

MTA doktori értekezés tézisei

GEOELEKTROMOS KVÁZI NULL ELEKTRÓDA ELRENDEZÉSEK

írta

Szalai Sándor

MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Geodéziai és Geofizikai
Intézet

Sopron

2019

I. BEVEZETÉS

A Szarka László témavezetésével készített egyetemi diplomamunkámban (V.8.) elvégzett vizsgálatok során a párhuzamos elektromos dipól elrendezések **nagyon érzékenyeknek** tűntek egy bizonyos szögtartományban. Ugyanez a jelenség előkerült fűrőlyukak közötti mérések (V.11.) és elektromágneses mérések során is (V.12.), de a szerzők azt **problémaként kezelték**, így az ebbe a szögtartományba eső elrendezések használatát kerülték. Minden fenti esetben olyan elrendezésekről van szó, amelyek vevőelektrodái között homogén fél-tér esetén a potenciálkülönbség nulla, azaz „nulla jelet adnak”, ezért ezeknek a geoelektromos **null elrendezés** nevet adtam. Hangsúlyozandó, hogy a nulla jel csak homogén és izotróp fél-térre vonatkozik, bizonyos inhomogenitások esetén a helyzet egészen más.

A korábbi megközelítéssel szemben nem problémaként, hanem **lehetőségként** tekintettem ezekre az elrendezésekre és számos biztató eredményt kaptam (pl. V.7.). A kezdeti **nem-egyvonalú null elrendezésekkel végrehajtott sikeres kísérletek** ösztönöztek arra, hogy a napjainkban túlnyomórészt használt kétdimenziós sokelektrodás geoelektromos rendszerekbe beépíthető **egyvonalú null elrendezéseket** is vizsgáljam. Ilyen azonban csak egyetlen egy van: a MAN elrendezés, amivel a B elektróda végtelenbe pozicionálásából számos probléma adódott. Ezért a MAN elrendezés behatóbb vizsgálata helyett később inkább az olyan elrendezésekre koncentráltam, amelyek esetében a **B elektróda véges távolságba kerül** és az egyenközű elektróda-terítés részét képezi. Ezek már nem „tökéletes” null elrendezések, hanem ún. kvázi null elrendezések, ugyanis homogén fél-tér felett közel nulla jelet adnak.

Értekezésemben ezen elrendezések, közülük is elsősorban a γ_{m11n} **elrendezések** vizsgálatára koncentrálok. Ezt azért is gondolom célszerűnek, mert ezek az elrendezések n értékének növekedésével olyan **sorozatot képeznek, amelyek a hagyományos geoelektromos elrendezésektől a null elrendezésekig folyamatos átmenetet képeznek**.

A kvázi null-, és különösen a null elrendezések vizsgálatának **kritikusnak hitt** pontja volt a **zajok szerepe**, ezért fontos volt igazolnom, hogy a terepi mérések során sem volt rossz az ebből a szempontból **kritikus jel/zaj arány még a szigorú értelemben vett null elrendezések esetében sem** (pl. IV. 68.).

Annak érdekében, hogy átlássam a null elrendezések hátterét, összeszedtem az összes, a szakirodalomban fellelhető null elrendezést (IV.24.), valamint megvizsgáltam a felszíni geoelektromos elrendezések kialakítása során alkalmazott stratégiákat (IV.14.). Ennek során kiderült, hogy **a szakirodalomban valaha felbukkant több mint 100 geoelektromos elrendezésnek mintegy az egynegyede: 25 null elrendezés**.

Értekezésemben elkerülhetetlenül foglalkoznom kellett a **null-, és kvázi null elrendezések azon tulajdonságaival, melyek eltérnek a hagyományos elrendezések esetében tapasztalttól**, úgymint: a geometriai faktor nagyon nagy értékének következményeivel; azzal, hogy nagyon kicsi a jel homogén fél tér felett; a zajok (elsősorban az elektródák pozicionálási hibájából eredő zajok) kérdésével; a jel/zaj aránnyal; és az elrendezés és tükrözött változata alkalmazásának kényszerével, hogy csak a legfontosabbakat említsem.

További motivációt jelent kutatásaimhoz, hogy vizsgálataim alapján joggal hihető, hogy a **kvázi null elrendezések a hagyományos elrendezéseknél hatékonyabbak lehetnek egyes gyakorlati problémák kutatásában. A null-, és kvázi null elrendezések vizsgálatát ugyanakkor jelentősen lelassította**, hogy számos kitérőt kellett tennem annak érdekében, hogy eredményeimet össze tudjam vetni a hagyományos elrendezésekkel kapott eredményekkel. Célszerűnek láttam ugyanis az általam vizsgált elrendezések eredményeit a **vizsgálataim során legjobbnak bizonyult hagyományos geoelektromos elrendezések eredményeivel összevetni**, de sok esetben az sem volt világos, hogy az melyik. Többek között ennek a terméke IV. 13. Előfordult az is, hogy **az elrendezések összevetése nem volt teljes** (pl. a kutatási mélységek tekintetében, IV.20.), vagy a **korábban alkalmazott definíciót nem találtam megfelelőnek**, ezért újat kellett bevezetnem és azt minden

elrendezésre megvizsgálom (kimutathatósági mélység a kutatási mélység helyett, IV. 11. és IV. 16).

A **kvázi null elrendezéseket** – a rengeteg létező elrendezés ellenére - **korábban soha nem vizsgálták** olyan szinten, hogy annak a szakirodalomban nyoma maradt volna. Az elvégzett vizsgálataim alapján jelenleg úgy látom, hogy **a hagyományos elrendezések kiegészítéseként ezek az elrendezések a jövőben nagyon fontos szerepet tölthetnek be.** Míg előbbiek tökéletesek arra, hogy **robosztus képet adjanak** a felszín alól, addig utóbbiak **képesek lehetnek finomítani a képet.** Jóllehet a finomításnak vannak **kockázatai**, azt számos esetben **érdemes lehet felvállalni.**

Értekezésemben kisebb hangsúllyal szerepel a **kis-skálájú repedésrendszerek vizsgálata.** Erre a kérdésre azért fókuszáltam, mert **hidrogeológiai szempontból nagyon érzékeny kérdésről** van szó, hiszen a repedések rendkívüli mértékben megnövelik a felszíni folyamatok és a felszín alatti vizek kommunikációjának sebességét, nagymértékben felgyorsítva pl. utóbbiak elszennyeződését a felszínre jutó szennyeződés esetén. Mivel a geofizikai módszerek - a geoelektromos módszer részleges kivételével - nem teljesítettek túl jól e tekintetben, szükségesnek éreztem **alternatív módszer kidolgozását, hogy a geoelektromos módszerrel kapott eredményeket meg tudjuk erősíteni.** A repedésrendszerek megismerése **földcsuszamlások vizsgálatában is** (IV.6., IV.7. és IV.10.), valamint **mérnökgeofizikai szempontból is fontos.**

