati polimeri conductivi sunt: polipirolul, poli (3-4 etilendioxitiofen), polianilina.

O alternativa pentru polimerii conductivi o constituie nanoparticulele metalice si carbonice. Pentru cele doua tipuri de materiale, in literatura de specialitate a fost raportat faptul ca ecranarea electromagnetica este imbunatatita odata cu prezenta conductivitatii electrice. Materialele utilizate cel mai des sunt: nichelul, argintul, cuprul, iar dintre materialele carbonice: nanotuburi de carbon si negru de fum.

De asemenea, se mai pot utiliza ca materiale de umplutura cu proprietati magnetice, particulele magnetic moi, caracterizate de permeabilitate magnetica, particule ce pot fi combinate cu polimeri. Nanoparticulele magnetice pe baza de fier si oxid de fier prezinta proprietati magnetice remarcabile: rezistivitate electrica ridicata si stabilitate chimica. Totusi, pentru a putea folosi nanoparticule magnetice in prepararea compozitelor magnetice eficiente, ar trebuie sa fie controlat contactul fizic intre particule. Prin urmare, atat dimensiunea, cat si forma nanoparticulelor, precum si agregarea lor in interiorul matricii sunt factori care trebuie luati in considerare cu mare atentie la proiectarea compozitelor magnetice pentru aplicatii in domeniul ecranarii radiatiilor electromagnetice.

In general, nanocompozitele hibride pot fi obtinute, in functie de utilizarea lor finala, prin incorporarea nanoparticulelor magnetice in matrici de polimeri conductivi sau prin incapsularea nanoparticulelor pentru obtinerea sistemelor core-shell. In plus, proprietatile finale ale materialelor hibride nu depind numai pe proprietatile componentelor, ci si de compozitia compozitului si de dispersabilitatea nanoparticulelor in matricea polimerica, de omogenitatea nanocompozitului si de interactiunile dintre componente.

**6. Rezultate, stadiul realizării obiectivului fazei, concluzii și propuneri pentru continuarea proiectului** (se vor preciza stadiul de implementare a proiectului, gradul de indeplinire a obiectivului cu referire la tintele stabilite si indicatorii asociati pentru monitorizare si evaluare).

In cadrul acestei etape a fost realizat un vast studiu documentar in ceea ce priveste problematica ecranelor electromagnetice compozite/multistrat si transparente optic si aerodinamic.

### **Mecanismele care contribuie la atenuarea radiatiei electromagnetice**

Atenuarea unui ecran electromagnetic rezulta din trei mecanisme (Fig. 1):

- reflexia la prima interfata datorita diferentei de impedanta la frontiera aer-metal.
- absorbtia radiatiei in materialul ecranului (transformare in caldura).
- reflexiile repetate in interiorul ecranului.

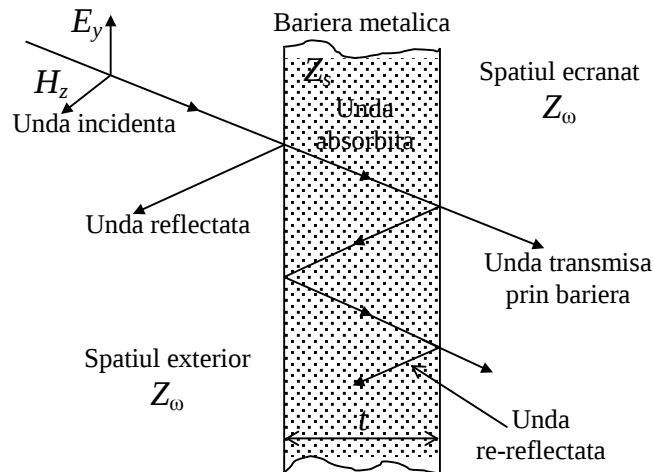


Fig. 1. Mecanismele care contribuie la atenuarea radiatiei electromagnetice

Prima reflexie reprezinta „pierderile prin unica reflexie”,  $R$ . Absorbția în ecran este notată cu  $A$  și reflexiile ulterioare conduc la un “termen de corecție pentru reflexiile multiple”,  $B$ .  $B$  este semnificativ numai dacă  $A \leq 15$  dB. Astfel, eficacitatea ecranării  $SE$  este:

$$SE = R + A + B$$

#### **Reflexia**

Pierderile prin reflexie depind atât de impedanța de suprafață a ecranului  $Z_s$  cât și de impedanța de undă  $Z_0$  care depinde de tipul sursei (electrică sau magnetică) și de distanța de la sursă la ecran (zonă Fresnel respectiv Fraunhofer).

