

Nyugat-magyarországi Egyetem

Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola
Geokörnyezettudományi Program

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**ELEKTROMÁGNESES GEOFIZIKAI LEKÉPEZÉS
TENZOR-INVARIÁNSOKKAL:
A FELSZÍNKÖZELTŐL A DUNÁNTÚLI MÉLYSZERKEZETIG**

Novák Attila

Sopron
2010

ELŐZMÉNYEK

A Föld és közvetlen környezetünk megismerése, fizikai és geológiai folyamatainak értelmezése a természettudomány legfontosabb feladataihoz tartozik. A napjainkban felmerülő energia- és környezetvédelmi problémák megoldása ezek nélkül elképzelhetetlen. A geofizikai kutatómódszerek sokszínűsége lehetőséget biztosít mind a Föld felszín alatti, mind a Föld körüli térség folyamatainak elemzéséhez és segítséget nyújt a globális és a lokális geokörnyezeti folyamatok megértéséhez.

Az elektromágneses geofizikát a föld- és környezet tudomány legkülönbözőbb területein használják, így például a mélyszerkezet-kutatásban, a nyersanyagkutatásban, emellett a felszínközeli, környezetgeofizikai, mérnökgeofizikai, régészeti, stb. kutatásokban is szerepet kap. Ezek a módszerek a Föld mágneses terének, a felszínközeli és mélytektonikai geológiai szerkezetek viszonyainak megismerésében is fontos eszközt jelentenek.

A hagyományos elektromágneses adatfeldolgozás mellett egyre inkább előtérbe kerülnek az olyan transzformációs megoldások, amelyek előnyös leképezési tulajdonságaik révén torzítatlan képet adnak a geológiai szerkezetek elhelyezkedéséről és dimenzió-viszonyairól. Az efféle transzformációk kulcsparaméterei az ún. tenzor-invariánsok. Az invariáns mennyiségek speciális tulajdonságuk révén matematikailag a megfigyelési iránytól függetlenül képesek információt szolgáltatni a szerkezetek jellegére, ellentétben a hagyományos feldolgozások sokszor irányfüggő megfigyeléseivel.

Az elektromágneses kutatásokban (így a magnetotellurikában is) leggyakrabban inverziós módszerek alkalmazásával határozzuk meg a valószínűsíthető földtani modellt. Az inverziós eljárás során azonban gyakran feltételeket szabunk, hiszen a kezdő modelleszalád kiválasztásával korlátok közé szorítjuk a meghatározni kívánt modell paramétereit. A globális optimum elérése érdekében különböző – a legkorszerűbb tudományos eredmények alapján javasolt – célfüggvényt használhatjuk. Vannak azonban olyan esetek, amikor ezek egyike sem garantálja, hogy az inverzió a globális minimumot megtalálja. A modelleszalád szerencsés kiválasztása esetén az inverziós modellünk valósághű, viszont ha a kiinduláskor rossz modelleszaládot választottunk ki, könnyen meglehet, hogy a megoldásként kapott inverz modellnek semmi köze sincs a valósághoz. Az inverzió maximális lehetőségeit csak e maximális kockázat vállalásával használhatjuk ki.

Az invariáns mennyiségek ezzel szemben sokkal kevesebb kockázat és feltétel nélkül képesek információt adni a felszín alatti térrész fizikai és geometriai tulajdonságaira. Ez nem jelenti azt, hogy az invariáns mennyiségek önmagukban elegendőek lennének az értelmezéshez, hanem segítségük révén akár az inverziós eljárásoknál előnyösebb tulajdonságokkal rendelkező paraméterek választhatók ki, illetve a többértelműség problémáját feloldhatják, és kiegészítést nyújthatnak a már meglévő eredményekhez.

A magnetotellurikában az invariáns mennyiségeket manapság egyre gyakrabban használják értelmezési paraméterként. A jelenleg ismert invariáns mennyiségek már nem csak a kutatott szerkezetek leképezésében, hanem a szerkezet dimenziószámának meghatározásában is segítséget nyújtanak. A magnetotellurikus impedancia-tenzorból származtatott invariáns mennyiségek (Swift, 1967; Berdichevsky and Dmitriev, 1976; Bahr, 1988; Bahr, 1991; Lilley, 1993, 1998a, 1998b; Szarka and Menvielle, 1997; Romo *et al.*, 1999; Szarka and Prácser, 1999; Martí, 2006) mellett a magnetotellurikus tenzorból (Weaver *et al.*, 2000) és fázistenzorból származtatott invariánsok (Caldwell *et al.*, 2004) is értékes információval szolgálnak a kutatott szerkezetek pontosabb leképezéséhez. Az egyenáramú térképezés bauxitkutatási előzményeit Kakas (1981), az analóg modellezésen alapuló átlagolási (invariáns) eredményeket Szarka (1984) foglalta össze.

