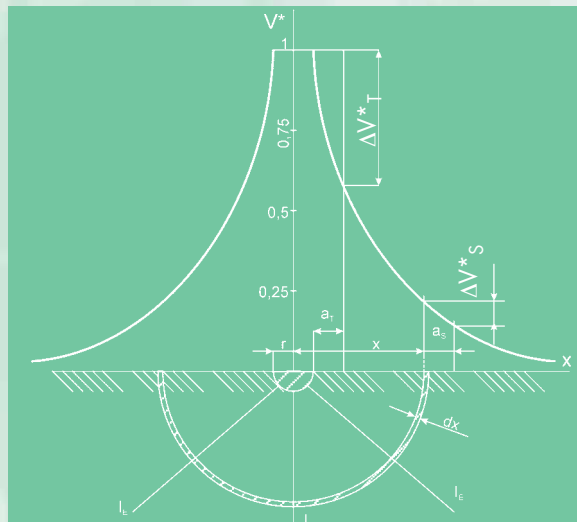
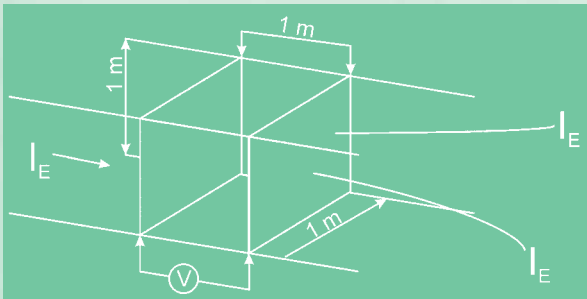


### Földelő rendszerek – számítási és tervezési alapok

6.3.1



# Földelés és EMC

## Földelő rendszerek – számítási és tervezési alapok

Prof Henryk Markiewicz & Dr Antoni Klajn  
Wroclaw University of Technology  
2003. június

### **Magyar Rézpiaci Központ**

#### **Hungarian Copper Promotion Centre (HCPC)**

A Magyar Rézpiaci Központ a réztermelők és feldolgozók által támogatott non-profit szervezet, amelynek célja a réz és a rézötvezetek használatának, valamint helyes és hatékony alkalmazásának elősegítése. A szolgáltatások, beleértve a műszaki tanácsadást és információs adatközlést, mindazok rendelkezésére állnak, akik bármilyen vonatkozásban érdekeltek a réz felhasználásában. Az egyesülés összeköttetést teremt a kutatás és a felhasználó ipar között, és szoros kapcsolatot tart fenn a világ többi – a rézpiac fejlesztésén tevékenykedő – szervezetével.

### **Európai Réz Intézet**

#### **European Copper Institute (ECI)**

Az Európai Réz Intézet az ICA (International Copper Association) és az IWCC (International Wrought Copper Council) támogató tagjai által létrehozott szervezet. Tagjain keresztül az ECI a világ legnagyobb réztermelői és Európa vezető réztermék gyártói nevében dolgozik a réztermékek európai piacfejlesztésén. Az 1996 januárjában megalakult ECI-t tíz Rézpiaci Fejlesztési Egyesület (CDA-k) hálózata támogatja a Benelux államokban, Franciaországban, Németországban, Görögországban, Magyarországon, Olaszországban, Lengyelországban, Skandináviában, Spanyolországban és az Egyesült Királyságban. Ezen tevékenység folytatása azon erőfeszítéseknek, amelyeket az 1959-ben alakult Copper Products Development Association (CPDA) és az 1961-ben alakult International Copper Research Association (INCRA) kezdeményezett.

### **Figyelmeztetés**

A Magyar Rézpiaci Központ és az Európai Réz Intézet elhárítja a felelősséget bármilyen közvetlen, közvetett, okozati, vagy véletlenszerű meghibásodásért, amely az ebben a kiadványban közölt információk felhasználásából, vagy az információk illetve a közölt adatok fel nem használhatóságából eredhetnek.

Szerzői jog©: European Copper Institute, Deutsches Kupferinstitut, Copper Development Association (CDA).

Magyar fordítás: Magyar Rézpiaci Központ

A kiadvány anyagának másolása, terjesztése engedélyezett, feltéve, hogy az teljes terjedelemben, a forrás megjelölésével történik.



**HUNGARIAN COPPER  
PROMOTION CENTRE**

Magyar Rézpiaci Központ  
H-1053 Budapest  
Képiró u. 9.  
Magyarország

Tel: (+36 1) 266 48 10  
Fax: (+36 1) 266 48 04  
E-mail: [info@hcpcinfo.org](mailto:info@hcpcinfo.org)  
Web: [www.hcpcinfo.org](http://www.hcpcinfo.org)



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](mailto:eci@eurocopper.org)  
Website: [www.eurocopper.org](http://www.eurocopper.org)

## Földelő rendszerek – számítási és tervezési alapok

### Bevezetés

A korábbiakban áttekintést adtunk az épületekkel kapcsolatos berendezések, létesítmények földelő rendszereinek tervezési kérdéseit illetően. Jelen fejezet a földelő rendszerekről, azok számítási és tervezési alapelveiről ad ismertetést.

