

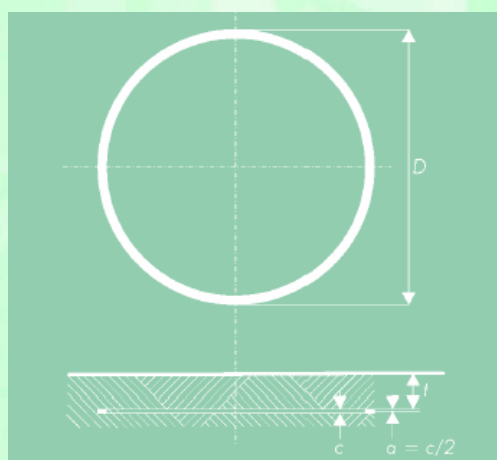
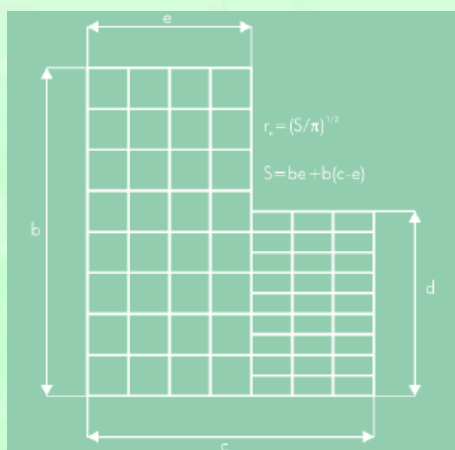
Ghid de Aplicare - Calitatea Energiei Electrice



Legarea la pământ & CEM

Sisteme de legare la pământ – Aspecte constructive de bază

6.5.1



Legarea la pământ & CEM

Sisteme de legare la pământ - Aspecte constructive de bază

Henryk Markiewicz & Antoni Klajn
Wroclaw University of Technology
Iulie 2004



Acest ghid este realizat ca parte a Inițiativei Leonardo pentru Calitatea Energiei Electrice, un program european de educație și învățare, sub egida și cu suportul Comunității Europene (în programul Leonardo da Vinci) și International Copper Association. Pentru alte informații privind acest program a se vedea www.lpqi.org.



European Copper Institute (ECI)

European Copper Institute este un joint venture între ICA (International Copper Association) și industria europeană de fabricate. Prin membrii săi, ECI acționează în numele celor mai mari producători de cupru din lume și a principalilor prelucrători din Europa, pentru promovarea cuprului în Europa. Apărută în ianuarie 1996, ECI are suportul unei rețele de unsprezece Copper Development Association („CDAs”) în Benelux, Franța, Germania, Grecia, Ungaria, Italia, Polonia, Rusia, Scandinavia, Spania și Regatul Unit.

Societatea Inginerilor Energeticieni din România

Societatea Inginerilor Energeticieni din România - SIER, constituită în 1990, este o asociație profesională, autonomă, cu personalitate juridică, neguvernamentală, apolitică, fără scop patrimonial. Scopul Societății este de a contribui activ atât la creșterea rolului și eficienței activității inginerilor energeticieni, cât și la stabilirea orientărilor, promovarea progresului tehnic și îmbunătățirea legislației în domeniul energetic. SIER promovează un schimb larg de informații, cunoștințe și experiență între specialiștii din domeniul energetic prin cooperarea cu organizații similare naționale și internaționale. În anul 2004 SIER a semnat un acord de parteneriat cu European Copper Institute pentru extinderea și în România a programului LPQI (Leonardo Power Quality Initiative), program educațional în domeniul calității energiei electrice, realizat cu suportul Comisiei Europene. În calitate de partener al ECI, SIER se va implica în desfășurarea unei ample activități de informare și de consultanță a consumatorilor de energie electrică din România.

Atenționare

Conținutul acestui proiect nu reflectă în mod necesar poziția Comunității Europene și nu implică nici o responsabilitate din partea Comunității Europene.

European Copper Institute, Wroclaw University of Technology și Societatea Inginerilor Energeticieni din România își declină răspunderea pentru orice daune directe, indirecte, subsidiare sau incidente care ar putea să rezulte în urma utilizării informațiilor sau a inabilității de a utiliza informațiile și datele cuprinse în această publicație.

Copyright© European Copper Institute, Wroclaw University of Technology și Societatea Inginerilor Energeticieni din România.

Reproducerea prezentului document este permisă numai sub forma sa integrală și cu menționarea sursei.



Societatea Inginerilor Energeticieni din România
No. 1, Lacul Tei Avenue, PO/BOX 30-33
020371 Bucharest
Romania

Tel: 4 0722 36 19 54
Fax: (4 021) 610 52 83
Email: office@sier.ro
Website: www.sier.ro



European Copper Institute
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Website: www.eurocopper.org

Sisteme de legare la pământ - Aspecte constructive de bază

Introducere

Informațiile de bază privind caracteristicile sistemelor de legare la pământ sunt prezentate în secțiunea 6.3.1 „*Instalații de legare la pământ – Bazele teoretice pentru calcul și proiectare*”. Această secțiune oferă un ghid de proiectare, legate de chestiuni practice privind calcule și probleme de proiectare. Principalele aspecte luate în considerare sunt:

- ◆ Rezistența de legare la pământ pentru diferite forme constructive ale prizelor;
- ◆ Materialul utilizat pentru realizarea electrozilor prizei de pământ;
- ◆ Coroziunea electrozilor prizei de pământ.

În secțiunea 6.3.1 au fost prezentate definițiile de bază și relațiile pentru calculul prizei de pământ și repartitia de potențial pentru un electrod ideal semisferic. Metode similare permit formularea de relații pentru alte configurații de electrozi. Totuși, toate aceste relații pleacă de la ipoteza falsă că solul are o structură omogenă și este nelimitat. Mai mult, rezistivitatea ρ a solului se modifică în funcție de conținutul de umiditate și deci în funcție de sezonul din an. Din această cauză, rezistența prizei de pământ calculată cu aceste relații nu poate fi considerată ca fiind exactă. Pe de altă parte, în practică, nu este necesar un nivel ridicat de acuratețe atunci când se calculează sau când se măsoară rezistența prizei de pământ. Acest parametru are numai o influență indirectă asupra funcționării rețelei electrice și echipamentelor, ca și asupra protecției contra șocurilor electrice. În standardele actuale și în ghidurile majorității țărilor, valorile maxim admise ale rezistenței prizei de pământ nu sunt specificate, dar este recomandată numai valoarea minim posibilă [1]. Astfel, rezistențele prizelor de pământ calculate cu relațiile indicate mai jos, trebuie considerate aproximative și, în practică, o incertitudine de $\pm 30\%$ poate fi considerată ca acceptabilă. Din această cauză, nu este rațional să fie deduse relații exacte, special pentru prize sub formă de rețea sau pentru sisteme complexe de prize.