Karsztos területen lévő repedésrendszer vizsgálatára azt a **Szűrőpróbának (SzP) nevezett módszert** alkalmaztam, amivel **régészeti kutatásban** is nagyon jó eredményeket kaptunk (IV.17.), és ami pl. **víznyelők kimutatásában** is jól használható eszköznek tűnik (IV.28.). Ez a módszer a mérnökgeofizikai mérés egy nagyon leegyszerűsített változatának tekinthető, és éppen ez az egyszerűség a legnagyobb előnye. Ugyanez mondható el a **Nyomáspróba (NyP) módszerről** is. Mindkét módszernek számos felhasználási lehetősége kínálkozik a dolgozatban bemutatottakon kívül is. Ezekben a kutatásokban a SzP és a NyP **más geofizikai módszerekkel kapott eredmények verifikálására használhatók, de szükség/igény esetén akár önállóan is bevetethők.**

II. AZ ELVÉGZETT KUTATÁSOK

A PhD fokozatom megszerzéséig eltelt időszakban a geoelektromos null elrendezésekkel szerzett tapasztalatok birtokában érthetetlennek tűnt számomra, hogy **miért nem használják ezeket az elrendezéseket** a geoelektromos kutatásban. Ennek eredménye lett az a munka, aminek során **áttekintem a teljes angol és a hozzáférhető orosz nyelvű szakirodalmat.** Jóllehet már létezett egy ilyen mű (V.10.) azt nem találtam elegendőnek, megfelelően rendszerezettnek és egységesnek sem. Megdöbbenő volt látnom, hogy a MAN null elrendezés már 1957-ben (V.9.) vizsgálatok tárgya volt, de azt is, hogy milyen könnyen elvetették a használatát.

Vélhetően **a null elrendezéseket** részben **gyakorlati okokból nem használják**, mivel használatuk idő-, és munkaigényesebb, lévén, hogy azok fókuszáló vagy **összetett elrendezések.** A null elrendezések esetében **látszólagos ellenállás sem számítható**, ami szintén könnyen eltántoríthatta a kutatókat ezen elrendezések behatóbb vizsgálatától, és szintén óvatosságra inthették őket a **kis jelek**, amik még **előjelet is válthatnak.**

Dolgozatomban bemutatom a paraméter-érzékenység számításának egyik lehetséges módját és a segítségével készült úgynevezett **paraméter-érzékenység térképeket (PÉT)** az összes elrendezés esetére. Meggyőződésem, hogy ezek nélkül a geoelektromos kutatás alapjai nem érthetőek meg. Bemutatom **a térképek értelmezésének módját**, valamint **használati lehetőségeiket.** A dolgozat szempontjából egyik legfontosabb kérdést, a térképek **szimmetria viszonyait** és azok következményeit is ezek segítségével sikerült tisztázni.

Különböző mélységekben elhelyezett **vékony rétegek hatását** kiszámolva a mélység-érzékenység karakterisztika függvényét határoztam meg. Ennek a függvénynek a segítségével kétféle módon szoktak kutatási mélységet számítani: a Roy és Apparao-féle (V.5) és az Edwards-féle (V.2) módon. Ezek a **kutatási-mélység értékek** azonban csak néhány fontosabb elrendezésre álltak rendelkezésre, ezért szükségesnek láttam azokat **a korábban összegyűjtött elrendezések mindegyikére kiszámítani (IV.20)**. Kiszámítottam tehát a V.5 és V.2 szerinti kutatási mélység értékeket és vizsgáltam ezek viszonyát.

Mivel a fenti kutatási mélység definíciót nem tartom minden szempontból megfelelőnek, **bevezettem egy új definíciót**, az ú.n. **kimutathatósági mélységet (KimM)**. A KimM szintén az információ eredetének mélységével kapcsolatos. Mivel ez a definíció modellfüggő, a KimM értékeket hat alapvető modell és két különböző zajszint mellett számítottam a leggyakoribb hagyományos elrendezések és néhány kvázi null elrendezés esetére.

Ahhoz, hogy lássuk, hogy a null-, illetve kvázi null elrendezések jobb eredményt képesek-e produkálni különböző modellek esetében, mint a legjobb hagyományos elrendezések, **először is tisztáznunk kellett, hogy mely elrendezések sorolhatóak az utóbbiak közé**. Ehhez nyolc különböző modell esetére vizsgáltam meg az öt leggyakrabban alkalmazott hagyományos elrendezés és a hagyományos négyelektródás elrendezésekből optimalizálási eljárással keletkezett Stummer elrendezés (V.6) leképezési tulajdonságait. **Az eredmények összehasonlításához három alapvető paramétert figyelembe vevő rendszert alakítottam ki.**

A γ_{m11n} típusú kvázi null elrendezéseket az $n=1-6$ tartományban **numerikus vizsgálatnak vetettem alá**, és azok eredményeit a hagyományos elrendezések eredményeivel vettem össze. Mivel a Res2DInv szoftver (V.3) nem volt alkalmas a fenti kvázi null elrendezések tesztelésére, az EarthImager (V.1) szoftver használata mellett döntöttem. Utóbbi azonban csak a kis-hatású (azaz környezetéhez képest kis ellenállás kontrasztú és/vagy mélységéhez képest kisméretű) modellek felett kapott adatokat volt képes megfelelően invertálni.

Annak érdekében, hogy ne csak numerikus vizsgálatok igazolják a kvázi null elrendezések használhatóságát **kvázi terepi körülményeket alakítottunk ki**, de oly módon, hogy maga a modell jól kontrollálható legyen. Mivel az így kapott adatok hozzávetőleg ugyanolyan mértékben zajjal terheltek, mint a terepi adatok, ez a fajta mérés lehetővé teszi annak a kérdésnek az eldöntését, hogy **mennyire használhatóak az egyes elrendezések terepi körülmények között**. Mivel a terepi adatok kezelésére a kereskedelmi szoftverek alkalmatlannak bizonyultak, a további adatfeldolgozást az MTA CSFK GGI házi készítésű Res2D-Hu (V.4.) szoftverével végeztük. A mérési zajok nem befolyásolták negatív irányba a γ_{m11n} elrendezéssel kapott eredményeket, bizonyítandó azok terepi használhatóságát. Vizsgáltuk **az átmenetet a hagyományos elrendezésektől a null elrendezések felé**. A terepi körülményekhez még ennél is közelebb álló **szabadtéri laboratóriumban** dőlő modell felett is hajtottunk végre méréseket.

