

Innovative technology for multilayer EMI shields based on spatial fabric – 3DShields

Contract: CrossTexNet 7_071_2012

Director proiect sl.dr.ing. Codrin Donciu

Contractor: Universitatea Tehnică Gh. Asachi din Iași

Etapă II Definirea modelului experimental. Diseminarea rezultatelor

Activitate	Partener	Grad de realizare
2.1. Analiza si interpretarea rezultatelor referitoare la comportamentul straturilor exterioare	TUIASI	Complet realizat
2.2. Analiza si interpretarea rezultatelor referitoare la comportamentul stratului de legatura	TUIASI	Complet realizat
2.3. Definirea modelului experimental al garniturii de ecranare	TUIASI	Complet realizat
2.4. Tricotarea modelului experimental	ART Ltd	Complet realizat
2.5. Masurarea eficientei de ecranare a modelului experimental	TUIASI	Complet realizat
2.6. Optimizarea arhitecturii conceptului referitor la aplicatii intersectoriale	INCDTP	Complet realizat
2.7. Testarea ciclului de viata	INCDTP	Complet realizat
2.8. Stabilirea conceptului final	TUIASI	Complet realizat
2.9. Diseminarea rezultatelor	TUIASI	Complet realizat

Cuprins

Rezumat	3
Analiza si interpretarea rezultatelor referitoare la comportamentul straturilor exterioare	4
Analiza si interpretarea rezultatelor referitoare la comportamentul stratului de legătură	7
Tricotarea mostrelor 3D pentru straturile exterioare active și straturile de legătură	10
Masurarea eficientei de ecranare a modelului experimental și al arhitecturilor optimizate	12
Testarea ciclului de viata	15
Stabilirea conceptului final	16

Rezumat

Prezentul proiect propune dezvoltarea unei noi generații de ecrane electromagnetice caracterizate printr-un grad ridicat al eficacității de atenuare și un cost de producție redus. Ecranele se vor realiza prin tricotarea spațială de fire textile compozite, cu proprietăți conductive.

Constructiv, la nivel macrostructural, ecranul va conține trei straturi dispuse în profil H. La nivel microstructural se impune neexistența legăturii electrice între cele trei straturi, astfel încât dacă pentru straturile exterioare se utilizează fibre cu componentă conductoare la suprafață/interior, stratul de legătură va utiliza fibre cu componentă conductoare la interior/suprafață. Astfel, din punct de vedere electromagnetic structura echivalentă a ecranului se descompune în trei ecrane electromagnetice axate în cvadratură. Aceste ecrane sunt independente, între ele neexistând contact electric. Acest fapt va permite creșterea eficienței de ecranare ca urmare a folosirii ecranelor multiple neconectate între ele.

Activitatea de cercetare specifică etapei I, de evaluare a interacțiunii câmp electromagnetic cu straturile exterioare și stratul de legătură al structurii H, a presupus tratarea separată a straturilor active exterioare și de legătură pentru diverse tipuri de fire compozite. Au fost selectate și supuse investigației 19 fire conductoare compozite. Firele au fost tricotate în mostre (ecrane electromagnetice) tricotate spațial (în trei straturi), având doar un singur tip de strat activ (exterior sau de legătură). Fiecare mostră în parte a fost caracterizată din punct de vedere al procesului de fabricație și al eficienței de ecranare.

În cadrul etapei II de cercetare s-a realizat analiza și interpretarea rezultatelor obținute în etapa I, referitoare la comportamentul straturilor exterioare și a stratului de legătură.

S-a stabilit utilizarea firului activ al mostrei A12 (0.035 mm fibre inox + bumbac) pentru realizarea stratului exterior al modelului experimental.

Recomandarea pentru stratul de legătură o primesc firele de cupru izolate, fiind vizat pentru realizarea stratului de legătură al modelului experimental firul de cupru al mostrei A5 (0.25 mm Cu emailat). De asemenea se recomandă testarea și a altor fire compozite din gama cupru izolat pentru realizarea ecranului cu toate straturile active.

Concluzii referitoare la eficiența de ecranare a modelului experimental și al arhitecturilor optimizate. Pe baza analizei și interpretarea rezultatelor referitoare la comportamentul straturilor exterioare și de legătură s-a stabilit drept model experimental structura mostrei 3D2. (în locul lui 3D1 eliminată pe criterii de cost). Mostrele obținute cu eficiență de ecranare superioară mostrei 3D2 în etapa de optimizare conțin firul de inox al mostrei 3D1.

Se observă creșterea eficienței de ecranare pe întreg domeniul de frecvență pentru toate cele 14 mostre tricotate 3D, față de media de ecranare grupelor de fire din care provin straturile active implicate.

Pe baza analizei rezultatelor comparative obținute din evaluarea eficienței de ecranare a celor 14 mostre tricotate 3D în etapa curentă și ținând cont de păstrarea calităților și după parcurgerea ciclului de spălare repetată, structura mostrei 3D2 devine conceptual final al proiectului: **structură 3D cu straturi exterioare din fir compozit conductor din 0.035 mm fibre inox + bumbac și cu strat de legătură din 0.25 mm Cu emailat**

Analiza și interpretarea rezultatelor referitoare la comportamentul straturilor exterioare

Fire cu conținut de inox

În figura 1 sunt prezentate valorile eficienței de ecranare pentru 6 mostre realizate cu fire din inox: 30% fibre inox + 70% fibre poliester (A9), 28% fibre inox + 72% fibre poliester (A10), 20% fibre inox + 80% fibre poliester (A11), 0.035 mm fibre inox + bumbac (A12), 100% fibre inox (A13) și fire de inox (20%) în combinație cu fire din poliester (80%) Nm 50/1. Conform datelor obținute se observă că prin tensionarea mostrelor se obține o îmbunătățire a eficienței de ecranare. Astfel, diferențe mari se obțin atunci când mostrele sunt tensionate transversal urmate de cele diagonal iar atunci când se aplică o tensionare transversală aceste diferențe sunt mai mici. Cu toate că mostra A12 obține valorile cele mai mari ale eficienței de ecranare, pe întreg domeniul de frecvență analizat mostra A13 prezintă o evoluție mai bună a eficienței de ecranare, atât în stare netensionată cât și în stare tensionată.

