

CERCETĂRI CU PRIVIRE LA NIVELELE CÂMPULUI DE JOASĂ FRECVENȚĂ DE LA BORDUL NAVELOR MARITIME ȘI MĂSURI DE PROTECȚIE A PERSONALULUI

Prof. univ. dr. ing. Vasile DOBREF, Prof. em.univ. dr. ing. Alexandru SOTIR,
Ș. I. dr. Petrică POPOV

Academia Navală „Mircea cel Bătrân”, Constanța, România

REZUMAT. Cercetarea de față își propune să evalueze, pe bază de măsurători, dar și prin modele de calcul și simulare, nivelele câmpului electromagnetic de joasă frecvență de la bordul navelor maritime, în scopul identificării unor mijloace de protecție adecvate pentru personal. Se au în vedere echipamentele de producere și distribuție a energiei electrice, precum și cele de acționare și conversie. Această cercetare vine în continuarea preocupărilor specialiștilor noștri pe linia identificării riscului electromagnetic de pe navele maritime. Justificarea acestei abordări este dată de faptul că, spre deosebire de cercetarea efectelor negative ale câmpurilor de medie și înaltă frecvență asupra organismului uman, preocuparea pentru evaluarea riscurilor câmpurilor de joasă frecvență este mult mai redusă.

Cuvinte cheie: câmp de joasă frecvență, risc electromagnetic, măsuri de protecție.

ABSTRACT. This research aims to evaluate low frequency electromagnetic field levels on board ships, based on measurements, calculation and simulation models, in order to identify suitable protection for personnel. Are taken into consideration producing and distributing equipment for electric energy also the drives and conversion equipment. This research is a continuation of our specialists concerns on the line of identifying electromagnetic risk for seagoing vessels. The justification for this approach is given by the fact that the concern for the risk assessment of low frequency electromagnetic fields is much lower unlike the research of negative effects on the human body for medium and high frequency fields.

Keywords: low frequency field; electromagnetic risk; protective measures.

1. INTRODUCERE

O navă maritimă reprezintă un „sistem electromagnetic” de o mare complexitate, conținând, într-un spațiu limitat, echipamente și instalații cu puteri de la câteva zeci de Watt la câțiva MW, care operează într-o gamă largă de frecvențe, de la 50/60Hz până la câțiva GHz. Ca urmare, personalul de la bord este supus, printe altele, și acțiunii câmpurilor electrice și magnetice de joasă frecvență, în regim continuu, cu posibile consecințe negative pentru sănătate, atât pe termen scurt, cât, mai ales, pe termen mediu și lung.

Tot mai multe semnale, care vin din partea comunității științifice internaționale, atenționează asupra riscului la care este expus organismul uman în câmp electromagnetic, solicitând a se lua măsuri de protecție adecvate. Sunt vizate motoarele instalațiilor de acționare, generatoarele, cablurile de alimentare, transformatoarele, convertizoarele statice.

În funcție de frecvență, câmpurile electromagnetice pot fi: statice, de foarte joasă frecvență, de joasă frecvență, radiofrecvență și microunde

Aceste tipuri de câmpuri se regăsesc în standardele internaționale sub următoarea clasificare [1]:

- **SEF; SMF** - Static electric and magnetic fields - 0 - 3 Hz;
- **ELF** - Extreme low frequency- 3 - 3000 Hz;
- **VLF** - Very low frequency — 3 - 300 kHz;
- **RF** - Radio frequency — 0.3 - 300 MHz;
- **Microwaves** 0.3 - 300 GHz.

Dacă în urmă cu 20 de ani se considera că sunt periculoase pentru organism în special câmpurile de radiofrecvență (de la câteva zeci de MHz la sute de MHz) și microundele (de la 300MHz la 300GHz), astăzi se știe că și câmpurile de joasă frecvență – electrice și magnetice – sunt deosebit de periculoase; acestea pot induce în țesuturile umane tensiuni de ordinul milivolților, comparabile cu tensiunile de lucru ale „pompele fiziologice celulare”, perturbând, cu timpul, metabolismul celular. Astfel de efecte biologice dăunătoare depind de intensitatea câmpului, de nivelul (densitatea) de energie a acestuia, de durata expunerii.

Dacă preocupările specialiștilor referitoare la studiul câmpurilor de înaltă frecvență sunt numeroase, nu

NIVELELE CÂMPULUI DE JOASĂ FRECVENȚĂ DE LA BORDUL NAVELOR MARITIME

aceiași lucru se poate spune despre și despre câmpurile de joasă frecvență. Acest lucru justifică în mare măsură preocupările noastre pentru această temă de cercetare.

