

Zóny odporu uzemňovačov a ich vplyv na uzemnenie

Doc. Ing. Ivan BOJNA, PhD., STU FEI v Bratislave

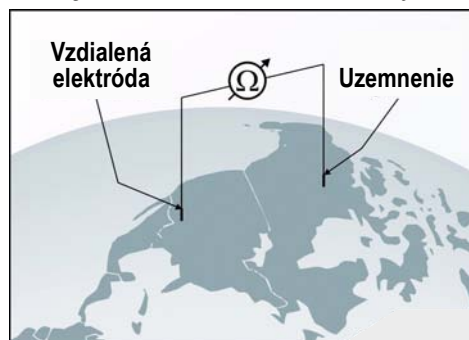
ÚVOD

Zóna odporu uzemňovača je jedným z dôležitých parametrov, ktorý má zásadný vplyv pri návrhu, prevádzke aj meraní uzemnenia. Tento termín, hoci ho používajú aj niektoré normy súvisiace s uzemnením, nie je v týchto, ale ani v príslušných terminologických normách definovaný. V tomto príspevku sú uvedené základné teoretické aspekty, ale aj praktické dôsledky súvisiace s týmto termínom.

1 ODPOR UZEMNENIA A ZÓNA ODPORU UZEMŇOVAČA

Z hľadiska posúdenia vlastností uzemnenia je rozhodujúcim parametrom odpor uzemnenia uzemňovača.

Odpor uzemnenia uzemňovača R_{uz} je odpor medzi povrchom uzemňovača a druhou elektródou umiestnenou vo veľkej vzdialenosti, teoreticky v nekonečne (obrázok 1).



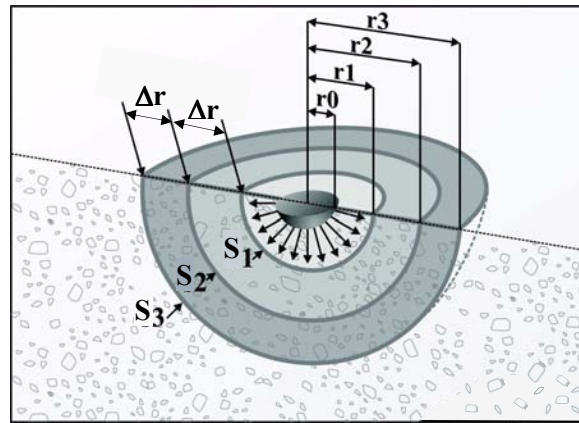
Obr. 1 K definícii odporu uzemnenia

Poznámka:

V striedavých sieťach a inštaláciách by sa malo uvažovať s impedanciou uzemnenia. Reaktančná zložka impedancie uzemnenia je však často zanedbateľná (napr. pri prúdoch so sieťovou frekvenciou 50 Hz), preto sa často uvažuje iba s rezistanciou (odporom) uzemnenia.

Odpor uzemnenia uzemňovacej elektródy má tri zložky: odpor vodiča uzemňovacej elektródy, prechodový odpor na rozhraní elektróda-pôda a odpor pôdy obklopujúcej elektródu. Prvé dve zložky sú obvykle zanedbateľné v porovnaní s odporom pôdy. Preto spravidla vzťahy na výpočet odporu uzemnenia zahŕňajú len odpor pôdy. V ďalších úvahách budeme pri určovaní odporu uzemnenia uvažovať len odpor pôdy.

Pri charakterizovaní zóny odporu uzemňovača môžeme postupovať tak, že pôdu obklopujúcu elektródu rozdelíme na fiktívne tenké vrstvy 1, 2, 3 atď. (napr. pre polgul'ovú elektródu podľa obrázka 2).



Obr. 2 K vyjadreniu odporu uzemnenia

Ak tenké vrstvy majú rovnakú hrúbku $\Delta r = r_2 - r_1 = r_3 - r_2$ atď., odpor každej vrstvy je nepriamo úmerný jej prierezu. Vrstva bezprostredne obklopujúca elektródu [$r \in (r_0, r_1)$] má najmenší prierez, a teda najväčší odpor. Vrstvy 2, 3, 4 atď. majú zväčšujúci sa prierez, čiže zmenšujúci sa odpor. Odpor uzemnenia elektródy je daný súčtom sériovo radených odporov zodpovedajúcich jednotlivým vrstvám. Odpor n -tej vrstvy R_n môžeme počítať podľa známeho vzťahu pre odpor vodiča s dĺžkou l , prierezom R a rezistivitou vodiča ρ . Teda odpor n -tej vrstvy R_n je

$$R_n = \rho \frac{l}{S_n} = \rho \frac{\Delta r}{S_n}$$

a celkový odpor pôdy, čiže odpor uzemnenia uvažovanej elektródy R_{uz} je

$$R = R_{uz} = \sum_{n=1}^N R_n$$

Pre $N \rightarrow \infty$ a $\Delta r \rightarrow 0$ prejde sumácia do integrácie

$$R_{uz} = \rho \int_{r_0}^{\infty} \frac{dr}{S} \tag{1}$$

Výpočtom, ale aj meraním sa možno ľahko presvedčiť, že podstatnú časť odporu uzemnenia predstavuje pôda v bezprostrednom okolí elektródy.

