



DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

---

Egyenáramú geoelektromos elrendezések  
kétdimenziós leképezési tulajdonságai  
analóg és numerikus modellezés alapján

---

SZOKOLI KITTI

SOPRON  
2016

KITAIBEL PÁL KÖRNYEZETTUDOMÁNYI  
DOKTORI ISKOLA

GEOKÖRNYEZETTUDOMÁNY PROGRAM

TÉMAVEZETŐ:  
DR. SZALAI SÁNDOR

- [16] Szalai, S., Wesztergom, V., Szokoli, K., Frigy, A., és Prácser, E. (2015b). Field applicability of the  $\gamma_{11n}$  configuration. *8th Congress of the Balkan Geophysical Society*.
- [17] Szokoli, K., Szalai, S., és Novák, A. (2013). Increasing the depth of detectability of ERT measurements. *Near Surface Geoscience: 19th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics*.

## 1. Előzmények és célkitűzések

A vertikális elektromos szondázást egydimenziós - azaz horizontális rétegekből álló rétegsor - geológiai problémák föltárására kezdték el alkalmazni az 1900-as évek elején. Ma már több, mint száz egyenáramú elrendezés létezik. A gyakorlatban az az 5-6 konfiguráció terjedt el, amelyek kivitelezése és mért adatainak földolgozása nem okozott különösebb nehézséget. Ezeket összefoglalóan **hagyományos elrendezéseknek** fogja nevezni a szerző. Az utóbbi évtizedekben a geoelektromos módszer alkalmazási köre kibővült, két-, sőt háromdimenziós modellel közelíthető problémákra is kiterjedt, viszont a mai napig ugyanazt a néhány elrendezést alkalmazzák, amelyeket a kezdetekben, az egydimenziós geológiai problémák föltárására használtak. Ugyanakkor a geoelektromos mérések felhasználási területének kibővülésével és az elektromos ellenállás tomográfia (EET) elterjedésével kialakult az igény arra, hogy a mérésekkel kapható információt próbálják meg maximalizálni. Ehhez azonban csak a hagyományos elrendezésekben rejlő lehetőségeket vizsgálják.

Mintegy 20 éve a Magyar Tudományos Akadémia Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézetében fölmerült bizonyos speciális érzékenységgű elrendezések kutatásának a lehetősége, melyek különösen érzékenyek tűntek a többdimenziós változásokra. A szerző által vizsgált  **$\gamma$ -típusú elrendezések** ezek egy alcsoportjának, az ún. kvázi-null elrendezéseknek olyan változatai, amelyek alkalmazhatóak az elektromos ellenállás tomográfia (EET) mérések során. A gyakorlatban az ilyen speciális érzékenységgű konfigurációk, így a  $\gamma$ -típusú elrendezések sem terjedtek el különböző okoknál fogva, így pl. az adatfeldolgozás megoldatlansága miatt.

A szerző numerikus és analóg modellezéssel vizsgálta a  $\gamma$ -típusú és a hagyományos elrendezések bizonyos kétdimenziós leképezési tulajdonságait, így a **kimutathatósági mélységüket** (lemez és henger modell esetében) és a **horizontális fölbontóképességüket**.

Az analóg modellezéshez egy olyan környezetet alakított ki a szerző, amely a terepi mérésekhez viszonylag közel áll. A szerző célja ezzel egyrészt a  $\gamma$ -típusú elrendezések zajjal terhelt közegben való alkalmazhatóságának vizsgálata volt, másrészt azok leképezési tulajdonságainak összevetése a hagyományos elrendezésekével ugyanazon modellek esetében.

## 2. A tézisekben szereplő vizsgálatok rövid leírása:

A tézisekben megfogalmazott eredményekhez szükséges vizsgálatokat **analóg és numerikus modellezéssel** a gyakorlatban leggyakrabban alkalmazott hagyományos elrendezésekkel a Wenner-Schlumberger (W-Sch), Wenner- $\alpha$  (W- $\alpha$ ), Wenner- $\beta$  (W- $\beta$ ), Dipól-Dipól (Dp-Dp), Pól-Dipól (P-Dp) valamint a négyelektródás optimalizált, másnéven Stummer (St), a  $\gamma_{11n}$  ( $n=1-7$ ), a  $\gamma_{q0}$  és a  $\gamma_{313}$  elrendezésekkel folytatta le a szerző.

Az 1. tézis modelltől függetlenül, minden analóg és numerikus vizsgálatra vonatkozik.

A **kimutathatósági mélység** (2. tézis) numerikus vizsgálata során egy nagy elektromos vezetőképességű lemez modellt vizsgált a szerző, a vastagságát 4-14-szeresen meghaladó mélységintervallumban.

A **horizontális fölbontóképesség** numerikus vizsgálatában (3. tézis) három, egyenként 0,5 cm vastag, nagy elektromos vezetőképességű, egymással párhuzamos, egymástól a mélységük 2,5 és 5-szörös távolságában lévő lemez elkülöníthetőségét tanulmányozta a szerző.

A számított látszólagos fajlagos ellenállás értékeket mindkét numerikus vizsgálat során 3%-os normál eloszlású **véletlen zajjal** terhelve meg.

