

Laborator Electrosecuritate - Instalații de legare la pământ

Noțiuni teoretice despre rezistența prizelor de pământ

1. Aspecte generale

Prin **instalație de legare la pământ** se înțelege ansamblu format din priza de pământ și totalitatea conductoarelor utilizate pentru legarea maselor echipamentelor, sau surselor de tensiune, la priza de pământ.

Priza de pământ un conductor metalic sau un ansamblu de conductoare metalice interconectate, îngropate în pământ, în scopul asigurării scurgerii în sol a curenților de defect din instalații, sau pentru legarea la pământ a punctelor neutre ale rețelelor electrice.

Instalațiile de legare la pământ se pot clasifica după funcția pe care o îndeplinesc, astfel existând:

- **Instalații de legare la pământ de exploatare** – pentru legarea la pământ a punctelor neutru din rețelele electrice;
- **Instalații de legare la pământ de protecție** – pentru legarea la pământ a maselor echipamentelor electrice.

Principalele funcții pe care le îndeplinește o instalație de legare la pământ de protecție sunt:

- asigurarea protecției clădirilor și instalațiilor împotriva loviturilor directe de trăsnet;
- asigurarea securității, vieții oamenilor și animalelor, prin limitarea tensiunilor de atingere și de pas, până la valori acceptabile din punctul de vedere al securității electrice;
- asigurarea compatibilității electromagnetice.

O instalație de legare la pământ de exploatare asigură funcționarea corectă a rețelei de alimentare cu energie electrică, precum și a calității corespunzătoare a energiei furnizate.

În ceea ce privește instalațiile de legare la pământ de protecție, buna funcționare a acestora este condiționată de existența unei căi de curent cu o secțiune mare și cu o impedanță relativ scăzută, la frecvență industrială, astfel încât tensiunile apărute, în condițiile unui curent de defect intens, să nu fie periculoase.

În calculele de dimensionare ale prizelor de pământ și ale instalațiilor de protecție prin legare la pământ, se operează, în mod frecvent, cu o serie de mărimi, precum:

- **Potențialul prizei de pământ, V_p** , - este diferența de potențial care apare între priza de pământ și zona de potențial nul, la o valoare dată a intensității curentului care circulă prin acea instalație de legare la pământ (tensiunea maximă a prizei de pământ, U_p , la o valoare dată a intensității curentului care circulă prin aceasta);
- **Rezistivitatea solului (rezistența specifică a solului), ρ** , care se măsoară în Ωm , este rezistența măsurată între două fețe opuse ale unui metru cub de pământ, așa cum rezultă din reprezentarea grafică dată în figura 1.
- **Potențialul suprafeței solului, V_x** , este diferența de potențial dintre un punct x , situat pe suprafața solului, și pământul de referință.

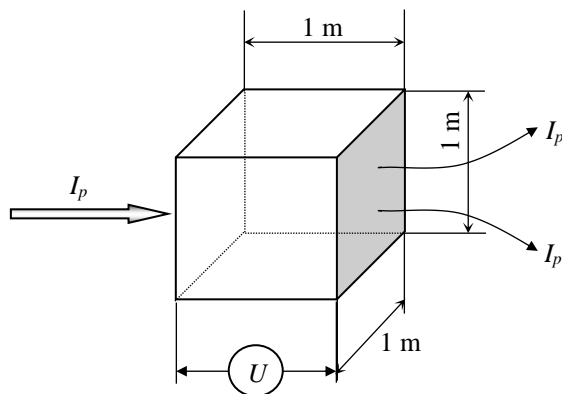


Fig.1. Schemă care ilustrează sensul fizic al rezistivității solului, ρ

Având în vedere faptul că tensiunile accidentale de atingere și de pas reprezintă părți din tensiunea unei instalații de legare la pământ, rezultă că pentru limitarea valorilor acestora este necesară reducerea tensiunii instalației de legare la pământ.

