



**UNIVERSITATEA POLITEHNICA
DIN BUCUREȘTI**



**Școala Doctorală de Electronică, Telecomunicații
și Tehnologia Informației**

Decizie nr. 1049 din 10-07-2023

REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

Ing. Marius-Nicușor NEDELCU

**EPECTUL RADIAȚIILOR ELECTROMAGNETICE
PRODUSE DE SISTEMELE DE COMUNICAȚII
MOBILE ASUPRA ORGANISMULUI UMAN**

**THE EFFECT OF ELECTROMAGNETIC RADIATION
PRODUCED BY MOBILE COMMUNICATIONS
SYSTEMS ON THE HUMAN BODY**

COMISIA DE DOCTORAT

Prof. Dr. Ing. Ion MARGHESCU Univ. Politehnica din București	Președinte
Prof. Dr. Ing. Teodor PETRESCU Univ. Politehnica din București	Conducător de doctorat
Prof. Dr. Ing. Tudor Petru PALADE Univ. Tehnică din Cluj-Napoca	Referent
Prof. Dr. Ing. Ioan NICOLAESCU Acad. Tehnică Militară din București	Referent
Prof. Dr. Ing. Răzvan TAMAȘ Univ. Maritimă din Constanța	Referent

BUCUREȘTI 2023

Cuprins

1. Introducere	1
1.1. Prezentarea domeniului de doctorat	1
1.2. Scopul tezei de doctorat	3
1.3. Conținutul tezei de doctorat	3
2. Interacțiunea câmpurilor electromagnetice cu organismul uman.....	5
2.1. Dozimetrie	6
3. Standarde și limite de expunere	8
4. Dispozitive și proceduri de măsurare în conformitate cu standardele existente	11
4.1. Dispozitive pentru măsurarea câmpului electromagnetic	11
4.2. Metode de măsurare	11
5. Evaluarea expunerii la câmp electromagnetic în proximitatea stațiilor fixe de telefonie mobilă.....	15
6. Evaluarea expunerii la câmpuri electromagnetice în situri cu sistem distribuit de antene.....	19
7. Evaluarea expunerii la câmp electromagnetic folosind valorile măsurate de senzorii ficși instalați de ANCOM.....	23
7.1. Măsurări ale densității de putere pe situri unde există mai multe tipuri de emițătoare	25
8. Evaluarea puterii și a energiei emise pe traiectul ascendent de echipamentele mobile în rețelele comerciale 4G și 5G.....	28
9. Concluzii	30
9.1. Rezultate obținute	30
9.2. Contribuții originale	34
9.3. Lista lucrărilor originale	35
9.4. Perspective de dezvoltare ulterioară	35
Bibliografie	36

Capitolul 1

Introducere

Ultimele decenii au evidențiat o dezvoltare fără precedent a tehnologiilor care utilizează surse de câmp electromagnetic de microunde și de radiofrecvență folosite în scopuri individuale, industriale, comerciale sau medicale. Dintre aceste surse fac parte și emițătoarele de radio și de televiziune, sistemele de telefonie celulară și receptoarele telefonice, cuptoarele cu microunde, instalațiile RADAR, precum și o multitudine de echipamente indispensabile sistemului medical.

Dezvoltarea acestor tehnologii a făcut ca viața să fie mult mai ușoară, astăzi nemaiputând să ne imaginăm o societate modernă fără calculatoare, telefonie, televiziune sau radio. Cu ajutorul telefoanelor mobile se poate comunica prin voce, mesaje, poze și se permite transferul de date de mare viteză. Instalațiile RADAR ajută la menținerea siguranței traficului aerian, rutier și feroviar. Odată cu dezvoltarea exponențială, aceste tehnologii au adus și preocupări ale publicului larg legate de posibile efecte adverse pe care sursele de câmp electromagnetic le-ar putea avea asupra sănătății oamenilor.

1.1 Prezentarea domeniului tezei de doctorat

Informații despre emisiile provenite de la stațiile care lucrează în banda frecvențelor radio sunt adesea disponibile și pot fi utilizate pentru validarea respectării normelor; de asemenea se pot face și măsurări pe sit pentru evaluarea câmpului electromagnetic produs de echipamentele existente. Aceste informații ajută la realizarea studiilor epidemiologice.

Astfel de analize au loc și la ora actuală, dar, cu toate acestea, utilizarea telefoniei mobile este în continuă creștere, în special pe partea de transfer de date, numeroase rapoarte arătând că rata de penetrare a terminalelor mobile, la nivelul a numeroase țări depășește 100%, media la nivel mondial fiind de 111%.

Privind din perspectiva protecției împotriva radiațiilor, acestea se pot împărți în două mari categorii: radiații ionizante și radiații neionizante. Această clasificare ține cont de faptul că atunci când radiațiile lovesc un atom, o parte din energia lor poate fi transferată atomului.

Dacă energia transferată de radiație este suficient de mare astfel încât să aibă loc îndepărtarea unui electron din atom și să ajungem la două particule încărcate electric, un electron și un ion pozitiv, spunem că s-a produs ionizarea și deci avem de-a face cu radiație ionizantă. Prezența unui număr mare de particule încărcate electric poate cauza distrugerii ale țesuturilor organismelor vii.

Radiațiile cu un nivel mic de energie, care nu produc îndepărtarea electronului din atom, se numesc radiații neionizante. În doze mari, anumite tipuri de radiații neionizante pot fi dăunătoare, dar, în general, când oamenii vorbesc despre radiații, se referă la cele ionizante, care sunt mult mai periculoase.[1]

Efectele expunerii la câmp electromagnetic extern asupra corpului uman și a celulelor sale depind, în principal, de frecvența și magnitudinea câmpului. La frecvențe joase câmpul trece prin corp, iar la frecvențe radio, câmpurile sunt parțial absorbite și penetrează doar o adâncime redusă din țesut.

În zona frecvențelor radio, de departe cele mai multe aplicații care emit câmp electromagnetic se află în intervalul de frecvențe de la circa 100 kHz până la câțiva GHz. Există mai mulți parametri care influențează expunerea unui individ. Distanța de la sursă la individ, împreună cu puterea emisă și factorul de umplere sunt principalii factori determinanți ai expunerii.

În analiza expunerii cauzată de sistemele de comunicații mobile putem imagina două scenarii diferite. Primul se referă la expunerea capului uman la emisiile electromagnetice de tip câmp apropiat de la telefonul mobil, iar cel de-al doilea scenariu constă în expunerea publicului larg la emisiile electromagnetice de tip câmp îndepărtat de la antenele instalate pe structurile stațiilor de bază.

Reglementările în vigoare limitează puterea maximă radiată de terminalul mobil, dar diversitatea modelelor și felul în care sunt folosite de utilizator, fac dificilă analiza interacțiunii individului cu câmpurile electromagnetice, motiv pentru care scenariile din prima categorie sunt studiate mai în detaliu.

Cea mai mare parte a surselor de radiofrecvență care operează aproape de corpul uman este reprezentată de telefoanele mobile. Statistica arată că, la nivel mondial, în 2018 existau mai mult de cinci miliarde de utilizatori de dispozitive mobile.

Dintre sursele de radiofrecvență care operează la distanță de corpul uman, cele mai multe sunt reprezentate de stațiile de bază de telefonie mobilă și de emițătoarele de radiodifuziune. Majoritatea țărilor europene asigură conectivitate pentru zone foarte întinse ceea ce face ca stațiile de bază să fie numeroase.

În ultimele decenii, s-au realizat peste 25000 de studii medicale pe această temă, iar alte câteva sute sunt în desfășurare în prezent. Există mai multe cunoștințe științifice acumulate pe acest subiect decât pentru majoritatea compușilor chimici, dar la frecvențele și nivelurile de putere folosite în sistemele de comunicații mobile nu a putut fi stabilită nicio relație de tip cauză-efect între expunerile la câmpuri electromagnetice de radiofrecvență și reacții biologice adverse. [2]

1.2 Scopul tezei de doctorat

Deși studiile au arătat că nivelurile cu care câmpurile electromagnetice produse de stațiile de bază de telefonie mobilă ajung la nivelul publicului larg sunt mult mai mici decât cele generate de telefoanele mobile, îngrijorarea al oamenilor legată de prezența acestor stații nu a fost diminuată. O explicație pentru acest fapt ar putea fi reprezentată de puterea de a decide pe care o au în cazul folosirii terminalului mobil, dar nu o au în cazul funcționării stațiilor de bază. [3], [4], [5]

Această lucrare își propune să investigheze un domeniu limitat din zona undelor neionizante prezente în mediul ambiental cu scopul de a stabili gradul de expunere a populației în raport cu normele în vigoare.

Zona de frecvențe analizată este în domeniul radio și microunde, ignorându-se spectrul din zona foarte joasă, precum și zona de infraroșu și lumina vizibilă.

Utilitatea prezentei teze de doctorat, pe lângă validarea rezultatelor obținute în urma altor studii prezentate în literatura de specialitate, se justifică prin apariția noilor tehnologii, cum ar fi 5G (generația a cincea), care necesită noi evaluări ale nivelului câmpului electromagnetic în diferite cazuri de expunere.

1.3 Conținutul tezei de doctorat

În prima parte a tezei se dorește trecerea în revistă a studiilor legate de posibilele efecte biologice asupra organismului uman aflat în câmp electromagnetic. Se prezintă standardele și limitele de expunere la câmp electromagnetic din diferite țări ale lumii, precum și procedurile și dispozitivele de măsurare a valorilor câmpului.

Capitolul 1 realizează o introducere în domeniu și definește scopul prezentei teze de doctorat.

Capitolul 2 cuprinde mai multe secțiuni, în prima parte făcându-se o sinteză a studiilor legate de efectele biologice asupra organismului uman. Undele electromagnetice au început să fie din ce în ce mai utilizate în industria medicală pentru vindecarea țesuturilor moi și în tratarea cancerului, frecvențele uzuale fiind 27 MHz, 433 MHz și 2,45 GHz. Capitolul se încheie prin tratarea domeniului în mod ingineresc, prezentând caracteristicile dielectrice ale mediilor biologice, relația de legătură dintre câmpurile induse în interiorul structurilor și distribuțiile de câmp electromagnetic din spațiul liber.

Capitolul 3 prezintă principalele norme de protecție adoptate la nivel mondial. Accentul a fost pus pe normele recomandate de ICNIRP, acestea fiind adoptate în aproape toată Europa, inclusiv în țara noastră. Măsurările efectuate în cadrul tezei au fost raportate la limitele stabilite de ICNIRP în scopul obținerii coeficienților de expunere care ne oferă o imagine de ansamblu a gradului de expunere.

Capitolul 4 documentează principalele tipuri de dispozitive de măsurare a câmpului electromagnetic care, de altfel, au și fost folosite în timpul măsurărilor efectuate în cadrul prezentei lucrări, precum și metodele de măsurare a componentelor

câmpului prevăzute în recomandarea ECC (02)04 în vederea validării respectării limitelor disponibile.

Având baza teoretică din prima parte a tezei, se trece apoi la stabilirea gradului de expunere a publicului larg raportându-ne la limitele prevăzute în standardul ICNIRP.

Capitolul 5 evidențiază rezultatele unei ample campanii de măsurări la nivel național, efectuate în mare parte de către autor, în proximitatea a 1750 de stații fixe de telefonie mobilă ale operatorului Orange România. Au fost estimați coeficienții maximi de expunere înainte și după activarea tehnologiei 5G.

În capitolul 6 și partea a doua a capitolului 7, pe baza măsurărilor realizate de autor, se investighează expunerea populației la câmpuri electromagnetice în cazuri deosebite, cum ar fi stații cu sisteme distribuite de antene în interiorul clădirilor sau un sit pe care există mai multe tipuri de emițătoare.

În prima parte a capitolului 7, pentru validarea și consolidarea rezultatelor obținute de autor, au fost interpretate valorile câmpului măsurate pe parcursul unui an de 150 senzori ficși plasați de Autoritatea Națională pentru Administrare și Reglementare în Comunicații din România în toată țara, în zone urbane cu trafic intens.

În capitolul 8 se realizează o evaluare a puterii medii de emisie pe legătura ascendentă a terminalelor mobile din rețelele comerciale cu cele mai mari încărcări, și anume 4G (generația a patra) și 5G. Pentru a avea imaginea clară a principalei surse de câmp de radiofrecvență, a fost realizată o comparație între energia primită de la stațiile de bază de telefonie mobilă și energia primită de la stația mobilă.

Capitolul 9 scoate în evidență concluziile cele mai importante ale analizelor efectuate, contribuțiile personale și perspectivele dezvoltării temei în strânsă legătură cu progresele tehnologice.

Capitolul 2

Interacțiunea câmpurilor electromagnetice cu organismul uman

După terminarea celui de-al doilea război mondial au început să fie intens studiate efectele câmpurilor electromagnetice asupra organismelor vii. Mare parte din rezultate identifică hipertermia, localizată sau generalizată, drept principala cauză a efectelor câmpului electromagnetic asupra mediilor biologice. Michaelson [6] a arătat că o expunere suficient de lungă la un nivel de putere ridicat va conduce în final la căderea sistemului de reglare termică și chiar la moartea organismului, motiv pentru care trebuie limitată expunerea la câmpuri electromagnetice foarte puternice.

Numeroase studii legate de reproducere [7], [8], [9], [10] au arătat că nu există nicio asociere între expunerea la unde radio și efecte adverse. Nici studiile legate de cancerul la creier nu au evidențiat o interpretare de tip cauză-efect. [11], [12], [13], [14], [15], [16]

Studiile legate de neurodezvoltare și comportament nu au putut stabili asocieri clare între prezența stațiilor de telefonie mobilă și calitatea somnului [17] sau utilizarea telefonului mobil și dezvoltarea cognitivă (abilități lingvistice) sau motorie. [18], [19], [20]

În perioada anilor 1930, radiațiile electromagnetice de radiofrecvență au început să fie utilizate frecvent în medicină prin inducerea hipertermiei în scopuri terapeutice. Începând cu anii 1975, în paralel cu preocupările legate de efectele biologice văzute ca elemente negative ale prezenței câmpului electromagnetic, se observă creșterea interesului în ceea ce privește posibila utilizare a undelor electromagnetice pentru tratarea cancerului prin inducerea treptată a hipertermiei. [21]

În mod uzual, frecvențele folosite în industria medicală sunt 27 MHz, 433 MHz și 2,45 GHz. Aplicațiile terapeutice includ aparate de vindecare a țesuturilor moi, hipertermie pentru tratarea cancerului și diatermie. Pentru a obține efectele dorite (analgesc, celule canceroase arse etc), pacienții sunt expuși la câmpuri electromagnetice care depășesc nivelurile de referință recomandate. [22]

Atunci când se studiază fenomenele de interacțiune dintre câmpul electromagnetic și mediile biologice este necesar să se cunoască proprietățile electrice

și magnetice ale acestora. Proprietățile electrice se referă la permitivitatea și conductivitatea electrică, în timp ce proprietățile magnetice nu sunt interesante pentru materia biologică.

