

**G E O M A T I K A I**  
**K Ö Z L E M É N Y E K**

*Publications in Geomatics*

**FŐSZERKESZTŐ**

*Editor in Chief*

**PAPP G**

**TANÁCSADÓ TESTÜLET**

*Advisory Board*

**ÁDÁM J** (*elnök/chair*)

**BIRÓ P**

**BOZÓ L**

**MÁRTON P**

HU ISSN 1419-6492



---

CSFK GEODÉZIAI ÉS GEOFIZIKAI INTÉZET  
9400 SOPRON, CSATKAI U. 6-8.

## *Geomatikai Közlemények*

*Publications in Geomatics*

kiadja a

### **CSFK GEODÉZIAI ÉS GEOFIZIKAI INTÉZETE**

9400 Sopron, Csatkai E. u. 6-8.

tel.: +36 99 / 508-350

e-mail: [geomatika@ggki.hu](mailto:geomatika@ggki.hu)

web: [www.geomatika.ggki.hu](http://www.geomatika.ggki.hu)

web programozó: Lovranits Tamás

felelős kiadó:

***Wesztergom Viktor***  
*mb.igazgató*

főszerkesztő:

***Papp Gábor***

angol nyelvi szerkesztő:

***Papp Gábor***

technikai szerkesztő:

***Szlávy Anna***

készült a

**LŐVÉR PRINT Kft.** nyomdájában

9400 Sopron, Ady Endre u. 5.

tel.: 99 / 329-977

megjelent 60 példányban

Sopron, 2020

HU ISSN 1419-6492

**GEOMATIKAI  
KÖZLEMÉNYEK  
XXIII.**

"Minden nemzet a maga  
nyelvén lett tudós,  
de idegenen sohasem."

(Bessenyei György)

# ÁLTALÁNOS INFORMÁCIÓK ÉS ÚTMUTATÓ

A Geomatikai Közlemények 1998 óta rendszeresen, általában évenként egy alkalommal megjelenő folyóirat. A kiadvány célja, hogy elsősorban magyar és esetenként angol nyelvű fórumot biztosítson a hazai, ill. külföldi kutatóknak és szakembereknek, akik a geodézia, fotogrammetria, térinformatika, fizikai geodézia, geofizika, földmágnesség, geodinamika, a Föld belső szerkezete és a Föld körüli térség fizikája, tágabb értelemben véve a geomatika szakterületén elért tudományos eredményeiket szeretnék közzétenni. A kiadványban megjelenő cikkek és tanulmányok a mai normáknak megfelelő lektorálási folyamaton mennek keresztül, azaz mielőtt publikálásra kerülnek legalább kettő független bíráló véleményét alkotó közlésre benyújtott kéziratról. A bírálók nevét alapvetően csak a szerkesztőbizottság ismeri, de a bírálók kérhetik anonimitásuk felfüggesztését. A bírálatok alapján a szerkesztőbizottság dönti el, hogy az adott kézirat megfelel-e a Geomatikai Közlemények formai és tartalmi követelmény-rendszerének, illetve, hogy az esetlegesen felmerülő hibák és hiányosságok kijavíthatók- és pótolhatók-e a kézirat kisebb-nagyobb átdolgozásával.

A Geomatikai Közlemények szerkesztését – amelyet 2011-től már egy, az Interneten keresztül elérhető és működtethető web felület is támogat ([www.geomatika.ggki.hu/kozlemenyek](http://www.geomatika.ggki.hu/kozlemenyek)) ©Lovranits Tamás és Papp Gábor) – társadalmi munkában végző szerkesztőség nagy hangsúlyt fektet a lehető leggyorsabb minőségi munkára. Ez mind a szerzőktől, mind a bírálóktól erőfeszítéseket és fegyelmet kíván, amit a szerkesztőség előre is tisztelettel megköszön. Ennek biztosításához javasoljuk áttanulmányozni a következő anyagokat:

formai\_es\_tartalmi\_kovetelmenyek.docx,  
geomatikai\_kozlemenyek\_utmutato\_biraloknak.pdf,

amelyek a már fent megadott címre belépve letölthetők a megfelelő linkekről. A regisztrált felhasználók ugyanezen a címen keresztül végezhetik el a rendszer által koordinált aktuális feladataikat, akár szerzői, akár bírálói szerepkörben. Az új felhasználók ugyanitt regisztrálhatnak, felhasználói név és e-mail cím megadásával.

A feltöltött kéziratokat a szerkesztőség előbírálja, elsősorban az instrukciókban megfogalmazott formai szempontok szerint. Ha a kézirat formailag kielégítőnek bizonyul, akkor elindul a bírálati folyamat, amely általában több ciklust is képez, és egészen addig tart, ameddig a bírálók, ill. a szerkesztőség ezt tartalmi-formai indokok miatt szükségesnek tartják. A bírálati fázisokról és az aktuális teendőkről mind a szerzők mind a bírálók automatikus üzenetekben értesülnek.

A Geomatikai Közleményeket a CSFK Geodéziai és Geofizikai Intézete adja ki. A kiadás anyagi háttérét egyrészt a két évente Sopronban megrendezésre kerülő Geomatika Szeminárium, másrészt különböző pályázatok és tudományos szervezetek (pl. Soproni Tudós Társaság) támogatásai biztosítják. A XXIII. kötet megjelenését a Soproni Tudós Társaság tette lehetővé.

A Geomatikai Közlemények jelen kötetének felelős szerkesztői:

Kalmár János, Papp Gábor, Bányai László.

## **ELŐSZÓ**

A Geomatikai Közlemények ezen kötete két tudományos cikk mellett, helyet adott egy MTA Doktora disszertáció utánnnyomásának is. Szalai Sándor 2020. szeptember 23-án sikerrel védte meg dolgozatát, amelyet Dr Gyulai Ákos az MTA Doktora, Dr. Timár Gábor az MTA doktora és Dr. Drahos Dezső a műszaki tudomány kandidátusa bíráltak és amelynek digitális változata elérhető itt:

[http://real-d.mtak.hu/1176/7/dc\\_1591\\_18\\_doktori\\_mu.pdf](http://real-d.mtak.hu/1176/7/dc_1591_18_doktori_mu.pdf).

## **A KÖTETBEN MEGJELENT CIKKEK BÍRÁLÓI**

Benedek Judit

Forgácsné Dajka Emese

Hegedüs Tibor

Kenyeres Ambrus

# TARTALOMJEGYZÉK

## CONTENTS

<b>Deme Livia, Sárnecky Krisztián, Igaz Antal, Opitz Nándor, Egei Nóra, Csák Balázs, Vinkó József</b> .....	7
Meteorvékenység Magyarország felett automata meteorkamera-rendszerek adataiból <i>Meteor activity over Hungary from data taken by automatic meteorcamera systems</i>	
<b>Lupsic Balázs, Takács Bence</b> .....	15
Ionosféra modellezése gauss-folyamat regresszióval <i>Modelling the ionosphere using Gauss process regression</i>	
<b>Szalai Sándor</b> - MTA Doktori értekezés 2019 .....	25
Geoelektromos kvázi null elektróda elrendezések <i>Geoelectric quasi null electrode arrays</i>	