Un avantaj al relațiilor deduse pentru configurații de electrozi simpli este acela că permit o observare clară a relației dintre rezistența prizei de pământ și geometria electrozilor. Desigur, este totdeauna recomandată utilizarea celor mai exacte relații disponibile. Totuși, în practică, deși se utilizează relații în proiectarea sistemelor de legare la pământ, cele mai exacte informații privind rezistența prizei de pământ se obțin, în prezent, prin măsurători *in teren*.

Principalul subiect luat în considerație aici este calculul rezistenței prizei de pământ și repartitia potențialului pe suprafața solului, pentru diferite tipuri de prize de pământ. Formele tipice de prize de pământ sunt:

- ◆ *priză de suprafață simplă*, sub forma de bandă plasată orizontal sau conductoare rectilinii sau în cerc;
- ◆ *priză verticală*, cu electrozi de lungime suficientă pentru a traversa straturi de sol cu diferite conductivități; aceasta are o utilizare particulară atunci când straturile de suprafață au o conductivitate redusă comparativ cu straturile profunde, sau când există o limitare semnificativă a ariei suprafeței în care se realizează prize de pământ;
- ◆ *priză sub formă de rețea*, realizată în mod uzual ca o rețea plasată orizontal, la o adâncime redusă față de suprafața solului;
- ◆ *cablu cu efect de priză de pământ* – cablu a cărui manta metalică expusă, ecran sau armătură asigură o conectare la pământ, cu o rezistență electrică similară unei prize de pământ cu benzi metalice;
- ◆ *priză de pământ de fundație* – cuprinde părți metalice incluse în beton, care este în contact cu pământul pe suprafețe mari.

Funcțiile sistemelor de legare la pământ și cerințe fundamentale

Funcțiile unui sistem de legare la pământ sunt de a asigura:

- ♦ pământul de protecție
- ♦ pământul funcțional în rețelele electrice
- ♦ protecția la trăsnete.

Sistemul de pământ de protecție asigură interconectarea sau legarea la pământ a tuturor părților metalice (părți conductoare expuse și externe) pe care o persoană sau un animal ar putea să le atingă. În condiții normale, fără defecte, nu există diferențe de potențial între aceste părți, dar în condiții de defect pot să apară diferențe de potențial periculoase determinate de trecerea curenților de defect. Funcția sistemului de legare la pământ este de a proteja viața contra șocurilor electrice, cerința fundamentală fiind ca potențialul V_E al pământului în cazul unui probabil curent de scurtcircuit I_E să nu depășească valoarea admisă a potențialului de atingere V_F :

$$V_E \leq V_F \quad (1)$$

În acest fel, rezistența maxim admisă R a prizei de pământ este:

$$R = \frac{V_F}{I_E} \quad (2)$$

în care I_E este curentul de scurtcircuit monofazat, în cele mai nefavorabile condiții.

În instalațiile industriale, precum și în posturile de transformare, prizele de pământ ale sistemelor de înaltă și joasă tensiune sunt de multe ori comune, determinat de aria disponibilă limitată. În instalațiile cu neutrul izolat (IT) pământul de protecție trebuie realizat ca un sistem comun cu pământul de protecție al părții de înaltă tensiune, independent de tipul conectării la pământ a neutrului rețelei (adică izolat sau cu bobină de compensare).

Pământul funcțional se referă la necesitatea ca un număr de puncte ale rețelei electrice să fie conectate la sistemul de legare la pământ pentru a asigura funcționarea corectă. Un exemplu tipic este conectarea la pământ a punctului neutru al unui transformator.

Pământul pentru protecția la trăsnete trebuie să conducă curentul de trăsnet la pământ. Curenții de trăsnet pot atinge valori de vârf i_p foarte mari și pot să determine valori foarte ridicate ale potențialului V_E al prizei de pământ, care se calculează cu relația următoare

$$V_E = \sqrt{\left(L \cdot \frac{di_p}{dt} \right)^2 + (i_p \cdot R_p)^2} \quad (3)$$

în care

L este inductivitatea prizei de pământ și a conductoarelor principale de legare la pământ

R_p – rezistența de impuls a prizei de pământ.

În funcție de curentul de trăsnet și de caracteristicile prizei de pământ, potențialul V_E poate atinge valori foarte ridicate, până la sute sau chiar mii de kV. Deoarece aceste valori sunt mult mai mari decât tensiunile de serviciu ale rețelei electrice, trăsnetul determină de multe ori descărcări inverse sau supratensiuni induse în rețeaua electrică. Astfel, o protecție completă a instalațiilor contra trăsnetelor necesită prevederea unui sistem de descărcătoare sau eclatoare de protecție.

Rezistența electrică și distribuția de potențial pe suprafața solului pentru construcții tipice de prize de pământ

O priză de pământ de suprafață, simplă, cuprinde bare metalice, rotunde sau dreptunghiulare, sau conducte, plasate orizontal sub suprafața solului, la o adâncime dată t așa cum se vede în figura 1. În mod uzual lungimea acestor elemente este l , mult mai mare decât t . Se face ipoteza că distribuția potențialului pe suprafața solului, determinată de priza de pământ, în direcția x , perpendiculară pe lungimea l este dată de următoarea relație

Sisteme de legare la pământ - Aspecte constructive de bază

$$V_x = \frac{\rho \cdot I_E}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{\sqrt{l^2 + 4 \cdot t^2 + 4 \cdot x^2} + l}{\sqrt{l^2 + 4 \cdot t^2 + 4 \cdot x^2} - l} \quad (4)$$

în care

V_x este potențialul pe suprafața solului [V];
 V_E – potențialul prizei de pământ [V] pentru un curent de pământ I_E [A];
 ρ – rezistivitatea solului [Ω m];
 l – lungimea electrodului de pământ [m].

Alte notații sunt indicate în figura 1.

Valoarea relativă V^* a potențialului este:

$$V^* = \frac{V_x}{V_E} \quad (4a)$$

în care

V^* este valoarea relativă a potențialului pe suprafața solului.

Distribuția potențialului pe suprafața solului, conform relațiilor (4 și 4a) este indicată în figura 1, pentru valori particulare ale dimensiunilor electrodului prizei.

Rezistența prizei de pământ pentru un electrod cilindric simplu plasat în sol poate fi determinată din relația:

$$R = \frac{V_E}{I_E} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{l^2}{t \cdot d} \quad (5)$$

În mod obișnuit priza orizontală este realizată cu bare cu secțiune rectangulară, cu lățime (b) de 30...40 mm și grosime (c) de 4...5 mm. În acest caz, valoarea efectivă a diametrului echivalent d_e poate fi calculată din relația:

$$d_e = \frac{2 \cdot b}{\pi} \quad (6)$$

care poate fi introdusă în relația (5). În unele referințe bibliografice se propune să se adopte $d_e = b/2$.

