



# **Alállomási földelőrendszer potenciál és transzfer potenciál villamos biztonsági és EMC kérdései**

című PhD értekezés

**TÉZISFÜZETE**

**Ladányi József**

Témavezető:  
Dr. Varjú György

Budapest, 2010.

## 1. Bevezetés, célok

A XXI. századra a fejlett országok lakói számára nélkülözhetetlen elemmé vált a villamos energia. A mindennapok elengedhetetlen részét képezi az élet szinte minden területén, magával hordozva számos sajátos, váratlan veszély lehetőségét. Jelenléte a mindennapokban észrevehetetlen, megléte elengedhetetlen. A villamos berendezések, készülékek valamint az élővilág interakciója során biztosítani kell a zavartalan együttműködést a villamos biztonsági és elektromágneses összeférhetőségi (EMC) követelmények maradéktalan betartásával. A disszertációmban ezen követelmények szempontjából vizsgálom a transzformátorállomások földelési kérdéseivel összefüggő alállomási és transzfer potenciál aktuális kérdéseit.

Mindezen problémák a villamosenergia-igény rohamos növekedésének kielégítése céljából, a sűrűn lakott belvárosokban létesített transzformátorállomások esetében fokozottabban jelentkezők a fogyasztók villamos szempontból való közelsége (transzfer potenciál kijutás a fogyasztóhoz) és az élőlények fizikai közelsége (érintési- és lépésfeszültség a transzformátorállomás közvetlen környezetében) miatt.

A disszertációm célja nem a szakirodalmak által részletesen tárgyalt földelési problémák elméleti modelljeinek továbbfejlesztése vagy azok analízise, hanem a gyakorlatban előforduló problémák okainak feltárása, megértése, magyarázata és megoldásának elősegítése a rendelkezésre álló szakirodalmi, szimulációs szoftverhátter és mérés technika segítségével. A disszertációmban közölt új tézisek ezen problémák következetes és jó megoldásához járulnak hozzá a tervezők és üzemeltetők munkájának elősegítése révén.

A disszertációm témája és anyaga kapcsolódik és eredményei részben már beépültek a CIGRE/CIREN JWG C4.202 illetve az azt követő JWG C4.207 (EMC) munkacsoport transzfer potenciállal foglalkozó és kidolgozás alatt álló Irányelvébe (Guide) és felhasználást nyertek az ITU-T SG 5 keretében a kisfeszültségű és távközlési hálózatok transzfer potenciál elleni védelmére vonatkozó Ajánlás (Recommendation) munkaanyagába.

## 2. Kutatási módszerek

A hazai gyakorlatban egyre inkább megjelenő réz földelőháló létesítése kapcsán felmerült a tervezők és üzemeltetők részéről a réz és az acél földelőhálók villamos szempontból való összehasonlítására való igény. Ezért a kutatómunka kezdetén áttanulmányoztam a földelőhálóval foglalkozó szakirodalmakat, melyek alapján azt tapasztaltam, hogy egyik fontos és kritikus jellemzőként a korrózióval szembeni ellenálló képességet emelik ki az anyag kiválasztásnál, tekintettel a földelőhálók 20-30 évre tervezett élettartamára. Azonban a villamos biztonsági (érintési- és lépésfeszültség, potenciál-emelkedés) és EMC követelményekre (potenciál-emelkedés, szekunder kábelek) gyakorolt hatásuk elemzésével nem foglalkoznak tételesen a szabványok és a szakirodalmak. Konkrét alállomásra vonatkozóan a világszerte ismert és elismert CDEGS (Current Distribution, Electromagnetic Fields, Grounding and Soil Structure Analysis) [1] szoftverrel végeztem szimulációs számításokat a réz és acél földelőhálók összehasonlítására, azonos kialakítás mellett vizsgálva a potenciál-emelkedést, érintési- és lépésfeszültséget, valamint a szekunder kábelekre gyakorolt hatást. A szimulációk során

figyelembe kellett venni az acél ferromágneses tulajdonságából eredő nemlinearitást, melyet laboratóriumi mérésekkel határoztam meg.

