

Laborator Electrosecuritate - Instalații de legare la pământ

Determinarea analitică a rezistenței prizelor de pământ de adâncime

În funcție de adâncimea de îngropare a electrozilor, prizele de pământ se împart în următoarele categorii:

- **prizele de suprafață** - sub formă de bandă plasată orizontal sau conductoare rectilinii sau circulare, la o adâncime de cel mult 1 m;
- **prizele de adâncime** - cu electrozi verticali de lungime suficientă pentru a traversa straturi de sol cu diferite conductivități, adâncimea de îngropare a acestora ajungând chiar și până la 30 m.

Astfel, în prima parte a lucrării de laborator se va prezenta modul de calcul al rezistenței de dispersie a prizelor de pământ de adâncime, simple și multiple, precum și pentru cazul prizelor de pământ complexe.

În partea a doua a lucrării, pentru exemplificare, sunt propuse spre rezolvare o serie de aplicații numerice.

1. Modelul analitic de determinare a rezistenței de dispersie a prizelor de pământ de adâncime

Prizele adâncime, sau prizele verticale, au forma unor tije lungi, din metal, sau conducte, plasate vertical în sol, pentru a trece prin straturile de adâncime ale pământului. Adâncimea de îngropare a acestora este, în general, mai mare de 3 m, ajungând chiar și până la 30 m.

1.1. Prize verticale simple

Rezistența unei astfel de prize de pământ se poate calcula conform expresiei:

$$R_p = \frac{\rho}{4 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{4 \cdot l^2}{r^2} \quad (1)$$

în care:

ρ – rezistivitatea solului în care este realizată priza de pământ;

l – lungimea electrodului utilizat;

r – raza electrodului.

1.2. Prize verticale multiple

Dacă o priză de pământ este realizat dintr-un număr de n tije verticale, dispuse echidistant în linie, conform reprezentării din figura 1, atunci rezistența unei astfel de prize de pământ se poate calcula conform expresiei (2).

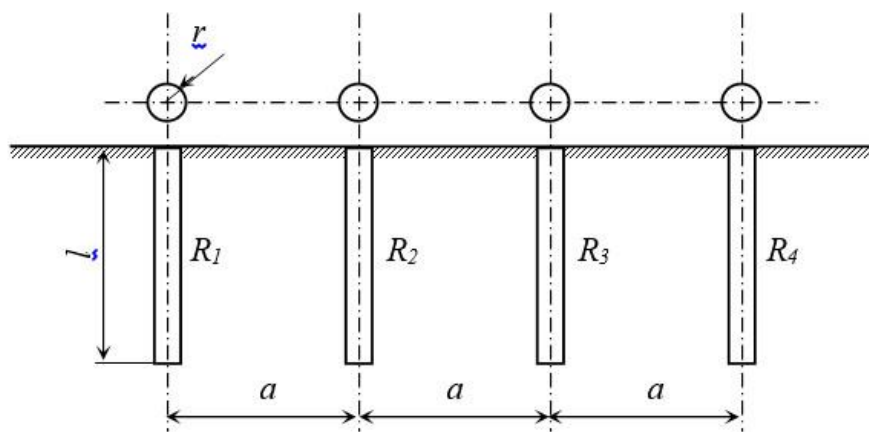


Fig.1. Priză de pământ realizată din electrozi tijă plasați paralel:

$R_1 \dots R_4$ – rezistența individuală a prizei electrozilor tijă;
 a – distanța dintre electrozi
 l – lungimea electrozilor

$$\frac{1}{R_p} = k \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \quad (2)$$

în care:

ρ – rezistivitatea solului în care este realizată priză de pământ;

l – lungimea electrozilor utilizați;

r – raza electrozilor.

În cazul unor configurații simple ale prizelor de pământ (precum cea prezentată în figura 1), factorul k care apare în expresia (2) are următoarele valori:

- $k \approx 1,25$ dacă $a \geq 2l$;
- $k \approx 1$ dacă $a \geq 4l$, caz în care influența mutuală dintre electrozi este nulă.

1.3. Prize de pământ complexe

Prizele de pământ aferente instalațiilor de protecție împotriva electrocutării și de protecție împotriva loviturilor de trăsnet, destinate unor spații mari sau unor instalații electrice complexe, așa cum sunt stațiile de transformare, au o structură complexă, fiind realizate atât din electrozi orizontali, de tip rețea, cât și din electrozi verticali, uneori de mare adâncime.

Rezistența de dispersie a unei astfel de prize poate fi determinată cu ajutorul expresiei:

$$R_p = \frac{R_1 \cdot R_2 - R_{12}^2}{R_1 + R_2 - 2 \cdot R_{12}}, \quad (3)$$

în care:

R_1 – rezistența conductoarelor componentei orizontale, de tip rețea, a prizei de pământ; R_2 – rezistența tuturor tijelor verticale ale prizei de pământ;

R_{12} – rezistența mutuală dintre conductoarele ce formează rețeaua orizontală și grupul de electrozi tijă verticali.

