

A hazai geoelektromos kutatások története¹

ÁDÁM ANTAL², NAGY ZOLTÁN³, NEMESI LÁSZLÓ⁴, TAKÁCS ERNŐ⁵

A. ÁDÁM, Z. NAGY, L. NEMESI, E. TAKÁCS: History of the geoelectrical prospecting in Hungary

I. A GEOELEKTROMOS MŰSZER- ÉS MÓDSZERFEJLESZTÉS EREDMÉNYEI

A tanulmány további fejezetei: „A geoelektromos módszerek hozzájárulása a hazai földtani-geofizikai kutatás eredményességéhez” és „Jelentősebb nemzetközi kapcsolatok és együttműködések” a Magyar Geofizika későbbi számaiban jelennek meg.

Bevezetés

A geoelektromos módszereknek több olyan jellegzetességük van, amelyek módosulatait rendkívül gazdaggá, alkalmazási körét pedig rendkívül szélessé teszik. Az elektromágneses térerősségre három anyagi állandó is hatással van. Közülük a fajlagos ellenállás a meghatározó. Jólal korlátozottabb a dielektromos állandó és még inkább a mágneses permeabilitás hatása. A kőzetek fizikai paraméterei közül egyébként a fajlagos ellenállás a legváltozékonyabb és emellett sok nagyságrendet fog át. A mérhető — és a földtani információtartalomban egymást kiegészítve olykor más jellegű — fizikai mennyiségekben is nagyobb a választék. Ezek a mágneses és elektromos térerősség három összetevőjének amplitúdói, fázisai — valós és képzetes részei —, különböző relatív értékeik, vagy csillapítási tényezőjük. A kutatásban alapozhatunk a Föld természetes elektromágneses terére, de mesterséges tér is létrehozható. Az utóbbi különféle orientációjú elektrodákön keresztül árambevezetéssel, vagy változtatható helyzetű hurkokkal és tekercsekkel indukció útján valósulhat meg. A kutatási mélység az adó és a vevő távolságának változtatásával — geometriai szondázás —, és a szkin hatás alapján a tápáram frekvenciájának változtatásával is — frekvenciaszondázás — szabályozható. Kis adó-vevő távolságnál, vagy igen nagy frekvenciákat használva a kutatási mélység néhány méterre korlátozható. Igen nagy adó-vevő távolságot — de főként a földi elektromágneses tér igen nagy periódusidejű változásait — használva akár a kéreg, esetleg köpeny mélységtartománya is elérhető.

A fentiekből következik, hogy a geofizikai kutatás szinte minden feladatához jó eséllyel kifejleszthetők a földtani modell sajátosságaihoz illeszkedő geoelektromos módszerek, amennyiben tisztázottak a földtani szerkeze-

tek és az elektromágneses tér kölcsönhatásának elvi kérdései, valamint rendelkezésre állnak a megfelelő műszerek, számítógépek.

A magyar geofizikusok sok más országgal összevetve talán jobban — sokszor az elsők között — éltek a geoelektromos módszerek lehetőségeivel. A rohamos fejlődéssel lépést tartva a lehetséges legkorszerűbb módszerekkel igyekeztek a földtani kutatás igényeit kielégíteni. A hazai geoelektromos kutatások fejlesztésének irányát döntően ezek az igények szabták meg.

Az 50-es évek elején a legerősebb igényt a szénhidrogén-kutatás jelentette. KÁNTÁS Károly, a soproni Geofizikai Tanszék alapító professzora jó érzékkel választotta ki ehhez a tellurikát. Vele nemcsak azt érte el, hogy az olajipar egészen a 90-es évek elejéig a geoelektromos módszerfejlesztés legfontosabb ösztönzője és támogatója lett, hanem végső fokon ez vezetett a mai MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet megalapításához is.

A 60-as évek második felében a bauxitkutatás kihívásai hoztak dinamikus fejlődést, ami a legkorszerűbb módszerek, műszerek sorozatával tette gazdagabbá a hazai geoelektrika fegyvertárát. Velük a bauxit-geofizika nemzetközileg elismert eredményeket produkált. Sokat profitált azután ebből a köszönkutatás is.

A 60-as évek közepétől a mintegy 15 évig folyó érckutató programok során is jelentős módszer- és műszerfejlesztésre volt szükség, ami ma a vízkutatásban és a környezetvédelmi kutatásban kamatozik.

A folyamatosan meglévő víz- és mérnökgeofizikai, majd a 90-as évektől a rohamosan növekvő környezetvédelmi igény a kis kutatási mélységű módszerek fejlesztését ösztönözte.

A szilárd ásványi nyersanyagok bányászatának beszűkülése a 90-es évekre jelentős változásokat hozott. Egyes geoelektromos kutatóhelyek megszűntek, viszont több, kisebb szervezet alakult. Ezzel egy időben az állami szervezeteknél csökkent a terepi mérések lehetősége. A megmaradt kutatási kapacitás ésszerű kihasználása lett az adatbázisok létrehozása. Nagy előrehaladás történt az inverziós módszerek fejlesztésében. A hazaiak mellett elérhetővé váltak a legkorszerűbb külföldi értelmező programcsomagok is. A régi mérési adatoknak a mai 2- és 3-D-s inverziós programokkal történő újraértelmezése sok esetben módosította és jelentősen gazdagította korábbi földtani-geofizikai ismereteinket.

Alapításuk sorrendjében megadva az alábbi kutatóhelyek és jogelődjeik foglalkoztak geoelektromos módszer-, műszerfejlesztéssel és terepi mérésekkel:

¹ Beérkezett: 2003. december 16-án

² MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet,

H-9400 Sopron, Csatka u. 6–8.

³ H-1124 Budapest, Vércse u. 6.

⁴ H-1145 Budapest, Újvidék u. 61.

⁵ Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszék,

H-3515 Miskolc, Egyetemváros

- Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (ELGI, 1907);
- Eötvös Loránd Tudományegyetem Geofizikai Tanszéke (ELTE-GT, 1951);
- Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszéke (ME-GT, 1951);
- MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet (GGKI, 1955);
- OKGT GKÜ (1963–1978), illetve GKV (1979–1991) Geoelektromos Osztálya (GKÜ, GKV);
- Mecseki Ércbányászati Vállalat — korábban Bauxitbánya V., majd Pécsi Uránércbánya V. — Geofizikai Részlege (MÉV);
- ELGOSCAR Kft. (1991), KBFI-TRIASZ Kft. (1989), TERRATEST Kft. (1990) és más, kisebb vállalkozások.

Voltak azonban geoelektromos mérései a Vízügyi Tudományos Kutató Intézetnek, az Országos Földtani Kutató és Fúró Vállalatnak, az Észak-magyarországi Vízügyi Igazgatóságnak és több bányavállalatnak is. Ma mintegy tíz kft. foglalkozik geoelektromos méréssel. A későbbiekben azonban csak a fent kiemelték szerepelnek.

1. A Föld természetes elektromágneses terét használó módszerek

A földi elektromágneses tér széles frekvenciasávú változásainak felfedezése merőben új lehetőségeket nyitott a geoelektromos kutatásban. Rendelkezésre áll egy olyan áramrendszer, amivel addig elképzelhetetlen kutatási mélység érhető el saját energiaforrások használata nélkül. A kutatás szempontjából kedvező az is, hogy az áramrendszer iránya változó és így több irányból „világítja meg” a földtani szerkezeteket.

1.1. Tellurikus mérések

1. A térerősség elektromos és mágneses komponensei közül az elektromos mérése a könnyebb. Regisztrálása érzékeny galvanométerekkel erősítés nélkül is megoldható. Így először a tellurikus módszert fejlesztették ki.

A földtani felépítés az elektromos térerősség nagyságára és irányára van hatással. A földi térerősség szintjének állandó változása miatt csak relatív — egy állandó helyzetű bázisontra vonatkoztatott — mérésről lehet szó. Az áramrendszer változó irányaira azt kell meghatározni, hogy azonos időben az egyes mérőállomásokon mekkora az elektromos térerősségvektor nagyság- és iránybeli eltérése a bázison mérthez képest. Ehhez a bázisállomáson és a mozgó állomáson azonos időben regisztrálják az elektromos térerősség két-két komponensét.

A franciák után hazánk az elsők között alkalmazta ezt az új módszert üledékes medencékben az üledék átlagos horizontális vezetőképessége (S) területi változásainak térképezésére. A bevezetésére irányuló fejlesztő munkát a szénhidrogén-kutatási alkalmazás szándékával KÁNTÁS Károly professzor indította el a soproni Geofizikai Tanszéken az MTA Geodéziai és Geofizikai Munkaközösségének keretében 1951-ben [KÁNTÁS 1954].

2. Az első feladatot a műszerépítés jelentette. A kísérleti műszer a Geodéziai és Bányamérési Tanszék műhelyében készült el a fúrólyuk-szelvényezésnél használt Picard

galvanométerek és egy szeizmikus műszer átalakított regisztrálóegységének kombinációjaként. Az első mérések 1952-ben a Sopron és Kópháza közötti országút mentén történtek két érintkező, szelvényirányú terítéssel a dőlésirányú térerősség arányának lépésenkénti meghatározására [EGERSZEGI, TAKÁCS 1954]. Ezt követően egy francia galvanométeres orvosi műszer átalakításával elkészült a második egység. Így 1953-ban az ELGI technikai és személyi segítségével a Mihályi szerkezeten már bázisállomással történtek a mérések. 1954–55-ben olajipari támogatással a nagylengyeli mezőn és a Balatontól D-re, Buzsák környékén voltak kísérleti mérések. Tapasztalataik alapján tervezték meg a sorozatgyártásra alkalmas tellurikus műszert (T-9, majd T-14) [ÁDÁM 1958]. A fejlesztéses következő állomásaként a 60-as évek elején a műszert egy olyan adapterrel egészítették ki, ami az ún. totális változások meghatározásával lényegében terepi adatfeldolgozást végzett a méréssel egy időben (T-20) [ÁDÁM, BENCZE 1964]. A nagyszámú külföldi — döntően kínai — igény miatt a tellurikus műszerek gyártására a Geofizikai Mérőműszerek Gyára Sopronban egy részleget hozott létre, amely az 1970-es évek elejéig működött.

Az ELGI kezdetben a sopronihoz hasonló, saját fejlesztésű műszerekkel kezdte meg kísérleti tellurikus méréseit 1954 és 1958 között a Bugyi szerkezeten, Tóalmás, Nagykáta, Nagykörös, Biharnagybajom vidékén [SEBES-TYÉN 1956]. A megnövekedett mérési igény miatt műszerparkját 1964-ben bővítette a sorozatban gyártott T-14 fotóregisztrálókkal. Az 1970-es évek végén azután kifejlesztették az analóg műszereknél érzékenyebb, zajszűrőkkel rendelkező, a bázis- és mérőállomás között automatikus szinkronizálást biztosító, digitális TEM-80 elnevezésű műszert, amely a totális változások elve alapján mérés közben végzi el a teljes adatfeldolgozást [BORSÁNYI et al. 1981].

3. A tellurikus módszernél olyan periódusidejű változásokat regisztrálunk, amelyek az ún. S tartományba esnek. Ez azt jelenti, hogy behatolási mélységük eléri az igen nagy fajlagos ellenállásúnak feltételezett medencealjzatot. A mozgó és a bázisállomás térerősség-komponensei közötti matematikai összefüggésnek ekkor csak valós együtthatói vannak — a mért adatokból ezeket kell kiszámítani —, ami nagymértékben megkönnyíti az adatfeldolgozást [ERKEL 1961]. Végeredményeként az együtthatókból állomásonként egy ellipszist — a totális változások módszerénél az ún. abszolút ellipszist — kapunk. Az egyes állomásokon és a bázison a szinkron méréssel kapott ellipszisterületek aránya — area érték — az elektromos térerősségnek a bázishoz viszonyított megváltozását reprezentálja. Az abszolút ellipszis tengelyeinek iránya a szerkezeti főirányokkal van kapcsolatban [LANDY, LANTOS 1976]. A törvényszerűségek megállapítására a GGKI-ben fizikai modellt építettek [ÁDÁM 1962]. Az adatfeldolgozás hatékonyabbá és pontosabbá tétele érdekében a kezdeti — a pulzációk vizuális válogatásával és kiolvasásával járó — kézi feldolgozás helyett az 50-es évek második felében kiolvasó berendezéseket konstruáltak [TAKÁCS 1960, VERŐ 1960], majd a T-20 és a TEM-80 műszer teljesen automatikussá tette az adatfeldolgozást.