A kettős földzárlati potenciál és transzfer potenciál vizsgálatának kezdetén szintén az ide vonatkozó szakirodalmakat tekintettem át elsőként. A gyakorlati tapasztalatok azt mutatták, hogy a kisfeszültségű fogyasztókhöz kijutó transzfer potenciál jelentősen növeli a fogyasztói készülékek meghibásodásait. A kettős földzárlati potenciál és a kisfeszültségű fogyasztókhöz kijutó transzfer potenciál szimulációs vizsgálatára a nemzetközi szinten is elfogadott MULTC [2] szoftvert használtam. A modellben alkalmazott fém közmű hálózatot leképező cső nemlineáris villamos paramétereit laboratóriumi mérés során határoztam meg, melynek eredményeit a szimuláció során figyelembe vettem. A témához kapcsolódóan lehetőségem nyílt helyszíni mérésekkel is igazolni a szimulációs számítások helyességét.

### 3. Új tudományos eredmények

#### 1. tézis

A földelőháló anyagának kiválasztásnál a szakirodalmak és szabványok elsősorban a korrózióval szembeni ellenálló képességre helyezik a hangsúlyt a tervezett hosszú élettartam (20 – 30 évre) érdekében. Kiemelik a termikus és mechanikai álló képességet valamint a megbízhatóságot (pl. kötések szempontjából) és a jó vezetőképességet. Az acél fajlagos ellenállása 8-10-szer nagyobb a réz fajlagos ellenállásánál. A szakirodalmak és a szabványok mindkét anyagot ajánlják földelőháló létesítésére. Ugyanakkor nem kap a fontosságának megfelelő figyelmet az acél áram- és frekvenciafüggő belső impedanciája kihatásának figyelembe vétele. Ezért megvizsgáltam ennek szerepét ill. a földelőháló anyagának kiválasztására gyakorolt hatását. Laboratóriumi méréseket végeztem a földelőháló anyagként széleskörűen alkalmazott 20 mm átmérőjű köracél nemlinearitás-jellemzőinek meghatározására és ezzel megalapozva az áram-, és a frekvenciafüggés hatásának kellő pontosságú figyelembevehetőségét. A mérési eredmények alapján szimulációs vizsgálatokat végeztem áram- és frekvenciafüggés szempontjából lineáris (réz) és nemlineáris (acél) viselkedésű anyagból készült földelőháló jellemzőinek összehasonlítására.

A vizsgálatok eredményei alapján tézisként az alábbi megállapítás tehető:

*Ferromágneses és nem ferromágneses anyagú földelőhálók összehasonlító elemzése alapján kimondható, hogy a földelőháló anyaga a szétterjedési ellenállás értékét gyakorlatilag nem befolyásolja, azonban az alállomáson belüli potenciálkülönbségekre, a belső potenciál-eloszlásra valamint a lépésfeszültségre jelentős hatással van, amelyet a ferromágneses anyagú hálóelemek belső impedanciájának áram- és frekvencia függése jelentős mértékben befolyásol [S1]-[S5].*

A vizsgálatok során azonos kialakítás és peremfeltételek mellett számítottam a földelőháló szétterjedési ellenállását, a hálón belüli és környezetében kialakuló érintési- és lépésfeszültséget, valamint adott kábelyomvonalak mentén kialakuló potenciálkülönbségeket a hálón belül. A szimulációhoz a CDEGS [1] szoftver csomagot alkalmaztam, amely nemzetközileg ismert és elfogadott számítási eljárások alapján 3 dimenzióban képes megoldani a háló áram- és feszültségeloszlását valamint a kialakuló elektromágneses teret tetszőleges hálókialakítás és talajstruktúra esetére. A számítások a Szombathely 400/120 kV-os átviteli hálózati transzformátorállomás földelőhálójára készültek a tényleges üzemi és zárlati árameloszlás viszonyokra.