# METEORTEVÉKENYSÉG MAGYARORSZÁG FELETT AUTOMATA METEORKAMERA-RENDSZEREK ADATAIBÓL

*Deme Livia*\*, *Sárneckzy Krisztián*\*, *Igaz Antal*\*, *Opitz Nándor*\*, *Egei Nóra*\*, *Csák Balázs*\*\*\*, *Vinkó József*\*



**Meteor activity over Hungary from data taken by automatic meteorcamera systems – The extended and modernized meteorcamera system, funded by the GINOP project entitled "Cosmic effects and risks" of the ELKH Research Center for Astronomy and Earth Sciences (CSFK), is continuously monitoring the meteor activity in the upper atmosphere above Hungary. In this paper we introduce the system stations and present some statistical results based on data obtained during the first year, focusing on meteor shower membership and the frequency of fireballs.**

**Keywords:** meteors, digital image processing, statistical analysis

*A CSFK "Kozmikus Hatások és Kockázatok" című GINOP projektjének keretében kibővített és modernizált országos meteorkamera-rendszer folyamatosan monitorozza a Magyarország feletti légkörben történő meteortevekenységet. Közleményünkben bemutatjuk a mérőrendszer állomásait, valamint az első egy év során gyűjtött adatok statisztikáját, különös tekintettel a rajtagságra és a tűzgömbök gyakoriságára vonatkozó információkra.*

**Kulcsszavak:** meteorok, digitális képfeldolgozás, statisztikai elemzés

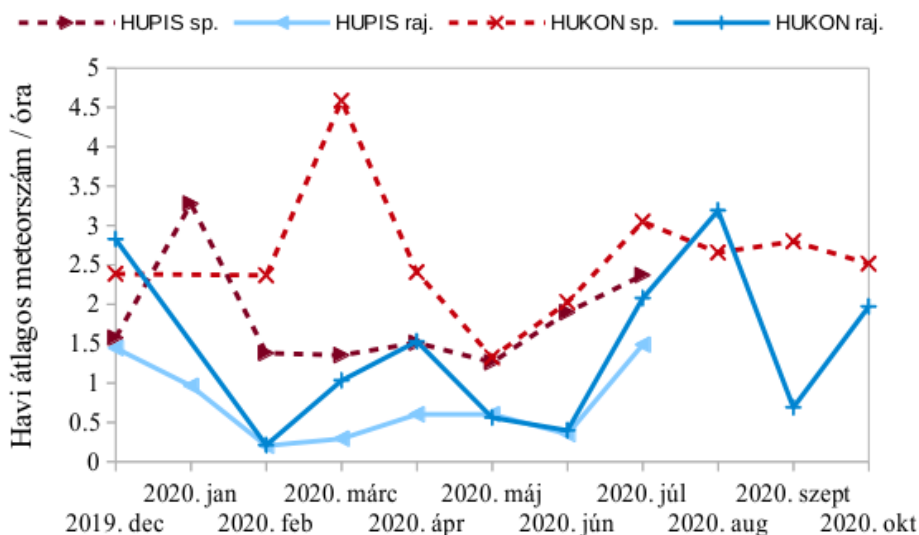
## 1 Bevezetés

A köznyelvben hullócsillagként emlegetett meteorjelenségre már az ókorban felfigyeltek, mint rövid idő alatt lejátszódó, látványos égi fényjelenségre. Az akkor uralkodó paradigma értelmében ilyen változásokra úgy tekintettek, mint kizárólag a földi légkörben lejátszódó jelenségre, hiszen erősen tartotta magát az Arisztotelésztől származó, az égbolt változatlan örökkévalóságába vetett hit. Habár Diogenész már Kr. e. 467-ben egy akkori meteorhullás után talált szikladarabról úgy vélte, hogy az a légkörön kívüli űrből származott, Arisztotelész Kr.e. 300 körül a "meteor" (jelentése "ég és föld között lebegő") elnevezéssel már deklarálta, hogy légköri jelenségről van szó (Csizmadia 2004). A kozmikus eredet újbóli felismerése egészen a 19. század közepéig váratott magára, amikor sikerült feltárni az üstökösök és a meteorrajok kapcsolatát. Ebben jelentős szerepet játszott Konkoly Thege Miklós is, aki az ógyallai csillagvizsgálóból készített meteorszíneképek elemzéséből egyértelműen kimutatta, hogy ezek üstökösökből származnak (Bartha és Tepliczky 1992).

A meteorjelenséget előidéző, 1 m-nél kisebb (többnyire milliméteres, vagy centiméteres nagyságrendbe eső), Naprendszerben keringő részecskék hivatalos elnevezése *meteoroid*. Ezek anyaga vagy szilikátos kőzet, vagy vas, esetleg vas-nikkel kompozit. *Meteor*ról akkor beszélünk, amikor a meteoroid a Földdel találkozik, és a földi felsőlégkörben a sűrűlódás miatt felizzik, ezáltal látványos fényjelenséget produkál. Erre általában 80 - 120 km magasságban kerül sor. A folyamat során a magas hőmérsékletre felhevült meteoroid egyrészt pályája mentén ionizálja a légkör molekuláit, másrészt folyamatosan tömeget veszít, míg végül elég a légkörben. A maximális fényesség a meteoroid kezdeti tömegével és Földhöz viszonyított relatív sebességével arányos (Nagy 2018, Hegedüs 1989a, 1989b).

A spektroszkópiai vizsgálatok alapján a fényesség sokkal inkább az eléggő meteoroidból származik, és csak kisebb mértékben a légkör ionizált részecskéinek rekombinációjából (Csizmadia 2004). A legfényesebb, -4 magnitúdót meghaladó meteorokat *tűzgömbök*nek nevezzük. Az erős hőhatás miatt a nagyobb tömegű meteoroidok gyakran robbanásszerűen esnek darabokra, amelyek a légkörben terjedő hanghullámokat, időnként erős lökéshullámokat keltenek. Az ilyen jelenséget





5.ábra: Sporadikus (szaggatott vonal) és rajmeteórok (folytonos vonal) óránkénti száma a vizsgált időszakban

#### 4 Összefoglalás

A CSFK "Kozmikus Hatások és Kockázatok" című GINOP projektjében az országos meteorkamera-rendszer modernizálása és bővítése valósult meg 2017 és 2020 között. Tanulmányunkban bemutattuk a digitális kamerákkal kibővített új rendszer állomásait, valamint a 2019. december 1 - 2020. október 31. között született mérési adatokból lesűrhető első következtetéseket. Megállapítottuk, hogy a DSLR-kamerákból álló új rendszer képes a meteorrajok idején nagyobb számban jelentkező fényes meteorokat detektálni. Ezen meteorokon belül a tűzgömbök gyakoriságára átlagosan  $40 \pm 5\%$ -os értéket kaptunk, a detektált sporadikus meteorok óránkénti átlagos számát pedig  $11.34 \pm 3.65$  meteor/óra értékűnek mértük. Az adathalmaz folyamatosan bővül, ezek további vizsgálata még tart, így hamarosan újabb érdekes eredmények várhatók.

**Köszönetnyilvánítás.** Munkánkat a "Kozmikus Hatások és Kockázatok" című, GINOP 2.3.2-15-2016-00003 számú pályázat támogatta.