A földelő rendszer – amit egyszerűen földelésnek is neveznek – annak az eljárásnak a teljes rendszere, amivel egy berendezés vagy létesítmény azon fém részeit, amelyek üzemszerűen nincsenek feszültség alá helyezve, összekötnek a földdel. A jó földeléstől elvárjuk:

- ◆ az épület, létesítmény villámvédelmét,
- ◆ az emberek és állatok érintésvédelmét az érintési- és lépésfeszültség biztonságos értékre korlátozásával,
- ◆ az elektromágneses összeférhetőség (EMC) garantálását (az elektromágneses zavarok korlátozását),
- ◆ a villamos elosztó hálózat megfelelő működését, a jó villamosenergia-minőség biztosítását.

A fenti tulajdonságok teljesíthetők egy megfelelően tervezett földelő rendszerrel. A földelő rendszer egyes elemei teljesíthetnek egyedi követelményeket is, de a teljes rendszernek egységes egészet kell képeznie. A szabványok egy létesítményen belül egységes egysített földelő rendszer létesítését írják elő.

### Legfontosabb definíciók

**Földelő vagy földelő rendszer** azoknak az eszközöknek az összessége, amelyeket alkalmazva egy villamos áramkör egyes részei, villamos berendezések megérinthető vezető részei vagy fémszerkezetek villamos létesítmények közelében földelve vannak.

**Földelő elektróda** az a földbe ágyazott fémes vezető, vagy fémes vezetőket összekötő rendszer, vagy egyéb fém részek, amelyeknek hasonló a hatása és villamosan össze van kötve, vagy betonba van ágyazva, amely nagy felületen érintkezik a földdel (például egy épület alapozása).

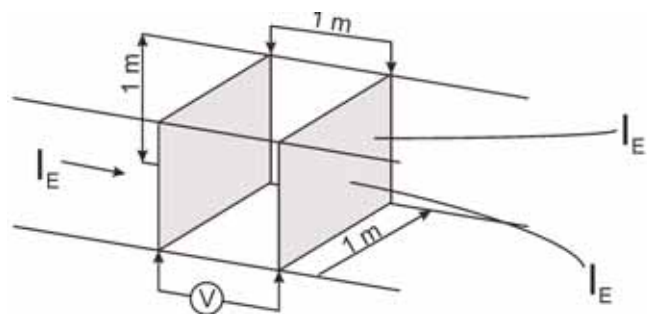
**Földelő vezető** az a vezető, amely a villamos létesítmény egyes, vezető anyagból készült részeit a földelő elektródához köti, vagy összeköti a földelő elektródákat. A földelő vezetőt a föld felszínén, vagy a földben fektetik, az utóbbi esetben szigetelve.

**Referencia föld** a vizsgált földelő elektródától távol, annak hatáskörén kívül eső föld, ahol nincs mérhető feszültség a zárlati áram hatására. A referencia föld potenciálja mindig nulla.

**Földelési feszültség** ( $V_E$ ) a földelő rendszer és a referencia föld között mérhető, a földelő rendszeren át a földbe folyó áram hatására.

**Föld fajlagos ellenállása** ( $\rho$ ) az 1. ábra szerinti elrendezés szerint mérhető ellenállás (1 m<sup>3</sup>-es földkocka két szemben álló lapja között). Dimenziója  $\Omega$ m.

Felületi potenciál ( $V_x$ ) a föld felületén mért feszültség az  $x$  pont és a referencia föld pont között.



1. ábra A föld fajlagos ellenállás elvi mérési elrendezése.

## A föld villamos jellemzői

A föld villamos tulajdonságát a  $\rho$  fajlagos ellenállás határozza meg. Annak ellenére, hogy az 1. ábrán ismertetett definíció igen egyszerű, a fajlagos ellenállás meghatározása két fő ok miatt általában elég bonyolult:

- ◆ a föld szerkezete inhomogén,
- ◆ egy adott típusú föld ellenállása is tág határok között változhat a nedvességtartalomtól függően (1. táblázat).

Az ellenállás számítása a talaj szerkezetének és az alkotó elemek ellenállásának kellő ismeretét feltételezi.

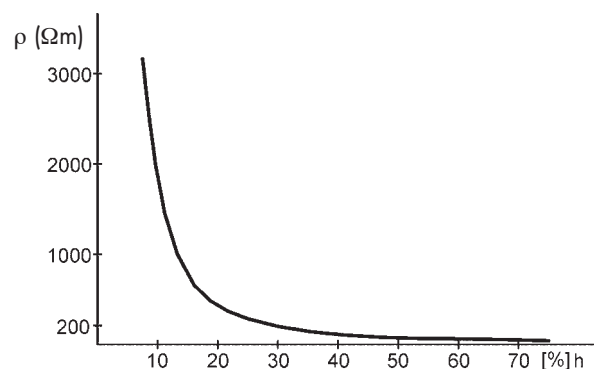
A gyakorlati esetekben általában egy- vagy többretegű, de rétegenként homogén föld szerkezetet feltételezünk, amelyek ellenállását valamilyen átlagos értékkel vesszük figyelembe. Ezt az értéket talajvizsgálat vagy közvetlen mérés alapján becsülik. A föld ellenállás mérésére különböző módszereket fejlesztettek ki. Fontos szempont azonban, hogy a talaj rétegekben az árameloszlás a mérés során azonos legyen a majdani létesítményével. Következésképpen a méréseket mindig nagyon körültekintően kell végezni. Ha nincs  $\rho$  értékére adat, általában  $\rho = 100 \Omega\text{m}$ -t feltételezünk. Azonban, mint az 1. táblázat is mutatja, a valóságos értékek széles határok között változhatnak, így a végleges létesítmény vizsgálatához a