2 POLGUĽOVÁ ELEKTRÓDA

Uvažujme polguľovú elektródu s polomerom r_0 podľa obrázka 2. Plocha polgule je $S = 2\pi r^2$, teda odpor pôdy R_1 medzi povrchom polguľovej elektródy a polguľou s polomerom r_1 je podľa vzťahu (1)

$$R_1 = \rho \int_{r_0}^{r_1} \frac{dr}{S} = \rho \int_{r_0}^{r_1} \frac{dr}{2\pi r^2} = \frac{\rho}{2\pi} \left[-\frac{1}{r} \right]_{r_0}^{r_1} = \frac{\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_1} \right) \tag{2}$$

a odpor uzemnenia (odpor medzi povrchom elektródy a fiktívnou polgul'ou s nekonečným polomerom

$$R_{uz} = \rho \int_{r_0}^{\infty} \frac{dr}{S} = \rho \int_0^{\infty} \frac{dr}{2\pi r^2} = \frac{\rho}{2\pi} \left[-\frac{1}{r} \right]_{r_0}^{\infty} = \frac{\rho}{2\pi} \frac{1}{r_0} \quad (3)$$

Pre polomer r_{95} , ktorý vymedzuje 95 % hodnoty odporu uzemnenia, čiže $R_{95} = 0,95 \cdot R_{uz}$ možno písať

$$R_{95} = \frac{\rho}{2\pi} \left[\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_{95}} \right] = 0,95 \cdot \frac{\rho}{2\pi} \left[\frac{1}{r_0} \right]$$

a odtiaľ

$$\frac{1}{r_0} [1 - 0,95] = \frac{1}{r_{95}}$$

$$r_{95} = \frac{r_0}{0,05} = 20 \cdot r_0$$

Napríklad pre polgul'ovú elektródu s priemerom $d = 2r_0 = 0,4$ m je

$$r_{95} = \frac{r_0}{0,05} = 20 \cdot 0,2 = 4 \text{ m}$$

Oblasť v okolí uzemňovacej elektródy, ktorá reprezentuje 95 % odporu uzemnenia je *zóna odporu uzemňovača*. V anglickej literatúre sa označuje *resistance area* (napr. anglická verzia HD 60364-6, ktorá je u nás prevzatá ako STN 33 2000-6), prípadne *effective resistance area* (napr. [9]) aj *influence zone/zóna vplyvu* (napr. [10]).

Zóna odporu v tomto prípade je polgul'a, ktorá na povrchu zeme siaha do vzdialenosti $x_{95} = r_{95}$ od osi elektródy. Pri inom druhu elektródy zóna odporu uzemňovača vo všeobecnosti nemá polgul'ový tvar, avšak aj v takých prípadoch možno určiť príslušnú vzdialenosť x_{95} , ktorá charakterizuje hranicu zóny odporu uzemnenia na povrchu zeme.

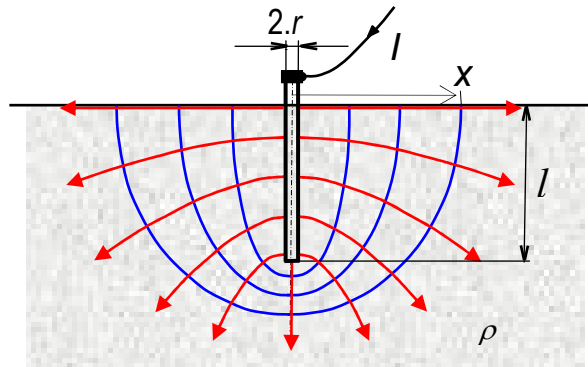
Poznámky:

1. Namiesto termínu „zóna odporu uzemňovača“, ktorý sa používa v normách, presnejšie a správnejšie vyjadrenie by malo byť v tvare „zóna odporu uzemnenia uzemňovača“. Ide totiž o zónu súvisiacu s odporom uzemnenia, nie o zónu odporu uzemňovača (odpor uzemňovača je elektrický odpor vodiča – elektródy).
2. V obrázku B.1 normy [4] je chyba. Na obrázku sú zóny odporu vertikálnych tyčových elektród nakreslené ako malé gul'ové plochy, ktoré obklopujú iba malú spodnú časť uzemňovačov hlboko v zemi. Podľa tohto obrázka zóny nesiahajú až k povrchu zeme. To by však bolo reálne iba v prípade hĺbkových uzemňovačov umiestnených vo veľkej hĺbke, navyše s izolovanými uzemňovacími prívodmi.

Príklad s polgul'ovou elektródou na povrchu zeme bol použitý pre jednoduchosť výpočtu. V praxi sa však obvykle používajú iné druhy zhotovených uzemňovačov (napr. tyčové, páskové, doskové). Postup ukážeme na príklade vertikálnej tyčovej elektródy a horizontálnej pásovej elektródy.

3 TYČOVÁ ELEKTRÓDA

Uvažujme valcovú tyčovú elektródu s polomerom r a dĺžkou l zarazenú zvislo do zeme. Ak z elektródy prechádza do zeme prúd I , elektrické pole v zemi je znázornené na obrázku 3. Prúdnice (orientované čiary so šípkami) vystupujú z elektródy kolmo do zeme, ekvipotenciály sú v každom mieste kolmé na prúdnice (jednou z ekvipotenciál je, samozrejme, samotná elektróda).



Obr. 3 Valcová tyčová elektróda uložená vertikálne v zemi

Ak zvolíme vzťažný potenciál v nekonečne za nulový $\varphi_{\infty} = 0$, pre potenciál na povrchu zeme vo vzdialenosti x od osi uzemňovača možno odvodiť vzťah (pozri napr. [3])

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

Potenciál φ_e na povrchu elektródy, t. j. pre $x = r$ je

$$\varphi_e = \frac{\rho I}{4\pi l} \cdot \ln \frac{l + \sqrt{l^2 + r^2}}{-l + \sqrt{l^2 + r^2}} \quad (5)$$

Obvykle je polomer tyče omnoho menší ako jej dĺžka. Pre $r \ll l$ platí približnosť

$$\sqrt{1 + \left(\frac{r}{l}\right)^2} \approx 1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{r}{l}$$

Využitím tejto približnosti možno potenciál na povrchu elektródy vyjadriť v tvare

$$\varphi_e \approx \frac{\rho I}{2\pi l} \cdot \ln \frac{2l}{r_0} \quad (6)$$

a odpor uzemnenia tyčovej elektródy

$$R_{uz} = \frac{\varphi_e}{I} \approx \frac{\rho}{2\pi l} \cdot \ln \frac{2l}{r_0} \quad (7)$$

Odpor zeme R_x medzi povrchom elektródy a miestom na povrchu zeme vzdialenom o x od osi elektródy určíme ako rozdiel potenciálov na povrchu elektródy φ_E a potenciálu φ_x v mieste x delený prúdom I

$$R_x = \frac{\varphi_e - \varphi_x}{I} \approx R_{uz} - \frac{\rho}{4\pi l} \cdot \ln \frac{l + \sqrt{l^2 + x^2}}{-l + \sqrt{l^2 + x^2}} \quad (8)$$

