

# ECHIPAMENT SPECIAL UTILIZABIL ÎN AERONAUTICĂ. RISC EXPERTAL – STUDIU DE CAZ

Dr. ing. D. POPA<sup>1</sup>, Dr. ing. M. M. CODESCU<sup>2</sup>, A. POPA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> SETEC-AGIR, <sup>2</sup> R&D National Institute for Electrical Engineering – ICPE-CA,  
<sup>3</sup> Universitatea „Politehnica” – București, Facultatea de Inginerie Electrică

**REZUMAT.** În industria aeronautică, proiectanții de echipamente speciale și de avionică trebuie să țină cont de protecția personalului navigant și tehnic având în vedere frecvențele utilizate pentru echipamentele de radio și radiolocație de la bord. De asemenea, amplasarea acestor echipamente la bordul aeronavei trebuie realizată astfel încât să aibă „vizibilitate” pentru undele radio și de radiolocație, dar în același timp să nu interfereze între ele sau cu alte echipamente de la bord – fenomen ce poate duce la alterarea informației furnizate de echipament și la problemele ce pot deveni semnificative la bord în anumite condiții (perturbații în utilizarea radarului meteo, radioaltimetrelor, radiocompaselor etc). În acest sens, pe lângă proiectarea și construcția echipamentelor de bord ce respectă normele de compatibilitate electromagnetică, pentru a crește performanțele echipamentelor de la bord se poate folosi scutul electromagnetic de diferite dimensiuni și flexibilități, care va atenua unda de radiolocație cu aproximativ 25 dB, atât la emisia de pe aeronavă, cât și la protecția acesteia pentru frecvențe cuprinse între 3 și 16 GHz.

**Cuvinte cheie:** echipamente aeronautice, radiolocație, risc, atenuare, scut electromagnetic.

**ABSTRACT.** In aeronautics, designers of special equipment and avionics must take into account the protection of pilots, passengers and technicians, considering frequencies used for radio and radar equipment on board. Also placing such equipment on board aircraft must be done in order to have "vision" for radio and radar waves at the same time, do not interfere each other or with other equipment on board - a phenomenon that can lead to alterations in the information provided by the equipment and the issues that may become significant on board under certain conditions ( perturbations in the use of weather radar, for example). In addition to this board equipment design and construction that respects electromagnetic compatibility standards, to increase the performance of equipment on board can use different size of an electromagnetic shield with different type of flexibility, which will attenuate wave radar with about 25 dB, so the emission of the aircraft and its protection, for frequencies between 3 and 16 GHz.

**Keywords:** aeronautical equipment, radar, risk mitigation, electromagnetic shield.

## 1. INTRODUCERE

În toate domeniile de activitate sunt utilizate dispozitive, aparate, echipamente, instalații speciale și de comunicații care au la bază utilizarea energiei electromagnetice. Pentru buna funcționare a acestor echipamente, atât individual cât și în sisteme integrate este necesară compatibilitatea electromagnetică. Compatibilitatea electromagnetică este direcționată pe două axe: axa asigurării **imunității electromagnetice** (funcționarea satisfăcătoare fără degradare a sistemului electromagnetic fabricat de om în mediu perturbat electromagnetic) și axa **limitării emisiilor electro-magnetice** (emisiile electromagnetice se constituie în posibile surse de anomalii / interferențe induse în echipamentele electrice și electronice, precum și într-o posibilă amenințare pentru starea de sănătate a oamenilor).

**Susceptibilitatea electromagnetică** (reprezintă incapacitatea funcționării fără degradare, a unui

sistem electromagnetic, în mediu perturbat electromagnetic).