Talaj fajta	Fajlagos ellenállás $\rho$ [ $\Omega\text{m}$ ]	
	tartomány	átlag
mocsár	2 – 50	30
agyag	2 – 200	40
iszap és homokos agyag, termőtalaj	20 – 260	100
homok, homokos föld	50 – 3,000	200 (nedves)
tőzeg	> 1,200	200
kavicsos homok (nedves)	50 – 3,000	1,000 (nedves)
köves, sziklás talaj	100 – 8,000	2,000
beton (1 rész cement, 3 rész homok)	50 – 300	150
beton (1 rész cement 5 rész kavicsos homok)	100 – 8,000	400

1. táblázat A  $\rho$  föld fajlagos ellenállás értékek különböző talaj és beton esetén.

teljes várható eseményteret lefedő ellenőrzést kell végezni az időjárás-változások és az öregedés figyelembevételével.

A talaj ellenállás meghatározásának másik problémája a nedvességtartalom, amely széles határok között változhat a földrajzi hely és az időjárás viszonyok függvényében a sivatagra jellemző néhány százalékos értéktől a mocsaras területek 80%-áig. A föld ellenállása jelentősen függ ettől a paramétertől. A 2. ábra az agyag ellenállása és nedvességtartalma közötti összefüggést mutatja. Itt látható, hogy a 30%-nál nagyobb nedvességtartalom esetén a  $\rho$  változása jelentéktelen, értéke kicsi. Azonban, ha a talaj száraz, azaz  $h$  kisebb, mint 20%, a  $\rho$  meredeken nő.



2. ábra Az agyag  $\rho$  fajlagos földelési ellenállása a talaj  $h$  nedvességtartalmának függvényében

A mérsékelt éghajlatú övezetben, például Európában a földelési ellenállás évszakonként változó a talaj nedvességtartalmának megfelelően. Európában ennek következtében közel szinuszos az ellenállás változása az idő függvényében: a maximumot februárban, a minimumot augusztusban mutatja. Az átlagos érték májusban és novemberben várható. Az átlagos értéktől való eltérés körülbelül  $\pm 30\%$ .

Itt kell megemlíteni, hogy a fagy hatása hasonló a szárazsághoz, az ellenállás jelentősen megnő.

Fentiek következtében a föld ellenállás számítása és az elektródák tervezése csak korlátozott pontossággal végezhető el.

## A földelő rendszer villamos jellemzői

A földelő rendszer villamos viselkedése lényegében két paramétertől függ:

- ◆ földelési ellenállás,
- ◆ a földelő elektróda kialakítása.

A földelési ellenállás a földelőn folyó áram és a feszültségcsökkenés közötti kapcsolat. A földelő elektróda kialakítása a föld felületén kialakuló potenciál-eloszlást befolyásolja.

A felületi potenciál-eloszlás megfelelő kialakítása a lépés- és érintési feszültség meghatározás szempontjából döntő fontosságú, így az érintésvédelem szempontjából alapvető. A továbbiakban ezekkel a kérdésekkel foglalkozunk röviden.

A földelési ellenállásnak két összetevője van:

- ◆ az  $R_D$  szétterjedési ellenállás, amely a földelő elektróda és a referencia közötti ellenállás,
- ◆ a földelő rendszer fém részeinek  $R_L$  ellenállása.

A fém részek ellenállása általában jóval kisebb, mint a szétterjedési ellenállás, ezért általában elhanyagolható, és a szakirodalomban a földelési ellenálláson általában csak a szétterjedési ellenállást értik.

Az áramszolgáltató által biztosított bármely földelési pont a helyi földeléssel párhuzamos ág, ezért joggal feltételezhető, hogy az eredő földelési ellenállás kisebb lesz az alapharmonikus és harmonikus frekvenciákon. Ennek ellenére a földelő rendszer tervezőjének úgy kell kialakítani a létesítmény földelését, hogy önmagában feleljen meg az elvárásoknak.

## Földelési ellenállás és potenciál eloszlás

Váltakozó áramú rendszerekben a  $Z_E$  földelési impedancia a földelő rendszer és a referencia közötti impedancia egy adott frekvencián.

A földelő rendszer reaktanciája a földelő vezető és az elektróda fém részeinek reaktanciája, de nagy frekvenciákon, mint a légköri túlfeszültségek, már figyelembe kell venni. Kis frekvenciákon tehát a  $Z_E$  földelési impedancia a szétterjedési ellenállással egyenlő, amely jó közelítéssel adja a teljes földelési ellenállást:

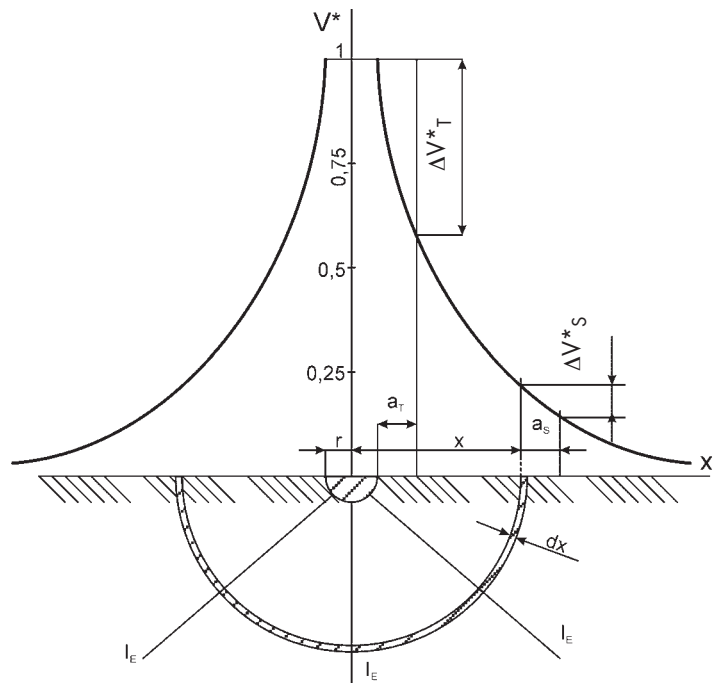
$$Z_E \approx R_D \approx R. \quad (1)$$

A földelő elektróda  $R$  földelési ellenállása függ a föld  $\rho$  fajlagos ellenállásától és az elektróda geometriájától. Ahhoz, hogy  $R$  kis érték legyen, a föld és az elektróda fém részei közötti áramsűrűséget kis értéken kell tartani, tehát minél nagyobb felületű földön kell az áramnak átfolyania. Kis frekvenciákon – a hálózati frekvencia és harmonikusai – a reaktancia általában elhanyagolható a földelési ellenálláshoz képest.

Amikor az áram a fémből a földbe lép, szétterjed a földben és így csökken az áramsűrűség. Ha az elektróda kis kiterjedésű, például egy pont, ez a hatás jelentős, de lap elektróda esetén jelentősen csökken, mivel az áramnak az elektródából való kilépése csak az éleken jár jelentős szétterjedéssel. Ennek következtében a rúd, cső, vagy tömör vezeték elektródák szétterjedési ellenállása kisebb, mint az ugyanolyan felületű lap elektródáké. Továbbá a szakirodalomban jól dokumentált, hogy a korrózió az áramsűrűséggel nő. A kis áramsűrűség növeli az elektróda élettartamát.

A földelési ellenállás számításakor általában egyrétegű talajszerkezetet és azon belül azonos fajlagos ellenállást feltételeznek. Elvileg lehetséges lenne a földelési ellenállást pontosan felírt egyenletekkel számítani, de ez a gyakorlatban nehezen alkalmazható, különösen akkor, ha összetett, sok csomópontos hurkolt földelő-elektrodákkal, földelő hálóval van dolgunk. De hiába alkalmazunk minden csomópontot és kötést figyelembe vevő egyenletrendszert, ha a földelési ellenállás értéke pontatlan. A földelési ellenállás pontos meghatározása – mint láttuk – szinte lehetetlen. Fentiek következtében általában csak egyszerű elektróda geometriáknál szokták a pontos egyenletrendszert felírni és megoldani, a feszültség, az áram és a potenciál-eloszlás összefüggésének bemutatására. Kiterjedt, hurkolt földeléseknél általában közelítő módszereket alkalmaznak.

Az alapvető összefüggések bemutatására alkalmazott modell a föld felszínre illesztett, a földbe süllyesztett félgömb alakú elektróda, amelyet a 3. ábra mutat.



3. ábra Félgömb elektróda a földelési ellenállás és a föld felszínén a potenciál-eloszlás számításához szükséges paraméterekkel ( $\rho = \text{állandó}$ )

$r$	elektróda sugár
$x$	az elektróda középpontjától mért távolság
$a_T, a_S$	az érintési ( $a_T$ ) és a lépésfeszültség ( $a_S$ ) távolságok
$V^*$	a potenciál-eloszlás viszonylagos értéke
$\Delta V^*_T, \Delta V^*_S$	érintési- és lépésfeszültségek viszonylagos értéke

$$dR = \frac{\rho}{2\pi \cdot x^2} dx \quad (2)$$

A félgömb elektróda földelési ellenállása:

$$R = \frac{\rho}{2\pi} \int_r^\infty \frac{dx}{x^2} = \frac{\rho}{2\pi r} \quad (3)$$

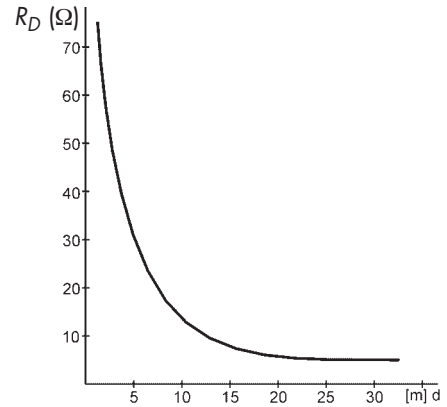
A földelési ellenállás értéke nagy mértékben függ attól, hogy milyen mélyen van az elektróda a földbe süllyesztve. Ennek az, az oka, hogy a mélyebb rétegek nedvességtartalma nagyobb és állandóbb, mint a felső rétegeké. A felszíni rétegek nedvességtartalma nagy mértékben függ az időjárási viszonyoktól és a fagytól. Ezt a függést mutatja rúd elektródára a 4. ábra. Az ábrán jól követhető, hogyan csökken a szétterjedési ellenállás a földelő rúd mélységének függvényében. Sajnos nem mindig lehetséges a földelést a megfelelő mélységben elhelyezni részben geológiai okokból (például sziklában), vagy amikor nagy felületű a földelés (földelőháló).