1. KUTATÁSI CÉLKITŰZÉSEK

A jelölt a dolgozatban célul tűzte ki, hogy részletesen megvizsgálja az invariáns mennyiségek tulajdonságait, illetve a hagyományos értelmezési paraméterekhez fűződő viszonyát. Ennek érdekében a következő célkitűzéseket fogalmazta meg:

1. A magnetotellurikus impedancia-tenzorból transzformációk útján leszármaztatott invariáns mennyiségek alapvető leképezési tulajdonságainak és azok komplex értelmezési lehetőségeinek vizsgálata numerikus modellezéssel;
2. Az invariánsok zajérzékenységének vizsgálata numerikus modellezéssel;
3. A magnetotellurika klasszikus inverziós módszereinek alkalmazása két Nyugat-dunántúli kutatási terület nagy felbontású 2D ill. 3D adatrendszerén, beleértve a különböző inverziós módszerek dimenzió-meghatározási lehetőségeit;
4. A magnetotellurikus impedancia-tenzor elemeinek invariánsokból történő visszaállítási feltételrendszerének kidolgozása;
5. Különböző invariáns paraméterekből származó eredmények összehasonlítása hagyományos feldolgozási eredményekkel;
6. A manapság előtérbe került, összetett tulajdonságokkal rendelkező invariáns mennyiségek, valamint a komplex elemekből álló impedancia-tenzor reális és képzetes elemei szerepének vizsgálata a leképezésben. Az alapvető leképezési tulajdonságok vizsgálata mellett az invariánsok modell-, kontraszt- és zajérzékenységének elemzése;
7. Geoelektromos potenciál-gradiens térképezésen alapuló tenzor-invariáns térképezés elméletének és terepi alkalmazhatóságának vizsgálata, beleértve az invariáns mennyiségek irányfüggettségének vizsgálatát terepi modellezés felhasználásával.

2. ELVÉGZETT FELADATOK

A jelölt részt vett számos terepi elektromágneses mélyszerkezet-kutatásokban. Elsajátította a magnetotellurikus mérés, modellezés és adatfeldolgozás eljárásait, és ezeket kutatómunkájában eredményesen alkalmazta. Megismerkedett a magnetotellurikus mérés különféle változataival; a hagyományos adatfeldolgozás mellett elsajátította a robusztus feldolgozás technikáját; a hibajavítás két típusát (a távoli [„remote”] referencia módszert, illetve a statisztikai alapú iteratív robusztus algoritmust) is eredményesen alkalmazta.

Feldolgozta és összehasonlította a különböző modellezési és inverziós programok (WinGLink, REBOCC, WSINV3DMT) eredményeit. Emellett az egyenáramú térmodellezés egyik típusát (RES3DMOD, Loke, 2001) is sikerrel alkalmazta a tenzor-invariánsok tulajdonságainak megismeréséhez.

A jelölt részt vett az egyenáramú geoelektromos potenciáltérképezés tenzor-invariáns alapú módszerfejlesztésében: az invariáns-alapú mérés és feldolgozás kifejlesztésében, terepi alkalmazhatóságának kikísérletezésében egy régészeti kutatás kapcsán, valamint egy terepi modellezési munkában, amelynél az invariáns mennyiségek elektróda-elrendezéstől való függését vizsgálta.

2.1 ELMÉLETI ÉS MODELLEZÉSI MUNKÁK

A jelölt kutatómunkája során külön figyelmet fordított a magnetotellurikus invariánsok közötti kapcsolatok megértésére, leképezési tulajdonságaik megismerésére. E kapcsolatrendszer az egyenáramú látszólagos fajlagos ellenállás-tenzor tulajdonságainak megismerésére is alkalmazta. Elméleti vizsgálatokat végezett, hogy megállapítsa az impedancia-tenzor rekonstruálhatóságának feltételeit.

