

# DIGITALIZAREA PROCESULUI DE PROIECTARE AL ANTENELOR MULTIFRECVENȚĂ RFID ȘI EVALUAREA EXPUNERII UMANE LA RADIĂȚILE EMISE DE ACESTEA

## Raport intermediar 4

**Director:** Ș.I. dr. ing. Constantinescu Claudia Alana

**Membrii:** Ș.I. dr. ing. Andreica Sergiu Iulian

**Asist.dr. ing. Rapolti Laszlo**

**Obiectivul general** al acestui proiect este *digitalizarea procesului de optimizare a antenelor pasive și active utilizate în sisteme RFID prin modelare numerică și testare experimentală*. În vederea atingerii acest obiectiv, în cadrul raportului 4 se vor parcurge următoarele etape: **Obiectiv 5:** Testarea influenței factorilor ambientali asupra performanțelor antenelor RFID, **Obiectiv 6:** Evaluarea expunerii umane în proximitatea antenelor RFID funcționând la frecvențe înalte.

### 1. Determinarea valorilor intensității câmpului electric în proximitatea antenelor spiralate

Datorită versatilității lor și a spațiului redus pe care îl ocupă, pentru acest studiu au fost luate în considerare structurile spiralate prezentate în cadrul Obiectivului 1 care funcționează la frecvența de 13.56 MHz. Structura spiralată permite miniaturizarea și lărgirea benzii efective a acestora, ceea ce o face adecvată pentru aplicațiile RFID.

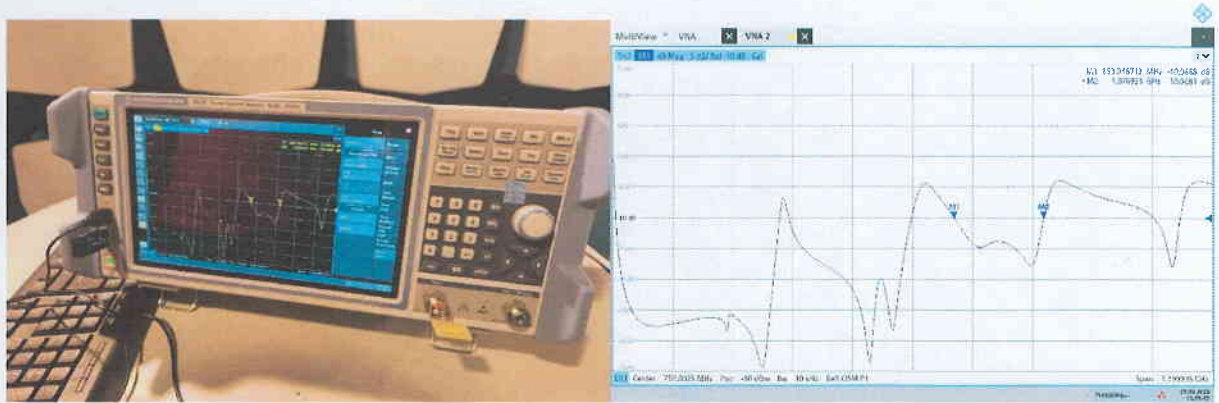
Pentru antenele analizate în cadrul studiului anterior s-a observat că acestea funcționează pe mai multe domenii de frecvență printre care și cele analizate în momentul de față (860 – 960 MHz, respectiv 2.4 GHz). Astfel, analizând valoarea inductivității acestor structuri s-a determinat faptul că inductivitatea acestora este foarte puțin influențată de frecvența de operare. Structurile considerate pentru acest studiu au fost create de noi anterior și se pot observa în Figura 1. De asemenea, s-a dorit și determinarea valorilor capacităților necesare ca aceste structuri să rezoneze la frecvențele de interes. Valorile capacității necesare pentru 860 MHz au fost calculate pentru cele patru structuri luate în considerare folosind formula (1). Structurile au fost considerate a avea un diametru exterior cuprins între 17 și 20 mm. Rezultatele indică faptul că valorile capacităților necesare sunt foarte mici și dificil de obținut practic. În consecință, în teste antenele au fost utilizate doar cu o rezistență de 50  $\Omega$  conectată în paralel. Pentru frecvența de 2.4 GHz capacitățile ar fi și mai mici, ceea ce confirmă lipsa necesității integrării unor condensatoare suplimentare pentru ca ele să rezoneze la frecvențele dorite.

Pentru domeniul de frecvență 860-960 MHz se poate observa spre exemplificare determinarea parametrilor S ai antenei planare spiralate de formă pătrată în Figura 2.



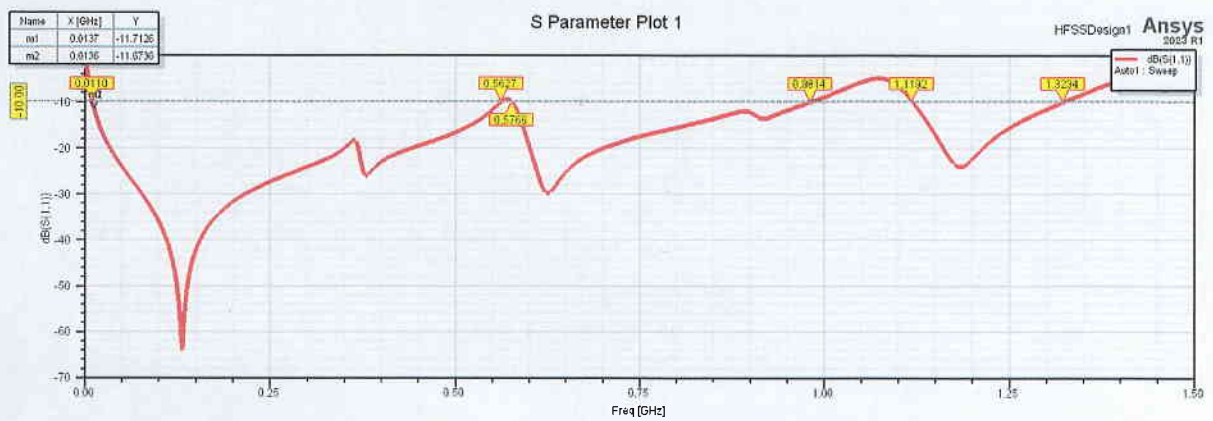
**Figura 1.** Structurile considerate pentru a fi analizate.

$$C = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot L} \quad (1)$$



a)

b)



c)

**Figura 2.** Parametrii S pentru antene spirală pătrată: a) configurație de testare; b) rezultate experimentale; c) rezultate obținute prin modelare numerică.

S-a determinat intensitatea câmpului electric la diferite distanțe față de antenele analizate. În acest scop, s-a utilizat un Electromagnetic Field Meter (EMF) SMP2 de la Wavecontrol cu ajutorul căruia s-a măsurat intensitatea câmpului electric. La acesta a fost conectată o sondă cu sensibilitate ridicată, WPF8, care funcționează între 100 kHz și 8 GHz, potrivită pentru domeniile de frecvență analizate. Antenele au fost plasate pe un trepied aflat la distanța de 1 m față de sol, menținându-se fixe.

Antenele au fost alimentate cu ajutorul unui generator de semnal Keysight care funcționează în domeniul de frecvență 9 kHz – 6 GHz configurat succesiv pe frecvențele de interes. Pentru fiecare frecvență, generatorul a furnizat un nivel de putere de 20 dBm (aproximativ 0.1 W). Testele au fost realizate în cadrul camerei semianecoică din cadrul Laboratorului de Compatibilitate Electromagnetică (Universitatea Tehnică din Cluj Napoca). Atât aparatura necesară cât și standul de testare se pot observa în Figura 3. S-a măsurat intensitatea câmpului electric pentru frecvențele de 13.56 MHz, 890 MHz și 2.4 GHz. Distanța dintre antenă și EMF a variat între 0.1 și 2.5 m, considerându-se 6 puncte diferite de măsurare.

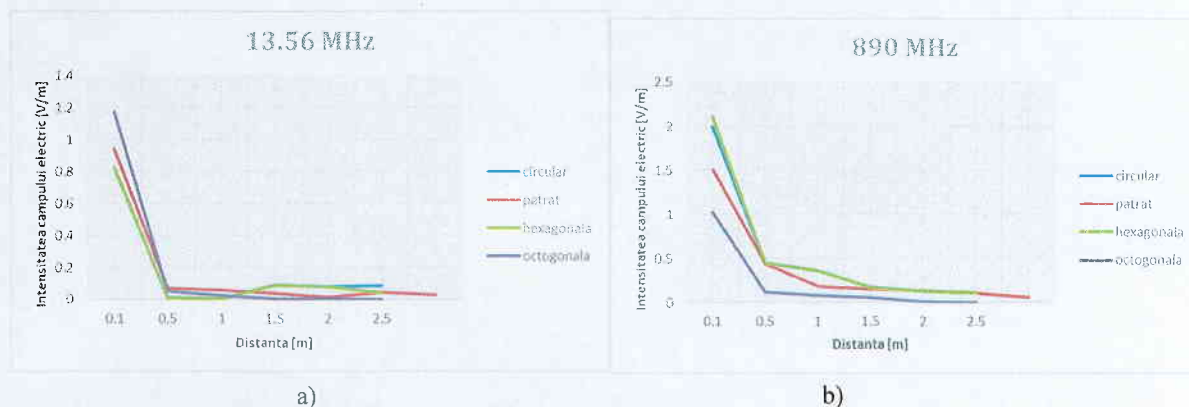
Analizând Figura 4 putem spune că antena noastră nu are un câștig ridicat, ceea ce presupune faptul că se pretează cel mai mult pentru aplicații cu frecvență scăzută, unde antena activă și cea pasivă sunt foarte apropiate una de cealaltă. De asemenea, acestea nu reprezintă un pericol pentru persoanele aflate în proximitatea antenei datorită valorii mici înregistrate pentru intensitatea câmpului electric.