A jól vezető fedő üledékes összlet és az igen nagy fajlagos ellenállású medencealjzat modelljének teljesülésekor az area érték az üledékes összlet átlagos horizontális vezetőképességének — S értékének — a bázishoz viszonyí-

tott megváltozását tükrözi, ami az üledék vastagsága és az üledék átlagos fajlagos ellenállása hányadosának megváltozását jelenti. A relatív S érték területi eloszlását ábrázolják az areatérképek. Hamarosan megjelent az a törekvés, hogy ezt a viszonyított értéket tényleges S értékévé, de még inkább az üledékes összlet vastagságtérképévé alakítsák át. Ez akkor érhető el, ha a mérési terület több pontján ismerjük az üledék vastagságának és átlagos horizontális vezetőképességének tényleges értékét. Ezekből azután az üledék átlagos fajlagos ellenállása is levezethető. Ilyen adatokra csak a mélység szerint is felbontást adó elektromos módszerekkel és mélyfúrásokkal juthatunk [SZABADVÁRY 1965, ERKEL 1965]. A fenti cél elérésére az ELGI a 60-as évek elejétől a tellurikus méréseket nagy mélységű, egyenáramú dipól-ekvatoriális mélyszondázásokkal kombinálta. Kiderült, hogy szinte mindig számolni kell az üledék átlagos fajlagos ellenállásának területi változásával és gyakran a földtani felépítés nem a feltételezett alapmodell szerinti. Így például nem végtelen az aljzat fajlagos ellenállása, vagy az üledékes összleten belüli nagy ellenállású rétegek vehetik át a vezérszint szerepét [NEMESI 1986]. Nagyobb területek felmérése után meg lehetett állapítani, hogy az alapmodellnek megfelelő és az attól eltérő, különböző sajátosságú területeket az area- S , az area-Bouguer-anomália, area-aljzattmélység plotok alapján szét lehet választani [NAGY 1967, NEMESI 2000a, KOVÁCSVÖLGYI, OCSÉNÁ 2000].

4. 1955 végén a T-9 műszer elkészülte után és az addigi mérési tapasztalatok alapján a módszert érdemesnek ítélték arra, hogy helyet kapjon azon a pekingi, a magyar olajipari kutató- és termelőeszközöket bemutató kiállításon, amelyet terepi mérés is követett. Eredményeként az 1956 őszén indult Kínai–Magyar Geofizikai Expedíciónak tellurikus csoportja is lett, amely 1959 szeptemberéig 1800 állomást mért be és átadta a módszert a kínai szakembereknek. Az expedícióval egy időben mintegy 60 műszer exportja is megindult Kínába [TAKÁCS 2001].

Az ELGI-ben 1954-ben vezették be a módszert, amelyben szerepe volt azoknak az 1953-ban elsőként végzett geofizikus-mérnököknek, akik a földi elektromágneses tér témakörben készítették diplomaturvüket és később az intézeti kutatások irányítói lettek [ANNAU et al. 1954].

1963-ban az olajipari célú geoelektromos mérések végzésére megalakult az OKGT Kutatási Üzemének Geoelektromos Csoportja és tellurikus mérésekkel kezdte meg működését [NAGY 1972].

1960-tól főként olajipari, de költségvetési támogatással is megkezdődött az ország területének tellurikus térképezése. Az ÉK sávon 1963-ig az ME-GT dolgozott. Az Alföld és a Dunántúl egyes területrészeit az olajkutatási programok sorrendjében az ELGI és a GKV fedte le mérésekkel. 1979-ben a GKV befejezte, az ELGI pedig a 70-es évek közepén néhány évig szüneteltette a tellurikus méréseket. A folytatás zömében már az új, korszerű TEM-80 műszerrel történt. A legutolsó mérés 1994-ben volt [NAGY et al. 2000].

A GGKI tellurikus mérései mindig valamilyen speciális célt és a módszerfejlesztést is szolgálva történtek. A koraiak közül ilyen volt például az obszervatórium helyének kijelölésére végzett mérés, vagy a legutóbbi a Paks környékén a földtani kockázatot vizsgáló mérés [ÁDÁM, VERŐ 1990]. 1959-től mintegy 10 éven át foglalkoztak az ország

nagy állomásközü, regionális relatív tellurikus frekvenciaszondázási térképének elkészítésével. A gondolatot és lehetőséget a Sopronban készített sok műszer ellenőrző mérései adták, amelyeket több napos regisztrálással végeztek. Az obszervatóriumot bázisként használva évről évre bővítették az alappontok számát. A hosszú idejű regisztrálással lehetőség volt arra is, hogy a szokásosan használt nappali periódusidők mellett hosszabb periódusidőkre is ellipsziseket szerkesszenek. Meglepetésre az ország néhány területén az areaérték jelentős csökkenést mutatott a periódusidő növekedésével. Ezek voltak a később intenzíven kutatott jólvezető zónák első indikációi [ÁDÁM, VERŐ 1962, WALLNER 1960].

A tellurikus mérési teljesítmény — különösen az első műszereknél — nagymértékben függött a pulzációs aktivitás szintjétől. A kedvező mérési időszakok kiválasztását a GGKI előrejelzéssel segítette [VERŐ 1968, ÁDÁM, HOLLÓ 1973].

A tellurikus kutatás 40 éve alatt az ország medenceterületeinek kb. 80–85%-át fedte le a mérések hálózata. A Duna–Tisza közén azonban mintegy 10 000 km²-en nem volt tellurikus mérés. A mérések eredményei a Tiszántúl tellurikus térképének [NEMESI, HOBOT 1981] és a Dunántúl tellurikus térképének megjelenítésével [NEMESI 2000b] váltak igazán közkinccsé. Az országos tellurikus adatbázisban 16 509 állomás adatai szerepelnek.

HIVATKOZÁSOK AZ 1.1. FEJEZETHEZ

- ÁDÁM A. 1958: Über ein modifiziertes tellurisches Schurfgerät und dessen Verwendung zu tellurischen Untersuchungen grossen Ausmasses. Freiburger Forschungshefte C 45
- ÁDÁM A. 1962: Földiárammodell. Geofizikai Közlemények **10**, 1–4
- ÁDÁM A., BENCZE P. 1964: Ein Gerät zur Summierung des absoluten Wertes der Feldänderungen (Totalvariationen) bei tellurischen und magnetotellurischen Messungen. Bergakademie **16**, 1
- ÁDÁM A., HOLLÓ L. 1973: On the prognosis on micropulsations activity 27 days recurrence tendency, connection between activity indices and spectra. Acta Geod. Geoph. Mont. Hung. **8**, 1–2
- ÁDÁM A., VERŐ J. 1962: Az országos földiárammérések adatainak feldolgozása és térképi ábrázolása. Magyar Geofizika **3**, 1–2
- ÁDÁM A., VERŐ J. 1990: Application of the telluric and magnetotelluric methods in selection of sites for nuclear plants. Proc. Indian Acad. Sci. (Earth Planet. Sci.)
- ANNAU E., ERKEL A., SZABADVÁRY L. 1954: A földi mágnestér gyors változásai és a tellurikus áramok közötti összefüggések vizsgálata. Bányászati Lapok **87**, 10
- BORSÁNYI A., NEMESI L., SZÉLES G. 1980: TEM-80 tellurikus műszer. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1981. évi jelentése
- EGERSZEGI P., TAKÁCS E. 1954: A tellurikus kutatások gyakorlati kivitele. Bányászati Lapok **87**, 11
- ERKEL A. 1961: A tellurikus mérések kiértékelési módszereinek összehasonlítása. Magyar Geofizika **2**, 1
- ERKEL A. 1965: A vezérszint meghatározása tellurikus mérések-nél. Magyar Geofizika **6**, 2
- KÁNTÁS K. 1954: A hazai tellurikus kutatások eredményei és kilátásai. Bányászati Lapok **87**, 12

- KOVÁCSVÖLGYI S., OCSENÁS P. 2000: Statistical analysis of the geophysical parameters. *Geophysical Transactions* **43**, 3–4
- LANDY I., LANTOS M. 1976: Tektonikai egységek lehatárolása tellurikus mérésekkel. *Magyar Geofizika* **17**, 4
- NAGY Z. 1967: $S(H)$ függvények alkalmazása a geoelektromos és szeizmikus mérések eredményeinek komplex értelmezésében. *Magyar Geofizika* **8**, 4
- NAGY Z. 1972: Geoelektromos mérések. *In: A felszíni geofizikai kutatás 20 éve a kőolajiparban.* GKÜ kiadás
- NAGY Z., NEMESI L., VERŐ J. 2000: History of telluric exploration in Transdanubia. *Geophysical Transactions* **43**, 3–4
- NEMESI L. 1986: Mélységtérképek szerkesztése nem S intervallumban végzett tellurikus mérések felhasználásával. *Magyar Geofizika* **27**, 2
- NEMESI L. 2000a: Correlation between the telluric conductance values and the Bouguer anomaly values. *In: Telluric map of West Hungary.* *Geophysical Transactions* **43**, 3–4
- NEMESI L. 2000b: Telluric map of West Hungary. *Geophysical Transactions* **43**, 3–4
- NEMESI L., HOBOT J. 1981: A Tiszavidék és a Tiszántúl mélyszerkezetének geoelektromos kutatása. *Geofizikai Közlemények* **27**
- SEBESTYÉN K. 1956: Tellurikus áramregisztráló berendezés. *Geofizikai Közlemények* **5**, 1
- SZABADVÁRY L. 1965: Ellenállás korrekció alkalmazása a tellurikus mérések értelmezésénél. *Magyar Geofizika* **6**, 2
- TAKÁCS E. 1960: Eljárás tellurikus mérések adatainak gyors feldolgozására (kínai nyelven). *Diquiuvuli Kantan* **5**
- TAKÁCS E. 2001: A Kínai–Magyar Geofizikai Expedíció Tellurikus Csoportjának munkája 1956-tól 1959-ig. *A Miskolci Egyetem Közleménye, Geotudományok* **56**
- VERŐ J. 1960: Determination of the telluric station ellipses. *Gerlands Beitr. Geophys.* **69**, 5
- VERŐ J. 1968: Az elektromágneses tér pulzációinak előrejelzéséről. *Geofizikai Közlemények* **17**, 1–2
- WALLNER Á. 1960: A Nagycenki Observatórium, mint tellurikus bázisállomás. *Magyar Geofizika* **1**, 2

1.2. Magnetotellurikus mérések

1. A tellurika a síkhullámú tér frekvenciától és a rétegsor vezetőképességétől függő behatolási mélységig az átlagos horizontális vezetőképesség változásait tükrözi. Ez a medencealjzat nagyon nagy fajlagos ellenállása mellett a vezető üledékes összlet vastagságának és átlagos fajlagos ellenállásának arányától függ. Az aljzat kisebb fajlagos ellenállású zónái, az üledék vastagságának és átlagos fajlagos ellenállásának változása egyaránt hatással van a mért értékekre. A hagyományos, szűk periódusidő sávot — 20–30 s — használó tellurikus méréssel ezeket a hatásokat nem lehet szétválasztani. A földi elektromágneses tér elektromos és mágneses összetevőinek együttes, széles frekvenciasávot átfogó mérésével — magnetotellurika (MT) — azonban már kvantitatív adatok származtathatók a rétegek fajlagos ellenállására és vastagságára, a szerkezeti főirányokra, a megnyúltság fokára, az elektromos anizotrópiára. A magnetotellurika tehát teljesebb értékű földtani információt ad. Önálló, de még inkább a tellurikával kombinált — a nagy mélységű egyenáramú dipól-szondázások helyetti — alkalmazására nagy szükség volt [TAKÁCS 1967, NAGY 1972].

Az MT elvi alapjait 1952-ben publikálták. Az első terepi mérésekről, amelyek inkább a medencealjzat kutatását

biztosító, 10 s-nál hosszabb periódusidejű változásokat regisztráltak — MT szelvényezés — 1959-ben lehetett olvasni. Nálunk erre 1960-ban került sor, csaknem egy időben az ME-GT-n és a GGKI-ben.

2. A módszer bevezetésénél az alapvető problémát a mágneses tér kis értékű változásainak mérése jelentette. A GGKI-ben fotoelektromos átalakítással regisztrálásra alkalmassá tett Schmidt-féle, hagyományos, mágneses terepi műszereket használtak [ÁDÁM, BENCZE 1961]. Az ME-GT-n egyedi, 3 komponenses, fotoelektromos erősítésű, unifikáris mágneses variométereket építettek [TAKÁCS 1964].

