

CÂMPUL ELECTRIC ȘI MAGNETIC ÎN VECINĂTATEA UNEI LINII ELECTRICE DE ÎNALTĂ TENSIUNE ȘI POSIBILELE EFECTE ASUPRA SISTEMELOR BIOLOGICE

THE ELECTROMAGNETIC FIELD AROUND A HIGH VOLTAGE 110 KV ELECTRICAL OVERHEAD LINES AND THE INFLUENCE ON THE BIOLOGICAL SYSTEMS

Adrian MARINCU

Facultatea de Electrotehnică și Electroenergetică, Universitatea "Politehnica",
V. Pârvan, 2, 1900 TIMIȘOARA, tel. 0256-403400
adrian@et.utt.ro

Marian GRECONICI

marian@et.utt.ro

Rezumat: În lucrare sunt prezentate observațiile asupra valorilor câmpului electric și magnetic, calculate și măsurate în vecinătatea unei linii de înaltă tensiune, precum și posibilele efecte asupra stării de sănătate a personalului aflat în domeniul de câmp studiat. Calculele au fost realizate în MATLAB iar măsurătorile asupra intensității câmpului electric s-au făcut cu dipolul sferic.

Abstract: In this paper the analytical calculus and the experimental measurements of the electric and magnetic field around a high voltage 110KV electrical overhead lines has been analyzed. There has been analyzed the possible influences of the electromagnetic field on the health of the human beings. The calculus has been done using the MatLab medium, the experimental measurements of the electric strength have been done using a spherical dipole.

1. Introducere

Dezvoltarea sistemului electroenergetic, vitală în viața cotidiană, conduce și la aspecte cu implicații negative, care afectează defavorabil mediul ambiant, producând uneori în situații limită grave dezechilibre.

Lucrarea de față își propune să contribuie la aprofundarea tocmai a acestor aspecte din urmă, încercând să sistematizeze cunoștințele legate de calculul câmpului electromagnetic din jurul conductoarelor. Cunoașterea valorilor câmpului electromagnetic în jurul unei linii electrice trifazate de înaltă tensiune este foarte importantă pentru personalul de exploatare a liniilor electrice.

Determinarea câmpului electromagnetic în vecinătatea liniilor electrice aeriene se face cu pachetul de programe MATLAB R12. Se pun în evidență valorile câmpului electric și magnetic în regimul permanent e al liniilor electrice.

În literatura de specialitate [1] se prezintă un aparat sub forma unui dipol sferic cu care se poate măsura câmpul electric cu erori de măsură de ordinul procentului și care prin prezența sa nu deformează sesizabil câmpul. Din observațiile de laborator a rezultat că într-un câmp electric cu valori mai mari de 500 Vm^{-1} , prezența omului la o distanță mai mare de 1,5 m nu influențează indicația instrumentului.

În cadrul prezentei lucrări determinările experimentale s-au efectuat în stația electrică Dumbrăvița.

2. Câmpul electric în puncte din vecinătatea unei linii electrice aeriene de înaltă tensiune [2, 3]

Se consideră regimul cvasistaționar (50Hz), în care calculul potențialului electric V , față de pământ și a intensității câmpului electric E , în puncte din vecinătatea unei linii

1. Introduction

The development of the electromagnetic devices, very useful in our daily life, has also some useless effects, which affects the environment and in some cases produce serious unbalance.

The present paper refers to those aspects, trying to systematize the knowledge for evaluation of the electromagnetic field around the three-phase conductors. Knowing the values of the electromagnetic field around a three-phase electrical overhead line is important for the protection of the voltage substation workers.

The calculus of the electromagnetic field around the high voltage electrical overhead lines has been made using the MatLab medium. The steady state of the electrical lines has been considered during the calculation of the electric and magnetic field.

A device based on a spherical dipole for measuring the electrical field has been presented in [1]. The presence of the device in an electrical field has a less influence over the field distribution. The experimental measurements shows that in electrical fields that exceed 500 V/m , the human presence at a distance greater then 1.5m does not affects the precision of the device.

The experimental measurements in this paper have been made in Dumbrăvița voltage substation.

2.The electric field around a high voltage three-phase electrical overhead line [2, 3]

The calculus of the potential V (against the earth) and the electrical strength E around a three-phase high voltage overhead electrical line with double circuit, fig. 1, has

electrice trifazate, dublu circuit (fig. 1), se face cu metoda imaginilor electrice. Aplicând principiul super-poziției se obțin valorile rezultante în punctele de calcul considerate.