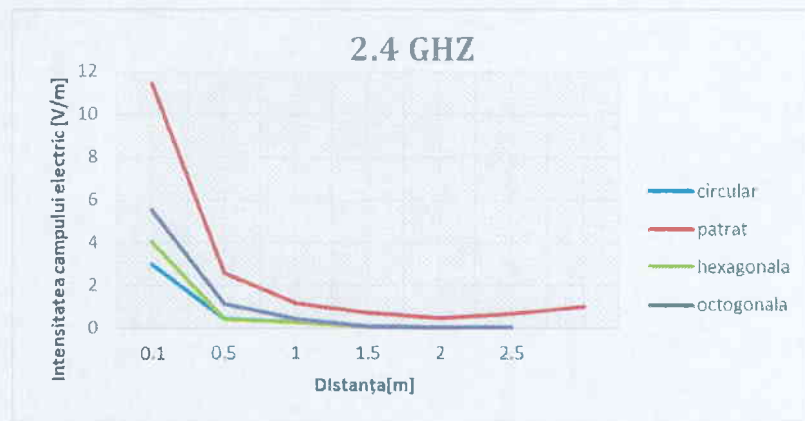
O altă concluzie urmărind graficele din Figura 4 este că odată cu creșterea frecvenței de operare, valoarea maximă a intensității câmpului electric crește, aceasta regăsindu-se tot timpul în cel mai apropiat punct față de antenă. Dacă la frecvențe mai mici s-a observat că antenele octogonale, respectiv circulare și hexagonale emit mai bine, la 2.4 GHz antena pătrată este cea care emite cel mai puternic.

Pentru o mai bună vizualizare a rezultatelor, s-a prezentat și distribuția intensității câmpului electric pentru fiecare formă a structurii spiralate în parte separat, considerând cele trei frecvențe analizate, ca în Figura 5. Astfel, se poate observa modul în care crește nivelul de emisie al antenelor, pentru fiecare formă în parte, pe măsură ce frecvența de operare crește.



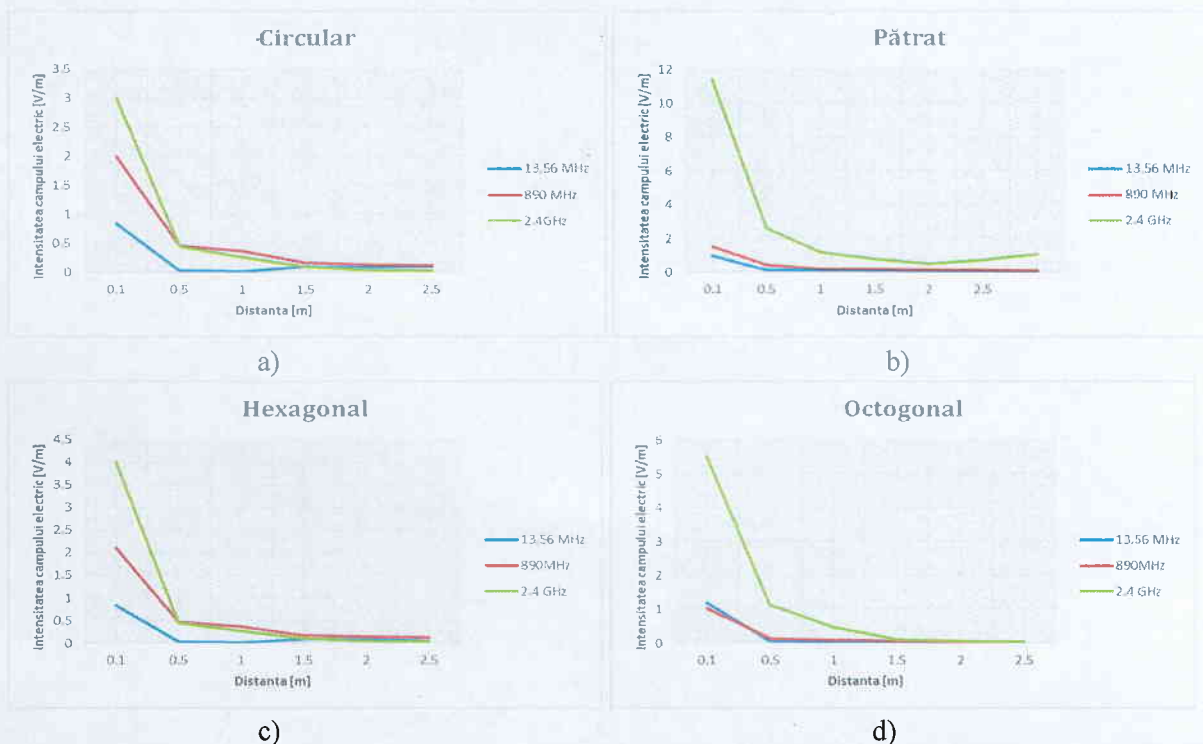
**Figura 3.** Standul de testare pentru determinarea intensității câmpului electric: a) generator de semnal, b) Electromagnetic Field Meter, c) stand de testare.





c)

**Figura 4.** Reprezentarea intensității câmpului electric în funcție de distanța față de antenă pentru: a) 13.56 MHz, b) 890 MHz, c) 2.4 GHz.



c)

d)

**Figura 5.** Reprezentarea intensității câmpului electric în funcție de distanța față de antenă, pentru diferite forme ale structurii antenei: a) circulară, b) pătrată, c) hexagonală, d) octogonală.

## 2. Evaluarea expunerii umane în proximitatea antenelor RFID funcționând la frecvențe înalte

### 2.1. Prezentarea standardelor în vigoare folosite pentru a interpreta rezultatele acestui studiu

S-au ales spre analiză trei standarde, și anume:

- ✚ ICNIRP Guidelines For Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz)

- ✦ ORDIN nr. 1.193 din 29 septembrie 2006 pentru aprobarea Normelor privind limitarea expunerii populației generale la câmpuri electromagnetice de la 0 Hz la 300 GHz
- ✦ IEEE Standards for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields, 0 Hz to 300 GHz

În urma analizei valorilor limită pentru expunere s-au putut întocmi următoarele 3 tabele. Din analiza limitelor impuse se consideră utilizarea limitelor impuse de ICNIRP pentru analiza rezultatelor, considerând acest raport a fi cel mai restrictiv și de asemenea cel mai cuprinzător, conținând atât limite pentru domeniul public cât și ocupațional.

**Tabel 1.** Limitele impuse de către standardul IEEE

Frecvență	Tip mediu	Câmp electric E (V/m RMS)	Câmp magnetic H (A/m RMS)	Densitate de putere S (W/m <sup>2</sup> )	SAR local cap/trunchi (W/kg)	SAR local membre (W/kg)
13.56 MHz	Public	614 V/m	1.63 A/m	—	2 W/kg	4 W/kg
13.56 MHz	Ocupațional	1370 V/m	4.85 A/m	—	10 W/kg	20 W/kg
860-960 MHz	Public	28 V/m	0.074 A/m	2 W/m <sup>2</sup>	2 W/kg	4 W/kg
860-960 MHz	Ocupațional	61 V/m	0.16 A/m	10 W/m <sup>2</sup>	10 W/kg	20 W/kg
2.4 GHz	Public	61 V/m	0.16 A/m	10 W/m <sup>2</sup>	2 W/kg	4 W/kg
2.4 GHz	Ocupațional	137 V/m	0.36 A/m	50 W/m <sup>2</sup>	10 W/kg	20 W/kg

**Tabel 2.** Limitele impuse de către ORDINUL nr. 1.193 din 29 septembrie 2006

Frecvență	E (V/m RMS)	H (A/m RMS)	Densitate de putere S (W/m <sup>2</sup> )	SAR local cap/trunchi (W/kg)	SAR local mână/membre (W/kg)
13.56 MHz	$87 / \sqrt{f} \approx 24$ V/m	$0,73 / f \approx 0,054$ A/m	—	2	4
860-960 MHz	$\approx 28$ V/m	$\approx 0,073$ A/m	2 W/m <sup>2</sup>	2	4
2.4 GHz	$\approx 61$ V/m	0,16 A/m	10 W/m <sup>2</sup>	2	4

**Tabel 3.** Limitele impuse de către standardul ICNIRP

Frecvență	Mediu	E (V/m RMS)	H (A/m RMS)	S (W/m <sup>2</sup> )	SAR local cap/trunchi (W/kg)	SAR local mână/membre (W/kg)
13.56 MHz	Public	$87 / \sqrt{f} \approx 24$ V/m	$0.73 / f \approx 0.054$ A/m	—	2	4
13.56 MHz	Ocupațional	$610 / \sqrt{f} \approx 166$ V/m	$1.6 / f \approx 0.118$ A/m	—	10	20
860-960 MHz	Public	28 V/m	0.073 A/m	2 W/m <sup>2</sup>	2	4
860-960 MHz	Ocupațional	61 V/m	0.16 A/m	10 W/m <sup>2</sup>	10	20
2.4 GHz	Public	61 V/m	0.16 A/m	10 W/m <sup>2</sup>	2	4
2.4 GHz	Ocupațional	137 V/m	0.36 A/m	50 W/m <sup>2</sup>	10	20

## 2.2. Determinarea efectelor expunerii umane la radițiile antenelor RFID active și compararea rezultatelor obținute cu valorile limită ale standardelor

### 2.2.1. Modelarea numerică și testarea antenelor funcționând în domeniul 13.56 MHz

Datorită aplicațiilor la care sunt folosite în acest domeniu de frecvențe, cu precădere la distanțe mici între antenă și cititor, se va considera doar influența antenelor asupra mâinii umane. Vor fi considerate toate formele de antenă analizate, și anume cu spirala pătrată, circulară, hexagonală, octogonală.