Valoarea tensiunii instalației de legare la pământ este dată de produsul dintre rezistența prizei de pământ și intensitatea curentului de defect ce se scurge prin aceasta, conform expresiei:

$$U_p = R_p \cdot I_p, \quad (1)$$

Din analiza expresiei anterioare reiese, în mod evident, că pentru asigurarea unei tensiuni cât mai mici la nivelul instalației de legare la pământ, și implicit, a tensiunilor accidentale, trebuie ca rezistența prizei de pământ să aibă valori cât mai mici.

Astfel, proprietățile electrice ale prizei de pământ depind de rezistența prizei de pământ și configurația acesteia.

2. Factorii ce influențează valoarea rezistenței prizei de pământ

Noțiunea de rezistență a prizei de pământ este valabil strict pentru cazul instalațiilor de curent continuu și a celor de curent alternativ, de frecvență industrială, unde impedanța de legare la pământ Z_p este egală cu rezistența prizei de pământ, R_p , care, este practic egală cu rezistența de dispersie a acesteia, R_{pD} :

$$Z_p \approx R_p \approx R_{pD}. \quad (2)$$

Rezistența R_p a unei prize de pământ depinde de proprietățile electrice ale solului în care este realizată, în principal de rezistivitatea acestuia, precum și de configurația prizei. Alții factorii care influențează valoarea rezistenței unei prize de pământ sunt: structura solului, conținutul de umiditate din sol, structura electrozilor utilizați, respectiv adâncimea de îngropare a acestora.

2.1. Influența structurii solului

Proprietățile electrice ale solului sunt caracterizate prin rezistivitatea acestuia. Determinarea valorii acesteia este dificilă, deoarece solul nu are o structură omogenă, fiind format din straturi de materiale diferite, iar rezistivitatea unui anumit sol variază în limite largi, așa cum se poate observa din datele prezentate în tabelul 1 fiind puternic dependentă și de gradul de umiditate.

Electrosecuritate

Calcularea rezistenței solului este o sarcină dificilă datorită variației în limite largi a rezistivității solului. Acesta este motivul pentru care, în multe situații practice, se acceptă o structură omogenă a solului, cu o valoare medie a rezistivității acestuia. Dacă nu se dispune de informații reale asupra valorii rezistivității solului, atunci se acceptă valoarea prezumată de $\rho = 100 \Omega\text{m}$.

Tabelul 1. Rezistivitatea solului ρ pentru diferite tipuri de sol și beton

Tipul solului	Rezistivitatea solului ρ [Ωm]	
	Domeniu de valori	Valoare medie
Sol mlăștinos	2 ÷ 50	30
Argilă	2 ÷ 200	40
Mâl și argilă nisipoasă, humus	20 ÷ 260	100
Nisip și pământ nisipos	50 ÷ 3000	200 (umed)
Turbă	> 1200	200
Pietriș umed	50 ÷ 3000	1000 (umed)
Piatră și pământ pietros	100 ÷ 8000	2000
Beton: o parte ciment și trei părți nisip	50 ÷ 300	150
Beton: o parte ciment și cinci părți pietriș	100 ÷ 8000	400

În ceea ce privește influența asupra rezistenței prizei de pământ, aceasta va fi atât mai mare cu cât rezistivitatea solului este mai ridicată.

2.2. Influența umidității din sol

Determinarea rezistivității solului pe cale analitică este dificilă și ca urmare a influenței pe care o are conținutul de umiditate din sol. Acesta se poate schimba în limite largi, depinzând de amplasarea geografică și de condițiile atmosferice, de la o valoare nesemnificativă a umidității, așa cum este cazul regiunilor deșertice, și până la valori de circa 80 %, așa cum este cazul regiunilor mlăștinoase.

Un exemplu edificator, în acest sens, fiind acela din figura 2, în care este redată dependența dintre rezistivitate și umiditate pentru argilă.