A GGKI első méréseivel a Soproni-hegység keleti határ-vetője felett és a Nagycenki Observatórium területén a földtani információ mellett a magnetotellurikus anizotrópia jelenségét kezdte tanulmányozni, majd az observatórium frekvenciaszondázási görbéjén elsőként jelezték az asztenoszféra közelében levő jól vezető réteget, amely nálunk lényegesen kisebb mélységű, mint a környező idős földtani blokkok területén [ÁDÁM 1964, ÁDÁM 1965, ÁDÁM et al. 1964]. Az ME-GT első mérései (nagyreszt olajipari megbízásból) az Alföldön, majd a Dunántúlon mintegy 65 állomással a tellurika alapmodelljének — a nagy ellenállású aljzatot fedő vezető üledékes összlet — a hazai földtani viszonyok melletti érvényességét és a térerősség-komponensek, illetve a belőlük származtatott horizontális és vertikális impedanciák irányfüggésének összefüggését a szerkezeti főirányokkal tanulmányozták. Ezek a mérések a medencealjzatban nagyobb vezetőképességű zónákat találtak a Bükk D-i, a Bakony ÉNy-i előterében és Ságvár környékén [CSÓKÁS, TAKÁCS 1965, TAKÁCS 1969a].

Az első kísérletek alapján világossá vált, hogy elkerülhetetlen a nagy érzékenységre és stabilitású mágneses variométerek építése a mágneses változások regisztrálására. A GGKI és a Geofizikai Mérőműszerek Gyára 1966-ra elkészítette a folyadék csillapítású, fotoelektromos erősítésű terepi MTV-2 mágneses variométert [ÁDÁM, MAJOR 1967]. A műszer sorozatgyártásának lendületet adott, hogy az OKGT GKÜ a kezdeti kísérleti mérések tapasztalatai alapján megalapozottan látta az MT módszer bevezetését, amihez szükség volt a terepi körülmények között is megbízhatóan működő műszerre. Emiatt megrendeltek 6 db variométert és ezekkel 1968-ban megkezdték a módszer rendszeres alkalmazását.

Az ELGI is ezekkel a variométerekkel kezdte meg MT méréseit. Vizsgálták, hogy az akkor már rendszeresen folyó TT méréseknél az MT mennyiben helyettesítheti a nagy-mélységű geometriai szondázást az üledékes összlet átlagos fajlagos ellenállásának, átlagos horizontális vezetőképességének meghatározásában, az értelmezési problémák tisztázásában és milyen többletinformáció várható a nyilván költségesebb és időigényesebb MT méréstől [NEMESI et al. 1982]. A tapasztalatok alapján a mérhető frekvenciasáv szélesítése és a számítógépes feldolgozás lehetővé tétele érdekében az ELGI szinte azonnal hozzákezdett az MT műszerezettség újabb családjának kifejlesztéséhez.

Az MTV-2 variométer és a T-14 tellurikus műszer kombinációja mintegy 10 s periódusidő alatt már nem alkalmas a rövidebb periódusidejű változások regisztrálására. Így vele az üledékes medencék felső része nem kutatható. Probléma volt továbbá, hogy a fotoelektromos jelátalakítás miatt korlátozott a dinamikatartomány is és nem lehetséges

a közvetlen számítógépes adatbevitel sem. Emiatt a GGKI-ben mágneses érzékelőként nagy menetszámú és méretű indukciós tekercseket fejlesztettek ki, amelyek erősítő és szűrő elektronika felhasználásával alkalmasak a 0,001–20 Hz közötti frekvenciák mérésére [ÁDÁM, HORVÁTH 1976]. Az ELTE-GT-n aspiránsként a Pekingi Egyetem későbbi professzora készített indukciós szondát [CSEN Lu-szo 1961]. Az ELGI-ben pedig a 60-as évek közepétől foglalkoztak a mágnesszalagos jelrögzítés megoldásával.

Az olajipar fejlesztési szerződésekkel támogatta a műszerfejlesztést. Ennek eredményeként az indukciós szondák, analóg erősítők és a számítógépekkel kompatibilis mágnesszalagos jelrögzítés kombinálásával 1974-ben elkészült az első digitális MT mérőberendezés a GKV számára. Az import analóg részegységből és az ELGI által kifejlesztett digitális egységből, valamint a szeizmikus célra készült SDT-252 típusú mágnesszalagos jelrögzítő kombinációjából összeállított DMT-1 berendezés elsősorban kísérleti célokat szolgált [KARASNÉ et al. 1977]. Ezt követően 1977–78-ban az ELGI által kifejlesztett, ötcsatornás digitális DEF-1 műszer [SZÉLES, VARGA 1977], amelyet a GKV már nem az MT méréshez, hanem a mesterséges áramterű frekvenciaszondázásoknál alkalmazott.

A bővülő MT feladatok egyre jobb felbontású, automatizált és a feldolgozást a mérés közben megvalósító, a mind jobban elterjedő elektromágneses zajokkal is megbirkózó műszerezettséget igényeltek, ami a műszerezettség folyamatos fejlesztését hozta magával. A 70-es évek végén a nemzetközi kapcsolatok kialakulásával már hozzáférhetővé váltak a legkorszerűbb számítógépekre épülő, nagy sorozatokban — és így a terepi tapasztalatok folyamatos figyelembevételével gyártott — nyugati műszerek is. A GKV-nél így került sor 1978-ban a Geoelectronics cég MTDR-2 számítógép-vezérelt terepi MT mérőrendszerének beszerzésére. A földi elektromágneses térerősség mérésénél egyre nagyobb problémát okozott a zajok szintjének gyors emelkedése. Hatásuk az ún. távoli referenciapontos mérési és feldolgozási technikával — két, egymástól több km-re levő állomáson végzett szinkronméréssel — küszöbölhető ki, ha a helyi zajspektrumok függetlenek egymástól. Ennek a szinkron mérési technikának bevezetését jelentette a GKV-nél 1985-ben a közvetlen számítógépes feldolgozással dolgozó Phoenix Geophysics Ltd. mérőrendszere [NAGY 2002].

Az ELGI-ben 1984-re befejeződött a mikroprocesszoros vezérlésű, digitális jelrögzítésű, hatcsatornás, előzetes adatfeldolgozásra is alkalmas DEF-7 műszer fejlesztése, ami az MT mellett a térbeállítás, a frekvenciaszondázás és GP méréseknél is használható [VARGA 1985]. A szinkron mérés lehetőségét a hazai műszerfejlesztésben a VMTR-10 MT mérő és feldolgozó rendszer megépítése teremtette meg. Az állomások a mérőrendszerhez kábellel csatlakoznak. A méréssel egy időben megtörténik az adatok feldolgozása is [VARGA et al. 1990]. A végleges megoldást az RMTS-2 műszer jelentette, aminél nincs szükség kábel összeköttetésre és a szinkronizálás GPS műholdakkal valósul meg.

Az üledékes összlet kis vastagságánál — az S kis értékénél — a hasznos földtani információ a nagyobb frekvenciáknál (akár a hangfrekvenciás tartományban) jelentkezik. A nagy mélységű kutatásra szánt műszerek mellett ezért sor került az ún. audiomagnetotellurikus (AMT) eszközök

kifejlesztésére. A 80-as évek végén a GGKI és a finn Oului Egyetem kutatói — a magnetotellurikában 1973-ban kezdődő intenzív együttműködésük keretében — megépítettek egy ötcsatornás, 4,1 és 2300 Hz között, előre kiválasztott 12 frekvencián automatikus feldolgozással működő AMT műszert [ÁDÁM et al. 1988].

3. A MT adatfeldolgozásnál akár 100 frekvenciasávban a szerkezeti főirányokba eső komplex látszólagos ellenállás amplitúdóját és fázisát kell meghatározni. Ehhez mindennek előtt frekvencia szerinti válogatásra — szűrés, spektrumszámítás — van szükség. Ezt követően az egyes frekvenciasávokra a mért térerősség komponensekből az elektromos és mágneses térerősségvektorok közötti kapcsolatot megadó komplex együtthatókat kell kiszámítani. Polárdiagramjaik, valamint a belőlük kapható, a fő irányokra vonatkozó látszólagos fajlagos ellenállás és fázis frekvenciaszondázási görbéi alapján történik az értelmezés. Valójában azonban még más paraméterek számítására is szükség van, amelyek például a szerkezeti főirányok kijelölését szolgálják, vagy a szerkezetek megnyúltságára — 2-D, 3-D — utalnak, vagy azt jelzik, hogy horizontálisan rétegzett a földtani metszet. Erre a bonyolult műveletsorra a GGKI-ben dolgozták ki az első hazai programot [VERŐ 1972, VERŐ 1973]. Az adatfeldolgozásnál kezdetben a fotoregisztrátumról egyedi pulzációk frekvencia és irányítottág szerinti hosszadalmas vizuális kiválogatásával szerkesztették meg a frekvenciaszondázási görbéket. Ehhez igen hosszú — több napos, esetleg hetes — regisztrátumra volt szükség és emellett kérdéses pontosságú eredménnyel járt. Az MT mérések növekvő mennyisége szükségessé tette a felvételek számítógépes szűrését és az információ irányfüggését megadó tenzoriális feldolgozását. Erre a hazai intézmények a 70-es évek elejétől a GGKI algoritmusát használták. A számítógépekre és műszerekre kiterjedő embargó miatt először a saját lehetőségekre — a kezdetleges számítógépekre — építve nagyon ötletes, de hosszadalmas és bonyolult eljárást alkalmaztak a forgó dobos digitalizálásra és végtelenített lyukszalagokkal végzett konvolúciós szűrésre. A számítógéppark fokozatos fejlődésével az egyes kutatóhelyek többször átdolgozták feldolgozási programjukat [BOJÁR 1978, LANDY et al. 1979]. Amint a műszerezettség ismertetésénél láttuk, az újabb műszerek a feldolgozást mérés közben elvégzik.

4. A frekvenciaszondázási görbék értelmezése csak horizontális rétegződés fölött mérve egyszerű feladat, amikor a térerősségvektorok bármilyen iránya mellett azonos marad a frekvenciaszondázási görbék lefutása. A bonyolultabb szerkezeti viszonyoknál jelentős különbségek adódhatnak. Előfordulhat, hogy a csapás- és dőlésirányú görbe különböző módon és esetleg eltérő mélységig indikálja a rétegződést. Továbbá az is, hogy a rétegsor más sajátosságait emeli ki az amplitúdó és a fázis, vagy a térerősségek valós és képzetes részéből számított görbe. Hangsúlyozni kell, hogy ezek az eltérések értékes földtani információkat hordoznak. Az elektromágneses tér irányítottágának — polarizációjának — tehát igen nagy szerepe van a magnetotellurikában, de minden más geoelektromos módszerénél is [ÁDÁM et al. 1967, TAKÁCS 1972]. A helyes értelmezéshez szükség van az említett eltérések és a földtani felépítés sajátosságai kapcsolatának feltárására. Ilyen ismereteket fizikai és numerikus modellezéssel, esetleg földtanilag minden részletében ismert területen mérve szerezhetünk.

A fizikai modellezésre több kezdeti megoldás született [TAKÁCS 1969b]. Végül a GGKI, GKV és az ELGI összefogásával Sopronban megépült a meglehetősen egyedi, teljes mértékben automatizált elektromágneses modellező laboratórium. Sok értelmezési problémát tisztázott, és jelentős, új felismerést hozott. A magnetotellurikán túl jól szolgálta a többi elektromágneses módszer fejlesztését is [ÁDÁM et al. 1981].

A numerikus modellezés hazai fejlesztése az ME-GT-n indult el a GKÜ támogatásával. A 2-D-s esetre először az egyenesek módszerével, majd a véges különbségek módszerével, a 3-D-s esetre egy speciális integrálegyenletes eljárással készültek programok. Ezekkel tisztázták a CH-kutató mérések néhány problémáját [TAKÁCS, TEVAN 1973, TAKÁCS, TURAI 1986, TURAI 1986, TURAI 1989]. A GGKI-nél először végeskülönbséges 2-D-s program született poláris koordináta-rendszerben. Ezt követte egy végeselemes program. Velük a kéregkutatás több problémáját oldották meg [TÁTRALLYAY, JONES 1974, TÁTRALLYAY 1977, STEINER 1989]. Az ELGI-ben is volt saját programfejlesztés [VARGA 1990].