În domeniul aeronautic, se utilizează frecvențe cuprinse între 3 kHz și aproximativ 10 GHz. În aviație, proiectanții de echipamente speciale și de avionică trebuie să țină cont de protecția personalului navigant și tehnic având în vedere frecvențele utilizate pentru echipamentele de radio și radiolocație de la bord și de asemenea, și de amplasarea acestor echipamente la bordul aeronavei, astfel încât să aibă „vizibilitate” pentru undele radio și de radiolocație, dar în același timp să satisfacă compatibilitatea electromagnetică între ele sau cu alte echipamente de la bord. Ca o consecință a susceptibilității electromagnetice se poate ajunge de la alterarea informației furnizate de echipament și la problemele ce pot deveni semnificative la bord în anumite condiții (perturbații în utilizarea radarului meteo, radioaltimetrelor, radiocompaselor etc) ajungând până la defectarea unor echipamente.

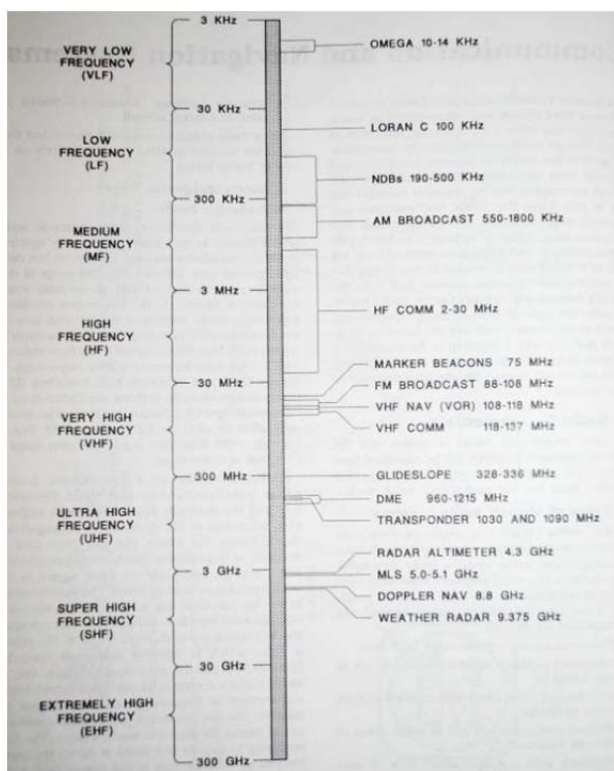


Fig. 1. Tabel cu gamele de frecvențe utilizate în aviație și diferite echipamente

Totodată, trebuie să se țină cont de cerințele de proiectare în condiții de siguranță aeronautică, astfel încât echipamentele de avionică să fie de regulă dublate sau triplate, ceea ce poate duce la o creștere a ratei specifice de absorbție a radiației electromagnetice SAR în structura biologică, proporțională cu durata zborului.

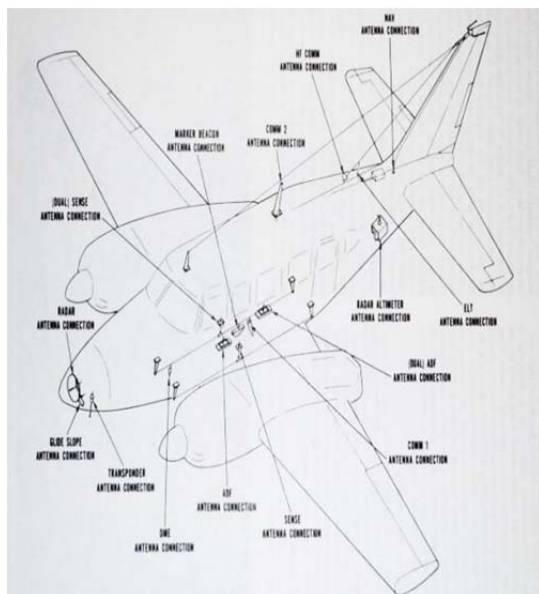


Fig. 2. Dispunerea unor antene pe structura unei aeronave.

