

**DIGITALIZAREA PROCESULUI DE EVALUARE A
EXPUNERII UMANE LA CÂMPURI ELECTRICE ȘI
MAGNETICE**

Raport intermediar 1 (max. 10 pagini)

Director: Conf.dr.ing.ec. Nicoleta-Adina GIURGIUMAN 

Membrii: Asist.dr.ing. Adrian BOJIȚĂ 

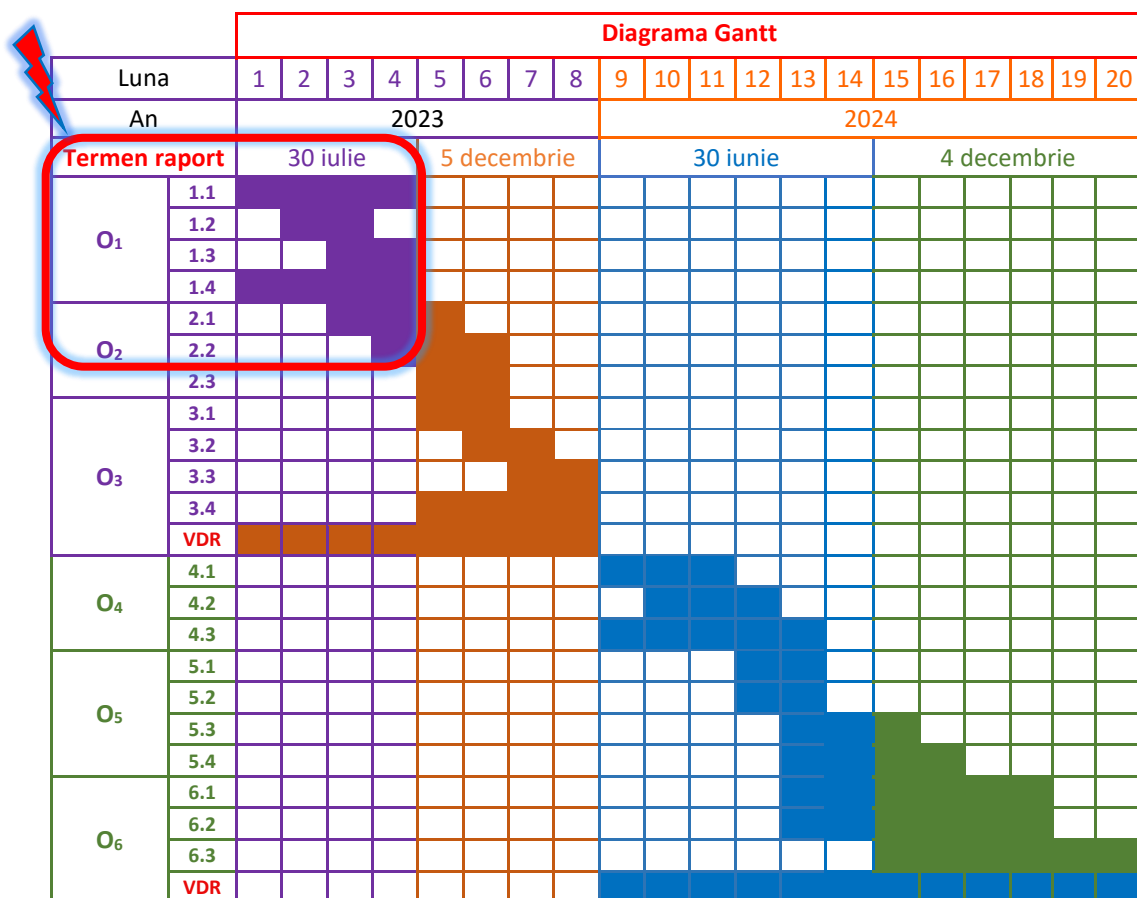
Asist.drd.ing. Marian-Răzvan GLIGA 

Obiectivul general al Proiectului vizează dezvoltarea, implementarea și testarea unei aplicații software pentru digitalizarea procesului de evaluare a expunerii umane la câmpuri electrice și magnetice.

Astfel **obiectivele specifice** care vor sta la baza îndeplinirii obiectivului general propus a fi realizat prin intermediul Proiectului sunt:

- O₁) dezvoltarea unui algoritm pentru generarea computerizată a soluțiilor analitice necesare calculului câmpului electric și respectiv a câmpului magnetic;
- O₂) conceperea unei baze de date care să cuprindă standardele în vigoare pentru expunerea umană la câmpuri electrice și magnetice pentru stabilirea limitelor regăsite în standard pentru fiecare tip de expunere în parte;
- O₃) construirea unui trepied mobil și controlarea automată a deplasării acestuia pe liniile de măsură (robotizarea trepiedului utilizat pentru realizarea măsurătorilor experimentale);
- O₄) algoritm pentru înregistrarea vocală a valorilor mărimilor măsurate, stocarea acestora în fișiere de tip text și reprezentarea grafică a datelor;
- O₅) dezvoltarea unui echipament mobil pentru măsurarea automată a câmpului electric și a câmpului magnetic montat pe trepied;
- O₆) integrarea algoritmilor și modulelor dezvoltate, implementate, testate și validate în aplicația software pentru digitalizarea procesului de evaluare a expunerii umane la câmpuri electrice și magnetice.

Conform *Diagramei Gantt*, prezentată în propunerea de proiect, pe parcursul acestei etape s-au finalizat activitățile aferente *Obiectivului 1* și s-au început primele două activități din cadrul celui de al 2-lea *Obiectiv*.