Antena a fost considerată a fi poziționată în 3 moduri diferite față de mâna umană și valorile parametrilor de interes au fost centralizate pentru a putea observa dacă evoluția lor odată cu poziționarea diferită a antenei este în conformitatea cu standardele în vigoare. Modurile de amplasare al antenei sunt cele din Figura 6. S-a considerat amplasarea în dreptul degetelor și în palmă, deoarece de obicei aceste antene sunt manevrabile, și de asemenea în dreptul încheieturii, pentru că poate fi ușor integrată în dispozitive precum ceasuri. În cazul degetelor și al pământii antena este orientată cu zona radiantă înspre țesuturi, ceea ce determină valori mai mari ale parametrilor de interes, iar în cazul încheieturii zona radiantă este dispusă înspre exterior. Cazul analizat este cel al antenei pătrate de dimensiune 17 mm și 7 înfășurări de 0.2 mm grosime cu 0.3 mm distanță între înfășurări, iar rezultatele sunt prezentate în cele ce urmează (Figurile 7, 8, 9). Valorile obținute sunt centralizate în cadrul Tabelului 4. Se poate observa că intensitatea câmpului electric este sub limitele admise de standarde, la fel și rata specifică de absorbție. În cazul intensității câmpului magnetic valorile sunt depășite, dar SAR este valoarea care primează. Cu toate acestea, este de preferat să se mențină o distanță de câțiva milimetri față de antenă sau ca aceasta să fie utilizată pentru intervale mici de timp.

Pentru a demonstra veridicitatea funcționării antenelor în domeniul de frecvențe 860-960 MHz se pot observa parametrii S ai acestora în cadrul Figurii 10.

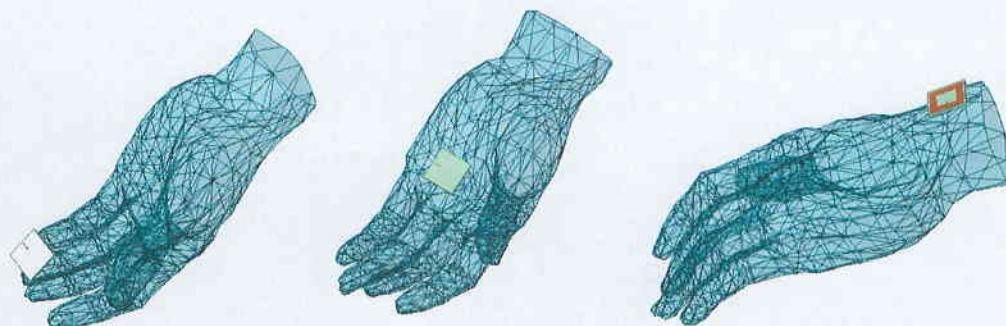


Figura 6. Dispunerea antenei în cele 3 poziții de interes.

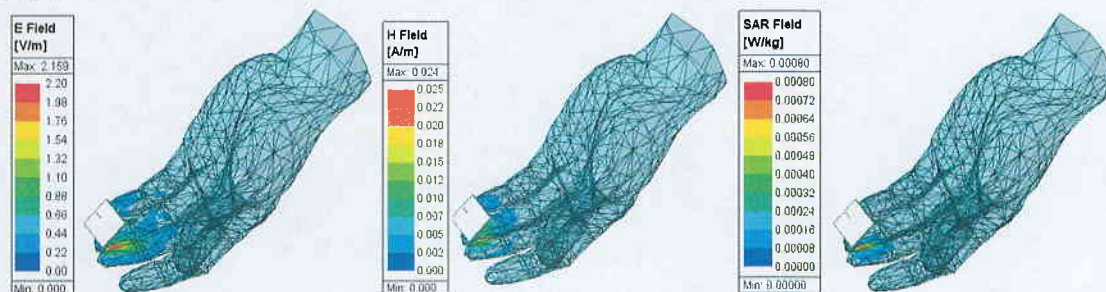


Figura 7. Reprezentarea parametrilor de interes pentru antena poziționată în dreptul degetelor.

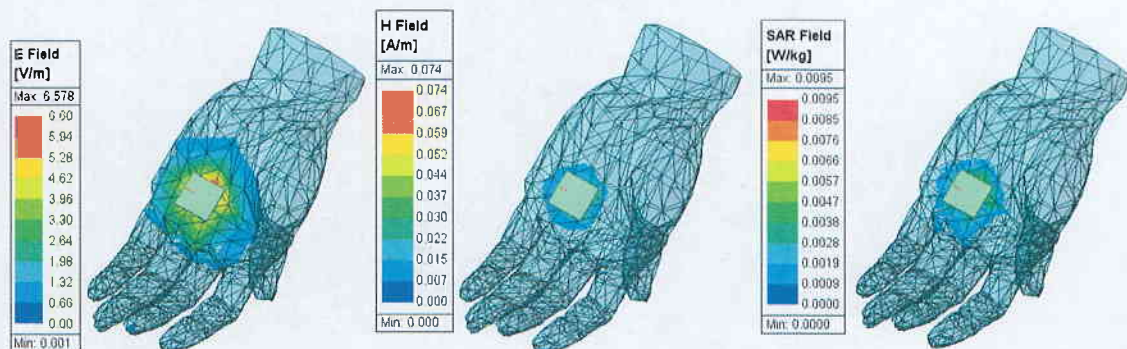


Figura 8. Reprezentarea parametrilor de interes pentru antena poziționată în palmă.

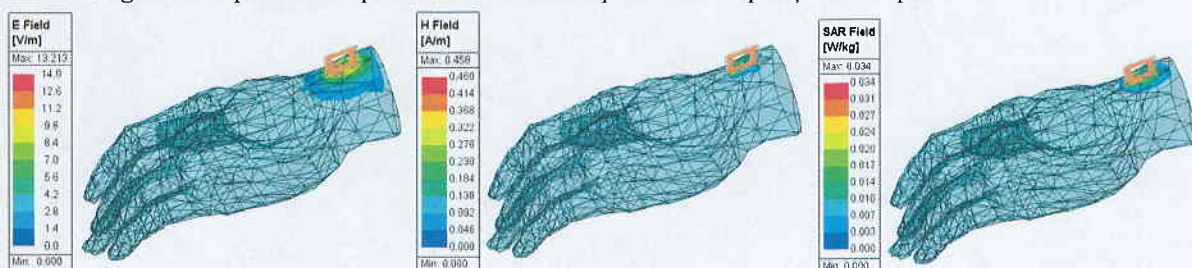


Figura 9. Reprezentarea parametrilor de interes pentru antena poziționată în dreptul încheieturilor.

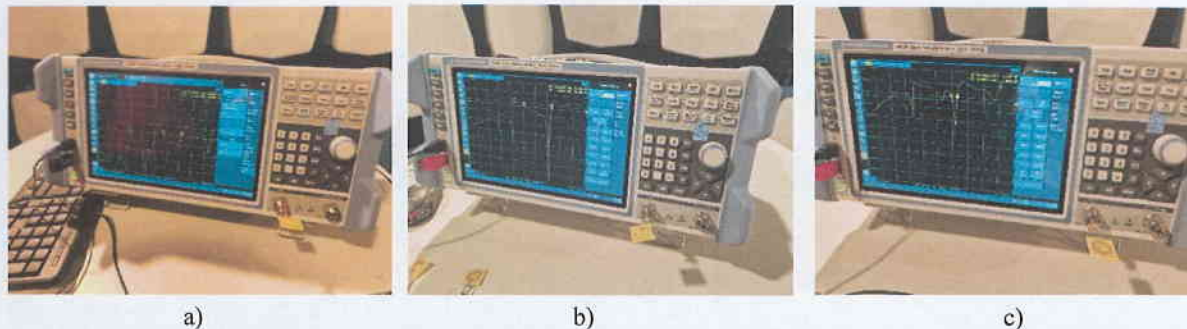
Tabel 4. Valorile parametrilor de interes pentru diferitele poziționări ale antenei.