**Risc expertal – Studiu de caz.** Tipuri de sisteme radio și radiolocație utilizate în aviație: (sisteme de comunicații – voce și date, ATC Radar – sistem

radar de control al traficului aerian, Weather Avoidance – sistem radar pentru avertizare meteo, Approach Aids – sistem specializat de navigație, pentru ghidarea aeronavelor la aterizare în condiții meteo nefavorabile, Altitude Measurement – sisteme precise de măsurare a altitudinii față de sol, Airborne Collision Avoidance – sistem avertizare piloți despre posibila coliziune cu o alta aeronavă.

Tehnologia radio ultra-wideband (UWB-RT) este un sistem atractiv bazat pe o tehnologie inovatoare, robustă, economică și durabilă „de control și monitorizare“, precum și servicii de media la bordul aeronavelor. Prioritatea pentru aplicații bazate pe UWB, la sol a fost foarte mare, deoarece a început activitatea de reglementare pe UWB – RT, în Europa fiind elaborate reglementări specifice pentru dispozitive UWB (a se vedea, de exemplu [2]), dar din cauza lipsei de studii de coexistență în Electronic Communication Committee – ECC, nu au existat reglementări elaborate pentru UWB la bordul aeronavelor.

Dacă folosim două echipamente ce utilizează tehnologia UWB-RT la bordul aeronavelor, din studiile efectuate se obțin rezultatele prezentate în tabelele 1 și 2.

Din cele de mai sus, se poate spune că există un potențial de interferență din partea echipamentelor UWB în gamele de frecvență 3400-4200 MHz, 4500-4800 MHz și 7250-7750 MHz.

**Conform rezultatelor pentru gama 3,4-4,2 GHz și 4,5-4,8 GHz.** Deficitul de interferență variază de la 11,2 dB la 3,2 dB și de la 17,2 dB la 3,3 dB stația de sol pentru 10.000 m și, respectiv, 5.000 m altitudine. Durata de interferență depășind criteriul – 20 dB, varia de la 1 s la 3.6 s la 10.000 m altitudine și de la 0,7 secunde la 7,1 s de la 5.000 m altitudine.

Durata totală de interferență la stațiile de sol cu diametru mare de antenă, pentru un scenariu la un aeroport cu multiple zboruri, poate varia de la 2264 secunde la 2567 secunde și de la 4,479 secunde la 5078 secunde într-o perioadă de 24 de ore pentru 10.000 de metri și 5.000 de metri altitudine. Acest lucru se traduce la un maxim de 2,97 % și 5,88 %. Având în vedere siguranța vieții, această durată de interferență nu este nesemnificativă dacă aceste tipuri de stații sunt situate în apropierea unui aeroport aglomerat.

**Conform rezultatelor analizei intervenție pentru FSS în 7,25-7,75 GHz,** interferența deficitelor variază de la 10 dB la 1,9 dB și de la 16 dB la 2,1 dB pentru antena de 12,5 m a stației de sol, de la 10.000 m și respectiv, 5.000 m altitudine.

Durata interferențelor care depășesc criteriul de –20 dB variază de la 0.4 s la 1,13 s la 10.000 m altitudine și de 0,25 s la 2,3 s la 5.000 m altitudine.

Durata totală de interferență la stațiile de sol cu diametru mare de antenă aproape de aeroporturile