A **Szűrőpróba (SzP) módszer** alkalmazását egy **régészeti** példán keresztül mutatom be. A módszer alkalmasnak bizonyult egy kápolna romjainak fellelésére és részletes feltérképezésére is. **Vizsgáltam a SzP módszer felbontóképességét és azt, mennyire használható szondázásra**. Vizsgálataim alapján a módszer karsztkutatási feladatban (Homód-árok, Bakony) is hatékonynak látszik.

Kádártán, a Bakonyban **repedésrendszer feltérképezésére használtam a SzP módszert** olyan területen, ahol egységesen dolomit az alkotó kőzet a vékony talajréteg alatt, mivel e feladat megoldására ilyen kis skálán (néhány méteres repedéstávolság) a klasszikus geofizikai módszerek közül egyedül a geoelektromos módszer bizonyult használhatónak.

A talaj mechanikai ellenállásának mérése céljából fejlesztett **Nyomáspróba (NyP) módszert** a dunaszekcsői földcsuszamlás repedés rendszerének feltárására használtam. Vizsgáltam a módszer felbontóképességét, a szükséges mintavételezési távolságot és a lehetséges zajforrásokat.

Repedések irányának kimutatására analóg modellezést végeztem **azimutális mérésekkel**. **Vizsgáltam** repedésrendszerek kutathatóságát Szalonnán a hagyományos **Wenner elrendezés mellett** a **MAN null elrendezéssel** is és azokat összevettem egymással. A különböző időjárási körülmények között végrehajtott mérések lehetővé tették azoknak az eredményekre kifejtett hatásának a vizsgálatát is. **Karsztos területen** (Svájc) a Schlumberger elrendezést használtuk mind hagyományos, mind pedig offszet üzemmódban repedések vizsgálatára. Emellett három null elrendezést is teszteltünk, a profilirányra nézve 45°-os szögben döntött helyzetben mozgatva őket. A méréseket a természetben, de kontrollálható körülmények között (bánya fala mellett) végezve eredményeinket közvetlenül a valósággal vethettük össze.

III. A TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

1. A valaha használt geoelektromos elrendezések összegyűjtése, rendszerezése és előállítási stratégiák

1a. Összegyűjtöttem az angol és orosz nyelvű szakirodalomban megtalálható összesen 102 geoelektromos elrendezést, egységes jelölésmóddal ábrázoltam és szerzőtársammal rendszereztem őket három paraméter, az egyvonalúság, a fókuszálás és a többszörös mérés elvén, összesen 8+1 csoportot alkotva.

Az osztályozott, egységesített elrendezések gyűjteménye - az elemek Mengyelejev-táblázatához némileg hasonlóképpen - megkönnyíti a különböző elrendezések azonosítását, segít feltárni azok kapcsolatait és a felfedezett rések kitöltésével új elrendezések megalkotásához is vezethet, melyek hozzájárulhatnak a felszín alatti térség jobb leképezéséhez. Megkönnyíti továbbá a különböző elrendezések szisztematikus összevetését is különböző tulajdonságaik alapján.

1b. Összegyűjtöttem és rendszereztem a felszíni geoelektromos elrendezések előállításához használt stratégiákat, ami – az egyes elrendezések számára - megnyitja az utat a sokelektrodás rendszerekben történő alkalmazáshoz.

2. Paraméter-érzékenység térképek (PÉT)

2a. Levezettem a geoelektromos elrendezések paraméter-érzékenység térképeinek számításához szükséges képletet a tér **mindhárom irányába** eső ellenállás változásokra külön-külön is, **ábrázoltam ezeket minden elrendezés esetére,** amelyeknél ez lehetséges és **bemutattam néhány alkalmazási lehetőségüket.**

2b. Kimutattam, hogyan befolyásolják az elrendezések PÉT-einek **antiszimmetria tengelyei** az adott elrendezés leképezési tulajdonságait, és az hogyan vezet **a különböző dimenzionalitású hatók kimutathatóságához,** illetve kimutathatatlanságához; hogyan használhatóak ennek következményeként különböző dimenziókra vonatkozó **dimenzió-indikátorokként;** valamint, hogy miért alkalmasak földtani **szerkezetek, mesterséges objektumok irányának meghatározására.**

3. Kutatási és kimutathatósági mélység

3a. A mélység-érzékenység karakterisztika függvény és ennek segítségével **a kutatási mélység értékek számításához levezettem egy analitikus formulát** különböző egyvonalú-, nem-egyvonalú és fókuszáló elrendezésekre és **bemutattam mind a Roy and Apparao-**

(1971), mind pedig az Edwards (1977)-féle értékeket minden olyan elrendezés esetére, amelyeknél azok számítása egyáltalán lehetséges.

3b. Kimutattam, hogy az Edwards (1977) féle kutatási mélység értékek szisztematikusan nagyobbak, mint a Roy és Apparao (1971) féle értékek. Az outlyer-ek kivételével a két érték hányadosára 1.59 ± 0.31 adódott.

3c. Kimutattam, hogy a γ_{m11n} kvázi null elrendezések nagyobb n értékek esetén konzekvensen nagyobb kutatási mélység értékkel rendelkeznek, mint a legtöbb hagyományos négyelektródás egyvonalú elrendezés, sőt - amennyiben n értéke meghaladta a 4-et – jobbnak bizonyultak a legjobb értékkel rendelkező dipól axiális elrendezésénél is.

3d. Bevezettem egy új, a kutatás mélységével kapcsolatos definíciót, a kimutathatósági mélységet (KimM), amely a kutatási mélység definícióval szemben bármilyen sokelektródás mérési rendszer esetére alkalmazható és azt a maximális mélységet adja meg, amelyből adott modell, adott zajszint mellett még kimutatható. Hat különböző modell és két zajszint esetére meghatároztam a leggyakrabban használt hagyományos elrendezések és a γ_{m11n} elrendezések KimM értékeit.

3e. Megállapítottam, hogy a hagyományos elrendezések közül a β típusúak (azaz a Dipól-Dipól, a Pól-Dipól és a Wenner- β elrendezések) kimutathatósági mélysége a legnagyobb.

3f. Kimutattam, hogy a γ_{m11n} (ahol n egész szám) kvázi null elrendezések már $n=2$ esetén is nagyobb kimutathatósági mélységgel rendelkeznek, mint az e téren legjobbnak bizonyult hagyományos elrendezések.

Nagyobb n értékek esetén a γ_{m11n} elrendezések KimM értéke a legjobb hagyományos elrendezések KimM értékeit általában 2-3-szorosan is meghaladja.

4. A hagyományos elrendezések leképezési képességének összehasonlítása

4a. Összevettem egy általam kialakított kvalitatív összehasonlítási rendszer segítségével az öt leggyakrabban alkalmazott hagyományos elrendezés és a hagyományos négyelektródás elrendezésekből optimalizálással létrehozott úgynevezett Stummer elrendezés leképezési tulajdonságait nyolc különböző modell és modellenként két különböző zajszint esetére.