A tenzorinvariáns-leképezés eredményeit összehasonlította az összes fontosabb magnetotellurikus és egyenáramú modellezési-, valamint és inverziós eredménnyel, ill. megjelenítéssel (pl. a magnetotellurika esetében polárdiagramok, dekompozíciós irányok, stb.). 3D modellezési kísérleteket végezett az invariánsok modell-, kontraszt- és zajérzékenységének megállapítására.

2.2 TEREPI MUNKÁKHOZ KÖTŐDŐ FELADATOK

A 40848 OTKA projekt keretében észlelőként, adatfeldolgozóként, értelmezőként egyaránt részt vett a CELEBRATION-07 menti magnetotellurikus mérésekben (2003), és a magyarországi mérések ausztriai folytatásában (2006). Elvégezte az összes szükséges adatfeldolgozási és inverziós munkát. Diákok segítségével digitalizálta és újra feldolgozta a kapcsolódó dunántúli terület adatrendszerét. Az ún. „nagyatádi” adatrendszeren 3D kísérleteket végezett.

Részt vett az MTA Régészeti Intézetének megbízásából végzett egyenáramú potenciáltérképezésben, amelynek során a látszólagos fajlagos ellenállás területi eloszlásáról több mint ötvezer (2x2-es) ellenállás-tenzort határoztak meg. Elvégezte a mérések hagyományos és tenzorinvariáns-alapú feldolgozását és összehasonlította a kapott eredményeket. Az egyenáramú ellenállás-tenzorral kapcsolatos elméleti, terepi és módszertani következtetéseket egy külön fejezetben foglalta össze.

Az egyenáramú potenciáltérképezés módszerével elvégzett egy olyan szisztematikus terepi kísérletet, amelyben elemezte a gyakorlatilag összes lehetséges elektróda-összetétel, és elektróda-helyzet hatását a leszármaztatható tenzor-invariánssokra.

Részt vett továbbá számos egyenáramú paraméterérzékenységi kísérletben, ahol a hagyományos vékonyréteg modellre meghatároztuk a kutatási mélység és vertikális felbontóképesség értékét az összes szóba jöhető (kb. 30) elrendezésre.

3. SAJÁT KUTATÁSI EREDMÉNYEK

Elméleti és modellezési eredmények:

1. A jelölt összegyűjtötte és átfogóan rendszerezte a magnetotellurikus impedancia-tenzorhoz köthető invariáns paramétereket. Numerikus modellezéssel igazolta, hogy az ún. lokális 1D leképezést nyújtó alapinvariánsok lényegében mindegyike valóságghú és robusztus leképezést nyújt. Dimenzió-vizsgálatokkal igazolta az invariánsok szerkezetfüggő jellemzőit (alak-, oldal- és sarokleképezését); zajérzékenység-vizsgálat alapján kísérletileg kimutatta, hogy a leginkább zajérzékeny invariáns paraméterek a 2D-, de különösen a 3D-jellemzők. A hagyományos polár-diagramok és a fázistenzor-ellipszisek kapcsolatának vizsgálatából megállapította, hogy a fázistenzorból kimutatható dimenzió-paraméterek érzékenyebbek a hatók jelenlétére.

2. 2D és 3D numerikus modellezéssel igazolta, hogy a valós (reális) tenzor-elemekből álló invariánsok jelentősen kisebb periódusidő esetén nyújtanak a mélyszerkezetről információt, mint az imaginárius vagy vegyes (közöttük a hagyományos abszolút értéken alapuló) invariánsok. Igazolta továbbá, hogy a fázis kedvező leképezési tulajdonsága (a reális és az invariáns elemek egymáshoz való viszonyítása révén) is éppen a *Re*- és *Im*-eredetű invariánsok eltérő leképezési tulajdonságán alapszik, és ennek következménye, hogy a fázis – az invariáns alapú fajlagos ellenállásokkal ellentétben – mélységben lehatárolt képet ad.
3. Kidolgozta a magnetotellurikus impedancia-tenzor által tartalmazott nyolc független adatból (a hét független invariánsból és az irányszögből) a tenzorelemek egyértelmű visszaállításának feltételeit. Hét független invariáns mennyiség és egy irányszög segítségével az eredeti impedancia-tenzor egyértelműen visszaállítható, ha az invariánsok közül maximum egy másodfokú. Két független másodfokú invariáns esetén az egyiknek a reális tenzorban, és a másiknak a képzetes tenzorban kell lennie.