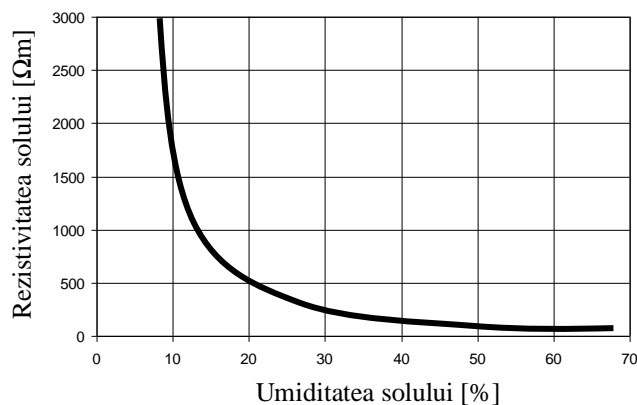


Fig.2. Rezistivitatea solului, pentru argilă, în funcție de umiditatea relativă a acestuia

Electrosecuritate

Din analiza figurii anterioare se poate trage concluzia că rezistivitatea solului, și implicit rezistența prizei de pământ, va fi atât mai mică cu cât conținutul de umiditate din sol este mai mare. Acest efect are loc doar până la o anumită valoare umidității relative, de 40% în exemplu prezentat în figura 2, în timp ce creșterea conținutului de umiditate din sol peste această valoare nu mai contribuie în mod semnificativ la scăderea rezistivității solului (și deci a rezistenței prizei de pământ).

Trebuie semnalată și situația inversă, când pentru reducerea umidității din sol sub 20 % apare o majorare semnificativă a rezistivității solului, cu efecte clar defavorabile asupra valorii rezistenței prizei de pământ.

În Europa, valoarea maximă a rezistenței prizei de pământ fiind atinsă în februarie, iar valoarea minimă în august. Valorile medii sunt obținute în lunile mai și noiembrie. Valoarea din februarie este cu aproximativ 30 % mai mare decât valoarea medie, în timp ce în august ea este cu circa 30 % mai mică decât media.

2.3. Influența structurii electrozilor

Obținerea unor valori scăzute ale rezistenței prizelor de pământ este posibilă în condițiile în care densitatea curentului care se scurge de la electrozii metalici spre pământ este redusă. În acest scop este necesar ca volumul de pământ prin care se scurge acest curent să fie cât mai mare posibil.

O astfel de situație apare în cazul utilizării unor electrozi de mici dimensiuni, în timp ce utilizarea unor electrozi tip placă conduce la creșterea densității de curent deoarece disiparea acestuia are loc preponderent pe muchiile plăcii.

În consecință rezultă că electrozii realizați din tije, țevi sau conductoare au o rezistență de dispersie mult mai mică decât, de exemplu, o placă având aceeași suprafață. În plus, fenomenul de coroziune, determinat de circulația curentului alternativ sau continuu, se intensifică odată cu creșterea densității de curent. În acest fel, densități mici de curent fac ca durata de viață a electrozilor prizelor de pământ să fie mai mare.

Dependența rezistenței prizei de pământ funcție de raza electrodului acesteia, pentru un sol de rezistivitate dată $\rho = 100 \Omega \cdot m$, este reprezentată grafic în figura 3.

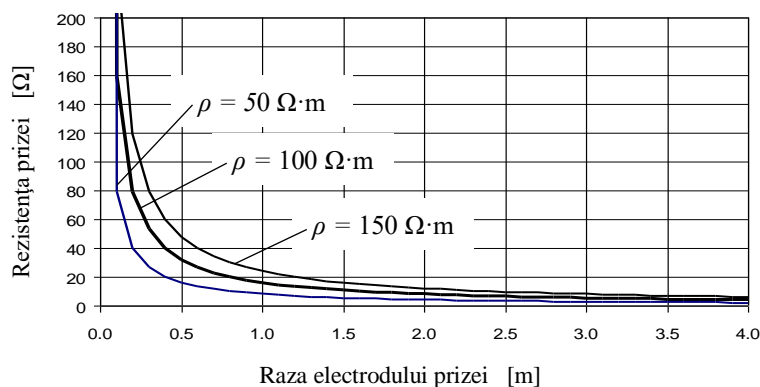


Fig.3. Dependența rezistenței prizei de pământ de raza electrodului acesteia

Se poate observa că raza echivalentă a electrozilor prizei trebuie să depășească o anumită dimensiune, pentru a obține o priză de pământ de bună calitate. Creșterea razei echivalente, peste