A tézis a földelőláló tervezőknek nyújt segítséget a tervezés során abban, hogy milyen hatásokat kell figyelembe venni réz és acél földelőláló esetében.

## 2. tézis

Az alállomási földelőrendszer potenciálemelkedésének (EPR) kellő pontosságú számítása céljából bevezettem és értelmeztem az egyenértékű földelési ellenállás és az egyenértékű földáram fogalmát. Az egyenértékű jellemzők leszámaztatása céljából az alállomási földelőlálóhoz csatlakozó földelt vezetőket passzív földelt vezetőkre és földáram-visszavezetőkre osztottam.

Tézisként az alábbiak fogalmazhatóak meg:

*Az állomási földelőlálóhoz csatlakozó földelt vezetők két típusba sorolhatók. Így megkülönböztetünk passzív földelt vezetőket és földáram-visszavezetőket.*

*Az állomás egyenértékű szétterjedési ellenállása a passzív földelt vezetők és az állomás egyedi szétterjedési ellenállásának eredője.*

*Az egyenértékű földáram a földelőlálóra injektált földzárlati áramnak (zárlati áram csökkentve a transzformátor csillagponti áramával) és az áram-visszavezető(k) áramának különbsége.*

*Az állomási potenciálemelkedés az egyenértékű földáram és a földelőrendszer egyenértékű ellenállás szorzatának megfelelő értékű [S6]-[S11].*

A földelőlálóhoz csatlakozó földelt vezetők közül azok a passzív földelt vezetők, amelyek földelőlálóhoz csatlakozásuk révén csak konduktív hatásnak vannak kitéve. Ezek – leegyszerűsítve – a földelőlálóhoz csatlakozó hosszú szalagföldelőként viselkednek és mint ilyenek a földelőláló szétterjedési ellenállását csökkentik. A csökkentő hatás abban nyilvánul meg, ill. vehető figyelembe, hogy a passzív földelővezető(k)-föld a bemenő impedancia párhuzamosan kapcsolódik a földelőláló – önmagában vett – szétterjedési ellenállásával. Az ily módon kiadódó eredő impedanciát tekintem a földelőrendszer egyenértékű földelési ellenállásának.

Azokat a földelt vezetőket, amelyek a zárlatra tápláló vezetékek részei és annak fázisvezetőivel induktív csatolásban vannak, áram-visszavezető vezetékeknek tekintem. Ezekben a vezetőkben – a  $3\tau$  hosszállandónak megfelelő – véghatásos szakaszt követően a csatoló kölcsönös impedancia és az önimpedancia arányaként kifejezhető áramtényezőnek megfelelő arányú állandósult indukált áram folyik. Az alállomási végen az áram-visszavezető árama az indukált áram véghatásos értékének és a konduktív csatolásból eredő áram eredőjének megfelelő nagyságú. Az áram-visszavezető(k)ben folyó áramnak – megfelelő többvezetős rendszerként történő megoldással – kellő pontosságú meghatározása előfeltétele a potenciálemelkedés megbízható számításának. Ez különösen igaz a nagyfeszültségű kábelek árnyékolására amelynél, mint áram-visszavezetőnél, az áramtényező általában 0,90-0,95 közötti értékű.

Az alállomási földelőrendszer potenciál-emelkedésének kellő pontosságú számításánál elengedhetetlen a megfogalmazott tézisben közölt fogalmak ismerete és értelmezése. A bevezetett fogalmaknak és azok értelmezésének fontos szerepe van az alállomási/távvezetési egyedi és egyenértékű földelési ellenállás értékének mérésénél és a megkülönböztetés szerinti megadásánál is.