Terepi eredmények:

4. Kétdimenziós inverzióval és invariánsok komplex elemzésével is kimutatta a CEL-07 magyarországi szakaszának jellemző nagyszerkezeti vonalait. Megállapította, hogy a Közép-magyarországi vonal, Balaton-vonal, Balatonfő-vonal, Rába-vonal közül egyértelműen a Balaton-vonal rendelkezik a legnagyobb elektromos vezetőképesség-anomáliával, ugyanakkor a Közép-magyarországi vonal az indukciós nyilakban nem jelentkezik. Felhívta a figyelmet a CEL-07 középső szakaszán lévő mélyszerkezeti anizotrópia magyarázatának megoldatlanságára.
5. A „nagyatádi” adatrendszer inverziós eredményeinek többértelműségét az invariánsokon alapuló feldolgozás feloldotta. Emellett a jelölt megállapította, hogy a nagyellenállású indikációk nem köthetők jólvezető tektonikai vonalakhoz, így a tapasztalt fizikai jellemzőket másféle szerkezeti különbségek okozzák. A fázisinvariáns-térkép nagyperiódusú homogenitása a geológiai szerkezetek mélységbeni lehatárolódását jelzi.
6. A pilisszentkereshti ciszterci apátság körül meghatározott kb. ötven ezer egyenáramú fajlagos ellenállástenzor adatainak feldolgozásával (amely területen sikerült elkülöníteni a természetes és a mesterséges fajlagos ellenállás-változásokat a felszín alatt) bizonyította, hogy a 2D és 3D invariánsok igen rendelkeznek a modellezésben elvárt tulajdonságokkal, de előnyös leképezési tulajdonságaikat csak az átlagosnál ideálisabb feltételek (jelentős anomália, precíz elektróda-pozicionálás, alacsony zajszint) esetén érvényesülnek. Az alap (1D) invariánsokban az áramelektroda-helyzetek megváltozása is csak jelentéktelen változást okoz, ugyanakkor az egyébként is zajérzékenyebb 2D- és 3D indikátorok az áramelektroda-elhelyezés hatására jelentősen változnak.

Általános eredmény:

7. Elméleti-modellezési és terepi eredményeikkel lényegében igazolta, hogy a magnetotellurika invariáns-térképeit ugyanolyan standard geofizikai térképeként kell tekinteni, mint az egyéb geofizikai (pl. gravitációs, mágneses vagy tellurikus) térképeket.

AZ ÉRTEKEZÉS EREDMÉNYEINEK HASZNOSÍTÁSA

A tenzor-invariáns alapú eredmények komplex ismerete az elektromágneses kutatásban elengedhetetlen feltétele az egzakt értelmezésnek. Az eredmények hasznosulása egyrészt módszertani szempontból fontos, másrészt nyilvánvalóvá teszi, hogy a geológiai értelmezés nem nélkülözheti ezeket az új geofizikai eredményeket.

Az invariáns mennyiségek alapvető leképezési tulajdonságainak és zajérzékenységének, ismeretében a további kutatásokhoz kiválaszthatók a legkedvezőbb tulajdonságokkal rendelkező invariáns paraméterek.

A tenzor-invariáns alapú geoelektromos térképezési technika újszerű geofizikai leképezési módszer, amely igen eredményes lehet a régészeti- és egyéb felszínközeli kutatásokban.

A magnetotellurikus zajérzékenység-vizsgálat mellett az egyenáramú felszíni zajérzékenység-vizsgálat is óvatosságra int az ún. többdimenziós (2D és 3D jellegű) invariáns-paraméterekkel szemben. Az értelmezést az ún. (1D) alapinvariánsokra korlátozva egyszerűbb, de kockázatmentesebb értelmezés adható mind felszínközeli-, mind mélyszerkezetek esetén.

AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

SCI FOLYÓIRATCIKKEK:

ÁDÁM A., NOVÁK A., SZARKA L., WESZTERGOM V. The magnetotelluric (MT) investigation of the Diósjenő dislocation belt, *Acta Geod. Geophys. Hung.* **38**: 305-326, 2003.

ÁDÁM A., NOVÁK A., SZARKA L. Tectonic weak zones determined by magnetotellurics along the CEL-7 deep seismic profile, *Acta Geod. Geophys. Hung.* **40**: 413-430, 2005.

ÁDÁM A., NOVÁK A., SZARKA L. Basement depths of 3D basins, estimated from 1D magnetotelluric inversion. *Acta Geod. Geophys. Hung.* **42**: 59-67, 2006.