Permitivitatea reflectă interacțiunea mediului cu unda electromagnetică ce se propagă prin el. Permitivitatea spațiului liber este o constantă $\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi} 10^{-9} \frac{F}{m} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$. Pentru oricare alt mediu, permitivitatea este o mărime complexă de forma $\epsilon_c = \epsilon - j\epsilon'$, unde ϵ arată capacitatea mediului de a stoca energia, iar $\epsilon' = \frac{\sigma}{\omega}$ evidențiază proprietatea mediului de a disipa energia purtată de câmpul electromagnetic. În literatură apare definită și „tangenta unghiului de pierderi” („factorul de disipație”) a mediului ca fiind $\text{tg } \delta = \frac{\epsilon'}{\epsilon}$.

2.1 Dozimetrie

Dozimetria electromagnetică stabilește relația dintre câmpurile induse în interiorul structurilor biologice și distribuțiile de câmp electromagnetic din spațiul liber.

Puterile emise de sistemele de comunicații mobile variază de la sub 2 wați în cazul telefoanelor mobile, până la sute și chiar mii de wați în cazul stațiilor de bază. Cu toate acestea, în condiții normale de utilizare, stațiile de bază generează niveluri mult mai mici de expunere decât telefoanele mobile deoarece sunt situate la distanțe mult mai mari comparativ cu telefoanele care sunt plasate chiar lângă țesutul biologic.

În funcție de plasarea subiectului față de sursa de radiație, fenomenele de absorbție sunt diferite, subiectul putându-se afla în zona de câmp apropiat reactiv, câmp apropiat radiant sau câmp depărtat al sursei. În zona de câmp apropiat radiant reactiv, la o distanță față de antena mai mică decât λ (λ reprezintă lungimea de undă pe care emite antena), distribuțiile de câmp sunt complicate, neexistând o singură direcție a câmpului incident, densitatea de putere nu se definește. În acest caz, direcția de propagare a energiei electromagnetice nu mai este dată, ca în cazul regiunii de câmp îndepărtat, de direcția vectorului Pointing, $\mathbf{p}[\text{W}/\text{m}^2]$, definit ca produsul vectorial dintre vectorul intensitate câmp electric $\mathbf{E}[\text{V}/\text{m}]$ și vectorul intensitate câmp magnetic $\mathbf{H}[\text{A}/\text{m}]$. Pentru o evaluare corectă și completă în zona de câmp apropiat, este necesară utilizarea metodelor numerice sau a sondelor de câmp apropiat.

Într-o gamă largă de frecvențe, 300 Hz – 300 GHz, uzual, în dozimetrie, se folosesc două tipuri diferite de cantități, dar interdependente. La frecvențe foarte mici (sub 100 kHz), mare parte dintre efectele biologice pot fi cuantificate prin densitatea de curent din țesut, iar la frecvențe înalte (peste 100 kHz), unde mare parte dintre interacțiuni sunt cauzate de rata de depunere a energiei pe unitatea de masă, parametrii utilizați sunt rata specifică de absorbție (Specific Absorbition Rate - SAR) și absorbția specifică (Specific Absorbition - SA).

La frecvențe de peste 100 kHz corpul uman absoarbe energia câmpului electromagnetic, având loc o creștere a temperaturii. Dependența absorbției de frecvența undelor nu este uniformă. [24]

Câmpul extern incident la mediul biologic se poate exprima în mai multe moduri, ca densitate de putere [W/m^2], ca amplitudine a câmpului electric [V/m] sau a câmpului magnetic [A/m], dar niciunul dintre parametri amintiți nu este potrivit pentru evidențierea efectelor induse de penetrarea radiației electromagnetice în interiorul domeniului biologic. În acest scop, pentru a se exprima cantitatea de energie absorbită și a se defini niște limite de expunere, au fost definite rata specifică de absorbție și absorbția specifică.

Rata specifică de absorbție exprimă variația în timp a cantității elementare de energie, dW , absorbită sau disipată de un domeniu biologic de volum dV cu densitatea ρ și masa elementară dm : [25]

$$\text{SAR} \left[\frac{\text{W}}{\text{kg}} \right] = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{\rho dV} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{dm} \right). \quad (2.3)$$

Absorbția specifică reprezintă cantitatea totală de energie absorbită sau disipată, iar pentru calcularea acestei valori trebuie integrată valoarea SAR pe un interval limitat de timp:

$$\text{SA} \left[\frac{\text{J}}{\text{kg}} \right] = \frac{dW}{\rho dV} = \frac{dW}{dm}. \quad (2.4)$$

Cunoașterea ratei specifice de absorbție și a absorbției specifice permite realizarea de comparații și extrapolări de la un animal la altul, de la animal la om, de la om la om și de la un țesut la altul. Utilitatea acestor parametri se observă și în analiza interdependențelor dintre diferitele efecte biologice observate în diverse modele experimentale, fiind net superioare mărimilor măsurate doar în exteriorul corpului, nepătrunzând în interiorul său.

Dacă ar exista un detector pentru câmpul electric indus, de dimensiuni reduse, izotrop și cu sensibilitate suficient de scăzută, s-ar putea obține mult mai ușor metricii de genul SAR: [25]

$$\text{SAR} = \frac{\sigma E^2}{\rho}, \quad (2.5)$$

unde σ [S/m] este conductivitatea electrică, E [V/m] reprezintă intensitatea câmpului electric, iar ρ [kg/m^3] densitatea țesutului. Dar acest detector nu există în prezent și, prin urmare, o metodă uzuală în dozimetria experimentală se bazează pe urmărirea creșterii de temperatură într-o durată limitată de timp. De această dată, SAR se exprimă printr-un proces secundar, și anume, prin rata de creștere în timp a temperaturii: [25]

$$\text{SAR} = \frac{c \Delta T}{\Delta t}, \quad (2.6)$$

unde c [$\text{J}/\text{kg K}$] este căldura specifică a țesutului iradiat, ΔT [K] reprezintă variația de temperatură, și Δt [s] este durata de timp în care se măsoară creșterea de temperatură ΔT .

Capitolul 3

Standarde și limite de expunere

În lume există mai multe directive aprobate de guverne și agenții internaționale pentru asigurarea protecției populației împotriva expunerii la câmpuri electromagnetice.

Prima valoare stabilită pentru limita maximă acceptată a densității de putere superficială, incidentă, de microunde, a fost 10 mW/cm^2 , că medie pe orice perioadă de 6 minute, pentru frecvențe de la 10 MHz la 100 GHz [26]. Această valoare a fost stabilită de Institutul National American de Standardizare (American National Standardisation Institute – ANSI) în anul 1966 prin standardul C95.1 și modificată ulterior în anii 1974, 1982, 1991 și 1999. În prezent standardele C95 sunt emise și dezvoltate ca standarde IEEE și prezentate ANSI pentru recunoaștere. [27]

Un alt grup de lucru format pentru a studia problemele legate de protejarea împotriva câmpului electromagnetic și efectele radiațiilor neionizante a fost fondat în 1974, de către Asociația Internațională de Protecție împotriva Radiațiilor (International Radiation Protection Association – IRPA). Trei ani mai târziu, grupul a devenit Comisia Internațională de Radiații Neionizante (International Non-Ionizing Radiation Commission – INIRC), din cadrul IRPA. Acest grup, împreună cu Organizația Mondială a Sănătății, au creat documente ce includ măsurători și aparate de măsură, surse, aplicații și, de asemenea, efecte ale radiațiilor neionizante asupra organismelor. În anul 1992, cu scopul de a continua în special investigarea efectelor radiațiilor neionizante asupra sănătății, s-a decis desprinderea din INIRC a unei organizații non-guvernamentale, independente, denumită Comisia Internațională de Protecție Împotriva Radiațiilor Neionizante (International Committee on Non-Ionizing Radiation Protection – ICNIRP), care are drept principala preocupare urmărirea studiilor documentate în literatura de specialitate și, pornind de la rezultatele acestora, să stabilească limitele maxime de expunere. [24]

Au pus bazele unor proceduri pentru detalierea limitelor de expunere la radiații optice, infrasunete, ultrasunete și radiații electromagnetice. Cu excepția unor țări, unele având deja alte limite adoptate, iar altele, care invocând principiul precauției, au impus limitări care sunt mult mai joase [28], majoritatea statelor europene utilizează aceste limitări de expunere la radiații a publicului larg și a celor care lucrează cu sisteme radiante, menționate în Recomandarea 519/1999 a Comisiei Europene și în Directiva UE 40/2004, ca extindere a unui articol din Directiva 391/1989.

Studiind efectele produse de creșterea temperaturii la nivelul întregului corp cu peste $1\text{-}2^\circ\text{C}$, au fost evidențiate schimbări în sistemului imunitar, probleme oculare,

alterarea unor funcții neuromusculare și neurale, schimbări hematologice, reducerea cantității de spermă, schimbări în morfologia celulară și altele. [42]

Aceste efecte au determinat ICNIRP să considere că încălzirea nu trebuie să fie mai mare de un 1°C. Valoarea SAR corelată cu creșterea temperaturii corpului cu mai puțin de 1°C pentru o expunere de 30 de minute este 4 W/kg. Pentru protejarea angajaților care lucrează într-un mediu în care există un câmp electromagnetic de radiofrecvență, ICNIRP a stabilit ca restricția de bază să fie de 10 ori mai mică, adică 0,4 W/kg. Această marjă de siguranță a fost introdusă pentru a compensa situațiile în care capacitatea de termoreglare a organismului scade în cazul existenței unor condiții de muncă la temperaturi ridicate sau de efort fizic susținut.

În 1988 INIRC/IRPA a stabilit limitarea SAR mediat pe întreg corpul timp de 6 minute la 0,4 W/kg [43], dar numeroase studii au evidențiat că deși această limită mediată pe întregul corp este respectată, în anumite părți ale corpului, îndeosebi la extremități și în zona încheieturilor prezintă depășiri semnificative. Acest lucru a condus la introducerea de limitări ale SAR calculat local, mediat timp de 6 minute în 10 g de țesut, la nivelul capului și al trunchiului de 10 W/kg și la nivelul membrelor de 20 W/kg în normele elaborate de ICNIRP în 1998. [24]

Toate valorile despre care s-a discutat mai sus sunt valabile în cazul expunerii lucrătorilor. Considerându-se că în general lucrătorii sunt adulți care au o condiție fizică bună și nu au probleme de sănătate, pentru asigurarea protecției adecvate a întregii populații, valorile restricțiilor de bază s-au scăzut de 5 ori față de nivelul maxim stabilit pentru lucrători. Această margine de protecție nu este rezultatul unor studii aprofundate, ci a fost stabilită arbitrar, ca măsură de precauție, în caz că ar apărea ulterior date despre existența unor efecte care nu sunt cauzate de încălzire.

În tabelul 3.1 sunt prezentate restricțiile de bază pentru publicul general recomandate de standardul ICNIRP 1998.

Tabelul 3.1 Restricții de bază pentru câmpuri electrice și magnetice

Expunere	Gama de frecvențe	Densitate de curent prin cap și trunchi [mA/m ²]	SAR mediat în întreg corpul [W/kg]	SAR local în cap și trunchi [W/kg]	SAR local în membre [W/kg]	Densitatea de putere [W/m ²]
Public general	până la 1 Hz	8	-	-	-	
	1– 4 Hz	8/f	-	-	-	
	4 Hz – 1 kHz	2	-	-	-	
	1 – 100 kHz	f/500	-	-	-	
	0,1 – 10 MHz	f/500	0,08	2	4	
	0,01 – 10 GHz	-	0,08	2	4	
	10 – 300 GHz					10

unde frecvența (f) este considerată în Hz, iar valorile SAR sunt mediate pe un interval de timp de 6 minute.

La frecvențe care depășesc 10 GHz, adâncimea de pătrundere a undelor electromagnetice este foarte mică, absorbția energiei având loc în principal în țesuturile

epidermice și subcutanate, sau în stratul exterior al globului ocular. Spre deosebire de SAR, densitatea de putere este o mărime care evaluează energia pe suprafață în loc de masă, și este mai potrivită pentru a exprima restricțiile de bază în acest domeniu de frecvență.

Exceptând densitatea de putere, niciuna dintre restricțiile de bază nu poate fi măsurată direct, iar verificarea respectării acestor norme de protecție ar fi aproape imposibilă. Ca urmare, ICNIRP le-a pus în corespondență cu niveluri de referință ale unor mărimi fizice ușor măsurabile: intensitatea câmpului electric (E), intensitatea câmpului magnetic (H), inducția magnetică (B) și densitatea de putere (S).

În tabelul 3.3 sunt prezentate nivelurile de referință corespunzătoare restricțiilor de bază în cazul expunerii la unde electromagnetice a publicului larg. Cu f s-a notat valoarea frecvenței, exprimată în MHz.

Tabelul 3.3 Niveluri de referință pentru expunerea publicului larg

Gama de frecvențe	E [V/m]	H [A/m]	B [μ T]	S [W/m ²]
0,065 – 0,15 MHz	87	5	6,25	
0,15 – 1 MHz	87	$0,73/f$	$0,92/f$	-
1 – 10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	$0,92/f$	-
10 – 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 – 2000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	$f/200$
2 – 300 GHz	61	0,16	0,20	10

Fiind mărimi vectoriale, pentru intensitatea câmpului electric, a câmpului magnetic și inducția magnetică, valorile din tabel reprezintă valori medii ale modulelor celor trei mărimi vectoriale. Pentru câmpuri cu frecvențe de peste 10 GHz perioada de mediere este de $68f^{1,05}$ minute, unde f este frecvența exprimată în GHz. Pentru câmpuri cu frecvențe sub 10 GHz medierea se face pentru 6 minute.

În anul 2020, Comisia Internațională pentru Protecția Radiațiilor Neionizante a publicat noile ghiduri pentru limitarea expunerii la câmpuri electromagnetice (100 kHz până la 300 GHz). [48]

Noul ghid ia în considerare studiile apărute în literatura de specialitate și actualizează partea de câmp electromagnetic de radiofrecvență din ghidul ICNIRP 1998 și partea de 100 kHz -10 MHz din ghidul de frecvență joasă ICNIRP 2010.

ICNIRP 2020 utilizează în continuare parametrul SAR pentru a stabili restricțiile de expunere, dar crește intervalul de frecvențe pe care se aplică; dacă standardul din 1998 prevedea restricții până la 10 GHz, acum intervalul de aplicare este de până la 300 GHz și asigură protecție și în cazul noilor tehnologii care utilizează frecvențe mai înalte decât tehnologiile actuale. Pentru a se alinia mai bine cu durata necesară ca temperatura centrală a corpului să crească, timpul pe care se mediază valorile de referință pentru întregul corp a fost modificat de la 6 minute la 30 de minute. Valorile SAR nu au fost modificate deoarece cercetările au arătat că erau oricum mai acoperitoare decât se credea inițial.

Capitolul 4

Dispozitive și proceduri de măsurare în conformitate cu standardele existente

4.1 Dispozitive pentru măsurarea câmpului electromagnetic

Dispozitivele de măsurare a câmpului electromagnetic se împart în două mari categorii: dispozitive de măsurare în bandă largă și dispozitive de măsurare în bandă îngustă, selective în frecvență (eventual și în cod).

Dispozitivele din prima categorie au un mod de operare simplu, dispozitivul de măsurare indicând magnitudinea câmpului electric sau magnetic integrată în toată bandă de frecvențe pentru care a fost proiectată sonda. Uzual, această bandă se întinde începând de la câteva sute de kHz până la 40-60 GHz. Dispozitivele din a doua categorie pot selecta o bandă îngustă convenabilă pentru efectuarea măsurărilor de câmp. Ele sunt de fapt analizoare spectrale care prelucrează semnalul primit de la sonda de câmp electric sau magnetic și extrag valorile aferente fiecărei frecvențe din banda analizată. Banda de lucru a acestor aparate este mult mai mică decât în cazul dispozitivelor din prima categorie; uzual, această bandă se întinde începând de la câteva sute de kHz până la 3-5 GHz. Instrumentele de bandă îngustă sunt utilizate atunci când este necesară o sensibilitate mai mare.