Pentru a sublinia cât mai clar ce implică cele două obiective și respectiv activitățile care au fost abordate pe parcursul acestei perioade, aprilie – iulie 2023, în Tabelul 1 sunt prezentate aceste obiective împreună cu activitățile asociate fiecăruia.

Tabel 1 - Plan de lucru

An	Obiective specifice	Activități asociate
2023	<p style="text-align: center;"><i>O₁</i> Dezvoltarea unui algoritm pentru generarea computerizată a soluțiilor analitice necesare calculului câmpului electric și respectiv a câmpului magnetic</p>	1.1. Studiul sistematic al literaturii de specialitate
		1.2. Elaborarea unui modul de calcul a intensității câmpului electric generat de o linie electrică de transport și distribuție
		1.3. Elaborarea unui modul de calcul a intensității câmpului magnetic generat de o linie electrică de transport și distribuție
		1.4. Conceperea, dezvoltarea, implementarea, verificarea și validarea unui algoritm de calcul al câmpului electric și magnetic generat de o linie electrică de transport și distribuție.
	<p style="text-align: center;"><i>O₂</i> Conceperea unei baze de date care să cuprindă standardele în vigoare pentru expunerea umană la câmpuri electrice și magnetice pentru stabilirea limitelor regăsite în standard pentru fiecare tip de expunere în parte</p>	2.1. Analiza, alegerea, cumpărarea standardelor în vigoare din domeniul expunerii umane la câmpuri electromagnetice
		2.2. Realizarea unei baze de date care să includă aceste standarde
2.3. Dezvoltarea algoritmului de selecție a limitelor de expunere la câmpuri electromagnetice folosind baza de date elaborată în vederea integrării acesteia în aplicația finală.		

1. Dezvoltarea unui algoritm pentru generarea computerizată a soluțiilor analitice necesare calculului câmpului electric și respectiv a câmpului magnetic

1.1. Studiul sistematic al literaturii de specialitate

Din studiul literaturii de specialitate se poate observa faptul că evaluarea expunerii umane la câmpuri electrice și magnetice reprezintă un subiect de mare interes atât științific cât și public, datorită efectelor biologice ale câmpurilor electromagnetice asupra corpului uman, riscurile cauzate de acestea asupra organismelor vii fiind foarte bine evidențiate în cercetările prezentate în [1] - [4]. Studii cu privire la expunerea publică la câmpuri electrice și magnetice sunt redată în articolul [4] care detaliază calculul câmpului electromagnetic în jurul și în apropierea liniilor electrice de înaltă tensiune (LEA) care trec peste unele case, fabrici și școli, în [5] unde autorii monitorizează câmpul electromagnetic în zona din imediata vecinătate a unei stații de înaltă tensiune (HV) din Novi Sad, Serbia și în [6] unde Chervenkov analizează câmpul electric și magnetic generat de o LEA într-o zonă urbană din Bulgaria.

Foarte multe studii se regăsesc în interiorul stațiilor HV, acolo unde în primul rând trebuie respectată legislația cu privire la expunerea profesională [7]- [13]. În acest context, un subiect fierbinte pentru proiectanții de utilități și cercetătorii biomedicali din domeniu, este prezentat de S.M.Ghania, în [7], unde acesta face o evaluare atât analitică cât și numerică a riscului probabil al câmpurilor electromagnetice produse în interiorul stației HV.

În concluzie, așa cum reiese și din studiul literaturii de specialitate, este bine cunoscut faptul că în evaluarea câmpului electric și magnetic generat de conductoarele LEA se consideră valabil regimul staționar de funcționare al câmpului electromagnetic, adică, mărimile de câmp electric și cele de câmp magnetic sunt analizate independent. În acest context, paragrafele care urmează vor expune modelele matematice, respectiv algoritmi implementați pentru determinarea pe cale analitică a câmpului electric și respectiv magnetic, generate în vecinătatea conductoarelor LEA.

1.2. Elaborarea unui modul de calcul a intensității câmpului electric generat de o linie electrică de transport și distribuție

Calculul intensității câmpului electric în vecinătatea conductoarelor LEA (respectiv a barelor din stații) se realizează pornind de la teoria conductoarelor lungi și subțiri în prezența solului [14, 15]. Astfel, pornind de la legile fundamentale ale câmpului electromagnetic se poate

determina expresia *distribuției de potențial a unui conductor filiform* pentru cazul în care se impune potențialul conductorului V_0 :

$$V = V_0 \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{\ln \frac{2h}{r_0}} \quad (1)$$

unde:

- r_1 este distanța de la conductorul real la punctul de calcul;
- r_2 este distanța de la conductorul imagine la punctul de calcul;
- h este distanța de la sol a conductorului real;
- r_0 este raza conductorului,

iar în final expresia *distribuției de potențial pentru cazul unei linii electrice trifazate*:

$$\underline{V} = V_0 \sum_{k=1}^3 e^{j \frac{2k\pi}{3}} \frac{\ln \frac{r_{2k}}{r_{1k}}}{\ln \frac{2h_k}{r_{0k}}} \quad (2)$$

unde:

- r_{1k} este distanța de la fiecare conductor real;
- r_{2k} este distanța de la fiecare conductor imagine;
- h_k - distanța de la sol a fiecărui conductor real;
- r_{0k} - raza fiecărui conductor.