Az értelmezés teljes értékű csak akkor lehet, ha a földtani felépítés sajátosságai hatásának elektrodinamikai okát is meg tudjuk adni. Végso fokon az elektromos töltések felhalmozódását és az áram koncentrációjának, irányának változásait hozzák létre a földtani szerkezetek. Az ilyen térelméleti vizsgálatok alapján lehet aztán megmondani, hogy mi a jelentése a frekvenciaszondázási görbék polarizációfüggőségének, torzulásainak [SZARKA et al. 1994a, 1994b, 1994c]. Továbbá azt is, hogy milyen, a mérési adatokból származtatott paraméterekkel érhető el a kutatás célja. A hazai vizsgálatok eredményei ezen a téren is jelentősek [TAKÁCS 1971, SZARKA, FISCHER 1991, FISCHER et al. 1992, SZARKA, MENVIELLE 1997, SZARKA et al. 2000].

5. A mért adatokhoz legjobban illeszkedő földtani modell paramétereinek meghatározását, az inverziót a közelmúltig állomásonkénti — a fő szerkezeti irányokat külön kezelő — 1-D-s Marquardt eljárással végezték, majd a szelvényeket a földtani ismeretek és a tértorzulások jellegét figyelembe véve szerkesztették meg. A földtani kép — modell — előzetes kialakításában fontos szerepük volt a látszólagos fajlagos ellenállás és fázis attribútumok, valamint a különféle — pl. Bostick- — transzformációk szelvényeinek [NAGY 1996].

A 2-D-s direkt feladatot hatékonyan és megbízhatóan megoldó fejlett programok megalkotásával a 80-as évek közepén megnyílt az út a 2-D-s — mindkét szerkezeti főirány frekvenciaszondázási görbéit együttesen kezelő — inverzió előtt. Teljes MT szelvények két polarizációs irányú amplitúdó és fázis adatainak együttes felhasználásával végzett 2-D inverziókra első esetben 1988-ban a Kisalföld „medence-analízis projectje” keretében a szeizmikus és MT eredmények integrált értelmezése céljából került sor az OKGT és az USGS együttműködésében véges elemes 2-D algoritmus felhasználásával [STANLEY, NAGY 1989]. Az egyre összetettebb modelleket kezelni tudó külföldi értelmező programcsomagok megjelenése után megtörtént ezek beszerzése. Az ELGI-ben, a GGKI-nél, a MOL Rt.-nél a Geotools és Wing Link értelmező programcsomagokkal a 90-as évek közepétől kezdődött meg ez a munka. A korábbi szelvények újraértelmezése fontos részletekkel tette pontosabbá és gazdagabbá a földtani képet [ÁDÁM 2001,

REDLERNÉ, VARGA 2001]. A nem túlságosan bonyolult földtani felépítésre az ME-GT-n dolgoztak ki olyan 2-D-s inverziós eljárást, amely a legjobb illeszkedést adó modell rétegei határának és fajlagos ellenállásának laterális változását leíró, függvényssorral kifejezett görbe sorfejtési együtthatóit tekinti ismeretleneknek. A legjobb illeszkedést adó együtthatók együttesére vonatkozó fokozatos közelítésénél a direkt feladat megoldása 1-D-s formulákkal történik [DOBRÓKA et al. 2001, PRÁCSER 2002].

A 3-D-s inverzió hatékony módszerének kidolgozása a jelen kutatásainak kiemelt témája. Ezzel foglalkozott az ME-GT egyik doktorandusának a Utahi Egyetemen készített disszertációja [ZHDANOV et al. 2002]. Kis állomásközü 3-D-s MT mérés egyébként a MOL-nál készült először 1998-ban. Vonalankénti 2-D-s inverzióval nyert képből állították elő a 3-D-s modellt [TOURNERIE et al. 2000]. A GGKI-ben a 3-D-s mérések értelmezésére leképezési módszert dolgoztak ki [SZARKA, MENVIELLE 1999].

Az értelmezésnél az a legösszetettebb eset, amikor egymást fedő, több, eltérő csapású szerkezet hatásának szuperpozíciója alakítja ki a felszíni térerősséget. Különösen akkor problematikus ez az eset, amikor egy mélyebb térrész kutatása a cél felszínközeli inhomogenitások mellett. Az inverzió előtt a hatások szétválasztását célzó és korrekciós eljárásokat — dekompozíció, sztatikus eltolódás korrekciója — kell alkalmazni. A hazai földtani felépítésnél erre gyakran szükség is van [ÁDÁM 1998, PRÁCSER, SZARKA 1999].

A magnetotellurika itthon és külföldön a szénhidrogénkutatás mellett természetesen alkalmazást nyert minden közepes és nagy mélységű nyersanyagkutatásban, vízkutatásban. Szepepe különösen kiemelendő a regionális földtani kutatásban, a földtani alapszelvények készítésében, a kéreg-köpeny kutatásában [ÁDÁM et al. 1989]. A hazai kutatóhelyek MT szondázásainak száma meghaladja az 5000-et. Közülük az országos magnetotellurikus adatbázisban 1100 állomás adatai szerepelnek.

HIVATKOZÁSOK AZ 1.2. FEJEZETHEZ

- ÁDÁM A. 1964: Über die Berechnung der magnetotellurischen MT Anisotropie. Freiburger Forschungshefte C168, p. 1–48
- ÁDÁM A. 1965: Einige Hypothesen über den Aufbau des oberen Erdmantels in Ungarn. Gerlands Beitr. zur Geophys. **74**, p. 20–40
- ÁDÁM A. 1998: Tensor decomposition with static shift correction of the deep magnetotelluric soundings to improve the asthenospheric depth values in the Great Hungarian Plain. Acta Geod. Geophys. Hung. **33**, p. 187–213
- ÁDÁM A. 2001: Relation of the graphite and fluid bearing conducting dikes to the tectonics and seismicity (Reviews of the Transdanubian Crustal CA). Earth, Planet, Space **53**, p. 903–918
- ÁDÁM A., BENCZE P. 1961: Kísérletek magnetotellurikus módszerrel. Magyar Geofizika **2**, 1–2
- ÁDÁM A., HOLLÓ L., TÁTRALLYAY M. 1967: Szerkezeti hatások és horizontális inhomogenitások szerepe a magnetotellurikus szondázási görbékben. Magyar Geofizika **8**, 5–6
- ÁDÁM A., HORVÁTH I. 1976: The development of magnetic sensors in GGKI. 20th Geophysical Symposium. OMKDK Techninform
- ÁDÁM A., KARDEVÁN P., KORMOS I., NAGY Z., PONGRÁCZ J., RÉGENI P., SZABADVÁRY L., SZARKA L., ZIMÁNYI I. 1981: Ana-

- lóg modell a geoelektromos módszerek tanulmányozására az MTA GGKI-ben. *Magyar Geofizika* **22**, 2
- ÁDÁM A., MAJOR L. 1967: Stabilized high-sensitivity immersion magnetic variometer for magnetotelluric investigations (Type MTV-2). *Acta Geod. Geoph. Mont. Hung.* **2**, 1–2
- ÁDÁM A., NAGY Z., VARGA G. 1989: Magnetotelluric MT research and exploration in Hungary. *Geophysics* **54**, 6
- ÁDÁM A., TIKKAINEN J., HORVÁTH J., HJELT S. E., VARGA S., SAASTOMOINEN R., VERŐ J. 1988: A five channel audio-magnetotelluric AMT instrument. *Acta Geod. Geophys. Mont. Hung.* **23**, p. 63–73
- ÁDÁM A., WALLNER Á., WIESE H. 1964: Elektrische Leitfähigkeitsanisotropien des Untergrundes im Spiegel magnetotellurischer und geomagnetischer Messungen. *Gerlands Beiträge zur Geophysik* **73**, 5–6
- BOJÁR G. 1978: A geoelektromos mérések feldolgozásának automatizálása. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1977. évi jelentése
- CSEN Lu-szo 1961: Indukciós szondatervezés MT méréshez. Kandidátusi értekezés
- CSÓKÁS J., TAKÁCS E. 1965: Magnetotellurische Messungen auf der Grossen Ungarischen Tiefebene. *Freiberger Forschungshefte* C174
- DOBRÓKA M., KIS M., TURAI E. 2001: Generalized Series Expansion (GSE) method used in the joint inversion of MT and DC geoelectric data. *Publ. of the Univ. of Miskolc. Series A, Geoscience* **59**
- FISCHER G., SZARKA L., ÁDÁM A., WEAVER J. 1992: The magnetotelluric phase over two-dimensional structures. *Geophysical Journal International* **108**, p. 778–786
- KARASNÉ T. Zs., NAGY Z., PÁZSIT I.-né 1977: A magnetotellurikus módszer új lehetőségei a digitális technika alkalmazásával. *Magyar Geofizika* **18**, 2
- LANDY K.-né, LANTOS M., NAGY Z. 1979: Számítógép-vezérelt magnetotellurikus rendszer adatfeldolgozása. *Magyar Geofizika* **20**, 5
- NAGY Z. 1972: A magnetotellurikus módszer alkalmazása. *In: A felszíni geofizikai kutatás 20 éve a kőolajiparban.* GKÜ kiadás
- NAGY Z. 1996: Advances in the combined interpretation of seismics with magnetotellurics. *Geophysical Prospecting* **44**, p. 1041–1083
- NAGY Z. 2002: A hazai kőolajipari geofizika geoelektromos kutatási tevékenysége (1963–1999). *In: A felszíni geofizikai kutatás 50 éve a kőolajiparban.* GES Kft. kiadás
- NEMESI L., HOBOT J., VARGA G. 1982: A tellurikus és magnetotellurikus mérések szerepe a Dunántúli földtani megismerésében. *Magyar Geofizika* **35**, 5–6
- PRÁCSER E. 2002: Magnetotellurikus adatok inverziója nem vízszintes réteghatárú rétegzett féltér esetén. *Magyar Geofizika* **43**, 1
- PRÁCSER E., SZARKA L. 1999: A correction to Bahr's "phase deviation" method for tensor decomposition. *Earth's, Planets and Spaces* **51**, p. 1019–1022
- REDLERNÉ T. M., VARGA G. 2001: Újabb adatok a Kisalföld és a Dunántúli-középhegység mélyszerkezeti felépítéséről. *Magyar Geofizika* **42**, 1
- STANLEY W. D., NAGY Z. 1989: Magnetotelluric modelling and tectonics of the Kisalföld basin in Hungary. Final Administrative Report Joint OGKT-USGS Research Team
- STEINER T. 1989: Kétdimenziós elektromágneses modellezési eredmények IBM-PC-n. *Magyar Geofizika* **30**, 1
- SZARKA L., FISCHER G. 1991: Subsurface electromagnetic parameters in terms of the distribution of current. *Geophysical Transactions* **37**, 1
- SZARKA L., MENVIELLE M. 1997: Analysis of rotational invariants of the magnetotelluric impedance tensor. *Geophysical Journal International* **129**
- SZARKA L., MENVIELLE M. 1999: A possibility for an enhanced 3-D parameter sensitivity — the keyhole imaging. *Geophysical Prospecting* **47**, 133–142
- SZARKA L., MENVIELLE M., TARITS P., ÁDÁM A. 1994a: A thin sheet numerical study of the electromagnetic field over geometrically complex high conductivity structures: The field components and their relation with some 3-D interpretation parameters. *Acta Geod. Geoph. Hung.* **29**, p. 81–105
- SZARKA L., ÁDÁM A., MENVIELLE M., TARITS P. 1994b: A thin sheet numerical study of the electromagnetic field over geometrically complex high conductivity structures: Depth and lateral characteristics of different resistivity definitions. *Acta Geod. Geoph. Hung.* **29**, p. 107–124
- SZARKA L., MENVIELLE M., TARITS P., ÁDÁM A. 1994c: A thin sheet numerical study of the electromagnetic field over geometrically complex high conductivity structures: About the current channelling in high-conductivity 3-D models. *Acta Geod. Geoph. Hung.* **29**, 125–138
- SZARKA L., MENVIELLE M., SPICHAK V. V. 2000: Imaging properties of apparent resistivities based on rotational invariants of the magnetotelluric impedance tensor. *Acta Geod. Geoph. Hung.* **35**, 149–175
- SZÉLES S., VARGA G. 1977: Digitális elektromos felvevő berendezés. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1976. évi jelentése
- TAKÁCS E. 1964: Regisztririjuscij magnitometr dlja magnetotelluricseszki izmerenij. *Acta Techn. Acad. Sci. Hung.* **47**, 1–2
- TAKÁCS E. 1967: Magnetotellurikus műszer-, és módszerfejlesztési vizsgálatok, valamint alkalmazásuk a geofizikai kutatásban. *A Nehézipari Műszaki Egyetem Közleményei* **15**, 321–324. o.
- TAKÁCS E. 1969a: Possibilities of application of the Earth's electromagnetic field impedance in the geological mapping of Hungary. *Publications of the Technical University for Heavy Industry* **28**, p. 175–191
- TAKÁCS E. 1969b: The orientation of the magnetotelluric impedance ellipses. *Acta Geod. Geophys. et Mont.* **4**, 3–4
- TAKÁCS E. 1971: The role of the vertical pulsations of the magnetic field in magnetotelluric measurements. *Acta Geod. Geophys. et Mont.* **6**, 1–2
- TAKÁCS E. 1972: A magnetotellurikus impedancia-tenzor polárdiagramjai használatának földtani jelentése. *Magyar Geofizika* **13**, 6
- TAKÁCS E., TEVAN Gy. 1973: Numerical method for the computation of magnetotelluric fields in inhomogenous media. *Acta Geod. Geophys. et Mont.* **8**, 1–2
- TAKÁCS E., TURAI E. 1986: Approximative solution of the direct problems of magnetotellurics for two-layered, three-dimensional structures. *Acta Geod. Geophys. et Mont.* **21**, 1–2
- TÁTRALLYAY M. 1977: On the interpretation of EM sounding curves by numerical modelling using the SOR method. *Acta Geod. Geoph. Mont. Hung.* **12**, p. 279–285
- TÁTRALLYAY M., JONES F. W. 1974: The perturbation of geomagnetic fields by cylindrical structures, I. Numerical methods and symmetrical models. *Geophys. Journal of the Royal Astronomical Society* **38**
- TOURNERIE B., CHOUTEAU M., FOX L., NAGY Z. 2000: Three dimensional magnetotelluric survey in Hungary. SEG-2000