ÁDÁM A., KOHLBECK F., NOVÁK A., SZARKA L. Interpretation of the deep magnetotelluric soundings along the Austrian part of the CELEBRATION-007 profile. *Acta Geod. Geophys. Hung.*, **43**, 17-32, 2008, DOI 10.1556/AGeod.43.2008.1.2.

VARGA M., NOVÁK A., SZARKA L. Application of tensorial electrical resistivity mapping to archaeological prospection. *Near Surface Geophysics*, 2008, **Vol 6**. No 1., 39-47., 2008, IF: 0.985

SZALAI S., NOVÁK A., SZARKA L. Depth of Investigation and vertical resolution of surface geoelectric arrays. *Journal of Environmental & Engineering Geophysics* **14**: 15-23., 2009, IF: 0.750,

Ádám A., Bencze P., Bór J., Heilig B., Kis Á., Koppán A., Kovács K., Lemperger I., Márcz F., Martini D., Novák A., Satori G., Szalai S., Szarka L., Verő J., Wesztorgom V., Zieger B. GEOELECTROMAGNETISM AND THE CHANGING EARTH. *Acta Geod. Geophys. Hung.* **44**: 271-312, 2009

CIKKEK ÉS BŐVÍTETT ÖSSZEFOGLALÓK NEMZETKÖZI KONFERENCIÁKON:

NOVÁK A., KÁROLYI A., PAP Zs., SZALAI S., SZARKA L., VARGA M. Tensor-invariant based electrical potential mapping, and its use in an archeological field study., *IAGA WG 1.2 on Electromagnetic Induction in the Earth. Proceedings of the 17th Workshop, Hyderabad, India, Oct. 18-23., 2004, Extended abstract, Session S.8-P.2, www.emindia2004.org/S8-P02-Novak.pdf*

SZARKA L., ÁDÁM A., NOVÁK A., KISS J., MADARASI A., PRÁCSER E., VARGA G. Magnetotelluric images from SW-Hungary, completed with gravity, magnetic and seismic measurements, *IAGA WG 1.2 on Electromagnetic Induction in the Earth. Proceedings of the 17th Workshop, Hyderabad, India, Oct. 18-23, 2004, Extended abstract, Session S.1-O.5, www.emindia2004.org/S1-O05-Szarka.pdf*

NOVÁK A., ÁDÁM A., SZARKA L. Tensor invariant-based imaging: DC and MT field examples, *18th EMIW, El Vendrell, September 2006, Extended abstract.*

NOVÁK A., SZALAI S., SZARKA L. Target detectability depths of DC arrays for various models, *EAGE Near Surface, Helsinki, Sept. 4-6., 2006, Extended Abstract.*

SZARKA L., NOVÁK A., SZALAI S., ÁDÁM A., 2006. Imaging experiences in magnetotellurics and in geoelectrics. *17th Int. Geophysical Congress of Turkey, Ankara, Extended Abstract.*

SZALAI S., NOVÁK A., SZARKA L., 2007: Depth of investigation of dipole-dipole, noncolinear and focused geoelectric arrays, *Near Surface 2007, Istanbul, Turkey, Extended Abstract.*

SZALAI S., VERESS M., NOVÁK A., SZARKA L., 2008. Application of the Simplest Geophysical Method, the Pricking Probe Method to Map Bedrock Topography in a Karstic Area. *In: Near Surface 2008. Krakow, Lengyelország, 2008.09.15-2008.09.17. pp. & Paper P17.*

SZALAI S., VARGA M., NOVÁK A., SZARKA L., 2009. Non-conventional Geoelectric Arrays – Results of a Research Project – Theory. *In: Near Surface 2009 – 15th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. Dublin, Írország, 2009.09.07-2009.09.09. Paper P15.*

KÖNYVFEJEZET:

LEMPERGER I., KIS Á., NOVÁK A., SZENDRŐI J., WESZTERGOM V., BENCZE P., SZARKA L. A study on the long-term behavior of the impedance tensor at Nagycenk Geophysical Observatory. Nagycenk Geophysical Observatory Years 2005-2006: Special issue on the occasion of the 50th anniversary of the Observatory. Sopron, 2007, *HU-ISSN 0133-459X, pp. 117-121.*

HAZAI ELŐADÁSOK

NOVÁK A., FÁBIÁN E., SZARKA L., VARGA M., ZHANG D. Geofizikai (geoelektromos) mérések a pilisszentkereszti ciszterci apátság területén. *Tavaszi Szél Konferencia 2003, Konferencia-kiadvány pp. 230. Absztrakt (poszter).*