### 3. tézis

A kisfeszültségű hálózat nullavezető rendszere által képviselt eredő földelési ellenállás értékekre a nemzetközi szakirodalmakban sincs irányadó érték vagy számítási módszer megadva. Az értekezés 4. fejezetében foglaltak alapján belátható, hogy a KIF hálózat nullavezető rendszere – a leginkább alkalmazott TN kialakítás esetén - jelentős mértékben hozzájárul a KÖF/KIF alállomások egyenértékű szétterjedési ellenállásához. Az egyenértékű szétterjedési ellenállás értéke igen jelentős befolyásoló paramétere a KÖF/KIF alállomásban kialakuló EPR értéknek, amely forrása a kisfeszültségű fogyasztókhoz kijutó transzfer potenciálnak (Isd. 5. fejezet). Ezért a – földelés szempontjából – különböző típusú KÖF/KIF alállomások egyenértékű szétterjedési ellenállás irányadó értékeinek ismerete elengedhetetlen a KÖF/KIF alállomások potenciál-emelkedésének számításához, ill. a fogyasztókhoz kijutó transzfer potenciál meghatározásához.

Paraméteres szimulációs számításokkal meghatároztam egy kisfeszültségű leágazás nullavezető – föld hurok bemeneti impedanciáját befolyásoló tényezők relatív súlyát, figyelembe véve a fémcső közművek opcionális jelenlétét. Laboratóriumi mérésekkel meghatároztam az alkalmazott fémcső nemlineáris jellemzőit, amelyet a szimulációs számítások során figyelembe vettem.

Helyszíni mérések során ellenőriztem a szimulációs számítások helyességét, valamint irányértékeket adtam meg a különböző típusú KÖF/KIF alállomások egyenértékű szétterjedési ellenállására.

A helyszíni mérések alkalmával összehasonlításra került a szétterjedési ellenállás mérésére két méréstechnika is. A mérések alapján megállapítható, hogy az oszlopföldelési ellenállás mérésére alkalmazott frekvencianöveléssel végzett eljárás [3] – a hálózati paramétereknek a távvezetési védővezető jellegtől való különbözősége miatt – csak korlátozott mértékben alkalmazható a KÖF/KIF alállomások egyedi és egyenértékű földelési ellenállásának szétválasztására.

KIF hálózatok által képviselt eredő földelési ellenállás értékét – a szimulációs számítások és mérések alapján igazolva – a következő jellemzők határozzák meg:

- városi kábeles hálózatok esetén:
  - a hagyományos folyamatos földeléssel rendelkező (ólomköpenyű páncélozott) és az új műanyag szigetelésű és burkolatú kábelek részaránya;
  - a kábelek köpenyének/árnyékolásának külső felületi impedanciája;
  - a leágazások száma, hosszúsága.
  - a fogyasztói helyeken az EPH rendszerbe bevont fémcső közműhálózatok részaránya
  - a nullavezetőnek a körzethatárnál való folytonosítása.
- vidéki szabadvezetékes hálózatok esetén:
  - a nullavezető hálózati oldalon létesített földelése által képviselt földelés;
  - a leágazások száma, hosszúsága.
  - a fogyasztói helyeken az EPH rendszerbe bevont fémcső közműhálózatok részaránya.
  - a nullavezetőnek a körzethatárnál való folytonosítása.

A nullavezető-föld kör bemenő impedanciáját és ezzel a KÖF/KIF állomások egyenértékű ellenállását leginkább befolyásoló paraméterekre ill. körülményekre tézisként a következő megállapítások tehetők:

- A nullavezető-föld kör bemenő impedanciájának értékét legnagyobb mértékben a nullavezetőkhöz kapcsolódó egyedi földelések ellenállása és azok gyakorisága szabja meg. A bemenő impedancia értéke  $0,24 \Omega$  és  $75 \Omega$  között változhat az igen kedvező ( $50 \Omega \cdot m$  alatti) és szélsőségesen kedvezőtlen ( $1000 \Omega \cdot m$  feletti) fajlagos talajellenállás esetén.
- A nullavezetőnek a fémcső közművekkel való közösítése jelentős mértékben csökkenti a nullavezető-föld kör bemenő impedanciáját. Más megközelítésben, a fémcsövek helyett egyre inkább alkalmazott műanyagcsöves közmű hálózatok terjedése nagyobb potenciálemelkedésekkel jár. Ez a kedvezőtlen hatás különösen érvényes a nagy fajlagos talaj-ellenállású környezetben.
- A nullavezetőnek a körzethatároknál való folytonosítása számottevően csökkenti a nullavezető-föld kör bemenő impedanciáját közepes és különösen nagy fajlagos talaj-ellenállású környezetben [S6]-[S10].

#### 4. tézis

A kisfeszültségű hálózatra kijutó rövididejű hálózati frekvenciás transzfer potenciálnak két előidéző oka lehet: az egyik a közvetlenül földelt csillagpontú nagyfeszültségű alállomásban bekövetkező egyfázisú földzárlat (FN), a másik pedig a nem közvetlenül földelt csillagpontú középfeszültségű hálózaton kialakuló kettős földzárlat (2Ff). A két forrás hatásának vizsgálatára tényleges hálózati feltételeknek megfelelő határok között végeztem paraméteres számításokat a kisfeszültségű hálózatra kijutó transzfer potenciál szempontjából, az egyes paraméterekre való érzékenység tanulmányozása mellett. A szimulációs számításokhoz a többvezetős rendszerek számítására alkalmas és nemzetközi gyakorlatban elfogadott és alkalmazott MULTC programot használtam.

A szimulációs számítások eredményeként az alábbi tézis mondható ki:

*A KÖF hálózatokon fellépő 2Ff zárlatok mind gyakoriságban, mind amplitúdóban nagyobb transzfer potenciált okoznak a kisfeszültségű hálózatokon, mint a NAF/KÖF állomások FN zárlatai. Ezért a rövididejű hálózati frekvenciás túlfeszültségek és az ebből származó túlfeszültség károk elsősorban a 2Ff zárlatokra vezethetők vissza [S6]-[S10].*

#### 5. tézis

A KÖF/KIF állomásokban fellépő 2Ff zárlat hatására létrejövő potenciál nagysága szempontjából döntő szerepe van:

- A 2Ff zárlati áram ( $3I_0$  zérus sorrendű összetevő) nagyságának. A  $3I_0$  áram nagysága az egyes paraméterektől függően következők szerint változik:
  - nő a 2Ff áram a NAF/KÖF állomás KÖF oldali rövidzárlati teljesítményével, amit alapvetően a NAF/KÖF transzformátor rövidzárlati teljesítménye határoz meg,
  - csökken a 2Ff áram hibahelyi ellenállás(ok) növekedésével,
  - csökken a 2Ff áram a hibahelyek egymás közötti – villamos – távolságának növekedésével.

- Középfeszültség kábelvonal esetén lényeges szerepe van a kábel köpeny/árnyékolás ellenállásának és esetleges folyamatosan földelt voltának. Ezek a következők szerint hatnak ki az árnyékolásnak, mint áram-visszavezetőnek az áram-tényezőjére, ezen keresztül pedig az egyenértékű földáramra és végső soron a potenciálemelkedésre:
  - az árnyékolás ellenállásának csökkentésével nő az árnyékolás áramvisszavezető-tényezője, ezzel csökken az egyenértékű földáram és a potenciálemelkedés,
  - a köpeny folyamatos földelése – a véghatás következtében – tovább növeli az áramtényezőt és csökkenti a potenciálemelkedést,
  - a hibahelyek (KÖF/KIF állomások) közötti távolsággal egy adott – az árnyékolás ellenállásától függő – távolságig nő, majd azt követően csökken a potenciálemelkedés.
- A KÖF/KIF transzformátorállomási földelő rendszer egyenértékű földelési ellenállásának. Ezt a következő jellemzők határozzák meg:
  - az állomás önmagában vett szétterjedési ellenállásának értéke,
  - a csatlakozó kisfeszültségű hálózat nullavezető rendszerének eredő bemenő impedanciája.