$$Z_s = [j\omega\mu(\sigma + j\omega\mu)]^{1/2} \Omega$$

unde:  $\omega$  – frecvența unghiulară a radiației electromagnetice;  $\mu$  – permeabilitatea materialului ecranului;  $\sigma$  – conductivitatea materialului ecranului.

În general, pierderile prin reflexia la prima interfață a ecranului sunt date de relația:

$$R = 20 \log_{10} \left[ \frac{(Z_s + Z_0)^2}{4 \cdot Z_s \cdot Z_0} \right] \text{ dB}$$

În cazul undelor plane (câmp departat),  $R$  este dat de relația:

$$R = 108.1 - 10 \log_{10} \left( \frac{\mu_r f_{\text{MHz}}}{\sigma_r} \right) \text{ dB}$$

unde:  $\mu_r$  – permeabilitatea relativă a materialului ecranului;  $f_{\text{MHz}}$  – frecvența radiației electromagnetice în MHz;  $\sigma_r$  – conductivitatea relativă a materialului ecranului.

#### Absorbția

Pierderile prin absorbție depind de constanta de atenuare  $\alpha = \sqrt{\pi f \mu \sigma}$ . Pierderile prin absorbție sunt date de:

$$A = 1314.3 \cdot t \cdot (f \cdot \mu_r \cdot \sigma_r)^{1/2} \text{ dB}$$

unde:  $t$  – grosimea ecranului în cm,  $f$  – frecvența în MHz,  $\mu_r$  – permeabilitatea relativă,  $\sigma_r$  – conductivitatea relativă la cea a cuprului.

#### Reflexiile interne multiple (re-reflexia)

Atunci când o undă lovește o barieră metalică, o parte din energie trece prin bariera iar o altă parte este reflectată. Acest lucru se întâmplă și la ieșirea din bariera. Astfel, în interiorul barierei vor exista reflexii multiple. Aceste reflexii pot fi neglijate atunci când pierderile prin absorbție depășesc 15 dB. Conform datelor din literatură, acesta este cazul majorității materialelor la frecvențe de peste 1 MHz. Astfel, din motive practice, în majoritatea cazurilor de ecranare este necesar să se calculeze doar pierderile prin reflexie și absorbție.

#### Eficacitatea ecranării electromagnetice a ghidurilor de undă

Existența unor gauri sau fante (mici aperturi) într-un ecran electromagnetic conduce la radiații sau scurgeri a căror magnitudine poate reduce eficacitatea ecranării ecranului. În cazul special în care apertura este mică din punct de vedere al lungimii de undă și are o oarecare lungime, poate să apară o eficacitate a ecranării (atenuare) ridicată. Acest lucru este folosit la proiectarea ghidurilor de undă și a ecranelor electromagnetice folosite ca panouri de ventilare ecranate la ecranarea incintelor.

Eficacitatea ecranării electromagnetice (SE) a unui ghid de undă depinde de dimensiunea sa transversală ( $a$ ) și de lungimea sa ( $t$ ). Tabelul 1 prezintă ecuațiile eficacității ecranării electromagnetice pentru ghidurile de undă dreptunghiular, circular și hexagonal (Fig. 2), așa cum se găsesc în literatura de specialitate.