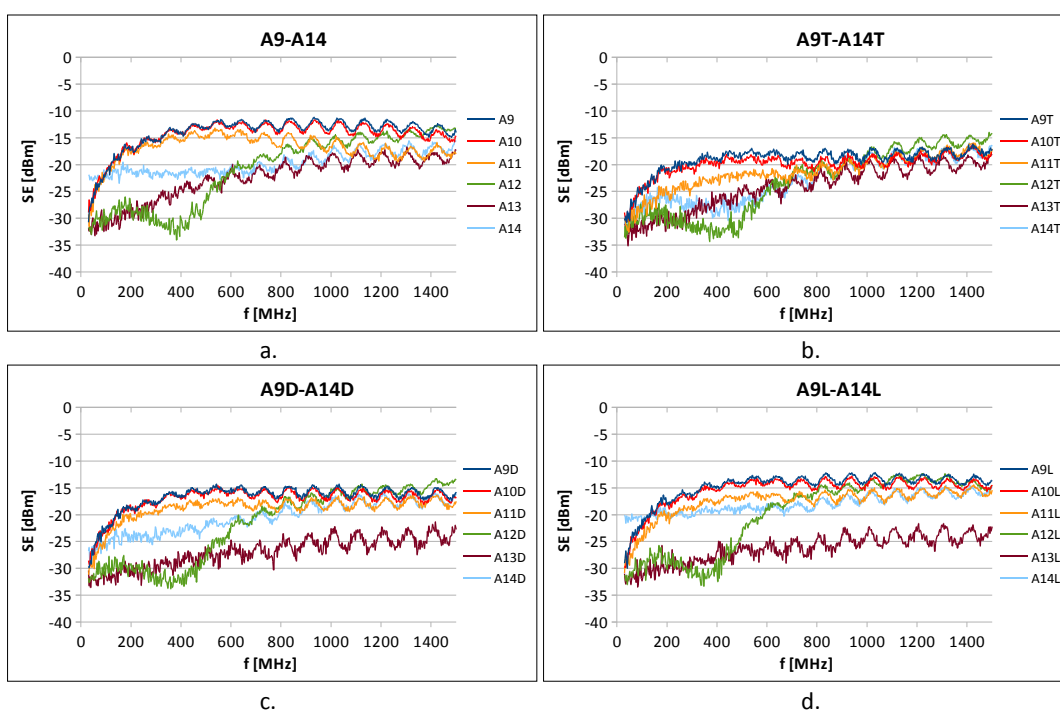


Fig. 1. Eficiența de ecranare pentru mostrele realizate cu fire din inox, aflate în stare netensionată (a), tensionată pe direcție transversală (b), diagonală (c) și longitudinală

Recomandarea de utilizare o primește mostra A12 datorită capacității de ecranare și a procentului redus de material conductiv.

Fire cu conținut Thunderon

În figura 2 sunt prezentate rezultatele experimentale pentru 2 mostre realizate cu fire Thunderon: Thunderon 1 – fire acrilice acoperite cu sulfat de cupru, Nm 64/1 (A15), Thunderon 2 – fire acrilice acoperite cu sulfat de cupru + fire bumbac, Nm 40/1 (A16). Din punct de vedere al tensionării se observă o îmbunătățire a rezultatelor obținute pentru tensionările transversale și diagonale, în timp ce pentru tensionarea longitudinală nu sunt observate îmbunătățiri semnificative. Dintre cele 2 mostre, A15 prezintă valori mai bune ale eficienței de ecranare, ca urmare a faptului că prezintă un procent mai mare de fire acoperite cu sulfat de cupru – ele nu mai sunt combinate cu fire de bumbac, ca în cazul A16.

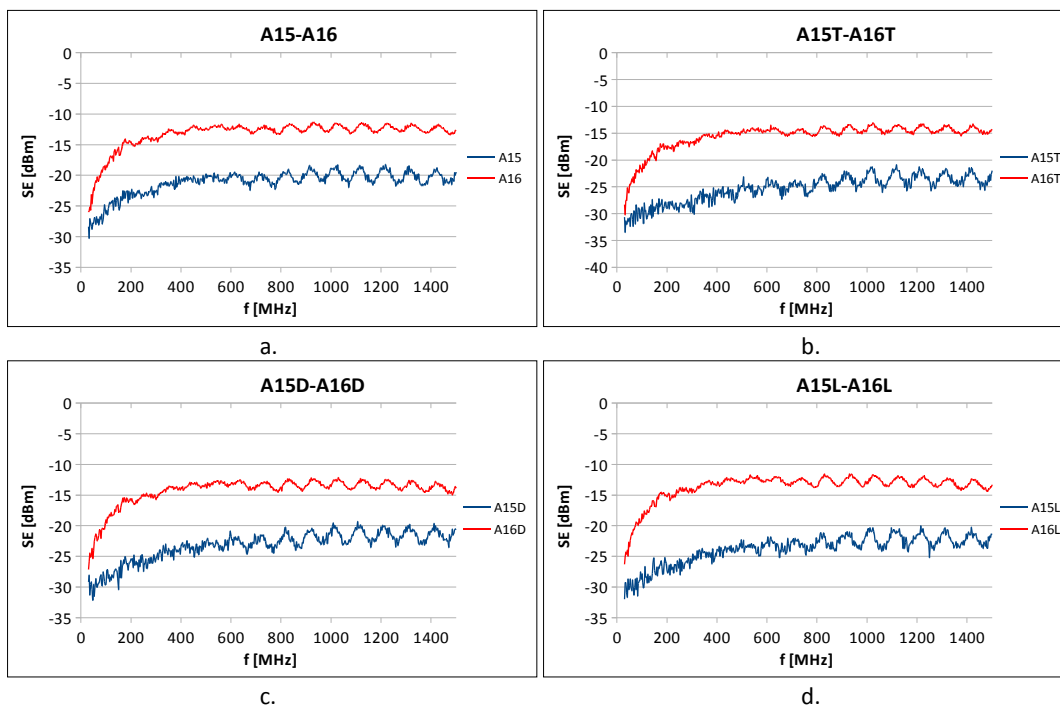
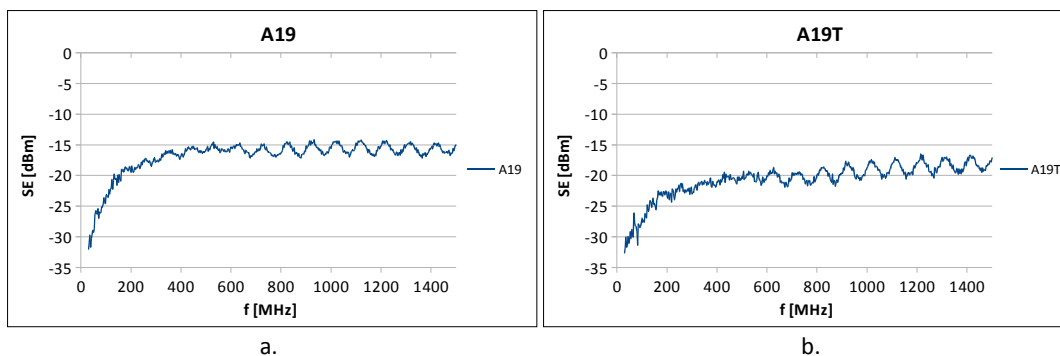


Fig. 2. Eficiența de ecranare pentru mostrele realizate cu fire Thunderon, aflate în stare netensionată (a), tensionată pe direcție transversală (b), diagonală (c) și longitudinală (d)

Recomandarea de utilizare a primei mostre A15, datorită capacității de ecranare și a prețului similar cu al mostrei A16.

Fire cu conținut de nichel

În figura 3 sunt prezentate valorile eficienței de ecranare obținute pentru o mostră realizată cu fire din nichel (A19). În cazul acestei mostre, se observă valori mai bune ale eficienței de ecranare atunci când se aplică o tensionare transversală. În cazul tensionării diagonale sunt obținute valori mai bune, însă nu cu mult, în timp ce în cazul tensionării longitudinale se poate observa o scădere a eficienței de ecranare.



