

ECRANAREA CÂMPULUI ELECTROMAGNETIC APROPIAT PRIN STRUCTURI TEXTILE ȚESUTE

Drd. ing. Ion Răzvan RĂDULESCU¹, Dr. ing. Emilia VISILEANU², Dr. ing. Lilioara SURDU³,
Conf.dr.ing. Marian COSTEA², Dr. ing. Bogdana MITU³

¹ INCDTP, București, România, ² UPB – Facultatea de Energetică, București, România,

³ INFLPR, Măgurele-București, România

REZUMAT. Ecranarea câmpului electromagnetic reprezintă una dintre soluțiile de compatibilitate electromagnetică pentru protecția sănătății umane și asigurarea imunității echipamentelor electronice, în contextul dezvoltării accelerate a telecomunicației. S-au studiat soluțiile de ecranare oferite de materialele textile, spre a veni în sprijinul agenților economici în realizarea de produse competitive. S-a adaptat un model matematic pentru predicția atenuării electromagnetice a unei incinte îmbrăcate în material textil, acesta fiind caracterizat în funcție de parametrii săi geometrici și electrici.

Cuvinte cheie: ecranare, textile, software.

ABSTRACT. The shielding of the electromagnetic field represents one of the solutions of electromagnetic compatibility for the protection of human's health and electronic equipment immunity, in the context of the rapid development of telecommunication. The shielding solutions offered by textile materials were studied, in order to support the textile companies in performing competitive products. A mathematical model was adapted for the prediction of the shielding effectiveness of an enclosure covered with textile material, which is expressed related to the material's geometric and electric parameters.

Keywords: shielding, textiles, software.

1. INTRODUCERE

Valorificarea rezultatelor cercetării este o prioritate pentru institutele naționale, iar activitatea INCDTP – București este dedicată domeniului textil și al celor conexe. IMM-urile cu profil textile din țară au nevoie de sprijin în realizarea de produse competitive pe piață, cu funcționalități îmbunătățite și valoare adăugată mare, iar INCDTP vine în sprijinul acestora cu rezultate noi, aplicabile din cercetare.

Domeniul textilelor tehnice are diferite utilizări în ramuri industriale conexe (agricultura, medicină, construcții etc.) și câștigă din ce în ce mai mult teren în România, această direcție fiind în corelație cu strategia europeană în domeniul textil, propusă de Platforma Tehnologică Europeană pentru Fibre-Textile-Confecții în anul 2016. Astfel, INCDTP este activ în realizarea de noi produse textile tehnice performante cu utilizări în noi domenii tehnologice și industriale.

Unul dintre domeniile în care se pot aplica materiale textile tehnice este cel al protecției față de radiația electromagnetică (EM). Domeniul combină posibilitățile tehnologice recente de obținere a materialelor textile țesute cu fire conductive, cu necesitatea protecției față de poluarea prin radiație EM, care este tot mai răspândită o dată cu dezvoltarea accelerată a telecomunicației

(unde radio, GSM, WiFi). Conform principiilor compatibilității electromagnetice (CEM), ecranarea radiației este una dintre soluțiile pentru asigurarea sănătății ființelor vii și a imunității echipamentelor electronice. Astfel, cunoscutul specialist german în domeniul CEM, Adolf Schwab, afirmă: „Compatibilitatea electromagnetică nu este în nici un caz, realizată de la sine, deoarece spectrul electromagnetic, similar celorlalte resurse, este supus unei poluări într-o continuă creștere (în engleză: spectrum pollution) și menținerea sa cere eforturi din ce în ce mai mari.

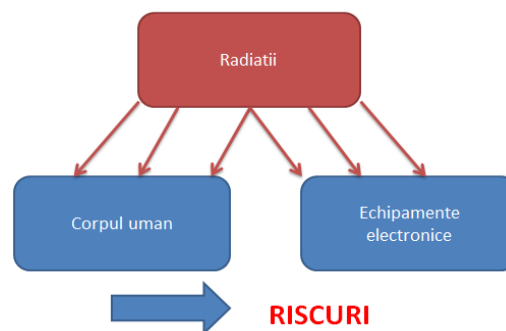


Fig. 1. Riscuri generate de radiațiile electromagnetice.