Poznámka:

Vzťah (7) na výpočet odporu tyčového uzemňovača zarazeného zvislo do zeme uvádza napríklad aj norma [5]. V praxi sa používa aj modifikovaný vzťah, ktorý sa získa úpravou (7), ak namiesto prirodzeného logaritmu sa použije dekadický logaritmus a využije sa vzťah medzi nimi, t. j. $\ln A = 2,3026 \cdot \log A$

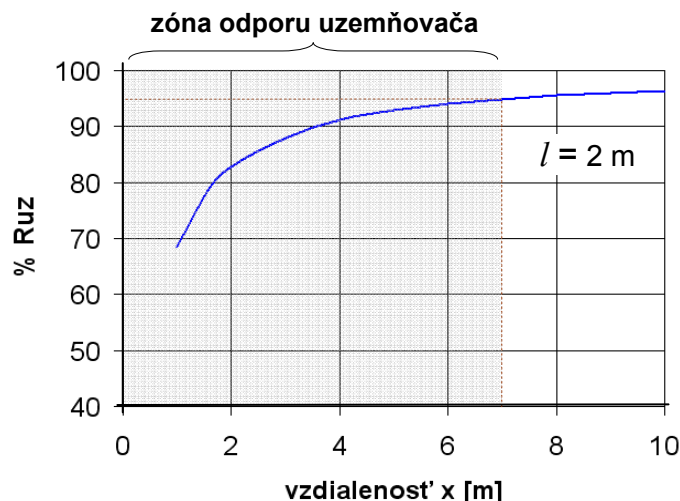
$$R_{uz} = \frac{\varphi_e}{I} \approx \frac{\rho}{2\pi l} \cdot \ln \frac{2l}{r_0} = \frac{\rho}{l} \cdot \frac{2,3026}{2\pi} \log \frac{2l}{r_0} = 0,3665 \cdot \frac{\rho}{l} \log \frac{2l}{r_0} \quad (8)$$

Pre bežne používané tyčové uzemňovače dĺžky 2 až 5 m sa používa ako odhad približný vzťah [2]

$$R_{uz} = 0,8 \text{ až } 0,9 \frac{\rho}{l}$$

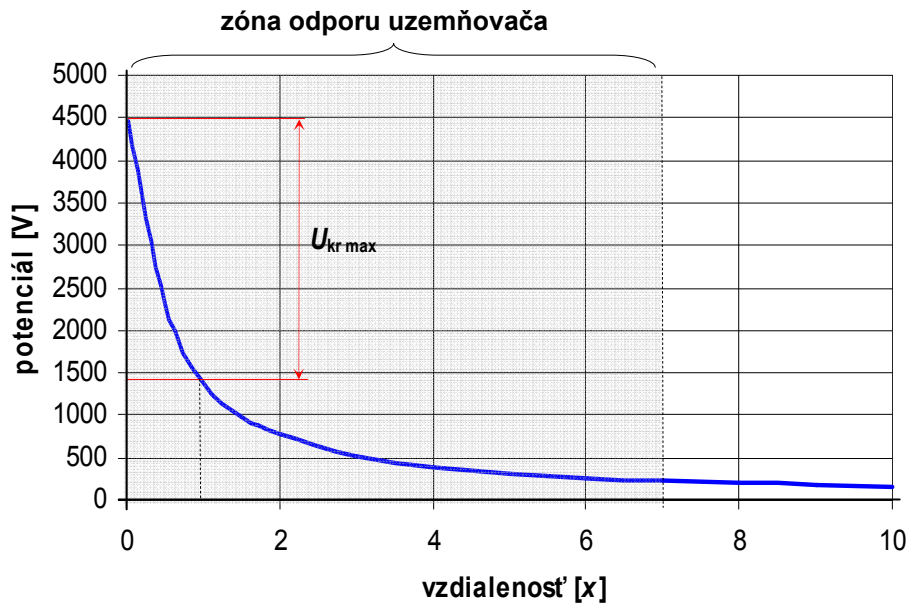
Príklad

Uvažujme tyčovú elektródu s polomerom $r_0 = 15$ mm a dĺžkou $l = 2$ m uloženou podľa obrázka 3 v pôde s rezistivitou $\rho = 100$ Ωm . Odpor uzemnenia podľa (7) je $R_{uz} = 44,45$ Ω . Na obrázku 4 je závislosť odporu zeme R_x do vzdialenosti x od osi uzemňovača, vyjadrená v % odporu uzemnenia R_{uz} . Zóna odporu uzemnenia, ktorá reprezentuje 95 % odporu uzemnenia siaha na povrchu do vzdialenosti $x_{95} \approx 7$ m, čiže do vzdialenosti približne 3,5-násobku dĺžky l .



Obr. 4 Odpor zeme R_x v závislosti od vzdialenosti od elektródy

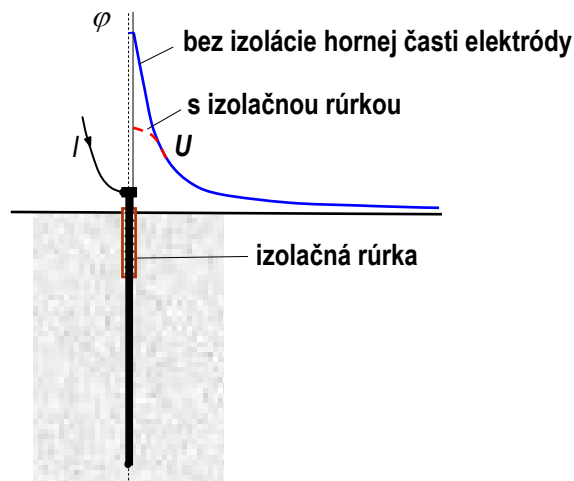
Nech uvažovanou tyčovou elektródou prechádza do zeme prúd $I = 100$ A. Pre zvolený vzťažný nulový potenciál v nekonečne $\varphi_\infty = 0$ potenciál na povrchu zeme φ_x v závislosti od vzdialenosti x podľa vzťahu (4) je na obrázku 5.