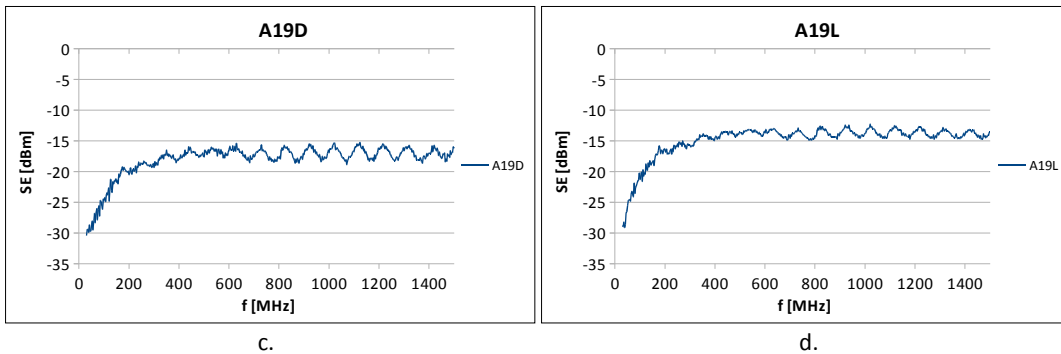


Fig. 3. Eficiența de ecranare pentru mostrele realizate cu fire din nichel, aflate în stare netensionată (a), tensionată pe direcție transversală (b), diagonală (c) și longitudinală (d)

Mostra A19 primește recomandare de utilizare deși nu s-a realizat un studiu comparativ pentru aceasta pe aceeași categorie. Justificarea constă în eficiența sa de ecranare comparativă cu a mostrelor precedente.

În figura 4 sunt prezentate global eficiențele de ecranare pentru toate mostrele analizate pentru straturile exterioare.

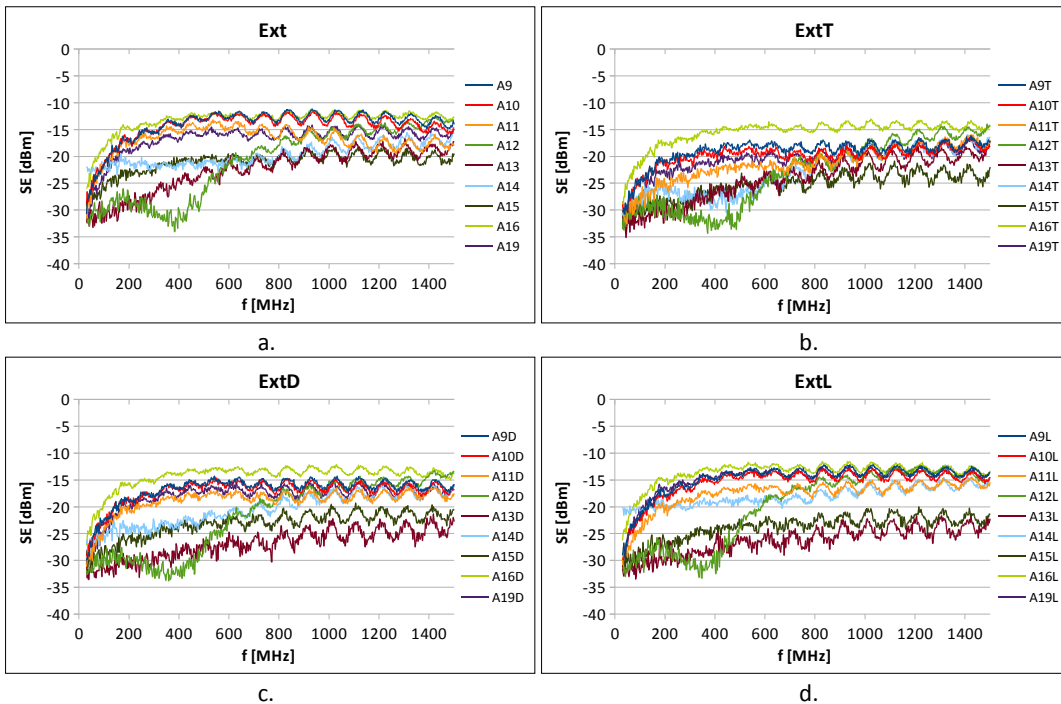


Fig. 4. Eficiența de ecranare pentru mostrele testate pentru stratul exterior, aflate în stare netensionată (a), tensionată pe direcție transversală (b), diagonală (c) și longitudinală (d)

Se poate observa că mostrele A12 și A13 prezintă cel mai bun comportament din punct de vedere al eficienței de ecranare pentru realizarea straturilor exterioare. **Se stabilește pentru realizarea modelului experimental utilizarea firului activ al mostrei A12 (0.035 mm fibre inox + bumbac) pentru stratul exterior.**

Analiza și interpretarea rezultatelor referitoare la comportamentul stratului de legătură

Fire cu conținut de Cupru

În figura 5 sunt prezentate eficiențele de ecranare pentru mostrele realizate cu 8 tipuri diferite de fire din cupru (Cu): 0.15 mm Cu emailat acoperit cu strat dublu de mătase (A1), 0.193 mm Cu emailat cu un strat de mătase (A2), 0.14 mm Cu emailat cu poliester (A3), 0.15 mm Cu emailat (A4), 0.25 mm Cu emailat (A5), 0.2 mm Cu emailat (A6), 0.12 mm Cu emailat (A7), 0.1 mm Cu emailat (A8). Conform rezultatelor obținute, pentru stările de tensionare transversală și diagonală se observă o lărgire a domeniului de frecvență în care eficiența de ecranare ia valori maxime (~35 dB), comparativ cu starea netensionată. Prin tensionare longitudinală aceasta nu se observă această îmbunătățire. Dacă analizăm valorile minime ale eficienței de ecranare, se observă, de asemenea, o îmbunătățire a valorilor obținute pentru mostrele tensionate transversal și diagonal. Deși eficiențele de ecranare sunt intercalate în funcție de frecvență, pe baza medierii efectului s-a stabilit că mostrele A2 și A5 au cele mai bune rezultate.

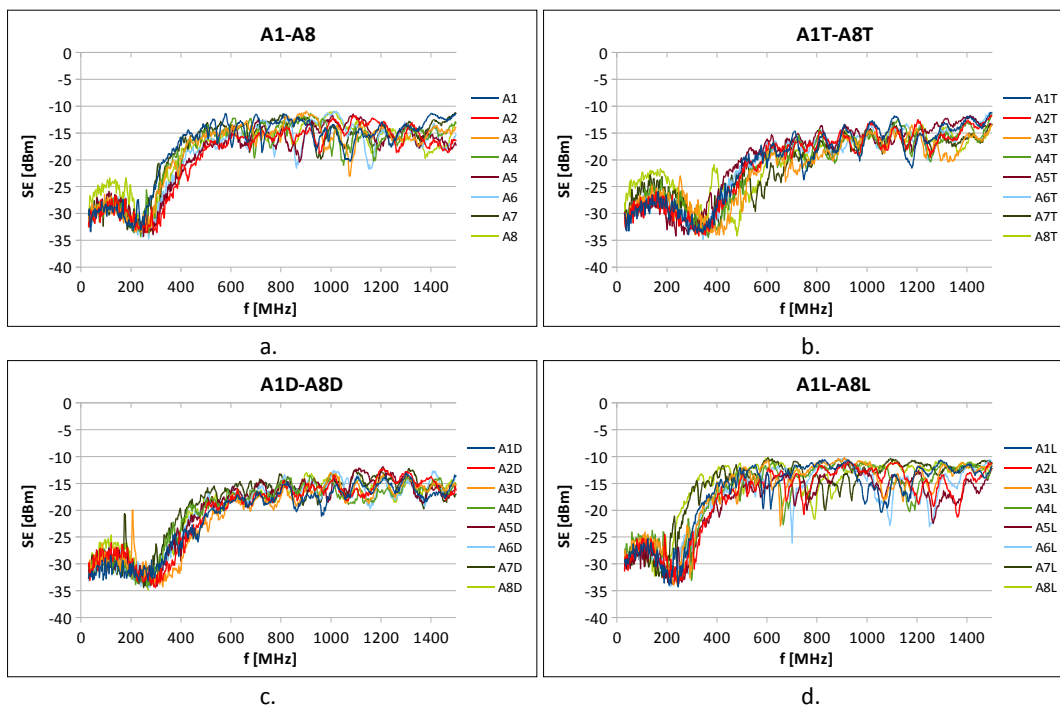


Fig. 5. Eficiența de ecranare pentru mostrele realizate cu fire din cupru, aflate în stare netensionată (a), tensionată pe direcție transversală (b), diagonală (c) și longitudinală (d).