	Intensitatea câmpului electric [V/m]			Intensitatea câmpului magnetic [A/m]			SAR [W/kg]		
	Patrat	Circular	Hexagonal	Patrat	Circular	Hexagonal	Patrat	Circular	Hexagonal
În dreptul degetelor	1.601	1.46	2.447	0.437	2.101	0.017	0.151	0.0004	0.017
În palmă	6.248	7.347	5.979	4.045	3.623	0.032	0.0089	0.014	0.0079
În dreptul încheieturii	8.818	10.64	10.61	11.077	13.557	15.419	0.017	0.021	0.024

### 2.2.2. Modelarea numerică și testarea antenelor funcționând în domeniul 860-960 MHz

În cazul antenelor de mai sus s-a considerat și funcționarea acestora în intervalul de frecvențe 860-960MHz și s-a putut observa că dacă eliminăm condensatorul, așa cum a fost menționat în raportul anterior, se va ajunge la o operare a antenelor pe domeniul de interes. De asemenea, și în acest caz s-au poziționat antenele precum în Figura 6 și s-au determinat parametrii de interes. Se poate observa că intensitatea câmpului electric, respectiv rata specifică de absorbție sunt conform standardelor în timp ce intensitatea câmpului magnetic depășește ușor valorile admise (Tabel 3).

În cazul domeniului de frecvențe 860-960 MHz s-a mai analizat încă o structură. Astfel, s-a pornit de la antena proiectată pentru a funcționa la 900 MHz (Figura 11) pentru a putea observa modul în care poziționarea acesteia influențează corpul uman. Aceasta este construită pe un substrat dielectric de FR4 Epoxy de 1.51 mm grosime cuprat doar pe o singură parte. S-a considerat determinarea influenței antenei asupra mâinii și a piciorului. S-a considerat poziționarea acesteia la distanțe diferite, într-un interval de la 10 mm la 40 de mm cu un pas de 10 mm.

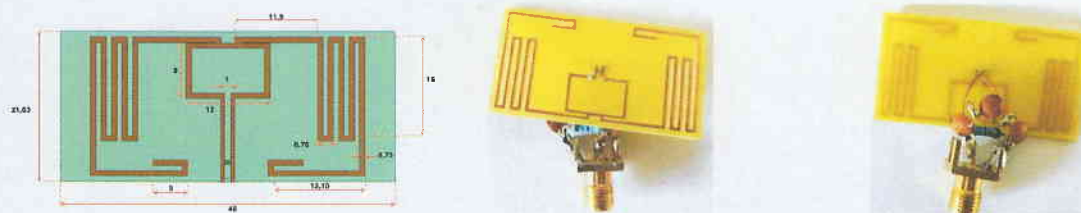


**Figura 10.** Utilizarea antenelor create pentru frecvența de 13.56 MHz pentru domeniul de frecvență 860-960 MHz: a) pătrată, b) circulară, c) hexagonală.

**Tabel 5.** Valorile parametrilor de interes pentru diferite poziționări ale antenei la 890 MHz.

	Intensitatea câmpului electric [V/m]			Intensitatea câmpului magnetic [A/m]			SAR [W/kg]		
	Patrat	Circular	Hexagonal	Patrat	Circular	Hexagonal	Patrat	Circular	Hexagonal
În dreptul degetelor	2.56	1.642	2.72	0.024	0.194	1.896	0.001	0.00044	0.0015
În palmă	6.578	7.948	6.546	0.078	0.365	0.5258	0.01	0.015	0.0017
În dreptul încheieturii	13.21	11.522	11.662	0.458	1.354	0.318	0.034	0.024	0.021

La primul caz analizat unde distanța dintre mână și antenă este 10 mm (Figura 11 a)), valorile obținute pentru câmpul electric (44.5 V/m), câmpul magnetic (0.0817 A/m) și SAR (0.890 W/kg) se încadrează sub limitele impuse de ICNIRP, indicând faptul că structura respectă normele de siguranță pentru frecvențe sub 2 GHz. Rezultatele simulărilor evidențiază faptul că, pe măsură ce distanța dintre braț și antenna RFID crește, valorile câmpului electric, câmpului magnetic și ale SAR scad considerabil. În toate cele patru cazuri analizate, inclusiv cel mai apropiat, valorile rămân sub limitele stabilite de standardele ICNIRP, indicând un nivel sigur de expunere. Astfel, se poate concluziona că antenna poate fi utilizată fără riscuri în aplicații apropiate de corp, mai ales dacă se respectă o distanță minimă de câțiva milimetri (Figura 12).

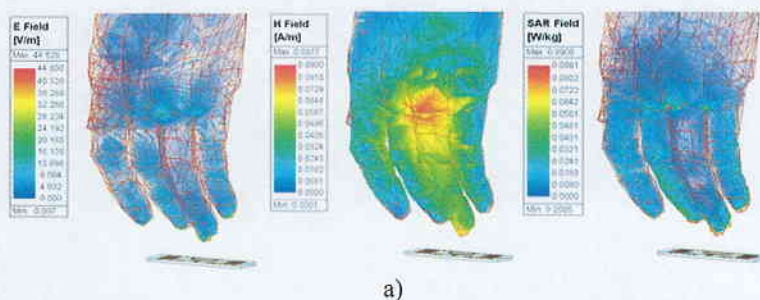


a) antenna modelată

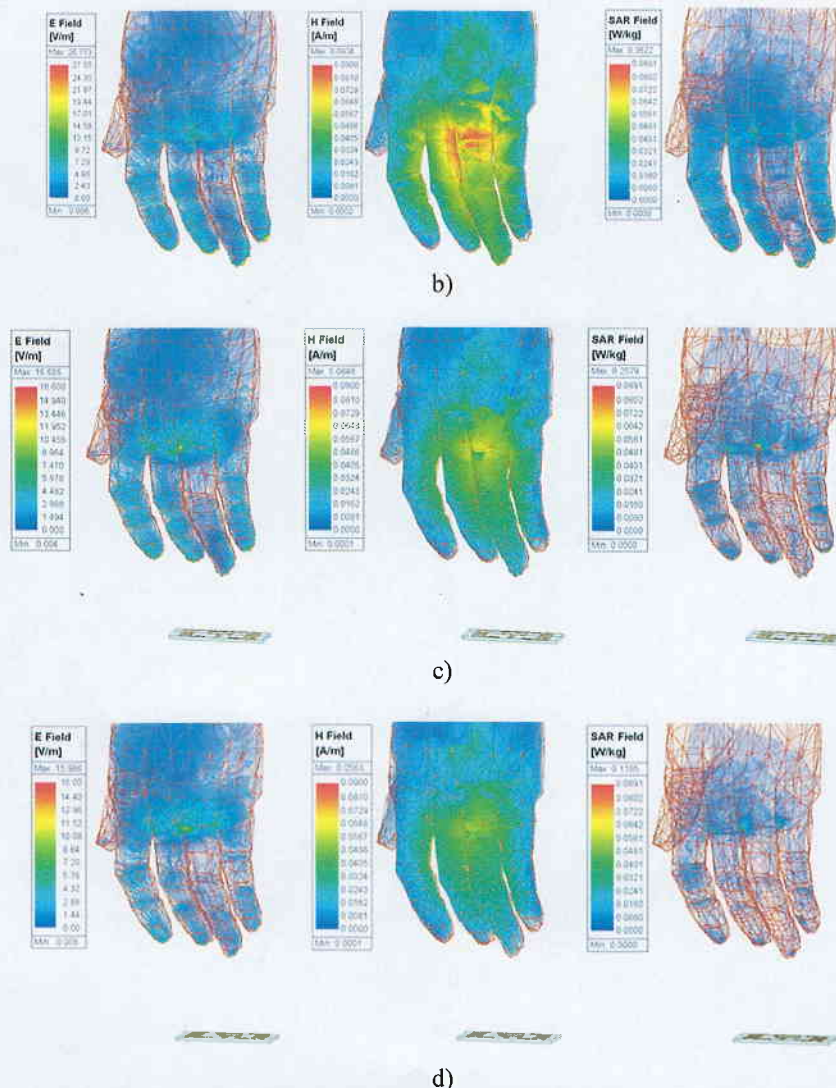
b) antenna realizată vedere din față

c) antenna realizată vedere din spate

**Figura 11.** Dimensiunile antenei RFID



a)