În ceea ce privește *intensitatea câmpului electric* în vecinătatea :

➤ unui singur conductor aceasta are expresia: $\vec{E} = \frac{V_0}{\ln \frac{2h}{r_0}} \left(\frac{\vec{r}_2}{r_2^2} - \frac{\vec{r}_1}{r_1^2} \right)$ (3)

➤ iar în cazul unei linii electrice trifazate expresia este: $\vec{E} = V_0 \sum_{k=1}^3 e^{j \frac{2k\pi}{3}} \frac{\left(\frac{\vec{r}_{2k}}{r_{2k}^2} - \frac{\vec{r}_{1k}}{r_{1k}^2} \right)}{\ln \frac{2h_k}{r_{0k}}}$ (4)

1.3. Elaborarea unui modul de calcul a intensității câmpului magnetic generat de o linie electrică de transport și distribuție

Pentru calculul *intensității câmpului magnetic* în vecinătatea conductoarelor LEA s-a ajuns la următoarele relații:

➤ în cazul unui conductor filiform și foarte lung: $\vec{H} = \frac{I}{2\pi r} \vec{r}_1$ (5)

unde:

- r este distanța de la conductor la punctul de calcul;
- \vec{r}_1 este un vector de modul egal cu r , dar rotit față de vectorul de poziție r cu $\pi/2$ în sens invers trigonometric.

➤ iar în cazul unei LEA trifazate: $\vec{H} = \frac{I}{2\pi} \sum_{k=1}^3 e^{j \frac{2k\pi}{3}} \frac{\vec{r}_{1k}}{r_k^2}$ (6)

Prin intermediul acestor relații putem determina, în final, expresia de calcul a *inducției magnetice pentru cazul unei LEA trifazate*:

$$\vec{B} = \mu_0 \frac{I}{2\pi} \sum_{k=1}^3 e^{j \frac{2k\pi}{3}} \frac{\vec{r}_{1k}}{r_k^2} \quad (7)$$

1.4. Conceperea, dezvoltarea, implementarea, verificarea și validarea algoritmilor de calcul a câmpului electric și magnetic generat de o linie electrică de transport și distribuție

Software-ul de calcul a componentelor câmpului electromagnetic, denumit EMF, permite determinarea potențialului electric (V), a intensității câmpului electric (E), a intensității câmpului magnetic (H), precum și a inducției magnetice (B), atât în puncte, cât și de-a lungul unui traseu de calcul/măsură. Determinarea câmpului electric și magnetic este realizată sub

formă analitică, adaptată pentru diferite configurații de LEA, astfel încât parametrii geometrici (distanțe, înălțimi, secțiuni, etc.) și electrici (tensiunea electrică, intensitatea curentului electric) ai acestora să poată fi modificați cu ușurință de către utilizatori. Algoritmul de calcul (back-end) este realizat în limbajul de programare PYTHON 3.11. S-a ales acest limbaj de programare deoarece pune la dispoziția utilizatorului o multitudine de biblioteci cu funcții matematice de calcul scalar și vectorial, dar și o multitudine de biblioteci utile pentru realizarea reprezentărilor grafice.

Interfața grafică a programului dezvoltat este concepută în același limbaj de programare. În acest sens, datele sunt preluate din casetele alfanumerice în care sunt introduse detaliile modelului studiat. Datele introduse sunt stocate în variabile corespunzătoare fiecărei mărimi. Din interfața grafică a programului dezvoltat, prezentată în Figura 1, se poate distinge secțiunea din partea stânga ferestrei, secțiune destinată introducerii datelor problemei studiate. În partea dreaptă a ferestrei se poate distinge secțiunea de afișare a graficelor de variație a mărimilor electrice, cât și secțiunea butoanelor de acțiune și afișarea valorilor calculate într-un punct. Un calcul se poate relua la apăsarea oricărui buton, nefiind necesară închiderea ferestrei programului.