## ECHIPAMENT SPECIAL UTILIZABIL ÎN AERONAUTICĂ. RISC EXPERTAL – STUDIU DE CAZ

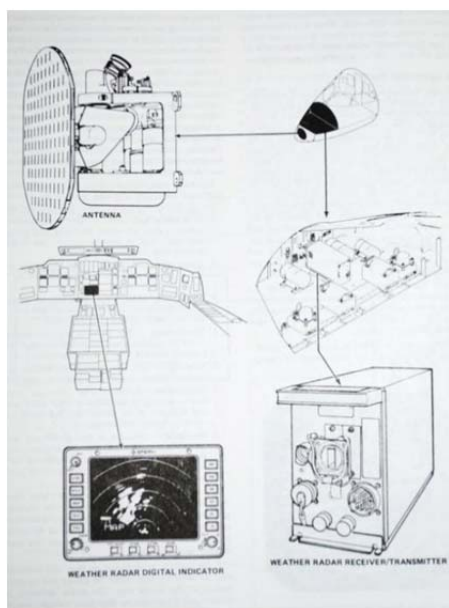
respectiv poate varia pentru 10.000 de metri altitudine de 722 s la 814 s pe 24 de ore pentru elevație 20° (254 la 288 s timp de 60° elevație) și pentru 5.000 de metri altitudine de 1463 secunde la 1649 s într-o perioadă de 24 de ore pentru elevație 10° (159 s la 180 s pentru elevație de 60°).

*Tablul 1: Interferența agregatelor aeronavelor pe durata de 24 ore pentru aeroporturile aglomerate din Europa la 10.000 metri altitudine*

Aeroport	Nr. zboruri per 24 ore / decolări	Nr. zboruri per pistă / 24 ore	Durata cu care se depășește criteriul de 20 dB pentru o aeronava (s)	Interferența agregatelor pe durata a 24 ore (s)	Procente din durata interferenței în timp
Pentru stații ce lucrează în gama 3,4 - 4,2 GHz și 4,5 - 4,8 GHz					
Heathrow	1278	639	3,57	2279	2,64
Frankfurt	1269	635	3,57	2264	2,62
Charles de Gaulle	1440	720	3,57	2567	2,97
Pentru stații ce lucrează în gama 7,25-7,75 GHz (elevație 20°)					
Heathrow	1278	639	1,13	722	0,84
Frankfurt	1269	635	1,13	718	0,83
Charles de Gaulle	1440	720	1,13	814	0,40
Pentru stații ce lucrează în gama 7,25-7,75 GHz (elevație 60°)					
Heathrow	1278	639	0,4	256	0,30
Frankfurt	1269	635	0,4	254	0,29
Charles de Gaulle	1440	720	0,4	288	0,33

*Tablul 2. Interferența agregatelor aeronavelor pe durata de 24 ore pentru aeroporturile aglomerate din Europa la 5.000 metri altitudine*

Aeroport	Nr. zboruri per 24 ore / decolări	Nr. zboruri per pistă / 24 ore	Durata cu care se depășește criteriul de 20 dB pentru o aeronavă (s)	Interferența agregatelor pe durata a 24 ore (s)	Procente din durata interferenței în timp
Pentru stații ce lucrează în gama 3,4-4,2 GHz și 4,5-4,8 GHz					
Heathrow	1278	639	7,05	4507	0,0522
Frankfurt	1269	635	7,05	4479	0,0518
Charles de Gaulle	1440	720	7,05	5078	0,0588
Pentru stații ce lucrează în gama 7,25-7,75 GHz (elevație 20°)					
Heathrow	1278	639	2,29	1463	0,0169
Frankfurt	1269	635	2,29	1454	0,0168
Charles de Gaulle	1440	720	2,29	1649	0,0191
Pentru stații ce lucrează în gama 7,25-7,75 GHz (elevație 60°)					
Heathrow	1278	639	0,25	160	0,0018
Frankfurt	1269	635	0,25	159	0,0018
Charles de Gaulle	1440	720	0,25	180	0,0021



**Fig. 3.** Disponerea radarului meteo pentru 9.375 GHz.

## 2. CERCETĂRI EXPERIMENTALE

Rata specifică de absorbție a radiației electromagnetice depinde de mai mulți parametri:

- geometriile și proprietățile dielectrice ale mediilor iradiate;
- geometria și amplasarea sursei de radiație și orientarea acestei surse în raport cu mediul biologic iradiat;
- polarizarea câmpului electromagnetic incident;
- focalizarea undei electromagnetice;
- modulația câmpului electromagnetic incident – unda incidentă modulată în amplitudine sau în impulsuri; nivelul SAR va fi variabil în timp, dar oricum mai mic decât în cazul unei unde continue.