Pentru calculul potențialului electric V se folosește următoarea relație [3,8]:

$$V_{p_i} = \alpha \cdot \sum_{k=1}^n q_k \cdot \ln \frac{r'_{p_{ki}}}{r_{p_{ki}}} \quad (1)$$

iar expresiile pentru calculul componentelor intensității câmpului electric în punctul $P_{(x,y)}$ sunt:

$$E_{px_i} = \alpha \cdot \sum_{k=1}^n q_k \cdot x_{p_k} \cdot F_{p_{ki}} \quad (2)$$

$$E_{py_i} = \alpha \cdot \sum_{k=1}^n q_k \cdot y_{p_{ki}} \cdot F_{p_{ki}} \quad (3)$$

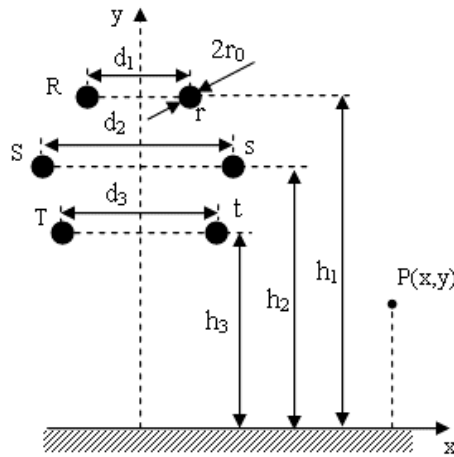


Fig. 1

În relațiile de calcul prezentate mai sus,

$$\alpha = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \quad \text{unde } \epsilon_0 = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 9 \cdot 10^9} \text{ F/m,}$$

$$F_{p_{ki}} = \frac{1}{r_{p_{ki}}^2} - \frac{1}{r'_{p_{ki}}^2}$$

iar

$r_{p_{ki}}$ - este distanța de la conductorul k la punctul P în care se face calculul,

$r'_{p_{ki}}$ - distanța de la punctul de calcul P la imaginea electrică a conductorului fază k ;

n - numărul de conductoare care-și aduc aportul la valoarea mărimii calculate;

q_k - sarcina electrică a conductorului de fază, distribuită liniar.

Se constată o dependență a mărimii potențialului electric V și intensității câmpului electric E de sarcinile electrice de pe conductoarele circuitului și de geometria stâlpului, respectiv a liniilor.

Sarcina electrică distribuită liniar pe conductoarele de fază se determină pe baza relațiilor lui Maxwell referitoare la capacități, scrise matricial astfel:

$$[U] = [p] \cdot [q] \quad (4)$$

unde $[U]$ este matricea potențialelor față de pământ ale conductoarelor de fază, iar $[p]$ este matricea coeficienților de potențial alcătuită cu elemente de forma:

been made using the “electrical imagine method”. Using the “superposition principle” we obtained the values of the electromagnetic quantities in the current points around the line.

For the calculation of the potential V , has been used, [3, 8]:

$$V_{p_i} = \alpha \cdot \sum_{k=1}^n q_k \cdot \ln \frac{r'_{p_{ki}}}{r_{p_{ki}}} \quad (1)$$

and for the electric field strength in a current point, $P(x,y)$:

$$E_{px_i} = \alpha \cdot \sum_{k=1}^n q_k \cdot x_{p_k} \cdot F_{p_{ki}} \quad (2)$$

$$E_{py_i} = \alpha \cdot \sum_{k=1}^n q_k \cdot y_{p_{ki}} \cdot F_{p_{ki}} \quad (3)$$

We have denoted

$$\alpha = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0}, \quad \text{where } \epsilon_0 = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 9 \cdot 10^9} \text{ F/m,}$$

$$F_{p_{ki}} = \frac{1}{r_{p_{ki}}^2} - \frac{1}{r'_{p_{ki}}^2}$$

where:

$r_{p_{ki}}$ - distance between the phase k and the current point P ;

$r'_{p_{ki}}$ - distance between the electrical images of the phase k and the current point P ;

n - the number of the phases that take influence over the electrical quantities that are calculated;

q_k - electrical charges of the phase k , considered as a linear distribution.

Note that the electrical potential V and the electric field strength E depends on the electrical charges from the three-phase conductors and on the geometrical design of the pillars, and the lines.