NOVÁK A., THE CELMT'2003 TEAM: ÁDÁM A., KOPPÁN A., SZARKA L., TÚRI J., UBRÁNKOVICS CS., WESZTERGOM V., JESH M., KISS J., MADARASI A., PRÁCSEER E., VARGA G., RITTER O., WECKMANN U. Magnetotellurikus mérések a CELEBRATION-007 szelvény mentén, *Ifjú Szakemberek Ankétja, Sárospatak, 03. 20-21., 2004, Absztrakt (szóbeli).*

NOVÁK A., FÁBIÁN E., TÚRI J., SZARKA L., VARGA M., 2003: Geoelektromos mérések a pilisszentkereszti ciszterci apátság körül, *Földi Elektromágnesség Tudományos Konferencia Verő József 70. születésnapja alkalmából Sopron, 2003. június 20-21, Absztrakt (poszter).*

ÁDÁM A., MADARASI A., KOPPÁN A., NOVÁK A., RITTER O., SZARKA L., TÓTH Z., UBRÁNKOVICS CS., VARGA G., WECKMANN U., WESZTERGOM V., 2003: Magnetotelluric measurement along the CELEBRATION-07 line, EUROPROBE Meeting, Budapest. *Ann Univ Sci Bp R Eötvös Nom Sect Geol 35: 36-37. (poszter).*

ÁDÁM A., NOVÁK A., SZALAI S., SZARKA L. Elektromágneses leképezési tapasztalataink. *Inverziós Ankét, Miskolc, 2006. március 20., Absztrakt (szóbeli).*

SZALAI S., VERESS M., NOVÁK A., SZARKA L., 2006. Geofizikai vizsgálatok fedett karszton (Homód-árok, Bakony). *Karsztfelújulás XI. Szombathely: Berzsenyi Dániel Tanárképző Főiskola, Veress M (szerk.), 2006. pp. 153-170 (szóbeli).*

NOVÁK A., ÁDÁM A., SZARKA L., MADARASI A., KHOLBECK F., ITA A., KOPPÁN A., PASZERA G., TÚRI J., VARGA G., MEGBEL N., OLIVER R., WECKMANN U. Magnetotellurika az osztrák-magyar CELEBRATION-7 szelvény mentén, *HUNTEK Workshop, Sopron, Szeptember 20-21, 2007, Absztrakt (szóbeli).*

KÜLFÖLDI ELŐADÁSOK:

SZARKA L., NOVÁK A., ÁDÁM A., MADARASI A., VARGA G., KISS J., PRÁCSEER E., RITTER O., WECKMANN U., SCHNEGG P., MAGNETO(C)ELLURICS. MT along the CELEBRATION-007 line, *32nd International Geological Congress Florence, August 20-28., 2004 Session 286, Abstract (szóbeli).*

NOVÁK A., KÁROLYI A., PAP ZS., SZALAI S., SZARKA L., VARGA M. Tensor-invariant based electrical potential mapping, and its use in an archeological field study., *IAGA WG 1.2 on Electromagnetic Induction in the Earth. Proceedings of the 17th Workshop, Hyderabad, India, Oct. 18-23., 2004, Extended abstract, Session S.8-P.2 (poszter).*

SZARKA L., ÁDÁM A., NOVÁK A., KISS J., MADARASI A., PRÁCSEER E., VARGA G. Magnetotelluric images from SW-Hungary, completed with gravity, magnetic and seismic measurements, *IAGA WG 1.2 on Electromagnetic Induction in the Earth. Proceedings of the 17th Workshop, Hyderabad, India, Oct. 18-23, 2004, Extended abstract, Session S.1-O.5 (szóbeli).*

NOVÁK A., SZARKA L. About the complete reconstruction of the MT impedance tensor from its invariants, *EGU General Assembly, Austria, Vienna, April 24-29, 2005, Abstract (poszter)*.

SZARKA L., ÁDÁM A., NOVÁK A., KISS J., MADARASI A., PRÁCSER E., VARGA G. Magnetotelluric images completed with gravity, magnetics and seismics from SW Hungary, *TOPO EUROPE 4D Topography Evolution in Europe: Uplift, Subsidence and Sea Level Rise, 2005, Abstract (poszter)*.

