

Universitatea “Politehnica” din București

Școala Doctorală de Inginerie Electrică

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

**Expunere Electromagnetică și Fenomene de
Interferențe Electromagnetice în Mediul Medical**



Doctorand: Husssain Kazem Leaibi Alnamir

Coordonator: Prof. Dr. Eng. Mihaela Morega

Bucuresti, 2020

REZUMAT.....	1
INTRODUCERE	2
ORGANIZAREA LUCRĂRII.....	3
1. CADRUL NORMATIV PENTRU LIMITAREA EXPUNERII UMANE LA CÂMPUL ELECTROMAGNETIC (STANDARDE ȘI ORIENTĂRI INTERNAȚIONALE); REFERINȚE SPECIALE PENTRU MEDIUL CLINIC	4
1.1. DE CE SĂ NE CONCENTRĂM PE CÂMPURILE ELECTROMAGNETICE?.....	4
1.1.1. <i>Câmpurile electrice si magnetice</i>	4
1.2. EXPUNEREA LA CÂMPURILE DE FOARTE JOASĂ FRECVENȚĂ	5
1.3. RECOMANDĂRI ȘI LIMITELE DE EXPUNERE LA CÂMPURILE ELECTROMAGNETICE	5
1.3.1. <i>Recomandările ICNIRP</i>	5
1.3.2. <i>Standarde IEEE</i>	5
2. METODE ȘI INSTRUMENTE PENTRU MĂSURAREA CÂMPULUI MAGNETIC DE JOASĂ FRECVENȚĂ	6
2.1. METODE ȘI INSTRUMENTE PENTRU EVALUAREA EXPUNERII	6
2.1.1. <i>Metode</i>	6
2.2. INSTRUMENT DE MĂSURARE PENTRU CÂMP MAGNETIC DE FOARTE JOASĂ FRECVENȚĂ	9
2.2.1. <i>Măsurarea uniaxială a inducției magnetice (instrument model Extech 480823)</i>	9
2.3. VERIFICAREA INSTRUMENTULUI DE MĂSURARE A CÂMPULUI MAGNETIC.....	10
3. STUDIUL PROBLEMELOR DE INTERFERENȚĂ ELECTROMAGNETICĂ DE JOASĂ FRECVENȚĂ ÎN MEDIILE SPITALICEȘTI	13
3.1. STUDIU DE CAZ	13
3.1.1. <i>Identificarea problemei</i>	13
3.1.2. <i>Studiu experimental</i>	15
3.2. REZULTATE	16
<i>Spitalul A</i>	16
<i>Spitalul B</i>	17
<i>Spitalul C</i>	18
4. STUDIUL CÂMPULUI MAGNETIC DE JOASĂ FRECVENȚĂ ÎN APROPIEREA ZONEI DE IMAGISTICĂ PRIN REZONANȚĂ MAGNETICĂ NUCLEARĂ	19
4.1. MĂSURAREA CÂMPULUI MAGNETIC DE JOASĂ FRECVENȚĂ ÎN ZONELE RMN	19
4.1.1. <i>Metode și instrumente</i>	19
4.2. REZULTATE	21
4.2.1. <i>Prima locație</i>	21
4.2.2. <i>A doua locație</i>	25
5. DISTRIBUȚIA INDUCȚIEI MAGNETICE ÎN SĂLILE DE OPERAȚIE.....	28
5.1. PROGRAMUL DE MĂSURĂTORI.....	28
5.1.1. <i>Materiale</i>	28
5.1.2. <i>Metode</i>	28
5.2. REZULTATE	28
6. CONCLUZII GENERALE	34
7. CONTRIBUȚII ORIGINALE ALE AUTORULUI.....	37
BIBLIOGRAFIE	39

REZUMAT

Emisiile câmpului electromagnetic sunt considerate astăzi un factor semnificativ de poluare pentru mediul clinic. În jurul diverselor echipamente electrice sau electronice pot să apară emisiile electromagnetice periculoase, care ar putea provoca defectarea dispozitivelor medicale sau pot fi dăunătoare corpului uman.

În acest studiu, informațiile teoretice au fost obținute prin documentare atentă și sinteză, parcurgând multe articole și site-uri web. El oferă repere istorice și informații cu privire la standardele și reglementările EMC. De asemenea, acest studiu prezintă limitele de expunere acceptate pentru corpul uman la niveluri de frecvențe joase. Măsurătorile se referă la câmpul magnetic de joasă frecvență în interior, în diferite camere de intervenție clinică și spații operaționale din spitale, unde personalul medical desfășoară activitatea curentă de zi cu zi. Valorile RMS ale inducției magnetice sunt determinate în mai multe sesiuni de măsurători, cu ajutorul unui instrument de uz general, pentru măsurarea câmpului magnetic, care a fost verificat cu succes într-un test de comparație cu un dispozitiv de precizie certificat. Evaluarea expunerii umane în astfel de medii ar putea fi utilizată pentru clasificarea diferitelor grupuri de personal medical și / sau medii de lucru și / sau condiții de lucru, în ceea ce privește stresul tipic datorat expunerii la camp magnetic de frecvență joasă, în unitățile de îngrijire a sănătății.

Unele elemente de compatibilitate electromagnetică sunt studiate în mediul spitalicesc și este prezentat un sondaj, cu scopul de a recunoaște percepția personalului calificat din spitale, cu privire la problemele de interferență electromagnetică din mediul clinic. Am studiat distribuția inducției magnetice într-o varietate de zone din interiorul spitalelor în scopul estimării nivelului de expunere la câmpul magnetic de joasă frecvență al personalului de lucru din sistemul de asistență medicală.

INTRODUCERE

Datorită diversificării surselor de câmp magnetic antropogenic, numeroase studii s-au concentrat pe monitorizarea câmpului și, în același timp, au investigat metodele de diminuare a efectelor negative care sunt produse de acesta. Sistemele electrice sunt indicate ca principalele surse de câmp magnetic de joasă frecvență. Câmpul generat de acestea poate produce efecte deranjante atât asupra oamenilor, cât și asupra echipamentelor electrice în funcțiune.

Utilizând un echipament comercial de uz general, fabricat de compania EXTECH pentru supravegherea câmpului magnetic, am studiat distribuția spațială a câmpului magnetic de joasă frecvență în numeroase zone din spitale, precum și problemele interferenței electromagnetice în mediile spitalicești.

De asemenea, am prezentat metode specifice de măsurare și analiză a câmpului magnetic pentru fiecare zonă studiată, printre care o metodă de reprezentare a distribuției spațiale a câmpului magnetic utilizând un număr mic de măsurători, pentru diferite zone din mediul spitalelor. Am efectuat și un sondaj pentru determinarea cunoștințelor personalului spitalului cu privire la problemele de interferență electromagnetică.

Subiecte abordate în cadrul unui sondaj desfășurat în mediul spitalicesc (în Irak)

1. Ce fel de problemă de compatibilitate electromagnetică, provocată de surse intenționate de emisie, ar putea fi identificată în mediile spitalicești obișnuite și care este riscul asociat utilizării acestor surse?
2. Personalul spitalelor este familiarizat cu problemele de interferență electromagnetică?
3. Există preocupări cu privire la lucrătorii din spitale expuși în mod constant la câmpuri magnetice mai mari decât limitele reglementate?

ORGANIZAREA LUCRĂRII

Teza de doctorat intitulată „Expunere Electromagnetică și Fenomene de Interferențe Electromagnetice în Mediul Medical” este structurată în cinci capitole, fiind precedată de o introducere. Întregul studiu de cercetare este prezentat pe 123 de pagini, folosind 77 de figuri, 25 de tabele, 141 de referințe bibliografice.

În **Capitolul 1**, „Cadrul normativ pentru limitarea expunerii umane la câmpul electromagnetic (standarde și orientări internaționale); referințe speciale pentru mediul clinic”, am prezentat scopul și importanța măsurării câmpului magnetic generat de sistemele electrice. De asemenea, am prezentat câteva reglementări adoptate la nivel național și internațional privind expunerea la câmpurile magnetice, atât cea a publicului larg, cât și profesională.

Capitolul 2, intitulat „Metode și instrumente pentru măsurarea câmpului magnetic de joasă frecvență” prezintă câteva principii și criterii de măsurare, utilizarea echipamentelor speciale, alegerea zonelor de măsurare și aplicarea metodelor specifice pentru fiecare zonă, în funcție de sursele existente și de complexitatea spațiului studiat.

Capitolul 3, „Studiul problemelor de interferență electromagnetică de joasă frecvență în mediile spitalicești”, prezintă un studiu care se referă la impactul radiațiilor electromagnetice de la dispozitivele electrice din spitale (cum ar fi echipamentele utilizate în intervențiile medicale, dispozitive electrice și prize). Datele analizate au fost preluate de la un număr de spitale irakiene. Acest studiu include două părți: (a) Un sondaj care a fost axat pe evaluarea înțelegerii și percepției personalului spitalului cu privire la problema interferenței electromagnetice (EMI), (b) datele legate de o campanie de măsurători care vizează identificarea nivelurilor câmpului magnetic în mai multe spitale.

Capitolul 4, „Studiul câmpului magnetic de joasă frecvență în apropierea zonei de imagistică prin rezonanță magnetică nucleară” prezintă rezultatele măsurării câmpului magnetic în mai multe zone din apropierea unei unități de imagistică prin rezonanță magnetică nucleară. În acest scop, am efectuat măsurători și am definit o strategie de studiu a câmpului magnetic în apropierea scannerelor RMN. Acest studiu a cuprins măsurători efectuate în diferite puncte folosind instrumentul de măsurare a inducției magnetice EXTECH pentru frecvențe cuprinse între 30 și 300 Hz. Pentru fiecare cameră am identificat variabilitatea spațială legată de câmpul magnetic la 3 valori distincte ale distanței (0,3 m, 1 m și 2 m) față de podea. Rezultatele câmpului magnetic au fost determinate în timp ce scannerul RMN a fost pornit, precum și în afara programului de lucru, atunci când RMN-ul era oprit. Zona de cercetare a fost împărțită chiar în patru secțiuni: sala de așteptare, zona holului, camera de consultații, camera tehnică.

În **Capitolul 5**, intitulat „Distribuția inducției magnetice în sălile de operație” am prezentat estimarea inducției magnetice în mai multe săli de operație, pentru evaluarea expunerii personalului medical în poziții de lucru (în picioare, în apropierea pacientului și în poziția ocupată de anestezist). În etapa următoare, intensitatea câmpului magnetic a fost măsurată în diferite locații, la 0,1 m, 0,5 m și 1 m distanță față de dispozitiv, cu un singur dispozitiv funcțional, în timp ce toate celelalte sisteme au fost deconectate.

1. CADRUL NORMATIV PENTRU LIMITAREA EXPUNERII UMANE LA CÂMPUL ELECTROMAGNETIC (STANDARDE ȘI ORIENTĂRI INTERNAȚIONALE); REFERINȚE SPECIALE PENTRU MEDIUL CLINIC

1.1. De ce să ne concentrăm pe câmpurile electromagnetice?

Câmpurile electromagnetice pot fi produse de tot felul de echipamente și sisteme electrice existente în spațiul care ne înconjoară și având, de regulă, utilitate practică de necontestat. Câmpul electromagnetic ar putea afecta angajații din diferite domenii de activitate. De asemenea, caracteristicile expunerii profesionale pot fi diferite semnificativ față de cele ale expunerii publicului larg. Anumite categorii profesionale ar putea fi expuse la niveluri mai ridicate în comparație cu restul populației; sunt de obicei mai aproape de sursele de înaltă tensiune, iar condițiile pot fi nefavorabile. Există diverse efecte asupra sănătății care au fost investigate în funcție de distanța și puterea surselor [Feychting M., 2005]. În plus, simptomele legate de consecințele acute asupra sănătății au fost bine definite în numeroase studii. În gama de frecvențe radio, expunerea excesivă ar putea provoca încălzire și arsuri, în timp ce în intervalul de frecvențe foarte scăzute, curenții induși în țesuturi au capacitatea de a interfera cu biocurenții naturali, putând de exemplu afecta funcția sistemului nervos. Persoanele expuse ar putea avea senzații de gust metalic, greață și vertij, după cum s-a documentat de diverse publicații.

1.1.1. Câmpurile electrice și magnetice

1.1.1.1. Câmpurile electrice

Electricitatea este generatoare de câmpuri, tensiunea este în legătură cu intensitatea câmpului electric, iar intensitatea curentului este direct proporțională cu intensitatea câmpului magnetic generat de circuitele electrice. Alimentarea unui echipament de la rețeaua electrică presupune funcționarea acestuia la tensiune constantă, în timp ce sarcina, respectiv curenții prin circuitele sale electrice, pot să înregistreze variații. Câmpul electric este direct proporțional cu tensiunea, de unde rezultă faptul că o tensiune mai mare generează un câmp electric mai mare. Dacă dispozitivul este oprit, dar punctul de alimentare este conectat, câmpul electric este încă prezent, deoarece cablul de alimentare continuă să fie alimentat. Numeroase elemente ale mediului perturbă distribuția în spațiu a câmpului electric, precum obiectele, clădirile, pielea umană sau copacii. Amplitudinea mărimilor caracteristice câmpului electric (intensitate, inducție) scade o dată cu creșterea distanței de la sursă. Pentru măsurarea intensității câmpului electric, unitățile utilizate în mod obișnuit sunt volți pe metru (V / m) sau kilo-volți pe metru (kV / m).

1.1.1.2. Câmpurile magnetice

Curentul electric (deplasarea dirijată de sarcini electrice) produce un câmp magnetic având intensitatea direct proporțională cu curentul electric, curenți mai mari producând un câmp magnetic mai puternic. Un dispozitiv nu generează câmp magnetic în timp ce este complet oprit. Similar câmpurilor electrice, câmpul magnetic pierde din intensitate pe măsură ce crește distanța față de sursă. Cu toate acestea, majoritatea elementelor din mediu nu asigură protecție împotriva câmpurilor magnetice, ca în cazul câmpului electric. Pentru a descrie câmpurile magnetice, practica obișnuită este de a utiliza inducția magnetică, măsurată în Tesla (T) sau în unitatea mai veche, Gauss (G)

» 1 Tesla (T) = 1000 milliT (mT) = 1000000 microT (μT)

» 1μT = 10mG

» 1 Gauss (G) = 1000 milliG (mG)

1.2. Expunerea la câmpurile de foarte joasă frecvență

Instalațiile electrice de mică și medie putere sunt foarte răspândite într-o multitudine de aplicații legate de viața curentă a populației, ca și de multe locuri de muncă. În general, sursele de câmp de foarte joasă frecvență acoperă domeniul (30 Hz – 300 Hz), iar frecvențele industriale de 50 sau 60 Hz sunt dominante [OMS, 2007].

1.3. Recomandări și limitele de expunere la câmpurile electromagnetice

La nivel internațional, există două referințe importante care includ reglementări privind limitarea expunerii umane la câmpurile magnetice și electrice. Aceste documente de reglementare sunt emise de ICNIRP în 2010 [ICNIRP, 2010] și de Comitetul Internațional pentru Siguranță Electromagnetică al IEEE, în SUA în 2002 [Standard, C95.6].

1.3.1. Recomandările ICNIRP

În noiembrie 2010, ICNIRP a publicat un document conținând recomandările pentru protejarea sănătății persoanelor expuse la câmpurile electrice și magnetice de foarte joasă frecvență; acest document reprezintă o revizuire extinsă a versiunii anterioare a acelorași recomandări pentru câmpurile electrice, magnetice și electromagnetice de joasă frecvență, din 1998. Limitele de câmp magnetic admisibile pentru expunerea umană, în conformitate cu documentul [ICNIRP, 2010] la frecvențele industriale de 50 Hz respectiv 60 Hz, sunt de 1 mT pentru expunerea profesională și respectiv 0.20 mT pentru expunerea generală a populației. Aceste valori au fost majorate față de prevederile anterioare, specificate de documentul ICNIRP din 1998.

1.3.2. Standarde IEEE

Scopul standardului IEEE C95.6 este limitarea nivelurilor de expunere umană la câmpurile electromagnetice de foarte joasă frecvență, de la 0 kHz la 3 kHz, în vederea reducerii impactului negativ asupra sănătății. Standardul s-a bazat pe evaluarea literaturii de specialitate, care prezintă impactul biologic asupra ființelor umane în urma expunerii la câmpul magnetic și electric. Expunerile permise pentru 50 Hz sunt următoarele:

- Câmp magnetic: 75800 μ T (brațe și picioare), 904 μ T (cap și trunchi);
- Câmp electric: 5 kV/m – 10 kV/m.

Limitele IEEE pentru câmpul magnetic sunt mai mari comparativ cu recomandările documentului ICNIRP 1998 pentru expunerea populației în general. În același timp, limitele din standard sunt foarte diferite de recomandările ICNIRP 1998 în ceea ce privește expunerea în mediul de lucru. Documentul ICNIRP 2010 aduce recomandări ce prezintă o armonizare mult mai strânsă cu prevederile IEEE.

2. METODE ȘI INSTRUMENTE PENTRU MĂSURAREA CÂMPULUI MAGNETIC DE JOASĂ FRECVENȚĂ

2.1. METODE ȘI INSTRUMENTE PENTRU EVALUAREA EXPUNERII

2.1.1. Metode

Această secțiune oferă un rezumat al principiilor de măsurare a senzorilor de câmp magnetic utilizați în mod obișnuit pentru măsurători exponometrice. Fiecare metodă are propriile sale puncte forte și dezavantaje, care ar trebui evaluate cu atenție în funcție de aplicație.

2.1.1.1. Bobine de inducție

Datorită liniarității extrem de ridicate și a intervalului dinamic practic nelimitat, bobinele de inducție sunt utilizate pe scară largă pentru a detecta câmpurile magnetice. Principiul de funcționare a unui senzor cu bobină de inducție este prezentat în Fig.2.8. Dacă o buclă de material conductor este expusă unui flux magnetic variabil în timp, cu inducția $B(t)$ orientată normal față de planul bobinei, o tensiune $U(t)$ este indusă în circuit și poate fi măsurată la capetele sale. Tensiunea indusă este dependentă de construcția bobinei (numărul de spire N și suprafața A) și poate fi calculată conform ecuației.

$$U(t) = \frac{-d\Phi}{dt} = -N \cdot A \cdot \frac{d|B(t)|}{dt}$$

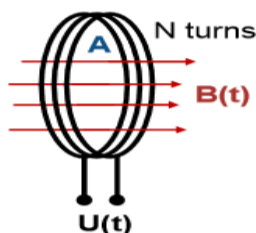


Figura 2.8. Principiul de operare a unei bobine de inducție

Deoarece tensiunea indusă este proporțională cu derivata în timp a inducției magnetice, este necesar un circuit integrator pentru a obține reprezentarea corectă în timp a inducției magnetice măsurate $B(t)$. Mai mult, sensibilitatea bobinei, adică tensiunea de ieșire pentru o inducție dată, scade liniar cu frecvența lui $B(t)$. Pentru a măsura câmpurile statice cu metoda bobinei de inducție, este necesară deplasarea fizică a bobinei de măsurare în timpul măsurării, ceea ce nu este practic pentru majoritatea aplicațiilor. Un avantaj major al metodei bobinei de inducție este scalabilitatea sa. Aceeași abordare poate fi utilizată pentru măsurarea fenomenelor geomagnetice care apar la frecvențe sub-Hz, precum și a câmpurilor magnetice la mai mulți GHz. Bobina poate fi ușor optimizată pentru un anumit interval de frecvență prin variația zonei și numărului de spire ale bobinei. Cu toate acestea, acoperirea unui domeniu larg de frecvențe de câteva decade cu o singură bobină, menținând în același timp un interval dinamic ridicat și precizia, este foarte dificilă [Zahner Marco 2017].