Using the Maxwell equations for the capacitates, the linear distributed electrical charge on the phase conductors is:

$$[U] = [p] \cdot [q] \quad (4)$$

where $[U]$ is the phases potential matrix (towards the earth) and $[p]$ is the potential coefficients matrix in form:

$$p_{ij} = \alpha \cdot \ln \frac{D_{ij}^2}{D_{ij}}, \quad p_{ii} = \alpha \cdot \ln \frac{D_{ii}^2}{r_{oi}} \quad (5)$$

cu D_{ij} distanța între conductorul i și j ; D_{ii} distanța între conductorul i și imaginea conductorului j față de pământ, iar r_{oi} este raza conductorului i .

3. Calculul câmpului magnetic în puncte din vecinătatea liniei electrice de 110 kV

În sistemul de coordonate x, y, z , linia electrică, ale cărei conductoare de fază sunt parcurse după direcția axei z de următorul sistem simetric de curenți electrici:

$$\underline{I}_R = I, \quad \underline{I}_S = I \cdot e^{-j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{3}}, \quad \underline{I}_T = I \cdot e^{j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{3}} \quad (6)$$

determină următoarele componente ale inducției magnetice în puncte din vecinătate:

$$B_{px_i} = -\beta \cdot \sum_k \underline{I}_k \cdot \frac{y p_{ki}}{r_{pki}^2} \quad (7)$$

$$B_{py_i} = \beta \cdot \sum_k \underline{I}_k \cdot \frac{x p_{ki}}{r_{pki}^2} \quad (8)$$

iar, inducția magnetică este:

$$B_{p_i} = \sqrt{B_{px_i}^2 + B_{py_i}^2} \quad (9)$$

cu $\beta = \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi}$ unde $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ H/m, este permeabilitatea vidului.

4. Modelarea numerică

Folosind pachetul de programe MATLAB R12, pentru linia electrică aeriană, de 110 kV, dublu circuit, cu stâlpi tip Sn 110.252, s-au introdus următoarele valori:

```
%Date inițiale
h1=20; h2=16; h3=12;
d1=6.1; d2=7.65; d3=6.1;
r0=9.5*10^(-3);
L=13*10^3;
eps0=1./(4*pi*9*10^9);
miu0=4.*pi.*10.^-7;
f=50; ro=50;
omega=2.*pi.*f;
Rcp=550.*sqrt(ro./f);
%Tensiunile pe faze
U=zeros(6,1);
U(1,1)=63.509*10^3;
U(2,1)=(63.509*10^3)*(-.5-i*sqrt(3)/2);
U(3,1)=(63.509*10^3)*(-.5+i*sqrt(3)/2);
U(4,1)=U(1,1); U(5,1)=U(2,1); U(6,1)=U(3,1)
%Curenții prin faze
I1=100; I2=100.*(-.5-i*sqrt(3)/2); I3=100.*(-.5+i*sqrt(3)/2);
I4=I1; I5=I2; I6=I3;
```

Valorile pentru potențialul electric V față de pământ sunt prezentate grafic în figura 2, pentru intensitatea câmpului electric E în fig. 3, iar pentru inducția magnetică B în fig. 4.

$$p_{ij} = \alpha \cdot \ln \frac{D_{ij}^2}{D_{ij}}, \quad p_{ii} = \alpha \cdot \ln \frac{D_{ii}^2}{r_{oi}} \quad (5)$$

with D_{ij} the distance between the conductors i and j ; D_{ii} the distance between the conductor i and the image of j (against the earth); r_{oi} the radius of the conductor i .

3. The magnetic field calculation around a 110 KV three-phase electrical line

In Cartesian coordinates (x, y, z) , the three-phase line currents, having a z axes orientation, are:

$$\underline{I}_R = I, \quad \underline{I}_S = I \cdot e^{-j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{3}}, \quad \underline{I}_T = I \cdot e^{j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{3}} \quad (6)$$

The magnetic flux density components produced by the currents (6), are:

$$B_{px_i} = -\beta \cdot \sum_k \underline{I}_k \cdot \frac{y p_{ki}}{r_{pki}^2} \quad (7)$$

$$B_{py_i} = \beta \cdot \sum_k \underline{I}_k \cdot \frac{x p_{ki}}{r_{pki}^2} \quad (8)$$

and the magnetic flux density is:

$$B_{p_i} = \sqrt{B_{px_i}^2 + B_{py_i}^2} \quad (9)$$

(9)

where $\beta = \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi}$ and $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ H/m.