A 4. tézis a numerikus modellezések eredményeinek (2. és 3. tézisek) analóg modellezéssel történő igazolására vonatkozik. Az

*an Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Near Surface Geoscience.*

- [8] Szalai, S. és Szokoli, K. (2011). Nem-konvencionális geoelektromos elrendezések elmélete és gyakorlati alkalmazása szondázás során. *Nyugat-magyarországi Egyetem, Tudományos Doktorandusz Konferencia.*
- [9] Szalai, S. és Szokoli, K. (2013a). Better than the optimised traditional ERT array - The  $\gamma_{11n}$  arrays. *Near Surface Geoscience: 19th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics.*
- [10] Szalai, S. és Szokoli, K. (2013b). New arrays in the geoelectric prospecting. *7th Congress of the Balkan Geophysical Society.*
- [11] Szalai, S., Szokoli, K., Novák, A., Varga, M., és Szarka, L. (2011a). Classification and basic parameters of geoelectric arrays. *6th Congress of the Balkan Geophysical Society.*
- [12] Szalai, S., Szokoli, K., Prácser, E., Frigy, A., és Weszttergom, V. (2015a). The first inversion results with the  $\gamma_{11n}$  configuration. *77th EAGE Conference & Exhibition.*
- [13] Szalai, S., Szokoli, K., Varga, M., Novák, A., és Szarka, L. (2011b). From the theoretical results of the research project 'non-conventional geoelectric arrays'. *73rd European Association of Geoscientists and Engineers Conference and Exhibition, 6.*
- [14] Szalai, S., Szokoli, K., Varga, M., Novák, A., és Szarka, L. (2011c). Several results from our near-surface geoelectric investigations. *6th Congress of the Balkan Geophysical Society.*
- [15] Szalai, S., Varga, M., Novák, A., Szokoli, K., és Szarka, L. (2011d). From the practical results of the research project 'non-conventional geoelectric arrays'. *73rd European Association of Geoscientists and Engineers Conference and Exhibition, 6.*

## Az értekezés témaköréből készült fontosabb publikációk jegyzéke

- [1] Szalai, S., Koppán, A., Szokoli, K., és Szarka, L. (2013). Geoelectric imaging properties of traditional arrays and of the optimized Stummer configuration. *Near Surface Geophysics*, 11(1):51–62.
- [2] Szalai, S., Lemperger, I., Metwaly, M., Kis, Á., Wertzger, V., Szokoli, K., és Novák, A. (2014). Multiplication of the depth of detectability using  $\gamma_{11n}$  arrays. *Journal of Applied Geophysics*, 107:195–206.
- [3] Szalai, S., Lemperger, I., Metwaly, M., Kis, Á., Wertzger, V., Szokoli, K., és Novák, A. (2015). Increasing the effectiveness of electrical resistivity tomography using  $\gamma_{11n}$  configurations. *Geophysical Prospecting*, 63(2):508–524.
- [4] Szalai, S., Szokoli, K., Metwaly, M., Gribovszki, Z., és Prácer, E. (2017). Prediction of the location of future rupture surfaces of a slowly moving loess landslide by electrical resistivity tomography. *Geophysical Prospecting*, 65(2):596–616.
- [5] Szokoli, K., Szarka, L., Metwaly, M., Kalmár, J., Prácer, E., és Szalai, S. (2017). Characterisation of a landslide by its fracture system using Electric Resistivity Tomography and Pressure Probe methods. *Acta Geodaetica et Geophysica*.

## Az értekezés témakörében tartott előadások jegyzéke

- [6] Szalai, S., Novák, A., és Szokoli, K. (2013). Seeing deeper by ERT measurements. *7th Congress of the Balkan Geophysical Society*.
- [7] Szalai, S., Novák, A., Szokoli, K., és Nádas, E. (2016). New ERT arrays to increase the depth of detectability. *22nd Europe-*

analóg modellezéshez a **terepi mérésekhez közel álló környezetet alakított ki** a szerző. Nedves homokot alkalmazott a féltér modellezésére, melyben többek között az eltérő nedvességtartalom és tömörödöttség miatt környezetétől eltérő elektromos fajlagos ellenállású lokális inhomogenitások is előfordultak és az elektróda polarizáció jelensége is föllépett. A nagy elektromos vezetőképességű lemezt grafit lemezzel modellezte a szerző az analóg vizsgálatokban.

Az 5. tézis a grafit lemez kimutathatósági mélység vizsgálata során és a beágyazó közeghez képest nagyobb elektromos vezetőképességű henger modell vizsgálatok tapasztalt jelenségre épül. A nagy elektromos vezetőképességű henger modellt az átmérőjéhez közeli mélységtartományban vizsgálta a szerző.

A szerző a **kimutathatósági mélység** analóg vizsgálata során a grafit lemezt annak vastagságát 4-14-szeresen meghaladó mélységintervallumban tanulmányozta. A **horizontális fölbontóképesség** analóg vizsgálata során (4. és 5. tézis) három 0,5 cm vastag, egymással párhuzamos, egymástól a mélység 2,5 és 5-szörös távolságában elhelyezkedő grafit lemezt vizsgált a szerző.