2.1.1.2. Senzori cu efect Hall

Edwin Hall a descoperit efectul Hall în 1879. Se bazează pe faptul că sarcinile electrice în mișcare sunt deviate din cauza forței Lorentz în cazul în care un câmp magnetic este aplicat perpendicular pe direcția curentului. Senzorii cu efect Hall constau dintr-un conductor dreptunghiular cu un contact pe fiecare margine. Dacă un curent electric (I_{bias}) trece între două contacte opuse și un câmp magnetic extern de inducție B este aplicat elementului Hall, forța Lorentz conduce la o acumulare de sarcini la celelalte două contacte. Aceasta produce o tensiune U_{Hall} măsurabilă, care este proporțională cu inducția magnetică B și intensitatea curentului aplicat. Senzorii Hall pot detecta câmpul magnetic static, inclusiv polaritatea.

Printre avantajele acestor senzori se numără robustețea, dimensiunile reduse și lipsa pieselor mobile. Cu toate acestea, efectul Hall este relativ slab și sunt necesare câmpuri magnetice puternice pentru a produce o tensiune Hall utilizabilă. Sensibilitatea senzorilor Hall este relativ scăzută în comparație cu alte tehnologii ale senzorilor [Zahner Marco, 2017; D. P. Pappas, 2016]. În plus, senzorii Hall prezintă în mod obișnuit un offset de curent continuu relativ mare și sunt sensibili la variații de temperatură. Aplicațiile tipice pentru senzorii Hall includ comutatoare magnetice, senzori de deplasare, codificatoare rotative.

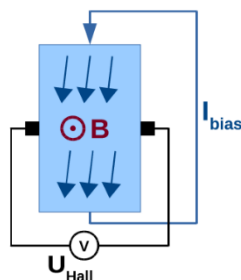


Figura 2.9. Diagrama de conceput pentru un senzor cu efect Hall

2.1.1.3. Senzori magnetorezistivi

Efectul magnetorezistiv a fost descoperit de William Thomson în 1856, putând fi observat ca o proprietate intrinsecă a anumitor materiale și poate fi mult îmbunătățit prin intermediul unor combinații specifice de materiale. După cum îi sugerează și numele, magnetorezistența descrie proprietatea materialului de a-și schimba propria conductivitate electrică în cazul în care este supus unui câmp magnetic extern. Aranjând elemente magnetorezistive într-o punte de rezistențe este posibil să se creeze un senzor care emite o tensiune dependentă de câmpul magnetic. Prin urmare, senzorii magnetorezistivi (MR) oferă o reprezentare în timp real a câmpului magnetic și sunt, de asemenea, capabili să măsoare câmpuri magnetice statice. Există mai multe fenomene fizice diferite care pot duce la magnetorezistență. Marea majoritate a senzorilor magnetorezistenți disponibili în comerț se bazează astăzi pe unul dintre următoarele trei efecte:

- Magnetorezistența gigant (GMR)
- Magnetorezistența anizotropică (AMR)
- Magnetorezistența tunel (TMR)

Senzorii AMR și GMR sunt capabili să detecteze doar valoarea absolută a intensității câmpului. Pentru a determina orientarea câmpului, este necesar ca senzorii să fie polarizați în mod activ. Senzorii bazați pe TMR sunt bipolari și nu necesită nici o polarizare magnetică.

Comparativ cu senzorii Hall, senzorii magnetorezistivi prezintă o sensibilitate mai mare și un consum mult mai redus de energie datorită posibilității de a construi senzori cu rezistențe ridicate ale punții care necesită doar câțiva μA curent de polarizare. Datorită acestor proprietăți, senzorii magnetorezistivi sunt utilizați și în busola electronică încorporată în smartphone-urile și tabletele moderne.

2.1.1.4. Magnetometrul Fluxgate

Magnetometrele Fluxgate constau dintr-o bobină înfășurată în jurul unui miez de permeabilitate magnetică foarte mare. În timpul funcționării, miezul este magnetizat de un curent alternativ aplicat în mod activ suficient de puternic pentru a induce saturație. Fluxul din miez este detectat cu o a doua bobină (senzor). Dacă un câmp magnetic extern este aplicat pe miez, acesta se va satura mai ușor în direcția câmpului extern. Acest dezechilibru este detectat cu bobina senzor care îl traduce într-un semnal de ieșire proporțional cu câmpul magnetic. Senzorii Fluxgate pot fi scalați pentru scări foarte mici. Texas Instruments a reușit să integreze o soluție completă de senzor Fluxgate într-un pachet de circuite integrate de $4 \times 4 \text{ mm}$ [Zahner Marco, 2017; T. Instruments, 2015] care este disponibil comercial. Deoarece sensibilitatea unui senzor Fluxgate este proporțională cu volumul miezului magnetic, soluțiile integrate prezintă un nivel de zgomot relativ ridicat, care este totuși încă în nivelul celor mai sensibili senzori magnetorezistivi. Consumul de energie al senzorilor Fluxgate este relativ scăzut (zeci de mW), totuși cu mai mult de un ordin de mărime mai mare decât al senzorilor magnetorezistivi.

2.3.2.5. Magnetometrul SQUID (dispozitiv cu interferență cuantică supraconductoare)

Magnetometrele SQUID pot atinge sensibilități extrem de ridicate și au fost utilizate în numeroase aplicații în care trebuie măsurate variații foarte slabe ale câmpului magnetic. Aplicațiile tipice ale dispozitivelor SQUID sunt sistemele de diagnostic medical și instrumentele de explorare a mineralelor geologice. Un dispozitiv SQUID include un inel supraconductor care este întrerupt în 1 sau 2 locuri de un strat izolator subțire denumit joncțiune Josephson. Această metodă de măsurare exploatează faptul că fluxul magnetic printr-un inel supraconductor poate înregistra doar valori discrete corespunzătoare unui multiplu întreg al fluxului cuantic ϕ_0 ($2,07 \cdot 10^{-15} \text{ Tm}^2$). Dacă un flux diferit de $N \cdot \phi_0$ este aplicat inelului, curenții compensatori trec prin inelul supraconductor pentru a rotunji fluxul magnetic la următorul nivel permis. În consecință, un câmp magnetic în continuă creștere duce la un curent de compensare oscilant prin inel. Joncțiunile Josephson traduc curentul prin inel într-o tensiune proporțională care poate fi măsurată. Pentru a măsura densitățile de flux mai mari decât un flux cuantic, este necesar să se țină evidența numărului de oscilații curențe sau să se utilizeze o buclă de feedback cu compensare activă. Pentru o explicație consistentă a acestui principiu de măsurare se poate consulta [Zahner Marco, 2017; R. Fagaly, 2006].

Dintre metodele de măsurare a câmpului magnetic prezentate, magnetometrele SQUID prezintă de departe cea mai mare sensibilitate și pot oferi, de asemenea, un interval dinamic foarte ridicat. Cu toate acestea, utilizarea unui supraconductor necesită menținerea elementului senzitiv la temperaturi criogenice. Chiar dacă magnetometrele SQUID portabile sunt disponibile comercial [Zahner Marco, 2017], necesitatea de a include o sursă de azot lichid pentru asigurarea mediului criogenic este o limitare majoră a acestei abordări.

Tabelul 2.3 rezumă punctele tari și limitările abordărilor de măsurare prezentate. În contextul evaluării expunerii la câmpurile electromagnetice de foarte joasă frecvență, dimensiunea redusă și consumul redus de energie al instrumentului de măsurare reprezintă prioritățile de top pentru a atinge atât o portabilitate bună, cât și o durată lungă de viață a bateriei necesare pentru măsurători personale pe o perioadă de câteva zile.

Tabel 2.3. Puncte tari și limitări ale metodelor de măsurare a câmpurilor electromagnetice de foarte joasă frecvență [41]

Metodă	Sensibilitate și zgomot	Sensibilitate DC	Gamă dinamică	Lățimea de bandă	Mărime	Putere	Decalaj și deviere
Bobină de inducție	+	Nu ¹	++	++	+	+	++
Efect Hall	-	Yes	o	+	++	+	-
SQUID	++	Yes ²	++	o	-	--	++
Magnetorezistivi	+	Yes	+	++ ³	++	++	o
Fluxgate	+	Yes	+	+	++ ⁴	+	+
Observații	¹ Sensibilitatea la curent continuu poate fi obținută prin rotirea bobinei magnetometrului ² Este necesară calibrarea decalajului la curent continuu la fiecare pornire ³ Limitată de constanta de timp RC a rezistenței senzorului punte și a capacității de încărcare ⁴ Presupunând implementarea de circuit integrat						

2.2. INSTRUMENT DE MĂSURARE PENTRU CÂMP MAGNETIC DE FOARTE JOASĂ FRECVENȚĂ

2.2.1. Măsurarea uniaxială a inducției magnetice (instrument model Extech 480823)

Instrumentul de măsurare Extech 480823 EMF/ELF [EXTECH Instruments] este utilizat pentru a măsura nivelurile inducției magnetice din apropierea echipamentelor de joasă și foarte joasă frecvență (aparate electrice, ventilatoare, linii electrice și cabluri). Este un instrument de măsură de precizie medie, de uz general, potrivit pentru măsurători exponometrice în mediu.

O imagine de ansamblu a dispozitivului Extech 480823 este prezentată în figura 2.19.



Figura 2.19. Extech 480823: Contor de camp electromagnetic cu o singură axă.

b. Specificații

Specificațiile tehnice ale instrumentului de măsurare a inducției magnetice după o axă preferențială de tip Extech 480823 sunt prezentate în Tabelul 2.5.

Tabel 2.5. Specificațiile tehnice ale Extech 480823

Display	0.5" (13mm) 3-1/2 digit (1999 count) LCD with low battery and overload indication
Measurement rate	Approx. 0.4 seconds
Maximum ranges and resolution	19.99 μ Tesla (0.01) and 199.9mGauss (0.1) NOTE: 1 μ Tesla = 10 milli-Gauss
Accuracy	$\pm$ (4% of Reading + 3 digits) @ 50/60Hz
Frequency bandwidth	30 to 300Hz (single axis measurements only)
Over-range indication	"1 ____" is displayed
Operating Temperature/Humidity	Temperature: 32 to 122°F (0 to 50°C) RH: 90% max. (0 to 35°C); 80% max. (35 to 50°C)
Power source	9V Battery
Power consumption	Approx. 3mA DC
Dimensions	5.2 x 2.8 x 1" (131 x 70 x 25mm)
Weight	0.36 lbs. (165g)

2.3. VERIFICAREA INSTRUMENTULUI DE MĂSURARE A CÂMPULUI MAGNETIC

În această secțiune prezentăm un test executat pentru verificarea instrumentului de măsurare a câmpului magnetic de foarte joasă frecvență după o singură axă Extech 480823, care este utilizat pentru campania de măsurare în acest studiu. În încercarea de a găsi nivelurile de incertitudine pentru măsurători și de a valida utilizarea aparatului Extech, a fost efectuat un studiu comparativ de măsurare, cu alte două instrumente de măsurare cu precizie a inducției magnetice, field-metre Narda STS Solutions (tip EFA-300). Unul dintre aparatele EFA-300 a fost supus recent unei proceduri de calibrare efectuate de producătorul său și este luat ca referință pentru comparația prezentată aici. Programul de testare a fost realizat în Laboratorul de Compatibilitate Electromagnetică de la Facultatea de Energetică, Universitatea „Politehnica” din București. Câmpul magnetic măsurat a fost produs într-un cadru confecționat din material conductor și parcurs de curent la frecvența rețelei (Fig. 2.20). Măsurătorile de test au fost efectuate succesiv cu fiecare instrument, poziționat în același loc, în centrul cadrului (Fig. 2.21), iar indicațiile au fost comparate ulterior.

Testul comparativ este ilustrat de măsurătorile direcționale ale densității fluxului magnetic (valori r.m.s.) pe o direcție care este normală față de suprafața mesei. Tabelul 2.6 prezintă valorile inducției magnetice care au fost măsurate cu cele trei contoare și eroarea procentuală a măsurătorilor obținute cu dispozitivul Extech și cu cel de-al doilea instrument Narda. Aceleași rezultate ale măsurătorilor comparative și ale erorilor procentuale sunt prezentate și în figurile 2.22 și 2.23, relativ la măsurătorile efectuate cu aparatul Narda calibrat.

După cum arată rezultatele, eroarea relativă medie a contorului EXTECH este 5,36%, cu un maxim de 6,68%. Deci, s-ar putea considera că incertitudinile de măsurare ale instrumentului Extech sunt satisfăcătoare și dispozitivul este capabil să efectueze măsurători ale câmpului magnetic în mediu, pentru evaluarea nivelurilor generale de expunere, în diferite condiții.



Figura 2.20. Bobină calibrată pentru generarea câmpului magnetic controlat

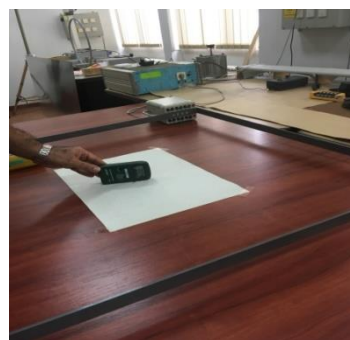


Figura 2.21. Poziționarea dispozitivului EFA-300 calibrat (stânga) și a dispozitivului Extech (dreapta) pentru măsurători comparative

Tabel 2.6. Rezultatele măsurătorilor comparative – inducția magnetică [μT]

Numărul măsurătorii	Instrument EFA300 (Narda) - calibrat, referință -	Instrument EFA 300 (Narda) - pentru testare comparativă -		Instrument EXTECH - pentru testare comparativă -	
		B măsurat	Eroare	B măsurat	Eroare
-	[μT]	[μT]	[%]	[μT]	[%]
1	1,09	1,10	0,92	1,15	5,50
2	2,57	2,58	0,39	2,69	4,67
3	3,70	3,73	0,81	3,89	5,14
4	5,14	5,14	0,00	5,40	5,06
5	6,36	6,37	0,16	6,67	4,87
6	7,19	7,23	0,56	7,60	5,70
7	8,68	8,69	0,12	9,26	6,68
8	10,51	10,52	0,10	11,09	5,52
9	11,44	11,45	0,09	12,04	5,24
10	12,51	12,59	0,64	13,27	6,08
11	16,35	16,35	0,00	17,19	5,14
12	17,45	17,46	0,06	18,32	4,99
13	18,64	18,70	0,32	19,59	5,10

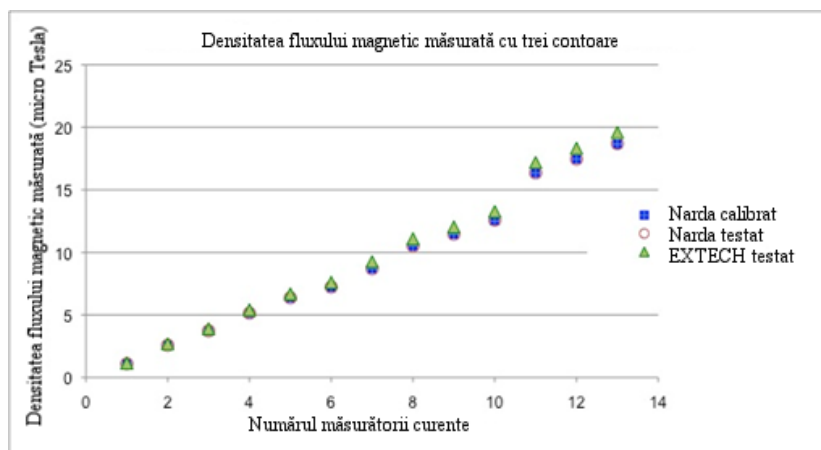


Figura 2.22. Inducția magnetică – măsurători comparative efectuate cu trei contoare

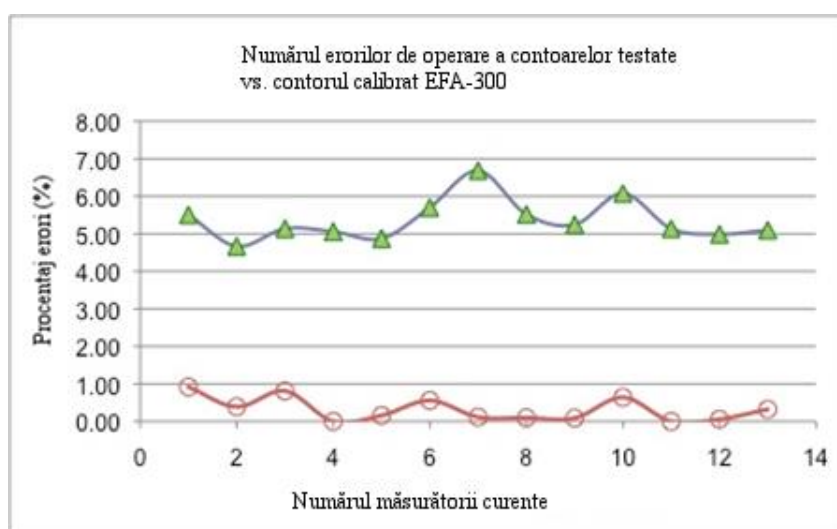


Figura 2.23. Compararea erorilor dispozitivelor de test (Extech versus Narda) pentru evaluare

3. STUDIUL PROBLEMELOR DE INTERFERENȚĂ ELECTROMAGNETICĂ DE JOASĂ FRECVENȚĂ ÎN MEDIILE SPITALICEȘTI

3.1. STUDIU DE CAZ

Luând în considerare interesul profesional al autorului acestei teze pentru impactul câmpului electromagnetic asupra persoanelor (personalului medical și pacienților) dar și asupra echipamentelor medicale, a fost realizat un studiu privind percepția acestui subiect în mediul clinic din Irak. Acest studiu este prezentat în continuare. În ciuda reglementărilor și cercetărilor privind compatibilitatea electromagnetică, până în prezent se pot constata în mod predilect carente semnificative în înțelegerea problemelor de compatibilitate electromagnetică în rândul angajaților în domeniul sănătății populației, care au capacitatea de a influența detaliile de diagnosticare esențiale pentru starea de sănătate a pacienților.