SZARKA L., CSERNY T., LEMPERGER I., KOPPÁN A., NOVÁK A. Earth and environmental science education at the University of West-Hungary, Sopron, *EGU 2005 Assembly, Vienna, paper EGU05-J-10513 (poszter)*.

SZARKA L., NOVÁK A., ÁDÁM A. Rotational invariant representation of magnetotelluric results from SW-Pannonian Basin, *IAGA 2005, Toulouse, France, paper IAGA2005-A-00780 CD Abstract (szóbeli)*.

SZARKA L., NOVÁK A., VARGA M., SZALAI S. Tensorial apparent resistivity mapping and an archeological case study, *EAGE Meeting, Madrid, June 13-18., 2005, paper G018 (szóbeli)*.

ÁDÁM A., NOVÁK A., SZARKA L. Basement depths of 3D basins, estimated from 1D magnetotelluric inversion, *18th EMIW, El Vendrell, September 2006, Abstract (poszter)*.

NOVÁK A., ÁDÁM A., SZARKA L. Tensor invariant-based imaging: DC and MT field examples, *18th EMIW, El Vendrell, September 2006, (poszter)*.

NOVÁK A., SZALAI S., SZARKA L. Target detectability depths of DC arrays for various models, *EAGE Near Surface, Helsinki, Sept. 4-6., 2006, Extended Abstract (poszter)*.

SZARKA L., NOVÁK A., SZALAI S., ÁDÁM A. Imaging experiences in magnetotellurics and in geoelectrics. *17th Int. Geophysical Congress of Turkey, Ankara, 2006, (szóbeli)*.

ÁDÁM A., SZARKA L., NOVÁK A., VARGA G. Electromagnetic induction mosaics from two significant tectonic lines of the Pannonian Basin and the Alps, *IUGG 2007 Perugia, Abstract (poszter)*.

NOVÁK A., ÁDÁM A., SZARKA L. Indication of the deep tectonics by resistivity and phase anisotropy, invariants and phase tensor parameters in a three-dimensional sedimentary basin, *IUGG 2007 Perugia, Abstract (szóbeli)*.

NOVÁK A., MADARASI A., KOHLBECK, F., ÁDÁM, A., SZARKA, L.; DIMS MT2006. Magnetotellurics along the Austro-Hungarian CELEBRATION-7 profile, *EGU General Assembly, Austria, Vienna, April 15-20, 2007, Abstract (poszter)*.

NOVÁK A., SZARKA L., ÁDÁM A., PRÁCSER E. Invariant-based imaging and interpretation of magnetotelluric measurements over an area and along a profile in SW-Transdanubia, Hungary. *AGU Fall Meeting 2007, Abstract (poszter)*.

SZALAI S., VERESS M., NOVÁK A., SZARKA L. Bedrock topography in a buried karstic area by applying multielectrode measurements completed with "pricking probe". *AGU Fall Meeting, San Francisco, 2007, Abstract (poszter)*.

SZALAI S., NOVÁK A., SZARKA L. Depth of investigation of dipole-dipole, noncolinear and focused geoelectric arrays, *Near Surface 2007, Istanbul, Turkey (poszter)*.

KISS J., PRÁCSER E., NOVÁK A. Comparison of inversion results along the profile CELEBRATION-7 (SW-Hungary), *19th IAGA WG 1.2 Workshop on Electromagnetic Induction in the Earth, Beijing, China, October 23-29, 2008 (poszter)*.

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: *Near Surface 2008 Krakow, Lengyelország, 2008.09.15-2008.09.17. pp. & Paper P17. (poszter)*.

SZARKA L., KISS J., PRÁCSER E., ÁDÁM A., NOVÁK A., MADARASI A. Magnetotelluric field anomalies and the second-order magnetic phase transition. In: *Szarka L (szerk.) IAGA 11th Scientific Assembly: Abstract Book. Sopron, Magyarország, 2009.08.23-2009.08.30. Sopron: Geodetic and Geophysical Research Institute of the HAS, Paper 106-TUE-P1700-0646. (szóbeli)*.

SZALAI S., VARGA M., NOVÁK A., SZARKA L. From the results of the otka project “non-conventional geoelectric arrays, K4960. In: *Szarka L (szerk.) IAGA 11th Scientific Assembly: Abstract Book. Sopron, Magyarország, 2009.08.23-2009.08.30. Sopron: Geodetic and Geophysical Research Institute of the HAS, Paper 104-THU-P1540-0141. (poszter)*.