Electrosecuritate

un anumit prag, nu determină o reducere semnificativă a rezistenței prizei de pământ, într-un sol de rezistivitate dată.

2.4. Influența adâncimii de îngropare a electrozilor

Rezistența unei prize de pământ depinde, în mod cu totul semnificativ, de adâncimea de îngropare a electrozilor acesteia. Explicația unui astfel de comportament rezultă din faptul că conținutul de umiditate din sol este mai mare și mai stabil în timp pentru straturile mai adânci decât pentru cele superficiale.

În funcție de adâncimea de îngropare a electrozilor, prizele de pământ se pot clasifica după cum urmează:

a. prize de suprafață, care la rândul lor pot fi:

- prize simple orizontale - realizate din benzi sau conductoare plasate orizontal sub formă de fâșii sau inel;
- priză rețea orizontale - realizată ca o rețea (plasă) amplasată la mică adâncime;
- prize realizate din cabluri cu manta metalică neprotejată sau armături care se comportă ca o priză simplă orizontală;
- prize naturale - formate din părțile de structură conductoare conținute în betonul fundației și care asigură suprafață mare de contact cu solul;

b. prize de adâncime – constând în tije verticale realizate din țevi, bare etc. și care sunt instalate sau îngropate la o adâncime mai mare de un metru, uzual între 3 metri și 30 metri sau chiar mai mult.

Prize de pământ de suprafață, care sunt realizate, în mod obișnuit, din conductoare neizolate sau benzi poziționate într-o configurație radială, circulară, de tip rețea sau o combinație a acestora, îngropate la o adâncime mică, de până la un metru. Un avantaj important al acestei soluții îl constituie repartiția favorabilă a potențialelor la suprafața solului.

Prizele de adâncime au avantajul că pot traversează straturi de sol cu rezistivități diferite și sunt deosebit de utile în locurile unde straturile superficiale au conductivitate scăzută. În acest fel, se poate obține, cu ușurință, o valoare redusă a rezistenței de dispersie a prizei. Un alt avantaj al prizelor tijă este acela că ele pot fi realizate în locuri unde suprafața disponibilă pentru amplasarea electrozilor este redusă.

Principalul dezavantaj al prizelor de pământ de adâncime este distribuția defavorabilă a potențialelor la suprafața solului. Din acest motiv, în practică, se utilizează o combinație de prize tijă, verticale, și de suprafață, orizontale, în scopul de a obține atât o bună rezistență a prizei cât și distribuția dorită a potențialelor.

Observația anterioară, referitoare la necesitatea realizării unei prize de pământ cu structură mai complexă, este susținută și de reprezentarea grafică din figura 4, unde sunt evidențiate, în manieră comparativă, tensiunile de atingere corespunzătoare a două prize de pământ, una simplă, realizată dintr-un singur electrod vertical, și una complexă, de tip plasă sau rețea, cu mai multe ochiuri.

Electrosecuritate

Astfel, persoanele notate cu A și B sunt supuse tensiunii de atingere în timp ce persoana notată cu C este expusă unei tensiuni de pas. Se poate observa că persoana notată cu A este supusă unei tensiuni de atingere semnificativ mai mari decât persoana notată cu B.