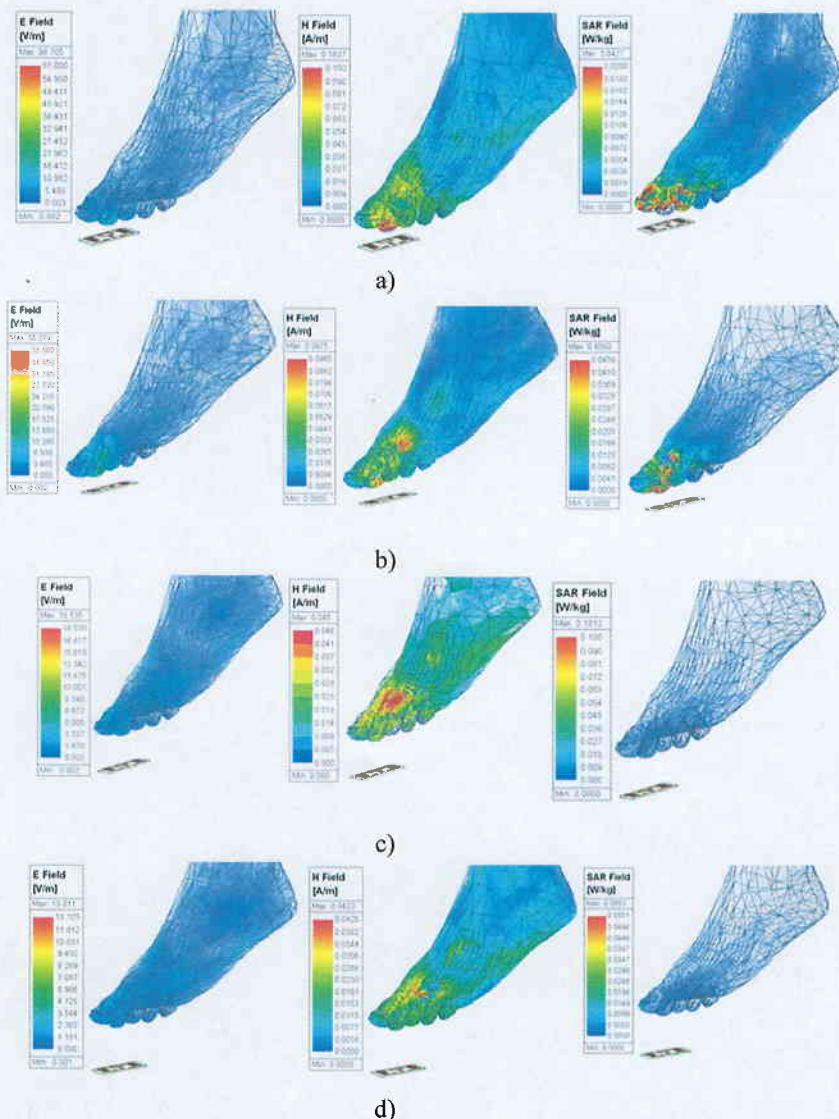
**Figura 12.** Distribuția câmpului electromagnetic și a valorilor SAR pentru distanța între antenă și mâna de: a)10 mm, b)20 mm, c)30 mm, d)40 mm.

Deoarece se dorește integrarea RFID în cât mai multe aplicații s-a analizat de asemenea un caz unde antena este plasată în proximitatea piciorului uman. S-a considerat analizarea aceluiași distanțe dintre antenă și picior, variind între 10 mm și 40mm. Valorile obținute în primul caz sunt 96.7 V/m pentru câmpul electric (peste limita de 61 V/m), 0.1657 A/m pentru câmpul magnetic (aproape de limita de 0.16 A/m) și un SAR de 3.64 W/kg (mult peste limita de 2 W/kg impusă de ICNIRP pentru 10 g de țesut), acestea indicând o depășire semnificativă a parametrilor de siguranță. Acest lucru evidențiază un potențial pericol de expunere, motiv pentru care se recomandă evitarea plasării antenei la distanțe mai mici de 10 mm față de corpul uman. Cu toate acestea, pentru al doilea caz, valoarea câmpului electric este de 39.27 V/m (sub limita ICNIRP de 61 V/m), câmpul magnetic are 0.095 A/m (mult sub pragul de 0.16 A/m), iar SAR-ul înregistrat este de 0.65 W/kg (în limitele sigure de 2 W/kg), ceea ce indică o expunere moderată, dar considerată sigură conform standardelor.

În urma simulărilor efectuate pentru patru distanțe diferite între piciorul stâng și antena RFID, s-a observat o scădere clară a valorilor câmpului electric (E Field), câmpului magnetic (H Field) și ale ratei de

absorbție specifică (SAR) odată cu creșterea distanței față de sursă. În cazul 1, când piciorul se află foarte aproape de antenă, valorile E Field și SAR depășesc semnificativ limitele impuse de ICNIRP, indicând un risc în condiții de expunere prelungită. În schimb, în cazurile 2, 3 și 4, toate valorile înregistrate se situează sub pragurile admise de standardele internaționale, demonstrând că distanțarea adecvată reduce semnificativ nivelul de expunere.

Astfel, se poate concluziona că menținerea unei distanțe de cel puțin 10–15 mm între antenă și corpul uman este esențială pentru siguranța utilizatorului, în aplicațiile RFID portabile sau din proximitatea corpului.



**Figura 13.** Distribuția câmpului electromagnetic și a valorilor SAR pentru distanța între antenă și picior de: a)10 mm, b)20 mm, c)30 mm, d)40 mm.

### 2.1.3. Modelarea numerică și testarea antenelor funcționând în domeniul 2.4 GHz

În cazul antenelor care funcționează la 2.4 GHz s-au considerat trei antene diferite, două dintre ele fiind amintite și în raportul anterior. Prima dintre ele este antena din Figura 14 a). În Figura 14 b) se poate

observa domeniul de frecvență pe care aceasta funcționează și faptul că domeniul de frecvențe pentru 2.4 GHz este unul foarte îngust. Această antenă are un câștig maxim de 2.36 dB care se emite atât deasupra patch-ului radiant cât și sub dielectric. Antenele care funcționează la 2.4 GHz emit pe distanțe mari, de aceea un studiu pentru determinarea influenței acestora asupra capului este un pas evident în evaluarea acestora. Pentru început s-a analizat influența asupra capului când antena este plasată lângă cap, cu suprafața radiantă orientată spre acesta. Se poate observa din Figura 15 că în acest caz valorile sunt peste limitele impuse de standarde atât când vine vorba de intensitatea câmpului electric și magnetic, cât și când analizăm SAR. Pentru a fi mai evident acest lucru, legendele pentru reprezentări au fost setate pentru a avea limita superioară chiar valoarea limită din standardul ICNIRP. Dacă distanța dintre cap și antenă se mărește la 50 mm, se poate observa că doar în cazul intensității câmpului magnetic se depășește limita impusă de standarde (Figura 16). În urma acestui studiu, s-au urmărit doar valorile câmpului magnetic la distanțele de 100 mm, 150 mm, 200 mm și 250 mm. Se poate observa că odată cu creșterea distanței se ajunge la valori admise de standarde, deci aceste antene pot fi folosite în vecinătatea corpului uman atâta timp cât se păstrează o anumită distanță față de acesta.

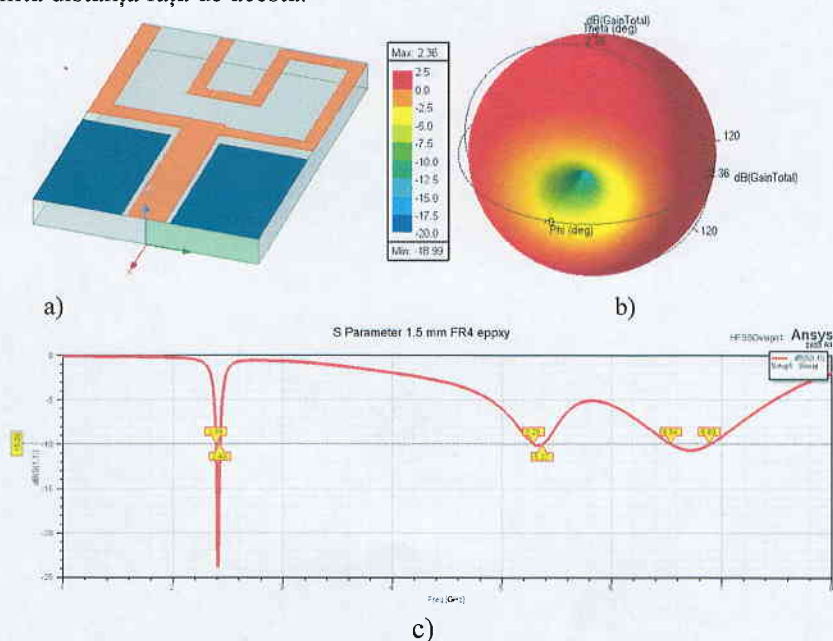


Figura 14. Prima antenă realizată pentru 2.4 GHz: a)structura geometrică, b)câștigul antenei,c)parametrii S.