4. Numerical evaluation

The calculus for the electric and magnetic field around a three-phase high voltage 110 KV overhead electrical line with double circuit, has been made using the MatLab medium. Considering line pillars tip Sn 110.252, we show below the initial dates and the program steps of the calculus.

```
%Date inițiale
h1=20; h2=16; h3=12;
d1=6.1; d2=7.65; d3=6.1;
r0=9.5*10^(-3);
L=13*10^3;
eps0=1./(4*pi*9*10^9);
miu0=4.*pi.*10.^-7;
f=50; ro=50;
omega=2.*pi.*f;
Rcp=550.*sqrt(ro./f);
%Tensiunile pe faze
U=zeros(6,1);
U(1,1)=63.509*10^3;
U(2,1)=(63.509*10^3)*(-.5-i*sqrt(3)/2);
U(3,1)=(63.509*10^3)*(-.5+i*sqrt(3)/2);
U(4,1)=U(1,1); U(5,1)=U(2,1); U(6,1)=U(3,1)
%Curenții prin faze
I1=100; I2=100.*(-.5-i*sqrt(3)/2); I3=100.*(-.5+i*sqrt(3)/2);
I4=I1; I5=I2; I6=I3;
```

There results for the electrical potential V (against the earth), the electric field strength E , and the magnetic flux density B are presented in fig.2, fig.3 and fig.4.

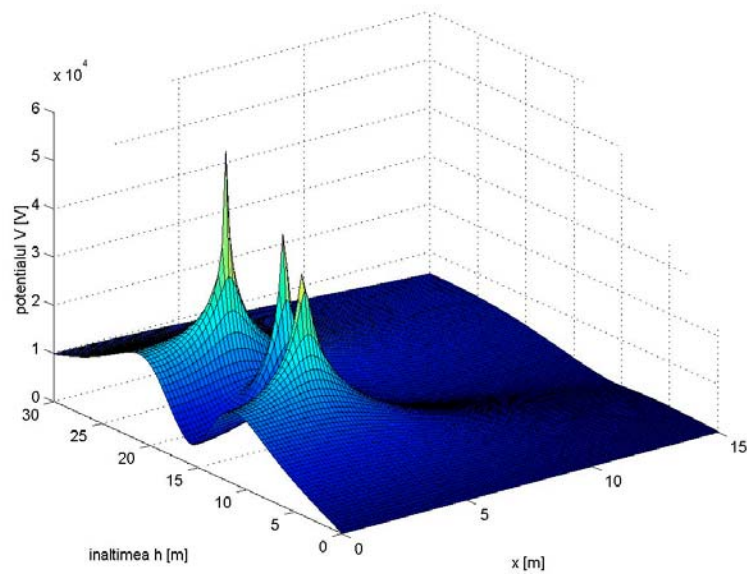


Fig.2.

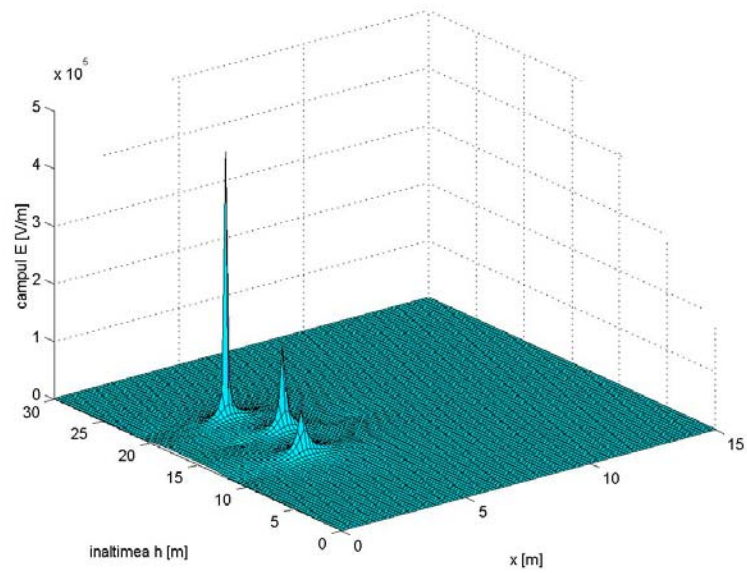


Fig.3.