În sensul celor prezentate, INCDIE ICPE-CA produce un ecran electromagnetic din material compozit, realizat prin înglobarea într-o matrice elastomerică de microfibre de cupru și aliaje magnetice moi, izolate în sticlă.

Au fost pregătite o serie de microfibre / compozite polimerice, cu diferite cantități de microfibre izolate în sticlă, pe bază de cupru și aliaje magnetice moi. Aliajele au fost caracterizate structural și magnetic și după încorporarea lor în matricea de elastomer, proprietățile de ecranare electromagnetică ale compozitelor au fost măsurate în intervalul de frecvență de 3-16 GHz. Valorile obținute pentru atenuare sunt în intervalul de 25-30 dB și recomandă aceste compozite ca material pentru scuturi electromagnetice pentru diverse aplicații, cât și pentru diferite aparate și sisteme de la bordul aeronavelor.

▲ *Aliajele – prepararea și caracterizarea.* Microfibrele amorfe acoperite cu sticlă, pe bază de cupru și aliaje magnetice moi, ternare și multicomponente, s-au preparat folosind metoda Taylor-Ulitovski. Microfibrele învelite în sticlă au fost caracterizate prin difracție de raze X, microscopie de forță atomică și au fost măsurate la magnetometrul cu probă vibrantă.

▲ *Materialele compozite – prepararea și caracterizarea funcțională.* Materialele compozite au fost preparate prin încorporarea, după dispersie, a unor eșantioane din aliaj într-o matrice elastomerică (rășină siliconică din clasa EPOLAM cu întăritor tip ZC825). Proprietățile electromagnetice de ecranare ale compozitelor au fost investigate pentru diferite tipuri de aliaje.

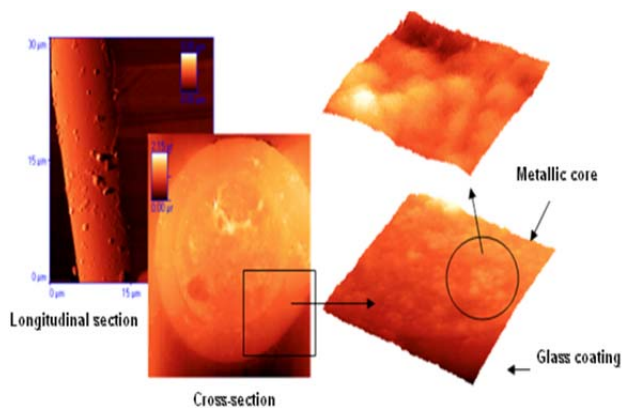


Fig. 4. Micrografia de forță atomică pentru microfibre de aliaj din sistemul ternar Fe-Si-B.

Principalele caracteristici fizice și funcționale ce îi conferă posibilitatea utilizării în domeniul aeronautic sunt densitatea redusă, de circa 0,98–1,1 g/cm<sup>3</sup>, grosimea de 1,00 mm și valori de atenuare a radiației electromagnetice cu prinse în intervalul 25–30 dB, pentru domeniul de frecvență cuprins între 3 și 16 GHz.

În figura 5 sunt prezentate variațiile atenuării cu frecvență pentru ecrane realizate din materiale compozite cu diverse amestecuri de microfibre de cupru și aliaje magnetice moi din sistemul ternar Fe-Si-B.