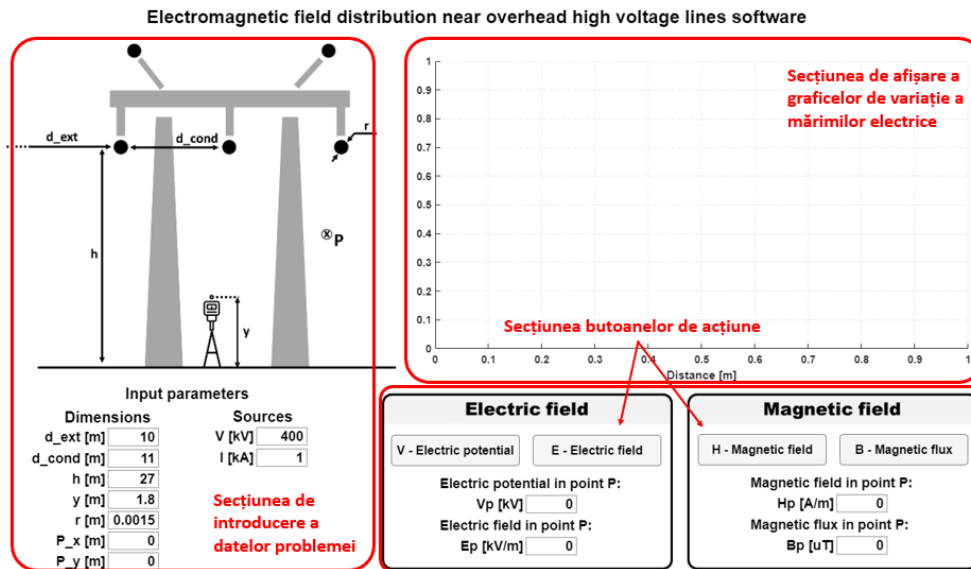


Fig. 1 Interfața programului EMF

Studiu de caz – LEA Roșiori-Gădălin zona Bonțida

Pentru a arăta utilitatea practică a programului software dezvoltat și în final pentru a verifica și valida programul, s-a ales ca studiu de caz Linia electrică aeriană care face legătura între Roșiori și Gădălin, mai exact am considerat zona din vecinătatea stâlpului nr. 38 din zona Bonțida, Cluj. Pentru a avea datele geometrice reale s-a efectuat o analiză topografică în zona respectivă, urmărind în principiu determinarea înălțimilor conductoarelor LEA pentru 3 trasee considerate de interes, și anume, primul traseu s-a considerat în imediata vecinătate a stâlpului, unde conductoarele, pentru acest caz, sunt situate la 27 m față de sol, al 2-lea traseu, la un sfert din săgeată, caz în care conductoarele sunt la 14 m față de sol și al 3-lea traseu în zona săgeții, unde conductoarele se află la 11 m față de sol, așa cum se prezintă în schița din Figura 2.

În Figura 3 este expus instrumentul de măsurare a câmpului electric și magnetic de frecvență joasă, Maschek ESM – 100, fabricat în Germania, care a fost utilizat pentru măsurarea câmpului electric și magnetic pe cele 3 trasee. Aparatul este proiectat pentru a măsura câmpul electric și magnetic asociat atât instalațiilor de transport și distribuție a energiei electrice, cât și a echipamentelor electrice de uz casnic și industrial. Domeniul de frecvență al acestuia este cuprins 5 Hz–400 kHz, iar în ce privește domeniul de măsură, permite măsurarea câmpului electric între 100 mV/m–100 kV/m și respectiv, a câmpului magnetic între 1 nT–20 mT.

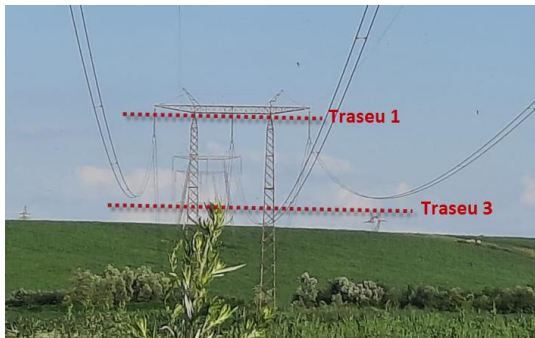


Fig. 2 Stâlpul nr. 38 din zona Bonțida, Cluj
LEA Roșiori-Gădălin



Fig. 3 Aparatul de măsurarea a câmpului
electric și magnetic Maschek ESM – 100

Măsurătorile s-au efectuat în lungul celor 3 trasee considerate de interes, din metru în metru. Întrucât valorile câmpului electric sunt influențate de prezența omului, aparatul a fost amplasat pe un trepied la 1.8 m față de sol, conform cerințelor stipulate în legislația în vigoare [16, 17]. Pentru a putea avea o vedere de ansamblu a modului de distribuție a câmpului electric și respectiv magnetic măsurat la nivelul zonei considerate de interes, valorile măsurate au fost importate în programul TEC PLOT, program ce permite reprezentarea tridimensională a acestora. Astfel, în Figura 4 se prezintă distribuția câmpului electric de-a lungul celor trei trasee de măsură, iar în Figura 5 distribuția câmpului magnetic pe aceleași trasee de măsură.

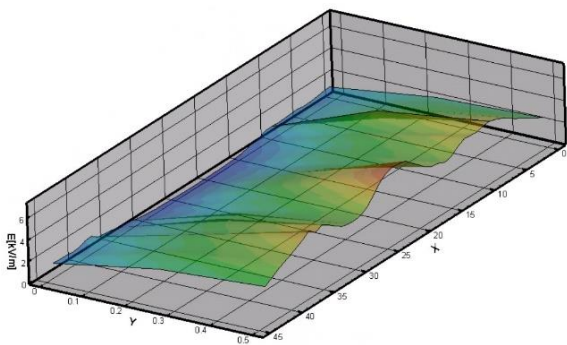


Fig. 4 Distribuția câmpului electric pe cele trei trasee

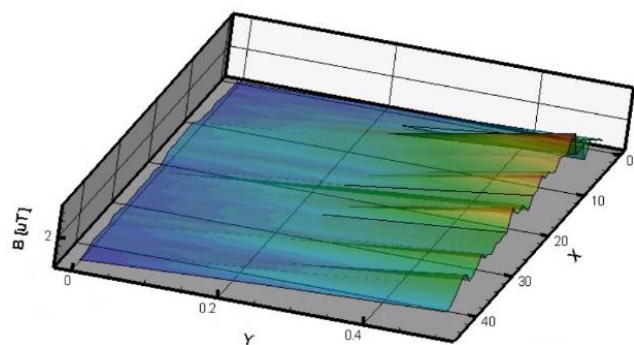


Fig. 5 Distribuția câmpului magnetic pe cele trei trasee

Urmărind rezultatele prezentate în aceste imagini putem observa, că, așa cum era de așteptat, atât câmpul electric, cât și câmpul magnetic, au valori mici pe primul traseu, adică pentru cazul în care conductoarele se află la o înălțime mare față de sol și ating valori maxime pe traseul 3, adică în zona săgeții.

Pentru a putea observa modul de distribuție a câmpului electric și respectiv a câmpului magnetic de-a lungul unui traseu de măsură, în Figura 6 este reprezentată distribuția câmpului electric de-a lungul traseului 1, iar în Figura 7 distribuția câmpului magnetic de-a lungul aceluiași traseu.