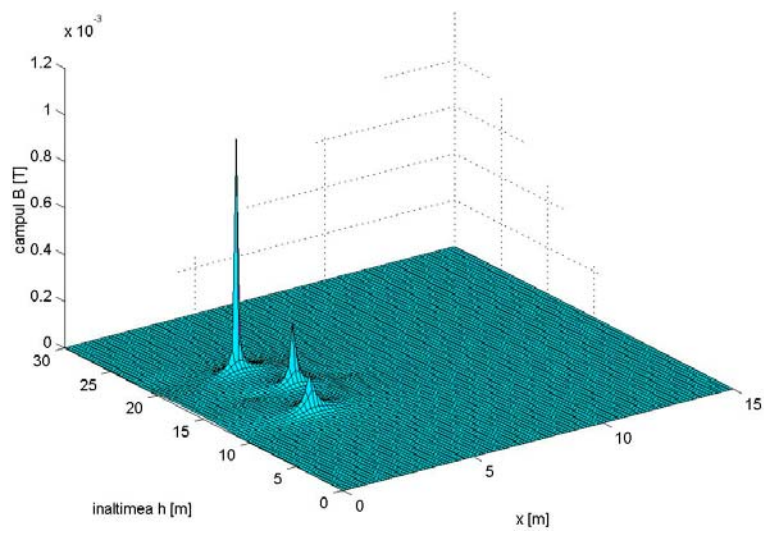


Fig.4.

5. Determinări experimentale

În vederea confirmării valorilor intensității câmpului electric, E , obținute în punctele din vecinătatea liniilor electrice aeriene prin modelare numerică, s-a procedat la măsurarea acestora cu aparatul de măsură conceput și realizat la Catedra de Măsurări electrice din Universitatea "Politehnica" Timișoara [1], [4]. În acest context sunt consemnate valorile corespunzătoare în punctele din vecinătatea unei linii electrice aeriene de 110 kV în tabelul 1. Valorile intensității câmpului electric corespunzătoare punctelor de măsură de pe suprafața organismului uman situat în câmpul electromagnetic determinat de linia electrică aeriană de 110 kV sunt prezentate în tabelul 2.

5. Experimental measurements

In order to verify the values of the electric field strength E obtained by numerical evaluation, we have determined the electrical field by experimental measurements around a three-phase high voltage overhead electrical line. The experimental measurements have been done using a electrical device built in the Measurement Department of the "Politehnica" University from Timișoara. In tab. 1 we have presented the measured values of the electric field straight E , around the electrical line from Dumbrăvița voltage substation. In tab. 2 are presented the measured values of the electric field straight E in different parts of the human body placed in an electrical field produce by three-phase high voltage over-head electrical circuit. The human body was insulated against the earth.

Tab. 1.

[m]	E [V/m]		
$y_p \backslash x_p$	0	10	20
2	428,571	85,714	28,571
1,5	142,857	28,571	28,571
1	57,143	22,857	28,571
0,5	28,571	14,286	20
0,1	14,286	2,857	14,286

Tab. 2.

x_p	E [V/m]		
	0	10	20
laba piciorului / Foot	71,429	20	14,286
Genunchi / Knee	114,286	22,857	14,286
Stomac / Stomak	285,714	28,571	28,571
Plămân / Lang	285,714	28,571	42,857
Gât / Neck	4429	4429	457,14
Frunte / Forehead	7429	6571	1000
Creștetul capului / Top of the head	9286	7286	1714
Ceafă / Mape of the head	5857	1429	342,85
Omoplat / Shoulders	142,857	42,857	57,143
Rinichi / Kidneys	71,429	20	28,571
Călcâi / Heel	71,429	14,286	2,857

Măsurătorile s-au făcut în condițiile organismului izolat față de pământ, după ploaie, la o temperatură de 17 °C.

The measurements have been done after rain at a temperature of 17°C.