#### Hivatkozások

- Bartha L, Tepliczky I** (1992): Konkoly Thege Miklós emlékezete. Magyar Csillagászati Egyesület, Budapest. 31.
- Csizmadia Sz** (2004): Meteorcsillagászat. In: Mizser A., Szabados L., Taracsák G. (szerk.) Meteor Csillagászati Évkönyv 2004, 249-273.
- Dubietis A, Arlt R** (2010): Periodic Variability of Visual Sporadic Meteor Rates. Earth, Moon, Planets 106, 105-111.
- Hegedüs T** (1989a): A meteorok fizikája I, Meteor, 1989(2), 34-36.
- Hegedüs T** (1989b): A meteorok fizikája II, Meteor, 1989(3) 33-34.
- Howe RM, Paxman J, Bland PA, Towner MC, Sansom EK, Devillepoix AR** (2017): Submillisecond fireball timing using de Bruijn timecodes. Meteoritics & Planetary Science 52(8), 1669-1682.
- Nagy H** (2018): Meteorok tömegének meghatározása videometeoros megfigyelések elemzésével. Fizika alapképzés szakdolgozat, Szegedi Tudományegyetem, 54.
- Tepliczky I** (1994): Meteorészlelések. Meteor, 1994(6), 36-39.

# IONOSZFÉRA MODELLEZÉSE GAUSS-FOLYAMAT REGRESSZIÓVAL

Lupsic Balázs\*, Takács Bence\*



**Modelling the ionosphere using Gauss process regression** – *The number of devices equipped with global satellite positioning has exceeded seven billion recently. There are wide variety of units regarding their accuracy and reliability; however, the number of single frequency receivers providing lower accuracy are still significant. Since their measurements are considerably influenced by ionospheric delay, adequate ionosphere models as well as maps are of utmost importance to reduce the effect. This paper summarises how Gauss process regression can be applied to derive ionosphere maps using raw measurements of satellites in real time. Gauss process is widely used in machine learning; hence the established methods can contribute to develop high quality ionosphere models. One of the major advantages of Gauss process regression against classical methods is the capacity to handle not normally distributed noises as well.*

**Keywords:** satellite positioning, GNSS, ionosphere, model, Gauss-process regression

A globális helymeghatározásra képes készülékek száma 2019-ben elérte a 7 milliárdot. A termékek a pontosság és a robusztusság tekintetében széles skálán mozognak, de az alacsonyabb pontosságú egyfrekvenciás vevők aránya még mindig igen jelentős. Mivel ezek a készülékek méréseit fokozottan terheli az ionoszféra jelképleltető hatása, ezért a hatás csökkentése érdekében különböző ionoszféra modelleket, illetve térképeket használnak. A cikk bemutatja, hogy Gauss-folyamat regresszió segítségével, hogyan lehet ionoszféra térképet valós időben, műholdakra végzett távolságmérések alapján előállítani. A Gauss-folyamat széles körben elterjedt a gépi tanulás területén, így az ott bevált módszereket felhasználva jó minőségű ionoszféra térképek készíthetők. A Gauss-folyamat regresszió további nagy előnye a klasszikus megoldásokkal szemben, hogy képes nem normál eloszlású zajt is kezelni.

**Kulcsszavak:** műholdas helymeghatározás, GNSS, ionoszféra modell, Gauss-folyamat, regresszió

## 1 Bevezetés

Ismert, hogy a GNSS-műholdakra (*Global Navigation Satellite System*) végzett távolságméréseket terhelő egyik legjelentősebb szabályos hibát a Föld külső légkörének, az ionoszférának a jelképleltető hatása okozza. A hatás többfrekvencián végzett mérések megfelelő lineáris kombinációjával csaknem teljes mértékben kiküszöbölhető. Egyfrekvencián végzett mérések esetén a hatást modellek alapján vesszük figyelembe. Legegyszerűbb modell a Klobuchar-modell, amelynek paramétereit maguk a műholdak sugározzák. Sajnos a Klobuchar-modell átlagosan a késés mintegy 60-70%-át képes leírni (Ádám et al. 2004). Az európai Galileo műholdas navigációs rendszerben már valamivel összetettebb és pontosabb modellt, a Nequick-modellt használnak. Permanens GNSS állomások mérései alapján, utófeldolgozással jóval pontosabb globális és regionális modellek vezethetők le (Schaer et al. 1999). A modellek tulajdonképpen az ionoszféra teljes elektron tartalmát írják le a hely és az idő függvényében. A klasszikus megoldás során ehhez gömbfüggvényeket alkalmaznak. Cikkünkben ezen a területen egy újszerűnek tekinthető módszert, a Gauss-folyamat regressziót (*Gauss Process Regression - GPR*) használjuk, amely a gépi tanulás területén mára széles körben elterjedt. Meg kell jegyezzük, hogy a geostatistikában népszerűségnek örvendő krigeles és az általunk használt GPR matematikai alapjai azonosak (Stein 1999).

A számítástechnika fejlődésnek köszönhetően a feldolgozás ma már lényegesen gyorsabban is elvégezhető, melynek eredményeként lokális, regionális és globális modellek közel valós időben szolgáltatathatók (Anghel et al. 2009 vagy Bergeot et al. 2014, Hernandez-Pajares et al. 2008).

## 6 Összefoglalás

A cikkben bemutatott Gauss-folyamat regresszió újszerű és ígéretes módszer az ionoszféra modellezésére. Előnye, hogy kevés számú permanens mérési állomás alapján is pontosan lehet a légkör elektrontartalmát becsülni. A szakirodalomban közölt ionoszféra modellek nagyjából  $\pm 1$  TECU pontosságát lényegében az általunk kidolgozott algoritmussal is sikerült elérni, egyelőre 38 RIMS állomás egy napi méréseinek feldolgozása alapján.

A bemutatott algoritmusban a vevők és műholdak hardver késéseit ismertnek tekintettük, de lehetőség van ezeket is valós időben, az ionoszféra modellekkel egyidőben becsülni, például Kálmán szűréssel. Az általunk kidolgozott algoritmus egyelőre minden mérési időpontban a többi megfigyeléstől független eredményt ad. Amennyiben figyelembe vennénk a többi mérési időpontban kapott eredményeket is, akkor statisztikai próbák segítségével integritási paramétereket is a modellhez lehetne rendelni.

**Köszönetnyilvánítás.** A kutatás a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a TKP2020 pályázati program finanszírozásában, a BME IKP-VÍZ tématerület keretében valósult meg.