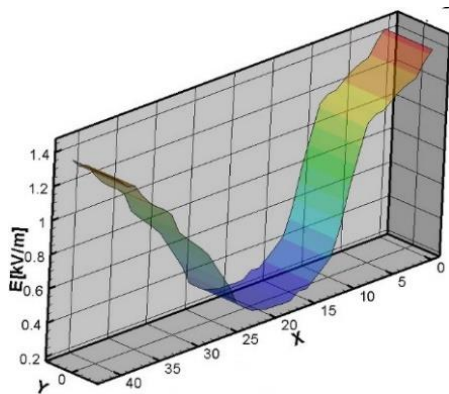


Fig. 6 Distribuția câmpului electric de-a lungul
traseului 1 - măsurători experimentale

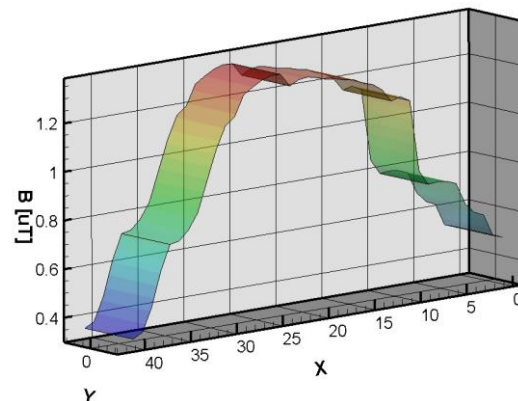


Fig. 7 Distribuția câmpului magnetic de-a lungul
traseului 1 - măsurători experimentale

Algoritm de calcul a câmpului electric generat de LEA

În acest paragraf se prezintă algoritmul de calcul a câmpului electric dezvoltat în cadrul proiectului. Modelul matematic care stă la baza algoritmului a fost prezentat mai sus, iar în continuare, pentru a putea observa utilitatea și complexitatea acestuia, se prezintă câteva rezultate care pot fi determinate utilizând acest program.

Astfel, în Figura 8 se prezintă distribuția intensității câmpului electric de-a lungul celor 3 trasee considerate de interes, subliniind faptul că, prin intermediul programului putem solicita ca acest calcul să se facă cu un pas mai mic de 1 m fără eforturi pe care le presupune efectuarea măsurătorilor.

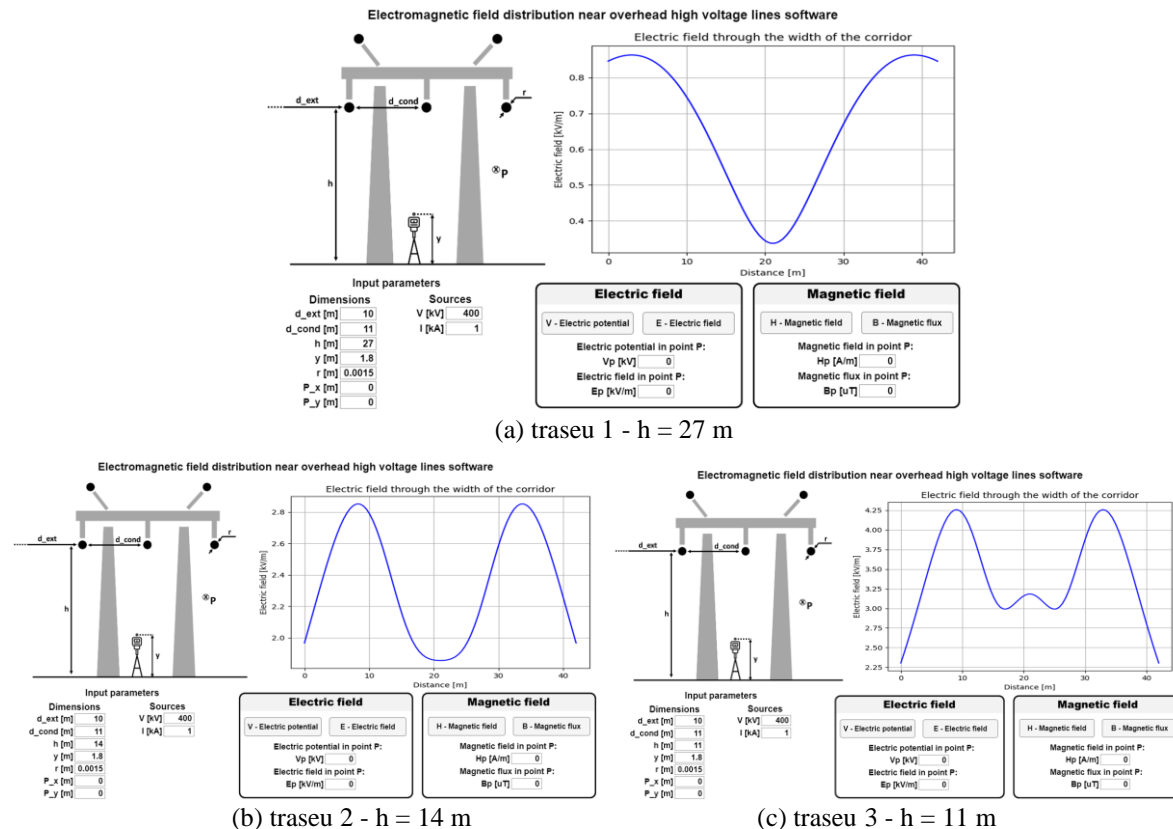
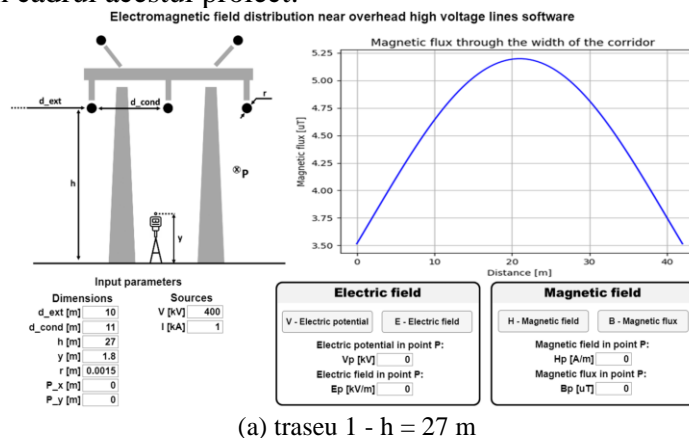