Este în interesul tuturor utilizatorilor să se cunoască efectele câmpurilor și undelor electromagnetice asupra

sistemelor electromagnetice și bio-organismelor și să se asigure o utilizare disciplinată a spectrului electromagnetic” [1].

S-au elaborat o serie de reglementări în domeniul CEM, pe de o parte pentru proiectarea și funcționarea echipamentelor electrice, iar pe de altă parte pentru protecția lucrătorilor și publicului larg, expus la astfel de radiații (Directiva 2013/35/EC). Fenomenul de ecranare EM se produce prin inducerea în ecran prin câmpul EM incident a unor curenți turbionari, care formează la rândul lor un câmp opus celui incident [2, 3].

Ecranale clasice pentru radiația EM obținute din plăci metalice prezintă proprietăți speciale, printre care o bună conductivitate electrică, iar în cazul ecranelor feroase o bună permeabilitate magnetică, ele sunt însă rigide și au o masă considerabilă. Aceste două aspecte pot fi însă îmbunătățite prin utilizarea materialelor textile cu fire conductive inserate, care sunt flexibile și adaptabile geometriei obiectelor de protejat, sunt ușoare și au o bună rezistență mecanică. Materialele textile pot atinge performanțe comparabile de atenuare electromagnetică (45-80 dB) cu cele ale ecranelor din plăci metalice (50-120 dB).

Noile tehnologii textile de obținere a unor fibre, fire (filate sau filamentare) cu un caracter de conductivitate electrică, au deschis drumul pentru realizarea prin procedee de prelucrare textilă (țesere, tricotare, realizare de nețesute, brodare) a unor materiale textile plane conductive electrice. Conductivitatea electrică poate fi obținută la nivel de:

– Fibră: prin includerea în procesul de extrudare a unor componente conductive electrice sau prin procedee tehnologice avansate de filare a materiilor prime conductive (inox, cupru, carbon etc.)

– Fir: prin filarea de amestecuri de: fibre conductive cu fibre textile sau prin peliculizarea unui filament textil (miez) cu o acoperire metalică (manta) din argint, inox etc.

– Material plan: prin procedee de acoperire cu paste conductive sau, mai avansat, prin procedee de tratare în plasmă. [4]

Astfel de materiale textile sunt aplicabile pentru ecranarea radiației electromagnetice, dat fiind faptul că proprietatea de conductivitate electrică este într-o strânsă corelație cu atenuarea electromagnetică [5, 6]. Domeniul ecranelor textile s-a dezvoltat spectaculos în ultimul deceniu, fiind aduse prin studiile de cercetare noi contribuții sub aspectul teoretic de modelare a fenomenului [7-8], susținute de altfel prin dezvoltarea spectaculoasă a noilor tehnologii de procesare textilă [9-10].

2. ECRANE TEXTILE - CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI PRACTICE

Având în vedere fenomenul de ecranare a undelor EM, realizat prin câmpul format de curenții turbionari induși într-un material cu o structură tip grilă, opus

câmpului incident, specialistul german Heinrich Kaden a obținut prin metoda separării variabilelor o relație analitică pentru atenuarea câmpului electromagnetic cvasi-staționar [2]. Aceste structuri grilă pot fi asimilate materialelor textile țesute cu fire conductive inserate. Modelul propus [2] este elaborat sub anumite premise:

- câmpul incident este cvasi-staționar, cu un curent de inducție mult mai mare față de curentul de deplasare, care se va putea neglija;

- câmpul incident este omogen pe ambele laturi ale incintei de ecranare;

- cele două planuri paralele ale incintei de ecranare au o lungime considerabilă (modelul presupune o lungime infinită), cu închiderea circuitelor la capete – pentru formarea curenților turbionari în aceste circuite.

Din relația elaborată de specialistul german s-a dedus o relație simplificată, valabilă pentru specificul materialelor textile țesute cu fire conductive, aplicabilă pentru un anumit domeniu de frecvență (1). Elementele specifice materialelor textile sunt:

- un diametru redus al firelor conductive în raport cu adâncimea de pătrundere, pentru parametrii electrice și magnetici conform firelor existente;

- o variație relativ redusă a parametrilor electrice legați de funcția de rezistență și de inducție a firelor conductive în funcție de frecvență.