Constatarea generală este că protecția la interacțiuni bioelectromagnetice, ca și aspectele tehnice ale interferențelor electromagnetice nu sunt respectate în spitalele irakiene, ceea ce duce la o înțelegere proastă de bază a acestei probleme în comunitatea medicală. Din acest motiv, scopul semnificativ al acestui studiu de cercetare este de a arăta date și rezultate actuale, subliniind nevoile de a produce un cadru de reglementare în Irak, în scopul controlului nivelurilor emisiilor electromagnetice ale dispozitivelor care funcționează în locurile sensibile din spitale.

3.1.1. Identificarea problemei

Prezentul studiu s-a bazat pe un sondaj care a vizat următoarele obiective:

- identificarea percepției și a cunoștințelor personalului medical în legătură cu problemele interferențelor electromagnetice în timpul utilizării echipamentelor medicale electrice;
- constatarea dacă au fost efectuate sau nu studii anterioare privind compatibilitatea electromagnetică în spitalele irakiene incluse în acest studiu;
- stabilirea efectuării anterioare de măsurători de protecție în scopul evitării problemelor legate de interferențele electromagnetice.

Pentru obiectivele de mai sus, a fost efectuată o cercetare în 47 de spitale irakiene. Sondajul prezentului studiu a început prin a întreba lucrătorii spitalului (medicii, inginerii biomedicali și echipa de fizică medicală), despre problemele legate de emisiile electromagnetice; întrebările sondajului au fost după cum urmează:

- Au existat cercetări anterioare privind compatibilitatea electromagnetică efectuate în spital?
- Cunoașteți detalii cu privire la emisiile de câmp electromagnetic ale dispozitivelor?
- Sunteți conștient de problemele de compatibilitate electromagnetică?
- Au existat probleme sau defecțiuni la dispozitivele medicale din cauza perturbării electromagnetice?
- Sunt cunoscute detalii cu privire la nivelurile de sensibilitate electromagnetică ale dispozitivelor?
- Au avut loc orice fel de defecțiuni sau daune provocate echipamentelor medicale fără identificarea motivului?

Figurile 3.5 – 3.10 ilustrează prin diagrame cele mai importante rezultate ale sondajului.

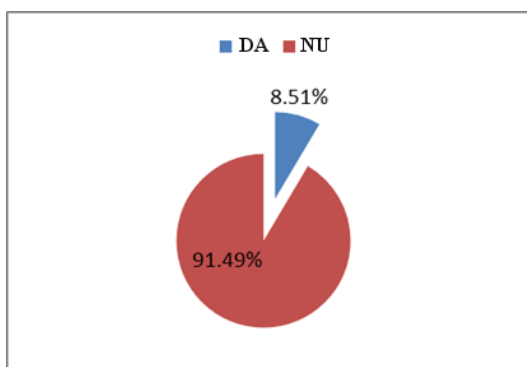


Figura 3.5. Cercetări anterioare privind compatibilitatea electromagnetică în spitale

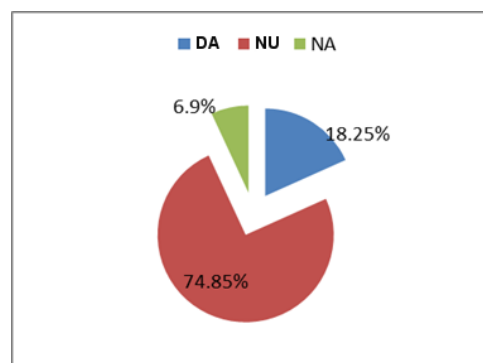


Figura 3.6. Cunoștințele angajaților privind problemele de compatibilitate electromagnetică

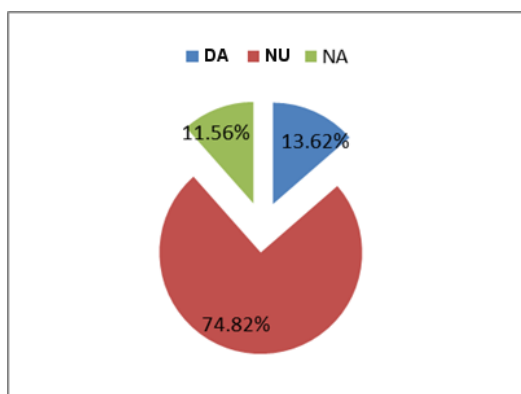


Figura 3.7. Cunoștințele angajaților privind emisiile magnetice ale dispozitivelor medicale

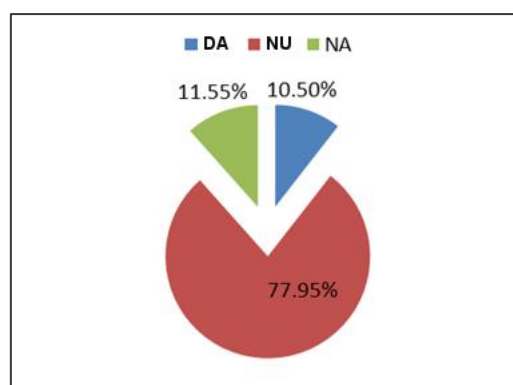


Figura 3.8. Cunoștințele angajaților privind nivelurile de sensibilitate electromagnetică ale dispozitivelor

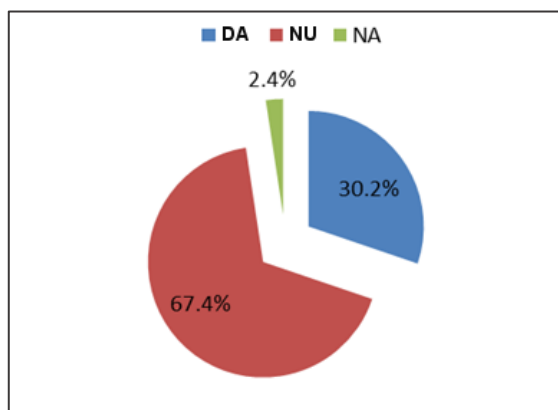


Figura 3.9. Valorile înregistrate pentru defecțiunile echipamentelor medicale ca urmare a interferențelor electromagnetice

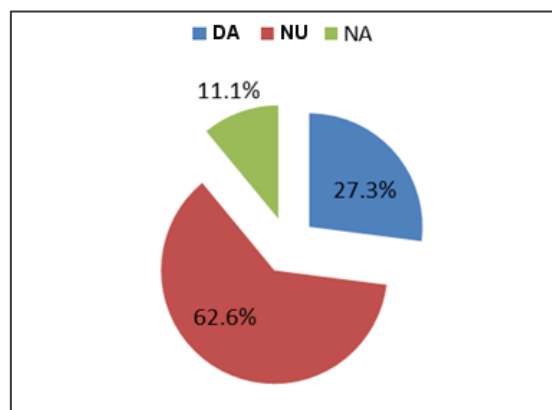


Figura 3.10. Valorile înregistrate pentru defecțiunile echipamentelor medicale fără cauze identificate.

În general, s-a identificat o absență a înțelegerii acestei probleme în fiecare dintre spitale. Nu numai că majoritatea angajaților nu sunt conștienți de problemele de interferență, dar un număr mare de unități de asistență medicală prezintă avarii ale dispozitivelor din cauza interferențelor electromagnetice sau din alte cauze necunoscute. În multe spitale, măsurătorile de siguranță și securitate nu au fost efectuate. Din acest motiv, este cu siguranță o problemă la care trebuie să ne gândim datorită faptului că există riscuri în cazul în care evaluările nu sunt efectuate și nu sunt luate măsuri de precauție adecvate.

3.1.2. Studiu experimental

3.1.2.1. Materiale

Pentru acest studiu a fost utilizat instrumentul de măsură uniaxial pentru câmp magnetic de tip EXTECH 480823, caracteristicile acestui dispozitiv fiind prezentate în (secțiunea 2.2.1).

3.1.2.2. Metode

Inducția magnetică a fost măsurată în trei spitale irakiene reprezentative. Spitalele A, B și C au fost alese ca formă de prescurtare și sunt considerate ca reprezentative pentru abordarea în alte spitale. Secțiile alese au fost vizitate și au fost efectuate mai multe măsurători la locurile de muncă efective. Datele au fost exprimate ca valoare rezultată. Inducția magnetică a fost înregistrată pe fiecare dintre cele 3 axe x, y & z (valorile r.m.s.) pentru fiecare punct de observare, iar valoarea rezultantă rezultată a fost calculată prin compunerea vectorială a celor trei componente. $B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$

Secțiile spitalului au fost selectate pe baza serviciilor furnizate în fiecare dintre ele și în funcție de dispozitivele medicale care sunt operaționale în cadrul acestora. Tabelul 3.5, include secțiile și numărul de camere în care au fost efectuate măsurătorile, în fiecare spital. Toate dispozitivele și monitoarele electrice au fost pornite pe durata măsurării. Densitatea fluxului magnetic a fost evaluată cu ajutorul instrumentului de măsurare EXTECH 480823. Acest dispozitiv de măsurare a fost plasat în fiecare metru pătrat la o înălțime de 100 cm față de podea; protocolul de testare a fost efectuat pentru a măsura inducția magnetică de joasă frecvență, în conformitate cu standardul EN61786-1 din 2013 [IEC, 2013]. Amplasarea specifică a instrumentului de măsurare, precum și numărul măsurătorilor depind de situația fiecărei camere, încercând identificarea celor mai periculoase configurații de expunere (mai precis, cele mai grave cazuri).

Tabel 3.5. Diverse secții în care s-a măsurat inducția magnetică

Identificator spital	Secție	Numărul de camere	Numărul de măsurători
Spital A	Spitalizare	14	149
	Unitate de îngrijire critică	6	74
	Terapie intensivă	10	127
	Urgențe	12	98
Spital B	Chirurgie	5	121
	Urgențe	16	151
	Terapie intensivă	8	48
	Terapie intensivă neonatală	4	32
Spital C	Camără de consultații	20	120
	Stomatologie	5	34
	Obstetrică și ginecologie	11	184
	Laborator clinic	3	86
	Urgențe	8	67
	Terapie intensivă	10	60

3.2. Rezultate

Rezultatele obținute în cele 3 spitale menționate mai sus sunt prezentate în continuare. Acestea au fost comparate cu nivelurile de câmp magnetic sugerate de standardul EN 60601-1-2 [IEC, 2007]. Acest standard tipic specifică faptul că dispozitivele medicale electrice trebuie să suporte un câmp magnetic de 37,8 mG la frecvență industrială.

Spitalul A

Tabelul 3.6, listează valorile maxime, minime și, de asemenea, medii ale inducției magnetice de frecvență joasă care au fost evaluate în mai multe secții ale spitalului A, în timp ce Figura 3.12, ilustrează acele valori comparativ cu nivelul câmpului magnetic sugerat de standardul EN 60601-1-2. Rezultatele au arătat că, în unitatea de îngrijire critică și, de asemenea, în secția urgențe, valoarea admisibilă a inducției magnetice a fost depășită.

Tabel3.6. inducția magnetică de joasă frecvență măsurată în diverse secții ale spitalului A

Secție	Câmp magnetic (mG)		
	Max.	Medie	Min
Spitalizare	4,99	4,10	1,1
Unitate de îngrijire critică	45,8	7,30	1,9
Terapie intensivă	13,60	2,6	0,9
Urgențe	61,3	4,30	0,89

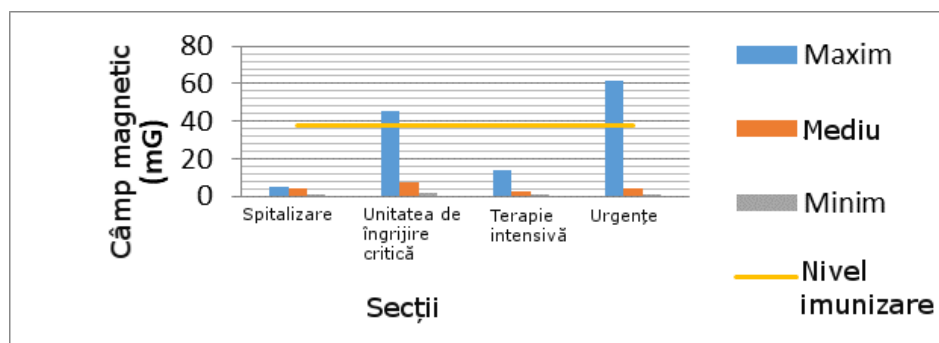


Figura 3.12. Inducția magnetică de joasă frecvență; nivelurile măsurate în spitalul A - comparație cu nivelul inducției sugerat de standardul EN 60601-1-2

Spitalul B

Tabelul 3.7, prezintă valorile maxime, minime și, de asemenea, medii ale inducției magnetice de joasă frecvență care au fost evaluate în mai multe de secții ale spitalului B; Fig. 3.13, prezintă aceste valori comparativ cu nivelul câmpului magnetic sugerat de standardul EN 60601-1-2. Rezultatele au indicat faptul că nivelul câmpului magnetic care a fost sugerat de standardul IEC a fost depășit în secțiile de chirurgie, terapie intensivă și terapie intensivă neonatală din acel spital.

Tabel3.7. Inducția magnetică de joasă frecvență măsurată în mai multe secții ale spitalului B

Secții	Câmp magnetic (mG)		
	Max	Medie	Min
Chirurgie	41,50	3,90	2,10
Urgențe	22,30	5,20	0,99
Terapie intensivă	57,90	2,80	1,30
Terapie intensivă neonatală	39,40	6,30	1,80

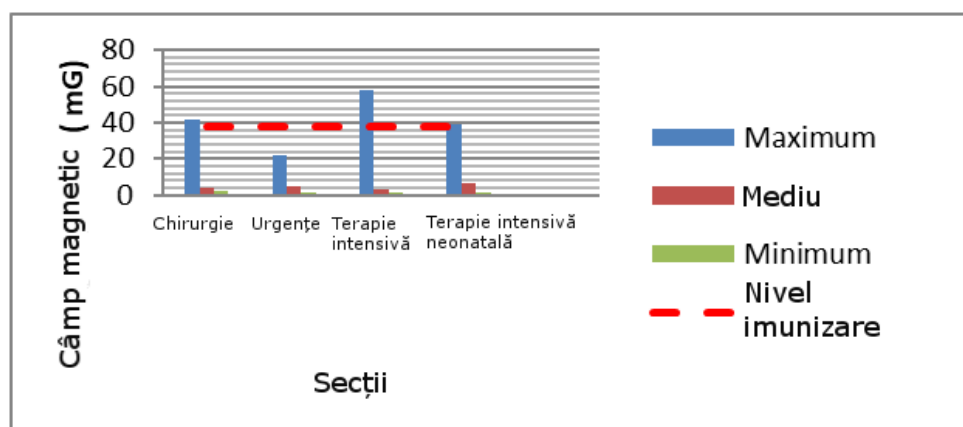


Figura 3.13. Inducția magnetică de joasă frecvență; nivelurile măsurate la Spitalul B -comparație cu nivelul densității sugerat de standardul EN 60601-1-2

Spitalul C

Tabelul 3.8, prezintă valorile inducției magnetice de joasă frecvență, care au fost măsurate în mai multe secții ale Spitalului C. În reprezentarea arătată în Fig. 3.14, aceste valori sunt comparate cu nivelul de câmp magnetic corespunzător sugerat de standardul EN 60601-1-2. Rezultatele au indicat faptul că nu există nicio locație în care standardul a fost depășit, chiar dacă au existat fluctuații ale nivelurilor între camere.

Tabel 3.8. Inducția magnetică de joasă frecvență măsurată în mai multe secții ale spitalului C

Secții	Câmp magnetic (mG)		
	Max	Medie	Min
Cabinet de consultații	15,4	2,70	0,89
Stomatologie	03,9	01,9	0,76
Obstetrică și ginecologie	26,7	11,3	01,9
Laborator clinic	02,96	01,60	0,62
Urgențe	04,60	03,12	01,57

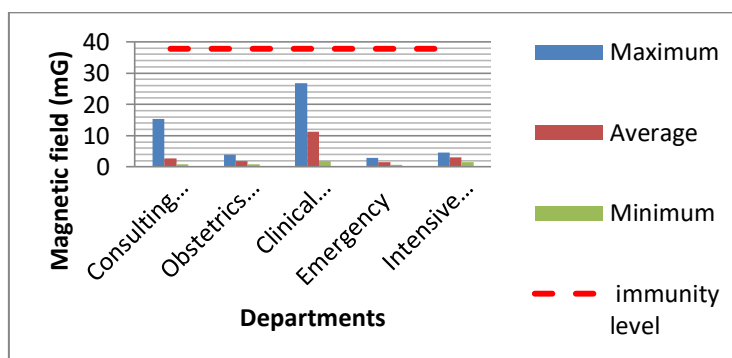


Figure 3.14. Inducția magnetică de joasă frecvență; nivelurile măsurate la spitalul C -comparație cu nivelul densității sugerat de standardul EN 60601-1-2

4. STUDIUL CÂMPULUI MAGNETIC DE JOASĂ FRECVENȚĂ ÎN APROPIEREA ZONEI DE IMAGISTICĂ PRIN REZONANȚĂ MAGNETICĂ NUCLEARĂ

4.1. MĂSURAREA CÂMPULUI MAGNETIC DE JOASĂ FRECVENȚĂ ÎN ZONELE RMN

Pentru a analiza câmpul magnetic într-o astfel de zonă, inițial, este necesar să se identifice sursele, apoi folosind metoda de măsurare în puncte, efectuăm măsurători pentru determinarea inducției magnetice de joasă frecvență în apropierea zonei RMN.

4.1.1. Metode și instrumente

4.1.1.1. Instrumente

Pentru acest studiu a fost utilizat instrumentul măsurare uniaxială a inducției în câmp magnetic de joasă frecvență EXTECH 480823, caracteristicile acestui dispozitiv fiind prezentate în (secțiunea 2.2.1).

4.1.1.2. Locațiile de măsurare a câmpului magnetic de joasă frecvență

În Fig.4.1 și Fig.4.2 sunt prezentate planurile încăperilor unde s-au efectuat măsurători, ce indică prima și a doua locație a scannerului RMN, respectiv cu sursele de câmp magnetic și, de asemenea, punctele de măsurare în care studiul a examinat variabilitatea spațială în ceea ce privește câmpul magnetic de joasă frecvență. Zona de cercetare este împărțită în patru secțiuni:

1. O sală de așteptare, în care pacienții așteaptă să fie chemați de personalul medical pentru inspecția și instruirea pre-intervențională, înainte de a intra în scannerul RMN.
2. Zona holului, o porțiune care desparte recepția de RMN și de camera de consult.
3. Camera de consult, unde pacienții sunt consultați de personalul medical înainte de a intra în scannerul RMN.
4. Camera tehnică cuprinde majoritatea echipamentelor care fac posibilă funcționalitatea echipamentului RMN.

Punctele verzi reprezintă locațiile de măsurare în sala de așteptare, în camera de consult, în hol și în camera tehnică.