Obr. 5 Závislosť potenciálu na povrchu zeme od vzdialenosti od elektródy

Najväčší gradient potenciálu na povrchu zeme (teda aj maximálne krokové napätie) je pri elektróde. Pri normovanej dĺžke kroku 1 m je $U_{kr\ max} = 3\ 044$ V. Krokové napätie so vzdialenosťou od uzemňovača klesá. Vo vzdialenosti 7 m (na okraji zóny odporu uzemňovača) je krokové napätie len $U_{kr} = 28$ V.

Ak je potrebné znížiť vysoké krokové napätie pri elektróde, možno to dosiahnuť tak, že horná časť elektródy je do určitej hĺbky uložená izolovane (obrázok 6).

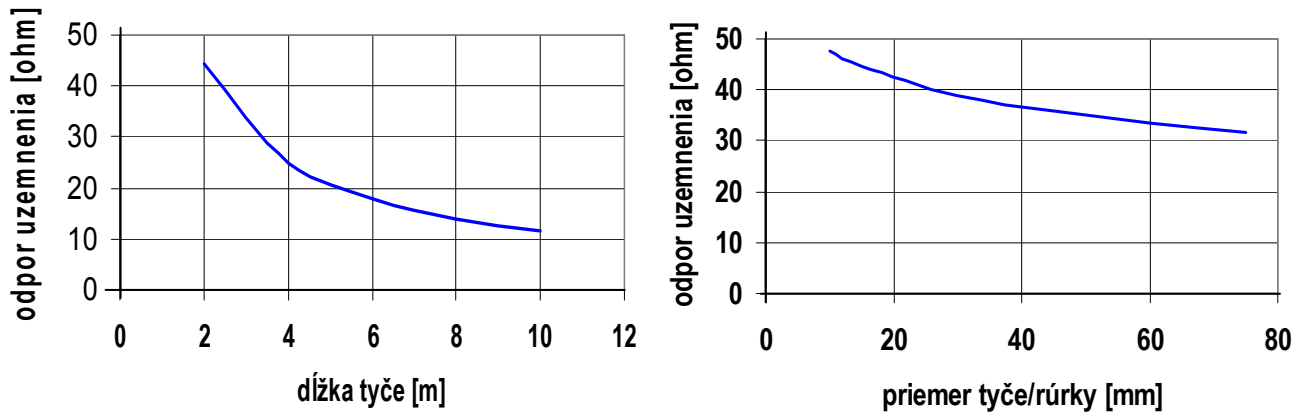


Obr. 6 Zníženie potenciálu v blízkosti elektródy použitím izolačnej rúrky

Vplyv dĺžky a priemeru tyčovej elektródy na odpor uzemnenia

Na obrázku 7 sú charakteristiky odporu uzemnenia R_{uz} zvislej tyčovej alebo rúrkovej elektródy v závislosti od dĺžky elektródy l , resp. od jej priemeru d [2].

Pri zväčšení dĺžky elektródy z dvoch na štyri metre sa odpor uzemnenia zmenší takmer na polovicu. Odpor uzemnenia sa výraznejšie mení asi do dĺžky elektródy $l = 5$ m. Naopak, v závislosti od priemeru elektródy sa odpor uzemnenia mení len málo. Napríklad pri zväčšení polomeru r_0 z 15 mm na 30 mm sa odpor uzemnenia zmenší len asi o 12 %. Na dosiahnutie malého odporu uzemnenia pre dané náklady má mať tyč alebo rúrka malý priemer a má byť, pokiaľ možno, dlhá.



Obr. 7 Závislosť odporu uzemnenia od dĺžky a priemeru elektródy

4 PÁSOVÁ ELEKTRÓDA

Na uzemňovacie rozvody sa používajú horizontálne uložené pásové, prípadne drôtové elektródy. Štvorhranné pásy sa chovajú elektricky ako okrúhly vodič s náhradným priemerom $d = (a+b)/(\pi/2)$. Náhradný priemer je asi dvakrát väčší ako priemer drôtu s rovnakým prierezom [2]. Napríklad náhradný prierez pásu 4 mm x 30 mm je 21,6 mm, kým priemer drôtu rovnakého prierezu je len 12,7 mm. Pásy ako uzemňovače sú z elektrického hľadiska výhodnejšie ako drôty – majú väčší povrch (na druhej strane je väčší povrch viac vystavený korózii).

Odpor uzemnenia pásu alebo drôtu dĺžky l a priemeru d , uloženého v pôde s rezistivitou ρ v hĺbke h je (pozri napr. normu [5])

$$R_{uz} = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \ln \frac{l}{2h} \right) \quad (9)$$

Pre prípady ak $l \gg d$ a zároveň $h \ll l/4$ možno použiť približný vzťah

$$R_{uz} \approx \frac{2\rho}{l} \quad (10)$$

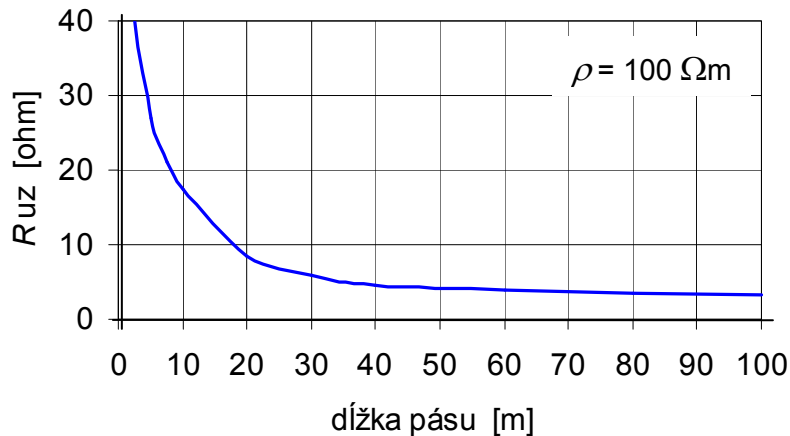
Napríklad pre $\rho = 100 \Omega\text{m}$, $l = 50$ m, $d = 1$ cm, $h = 1$ m je podľa vzťahu (9)

$$R_{uz} = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \ln \frac{l}{2h} \right) = \frac{100}{2 \cdot \pi \cdot 50} \left(\ln \frac{2 \cdot 50}{0,01} + \ln \frac{50}{2} \right) = 3,956 \Omega$$

a podľa vzťahu (10)

$$R_{uz} \approx \frac{2\rho}{l} = \frac{2 \cdot 100}{50} = 4 \Omega$$

Vplyv dĺžky pásu na odpor uzemnenia je na obrázku 8 pre prípad $\rho = 100 \Omega\text{m}$ [2].