Recomandarea de utilizare a primei mostre A5 realizată dintr-un fir ordinar de cupru emailat, cu bune proprietăți de tricotare comparativ cu gama acestuia.

Fire cu conținut de carbon

În figura 6 sunt prezentate valorile eficienței de ecranare pentru 2 mostre realizate cu fire din carbon: fir poliester cu miez trilobal interior de carbon (A17) și fir nailon saturat la suprafață cu particule de carbon (A18). În cazul acestor mostre nu se mai observă o îmbunătățire a eficiențelor de

ecranare atunci când sunt tensionate, valorile acestora fiind apropiate pentru toate cele 4 stări. Dintre cele 2 mostre, valori mai bune, însă nu cu mult, **sunt obținute pentru mostra A18.**

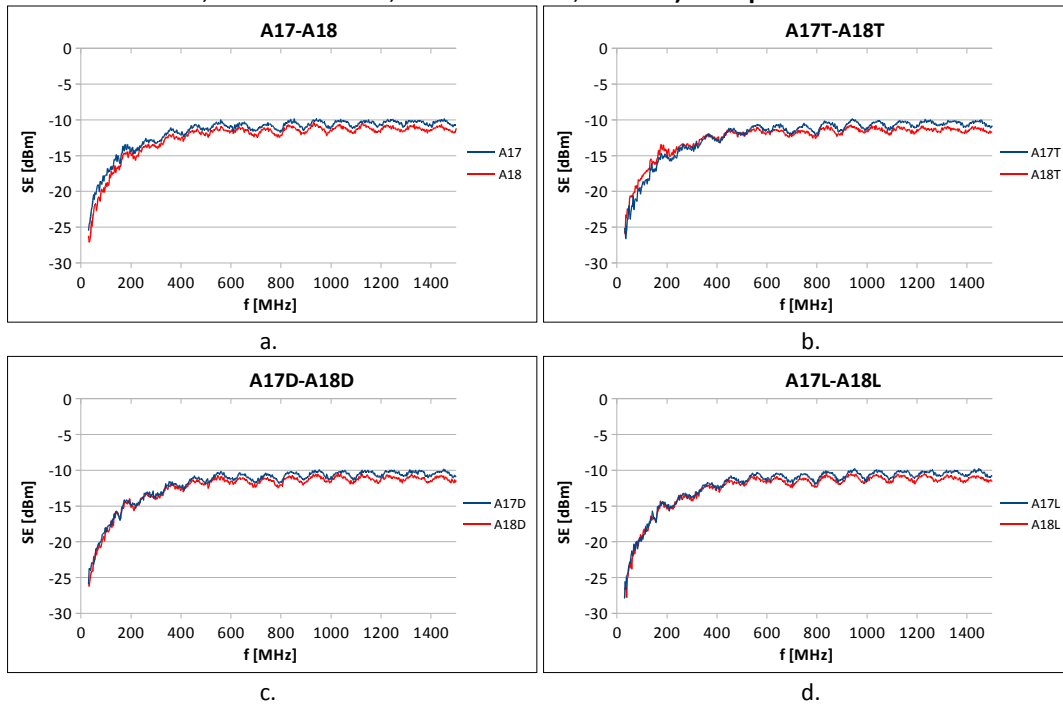


Fig. 6. Eficiența de ecranare pentru mostrele realizate cu fire din carbon, aflate în stare netensionată (a), tensionată pe direcție transversală (b), diagonală (c) și longitudinală (d)

Din figura 7, în care sunt prezentate rezultatele globale pentru stratul de legătură, se observă că mostrele realizate cu fire din cupru prezintă valori mai bune decât cele realizate cu fire din carbon, pentru toate cele 4 stări.

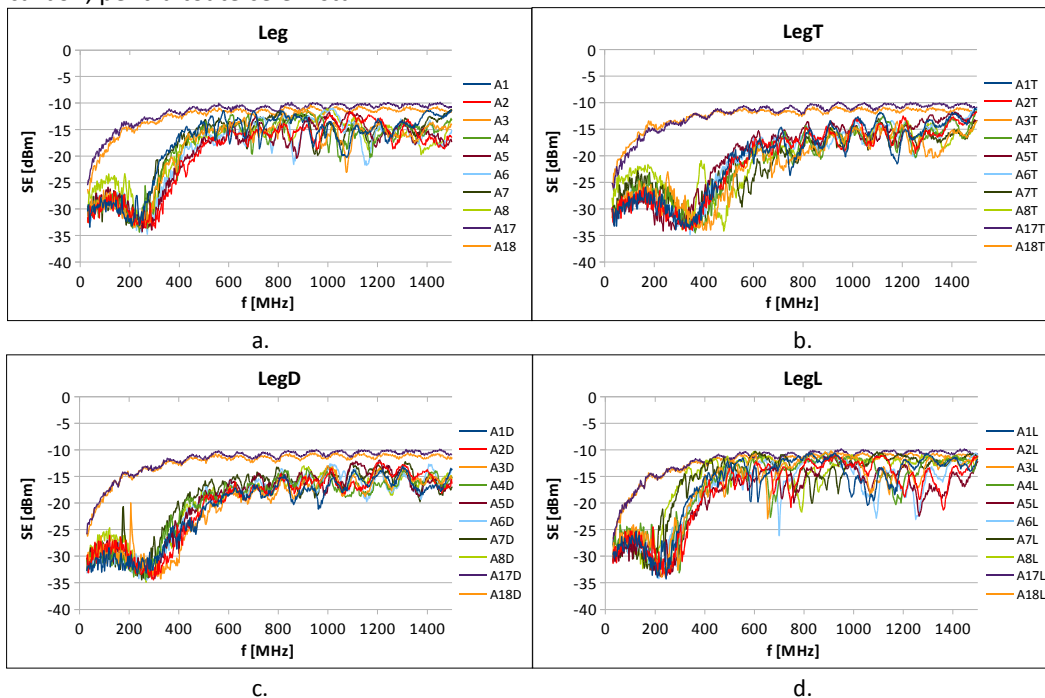


Fig. 7. Eficiența de ecranare pentru mostrele testate pentru stratul de legătură, aflate în stare netensionată (a), tensionată pe direcție transversală (b), diagonală (c) și longitudinală (d)

În concluzie, recomandarea pentru stratul de legătură o primesc firele de cupru izolate, fiind vizat pentru realizarea stratului de legătură al modelului experimental firul de cupru al mostrei A5 (**0.25 mm Cu emailat**). De asemenea se recomandă testarea și a altor fire compozite din gama cupru izolat pentru realizarea ecranului cu toate straturile active.