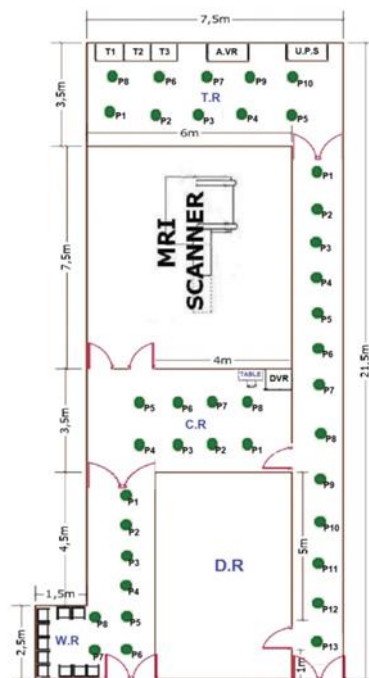


Figura 4.1. Planul primei zone a scannerului RMN, a surselor de câmp magnetic, precum și a punctelor de măsurare

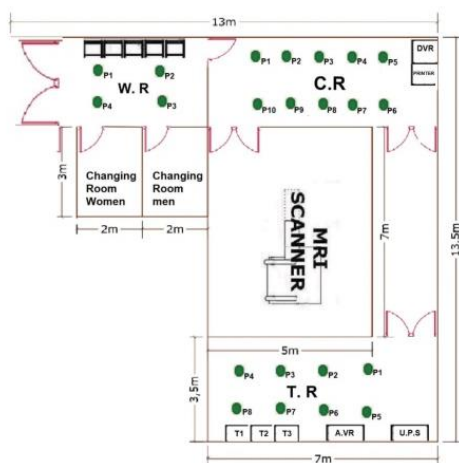


Figura 4.2. Planul celei de-a doua zone a scannerului RMN cu surse de câmp magnetic, precum și punctele de măsurare

4.1.1.3. Sursele de câmp magnetic

Sursele de câmp magnetic din zona cercetată au fost: UPS-ul de 150 kVA și reglatoarele automate de tensiune prezentate în Fig.4.3, DVR-ul din spațiul de control, sistemul de aer condiționat Cool System (CS) care se află în zona tehnică și în camera de consult.



Figura 4.3. UPS-urile de 150 kVA și regulatoarele automate de tensiune situate în camera tehnică

4.1.1.4. Metoda de măsurare în puncte

Ca strategie de analiză a câmpului magnetic în apropierea scannerului RMN, acest studiu a efectuat măsurători la fața locului în diferite puncte utilizând instrumentul de câmp magnetic EXTECH cu un interval de sensibilitate pentru frecvență între 30-300 Hz. Pentru fiecare cameră am identificat variabilitatea spațială caracteristică pentru câmpul magnetic la 3 valori distincte ale distanței față de podea (0,3 m; 1 m și 2 m), așa cum se vede în Fig.4.4. Valorile câmpului magnetic au fost determinate pentru cazul în care scannerul RMN a fost pornit, precum și în afara programului de lucru, când scannerul este oprit. Inducția magnetică este măsurată în două locații reprezentative lângă scannerul RMN. În plus, punctele A și B au fost selectate pentru apropiere, fiind reprezentative pentru alte locații. Camerele selectate au fost vizitate și s-au efectuat măsurători la locurile efective de muncă ale personalului medical. Datele au fost reprezentate prin valorile r.m.s. rezultante ale inducției în punctele de măsură, obținute prin compunerea componentelor spațiale pe axele x, y & z, direct măsurate. Protocolul testării a fost realizat pe baza standardului 60601-1-2 din 2014 [IEC, 2014].



Figura 4.4. Măsurătorile câmpului magnetic la 3 distanțe (0,3 metri, 1 m și 2 m) de podea

4.2. REZULTATE

Rezultatele obținute prin metoda măsurătorilor în puncte la fața locului au fost reprezentate grafic pentru două cazuri: pe tot parcursul programului de lucru, caz în care scannerul RMN a fost PORNIT și în afara programului de lucru, caz în care RMN-ul a fost OPRIT.

4.2.1. Prima locație

4.2.1.1. Camera de consult

Fig.4.5 și Fig.4.6 arată rezultatele legate de câmpul magnetic în camera de consult. Sunt comparate rezultatele obținute în timp ce RMN-ul a fost pornit, cu cele obținute în timp ce RMN-ul a fost oprit. În ceea ce privește această cameră, studiul a indicat faptul că funcționarea scannerului RMN are impact asupra câmpului magnetic de fundal, deoarece

rezultatele obținute au indicat valori ridicate atunci când scannerul RMN a fost pornit, în comparație cu rezultatele înregistrate atunci când scannerul a fost oprit.

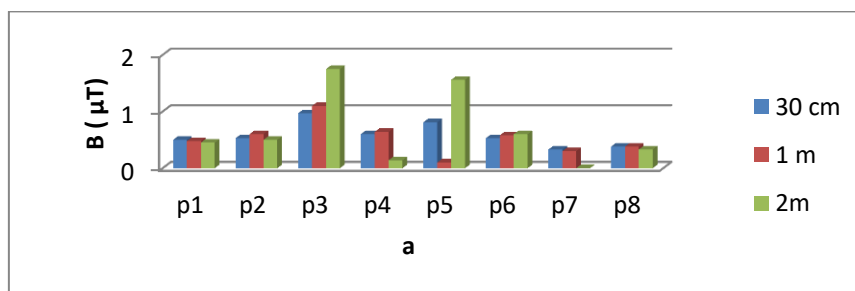


Figura 4.5. Variabilitatea spațială a câmpului magnetic în camera de consult în cazul în care RMN-ul era PORNIT

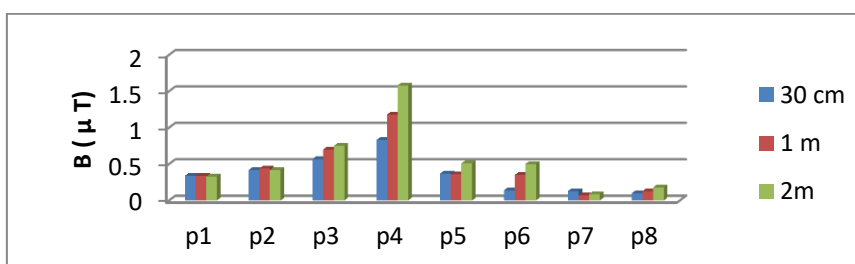


Figura 4.6. Variabilitatea spațială a câmpului magnetic în camera de consult în cazul în care scannerul RMN a fost OPRIT

4.2.1.2. Sala de așteptare

În abordarea comparabilă cu camera de consultații, în sala de așteptare se examinează variabilitatea spațială legată de câmpul magnetic, așa cum se arată în Fig.4.7 și Fig.4.8. În ceea ce privește o astfel de zonă, s-ar putea observa că variațiile câmpului magnetic au fost afectate de RMN prin utilizarea scannerului.

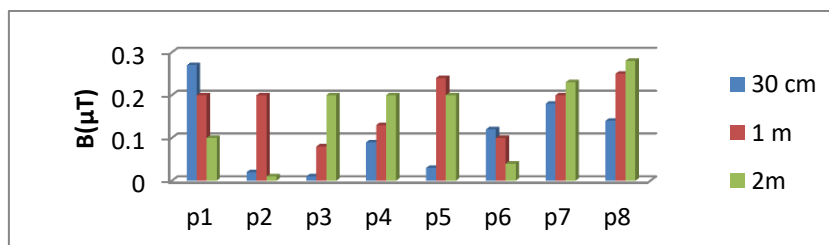


Figura 4.7. Variabilitatea spațială a câmpului magnetic în sala de așteptare în cazul în care RMN-ul era PORNIT

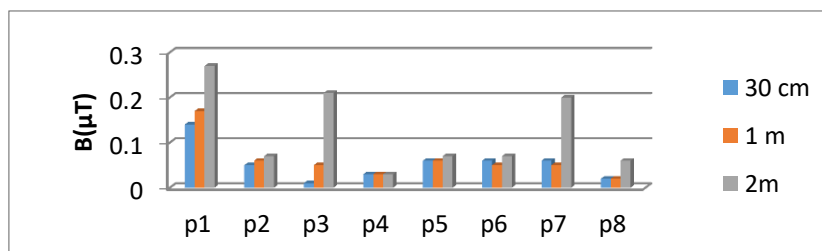


Figura 4.8. Variabilitatea spațială a câmpului magnetic în sala de așteptare în cazul în care RMN-ul era OPRIT

4.2.1.3. Zona holului

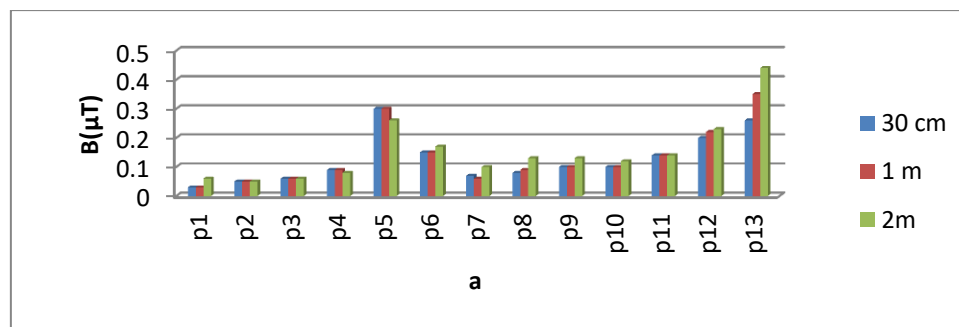


Figura 4.9. Variabilitatea spațială a câmpului magnetic în zona holului în cazul în care RMN-ul era PORNIT

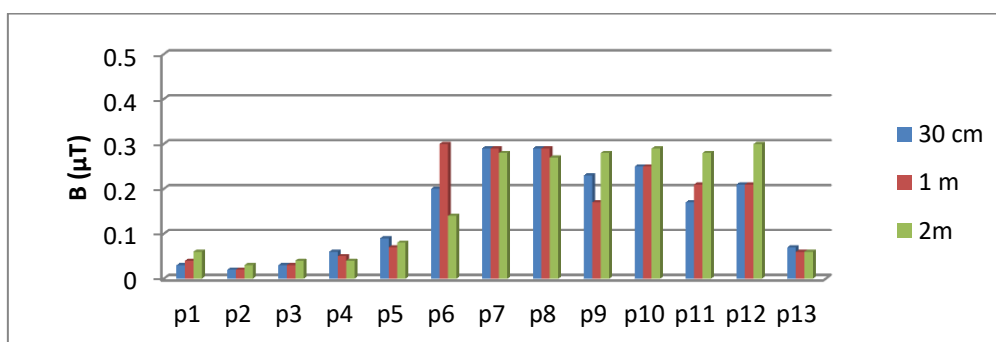


Figura 4.10. Variabilitatea spațială a câmpului magnetic în zona holului în cazul în care RMN-ul era OPRIT

În Fig. 4.9 și Fig. 4.10 se poate identifica variabilitatea spațială a câmpului magnetic din zona holului. În ceea ce privește o astfel de zonă, studiul a indicat faptul că scannerul RMN nu are impact asupra câmpului magnetic; valorile mai mari au fost măsurate în cazul în care scannerul RMN a fost OPRIT, în comparație cu valorile care au fost colectate pe tot parcursul programului, când scannerul era PORNIT.

4.2.1.4. Camera tehnică

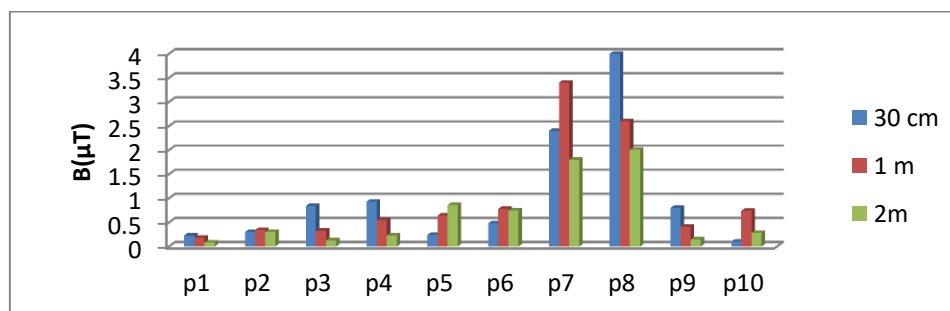


Figura 4.11. Variabilitatea spațială a câmpului magnetic în zona camerei tehnice în cazul în care RMN-ul era PORNIT

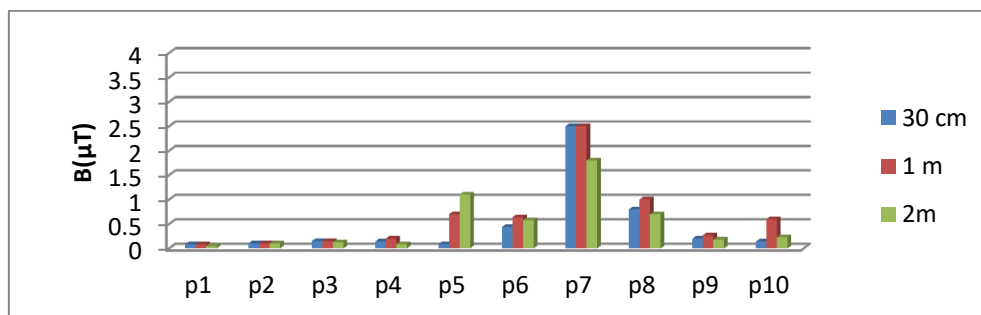


Figura 4.12. Variabilitatea spațială a câmpului magnetic în zona camerei tehnice în cazul în care RMN-ul era OPRIT

Pentru ultima zonă din prima locație, valorile măsurate în camera tehnică sunt prezentate în Fig. 4.11 și Fig. 4.12. Ca și în cazul camerei de consultații, studiul a indicat faptul că variațiile câmpului magnetic au fost afectate prin activitatea scannerului RMN. Rezultatele au fost obținute în cazul în care scannerul RMN era PORNIT în comparație cu rezultatele obținute în afara programului, când scannerul era OPRIT.

În tabelul 4.2 se prezintă valorile medii, minime și maxime ale inducției câmpului magnetic în toate camerele din apropierea locației scannerului RMN în 2 condiții: în cazul în care dispozitivul RMN a fost PORNIT / OPRIT. Măsurătorile au fost făcute la 0,3 metri, la 1 m și la 2 m înălțime de la podea, așa cum se vede în Fig. 4.4.

Tabel 4.2. Valori medii, minime și maxime ale inducției magnetice în toate sectoarele apropiate de zona scannerului RMN[μT].

		Camera de consultații			Sala de așteptare			Zona holului			Camera tehnică		
		B _{max}	B _{min}	Medie	B _{max}	B _{min}	Medie	B _{max}	B _{min}	Medie	B _{max}	B _{min}	Medie
RMN PORNIT	0,3m	0,97	0,33	0,58	0,32	0,01	0,11	0,29	0,02	0,17	4,00	0,10	1,03
	1m	1,1	0,1	0,52	0,38	0,08	0,19	0,30	0,02	0,18	3,40	0,18	0,99
	2m	1,75	0,14	0,66	0,59	0,01	0,21	0,30	0,03	0,19	2,01	0,99	0,65
RMN OPRIT	0,3m	0,83	0,1	0,36	0,14	0,01	0,05	0,35	0,03	0,17	2,50	0,08	0,46
	1m	1,18	0,07	0,44	0,17	0,02	0,06	0,35	0,03	0,19	2,50	0,08	0,62
	2m	1,58	0,09	0,54	0,27	0,03	0,12	0,44	0,05	0,22	1,80	0,05	0,49

4.2.2. A doua locație

4.2.2.1. Camera de consultații

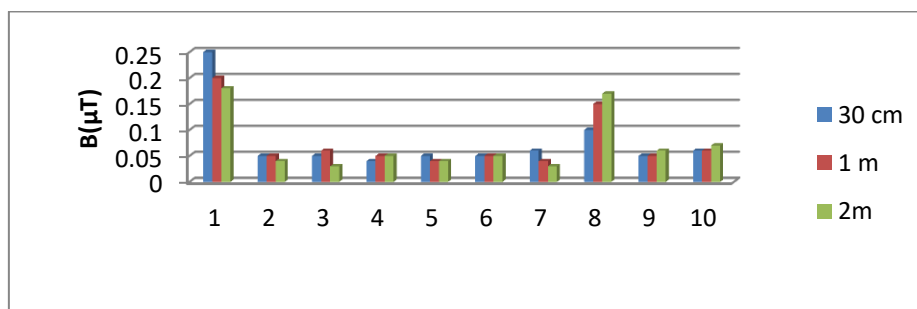


Figura 4.13. Variabilitatea spațială a câmpului magnetic în zona camerei de consultații în cazul în care RMN-ul era PORNIT

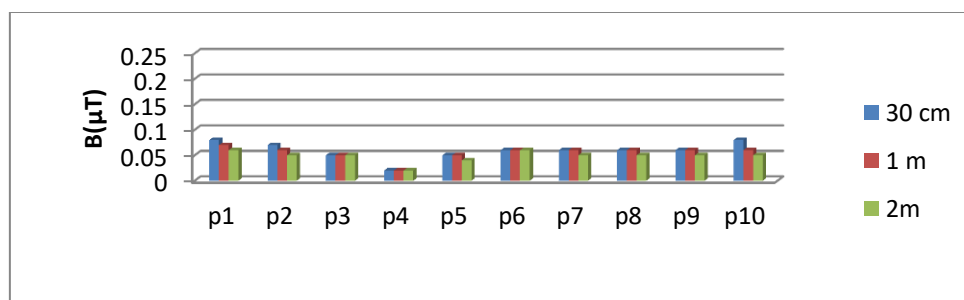


Figura 4.14. Variabilitatea spațială a câmpului magnetic în zona camerei de consultații în cazul în care RMN-ul era OPRIT

Fig. 4.13 și Fig.4.14 afișează rezultatele măsurătorilor de câmp magnetic în camera de consultații, comparând valorile obținute în cazul în care RMN-ul a fost PORNIT cu cele din cazul în care RMN-ul a fost OPRIT.

În ceea ce privește o astfel de cameră, studiul a indicat faptul că inducția magnetică este afectată de funcționarea scannerului RMN, deoarece valoarea mai mare este înregistrată atunci când scannerul RMN a fost PORNIT în comparație cu rezultatele obținute când scannerul RMN a fost OPRIT.