Obr. 8 Vplyv dĺžky pásu na odpor uzemnenia

Z obrázka 8 vidno, že najvýraznejšie zmenšenie odporu uzemnenia je pri dĺžkach približne do 20 m. Preto napríklad norma [6] v článku N2.3.2 uvádza, že ak sa vyžaduje odpor uzemnenia najviac 15Ω , nie je potrebné ukladať uzemňovacie pásy s celkovou dĺžkou väčšou ako 20 m.

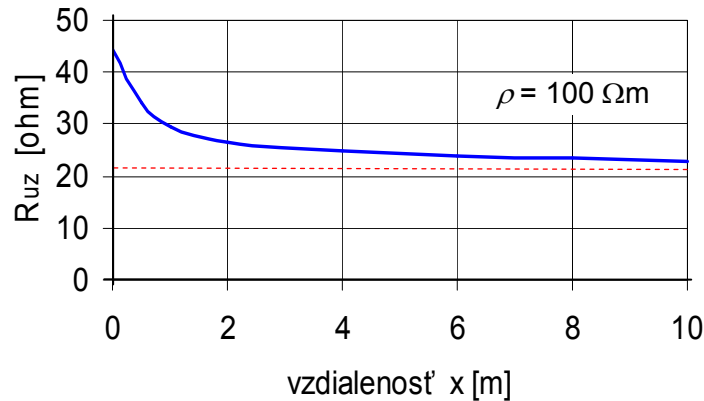
Tá istá norma v článku N2.2.1 uvádza, že ak v sťažených pôdnych podmienkach nemožno dosiahnuť požadovanú hodnotu 5Ω , nie je potrebné ukladať uzemňovacie pásy s celkovou dĺžkou väčšou ako 50 m. V takom prípade výhodnejšie ako použiť dlhý pás môžu byť dva kratšie pásy tvoriace združený uzemňovač, o čom pojednáva nasledujúca časť.

5 ZDRUŽENÉ UZEMŇOVAČE

Často nie je možné dosiahnuť požadovaný odpor uzemnenia jednou elektródou. Preto sa niekoľko elektród spojí paralelne, a to tak, aby ich využitie bolo čo najlepšie, teda elektródy musia byť od seba dostatočne vzdialené. Výsledný odpor uzemnenia závisí od odporu uzemnenia jednotlivých uzemňovačov, pričom je vždy väčší ako odpor paralelných odporov vypočítaný teoreticky podľa Kirchhoffovho zákona.

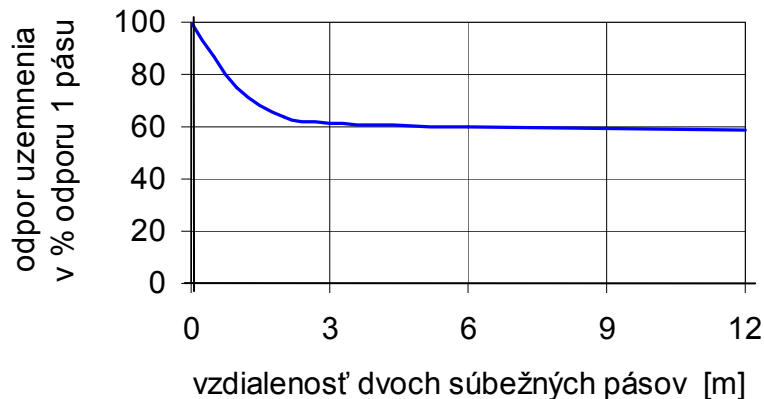
Na obrázku 9 je znázornená závislosť odporu uzemnenia R_{uz} dvoch združených vertikálnych tyčových elektród dĺžky $l = 2 \text{ m}$ v pôde s rezistivitou $100 \Omega\text{m}$ v závislosti od ich vzájomnej vzdialenosti x [2]. Na obrázku je čiarkovanou čiarou znázornená hodnota odporu, ak by sa elektródy vzájomne neovplyvňovali ($x \rightarrow \infty$). Z obrázka je zrejmé, že pri malej vzájomnej vzdialenosti je celkový odpor uzemnenia len o málo menší ako odpor

uzemnenia jednej elektródy – elektródy nie sú dobre využité. Preto pri tyčových elektródach nemá byť ich vzájomná vzdialenosť x menšia ako ich dĺžka l (túto podmienku obsahuje napríklad aj norma [5] v článku NA.2.2.4).



Obr. 9 Vplyv vzájomnej vzdialenosti dvoch tyčových uzemňovačov na odpor uzemnenia

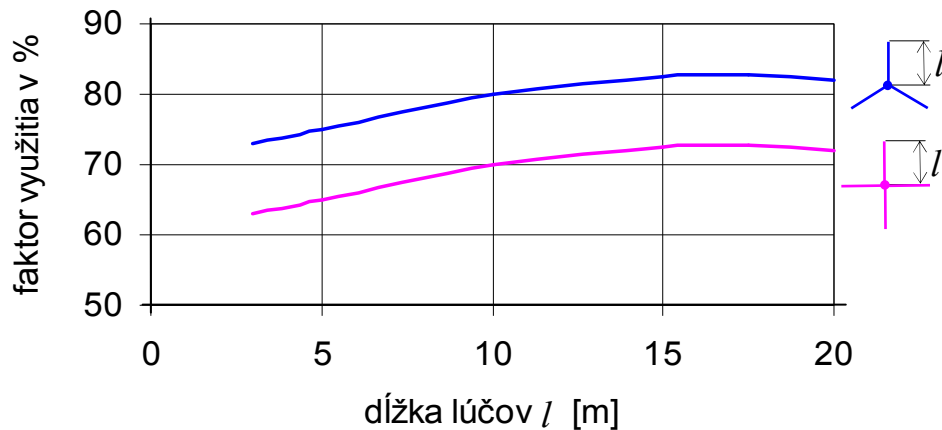
Analogicky možno zmenšiť odpor uzemnenia aj pri iných druhoch uzemňovačov. Na obrázku 10 je znázornený vplyv vzdialenosti dvoch paralelných pásov na veľkosť odporu uzemnenia [2]. Zhusťovať sieť pásov (v danom príklade pod 3 m) nie je účelné.