Expresiile uzual folosite pentru rezistențele din relația (3) sunt următoarele

Electrosecuritate

$$R_1 = \frac{\rho_1}{\pi \cdot l_1} \cdot \left[\ln \left(\frac{2 \cdot l_1}{h'} \right) + K_1 \cdot \frac{l_1}{\sqrt{A}} - K_2 \right], \quad (4)$$

$$R_2 = \frac{\rho_a}{2 \cdot n \cdot \pi \cdot l_2} \cdot \left[\ln \left(\frac{8 \cdot l_2}{d_2} \right) + 2 \cdot K_1 \cdot \frac{l_2}{\sqrt{A}} \cdot (\sqrt{n} - 1)^2 - 1 \right], \quad (5)$$

$$R_{12} = \frac{\rho_a}{\pi \cdot l_1} \cdot \left[\ln \left(\frac{2 \cdot l_1}{l_2} \right) + K_1 \cdot \frac{l_1}{\sqrt{A}} - K_2 + 1 \right], \quad (6)$$

semnificația notațiilor fiind următoarea:

ρ_1 – rezistivitatea solului în zona de amplasare a componentei orizontale de tip rețea a prizei de pământ, la adâncimea h ;

ρ_a – rezistivitatea aparentă a solului din zona unui electrod tijă verticală;

l_1 – lungimea totală a conductoarelor care formează componenta sub formă de rețea orizontală a prizei de pământ;

l_2 – lungimea medie a electrozilor verticali al prizei de pământ, ce poate fi calculată ca medie aritmetică a lungimilor tijelor verticale ale prizei;

h' – adâncime echivalentă a rețelei orizontale, care se calculează astfel:

$h' = \sqrt{d_1 \cdot h}$, pentru conductoarele orizontale ale prizei de pământ, îngropate la adâncimea h , respectiv

$h' = 0,5 \cdot d_1$, pentru conductoarele orizontale ale prizei de pământ, atunci când acestea se află la suprafața solului ($h = 0$ m);

h – adâncimea de amplasare a componentei orizontale de tip rețea a prizei de pământ;

d_1 – diametrul conductoarelor din care este realizată componenta orizontală a prizei de pământ;

d_2 – diametrul electrozilor tijă, verticali, ai prizei de pământ;

A – aria suprafeței acoperite de componenta de tip rețea, orizontală, a prizei de pământ, dată de produsul $a \cdot b$, unde:

a – lungimea laturii mai scurte a dreptunghiului format de rețeaua orizontală,

b – lungimea laturii mai mari a dreptunghiului;

n – numărul de electrozi verticali ai prizei de pământ;

K_1 și K_2 – constante dependente de geometria sistemului de electrozi care formează priza de pământ și care pot fi determinați din nomograme.

2. Aplicații numerice

Aplicația nr.1

Să se calculeze rezistența unei prize de pământ de adâncime, realizate dintr-un electrod vertical simplu, în condițiile în care priza este realizată într-un sol din piatră și pământ pietros, rezistivitatea acestuia fiind de $2000 \Omega\text{m}$.

Calculul vor fi efectuate pentru mai multe lungimi ale electrodului vertical, și anume: 5, 10, 15, 20, 25 și 30 m.

Se cunoaște raza conductorului cilindric utilizat, aceasta fiind de 40 mm.

Electrosecuritate

Valorile calculate ale rezistenței prizelor de pământ se vor completa în tabelul următor.

Tabelul 1. Valori calculate ale rezistenței prizei de pământ

Tipul solului	Rezistența prizei R_p [Ω] în funcție de tipul prizei considerate					
	1	2	3	4	5	6
Piatră și pământ pietros						
<i>Observație: cazurilor 1 ÷ 6 corespund celor 6 lungimi propuse pentru electrodul vertical.</i>						

Se vor face aprecieri vizavi de modul în care lungimea electrodului vertical influențează valoarea rezistenței de dispersie a prizei de pământ.

Aplicația nr.2

Să se calculeze rezistența unei prize de pământ realizate dintr-un număr de 3, 5, respectiv 7 electrozi verticali dispuși în linie, la o distanță de 10 m între ei. Electrozii utilizați au o lungime de 5 m, raza acestora fiind de 40 mm.

Se cunoaște faptul că priza de pământ este amplasată într-un sol piatră și pământ pietros, rezistivitatea acestuia fiind de 2000 Ω m.

Valorile calculate ale rezistenței prizelor de pământ se vor completa în tabelul următor.

Tabelul 2. Valori calculate ale rezistenței prizei de pământ

Tipul solului	Rezistența prizei R_p [Ω]		
	1	2	3
Piatră și pământ pietros			
<i>Observație: cazurile 1 ÷ 3 corespund prizelor de pământ realizate dintr-un număr de 3, 5, respectiv 7 electrozi verticali dispuși în paralel.</i>			

Se vor face comentarii vizavi de modul în care numărul de electrozi utilizați influențează valoarea rezistenței prizei de pământ.

Aplicația nr.3

Să se calculeze rezistența de dispersie a unei prize de pământ realizate într-o structură dreptunghiulară cu dimensiunile de 24 x 18 m. Priza de pământ are o structură complexă, fiind formată dintr-un număr de 20 de electrozi verticali dispuși în colțurile unor ochiuri pătrate cu latura de 6 m. Electrozii sunt confecționați din țevă de oțel zincat cu diametrul de 76 mm, lungimea tijelor fiind de 5 m.

Capetele superioare ale electrozilor verticali sunt legate printr-o rețea orizontală realizată din platbandă de oțel zincat, amplasată la adâncimea de 1 m. Lățimea platbandei este 40 mm.

Se consideră că rezistivitatea solului în care este realizată priza este egală cu 100 Ω m.