- TURAI E. 1986: Síkhullámú elektromágneses (EM)-terek matematikai modellezése integrálegyenletek útján. *Magyar Geofizika* 27, 1
- TURAI E. 1989: Technischer Teil und Ergebnisse eines mathematischen Näherungsverfahrens für die Modellierung ebener Wellen mit Hilfe von Integralgleichungen für ein-, zwei- und dreidimensionalen Strukturen. *Freiberger Forschungshefte C448*
- VARGA G. 1985: Magnetotellurikus műszerfejlesztés. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1984. évi jelentése
- VARGA G., GALAMBOS S., GYIMESI M., KERTÉSZ G. 1990: Magnetotellurikus műszerfejlesztés. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1988–89. évi jelentése
- VARGA M. 1990: Multigrad Method: An effective technique in the two-dimensional magnetotellurique modelling. *Model Optimization in Exploration Geophysics*. Berlin
- VERŐ J. 1972: On the determination of magnetotelluric impedance tensor. *Acta Geod. Geophys. et Mont. Hung.* 7, 3–4
- VERŐ J. 1973: Determination of MT-impedance ellipses from the computed components of impedance tensors. *Acta Geod. Geophys. Mont. Hung.* 8
- ZHDANOV M. S., DMITRIEV V. I., FANG S., HURSÁN G. 2002: Quasy-analytical approximation and series in electromagnetic modeling. *Geophysics* 65, 6

2. Egyenáramú mélyszondázások és horizontális szelvényezések

A geoelektromos kutatásoknak ezen legrégebbi módszerei módosulataikban bővülve, műszereikben és az értelmezési módjukban fejlődve állandó jelleggel megtalálhatók voltak a geofizikai kutatás minden feladatánál. Két táp-elektrodán egyenáramot — vagy vele azonos viselkedésű kisfrekvenciás váltóáramot — vezetnek a vizsgált térrészbe és egy mérőelektroda-párral mérik a kialakult feszültséget. A táp- és mérőelektrodák fokozatos távolításával a kutatási mélység — térfogat — növelhető. Az így nyert VESZ szondázási görbék a fajlagos ellenállás alakulását tükrözik a mélység szerint. A horizontális szelvényezésekkel — HESZ — egy megválasztott kutatási mélységig a földtani felépítés laterális változásait térképezik.

2.1. Műszerezettség

Az 50-es évek elején egyedi, kezdetleges műszerekkel folyták a földtani, érc-, víz-, bauxit-, kőszén-, gipsz-, kaolin-, bentonitkutatásokat [KÁNTÁS 1952a]. Az 50-es évek második felében az ELGI és a GGKI közös szabadalma alapján indult el a hazai műszerfejlesztés, ami jelentős, tartós műszerexportot is eredményezett. Az ELGI-ben a 80-as évek elejéig számos típust fejlesztettek ki, egyre fokozva az automatizálást, a zajok hatásának kiküszöbölésével a mérés pontosságát. A GE jelzésű sorozatból több módosulat készült a különböző kutatási mélységtartományokra. A GE-10, GE-20, majd a GE-27 a kis, a GE-25 a közepes, a GE-30 és 40 a nagy mélységű változat [ÁDÁM et al. 1962, ERKEL et al. 1964]. A 70-es évek első felében következett a RACE sorozat [DANKHÁZI et al. 1973], a második felében a Diapir sorozat [ERKEL, SIMON 1977]. Az utóbbiak teljesen automatizálva nemcsak a látszólagos fajlagos ellenállást, hanem az időben lecsengő gerjesztett polarizációs görbét is mérik és mintegy 200-at exportáltak belőlük a világra minden részére. Nagyjából velük egy idő-

ben alakították ki a terepi számítógépcentrumot, amellyel — a térképek, metszetek elkészítését is beleértve — megvalósult a teljes terepi adatfeldolgozás [BOJÁR 1977].

A 60-as években a magnetotellurika bevezetéséig a nagymélységű dipól-ekvatoriális mélyszondázásokat — mintegy 4 km-es kutatási mélységig — nagy teljesítményű 4,5 KW-os generátor egységgel és tellurikus fotóregisztrálóval végezték. Az uránipari geofizika a 70-es évek elején a VP-59 szovjet gyártmányú mérőállomást szerezte be erre a célra.

A legújabb multielektrodás mérésekhez a KBFI-TRIASZ Kft fejlesztett ki egy számítógép-vezérelt adatgyűjtő és kapcsolórendszert, amely akár 960 elektrodából választja ki az aktuális táp-, és mérőelektrodákat [VARGA, KOVÁCS 1997].

2.2. Vertikális elektromos szondázás

A vertikális elektromos szondázások általában a szimmetrikus négyelektrodás, a nagy mélységű kutatásoknál pedig a dipól-ekvatoriális felállással készülnek. A kis mélységű kutatásban azonban többféle, más elektrodarendszert is alkalmaznak. Gyakori például a dipól-dipól felállással végzett rétegszelvényezés. A 90-es években a mérési terület alatt a fajlagos ellenállás 3-D-s eloszlásának térképezésére elterjedtek az előre telepített elektrodákkal dolgozó multielektrodás mérések.

A szondázási görbék kvantitatív kiértékelése — vízszintes, homogén rétegekből álló feltételre — sokáig a nagy nemzetközi kutatási centrumok által kiadott albumokban közölt elméleti görbékkel való összehasonlítással történt. A rétegek fajlagos ellenállása azonban legtöbbször anizotrop és emiatt a homogén rétegre számított paramétereket korrigálni kell. Az ELGI-ben sokat foglalkoztak ezzel a kérdéssel [ZILAHÍ, KÖRÖS 1971]. A számítógépek megjelenésével lehetővé vált, hogy a konkrét mérési terület földtani felépítését figyelembe véve készítsenek görbeseregeket. Nálunk a nagy volumenű méréseket végző ELGI-ben és a GKV-nél is a 70-es évek elejéig volt ilyen időszak.

A 60-as évek második felében a kiértékelés automatizálása valamennyi kutatóhely kiemelt törekvésévé vált [ÁDÁM et al. 1968]. Ebben a munkában meghatározó szerepe volt az ELTE-GT-nek. Korán felismerték a lineáris rendszerek elméletének univerzális alkalmazhatóságát a geoelektromos szondázások kiértékelési feladatainak megoldására [SALÁT 1968, SALÁT 1973]. A konvolúciós szűrés 10–100-szor kevesebb művelettel szolgáltatja a direkt feladat megoldásában szereplő integrálok kiszámítását. Vele olyan gyorsá lett a számítás, hogy elérhetővé vált a számítógépes inverzió, azaz a mért adatokhoz valamilyen kritérium alapján optimálisan illeszkedő görbe megkeresése. Erre statisztikus kiértékelési algoritmusokat dolgoztak ki, amelyek a szűrésen alapuló direkt feladatmegoldás egyszerűségére és a mérési adatok Golcman-féle statisztikus kiértékelés modelljeire voltak alapozva [SALÁT et al. 1987]. Az algoritmus leglényegesebb eleme a kiértékelés szolgáltatja rétetparaméterek hiba-jellemzőinek megadása. Korábban ilyen céllal az ELGI-ben a paraméterek ún. ekvivalenciatartományát adták meg az egyes mérési területekre nagy munkaráfördítással számított nomogramok felhasználásával [SZABADVÁRY 1971]. A későbbiekben mintegy 20–25 különféle geoelektromos szondázásra dol-

gozták ki a mérési eredmények egydimenziós közegmodelleket feltételező optimális inverzióját. Az algoritmusokat más kutatóhelyek is átvették és lényegében ezekre alapozva alakították ki saját inverziós eljárásukat.

A ferde réteghatárú összlet értelmezési megoldásaival az ME-GT-n foglalkoztak [GYULAI 1995]. Itt dolgozták ki a függvényinverziós kiértékelés egyenáramú változatát is [GYULAI, ORMOS 1999, GYULAI 1999]. Az egyes kutatási feladatok általában több geofizikai módszer komplex alkalmazásával oldhatók meg. Együttes inverziójuk nagymértékben javítja az értelmezés megbízhatóságát. Az együttes (joint) inverzió lehetőségeit az ME-GT sokoldalúan vizsgálta [DOBRÓKA et al. 1991, KIS, AHMED 1995]. A mérések tervezése és a módszer alkalmazhatósága szempontjából lényeges paraméterérzékenységet, laterális és vertikális felbontóképességet az ME-GT-n és a GGKI-ben is elemezték [GYULAI 1989, HURSÁN 1996, SZALAI 1997].

2.3. Horizontális elektromos szelvényezések

A horizontális szelvényezésnek az elektródák elhelyezése szerint sokféle, általánosan használt módszere ismeretes. A bauxit- és kőszénkutatásban azonban az erősen tagolt, kis méretű és változatos formájú szerkezeti egységek térképezésekor pontos lehatárolásuk érdekében új változatok kidolgozására volt szükség.

Az ELGI-ben a medencealjzat reliefjének kutatására 1969-től vezették be a potenciál-térképezés — PM — módszerét. Az állandó helyzetű, nagy távolságra levő tápelektrodák közötti középső területre a mérőelektrodákkal a tápvonallal párhuzamos szelvények mentén mérve térképezik fel a vezetőképesség változását. Bonyolultabb szerkezeti felépítés esetén a két tápvonalas, négy komponens mérő invariáns potenciál-térképezést alkalmazták [KAKAS 1981]. A PM módszerrel egy közbülső, nagy ellenállású, árnyékoló réteg alatti térrészről nem kapható információ. Ezt a problémát a fúróluk-elektrodás mérések tudják megszüntetni, amikor az egyik, vagy esetleg mindkét tápelektrodát mélyfúrásban az árnyékoló réteg alá telepítik. Az előbbi a fúrás-felszín gradiens — FFG, az utóbbi a belső gerjesztésű felszíni gradiens — BFG módszer [SIMON 1974]. Ezeknél a módosulatoknál az elektromos térerősség két, egymásra merőleges komponensét mérik.

A GKV-nál a CH-előfordulás lehatárolására a telep alá süllyesztett mérőelektrodás, inverz elrendezésű, egyenáramú szelvényezéssel voltak mérések, amelynél a táp-dipól a fúrás harántoló szelvényeken mozgott [KARASNÉ et al. 1975].