Ennek segítségével kimutattam, hogy mind a modelltől, mind a zaj szintjétől jelentősen függ, hogy melyik elrendezés adja a legjobb képet.

4b. A hagyományos elrendezések közül messze a Dp-Dp elrendezésekkel kapott kép hasonlított a legjobban a modellhez. Az optimalizált Stummer elrendezés ugyanakkor az összes hagyományos elrendezésnél sokkal hatékonyabbnak, gyakorlatilag minden vizsgált modell esetében az egyik legjobbnak bizonyult.

4c. Az elrendezések leképezési tulajdonságai szerint is határozottan jobbnak bizonyultak a β -típusú elrendezések, ugyanúgy, ahogy a kimutathatósági mélység vizsgálatok során (3e. tétel).

Ez rámutat arra, hogy a négyzet alapú hasáb modell alapján meghatározott kimutathatósági mélység definíció meghatározó fontosságú az elrendezések leképezési tulajdonságainak előrejelzése szempontjából.

5. Az egyvonalú null elrendezések

5a. Kimutattam, hogy mivel a MAN elrendezés paraméter-érzékenység térképei a középső elektródán átmenő, az elrendezés vonalára merőleges antiszimmetria tengellyel rendelkeznek és emiatt a MK függvény értéke minden mélységben nulla, esetében a KuM nem értelmezhető. Geometriai faktorának végtelen volta miatt nem értelmezhető a MAN

elrendezés KimM-e sem, mivel emiatt előremodellezés sem hajtható végre vele. Fenti ok miatt a MAN eredmények **nem is invertálhatóak**.

5b. A MAN elrendezés esetében geometriai koefficiensének végtelen volta miatt **a mért eredmények megjelenítésére a $\Delta U/I$ mennyiség ajánlott**. Jóllehet az így kapott profilokból/szelvényekből **fajlagos ellenállás értékek nem számíthatóak, az elrendezés inhomogenitások detektálására kiválóan alkalmas**.

5c. Terepi mérésekkel bebizonyítottam, **hogy a null elrendezések esetében az elektróda pozicionálási hibák nem torzítják el annyira a mérési eredményeket, hogy azok használhatatlanok legyenek**. A jelek még zajos környezetben is tökéletesen elkülönültek a háttérértékektől, azaz a jel/zaj arány a terepi mérések során a jelek feldolgozásához elegendőnek bizonyult.

5d. Mivel a MAN jelek a hagyományos elrendezéseikénél sokkal gyorsabban változnak az inhomogenitás felett elhaladva, ezek az elrendezések a horizontális irányú ellenállás változásokra érzékenyebbek.

A terepi mérések ezt megnyugtatóan alátámasztották: a MAN elrendezés használatával nemcsak detektálhatóak voltak a felszín alatti ellenállás inhomogenitások, hanem segítségükkel a ható pozícióját is pontosabban meg lehetett határozni, mint a Wenner elrendezéssel.

5e. Megmutattam, **hogy a nem-null-, és a null elrendezések működése között az alapvető különbség**, hogy előbbiek esetében a számunkra általában érdekes, **a horizontális irányú ellenállás változásokból eredő jel a homogén féltér felett mérhető jelre tevődik rá, míg a null elrendezés esetében az önállóan jelenik meg**, hiszen a homogén féltér felett nulla jelet kell mérnünk. Azaz megfelelő inhomogenitás esetén képződik olyan nem-nulla jel, ami az adott null elrendezés számára mérhető. Azt pedig, hogy ennek **milyen inhomogenitásnak** kell lennie, az adott elrendezés PÉT-ének antiszimmetria viszonyai szabják meg.

5f. A null elrendezések jobbnak bizonyultak repedések lokalizálásában és azok irányának meghatározásában, mint a hagyományos elrendezések.

6. Numerikus vizsgálatok kvázi null-, és hagyományos elrendezésekkel

6a. Numerikus vizsgálatokkal kimutattam, hogy a γ_{11n} elrendezéseket azok **tükrözött változatával, a γ_{n11} elrendezésekkel együtt célszerű használni**. **Az így kapott γ_{m11n} elrendezések minden vizsgált esetben jobb eredményeket adtak a γ_{11n} elrendezéseknél**.

6b. A legtöbb γ_{m11n} elrendezés (főleg nagyobb n értékek esetén) **határozottan jobb eredményt adott a horizontális felbontóképesség vizsgálatok során, mint a hagyományos elrendezések, beleértve az ezekből optimalizált Stummer elrendezést is**.

A vertikális felbontóképesség vizsgálatokban ugyan egyik elrendezés sem volt képes az egymás alatt elhelyezkedő hatók szétválasztására, **bizonyos γ_{m11n} elrendezések, elsősorban a γ_{m113} , a mélyebben fekvő hatókat is kimutatták, sőt vertikális pozíciójukat is képesek voltak megadni, szemben a hagyományos elrendezésekkel**. Ez az eredmény is összhangban van a különböző elrendezések kimutathatósági mélységével kapcsolatban kapott eredményeimmel.

6c. **Kis-hatású modellek esetében következetesen jobbnak bizonyultak a γ_{m11n} elrendezések minden hagyományos elrendezésnél, de még egyes nagy-hatású modellek esetében is jobb eredményeket adtak**.

Szintén alkalmasabbnak bizonyultak a γ_{m11n} elrendezések a hagyományos elrendezéseknél nagy **elektromos ellenállású, vagy nagy vezetőképességű rétegek alatt lévő hatók leírására**. Ez az eset az előbbire vezethető vissza, mivel ilyen rétegek alatt az áramsűrűség csökkenésének következtében nagyobb méretű hatók hatása is jelentősen lecsökkenhet, ami által kis-hatásúakká válnak.

7. *A null-, és a hagyományos elrendezések összevetése kvázi terepi analóg mérésekkel*

7a. **Analóg modellezési eredmények segítségével is alátámasztottam, hogy a γ_{11n} elrendezést annak párjával, a γ_{m11} elrendezéssel együtt célszerű használni.**

7b. Az analóg modellmérések eredményei szerint **a hagyományos elrendezések közül a β -típusú elrendezések (P-DP, DP-DP, Stummer, W- β) képesek kimutatni a hatókat a legnagyobb mélységből. Az ezekkel elért maximális mélységet is jelentősen meghaladta azonban a γ_{m11n} elrendezéseké, amennyiben n értéke legalább 2 volt.**

Ezzel kvázi terepi mérésekkel is visszaigazoltam a 3e. és 3f. tézisekben bemutatott numerikus eredményeket, ami azt is jelenti, hogy a numerikus eredmények a γ_{m11n} elrendezések esetében is képesek előre jelezni a terepen várható eredményeket.