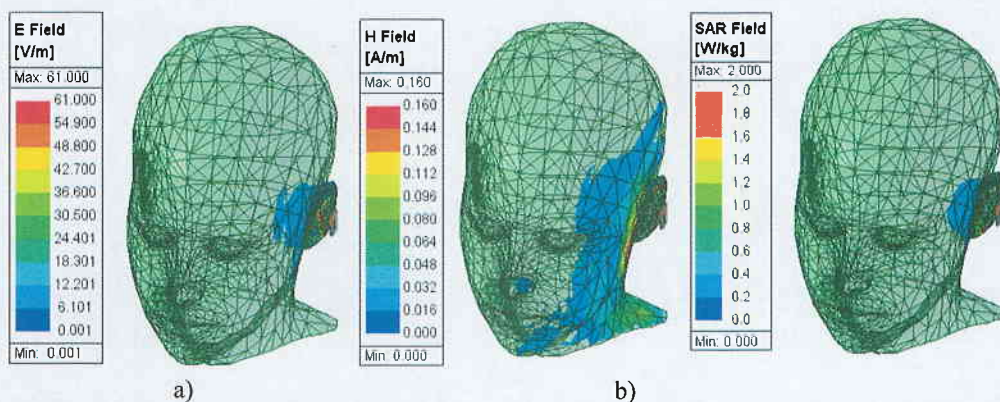
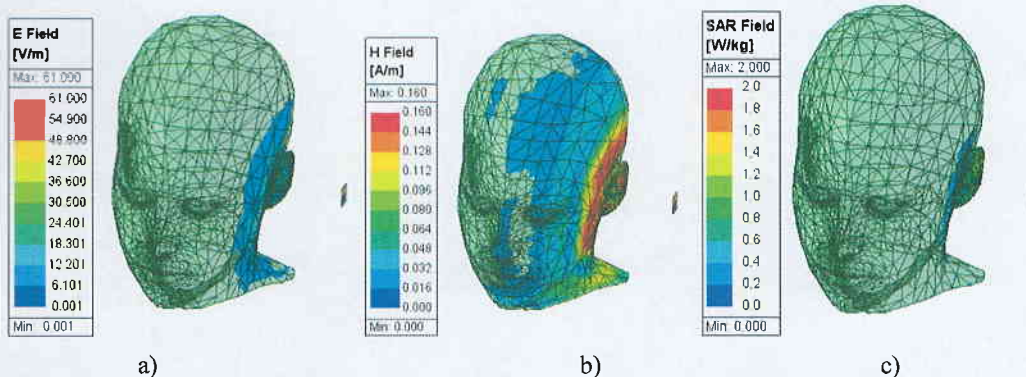
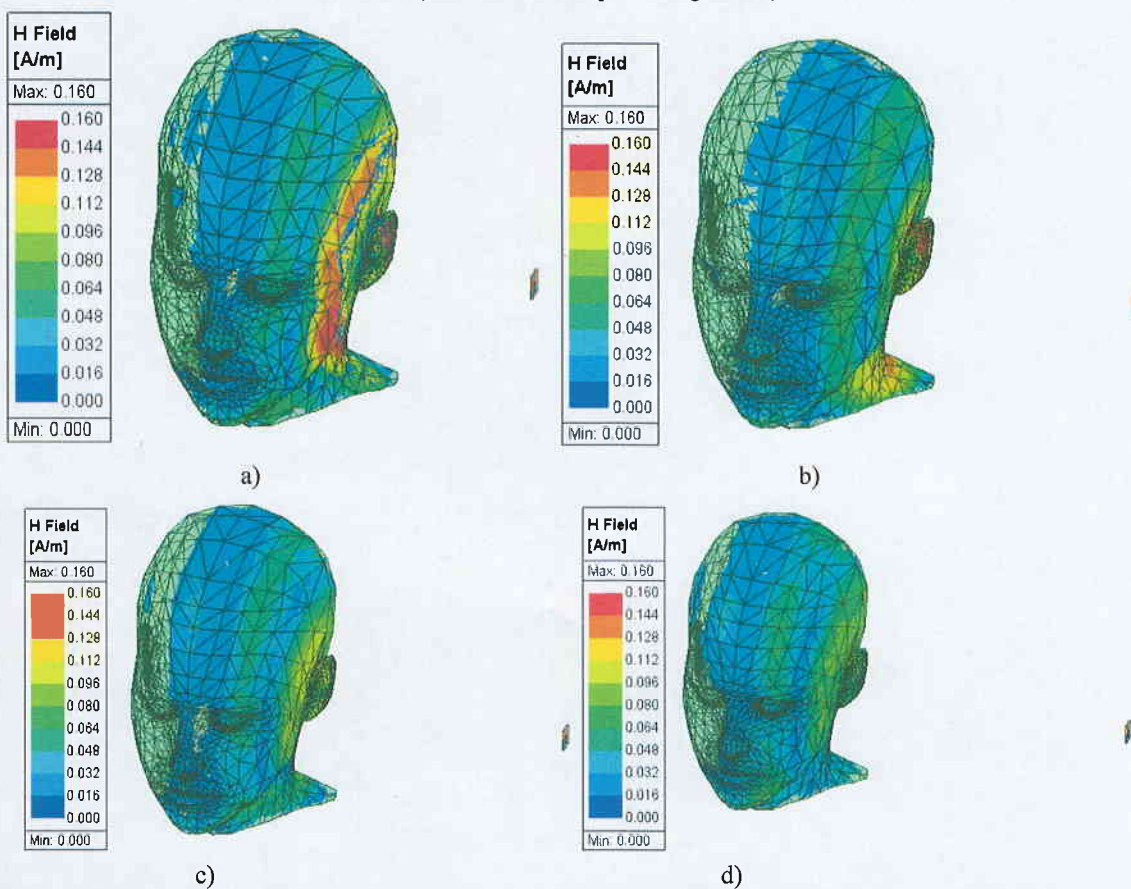


Figura 15. Parametrii de interes pentru antena lipită de cap: a)intensitatea câmpului electric, b)intensitatea câmpului magnetic,c) SAR.

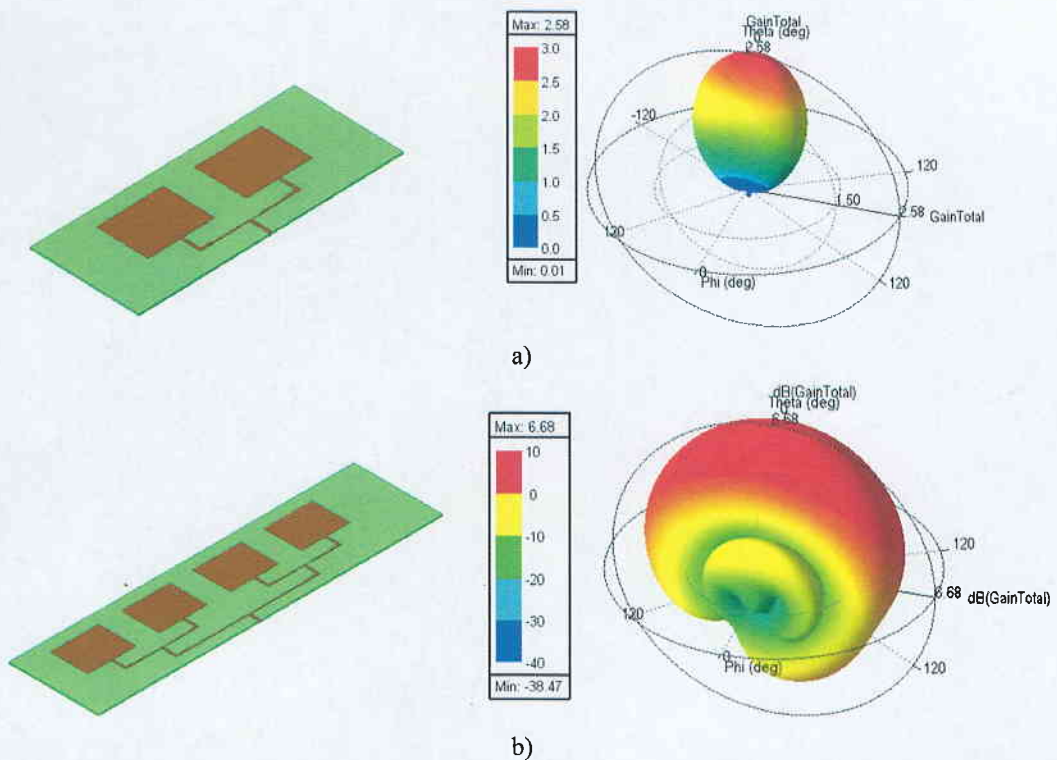


**Figura 16.** Parametrii de interes pentru o distanță între capul uman și antenă de 50 mm: a)intensitatea câmpului electric, b)intensitatea câmpului magnetic,c) SAR.



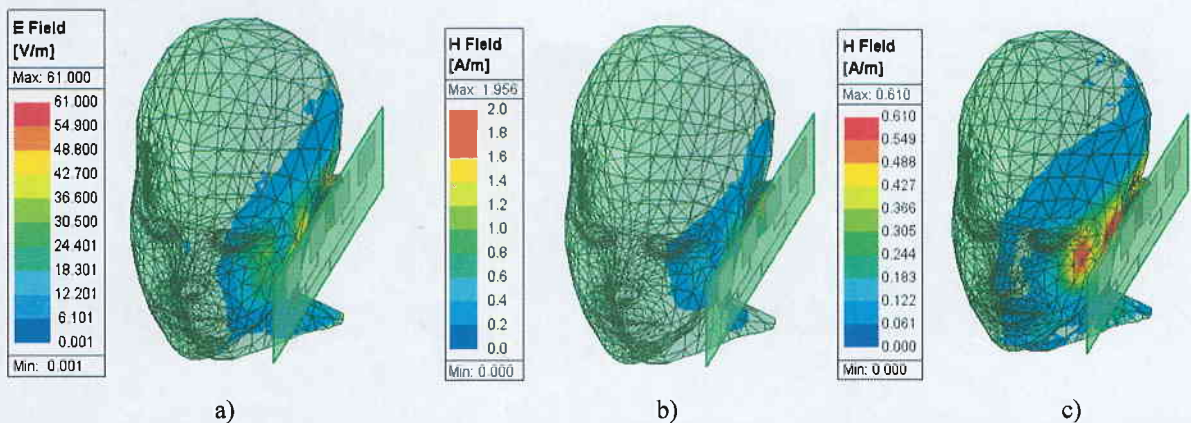
**Figura 17.** Intensitatea câmpului magnetic pentru o distanță între capul uman și antenă de: a)100 mm, b)150 mm, c)200 mm, d)250 mm.