Fig. 8 Distribuția intensității câmpului electric de-a lungul celor 3 trasee determinată utilizând programul EMF

Algoritm de calcul a câmpului magnetic generat de LEA

În mod similar, în Figura 9 se prezintă distribuția inducției magnetice de-a lungul celor 3 trasee considerate de interes determinată utilizând algoritmul de calcul a câmpului magnetic generat de LEA conceput în cadrul acestui proiect.



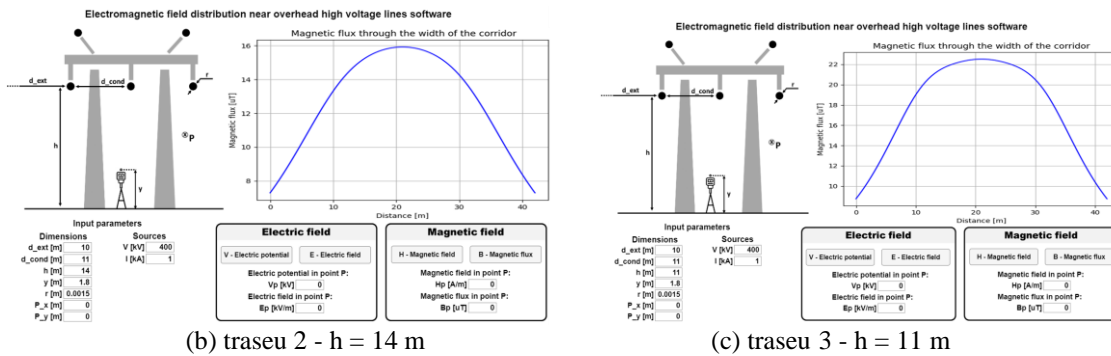


Fig. 9 Distribuția inducției magnetice de-a lungul celor 3 trasee determinată utilizând programul EMF

Verificarea și validarea algoritmului de calcul a câmpului electric generat de LEA

Pentru a verifica și valida algoritmul de calcul a câmpului electric generat de LEA s-au comparat rezultate obținute cu acest algoritm cu rezultatele obținute în urma măsurătorilor experimentale realizate în câteva puncte considerate de interes. De aici putem observa faptul că algoritmul EMF permite calculul câmpului electric (și a potențialului electric) și în puncte. Astfel, în Figura 10 se prezintă rezultatele obținute utilizând algoritmul EMF iar în Tabelul 2 sunt centralizate aceste rezultate alături de cele obținute în urma măsurătorilor experimentale.

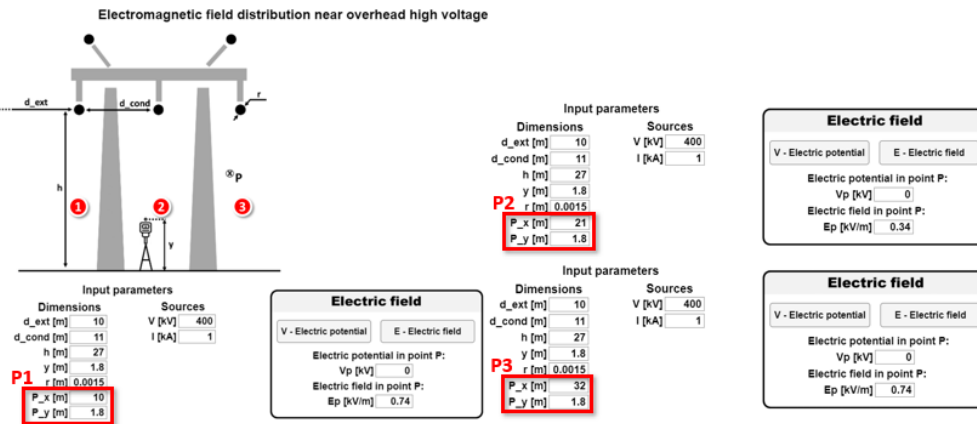


Fig. 10 Valorile câmpului electric în cele 3 puncte de calcul determinate utilizând programul EMF

Tabel 2 - Valorile câmpului electric în cele 3 puncte de calcul

Intensitatea câmpului electric [kV/m]	P1	P2	P3
algoritm EMF	0.74	0.34	0.74
măsurători experimentale	0.894	0.25	0.777

Verificarea și validarea algoritmului de calcul a câmpului magnetic generat de LEA