Rezistența electrică a diferitelor configurații de prize de pământ cu electrozi simpli plasați orizontal poate fi determinată cu ajutorul următoarei relații

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l_\Sigma} \cdot \ln \frac{B \cdot l^2}{t \cdot d_e} \quad (7)$$

în care B este un factor dependent de configurația prizei de pământ (date în tabelul 1), iar l_Σ – suma lungimilor tuturor electrozilor.

Rezistența electrică a unei prize de pământ sub formă inelară, cu diametrul D realizat dintr-o bară cu grosime c (figura 2), plasat la adâncime tipică de 1 m sub suprafața solului, poate fi calculată cu ajutorul următoarei relații [4]:

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi^2 \cdot D} \cdot k \quad (8)$$

în care k este un factor indicat în figura 3 (toate notațiile ca în relația (4)).

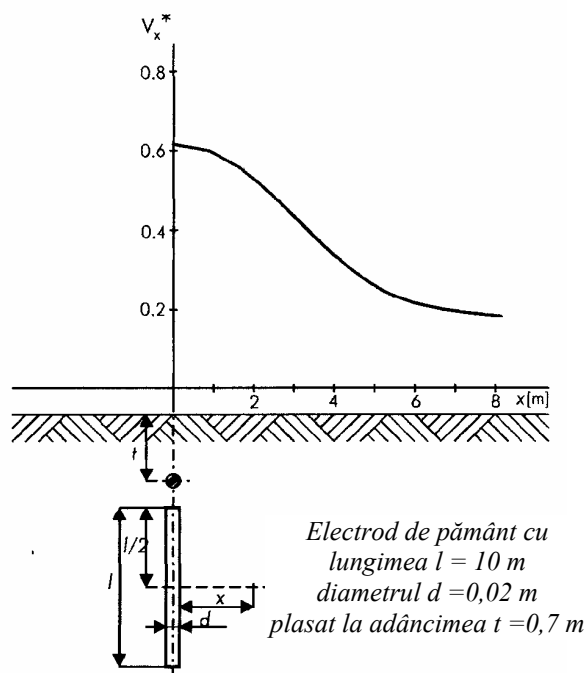


Figura 1 – Distribuția potențialului pe suprafața solului, perpendicular pe direcția electrodului

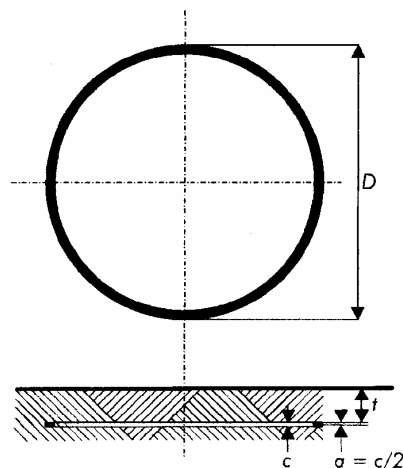
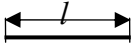
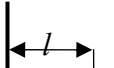
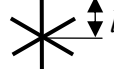
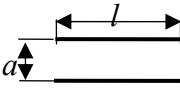
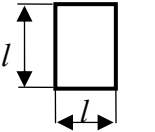


Figura 2 – Schema unui electrod de pământ simplu inelar, conform relației (8)

Sisteme de legare la pământ - Aspecte constructive de bază

Priza de pământ		Factorul B din relația (7)	
Denumirea	Proiecția orizontală		
Linie		1	
Două brațe, perpendiculare		1,46	
Trei brațe, simetrice		2,38	
Patru brațe, simetrice		8,45	
Șase brațe, simetrice		192	
Două brațe, paralele		$\frac{l^2}{4 \cdot a^2}$	
Pătrat		5,53	
Dreptunghi, cu diferite rapoarte l_1/l_2 (1,5; 2; 3; 4)		1,5	5,81
		2	6,42
		3	8,17
		4	10,4

Tabelul 1 – Valorile factorului B (7) pentru diferite configurații geometrice ale prizelor de suprafață

Prizele verticale au forma unor tije lungi din metal sau conducte plasate vertical în pământ pentru a trece prin straturile din adâncime ale pământului. Așa cum s-a menționat în secțiunea 6.3.1, rezistivitatea pământului depinde considerabil de adâncimea în sol, deoarece solurile din adâncime conțin mai multă umezeală. Tijele electrozilor fac contact cu straturile din profunzime a căror conținut de umiditate este mai mare și rezistivitatea mai mică, astfel încât acestea sunt folosite în cazul particular atunci când o priză de pământ este necesară în spații de arie redusă. În acest fel, prizele de pământ verticale sunt recomandate, în special în zonele cu construcții dense sau atunci când suprafața este acoperită cu asfalt sau beton. Electrozii verticali sunt utilizați deseori împreună cu unii orizontali pentru a asigura minimizarea rezistenței totale a prizei de pământ.

Un important dezavantaj al unei prize simple sub forma unei tije verticale este o distribuție dezavantajoasă a potențialului pe suprafața solului, care poate fi determinată cu ajutorul următoarei relații, în ipoteza că curentul de pământ I_E este uniform distribuit pe toată lungimea electrodului

$$V_x = \frac{\rho \cdot I_E}{4 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{\sqrt{x^2 + l^2} + l}{\sqrt{x^2 + l^2} - l} \quad (9)$$

în care: x este distanța față de electrodul de pământ;

l – lungimea electrodului.

Celelalte notații corespund relației (4).

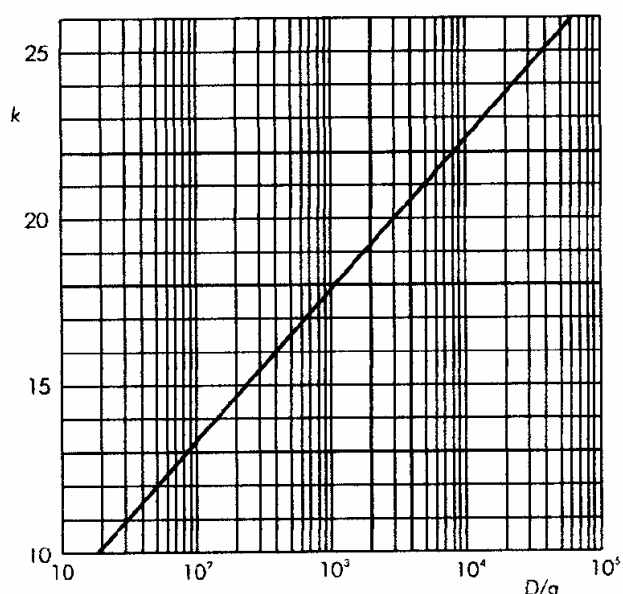


Figura 3 – Valorile factorului $k = f(D/a)$ folosite în relația (8)

Sisteme de legare la pământ - Aspecte constructive de bază

Un exemplu de distribuție a potențialului relativ la suprafața solului $V_x^* = f(x)$ (4a), pentru unele dimensiuni de electrozi, este prezentat în figura 4. Compararea dintre caracteristicile din figurile 1 și 4 indică faptul că gradientul potențialului la suprafața solului este considerabil mai mare pentru o priză verticală și potențialul de atingere este defavorabil. Relația aproximativă pentru calculul rezistenței electrice a prizei de pământ verticale simple este:

$$R = \frac{V_E}{I_E} = \frac{\rho}{4 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{4 \cdot l^2}{r^2} \quad (10)$$

în care r este raza electrodului utilizat.