În cazul celei de a doua antene analizate pentru frecvența de 2.4 GHz s-a considerat un array de 2, respectiv 4 antene precum în Figura 18. Tot în această figură se poate observa și faptul că valoarea câștigului crește considerabil când se trece de la un array de 2 antene la unul de 4, antena în sine menținându-și funcționarea la 2.4 GHz. În cazul antenei array-ului cu două antene s-a considerat poziționarea antenei lângă ureche și s-a putut observa că valorile intensității câmpului electric și magnetic, respectiv rata specifică de absorbție nu depășesc limitele impuse de standarde.

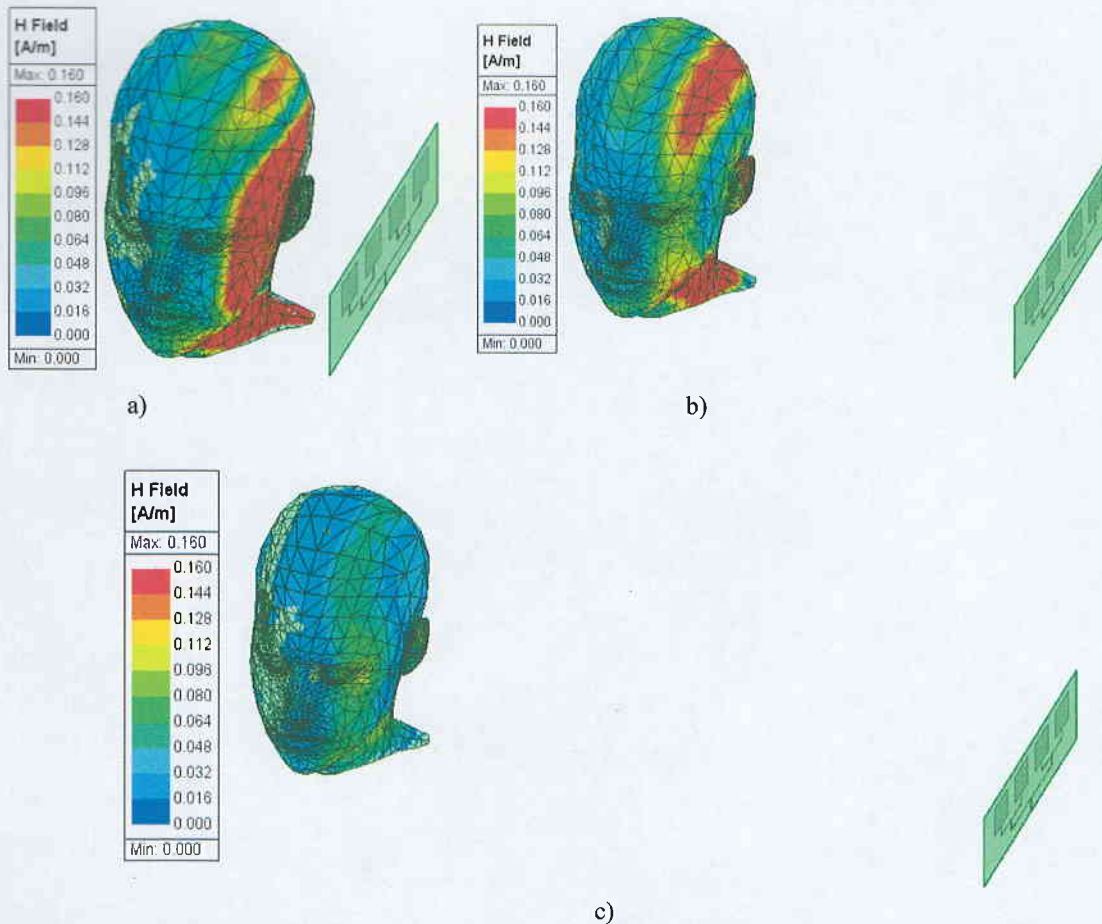


**Figura 18.** Array-urile de antene considerate a fi analizate: a)array de două antene și reprezentarea câștigului acesteia, b) a)array de patru antene și reprezentarea câștigului acesteia.

În cazul în care discutăm despre array-ul format din 4 antene, acesta afectează capul uman, valorile parametrilor de interes depășind limitele admise de standarde după cum se poate observa în Figura 19. Se poate observa că și în acest caz odată cu creșterea distanței dintre antenă și cap valorile tind să scadă, iar la o distanța de 0.6 m sunt conforme cu standardele în vigoare (Figura 20).



**Figura 19.** Parametrii de interes pentru antena lipită de cap: a)intensitatea câmpului electric, b)intensitatea câmpului magnetic,c) SAR



**Figura 20.** Intensitatea câmpului magnetic pentru o distanță între capul uman și antenă de: a) 100 mm, b) 300 mm, c) 600 mm.

### 3. Testarea influenței factorilor ambienali asupra performanțelor antenelor RFID

La acest pas s-a realizat un sistem de control termic automatizat pentru o cameră experimentală, utilizând un Arduino Uno, un senzor de temperatură și umiditate AM2302 (DHT22) și un modul cu patru rele. Acesta permite atât controlul manual, cât și funcționarea în regim automat tip termostat, gestionând modurile de încălzire și răcire prin comutarea direcției modulelor Peltier și activarea ventilatoarelor dedicate fiecărui mod. Configurarea și monitorizarea se realizează prin intermediul monitorului serial, unde utilizatorul poate seta temperatura țintă, histerezisul, poate porni sau opri funcțiile și poate urmări în timp real starea sistemului. Soluția asigură reglarea precisă a temperaturii, protecția componentelor și flexibilitate în scenarii de testare sau control ambiental. Dimensiunile acestui sistem sunt unele mici doar pentru a acomoda ușor o antenă (20 X 10 X 30 cm) și pentru a păstra și a modifica mai ușor temperatura. Temperatura poate varia între 15°C și 50°C și poate fi setată ușor de către utilizator. Umiditatea este de asemenea urmărită în timpul procesului de evaluare, acesta fiind unul dintre factorii care influențează propagarea undelor.

Standul a cărui dimensiune este foarte mică are un cost de producție redus de aproximativ 500 lei (Figura 21). Acest stand este transparent pentru a putea urmări antena în timpul procesului de variație a temperaturii și pentru a putea utiliza o cameră cu termoviziune cu care să urmărim modificările temperaturii

în timp. Placa Arduino este conectată la un calculator unde este instalat ArduinoIDE și cu ajutorul unor instrucțiuni se controlează temperatura cu ușurință. De asemenea, standul de testare se mai conectează o sursă pentru alimentarea Peltier-ului și a ventilatorului. În Figura 22 se poate observa standul de testare și o reprezentare obținută cu camera cu termoviziune în momentul în care acesta este pus în funcțiune.