Într-un asemenea context, cercetarea influenței câmpului electromagnetic asupra stării de sănătate a personalului de la bord a devenit o cerință stringentă.

Scopul acestei cercetări constă în identificarea de metode și tehnologii de protecție, capabile să atenueze, până la nivele nepericuloase, efectele negative ale acestor influențe, pornind de la cele mai simple – oboseala accentuată și afectarea autocontrolului, cu implicații asupra luării deciziilor, până la cele mai grave, cum este cancerul [2].

Efectele biologice ale expunerii la câmpurile electromagnetice de joasă frecvență au fost revizuite de către Agenția Internațională pentru Cercetare a Cancerului - IARC (International Agency for Research on Cancer), Comisia Internațională pentru Protecția împotriva Radiațiilor Neionizante -ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) și Organizația Mondială a Sănătății - WHO (World Health Organization) [3]. Studii recente care arată faptul că astfel de câmpuri electromagnetice de frecvență extrem de joasă (0-100 Hz) afectează numeroase funcții biologice la nivelul organismului. În acest sens, concluziile actuale ale literaturii științifice privind expunerea pe termen lung a corpului uman la câmpul electric și magnetic ELF (extrem de joasă frecvență) includ afecțiuni precum [4]:

- sistemul neuroendocrin;
- tulburări neurodegenerative;
- tulburări cardiovasculare;
- sistemul de reproducere și dezvoltare;
- cancer.

Tabelul 1 Niveluri de referință pentru expunerea în mediile ocupaționale la câmpuri electrice și magnetice variabile în funcție de timp (valori RMS neperturbate) - ICNIRP

Gama de frecvență	E intensitate câmp electric (kV/m)	H intensitate câmp magnetic (A/m)	B inducție câmp magnetic (T)
1 Hz–8 Hz	20	$1,63 \times 10^5 / f^2$	$0,2 / f^2$
8 Hz–25 Hz	20	$2 \times 10^4 / f$	$2,5 \times 10^{-2} / f$
25 Hz – 300 Hz	$5 \times 10^2 / f$	8×10^2	1×10^{-3}

Tabelul 2. Niveluri de referință pentru expunerea în mediile publice la câmpuri electrice și magnetice variabile în timp (valori RMS neperturbate) – ICNIRP

Gama de frecvență	E intensitate câmp electric (kV/m)	H intensitate câmp magnetic (A/m)	B inducție câmp magnetic (T)
1 –8 Hz	5	$3,2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^{-2} / f^2$
8 –25 Hz	5	$4 \times 10^3 / f$	$5 \times 10^{-3} / f$
25–300 Hz	5	$1,6 \times 10^2$	2×10^{-4}

Un ajutor neprețuit în această problemă a venit de la organismele internaționale de standardizare, civile și militare, care dezvoltă încă din anii '70, normele și standardele de siguranță pentru personalul care lucrează în condiții de risc electromagnetic. Este foarte important să se sublinieze faptul că organismele internaționale au sugerat luarea de măsuri de protecție pentru personalul de la bord, chiar dacă rezultatele cercetării științifice nu prezintă un grad ridicat de certitudine. În tabelele 1 și 2 sunt date nivelurile de referință pentru valori ale intensității câmpului electric, intensității câmpului magnetic și inducției câmpului magnetic, atât pentru mediile ocupaționale cât și pentru cele publice [5] [6].

2. EFECTUAREA MĂSURĂTORILOR

Măsurătorile pentru câmpul electromagnetic de joasă frecvență au fost efectuate la bordul navei de instruire „Mircea” cu dispozitivul Spectrum Analyzer NF-5030. Acest analizor poate efectua analize și măsurători în domeniul frecvenței (1Hz - 30MHz) pentru multe situații, cum ar fi: puterea de tracțiune; linii electrice și cabluri electrice; teste de conformitate EMC: EN55011, EN55022, EN55014, EN61000-6-3, 61800-3 C1, ICNIRP, VDE0848; transformatoare; surse de alimentare și armonici; monitoare TFT și LCD și televizoare; panouri solare; tomografie cu rezonanță magnetică [7].

Locația a fost aleasă în zona camerei motorului și au fost luate în considerare următoarele aspecte:

- compatibilitatea dispozitivului de măsurare cu lățimea de bandă a sursei monitorizate (Diesel Generator);
- faptul că măsurătorile efectuate în regiunea de câmp apropiat pot fi modificate de sonda dispozitivului de măsurare;
- măsurători pentru factorii de mediu la distanța de un metru de la sursă.