4.2.2.2. Sala de așteptare

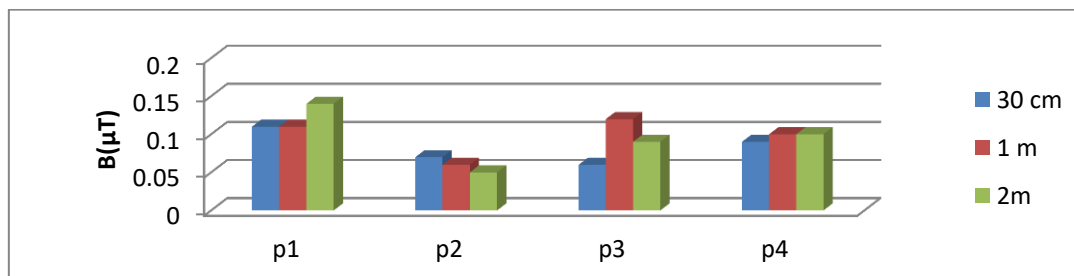


Figura 4.15. Variabilitatea spațială a câmpului magnetic în sala de așteptare în cazul în care RMN-ul era PORNIT

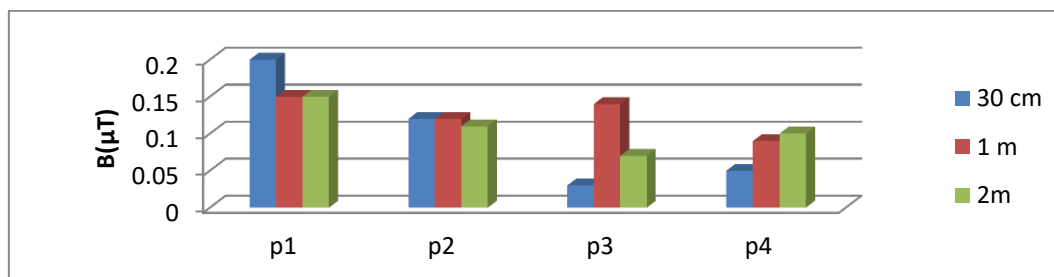


Figura 4.16. Variabilitatea spațială a câmpului magnetic în sala de așteptare în cazul în care RMN-ul era OPRIT

Prin aplicarea unei metode identice cu cea aplicată în cazul camerei de consultații, în sala de așteptare se examinează variabilitatea spațială a câmpului magnetic, așa cum se arată în Fig. 4.15 și Fig. 4.16; studiul a indicat faptul că utilizarea scannerului RMN nu are impact asupra câmpului magnetic din această zonă.

4.2.2.3. Camera tehnică

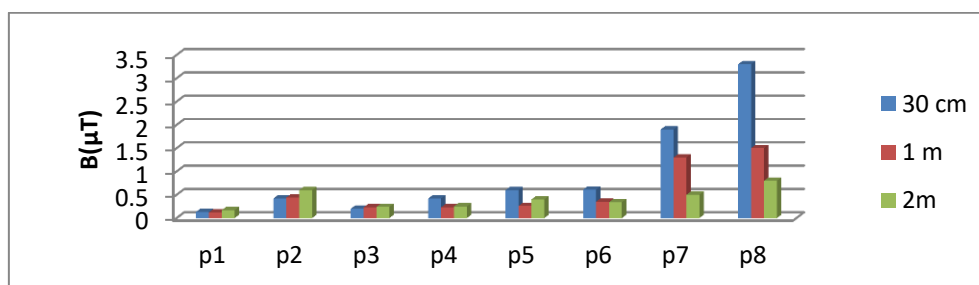


Figura 4.17. Variabilitatea spațială a câmpului magnetic în camera tehnică în cazul în care RMN-ul era OPRIT

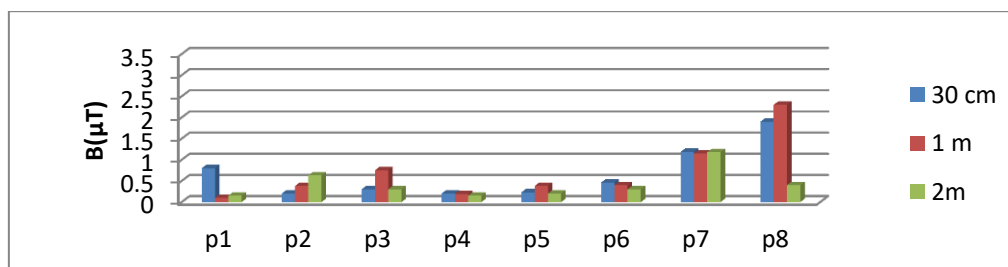


Figura 4.18. Variabilitatea spațială a câmpului magnetic în camera tehnică în cazul în care RMN-ul era PORNIT

Fig.4.17 și Fig.4.18 afișează valorile câmpului magnetic în camera tehnică, comparând valorile măsurate în cazul în care RMN-ul era PORNIT cu cele când RMN-ul era OPRIT. Într-o astfel de zonă, acest studiu a indicat faptul că variația câmpului magnetic a fost afectată de utilizarea scannerului RMN.

Tabelul 4.3 prezintă valorile medii, minime și maxime ale inducției caracteristice câmpului magnetic în toate zonele din apropierea scannerului în 2 condiții: în cazul în care scannerul RMN a fost PORNIT, apoi OPRIT. Măsurătorile s-au făcut la 0,3 metri, 1 m și 2 m înălțime de la podea.

Tabel 4.1. Valori medii, minime și maxime ale inducției magnetice în toate sectoarele apropiate de zona scannerului RMN[μ T].

		Camera de consultații			Sala de așteptare			Camera tehnică		
		B_{max}	B_{min}	Medie	B_{max}	B_{min}	Medie	B_{max}	B_{min}	Medie
RMN PORNIT	0,3m	0,25	0,04	0,07	0,20	0,03	0,20	3,30	0,20	0,94
	1m	0,20	0,04	0,07	0,15	0,09	0,25	1,50	0,20	0,55
	2m	0,18	0,03	0,07	0,15	0,07	0,21	0,80	0,24	0,41
RMN OPRIT	0,3m	0,08	0,02	0,05	0,11	0,06	0,08	1,90	0,20	0,66
	1m	0,07	0,02	0,05	0,11	0,06	0,09	2,30	0,10	0,70
	2m	0,06	0,02	0,04	0,14	0,05	0,09	1,18	0,15	0,41

Fig.4.19 și Fig. 4.20 prezintă valorile minime, maxime și medii pentru câmpul magnetic în 2 locații, în cazul în care scannerul RMN a fost PORNIT sau OPRIT. În prima locație s-a identificat faptul că în camera de consultații există 2 puncte situate aproape de coloana de alimentare a DVR (1,75 și 1,58) μ T, iar în camera tehnică există panourile de control ale scannerului RMN. Valorile maxime s-au înregistrat lângă panoul gradientilor, 4 μ T. În a doua locație, valorile maxime (3,30 μ T) s-au identificat în camera de consultații. De asemenea, am identificat că valorile maxime, minime și medii în ceea ce privește câmpul magnetic au fost ridicate în camera tehnică din 2 puncte. Este important de menționat că, în majoritatea condițiilor, câmpul magnetic măsurat (inducția magnetică) a fost sub limita permisă prin recomandările ICNIRP din 2010 pentru frecvențele joase.

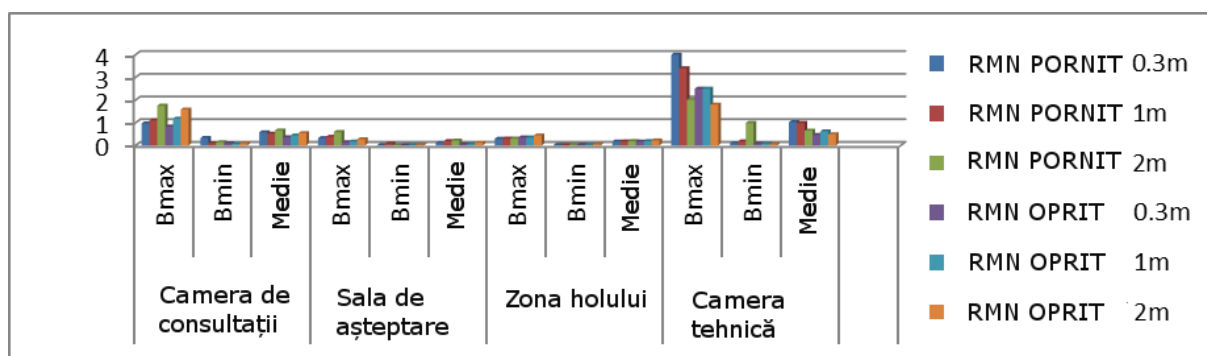


Figura 4.19. Valori medii, minime și maxime ale inducției magnetice (în μ T) în toate sectoarele din apropierea zonei scannerului RMN, în prima locație (scannerul RMN a fost PORNIT / OPRIT).

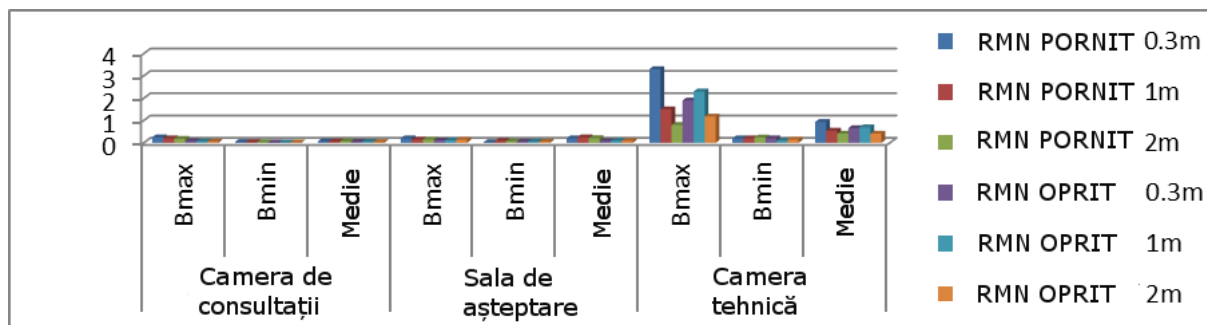


Figura 4.20. Valori medii, minime și maxime ale inducției magnetice (în μ T) în toate sectoarele din apropierea zonei scannerului RMN, în a doua locație (scannerul RMN a fost PORNIT / OPRIT)

5. DISTRIBUȚIA INDUCȚIEI MAGNETICE ÎN SĂLILE DE OPERAȚIE

5.1. PROGRAMUL DE MĂSURĂTORI

5.1.1. Materiale

Pentru acest studiu a fost utilizat instrumentul de măsurare uniaxială a inducției magnetice de tip EXTECH 480823, caracteristicile acestui dispozitiv fiind prezentate în secțiunea 2.2.1.

5.1.2. Metode

Instrumentul EXTECH 480823 este utilizat pentru măsurarea inducției magnetice în diferite zone ale sălii de operație, în timp ce toate dispozitivele funcționează. Măsurătorile au fost efectuate pe parcursul unei zile în douăsprezece săli de operație, începând de la prima intervenție chirurgicală până la sfârșitul ultimei proceduri chirurgicale și acoperind și timpul dintre proceduri. În plus, măsurătoarea a acoperit diferite poziții pe care în mod obișnuit le ocupă personalul medical pe durate relativ lungi de timp, corespunzătoare intervențiilor pe care le practică; sunt în mod deosebit vizate prezența în cea mai apropiată poziție de pacient și în poziția anestezistului. Datele au fost colectate la 120 cm deasupra podelei pentru toate cazurile analizate și exprimate ca valori rezultante după compunerea vectorială a componentelor măsurate pe trei direcții ortogonale. În al doilea rând, inducția magnetică este măsurată în mai multe direcții la 0,1 m, 0,5 m și 1 m distanță față de dispozitivul care produce emisii de câmp magnetic. Măsurătorile se efectuează în timp ce funcționează un singur dispozitiv, iar toate celelalte dispozitive sunt oprite. Protocolul testării a fost realizat pentru măsurarea inducției magnetice de joasă frecvență, pe baza standardului EN 60601-1-2 din 2014 [IEC, 2014].

5.2. REZULTATE

Tabelul 5.5 prezintă rezultatele măsurătorilor inducției magnetice, într-o poziție de intervenție situată cel mai aproape de pacient, în poziția personalului medical și în poziția anestezistului, în timp ce echipamentul funcționează. Valorile sunt exprimate în mG și indică valorile medii.

Tabel 5.5. Inducția magnetică (valori medii în mG)

	Săli de operație	Nr. măsurătorilor	Inducția magnetică (valori medii în mG)		
			Locația cea mai apropiată de pacient	Poziția personalului medical	Poziția anestezistului
1	Laparotomie	87	1,25	1,1	1,94
2	Chirurgie generală	98	0,9	0,58	1,78
3	Chirurgie artroscopică a genunchiului	79	0,79	0,45	2,01
4	Traheotomie	88	0,3	0,22	2,01
5	Biopsie de prostată	96	1,45	1,3	1,75
6	Chirurgie plastică	104	1,6	1,38	2,32
7	Chirurgie gastrică	96	0,75	0,8	4,71
8	Chirurgie parotidiană	80	0,67	0,5	3,87
9	Chirurgie artroscopică a umărului	96	1,23	5,4	2,05
10	Chirurgie ortopedică	72	0,84	0,67	1,95
11	Chirurgie reparatorie arterială	67	0,59	0,81	3,1
12	Endoscopie	74	1,15	4,92	2

Nivelurile maxime de expunere la câmpul magnetic au fost înregistrate în sala de operație 9 (Chirurgie artroscopică a umărului) - 5,4 mG, și în sala de operație pentru endoscopie 12 (4,92 mG), pentru poziția de stând în picioare a personalului medical.

Sursele locale ale câmpului magnetic din sălile de operație cuprind toate echipamentele electronice și electrice: monitoare cu indici vitali (electro-cardio-grafic, puls-oximetre), ventilatoare și dispozitive de laborator, dispozitive de intervenții de urgență, dispozitive de comunicații, frigidere, sisteme de aer condiționat și curățare, facilități de încălzire și purificare a apei și, bineînțeles, rețeaua electrică.

Măsurătorile câmpului magnetic au fost efectuate în cadrul operațiilor de artroscopie a umărului, chirurgiei gastrice și chirurgiei plastice în locații care au fost identificate prin petele colorate de pe planurile din figurile 5.2, 5.3 și 5.4, la 1,20 m înălțimea de la podea; sălile de operație au funcționat la sarcină maximă.

Fig. 5.2, Fig. 5.3 și Fig. 5.4, ilustrează distribuția punctelor de măsurare pe podea; punctele de culoare roșie reprezintă măsurătorile în poziția în picioare a personalului medical, punctele de culoare albastră arată măsurătorile la cea mai apropiată distanță față de pacient, iar punctele de culoare verde indică măsurători în zona de odihnă a sălii de operație.

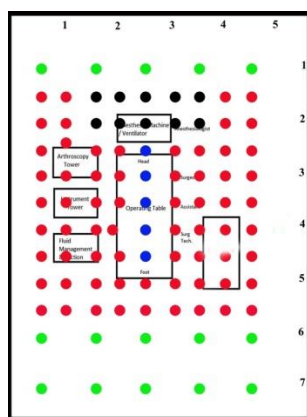


Figura 5.2. Planul sălii de chirurgie artroscopică a umărului în cadrul evaluării; punctele colorate reprezintă locațiile în care au fost efectuate măsurători

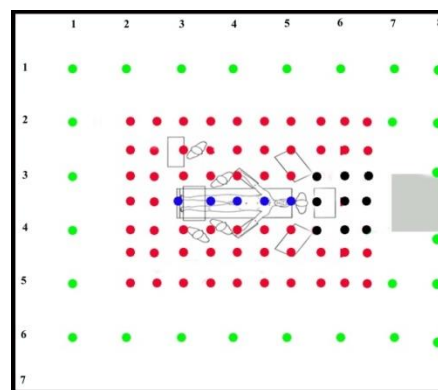


Figura 5.3. Planul sălii de chirurgie gastrică în cadrul evaluării; punctele colorate reprezintă locațiile în care au fost efectuate măsurători

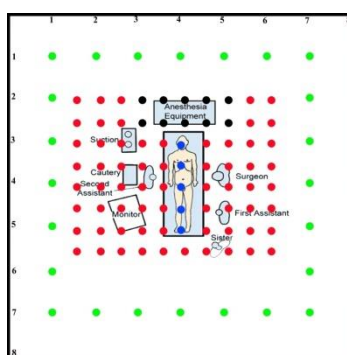


Figura 5.4. Planul sălii de chirurgie plastică în cadrul evaluării; punctele colorate reprezintă locațiile în care au fost efectuate măsurători

Distribuțiile câmpului magnetic în sălile de chirurgie artroscopică a umărului, de chirurgie gastrică și de chirurgie plastică sunt prezentate în figurile 5.5, 5.6 și 5.7.

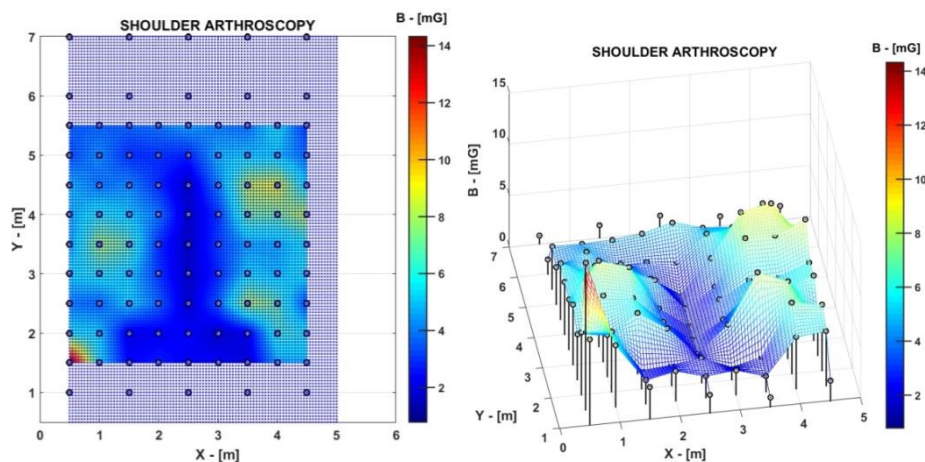


Figura 5.5. Chirurgia artroscopică a umărului – hărți colorate ale distribuției inducției magnetice

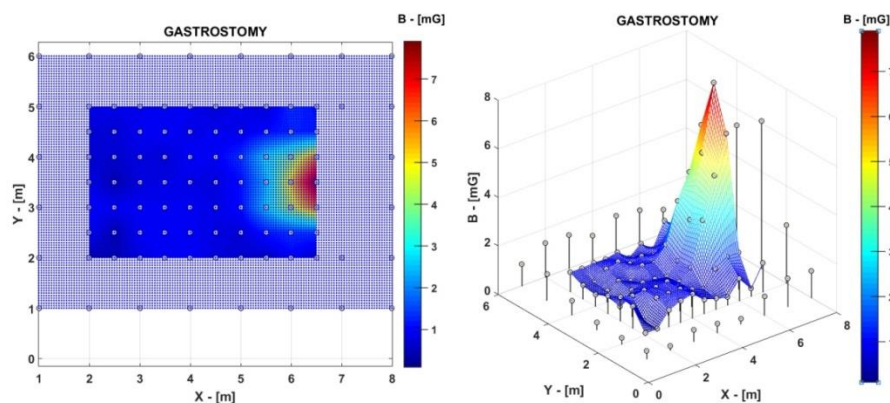


Figura 5.6. Chirurgie gastrică – hărți colorate ale distribuției inducției magnetice

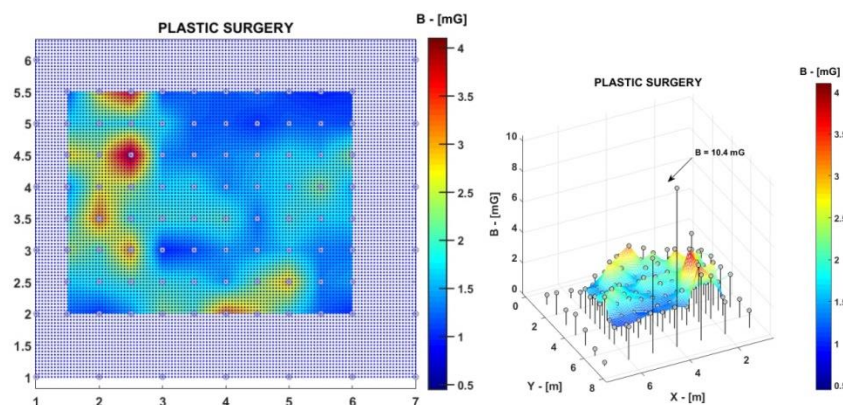


Figura 5.7. Chirurgia plastică – hărți colorate ale distribuției inducției magnetice

Tabelul 5.6 arată inducția magnetică medie la distanțe diferite de fiecare sistem activ. Măsurătorile au fost efectuate în timp ce un dispozitiv funcționează și toate celelalte dispozitive sunt oprite.