În figura 5 este indicată rezistența prizei de pământ simple în funcție de lungimea electrodului în pământ de diferite rezistivități.

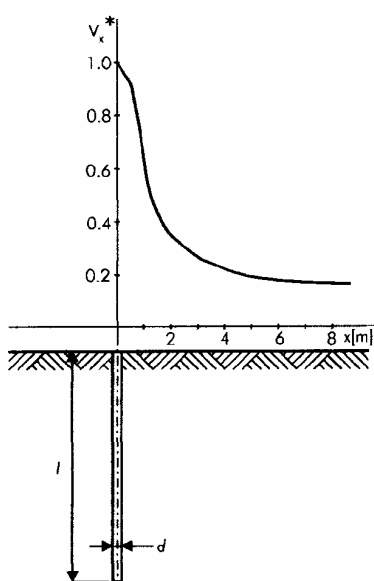


Figura 4 – Distribuția potențialului pe suprafața solului $V_x^* = f(x)$ în jurul unei prize verticale cu electrod tijă cu lungimea $l = 3$ m, diametrul $d = 0,04$ m

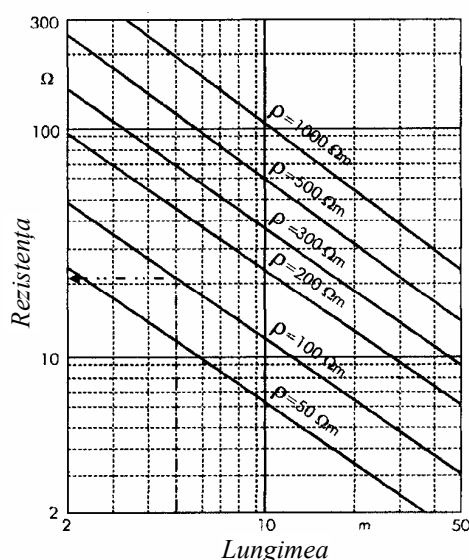


Figura 5 – Rezistența prizei de pământ (rezistența de dispersie) a unui electrod tijă cu lungimea l și diametrul $0,02$ m într-un sol omogen cu rezistivitatea ρ [2].

În cazul unei prize cu n tije verticale (figura 6) plasate în linie, la o distanță egală a între ele, rezistența efectivă a prizei este următoarea:

$$\frac{1}{R} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \right) \cdot k \quad (10a)$$

în care

$R_1, R_2, R_3 \dots R_n$ sunt rezistențele prizelor de pământ calculate pentru fiecare tijă, considerând că nu sunt afectate de prezența altor electrozi tijă, iar k este numit factor de utilizare și având o valoare $k \geq 1$.

Valoarea factorului k este mai mare decât 1 din cauza influenței mutuale a câmpurilor electrice determinate de tijele alăturate. Ca efect, simetria circulației de curent electric de la fiecare electrod individual este deformată și densitatea de curent în sol este modificată. În literatura de specialitate [8] sunt date valorile exacte ale factorului k pentru diferite configurații ale electrozilor tijă plasați paralel. În cazul configurației simple indicată în figura 6, valoarea factorului k poate fi considerată [4]:

pentru $a \geq 2 \cdot l$, $k \cong 1,25$ și pentru $a \geq 4 \cdot l$, $k \cong 1$

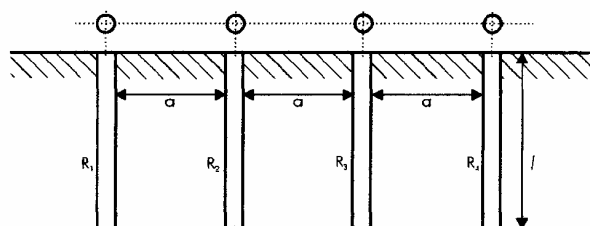


Figura 6 – Electrozi tijă plasați paralel;
 $R_1 \dots R_4$ – rezistența individuală a prizei electrozilor tijă;
 a – distanța dintre electrozi; l – lungimea electrozilor

Sisteme de legare la pământ - Aspecte constructive de bază

Prizele de pământ sub formă de rețea sunt utilizate în special pentru prizele extinse pe suprafețe mari, de exemplu în stațiile electrice. Rețeaua tuturor electrozilor este astfel contruită încât să corespundă dimensiunilor instalației și să asigure o distribuție favorabilă, aproximativ uniformă a potențialului pe suprafața solului. Rezistența de pământ în cazul prizei sub formă de rețea poate fi calculată utilizând următoarea relație simplificată

$$R = \frac{\rho}{4 \cdot r_e} + \frac{\rho}{l_\Sigma} \quad (11)$$

în care r_e este raza echivalentă.

Pentru o suprafață pătrată sau aproximativ pătrată, raza echivalentă este dată de aria circulară având aceeași arie cu suprafața analizată.

Pentru suprafețele dreptunghiulare, raza echivalentă este egală cu suma laturilor exterioare împărțită cu π , dacă priza are o formă foarte alungită (figura 7b); l_Σ este suma lungimilor laturilor tuturor ochiurilor rețelei.

Prizele de pământ de fundație sunt părțile metalice conductoare incluse în beton din fundația clădirii. Betonul plasat direct în pământ are un conținut natural de umiditate și poate fi considerat ca un mediu conductor, cu o conductivitate similară cu cea a pământului. Datorită ariei mari a acestui tip de priză de pământ, poate rezulta o rezistență redusă a prizei. În plus, betonul protejează părțile metalice contra coroziunii și deci elementele electrozilor din oțel incluse în beton nu necesită o protecție suplimentară la coroziune. Prizele de pământ de fundație sunt în prezent recomandate ca o soluție foarte practică pentru realizarea prizei de pământ a clădirilor [6, 7].