## Hivatkozások

- Anghel A, Carrano C, Komjathy A, Astilean A, and Letia T (2009): Kalman filter-based algorithms for monitoring the ionosphere and plasmasphere with GPS in near-real time, *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.*, 71, 158–174, doi:10.1016/j.jastp.2008.10.006
- Ádám J, Bányai L, Borza T, Busics Gy, Kenyeres A, Krauter A, Takács B (2004): Műholdas helymeghatározás. Műegyetemi Kiadó, Budapest. 458.
- Bergeot N, Chevalier J-M, Bruyninx C, Pottiaux E, Aerts W, Baire Q, Legrand J, Defraigne P and Huang W (2014): Near real-time ionospheric monitoring over Europe at the Royal Observatory of Belgium using GNSS data. *J. Space Weather Space Clim.*, 2014 (4) A31, doi: <http://dx.doi.org/10.1051/swsc/2014028>
- G de G Matthews A, Mark van der W, Nickson T, Fujii K, Boukouvalas A, León-Villagrà P, Ghahramani Z, Hensma J (2017): GPflow: A Gaussian Process Library using TensorFlow. *Journal of Machine Learning Research* 18(40), 1–6.
- Grunwald G, Bakula M, Ciećko A, Kaźmierczak R (2018): Examination of GPS/EGNOS integrity in north-eastern Poland. *IET Radar, Sonar & Navigation*. 10(1), 114–121. <https://doi.org/10.1049/iet-rsn.2015.0053>
- Hernandez-Pajares M, Juan JM, Sanz J, Orus R, Garcia-Rigo A, Feltens J, Komjathy A, Schaer SC, Krankowski A (2008): The IGS VTEC maps: A reliable source of ionospheric information since 1998. *Journal of Geodesy*. 83, 263–275. doi: 10.1007/s00190-008-0266-1.
- Klobuchar J (1987): Ionospheric Time-Delay Algorithms for Single-Frequency GPS Users. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 3, 325–331.
- Krypiak-Gregorczyk A, Wielgosz P (2018): Carrier phase bias estimation of geometry-free linear combination of GNSS signals for ionospheric TEC modeling. *GPS Solution* 22, 45 <https://doi.org/10.1007/s10291-018-0711-4>
- Rasmussen CE, Williams CKI (2006): *Gaussian Processes for Machine Learning*, the MIT Press, 2006, 13–16.
- Schaer S, Beutler G, Rothacher M (1999): Mapping and predicting the ionosphere, *Proceedings of the IGS Analysis Center Workshop, Int. GNSS Serv., Darmstadt, Germany, February 9–11*, 307–318.
- Stein ML (1999): *Statistical Interpolation of Spatial Data: Some Theory for Kriging*, Springer, 109–143.
- Takács B, Markovits-Somogyi R (2017): GNSS-monitoring légi navigációs alkalmazások szempontjából. *Geomatikai Közlemények* 20, 47–54.
- Yu V, Yasyukevich A, Mylnikova A, Polyakova AS (2015): Estimating the total electron content absolute value from the GPS/GLONASS data. *Results in Physics*, 5, 32–33. doi:10.1016/j.rinp.2014.12.006.0

# GEOELEKTROMOS KVÁZI NULL ELEKTRÓDA ELRENDEZÉSEK - MTA Doktori értekezés 2019

Szalai Sándor\*



**Geoelectric quasi null electrode arrays** - *The application of geoelectric null arrays (arrays which give zero signal over homogeneous half-space) was sentenced problematic thus to be avoided. The author has different experiences using these configurations. Following successful studies by non-linear null arrays, the author investigated the MAN array and its modified versions (the  $\gamma 11n$  ( $n=1-7$ ) arrays) which can easily build in the nowadays widespread two-dimensional Electric Resistivity Tomography acquisition systems. These so-called quasi null arrays produce very small signals (close to zero) over homogeneous half-space. According to the dissertation, their imaging capacity is at least as good as the ones of the best traditional arrays.*

*According to the results, the quasi null arrays may be very important complements of the conventional arrays in the future. While the traditional arrays give robust image of the subsurface, the quasi null arrays may provide a more detailed image. Their application is worth full in spite of that they do not always produce perfect results; in certain situations it is worthwhile to take the risk.*

*Well-applicable complete methods are the by the author introduced Pricking-Probe and Pressure-Probe methods, as well, in the first line in studies of small-scale fracture systems. They can be applied to verify the results of other geophysical methods and even individually.*

**Keywords:** quasi null arrays, geoelectric arrays, null arrays, fractures, monitoring

A geoelektromos null-elrendezések használatát (az olyan geoelektromos elrendezéseket, amelyek homogén féltér felett nulla jelet adnak) problémásnak és kerülendőnek ítélték. A szerző e konfigurációkról eltérő tapasztalatokat szerzett. Nem-lineáris null elrendezésekkel végrehajtott sikeres kísérleteket követően a szerző elvégezte a manapság elterjedt két-dimenziós Elektromos Ellenállás Tomográfia mérő rendszerbe könnyen beépíthető MAN elrendezés és a MAN módosított változatai (a  $\gamma 11n$  ( $n=1-7$ ) elrendezések) vizsgálatát. Ezek a mindeddig csak elméletben létező elrendezések (ún. kvázi null elrendezések), homogén féltér felett nullától alig eltérő, nagyon kis jelet adnak. Amint a dolgozat kimutatja, képezési tulajdonságaik helyenként a legjobb hagyományos elrendezések megfelelő sajátosságaival vetekednek.

Az eredmények szerint a kvázi null elrendezések a jövőben a hagyományos konfigurációk mellett fontos kiegészítő szerepet játszhatnak. Míg a hagyományos elrendezések a felszín alatti elektromos ellenállás-eloszlásról robusztus képet adnak, a kvázi null elrendezések a részletekbe engednek bepillantást. Nem mindig adnak tökéletes eredményt, de adódnak olyan helyzetek, amikor érdemes a kockázatot felvállalni.

Jól alkalmazható kiegészítő eljárások a szerző által bevezetett Szúrás-Próba és a Nyomás-Próba módszerek is, mindenekelőtt kis léptékű repedésrendszerek kutatásában. Egyéb geofizikai módszerekkel kapott eredmények igazolására, de akár önállóan is használhatók.

**Kulcsszavak:** kvázi null elrendezések, geoelektromos elrendezések, null elrendezések, repedések, monitorozás

## Köszönetnyilvánítás

Különösen szeretném megköszönni Szarka László akadémikus úr támogatását, aki elindított pályámon és ösztönözve és felbecsülhetetlen értékű segítséget nyújtva mindeddig végig is kísérte azt.

Volt PhD hallgatónak, Szokoli Kittinek, hogy hatékonyan segítette munkámat és tette ezt nagyon kellemes, baráti légkörben.

Prácser Ernőnek, akitől rengeteg segítséget kaptam az inverzióval és a programozással kapcsolatos szakmai kérdésekben.

A további kollégák listája a teljesség igénye nélkül, akiknek szintén szeretném kifejezeni köszönetemet: Varga Péter, Závoti József, Wesztergom Viktor, Ádám Antal, Verő József, Novák Attila, Müller Imre, Hatos Gábor, Nagy Tamás, Takács Ernő, Gyulai Ákos, Törös Endre, Tildy Péter, Prónay Zsolt, Koppán András, Kiss János, Verő László, Pongrácz János, März Győző, Turi János, Molnár Csaba, Fleischacker Imréné, Németh Erzsébet, és még sokan mások ...

A külföldi kollégák közül elsősorban Vladimir Shevnin, Torleif Dahlin, Ahmet Basokur, Guy Marquis, Helmut Wilhelm, Piotr Tucholka, Mohamed Israil, P. K. Gupta, Mohamed Metwaly, Mohamed Zubair és Pierik Falco uraknak szeretném kifejezni köszönetemet.

TDK-, BsC-, és MsC-s tanítványaimnak, akiket taníthattam, és akiktől tanulhattam: Gombás Gábor, Frigy Andrea, Kósa Ildikó.

A számtalan kollégának és diáknak, aki a terepi mérések során nyújtott segítséget.

A következő pályázatok szíves támogatását is köszönöm: KAAD Németország, Francia Oktatási Minisztérium, OTKA (T049604, T037694, TS408048 és NI61013ILO) projektek, Bolyai János Ösztöndíj (2007-2010 és 2011-2014), TÁMOP-4.2.2.C-11/1/KONV-2012-0015, Miskolci Egyetem Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Programja 2018/2019.