7c. **Kimutattam, hogy a függőleges lemez modellnek a γ_{m113} elrendezéssel kapott képe sokkal kevésbé gyengül a modell mélységével, mint a Dp-Dp elrendezése. A γ_{m113} elrendezés még a legnagyobb vizsgált mélységben is egyértelmű, álanomália-mentes képet adott, jól pozicionálva a hatót.**

7d. **Az analóg modellmérések során a hagyományos elrendezések a numerikus modellezés alapján vártnál kisebb mélységekből tudták csak kimutatni a függőleges lemezt. Különösen a Stummer elrendezés teljesítőképességének csökkenése szembetűnő.**

Ugyanígy a horizontális felbontóképesség vizsgálatok esetén is a hagyományos elrendezések esetében **inkább romlás tapasztalható a numerikus eredmények alapján várthoz képest, míg a γ_{m113} elrendezés esetében talán még jobb is a kép, mint a numerikus modellezés esetében.**

7e. **Fizikai modellezéssel is megerősítettem azt a PÉ vizsgálatok alapján alkotott elméleti feltevést, mely szerint a hagyományos elrendezésektől a MAN null elrendezés felé történő átmenet a γ_{m11n} elrendezésekben n értékének növekedésével többek között az 1D érzékenységtől a 2D érzékenység felé való átmenettel jár.**

Fizikai modellezés révén is megerősítést nyert tehát, hogy a nagy n értékű γ_{m11n} elrendezések számára az 1D szerkezetek átlátszóak, azok csak a nagyobb dimenziójú szerkezetekre érzékenyek. Ebből pedig az is következik, hogy ezek az elrendezések jó dimenzióindikátorok is.

8. *Talajmechanikai mérő módszerek (Szűrőpróba, Nyomáspróba)*

8a. **Kidolgoztam a talaj kötőrmelék-eloszlásának, illetve mechanikai ellenállás változásának mérésére alkalmas SzűrőPróba (SzP) és NyomásPróba (NyP) módszereket.**

Bebizonyítottam, hogy a SzP alkalmas eltemetett falmaradványok, épületalapok, utak fellelésére és jó felbontóképességű feltérképezésére akár különböző (de felszínközeli) mélységekben.

8b. SzP méréseim szerint a kötőrmelék eloszlása bizonyos terepi körülmények között nem véletlenszerű. **Igazoltam a SzP geológiai célú alkalmazhatóságát víznyelők, repedések detektálásában.**

Kimutattam az összefüggést a vékony talajjal fedett alapkőzet repedezettség értéke és SzP értéke között. Ennek alapján a SzP adatok felhasználásával **repedezettség térképet is készítettem.**

8c. Egy földcsuszamlás repedésrendszerének példáján keresztül **megmutattam, hogy a Nyomáspróba (NyP) módszer alkalmas a talaj mechanikai ellenállása változásainak, így a benne bekövetkező folytonossági hiánynak (pl. repedés, vagy üreg miatt bekövetkező) feltérképezésére is, amennyiben a változás a NyP által elérhető mélységben van.**

Megmutattam a NyP nagyon jó felbontóképességét, miszerint elegendő, ha a mintavételezési távolság nem haladja meg a repedés szélességének mintegy háromszorosát.

9. Kis skálájú repedésrendszerek vizsgálata

9a. A bevett gyakorlattal szemben – mely a csúszó felület, illetve a várhatóan lecsúszó köztömeg megismerését célozza - a dunaszekcsői **földcsuszamlás** tanulmányozásához annak **repedésrendszerét térképeztem fel**.

Ezzel a megoldással **le tudtam határolni a fölcuszamlás által veszélyeztetett területet olyan földcsuszamlás esetében is, amelyik nem rendelkezik csúszófelülettel és az elmozduló tömeg sem tér el a helyben maradótól köztettani szempontból**.

9b. A repedésrendszer feltérképezésére mind az Elektromos Tomográfia, mind a NyP képesnek bizonyult, de a NyP sokkal részletgazdagabb képet adott róla.

9c. A repedésrendszer ismerete lehetővé tette a későbbi csúszások frontvonalának, valamint egyben elmozduló, egységes blokkok előrejelzését. Előre jelezhetőnek bizonyult az is, hogy jelentős repedések vannak már jelen a földcsuszamlás passzív oldalán is.

A méréseket a 21 hónappal követő **új tömegmozgások minden fontosabb előrejelzést beigazoltak**.

9d. Karsztterületen (Szalonna; Les-Breleux, Svájc) végrehajtott terepi mérések példáján keresztül bemutattam, hogy a Wenner elrendezés mellett **a null elrendezések is képesek repedések detektálására, lokalizálására és irányának meghatározására, sőt mindezen célokra a null elrendezések a hagyományos elrendezéseknél jobban megfelelnek**.

9e. Kimutattam, hogy a terepi méréseket megelőző időszak csapadékviszonyai nagyon **jelentős szerepet játszhatnak bizonyos mérések esetén**. Az ideális körülmények között nagyon jól észlelhető hatók nem megfelelő körülmények esetén akár teljesen detektálhatatlanok lehetnek.

A különböző víztelítettségi viszonyok a felszín alatti térség különböző aspektusait emelhetik ki. A szalonnai mérés esetében pl. a **csapadékos időszakot** követően végrehajtott mérés **az aljzatban lévő repedéseket jelenítette meg** nagyon jól, a **száraz időszakot** követő mérés pedig **az alapkőzet topográfiáját**.

9f. Analóg modellezést végeztem többirányú repedésrendszer repedési irányainak meghatározása céljából. Mivel **az analóg modellmérés során a módszer eredményessége hasonló volt a terepi körülmények között megszokotthoz**, arra a következtetésre jutottam, hogy **a terepi mérések eredményeinek hiányosságai nem a terepi körülmények következménye, hanem azoknak fizikai oka van**.