*A 2Ff zárlat következtében fellépő potenciálemelkedést leginkább befolyásoló két paraméterre tézisként a következő megállapítás tehető:*

- *A KÖF/KIF állomások egyenértékű ellenállásának növekedése az állomási potenciálemelkedés növekedésével jár. A csővezeték hálózatok (víz, gáz) jelenlegi létesítési gyakorlata szerint a fém csöveket egyre inkább műanyag csövek vagy a fémcső hálózat esetén műanyag csöves leágazó csatlakozások váltják fel. Ez a nullavezető-rendszer eredő szétterjedési ellenállásának növekedésével jár (lásd 5.1 pontot), ami végső soron nagyobb potenciálemelkedést eredményez.*
- *A KÖF hálózatok esetén a szabadvezetékek helyett egyre inkább kábelvonalak vagy szabadvezetékek kábeles bevezetéssel létesülnek. Ekkor az árnyékolás áramtényezője által meghatározott mértékben csökken a potenciálemelkedést előidéző egyenértékű földáram. Ez – az előző pont szerintivel ellentétes tendenciaként – a potenciálemelkedés csökkenése irányába hat. A csökkentő hatás érvényesülése szempontjából fontos a kellően nagy kábelárnyékolás keresztmetszet (legalább  $25 \text{ mm}^2$  Cu fázisonkénti) és így a kábelköpeny ellenállása kellően kicsi értéke [S6]-[S10].*

#### **4. Az értekezés témájához kapcsolódó saját publikációk**

- [S1] Ladányi József, Átviteli hálózati transzformátorállomások földelőháló anyag hatásának vizsgálata, Diplomaterv, BME, 2006. május.
- [S2] Bodnár Imre, Ladányi József, Réz vagy acél? Acél és réz földelőháló potenciálosztás vizsgálata In: Bitay Enikő (szerk.) Fialal Műszakiak Tudományos Ülésszaka XI. Kolozsvár, Románia, 2006.03.24-25. Kolozsvár: Erdélyi Múzeum-Egyesület, pp. 57-60.