A 6. tézis az analóg modellezés során a vizsgált modelltől függetlenül fellépő jelenségre épül.

## 3. Tézisek

### 1. tézis

A szerző bebizonyította, hogy a  $\gamma_{11n}$  ( $n=2-7$ ) elrendezések és a tükrözött változatainak ( $\gamma_{n11}$  ( $n=2-7$ )) **együttes alkalmazása pontosabban visszaadja a vizsgált modellt**, mint az eredeti  $\gamma_{11n}$  ( $n=2-7$ ) elrendezések. Kevesebb zavaró álanómia jelenik meg az invertált elektromos fajlagos ellenállás szelvényeken.

### 2. tézis

A szerző **numerikus modellezéssel** megállapította a hagyományos és a  $\gamma_{11n}$  ( $n=2-7$ ) konfigurációk **kimutathatósági**

**mélységét** nagy elektromos vezetőképességű lemez modell esetére, ami alapján a következő növekvő sorrendet állította föl:

- $\alpha$ -típusú (W-Sch, W- $\alpha$ ) elrendezések
- $\beta$ -típusú (P-Dp, Dp-Dp, W- $\beta$ ) elrendezések
- $\gamma_{11n}$  (n=2-7) elrendezések

### 3. tézis

A szerző megmutatta a **horizontális fölbontóképesség numerikus vizsgálatával**, hogy az  $\alpha$ -típusú elrendezések egyik hatót sem tudták határozottan elkülöníteni a többitől. A  $\beta$ -típusú, az optimalizált (Stummer), a  $\gamma_{111}$  és a  $\gamma_{112}$  elrendezések csak a másik kettőtől távolabb elhelyezkedő lemezt tudták elkülöníteni. Ugyanakkor a legtöbb  $\gamma$ -típusú elrendezés mindhárom hatót képes volt elkülöníteni egymástól.

### 4. tézis

A szerző **analóg modell mérésekkel igazolta** a hagyományos és a  $\gamma_{11n}$  (n=2-7) elrendezések lemez modellre vonatkozó kimutathatósági mélységének és a horizontális fölbontóképességének numerikus vizsgálata során kapott eredményeit (2. és 3. tézisek). Így kimutatta, hogy a mérési eredményeket befolyásoló zajok nem lehetetlenítik el a vizsgált nem hagyományos elrendezésekkel végrehajtott méréseket.

### 5. tézis

A szerző megmutatta mind a lemez, mind a henger modell analóg vizsgálatával, hogy az n=2-7 paraméterű  $\gamma_{11n}$  elrendezések elektromos fajlagos ellenállás szelvényein élesebben megjelenő anomáliáknak köszönhetően a **legnagyobb vizsgált mélységben is lehetséges a ható jobb lokalizálása és alakhűbb megjelölése**.

### 6. tézis:

Az analóg modell mérésekkel igazolta a szerző, hogy **növekvő n-nel a  $\gamma_{11n}$  elrendezések viselkedése közelít a null elrendezésekhez**, amelyek az 1D változásokra teljesen érzéketlenek, azokon mintegy "átlátnak". A W-Sch és a W- $\alpha$  elrendezések az 1D és a felszínközeli 2D változásokat jelenítették meg. A  $\gamma_{112}$  elrendezés elektromos fajlagos ellenállás szelvényein mind az 1D, mind a vizsgált nagyobb mélységben lévő 2D ható megjelent. **A  $\gamma_{11n}$  (n=4-7) elrendezések viszont csak a vizsgált 2D ható által kiváltott fajlagos ellenállás változásokat mutatták ki.**

## 4. Az eredmények alkalmazhatósága

A  $\gamma_{11n}$  (n=2-7) elrendezések, a hagyományos elrendezésekkel szemben olyan változások észlelésére is képesek lehetnek, amelyek **a felszínén mérhető potenciál eloszlásra csak kis hatással vannak**.

A kis hatású hatókat két csoportra oszthatjuk, a **lefelé véges** (pl. prizma modell) és a **lefelé végtelennek** tekinthető modellekre (pl. lemez modell). Mindkét típus szélessége kicsi tetejének mélységéhez képest és/vagy környezetével szembeni ellenálláskontrasztja kicsi. Prizma modellel közelíthetőek pl. az eltemetett falmaradványok, a földalatti üregek (barlangok és bányavágatok) és a közművek (csövek és vezetékek). Lemez modellel írhatóak le a repedések és a dyke-ok. Ilyen modellel közelíthető szerkezetekről alakhűbb leképezést kaphatunk a  $\gamma_{11n}$  (n=2-7) elrendezések segítségével, mint a hagyományos elrendezésekkel. Azokat nagyobb mélységből képesek kimutatni és jobban képesek elkülöníteni egymástól.

Fentiek miatt pl. a **monitoring vizsgálatokban** is a  $\gamma_{11n}$  (n=2-7) elrendezések a hagyományos elrendezésekhez képest korábban kimutathatják az elektromos fajlagos ellenállásban bekövetkező változásokat.