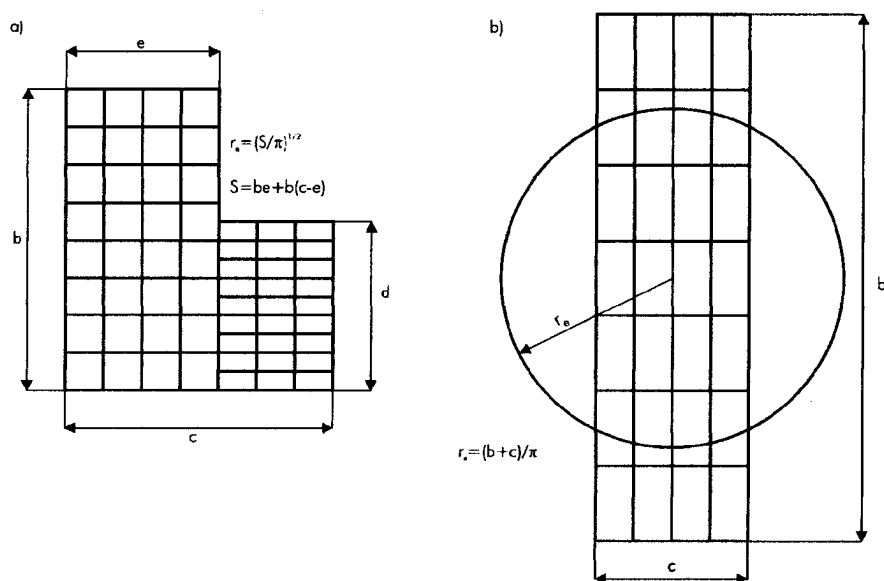


Figura 7 – Exemplu privind explicarea metodei de calcul a razei echivalente r_e din relația (11) pentru o priză de pământ sub formă de rețea, pentru două configurații ale prizei de pământ: aproximativ similară unui pătrat (a) și dreptunghi alungit (b)

În practică sunt două configurații de bază ale prizelor de pământ de fundație:

- ◆ fundație fără armătură în beton (figura 8)
- ◆ fundație cu armătură în beton (figura 9).

În ambele cazuri priza de pământ este realizată din:

- ◆ benzi din oțel cu secțiune dreptunghiulară nu mai mare de 30 mm × 3,5 mm, sau
- ◆ bare rotunde din oțel cu diametru nu mai mare de 10 mm.

Sisteme de legare la pământ - Aspecte constructive de bază

Elementele din oțel pot fi galvanizate (adică acoperite cu zinc), dar acest lucru nu este necesar dacă stratul din beton care acoperă electrozii este mai mare de 50 mm [6], deoarece betonul asigură suficientă protecție contra coroziunii, așa cum se observă în figura 8.

Într-o fundație fără armătură (figura 8), priza urmărește în mod obișnuit conturul fundației clădirii, adică este plasată sub pereții principali. În cazul clădirilor cu fundații ample, priza de pământ este realizată în mod obișnuit sub formă de bucle, acoperind părțile exterioare ale fundației, conectate între ele.

În cazul fundațiilor cu armătură, priza de pământ este plasată deasupra celui mai de jos strat al armăturii metalice (figura 9), asigurând astfel o protecție adecvată la coroziune a electrozilor. Electrozii prizei trebuie să fie legați de sistemul de armătură cu sârmă la un interval sub 2 m pe lungimea electrozilor. Nu este necesar a realiza o legătură electrică solidă la fiecare punct deoarece conexiunea electrică principală este prin intermediul betonului. Dacă fundația este realizată din panouri separate, conectate între ele prin elemente de dilatare, prizele de pământ ale fiecărui panou trebuie conectate electric între ele. Aceste legături trebuie să fie flexibile și trebuie să rămână accesibile pentru a fi posibilă măsurarea și întreținerea [6].

Rezistența prizei de pământ de fundație poate fi calculată utilizând următoarea relație simplificată

$$R = 0,2 \cdot \frac{\rho}{\sqrt[3]{V}} \quad (12)$$

în care R este în Ω , iar V este volumul fundației în m^3 .

Terminalul prizei de pământ de fundație trebuie să aibă o lungime de minimum 150 cm deasupra nivelului planșeului (figura 8 și 9). Trebuie să fie plasat pe cât posibil mai aproape de conductorul principal al circuitului de pământ al instalației din clădire. Legătura dintre priza de pământ de fundație și protecția la trăsnet trebuie plasată în afara clădirii.

În prezent sunt disponibile programe de calculator care permit determinarea exactă a parametrilor pentru diferite configurații ale prizei de pământ, inclusiv pentru cazul unei structuri complexe a straturilor de pământ. Totuși acestea au numai o utilizare limitată deoarece în practică structura solului, rezistivitatea acestuia și variațiile pe parcursul unui an nu sunt cunoscute. Un calcul exact poate fi realizat numai pentru un anumit sezon și va prezenta diferențe semnificative la alt moment. În orice caz, o înaltă exactitate în asemenea calcule nu este necesară; în practică o incertitudine de $\pm 30\%$ este în general satisfăcătoare. În consecință utilizarea relațiilor simple indicate aici sunt în mod normal satisfăcătoare. Bineînțeles, calculul este esențial pentru proiectare, dar eficiența sistemului poate fi verificată prin măsurarea rezistenței după realizarea construcției.

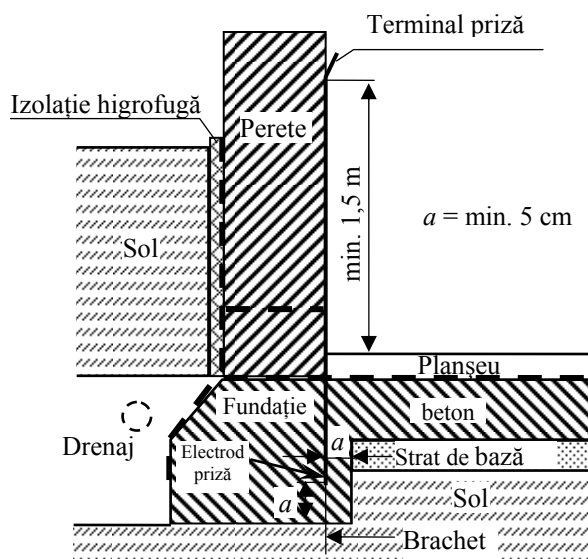


Figura 8 – Schiță privind plasarea prizei de pământ în fundația fără armătură

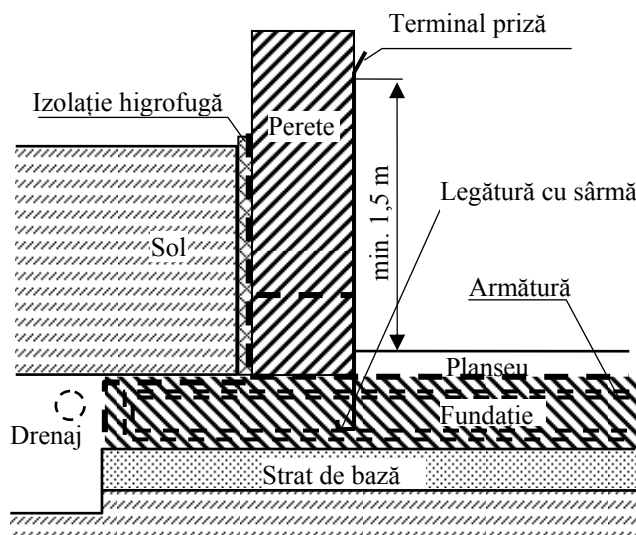


Figura 9 – Schiță privind plasarea prizei de pământ în fundația cu armătură

Sisteme de legare la pământ - Aspecte constructive de bază

Exemple de calcul

În toate exemplele se face ipoteza că solul are o structură omogenă cu o rezistivitate $\rho = 100 \Omega\text{m}$.