Obr. 10 Vplyv vzdialenosti dvoch súbežných pásov na veľkosť odporu uzemnenia

V určitých prípadoch (napríklad uzemnenie oceľových stĺpov) je výhodné usporiadať pásy lúčovito. Lúče majú byť, pokiaľ možno, rozdelené rovnomerne a ich počet nemá byť veľký. Účinnosť (faktor využitia) uzemňovača s tromi, resp. štyrmi lúčmi je na obrázku 11 [2].

Norma [5] v článku NA.2.2.2 uvádza, že pri použití lúčových uzemňovačov nemá byť uhol medzi nimi menší ako 60° , čo zodpovedá 6 lúčom. Ako však vyplýva aj z obrázku 10, uložiť viac ako 4 lúče je neekonomické – ďalším zväčšovaním počtu lúčov sa nedosiahne podstatné zmenšenie odporu uzemnenia.



Obr. 11 Faktor využitia (účinnosť) lúčového uzemňovača v hĺbke cca 0,5 až 0,8 m

6 VPLYV NEROVNORODOSTI PÔDY

Všetky vyššie uvedené skutočnosti platia za predpokladu, že rezistivita pôdy ρ je konštantná. Vo väčšine prípadov však nebýva pôda smerom do hĺbky rovnorodá, ale sa skladá z rôznorodých vrstiev s rôznou rezistivitou. To môže mať veľký vplyv na odpor uzemnenia. Najčastejšie sa vyskytuje pôda v dvoch vodorovných vrstvách. Ak je spodná vrstva pôdy lepšie vodivá (napr. v dôsledku väčšej vlhkosti pôdy vo väčšej hĺbke), pri vertikálnej elektróde je výhodné použiť dlhšiu elektródu. Naopak, ak je spodná vrstva menej vodivá (napríklad skalnaté podložie pod vrstvou zemitej pôdy), odpor uzemnenia zvislej elektródy je väčší ako pri predpokladanej konštantnej rezistivite, preto nemá význam použiť dlhú elektródu. V takom prípade je výhodnejšie namiesto dlhej elektródy použiť viac paralelných elektród. Ešte vhodnejšie je použitie pásových uzemňovačov.

V ílovitej, trvalo vlhkej pôde alebo jemnej hline sa uzemňuje dobre – na rozdiel od piesčitej štrkovitej či kamenitej pôdy. Pretože prúdová hustota a tým aj zmena potenciálu sú najväčšie pri elektróde, niekedy sa pristupuje k úprave pôdy pri elektróde.

Vodivosť pôdy sa principiálne dá zväčšiť soľným roztokom, avšak pôda si zlepšenú vodivosť podrží len krátky čas (obzvlášť rýchlo sa vyplaví z piesčitej a rašelinovej pôdy). Soľ navyše zväčšuje korózne ohrozenie ocele, nehovoriac už o zamorovaní pôdy soľou.

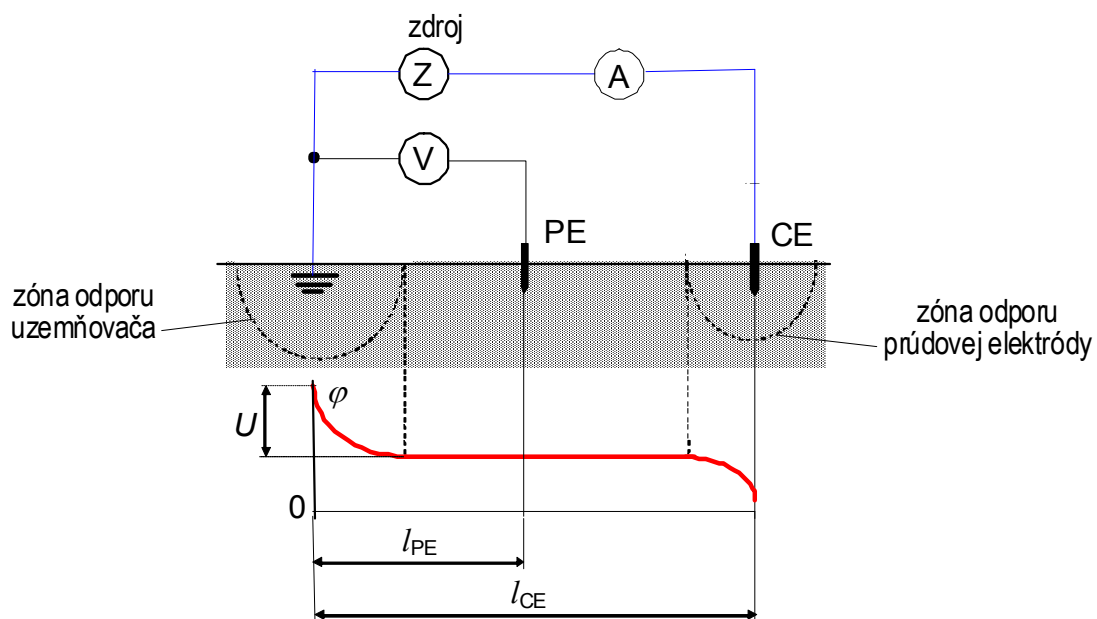
Ak v mieste uzemnenia nie je ílovitá alebo hlinitá pôda, vhodnejšie je priviezť hlinu alebo íl. Elektróda sa uloží a utesní tak, aby bola zo všetkých strán obalená vrstvou vodivej pôdy hrúbky aspoň 40 cm. Takáto úprava však má význam len vtedy, ak sa privezená pôda nebude nadmerne vysušovať (napríklad v dôsledku okolitého suchého piesku).