A különböző alakú 2- és 3-D-s szerkezetek torzító hatásának megismerésére és jellemző méreteik megadási módjának megkeresésére analóg és numerikus modellezések kezdődtek. Analóg modellezés mindegyik kutatóhelyen történt, valóban professzionális módon azonban a Soproni Modellező Laboratóriumban folyt [SZARKA 1984]. Numerikus modellezésre az ELGI-ben először a konform leképezést, majd az integrálegyenletes, a véges különbséges, végeselemes módszert fejlesztették és elemezték ezek sajátosságait [SZABADVÁRY et al. 1981, SZIGETI 1980, GYIMESI, SIMON 1989, PRÁCSER 1998]. A fizikai és matematikai modellezést egyébként összehangoltan, egymást kiegészítve használták [SZARKA, SZIGETI 1982]. Az ME-GT-n a módszerfejlesztéseket megalapozó vizsgálatokhoz

integrálegyenletes és véges különbséges programokkal rendelkeztek. A GGKI-ben egy egyszerű, ötletes, közelítő módszert dolgoztak ki az inhomogenitások hatásának modellezésére [SZALAI, SZARKA 2000].

2.4. Bányabeli és más speciális mérések

Az első bányabeli geoelektromos méréseket az 50-es évek elején a karsztvízveszély vizsgálatára a soproni Geodéziai és Geofizikai Munkaközösség kutatói végezték [KÁNTÁS 1952b, AUER 1955]. A 60-as évek második felétől a gépesített bányaművelés zavartalan menetének biztosítása és a földtani veszélyforrások feltárása miatt fokozott igény jelentkezett a bányabeli geofizikai és így a geoelektromos mérésekre. Az uránbányászatban megindulása óta folytak bányabeli geoelektromos mérések [SZABÓ, BARANYI 1966]. A bauxitbányákban ők foglalkoztak először a vágat alatti dolomitfekü mélységének meghatározásával szondázással és potenciálméréssel [SZABÓ et al. 1975].

Az ME-GT-n a széntelepek tektonikai zavarainak, minőségváltozásainak meghatározására a telepszondázást dolgozták ki. A vágatból a széntelepet közrefogó vertikális táp-, és mérődipólusok távolságának fokozatos növelésével végzik a szondázást. A mért és a zavartalan feltételezett rétegsorra számított értékek eltéréseiből vezethető le a telepzavar helye [CSÓKÁS 1974]. A széntelepes összlet paraméterei vágatszondázással kaphatók. A vágat talpán és a főtében végzett mérés együttes inverziója a legmegfelelőbb a paraméterek kiszámítására [GYULAI 1979]. A geoelektromos telepátvilágításnál a teleprészt határoló vágatból egymást keresztező sugárkötegek mentén vertikális elektromos adó és vevő dipólusok között világítják át a széntelepet. Rekonstrukciós eljárással adható meg a telep minőségére, tektonizáltságára jellemző fajlagos ellenállás eloszlás [CSÓKÁS et al. 1986, BREITZKE et al. 1987]. A vágatokkal közrefogott térrészben a bauxitfekü morfológiájának kutatására az ME-GT horizontális fúrólukokban telepített elektródák közötti mérésből geoelektromos rekonstrukciót dolgozott ki [DOBRÓKA et al. 1988].

A vágat alatti fekély kutatását az ELGI a talpon végzett gradiens szelvényezéssel oldotta meg [DRASKOVITS, SIMON 1992]. A széntelepek mélyfúrások közötti folyamatoságának, illetve megszakadásának megállapítására néhány esetben sikerrel alkalmazták a réteggörreláció módszerét [KIRÁLY, SZIGETI 1986].

Az ME-GT-n érdekes elvi és kísérleti vizsgálatokat végeztek a felszíni terelőáramos — fókuszált — mérések fejlesztésére. Bevezetéséhez azonban hiányzott a műszeres háttér [CSÓKÁS 1963, EGRSZEGI 1965].

A GGKI-ben a nagy ellenállású aljzat kutatására doktori értekezés témaként került kidolgozásra és kipróbálásra az egyenáramok mágneses terét mérő MMR módszer [SZARKA 1983]. A szilárd köztett felszínhez közeli hasadékrendszerének, repedezettségének kimutatására a GGKI-ben egyenáramú nulla-elrendezést dolgoztak ki, amelynek csak a hasadék megléte ad indikációt [SZALAI et al. 2000].

A 80-as, 90-es években a kis kutatási mélységű tartományban a legkülönbözőbb, szokatlan feladatok fordultak elő a mérnökföldtani, vízvédelmi, környezetvédelmi, vagy régészeti kutatásokban. Ezekhez új mérési technikákat és kiértékelési eljárásokat fejlesztettek ki, mint a geo-

elektromos tomográfiát [DOBRÓKA et al. 1995], a multielektrodás mérés 3-D-s leképezési eljárásait [VARGA et al. 1999], vagy a látszólagos fajlagos ellenállás pszeudo-szelvényének spektrális feldolgozását és dekonvolúciós szűrését [TÓTH 2000, NYÁRI, FANCSIK 1998].

A geoelektromos mérések mellett látványos eredményei voltak a mérnökgeofizikai szondázásnak, amelynél érzékelő elemeket — köztük elektródákat — tartalmazó csövet sajtolnak be a földbe akár 60 m mélységig. A berendezés egy mobil terepjáróra van szerelve. Fejlesztését az ELGI-ben 1970-ben kezdték el. Több sikeres próbálkozás után az 1982-ben indult „Kisalföld program”-ban már rendszeresen alkalmazták. A számítógép-vezérelt, egyre több paramétert — köztük fajlagos ellenállást is — mérő rendszer és megbízható szoftver a 90-es években az ELGOSCAR Kft.-ben valósult meg [FEJES et al. 1992].

HIVATKOZÁSOK A 2. FEJEZETHEZ

- ÁDÁM A., ERKEL A., SZABADVÁRY L. 1962: Neue ungarische geoelektrische Instrumente. *Geofisica pura et applicata* **2**, p. 127–138
- ÁDÁM A., NAGY Z., SALÁT P., VERŐ J. 1968: Geoelektromos munkálatok automatizálása. *Magyar Geofizika* **9**, 5
- AUER V. 1955: A karsztvíz mint geofizikai probléma. *Bányászati Lapok* **85**, 1
- BOJÁR G. 1977: Terepi számító-centrum. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1976. évi jelentése
- BREITZKE M., DRESEN L., CSÓKÁS J., GYULAI Á., ORMOS T. 1987: Parameter estimation and fault detection by three component seismic and geoelectrical surveys in a coal mine. *Geophysical Prospecting* **35**, p. 832–863
- CSÓKÁS J. 1963: Focused-field geoelectrical method. *Acta Technica* **43**, 3
- CSÓKÁS J. 1974: Detection of tectonic disturbances associated with a coal bed by geoelectrical measurements in mine-drifts. *Acta Geod. Geophys. et Mont. Acad. Sci. Hung.* **9**, 1–2
- CSÓKÁS J., DOBRÓKA M., GYULAI Á. 1986: Geoelectric determination of quality changes and tectonics disturbances in coal deposits. *Geophysical Prospecting* **34**, 7
- DANKHÁZI Gy., MAKAI M., SIMON P., SZABADVÁRY L. 1973: Kisfrekvenciás váltóáramú sekélyszondázó műszer. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1972. évi jelentése
- DOBRÓKA M., GYULAI Á., ORMOS T. 1995: Geofizikai módszerfejlesztés geoelektromos rekonstrukció és szeizmikus tomográfia együttes alkalmazására földtani szerkezetek inhomogenitásának meghatározása céljából. *Magyar Geofizika* **36**, Különszám
- DOBRÓKA M., GYULAI Á., ORMOS T., CSÓKÁS J., DRESEN L. 1991: Joint inversion of seismic and geoelectric data recorded in an underground coal mine. *Geophysical Prospecting* **39**, p. 644–665
- DOBRÓKA M., GYULAI Á., ORMOS T., TAKÁCS E. 1988: Bányageofizikai módszer- és rendszer kifejlesztése bányavágatokból, ill. egyéb módon a bauxittest térbeli lehatárolására. Kutatási jelentés a Fejér megyei Bauxitbányák részére
- DRASKOVITS P., SIMON A. 1992: Application of Geoelectric Methods Using Buried Electrodes in Exploration and Mining. *Geophysical Prospecting* **40**, 5
- EGERSZEGI P. 1965: Oldalirányú inhomogenitások kimutatása és hatásának kiküszöbölése a terelőáramos módszernél. *Magyar Geofizika* **6**, 3–4
- ERKEL A., KIRÁLY E., SZABADVÁRY L. 1964: A GE-típusjelű geoelektromos ellenállásmérő műszer család. *Geofizikai Közlemények* **13**, 1
- ERKEL A., SIMON P. 1977: Digitális ellenállás és gerjesztettpotenciál mérő berendezés. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1976. évi jelentése
- FEJES I., GYENGE L., STICKEL J. 1992: A mérnökgeofizikai szondázó berendezés fejlesztése. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1990. évi jelentése
- GYIMESI M., SIMON A. 1989: Approximate calculation of the electrical field of a buried DC source using the finite element method for several 2D methods. 43th Int. Geophysical Symposium, Abstracts
- GYULAI Á. 1979: Szénteleges összetettekben végzett vágatszondázások kiértékelése. *Magyar Geofizika* **20**, 4
- GYULAI Á. 1989: Parameter sensitivity of underground DC measurements. *Geophysical Prospecting* **35**, 3
- GYULAI Á. 1995: Dölt réteges földtani szerkezetek geoelektromos kutatási lehetőségének vizsgálata analitikus előremodellezéssel. *Magyar Geofizika* **36**, 1
- GYULAI Á. 1999: Új geoelektromos inverziós eljárás geológiai szerkezetek meghatározására: kombinált 2-D és 3-D függvényinverzió. *Magyar Geofizika* **40**, 4
- GYULAI Á., ORMOS T. 1999: A new procedure for the interpretation of VES data: 1.5D simultaneous inversion method. *Journal of Applied Geophysics* **41**, p. 1–17
- HURSÁN G. 1996: A laterális érzékenységek szerepe a horizontális elektromos szelvényezésben. *Magyar Geofizika* **37**, 2
- KAKAS K. 1981: Egyenáramú potenciáltérképezés (PM). A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1980. évi jelentése
- KÁNTÁS K. 1952a: Hazai geoelektromos kutatások. MTA Műszaki Tud. Osztályának Közleményei **5**
- KÁNTÁS K. 1952b: A karsztvíz-kutatás geofizikai lehetőségei. MTA Műszaki Tud. Osztályának Közleményei **1**
- KARAS Gy.-né, LANTOS M., NAGY Z., PÉTERFAI B, VIDA Zs., ZIMÁNYI I. 1975: Első hazai kísérletek CH-telepek és környezetük vizsgálatára elektromos mérésekkel. *Magyar Geofizika* **17**, 4
- KIRÁLY E., SZIGETI G. 1986: Bonyolult tektonikájú szilárd ásványi nyersanyagtelepek kutatásának új módszere. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1985. évi jelentése
- KIS M., AHMED A. 1995: Refrakciós időadatok, felületi hullám diszperziós adatok és egyenáramú geoelektromos adatok joint inverziója. *Magyar Geofizika* **36**, 4
- NYÁRI Zs., FANCSIK T. 1998: Dekonvolúciós szűrés lehetőségek a geoelektromos üregekutatásban. *Magyar Geofizika* **39**, 3
- PRÁCSER E. 1998: Pontforrás potenciáljának számítása kétdimenziós modell esetén. *Magyar Geofizika* **39**, 4
- SALÁT P. 1968: Horizontálisan rétegzett szerkezetek elméleti vertikális elektromos szondázási görbéinek számítása. *Magyar Geofizika* **9**, 1
- SALÁT P. 1973: A lineáris rendszerek elméletének alkalmazása a geoelektromos szondázások értelmezésében. Numerikus szűrés módszerek alkalmazásai a geofizikai adatok feldolgozásában. MGE kiadás
- SALÁT P., TARCSAI Gy., CSEREPES L., VERMES M., DRAHOS D. 1987: A geofizikai interpretáció információs-statisztikus módszerei. Egyetemi jegyzet. Tankönyvkiadó, Budapest
- SIMON A. 1974: Az FFG-módszer. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1973. évi jelentése