Pentru a analiza modul în care tipul de material utilizat în compoziția feței active influențează eficiența de ecranare, în figura 8 sunt prezentate valorile medii ale eficienței de ecranare pentru grupuri de mostre ce au în componența aceleași tipuri de fire active.

Prin urmare sunt prezentate valorile medii pentru materialele ce prezintă fire de cupru (Mcu), fire de inox (Min), fire Thunderon (Mth), fire de carbon (Mc) și fire de nichel (Mni). Pentru domeniul de frecvență 30 – 380 MHz se poate observa că mostrele cu fire din cupru oferă cele mai bune rezultate cu o valoare maximă de – 33.25 dBm obținută pentru frecvența de 238.74 MHz. Între 380 MHz și 1500 MHz, mostrele cu inox prezintă în medie rezultate mai bune, fiind cu puțin depășite de mostrele cu fire Thunderon pe finalul domeniului de frecvență. Pe baza acestor rezultate se poate recomanda ca pentru aplicații din domeniul de frecvență 30 – 380 MHz să se folosească materiale cu fire din cupru, în timp ce pentru aplicații din domeniul de frecvență 380 – 1500 MHz să se folosească materiale cu fire din inox.

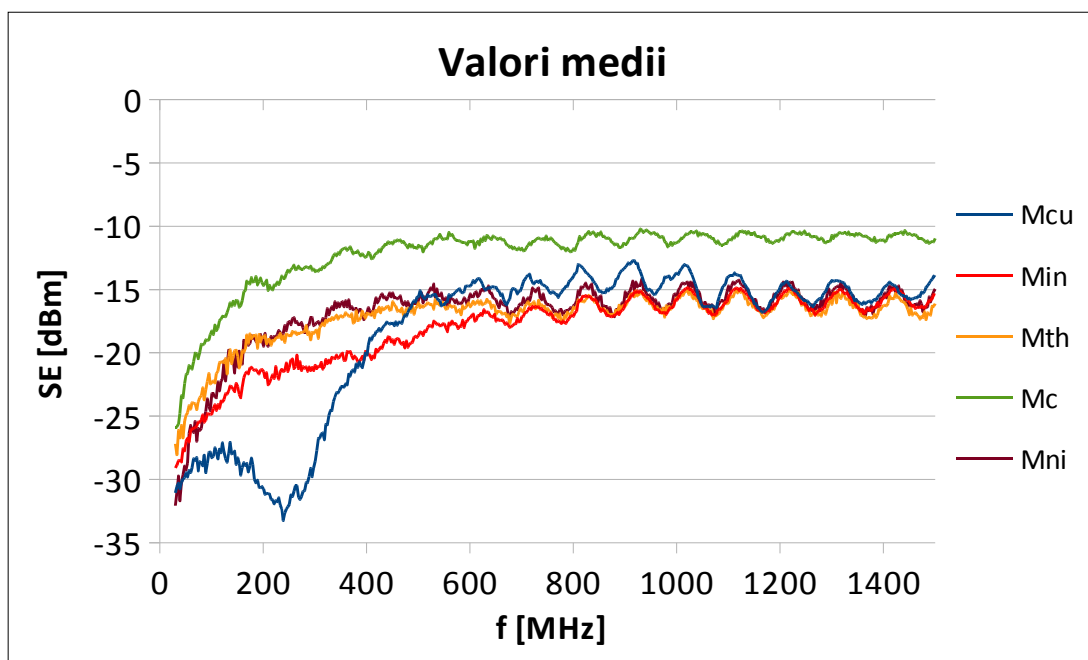


Fig. 8. Valorile medii ale eficienței de ecranare în funcție de componența feței active: valori medii pentru mostrele cu fire de cupru (Mcu), fire de inox (Min), fire Thunderon (Mth), fire de carbon (Mc) și fire de nichel (Mni)

Tricotarea mostrelor 3D pentru straturile exterioare active și straturile de legătură

Pentru realizarea materialelor tricotate cu caracteristici conductive, s-au folosit fire conductive compozite atât pentru straturile exterioare cât și pentru stratul de legătură. Tricoturile au fost produse pe o mașină rectilinie electronică CMS 530 TC, produsă firma Stoll (Germania). Finețea utiliajului este 12E. Programarea tricotului s-a realizat pe stația M1+.

Au fost realizate un total de 14 mostre notate de la 3D1-3D14. Pentru fiecare mostră în parte s-a întocmit un tabel de caracterizare care cuprinde descrierea firului compozit utilizat și destinația ca strat.

Mostra stabilită drept **model experimental** pe baza interpretării rezultatelor etapei precedente este **3D2: strat exterior 0.035 mm fibre inox + bumbac și strat de legătură 0.25 mm Cu emailat**.

Deoarece rezistența de suprafață a firelor Thunderon 1 și 2 are valori care să nu asigure un contact electric bun între straturi și deși a fost testată pentru straturi exterioare, s-a propus realizarea unor mostre cu ambele straturi active care să conțină acest fir în compoziția stratului de legătură.

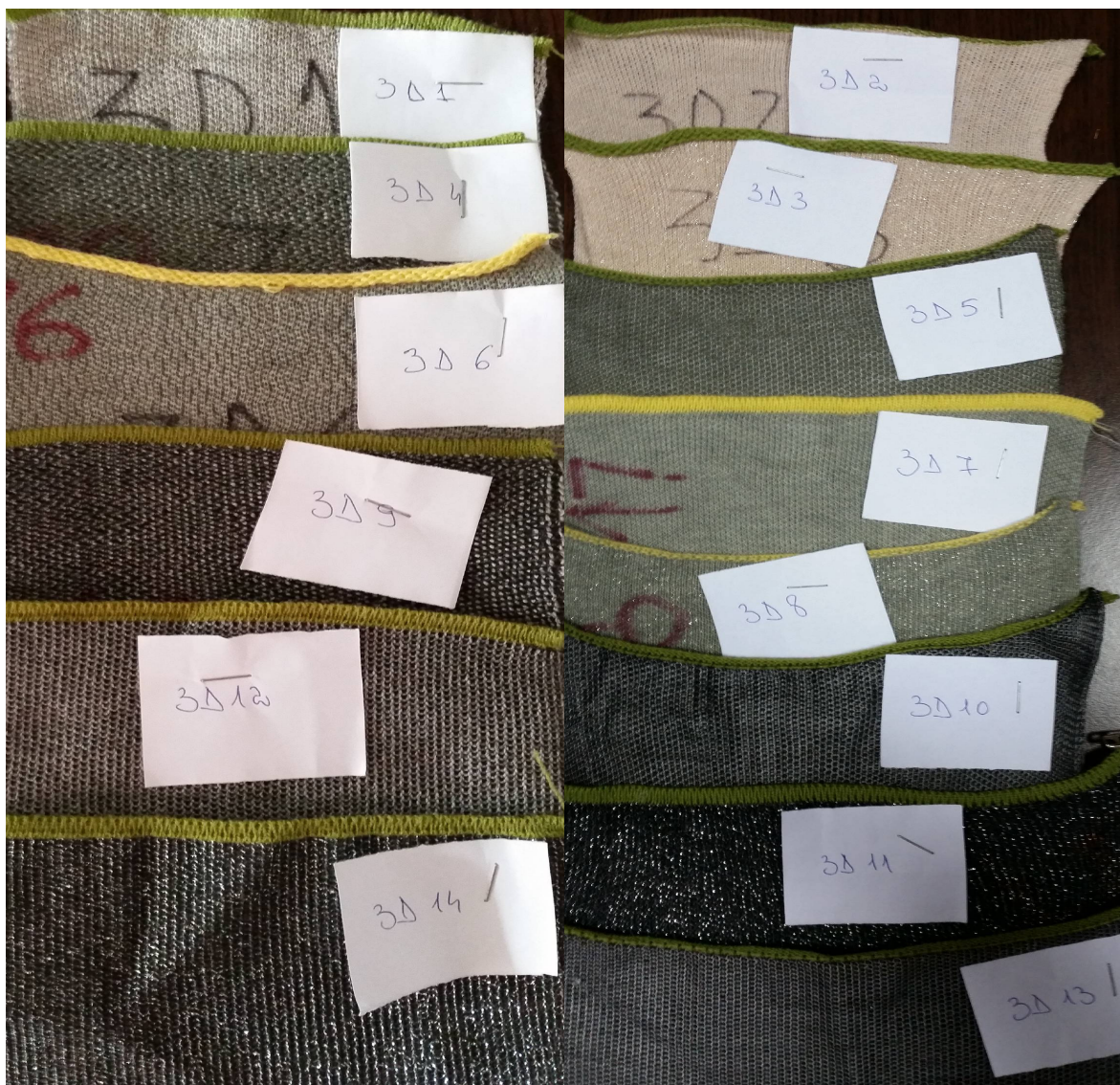
De asemenea, deși Bekinox 100% – fire din inox 100%, 235 Tex nu a fost recomandat pentru utilizare din cauza prețului ridicat, am considerat oportun să verificăm comportarea acestuia în structura 3D cu toate straturile active.