Relația simplificată obținută pentru factorul de atenuare Q este:

$$|Q| = \frac{1}{2\pi} \frac{a}{x} \left(\frac{\delta}{r}\right)^2 \quad (1)$$

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \sigma \mu}} \quad (2)$$

$$f_{min} \geq \frac{1}{2\pi^2 \sigma \mu \frac{x}{a} r^2} \quad (3)$$

$$SEdB = 20 \log_{10} \left(\frac{1}{|Q|}\right) \quad (4)$$

unde s-au notat:

Q – factorul de atenuare [1]

a – distanța între firele conductive din băutura materialului țesut [m]

x – semi-distanța între cele două planuri ale incintei de ecranare [m]

r – raza firului textil conductiv [m]

δ – adâncimea de pătrundere [m]

f – frecvența câmpului magnetic cvasi-staționar incident [Hz]

σ – conductivitatea electrică a firului textil conductiv [S/m]

μ – permeabilitatea magnetică a firului textil conductiv [H/m]

f_{min} - frecvența minimă la care este valabilă relația de atenuare [Hz]

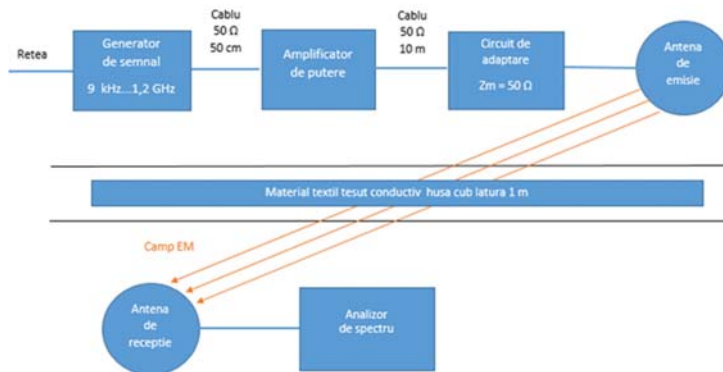
SE_{dB} – atenuarea în [dB]

Pentru validarea experimentală a relațiilor prezentate, s-a realizat în cadrul Laboratorului CEM al Facultății de Energetică al UPB, un ansamblu expe-

rimental, compus dintr-o incintă de ecranare și un sistem de măsurare a atenuării electromagnetice. Incinta de ecranare a fost realizată dintr-un cub cu bare din lemn și latura de 1 m, care a fost îmbrăcat într-o husă din material textil de tipul RAZ-1, cu următoarele specificații (tabelul 1):

Tabelul 1. Proprietăți de structură și proprietăți fizico-mecanice material țesut RAZ-1

Proprietate	Standard	Descriere
Structură		
Fir conductiv electric		Inox 40 tex în urzeală și bătătură
Fir de bază		100% BBC
Raport fire		Urzeală: 6:2 Bătătură: 6:2
Legătură		Pânză
Proprietăți fizico-mecanice		
Masă pe unitatea de suprafață [g/m²]	EN 12127:1999	143
Desimea [nr. Fire/ 10 cm] – Urzeală	SR EN 1049:2:2000	180
Desimea [nr. Fire/ 10 cm] – Bătătură		170
Grosimea materialului textil [mm]	SR EN ISO 5084/2001	0,55
Conductivitatea de suprafață [Ohm_{sq}]	EN ISO 1149-1	9500
Conductivitatea de volum [Ohm*cm]	EN ISO 1149-2	37000
Conductivitate electrică fir inox [S/m]	Determinat experimental	7770
Permeabilitate magnetică relativă fir inox [1]	Calculat	7,36



2.a - Schemă



2.b - Imagine

Fig. 2. Ansamblul experimental.

Ansamblul pentru măsurarea atenuării electromagnetice este compus din: generatorul de frecvență, circuitul de adaptare, antena de emisie câmp magnetic (amplasată în interiorul cubului), antena de recepție câmp magnetic (amplasată în exteriorul cubului) și analizorul de spectru.