3. REZULTATE ȘI DISCUȚII

Măsurătorile au vizat o sursă de alimentare de la bord, reprezentată de un Diesel Generator cu următoarele caracteristici:

- Putere aparentă - $S = 135 \text{ kVA}$;
- Putere activă - $P_a = 107 \text{ kW}$;
- Frecvența de lucru - $f = 50 \text{ Hz}$;
- Tensiunea efectivă - $U = 400 \text{ V}$.

Nava a fost deconectată de la sursa de alimentare la țârm și a fost pornit Diesel Generatorul. Au fost efectuate măsurători de câmp electric și magnetic pentru trei situații de încărcare ale Diesel Generatorului:

Cazul I. Consumatori:

1. Ventilatoarele instalației de climatizare;

CERCETARE ȘI EXPERTIZĂ INGINEREASCĂ LA CONSTANȚA

2. Pompa de incendiu.

Parametrii de încărcare a Diesel Generatorului:

- $P_a = 28$ kW;
- $I = 50$ A;
- $f = 50$ Hz;

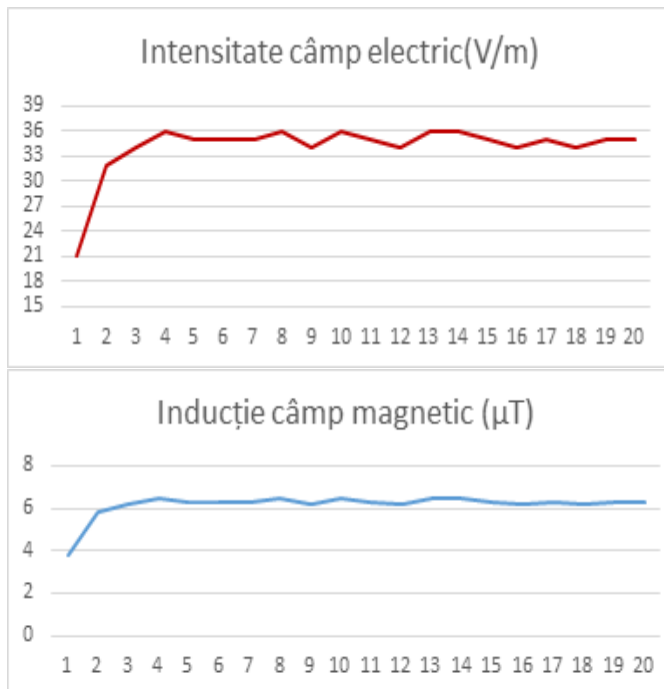
- $U = 400$ V;

- factor de putere - $\cos\phi = 0,809$.

Valorile pentru câmpul electric și magnetic la frecvența de 50 Hz pentru 20 de citiri la un interval de 30 secunde, sunt prezentate în tabelul 3.

Tabelul 3

Intensitate CE (V/m)	Intensitate CM (μ T)	Intensitate CE (V/m)	Intensitate CM (μ T)
21	3,7989	35	6,3315
32	5,7888	34	6,1506
34	6,1506	36	6,5124
36	6,5124	36	6,5124
35	6,3315	35	6,3315
35	6,3315	34	6,1506
35	6,3315	35	6,3315
36	6,5124	34	6,1506
34	6,1506	35	6,3315
36	6,5124	35	6,3315



Cazul II. Consumatori:

1. Ventilatoarele instalației de climatizare;
2. Pompa de incendiu;
3. Pompa de răcire a motorului principal.

Parametrii de încărcare a Diesel Generatorului:

- $P_a = 40$ kW;
- $I = 65$ A;

- $f = 50$ Hz;

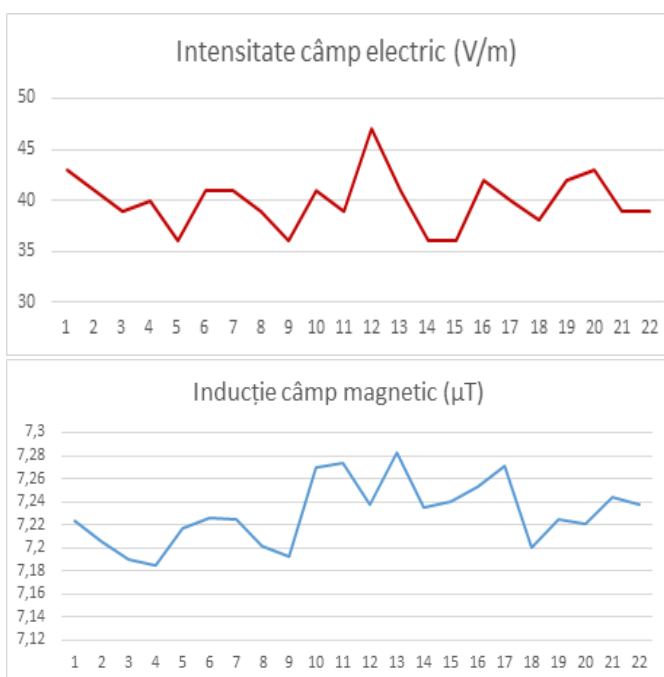
- $U = 400$ V;