Din aceste considerente după tricotarea și testarea Mostrelor 3D1 și 3D2 au fost tricotate încă 12 mostre de la 3D3 până la 3D 14, în etapa de optimizare.

Structura și apartenența firelor compozite active la stratul exterior sau de legătură este prezentată în tabelul alăturat.

Cod	Strat exterior	Strat de legatura
3D1	Bekinox 100% – fire din inox 100%, 235 Tex	0.25 mm Cu emailat
3D2	0.035 mm fibre inox + bumbac	0.25 mm Cu emailat
3D3	Poliester acoperit cu Ni	0.25 mm Cu emailat
3D4	Bekinox 100% – fire din inox 100%, 235 Tex	Thunderon 1 – fire acrilice acoperite cu sulfat de Cu, Nm 64/1
3D5	0.035 mm fibre inox + bumbac	Thunderon 1 – fire acrilice acoperite cu sulfat de Cu, Nm 64/1
3D6	Bekinox 100% – fire din inox 100%, 235 Tex	Thunderon 2 – fire bumbac + fire Thunderon (fire acrilice acoperite cu sulfat de cupru), Nm 40/1
3D7	0.035 mm fibre inox + bumbac	Thunderon 2 – fire bumbac + fire Thunderon (fire acrilice acoperite cu sulfat de cupru), Nm 40/1

3D8	Poliester acoperit cu Ni	Thunderon 2 – fire bumbac + fire Thunderon (fire acrilice acoperite cu sulfat de cupru), Nm 40/1
3D9	Bekinox 100% – fire din inox 100%, 235 Tex	Carbon 1 – fir poliester cu miez trilobal interior de carbon, 156 dtex f24
3D10	0.035 mm fibre inox + bumbac	Carbon 1 – fir poliester cu miez trilobal interior de carbon, 156 dtex f24
3D11	Poliester acoperit cu Ni	Carbon 1 – fir poliester cu miez trilobal interior de carbon, 156 dtex f24
3D12	Bekinox 100% – fire din inox 100%, 235 Tex	Carbon 2 – fire de nailon saturate la suprafata cu particule de carbon, 144 dtex f66
3D13	0.035 mm fibre inox + bumbac	Carbon 2 – fire de nailon saturate la suprafata cu particule de carbon, 144 dtex f66
3D14	Poliester acoperit cu Ni	Carbon 2 – fire de nailon saturate la suprafata cu particule de carbon, 144 dtex f66



Tricoturile au fost relaxate în mediu uscat timp de 72 de ore înaintea caracterizărilor electromagnetice, pentru a elimina orice variație dimensională. Prezentarea mostrelor tricotate 3D este în imaginea de mai sus.

Masurarea eficienței de ecranare a modelului experimental și al arhitecturilor optimizate

Standul de măsurare a eficienței de ecranare, cu ajutorul căruia au fost evaluate cele 14 mostre, prezentat în figura de mai jos, este alcătuit dintr-un analizor de spectru GSP 827 prevăzut cu generator de semnal cu urmărire și o celulă Electro-Metrics EM-2107A interpusă între portul generatorului și portul analizorului (stand identic cu cel din etapa precedentă).



Rezultatele măsurării eficienței de ecranare pentru modelul experimental cât și pentru mostra realizata din Bekinox 100% – fire din inox 100%, 235 Tex / 0.25 mm Cu emailat sunt prezentate în figura 9. Mostra 3D1 nu a primit statutul de model experimental din cauza prețului mare al firului Bekinox 100%.