IV. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK A PHD FOKOZATSZERZÉS ÓTA

TUDOMÁNYOS KÖNYVFEJEZETEK

1. Szalai S, Lemperger I, Pattantyús Á M, Szarka L. The Standardized Pricking Probe Surveying and Its Use in Archaeology. In: El-Qady Gad, Metwaly Mohamed (szerk.). ARCHAEOGEOPHYSICS: STATE OF THE ART AND CASE STUDIES. Cambridge (MA); London: EDP Sciences; Springer, 2018. p. 205. (ISBN:[978-3-319-78860-9](#))
2. Varga M, Novák A, Szalai S, Szarka L. Application of Tensorial Electrical Resistivity Mapping to Archaeological Prospection. In: El-Qady Gad, Metwaly Mohamed (szerk.). ARCHAEOGEOPHYSICS: STATE OF THE ART AND CASE STUDIES. Cambridge (MA); London: EDP Sciences; Springer, 2018. pp. 69-81. (ISBN:[978-3-319-78860-9](#))
3. Szalai S, Wesztergom V, Szokoli K. Delineation of Endangered Areas in a slowly moving landslide by the Pressure Probe method. In: Mikoš Matjaž, Arbanas Željko, Yin Yueping, Sassa Kyoji (szerk.). ADVANCING CULTURE OF LIVING WITH LANDSLIDES: ADVANCES IN LANDSLIDE TECHNOLOGY. Cham: Axel Springer, 2017. (ISBN:[978-3-319-53497-8](#))

4. Szalai Sándor, Prácser Ernő, Szokoli Kitti, Tóth Ádám. Prediction of the Process of a Slowly Moving Loess Landslide by Electrical Resistivity Tomography. In: Mikoš Matjaž, Arbanas Željko, Yin Yueping, Sassa Kyoji (szerk.). ADVANCING CULTURE OF LIVING WITH LANDSLIDES: Volume 3 Advances in Landslide Technology. Cham: Springer International Publishing, 2017. pp. 131-138.(ISBN:978-3-319-53487-9)

TELJES TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

5. Szalai S, Kovács A, Kuslits L, Facskó G, Gribovszki K, Kalmár J, Szarka L. Characterisation of Fractures and Fracture Zones in a Carbonate Aquifer Using Electrical Resistivity Tomography and Pricking Probe Methodes. JOURNAL OF GEOSCIENCE AND ENVIRONMENT PROTECTION 6:(4) 82918. (2018).
6. Szokoli K., Szarka L., Metwaly M., Kalmár J., Prácser E., Szalai S. Characterisation of a landslide by its fracture system using Electric Resistivity Tomography and Pressure Probe methods. ACTA GEODAETICA ET GEOPHYSICA 53/1, pp. 15–30. (2018). *IF: 0.738 (Q3)*.
7. Szalai S, Szokoli K., Metwaly M., Gribovszki Z., Prácser E. Prediction of the location of future rupture surfaces of a slowly moving loess landslide by electrical resistivity tomography. GEOPHYSICAL PROSPECTING 65:(2) pp. 596-616. (2017). *IF: 1.744 (Q2)*.
8. Szalai S, Lemperger I, Metwaly M, Kis A, Wesztergom V, Szokoli K, Novák A. Increasing the effectiveness of electrical resistivity tomography using γ 11n configurations. GEOPHYSICAL PROSPECTING 63:(2) pp. 508-524. (2015). *IF: 1.835 (Q1)*.
9. Szalai S, Szokoli K, Novák A, Tóth Á, Metwaly M, Prácser E. Fracture network characterisation of a landslide by electrical resistivity tomography. NATURAL HAZARDS AND EARTH SYSTEM SCIENCES 2014: pp. 3965-4010. (2014). *IF: 1.735 (Q1)*.
10. Szalai S, Szokoli K., Metwaly M. Delineation of landslide endangered areas and mapping their fracture systems by the pressure probe method. LANDSLIDES 11:(5) pp. 923-932. (2014). *IF: 2.87 (Q1)*.
11. Szalai S, Lemperger I., Metwaly M., Kis Á., Wesztergom V., Szokoli K., Novak A. Multiplication of the depth of detectability using gamma 11n arrays. JOURNAL OF APPLIED GEOPHYSICS 107: pp. 195-206. (2014). *IF: 1.5 (Q2)*.
12. Falco P, Negro F, Szalai S, Milnes E. Fracture characterisation using geoelectric null-arrays. JOURNAL OF APPLIED GEOPHYSICS 93: pp. 33-42. (2013). *IF: 1.301 (Q2)*.
13. Szalai S, Koppan A, Szokoli K, Szarka L. Geoelectric imaging properties of traditional arrays and of the optimized Stummer configuration. NEAR SURFACE GEOPHYSICS 11:(1) pp. 51-62. (2013). *IF: 1.01 (Q2)*.
14. Szalai S, Szarka L. Expanding the possibilities of two-dimensional multielectrode systems, with consideration to earlier geoelectric arrays. JOURNAL OF APPLIED GEOPHYSICS 75:(1) pp. 1-8. (2011). *IF: 1.444 (Q2)*.
15. Szalai S, Varga M, Novák A, Szarka L. Non-conventional geoelectric arrays - practical results of the OTKA project K49604. ACTA GEODAETICA ET GEOPHYSICA HUNGARICA 46:(4) pp. 379-390. (2011). *IF: 0.346 (Q4)*.
16. Szalai S, Novák A, Szarka L. Which geoelectric array sees the deepest in a noisy environment? Depth of detectability values of multielectrode systems for various two-dimensional models. PHYSICS AND CHEMISTRY OF THE EARTH 36: pp. 1398-1404. (2011). *IF: 1.11 (Q2)*.
17. Szalai S, Lemperger I, Pattantyús-Ábrahám M, Szarka L. The standardized pricking probe surveying and its use in Archaeology. JOURNAL OF ARCHAEOLOGICAL SCIENCE 38: pp. 175-182. (2011). *IF: 1.914 (Q1)*.
18. Szalai S, Kósa I, Nagy T, Szarka L. Geoelectric analogue modelling experiments to detect fissure directions in multidirectional fissure systems. ACTA GEODAETICA ET GEOPHYSICA HUNGARICA 45:(2) pp. 137-147. (2010). *IF: 0.892 (Q3)*.