4.2 Metode de măsurare

În ECC/REC/(02)04 [58] s-au considerat 3 metode de măsurări care pot fi utilizate:

- metoda 1: evaluare rapidă;
- metoda 2: investigație în bandă;
- metoda 3: investigație detaliată.

Aceste metode nu sunt utile în situația în care expunerea critică este localizată într-o zonă mică, de exemplu, telefonul mobil în relație cu capul uman.

Metoda „evaluării rapide” este recomandată atunci când este necesară însumarea nivelurilor radiației neionizante generate de toate sursele ce emit într-o bandă de câteva zeci de GHz. Această metodă este potrivită și se aplică pentru evaluarea expunerii la câmp îndepărtat. Evaluarea rapidă se efectuează cu un aparat de bandă largă și este o metodă ce se aplică în primă fază pentru a determina dacă nivelul total se apropie de pragul de decizie.

Investigația în bandă (metoda 2) se utilizează atunci când se dorește determinarea expunerii datorată fiecărei surse în parte și se realizează cu ajutorul unui analizor spectral conectat la o sondă de câmp electric sau magnetic. Un element foarte important în această metodă îl constituie cunoașterea caracteristicilor de emisie ale surselor, pentru a se putea adapta rezoluția și modalitatea de afișare a analizorului spectral.

Metoda 3, a investigații detaliate, poate fi utilizată atunci când nici prima, nici cea de-a doua nu sunt aplicabile. Atunci când intensitatea câmpului este foarte mare sau când măsurarea se efectuează în câmpul apropiat sursei, trebuie efectuată o evaluare detaliată. O altă situație de aplicare a acestei metode intervine atunci când sunt implicate sisteme care emit în impulsuri, discontinuu sau în bandă ultra-largă și necesită o abordare distinctă. Echipamentele utilizate pentru acest tip de măsurare, ca și în cazul metodei anterioare, sunt de obicei analizoare spectrale.

Coefficientul de expunere se exprimă în procente și se calculează însumându-se ponderat contribuția fiecărei surse în parte, folosind formula (4.12), iar valoarea de 100% corespunde atingerii limitei maxime admise:

$$C_{\text{exp}} = \sum_{i=1}^N \left(\frac{E_{i\text{măs}}}{E_{i\text{Lim}}} \right)^2 = \left(\frac{E_{1\text{măs}}}{E_{1\text{Lim}}} \right)^2 + \left(\frac{E_{2\text{măs}}}{E_{2\text{Lim}}} \right)^2 + \dots + \left(\frac{E_{N\text{măs}}}{E_{N\text{Lim}}} \right)^2, \quad (4.12)$$

unde $E_{i\text{măs}}$ este intensitatea măsurată, iar $E_{i\text{Lim}}$ este limita corespunzătoare frecvenței la care a fost măsurată.

E poate fi înlocuit de H dacă sonda folosită este de câmp magnetic. Pentru cazurile când se măsoară densitatea de putere S , relația (4.12) devine:

$$C_{\text{exp}} = \sum_{i=1}^N \frac{S_{i\text{măs}}}{S_{i\text{Lim}}} = \frac{S_{1\text{măs}}}{S_{1\text{Lim}}} + \frac{S_{2\text{măs}}}{S_{2\text{Lim}}} + \dots + \frac{S_{N\text{măs}}}{S_{N\text{Lim}}}. \quad (4.13)$$

Măsurările efective realizate folosind un analizor spectral au nevoie de anumite setări individualizate pentru fiecare tip de sursă investigat. În cazul sistemelor de telefonie mobilă, stațiile nu transmit la putere constantă, puterea de emisie variind în funcție de încărcarea de trafic și distanțele dintre stație și terminalele mobile pe care aceasta le deservește. Teza de față urmărește o evaluare a respectării unor norme de protecție și va lua în calcul situația în care stația transmite cu putere maximă pe toate canalele. Pentru aceasta, pe lângă valorile măsurate se estimează și expunerea maximă posibilă. Fiecare stație de telefonie mobilă este echipată cu una sau mai multe

tehnologii, în mediul urban majoritatea stațiilor fiind echipate cu toate cele trei tehnologii licențiate la nivel național (GSM, UMTS și LTE).

Pentru a estima expunerea în condițiile în care o celulă emite cu putere maximă pe toate canalele, se va măsura intensitatea câmpului electric (E) sau densitatea de putere (S) pe frecvența BCCH-ului și se va multiplica corelat cu numărul de unități de emisie/recepție (n_{TRX}), utilizând formulele (4.14) sau (4.15).

$$E_{est} = E_{mas\ BCCH} \cdot \sqrt{n_{TRX}}, \quad (4.14)$$

$$S_{est} = S_{mas\ BCCH} \cdot n_{TRX}. \quad (4.15)$$

Și în sistemele UMTS există canale de control care transmit informații de sistem și care sunt emise cu puteri constante, invariante în timp. Se vor măsura doar aceste canale și apoi, pentru a determina expunerea maximă, se va înmulți valoarea măsurată cu un factor k care reprezintă raportul dintre densitatea spectrală de putere în condițiile în care stația ar emite cu puterea maximă teoretică și densitatea de putere măsurată pentru componenta invariabilă a semnalului.

$$E_{est} = E_{mas} \cdot \sqrt{k}, \quad (4.18)$$

$$S_{est} = S_{mas} \cdot k. \quad (4.19)$$

Folosind analizoarele moderne care pot realiza decodarea și măsurarea exclusivă a intensității câmpului electric generat de canalul pilot, estimarea expunerii maxime presupune utilizarea unui factor $k=10$. În cazul în care nu este posibilă decodarea și măsurarea doar a canalului pilot, soluția constă în măsurarea expunerii maxime generate de fiecare purtătoare în condiții de trafic foarte scăzut (ideal fără încărcare de trafic); valoarea măsurată se va multiplica cu o valoare corespunzătoare unui factor $k=5$, puterea atribuită tuturor canalelor de control, inclusiv pilotului fiind de aproximativ 20% din totalul puterii maxime teoretice. Există și situații când operatorii de telefonie mobilă decid să modifice ponderile alocate canalelor de control, fapt ce va influența factorul de multiplicare.

Similar rețelelor CDMA, toate stațiile de bază din rețelele LTE (Long Term Evolution) lucrează în aceeași bandă de frecvențe. Ca și în cazul GSM, unde avem canalul BCCH, sau 3G unde avem canalul pilot, în cazul sistemelor LTE semnalele invariante în timp sunt semnalele de referință și semnalele de pe canalul de difuzare (PBCH - Physical Broadcast Channel). Pentru LTE, analiza expunerii maxime se poate face în 2 moduri, în funcție de dispozitivul de măsurare cu care se face investigația. Prima metodă presupune utilizarea unui analizor modern, cu decodor, care măsoară doar semnalul de referință (Reference Signal - RS) transmis de stația de bază la o putere constantă și apoi se realizează extrapolarea în vederea estimării expunerii maxime cu ajutorul relațiilor (4.22) și (4.23), unde k este factorul teoretic de extrapolare,

corespunzător numărului de subpurtătoare și este dependent de lățimea de bandă a canalului LTE, conform tabelului 4.2.

$$E_{\text{est}} = E_{\text{mas}} \cdot \sqrt{k}, \quad (4.22)$$

$$S_{\text{est}} = S_{\text{mas}} \cdot k. \quad (4.23)$$

Tabelul 4.2 Factorul teoretic de extrapolare, k

Lățimea de bandă a canalului LTE [MHz]	k
1,4	72
3	180
5	300
10	600
15	900
20	1200

A doua metodă presupune utilizarea unui analizor spectral fără decodor, în acest caz energia transportată de semnalele de referință nemaiputând fi detectată cu acuratețe, ele fiind transmise pe resurse răspândite în timp și frecvență. Pentru a depăși această problemă se ține cont de faptul că PBCH-ul este transmis cu aceleași caracteristici indiferent de configurația sau lățimea de bandă a serviciului și se întinde pe o lățime de bandă de 1080 kHz (72 subpurtătoare de 15 kHz) calată pe frecvența centrală a canalului LTE. Se vor măsura doar aceste subpurtătoare și apoi, pentru a determina expunerea maximă, se va interpola valoarea măsurată cu un factor m care reprezintă raportul dintre densitatea de putere în condițiile în care stația ar emite cu puterea maximă teoretică și densitatea de putere măsurată pentru componenta invariabilă a semnalului:

$$E_{\text{est}} = E_{\text{mas}} \cdot \sqrt{m}, \quad (4.24)$$

$$S_{\text{est}} = S_{\text{mas}} \cdot m. \quad (4.25)$$

Factorul de interpolare m se calculează în funcție de lățimea de bandă a canalului LTE și ținând cont de faptul că semnalele PBCH sunt transmise pe 72 de subpurtătoare. Valorile factorului m se regăsesc în tabelul 4.3.

Tabelul 4.3 Factorul teoretic de extrapolare, m

Lățimea de bandă a canalului LTE [MHz]	m
1,4	1
3	2,5
5	4,16
10	8,33
15	12,5
20	16,66

Capitolul 5

Evaluarea expunerii la câmp electromagnetic în proximitatea stațiilor fixe de telefonie mobilă

Publicul își dorește să fie informat cu privire la calitatea mediului de viață. Astfel, măsurarea câmpului electromagnetic ambiental este un mod eficient de a determina expunerea generală a publicului larg la unde electromagnetice. În anul 2018 Orange România a lansat o campanie de măsurare a densității de putere în apropierea fiecărei stații de telefonie mobilă (cu acoperire macro sau micro) a cărei adresa este în intravilan [59]. Pe parcursul unui an, autorul a coordonat campania în care a fost măsurată densitatea de putere în proximitatea a 1750 de situri distribuite pe întreg teritoriul țării. La începutul anului 2021, în București, odată cu dezvoltarea rețelei 5G în benzile de frecvențe de 2100 MHz și 3500 MHz, autorul a repetat 122 de măsurări ale densității de putere în aceleași coordonate unde au fost făcute măsurările inițiale, înainte de instalarea 5G. Rezultatele au fost comparate cu nivelurile de referință din România care sunt aceleași cu cele prevăzute în standardul ICNIRP. [24]

Măsurările s-au efectuat cu metoda „evaluării rapide” [58], această metodă fiind cea mai potrivită în situații de câmp îndepărtat. Evaluarea rapidă se efectuează cu un aparat de bandă largă și este o metodă ce se aplică în primă fază pentru a determina dacă nivelul total se apropie de pragul de decizie. S-a utilizat un modul electronic de bandă largă Narda NBM-520 la care a fost conectată o sondă triaxială de câmp electric Narda RF 1891 cu banda 3 MHz – 18 GHz. Deoarece sonda este triaxială, măsurarea se face independent de polarizarea emițătorului, acest lucru făcând măsurările mai ușoare. Timpul de mediere a fost considerat, conform cerințelor ICNIRP, 6 minute, iar mărimea fizică în care a fost exprimată valoarea câmpului este densitatea de putere. Analizorul de măsurare a fost setat pentru a măsura media valorilor maxime înregistrate în intervalul de timp de măsurare.

Pentru a obține coeficientul maxim de expunere, folosind ecuația (5.1), valorile măsurate au fost raportate la cea mai mică valoare de referință prevăzută de legislația națională pentru publicul larg în cazul sistemelor de telefonie mobilă în care operează stațiile companiei Orange România. Pe baza datelor din tabelul 3.3, sistemul LTE 800 care operează pe legătura descendentă în banda de frecvențe 806 – 816 MHz, determină $4,03 \text{ W/m}^2$ ca fiind cea mai mică valoare de referință a densității de putere.

$$C_{\text{exp_max}}[\%] = \frac{S_{\text{mas}} \left[\frac{W}{\text{m}^2} \right]}{4,03 \left[\frac{W}{\text{m}^2} \right]} \cdot 100 . \quad (5.1)$$

În Figura 5.4 este ilustrată funcția de distribuție cumulativă a celor 1750 de valori ale coeficienților maximi de expunere măsurați. După cum se observă, peste 90% dintre coeficienți sunt sub 0,2% din limitele prevăzute de ICNIRP, adică de peste 500 de ori mai mici, media valorilor coeficienților fiind de aproximativ 0,11%. Nivelul maxim înregistrat a fost de 6,667%, dar și acesta este de peste 15 ori mai mic decât nivelul minim de referință.

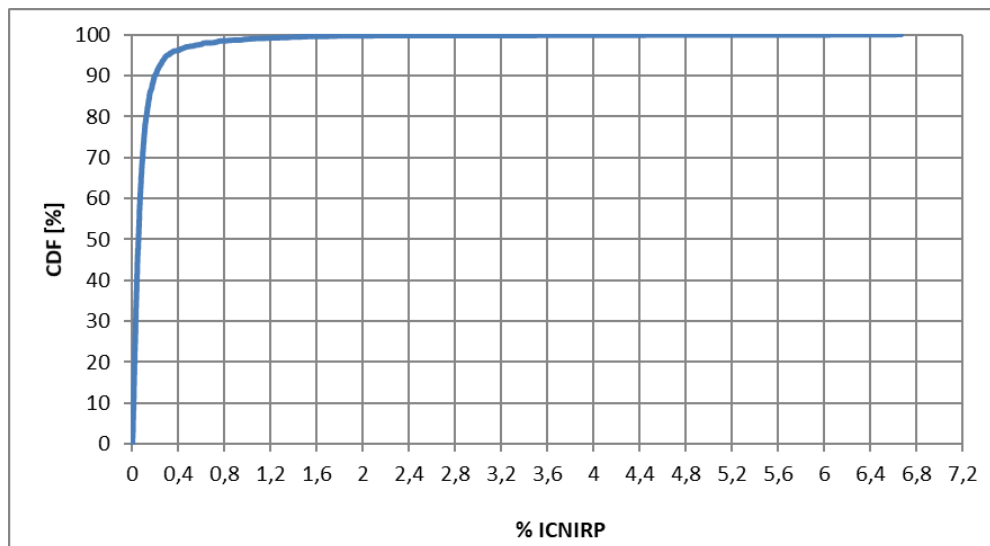


Figura 5.4 Funcția de distribuție cumulativă a tuturor măsurărilor

Pe baza coordonatelor siturilor s-a realizat o clasificare a acestora în 1190 de situri urbane și 560 situri rurale. În Figura 5.5, respectiv în Figura 5.6, sunt prezentate funcțiile de distribuție cumulativă ale coeficienților maximi de expunere măsurați pentru siturile din mediul urban, respectiv, din mediul rural.