A földelő elektródák számos típusát alkalmazzák. A legelterjedtebb változatok az alábbiak:

- ◆ egyszerű szalag földelő, amely vízszintesen elhelyezett egyenes vagy kör alakú szalag vagy vezeték,
- ◆ földelőháló, amely hálószerűen van kiképezve, vízszintesen kis mélységben van elhelyezve,

- ◆ *fémköpenyű kábel*, amely hasonló a szalagföldelőhöz,
- ◆ *betonvasalás*, mint földelő elektróda, amely a földben elhelyezett vasalt betonlap vasalást használja elektróda gyanánt,
- ◆ *rúd jellegű elektródák*, amelyekben csövet, rudat stb. alkalmaznak és 1m-nél mélyebbre vannak leverve, hosszuk 3–30m, vagy még annál is több.

Az első négy elektróda típus lényegében felületi elektróda, amelyben szalagot, huzalt használnak sugaras vagy hurkolt elrendezésben, kb. 1m mélységben fektetve. Ezeknek az elrendezéseknek előnye a jó felületi potenciál-eloszlás. A rúd földelők az ún. mélyföldelőkhöz tartoznak; előnyt jelent, hogy különböző vezetőképességű talajrétegeken megy keresztül és különösen jó megoldás, ha a felületi talajrétegek vezetőképessége gyenge. Ily módon könnyű elérni a kívánt elektróda ellenállást (4. ábra). További előnye a rúd földelőnek, hogy alkalmazható akkor is, ha kis felület áll rendelkezésre az elektróda rendszer kialakítására. Ugyanakkor a rúd földelőkkel elérhető felületi potenciál-eloszlás rosszabb, ezért a gyakorlatban a rúd és a felületi földelést együttesen szokták alkalmazni, mert így kis földelési ellenállás és jó felületi potenciál-eloszlás érhető el. A továbbiakban a felületi potenciál-eloszlással foglalkozunk.



4. ábra Példa a szétterjedési ellenállásnak a függőleges földelő rúd hosszától való függésére.

## Földelési feszültség(esés) és felületi potenciál-eloszlás

A földelési feszültségésés és felületi potenciál-eloszlás az érintésvédelem fontos paraméterei. A fő összefüggéseket a 3. ábra szerinti modell alapján ismertetjük.

A földelő elektróda középpontjától mért  $x$  távolságban az  $I_E$  áram hatása bármely pontban a feszültség

$$V_x = \frac{\rho I_E}{2\pi x} \quad (4)$$

A viszonylagos érték:

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

ahol  $V_E$  a földelési feszültségésés, amely egyenlő a földelőnek a nulla potenciálú referenciához (távoli föld) mért feszültségével.

A földelő feszültség:

$$V_E = I_E R_E = \frac{\rho I_E}{2\pi r} \quad (5)$$

A feszültség különbség a föld felszínének két pontja között: lépésfeszültség ( $\Delta V_S$ ): az  $x$  pont és a tőle  $a_S$  ( $a_S = 1\text{m}$ ) távolságra lévő pont közötti feszültség, azaz egy ember két lába által áthidalt feszültség a föld felszínén.

$$V_S = \frac{\rho I_E}{2\pi} \left[ \frac{1}{x} - \frac{1}{x + a_S} \right] \quad (6)$$

és viszonylagos értéke:

$$V_S^* = \frac{V_S}{V_E} \quad (6a)$$

ahol  $x \geq r$ .

Hasonló összefüggés írható fel bármely más  $x$  és a távolságra.

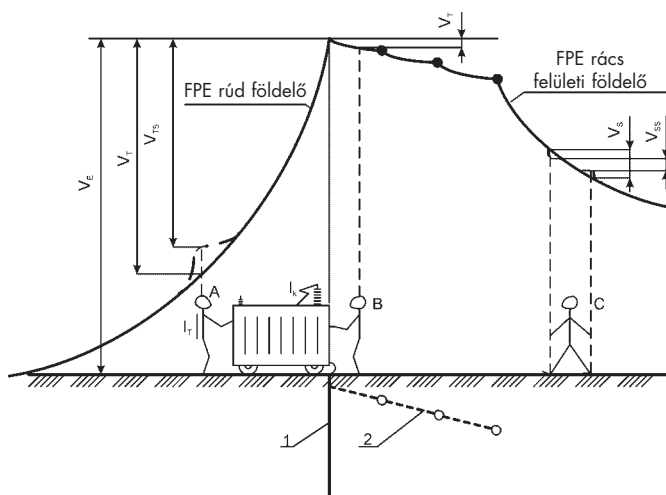
Az érintési feszültség számításakor  $x = r$  és  $a = a_T = 1\text{ m}$  értékeket kell behelyettesíteni. Ez az a feszültség ugyanis, amelyet a fém elektródával összekötött oszlopot az oszloptól 1m-re álló személy megérinthet.