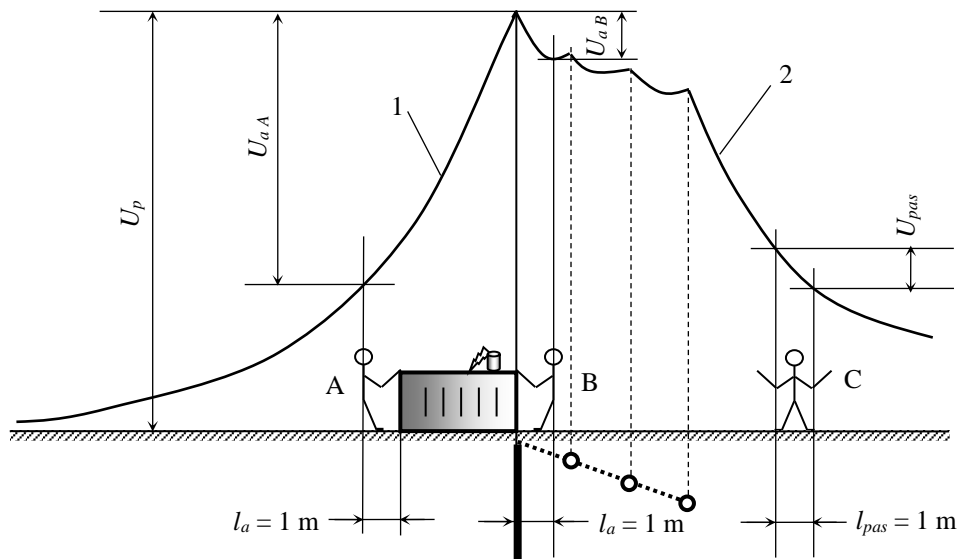


Fig. 4. Comparație între distribuția potențialului la suprafața solului în timpul trecerii curentului prin instalația de legare la pământ, pentru două tipuri de prize de pământ:
1 - priză tip tijă/verticală; 2 - priză tip rețea; U_p - potențialul prizei de pământ; U_{aA} , U_{aB} - tensiunile de atingere corespunzătoare persoanelor A și respectiv B; U_{pas} - tensiunea de pas.

Partea din stânga a figurii 4 prezintă repartiția potențialului funcție de distanță, în raport cu electrodul prizei, pentru o priză tijă, verticală, în timp ce partea dreaptă este caracteristică unei prize de tip rețea. Priza tijă verticală (1) se caracterizează printr-o rezistență de dispersie scăzută, datorită adâncimii mari de pătrundere în sol, însă repartiția potențialelor este mult mai defavorabilă decât în cazul prizelor orizontale, caracterizate printr-un profil aplatizat al potențialului la suprafața solului. Tensiunea de atingere este considerabil mai mare la priza tijă verticală (1), decât la cea de tip rețea (2). De asemenea, tensiunile de pas sunt mai puțin periculoase în cazul prizelor de tip rețea decât în cazul prizelor simple, de tip tijă verticală.

3. Metode pentru reducerea rezistenței de dispersie a prizelor de pământ

În solurile uscate, mai ales în cele cu pământ nisipos și în amestec cu pietriș, atunci când rezistivitatea solului depășește $500 \Omega \cdot m$, adeseori este dificil de realizat prize de pământ având rezistența de dispersie suficient de mică, chiar în condițiile adăugării unui număr considerabil de electrozi verticali și orizontali.

Cele mai simple soluții de reducere a rezistivității solului, la contactul cu electrozii prizelor de pământ sunt:

- udarea solului în vecinătatea electrozilor;
- utilizarea unor săruri, precum clorura de sodiu, clorură de magneziu, clorură de calciu sau sulfat de cupru;
- impregnarea solului cu soluții de sodă;
- utilizarea unor amestecuri de sol cu pilitură de fier.

Electrosecuritate

Totuși experiența de exploatare a arătat că utilizarea unor substanțe solide solubile în apă, așa cum sunt sărurile enumerate, nu este eficientă, deoarece apa provenită din precipitații, care se infiltrează pe lângă electrozii prizelor de pământ, diluează concentrația acestor soluții, în foarte scurt timp.

