

DIMENSIONAREA INSTALAȚIEI DE PROTECȚIE ÎMPOTRIVA TENSIUNILOR DE ATINGERE PERICULOASE

Prin instalație de legare la pământ se înțelege ansamblul format din electrozi îngropați în pământ, legați între ei, și conductoare de legare la pământ, montate între electrozi și între aceștia și instalațiile electrice. Rolul acestor instalații este de a dirija în pământ, în condiții de siguranță a curenților proveniți din descărcări atmosferice sau a curenților de defect datorită deteriorării sau conturării izolației (instalații de legare la pământ de protecție), precum și asigurarea unui anumit mod de funcționare a instalațiilor de curenți tari sau de telecomunicații (instalații de legare la pământ de exploatare).

Partea principală a unei instalații de legare la pământ o constituie priza de pământ. Aceasta este formată dintr-un ansamblu de elemente în contact cu pământul (electrozi) prin care se realizează transmiterea curenților în pământ. Conductoarele de legare la pământ, îngropate în pământ și neizolate, se consideră că fac parte din priza de pământ, deoarece participă și ele la transmiterea curentului în pământ.

Conductoarele de legare dintre electrozi pot fi considerate electrozi ai prizei dacă sunt neizolate.

Conform STAS – 6119- 68 și STAS – 4102-63, toate conductoarele îngropate în pământ trebuie să îndeplinească aceleași condiții de dimensiuni minime (secțiuni, grosimi) și de material ca și electrozii prizei de pământ. Independent de necesitățile instalațiilor electrice, se întâlnesc frecvent rețele de conducte metalice de apă potabilă, mantale metalice de cabluri, care au un contact bun și pe o suprafață mare cu solul, putând fi folosite de aceea ca prize de pământ. Ele constituie prize de pământ naturale, diferite de prizele de pământ artificiale formate, de exemplu, din țevi de oțel, banda de oțel rotund sau cornier, îngropate în pământ exclusiv pentru a realiza legături la pământ.

Prizele de pământ se pot clasifica, pe baza anumitor criterii, în mai multe categorii. Astfel, după scopul pentru care au fost introduși electrozii în sol prizele, pot fi:

- prize naturale constituite din *elemente conductive ale unor construcții sau instalații destinate altor scopuri* și care sunt în contact permanent cu pământul, putând fi folosite în același timp și pentru trecerea curenților în pământ;
- prize artificiale constituite din electrozi implantați în pământ anume în scopul asigurării trecerii curenților spre pământ.

După numărul și tipul electrozilor folosiți, prizele artificiale se clasifică în:

- prize simple constituite din câte un singur electrod;
- prize multiple constituite din cel puțin doi electrozi legați între ei prin elemente conductoare de legătură;
- prize complexe constituite dintr-un ansamblu de electrozi verticali și orizontali legați între ei.

După adâncimea de îngropare a electrozilor, prizele artificiale pot fi:

- prize de suprafață care au electrozii, de regulă, orizontali îngropați la o adâncime de cel mult 1,2 m;
- prize de adâncime care au electrozii (predominant verticali) îngropați până la 4 m adâncime;
- prize de mare adâncime sunt prize cu electrozi verticali îngropați la adâncimi mai mari de 4 m; ele se execută prin forare și, de regulă, țevile metalice folosite pentru forare rămân în pământ pe post de electrozi ai prizei.

Este evident că, ori de câte ori este posibil, trebuie folosite în primul rând prizele naturale.

Acestea pot fi constituite din:

- stâlpii metalici, stâlpii din beton armat, fundațiile din beton armat ale construcțiilor; aceste elemente constituie prize foarte sigure în exploatare deoarece au o durată lungă de funcționare, rezistențe de dispersie reduse, nu necesită verificări periodice, nu se corodează, betonul din jurul armăturilor are o rezistivitate chiar mai mică decât a solului (din cauza capilarității); este necesară însă realizarea continuității electrice a armăturilor (se face prin sudură);
- conductele metalice de apă și alte fluide necombustibile, armaturile metalice exterioare ale cablurilor electrice, țevile metalice pentru forare; la toate acestea trebuie să se ia măsuri pentru asigurarea continuității lor electrice.

Dacă nu se dispune de priză naturală sau dacă rezistența de dispersie a acesteia este insuficientă pentru asigurarea condițiilor cerute, trebuie realizată priza artificială, ale cărei elemente componente sunt prevăzute special pentru trecerea curenților spre pământ, fiind interzisă folosirea lor în alte scopuri.

Executarea prizelor de pământ.

Experiența de decenii în domeniul tehnicii protecției prin legare la pământ a dus la stabilirea unor principii cuprinse în STAS – 6119 – 68 .

Se are în vedere că siguranța în exploatare a unei instalații electrice depinde în mod deosebit de calitatea instalației de legare la pământ, iar aceasta depinde la rândul ei de o execuție corespunzătoare a prizelor de pământ.