$$V_T = \frac{\rho I_E}{2\pi} \left[ \frac{1}{r} - \frac{1}{r + a_T} \right] \quad (7)$$

viszonylagos értéke pedig

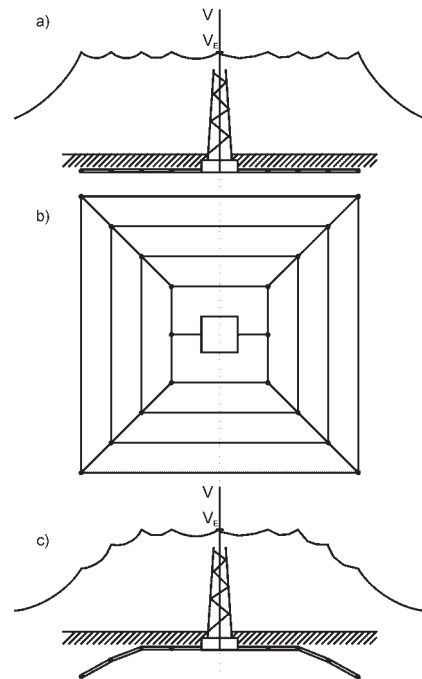
$$V_T^* = \frac{V_T}{V_E} \quad (7a)$$

Az érintési- és a lépésfeszültség értelmezését az 5. ábra mutatja. Az A és B személyek érintési feszültségre kerülnek, míg a C személy a lépésfeszültség veszi igénybe. A  $V_T$  érintési feszültséget néha megkülönböztetik a tényleges megérintéskor fellépő ún. tapintási feszültségtől. A különbség elhanyagolható, ezért a két feszültséget egyenlőnek tekinthetjük.



5. ábra A föld felületi potenciál-eloszlás (FPE) összehasonlítása rúd és hurkolt felületi földelő esetében

- 1 rúd földelő
- 2 rács földelő
- $V_E$  a földelő feszültsége
- $V_T, V_{TS}$  független érintési feszültség, illetve érintési feszültség
- $V_S, V_{SS}$  független lépésfeszültség, illetve lépésfeszültség
- $I_T$  kialakult érintési áram
- $I_K$  a földbe folyó zárlati áram
- A, B, C különböző felületi potenciál-eloszlást érzékelő személyek



6. ábra A potenciál áthelyezés jelensége. Felületi potenciál eloszlás különböző földelő hálóknál

- a) sík földelőháló
- b) az elektróda felülnézete
- c) módosított földelőháló, a két szélső hurok mélyebbre helyezésével.

Az 5. ábra bal oldala rúd földelő, a jobb oldala földelőháló alkalmazása esetére ad tájékoztatást. A rúd földelőnek (1) kicsi a földelési ellenállása, de kedvezőtlen a felületi potenciál-eloszlása, míg a földelőháló felületi potenciál-eloszlásának gradiense sokkal kisebb. Az érintési feszültség sokkal nagyobb a rúd földelő (1) esetében (A személy), mint földelőhálónál (B személy). A lépésfeszültség (C személy) alakulása is kedvezőbb a földelőhálónál.

Ha a földelőháló nem alakítható ki, hurok elektródával is jó eredmények érhetők el (Belgiumban és Németországban gyakran alkalmazzák). Ez egy kompromisszumos megoldás, ami elfogadható áron elfogadható eredményt ad.



A földelési ellenállástól függ a földelő feszültsége, a földelő kialakításától pedig a felületi potenciál-eloszlás.

Természetesen a földelő kialakítása befolyásolja a földelési ellenállást is – a földelőháló nagyobb felületen érintkezik a földdel – ezért a teljes rendszert együtt kell kezelni. Ugyanakkor, mivel a földelőháló nagy területen van lefektetve, nem célszerű túl mélyen elhelyezni, ezért érzékeny a talaj nedvességtartalmának változására. Az ellenállás nedvességtartalom miatti változását kellő számú, függőlegesen elhelyezett földelő rúddal szokták kiegyenlíteni.

A földelőháló megnöveli azt a föld felületet, ahol a zárlati áram feszültségemelkedést okoz. A földelőháló területe lényegében ekvipotenciális, de az elektróda végeinél a feszültségváltozás nagy lesz, amint ezt a 6a ábra mutatja. A földelés biztosítja, hogy ne legyen veszélyes mértékű érintési feszültség, de az a esetben a háló széleinél veszélyes mértékű lehet a lépésfeszültség. Ez a helyzet például egy állomás földelőhálója esetén. A veszély elkerülhető, ha a földelőháló elektróda külső elemeit mélyebbre helyezik, mint a belsőket (6c ábra).

## A földelés viselkedése áramimpulzusokkal szemben

Az eddig mondottak hálózati frekvenciás állandósult állapotra érvényesek. A továbbiakban nagy amplitúdójú, meredek felfutású, a villámcsapás áramalakjára jellemző áramok hatásával foglalkozunk. Az áram csúcsértéke akár 100 kA, meredeksége 5–10 kA/μs is lehet.

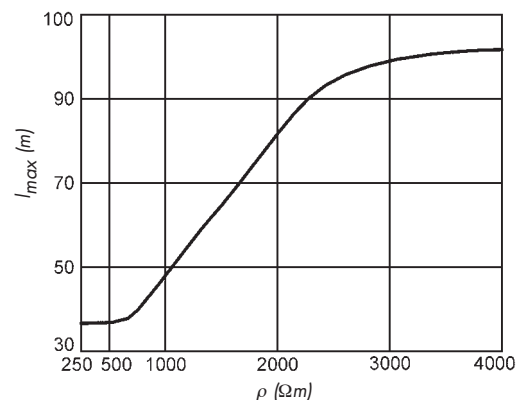
A talajban a nagyon nagy áramsűrűség nagy térerősséget eredményez, amely a talajban lévő gázzal töltött kis üregek átütését okozza, csökkentve ezáltal a fajlagos ellenállást és a földelési ellenállást. Ez a folyamat főképpen a földelő közelében jellemző, ahol az áramsűrűség a legnagyobb. A jelenség akkor jelentkezik legelősebben, ha száraz a talaj és nagy a fajlagos ellenállása.