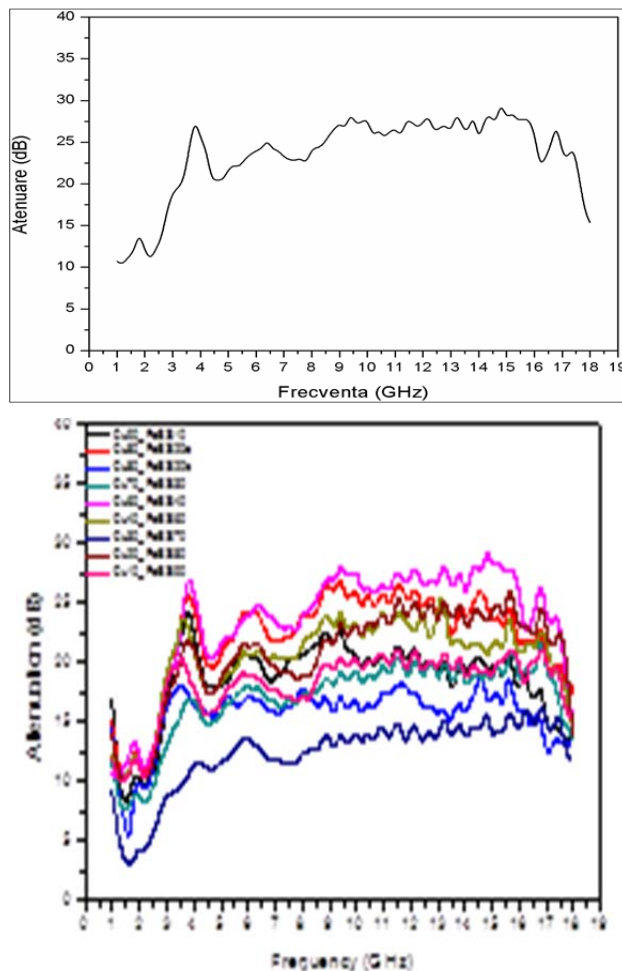


Fig. 5. Atenuarea în raport cu frecvența pentru materiale compozite pe bază de microfibre izolate în sticlă, de cupru și aliaje Fe-Si-B.

### 3. CONCLUZII

- Noul material compozit poate fi utilizat ca scut electromagnetic pentru echipamentele ce utilizează gama de frecvență respectivă, atenuarea obținută experimental conducând la posibilitatea regândirii ergonomice a dispunerii aparatelor.
- Compozitul poate deschide noi orizonturi în cercetarea aplicată a echipamentelor de aviație specificate, prin creșterea puterii de emisie a acestora (și implicit distanța de măsurare, observare, interceptare).
- Compozitul îmbunătățește nivelul de protecție referitor la rata de absorbție a radiației electromagnetice în spectrul respectiv.
- Aceste aliaje obținute pot conduce la diverse dezvoltări în cercetarea compatibilităților pentru aplicații UWB în interiorul aeronavelor și servicii de radio existente în benzile de frecvențe de la 3,1 GHz la 4,8 GHz și 6,0 GHz de la la 8,5 GHz.
- De asemenea, noul material poate fi îmbunătățit funcție de alte aplicații aeronautice solicitate, cum ar fi protecția structurii aeronavei pentru a

## ECHIPAMENT SPECIAL UTILIZABIL ÎN AERONAUTICĂ. RISC EXPERTAL – STUDIU DE CAZ

putea fi utilizată telefonia mobilă, sau furnizarea de internet wireless pentru pasageri.

- Conform analizei se poate remarca faptul că tehnicile de diminuare a interferențelor, cum ar fi de exemplu LDC, ar putea permite teoretic scăderea impactului echipamentelor UWB de la bord;

- Cu toate acestea, sunt necesare lucrări suplimentare pentru a cuantifica îmbunătățirea rezultată datorită atenuării cu 25 dB în benzile 3400-4200 MHz, 4500-4800 MHz, 7,25-7,75 GHz și 9,375 GHz.