De asemenea se ține seama de faptul că orice soluție trebuie justificată din punct de vedere al eficacității dar și economic. Se urmărește realizarea unei rezistențe de dispersie cât mai mică pentru o durată de timp cât mai mare cu cheltuieli minime. De aceea se exclud utilizarea electrozilor placă, funie, precum și a cuprului în toate cazurile în care solul nu prezintă o agresivitate accentuată față de oțel.

Este interzisă folosirea electrozilor din aluminiu deoarece formează în timp un strat superficial izolant și nu are o rezistență mecanică corespunzătoare.

În instalațiile electrice de joasă tensiune, dimensiunile minime ale electrozilor se determină din punct de vedere al stabilității termice și a unei rezistențe adecvate la coroziune.

La electrozi verticali care se introduc în pământ prin batere trebuie asigurată și o rezistență suficientă de flambare.

În comparație cu lungimea electrodului, diametrul sau lățimea acestuia are o influență neînsemnată asupra mărimii rezistenței de dispersie. Relațiile de calcul al rezistențelor de dispersie cuprind numai logaritmul diametrului sau lățimii electrodului.

Oțelul rotund, din ce în ce mai mult folosit, este mai recomandat decât cel lat, deoarece la aceeași secțiune are o suprafață laterală mai mică și o grosime mai mare, fiind mai rezistent la coroziune.

Dispoziția prizelor de pământ.

Pentru o concordanță cât mai bună între valoarea calculată și cea măsurată ulterior a rezistenței de dispersie, la executarea prizelor de pământ trebuie să se respecte următoarele:

- Prizele de pământ să aibă o legătură electrică cu solul cât mai bună. Electrozii nu trebuie să fie acoperiți cu vopsea, gudron și alte impurități.
- Electrozii orizontali se vor îngropa la o adâncime de minim 0.8 [m].
- Electrozii se vor îngropa în stratul de pământ cel mai bun conducător, care se determină prin măsurători geoelectrice.
- Electrozii se dispun astfel ca influența lor reciprocă să fie cât mai mică. Ca urmare distanța dintre electrozii orizontali, montați în paralel, să fie mai mare decât lungimea lor. De regulă electrozii verticali se montează la o distanță de două ori lungimea lor.

- La electrozi orizontali lungimea în linie dreaptă nu trebuie să depășească 100[m], deoarece impedanța longitudinală, neglijabilă la o lungime scurtă, ajunge la valori importante.

Influența reciprocă a electrozilor.

Adesea este necesar să se realizeze prize de pământ cu rezistențe de dispersie mici pe o suprafață foarte restrânsă. Distanțele mici dintre electrozi nu permit o micșorare apreciabilă a rezistenței de dispersie. Aceasta se explică prin faptul că în cazul unui singur electrod, curenții de punere la pământ prin priză se pot dispersa nestânjenit, pe când în cazul mai multor electrozi legați în paralel intervine o ecranare care depinde de distanța dintre electrozi, de lungimea și numărul acestora.

PRIZA ARTIFICIALĂ PENTRU STAȚII EXTERIOARE

Priza artificială pentru stații exterioare se realizează dintr-o priză formată din electrozi verticali (priza verticală), o priză din electrozi orizontali (priza orizontală) și o priză de dirijare a potențialelor (fig 1).

Prizele verticală și cea orizontală se realizează prin amplasarea electrozilor verticali, respectiv, orizontali, pe un contur situat pe teritoriul stației la circa 1,5 m de gard în interior. Electrozii verticali sunt, de regulă, din țevă de oțel cu diametrul de 50 - 65 mm, cu lungimea $l_v = 3$ m. Adâncimea de îngropare a capătului superior al electrozilor este cuprinsă între 0,8 - 1,0 m.

Electrozii orizontali sunt, de regulă, realizați din oțel lat sau rotund și prin intermediul lor se realizează legătura între electrozii verticali, la capătul superior al acestora. Rezultă că adâncimea de îngropare a electrozilor orizontali este tot $h = 0,8 - 1,0$ m.

Lungimea unui electrod orizontal l_o constituie totodată și distanța dintre doi electrozi verticali. În mod frecvent, $l_o = (2 \text{ sau } 3) \times l_v$, respectiv $l_o = 6$ sau 9 m; mult mai rar se folosește $l_o = 1 \times l_v = 3$ m. Secțiunea acestor electrozi trebuie să asigure, în caz de defect, trecerea unui curent egal cu jumătate (conductoarele formează un contur închis) din curentul maxim de scurtcircuit care poate să parcurgă părțile metalice ale instalației de legare la pământ (I_{sc}).

Priza de dirijare a potențialelor se execută din electrozi orizontali îngropați la adâncimi de ordinul $h = 0,4 - 0,6$ m. Electrozii se dispun sub formă de benzi paralele cu latura mai lungă a stației și vor trece prin zonele de deservire a echipamentelor din stație la o distanță de circa 0,6 m de acestea. Distanța medie între două benzi poate fi de ordinul 5 -10 m. De la conturul pe care sunt amplasate prizele verticală și orizontală până la prima bandă a prizei de dirijare se lasă o distanță de circa 3,5 m (vezi fig. 1).