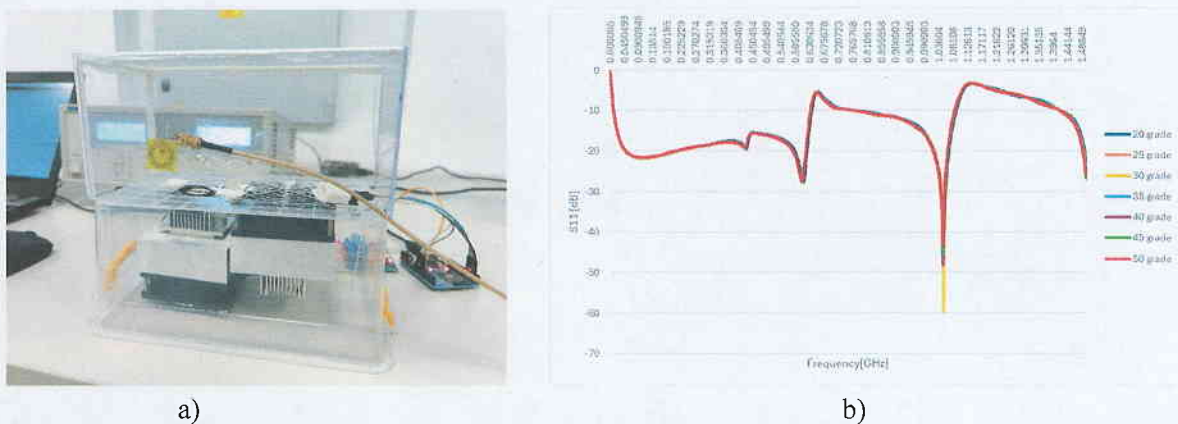


**Figura 21.** Stand de testare variație de temperatură: a)vedere laterală, b)vedere de sus.

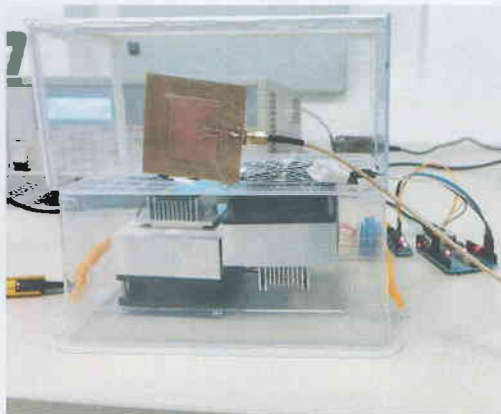


**Figura 22.** Stand de testare: a)imagine vizuală, b)imagine termală.

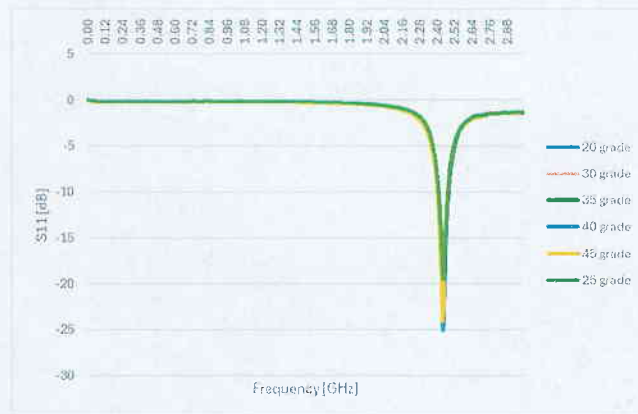
Cu ajutorul standului de testare, s-a reprezentat variația parametrilor S a două antene distincte odată cu variația temperaturii între 20 și 50 de grade. Se poate observa că variațiile sunt nesemnificative, deci antenele nu sunt influențate în mod semnificativ de aceste variații ale temperaturii.



**Figura 23.** Variația parametrilor S pentru antena spiralată circulară: a) stand de testare, b) variația parametrilor S.



a)



b)

**Figura 24.** Variația parametrilor S pentru antena ce funcționează la 2.4 GHz: a) stand de testare, b) variație parametrilor S.

## Concluzii

În cadrul acestui raport s-a determinat intensitatea câmpului electric la diferite distanțe față de antenele analizate pentru antenele spiralate cu diferite forme, observându-se faptul că atât forma cât și distanța influențează valorile intensității.

S-au analizat mai multe standarde și directive din domeniu și s-a ales compararea valorilor parametrilor de interes ai antenelor când vine vorba de expunerea umană cu valorile impuse de ICNIRP. S-a considerat evaluarea parametrilor în funcție de aplicații specifice fiecărui domeniu de frecvență analizat, în consecință pentru 13.56 MHz s-a analizat poziționarea antenei în jurul mâinii, la 860-960 MHz la o anumită distanță de mână și picior, iar la 2.4 GHz s-a considerat influența antenei asupra capului. S-a observat că valorile intensității câmpului magnetic la 13.56 MHz depășesc limitele impuse de standard dacă antena e poziționată în dreptul încheieturii mâinii, deci se recomandă utilizarea pentru o perioadă scurtă. În cazul antenelor care funcționează în domeniul 860-960 MHz, se poate observa că SAR este depășit la picior, dar dacă păstrăm o distanță de minim 40 mm atunci limitele impuse sunt respectate. La antenele funcționând la 2.4 GHz intensitatea câmpului magnetic e din nou peste limite și e necesară impunerea unor distanțe între antenă și cap, aceste distanțe fiind cu atât mai mari cu cât câștigul antenei este mai mare.

S-a creat un sistem pentru variația temperaturii și implicit umidității cu costuri reduse de dimensiuni mici. S-a determinat că variația temperaturii în domeniul 20-50 de grade nu influențează funcționarea antenelor analizate și nu determină încălzirea acestora în mod semnificativ.

## Livrabile

[1] Constantinescu, Claudia, Andreica Sergiu, Laszlo Rapolti, Giurgiuman Adina, Gliga Marian, Munteanu Calin, Pacurar Claudia, Numerical Modeling, Analysis, and Optimization of RFID Tags Functioning at Low Frequencies, Applied Sciences 14, no. 20, 9544, DOI 10.3390/app14209544, WOS:001341713500001, IF: 2.7, 2024, Q1.

[2] Claudia Constantinescu, Claudia Pacurar, Sergiu Andreica, Marian Gliga, Laura Grindei, Laszlo Rapolti, Dana Terec and Adina Giurgiuman, Development and Optimization of Antennas for 860-960 MHz 2 RFID Applications and Their Impact on the Human Body 3, Technologies, trimis spre publicare, Q1, IF:3.6

De asemenea au fost elaborate un număr de 7 articole științifice prezentate în cadrul unor conferințe de prestigiu precum Meditech 2024 (9th edition of the International Conference on Advancements of Medicine and Health Care through Technology), EAEEIE'2025 (The 34th Annual Conference of the European Association for Education in Electrical and Information Engineering), ATEE 2025 (The 14<sup>th</sup> International Symposium on Advanced Topics In Electrical Engineering). Lucrările acestor conferințe sunt sau vor fi publicate în baza de date IEEE Express și în Springer

[1] Marian Gliga, Calin Munteanu, Sergiu Andreica, Adina Giurgiuman, Claudia Pacurar, Claudia Constantinescu, Daniel Ielciu, Lavinia Nicoleta Opris, Marius Daniel Botezatu, Razvan Gheorghe Cartas, *Design and Implementation of a Smart Parking System: An Educational Approach for Developing Technical Competencies in IoT and Urban Traffic Management*, 2025 34th Annual Conference of the European Association for Education in Electrical and Information Engineering (EAEEIE), Cluj-Napoca, Romania, 2025, pp. 1-6, doi: 10.1109/EAEEIE65428.2025.11136528.

[2] Sergiu Andreica, Calin Munteanu, Marian Gliga, Claudia Constantinescu, Claudia Pacurar, Adina Giurgiuman, Daniel Ielciu, *Enhancing Engineering Education Through Practical Electromagnetic Field Measurements and Awareness of Human Exposure Risks Near High-Voltage Power Lines*, 2025 34th Annual Conference of the European Association for Education in Electrical and Information Engineering (EAEEIE), Cluj-Napoca, Romania, 2025, pp. 1-5, doi: 10.1109/EAEEIE65428.2025.11136515.

[3] Rodica Holonec, Laura Grindei, Laszlo Rapolti and Claudia Constantinescu, "Learning About Sensors: Building Skills in Instrumentation and Data Acquisition for Electrical Engineering Students," 2025 34th Annual Conference of the European Association for Education in Electrical and Information Engineering (EAEEIE), 2025 34th Annual Conference of the European Association for Education in Electrical and Information Engineering (EAEEIE) Cluj-Napoca, Romania, 2025, pp. 1-6, doi: 10.1109/EAEEIE65428.2025.11136355.

[4] Claudia Constantinescu, Claudia Pacurar, Calin Munteanu, Adina Giurgiuman, Sergiu Andreica, Marian Gliga, Laura Grindei, Rodica Holonec, *Shaping a Better Future by Integrating Sustainability Projects into Educational Activities*, 2025 34th Annual Conference of the European Association for Education in Electrical and Information Engineering (EAEEIE), Cluj-Napoca, Romania, 2025, pp. 1-5, doi: 10.1109/EAEEIE65428.2025.11136749.

[5] Rapolti Laszlo, Rodica Holonec, Laura Grindei, Belean Adrian, Nyakas Andras, "Integrating IoT and AI Technologies in Engineering Education: A Smart Home Control Case Study", 2025 34th Annual Conference of the European Association for Education in Electrical and Information Engineering (EAEEIE), Cluj-Napoca, Romania, 2025, pp. 1-5, doi: 10.1109/EAEEIE65428.2025.11136225

[6] Claudia Constantinescu, Claudia Pacurar, Adina Giurgiuman, Calin Munteanu, Sergiu Andreica, Marian Gliga, Sabin Dusa, *13.56 MHz RFID Module – from Application to Process Modelling and Effects on Human Health*, 9th edition of the International Conference on Advancements of Medicine and Health Care through Technology – MediTech 30.09-2.10.2024, 2024, IFMBE Proceedings, vol. 130, Springer, Book Chapter, pp. 215-223, [https://doi.org/10.1007/978-3-031-95671-3\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-031-95671-3_22), 02 August 2025

[7] Claudia Constantinescu, Adina Giurgiuman, Claudia Pacurar, Calin Munteanu, Marian Gliga, Sergiu Andreica, "The Optimization of 2.4 GHz Array Antennas", THE 14th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADVANCED TOPICS IN ELECTRICAL ENGINEERING October 9-11, 2025 Bucharest, Romania, in curs de publicare IEEE

Director de contract:

Ș.l.dr.ing. Claudia Constantinescu

Membrii:

Ș.l.dr.ing. Sergiu Andreica

Asist.dr.ing. Laszlo Rapolti