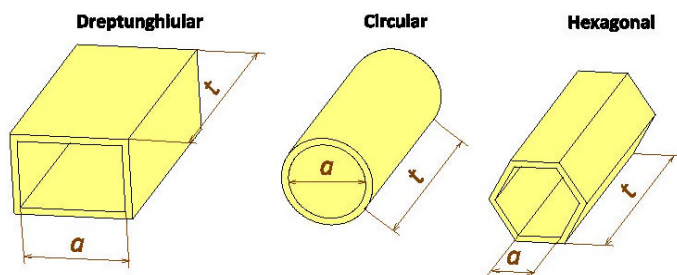


Fig. 2. Ghiduri de undă cu geometrii obisnuite

Tabel 1. Ecuatiile  $SE_{dB}$  pentru diverse ghiduri de unda

| Dreptunghiular                                                               | Circular                                                                      | Hexagonal                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| $SE_{dB} = 27.3 \frac{t}{a} \sqrt{1 - \left( \frac{af_o}{150000} \right)^2}$ | $SE_{dB} = 31.95 \frac{t}{a} \sqrt{1 - \left( \frac{af_o}{175800} \right)^2}$ | $SE_{dB} = 17.5 \frac{t}{a} \sqrt{1 - \left( \frac{af_o}{96659} \right)^2}$ |

In relatiile din Tabelul 1,  $t$  si  $a$  sunt in mm iar  $f_o$  in MHz.

### **Eficacitatea ecranarii electromagnetice a panourilor de ghiduri de unda**

In cazul unei matrici de ghiduri de unda cum ar fi o fereastră de ventilare de tip fagure (honeycomb), ca cea din Fig. 3, eficacitatea ecranarii electromagnetice este data de relatia:

$$SE_{dB} = 27.27 \frac{t}{a} - 20 \log_{10}(n)$$

unde  $n$  este numarul de celule (numarul de ghiduri de unda) dintr-o lungime de unda la patrat sau din cadrul ferestrei de ventilare, care dintre ele este mai mica.

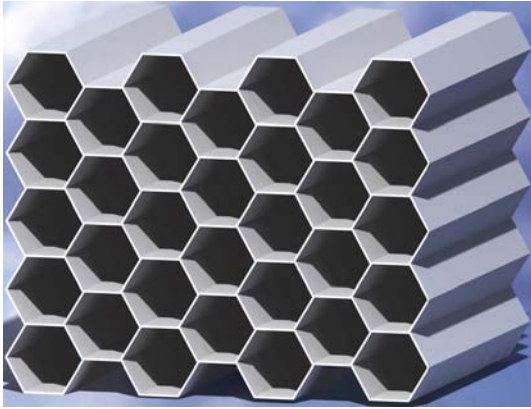


Fig. 3. Structura de tip fagure (matrice de ghiduri de unda hexagonale)

Pentru analiza panourilor infinite formate din ghiduri de unda cu pereti paraleli se foloseste metoda Wiener-Hopf care furnizeaza ecuatiile:

Geometrie  
dreptunghiulara

$$SE_{dB} = 27.3 \frac{t}{a} \sqrt{1 - \left( \frac{af_o}{150000} \right)^2} - 20 \log_{10} \frac{2ka}{\pi} \cos \varphi$$

Geometrie  
circulara

$$SE_{dB} = 31.95 \frac{t}{a} \sqrt{1 - \left( \frac{af}{175800} \right)^2} - 20 \log_{10} \frac{2ka}{\pi} \cos \varphi + 20 \log_{10} \frac{2k_{cnm}a}{\pi} \cos \varphi$$

Geometrie  
hexagonala

$$SE_{dB} = 17.5 \frac{t}{a} \sqrt{1 - \left( \frac{af}{96659} \right)^2} - 20 \log_{10} \frac{2ka}{\pi} \cos \varphi$$

unde  $k$  este numarul de unda ( $k = \omega/c$ ),  $a$  este dimensiunea transversala a ghidului de unda si  $\varphi$  este unghiul unei incidente. Primul termen al ecuatiilor de mai sus reprezinta  $SE$  a celulei unitare de ghid de unda iar termenii al doilea si al treilea reprezinta  $SE$  a unui panou infinit de ghiduri de unda cu pereti paraleli.

Dependenta  $SE$  de numarul de ghiduri de unda a fost verificata prin proiectarea si simularea in domeniul FEM a diverse structuri fagure cu  $n$ -uri diferite. Asa cum se poate vedea in Fig. 4,  $SE$  este aproape independenta de numarul de ghiduri de unda  $n$ ; depinde in primul rand de dimensiunea transversala si lungimea fiecarui ghid de unda.