Priza de dirijare a potențialelor se leagă la conturul prizelor verticală și orizontală în mai multe puncte. În jurul clădirilor aflate în incinta stației, în jurul fundațiilor pentru transformatoare, se prevede un contur de dirijare aflat la circa 0,8 m de fundații.

În anumite situații, poate fi necesară executarea unui contur de dirijare și în jurul împrejuririi stației, în exterior, contur care însă se leagă numai la împrejurire (gard). De regulă, gardul nu se va lega la priza de pământ.

PRIZA ARTIFICIALĂ PENTRU STAȚII INTERIOARE

Priza artificială pentru stații interioare se compune din aceleași prize ca și o stație exterioară.

Prizele verticală și orizontală se execută la fel ca în cazul stațiilor exterioare, din același fel de electrozi, însă de această dată pe un contur aflat în jurul fundației clădirii la o distanță de 1,5 - 2,0 m. Adâncimea de îngropare este tot de 0,8 - 1,0 m.

Priza de dirijare este realizată din trei contururi concentrice cu conturul prizelor verticală și orizontală: două contururi în interiorul acestuia și unul în exterior (vezi fig. 2). Evident, toate aceste prize se leagă între ele. Pentru legarea la pământ a aparatelor din stație, în interiorul clădirii se execută un contur închis de *conductoare principale de legare la priză* la care urmează să fie legate echipamentele din stație.