Prostriedkom, ktorý môže podstatne zlepšiť konduktivitu okolo elektródy, patrí prírodný bentonit (sodný alebo draselný). Bentonit je prírodná hornina, ktorá vzniká rozkladom vulkanického skla a popola. Tvorí ho zmes ílových minerálov. Jeho typickou vlastnosťou je, že pri styku s vodou intenzívne napučíava, tým vniká do škár v podloží a zväčšuje kontaktnú plochu. Výhodou je, že bentonit neohrozuje životné prostredie, pozri napr. [7].

Problematické býva zaistiť dobré uzemnenie najmä v skalnom podloží. V práci [2] sa uvádza, že pomerne malý odpor uzemnenia sa dosiahol tyčovými uzemňovačmi uloženými do predvrtaných 4 – 5 m dier v skale, ktoré sa rozrušili výbuchom náloží a následne sa vyplnili bentonitovou zmesou. Bentonit sa využil aj na Slovensku (napríklad uzemnenie vysokonapäťového vedenia v okolí Banskej Bystrice – uzemnenie sa uložilo vo vykopanej ryhe v kameni, ktorá sa vyplnila bentonitom).

7 VPLYV ZÓNY ODPORU UZEMNENIA PRI MERANÍ ODPORU UZEMNENIA

Princíp merania odporu uzemnenia je na obr. 12.



Obr. 12 Princíp merania odporu uzemnenia uzemňovača

Na meranie sa použijú dve pomocné elektródy: pomocný uzemňovač CE, ktorým prechádza merací prúd I a napäťová sonda PE. Medzi meraný uzemňovač a prúdovú elektródu CE sa pripojí zdroj striedavého napätia Z , ampérmetrom A sa meria prúd prechádzajúci medzi meraným uzemňovačom a prúdovou elektródou. Voltmetrom V sa meria napätie medzi meraným uzemňovačom a napäťovou sondou PE. Odpor uzemnenia R_{uz} sa vypočíta zo vzťahu

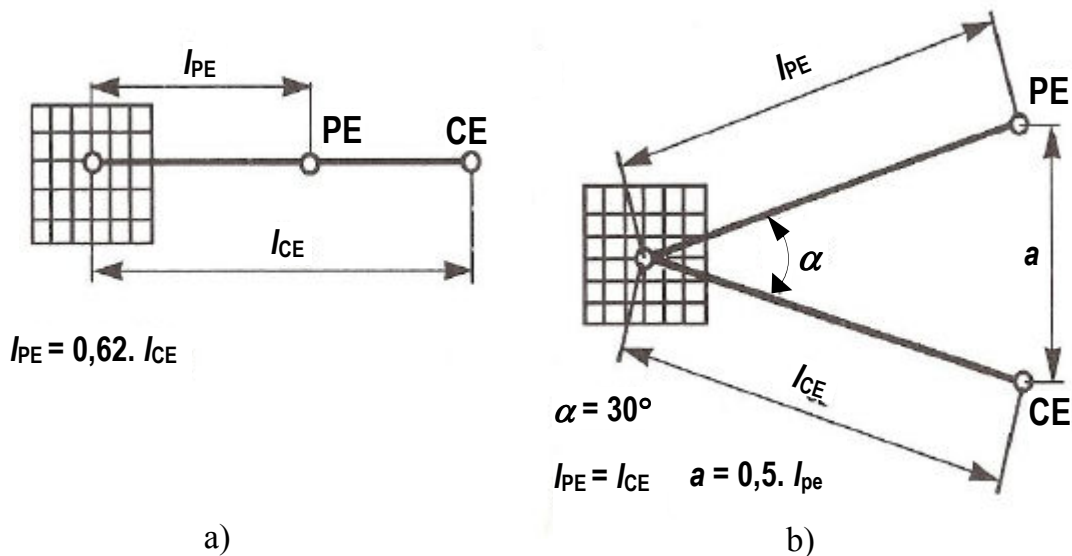
$$R_{uz} = U / I \text{ (}\Omega; \text{V, A)}$$

Pri praktickom meraní sa najčastejšie používajú pomerové meracie prístroje udávajúce priamo hodnotu odporu uzemnenia.

Pri meraní hrá zásadnú rolu *zóna odporu uzemňovačov* – jednak samotného meraného uzemňovača, jednak prúdovej elektródy CE. Ak má byť meranie správne, napäťová sonda sa musí umiestniť v oblasti, kde je zanedbateľná zmena potenciálu. Ak by bola umiestnená blízko meraného uzemňovača (v jeho zóne odporu), merané napätie by bolo menšie, teda aj nameraný odpor uzemnenia by bol menší ako skutočný. Naopak, ak by sa sonda umiestnila

do zóny odporu pomocného uzemňovača, nameraný odpor by bol väčší ako skutočný. Preto musí byť uzemňovač CE mimo zóny odporu meraného uzemnenia aj zóny prúdovej elektródy. Zóna odporu uzemňovača, a tým aj vzdialenosti l_{CE} a l_{PE} závisia od druhu a rozmerov uzemňovačov.

Rozhodujúci vplyv na meranie má teda vzájomná poloha meraného uzemnenia a meracích elektród. S ohľadom na zóny odporu uzemňovačov (a tým aj na priebeh potenciálu) je nutné elektródy rozmiestniť tak, že stred meraného uzemnenia a elektródy ležia buď na priamke podľa obrázka 12, resp. obr. 13a, alebo stred meraného uzemnenia a meracích elektród tvoria vrcholy rovnoramenného trojuholníka podľa obrázka 13b.