- factor de putere - $\cos\phi = 0,892$.

Valorile pentru câmpul electric și magnetic la frecvența de 50 Hz pentru 22 de citiri la un interval de 30 secunde, sunt prezentate în Tabelul 4

Tabelul 4

Intensitate CE (V/m)	Intensitate CM (μ T)	Intensitate CE (V/m)	Intensitate CM (μ T)
43	7,2236	39	7,2739
41	7,205	47	7,2376
39	7,1899	41	7,2827
40	7,1851	36	7,2352
36	7,2166	36	7,2402
41	7,2259	42	7,2533
41	7,2252	40	7,271
39	7,2015	38	7,2007
36	7,1928	42	7,2253
41	7,2692		



NIVELELE CÂMPULUI DE JOASĂ FRECVENȚĂ DE LA BORDUL NAVELOR MARITIME

Cazul III. Consumatori:

1. Ventilatoarele instalației de climatizare;
 2. Pompa de incendiu;
 3. Pompa de răcire a motorului principal;
 4. Ventilator introducere Camera Motoarelor
 5. Ventilator extracție Camera Motoarelor
- Parametrii de încărcare a Diesel Generatorului:
- $P_a = 40 \text{ kW}$;

- $I = 65 \text{ A}$;
- $f = 50 \text{ Hz}$;
- $U = 400 \text{ V}$;
- factor de putere - $\cos\varphi = 0,892$

Valorile pentru câmpul electric și magnetic la frecvența de 50 Hz pentru 20 de citiri la un interval de 30 secunde, sunt prezentate în tabelul 5.

Tabelul 5

Intensitate CE (V/m)	Intensitate CM (μT)	Intensitate CE (V/m)	Intensitate CM (μT)
44	7,9596	48	8,6832
44	7,9596	47	8,5023
45	8,1405	45	8,1405
45	8,1405	48	8,6832
45	8,1405	45	8,1405
45	8,1405	44	7,9596
46	8,3214	47	8,5023
46	8,3214	47	8,5023
46	8,3214	43	7,7787
46	8,3214	44	7,9596

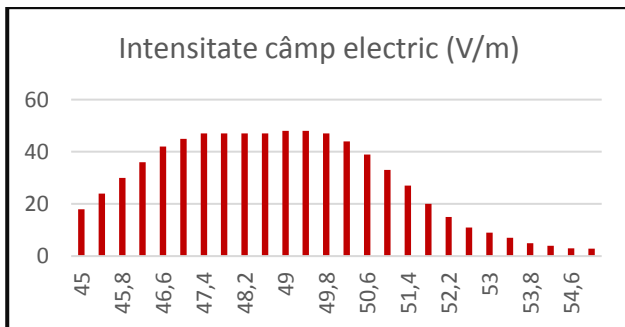
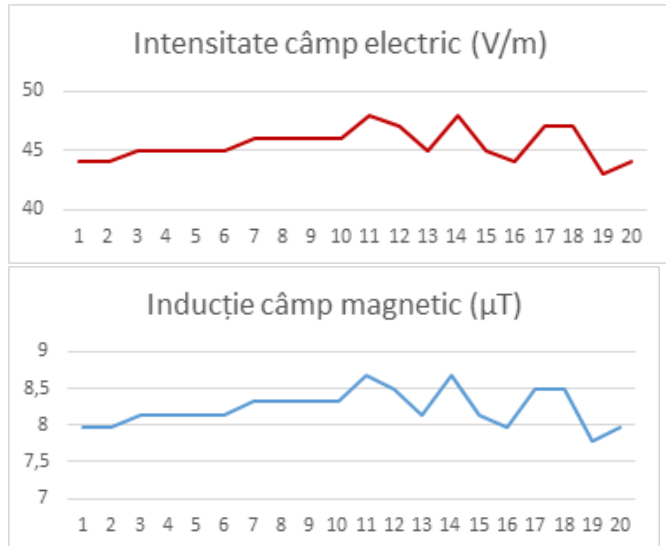