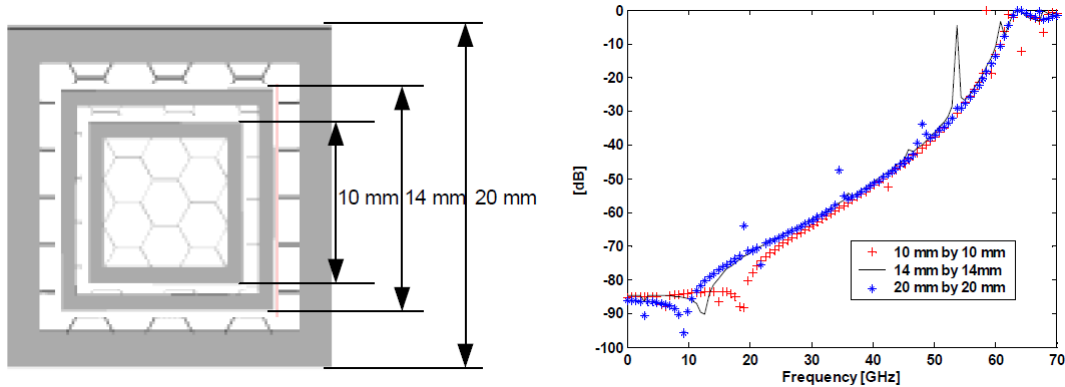


Fig. 4. Panouri fagure cu diferite dimensiuni si  $SE$  pentru diferite valori ale lui  $n$

#### **Eficacitatea ecranarii panourilor cu acoperiri metalice**

In cazul unui ghid de unda acoperit cu un strat metalic, se poate presupune ca cel mai rau caz este cel in care numai una din suprafetile ghidului a fost acoperita, ceea ce da maximul de scurgeri electromagnetice prin acoperirea metalica (Fig. 5).

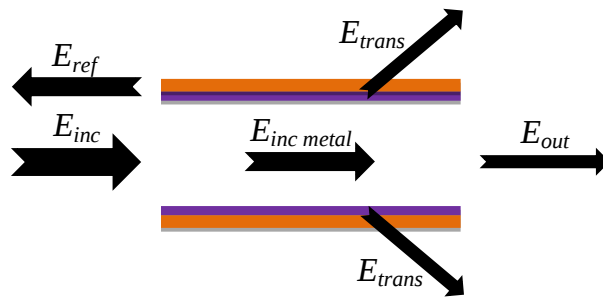


Fig. 5. Propagarea unei unde electromagnetice intr-un ghid de unda cu acoperire metalica

In acest caz, eficacitatea ecranarii totala a ghidului de unda este data de relatia:

$$SE_{total}(dB) = E_{inc}(dB) - E_{trans}(dB) - E_{out}(dB)$$

care reprezinta  $SE$  a ghidului de unda acoperit cu strat metalic in cazul cel mai rau.

Figura 6 prezinta  $SE$  calculata a unui panou de ghiduri de unda circulare acoperite cu un strat metalic in comparatie cu  $SE$  a panoului de ghiduri de unda circulare realizat in intregime din metal pur si  $SE$  a stratului metalic folosit pentru acoperirea panoului.

Metalul folosit este aluminiu iar grosimea stratului de acoperire este  $g = 1 \mu\text{m}$ . Se observa ca performantele de ecranare ale panoului de ghiduri de unda acoperit cu strat metalic sunt mai scazute in zona frecventelor joase.