Fig. 6. Indicator radar meteo

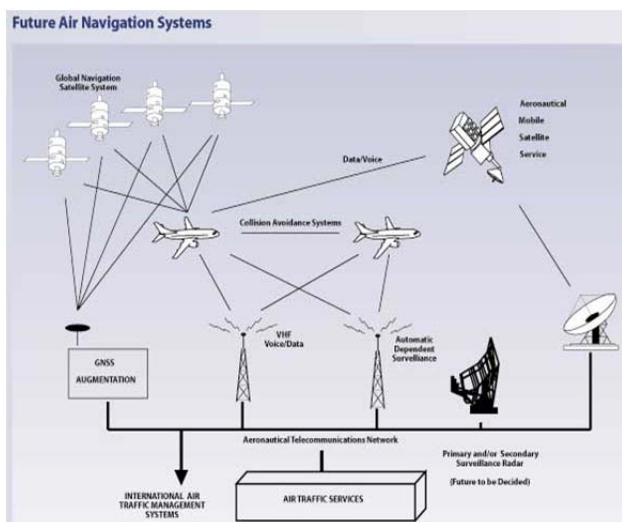


Fig. 7. Sistem de navigație aeriană.

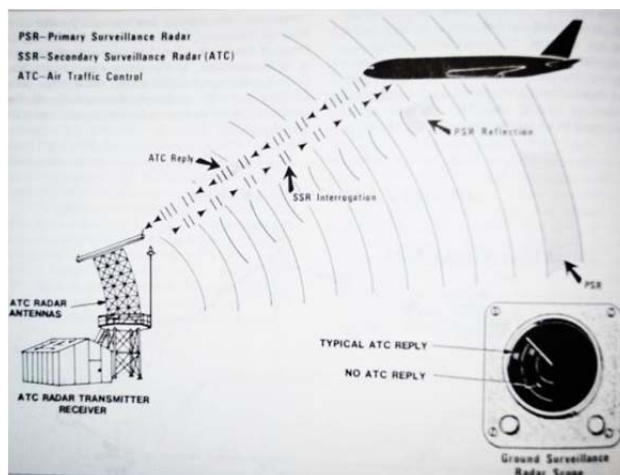


Fig. 8. Sistem de supraveghere trafic aerian.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] CEPT Report 10; UWB specific applications.
- [2] CEPT Report 17: Identify the conditions relating to the harmonised introduction in the European Union of radio applications based on UWB technology.
- [3] CEPT Report 27: Report A from CEPT to EC in response to the Mandate 4 on UWB
- [4] CEPT Report 34: Report B from CEPT to EC in response to the Mandate 4 on UWB
- [5] ECC/DEC/(06)04: UWB technology in bands below 10.6 GHz
- [6] ETSI TR 102 834 1.1.1 (2009-05): System Reference Document Technical characteristics for airborne Ultra-Wide-Band (UWB) applications operating in the frequency bands from 3.1 GHz to 4.8 GHz and 6 GHz to 8.5 GHz
- [7] AC 20-158 - The Certification of aircraft Electrical and Electronic Systems for Operation in the High-Intensity Radiated Fields (HIRF) Environment
- [8] Recommendations ITU-R S.1432: Apportionment of the allowable error performance degradations to fixed-satellite service (FSS) hypothetical reference digital paths arising from time invariant interference for systems operating below 30 GHz
- [9] Costea, M., *Metode și mijloace de asigurare a imunității electromagnetice*, Ed. AGIR, 2006
- [10] Henderson F. Max., *Aircraft instruments and avionics*, Ed. Jeppesen, 2000.

## Despre autori

Dr. ing. **Dragoș POPA**  
SETEC-AGIR

Inginer echipamente de bord, expert tehnic independent, membru AGIR, președinte SETEC-AGIR.

Dr. ing. **Mirela Maria CODESCU**  
Institutul National de Cercetare-Dezvoltare pentru Inginerie Electrica ICPE-CA

Expert tehnic independent, cercetator stiintific 1 la Institutul National de Cercetare-Dezvoltare pentru Inginerie Electrica ICPE-CA.

Andrei **POPA**  
Universitatea „Politehnica” – București

Student la Universitatea „Politehnica” – București, Facultatea de Inginerie Electrică.