Tabel 5.6 . Nivelurile de inducție magnetică [mG] la trei distanțe față de

Echipament	Media inducției magnetice (mG)		
	0,1 m	0,5m	1 m
Lampă operație	3,47	0,72	0,33
Pompă de absorbție	3,2	0,62	0,28
Cărucior anestezie	6,4	1	0,48
Ventilator	1,99	0,72	0,29
Monitor anestezie	11,32	2,41	0,98
Fluoroscop	1,89	0,75	0,22
Sterilizator	1,97	0,91	0,36
Alimentare de înaltă tensiune	52,06	14,32	6,01
Pulsoximetru	1,31	0,62	0,37
Laparoscop	18,37	1,59	0,49
Defibrilator	0,89	0,26	0,2
Negatoscop	41,25	12,31	0,96

Valorile maxime ale inducției magnetice au fost înregistrate pentru zona din jurul sursei de alimentare de înaltă tensiune la 10 cm distanță, pentru toate dispozitivele dintr-o sală de operații. Valoarea sursei de alimentare a fost de 52,06 mG (aproximativ), urmată de un monitor LCD de anestezie (11,32 mG) și de laparoscop (18,37 mG).

Figurile 5.8 - 5.19, reprezintă distribuțiile de inducție magnetică de la dispozitivele respective.

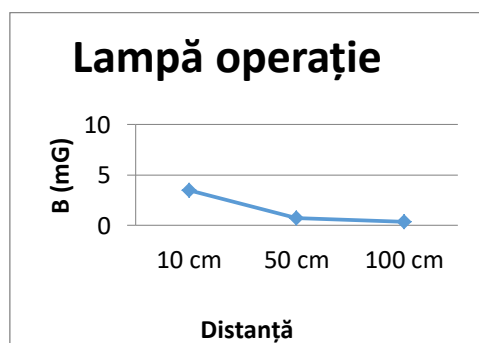


Figura 5.8. Distribuția câmpului magnetic de la lampa de operație

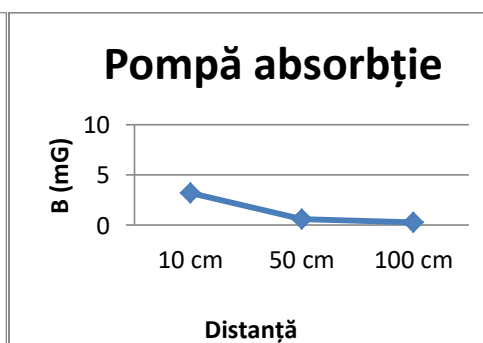


Figura 5.9. Distribuția câmpului magnetic de la pompa de absorbție

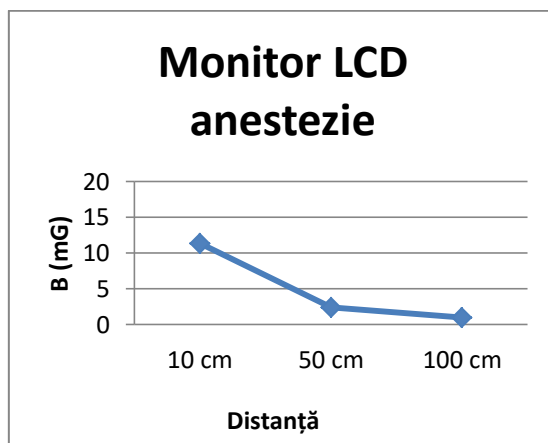


Figura 5.10. Distribuția câmpului magnetic de la monitorul de anestezie

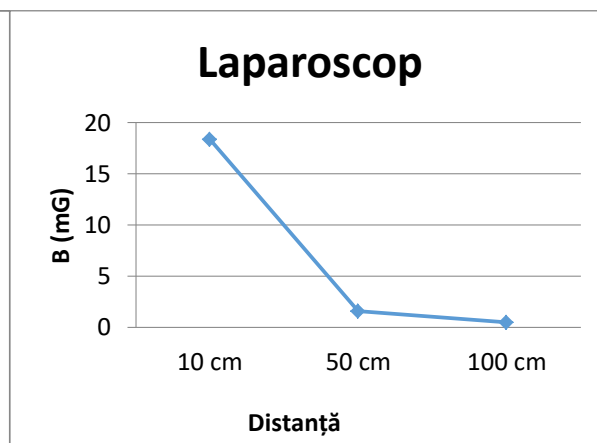


Figura 5.11. Distribuția câmpului magnetic de la laparoscop

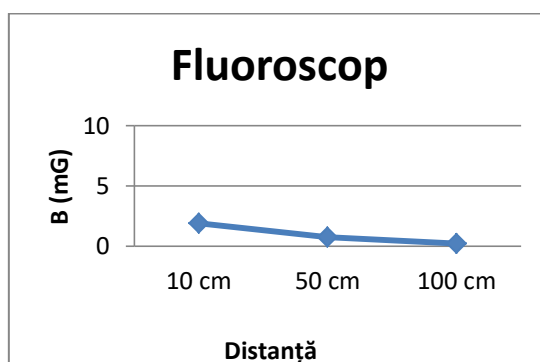


Figura 5.12. Distribuția câmpului magnetic de la fluoroscop

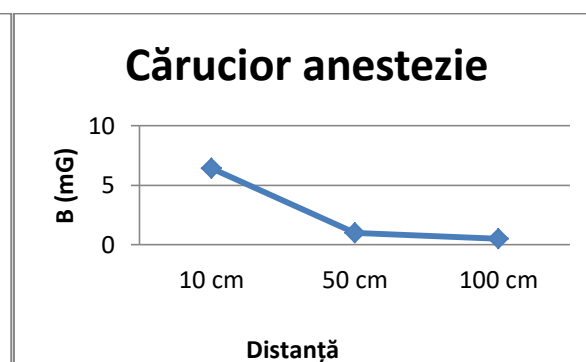


Figura 5.13. Distribuția câmpului magnetic de la căruciorul de anestezie

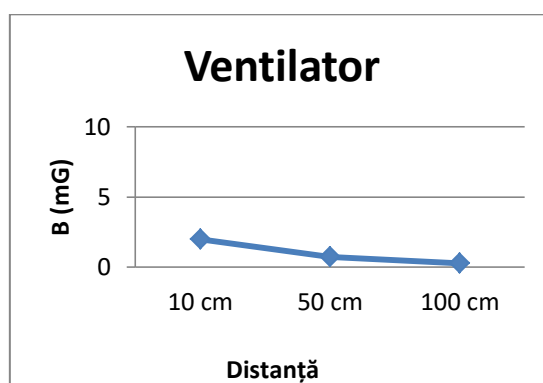


Figura 5.14. Distribuția câmpului magnetic de la ventilator

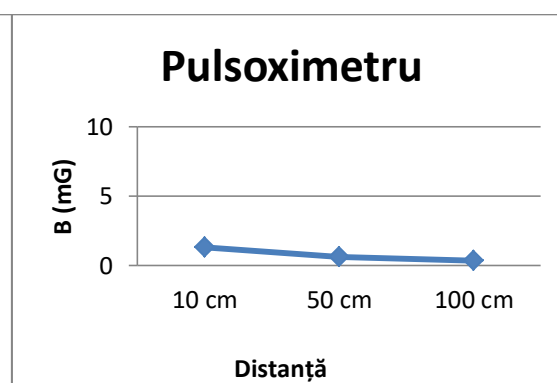


Figura 5.15. Distribuția câmpului magnetic de la oximetru

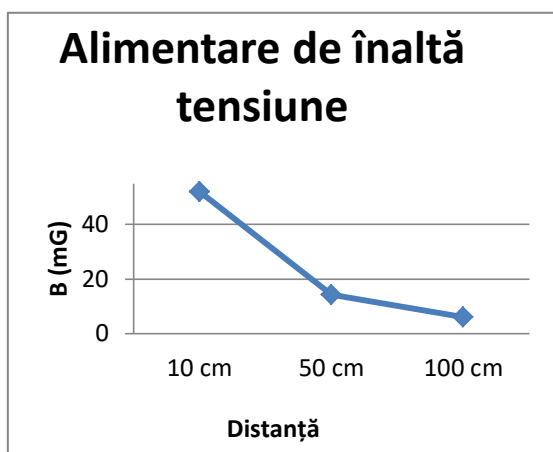


Figura 5.16. Distribuția câmpului magnetic de la alimentarea de înaltă tensiune

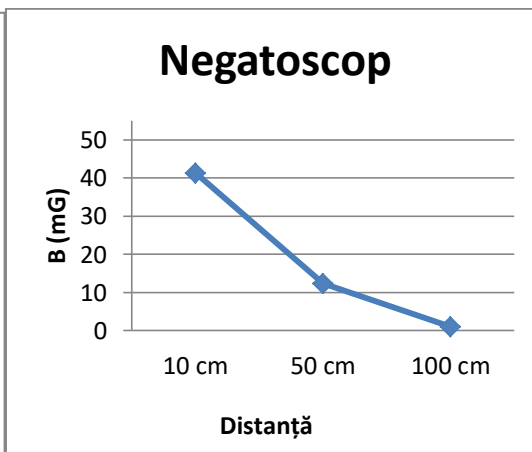


Figura 5.17. Distribuția câmpului magnetic de la negatoscop

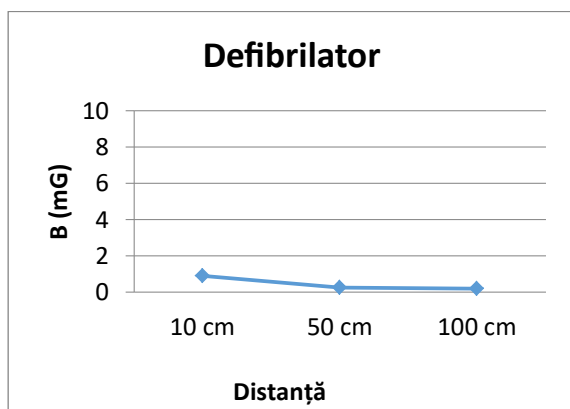


Figura 5.18. Distribuția câmpului magnetic de la defibrilator

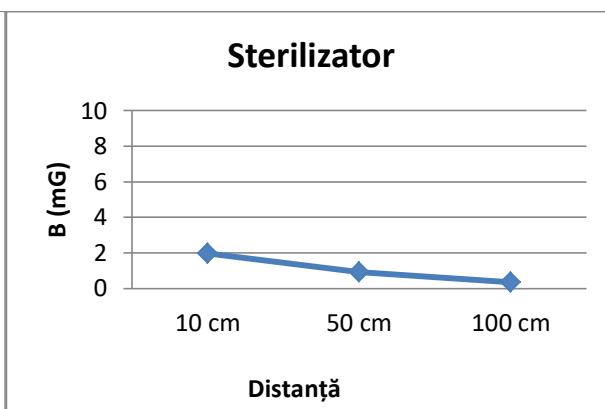


Figura 5.19. Distribuția câmpului magnetic de la sterilizator

6. CONCLUZII GENERALE

1. Au fost stabilite normative de siguranță la nivel internațional și utilizate în multe țări, în ceea ce privește expunerea umană la câmp electromagnetic. Acestea sunt flexibile, conservatoare și bazate pe principii științifice solide, oferind astfel siguranța adecvată față de toate efectele recunoscute ale câmpurilor electromagnetice asupra sănătății. În cadrul răspunsului la îngrijorările publicului și considerând existența incertitudinilor care persistă în domeniul științific, considerațiile privind adoptarea măsurilor de precauție este justificată în multe situații practice. O cerință majoră este ca astfel de măsuri să fie aplicate în spiritul normativelor internaționale să fie respectată încrederea în autoritățile sanitare și, de asemenea, în știință.
2. Câmpurile magnetice pot fi caracterizate pe baza mai multor parametri care se aplică intensității câmpului electric și magnetic, de exemplu amplitudine, frecvență, polarizare. Caracterizarea unuia sau mai multora dintre acești parametri și modul în care ar putea fi legați de expunerea umană pot servi drept obiective potențiale ale unui program de măsurare.
3. Diferitele metode de măsurare pot fi utilizate pe baza cerințelor de evaluare selectate, a condițiilor de expunere, a instrumentelor utilizate. Costul evaluării expunerii în termeni financiari și timp poate avea, de asemenea, un impact considerabil asupra selectării unei metode de măsurare.
4. Procedura va descrie pas cu pas etapele care trebuie urmate, utilizând metodele posibile indicate, pentru a atinge obiectivele de măsurare. Protocolul poate indica în mod explicit factori precum cerințele instrumentului (de exemplu, banda de trecere, dimensiunea sondei, intervalul de magnitudine), locația măsurătorilor și durata măsurătorilor.
5. Schițele locațiilor și zonelor în care se vor face măsurători sunt adesea foarte utile. Planurile instalațiilor electrice ale clădirilor pot fi utile în identificarea surselor de câmp din birouri și clădiri similare, deși trebuie evitată dependența excesivă de o astfel de documentare din cauza modificărilor neînregistrate ale sistemului electric al clădirii. În timp ce multe surse de câmpuri magnetice sunt vizibile, cum ar fi iluminare aeriană sau echipamente electrice și electronice, altele nu sunt, cum ar fi aparatele electrice în camere adiacente sau de la etajele superioare sau inferioare. În timpul studiilor pilot, pot fi luate decizii cu privire la distanța dintre măsurători, locațiile de măsurare, dimensiunea eșantionului, formatele fișelor tehnice, chestionarele pentru clasificarea posturilor / sarcinilor etc.
6. Odată cu progresele dezvoltării tehnologice, locul de muncă prezintă de obicei creșterea nivelurilor de expunere electromagnetică. Rămâne parțial necunoscut impactul negativ asupra sănătății legat de expunerea la câmpuri magnetice de joasă frecvență. Pe măsură ce studiul asupra oricărui tip de pericol posibil continuă, este esențial să se măsoare adevărata expunere la câmpul magnetic la locul de muncă. De exemplu, în aria Uniunii Europene au valabilitate documente comunitare (cum este Directiva 2013/35EU) prin care se întărește obligația responsabililor locurilor de muncă să efectueze astfel de evaluări periodice.
7. Este foarte important ca obiectivele unui program de măsurare să fie clar specificate de la început. Este necesară o definiție clară a obiectivelor pentru determinarea instrumentelor și a cerințelor de calibrare, de exemplu, banda de trecere a instrumentelor de măsură, gama dinamică, frecvențele de calibrare.
8. Combinarea dispozitivelor electrice din mediul spitalicesc ar putea prezenta riscuri de compatibilitate electromagnetică. Există dispozitive medicale cu emisii magnetice, care oferă funcții terapeutice esențiale pacienților, dar problemele de compatibilitate electromagnetică ar putea avea consecințe grave.

9. Compatibilitatea electromagnetică este o problemă nu doar pentru producătorii de dispozitive medicale, ci și pentru cei care instalează sau utilizează echipamente medicale. Respectarea standardelor de compatibilitate trebuie să țină seama și de alte condiții de instalare, precum funcționarea în spații reduse ca suprafață a unui număr mare de surse, care pot fi utilizate simultan în împrejurări de urgență.

10. Se pot obține rezultate prin promovarea înțelegerii problemelor interferențelor electromagnetice, precum și a mecanismelor de evitare a acestora. O mulțime de probleme potențiale pot fi rezolvate asigurând o separare suficientă a surselor și, de asemenea, a victimele interferenței: de exemplu, prin plasarea echipamentelor medicale despre care se știe că produc un nivel ridicat de câmp magnetic, cum ar fi aparatul de diatermie sau dispozitivele de electro-chirurgie într-o parte diferită a clădirii față de echipamente sensibile, cum ar fi EEG.

11. În ceea ce privește lucrarea prezentată, s-a făcut doar un studiu introductiv cu privire la compatibilitatea electromagnetică în mediul spitalicesc, având în vedere numărul limitat de medii clinice unde s-au desfășurat campaniile de măsurători, cât și variabilitatea amplasamentelor sau dinamica dotărilor cu diferite echipamente terapeutice. Diferențele de imunitate între dispozitivele electromagnetice legate de același model nu au fost examinate. În ceea ce privește alte medii, ar putea fi identificați și alți emițători, cum ar fi aparatul de diatermie sau scannerul RMN. În același timp, emisiile falsificate, precum și impactul lor asupra dispozitivelor electrice nu au fost analizate, deoarece pentru a emite un puncte de vedere bine motivat asupra unui astfel de subiect este necesar un studiu aprofundat dedicat subiectului.

12. Prezenta cercetare este un exemplu util de estimare a nivelului de expunere la câmpurile magnetice de foarte joasă frecvență din jurul scannerului RMN (zona tehnică), care se investighează destul de greu, pe de o parte datorită restricțiilor de acces în timpul programului de lucru, apoi prin faptul că sarcinile profesionale ale persoanelor care lucrează în acele medii necesită o serie de schimbări pe parcursul unei zile lucrătoare. Analizele informațiilor complexe despre spectrul de frecvență au arătat că frecvența de 50 Hz a dominat în spațiile studiate.

13. Această lucrare oferă rezultatele măsurătorilor câmpurilor magnetice de joasă frecvență în camerele de lângă scannerul RMN, luând în considerare variabilitatea spațială în ceea ce privește distribuția câmpului magnetic. De asemenea, acest studiu a identificat impactul scannerului RMN asupra câmpului magnetic de joasă frecvență în camera de consultații, precum și în camera tehnică. Prin urmare, nivelurile de expunere maxime legate de zone au fost identificate în camera tehnică, mai precis 4,00 μT în prima locație și 3,30 μT în a doua locație.