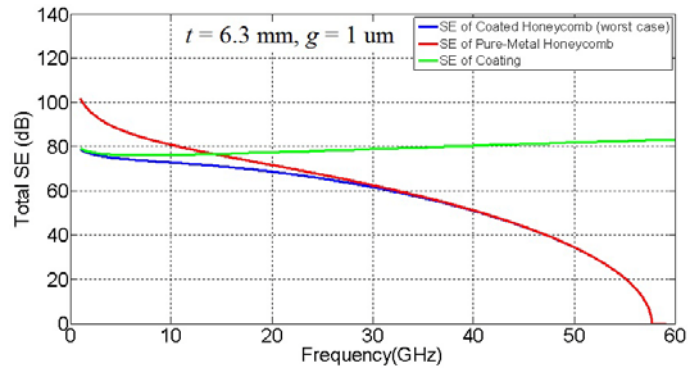
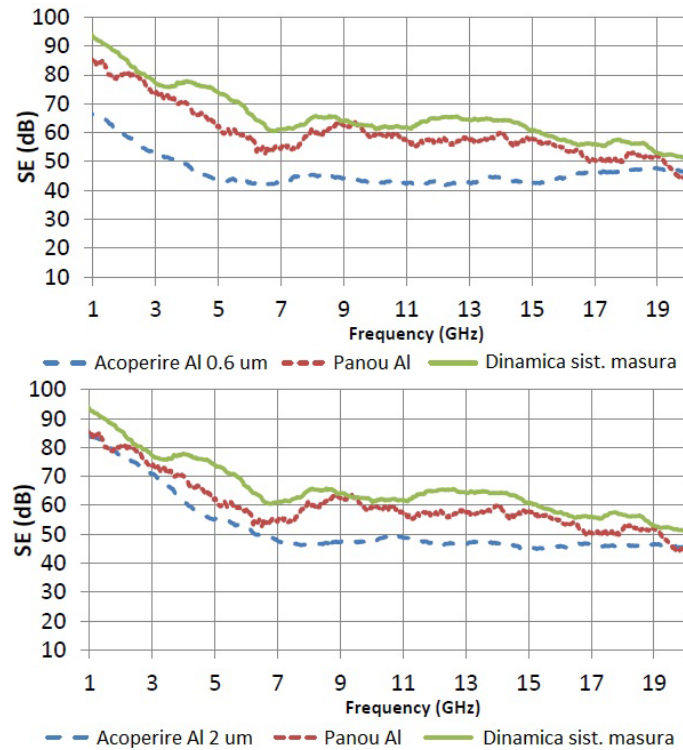
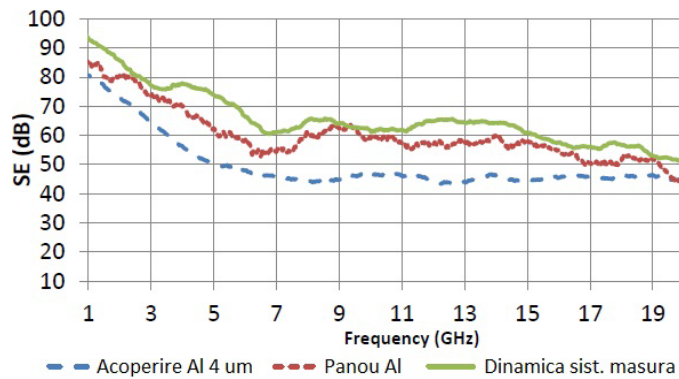


Fig. 6. SE pentru panoul acoperit cu strat metalic (valori calculate) [5]

Rezultatele unui studiu care include masuratori ale SE pentru cateva panouri formate din ghiduri de unda circulare acoperite cu un strat metalic de diferite grosimi sunt prezentate in Fig. 7. Aceste rezultate indica o crestere a SE in zona frecventelor joase odata cu cresterea grosimii stratului metalic. Totusi, la cresterea grosimii stratului metalic de la  $2 \mu\text{m}$  la  $4 \mu\text{m}$ , SE nu s-a modificat ceea ce arata faptul ca SE nu va fi afectata nici in cazul in care grosimea stratului metalic depaseste adancimea sa de patrundere.