- [S3] Bodnár Imre, Ladányi József, Szekunder kábelek EMC biztosítása különböző anyagú földelőhálóknak esetén In: MEE 53. Vándorgyűlés, Konferencia és Kiállítás. Budapest, Magyarország, 2006.08.23-25. pp. 1-4.
- [S4] Ladányi József, Villamos biztonsági és EMC szempontok a földelőhálóknak anyagának kiválasztásánál, Elektrotechnika 7-8. pp. 16-18. 2009.
- [S5] József Ladányi, Safety and EMC aspects of the selection of earthing grid material, Electrotechnica Electronica Automatica 58:(2) pp. 37-40. 2010
- [S6] József Ladányi, György Varjú, Transient power frequency overvoltages transferred to low voltage networks from the EPR of HV and MV transformer stations, In: 7-th International Symposium On Electromagnetic Compatibility and Electromagnetic Ecology: The Proceedings. Saint Petersburg, Oroszország, 2007.06.26-29. pp. 32-35. The proceedings of the EMC'2007 Symposium
- [S7] Ladányi József, Dr. Varjú György, Belvárosi, kis alapterületű alállomások földelési kérdései, Innotech Egyesület, K+F jelentés, 2009. november
- [S8] CIGRE JWG C4.207, GUIDE FOR ASSESSMENT OF TRANSFERRED EPR ON TELECOMMUNICATION SYSTEMS DUE TO FAULTS IN A.C. POWER SYSTEMS. Propagation of EPR (Earth Potential Rise) by metallic conduction, characteristics of used system configuration and precautions for telecommunication equipment.(Kidolgozás alatt)
- [S9] Ladányi József, Dr. Varjú György, KÖF/KIF transzformátorállomások kettős földzárlati potenciáljának és a kifestültségű hálózatokba kivitt (transzfer) potenciál vizsgálata, Innotech Egyesület, K+F jelentés, 2009. november
- [S10] Jozsef Ladanyi, Investigation of the earthing impedance and transfer potential of MV/LV transformer station, REVUE ROUMAINE DES SCIENCES TECHNIQUES-SERIE ELECTROTECHNIQUE ET ENERGETIQUE EB228:(10) pp. 1-12. (2010)
- [S11] J Ladányi, Gy Varjú, Analyses of the grid resistance measurements of an operating transformer station, PERIODICA POLYTECHNICA-ELECTRICAL ENGINEERING 2009: pp. 9-15. (2009)
- [S12] Ladányi, Gy Varjú, Circumstances affecting the protection against electrode potential rise (EPR), PERIODICA POLYTECHNICA-ELECTRICAL ENGINEERING 2009: pp. 1-8. (2009)
- [S13] József Ladányi, György Varjú, Circumstances affecting the protection against electrode potential rise (EPR), In: EA4EPQ, M P Donsión, M Manana (szerk.) International Conference On Renewable Energies And Power Quality. Santander, Spanyolország, 2008.03.12-2008.03.14. Santander: pp. 1-5. Paper 432.
- [S14] József Ladányi, Analyses of the earthing resistance of HV/MV transformer stations with different earth electrode arrangements and soil structures, In: 7-th International Symposium On Electromagnetic Compatibility and Electromagnetic Ecology. Saint-Petersburg, Oroszország, 2007.06.26-2007.06.29. Saint-Petersburg: pp. 36-39.



## 5. Irodalomjegyzék

- [1] IEEE-SA Standards Board: *IEEE Standard 367-1996, IEEE Recommended practice for determining the electric power station ground potential rise and induced voltage from a power fault.*, 1996.
- [2] IEEE-SA Standards Board: *IEEE Standard 80-2000, Guide for Safety in AC Substation Grounding*, 2000.
- [3] International Electrotechnical Commission: *IEC 61936-1:2002, Power installation exceeding 1 kV a.c. - Part 1: Common rules*, 2002.
- [4] G. F. Tagg: *Earth resistances*. London: George Newness Limited, 1964.
- [5] Safe Engineering & Technologies Ltd.: *Current Distribution, Electromagnetic Fields, Grounding and Soil Structure Analysis (CDEGS) software package manuals*. Montreal, Quebec, Kanada, 2009.
- [6] J. Ma, F. P. Dawalibi Y. Li: *Power Grounding Safety: Copper grounding systems vs. steel grounding systems*, POWERCON2006 kiadványában, Chongqing, China, 2006. október 22-26.
- [7] R. D. Southey F. P. Dawalibi: *Grounding & Electromagnetic Interference Analysis and Design - A Complete and Integrated Engineering Solution*, , Southern Electric Exchange Engineering and Operations Conference, 1988. June, Bal Harbour, Florida.
- [8] R.D. Southey F.P. Dawalibi: *New Computational Tool for Analysis of Transmission Line/Pipeline Interference Problems*, , American Gas Association Distribution/Transmission Conference, 1988. May, Toronto, Canada.
- [9] J. Ma, R.D. Southey F.P. Dawalibi: *Behaviour of Grounding Systems in Multilayer Soils: a Parametric Analysis*, IEEE Transactions on Power Delivery, 9. kötet, 1. példány, 334-342. oldal, 1994. January.
- [10] F.P. Dawalibi I.B.K. Simpson: *Computer Analysis of Impedance Effects in Large Grounding Systems*, IEEE Transaction on IAS, IA-23. kötet, 3. példány, 490-497. oldal, 1987. May/June.
- [11] ETV-ERŐTERV Rt.: *Szombathely 400/120 kV-os transzformátorállomás Földelési terv, rajzszám: P224210/3092/A*. Budapest, 2006.
- [12] Geszti P. Ottó: *Villamosművek I.*, 244-250. oldal. Budapest: Tankönyvkiadó, 1977.
- [13] ITU: *The protection of telecommunication lines and equipments against lightning discharges*, 1974.
- [14] ETV-ERŐTERV Rt.: *Szombathely 400/120 kV-os transzformátorállomás zárlati áram- és feszültségeloszlása*. Budapest, 2006.
- [15] *PLINE 2.0 PC program for Calculation of Power Line Parameters*.
- [16] International Telecommunication Union: *ITU-T Recommendation K.68: Management of electromagnetic interference on telecommunication systems due to power systems and operators' responsibilities*. Genf, 2008.
- [17] Dr. Varjú György: *Földelőháló potenciál, lépésfeszültség és szekunder (JM) kábelezés EMC megfelelőségének vizsgálata az ELMŰ Kőbányai alállomás 120 kV-os részének rekonstrukciójához, F.1. függelék*. Budapest, 2003.
- [18] Dr. Varjú György: *A Vérmező 120/10 kV-os transzformátor állomás földelő rendszerének tervezéséhez szükséges vizsgálatok*, 2004.