Pentru a verifica și valida algoritmul de calcul a câmpului magnetic generat de LEA s-au comparat rezultate obținute cu acest algoritm cu rezultatele obținute prin intermediul pachetului software comercial ANSYS – Maxwell 3D. Astfel, în Figura 11 se prezintă valorile câmpului magnetic în cele 3 puncte obținute cu algoritmul EMF dezvoltat în cadrul acestui proiect, iar în Figura 12 rezultatele obținute cu ANSYS-Maxwell 3D, acesta fiind un program de modelare numerică a câmpului electromagnetic foarte cunoscut în domeniu. Spre deosebire de acest program comercial, care rulează pe un PC și implică desenarea modelului 3D și rularea acestuia (care nu se face instant), algoritmului EMF permite utilizatorului accesarea acestuia prin intermediul telefonului mobil și obținerea imediată a rezultatului. De exemplu, dacă suntem într-o stație HV și într-un punct valorile câmpului electric sau magnetic, determinate pe cale experimentală, depășesc limitele impuse de standardele în vigoare [16, 17], noi, prin intermediul programului software EMF dezvoltat, putem determina această valoare și prin calcul analitic/numeric și astfel să verificăm dacă valoarea măsurată este reală sau este vorba de o eroare de măsurare.

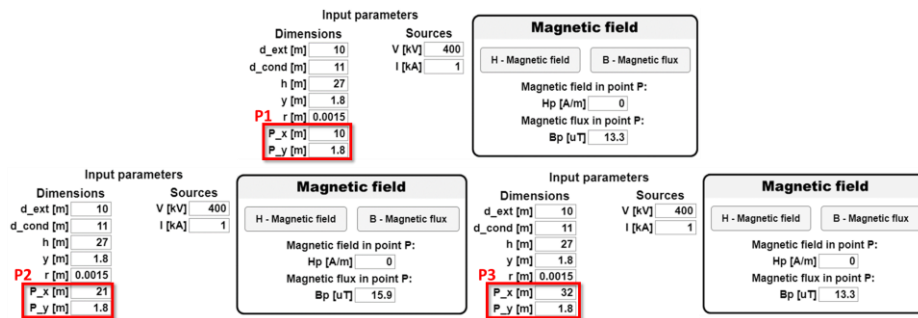


Fig. 11 Valorile câmpului magnetic în cele 3 puncte de calcul determinate utilizând programul EMF

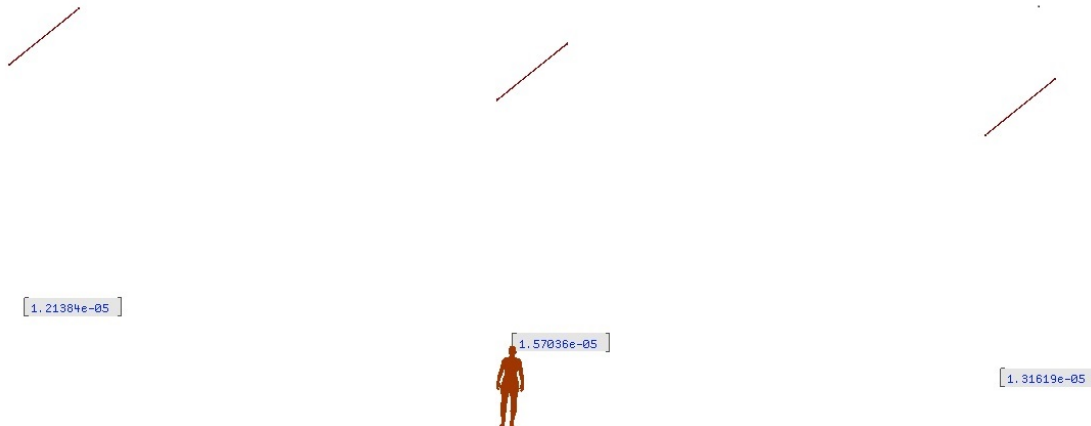


Fig. 12 Valorile câmpului magnetic în cele 3 puncte de calcul determinate utilizând programul ANSYS

În Tabelul 3 sunt centralizate rezultatele obținute prin intermediul celor două programe, putând astfel observa că diferențele dintre acestea sunt foarte mici.

Tabel 3 - Valorile câmpului magnetic în cele 3 puncte de calcul

Inducția magnetică [uT]	P1	P2	P3
algorithm EMF	13.31	15.92	13.31
rezultate numerice ANSYS	12.136	15.70	13.16

Acest algorithm va fi integrat în pachetul software final, astfel încât va putea fi folosit inclusiv pe teren, oferind astfel posibilitatea de a compara rezultatele experimentale cu cele analitice/numerice în anumite puncte de interes.

2. Conceperea unei baze de date care să cuprindă standardele în vigoare pentru expunerea umane la câmpuri electrice și magnetice pentru stabilirea limitelor regăsite în standard pentru fiecare tip de expunere în parte

2.1. Analiza, alegerea, cumpărarea standardelor în vigoare din domeniul expunerii umane la câmpuri electromagnetice

Foarte importante în evaluarea expunerii umane la câmpuri electrice și magnetice sunt și standardele utilizate. În acest context în [18] se prezintă cele mai folosite standarde din acest domeniu precum și diferite metode de calcul a mărimilor ce intervin în aceste evaluări. Pentru evaluarea expunerii umane la câmpuri electrice și magnetice generate de conductoarele LEA trebuie respectate două standarde, unul cu privire la expunerea profesională și altul cu privire la expunerea publică, și anume:

- ✓ HOTĂRÂRE Nr. 520/2016 din 20 iulie 2016 privind *cerințele minime de securitate și sănătate referitoare la expunerea lucrătorilor la riscuri generate de câmpuri electromagnetice* [16].
- ✓ ORDIN nr. 1193 din 29 septembrie 2006 pentru aprobarea *Normelor privind limitarea expunerii populației generale la câmpuri electromagnetice de la 0 Hz la 300 GHz* [17].