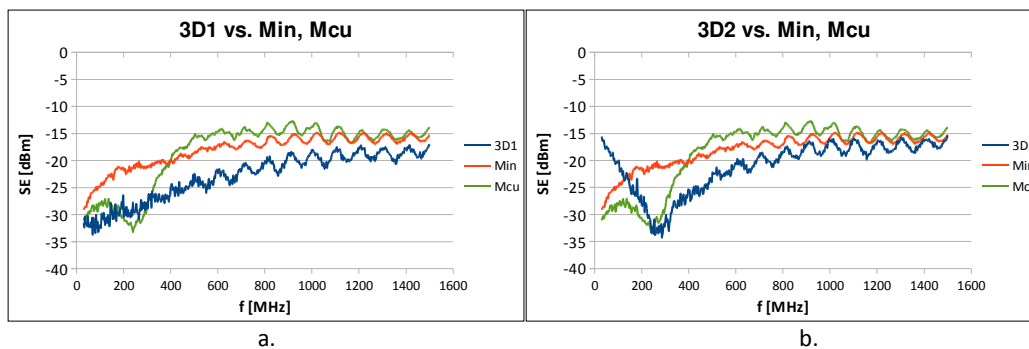


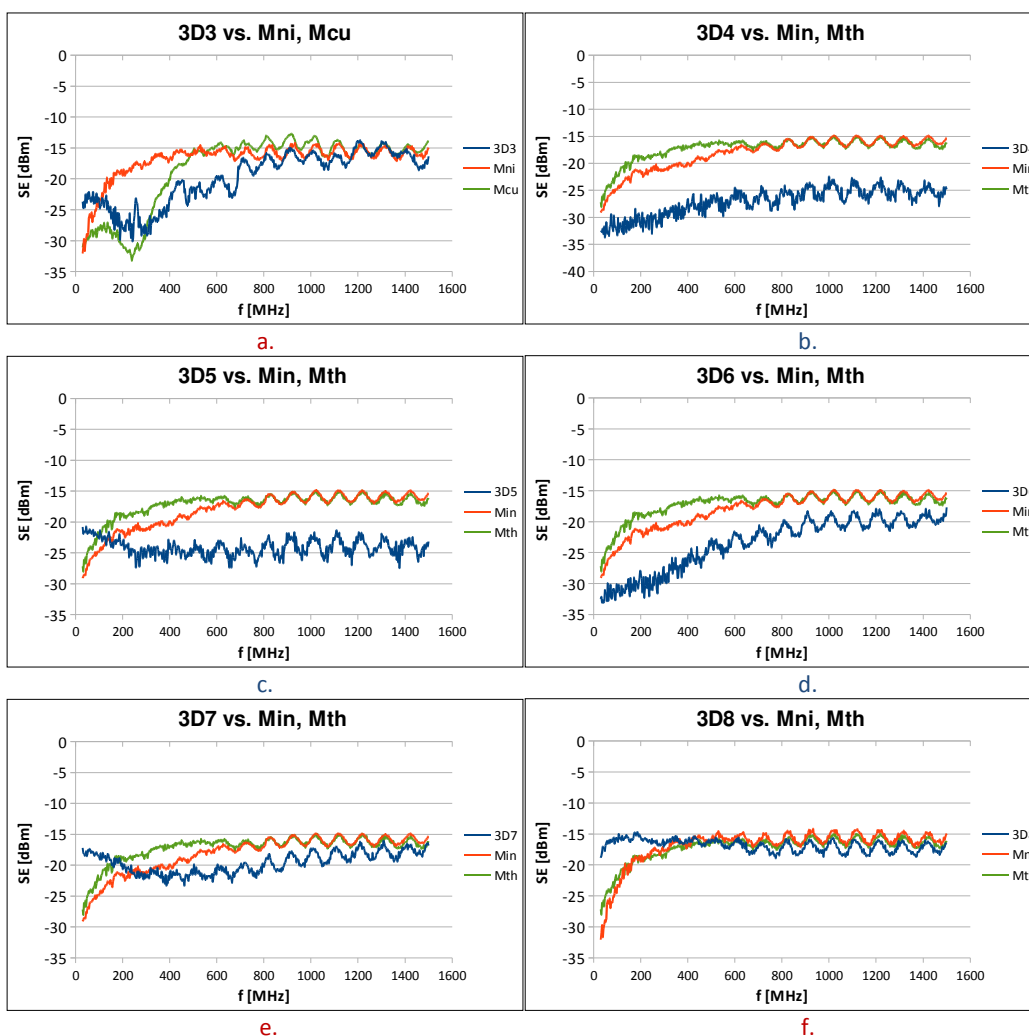
Fig. 9. Eficiența de ecranare pentru modelul experimental 3D2 (b) și mostra 3D1 (a)

Graficele variației eficienței de ecranare ale mostrelor sunt prezentate comparativ cu media de ecranare a grupelor de fire din care fac parte. Se observă o creștere a eficienței de ecranare pe întreg domeniul de frecvență.

În procesul de optimizare, firele compozite selectate pentru realizarea modelului experimental au fost combinate cu seria de fire cu rezultate bune în testele etapei precedente.

Astfel, în figura 10 sunt prezentate rezultatele eficienței de ecranare pentru:

mostra 3D3: Poliester acoperit cu Ni / **0.25 mm Cu emailat** (a), 3D4: Bekinox 100% / Thunderon 1 (b), 3D5: **0.035 mm fibre inox** / Thunderon 1 (c), 3D6: Bekinox 100% / Thunderon 2 (d), 3D7: **0.035 mm fibre inox** / Thunderon 2 (e), 3D8: Poliester acoperit cu Ni / Thunderon 2 (f), 3D9: Bekinox 100% / Carbon 1 (g), 3D10: **0.035 mm fibre inox + bumbac** / Carbon 1 (h), 3D11: Poliester acoperit cu Ni / Carbon 1 (i), 3D12: Bekinox 100% / Carbon 2 (j), 3D13: **0.035 mm fibre inox** / Carbon 2 (k), 3D14: Poliester acoperit cu Ni / Carbon 2 (l).



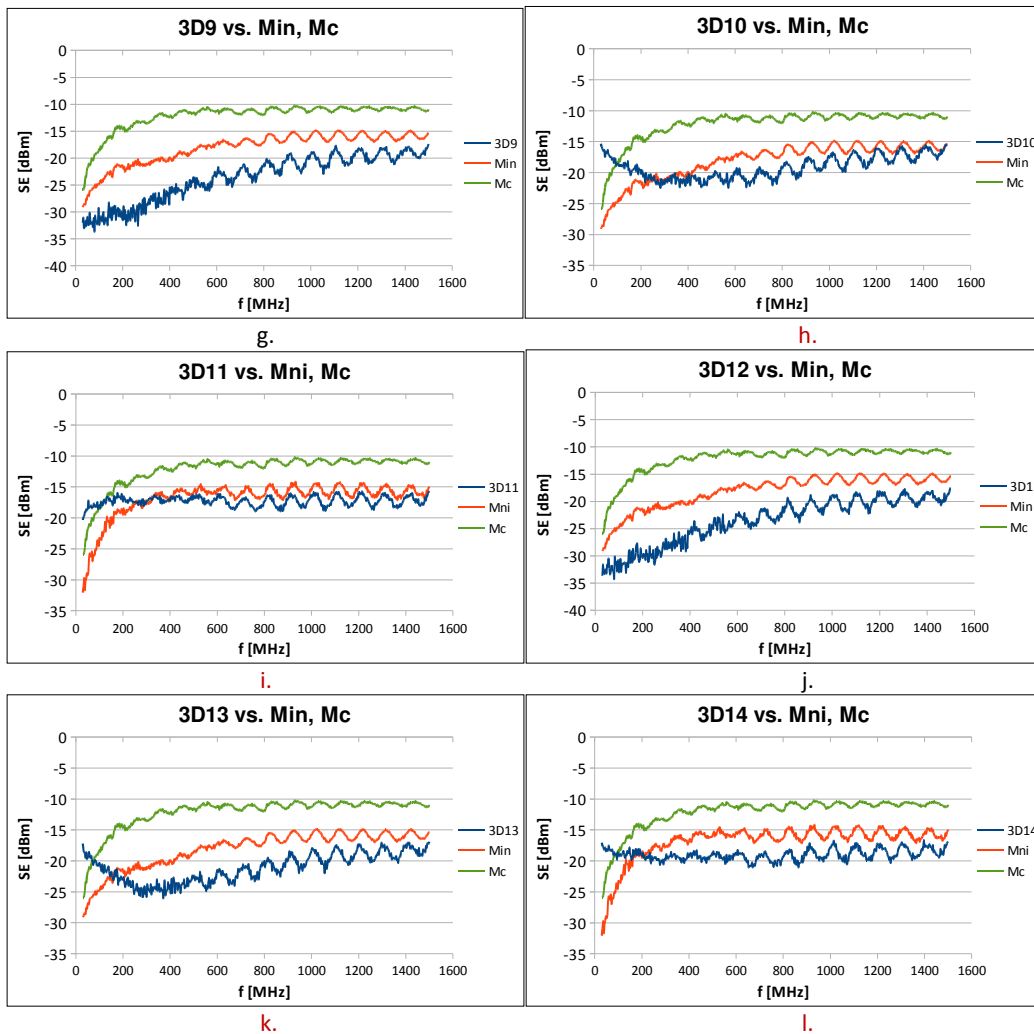


Fig. 10. Eficiența de ecranare pentru mostrele 3D3-3D14, comparativ cu media grupelor de apartenența ale firelor compozite active