A földelők fém részeinek induktivitását, amit kb. 1 μH/m értékre lehet becsülni, általában elhanyagolják a hálózati frekvenciás számításoknál, mivel elhanyagolható a föld impedanciájához képest. A nagy meredekségű impulzusoknál azonban már jelentős értékű feszültségesés jön létre ezen a kis induktivitáson is. Villámcsapás esetén az

$$U = L \frac{di}{dt}$$

összetevő (az induktivitáson eső feszültség) igen nagy értékű lehet. Ennek az a következménye, hogy a földelő elektróda teljes hosszában nem egyformán vesz részt az áram vezetésében és földelési ellenállása az áramimpulzusokkal szemben megnő a hálózati frekvenciás esethez képest. Ennek következtében a földelő elektróda hosszának növelése csak az ún. kritikus hossz (  $l_{max}$  ) hatékony a tranziensekkel szembeni impedancia csökkentésében (7. ábra).

A villámcsapás idején mindkét fent említett hatás jelentkezik, de mint láttuk, egymás ellen hatnak. A nagy áramsűrűség csökkenti az ellenállást, a nagy frekvencia növeli az impedanciát. Az eredő impedancia lehet kisebb, vagy nagyobb, mint az 50 Hz-es állandósult érték attól függően, hogy melyik hatás a domináns.



7. ábra Villámcsapás földelőjének maximális hossza ( $l_{max}$ ) a föld fajlagos ellenállásának ( $r$ ) függvényében.

## Összefoglalás

A földelő rendszer villamos paraméterei függenek a talajviszonyoktól és a földelő elektróda rendszer geometriájától. A talajviszonyokat a fajlagos ellenállás jellemzi, amely széles határok között változik (10–5000 Wm), a talaj fajtájától, szerkezetétől és nedvességtartalmától függően. Végeredmény, hogy nagyon

bonyolult a földelési ellenállás pontos meghatározása. A földelési ellenállást számító egyszerű összefüggések homogén szerkezetű, állandó fajlagos ellenállású talajt feltételeznek.

Ideális esetben a felületi potenciál állandó a földelő elektróda területe fölött. Ez fontos az érintésvédelem szempontjából, amelynek jellemzői az érintési- és a lépéshőfeszültség. A rúd földelő felületi potenciál-eloszlása sokkal meredekebb, mint a földelőhálóé, amely közelít az ideális esethez.

A gyors, nagy meredekségű és amplitúdójú tranziensekkel szembeni földelési impedancia két, egymással ellentétes hatás eredőjeként alakul ki. A nagyon nagy áramsűrűség hatására csökken a föld ellenállása, a meredek áram miatt megnő a földelő induktivitásának hatása. A tranziens földelési impedancia (lökőföldelési impedancia) a két hatás szuperpozíciójaként alakul ki.

# Referenciák és Alapító tagok

European Copper Institute  
(ECI)

Web: [www.eurocopper.org](http://www.eurocopper.org)

Akademia Gorniczko-Hutnicza  
(AGH)

Web: [www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)

Centre d'Innovació Tecnològica en  
Convertidors Estàtics i Accionaments  
(CITCEA)

Web: [www-citcea.upc.es](http://www-citcea.upc.es)

Comitato Elettrotecnico Italiano  
(CEI)

Web: [www.ceiuni.it](http://www.ceiuni.it)

Copper Benelux

Web: [www.copperbenelux.org](http://www.copperbenelux.org)

Copper Development Association  
(CDA UK)

Web: [www.cda.org.uk](http://www.cda.org.uk)

Deutsches Kupferinstitut  
(DKI)

Web: [www.kupferinstitut.de](http://www.kupferinstitut.de)

Engineering Consulting & Design  
(ECD)

Web: [www.ecd.it](http://www.ecd.it)

Hochschule für Technik und Wirtschaft  
(HTW)

Web: [www.htw-saarland.de](http://www.htw-saarland.de)

Istituto Italiano del Rame  
(IIR)

Web: [www.iir.it](http://www.iir.it)

International Union of Electrotechnology  
(UIE)

Web: [www.uie.org](http://www.uie.org)

ISR - Universidade de Coimbra

Web: [www.uc.pt](http://www.uc.pt)

Katholieke Universiteit Leuven  
(KU Leuven)

Web: [www.kuleuven.ac.be](http://www.kuleuven.ac.be)

La Escuela Técnica Superior de Ingenieros  
Industriales (ETSII)

Web: [www.etsii.upm.es](http://www.etsii.upm.es)

Polish Copper Promotion Centre  
(PCPC)

Web: [www.miedz.org.pl](http://www.miedz.org.pl)

Provinciale Industriële Hogeschool  
(PIH)

Web: [www.pih.be](http://www.pih.be)