NOVÁK A., SZARKA L., VARGA M. Effect of current electrode positions and of gaussian noise on tensorial invariants. In: *Szarka L (szerk.) IAGA 11th Scientific Assembly: Abstract Book. Sopron, Magyarország, 2009.08.23-2009.08.30. Sopron: Geodetic and Geophysical Research Institute of the HAS, Paper 104-THU-P1635-1113. (poszter)*.

NOVÁK A., ÁDÁM A., SZARKA L., Basic features and noise sensitivity of magnetotelluric invariant images. In: *Szarka L (szerk.) IAGA 11th Scientific Assembly: Abstract Book. Sopron, Magyarország, 2009.08.23-2009.08.30. Sopron: Geodetic and Geophysical Research Institute of the HAS, Paper 107-WED-P1700-1326. (poszter)*.

SZALAI S., VARGA M., NOVÁK A., SZARKA L. Non-conventional Geoelectric Arrays - Results of a Research Project – Theory. In: *Near Surface 2009 – 15th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. Dublin, Írország, 2009.09.07-2009.09.09. Paper P15 (poszter)*.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- BERDICHEVSKY, M.N. AND DMITRIEV, V.I., 1976. Basic principles of interpretation of magnetotelluric curves. *Geoelectric and Geothermal Studies*, pp. 165-221, ed. A. Adam, KAPG Geophysical Monograph, Akadémiai Kiadó, Budapest.
- BAHR, K., 1988. Interpretation of the magnetotelluric impedance tensor: regional induction and local telluric distortion. *J. Geophys.*, **62**, 119-127.
- BAHR, K., 1991. Geological noise in magnetotelluric data: a classification of distortion types. *Phys. Earth planet. Inter.*, **66**, 24-38.
- CALDWELL, T. G., BIBBY H.M AND BROWN, C., 2004: The Magnetotelluric Phase Tensor. *Geophys. J. Int.*, **158**, 457-469.
- KAKAS K., 1981. DC potential mapping (PM). *Annual Report of the Eötvös Loránd Geophysical Institute for 1980*, 163-165.
- LILLEY, F.E.M., 1993. Magnetotelluric analysis using Mohr circles. *Geophysics*, **58**, 1498-1506.
- LILLEY, F.E.M., 1998a. Magnetotelluric tensor decomposition: 1. Theory for a basic procedure. *Geophysics*, **63**, 1884-1897.
- LILLEY, F.E.M., 1998b. Magnetotelluric tensor decomposition: 2. Examples of a basic procedure. *Geophysics*, **63**, 1898-1907.
- LOKE H.M., 2001. Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. *Geotomo Software, Malaysia*.
- MARTÍ, A., 2006. A magnetotelluric investigation of geoelectrical dimensionality and study of the Central Betic Crustal Structure. *Ph.D. thesis, Barcelona*.
- ROMO, J.M., GOMEZ-TREVINO, E. AND ESPARZA, F.J., 1999. An invariant representation of the magnetic transfer function in magnetotellurics. *Geophysics*, **64**, 1418-1428.
- SWIFT, C.M., 1967. Magnetotelluric investigation of an electrical conductivity anomaly in the southwestern United States. *PhD thesis*, Department of Geology and Geophysics, MIT, Cambridge, MA (reprinted in *Magnetotelluric Methods*, pp. 156-166, ed. Vozoff, K., *Geophys. Reprint Ser. No. 5*, 1988, SEG, Tulsa, OK)
- SZARKA L., 1984. Analogue modelling of DC mapping methods. *Acta Geod. Geophys. Mont. Hung.* **19**, 451-465.
- SZARKA L., 1994. Háromdimenziós földtani szerkezetek geofizikai leképezésének lehetőségei elektromágneses kutatómódszerekkel. Sopron, 142 p. Disszertáció: (MTA Doktora)
- SZARKA L., MENVIELLE M., 1997. Analysis of rotational invariants of magnetotelluric impedance tensor. *Geophysical Journal International* **129**, 133-142.
- SZARKA, L., PRÁCSER E., 1999. A correction to Bahr's "phase deviation" method for tensor decomposition. *Earth Planets Space*. **51**, 1019-1022.
- WEAVER J.T., AGARWAL A.K., LILLEY F.E.M., 2000. Characterization of the magnetotelluric tensor in terms of its invariants. *Geophysical Journal International* **141**, 321-337.