Cikkeim számos ismert és ismeretlen bírálójának, hogy segítették azok minőségének javítását.

És végül, de nem utolsósorban szüleimnek anyagi és erkölcsi támogatásukért, példamutatásukért; V. L.-nak, akiben megtaláltam testi-lelki társam; és gyermekeimnek, Szonjának, Benedeknek és Barnabásnak, akik munkámhoz számos módon motivációt adtak.

## Hivatkozások

- Ádám A, Kardeván P, Kormos I, Nagy Z, Pongrácz J, Régeni P, Szabadváry L, Szarka L, és Zimányi I** (1981a): Analogue model for studying geoelectric methods in the Geodetic and Geophysical Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences. *Acta Geodetica, Geophysica et Montanistica Acad. Sci. Hung.* 16(2-4), 359-380.
- Ádám A, Kardeván P, Kormos I, Nagy Z, Pongrácz J, Régeni P, Szabadváry L, Szarka L, és Zimányi I** (1981b): Analóg modell a geoelektromos módszerek tanulmányozására az MTA GGI-ben. *Magyar Geofizika* 22, 41-61.
- Ádám A, Szarka L, Varga M** (1983): Physical and mathematical modelling of crustal anomalies in the Pannonian Basin. *Acta Geodetica Geophysica et Montanistica Hungarica* 18(4), 467-488.
- Advanced Geosciences, Inc.** (2006) Instruction manual for EarthImager 2D, Version 2.1.7. Resistivity and IP inversion software
- Alfano L** (1974): A modified geoelectrical procedure using polar-dipole arrays – An example of application to deep exploration. *Geophysical Prospecting* 22, 510–525.
- Alpin LM** (1950): The Theory of Dipole Sounding. Gostoptekhidzat, Monograph (In Russian)
- Alpin LM** (1966): The theory of dipole sounding. In: *Dipole Methods for Measuring Earth Conductivity*, 1–60. Consult Bureau, New York
- Alpin LM, Berdichevsky MN, Vedrintsev GA és Zagarmistr AM** (1966): Dipole Methods for Measuring Earth Conductivity (Selected and translated from Russian by G.V. Keller). Colorado School of Mines, Golden, CO
- Apparao AT, Gangadhara Rao T, Sivarama S és Subrahmanya SV** (1992): Depth of detection of buried conductive targets with different electrode arrays in resistivity prospecting. *Geophysical Prospecting* 40, 749–760.
- Apparao A, Roy A, Mallik K** (1969): Resistivity model experiments. *Geoexploration* 7, 45–52.
- Apparao A, Subrahmanya SV** (1997): Depth of detection of buried resistive targets with some electrode arrays in electrical prospecting. *Geophysical Prospecting* 45(3), 365-375.
- Baker HA, Boudjadja AG, Benhamam K** (2000): Le Dispositif Baker – Application et comparaison. Memoire. Département de Géologie, FSTGAT-ISTHB, Algiers
- Baker HA és Djeddi M** (1999): Une nouvelle technique d'interprétation des données électriques et électromagnétiques. Project de Recherche 1602/09/98. Faculté des Sciences de la Terre, USZHB, Algiers
- Baker HA, Djeddi M, Boudjadha AG és Benhamam K** (2001): A different approach in delineating near-surface buried structures. *63rd EAGE meeting*, Amsterdam, the Netherlands, Expanded Abstracts, M-17.

- Bania G és Ćwiklik M** (2013): 2D Electrical Resistivity Tomography interpretation ambiguity – example of field studies supported with analogue and numerical modelling. *Geology, Geophysics & Environment* 39(4) 331–339.
- Barker RD** (1979): Signal contribution sections and their use in resistivity studies. *Geophys. J. R. astr. Soc.* 39. 123–129.
- Barker RD** (1981): The offset system of electrical resistivity sounding and its use with a multicore cable. *Geophysical Prospecting* 29. 128–143.
- Bernabini M, Brizzolari E és Piro S** (1988): Improvement of signal-to-noise ratio in resistivity profiles. *Geophysical Prospecting* 36, 559–570.
- Bhattacharya BB, Dutta I** (1983): Depth of investigation studies for gradient arrays over homogeneous isotropic half space. *Geophysics* 48, 1248–1251.
- Bhattacharya BB, Shalivahan** (2016): *Geoelectric methods. Theory and applications.* McGraw Hill Education (India) Private Limited, New Delhi
- Blokh IM** (1971): *Electrical Profiling of Resistivity Method.* Nedra, Moscow (In Russian)
- Bogolyubov NP** (1984): *Guide to Interpreting Two-component modified VES.* Stroyizdat, Moscow (In Russian)
- Bolshakov DK, Modin IN, Pervago EV és Shevnin VA** (1998): New step in anisotropy studies: Arrow type arrays. *Proceedings of the 4th EEGS-European Section Meeting, Barcelona, Spain*
- Brass G, Flathe H, Schulz R** (1981): Resistivity profiling with different electrode arrays over a graphite deposit. *Geophysical Prospecting* 29, 589–600.
- Brizzolari E és Bernabini M** (1979): Comparison between Schlumberger electrode arrangement and some focused electrode arrangements in resistivity profiles. *Geophysical Prospecting* 27, 233–244.
- Candansayar ME** (2008): Two-dimensional individual and joint inversion of three- and four-electrode array dc resistivity data. *J. Geophys. Eng.* 5, 290–300.
- Candansayar ME, Basokur AT** (2001): Detecting small-scale targets by the 2D inversion of two-sided three-electrode data: Application to an archaeological survey. *Geophysical Prospecting* 49, 13–25.
- Cantwell T, Galbraith JN, Nelson P** (1964): Deep resistivity results from New York and Virginia. *Journal of Geophysical Research* 69, 4367–4376.
- Carpenter EW, Habberjam GM** (1956): A tri-potential method of resistivity prospecting. *Geophysics* 21, 455–469.
- Clark AJ** (1990): *Seeing Beneath the Soil.* B.T. Batsford Ltd, London, p. 176.
- Csókás J** (1963): A focused-field geoelectric method. *Acta Technica Academiae Scientiarum Hungaricae* 43, 437–451.
- Dachnov VN** (1951): *Electrical Prospecting of Oil and Gas Deposits.* State Scientific-Technical Publishing of Oil and Gas Literature, Moscow and Leningrad
- Dachnov VN** (1953): *Electrical Prospecting of Oil and Gas deposits.* 2nd State Scientific-Technical Publishing of Oil and Gas Literature, Moscow and Leningrad
- Dahlin T, Zhou B** (2004): A numerical comparison of 2D resistivity imaging with 10 electrode arrays. *Geophysical Prospecting* 52, 379–398.
- Dey A, Morrison HF** (1979): Resistivity Modelling for Arbitrary Shaped Two-Dimensional Structures. *Geophysical Prospecting* 27, 106–136.
- Doicin D** (1976): Quadripole-quadripole arrays for direct current resistivity measurements – model studies. *Geophysics* 41, 79–95.
- Drahos D, Kis K, Meskó A és Salát P** (1987): *Bevezetés a gyakorlati geofizikába.* Egyetemi jegyzet, ELTE, Tankönyvkiadó
- Edwards LS** (1977): A modified pseudosection for resistivity and IP. *Geophysics* 42, 1020–1036.
- Evjen HM** (1938): Depth factors and resolving power of electrical measurements. *Geophysics* 3, 78–95.
- Falco P** (2013): *Sondages géoélectriques "null-arrays" pour la caractérisation des structures de subsurface.* PhD értekezés, Université de Neuchâtel, Faculté des sciences, p. 146.
- Falco P, Negro F, Szalai S és Milnes E** (2013): Fracture characterisation using geoelectric null-arrays. *Journal of Applied Geophysics* 93, 33–42.
- Frolov VX** (1989): The possibility to increase the geological efficiency of electrical surveys. *Izvestia VUZ-ov, series Geologia y Razvedka* 1, 100–108. (In Russian)
- Furgerson RB, Keller GV** (1975): Rotating dipole methods for measuring earth resistivity. *Geophysics* 45, 129–177.
- Furness P** (1993): Gradient array profiles over thin sensitive veins. *Geophysical Prospecting* 41, 113–130.
- Grandinetti M** (1967): Una nuova disposizione elettrodica per la ricerca di corpe di limitate dimensioni. *Boll. Di Geof. Teor. Ed. Appl.* 9, 219–234.
- Gupta PK, Nivas S és Gaur VK** (1996): Straightforward inversion scheme (SIS) for one-dimensional magnetotelluric data. *Journal of Earth System Science* 105(4), 413–429.
- Gupta RN** (1961) *Some studies on the unipole method (a new method electrical prospecting).* PhD thesis, Indian Institute of Technology, Kharagpur
- Gupta RN, Bhattacharya PK** (1963): Unipole method of electrical profiling. *Geophysics* 28, 608–616.
- Gyulai Á** (1989): Parameter sensitivity of underground DC measurements. *Geophysical Transactions* 35, 209–225.
- Gyulai Á** (1998): A geoelektromos üregkutatás néhány kérdése. *Magyar Geofizika* 39(2), 43–50.
- Gyulai Á** (1995): Dölt réteges földtani szerkezetek geoelektromos kutatási lehetőségének vizsgálata analitikus előmodelléssel. *Magyar Geofizika* 36(1), 40–67.
- Habberjam GM** (1979): *Apparent Resistivity Observations and the Use of Square Array Techniques.* Geoexploration Monographs, Geopublication Associates, Gebrüder Borntraeger.
- Habberjam GM, Watkins GE** (1967): The use of the square configuration in resistivity prospecting. *Geophysical Prospecting* 5, 445–467.
- Heiland CA** (1940): *Geophysical Exploration.* Prentice-Hall, New York