19. Szalai S, Varga M, Novák A, Szarka L. A K49604. sz. „Nem konvencionális geoelektromos elrendezések” c. OTKA-projekt eredményeiből. MAGYAR GEOFIZIKA 51:(4) pp. 209-226. (2010). *IF: 0.179 (Q4)*.
20. Szalai S, Novák A, Szarka L. Depth of Investigation and vertical resolution of surface geoelectric arrays. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL AND ENGINEERING GEOPHYSICS 14:(1) pp. 15-23. (2009). *IF: 0.698 (Q3)*.
21. Szalai S, Szarka L. Geoelectric arrays (Correspondence). CURRENT SCIENCE 96:(10) p. 1298. (2009). *IF: 0.782 (Q2)*.
22. Szalai S, Varga M, Novák A, Szarka L. Non-conventional geoelectric arrays – results of the OTKA project K49604: Theoretical basis. ACTA GEODAETICA ET GEOPHYSICA HUNGARICA 44:(4) pp. 369-384. (2009). *IF: 0.288 (Q4)*.
23. Metwaly M, El-Quady-G, Matsushima J, Szalai S, Al-Arifi N S N, Taha A. Contribution of 3-D electrical resistivity tomography for landmines detection. NONLINEAR PROCESSES IN GEOPHYSICS 15: pp. 977-986. (2008). *IF: 1.022 (Q2)*.
24. Szalai S, Szarka L. On the classification of surface geoelectric arrays. GEOPHYSICAL PROSPECTING 56:(2) pp. 159-175. (2008). *IF: 0.852 (Q2)*.
25. Szalai S, Szarka L. Parameter sensitivity maps of surface geoelectric arrays I. Linear arrays. ACTA GEODAETICA ET GEOPHYSICA HUNGARICA 43:(4) pp. 419-437. (2008). *IF: 0.257 (Q3)*.
26. Szalai S, Szarka L. Parameter sensitivity maps of surface geoelectric arrays II. Nonlinear and focussed arrays. ACTA GEODAETICA ET GEOPHYSICA HUNGARICA 43:(4) pp. 439-447. (2008). *IF: 0.257 (Q3)*.
27. Szalai S, Koppán A, Szarka L. Effect of positional inaccuracies on multielectrode results. ACTA GEODAETICA ET GEOPHYSICA HUNGARICA 43:(1) pp. 33-42. (2008). *IF: 0.257 (Q3)*.
28. Szalai S, Veress M, Novák A, Szarka L. Geofizikai vizsgálatok fedett karsztokon (Homoród-árok). KARSZTFEJLŐDÉS XI. pp. 153-170. (2006).

KONGRESSZUSI ELŐADÁSOK TELJES SZÖVEGÉNEK NYOMTATOTT KIADÁSAI (minimum 4 oldalas absztraktok)

29. Szalai S, Szokoli K., Prácser E., Frigy A., Wesztergom V. The First Inversion Results with the $\gamma 11n$ Configuration. In: 77th EAGE Conference & Exhibition. Madrid, 2015. Paper Tu P5 14. 5 p.
30. Szalai S, Novák A., Varga M., Frigy A., Metwaly M., Szokoli K., Szarka L. Dimensional Tensor Invariants in Geoelectric Prospecting. In: 77th EAGE Conference & Exhibition. Madrid, 2015. Paper Tu P5 15. 5 p.
31. Szalai S, Wesztergom V., Szokoli K., Frigy A., Prácser E. Field Applicability of the $\gamma 11n$ Configuration. In: Balkan Geophysical Society (szerk.). 8th Congress of the Balkan Geophysical Society. Chania, 2015. Paper 26668. 5 p.
32. Szalai S, Metwaly M., Szokoli K., Tóth Á., Wesztergom V. Fracture System Mapping Using Pressure Probe Method. In: Balkan Geophysical Society (szerk.). 8th Congress of the Balkan Geophysical Society. Chania, 2015. Paper 26667. 5 p.
33. Szalai S, Szokoli K., Tóth Á., Metwaly M. Mapping the Fracture System of a Landslide by Pressure Probe Method. In: 76th EAGE Conference & Exhibition 2014. Amsterdam. p. 4761
34. Szalai S, Novák A, Metwaly M, Neduczka B, Törös E, Szokoli K. Studying the fracture system of a landslide by ERT method. In: 76th EAGE Conference & Exhibition 2014. Amsterdam. pp. 3254-3258.

35. Szalai S., Falco P., Negro F., Milnes E.. Fracture Detection and Determination Its Orientation Using Different Geoelectric Null-arrays. In: 7th Congress of the Balkan Geophysical Society. Tirana, Albánia, 2013. Paper 18522.
36. Szalai S., Novák A., Szokoli K. Seeing Deeper by ERT Measurements. In: 7th Congress of the Balkan Geophysical Society. Tirana, Albánia, 2013. Paper 18523.
37. Szalai S., Szokoli K. New Arrays in the Geoelectric Prospection. In: 7th Congress of the Balkan Geophysical Society. Tirana, Albánia, 2013. Paper 18524.
38. Szalai S., Falco P., Negro F., Milnes E. Localising Fractures by Geoelectric Null-arrays. In: Near Surface Geoscience 2013: 19th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. Bochum, Mo P 16.
39. Szalai S., Szokoli K. Better than the Optimised Traditional ERT Array - The $\gamma 11n$ Arrays. In: Near Surface Geoscience 2013: 19th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. Bochum. We S2b 07.
40. Szokoli K., Szalai S., Novák A. Increasing the Depth of Detectability of ERT Measurements. In: Near Surface Geoscience 2013: 19th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. Bochum. Tu P 14.
41. Novák A, Szarka L, Varga M, Szalai S. Effect of Current Electrode Positions and of Gaussian Noise on Tensorial Invariants. In: 6th Congress of the Balkan Geophysical Society. Budapest. European Association of Geoscientists and Engineers, 2011.
42. Szalai S., Novák A, Szarka L. Depth of detectability values for different DC arrays. In: 6th Congress of the Balkan Geophysical Society. Budapest. EAGE 2011.
43. Szalai S., Veress M, Novák A, Szarka L. What is the information content of the near surface debris distribution? In: 6th Congress of the Balkan Geophysical Society. Budapest, EAGE 2011.
44. Szalai S., Szokoli K, Novák A, Varga M, Szarka L. Classification and basic parameters of geoelectric arrays. In: 6th Congress of the Balkan Geophysical Society. Budapest, EAGE 2011. P40.
45. Szalai S., Szokoli K., Varga M, Novák A, Szarka L. Several results from our near-surface geoelectric investigations. In: 6th Congress of the Balkan Geophysical Society. Budapest, EAGE 2011. P41.
46. Szalai S., Szarka L. Parameter Sensitivity Maps of Surface Geoelectric Arrays and their Practical usefulness. In: 6th Congress of the Balkan Geophysical Society. Budapest, EAGE, 2011. P38.
47. Szalai S., Szarka L. Incorporating Once-developed Geoelectric Arrays into Two-dimensional Multi-electrode Measurements. In: Near Surface 2011, Extended Abstract: 17th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. Leicester, P37.
48. Szalai S., Varga M, Novák A, Szarka L. Practical Results of a Research Project. In: Near Surface 2011, Extended Abstract: 17th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. Leicester, P23.
49. Szalai S., Varga M, Novák A, Szokoli K, Szarka L. From the practical results of the research project 'Non-conventional geoelectric arrays': Society of Petroleum Engineers: 73rd European Association of Geoscientists and Engineers Conference and Exhibition 2011 – Vienna. 2011. pp. 4134-4138.