2.2. Realizarea unei baze de date care să includă aceste standarde

Această bază de date va fi foarte utilă și importantă atât pentru cei care efectuează măsurătorile experimentale, cât și pentru firma care solicită evaluarea permițând accesul la informațiile din standard chiar și în timpul măsurătorilor. De asemenea, din programul software dezvoltat, se vor putea accesa aceste standarde în vederea stabilirii limitelor de expunere profesională și publică pentru fiecare mărime evaluată independent pentru diferite domenii de frecvență.

În momentul de față noi dispunem de cele două standarde menționate mai sus și lucrăm la această bază de date pe care o vom prezenta în următorul *Raport*, conform *Planului de lucru* și *Diagramei Gantt*.

Diseminarea rezultatelor

Rezultatele prezentate în cadrul acestui raport vor fi publicate într-un *articol științific* la o revistă de largă circulație internațională cu factor de impact semnificativ.

Bibliografie

- [1] R. Gallego-Martínez, F. J. Muñoz-Gutierrez, A. Rodríguez-Gomez, *Trajectory Optimization for Exposure to Minimal Electromagnetic Pollution using Genetic Algorithms Approach: A Case Study*, Expert Systems With Applications 207, pp. 1-16, 2022.
- [2] S. M. Ghania, A. Gharsallah, *The potential effect of low-frequency EM fields on the human body*, Journal of Electrical Systems, 16-1, pp. 134-154, 2020.
- [3] O. Bottauscio, A. Arduino, D. Bavastro, D. Capra, Arianna Guarneri, A. Parizia, L. Zilberti, *Exposure of Live-Line Workers to Magnetic Fields: A Dosimetric Analysis*, International Journal of Environmental Research and Public Health, vol. 17, pp. 1-23, 2020.
- [4] O. E. Gouda, G. M. Amer, W. A. Salem, *Computational Aspects of Electromagnetic Fields near H.V. Transmission Lines*, Energy and Power Engineering, pp.65-71, 2009.
- [5] G. S. Nedic, N. M. Djuric, D. R. Kljajic, *The Comparison of EMF Monitoring Campaigns in Vicinity of Power Distribution Facilities*, ACES JOURNAL, Vol. 37, No. 1, pp. 129-139, January 2022.
- [6] A. Chervenkov, *Modelling and Evaluation of Electromagnetic Field of urban High-voltage Power Line*, International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering, 12-14 November, Ruse, Bulgaria, 2020.
- [7] S. M. Ghania, *Evaluation of Electromagnetic Fields Exposure during Live Line Working Conditions Inside High Voltage Substations*, An International Journal Engineering Science and Technology, Vol.3, No.1, 2013.
- [8] A. S. Safigianni and C. G. Tsompanidou, *Electric- and Magnetic Field Measurements in an Outdoor Electric Power Substation*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 24, no. 1, pp. 38-42, January 2009.
- [9] N. Li, X. Yang, Z. Peng, *Measurement of Electric Fields Around a 1000-kV UHV Substation*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 28, no. 4, pp. 2356-2362, 2013.
- [10] I. Laakso and T. Lehtinen, *Modeling and Measurement of Exposure to Realistic Non-Uniform Electric Fields at 50 Hz*, EMC Sapporo & APEMC 2019, pp. 334- 337, 2019.
- [11] E. O. Virjoghe, I. Bancuta, A. G. Husu, D. Cazacu, V. Florescu, *Measurement and Numerical Modelling Of Electric Field In Open Type Air Substation*, Journal of Science and Arts, vol. 46, no.1, pp. 249-259, 2019.
- [12] G. Fontgalland, H. D. de Andrade, A. L. de Figueiredo, I. de S. Queiroz Jr., A. H. S. De Oliveira, J. L. S. Paiva, M. E. T. Sousa, *Estimation of electric and magnetic fields in a 230 kV electrical substation using spatial interpolation techniques*, IET Science, Measurement & Technology, pp. 411-418, 2020.
- [13] A. Daeri, S. Hamoda, *Effect of ELF Fields on Public Health Case Study (220 and 400 KV lines)*, International Maghreb Meeting of the Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering MI-STA, Tripoli-Libya, pp. 623-626, 25-27 May 2021.
- [14] E. Simion, Electrotehnică, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979.
- [15] I.T. Pop, C. Munteanu, *Analiza distribuției de câmp electric și magnetic în stații electrice de înaltă tensiune*, Editura Politehnică Timișoara, ISBN 978-973-625-792-6, 2008.
- [16] HOTĂRÂRE Nr. 520/2016 din 20 iulie 2016 privind *cerințele minime de securitate și sănătate referitoare la expunerea lucrătorilor la riscuri generate de câmpuri electromagnetice*.
- [17] ORDIN nr. 1193 din 29 septembrie 2006 pentru aprobarea *Normelor privind limitarea expunerii populației generale la câmpuri electromagnetice de la 0 Hz la 300 GHz*.
- [18] K. Yamazaki, *Assessment Methods for Electric and Magnetic Fields in Low and Intermediate Frequencies Related to Human Exposures and the Status of their Standardization*, WILEY, pp. 10-18, 2020.