- Heiland CA** (1946): Geophysical Exploration. Prentice-Hall, New York
- Hering A, Misiak R, Gyulai Á, Ormos T, Dobróka M és Dresen L** (1995): A joint inversion algorithm to process geoelectric and surface wave seismic data. Part I: basic ideas. *Geophysical Prospecting* 43(2), 135-156.
- Hmelevsky VK, Bondarenko BM** (1989): Electrical prospecting. In: *Geophysical Handbook*, 1 (eds V.K. Hmelevsky and B.M. Bondarenko), 173–177. Nyedra, Moscow
- Hmelevsky VK, Shevnin VA** (1994): *Electrical Prospecting Using Resistivity Methods*. Moscow State University. (In Russian)
- Hursán G** (1996): On the role of lateral sensitivities in the horizontal electric profiling (in Hungarian). *Magyar Geofizika* 37, 106-117.
- Jackson PD** (1981): Focused electrical resistivity arrays: Some theoretical and practical experiments. *Geophysical Prospecting* 29, 601–626.
- Jakosky JJ** (1950): *Exploration Geophysics*, 2 edn. Trija Publishing Co.
- Kampke A** (1999): Focused imaging of electrical resistivity data in archeological prospecting. *Journal of Applied Geophysics* 41, 215–227.
- Keller GV, Frischknecht FC** (1966): *Electrical Methods in Geophysical Prospecting*. Pergamon.
- Keller GV, Furgerson R, Lee CYN és Jacobson JJ** (1975): The dipole mapping method. *Geophysics* 40, 451–472.
- Kirsch R** (2006): *Groundwater Geophysics*. Springer, p. 493.
- Knödel K, Krummel H és Lange G** (1997): *Geophysik*. (Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten): Band 3. Springer Verlag.
- Knödel K, Krummel H és Lange G** (2005): Band 3. *Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten*, 2nd ed. Springer, p. 128.
- Kunetz G** (1966): *Principles of Direct Current Resistivity Prospecting*. Geoexploration monographs, No. 1, Gebrüder Borntraeger, Berlin-Nikolassee
- Li Y, Oldenburg DW** (1991): Aspects of charge accumulation in DC resistivity. *Experiments: Geophysical Prospecting* 39, 803-826.
- Loke MH** (1994): The inversion of two-dimensional apparent resistivity data. Unpubl. Ph. D. thesis, University of Birmingham (U.K.)
- Loke MH** (1999): RES2DMOD ver. 2.2. Rapid 2D resistivity forward modelling using the finite difference and finite-element methods. Wenner (alpha, beta, gamma), inline & equatorial dipole-dipole, pole-pole, pole-dipole and Wenner-Schlumberger. Freeware courtesy of M. H. Loke
- Lögn Ö** (1954): Mapping nearly vertical discontinuities by earth resistivities. *Geophysics* 19, 739–760.
- Maillet R, Doll HG** (1932): Sur un Théorème Relatif aux Milieux Électriquement Anisotropes et ses Applications à la Prospection Électrique en Courant Continu: *Ergänzungshefte für Angewandte Geophysik*, 109–124.
- Martinelli HP, Osella A, De la Vega M és Pinio A** (2018): Different techniques for the assessment of geoelectrical data errors to improve the electrical images obtained at an industrial plant. *Near Surface Geophysics* 16(3), 238-256.
- März Gy, Pongrácz J, Szarka L** (1986): Electromagnetic scale modelling instrument for geophysical prospecting. *Scientific instrumentation* 1, 119-133.
- Matveev BK** (1990): *Electrical Prospecting*. Nedra, Moscow (In Russian)
- Meidav TSVI** (1970): Arrays and nomograms for electrical resistivity exploration. *Geophysical Prospecting* 18, 550–563.
- Metwaly M, El-Qady G, Matsushima J, Szalai S, Al-Arifi NS és Taha A** (2008): Contribution of 3-D electrical resistivity tomography for landmines detection. *Nonlin. Processes Geophys.* 15, 977-986.
- Militzer H, Rösler R és Losch W** (1979): Theoretical and experimental investigations for cavity research with geoelectrical resistivity methods. *Geophysical Prospecting* 27, 640–652.
- Mogilatov V, Balashkov D** (1996): A new method of geoelectrical prospecting by vertical electric soundings. *Journal of Applied Geophysics* 36, 31–44.
- Mousatov A, Pervago E és Shevnin V** (2002): Anisotropy determination in inhomogeneous media by tensor measurements of the electric field. 72nd SEG Meeting, Salt-Lake City, Nevada, USA
- Noel M, Xu B** (1991): Archeological investigation by electrical resistivity tomography: a preliminary study. *Geophys. J. Int.* 107, 95-102.
- Nyári Zs, Kanli AI** (2007): Imaging of buried 3D objects using electrical profiling methods with GPR and 3D geoelectrical measurements. *Journal of Geophysics and Engineering* 4, 83-93.
- Oldenburg DW, Li Y** (1999): Estimating depth of investigation in DC resistivity and IP surveys. *Geophysics* 64, 403-416.
- Ovchinnikov IK** (1956): On the Theory of the Distribution of Current from Point and Linear Earthings or on Inhomogeneous Halfspace. *Izv. Akad. Nauk. USSR. Ser. Geofiz.* No. 4.
- Palmer LS** (1960): Geoelectrical surveying of archeological sites. *Proceedings of the Prehistoric Society* 26, 64–75.
- Panissod C, Dabas M, Hesse A, Jolivet A, Tabbagh J és Tabbagh A** (1998): Recent developments in shallow-depth electrical and electrostatic prospecting using mobile arrays. *Geophysics* 63, 1542–1550.
- Peschel G** (1967): A new favourable combination of resistivity sounding and profiling in archeological surveying. *Prospezione Archeologica* 2, 23–28.
- Prácsér E** (1998): Pontforrás potenciáljának számítása kétdimenziós modell esetén. *Magyar Geofizika* 39(4), 127-132.
- Prácsér E** (2018): *Geoelektromos és elektromágneses módszerek*. Kézirat.
- Rabinovich BI, Kegutin PG** (1962): Electrical sounding by field subtraction method. *Geology and Geophysics* 5, 107–119. (In Russian)
- Roy A** (1972): Depth of investigation in Wenner, three electrode and dipole-dipole dc resistivity methods. *Geophysical Prospecting* 20, 329–340.
- Roy A, Apparao A** (1971): Depth of investigation in direct current methods. *Geophysics* 36, 943–959.