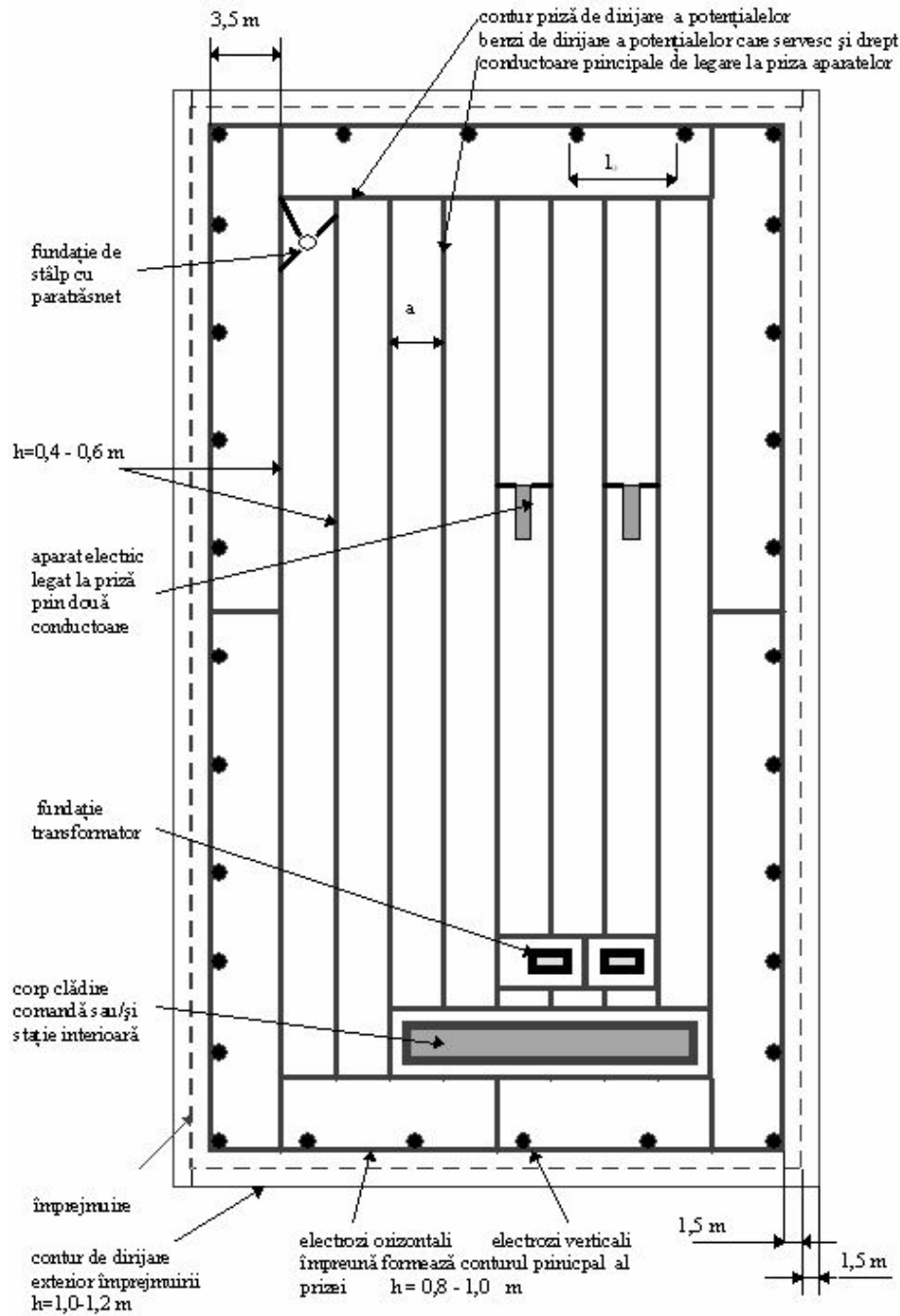


Fig 1. Exemplu de priză artificială complexă pentru o stație exterioară

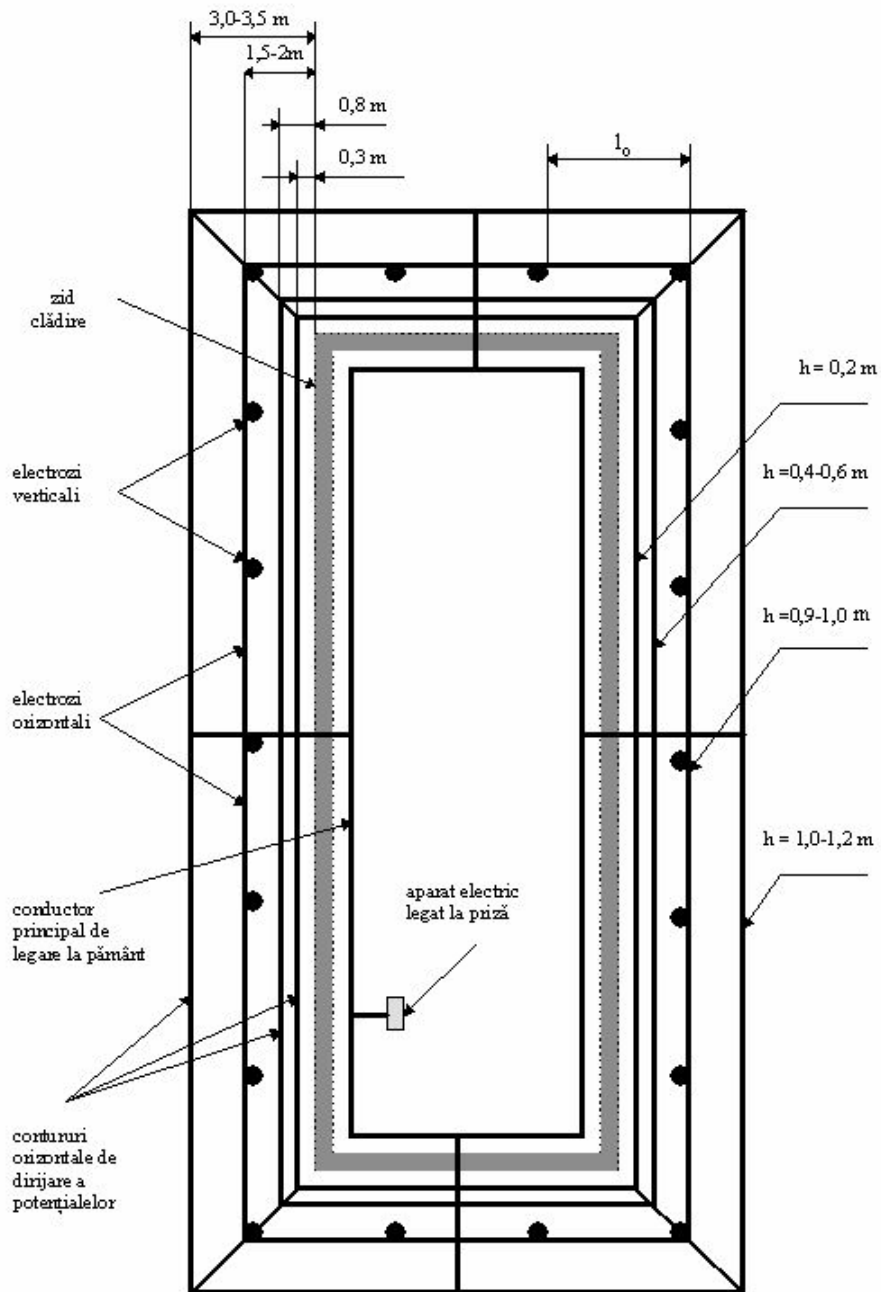


Fig. 2. Exemplu de priză artificială complexă pentru o stație interioară

DIMENSIONAREA PRIZEI DE PĂMÂNT

În cele ce urmează sunt prezentate pe scurt principalele etape care trebuie parcurse pentru dimensionarea unei prize de pământ.

1. DATE INIȚIALE NECESARE

➤ Tipul instalației, tensiunea nominală, zona de amplasare a echipamentelor.

La acest punct trebuie precizat dacă echipamentele se află pe teritoriul unei stații (caz în care se consideră o zonă cu circulație redusă) sau se află în zone publice, deci cu circulație frecventă etc.

- **Curentul de defect maxim I_p care va parcurge priza și care va fi folosit pentru calculul tensiunilor de atingere și de pas**

Pentru rețelele de tip T (rețele cu neutrul legat la pământ), de regulă, acesta este o parte din curentul de scurtcircuit monofazat, și anume, curentul debitat de sursa cu cea mai mare contribuție la defect; pentru rețelele de tip I (rețele cu neutrul izolat), acesta este curentul capacitiv care apare în cazul unei puneri monofazate la pământ (curent de ordinul zecilor de amperi, dar nu mai mic de 10 A).