Università di Bergamo

Web: [www.unibg.it](http://www.unibg.it)

University of Bath

Web: [www.bath.ac.uk](http://www.bath.ac.uk)

University of Manchester Institute of Science  
and Technology (UMIST)

Web: [www.umist.ac.uk](http://www.umist.ac.uk)

Wroclaw University of Technology

Web: [www.pwr.wroc.pl](http://www.pwr.wroc.pl)

## Szerkesztőbizottság

David Chapman (Chief Editor)	CDA UK	<a href="mailto:david.chapman@copperdev.co.uk">david.chapman@copperdev.co.uk</a>
Prof Angelo Baggini	Università di Bergamo	<a href="mailto:angelo.baggini@unibg.it">angelo.baggini@unibg.it</a>
Dr Araceli Hernández Bayo	ETSII - Universidad Politécnica de Madrid	<a href="mailto:ahernandez@etsii.upm.es">ahernandez@etsii.upm.es</a>
Prof Ronnie Belmans	UIE	<a href="mailto:ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be">ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be</a>
Franco Bua	ECD	<a href="mailto:franco.bua@ecd.it">franco.bua@ecd.it</a>
Prof Anibal de Almeida	ISR - Universidade de Coimbra	<a href="mailto:adealmeida@isr.uc.pt">adealmeida@isr.uc.pt</a>
Hans De Keulenaer	ECI	<a href="mailto:hdk@eurocopper.org">hdk@eurocopper.org</a>
Gregory Delaere	Lemcko	<a href="mailto:gregory.delaere@howest.be">gregory.delaere@howest.be</a>
Prof Jan Desmet	Hogeschool West-Vlaanderen	<a href="mailto:jan.desmet@howest.be">jan.desmet@howest.be</a>
Dipl-Ing Marcel Didden	KU Leuven	<a href="mailto:marcel.didden@mech.kuleuven.ac.be">marcel.didden@mech.kuleuven.ac.be</a>
Dr Johan Driesen	KU Leuven	<a href="mailto:johan.driesen@esat.kuleuven.ac.be">johan.driesen@esat.kuleuven.ac.be</a>
Stefan Fassbinder	DKI	<a href="mailto:sfassbinder@kupferinstitut.de">sfassbinder@kupferinstitut.de</a>
Prof Zbigniew Hanzelka	Akademia Gorniczko-Hutnicza	<a href="mailto:hanzel@uci.agh.edu.pl">hanzel@uci.agh.edu.pl</a>
Dr Antoni Klajn	Wroclaw University of Technology	<a href="mailto:antoni.klajn@pwr.wroc.pl">antoni.klajn@pwr.wroc.pl</a>
Reiner Kreuzer	HTW	<a href="mailto:rkreuzer@htw-saarland.de">rkreuzer@htw-saarland.de</a>
Prof Wolfgang Langguth	HTW	<a href="mailto:wlang@htw-saarland.de">wlang@htw-saarland.de</a>
Jonathan Manson	Gorham & Partners Ltd	<a href="mailto:jonathanm@gorham.org">jonathanm@gorham.org</a>
Prof Henryk Markiewicz	Wroclaw University of Technology	<a href="mailto:henryk.markiewicz@pwr.wroc.pl">henryk.markiewicz@pwr.wroc.pl</a>
Carlo Masetti	CEI	<a href="mailto:masetti@ceiuni.it">masetti@ceiuni.it</a>
Dr Jovica Milanovic	UMIST	<a href="mailto:jovica.milanovic@umist.ac.uk">jovica.milanovic@umist.ac.uk</a>
Dr Miles Redfern	University of Bath	<a href="mailto:eesmar@bath.ac.uk">eesmar@bath.ac.uk</a>
Andreas Sumper	CITCEA	<a href="mailto:sumper@citcea.upc.es">sumper@citcea.upc.es</a>
Roman Targosz	PCPC	<a href="mailto:cem@miedz.org.pl">cem@miedz.org.pl</a>



*Prof Henryk Markiewicz*



Wroclaw University of Technology  
Wybrzeze Wyspianskiego 27  
50-370 Wroclaw  
Poland

Tel: 00 48 71 3203 424  
Fax: 00 48 71 3203 596  
Email: [henryk.markiewicz@pwr.wroc.pl](mailto:henryk.markiewicz@pwr.wroc.pl)  
Web: [www.pwr.wroc.pl](http://www.pwr.wroc.pl)



*Dr Antoni Klajn*



Wroclaw University of Technology  
Wybrzeze Wyspianskiego 27  
50-370 Wroclaw  
Poland

Tel: 00 48 71 3203 920  
Fax: 00 48 71 3203 596  
Email: [antoni.klajn@pwr.wroc.pl](mailto:antoni.klajn@pwr.wroc.pl)  
Web: [www.pwr.wroc.pl](http://www.pwr.wroc.pl)



**HUNGARIAN COPPER  
PROMOTION CENTRE**

Magyar Rézpiaci Központ  
H-1053 Budapest  
Képipó u. 9.  
Magyarország

Tel: (+36 1) 266 48 10  
Fax: (+36 1) 266 48 04  
E-mail: [info@hcpcinfo.org](mailto:info@hcpcinfo.org)  
Web: [www.hcpcinfo.org](http://www.hcpcinfo.org)



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](mailto:eci@eurocopper.org)  
Website: [www.eurocopper.org](http://www.eurocopper.org)