- Rylov AA, Karinskaya ID** (1981). Programs for Forward and Inverse Problem Solution for VES and IP-VES for Computers. ES series. Moscow (In Russian)
- Salát P** (1975): Elektromos geofizikai kutatómódszerek. Egyetemi jegyzet. Tankönyvkiadó Budapest
- Sapuzhak JS** (1967): Higher Derivatives of the Electrical Potential in Geophysical Prospecting. Naukova Dumka, Kiev (In Russian)
- Sapuzhak JS** (1977): Divergent Electrical Prospecting. Naukova Dumka, Kiev (In Russian)
- Shevnin VA, Bobachev AA, Modin IN és Pervago EV** (1999): Interpretation of resistivity sounding data-distorted by geological noise. 61<sup>st</sup> EAGE Meeting 1999. P027
- Schulz R** (1985): Interpretation and depth of investigation of gradient measurements in direct current geoelectrics. Geophysical Prospecting 33, 1240–1253.
- Schwarz GT** (1961): The Zirkelsonde, a new technique for resistivity surveying. Archeometry 4, 67–70.
- Seigel HO, Hill HL és Baird JG** (1968): Discovery case history of the pyramid ore bodies pine point northwest territories Canada. Geophysics 33, 645–656.
- Semenov AS, Shevnin V** (1994): Electrical Prospecting by Resistivity Method. Moscow State University, Moscow (In Russian)
- Shabanov BA** (1960): Circular array for direct current electrical sounding. Prikladnaya Geofizika 26, 70–77. (In Russian)
- Spitzer K** (1998): The three-dimensional DC sensitivity for surface and subsurface sources. Geophys. J. Int. 134, 734-746.
- Spitzer K, Kümpel HJ** (1997): 3D FD resistivity modelling and sensitivity analyses applied to a highly resistive phonolitic body. Geophysical Prospecting 45, 963-982.
- Stummer P, Maurer H és Green AG** (2004): Experimental design: Electrical resistivity data sets that provide optimum subsurface information. Geophysics 69(1), 120–139.
- Szalai S** (1993): Sokelektrodás egyenáramú mérések szivárgások megfigyelésére. Diplomamunka. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest
- Szalai S** (1997): 3D parameter-sensitivity of d.c. dipole arrays. EAGE 59<sup>th</sup> Meeting 1997. P136
- Szalai S, Kis Á, Metwaly M, Lemperger I és Szokoli K** (2015): Increasing the Effectiveness of Electrical Resistivity Tomography Using  $\gamma_{11n}$  Arrays. Geophysical Prospecting 63(2), 508-524.
- 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, 51-62.
- Szalai S, Kósa I, Nagy T és Szarka L** (2009a): Effectivity enhancement of azimuthal geoelectric measurements in determination of multiple directions of subsurface fissures, on basis of analogue modelling experiments. 15th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Proceedings & Exhibitors' Catalogue Near Surface 2009, P25.
- Szalai S, Kovács L, Kuslits L, Facsók G, Gribovszki K, Kalmár J és Szarka L** (2018): Characterisation of fractures and fracture zones in a carbonate aquifer using Electrical Resistivity Tomography and Pricking Probe methods. Journal of Geoscience and Environment Protection 6, 1-21.
- Szalai S, Lemperger I, Metwaly M, Kis Á, Wesztergom V, Szokoli K és Novák A** (2014a): Multiplication of the depth of detectability using  $\square_{11n}$  arrays. Journal of Applied Geophysics 107, 195-206.
- Szalai S, Lemperger I, Pattantyús-Abrahám M és Szarka L** (2011): The standardized pricking probe surveying and its use in Archaeology. Journal of Archaeological Science 38, 175-182.
- Szalai S, Novák A és Szarka L** (2009b): Depth of Investigation and vertical resolution of surface geoelectric arrays. Journal of Engineering and Environmental Geophysics 14, 15-23.
- Szalai S, Novák A és Szarka L** (2011): 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, 1398-1404.
- Szalai S, Szarka L** (2000): An approximate analytical approach for computing geoelectric response due to a small buried cube. Geophysical Prospecting 48, 871-885.
- Szalai S, Szarka L** (2006): Parameter sensitivity maps of surface geoelectric arrays. ICEEG, Wuhan, Chine, Geophysical solutions for environment and engineering, Vol. 1. Science Press USA, Inc, 260-264.
- Szalai S, Szarka L** (2008a): Parameter sensitivity maps of surface geoelectric arrays, I. linear arrays. Acta Geod. Geoph. Hung. 43(4), 419–437.
- Szalai S, Szarka L** (2008b): Parameter sensitivity maps of surface geoelectric arrays, II. Nonlinear and focussed arrays. Acta Geod. Geoph. Hung. 43(4), 439–447.
- Szalai S, Szarka L** (2008c): On the classification of surface geoelectric arrays. Geophysical Prospecting 56(2), 159–175.
- Szalai S, Szarka L** (2011): New perspectives for two-dimensional multielectrode measurements, on basis of once-developed geoelectric arrays. Journal of Applied Geophysics 75, 1–8.
- Szalai S, Szarka L, Marquis G, Sailhac P, Kaikkonen P és Lahti I** (2004): Colinear null arrays in geoelectrics. Proceedings of the 17th S.3-P.3 IAGA WG 1.2 on Electromagnetic Induction in the Earth Workshop, Hyderabad, India
- Szalai S, Szarka L, Prácsér E, Bosch F, Müller I és Turberg P** (2002): Geoelectric mapping of near-surface karstic fractures by using null arrays. Geophysics 67, 1769–1778.
- Szalai S, Szarka L, Révi G és Varga M** (2006a): Geoelectric investigation of a pluridirectional fissure system in a karstic area. ICEEG, Wuhan, China, Geophysical solutions for environment and engineering, Vol. 1. Science Press USA Inc. 287-291.
- Szalai S, Szokoli K és Metwaly M** (2014b): Delineation of landslide endangered areas and mapping their fracture systems by the pressure probe method. Landslides 11(5), 923-932.