- **Curentul de defect maxim care va fi folosit pentru verificarea stabilității termice a prizei și a rețelei de legare la priză I_{sc} .**

Pentru rețele de tip T acest curent se va considera curentul total de scurtcircuit monofazat, iar pentru rețele de tip I curentul total de scurtcircuit bifazat.

- **Timpii de calcul pentru stabilirea valorilor admisibile ale tensiunilor de atingere și de pas.**

Pentru rețele de tip T se consideră timpul total al protecției de bază; acesta se poate considera: pentru stații importante, de ordinul 0,15 - 0,2 secunde, pentru stații mai puțin importante 0,5 - 1,0 secunde.

Pentru rețelele de tip I acest timp se va considera, de regulă, nelimitat..

- **Timpii de calcul pentru verificarea stabilității termice a prizei și a rețelei de legare la priză.**

Pentru rețele de tip T acest timp se va considera ca fiind timpul protecției de rezervă (de ordinul 0,4 - 1,0 secunde pentru stații importante și de ordinul 1,5 - 3,0 secunde pentru stații mai puțin importante). Pentru rețele de tip I acest timp poate fi considerat de ordinul a 3 secunde.

- **Rezistivitatea solului (ρ_{sol})**

Rezistivitatea solului trebuie măsurată; totuși, se poate considera că solurile argiloase au o rezistivitate de ordinul 80 - 110 Ωm .

- **Dimensiunile geometrice ale suprafeței ocupate de instalația electrică.**

Se va lua în considerare conturul pe care se află împrejmuirea.

2. STABILIREA VALORILOR ADMISIBILE PENTRU TENSIUNEA DE ATINGERE ȘI PENTRU TENSIUNEA DE PAS

Aceste valori se obțin din tabele, având în vedere datele inițiale ale proiectului.

3. STABILIREA MODULUI DE REALIZARE A PRIZEI

O primă problemă care trebuie rezolvată este să se stabilească dacă este sau nu nevoie de o priză artificială. Pentru aceasta este necesară:

- identificarea elementelor de priză naturală;
- calcularea rezistenței de dispersie pe care o au acestea;
- verificarea îndeplinirii condițiilor cerute de funcția de protecție a instalației de legare la pământ.

De regulă, în majoritatea instalațiilor electrice sunt necesare și prize artificiale. Acestea se vor realiza în conformitate cu cele arătate în paragraful 11.2.

4. CALCULUL REZISTENȚEI DE DISPERSIE A PRIZEI

De la etapa precedentă se cunoaște rezistența de dispersie a prizei naturale R_{pn} . În continuare, în funcție de soluția aleasă, se calculează pe rând:

- rezistența de dispersie a unui electrod vertical r_{elv} cu relațiile din tabelul 2; spre exemplu, pentru un electrod tip țevă îngropată cu partea superioară la adâncimea h , având lungimea l_v , diametrul d și mijlocul îngropat la adâncimea t se poate utiliza expresia:

$$r_{elv} = 0,366 \frac{\rho_{sol}}{l_v} \left(\lg \frac{2l_v}{d} + 0,5 \lg \frac{4t + l_v}{4t - l_v} \right)$$

- rezistența de dispersie echivalentă R_{pv} a prizei verticale, cu relația:

$$R_{pv} = \frac{r_{elv}}{n_{elv} \times u_v}$$

unde: n_{elv} este numărul de electrozi verticali care se amplasează pe conturul prizei; u_v - coeficientul de utilizare al prizei verticale;

Observație: numărul de electrozi verticali se stabilește prin raportarea perimetrului conturului prizei verticale la distanța l_o dintre doi electrozi verticali.

- rezistența de dispersie a unui electrod orizontal r_{elo} , cu relațiile din tabelul 2; dacă se consideră, de exemplu, un electrod sub formă de bară cu secțiunea dreptunghiulară îngropată la adâncimea h având lungimea l_o și lățimea b se poate utiliza expresia:

$$r_{elo} = 0,366 \frac{\rho_{sol}}{l_o} \lg \frac{2l_o^2}{hb}$$

- rezistența de dispersie echivalentă R_{po} a prizei orizontale cu relația:

$$R_{po} = \frac{r_{elo}}{n_{elo} \times u_o}$$

unde: n_{elo} este numărul de electrozi orizontali care se amplasează pe conturul prizei, egal cu numărul de electrozi verticali; u_o - coeficientul de utilizare al prizei orizontale conform tabelului 1;

- rezistența de dispersie a prizei de dirijare a potențialelor; priza de dirijare se realizează din benzi paralele amplasate la o distanță a una de alta și la 3,5 m de conturul prizelor verticală și orizontală, paralel cu latura mai mare a stației; pe lângă rolul de dirijare a potențialelor, această priză are și o rezistență de dispersie care va contribui la scăderea rezistenței de dispersie a prizei; pentru calcul, această priză se echivalează cu o placă așezată la suprafața solului, având suprafața egală cu cea cuprinsă între toate benzile și un coeficient de utilizare de 0,8.