50. Szalai S, Szokoli K, Varga M, Novák A, Szarka L. From the theoretical results of the research project 'non-conventional geoelectric arrays'. In: Society of Petroleum Engineers: 73rd European Association of Geoscientists and Engineers Conference and Exhibition 2011. pp. 4129-4133.
51. Szalai S, Kósa I, Nagy T, Szarka L. Effectivity enhancement of azimuthal geoelectric measurements in determination of multiple directions of subsurface fissures, on basis of analogue modelling experiments. In: EAGE Near Surface 2009 15th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Proceedings and exhibitors' catalogue. P25.
52. Szalai S, Varga M, Novák A, Szarka L. Non-conventional geoelectric arrays. Results of a research project. Theory. In: EAGE Near Surface 2009 15th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Dublin (EAGE), p. 15.
53. Szalai S, Lemperger I, Pattantyús-Á M, Szarka L. Pricking Probe as a Complementary Technique in Archeological Prospecting. In: EAGE Near Surface 2009 15th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Dublin (EAGE), A03.
54. Szalai S, Veress M, Novák A, Szarka L. Application of the Simplest Geophysical Method, the Pricking Probe Method to Map Bedrock Topography in a Karstic Area. In: Extended Abstracts, Near Surface 2008: 14th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. Kraków. Houten (EAGE), P17.
55. Szalai S, Szarka L. Auxiliary Results of Collection and Classification of Surface Geoelectric Arrays. In: EAEG (szerk.). EAGE 13th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. Istanbul. 2007. Houten: A09.
56. Szalai S, Novák A, Szarka L. Depth of Investigation of Dipole-dipole, Noncolinear and Focused Geoelectric Arrays. In: EAGE 13th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. Istanbul, 2007. P26.
57. Szalai S, Koppán A, Szarka L. Effect of Positional Inaccuracies on Multielectrode Results. In: EAGE 13th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. Istanbul, 2007. P28.
58. Szalai S, Szarka L. Classification of Surface Geoelectric Arrays. In: 69th European Association of Geoscientists and Engineers Conference and Exhibition 2007 - "Securing The Future": Volume 2. London, 2007. Red Hook (NY): Curran Associates, Inc., 2007. pp. 1179-1183.
59. Ádám A, Novák A, Szalai S, Szarka L. Elektromágneses leképezési tapasztalataink: Some electromagnetic imaging experiences. pp. 1-21. Inverziós Ankét, Miskolc, 2006. március 20. (2006)
60. Novák A, Szalai S, Szarka L. Detectability depths of DC arrays for several 2D inhomogeneities. In: Near Surface 2006. The 12th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics of the Near Surface Geoscience Division of EAGE. Helsinki, 2006. P075.
61. Szalai S, Szarka L. Parameter sensitivity maps of geoelectric methods. In: Electromagnetic Induction in the Earth. Proceedings of the 8th IAGA 1.2 EM Workshop, El Vendrell, 2006. pp. 2-7.
62. Szalai S, Szarka L, Révi G, Varga G. Geoelectric investigation of a pluridirectional fissure system in a karstic area. In: Wang J, Xu Y, Xia J, Chen C (szerk.). Environmental and Engineering Geophysics: Proceedings of the 2nd International Conference ICEEG. Wuhan, Kína, 2006. Science Press, pp. 287-291.
63. Szalai S, Szarka L, Révi G, Varga M. DC geoelectrics over a pluridirectional fissure system in a karstic area: Abstracts of the 18th EM Induction Workshop, El Vendrell (2006)
64. Szalai S, Szarka L. Parameter sensitivity maps of surface geoelectric arrays. In: Wang J, Xu Y, Xia J, Chen C (szerk.). Environmental and Engineering Geophysics: Proceedings of the 2nd International Conference ICEEG. Wuhan, Kína, 2006. Beijing: Science Press, pp. 260-264.

65. Szarka L, Novák A, Szalai S, Ádám A. Imaging experiences in magnetotellurics and in geoelectrics. In: 17th International Geophysical Congress of Turkey. Ankara, 2006. Paper 4G-1.
66. Révi G, Varga M, Szalai S. Többirányú repedésrendszer kutatása karsztterületen. In: XII. Konferencia a felszín alatti vizekről. Balatonfüred, Magyarország, 2005. pp. 1-2.
67. Szalai S, Szarka L, Révi G, Varga M. Geoelectric investigation of a multidirectional fissure system in a karstic area. In: Proceedings of the 11th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics: Near Surface. Palermo, Olaszország, 2005. pp. 1-4.
68. Szalai S, Szarka L, Marquis G, Sailhac P, Kaikkonen P, Lahti I. Colinear null arrays in geoelectrics. S.3-P.3. In: Weaver JT, Arora BR (szerk.). IAGA WG 1.2 on Electromagnetic Induction in the Earth: Proceedings of the 17th Workshop. Hyderabad, India, 2004. Dordrecht: Springer, 2005. pp. 1-5.

V. A TÉZISFÜZETBEN HIVATKOZOTT EGYÉB KÖZLEMÉNYEK

1. EarthImager. 2006. 2D Resistivity and IP Inversion Software, *Instruction Manual, Advanced Geosciences, Inc.* Austin, Texas, p. 137.
2. Edwards L. S. 1977. A modified pseudosection for resistivity and induced-polarization. *Geophysics*, 42, 1020-1036.
3. Loke, M.H., 1999. RES2DMOD ver. 2.2. Rapid 2D resistivity forward modelling using the finite difference and finite-element methods. *Courtesy of M. H. Loke*.
4. Prácser E. 2018. Geoelektromos és elektromágneses módszerek. *Kézirat*.
5. Roy A., Apparao, A., 1971. Depth of investigation in direct current methods. *Geophysics*, 36, 943–959.
6. Stummer P., Maurer H., Green A.G., 2004. Experimental design: Electrical resistivity data sets that provide optimum subsurface information. *Geophysics*, 69 (1), 120–139.
7. Szalai S., Szarka L., Prácser E., Bosch F., Müller I. and Turberg P. 2002. Geoelectric mapping of near-surface karstic fractures by using null arrays. *Geophysics* **67**, 1769–1778.
8. Szalai S. 1993. Sokelektrodás egyenáramú mérések szivárgások megfigyelésére. *Diplomamunka*, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest
9. Tarkhov A.G. 1957. On electric geophysical exploration methods of the pure anomaly. *Bull. Izv. Akad. Sc. USSR*, **8**, 11.
10. Whiteley R.J. 1973. Electrode arrays in resistivity and IP prospecting: A review. *Bulletin of the Australian Society of Exploration Geophysicists*. **4**, 1–29.
11. Wilkinson P., B., Chambers J., Lelliott M., Wealthall G. P., Ogilvy R. D. 2008. Extreme sensitivity of crosshole electrical resistivity tomography measurements to geometric errors, *Geophysical Journal International* 173(1):49 – 62.
12. Zonge, K.L. and Hughes, L.J. 1991. Controlled source audio-frequency magnetotellurics. *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics*, Vol.2, edited by Nabighian, M.N., pp. 713-809. Society of Exploration Geophysicists.