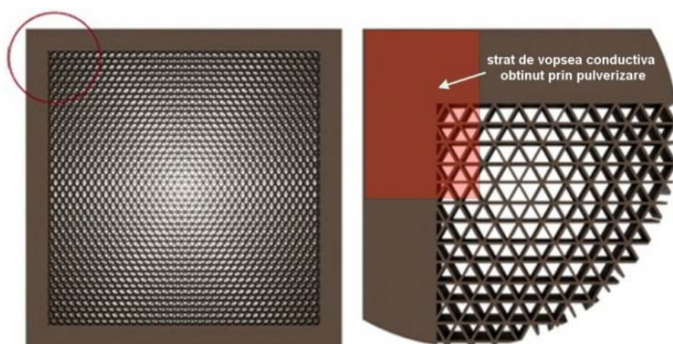




*Fig. 7. SE a unor panouri de ghiduri de unda circulare (valori masurate). Curbele de culoare verde – gama dinamica a sistemului de masura; curbele de culoare rosie – SE a unui panou de ghiduri de unda realizat in intregime din Al; curbele de culoare albastru – SE a unor panouri de ghiduri de unda realizate dintr-un material dielectric (polieterimida) si acoperite cu straturi de Al de diferite grosimi*

### **Realizarea ecranelor electromagnetice transparente optic si aerodinamic**

Ideea consta in realizarea de panouri de tip figure (perforate) folosind tehnologia de imprimare 3D si apoi acoperirea lor cu un strat de material conductiv cu parametri superiori, intr-un strat foarte subtire, astfel incat sa se obtina un panou de ghiduri de unda. Rezultatul este un ecran conductiv neomogen dar cu caracteristici de ecranare electromagnetica. Principiul general al realizarii ecranelor electromagnetice transparente optic si aerodinamic este prezentat in Fig. 8. Materialele care pot fi folosite pentru realizarea panourilor perforate prin imprimare 3D sunt: ABS-M30, Nylon 12 sau policarbonat. Stratul de material conductiv pentru acoperirea panourilor perforate se va obtine prin aplicarea unei vopsele conductive pe baza de argint.



*Fig. 8. Principiul general al realizarii ecranelor electromagnetice transparente optic si aerodinamic: polimer structurat prin 3D printing, acoperit cu vopsea conductiva*

Pentru realizarea practica unor ecrane electromagnetice transparente optic si aerodinamic folosind tehnologia 3D printing, trebuie urmati, in esenta, urmatoorii pasi:

- proiectarea panoului perforat din punct de vedere al ecranarii electromagnetice (stabilirea dimensiunii transversale a ghidului de unda unitar, a grosimii si suprafetei panoului perforat);

- intocmirea unui desen la scara, intr-un program specializat de proiectare asistata de calculator, pe baza dimensiunilor stabilite si generarea fisierului necesar pentru a comanda imprimanta tridimensionala folosita;
- incarcarea fisierului obtinut in memoria imprimantei 3D, si executia propriu-zisa a structurii de tip panou perforat prin imprimare tridimensionala;
- acoperirea tuturor suprafetelor panoului perforat astfel obtinut cu un strat de material conductiv cu parametri superiori.

### ***Sisteme compozite pentru ecranare electromagnetica***

Conform studiului realizat cu privire la problematica ecranelor electromagnetice compozite/multistrat, soluția propusa in cadrul proiectului consta in prepararea printr-un proces complex a materialelor compozite hibride cu proprietati electromagnetice, ce implica metode chimice de sinteza a materialului de umplutura, determinarea raportului optim dintre componentii compozitului: polimer / polimer conductiv / material de umplutura, electrofilarea fibrelor netesute polimerice, caracterizarea complexa a materialului compozit hibrid, precum si teste pentru determinarea proprietatilor de ecranare electromagnetica, teste ce acopera un domeniu extrins de frecventa, de la frecvente de ordinul MHz pana la frecvente de ordinul GHz.