O soluție tehnică viabilă, pentru reducerea rezistenței de contact și a rezistenței solului modificat din vecinătatea electrozilor prizelor de pământ, este aceea a utilizării bentonitei. Bentonita este o argilă naturală, rezultată în urma activității vulcanice, ce are o serie de proprietăți deosebite de utile, care o recomandă pentru utilizarea în vederea reducerii rezistenței de dispersie a prizelor de pământ.

Astfel, principalele caracteristici ale bentonitei sunt:

- higroscopicitate ridicată, ce permite creșterea volumului chiar de până la 13 ori față de volumul în stare uscată;
- nu este corozivă;
- este stabilă și are o rezistivitate foarte mică, de numai $2,5 \Omega \cdot m$, la o umezire a sa de 300 %;
- aderență crescută la orice suprafață cu care intră în contact.
- prin expunerea la soare bentonita crează o peliculă uscată, care nu permite uscarea, în profunzime, a stratului.

Efectul utilizării bentonitei se resimte, atât asupra rezistenței totale a prizei de pământ, prin reducerea acesteia, cât și prin asigurarea unei repartiții mai bune potențialului, așa cum se poate observa în exemplul prezentat în figura 5.

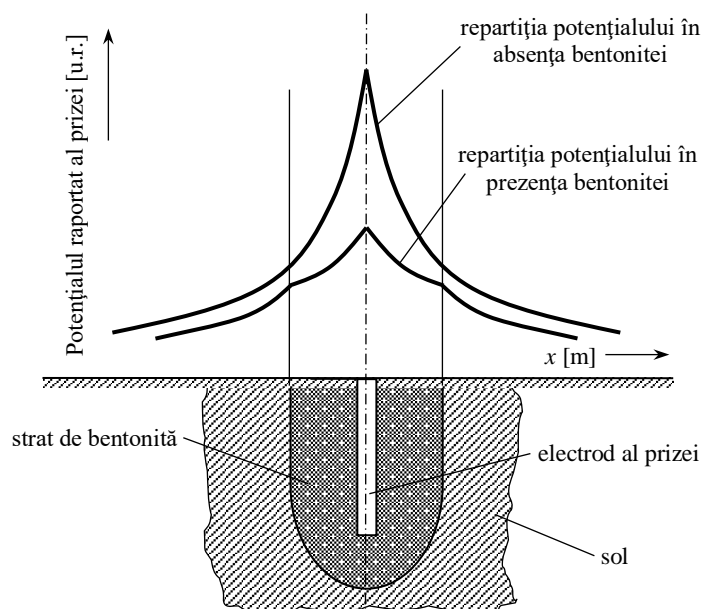


Fig.5. Repartiția potențialului unei prize de pământ verticale simple, în prezența și în absența unui strat de bentonită

Bentonita nu este recomandată pentru prizele de pământ ale instalațiilor ce funcționează în curent continuu, deoarece accentuează procesele electrolitice care determină deteriorarea electrozilor, și de asemenea, nu se folosește pentru cazul solurilor foarte uscate, deoarece, în timp, apa din suspensia de bentonită migrează în solul în care este turnată.

Electrosecuritate

Procedeul este foarte eficient, însă, în regiuni cu soluri nisipoase, pietroase sau stâncoase, caracterizate prin rezistivitate electrică mare.

Modul de utilizare al bentonitei depinde de tipul prizei de pământ, după cum urmează:

- în cazul electrozilor verticali utilizați în solurile pietroase, suspensia de bentonită este introdusă în găurile forate ale electrozilor, printr-o rețea de mici ramificații și de fisuri ce sunt obținute prin producerea unor mici explozii la partea inferioară a orificiului forat;
- în cazul prizelor cu electrozi orizontali suspensia de bentonită se introduce în șanțurile electrozilor orizontali, astfel încât aceștia să fie înconjurați de un strat având grosimea de 3 ÷ 5 cm din această suspensie.