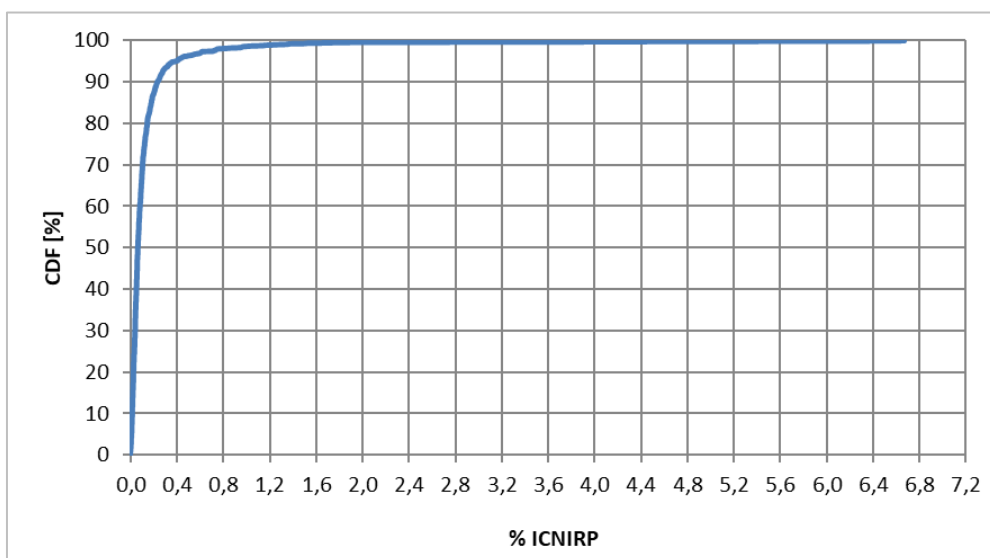


Figura 5.5 Funcția de distribuție cumulativă a măsurărilor din mediul urban

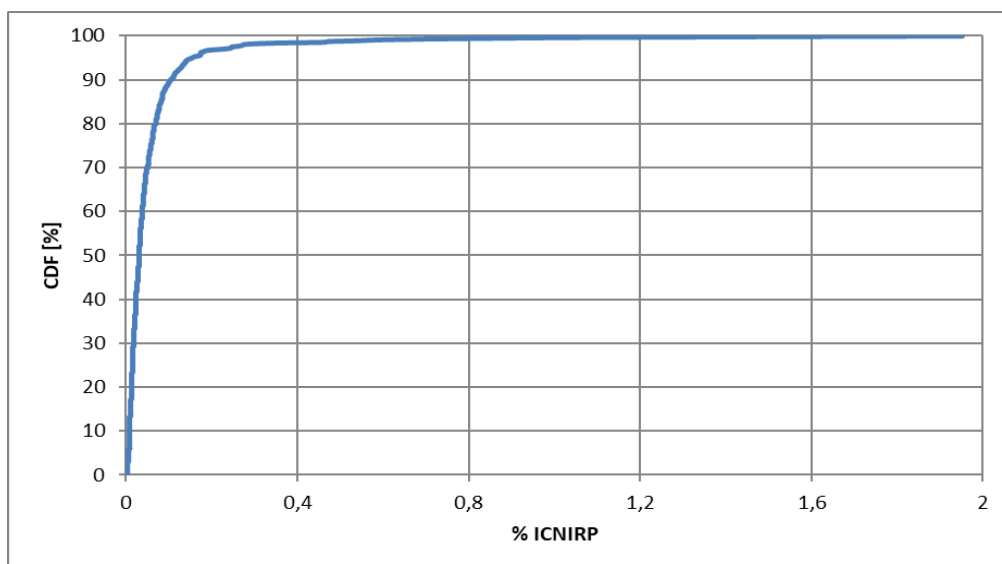


Figura 5.6 Funcția de distribuție cumulativă a măsurărilor din mediul rural

Indiferent de mediu, distribuția cumulativă evidențiază că peste 90% din coeficienți sunt sub 0,2% din limitele prevăzute de ICNIRP, în cazul măsurărilor din mediul urban 4 coeficienți maximi de expunere având valori între 4,2% și 6,67%, în timp ce peste 99% dintre valori erau sub 2%. În urma analizei punctuale a acestor valori, s-a constatat că în apropierea punctelor de măsurare se aflau clădiri în care funcționau stații de telefonie mobilă.

Pentru fiecare valoare măsurată după pornirea rețelei 5G s-a calculat același coeficient maxim de expunere, prin raportarea valorii măsurate la cea mai mică valoare de referință prevăzută de legislația națională pentru publicul larg în cazul sistemelor de telefonie mobilă în care operează stațiile companiei Orange România, anume $4,03 \text{ W/m}^2$ corespunzătoare sistemului LTE 800 MHz. Distribuția cumulativă prezentată în Figura 5.7 evidențiază faptul că 90% dintre coeficienți sunt sub 0,2% din limitele prevăzute de ICNIRP, în timp ce peste 99% dintre valori sunt sub 1%, o singură valoare măsurată fiind 2,4% din limita prevăzută de ICNIRP.

Pentru cele 122 de măsurări efectuate după dezvoltarea rețelei 5G, a fost calculată valoarea medie a coeficientului maxim de expunere și comparată cu valoarea de dinainte de apariția tehnologiei 5G. Valoarea medie a coeficientului maxim de expunere înainte de 5G a fost de 0,47% din cea mai mică valoare de referință prevăzută de legislația națională pentru publicul larg în cazul sistemelor de telefonie mobilă în care funcționează stațiile fixe Orange România, iar după instalarea rețelei 5G, această valoare a crescut la 0,55%, valoare de aproape 200 de ori mai mică decât limita legală.

Din măsurări reiese că expunerea publicului larg la câmp electromagnetic produs de stațiile macro de telefonie mobilă este scăzută. Cu excepția a 4 valori, coeficienții maximi de expunere măsurați fiind sub 2%. Având cele 4 valori obținute în proximitatea unor stații care operează în interiorul clădirilor, ne putem gândi că în cazul unor măsurări în interiorul clădirilor am putea obține valori mai ridicate ale densității de putere.

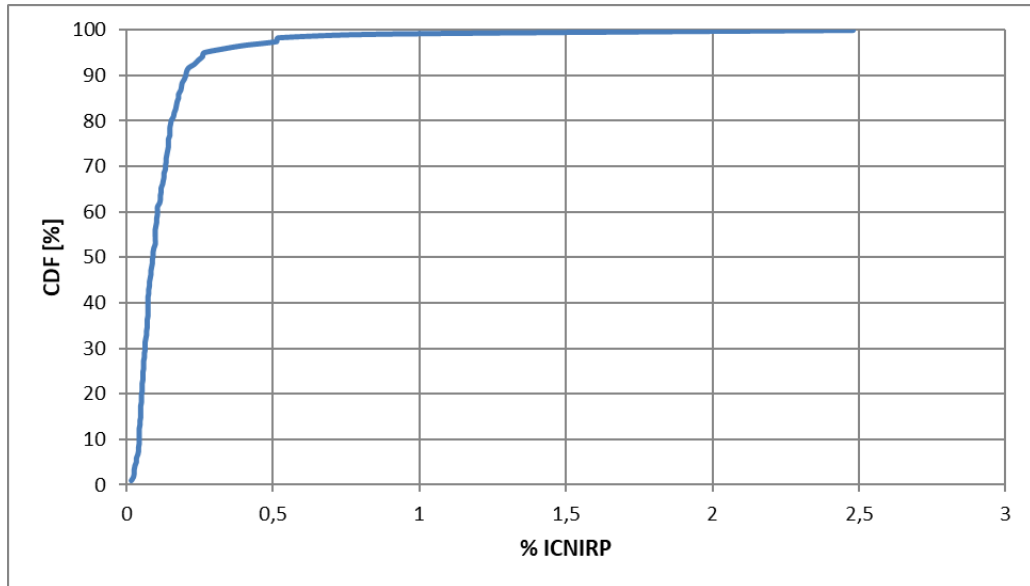


Figura 5.7 Funcția de distribuție cumulativă a măsurărilor realizate după dezvoltarea rețelei 5G

Măsurările efectuate după instalarea rețelei 5G au condus la aceleași concluzii, expunerea medie a crescut cu doar 17%, în unele cazuri valorile măsurate fiind chiar mai mici, lucru pus pe seama faptului că pentru pornirea rețelei 5G în banda de 2100 MHz a fost necesară oprirea a două purtătoare de UMTS2100, iar traficul rețelei 5G este încă redus.

Capitolul 6

Evaluarea expunerii la câmpuri electromagnetice în situri cu sistem distribuit de antene

Pe lângă stațiile de telefonie mobilă instalate pe turnuri sau pe terase, într-un număr mare există și stațiile cu sistem distribuit de antene în interiorul clădirilor, numite stații „indoor”. În urma analizei punctuale a celor mai ridicate 4 valori măsurate în cadrul campaniei de măsurare la nivel național a densității de putere în apropierea fiecărei stații de telefonie mobilă (cu acoperire macro sau micro) a cărei adresa este în intravilan, s-a observat că aceste 4 puncte erau la câțiva metri de ușile de acces ale unor clădiri în care funcționau situri indoor de telefonie mobilă. Acest lucru a trezit interesul efectuării unor măsurări în clădiri unde operează stații indoor cu sistem distribuit de antene, mai ales în contextul în care Orange România își dorește extinderea rețelei 5G.[60]

În anul 2019 a fost evaluată expunerea la câmp electromagnetic ambiental folosind un dispozitiv de măsurare în bandă largă a densității de putere în interiorul a 60 de magazine Orange în care erau instalate situri indoor. În martie 2021, folosind un dispozitiv de măsurare selectiv în frecvență și în cod de bandă îngustă, s-a analizat cazul a două sedii de birouri aparținând Orange România, pe baza valorilor măsurate ale densității de putere estimându-se coeficientul maxim de expunere în condițiile ipotetice în care toate tehnologiile ar funcționa la încărcare maximă. În fiecare sediu există câte un sistem pasiv alcătuit din antene, divizoare de putere și cabluri. [61]

În cazul celor 60 de magazine, măsurările au fost făcute conform metodei „evaluare rapidă” [58], iar instalația de măsurare în bandă largă utilizată a fost formată dintr-un modul electronic de bandă largă Narda NBM-520 la care a fost conectată o sondă de câmp electric triaxială Narda RF 1891 cu bandă de 3 MHz - 18 GHz. Pentru cele 2 sedii de birouri a fost folosită metoda „Investigării în bandă” [58], măsurările s-au efectuat pe baza procedurilor prezentate anterior utilizând analizorul spectral SRM-3000 și o sondă triaxială de câmp electric, cu banda 75 MHz – 3 GHz. Pentru toate măsurările, dispozitivul de măsurare a fost setat pentru a măsura valorile maxime, timpul de măsurare pentru fiecare punct a fost de 6 minute, iar cantitatea fizică în care a fost exprimată valoarea câmpului este densitatea puterii.

Instalația de măsurare a fost montată pe un trepid neconductiv cu sonda poziționată la o înălțime de aproximativ 1,7 m de podea.

Pentru fiecare dintre cele 60 de magazine Orange măsurările s-au făcut într-un singur punct la o distanță în plan orizontal de 1-1,5 m de antenă.

Pentru cele două sedii de birouri, punctele alese au fost împărțite în două mari categorii:

- la 1 - 3 m de antenă în plan orizontal, considerată zona din imediata apropiere a antenelor. Au fost alese patru puncte de măsurare în sediul „EH”, respectiv cinci puncte în sediul „Skanska”;
- la 5 - 20 m de antenă în plan orizontal, considerată zona depărtată. Au fost alese patru puncte de măsurare în sediul „EH”, respectiv cinci puncte în sediul „Skanska”.

Frecvențele utilizate de sistemele de emisie sunt mai mari de 800 MHz, ceea ce conduce la un câmp apropiat reactiv care se întinde până la 37,5 cm de antene, motiv pentru care putem considera că toate măsurările au fost făcute în zona în care se poate utiliza modelul undei plane.

În cazul măsurărilor din shopuri, calcularea coeficientului maxim de expunere ambientală exprimat ca valoare procentuală din limitele reglementate, s-a făcut folosind ecuația (5.1), prin care valorile măsurate au fost raportate la cea mai mică valoare de referință prevăzută de legislația națională pentru publicul larg în cazul sistemelor de telefonie mobilă în care operează stațiile companiei Orange România.

Figura 6.2 ilustrează funcția de distribuție cumulativă (CDF) a celor 60 de valori ale coeficienților maximi de expunere mășurați. După cum se poate observa, peste 90% dintre coeficienți sunt sub 17% din limitele prevăzute de ICNIRP (unde 100% echivalează cu atingerea valorii densității de putere de $4,03 \text{ W/m}^2$), adică de peste 5 ori mai mică. Media valorilor coeficienților este de aproximativ 6,59%, iar 74% din măsurători sunt sub 10% din valoarea de referință. Nivelul maxim înregistrat a fost de 23,28%, ceea ce este de peste 4 ori mai mic decât nivelul minim de referință.

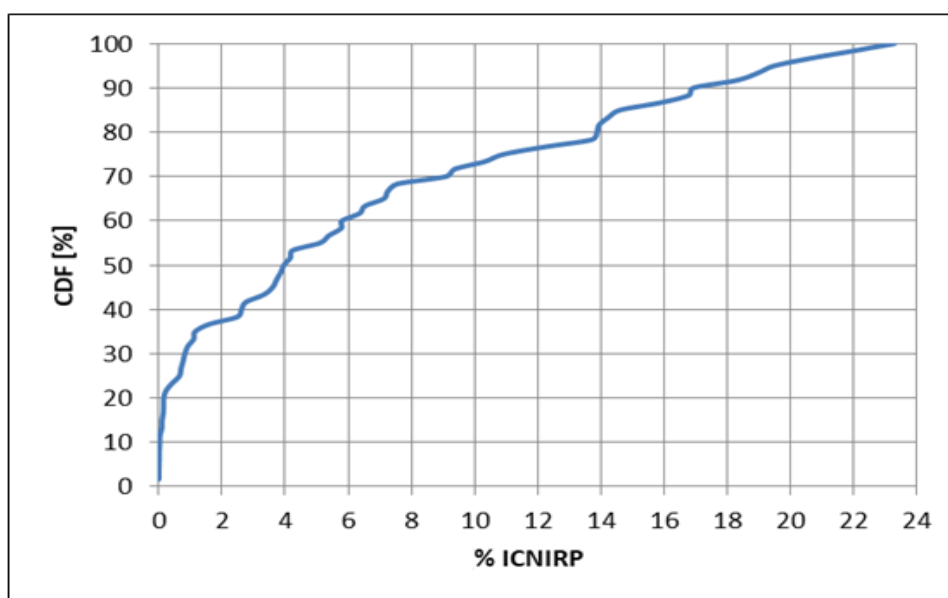


Figura 6.2 Funcția de distribuție cumulativă a măsurărilor din shopuri

Sistemul din primul sediu, denumit în continuare „EH” (Europa House), este unul de dimensiuni medii, cu 8 antene distribuite pe două etaje (câte 4 antene pe fiecare etaj), conectate prin aproximativ 500 m de fider. Al doilea sediu, denumit „Skanska”, conține 24 antene și puțin peste 1000 m de fider. În sistemul din „Skanska”, cât și în cel din „EH” sunt inserate o stație GSM cu un TRX operând în banda de 900 MHz, o stație UMTS care emite pe o singură purtătoare în banda de 2100 MHz și o stație LTE care emite pe două purtătoare de 20 MHz în benzile de 1800 MHz, respectiv 2600 MHz.