- Szalai S, Szokoli K, Metwaly M, Gribovski Z és Prácser E** (2017): Prediction of the location of future rupture surfaces of a slowly moving loess landslide by electrical resistivity tomography. *Geophysical Prospecting* 65, 596–616.
- Szalai S, Veress M, Novák A és Szarka L** (2006): Geofizikai vizsgálatok fedett karszton (Homód-árok, Bakony). *Karsztfeljlődés XI. Szombathely*, 153-170.
- Szarka L** (1980): Analog modelling of the potential mapping method (in Hungarian). *Magyar Geofizika* 21(5), 193-200.
- Szarka L** (1978): Potenciálterképezés analóg modellezése. *Magyar Geofizika* 21(5), 193-200.
- Szarka L** (1990): A Coulomb-törvény: a geoelektromos anomáliák alapja. *Magyar Geofizika* 31, 1-10.
- Szarka L** (1992): Comment on 'Aspects of charge-accumulation in D.C. resistivity experiment' by Y. Li and D.W. Oldenburg. *Geophysical Prospecting* 40(7), 823-828.
- Szarka L** (1994): Possibilities of three-dimensional geological structures by using electromagnetic geophysical methods. Thesis for the degree of Doctor of Science. Hungarian Academy of Sciences, Budapest
- Szarka L** (1997): Környezet-geofizika. Egyetemi jegyzet, NYME, Sopron
- Szarka L, Menvielle M** (1999): A possibility for an enhanced 3D parameter-sensitivity - the keyhole imaging. *Geophysical Prospecting* 47, 59-71.
- Szarka L, Nagy Z** (1992): A possibility of an electromagnetic technique to locate oil reservoir boundaries on basis of analogue modelling experiments. *Acta Geod. Geoph. Mont. Hung.* 27, 131-138.
- Szokoli K** (2017): Egyenáramú geoelektromos elrendezések kétdimenziós leképezési tulajdonságainak vizsgálata analóg és numerikus modellezéssel. Doktori értekezés, NYME, Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola
- Szokoli K, Szarka L, Metwaly M, Kalmár J, Prácser E és Szalai S** (2018): Characterisation of a landslide by its fracture system using Electric Resistivity Tomography and Pressure Probe methods. *Acta Geod Geophys.* 53(1), 15-30.
- Takács E** (1981): Geoelektromos kutatómódszerek I. és II. Egyetemi jegyzet. Tankönyvkiadó Bp, 1979. (p. 208) és (p. 271)
- Takács E** (2003): Possibilities of electric sounding by vertical electric dipole at the earth's surface. "Earth electromagnetism", Sopron, June 20–21 (in Hungarian)
- Takács E, Hursán G** (2000): Háromdimenziós inhomogenitások indikációi a béléscső-elektroda elektromágneses terének szekunder komponenseiben. *Magyar Geofizika* 41.
- Tarkhov AG** (1957): On electric geophysical exploration methods of the pure anomaly. *Bull. Izv. Akad. Sc. USSR*, 8, 11.
- Tarkhov AG** (1980): *Electrical Prospecting*. Nyedra, Moscow
- Taylor RW, Fleming AH** (1988): Characterizing jointed systems by azimuthal resistivity surveys. *Ground Water* 26, 464–474.
- Telford WM, Geldart LPRE és Keys DA** (1976): *Applied Geophysics*. Cambridge University Press
- Tsokas GN, Tsourlos PI, Szymanski JE** (1997): Square array resistivity anomalies and inhomogeneity ratio calculated by the finite element method. *Geophysics* 62, 426–435.
- Uhlemann S, Wilkinson PB, Maurer H, Wagner FM, Johnson TC és Chambers JE** (2018): Optimized survey design for electrical resistivity tomography: combined optimization of measurement configuration and electrode placement. *Geophysical Journal International* 214(1), 108–121.
- Van Nostrand RG és, Cook KL.**(1966): Interpretation of Resistivity Data. Geological Survey professional paper 499. US Government Printing Office, Washington DC
- Varga M, Novák A és Szarka L** (2008): Application of tensorial electrical resistivity mapping to archaeological prospection. *Near Surf. Geophys.* 1, 39–48.
- Verma SK, Manglik A, Krishna MurthyN, Ananda RV, Bhatt KM, Chandra S, Tezkan B, Harinarayana T, Scholl C, Patro PK és Dutta S** (2009): Comparative efficiency of various electrical and electromagnetic methods in mapping shallow 3-D conductors encountered in urban geophysical problems. *Eos Trans. AGU* 90 (52), Fall Meet. Suppl, Abstract NS22A-04.
- Ward SH** (1990): Resistivity and induced polarization methods. In: *Geotechnical and Environmental Geophysics. Volume I: Review and Tutorial* 147–190. SEG, Tulsa, OK
- West SS** (1940): Three-layer resistivity curves for the Eltran electrode configuration. *Geophysics* 5, 43–46.
- West TS, Beacham CC** (1944): Precise measurement of deep electrical anomalies. *Geophysics* 9, 494–539.
- Weyl FG** (1967): Das tripol field: Eine neue geoelektrische Messtechnik. *Geoexploration* 5, 145–155.
- Whiteley RJ** (1972): The resistivity method of geophysical prospecting. M.Sc. thesis, University of Sydney
- Whiteley RJ** (1973): Electrode arrays in resistivity and IP prospecting: A review. *Bulletin of the Australian Society of Exploration Geophysicists* 4, 1–29.
- Wilkinson PB, Chambers J, Lelliott M, Wealthall GP és Ogilvy RD** (2008): Extreme sensitivity of crosshole electrical resistivity tomography measurements to geometric errors. *Geophysical Journal International* 173(1), 49-62.
- Wilkinson PB, Meldrum PI, Chambers JE, Kuras O, és Ogilvy RD** (2006): Improved strategies for the automatic selection of optimised sets of electrical resistivity tomography measurement configurations. *Geophys. J. Int*, 1119-1126.
- Winter H** (1994): Tensor-Geoelektrik an der Kontinentalen Tiefbohrung. Dissertation, Universitaet Frankfurt am Main, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 8 "Meß-, Steuerungs- und Regeltechnik", Nr.379, VDI-Verlag, Düsseldorf
- Yadav GS, Singh CL** (1983): The linear quadrupole-dipole array in geoelectrical prospecting. *Geophysics* 48, 1135–1139.
- Yakubovsky JV, Liahov LL** (1982): *Electrical Prospecting*. Nyedra, Moscow
- Zhdanov MS, Keller GV** (1994): *The Geoelectrical Methods in Geophysical Exploration*. Elsevier. p. 873.
- Zohdy A** (1969): The use of Schlumberger and equatorial soundings in groundwater investigations near El Paso. *Geophysics* 34, 713–728.
- Zonge KL, Hughes LJ** (1991): Controlled source audio-frequency magnetotellurics. *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics. Vol.2*, edited by Nabighian, M.N, 713-809. Society of Exploration Geophysicists.