Pe baza determinărilor experimentale de atenuare pe materialul RAZ-1, s-au obținut valori de atenuare cuprinse în intervalul 2-10 dB. În figura 3 sunt reprezentate evoluțiile atenuării pe baza relației din literatura de specialitate (albastru) [2] și pe baza relației simplificate (roșu) (1-4) cu indicarea f_{min} din relația (3).

Se poate observa din figura 3 o bună modelare a relației analitice din literatura de specialitate prin relația simplificată pentru valori ale frecvenței câmpului incident mai mari de f_{min} .

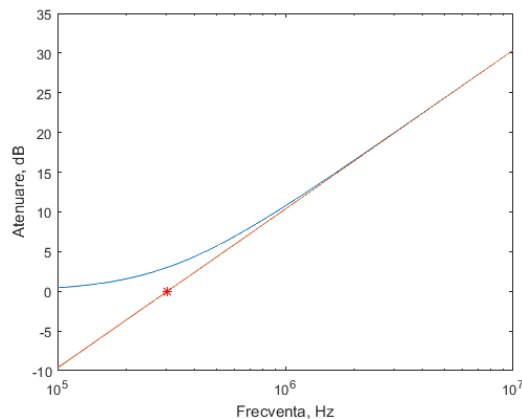


Fig. 3. Grafic de atenuare relație din literatura de specialitate și relație simplificată.

Frecvența maximă s-a considerat a fi de 20 MHz, ceea ce rezează frecvența de rezonanță pentru incinte cu dimensiunile între 0,1-2 m, în conformitate cu standardul IEEE 299.1. Această frecvență maximă satisface totodată condiția distanței maxime față de sursă de radiație d , până la care se formează câmpul electromagnetic apropiat, în conformitate cu relația (5):

$$d \leq \frac{c_0}{2\pi f} \quad (5)$$

unde c_0 este viteza luminii, iar $d = 2,38$ m, pentru $f = 20$ MHz. Antenele de emisie și de recepție fiind amplasate la o distanță $d_t = 30$ cm față de ecranul incintei, este satisfăcută condiția de câmp electromagnetic apropiat, prin $d > d_t$, ceea ce reprezintă o premiză pentru neglijarea curentului de deplasare în relația analitică din literatura de specialitate [2].

În ceea ce privește valorile experimentale de măsurare în intervalul 2-10 dB, putem spune că acestea se apropie de modelul analitic, pentru intervalul de frecvență specificat. Se poate face mențiunea că modelul analitic este unul ideal, care presupune ecranarea unui câmp magnetic omogen pe ambele laturi ale incintei (greu de obținut cu o singură antenă magnetică de emisie), iar firele conductive se închid la muchiile cubului cu dificultate, pentru asigurarea circulației curentului electric turbionar. Aceste rezultate se pot interpreta printr-o bună modelare a atenuării pe baza relației simplificate, fapt confirmat de rezultatele experimentale. Se dorește însă ca modalitatea de măsurare și ansamblul experimental să fie îmbunătățite.

3. VALORIFICAREA REZULTATELOR CERCETĂRII

Pentru sprijinirea IMM-urilor textile din țară, producătoare de ecrane electromagnetice textile, s-a elaborat un program software, disponibil pe web la adresa URL www.certex.ro/victex/, care permite calculul estimativ al atenuării EM pentru un material țesut dat, cu parametrii săi geometrici (raza firului conductiv, distanța între firele conductive din bătătură și distanța între planurile incintei de ecranare) și electrice (conductivitatea electrică și permeabilitatea magnetică a firelor). Mai mult, relația simplificată permite determinarea distanței dintre firele conductive în funcție de atenuare și face posibilă astfel proiectarea ecranelor textile (6).

$$a = 2\pi x \left(\frac{r}{\delta}\right)^2 10^{-\frac{SEdB}{20}} \quad (6)$$

Programul software permite totodată calcularea distanței între firele conductive ale grilei materialului țesut în funcție de o atenuare specificată, permițând proiectarea adecvată a unei structuri textile.