Pe lângă stațiile prezente în clădiri, în apropiere se mai află stații macro GSM, UMTS și LTE aparținând Orange, Vodafone și Telekom, dar aportul lor în valoarea măsurată este neglijabil.

În Figura 6.6 avem reprezentarea estimării maxime a coeficienților totali de expunere pentru o persoană aflată lângă antenă. Pentru sediul „Skanska”, aceștia variază între 5,85% și 13,28%, ultimul fiind aproape 8 ori mai mic decât limita legală, media acestor coeficienți maximi fiind 9,18%. Valorile mai mici ale coeficienților se datorează tavanului mai înalt, pierderilor mai mari din sistemul radiant și implicit a unei puteri aparent radiate mai mici. În cazul clădirii „EH”, media coeficienților de expunere lângă antene este 37,48%, dar valorile de peste 40% ale coeficienților de expunere ne fac să ne gândim că puterea inserată în sistemul de antene trebuie redusă. Incertitudinea aparatului SRM-3000 cu care s-au făcut măsurările este -3,3/+2,4 dB, deci insuficientă pentru a duce expunerea peste 100%. [62]

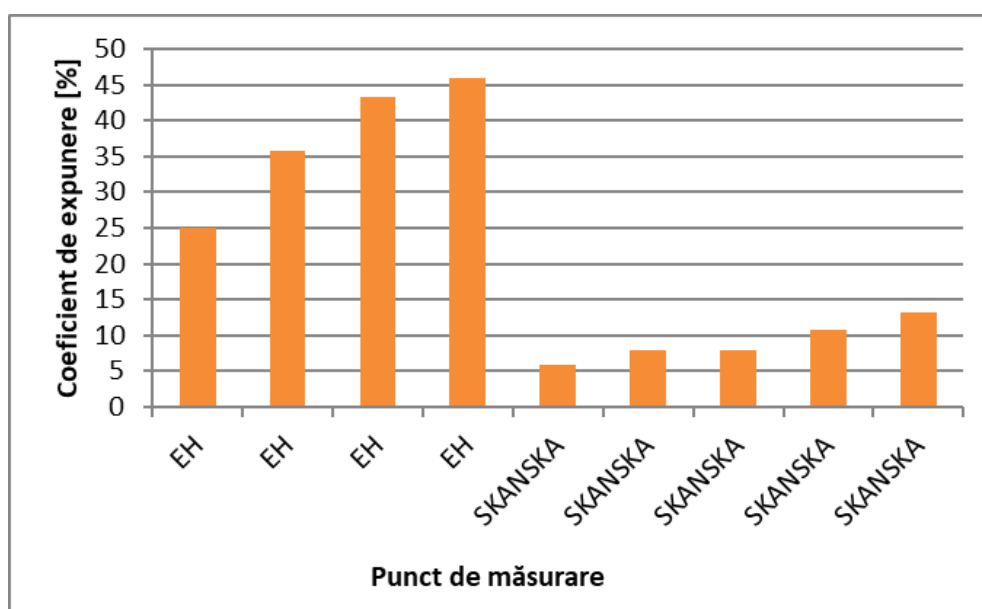


Figura 6.6 Coeficient de expunere maxim estimat pentru „zona apropiată”

Foarte utile sunt și măsurările din zona depărtată a antenelor, câmpul fiind redus în acea zonă, dar ajută la conturarea imaginii despre media coeficientului de expunere la nivel de clădire.

Pentru ușurința evaluării expunerii maxime totale în zona depărtată de antene, s-au însumat coeficienții maxim estimați în fiecare punct și s-au reprezentat în

Figura 6.10 coeficienții de expunere totali maximi estimați pentru o persoană aflată la peste 5 m de antene.

Diferențele dintre coeficienții estimați în cele 2 sedii nu mai sunt semnificative, deoarece modul de construcție al clădirilor își face simțită prezența. Dacă în măsurările din zona apropiată aveam valori mai mari în cazul „EH”, acum din cauza compartimentării birourilor și zonei de bucătărie, atenuarea de penetrare este mult mai mare în „EH” decât în cazul „Skanska”, unde clădirea este de tip open space.

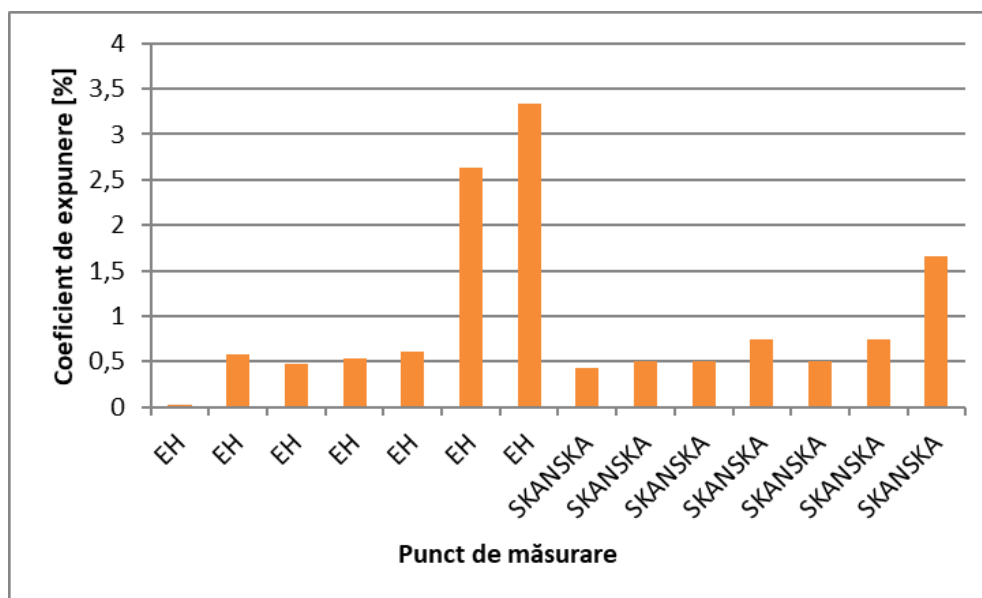


Figura 6.10 Coeficient de expunere maxim estimat pentru „zona depărtată”

Coeficienții totali estimați în zona îndepărtată au valori apropiate în cele două sedii, aceștia nedeșășind 1,65%, cu excepția a două puncte din „EH” aflate la 10, respectiv 15 m, dar în vizibilitate cu antena. Media coeficienților corespunzător zonei depărtată din „EH” este 1,17%, adică de 20 de ori mai mică decât media din apropierea antenelor, iar în cazul „Skanska” media este 0,72%.

Dacă ar fi să calculăm media coeficienților de expunere pentru toate punctele măsurate din fiecare clădire, în „Skanska” am obține un coeficient mediu de expunere 4,24%, iar în „EH” 14,37%, de aproximativ 7 ori mai mic decât limita.

Deși în niciuna dintre clădiri nu s-au înregistrat valori ale coeficienților de expunere care să ne îngrijoreze, în contextul adăugării tehnologiei 5G, despre care în urma măsurărilor în aer liber am văzut că mărește coeficientul de expunere cu aproximativ 17% [59], la care putem adăuga incertitudinea aparatului cu care s-au făcut măsurările (-3,3/+2,4dB), în punctul unde am obținut cel mai mare coeficient de expunere total maxim estimat în valoare de 45,88% am putea ajunge la o valoare a coeficientului de expunere total maxim estimat de peste 90%. Din acest motiv, în cazul sediului „EH”, se recomandă să se reducă puterile de emisie și să se instaleze o antenă suplimentară în zona bucătăriei.

Capitolul 7

Evaluarea expunerii la câmp electromagnetic folosind valorile măsurate de senzorii ficși instalați de ANCOM

Pentru a putea avea o dezvoltare tehnologică și a progresa din punct de vedere științific, este important cum prezentăm oamenilor dependența riscurilor asupra sănătății în relație cu evoluția tehnologică [63]. Un pas important în liniștirea populației l-a constituit apariția sistemelor de monitorizare a câmpului electromagnetic în bandă largă sau a diferitelor benzi de frecvență care măsoară continuu câmpul electromagnetic produs de oricare dintre toate sursele înconjurătoare și transmite rezultatele evaluării către o platformă accesibilă publicului.

La nivel internațional, există recomandarea ITU-T K.83 „Monitorizarea nivelurilor câmpului electromagnetic” care prezintă modul de realizare și prezentare a măsurărilor pe termen lung ale câmpului electromagnetic în zone de interes public.[64]

Pe lângă campaniile de măsurători ale câmpului electromagnetic desfășurate de operatorii rețelelor de comunicații mobile, în ultimele decenii mai multe țări au implementat rețelele de monitorizare a câmpului electromagnetic de radiofrecvență ca mijloc de evaluare a expunerii. [37], [65], [66], [67], [68]

Autoritatea Națională pentru Administrare și Reglementare în Comunicații din România pune la dispoziția publicului larg o hartă interactivă care prezintă valorile măsurate pe teritoriul României ale densității de putere și ale intensității câmpului electric pe care le compară cu nivelurile de referință adoptate de legislația națională. Valorile nivelurilor de câmp prezentate pe harta interactivă sunt obținute fie prin măsurători cu echipamente portabile, fie prin măsurători realizate de cei 150 de senzori ficși dispuși în 104 localități din țara noastră, instalați în proximitatea zonelor considerate sensibile, cum ar fi instituții de învățământ, instituții publice, spitale sau zone publice în a căror apropiere există multiple de surse de câmp electromagnetic.[65]

Pentru analiza expunerii publicului larg la câmp electromagnetic, cu ajutorul experților de la Direcția Executivă Monitorizare și Control din cadrul ANCOM au fost exportate datele măsurate de 150 senzori ficși pe parcursul unui an, între 1 august 2021

și 31 iulie 2022. Pentru fiecare bandă de frecvențe (100 kHz – 7 GHz, 925 MHz – 960 MHz, 1805 MHz – 1880 MHz, 2110 MHz – 2170 MHz) au fost luate în calcul valorile maxime și medii la nivel de oră ale intensității câmpului electric. Baza de date de la care s-a pornit a însumat peste 10 milioane de eșantioane. [72]

În Figurile 7.2, respectiv 7.6, s-au reprezentat, pentru banda de frecvențe 100 kHz - 7 GHz, histogramele mediilor anuale ale valorilor maxime, respectiv medii la nivel de oră ale câmpului electric măsurat, precum și distribuțiile cumulative ale mediilor anuale ale valorilor maxime, respectiv medii la nivel de oră ale câmpului electric măsurat.

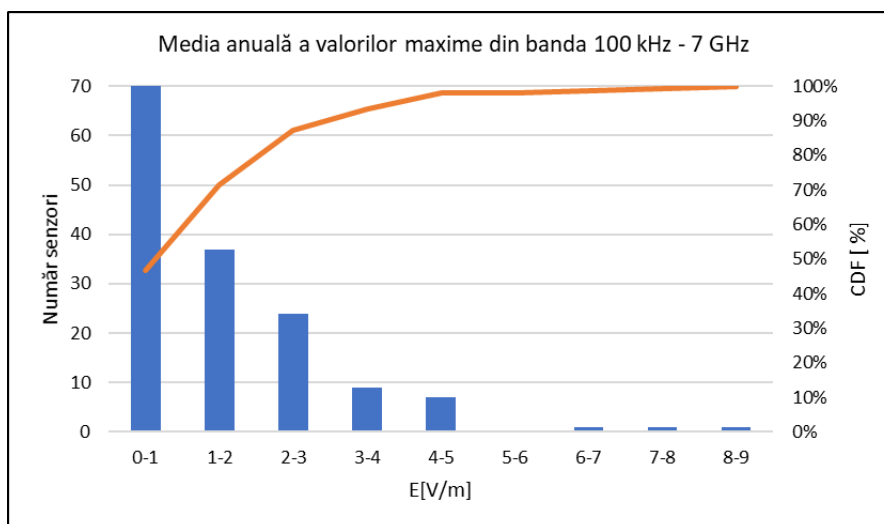


Figura 7.2 Histograma mediilor anuale ale valorilor maxime ale câmpului electric măsurat în banda 100 kHz - 7 GHz. Distribuția cumulativă a mediilor anuale ale valorilor maxime ale câmpului electric măsurat în banda 100 kHz - 7 GHz

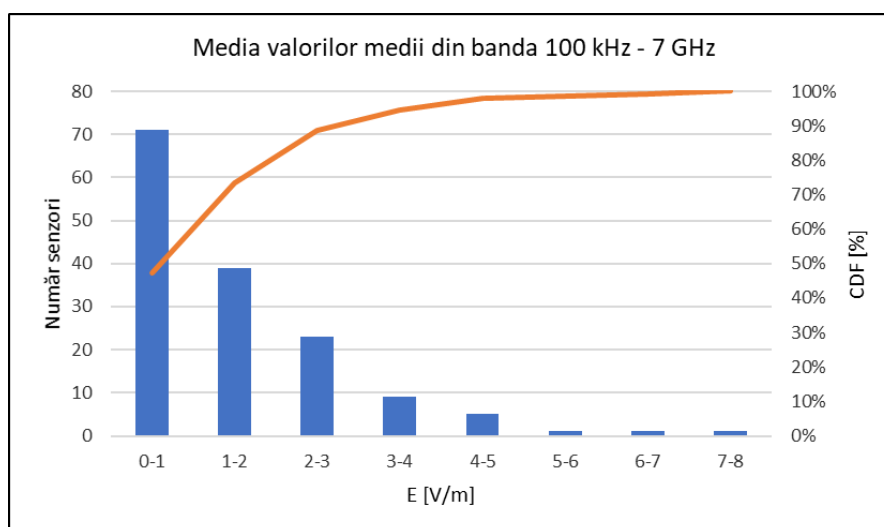


Figura 7.6 Histograma mediilor anuale ale valorilor medii ale câmpului electric măsurat în banda 100 kHz - 7 GHz. Distribuția cumulativă a mediilor anuale ale valorilor medii ale câmpului electric măsurat în banda 100 kHz - 7 GHz

Se observă că pentru 70 dintre cei 150 de senzori media maximelor câmpului electric măsurat în banda 100 kHz - 7 GHz, la nivel de oră pentru 365 zile este sub

1 V/m, 90% dintre valori situându-se sub 4 V/m ceea ce reprezintă mai puțin 15% din nivelul de referință prevăzut pentru publicul larg.

În ceea ce privește mediile anuale obținute pentru valorile medii orare înregistrate de senzorii din banda 100 kHz - 7 GHz, 97% dintre acestea sunt sub 15,5% din nivelul de referință pentru expunerea publicului larg.

Valorile măsurate relevă că nu există motive de îngrijorare în ceea ce privește efectele asupra sănătății cauzate de expunerea la câmp electromagnetic ambiental. Media anuală a valorilor maxime ale câmpului electromagnetic înregistrate la nivel de oră, în banda 100 kHz – 7 GHz, de toți cei 150 de senzori este 1,57 V/m, fiind de peste 17 ori mai mică decât nivelul de referință. Cele mai mari valori ale câmpului au fost măsurate de către senzorul aflat pe terasa corpului A al Facultății de Electronică Telecomunicații și Tehnologia Informației, din Bulevardul Iuliu Maniu 1-3, București, unde este cunoscut că se află mai multe stații de emisie pentru radiodifuziune, telefonie mobilă, transmisii de date, radiorelee etc. Chiar și pentru această locație, cea mai mare valoare a câmpului electromagnetic din banda 100 kHz – 7 GHz, înregistrată în decursul anului analizat a fost 12,24 V/m, fiind sub 45% din nivelul de referință. Pentru această valoare, coeficientul de expunere maxim al publicului larg, considerând cel mai restrictiv nivel de referință, este de aproximativ 20%.