Exemplul A)

Rezistența de priză a unui simplu electrod, plasat orizontal la o adâncime de 1 m în pământ și având următoarele dimensiuni:

lățimea $b = 40 \text{ mm}$

grosimea $c = 5 \text{ mm}$

lungimea $l = 5 \text{ m}$

poate fi calculată folosind relațiile (6) și (7) și datele din tabelul 1. Diametrul echivalent d_e (6) este următorul:

$$d_e = \frac{2 \cdot b}{\pi} = \frac{2 \cdot 0,04 \text{ m}}{\pi} = 0,025 \text{ m} \text{ (Factorul } B \text{ din tabelul 1 este egal cu 1)}$$

Rezistența prizei de pământ:

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l_{\Sigma}} \cdot \ln \frac{B \cdot l^2}{t \cdot d_e} = \frac{100 \Omega\text{m}}{2 \cdot \pi \cdot 5 \text{ m}} \cdot \ln \frac{1 \cdot 5^2 \text{ m}^2}{1 \text{ m} \cdot 0,025 \text{ m}} \cong 22 \Omega$$

Exemplul B)

O priză de pământ care constă din două bare de 5 m, este plasată sub forma unei construcții simetrice cu patru brațe (tabelul 1) și are următorii parametri:

$d_e = 0,025 \text{ m}$

$l = 2,5 \text{ m}$

$B = 8,45$

Rezistența prizei de pământ este:

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l_{\Sigma}} \cdot \ln \frac{B \cdot l^2}{t \cdot d_e} = \frac{100 \Omega\text{m}}{2 \cdot \pi \cdot 10 \text{ m}} \cdot \ln \frac{8,45 \cdot 2,5^2 \text{ m}^2}{1 \text{ m} \cdot 0,025 \text{ m}} \cong 12,2 \Omega$$

Exemplu C)

O priză circulară (figura 2) cu un diametru de 5 m și realizată din aceeași bară ca și în exemplul A este plasată la o adâncime de 1 m. Factorul k poate fi estimat din figura 3 pentru $D/a = 5 \text{ m} / 0,0025 \text{ m} = 2000$, în care $a = c/2$ (figura 2). Rezistența prizei de pământ poate fi calculată utilizând relația (8):

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi^2 \cdot D} \cdot k = \frac{100 \Omega\text{m}}{2 \cdot \pi^2 \cdot 5 \text{ m}} \cdot 19,2 \cong 19,4 \Omega$$

Exemplul D)

O priză verticală simplă ce cuprinde un electrod cu diametrul de 20 mm și o lungime de 5 m are rezistența de priză calculată din relația (10):

$$R = \frac{\rho}{4 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{4l^2}{r^2} = \frac{100 \Omega\text{m}}{4 \cdot \pi \cdot 5 \text{ m}} \cdot \ln \frac{4 \cdot 5^2 \text{ m}^2}{0,01^2 \text{ m}^2} \cong 21,9 \Omega$$

O valoare similară poate fi obținută din diagrama din figura 5.

Sisteme de legare la pământ - Aspecte constructive de bază

Exemplul E)

O priză de pământ realizată ca o rețea plasată orizontal are dimensiunile indicate în figura 10.

Rezistența echivalentă este calculată utilizând relația (11) și raza echivalentă r_e calculată precum se vede în figura 7:

$$r_e = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \text{ m} \cdot 4,5 \text{ m}}{\pi}} \cong 2,4 \text{ m}$$

Suma lungimilor laturilor dintr-un ochi simplu este:

$$(1,5 \text{ m} + 1 \text{ m}) \cdot 2 = 5 \text{ m}$$

Suma lungimilor ochiurilor din interiorul rețelei este:

$$l_{\Sigma} = 5 \text{ m} \cdot 12 \text{ ochiuri} = 60 \text{ m}$$

Astfel încât rezistența prizei de pământ este:

$$R = \frac{\rho}{4 \cdot r_e} + \frac{\rho}{l_{\Sigma}} = \frac{100 \Omega \text{m}}{4 \cdot 2,4 \text{ m}} + \frac{100 \Omega \text{m}}{60 \text{ m}} \cong 12,1 \Omega$$

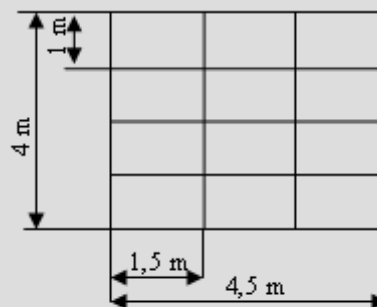


Figura 10 – Schița prizei de pământ sub formă de rețea (exemplu E)

Aspecte constructive ale prizelor de pământ

Sistemul de legare la pământ trebuie să fie construit de așa manieră și din asemenea materiale astfel încât caracteristicile să fie asigurate pe toată durata sa de viață, la costuri constructive rezonabile. Caracteristicile impuse sunt următoarele:

- ♦ rezistență electrică redusă a prizei și o distribuție favorabilă a potențialului pe suprafața solului
- ♦ capacitate adecvată pentru a transfera curentul de defect
- ♦ durată de viață ridicată.

Rezistența prizei de pământ nu trebuie să depășească valorile cerute de ghiduri sau standarde în cele mai nefavorabile condiții climatice (durată mare de timp uscat, îngheț puternic). Dacă acestea nu cuprind cerințe exacte, rezistența prizei de pământ trebuie să fie pe cât de redusă posibil.

Distribuția potențialului pe suprafața solului trebuie să fie astfel încât tensiunile de atingere și de pas să nu depășească valorile admise. Cea mai favorabilă distribuție de potențial pe suprafața solului este obținută la utilizarea prizei sub formă de rețea plasată orizontal. Uneori este necesar să se plaseze elemente orizontale adiționale pentru a obține o configurație dorită a distribuției potențialului pe suprafața solului. Aceste aspecte au fost analizate în secțiunea 6.3.1 „Instalații de legare la pământ – Bazele teoretice pentru calcul și proiectare”.