O parte dintre rezultatele cercetării au fost valorificate în cadrul companiei textile SC Majutex SRL, Bârnova – Iași, prin realizarea unor mostre de materiale textile țesute cu rol de ecranare electromagnetică. Prin discuțiile cu agenții economici, s-a identificat întrebarea legată de necesitatea obținerii parametrilor de structură a unui ecran textil țesut pentru o aplicație dată (spre exemplu o atenuare specificată de 30 dB), pe baza parametrilor electrice ai materiei prime a firului conductiv (conductivitate electrică și permeabilitate magnetică). Relațiile simplificate (1, 6) contribuie la soluționarea acestui obiectiv.

Mai mult, cercetările preliminare în domeniul ecranării electromagnetice prin structuri textile au contribuit la realizarea de noi propuneri de proiecte de cercetare pe acest domeniu. Astfel, este în curs de derulare un proiect de cercetare pe programul ERANET MANUNET pentru perioada 2018-2020, cu acronim TexEMFiRe, care are ca obiectiv principal realizarea de ecrane textile pentru domeniul construcțiilor (BUIDTECH) prin tratamente în mediu de plasmă, cu proprietăți de ecranare electromagnetică și proprietăți ignifuge. În acest proiect, INCDTP și SC Majutex SRL sunt parteneri, iar INFLPR este coordonator, fiind responsabil de realizarea tratamentelor în plasmă pe materiale textile. De asemenea, proiectul are doi parteneri din Italia: Universitatea Piedmonte Orientale și centrul de testare TecnoLab. Se continuă astfel studiile de cercetare în domeniul ecranelor textile, realizate inițial din structuri țesute cu fire conductive, prin proiectul MANU NET, unde ecranele sunt realizate din suporturi textile tratate pe suprafață în mediu de plasmă tip sputtering, prin aplicarea de pelicule conductive cu ioni din cupru și aluminiu.

4. CONCLUZII

Protecția față de radiația electromagnetică este o temă de actualitate, în contextul accelerării utilizării mijloacelor de telecomunicație și necesității asigurării protecției sănătății oamenilor și imunității echipamentelor electronice. Soluția oferită de ecranele textile este avantajoasă din punct de vedere al masei reduse, flexibilității și rezistenței ridicate, atunci când este evaluată în raport cu ecranele metalice, la performanțe de atenuare comparabile. INCDTP – București este preocupat de tema științifică a ecranelor textile pentru radiația EM și a elaborat contribuții în modelarea structurilor țesute cu fire conductive, destinate predicției atenuării electromagnetice. Valorificarea rezultatelor cercetării este o prioritate pentru INCDTP, iar beneficiile studiilor efectuate s-au concretizat în realizarea de mostre pentru ecrane textile în cadrul SC Majutex SRL. De asemenea, s-au elaborat noi propuneri de proiecte pe această temă, un proiect aprobat spre finanțare pe

programul Manunet cu acronimul TexEMFiRe, fiind destinat studiului ecranelor textile realizate în mediu de plasmă. Materialele textile conductive pot fi utilizate ca perdele de protecție, paravane, corturi și alte elemente de construcție, pentru ecranarea radiației electromagnetice și asigură menținerea sănătății umane și compatibilitatea electromagnetică a funcționării echipamentelor electronice.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Schwab, A., Kuerner, W., *Compatibilitate electromagnetică*, Editura AGIR, București, România, 2013.
- [2] Kaden, H., *Wirbelstroeme und Schirmung in der Nachrichtentechnik*. Springer, Muenchen, Germania, 1959.
- [3] Paul, C.R., *Electromagnetic compatibility*. Wiley inter-science, 2006, Marea Britanie.
- [4] Ziaja, J., Maciej, J., *EMI shielding using composite materials with plasma layers*, IntechOpen, 2011, Marea Britanie.
- [5] Ozen, M.S. et al., *Investigation of the electromagnetic shielding effectiveness of needle punched nonwoven fabrics produced from stainless steel and carbon fibers*, *Fibers&Textiles in Eastern Europe* 2018, **26**, 1(127), 94-100.
- [6] Chung, DDL, *Electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon materials*, *Carbon* 2001, **39**, 279-285.
- [7] Caro, A. L., Vojtech, L. – *Master thesis: Modelling of textile reinforced composite barriers against electromagnetic radiation*, 2011 TU Prague, Republica Cehă
- [8] Hajek, J., Svoboda, J. – *PhD Thesis: Modelling the shielding effectiveness of flat textiles*, 2010 TU Prague, Republica Cehă.
- [9] firma belgiană de fire conductive Bekaert www.bekaert.com
- [10] firma germană de fire conductive Stutex www.stutex.de