6. Concluzii

În ceea ce privește valorile potențialului electric și ale intensității câmpului electric creat de linia electrică aeriană cu dublu circuit, datorită sarcinilor electrice în puncte situate în vecinătate se pot menționa următoarele:

- cele mai mari valori ale potențialului față de pământ și ale intensității câmpului electric pentru linia de 110 kV se obțin în vecinătatea conductorului fazei R, în punctul de coordonate $x=0$ și $y=12,25$ m, adică pe axa stâlpului, la înălțimea de 12,25m, unde $V = 40,66$ kV și $E = 41,21$ kV/m;
- pe măsură ce ne îndepărtăm de axa stâlpului, potențialul și intensitatea câmpului electric scade rapid, astfel la 3 m depărtare și la aceeași înălțime, $V = 8,029$ kV iar $E = 2,791$ kV/m;
- cele mai mari valori ale inducției magnetice se obțin pe axa de simetrie a stâlpului, în punctele situate în vecinătatea faze R. Astfel o valoare de $B=829$ μ T ob-

6. Conclusions

On the values of the electrical potential V and the electric field strength E around a high voltage overhead line with double circuit, it follows:

- the highest value of the potential (against the earth) and the electric field strength for 110 KV electric line, takes place in the neighborhood of the conductor R, in the point ($x = 0$, $y = 12.25$ m); the point is placed on the pillar axes at a height of 12.25 m where $V = 40.66$ kV and $E = 41.21$ kV/m;
- as we move away from the pillar axes, the potential and the electric field strength decreases rapidly, so for a distance of 3 m of the pillar axes (at the same height), we obtained $V = 8.029$ kV and $E = 2.791$ kV/m;
- the highest value of the magnetic flux density takes place on the pillow axes around the conductor R. A value of $B = 829$ μ T, obtained on the pillow axes at 12.25 m height, represents a dangerous value for the human body.

ținută pe axa stâlpului la înălțimea de 12,25 m este periculoasă pentru organismul uman, motiv pentru care aceste zone trebuie evitate sau limitate.

Din măsurătorile efectuate se constată că prezența omului modifică câmpul în funcție de modul în care este izolat față de pământ și valoarea câmpului existent în absența sa. Aceste valori cresc în funcție de izolația omului față de pământ, fiind în general de 6÷7 ori mai mari dacă omul este neizolat. Se constată că echipamentul de protecție reduce în medie la jumătate câmpul electric existent în partea superioară a corpului uman.

Sunt menționate valorile maxime admise prin NORMELE GENERALE DE PROTECȚIE A MUNCII din 1996 [2]

- 10 kV m⁻¹ / schimb de lucru ;
- 30 kV m⁻¹, pentru un interval de timp al expunerii, scurt ;
- 500 μT/ schimb de lucru ;
- 5 mT, pentru expuneri mai mici de 2 ore ;
- 25 mT, pentru un interval scurt al expunerii extremităților corpului.

Durata expunerii în câmp electric cu intensități cuprinse între 10 kV m⁻¹ și 30 kV m⁻¹ se calculează cu relația $t \leq 80 E^{-1}$, unde t reprezintă durata zilei de lucru, iar E intensitatea câmpului electric în kV m⁻¹.

The experimental measurement shows that the human presence around the lines modifies the electrical field distribution. The human insulation (against the earth) modifies the field value. Better insulation rises the value of the field. For a good insulation, the field could be 6-7 times greater in the case when human body is in contact with the ground. The electric field in the highest part of the human body could be reduced by using the protection equipment.

There are mentioned the highest value, using the GENERAL NORMES OF WORK PROTECTION from 1996, [2]:

- 10 kV m⁻¹ / work shift;
- 30 kV m⁻¹, short time exposing in the field;
- 500 μT/ work shift;
- 5 mT, less then 2 hours exposing;
- 25 mT, short time exposing of the human body extremities.

The maximum exposing time for electrical fields between 10 kV/m and 30 kV/m, could be calculated with: $t \leq 80 E^{-1}$, where t is the length of a day's work and E is the electric field strength in kV/m.

Bibliografie (References)

1. Stoica V., Crișan S.; *Observații asupra câmpului electric din stațiile exterioare de transformare de înaltă tensiune*; Energetica, Nr.5-6,1975,pp.184-186
2. Titihazan, V.; *Impactul rețelelor electrice asupra mediului și aspecte de compatibilitate electromagnetică*; Editura AGIR, București, 2000
3. Titihazan V., Toader D.; *Metodologie de calcul a influenței electromagnetice pe LEA 220 kV DC Porțile de Fier – Reșița; Elemente de compatibilitate electromagnetică*; Contract de cercetare aplicativă Nr.928/2002, Timișoara
4. Pop E., Crișan S., Stoica V.; *Procedeu și aparat pentru măsurarea câmpurilor electrice de frecvență industrială*; Brevet de invenție Nr.67108, IPTV, Timișoara.