7.1 Măsurări ale densității de putere pe situri unde există mai multe tipuri de emițătoare

Un caz special îl reprezintă siturile unde există instalate mai multe echipamente de emisie sau emisie-recepție. La nivel național apar din ce în ce mai multe astfel de situri. În anul 2018, pentru alegerea unui astfel de sit în vederea efectuării măsurărilor de câmp electromagnetic, pe lângă alegerea vizuală, au fost analizate valorile câmpului electromagnetic măsurate de senzorii fixe din cadrul rețelei implementată și pusă la dispoziția populației de către ANCOM, dispuși în toată țara, instalați în proximitatea zonelor considerate sensibile, cum ar fi instituții de învățământ, instituții publice, spitale sau zone publice aglomerate în a căror apropiere există multiple de surse de câmp electromagnetic. [73]

În Figura 7.10 avem planul terasei corpului A al Facultății de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației. Pentru a fi mai ușor de înțeles și identificat în teren, am evidențiat pe plan ediculele și porțiunile de terasă. Cu cifre arabe am notat punctele unde au fost realizate măsurările de câmp electromagnetic, iar cu „X” am poziționat principalele și cele mai vizibile surse de câmp electromagnetic.

Pentru măsurări, s-a utilizat un modul electronic de bandă largă Narda NBM-520 la care a fost conectată o sondă triaxială de câmp electric Narda RF 1891 cu banda 3 MHz – 18 GHz. Procesul de măsurare a respectat metoda „evaluării rapide”, cu sonda amplasată la 1,5 m deasupra terasei și la aproximativ 0,5 m de antene. Au existat cazuri, și anume, punctele 3, 4 și 13, când s-a considerat necesară realizarea de măsurări la distanțe mai mici de antene, deoarece erau zone ușor

accesibile publicului, ba chiar pentru a trece pe lângă alte structuri oamenii se apropie mult de antene.

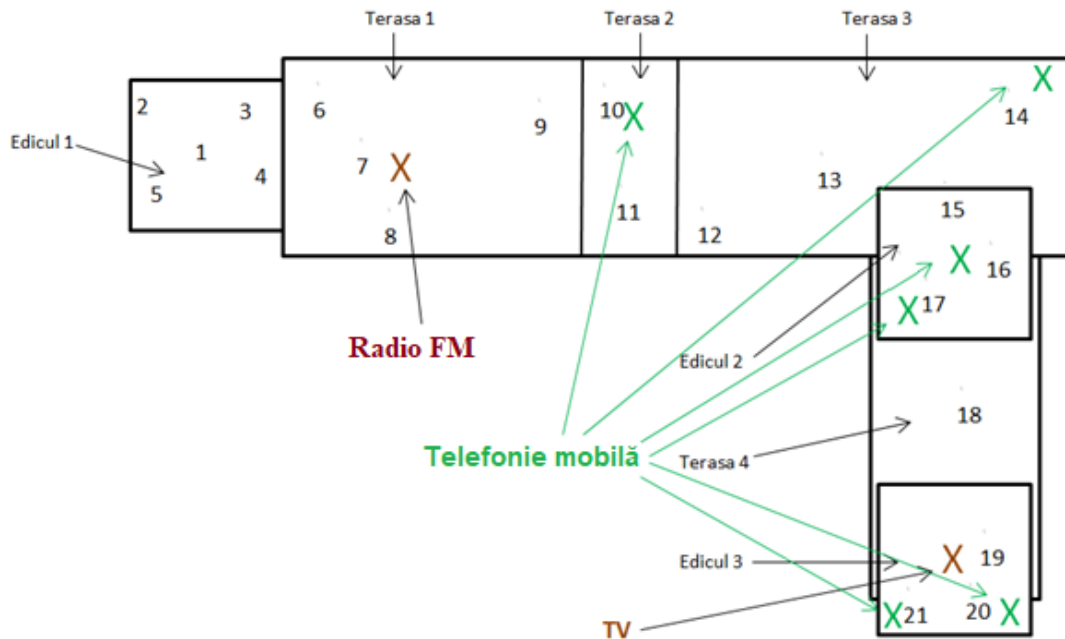


Figura 7.10 Plan terasă corp A al Facultății de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației

Pentru fiecare punct de măsurare, au fost realizate două măsurători, prima dată s-a reținut valoarea medie a densității de putere în cele 6 minute, iar a doua oară s-a reținut valoarea maximă.

În Figura 7.16, respectiv Figura 7.17, sunt reprezentate valorile maxime, respectiv valorile medii, măsurate ale densității de putere. Pentru a se observa diferența față de nivelurile de referință stabilite de lege, am reprezentat și limitele de referință specifice publicului pentru densitatea de putere pentru fiecare bandă de frecvențe. În cazul benzii de frecvențe 400 MHz - 2 GHz, unde limita este dată ca fiind frecvența exprimată în MHz ponderată cu 200, am luat cazul cel mai defavorabil, considerând limita densității de putere $2\text{W}/\text{m}^2$.

Valorile măsurate în orice punct de pe terasă sunt sub nivelurile de referință pentru publicul larg specificate de standardul ICNIRP, cea mai ridicată valoare măsurată fiind de aproximativ 10% din pragul ICNIRP. Cu excepția zonei din fața antenei de microunde aferente punctului 13 de măsurare, valorile mai ridicate se înregistrează pe edicule, unde vizibilitatea cu antenele de emisie este mai mare decât în cazul teraselor.

Diferența dintre valorile obținute ale coeficienților de expunere maximi, 10% pe baza măsurărilor efectuate de autor și 20% măsurările efectuate de senzorul ANCOM, se explică prin faptul că măsurările ANCOM au fost raportate la $27,5\text{ V}/\text{m}$ care este pragul minim de referință din banda 100 kHz - 7 GHz, deși majoritatea antenelor de pe terasă emit în benzi de peste 2 GHz, unde nivelul de referință este $61\text{ V}/\text{m}$, ceea ce ar conduce la coeficienți de expunere maximi ce nu depășesc 5% din norme.

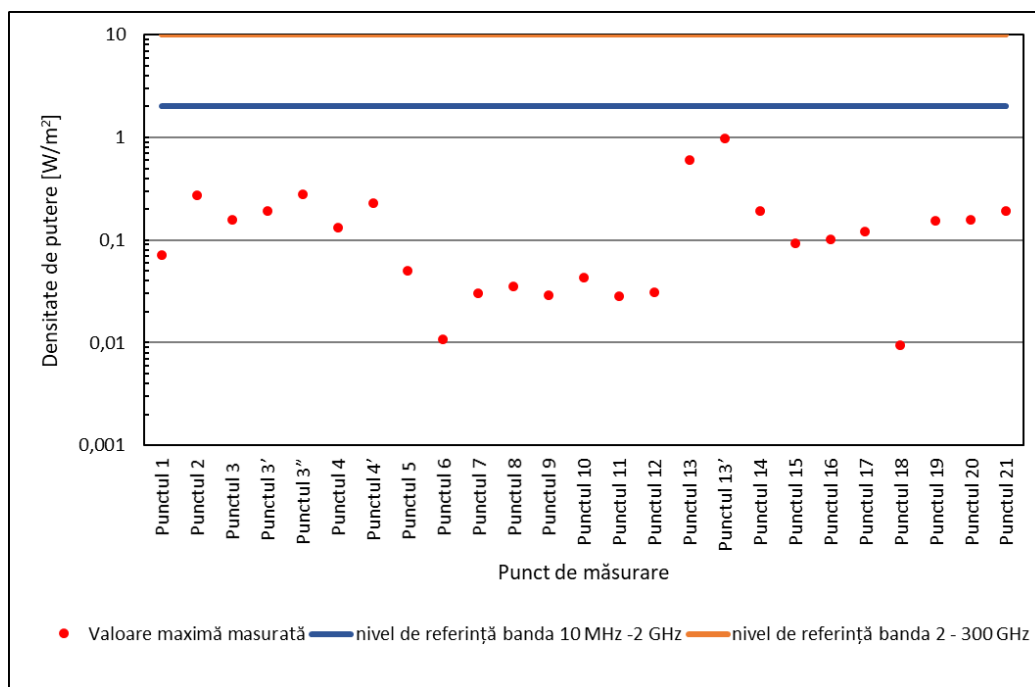


Figura 7.16 Valorile maxime măsurate ale densității de putere

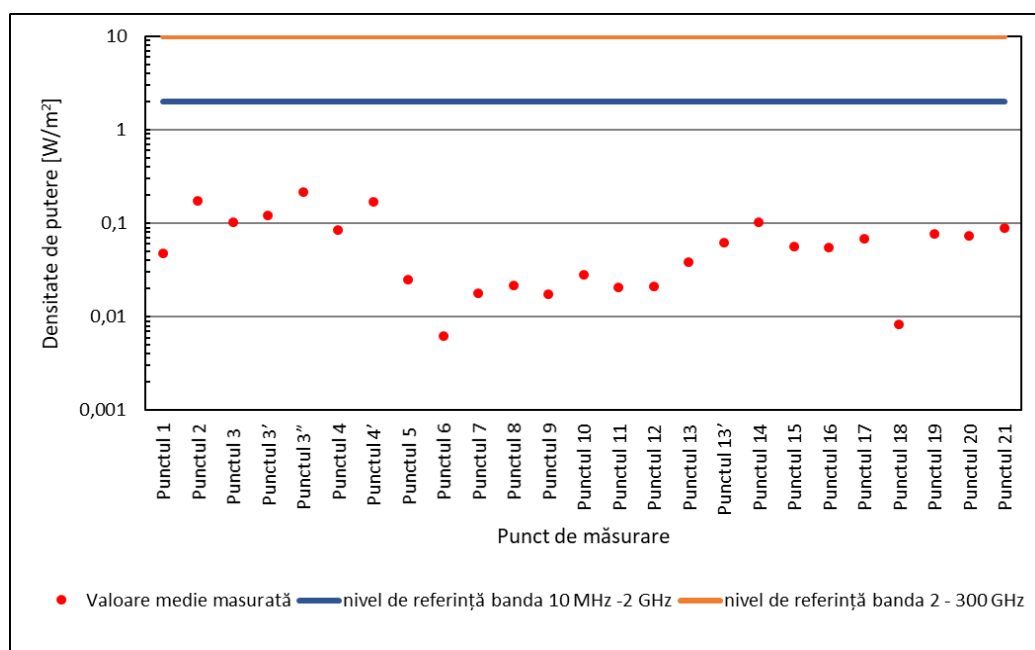


Figura 7.17 Valorile medii măsurate ale densității de putere

Deși măsurările arată că nu există motive de îngrijorare, s-a considerat utilă evaluarea câmpului la ultimul etaj al clădirii, pe holul aflat chiar sub terasă pe care s-a efectuat măsurările inițiale. Așa cum era de așteptat, datorită atenuării pe care o aduc pereții și tavanul clădirii, nivelul câmpului este redus față de cel de înregistrat pe acoperiș; ar fi fost și mai redus dacă la etajul 8 nu ar fi fost amplasat un router WiFi.

Capitolul 8

Evaluarea puterii și a energiei emise pe traiectul ascendent de echipamentele mobile în rețelele comerciale 4G și 5G

Pentru limitarea expunerii persoanelor la câmpurile electromagnetice emise în benzile de frecvență alocate operatorilor de telefonie mobilă, în paralel cu reducerea expunerii ambientale produsă de stațiile de bază, este de asemenea foarte utilă reducerea expunerii produsă de echipamentele utilizatorilor în timpul folosirii.

Au fost făcute până acum numeroase studii pentru a evalua media în timp a puterii emise de terminalele mobile în tehnologiile GSM [76], [77], UMTS [78], [79] sau LTE [80], care arată că pentru GSM, media în timp a puterilor emise este de aproximativ 50% din puterea maximă, în timp ce pentru UMTS și LTE acestea sunt și mai mici, unul dintre motive fiind mecanismele mai bune de control al puterii.

Un studiu aprofundat al puterilor și energiilor emise de terminalele GSM și UMTS, care arată că în condiții de propagare bună, din punct de vedere al puterii de emisie a terminalelor, sistemul UMTS este mult superior sistemului GSM, înregistrându-se în medie valori ale energiei de aproximativ 100 de ori mai mici, poate fi găsit în [81].

Pentru a putea evalua puterea medie cu care emite un terminal din rețelele comerciale 4G și 5G ale operatorului de telefonie mobilă Orange România, au fost extrase date din platforma de operare și mentenanță. Înregistrările au fost colectate la nivel orar pentru fiecare celulă asociată cu stațiile de bază. Înregistrările au fost efectuate pe parcursul a 4 zile, în perioada 24 mai - 27 mai 2021 pentru toate stațiile mobile conectate la 100 de situri urbane echipate cu 5G în banda pe legătură ascendentă de 3530 - 3630 MHz și 4G în benzile pe traiectele ascendente 837 - 847 MHz, 1740 - 1760 MHz și 2510 - 2530 MHz, respectiv alte 100 de situri rurale echipate doar cu 4G. [83]

Pe parcursul celor 96 de ore, pe cele aproximativ 1700 de celule asociate celor 200 de situri, au fost colectate și analizate peste 30 de miliarde de eșantioane.

S-a observat că puterile medii instantanee emise de un terminal conectat la tehnologia 5G sunt mai mici decât atunci când este conectat la tehnologia 4G. Peste 90% din puterile medii instantanee emise de terminal în 5G sunt sub 130 mW, în timp ce în cazul tehnologiei 4G, aceste puteri pot ajunge la 175 mW. Valoarea medie a puterii emise de terminalul mobil în 5G este de 92 mW, iar în 4G este de 116 mW.

Pentru a compara puterile medii emise de UE în 4G în mediul urban, respectiv rural, în Figura 8.3 au fost reprezentate funcțiile de distribuție cumulativă a puterilor medii instantanee emise de UE, unde se poate observa că în zonele rurale puterile sunt mai mari comparativ cu zonele urbane.