- [19] Dr. Varjú György, Ladányi József: A Kecskemét Daimler 120/20 kV-os transzformátorállomás földelő rendszerének potenciál-emelkedés vizsgálata, 2010.
- [20] Varjú György F. J. Sollerkvist: *A general model and numerical method for multiconductor systems in frequency domain*, IEEE/KTH Stocholm Power Tech Konferencia kiadványában, Stockholm, Svédország, 1995., 227-232. oldal.
- [21] Ladányi József, Béla Viktor Dénes: *Földelési ellenállás mérése nagyfeszültségű távvezetési oszlopokon - Felülvizsgálat és hibafelderítés*, Elektrotechnika, 9-11. oldal, 2009/12.
- [22] CIGRE/CIRED C4.207: *Guide for assessment of transferred EPR on telecommunication systems due to faults in a.c. power systems.*, (Kidolgozás alatt).
- [23] Rózsa Lajosné, Varjú György Luspay Ödön: *Erősáramú kábelvonalak*. Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 1985.
- [24] R. Calvas B. Lacroix: *Earthing systems in LV Cashier technique no. 172*. Párizs, 2002.
- [25] Varjú György: *Laboratory measurement of the equivalent internal impedance of UIC type railway*, BME, Budapest, Jelentés 2001.
- [26] CIGRE Working Group 36.04: *Guide on EMC in Power Plants and Substations.*, 1997.
- [27] Magyar Szabványügyi Testület: *MSZ 2364-442:1998 A kisfeszültségű villamos berendezések védelme a nagyfeszültségű rendszerek földzárlata esetén.*, 1998.
- [28] International Electrotechnical Commission: *IEC/TS 60479-1 Effects of current on human beings and livestock - Part 1: General aspects*, 4th szerk., 2005.
- [29] Magyar Szabványügyi Testület: *MSZE 19410: Villamosenergia-rendszerek távközlési létesítményekre gyakorolt elektromágneses zavarásának menedzselése*. Budapest, 2007.
- [30] ITU-T SG 5: *Directives concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified railways lines, Volume VI. "Danger, damage and disturbance"*. Geneva, 2008.
- [31] IEEE-Std Standards Board: *IEEE Std. 487-2000, IEEE recommended practice for the protection of wire-line communication facilities serving electric supply locations.*, 2000.
- [32] ITU-T: *Earthing and bonding Handbook*. Geneva: Study Group 5, 2003.