$$R_{pd} = 0,444 \frac{\rho_{sol}}{\sqrt{S}} \times \frac{1}{0,8} = 0,56 \frac{\rho_{sol}}{\sqrt{S}}$$

- rezistența de dispersie a prizelor stâlpilor LEA racordate la stație; de la caz la caz, aceste rezistențe pot fi luate sau nu în calcul; în general, se pot considera circa $2 \Omega / LEA$ și dacă n_{LEA} este numărul de linii aeriene racordate la stație, atunci se poate lua în calcul o rezistență de dispersie a prizelor stâlpilor:

$$R_{pst} = \frac{2}{n_{LEA}}$$

- rezistența de dispersie a prizei instalației se obține prin considerarea tuturor rezistențelor de dispersie calculate până acum, ca fiind în paralel:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_{pv}} + \frac{1}{R_{po}} + \frac{1}{R_{pd}} + \frac{1}{R_{pst}} + \frac{1}{R_{pn}}$$

5. CALCULUL COEFICIENȚILOR DE ATINGERE ȘI DE PAS

Pentru stațiile exterioare, pe suprafața prizei de dirijare, coeficienții de pas nu depășesc, în general, valorile coeficienților de atingere, și se poate considera:

$$k_a = k_{pas} = \frac{0,7}{\frac{1}{2\pi} \left(\ln \frac{L^2}{dh_d} + A \right)}$$

Pentru stațiile interioare, coeficientul de pas la periferia prizei artificiale se poate estima cu relația:

$$k_{pas} = 7,2 \frac{\sqrt{S}}{D^2}$$

în care: S este suprafața cuprinsă în interiorul prizei artificiale (inclusiv clădirea), în $[m^2]$; D - diagonală acestei suprafețe, în $[m]$

6. CALCULUL TENSIUNILOR DE ATINGERE ȘI DE PAS

Pentru a verifica realizarea condițiilor de protecție, trebuie calculate tensiunile de atingere și de pas pentru priza propusă și comparate cu valorile admisibile ale acestora cu relațiile:

$$U_a = k_a \times R_p \times I_p \leq U_{a,adm}$$

$$U_{pas} = k_{pas} \times R_p \times I_p \leq U_{pas,adm}$$

Dacă relațiile de mai sus sunt respectate, înseamnă că priza corespunde din punctul de vedere al protecției vieții oamenilor. Dacă nu sunt respectate, atunci priza nu corespunde și dimensionarea trebuie reluată cu alte date. Astfel, se poate micșora distanța dintre electrozii verticali la $l_o = 1 \times l_v$, se poate micșora distanța dintre benzile de dirijare, se pot modifica protecțiile și timpii lor etc. Dacă nici în urma acestor măsuri nu se obțin tensiuni de atingere și de pas sub limitele admisibile, atunci se poate trece la izolarea amplasamentelor.

7. IZOLAREA AMPLASAMENTELOR

Izolarea amplasamentelor este o măsură prin care se urmărește de fapt creșterea rezistenței pe care o opune corpul omenesc la trecerea curentului prin el spre pământ. Amplasamentele se pot izola cu:

- strat de piatră spartă de 15 cm grosime;
- dale de beton;
- asfalt de 2 cm grosime.

În astfel de cazuri se pot obține tensiuni de atingere mai mici după cum urmează:

$$U_a = \frac{k_a \times R_p \times I_p}{\alpha_a}$$

$$U_{pas} = \frac{k_{pas} \times R_p \times I_p}{\alpha_{pas}}$$

În relațiile de mai sus se poate considera:

- $\alpha_a = 2$ pentru cazul izolării amplasamentelor cu strat de piatră spartă;
- $\alpha_a = 3$ pentru cazul izolării amplasamentelor cu dale de beton;
- $\alpha_a = 5$ pentru cazul izolării amplasamentelor cu asfalt.

Pentru α_{pas} se poate folosi relația:

$$\alpha_{pas} = 4 \times \alpha_a - 3$$

8. VERIFICAREA STABILITĂȚII TERMICE A SOLULUI PRIZEI

În calculele de verificare a stabilității termice a solului prizei se urmărește să se stabilească dacă temperatura solului la trecerea unui curent de defect depășește sau nu temperatura de 95 °C.