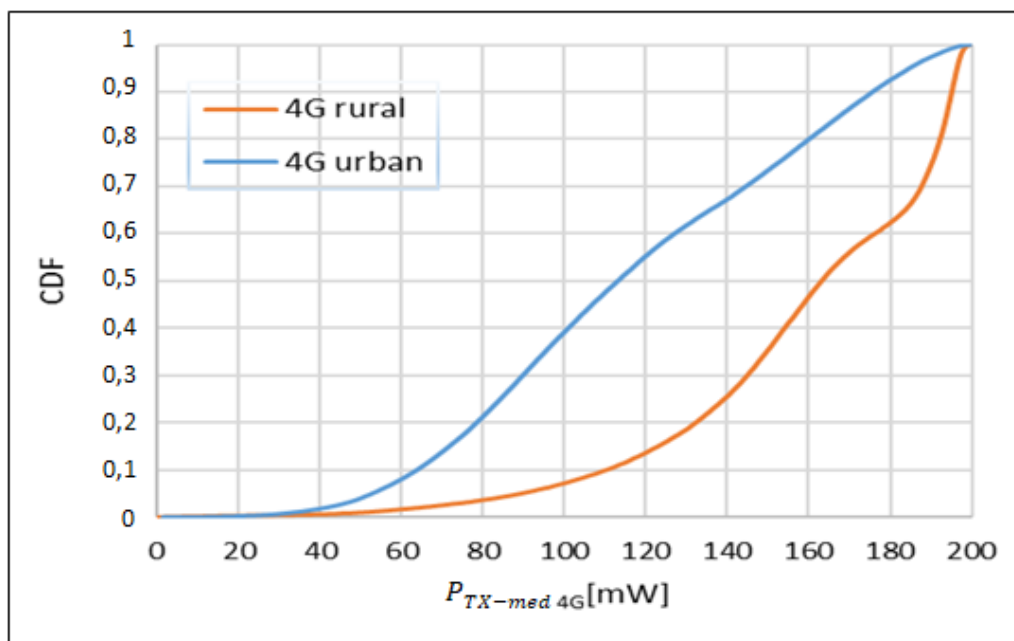


Figura 8.3 Funcțiile de distribuție cumulativă (CDF) ale puterilor medii instantanee cu care un UE emite în 4G urban/rural

Calculul energiei emise de terminale într-o oră arată că în cazul tehnologiei 5G, pentru 95% din cazuri, energia medie emisă de terminal nu depășește 2,55 J, media fiind de 1,03 J. În cazul tehnologiei 4G, energiile medii emise de echipamentele utilizatorilor sunt mai mari în mediul rural, 95% dintre valorile energiilor medii emise de UE fiind sub 330 J, pe când în mediul urban sunt sub 300 J. Într-o oră, media energiilor emise de stațiile mobile în tehnologia 4G instalată în mediul rural este de 245 J, iar în mediul urban această valoare medie scade la 175 J.

Reamintind rezultatele obținute în campanie de măsurare a densității de putere în apropierea fiecărei stații de bază de telefonie mobilă, și anume, puterea medie în vecinătatea stațiilor de bază era egală cu 4,85 mW când nu avem 5G, respectiv 5,73 mW când situl este echipat și cu 5G, obținem o energie medie de 17,46 J când nu avem 5G, respectiv 20,63 J când avem și 5G. Dacă se consideră că terminalul mobil este foarte aproape de utilizator, atingând adesea corpul persoanei, observăm că energia primită de la stațiile de bază este semnificativ mai mică, cu aproximativ un ordin de mărime, chiar și atunci când utilizatorul se află în zona din imediata apropiere a acestora care este practic cel mai nefavorabil caz.

Capitolul 9

Concluzii

Prezenta lucrare de doctorat își dorește să aducă clarificări într-o discuție relativ lungă care durează de câteva decenii, și anume, expunerea populației la câmpuri electromagnetice neionizante, axându-se în special pe evaluarea expunerii în zona frecvențelor în care operează rețelele de telefonie mobilă.

În primul rând trebuie punctat că folosirea eronată a unor denumiri de genul „dușmanul invizibil” sau „poluare electromagnetică” nu face decât să ducă publicul într-o zonă de confuzie și să perceapă incorect câmpul electromagnetic. Uneori chiar generând o stare de frică. Publicul trebuie informat cu privire la protecția împotriva radiațiilor și la modul în care acestea interacționează cu organismul uman, radiațiile împărțindu-se în radiații ionizante și radiații neionizante.

Radiațiile ionizante transferă o energie suficient de mare atomului și are loc îndepărtarea unui electron din atom pe când radiația neionizantă are un nivel mai mic de energie și nu produce îndepărtarea electronului din atom.

Concluzia generală, în urma tuturor măsurărilor realizate sau interpretate de autor, este că nivelul de expunere la câmp ambiental atât în interiorul clădirilor cât și în exteriorul acestora este mult sub nivelurile de referință stabilite de lege; în majoritatea cazurilor nu depășește câteva procente din acestea. Această concluzie este întărită și de bibliografia legată de subiect.

O altă concluzie importantă este că, deși stațiile fixe de telefonie mobilă sunt principala sursă de expunere în ceea ce privește temerea populației, cea mai apropiată sursă de câmp de corpul uman este telefonul mobil, energia primită de la acesta depășind energia primită de la stațiile radio de bază.

9.1 Rezultate obținute

Capitolul 1 realizează o introducere în domeniu și definește scopul prezentei teze de doctorat.

Capitolul 2 este împărțit în mai multe secțiuni. În prima parte se face o sinteză a studiilor legate de efectele biologice asupra organismului uman. Există încă discuții între oamenii de știință, unii fiind mai neîncredători chiar și în contextul în care până acum nu avem niciun studiu care să conțină dovezi ferme și reproductibile care să dovedească fără echivoc legătura de tip cauză - efect între emisiile electromagnetice de

niveluri reduse, aflate în limitele de referință reglementate internațional, și un efect biologic negativ. Deși încă nu e demonstrat niciun efect negativ legat de expunerea la câmp electromagnetic ambiental, îngrijorarea populației este motivată prin lipsa controlului asupra tipului și timpului de expunere, în timp ce în cazul utilizării terminalelor mobile oamenii pot alege când și cât să le folosească.

În ultimii 30 de ani sistemele de comunicații mobile au cunoscut un progres tehnologic remarcabil răspândindu-se în aproape întreaga lume. Odată cu dezvoltarea tehnologică au apărut și o serie de recomandări, făcute de organizații științifice recunoscute în domeniu, care pe baza studierii bibliografiei din domeniu au stabilit valori limită ale expunerii personalului lucrător și a publicului larg.

Undele electromagnetice au început să fie din ce în ce mai utilizate în industria medicală pentru vindecarea țesuturilor moi și în tratarea cancerului, frecvențele uzuale fiind 27 MHz, 433 MHz și 2,45 GHz.

Capitolul se încheie prin tratarea domeniului în mod ingineresc, prezentând caracteristicile dielectrice ale mediilor biologice, relația de legătură dintre câmpurile induse în interiorul structurilor și distribuțiile de câmp electromagnetic din spațiul liber.

Capitolul 3 prezintă principalele norme de protecție adoptate în lume precum și argumentele care au stat la baza stabilirii lor. Accentul a fost pus pe normele recomandate de ICNIRP, aceste norme fiind adoptate în aproape toată Europa inclusiv România. Măsurările efectuate în cadrul tezei au fost raportate la limitele prevăzute de ICNIRP în scopul obținerii coeficienților de expunere care ne oferă o imagine de ansamblu a gradului de expunere.

Capitolul 4 documentează principalele tipuri de dispozitive de măsurare a câmpului electromagnetic care de altfel au și fost folosite în timpul măsurărilor efectuate în cadrul prezentei lucrări, precum și metodele de măsurare a componentelor câmpului prevăzute în recomandarea ECC (02)04 în vederea validării respectării limitelor disponibile.

Capitolul 5 face cunoscute rezultatele unei ample campanii de evaluare a expunerii la câmp electromagnetic ambiental în proximitatea stațiilor fixe de telefonie mobilă. Au fost efectuate măsurări ale densității de putere în proximitate a 1750 de stații fixe aparținând Orange România, distribuite pe întreg teritoriul țării. Ulterior, după pornirea tehnologiei 5G, 122 de măsurări au fost repetate în aceleași coordonate pentru a studia diferențele. Valorile măsurate au fost raportate la nivelurile de referință prevăzute de ICNIRP, obținând astfel coeficienții de expunere. Peste 90% dintre coeficienții de expunere maximă calculați pentru cele 1750 de valori măsurate anterior implementării tehnologiei 5G au fost sub 0,2% din limitele ICNIRP, media valorilor coeficienților fiind de aproximativ 0,11%; coeficientul maxim estimat a fost 6,667%, de peste 15 ori mai mic decât nivelul minim de referință.

În urma clasificării măsurărilor în funcție de zonă, nu s-au constatat diferențe semnificative între valorile măsurate în urban față de cele măsurate în mediul rural.

Patru dintre coeficienții au ieșit în evidență, având valori mai mari decât ceilalți, dar în urma analizei punctuale s-a constatat că punctele de măsurare se aflau în proximitatea căilor de acces ale unor clădiri în care funcționau stații de telefonie mobilă.

Evaluarea coeficienților maximi de expunere în urma pornirii stațiilor 5G a arătat că, exceptând patru dintre valori, aceștia nu depășeau 2% din ICNIRP, expunerea medie crescând cu doar 17% comparativ cu măsurările anterioare.

Capitolul 6 pornește de la observațiile din capitolul precedent când cele mai ridicate valori măsurate erau în proximitatea unor clădiri cu stații indoor de telefonie mobilă și investighează expunerea la câmpuri electromagnetice în situri cu sistem distribuit de antene. A fost evaluată expunerea la câmp electromagnetic ambiental prin măsurarea cu un dispozitiv de măsurare în bandă largă a densității de putere în interiorul a 60 de magazine Orange, iar ulterior, folosind un dispozitiv de măsurare selectiv în frecvență și în cod, de bandă îngustă, s-a analizat cazul a două sedii de birouri aparținând Orange România, pe baza valorilor măsurate estimându-se coeficientul maxim de expunere în condițiile ipotetice în care toate tehnologiile ar funcționa la încărcare maximă.

În cazul celor 60 de măsurări din magazine, peste 90% dintre valori au fost sub 17% din limitele prevăzute de IGNIRP, unde 100% echivalează cu atingerea valorii densității de putere de $4,03\text{W}/\text{m}^2$, media tuturor valorilor fiind de aproximativ 6,59%, nivelul maxim înregistrat a fost de 23,28%, adică de peste 4 ori mai mic decât valoarea de referință.

În cazul celor două sedii de birouri unde am folosit tehnica investigării în bandă, am estimat expunerea în situația foarte puțin probabilă când toate tehnologiile emit simultan cu nivel maxim de putere, la capacitate maximă. Valorile maxime ale estimării expunerii în proximitatea antenelor a variat în cazul măsurărilor din sediul „Skanska” între 5,80% și 13,28% din limita legală, în timp ce pentru sediul „EH” am avut valori și de peste 40% din limită. Media coeficienților de expunere calculați în zona de lângă antene este 37,48% în clădirea „EH”, respectiv 9,18% pentru sediul „Skanska”. Măsurările din zonele depărtate de antene nu au mai avut diferențe semnificative, observându-se influența destul de mare a arhitecturii clădirilor. Coeficienții totali estimați în zona îndepărtată au valori apropiate în cele două sedii, cu excepția a două puncte din „EH”, aceștia nedepășind 1,65% din limitele legale. Media coeficienților corespunzători zonei depărtată din „EH” este 1,17%, adică de 20 de ori mai mică decât media din apropierea antenelor, iar în cazul „Skanska” este 0,72%.

Deși nu am înregistrat nicio valoare care să ne îngrijoreze, în vederea activării tehnologiei 5G, în sediul EH se recomandă reducerea puterilor de emisie.

În capitolul 7 sunt prezentate rezultatele măsurărilor de câmp electromagnetic efectuate de senzorii ficși instalați de ANCOM, precum și studierea unui amplasament în care sunt instalate mai multe stații de emisie sau emisie - recepție. Media anuală a valorilor maxime măsurate la nivel de oră de cei 150 de senzori în banda 100 kHz - 7 GHz este de 1,57 V/m, de peste 17 ori mai mică decât nivelul de referință. Mediile anuale ale valorilor maxime ale câmpului în banda

2110 MHz – 2170 MHz sunt sub 2 V/m, aproximativ 3% din pragul de referință, pentru 95% dintre senzori, în timp ce pentru banda 1805 MHz – 1880 MHz, cu excepția a 2 dintre senzori, câmpul măsurat a fost sub 3 V/m. Pentru banda de frecvențe 925 – 960 MHz, nivelul de referință este 41,81 V/m, 97% dintre senzori raportând valori medii anuale ale maximelor aflate sub 7,2% din acest nivel.

Mediile anuale obținute pentru valorile medii orare măsurate sunt mai mici decât mediile anuale ale valorilor maxime orare. Raportat la nivelurile de referință pentru expunerea publicului larg pentru fiecare bandă de frecvențe, 97% dintre mediile anuale obținute pentru valorile medii orare măsurate sunt sub 15,5% pentru banda 100 kHz - 7 GHz, sub 3,2% pentru banda 2110 MHz – 2170 MHz, sub 4,2% pentru banda 1805 MHz – 1880 MHz, respectiv sub 6,8% pentru banda 925 MHz - 960 MHz.

Concluzia este că toate măsurările au raportat valori mult inferioare nivelurilor de referință. Cele mai ridicate valori au fost măsurate de senzorul instalat pe corpul A al Facultății de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației, unde coeficientul de expunere maxim al publicului larg, calculat considerând cel mai restrictiv nivel de referință, a fost de aproximativ 20%. Măsurările efectuate de autor în proximitatea antenelor de pe această terasă au evidențiat niveluri care nu depășesc valorile de referință, coeficientul maxim de expunere al publicului larg fiind 10% din pragul ICNIRP. Diferența dintre aceste valori ale coeficienților de expunere maximi este justificabilă prin faptul că măsurările ANCOM au fost raportate la 27,5 V/m care este pragul minim de referință din banda 100 kHz – 7 GHz, deși majoritatea antenelor de pe terasă emit în benzi de peste 2 GHz, unde nivelul de referință este 61 V/m, ceea ce ar conduce la coeficienți de expunere maximi ce nu depășesc 5% din norme.

În capitolul 8 s-a realizat o evaluare comparativă a puterii și energiei emise pe traiectul ascendent de echipamentele mobile ale utilizatorilor în rețelele 4G și 5G. Nivelurile de putere emisă pe legătura ascendentă de echipamentele utilizatorilor în rețeaua 4G sunt mai mari decât în cazul rețelei 5G. Valoarea medie a puterii emise de terminalul mobil în 5G este de 92 mW, iar în 4G este de 116 mW. Nivelurile de putere emisă de echipamentele utilizatorilor în rețeaua 4G sunt mai mari în zonele rurale decât în zonele urbane. Timpii de emisie pe traiectul ascendent sunt mai mici în rețeaua 5G decât în rețeaua 4G. Energia medie emisă într-o oră de terminalele 5G nu depășește 2,55 J pentru 95% dintre cazuri, media tuturor valorilor fiind de 1,03 J. În cazul rețelei 4G energiile medii emise într-o oră de terminalele mobile sunt 245 J în mediul rural, respectiv 175 J în mediul urban. Concluzia este că atunci când terminalul mobil este foarte aproape de utilizator, energia primită de la terminal este mai mare decât energia primită de la stațiile radio de bază.

9.2 Contribuții originale

În această secțiune sunt trecute în revistă principalele contribuții aduse de autor în domeniul analizei expunerii populației la câmpuri electromagnetice generate de sistemele de comunicații mobile.