Pentru realizarea unui astfel de material sunt necesare mai multe etape:

- Sinteza chimica utilizand metoda sol-gel a materialului magnetic de umplutura, de tipul fier@oxid de fier acoperit cu material oxidic ( $\text{Fe@Fe}_x\text{O}_y/\text{Al}_2\text{O}_3$ ) urmata de caracterizarea complexa;
- Determinarea raportului optim dintre componentii compozitului hibrid poliacrilonitril/polianilina/  $\text{Fe@Fe}_x\text{O}_y/\text{Al}_2\text{O}_3$ ;

| <b>Componenta compozit</b>                          | Poliacrilonitril | Polianilina | $\text{Fe@Fe}_x\text{O}_y/\text{Al}_2\text{O}_3$ |
|-----------------------------------------------------|------------------|-------------|--------------------------------------------------|
| <b>Concentratie functie de poliacrilonitril (%)</b> | 99-93            | 0,5 - 2     | 0,5 - 5                                          |

- Obtinerea fibrelor netesute de compozit hibrid poliacrilonitril / polianilina /  $\text{Fe@Fe}_x\text{O}_y/\text{Al}_2\text{O}_3$  prin electrofilare;
- Caracterizarea functionala a materialului compozit hibrid din punct de vedere al ecranarii electromagnetice.

### ***Concluzii***

Acest studiu prezinta relatiile de calcul ale eficacitatii ecranarii electromagnetice ( $SE$ ) a ecranelor plane, aratandu-se astfel dependenta  $SE$  de parametrii de material ( $\epsilon$ ,  $\sigma$ ,  $\mu$ ), precum si relatiile frecventei de taiere si eficacitatii ecranarii panourilor cu ghiduri de unda. Au mai fost prezentate si rezultatele unor studii efectuate cu privire la influenta numarului de ghiduri de unda asupra  $SE$  a unui panou de ghiduri de unda si in ceea ce priveste panourile de ghiduri de unda realizate din material dielectric si acoperite cu un strat metalic. De asemenea, au fost prezentate aspecte privind realizarea practica a ecranelor electromagnetice transparente optic si aerodinamic folosind tehnologia de

imprimare 3D dar si factorii care trebuie luati in considerare la realizarea practica a ecranelor electromagnetice compozite/multistrat.

Studiile efectuate arata, contrar parerii general acceptate in industrie, faptul ca  $SE$  este aproape independenta de numarul de ghiduri de unda  $n$  si depinde in primul rand de dimensiunea transversala si lungimea ghidului de unda unitar.

Grosimea stratului metalic depus pe panourile de ghiduri de unda realizate dintr-un material dielectric afecteaza  $SE$  in zona frecventelor joase insa numai pana la o valoare de ordinul a cativa  $\mu\text{m}$ ; o grosime de strat mai mare de 2  $\mu\text{m}$  nu va mai afecta  $SE$  a panourilor de ghiduri de unda.

In ceea ce priveste materialele compozite cu proprietati de ecranare electromagnetica, studiile efectuate arata faptul ca atunci cand dimensiunea particulelor magnetice este sub o dimensiune critica pierderile prin curenti turbionari devin neglijabile ceea ce determina pastrarea permeabilitatii.

Un material compozit cu proprietati de ecranare electromagnetica se poate realiza utilizand pe langa polimerii organici necesari pentru obtinerea proprietatilor mecanice, si a polimerilor cu proprietati electrice, de exemplu polimerii conductivi. Prin folosirea acestora se obtine un material compozit cu proprietati electrice imbunatatite. Cei mai utilizati polimeri conductivi sunt: polipirolul, poli (3-4 etilendioxitiofen), polianilina.

O alternativa pentru polimerii conductivi o constituie nanoparticulele metalice si carbonice. Materialele utilizate cel mai des sunt: nichelul, argintul, cuprul, iar dintre materialele carbonice: nanotuburi de carbon si negru de fum.

Se considera ca acest studiu atinge toate aspectele care intervin la proiectarea si realizarea ecranelor electromagnetice compozite/multistrat si transparente optic si aerodinamic.

In umatoarele etape ale acestui proiect se vor realiza si testa ecrane electromagnetice compozite/multistrat obtinute folosind materiale compozite hibride cu proprietati electromagnetice, preparate printr-un proces complex, si ecrane electromagnetice transparente optic si aerodinamic obtinute cu ajutorul tehnologiei *3D printing*. Se urmareste obtinerea unor ecrane cu eficacitate a ecranarii cuprinsa intre 60 si 120 dB in gama de frecvente 10 MHz – 18 GHz.

Responsabil proiect

Dr. Ing. Mihai Bădic