- SZABADVÁRY L. 1971: Geoelektromos gépi értelmezés. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1970. évi jelentése.
- SZABADVÁRY L., SZARKA L., SZIGETI G. 1981: Egyenáramú matematikai és fizikai modellezés. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1980. évi jelentése
- SZABÓ J., BARANYI I. 1966: Az egyenáramú és alacsonyfrekvenciás váltakozó áramú kutatási módszerek föld alatti alkalmazhatóságáról. *Bányászati Lapok* **99**, 2
- SZABÓ J., NYERGES L., KAKAS K. 1975: Bányavágtalatti bauxit-fekü kimutatása geoelektromos mérésekkel. *Magyar Geofizika* **16**, 3
- SZALAI S. 1997: 3D parameter- sensitivity of d.c. dipole arrays. 59. EAEGE-konferencia. Genf, P136
- SZALAI S., SZARKA L. 2000: An approximate analytical approach to compute geoelectric dipole-dipole responses due to a small buried cube. *Geophysical Prospecting* **48**, p. 871–855
- SZALAI S., SZARKA L., PRÁCSER E., BOSCH F., MÜLLER I., TURBERG P. 2000: Geoelectric mapping of near-surface karstic fractures by using null-arrays. *Geophysics* **67**, 6
- SZARKA L. 1983: Exploration of high resistivity basement using electrical and magnetic fields of quasi-static point sources. *Geophysical Prospecting* **31**, 829–839
- SZARKA L. 1984: Analogue modelling of DC mapping methods. *Acta Geod. Geophys. Mont. Hung.* **19**, 451–465
- SZARKA L., SZIGETI G. 1982: Combined application of mathematical and physical modelling for potential mapping. *Geophysical Transactions* **28**, 2
- SZIGETI G. 1980: A konform leképezések módszerének alkalmazása egyenáramú vonalforrás által keltett, végtelen ellenállású aljzathól kiemelkedő félhenger feletti elektromos tér meghatározására. *Magyar Geofizika* **21**, 4
- TÓTH Z. 2000: Dipól-dipól pszeudómélység-szelvények spektrális vizsgálata. *Magyar Geofizika* **41**, 2
- VARGA M., KOVÁCS A. 1997: Near-surface high resolution geoelectric measurements. EEGS 3rd Meeting, Aarhus
- VARGA M., KOVÁCS A., GÁSPÁR Cs., GISBERT S. 1999: Two-dimensional resistivity inversion using a new topographical correction method. EEGS 5th Meeting, Budapest
- ZILÁHI-SEBESS L., KÖRÖS I. 1971: Computer processing and representation of multi-layer geoelectric sounding curves. *Geophysical Transactions* **20**, 1–2

3. Mesterséges áramterű, frekvenciatartománybeli mérések

3.1. Mesterséges áramterű frekvenciaszondázások

1. A magnetotellurikus frekvenciaszondázást követően hamarosan megjelentek a saját energiaforrást használó, mesterséges áramterű frekvenciaszondázás különböző módosulatai. Fejlesztésük egyik célja az volt, hogy a földi elektromágneses tér energiaszegény sávjában — 1 Hz környékén — a korai műszerekkel mért magnetotellurikus frekvenciaszondázási görbék bizonytalan adatait megerősítsék, illetve a velük nem mérhető kisebb periódusidők felé kiegészítsék. Fontosabb volt azonban, hogy az egyenáramú szondázásokkal összevetve jobb a vertikális és laterális felbontásuk. Továbbá, hogy használatukkal megoldható az egyenáramnál árnyékoló hatású, nagy ellenállású rétegek alatti kutatás. A tér gerjesztésének megválasztásával — árambevezetéssel, vagy különböző orientációjú hurkokkal indukció útján keltve — és az elektromos és mágneses komponensek amplitúdóját és fázisát mérve

sokféle, különböző sajátosságú mérési módosulat hozható létre. Közülük a kutatás célja és a földtani környezet sajátosságai szerint válogatásra van mód [TAKÁCS 1968].

A horizontális rétegződés esetére az egyes kutatóhelyeken a frekvenciaszondázás különböző módosulataira készítették direkt feladatot megoldó programokat [SALÁT, DRAHOS 1975, PRÁCSER et al. 1983, SZIGETI 1987, PRÁCSER 1983, VARGA 1984, TAKÁCS et al. 1986]. A mesterséges áramterű frekvenciaszondázások kiértékelését nehezíti, hogy szondázási görbéik információtartománya nemcsak a frekvenciától — mint a MT-nál, — hanem az adó és a vevő közötti távolságtól is függ. Kis távolságoknál csak geometriai szondázás, az igen nagy távolságoknál pedig csak frekvenciaszondázás végezhető. Az utóbbi esetben a magnetotellurika összefüggései érvényesek. A mérések nagy része viszont az ún. közbülső zónába esik, ahol az elméleti görbék számítását igénylő kvantitatív értelmezés körülményessé válik. Emiatt az inverzióban nagy szerepük van a közelítő eljárásoknak, különféle transzformációknak.

2. Az ME-GT 1968-tól a közepes kutatási mélységű, elektromos bipólus gerjesztésű változattal foglalkozott. Egyedi műszer készült az 5 Hz–100 kHz frekvenciasávra. A nagy ellenállású vezérszint mélységének meghatározásra értelmezési eljárást dolgoztak ki [TAKÁCS 1970, TAKÁCS 1971a]. Szén-, bauxit-, gipsz-, víz-, urán-, bentonitkutatási és időbeli közetfizikai változásokat megfigyelő feladatokban alkalmazták.

3. A GKV 1973-ban vezette be a nagymélységű, 20–0,01 Hz tartományú, elektromos gerjesztésű, mesterséges áramterű frekvenciaszondázást a fent leírt céllal. Az első nagy teljesítményű generátoregység az ELGI és a Ganz gyár közreműködésével 1972-ben készült el. A változtatható frekvenciájú tirisztoros kapcsoló, valamint az analóg vevőműszer saját fejlesztésű volt [NAGY et al. 1975]. 1980-tól vevőként az ELGI DEF-1 ötcsatornás digitális mérőrendszerét alkalmazták a GGKI indukciós szondáival és Khron-Hite típusú, számjegyes hangolású sávszűrőkkel. A DEF-1 műszert 1985-től a Geotronics MTDR típusú digitális mérőberendezés váltotta fel, amellyel a fázis mérése is lehetővé vált. 1990-től a GKV és a Villamosipari Kutatóintézet közös fejlesztésével létrehozott inverterrel az adó frekvenciatartományát 1 kHz-ig terjesztették ki. A vevőoldalon világbanki hitelből a kanadai Phoenix Geophysics-től beszerzett V-5 8 csatornás mikroprocesszoros mérőberendezés az elektromos és mágneses összetevők variálható mérési kombinációját tette lehetővé. Ez a rendszer még 2001-ben is alkalmazásban volt [NAGY 2002].

Feldolgozó és értelmező rendszerük kialakításába saját fejlesztésük mellett mindig bevonták a hazai kutatóhelyeket és külföldi együttműködéssel biztosítani tudták a legkorszerűbb szovjet és amerikai kutatási eredmények átvételét is. Az elektromos frekvenciaszondázás 1-D-s direkt feladatának megoldásában az ELTE-GT, a CSAMT rendszerű impedancia 1-D-s direkt feladatának megoldásában a GGKI működött közre. Ezek felhasználásával a frekvenciaszondázási szelvények folyamatos numerikus értelmezésére saját fejlesztéssel dolgoztak ki 1-D-s inverziós eljárást [NAGY 1981]. Az ME-GT 2-D- és 3-D-s numerikus modellezéssel működött közre [PETHŐ 1987, PETHŐ 1994, TURAI 1995]. A GGKI-vel végzett közös kutatás keretében analóg modellezéssel több értelmezési problémát oldottak meg,

különböző attribútumokat vezettek be és a bonyolult elektromágneses tér viselkedésének számos jelenségét tisztázták [SZARKA, NAGY 1992, SZARKA et al. 1994, NAGY 1988, NAGY 1996].

A mesterséges áramterű frekvenciaszondázással az üledékes összetétel tagolásán túl sikereket értek el — mintegy 5 km-es lehatolási mélységig — a medencealjzat szerkezetének kutatásában, tektonikai zónák kijelölésében, a nagy entalpiájú, medencealjzati geotermikus tárolók kutatásában [NAGY et al. 1996, FORMÁNNÉ et al. 1984, NAGY et al. 1991]. A másodlagos szénhidrogén-migrációval összefüggő geokémiai változások által okozott elektromos vezetési anomáliákat fedeztek fel a CH-telepek fölött, aminek alapján direkt CH-kutatási programok indultak [NAGY 1997].

4. Az ELGI szintén a 70-es évek közepétől kezdte meg elméleti és műszerfejlesztési vizsgálatait a mesterséges áramterű frekvenciaszondázás bevezetésére [CSÖRGEI, ERKEL 1979]. Először a földelt elektromos bipólus horizontális elektromos és vertikális mágneses komponensét mérték. Az első mérések a 0,07–10 kHz tartományú NCSZ-73 szovjet műszerrel, majd egy 0,02–20 kHz tartományú — 40 diszkrét frekvencia — saját készítésű műszerrel történtek. Vizsgálták a frekvenciaszondázás zónáinak összefüggését a rétegsor paramétereivel és erre alapozva segédgörbés kiértékelési eljárást dolgoztak ki [CSÖRGEI 1977]. A nagy mélységű szondázásra az ERSZ-67 generátort — 0,02–20 Hz — és a DEF-1 digitális mérőműszert használták [CSÖRGEI 1981]. A 80-as évek közepén ezekkel gázlencsék lehatárolását végezték a telepek határán és felette elhelyezkedő kéményszerű gerjesztett polarizációs és ellenállás-változások kimutatásával [CSÖRGEI, LÁDA 1986].

A módszerfejlesztéshez a 70-es évek végén és a 80-as évek elején kedvező hátteret teremtett a felfutó bauxit- és kőszénkutatás, valamint az akkoriban újra felelevenedő hidrotermális érckutatás. A bauxitkutatásban a váltóáramú módszerek alkalmazását főként az motiválta, hogy indukció útján a nagy ellenállású eocén fedőrétegen keresztül is képesek a bauxitban és fedőjében áramrendszereket létrehozni, míg ezek az egyenáramnál árnyékoló hatásúak. Ilyen szempontból a mágneses komponensek mérése a kedvezőbb. Továbbá a váltóáramú módszerek nagyobb felbontóképességével várható volt az előfordulások pontosabb lehatárolása is [SZABADVÁRY 1995].

1977-ben kezdték meg a Scintrex SE-77 Turam műszerrel a multifrekvenciás földtani térképezést. Az állandó helyzetű, hosszú földelt elektromos bipólusra, vagy a földre fektetett megnyúlt hurokra merőleges szelvényeken haladva az egymástól konstans távolságra — 10–40 m — levő mérőtekerccsekkel néhány frekvencián a mágneses térerősség amplitúdója hányadosát és fáziskülönbségét mérték. Bár a módszert eredetileg érckutatásra tervezték, kutatható volt vele a nagy ellenállású aljzat mélységének változása is. Több frekvencián mérve különbséget lehetett tenni a felszínhez közeli inhomogenitások és az aljzat mélységének megváltozása által okozott indikációk között [KARDEVÁN 1979].

A rétegekre bontást — és kedvező földtani modelleknél esetleg a telepek közvetlen kimutatását — azonban csak a szintén induktív gerjesztésű Maxi-Probe rendszerrel lehetett elérni. A műszer 1 Hz–60 kHz között 128 frekvencián méri a vertikális és horizontális mágneses összetevők hányadosát. Kedvező, hogy jó a felbontása és az adó-vevő

távolság a megkívánt kutatási mélységnek mindössze kb. kétszerese. Továbbá az is, hogy viszonylag egyszerűen végezhető el a közelítő inverzió [FARKAS et al. 1981]. Különböző földtani szituációkra numerikusan és fizikai modellezéssel is ellenőrizték a módszer teljesítőképességét és megbízhatóságát [KARDEVÁN, PRÁCSER 1984, SZIGETI 1985, CSATHÓ et al. 1985, VARGA, KARDEVÁN 1991, PÁNCICS 1992]. Ismert bauxitlencsén végzett kísérlet szerint 150–200 m mélységben 60 m vastag eocén mészkő alatt 5–20 m vastag bauxittelep jelzésére volt képes. A Maxi-Probe rendszer egyedülálló karriert futott be a bauxitkutatás mellett a kőszén-, víz-, érc- és környezetvédelmi kutatásban. Nagyszámú külföldi kutatási megbízást is szerzett az ELGI-nek [PRÁCSER, REZESSY, SZABADVÁRY 1998].