Capacitatea de curent de transfer este valoarea maximă a curentului care poate fi transferată prin priză spre pământ fără a rezulta o încălzire excesivă a elementelor prizei și chiar a solului înconjurător. La o valoare prea mare a curentului și a densității de curent, apa din sol și de la interfața sol-electrozi se evaporă, conducând la un sol uscat cu o rezistivitate ridicată.

Durata de viață a prizei de pământ este intervalul de timp de la construcție până la momentul în care continuitatea electrică este întreruptă datorită coroziunii părților metalice. Durata de viață a prizei de pământ trebuie să depășească durata de viață probabilă a instalației. Pentru majoritatea instalațiilor electrice durata de

Sisteme de legare la pământ - Aspecte constructive de bază

viață poate depăși 25 ani, iar pentru liniile electrice 35 ...50 ani. Priza de pământ trebuie să fie inclusă în programele periodice de reparație și mentenanță.

Durata de viață a prizei de pământ depinde în principal de rezistența sa la coroziune. Electrozii prizei de pământ, fiind în contact direct cu solul sau cu apa, lucrează în condiții de coroziune. Acestea cuprind trei principali factori care determină viteza de coroziune a obiectelor din metal aflate în sol:

- ◆ curent continuu în sol
- ◆ contaminarea chimică a solului
- ◆ fenomenele electrochimice (galvanice) între diferitele metale aflate în sol.

Coroziunea determinată de **curentul continuu** apare în principal la apropierea de rețelele de tensiune continuă (de exemplu, surse de alimentare cu tensiune continuă a căii ferate). Pentru aceste cazuri există standarde și norme (de exemplu DIN VDE 0150) cuprinzând cerințele specifice.

Coroziunea determinată de **substanțele chimice în sol** nu are în mod normal o mare importanță, afectând numai sistemele din întreprinderile chimice sau cele din apropiere de ocean. În asemenea cazuri, prizele de pământ trebuie să fie realizate din metale rezistente la coroziunea chimică specifică. Pentru a minimiza coroziunea chimică se recomandă, în unele cazuri, să se măsoare pH – ul solului. Pentru un sol alcalin ($\text{pH} > 7$) se recomandă electrozi din cupru, iar pentru soluri acide sunt preferați electrozii din aluminiu, zinc sau oțel galvanizat.

Coroziunea galvanică este determinată de curentul continuu care trece în circuit, generat de diferența de potențial electrochimic între două piese din metal plasate în sol umed, care are în acest caz rolul de electrolit. Dintre metalele utilizate în mod obișnuit pentru priza de pământ, cuprul prezintă cel mai redus potențial. Celelalte metale au un potențial pozitiv relativ la potențialul cuprului (tabelul 2). Acest curent continuu redus care circulă în mod permanent determină trecerea ionilor metalici de la anod la catod. În acest fel, metalul este extras de la anod și depus la catod. Din acest punct de vedere, poate fi dedusă o combinație favorabilă de metale. De exemplu, oțelul cuprat este o soluție favorabilă deoarece cantitatea de cupru rămâne aceeași. Un exemplu contrar este oțelul zincat, unde zincul este totdeauna anod și cantitatea sa scade continuu. De reținut faptul că potențialul electrochimic al oțelului inclus în beton este foarte apropiat de cel al cuprului. În acest fel, structurile din oțel din fundațiile clădirilor reprezintă catodul în raport cu alte obiecte din oțel sau din zinc plasate în sol (nu numai electrozi de priză de pământ, dar de exemplu, conducte pentru apă). Aceasta înseamnă că fundațiile ample determină o coroziune semnificativă, determinată de fenomene electrochimice, a obiectelor metalice.

Metal	Potențialul electrochimic raportat la electrodul din cupru [V]
Zinc sau oțel zincat	0,9 ... 1,0
Oțel	0,4 ... 0,7
Oțel în beton	0 ... 0,3

Tabelul 2 – Valori ale potențialului electrochimic pentru diferite metale raportate la electrodul din cupru [2]

Materialele utilizate cel mai des pentru electrozi sunt:

- ◆ oțel (de exemplu pentru prizele de fundație);
- ◆ oțel galvanizat
- ◆ oțel cuprat
- ◆ oțel înalt aliat
- ◆ cupru și aliaje de cupru.

Solicitările mecanice și condițiile de coroziune impun dimensiunile minime ale electrozilor prizei de pământ, valori indicate în tabelul 3 [5].

Sisteme de legare la pământ - Aspecte constructive de bază

Material		Tipul electrozilor	Dimensiuni minime				
			Partea centrală			Depunere/înveliș	
			Diametru (mm)	Dimensiune transversală (mm)	Grosimea (mm)	Valori singulare (μm)	Valori medii (μm)
Oțel	Galvanizat la cald	Bandă ²⁾		90	3	63	70
		Profile (incl. plate)		90	3	63	70
		Conducte	25		2	47	55
		Bare rotunde pentru țărui de priză	16			63	70
		Conductoare rotunde pentru prize orizontale	10				50
	Cu strat din plumb ¹⁾	Conductoare rotunde pentru prize orizontale	8			1000	
	Cu strat din cupru extrudat	Bare rotunde pentru electrozii prizei	15			2000	
	Cu strat din cupru depus electrolitic	Bare rotunde pentru electrozii prizei	14,2			90	100
Cupru	Blanc (neizolat)	Bandă		50	2		
		Bare rotunde pentru priză orizontală		25 ³⁾			
		Conductor de cablu	1,8 ⁴⁾	25			
		Conducte	20		2		
	Cositorit	Conductor de cablu	1,8 ⁴⁾	25		1	5
	Galvanizat	Bară		50	2	20	40
	Cu strat din plumb ¹⁾	Conductor de cablu	1,8 ⁴⁾	25		1000	
		Conductor rotund		25		1000	

¹⁾ nu este adecvată pentru a fi plasate direct în beton

²⁾ bandă, rotundă sau cu margini rotunjite

³⁾ în condiții extreme, atunci când experiența indică faptul că riscul de coroziune și de distrugere mecanică este extrem de mic, poate fi folosit și 16 mm²

⁴⁾ pentru un conductor individual

Tabelul 3 – Tipul și dimensiuni minime pentru materialele pentru prizele de pământ pentru a asigura rezistența la solicitări mecanice și coroziune [5]

Din motive de solicitare mecanică și stabilitate la coroziune, secțiunea transversală minimă a electrozilor prizei de pământ este [5]:

- ♦ Cupru 16 mm²
- ♦ Aluminiiu 35 mm²
- ♦ Oțel 50 mm²

Concluzii

Atunci când se realizează un sistem de legare la pământ trebuie luate în considerare următoarele aspecte:

- ◆ funcția
- ◆ caracteristicile electrice
- ◆ materialul.

Principalele caracteristici electrice ale sistemului de legare la pământ sunt:

- ◆ rezistența electrică a prizei de pământ
- ◆ distribuția potențialului pe suprafața solului
- ◆ capacitatea de curent.