Tabelul 1

Valorile coeficienților de utilizare pentru prizele verticale și orizontale, conform 1.RE - Ip 30 - 90

Nr. crt.	Număr electrozi verticali sau orizontali $n_{elv} = n_{elo}$	Distanță între electrozii verticali l_o	Coeficienți de utilizare u_v și u_o			
			Electrozi verticali amplasați pe un contur liniar deschis		Electrozi verticali amplasați pe un contur închis	
			priză verticală	priză orizontală	priză verticală	priză orizontală
			u_v	u_o	u_v	u_o
1	2	$l_o = 1 \times l_v = 3\text{m}$	0,85	0,80	-	-
	3		0,80	0,80	0,75	0,50
	4		0,75	0,77	0,65	0,45
	5		0,70	0,75	0,62	0,42
	6		0,65	0,60	0,60	0,40
	10		0,60	0,60	0,55	0,33
	20		0,50	0,20	0,50	0,25
	40		-	0,20	0,40	0,20
	60		-	-	0,38	0,20
	100		-	-	0,35	0,19
2	2	$l_o = 2 \times l_v = 6\text{m}$	0,90	0,90	-	-
	3		0,85	0,90	0,80	0,60
	4		0,82	0,88	0,75	0,55
	5		0,80	0,85	0,72	0,52
	6		0,78	0,80	0,70	0,50
	10		0,75	0,75	0,66	0,44
	20		0,70	0,56	0,61	0,30
	40		-	0,40	0,55	0,29
	60		-	-	0,52	0,27
	100		-	-	0,50	0,24
3	2	$l_o = 3 \times l_v = 9\text{m}$	0,95	0,95	-	-
	3		0,90	0,90	0,90	0,75
	4		0,88	0,85	0,85	0,70
	5		0,85	0,82	0,82	0,68
	6		0,82	0,80	0,80	0,65
	10		0,80	0,75	0,75	0,56
	20		0,75	0,68	0,70	0,45
	40		-	0,54	0,65	0,39
	60		-	-	0,62	0,36
	100		-	-	0,60	0,33

Tabelul 2

Formule de calcul a rezistenței de dispersie pentru prize simple conform 1.RE - Ip 30 - 90

Tipul electrodului prizei simple	Formula de calcul a rezistenței de dispersie
Prize verticale simple	
Țeavă îngropată cu capătul superior la nivelul solului având lungimea l_v în sol și diametrul d	$r_{elv} = 0,366 \frac{\rho_{sol}}{l_v} \lg \frac{4l_v}{d}$
Țeavă îngropată cu partea superioară la adâncimea h , având lungimea l_v , diametrul d și mijlocul îngropat la adâncimea $t = h + 0,5 \times l_v$	$r_{elv} = 0,366 \frac{\rho_{sol}}{l_v} \left(\lg \frac{2l_v}{d} + 0,5 \times \lg \frac{4t + l_v}{4t - l_v} \right)$
Bară cu secțiunea dreptunghiulară îngropată cu capătul superior la nivelul solului având lățimea mai mare b și lungimea l_v	$r_{elv} = 0,366 \frac{\rho_{sol}}{l_v} \lg \frac{4l_v}{b}$

Bară cu secțiunea dreptunghiulară îngropată cu capătul superior la adâncimea h având lățimea mai mare b , lungimea l_v și mijlocul la adâncimea $t=h+0,5l_v$	$r_{elv} = 0,366 \frac{\rho_{sol}}{l_v} \left(\lg \frac{2l_v}{b} + 0,5 \times \lg \frac{4t + l_v}{4t - l_v} \right)$
Prize orizontale simple	
Țeavă orizontală îngropată la nivelul solului având lungimea l_o și diametrul d	$r_{elo} = 0,732 \frac{\rho_{sol}}{l_o} \lg \frac{2l_o}{d}$
Țeavă orizontală îngropată la adâncimea h având lungimea l_o și diametrul d	$r_{elo} = 0,366 \frac{\rho_{sol}}{l_o} \lg \frac{l_o^2}{hd}$
Bară cu secțiunea dreptunghiulară (oțel lat) îngropată la suprafața solului având lungimea l_o și lățimea mai mare b	$r_{elo} = 0,732 \frac{\rho_{sol}}{l_o} \lg \frac{4l_o}{b}$
Bară cu secțiunea dreptunghiulară (oțel lat) îngropată la adâncimea h având lungimea l_o și lățimea mai mare b	$r_{elo} = 0,366 \frac{\rho_{sol}}{l_o} \lg \frac{2l_o^2}{hb}$
Placă de suprafață S așezată la suprafața solului	$r_{elo} = 0,44 \frac{\rho_{sol}}{\sqrt{S}}$
Electrod inelar cu secțiune dreptunghiulară așezat la suprafața solului având lungimea l_o și lățimea mai mare b	$r_{elo} = 0,732 \frac{\rho_{sol}}{l_o} \lg \frac{16l_o}{\pi b}$
Electrod inelar cu secțiune dreptunghiulară așezat la adâncimea h având lungimea l_o și lățimea mai mare b	$r_{elo} = 0,366 \frac{\rho_{sol}}{l_o} \lg \frac{8l_o^2}{\pi b h}$

Algoritm de calcul și verificare a instalațiilor de legare la pământ

Dimensionarea instalațiilor de legare la pământ presupune parcurgerea următoarelor etape:

- Se stabilește amplasamentul prizei de pământ:
 - locul de utilizare \Rightarrow suprafață (tab 13.2 pg. 395)
 - mediu \Rightarrow puțin periculos (tab 13.2 pg. 395)
 - umiditatea solului \Rightarrow medie (tab 13.7 pg. 404)
 - adâncimea de îngropare $\Rightarrow 0,5 \div 0,8$ m (tab 13.7 pg. 404)
 - $\rho_{sol} = 50 \Omega \cdot m$ (pământ arabil) \Rightarrow (tab 13.8 pg. 405)
- Se măsoară rezistivitatea solului și se fac corecții de umiditate și temperatură:

$$\rho_{sol} = 50 \Omega \cdot m$$

$$\rho = \rho_{sol} \cdot \psi = 50 \cdot 2 = 100 \Omega \cdot m$$

$$\psi = 2 \text{ (tab 13.7 pg 404)}$$
- Se alege tensiunea de atingere și de pas maxime admise:

$$U_p = 65 \text{ V}$$

$$U_{adm} = 65 \text{ V (tab 13.2 pg. 395)}$$
- Se stabilește curentul de punere la pământ I_p în funcție de tipul rețelei în care se asigură corecția:

$$I_p = 10 \text{ A}$$
- Se calculează rezistența de dispersie a prizelor de legare la pământ:

$$R_p = \frac{U_{adm}}{I_p} = \frac{65}{10} = 6,5 \Omega$$
- Se determină rezistența prizelor multiple:

$$\frac{1}{R_{pc}} = \frac{1}{R_{pn}} + \frac{1}{R_{pmv}} + \frac{1}{R_{pmo}} [\Omega^{-1}]$$

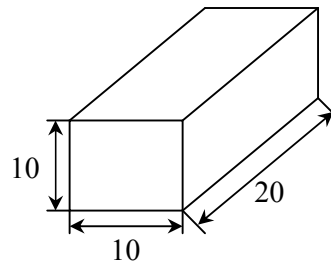
Priza naturală

$$R_{pn} = \frac{r_{ps}}{u \cdot n} = \frac{1,98}{0,38 \cdot 60} = 0,087 \Omega$$

unde: r_{ps} - rezistența de dispersie a prizei singulare; u - coeficient de utilizare; n - numărul de electrozi identici care formează priza multiplă.

$$r_{ps} = \frac{0,25 \cdot \rho}{V^{1/3}} = \frac{0,25 \cdot 100}{\sqrt[3]{2000}} = 1,98$$

unde: V - volumul (Anexa 13.1 pg 410),
 $a=1$, $n=60$, $u=0,38$ (tab 13.13 pag 407)



Priza multiplă verticală

$$R_{pmv} = \frac{r_{pv}}{u_v \cdot n}$$

$$r_{pv} = 0,366 \cdot \frac{\rho}{l} \left(\lg \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4h+1}{4h-1} \right) = 0,366 \cdot \frac{100}{1} \left(\lg \frac{2 \cdot 1}{0,06} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot 1,3+1}{4 \cdot 1,3-1} \right) = 58,72 \Omega$$

$$l=1 \text{ m}; q=0,8 \text{ m}; d=0,06 \text{ m}$$

- s-a ales o bară îngropată în adâncimea solului

$$R_{pmv} = \frac{r_{pv}}{u_v \cdot n} = \frac{58,72}{0,38 \cdot 60} = 2,58 \Omega$$

$$u_v = 0,36; n = 60.$$

$$h = q + \frac{l}{2} = 0,8 + \frac{1}{2} = 1,3 \text{ m}$$

Priza multiplă orizontală

$$R_{pmo} = \frac{r_{po}}{u_o \cdot n}$$

$$r_{po} = 0,444 \cdot \frac{p}{\sqrt{S}} = 0,444 \cdot \frac{60}{\sqrt{200}} = 1,88 \text{ (s-a ales o placă de adâncime)}$$

$$p=10+10+20+20=60 \text{ (perimetrul)}$$

$$S=20 \times 10 \text{ (suprafața plăcii)}$$

$$u_o=0,2$$

$$n=60$$

$$R_{pmo} = \frac{r_{po}}{u_o \cdot n} = \frac{1,88}{0,2 \cdot 60} = 0,16 \Omega$$

$$\frac{1}{R_{pc}} = \frac{1}{R_{pn}} + \frac{1}{R_{pmv}} + \frac{1}{R_{pmo}} = \frac{1}{0,087} + \frac{1}{2,58} + \frac{1}{0,16} = 18,12 [\Omega^{-1}]$$

$$R_{pc} = \frac{1}{18,12} = 0,05 \Omega$$

➤ Se calculează rezistența prizei artificiale:

$$R_{pa} = \frac{R_{po} \cdot R_{pv}}{R_{po} + R_{pv}} = \frac{0,16 \cdot 2,58}{0,16 + 2,58} = 0,15 \Omega$$

➤ Se determină numărul de electrozi:

$$n = \frac{1}{R_{pa}} \cdot \frac{r_{po} \cdot r_{pv}}{u_v \cdot r_{po} + u_o \cdot r_{po}} = \frac{1}{0,15} \cdot \frac{1,88 \cdot 58,72}{0,38 \cdot 1,88 + 0,2 \cdot 58,72} = 59,07 \text{ electrozi}$$