14. Fiecare valoare a inducției câmpului magnetic cercetat a fost cu mult sub 1 mT - nivelul de referință recomandat de ICNIRP [2, 3] pentru protecția personalului de efectele acute ale expunerii într-un câmp de 50 Hz. Cu toate acestea, metoda implementată poate avea un nivel limitat de precizie în cazul determinării componentelor de frecvență ale câmpurilor mai slabe și inadecvată pentru detectarea acestor semnale magnetice tranzitorii, complexe sau de înaltă frecvență care pot fi prezentate la nivelul analizat. Studiarea semnalelor nedetectate, precum și nivelul de conformitate al acestora cu reglementările ICNIRP nu intră în sfera de aplicare a acestei lucrări.

15. Au fost elaborate reguli și metode standard de evaluare pentru măsurarea nivelurilor de expunere. Este încă o provocare să comparăm rezultatele din diferite studii care au adoptat diverse strategii de evaluare.

16. Conform rezultatelor obținute, expunerea profesională a personalului medical în sălile de operație este sub nivelurile permise de documentele normative internaționale. Prin urmare, riscurile unei astfel de expuneri nu sunt substanțiale în ceea ce privește supraexpunerea la radiații neionizante.

17. Analiza a arătat că intensitatea câmpului magnetic în sălile de operație este influențată de diverși factori, care includ: numărul de monitoare și echipamente alimentate cu energie electrică, tipul procedurii efectuate, amplasarea în raport cu liniile principale alimentare electrică, distanța față de surse la care lucrează în mod constant personalul (în mod deosebit, o expunere mai ridicată este tipică pentru anesteziști), precum și iluminarea sălii de operație.

18. Aranjamentul și structura sălii de operație sunt caracteristici importante pentru protecția la expunere în câmp magnetic a personalului implicat. O propunere recomandă ca personalul să mențină o distanță sigură față de sursele și instalațiile electrice. În plus, în scopul reducerii nivelurilor inducției magnetice în sălile de operație, sursele de alimentare și de siguranță pentru sistemul electric ar trebui plasate în afara sălilor de operație. Alte măsuri de precauție pot fi luate de organizatorii locului de muncă și de personal prin reducerea puterii surselor sau a funcționării simultane dacă este posibil, mărirea distanței față de surse și aplicarea unor soluții de ecranare.

7. CONTRIBUȚII ORIGINALE ALE AUTORULUI

Contribuțiile originale ale tezei de doctorat pot fi rezumate în trei direcții principale:

1. Sondaj privind percepția personalului medical calificat din spitalele irakiene, privind compatibilitatea electromagnetică și problemele de interferență electromagnetică.
2. Studiu privind metodele și instrumentele pentru măsurători de câmp magnetic de joasă frecvență.
3. Măsurători ale câmpului magnetic de joasă frecvență pe o perioadă de trei ani în mai multe domenii ale mediului medical - studii de caz în spitalele irakiene.

Datele originale (rezultatele sondajului și rezultatele campaniilor de măsurători) procesate și discutate în mod adecvat sunt deja publicate în mai multe lucrări științifice în reviste și la conferințe de inginerie electrică.

Contribuțiile detaliate sunt prezentate în continuare.

1. În ceea ce privește sondajul, am efectuat următoarele operațiuni:

- 1.1. Am efectuat sondajul în 47 de spitale din Irak.

- 1.2. Am început studiul întrebând personalul calificat din spital (ingineri biomedicali, medici și echipa de fizică medicală), despre problemele de interferență electromagnetică legate de echipamentele utilizate în prezent și de practicile locale - conștientizarea fenomenelor de compatibilitate electromagnetică și de interferență electromagnetică din mediul medical, măsuri preventive, probleme observate, atitudini de corecție.

- 1.3. Rezultatele sondajului au fost prelucrate și prezentate sub formă statistică și au fost trase concluzii adecvate.

2. În ceea ce privește studiul metodelor și instrumentelor pentru măsurători de câmp magnetic de joasă frecvență, teza include contribuții originale precum:

- 2.1. Studiul literaturii în domeniul instrumentelor și metodelor de supraveghere pentru a caracteriza anumite zone și surse în ceea ce privește expunerea la câmp magnetic.

- 2.2. Am prezentat un test executat pentru verificarea acurateții instrumentului de măsurare a inducției magnetice după o singură axă EXTECH 480823, care este utilizat pentru campania de măsurare în acest studiu. În încercarea de a găsi nivelurile incertitudinilor măsurătorilor și de a valida utilizarea aparatului de măsurare a câmpului magnetic EXTECH, a fost efectuat un studiu comparativ de măsurători, cu alte două instrumente de mai mare precizie de la Narda STS Solutions, tip EFA-300. Programul de testare a fost realizat în Laboratorul de Compatibilitate Electromagnetică de la Facultatea de Energetică, Universitatea „Politehnica” din București.

3. În ceea ce privește programul de măsurători, care este în întregime original, au fost analizate următoarele studii de caz și s-au efectuat operațiile prezentate:

- 3.1. Am identificat locații sensibile în spitale, în ceea ce privește nivelurile mai ridicate de câmp magnetic, medii care ar putea fi considerate ca având risc de expunere pentru personalul medical; au fost evaluate șase spitale din Bagdad.

- 3.2. Am măsurat inducția magnetică de joasă frecvență în mai multe departamente din 3 spitale; departamentele fiecărui spital au fost selectate pe baza serviciilor furnizate în fiecare departament și în funcție de dispozitivele medicale cu emisii de câmp magnetic și care sunt operaționale în cadrul acestora.

Spitalul A - măsurătorile au fost efectuate în 4 secții: Spitalizare (149 măsurători în 14 camere), Unitate de îngrijire critică (74 măsurători în 6 camere), Terapie intensivă (127 măsurători în 10 camere, Urgențe (98 măsurători în 12 camere);

Spitalul B - măsurătorile au fost efectuate în 4 secții: Chirurgie (121 măsurători în 5 camere), Urgențe (151 măsurători în 16 camere), Terapie intensivă (48 măsurători în 8 camere), Terapie intensivă neonatală (32 măsurători în 4 camere) ;

Spitalul C - măsurătorile au fost efectuate în 4 secții: Cabinete de consultanță (120 măsurători în 20 camere), Stomatologie (120 măsurători în 20 camere), Obstetrică și ginecologie (184 măsurători în 11 camere), Laborator clinic (86 măsurători în 3 camere), Urgențe (67 măsurători în 8 camere), Terapie intensivă (60 măsurători în 10 camere).

Pentru toate zonele prezentate, am studiat și reprezentat valorile maxime, minime și medii ale inducției magnetice de joasă frecvență și am comparat rezultatele cu nivelurile de câmp magnetic sugerate de standardul EN 60601-1-2: 2014. Acest standard specifică faptul că dispozitivele medicale electrice trebuie să suporte un câmp magnetic de 37,8 mG la frecvența industrială și am căutat metode de reducere care să poată fi aplicate local în acele zone.

3.3. Am măsurat inducția magnetică de joasă frecvență în două spitale în apropierea unei zone de imagistică prin rezonanță magnetică (RMN) (locațiile sunt identificate pe scurt drept A și B); zona de cercetare este împărțită chiar în patru secțiuni în fiecare locație: sala de așteptare, camera de consultații, zona holului, camera tehnică. Pentru toate zonele menționate, protocolul de măsurare a inclus următoarele: măsurătorile au fost efectuate la 3 înălțimi distincte față de podea (0,3 m, 1 m, 2 m) și în două condiții, adică echipamentul RMN era funcțional (PORNIT) și neoperativ (OPRIT); distribuția spațială a inducției magnetice de joasă frecvență a fost determinată în fiecare caz și comparată cu recomandările ICNIRP 2010 pentru un nivel de referință profesional de 1 mT. O analiză statistică a tuturor datelor este, de asemenea, inclusă pentru o vedere generală și comparație.

3.4. Deoarece sala de operații este o zonă în care câmpul magnetic este deosebit de ridicat, datorită multor dispozitive de intervenție electrice, care pot funcționa simultan, o campanie de măsurători a fost efectuată și în astfel de camere, într-un singur spital. Măsurătorile au fost efectuate în diferite zone, în cele douăsprezece săli de operație, la poziții în picioare caracteristice pentru personalul intervențional și de asemenea, în cea mai apropiată poziție față de pacient și în poziția anestezistului, în timp ce toate dispozitivele funcționează. În al doilea rând, inducția magnetică a fost măsurată la distanțe diferite de dispozitivele critice. Măsurătorile sunt efectuate în timp ce funcționează un singur dispozitiv și toate celelalte dispozitive sunt oprite. Protocolul testării a fost realizat pentru măsurarea inducției magnetice de joasă frecvență, pe baza standardului EN 61786-1:2014. Reprezentarea grafică a tuturor datelor este, de asemenea, inclusă pentru o vizualizare generală și pentru comparație.

BIBLIOGRAFIE

- [1] *Repacholi M*, "Concern that 'EMF' magnetic fields from power lines cause cancer." *Sci Total Environ* (2012), doi:10.1016/j.scitotenv.2012.03.030, page 3.
- [2] *ICNIRP Guidelines*, "Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz to 100 KHz)," *Health Physics*, Vol. 99, No. 6, 2010, pp. 825-827.
- [3] *Standard C95.6* – "Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields", 0–3 kHz. issued by the IEEE International Committee on Electromagnetic Safety.
- [4] The "International Electrotechnical Commission" <http://www.iec.ch/>.
- [5] *Ahlbom A, Cardis E, Green A, Linet M, Savitz D, Swerdlow A*.2001. "Review of the epidemiologic literature on EMF and Health. *Environ Health Perspect*" 109:911–933.
- [6] *Feychting M*. "Non-cancer EMF effects related to children". *Bioelectromagnetics* 2005;(Suppl 7):S69–74.
- [7] *European Parliament and Council (2013)* "Directives 2013/35EU of the European Parliament and of Council of 26 Jun. 2013 on minimal safety and health requirements regarding exposures of the workers to risks that arise from the physical agents (EMFs) (20-th individual Directive in the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391EEC) and repealing Directive 2004/40EC". *Off J Eur Union L* 179, 1–21.
- [8] *WHO*, "Extremely Low Frequency Fields: Radiation and Environmental Health," World Health Organization, Geneva, 2007.
- [9] *IEEE Std C95.6™*, "IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0 - 3 kHz," 2002.
- [10] *M. Zahner*, "Analysis, Methods, and Tools for Electromagnetic Field Exposure Assessment and Control": ETH Zurich, 2017.
- [11] *A. Ahlbom, U. Bergqvist, J. Bernhardt, J. Cesarini, M. Grandolfo, M. Hietanen, et al.*, "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)," *Health physics*, vol. 74, pp. 494-521, 1998.
- [12] *IEEE* "Recommended Practice for Measurements and Computations of Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields with Respect to Human Exposure to Such Fields, 0 Hz to 100 kHz", IEEE Standard C95.3.1-2010, 2010;
- [13] *J. L. Gould*, "Magnetic field sensitivity in animals," *Annual Review of Physiology*, vol. 46, pp. 585-598, 1984.
- [14] *L. Kheifets, A. Ahlbom, C. Crespi, G. Draper, J. Hagihara, R. Lowenthal, et al.*, "Pooled analysis of recent studies on magnetic fields and childhood leukaemia," *British journal of cancer*, vol. 103, p. 1128, 2010.
- [15] *J. Grellier, P. Ravazzani, and E. Cardis*, "Potential health impacts of residential exposures to extremely low frequency magnetic fields in Europe," *Environment international*, vol. 62, pp. 55-63, 2014.
- [16] *M. Soffritti, E. Tibaldi, M. Padovani, D. G. Hoel, L. Giuliani, L. Bua, et al.*, "Synergism between sinusoidal-50 Hz magnetic field and formaldehyde in triggering carcinogenic effects in male Sprague–Dawley rats," *American journal of industrial medicine*, vol. 59, pp. 509-521, 2016.
- [17] *Q. Ma, C. Chen, P. Deng, G. Zhu, M. Lin, L. Zhang, et al.*, "Extremely low-frequency electromagnetic fields promote in vitro neuronal differentiation and neurite outgrowth of embryonic neural stem cells via up-regulating TRPC1," *PloS one*, vol. 11, p. e0150923, 2016.

- [18] M. A. Martínez, A. Úbeda, J. Moreno, and M. Á. Trillo, "Power frequency magnetic fields affect the p38 MAPK-mediated regulation of NB69 cell proliferation implication of free radicals," *International journal of molecular sciences*, vol. 17, p. 510, 2016.
- [19] C. N. Giachello, N. S. Scrutton, A. R. Jones, and R. A. Baines, "Magnetic fields modulate blue-light-dependent regulation of neuronal firing by cryptochrome," *Journal of Neuroscience*, vol. 36, pp. 10742-10749, 2016.
- [20] I. Liorni, M. Parazzini, B. Struchen, S. Fiocchi, M. Rössli, and P. Ravazzani, "Children's personal exposure measurements to extremely low frequency magnetic fields in Italy," *International journal of environmental research and public health*, vol. 13, p. 549, 2016.
- [21] ITU-R, "Nomenclature of the frequency and wavelength bands used in telecommunications," Recommendation V.431-8, 2015.
- [22] ICNIRP, "Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (up to 300 GHz)", *Health Physics* 74, 4, pp. 494–522, 1998: <http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>
- [23] IEEE, "Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0-3 kHz", IEEE Standard C95.6-2002; on line at: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=1046043>
- [24] EU Document, Document 2010/C83/02, "Charter of Fundamental Rights of the European Union, Official Journal of the EU", Vol. 53, 30 March 2010, pp. 389–403; <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2010:083:0389:0403:EN:PDF>
- [25] European Parliament, "Directive 2004/40/EC of the European Parliament and of the Council on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to risks arising from physical agents (electromagnetic fields)", (18th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC) Official Journal of the European Communities.
- [26] ICNIRP, "Exposure to Static and Low Frequency Electromagnetic Fields, Biological Effects and Health Consequences (0–100 kHz)" – Review of the Scientific Evidence, Munich meeting 2003; <http://www.icnirp.org/en/publications/article/static-andlow-frequency-review-2003.html>
- [27] M. Morega, I.M. Băran, A.M. Morega, "Evaluation of Environmental Low Frequency Magnetic Fields in Occupational Exposure", Proc. 8th Int. Conf. and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE-2014), Iași, Romania, October 2014, pp. 522–527.
- [28] Executive Decision no. 1136 of 30.08.2006 "on minimum requirements of security and health, regarding workers' exposure to risks generated by electromagnetic fields", Romanian Official Monitor, part I, no. 769/2006.
- [29] Executive Decision no. 520 of 20.07.2016 "on minimum requirements of security and health, regarding workers' exposure to risks generated by electromagnetic fields", Romanian Official Monitor, part I, no. 576 from 28.07.2016 (transposition of Directive 2013/35/EU).
- [30] G. Alecu, A. Voina, W. Kappel, C. Mateescu, "Safety and health legislative requirements regarding workers exposure to risks generated by electromagnetic fields", *Rev. Roum. Sci. Techn. – Électrotechn. et Énerg.*, 53, 2, pp. 7–12, 2008.
- [31] M. Morega, V.C. Calotă, "From Directive 2013/35/EU to National Legislation. Transposition, Implementation and Assessment Work", Proc. Int. Conf. on Applied and Theoretical Electricity (ICATE-2016), Craiova, Romania, October 2016.
- [32] EC Documents, D-G for Employment, Social Affairs and Inclusion Unit B3, "Non-binding guide to good practice for implementing Directive 2013/35/EU Electromagnetic Fields, Vol. 1: Practical Guide, Vol. 2: Case Studies", Vol. 3: Guide for SMEs, 2015; on-line at: <http://ec.europa.eu/social/main.jsp?catId=738&langId=en&pubId=7845>

- [33] E. CENELEC, "50499: 2008-12," "Procedure for the assessment of the exposure of workers to electromagnetic fields". Classificazione CEI, pp. 106-23.
- [34] E. CENELEC, "50413: 2008," "Basic Standard on Measurement and Calculation Procedures for Human Exposure to Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (0 Hz–300 GHz)", 2008.
- [35] I. E. Commission, "Electric and Magnetic Field Levels Generated by AC Power Systems: Measurement Procedures with Regard to Public Exposure": IEC, 2009.
- [36] I. Standard, "61786. Measurement of low frequency magnetic and electric fields with regard to exposure of human beings. Special requirements for instruments and guidance for measurements," August 1998, 1998.
- [37] Council Recommendation of 12 July 1999 "on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields" (0 Hz to 300 GHz) (1999/519/EC), Official Journal of the European Communities no. L 199/59.
- [38] E. Commission, "Non-binding guide to good practice for implementing Directive 2013/35/EU Electromagnetic Fields-Volume 2- Case Studies," ed: Publications Office of the European Union Luxembourg, 2015.
- [39] E. Commission, "Non-binding guide to good practice for implementing Directive 2013/35/EU Electromagnetic Fields- Guide for SMEs," ed: Publications Office of the European Union Luxembourg, 2015.
- [40] E. Commission, "Non-binding guide to good practice for implementing Directive 2013/35/EU Electromagnetic Fields-Volume 1-Practical guide," ed: Publications Office of the European Union Luxembourg, 2015.
- [41] Zahner Marco "Analysis, Methods, and Tools for Electromagnetic Field Exposure Assessment and Contro" , *Doctoral Thesis*, 2017.
- [42] D. P. Pappas. "High Sensitivity Magnetic Field Sensor Technology overview," Jun, 2016.
- [43] T. Instruments, "DRV425 Fluxgate Magnetic-Field Sensor," SBOS729 datasheet, Oct, 2015.
- [44] R. Fagaly, "Superconducting quantum interference device instruments and applications," Review of scientific instruments, vol. 77, p. 101101, 2006.
- [45] <https://www.narda-sts.com/en/wideband-emf/elt-400>.
- [46] IEC, "Measurement of DC magnetic fields, AC magnetic and electric fields from 1 Hz to 100 kHz with regard to exposure of human beings – Part. 1. Requirements for measuring instruments", IEC Standard EN61786-1, 2013, <http://www.en-standard.eu>
- [47] IEEE, "Guide for the Measurement of Quasi-Static Magnetic and Electric Fields", IEEE Standard 1460–1996 (reaffirmed in 2002), on line at: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=582155>
- [48] ICNIRP, "Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (up to 300 GHz)", Health Physics 74, 4, pp. 494–522, 1998: <http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>
- [49] Lunca Eduard, David Valeriu, "Wideband Three-axis Magnetic Field Sensor", Proceedings of the 10th International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering, Oct. 18-19 2018, Iasi, Romania, pp. 693-696, ISBN:978-1-5386-5062-2, ISSN: 2471-6855
- [50] EN 62233:2008. "Measurement methods for electromagnetic fields of household appliances and similar apparatus with regard to human exposure" (IEC 62233:2005, modified)
- [51] EXTECH Instruments, "Electromagnetic Field Meter, Model 480823, User manual 480823-en-GB_V2.3"