Cea mai favorabilă distribuție a potențialului pe suprafața solului o are priza orizontală, în special cea sub formă de rețea, la care potențialul la suprafața solului poate fi controlat relativ simplu. În cazul prizelor verticale, distribuția de potențial este cea mai defavorabilă și aici apar cele mai mari valori ale potențialului de atingere. Pe de altă parte, utilizând electrozi verticali, se poate realiza ușor o rezistență electrică redusă și stabilă, care nu depinde semnificativ de sezon. Electrozii verticali sunt de asemenea utilizați în combinație cu unii orizontali pentru a obține valori mai reduse ale rezistenței electrice a prizei de pământ.

Alegerea materialului electrozilor este în mod obișnuit un compromis între costul și durata de viață a electrozilor. Coroziunea materialului și comportarea la coroziune sunt principalii factori care limitează durata de viață a sistemului de legare la pământ.

Referințe și bibliografie

- [1] IEC 364-5-54, *Electrical installations of buildings*
- [2] Rudolph W, Winter O, *EMV nach VDE 0100, VDE-Schriftenreihe 66, VDE-Verlag GmbH. Berlin, Offenbach, 1995*
- [3] ABB Switchgear Manual, 10th edition, Düsseldorf, Cornelsen Verlag 1999
- [4] Batz H et al, *Elektroenergieanlagen, VEB Verlag Technik Berlin, 1989*
- [5] HD 637 S1 (Harmonisation Document) "Power installations exceeding 1 kV a.c."
- [6] RWE Energie Bau-Handbuch, 12th Edition, Editor: Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung, HEA-e.V
- [7] DIN 18014, *Fundamentender, Berlin, Beuth Verlag*
- [8] Wolkowski K, *Uziemienia urządzeń elektroenergetycznych (Earthing systems of electrical power devices), in Polish, Warsaw, WNT, 1967*

Parteneri de Referință & Fondatori*

European Copper Institute* (ECI) www.eurocopper.org	ETSII - Universidad Politécnica de Madrid www.etsii.upm.es	LEM Instruments www.lem.com
Akademia Gorniczko-Hutnicza (AGH) www.agh.edu.pl	Fluke Europe www.fluke.com	MGE UPS Systems www.mgeups.com
Centre d'Innovació Tecnològica en Convertidors Estàtics i Accionaments (CITCEA) www.citcea.upc.es	Hochschule für Technik und Wirtschaft* (HTW) www.htw-saarland.de	Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg www.uni-magdeburg.de
Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI) www.ceiuni.it	Hogeschool West-Vlaanderen Departement PIH www.pih.be	Polish Copper Promotion Centre* (PCPC) www.miedz.org.pl
Copper Benelux* www.copperbenelux.org	International Union for Electrotechnology Applications (UIE) www.uie.org	Università di Bergamo* www.unibg.it
Copper Development Association* (CDA UK) www.cda.org.uk	ISR - Universidade de Coimbra www.isr.uc.pt	University of Bath www.bath.ac.uk
Deutsches Kupferinstitut* (DKI) www.kupferinstitut.de	Istituto Italiano del Rame* (IIR) www.iir.it	University of Manchester www.manchester.ac.uk
Engineering Consulting & Design* (ECD) www.ecd.it	Katholieke Universiteit Leuven* (KU Leuven) www.kuleuven.ac.be	Wroclaw University of Technology* www.pwr.wroc.pl
EPRI PEAC Corporation www.epri-peac.com	Laborelec www.laborelec.com	

Consiliul de redacție

David Chapman (Chief Editor)	CDA UK	david.chapman@copperdev.co.uk
Prof Angelo Baggini	Università di Bergamo	angelo.baggini@unibg.it
Dr Araceli Hernández Bayo	ETSII - Universidad Politécnica de Madrid	ahernandez@etsii.upm.es
Prof Ronnie Belmans	UIE	ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be
Dr Franco Bua	ECD	franco.bua@ecd.it
Jean-Francois Christin	MGE UPS Systems	jean-francois.christin@mgeups.com
Prof Anibal de Almeida	ISR - Universidade de Coimbra	adealmeida@isr.uc.pt
Hans De Keulenaer	ECI	hdk@eurocopper.org
Prof Jan Desmet	Hogeschool West-Vlaanderen	jan.desmet@howest.be
Dr ir Marcel Didden	Laborelec	marcel.didden@laborelec.com
Dr Johan Driesen	KU Leuven	johan.driesen@esat.kuleuven.ac.be
Stefan Fassbinder	DKI	sfassbinder@kupferinstitut.de
Prof Zbigniew Hanzelka	Akademia Gorniczko-Hutnicza	hanzel@uci.agh.edu.pl
Stephanie Horton	LEM Instruments	sho@lem.com
Dr Antoni Klajn	Wroclaw University of Technology	antoni.klajn@pwr.wroc.pl
Prof Wolfgang Langguth	HTW	wlang@htw-saarland.de
Jonathan Manson	Gorham & Partners Ltd	jonathanm@gorham.org
Prof Henryk Markiewicz	Wroclaw University of Technology	henryk.markiewicz@pwr.wroc.pl
Carlo Masetti	CEI	masetti@ceiuni.it
Mark McGranaghan	EPRI PEAC Corporation	mmcgranaghan@epri-peac.com
Dr Jovica Milanovic	UMIST	jovica.milanovic@umist.ac.uk
Dr Miles Redfern	University of Bath	eesmar@bath.ac.uk
Dr ir Tom Sels	KU Leuven	tom.sels@esat.kuleuven.ac.be
Prof Dr-Ing Zbigniew Styczynski	Universität Magdeburg	Sty@E-Technik.Uni-Magdeburg.de
Andreas Sumper	CITCEA	sumper@citcea.upc.es
Roman Targosz	PCPC	cem@miedz.org.pl
Hans van den Brink	Fluke Europe	hans.van.den.brink@fluke.nl



Prof Henryk Markiewicz



Wroclaw University of Technology
Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław
Poland

Tel: 00 48 71 3203 424
Fax: 00 48 71 3203 596
Email: henryk.markiewicz@pwr.wroc.pl
Web: www.pwr.wroc.pl



Dr Antoni Klajn



Wroclaw University of Technology
Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław
Poland

Tel: 00 48 71 3203 920
Fax: 00 48 71 3203 596
Email: antoni.klajn@pwr.wroc.pl
Web: www.pwr.wroc.pl



Membră a
EUREL

Societatea Inginerilor Energeticieni din România
No. 1, Lacul Tei Avenue, PO/BOX 30-33
020371 Bucharest
Romania

Tel: 4 0722 36 19 54
Fax: (4 021) 610 52 83
Email: office@sier.ro
Websites: www.sier.ro



European Copper Institute
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Website: www.eurocopper.org