Fig. 1

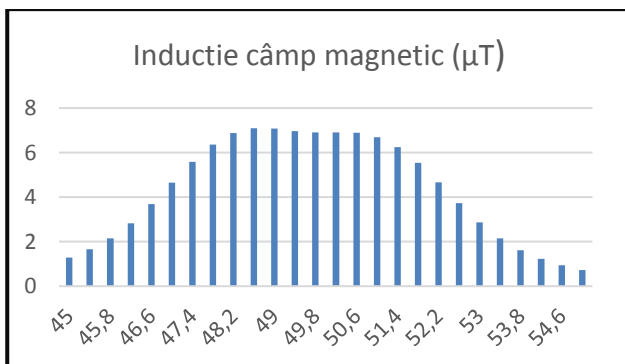


Fig. 2

Au fost calculate valorile medii ale intensității câmpului electric și ale inducției câmpului magnetic pentru întreaga gamă de 45-50Hz, indicate în graficele din **figurile 1 și 2**. Din analiza graficelor se poate observa un decalaj între maximele valorilor

pentru intensitate câmp electric și inducție câmp magnetic pentru întreg spectru analizat, decalaj ce poate fi justificat prin faptul că pentru frecvențe industriale nu se poate vorbi de o legătură între cele două mărimi, ca în cazul câmpurilor de radiații. În acest caz cele două mărimi ar reprezenta intensitatea curentului electric (prin inducția magnetică), respectiv tensiunea de la bornele generatorului (prin intensitatea câmpului electric).

CONCLUZII

Academia Navală „Mircea cel Bătrân” dezvoltă, de peste 20 de ani, teme de cercetare pe linia identificării nivelelor de câmp electromagnetic de la bordul navelor maritime, în scopul evaluării efectelor negative asupra personalului și identificării de mijloace de protecție adecvate. Din analiza datelor referitor la standardele analizate nu s-au observat depășiri ale limitelor admisibile pentru gama de frecvență în care s-au făcut măsurătorile. Acest lucru se datorează puterilor mici pentru care a fost încărcat generatorul de la bord.

Date relevante pentru acest tip de studiu se pot obține pentru regimul de marș al navei acolo unde gradul de încărcare a generatoarelor este mult mai ridicat. De asemenea, pe baza unui astfel de studiu se pot efectua măsurători și la nave mai mari, pentru puteri mult mai mare instalate la bord.

BIBLIOGRAFIE

- [1] ****US Environmental Protection Agency, „*Ionizing & Non-Ionizing Radiation*,” 9 July 2011
- [2] R.H. Funk, T.K. Monsees *Effects of electromagnetic fields on cells: physiological and therapeutical approaches and molecular mechanisms of interaction*, Cells Tissues Organs, 182 (2006), pp. 59–78
- [3] Christina L. Ross, Mevan Siriwardane Graça Almeida-Porada, Christophe r D. Porada, Peter Brink, George J.Christ, Benjamin S.Harrison - *The effect of low-frequency electromagnetic field on human bone marrow stem/progenitor cell differentiation*, Science Direct, Stem Cell Research (2015) 15 ,96– 108
- [4] Magda Havas *Biological Effects of Low Frequency Electromagnetic Fields* - D. Clements-Croome (Ed.). 2004. Electromagnetic Environments and Health in Buildings. Spon Press, London, 535 pp.
- [5] *****Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)- ICNIRP Guidelines*
- [6] *****ICNIRP Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields*, April 2009, Volume 96, Number 4
- [7] **** Gauss Meter & EMC Spectrum Analyzer Series SPECTRAN® 50xx.

Despre autori

Prof. univ. dr. ing. **Vasile DOBREF**

Facultatea de Inginerie Navală, Departamentul de Inginerie Electrică și Electronică Navală, Academia Navală „Mircea cel Bătrân”, Constanța, România, email:vasile.dobref@anmb.ro

Prof. em.univ. dr. ing. **Alexandru SOTIR**

Facultatea de Inginerie Navală, Departamentul de Inginerie Electrică și Electronică Navală, Academia Navală „Mircea cel Bătrân”, Constanța, România.

Ș.l. dr. **Petrică POPOV**

Facultatea de Inginerie Navală, Departamentul de Inginerie Electrică și Electronică Navală, Academia Navală „Mircea cel Bătrân”, Constanța, România, email: petrica.popov@anmb.ro