Obr. 13 Rozmiestnenie elektród pri meraní odporu uzemnenia

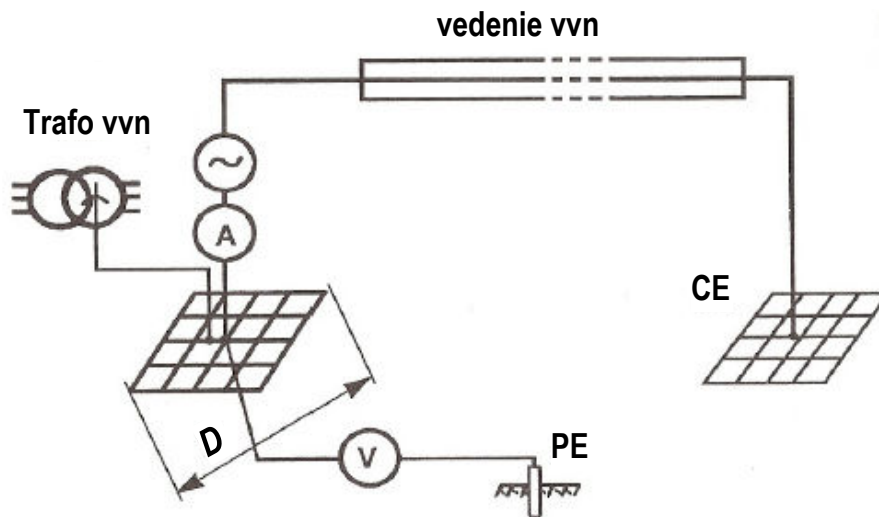
Požiadavky na vzdialenosti l_{PE} a l_{CE} pri meraní odporu uzemnenia v inštaláciách nn a pri umiestnení elektród na priamke stanovuje norma [5] v národnej prílohe ND takto:

- *jednoduchý uzemňovač do dĺžky 40 m*: $l_{CE} = 40$ m, $l_{PE} = 25$ m,
- *zložitý uzemňovač alebo mrežovú sieť*: $l_{CE} = 3$ krát najväčší rozmer alebo uhlopriečka uzemňovača, $l_{PE} = 0,62 \cdot l_{CE}$.

Avšak ani dodržanie uvedených vzdialeností nemusí vždy zaručiť správne výsledky merania (najmä pri rozsiahlejších uzemňovacích systémoch, alebo ak nie je známy druh a rozmery uzemňovača). Či je vzdialenosť l_{CE} dostatočná, sa pri meraní určí tak, že napäťová sonda PE sa postupne umiestni na rôzne miesta medzi uzemňovačmi a kontroluje sa, či namerané hodnoty na rôznych miestach sú v podstate rovnaké. Preto napríklad norma [4] v článku B.1 stanovuje, že napäťová sonda PE sa postupne umiestni na troch miestach vzájomne vzdialených o 6 m a kontroluje sa, či merané hodnoty sú v podstate zhodné.

Špecifické pomery sú v prípade rozsiahlych uzemňovacích sústav (napríklad uzemnenia v rozsiahlych elektrických staniaciach), kde zóna odporu uzemnenia môže byť veľmi rozsiahla. V takých prípadoch sa používa metóda prúd – napätie, ktorej princíp

zodpovedá obrázku 12, jej praktické použitie je podľa obrázka 14. Zdroj prúdu sa zapojí medzi merané uzemnenie a elektródu CE. Napätie sa meria voltmetrom zapojeným medzi merané uzemnenie a elektródu PE. Odpor uzemnenia sa stanoví z podielu napätia a prúdu. Ako prúdová elektróda CE sa využije uzemnenie susednej elektrickej stanice. Ak je vzdialenosť k tejto stanici menšia ako 5 km, odpojí sa v meranej stanici uzemňovacie lano. Hodnota meracieho prúdu (spravidla niekoľko desiatok až stoviek A) sa volí s ohľadom na rozsah meraného uzemnenia a veľkosť rušivých napätí.



Obr. 14 Usporiadanie meracieho obvodu pri meraní odporu uzemnenia elektrickej stanice

ZÁVER

Príspevok poukazuje najmä na jeden z dôležitých parametrov uzemnenia, ktorým je zóna odporu uzemňovačov. Vlastnosti uzemnenia však závisia aj na viacerých ďalších parametroch a okolnostiach, akými sú napríklad závislosť odporu uzemnenia na ročnej dobe, prúdové zaťaženie elektród pri veľkých prúdoch a s tým súvisiace vysušovanie pôdy v dôsledku stratového tepla, vlastnosti uzemňovačov pri rázových prúdoch, trvanlivosť elektród (korózne ohrozenie), spájanie rôznych druhov uzemnenia, ale aj ekonomická stránka (náklady na uzemnenie).

LITERATÚRA A ZDROJE

- [1] BOJNA, I.: Bezpečnosť elektrických zariadení. FEI STU v Bratislave, 2010.
- [2] Osolsobě, J. – Zapletal, M.: Zemnění a bezpečnost. Nakladatelství ČSAV, Praha, 1964
- [3] Mayer, D. – Polák, J.: Metody řešení elektrických a magnetických polí. SNTL/Alfa, Praha, 1983
- [4] STN 33 2000-6: 2007 Elektrické inštalácie nízkeho napätia. Časť 6: Revízia
- [5] STN 33 2000-5-54: 2012 Elektrické inštalácie nízkeho napätia. Časť 5-54: Výber a stavba elektrických zariadení. Uzemňovacie sústavy a ochranné vodiče

- [6] STN 33 2000-4-41: 2007 Elektrické inštalácie nízkeho napätia. Časť 4-41: Zaistenie bezpečnosti. Ochrana pred zásahom elektrickým prúdom
- [7] ADAMEKOVÁ Z: Regenerování bentonitových zmesí.
http://www.mtf.stuba.sk/docs/internetovy_casopis/2008/2/adamekova.pdf
- [8] ORSÁGOVÁ J.: Elektrické stanice a vedení. VUT Brno, 2006.
http://www.umel.feec.vutbr.cz/VIT/images/pdf/studijni_materialy/ing/Elektricke_stanice_a_vedeni_S_P.pdf
- [9] P. Y. OKYERE P. Y., EDUFUL G.: Reducing earth electrode resistance by replacing soil in critical resistance area. <http://www.ijme.us/issues/spring2006/p33.htm>
- [10] <http://www.sgemuhendislik.com/uploads/ToprakOlcum.pdf>