In figura 11 sunt prezentate eficiențele de ecranare pentru mostrele cele mai performante:

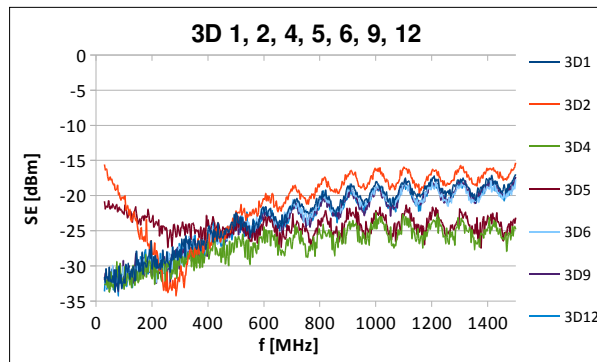


Fig. 11. Eficiența de ecranare pentru mostrele 3D1, 3D2, 3D4, 3D5, 3D6, 3D9, 3D12.

Concluzii referitoare la eficiența de ecranare a modelului experimental și al arhitecturilor optimizate. Pe baza analizei și interpretarea rezultatelor referitoare la comportamentul straturilor exterioare și de legătură s-a stabilit drept model experimental structura mostrei 3D2. (in locul lui

3D1 eliminată pe criterii de cost) Combinațiile suplimentare rezultate în etapa de optimizare relevă bune proprietăți de ecranare pentru variantele care utilizează Bekinox 100%: 3D4, 3D6, 3D9 și 3D12. Moștra 3D5 prezintă o atenuare redusă în zona frecvențelor mici. Ținând cont de cele prezentate, moștra 3D2 rămâne cea mai indicată pentru utilizare.

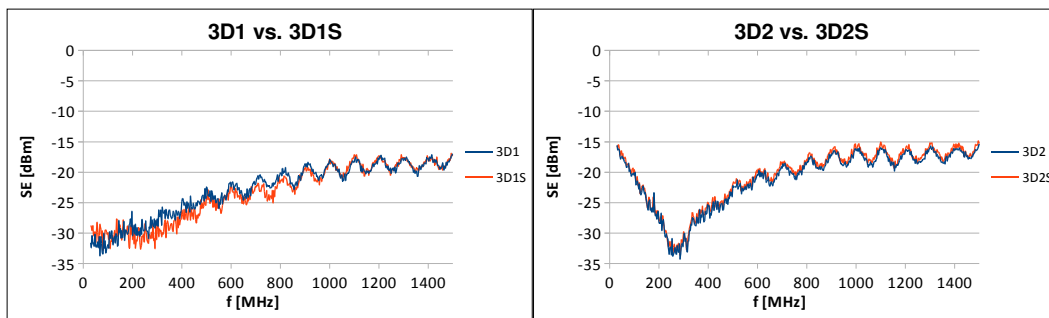
Se observă creșterea eficienței de ecranare pe întreg domeniul de frecvență pentru toate cele 14 moștre tricotate 3D, față de media de ecranare grupelor de fire din care provin straturile active implicate.

Testarea ciclului de viața

Testarea ciclului de viață s-a realizat prin verificarea eficienței de ecranare după ce moștrele au trecut printr-un tratament repetat de spălare. În tabel sunt prezentate moștrele testate.

Cod	Strat exterior	Strat de legatura	Spălare
3D1	Bekinox 100%	0.25 mm Cu emailat	Moștrele au fost spalate în mașina cu tambur orizontal Wascator FOM 71 MP-LAB la 40°C fără fosfat, fără înalbitor optic, tip A. Tip uscare: plană (metoda C). S-au făcut 3 spalări de aproximativ 60min. fiecare.
3D2	0.035 mm fibre inox	0.25 mm Cu emailat	
3D6	Bekinox 100%	Thunderon 2	
3D9	Bekinox 100%	Carbon 1	
3D12	Bekinox 100%	Carbon 2	

Eficiența de ecranare pentru moștrele supuse spălării este prezentată în figura 12, fiecare grafic conținând eficiența de ecranare înainte și după spălare.



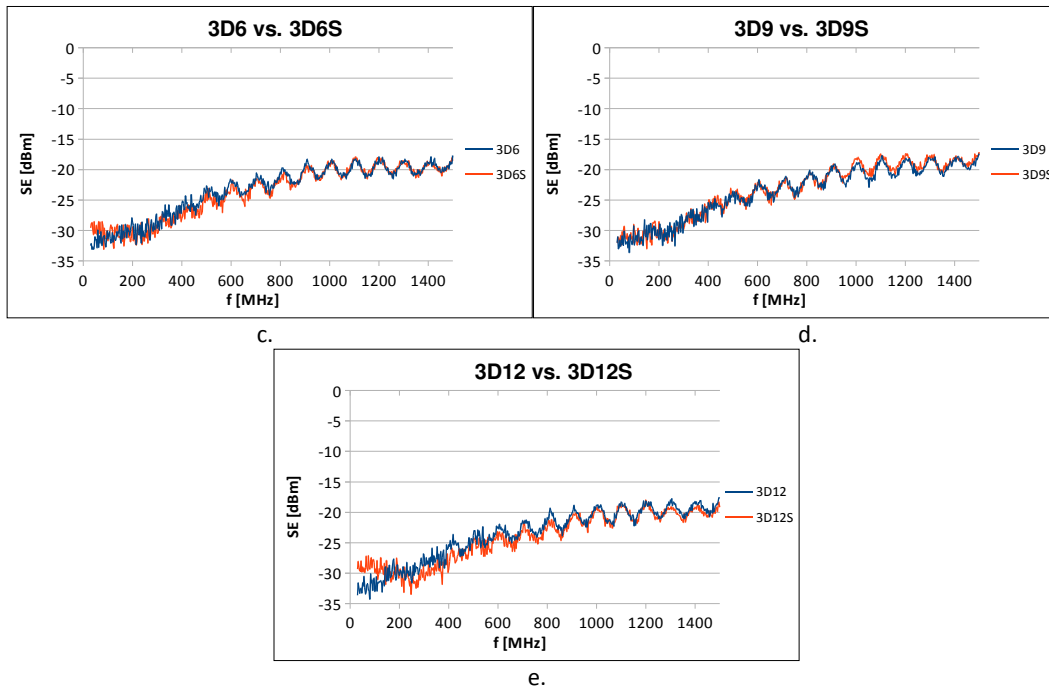


Fig. 12. Eficiența de ecranare pentru mostrele 3D1 (a), 3D2 (b), 3D6 (c), 3D9 (d), 3D12 (e)

Nu se constată modificări ale eficienței de ecranare pentru modelul experimental și nici pentru variantele testate.

Stabilirea conceptului final

Pe baza analizei rezultatelor comparative obținute din evaluarea eficienței de ecranare a celor 14 mostre tricotate 3D in etapa curentă și ținând cont de păstrarea calităților și după parcurgerea ciclului de spălare repetată, structura mostrei 3D2 devine conceptual final al proiectului: **structură 3D cu straturi exterioare din fir compozit conductor din 0.035 mm fibre inox + bumbac și cu strat de legătură din 0.25 mm Cu emailat**