Despre autori

Drd. ing. **Ion Răzvan RĂDULESCU**
INCDTP, București, România

Cercetător științific gradul III în cadrul INCDTP / Departamentul DCIM, doctorand la Universitatea Politehnica București, cu tema asigurării compatibilității electromagnetice prin structuri textile. Specializare în tratamentul materialelor textile în mediu de plasmă, caracterizarea materialelor textile din punct de vedere al confortului termofizologic, determinarea unghiului de contact pentru evidențierea caracteristicilor de suprafață ale materialelor textile. Numeroase aplicații informatice în domeniul textil în limbajul de programare PHP / MySQL (Intranet INCDTP). Proiecte în coordonare pe programul Erasmus+, formare profesională (VET) – Advan2Tex (2014-2016) și TexMatrix (2016-2018) cu realizarea platformei de e-learning în domeniul textil www.advan2tex.eu/portal/.

Dr. ing. **Emilia VISILEANU**
INCDTP, București, România

Cercetator științific gradul I la INCDTP-Bucuresti, absolventă a Institutului Politehnic „Gh.Asachi,, Iași – Facultatea de Industrie Ușoara cu peste 40 ani experiență în participarea și coordonarea de proiecte de cercetare, derulate în programele naționale și internaționale de CDI și peste 20 ani în managementul organizational și al activității de cercetare - dezvoltare. Recunoașterea științifică s-a materializat prin publicarea a 16 cărți în calitate de autor și coautor, 56 lucrări științifice publicate în reviste sau proceeding-uri ale unor conferințe, 15 brevete de invenții și peste 95 de premii și medalii ale saloanelor de invenții și inovații. Președinte al SIT-AGIR, SCCR și CT-103 ASRO, vicepresedinte ASRO.

Dr. ing. **Lilioara SURDU**
INCDTP, București, România

Coordonator colectiv DCIM, absolventă a Institutului Politehnic „Gheorghe Asachi” din Iași, Facultatea de Tehnologie și Chimia Textilelor. Specializarea Tehnologia Firelor și Țesăturilor. A obținut în mai 2015 titlul de doctor inginer la UNIVERSITATEA TEHNICA „GHEORGHE ASACHI” din IASI, DOMENIUL INGINERIE INDUSTRIALA. Coordonarea activității în laboratorul de testare fizico-mecanică fibre, fire, produse plane-purtabilitate din INCDTP, din iulie 2004 - prezent și expert ASRO, secretar ASRO CT 103 Textile Pielărie.

Conf. dr. ing. **Marian COSTEA**
Universitatea Politehnica București (UPB), Facultatea de Energetică

Absolvent al Facultății de Energetică din UPB în anul 1982, dr.ing. din 1998. Este coordonatorul Colectivului de Tehnica tensiunilor înalte și Compatibilitate electromagnetică din Facultatea de Energetică. Este prim autor sau co-autor a 61 de articole (din care 15 indexate ISI) în reviste și conferințe internaționale, în domeniul său de activitate și, de asemenea, a 53 de articole în reviste și conferințe naționale.

Dr. ing. **Bogdana MITU**
INFLPR, Măgurele-București, România

Cercetator științific gradul I la INFLPR-Măgurele-Bucuresti, cu specializare în tratamente de plasmă de joasă presiune pentru modificarea suprafețelor materialelor plane. Coordonator de colectiv al laboratorului cu această specializare. Numeroase contribuții științifice prin proiecte de cercetare (8 proiecte pe plan național și 3 pe plan european) și publicații (50 articole științifice ISI). Director științific al INFLPR în perioada nov 2016-iun 2017.