- a) Sinteza principalelor norme naționale și internaționale de protecție împotriva expunerii la câmp electromagnetic aflate în vigoare în lume, cu accent pe ICNIRP adoptat și în România. [2, 3]
- b) Prezentarea metodelor și a dispozitivelor de măsurare a câmpului electromagnetic. S-a detaliat metoda de măsurare pentru estimarea expunerii maxime în cazurile extreme în care stațiile de telefonie mobilă fixă ar emite la puterea maximă, în condiții de încărcare la întreaga capacitate. [3]
- c) Realizarea unei ample campanii de măsurare a densității de putere a câmpului electromagnetic ambiental în proximitatea a 1750 de stații fixe de telefonie mobilă instalate în intravilan pe tot teritoriul României și evaluarea coeficientului de expunere la câmp ambiental a publicului larg. [2]
- d) Remăsurarea densității de putere după activarea tehnologiei 5G în 122 de puncte dintre cele 1750 și calcularea noii expuneri ambientale, precum și evaluarea expunerii suplimentare aduse de activarea tehnologiei 5G. Literatură de specialitate nu are multe studii pe acest subiect în prezent. [2]
- e) Măsurări și estimări ale coeficienților de expunere la câmp electromagnetic neionizant în vederea evaluării expunerii în spațiile interioare unde funcționează stații de bază cu sistem distribuit de antene. [1, 3]
- f) Analiza puterilor de emisie a terminalelor mobile în rețelele 4G și 5G și compararea puterilor și energiilor emise de terminale în funcție de tehnologie și mediu, precum și compararea energiei primite de utilizator de la stațiile fixe de telefonie mobilă cu energia primită de la terminalul mobil propriu. [4]
- g) Analiza și interpretarea în raport cu nivelurile de referință reglementate a valorilor intensității câmpului electric măsurate la nivel național pe o perioadă de un an de zile de cei 150 de senzori ficși instalați de ANCOM. Au fost analizate peste 10 milioane de eșantioane. [5]
- h) Evaluarea expunerii la câmp electromagnetic în multiple puncte aflate în proximitatea antenelor de pe terasa corpului A al Facultății de Electronică Telecomunicații și Tehnologia Informației. S-a realizat practic o hartă a expunerii pentru un caz special de situri unde există instalate mai multe echipamente de emisie sau emisie-recepție. [6]

9.3 Lista lucrărilor originale

1. E. Oproiu, C. Costea, **M. Nedelcu**, M. Iordache, I. Marghescu, „5G Challenges, Requirements and Key Differentiating Characteristics from the Perspective of a Mobile Operator”, Future Access Enablers for Ubiquitous and Intelligent Infrastructures. Third International Conference, FABULOUS 2017: 64-70, doi.org/10.1007/978-3-319-92213-3_10, **WOS:000481658200010, (ISI, IEEE)**.
2. **M. Nedelcu**, T. Petrescu and V. Nițu, "Evaluation of electromagnetic field exposure in the vicinity of mobile phone base stations", 2021 IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking (BlackSeaCom), Bucharest, Romania, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/BlackSeaCom52164.2021.9527794, **WOS:000892556200050, (ISI, IEEE)**.
3. **M. Nedelcu**, V. Nițu and T. Petrescu, “Evaluation of electromagnetic field exposure in indoor spaces where there are located base stations with distributed antenna system” 2021 International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS), 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/ISSCS52333.2021.9497401, **(IEEE Xplore)**.
4. **M. Nedelcu**, V. Nițu and T. Petrescu, "Uplink power levels of user equipment in commercial 4G and 5G networks", 2021 13th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), Pitesti, Romania, 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/ECAI52376.2021.9515027, **(IEEE Xplore)**.
5. **M. Nedelcu**, T. Petrescu, “Evaluation of human exposure to electromagnetic field using data provided by the National Autonomous Electromagnetic Field Monitor system”, U.P.B. Sci. Bull., Series C, Vol. 85, Iss. 2, 2023, pp. 175-184, ISSN 2286-3540, **WOS:001015488500011, (ISI)**.
6. **M. Nedelcu**, T. Petrescu, “Power density measurements on shared sites”, U.P.B. Sci. Bull., Series C, Vol. 85, Iss. 3, 2023 pp. 297-306, ISSN 2286-3540 **(ISI)**

9.4 Perspective de dezvoltare ulterioară

Direcția principală de dezvoltare ulterioară a studiului o constituie sistemul 5G care începe să fie din ce în ce mai implementat în Europa în mai multe benzi de frecvență, în primă fază se dezvoltă în benzile de sub 6 GHz, urmând ca în faza a doua să vedem implementări în benzile 24 – 28 GHz cu lățimi ale canalelor de 500 - 1000 MHz de spectru continuu. De asemenea, deja se discută despre tehnologia de generația a șasea.

O a doua direcție care merită studiată este modul cum va evolua expunerea dată de terminalul mobil. Inițial terminalul era folosit aproape exclusiv pentru apeluri de voce, zona capului fiind cea mai expusă, ajungându-se în prezent ca terminalul să fie folosit preponderent în mână, la distanță de cap, dar mai aproape de corp. Timpul mediu de utilizare este în creștere fiind interesant de monitorizat energia medie absorbită de la terminal.

Bibliografie

- [1] *** <http://www.anpm.ro/ro/ce-sunt-radiatiile> , accesat la data 05 mai 2016.
- [2] *** <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/en/index2.html> , accesat la data 10 mai 2016.
- [3] P. Bernardi, M. Cavagnaro, S. Pisa, E. Piuze, *Human exposure to radio base-station antennas in urban environment*, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 48, pp. 1996-2002, 2000.
- [4] D. Lautru, J. Wiart, W. Tabbara, *Calculation of the power deposited in a phantom close to a Base Station Antenna using a hybrid FDTD-MoMTD approach*, 30th European Microwave Conference, pp. 304-308, 2000.
- [5] J. Cooper, B. Marx, J. Buhl, V. Hombach, *Determination of safety distance limits for a human near a cellular base station antenna, adopting the IEEE Standard or ICNIRP guidelines*, Bioelectromagnetics, vol. 23, pp. 429–443, 2002.
- [6] S. M. Michaelson, *Effects of electromagnetic radiations on physiologic responses*, Aerospace Med., vol. 38, pp.293, 1967.
- [7] C. I. Barron, A. A. Baraff, *Medical considerations of exposure to microwaves (radar)*, J. Am. Med. Assoc, vol. 168, pp.1194 –1199, 1958.
- [8] J. Daels, *Microwave heating of the uterine wall during parturition*, Obstet. Gynecol. 42:76 –79, 1973.
- [9] J. Daels, *Microwave heating of the uterine wall during parturition*, J. Microwave Power, vol. 11, pp. 166 –167, 1976.
- [10] B. H. Cohen, A. M. Lillienfield, A. M. Kramer, L. C. C. Hyman, *Parental factors in Down's syndrome: results of the second Baltimore case control study*, E. B. Hook and I. H. Porter, Population cytogenetics—studies in humans, Academic Press, pp. 301–352, 1977.
- [11] INTERPHONE Study Group, *Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study*. Int J Epidemiol, vol. 39(3), pp. 675–694, 2010.
- [12] D. Aydin, M. Feychting, J. Schüz, T.V. Andersen, A.H. Poulsen, M. Prochazka, L. Klæboe, C.E. Kuehni, T. Tynes, M. Rösli, *Predictors and overestimation of recalled mobile phone use among children and adolescents*, Progress in Biophysics and Molecular Biology, vol. 107(3), pp. 356-361, 2011.
- [13] D. Aydin, M. Feychting, J. Schüz, M. Rösli, CEFALO study team, *Childhood brain tumours and use of mobile phones: comparison of a case-control study with incidence data*. Environ Health, pp. 11-35, 2012.

- [14] C. Johansen, J. Boice Jr., J. McLaughlin, J. Olsen, *Cellular telephones and cancer - a nationwide cohort study in Denmark*, Journal of the National Cancer Institute, vol. 93, pp. 203-207, 2001.
- [15] P. Frei, E. Mohler, C. Braun-Fahrlander, J. Frohlich, G. Neubauer, M. Roosli, *Cohort study on the effects of everyday life radio frequency electromagnetic field exposure on non-specific symptoms and tinnitus*, Environmental International, vol. 38, pp. 29-36, 2012.
- [16] S Chapman, L Azizi, Q Luo, F Sitas, *Has the incidence of brain cancer risen in Australia since the introduction of mobile phones 29 years ago?*, Cancer Epidemiology vol. 42, pp. 199-205, 2016.
- [17] H. Danker-Hopfe, H. Dorn, C. Bornkessel, C. Sauter, *Do mobile phone base stations affect sleep of residents? Results from an experimental double-blind sham-controlled field study*, American Journal of Human Biology, vol. 22, pp. 613-618, 2010.
- [18] H.A. Divan, L. Kheifets, J. Olsen, *Prenatal cell phone use and developmental milestone delays among infants*, Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, vol. 37(4), pp. 341-348, 2011.
- [19] H.A. Divan, L. Kheifets, C. Obel, J. Olsen, *Prenatal cell phone use and developmental milestone delays among infants*, J Epidemiol Community Health, vol. 66(6), pp. 524-529, 2012.
- [20] M Guxens, M van Eijsden, R Vermeulen, E. Loomans, T.G.M. Vrijkotte, H. Komhout, R.T. van Strien, A. Huss, *Maternal cell phone and cordless phone use during pregnancy and behaviour problems in 5-year-old children*, Journal of Epidemiology and Community Health, vol. 67(5), pp. 432-438, 2013.
- [21] M Zamfirescu, G. Sajin, I. Rusu, M. Sajin, E. Kovacs, *Efecte biologice ale radiațiilor electromagnetice de radiofrecvență și microunde*, Ed. Medicală, 2000.
- [21] *** SCENIHR, *Health Effects of Exposure to EMF*, European Commission 2009.
- [22] M.N.O. Sadiku, *Numerical Techniques in Electromagnetics*, Second Edition, Boca Raton: CRC Press LLC, 2000.
- [24] *** ICNIRP, *Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300GHz)*, Health Physics, Vol. 74(4), pp. 494-522, 1998.
- [25] *** IEEE C95.1, *IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz*, 2006.
- [26] *** American Standards Association, *Safety levels of electromagnetic radiation with respect to personnel*, USASI standard C95.1-1966.
- [27] *** IEEE Std C95.1™-2019, *IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields, 0 Hz to 300 GHz*, 2019.
- [28] Kenneth R. Foster, *Exposure Limits for Radiofrequency Energy: Three Models*. University of Pennsylvania; 1908. https://www.who.int/peh-emf/meetings/day2Varna_Foster.pdf, accesat la data 07 mai 2019.

- [37] C. Oliveira, D. Sebastiao, G. Carpinteiro, L.M. Correia, C.A. Fernandes, A. Serraiha, N. Marques, *The monIT Project: Electromagnetic Radiation Exposure Assessment in Mobile Communications*, IEEE Antennas Propag., vol. 49, pp. 44-53, 2007.
- [42] S. M. Michaelson, E. C. Elson, *Modulated fields and 'window' effects*, Biological effects of electromagnetic fields, pp. 435-533, Boca Raton, FL, CRC Press, 1996.
- [43] INIRC/IRPA, *Guidelines on Limits of Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields in the Frequency Range from 100 kHz to 300 GHz*, Health Physics, Vol. 54, No. 1:115-123, 1988.
- [48] *** ICNIRP GUIDELINES for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz), HEALTH PHYSICS 118(5): 483–524; 2020
- [58] *** CEPT general/REC/(02)04, Measuring non-ionising electromagnetic radiation (9 kHz – 300 GHz), 2004
- [59] **M. Nedelcu**, T. Petrescu and V. Nițu, *Evaluation of electromagnetic field exposure in the vicinity of mobile phone base stations*, 2021 IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking (BlackSeaCom), Bucharest, Romania, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/BlackSeaCom52164.2021.9527794, **WOS:000892556200050, (ISI, IEEE)**.
- [60] E. Oproiu, C. Costea, **M. Nedelcu**, M. Iordache, I. Marghescu, *5G Challenges, Requirements and Key Differentiating Characteristics from the Perspective of a Mobile Operator*, Future Access Enablers for Ubiquitous and Intelligent Infrastructures. Third International Conference, FABULOUS 2017: 64-70, 2017, doi.org/10.1007/978-3-319-92213-3_10, **WOS:000481658200010, (ISI, IEEE)**.
- [61] **M. Nedelcu**, V. Nițu and T. Petrescu, *Evaluation of electromagnetic field exposure in indoor spaces where there are located base stations with distributed antenna system*, 2021 International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS), 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/ISSCS52333.2021.9497401 .
- [62] NARDA - Safety Test Solutions. SRM-3000 Selective Radiation Meter - Operating Manual, 2006. 3001/98.21
- [63] WHO Handbook: *Establishing a Dialogue on Risks from Electromagnetic Fields*, 2002
- [64] *** Recommendation ITU-T K.83, disponibil la:
www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=11037
- [65] <https://www.monitor-emf.ro/> , accesat la data 1 iunie 2022.
- [66] A. Gotsis, N. Papanikolaou, D. Komnakos, A. Yalofas, P. Constantinou, *Non-ionizing electromagnetic radiation monitoring in Greece*. Ann. Telecommun. Vol. 63, pp. 109–123, 2008.
- [67] A. Manassas, A. Boursianis, T. Samaras, J. N. Sahalos, *Continuous electromagnetic radiation monitoring in the environment: Analysis of the results in Greece*. Radiat. Prot. Dosim., vol. 151, pp. 437–442, 2012
- [68] *** National Observatory of Electromagnetic Fields. <https://paratiritirioemf.eeae.gr/en/> accesat la data 1 iulie 2022.

- [72] **M. Nedelcu**, T. Petrescu, *Evaluation of human exposure to electromagnetic field using data provided by the National Autonomous Electromagnetic Field Monitor system*, U.P.B. Sci. Bull., Series C, Vol. 85, Iss. 2, 2023, pp. 175-184, ISSN 2286-354, **WOS:001015488500011, (ISI)**.
- [73] **M. Nedelcu**, T. Petrescu, “*Power density measurements on shared sites*”, U.P.B. Sci. Bull., Series C, Vol. 85, Iss. 3, 2023 pp. 297-306, ISSN 2286-3540, **(ISI)**.
- [76] M. Vrijheid et al., *Determinants of mobile phone output power in a multinational study: Implications for exposure assessment*, Occupational Environ. Med., vol. 66, no. 10, pp. 664-671, Oct. 2009.
- [77] A. Gati, E. Conil, M.-F.Wong, and J.Wiart, *Duality between uplink local and downlink whole-body exposures in operating networks*, IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. 52, no. 4, pp. 829-836, Nov. 2010.
- [78] K. Joshi, M. Agrawal, B. Thors, D. Colombi, A. Kumar, and C. Törnevik, *Power level distributions of radio base station equipment and user devices in a 3G mobile communication network in India and the impact on assessments of realistic RF EMF exposure*, IEEE Access, vol. 3, pp. 1051-1059, 2015.
- [79] A. Gati, A. Hadjem, M.-F. Wong, and J. Wiart, *Exposure induced by WCDMA mobiles phones in operating networks*, IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 8, no. 12, pp. 5723-5727, Dec. 2009.
- [80] P. Joshi, D. Colombi, B. Thors, L.-E. Larsson, and C. Törnevik, *Output power levels of 4G user equipment and implications on realistic RF EMF exposure assessments*, IEEE Access, vol. 5, pp. 4545-4550, 2017.
- [81] V.M. Nițu, *Analiza expunerii la unde electromagnetice produse de sistemele de telefonie mobilă*, Teză de doctorat, cond. științific prof. univ. dr. ing. George LOJEWSKI, UPB, 2013.
- [83] **M. Nedelcu**, V. Nițu and T. Petrescu, *Uplink power levels of user equipment in commercial 4G and 5G networks*, 2021 13th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), pp. 1-4, Pitesti, Romania, 2021, doi: 10.1109/ECAI52376.2021.9515027.