- [52] Ken K Karipidis, "Measurement of Residential Power Frequency Magnetic Fields," Technical Report 134, March 2002, ISSN 0157-1400.
- [53] Mariappan, P.M., et al., "Effects of electromagnetic interference on the functional usage of medical equipment by 2G/3G/4G cellular phones": A review. Journal of Advanced Research, 2016. 7(5): p. 727-738.
- [54] Gerke, D., "Electromagnetic compatibility in medical equipment: a guide for designers and installers". 2018: Routledge.
- [55] Ishida, K., et al., "Evaluation of Electromagnetic Fields in a Hospital for Safe Use of Electronic Medical Equipment". Journal of medical systems, 2016. 40(3): p. 46.
- [56] Sardana, S.R., I. Kabir, and S.K. Arya, "A Way To Assess Functional Status And Improve Equipment Utilization In A Tertiary Care Institute". Indian Journal Of Applied Research, 2018. 7(11).
- [57] Al-Shaikh, B. and S.G. Stacey, "Essentials of Equipment in Anaesthesia, Critical Care, and Peri-Operative Medicine" E-Book. 2017: Elsevier Health Sciences.
- [58] Food Drug Admin., "Electromagnetic Compatibility Standard for Medical Devices": U.S. Dept. Health, Education, Welfare, PublicHealth Service, , Bur. Medical Devices, 1979: FDA MDS-201-0004
- [59] IEC, "International Standard IEC 601-1-2," Int. Electrotech. Commission, 1993.
- [60] IEC, "International Standard IEC 1000-4-3," Int. Electrotech. Commission, 1995.
- [61] Lapinsky, S.E. and A.C. Easty, Electromagnetic interference in critical care. Journal of critical care, 2006. 21(3): p. 267-270.
- [62] Morrissey, J.J., M. Swicord, and Q. Balzano, Characterization of electromagnetic interference of medical devices in the hospital due to cell phones. Health physics, 2002. 82(1): p. 45-51.
- [63] Tan, K.-S., I. Hinberg, and J. Wadhwani. "Electromagnetic interference in medical devices": Health Canada's past and current perspectives and activities. in Electromagnetic Compatibility, 2001. EMC. 2001 IEEE International Symposium on. 2001. IEEE.
- [64] Ott, H.W., "Electromagnetic compatibility engineering". 2011: John Wiley & Sons.
- [65] Mengxia, Z., et al., "Radiation Interference Suppression Technology on Medical Electronic Equipment Based on Near Field Diagnosis". Journal of Nanjing Normal University (Engineering and Technology Edition), 2016(2): p. 5.
- [66] Urden, L.D., K.M. Stacy, and M.E. Lough, "Critical Care Nursing-E-Book: Diagnosis and Management". 2017: Elsevier Health Sciences.
- [67] J. Tikkanen, "Wireless electromagnetic interference (emi) in healthcare facilities," Blackberry White Paper, 2009.
- [68] Witters D.M. and P. S. Ruggera, "Electromagnetic Compatibility (EMC) of Powered Wheelchairs and Scooters", Proceedings of the RESNA '94 (Rehabilitation Society of North America) Annual Conference Tuning in to the 21st Century Through Assistive Technology (July 1994) page 359- 60.
- [69] Ruggera P. S. and E. R O'Bryan, "Studies of Apnea Monitor Radio frequency Electromagnetic Interference", Proceedings of the 13th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Vol. 13, No. 4, (1991), pages 1641-1643.
- [70] Casamento J., P. Ruggera, D. Witters, H. Bassen, "Applying Standardized Electromagnetic Compatibility Testing Methods for Evaluating Radio Frequency Interference Of Ventilators" (in draft)
- [71] Silberberg J. L., "Performance Degradation of Electronic Medical Devices Due to Electromagnetic Interference", Compliance Engineering (Fall 1993) pages 25-39.

- [72] *Public Hearing, 103 U.S. Congress, Information, Justice, Transportation, and Agriculture Subcommittee, Rep. G. Condit (CA) Chairman, "Do Cellular and other Wireless Devices Interfere with Sensitive Medical Equipment?", Rayburn House Office Building (October 5, 1994).*
- [73] *Antila S., "Where Shoplifting Bolsters Profits, New York Times, Money section", (December 12, 1994) page 13.*
- [74] *Baskim R., Haywire, "segment on CBS television show Eye-to- Eye with Connie Cheung", (December 1, 1994.*
- [75] *'Banana Skins', UK EMC Journal, vol. 15, p. 8, February 1998.*
- [76] *Jeffrey L Silberberg, "Performance degradation of electronic medical devices due to electromagnetic interference", Compliance Engineering vol. 10 p. 25 1993.*
- [77] *Medical Devices Agency, "Electromagnetic Compatibility of Medical Devices with Mobile Communications", MDA DB 9702, 1997.*
- [78] *Christopher Marshman, "EMC Management and Planning in the Hospital Environment to minimise Hazards' IPEM Conference on 'Practical Methods for Mitigation of EMI and EMF Hazards within Hospitals" 28th January 2003.*
- [79] *EN55011 1998 (+ Amendment A2:2002) – "Industrial, scientific and medical (ISM) radio frequency equipment - Radio disturbance - Characteristics - Limits and methods of measurement".*
- [80] *Christopher Marshman, "EMC Management and Planning in the Hospital Environment to minimise Hazards" IPEM Conference on 'Practical Methods for Mitigation of EMI and EMF Hazards within Hospitals' 28th January 2003.*
- [81] *Cătălin Luca, Alexandru Sălceanu, "Study upon electromagnetic interferences inside an intensive care unit", Proceedings of the 2012 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering – EPE", 25-27 Oct. 2012, DOI:10.1109/ICEPE.2012.6463878.*
- [82] *European Parliament and Council of the European Union, "Directive 2014/30/EU," Brussels, 2014.*
- [83] *Federal Communications Commission. "Quick labelling guide". Accessed December 1, 2016.*
- [84] *International Electrotechnical Commission (IEC). Who we are. Accessed December 5, 2016. [Online]. Available: <http://www.iec.ch/about/profile/>*
- [85] *Developing international standards. Accessed December 5, 2016. [Online]. Available: <http://www.iec.ch/about/activities/standards.htm>*
- [86] *IEC 60601:2014(E) Medical electrical equipment — Part 1-2: "General requirements for basic safety and essential performance — Collateral Standard: Electromagnetic disturbances – Requirements and tests," International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland, International Standard, February 2014.*
- [87] *IEC 60601:2007(E) Medical electrical equipment — Part 1-2: "General requirements for basic safety and essential performance — Collateral Standard: Electromagnetic disturbances – Requirements and tests," International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland, International Standard, March 2007.*
- [88] *IEC 60601:2004(E) Medical electrical equipment — Part 1-2: "General requirements for basic safety and essential performance — Collateral Standard: Electromagnetic disturbances – Requirements and tests," International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland, International Standard, November 2001.*
- [89] *IEC 60601:1993(E) Medical electrical equipment — Part 1-2: "General requirements for basic safety and essential performance — Collateral Standard: Electromagnetic disturbances –*

- Requirements and tests,” International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland, International Standard, April 1993.
- [90] *Alnamir, H.* “Occupational Exposure to Power Frequency Magnetic Fields in Intensive Care Unit Rooms”, in 2018 Proceedings of the International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE), Craiova, Romania, October 2018
- [91] *IEC*, “Measurement of DC magnetic fields, AC magnetic and electric fields from 1 Hz to 100 kHz with regard to exposure of human beings – Part. 1. Requirements for measuring instruments”, IEC Standard EN61786-1, 2013; <http://www.en-standard.eu>.
- [92] *ICNIRP* “statement on diagnostic devices using non-ionizing radiation: existing regulations and potential health risks”, published in *Health Phys.* 112(3):305–321; 2017.
- [93] *ICNIRP*. “Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields”. *Health Physics* (2009) 96(4):504–14. doi:10.1097/01.hp.0000343164.27920.4a.
- [94] *IEEE. C95.1-2005* “IEEE Standard for Safety Levels With Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz”. Piscataway, NJ, USA: IEEE/Institute of Electrical and Electronics Engineers Incorporated (2006).
- [95] *R. Stam and S. Yamaguchi-Sekino*, “Occupational exposure to electromagnetic fields from medical sources,” *Industrial Health*, vol. 56(2), pp. 96-105, November 2017.
- [96] *Chadwick P.* “Assessment of electromagnetic fields around magnetic resonance imaging (MRI) equipment”. UK Health and Safety Executive 2007;RR570. Accessed 21 December 2011. Available from: <http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr570.pdf>.
- [97] *M. A. Fuentes et. al.*, “Analysis and Measurements of Magnetic Field Exposures for Healthcare Workers in Selected MR Environments,” *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 55, no. 4, April 2008.
- [98] *Stehling SMK, Turner R.* “Echo-planar imaging theory, technique and application”. New York: Springer, 1998. p. 662.
- [99] *Crozier S, Liu F.* “Numerical evaluation of the fields caused by body motion in or near high-field MRI scanners”. *Prog Biophys Mol Biol* 2005;87:267–278.
- [100] *I. Pavel, V. David and A. C. Podaru*, “A Survey of the Magnetic Field in a MRI Area,” 2018 *International Conference and Exposition on Electrical And Power Engineering (EPE)*, Iasi, 2018, pp. 0572-0577, doi: 10.1109/ICEPE.2018.8559645.
- [101] *Gobba F. et al.*, “Occupational and environmental exposure to extremely low frequency magnetic fields: a personal monitoring study in a large group of workers in Italy”, *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 2011, pp 634-645.
- [102] *E. Hanada*, “The electromagnetic environment of hospitals: How it is affected by the strength of electromagnetic fields generated both inside and outside the hospital,” *Ann Ist Super Sanita* 2007; 43:208–17.
- [103] *Ionel Pavel, David Valeriu*, (“Cercetări privind supravegherea câmpurilor magnetice generate de sistemele de alimentare cu energie electrică”) <http://www.doctorat.tuiasi.ro>
- [104] *M. Morega, I.M. Baran, A.M. Morega, K.L. Hussain Alnamir*, “On the assesement of human exposure to low frequency magnetic field at the workplace,” Vol. 63, 2, pp. 162-171, Bucharest, 2018, ISSN: 0035-4066.
- [105] *Hotărâre nr. 520/2016*, “Cerințele minime de securitate și sănătate referitoare la expunerea lucrătorilor la riscuri generale de câmpuri electromagnetice”, *Monitorul Oficial*, 2016, nr. 576.
- [106] *David V., Nica I., Salceanu A., Breniuc L.*, (2009), “Monitoring of environmental low frequency magnetic fields”, *Environmental Engineering and Management Journal*, vol. 8, 2009, pp. 1253 -1261, ISSN: 1582-9596, eISSN: 1843-3707
- [107] *McRobbie DW.* “Occupational exposure in MRI”. *Br J Radiol.* 2012;85(1012):293–312. doi:10.1259/bjr/30146162.
- [108] *I. Magne et. al.*, “Exposure of children to extremely low frequency magnetic fields in France: Results of the EXPERS study,” *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, vol 27, pp. 505-512, 2017.

- [109] *I. Eliyahu, et. al*, “24-h personal monitoring of exposure to Power Frequency Magnetic Fields in adolescents” Results of a National Survey,” *Environmental Research* 158, pp. 295-300, June 2017.
- [110] *Dewey M, Schink T, Dewey CF*. “Claustrophobia during magnetic resonance imaging”: cohort study in over 55,000 patients. *J Magn Reson Imag* 2007;26:1322–7.
- [111] *Norris DG*. “High field human imaging”. *J Magn Reson Imag* 2003;18:519–29.
- [112] *Medicines and Healthcare Products Regulatory Agency*. “Safety guidelines for magnetic resonance imaging equipment in clinical use”. MHRA DB2007. London, UK: Medicines and Healthcare Products Regulatory Agency; 2007.
- [113] *Kanal E, Borgstede JP, Barkovich AJ, Bell C, Borgstede JP, Bradley WG, et al*. “American College of Radiology white paper on MR safety”. *AJR Am J Roentgenol* 2001;178:1335– 47.
- [114] *Ciorap Radu, Ciorap Mariana, David Valeriu, Andrițoi Doru, Corciovă Călin*, “Analysis of brain activity in the case of magnetic field exposure”, *Environmental Engineering and Management Journal*, vol. 12/6, 2013, pp. 1223 -1230, ISSN: 1582-9596, eISSN: 1843-3707
- [115] *David Valeriu, Sălceanu Alexandru, Ciorap Radu*, “Acquisition and Analysis of Biomedical Signals in Case of People Exposed to Electromagnetic Fields“, In: *Pervasive and Mobile Sensing and Computing for Healthcare, Smart Sensors, Measurement and Instrumentation* book series, SSMI, vol. 2, pp. 269-295, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2013
- [116] *M. Cucu, M. Vlad, C. L. Popescu and M. O. Popescu*, “Determination of electromagnetic risk area in electrical equipments,” 2013 8TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADVANCED TOPICS IN ELECTRICAL ENGINEERING (ATEE), Bucharest, 2013, pp. 1-4, doi: 10.1109/ATEE.2013.6563450.
- [117] *M. Feychting*, “Non-cancer EMF effects related to children,” *Bioelectromagnetics* 2005;(Suppl 7):S69–74.
- [118] *A. Ahlbom*, “Neurodegenerative diseases, suicide and depressive symptoms in relation to EMF,” *Bioelectromagnetics* 22, 2001; (Suppl 5): S132–S143.
- [119] *Hanada E, Takano K, Antoku Y, Matsumura K, Watanabe Y, Nose Y*. “A practical procedure to prevent electromagnetic interference with electronic medical equipment”. *J Med Syst*. 2002 Feb;26(1):61-5. doi: 10.1023/a:1013094904976. PMID: 11777312.
- [120] *Ahlbom A., Day N. et al.*, “A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukemia”, *British Jurnal of Cancer*, vol. 83, no. 5, 16 June 2000, pp. 692-698.
- [121] *Nica Ionuț, David Valeriu, Pavel Ionel, Sălceanu Andrei*, “Automatic long term Survey of Magnetic Fields in Residential Areas. Instrumentation and Measurements”, *Environmental Engineering and Management Journal*, Vol.15/12, 2016, pp. 2631-2640, ISSN: 1582-9596, eISSN: 1843-3707
- [122] *Kamiya K, Ozasa K, Akiba S, Niwa O, Kodama K, Takamura N, Zaharieva EK, Kimura Y, Wakeford R*: “Long-term effects of radiation exposure on health”. *Lancet* 386, 469–478 (2015)
- [123] *Hareuveny R, Kavet R, Shachar A, Margalio M, Kheifets L*: “Occupational exposures to radiofrequency fields: Results of an Israeli national survey”. *J Radiol Prot* 35, 429 (2015)
- [124] *Pavel Ionel, David Valeriu, Donose Costel*, “A Measurement System for the Automatic Survey of the Low Frequency Magnetic Field”, *Proceedings of the 10th International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering*, Oct. 18-19 2018, Iasi, Romania, pp. 568-571, ISBN:978-1-5386-5062-2, ISSN: 2471-6855
- [125] *Akdag MZ, Dasdag S, Aksen F, Isik B, Yilmaz F*: “Effect of ELF magnetic fields on lipid peroxidation, sperm count”, p53, and trace elements. *Med Sci Monit* 12, BR366–BR371 (2006)
- [126] *Mostafa RM, El Hefnawi A, Moustafa K, Ali F, Moustafa Y, Kamal S, Hefnawi MH*: “Effect of 50 Hz, 10 mTesla magnetic field on sex hormones level in male rats”. *J Med Sci Res* 1, 31–36 (2007)

- [127] *Amara S, Abdelmelek H, Salem MB, Abidi R, Sakly M*: “Effects of static magnetic field exposure on hematological and biochemical parameters in rats”. *Braz Arch Biol Technol* 49, 889–895 (2006)
- [128] *Havas M*: “When theory and observation collide: Can non-ionizing radiation cause cancer?”. *Environ Pollut* 221, 501–555 (2017)
- [129] *Hardell L, Sage C*: “Biological effects from electromagnetic field exposure and public exposure standards”. *Biomed Pharmacother* 62, 104–109 (2008)
- [130] *Selmaoui B, Lambrozo J, Touitou Y*: “Endocrine functions in young men exposed for one night to a 50-Hz magnetic field. A circadian study of pituitary, thyroid and adrenocortical hormones”. *LifeSci* 61, 473–486 (1997)
- [131] *Lacy-Hulbert A, Metcalfe JC, Hesketh R*: “Biological responses to electromagnetic fields”. *FASEB J* 12, 395–420 (1998).
- [132] *Selmaoui B, Lambrozo J, Touitou Y*: “Endocrine functions in young men exposed for one night to a 50-Hz magnetic field”. *LifeSci* 61, 473–486 (1997).
- [133] *Matavulj M, Rajkovic V, Uscebrka G, Lukac T, Stevanovic D, Lazetic B*: “Studies on the possible endocrinological effects of 50Hz electromagnetic field”. *Cent Eur J Occup Environ Med* 6, 183–188 (2000).
- [134] *Forgacs Z, Thuróczy G, Paksy K, Szabo LD*: “Effect of sinusoidal 50 Hz magnetic field on the testosterone production of mouse primary Leydig cell culture”. *Bioelectromagnetics* 19, 429–431 (1998).
- [135] *Stam R, Yamaguchi-Sekino S*: Occupational exposure to electromagnetic fields from medical sources. *Ind Health* 56, 96–105 (2017).
- [136] *Hallett M*. (2007), “Transcranial magnetic stimulation: a primer”. *Neuron* 55, 187–99.
- [137] *Kikuchi M, Amemiya Y, Egawa S, Onoyama Y, Kato H, Kanai H, Saito Y, Tsukiyama I, Hiraoka M, Mizushina S, Yamashita T, Ikeda T, Kozuka Y, Sugiura K* (1993) “Guide for the protection of occupationally-exposed personnel in hyperthermia treatment from the potential hazards to health”. *Int J Hyperthermia* 9, 613–24.
- [138] *Tzima E, Martin CJ* (1994) “An evaluation of safe practices to restrict exposure to electric and magnetic fields from therapeutic and surgical diathermy equipment”. *Physiol Meas* 15, 201–16.
- [139] *Wilén J*. (2010), “Exposure assessment of electromagnetic fields near electrosurgical units”. *Bioelectromagnetics* 31, 513–8.
- [140] *E.K. Svenska*, “Computers and office machines: Measuring methods for electric and magnetic near fields,” 2nd ed. Stockholm, Sweden, 1995, Report No. SS 436-14-90.
- [141] *Vila J, Bowman JD, Richardson L, Kincl L, Conover DL, McLean D, Mann S, Vecchia P, van Tongeren M, Cardis E*: “A source-based measurement database for occupational”