3.2. Indukciós szelvényezések

A sokféle — hangfrekvenciás tartományban dolgozó — indukciós módszert eredetileg érckutatási céllal fejlesztették ki, később azonban a földtani térképezés eszköze is lett. A talaj és a műszer között nem kell kontaktust létesíteni, ezért a mérés gyors, továbbá egyszerűek az értelmezés eljárásai is. Kutatási mélységük kicsi. A nálunk használt módosulatok „slingram” elrendezésűek. Az adó, és a vevő tekercs távolsága — 1–10 m nagyságrendű —, egymáshoz viszonyított térbeli helyzete és orientációja a mérési szelvény mentén haladva állandó marad. Lényegében azt méri, hogy a vevő tekercsben indukált jel amplitúdója és fázisa, vagy valós és képzetes része helyről helyre hogyan változik meg a földben indukált, a földtani képződmények geometriai és geoelektromos paramétereitől függően alakuló örvényáram eloszlásától.

A tényleges Slingram műszerrel már az 50-es években folyt érckutatás, kevés eredménnyel. Viszont nagyon jól bevált a legkülönbözőbb célú, kis mélységű földtani térképezésben az ELGI által 1986-ban vásárolt, a legújabb tér-elméleti megfontolások alapján konstruált Geonics EM-31 közvetlen leolvasású vezetőképesség-mérő műszer. A mérések gyorsítására megoldották a digitális adatgyűjtést és tárolást. Kifejlesztették a magasság változtatásával végezhető szondázást, amivel látszólagos fajlagos ellenállás-látszólagos mélység szelvény készíthető [CSATHÓ et al. 1989].

Nagy területek gyors felmérése végezhető el a légi indukciós mérésekkel. Kis mélységű bauxitkutatási céllal 1987-ben és 1989-ban az osztrák–magyar tudományos együttműködés keretében a Geologische Bundesanstalt Dighem-II műszerével folytak helikopteres mérések az ELGI szervezésében a Dunántúlon. A nagy mennyiségű adat feldolgozására az ELGI-ben látszólagos fajlagos ellenállást számító és megjelenítő programok készültek, valamint adatbázist létesítettek [BALOGH et al. 1990].

3.3. Rádiófrekvenciás mérések

A rádiófrekvenciás szelvényezések és mélységi szondázások a távoli rádióadók elektromágneses terét mérve szolgáltatnak földtani adatokat a hullámok behatolási mélységig. Térerősség-komponenseikre érvényesek a magnetotellurika összefüggései.

Az ME-GT-n 1968-tól saját fejlesztésű műszerekkel hosszúhullámú mősorszóró adók terét mérve folyamatosan

végeztek rádiófrekvenciás szelvényezéseket kőbányák kőzetanyagának minősítésére, lignittelep homokkő padjainak lehatárolására, barlang- és üregkutatásra [TAKÁCS 1971b, PETHŐ, ÚJSÁSZI 1975]. A 80-as évek második felétől a 10–650 kHz frekvenciatartományban „rádiófrekvenciás magnetotellurikus” mérések történtek gátak és eltemetett folyómedrek vizsgálatára, valamint felszínközeli bauxitlencsék kutatására [TAKÁCS 1993].

1973-ban az ELGI bevezette a VLF módszert, amelynél a 15–25 kHz tartományú haditengerészeti adóknak az adó irányába mutató elektromos és a rá merőleges mágneses térerősségét mérik. A Geonics EM-16R műszer megvásárlásával és elméleti fejlesztő munkájuk eredményeként a módszer rövid idő alatt fontos szerepet kapott a kis mélységű bauxitkutatásban, de más feladatokban is [DANKHÁZI et al. 1975]. A mérésnél olyan adót kell választani, amely közelítőleg a szerkezeti dőlés irányába esik, ui. az információ az adó irányától is függ. Ez a probléma az invariáns térképezéssel oldható meg, amelynél egy ponton három eltérő irányú adó térerősségét mérik [FARKAS 1979].

A GGKI a Fertő tavon végzett nagyszabású rádiófrekvenciás szelvényezéseket svájci műszerekkel, svájci és osztrák együttműködésben. Megoldották a folyamatos mérés és helymeghatározás problémáit. A térerősség-komponensek többféle kombinációját használva végezték el az inverziót [KOHLBECK et al. 1993].

Korábban a MÉV geofizikusai szovjet, később az ELGI kutatói kínai műszerekkel folytattak bányabeli rádiófrekvenciás átvilágítási kísérleteket [SZABÓ 1966, YI et al. 1988].

3.4. Speciális módszerek

A 80-as évek második felében az ME-GT több szénbányánál alkalmazta a bányabeli vertikális elektromos dipólusokkal végzett frekvenciaszondázást telepzavarok kimutatására és időbeli közetfizikai változások megfigyelésére [TAKÁCS 1989]. A 90-es évek második felében pedig béléscső felhasználásával kivitelezett frekvenciaszondázásokkal vizsgálta a kőolaj-előfordulásokat feltáró fúrások környezetét. Néhány produktív fúrásnál kísérleti mérések voltak [TAKÁCS et al. 2001].

Az egyre elterjedtebb zajokat nemcsak zavaró tényezőnek kell tekinteni az elektromos kutatásban. Földtani kutatási felhasználásukra is voltak törekvések. A 60-as évek végén a villamos távvezetékek térerősségét térképező módszert és műszert dolgoztak ki az ME-GT-n. A gyors és olcsó eljárással a széntelepeket is harántoló vetők felszínhez közeli folytatását kutatták, valamint a kőbányászat számára közetminősítést végeztek [TAKÁCS 1979]. A GGKI-ben a magnetotellurikus felvételeken regisztrált, távoli forrásból származó zajok felhasználására eljárást dolgoztak ki és elvégezték a zajforrások földtani alkalmazásának nemzetközi áttekintését is [ÁDÁM et al. 1989, SZARKA 1988].

HIVATKOZÁSOK A 3. FEJEZETHEZ

ÁDÁM A., SZARKA L., VERŐ J. 1989: Natural and man-made EM variations in Komló coalfield. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* **53**, p. 207–213

- BALOGH Gy., CSATHÓ B., GYÖRGY T., PRÁCSER E., SZILASI Gy., TÓTH CS. 1990: Légi elektromágneses mérések. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1988–89. évi jelentése
- CSATHÓ B., BALOGH Gy., PRÁCSER E., VINCZE L. 1989: Kismélységű geoelektromos kutatás elektromágneses vezetőképességgel. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1987. évi jelentése
- CSATHÓ B., GÉMES M., KARDEVÁN P., PRÁCSER E., SZARKA L. 1985: Induktív gerjesztésű elektromágneses frekvenciaszondázás fizikai modellezése. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1984. évi jelentése
- CSÖRGEI J. 1977: Módszertani kísérletek az NCSZ-73 típusú szovjet kismélységű mesterséges frekvenciaszondázó berendezéssel. ELGI kutatási jelentés
- CSÖRGEI J. 1981: Konduktív gerjesztésű nagymélységű mesterséges frekvenciaszondázás. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1980. évi jelentése
- CSÖRGEI J., ERKEL A. 1979: Mesterséges frekvenciaszondázás. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1978. évi jelentése
- CSÖRGEI J., LÁDA F. 1986: Szénhidrogén-kutatás geoelektromos módszerekkel. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1985. évi jelentése
- DANKHÁZI Gy., KAKAS K., MAKAI M., SIMON A., SIMON P., SZABADVÁRY L., SZÉLES G., KELEMEN A., VARGA G. 1975: VLF-EM módszer. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1974. évi jelentése
- FARKAS I. 1979: VLF invariáns ellenállás módszer. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1978. évi jelentése
- FARKAS I., KARDEVÁN P., REZESSY G., SZABADVÁRY L. 1981: Induktív gerjesztésű multifrekvenciás elektromágneses módszerfejlesztés. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1980. évi jelentése
- KARDEVÁN P. 1979: Elektromágneses mérések. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1978. évi jelentése
- KARDEVÁN P., PRÁCSER E. 1984: Topográfiai korrekció számítása a Maxi-Probe berendezéssel végzett méréseknél. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1983. évi jelentése
- KOHLBECK F., SZARKA L., STEINER T., HOLLÓ L., MÜLLER I. 1993: Lake-bottom geoelectric and water-born VLF measurements on the Lake Fertő (Neusiedlersee). Extended Abstract EAEG 55th Meeting, Stavanger
- FORMÁNNÉ GULYÁS Cs., KARAS Gy-Né, NAGY Z., PÉTERFAI B., SZALÓKI I., ZIMÁNYI I. 1984: Kísérletek a frekvenciaszondázások felhasználására az üledékes formációk szerkezetének vizsgálatánál. *Magyar Geofizika* **25**, 1
- NAGY Z. 1981: A felszíni elektromágneses kutatómódszerek helyzete és fejlődése, alkalmazásuk újabb eredményei a hazai szénhidrogén kutatásban. *Magyar Geofizika* **22**, 4
- NAGY Z. 1988: Controlled sources methods and effects of non-uniform source fields. Review paper of 9th Workshop IAGA Working Group 3
- NAGY Z. 1996: Advances in the combined interpretation of seismics with magnetotellurics. *Geophysical Prospecting* **44**, 1041–1083
- NAGY Z. 1997: Szerkezetkutatás és direkt detektálás: a geoelektromágneses szondázások paradoxona. *Publ. Univ. of Miskolc, Series A Mining* **52**, 1, p. 103–119
- NAGY Z. 2002: A hazai kőolajipari geofizika geoelektromos kutatási tevékenysége (1963–1999). *In: A felszíni geofizikai kutatás 50 éve a kőolajiparban*. GES Kft. kiadása
- NAGY Z., FERENCZY L., FORMÁNNÉ GULYÁS Cs., KLOSKA K., LANDY K., PÁPA A., TENKEI S., THUMA A. 1996: A CH telepek

- geofizikai módszerekkel történő direkt kutatásának újabb hazai eredményei. MGE-MFT „Alföld 96” Vándorgyűlés, Kerekegyháza
- NAGY Z., LANDY I., PAP S., RUMPLER J. 1991: Results of magnetotelluric exploration for geothermal reservoirs in Hungary. *Acta Geod. Geoph. Hung.* **27**, 1
- NAGY Z., VIDA Zs., ZIMÁNYI I. 1975: High-power, frequency selective electromagnetic measuring system of the OKGT-GKÜ and its use in hydrocarbon exploration. Proceedings of 20th international Geophysical Symposium, Szentendre–Budapest
- PÁNCSICS Z. 1992: Frekvenciaszondázások méréstervezése, az egyenáramú szondázás és a frekvenciaszondázás komplex kiértékelése. *Magyar Geofizika* **23**, 1
- PETHŐ G. 1987: Aspects of finite difference modelling of electromagnetic field of an oscillating electric dipole. *Geophysical Transactions* **33**
- PETHŐ G. 1994: CSAMT numerical modelling for 2D thermal EOR monitoring. EAPG 6th Conference and Technical Exhibition. Extended Abstracts P547, Vienna
- PETHŐ G., ÚJSÁSZI J. 1975: Barlangkutatás radiokip módszerrel. *Magyar Geofizika* **16**
- PRÁCSER E. 1983: Fortran program Hz, Hr számítására tetszőleges dőlt mágneses dipól gerjesztés esetére, R-35 számítógépre. ELGI kutatási jelentés
- PRÁCSER E., REZESSY G., SZABADVÁRY L. 1998: Maxi-Probe. In: *Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten. Band 3. Geophysik. Springer Verlag*
- PRÁCSER E., SZIGETI G., SZABADVÁRY L. 1983: Mesterséges elektromágneses frekvenciaszondázási görbék számítása. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1982. évi jelentése
- SALÁT P., DRAHOS D. 1975: Felszíni és karotázs elektromágneses szondázások interpretációjának az információ elméleten és a lineáris rendszerek elméletén alapuló stratégiája. *Magyar Geofizika* **15**, 1
- SZABADVÁRY L. 1995: Bauxite exploration in Hungary. *Geophysics* **52**, 8
- SZABÓ J. 1966: Nagyfrekvenciás elektromágneses terek geofizikai alkalmazása Magyarországon. *Magyar Geofizika* **7**, 1
- SZARKA L. 1988: Geophysical aspects of man-made noise in the Earth. *Surveys in Geophysics* **9**, p. 287–318
- 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**, p. 131–138
- SZARKA L., NAGY Z., SZALAI S. 1994: 3-D CSAMT analogue modelling studies. In: *Extended Abstracts of 56th EAEG Meeting*
- SZIGETI G. 1985: Frekvenciaszondázás hatáskörzetének vizsgálata. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1984. évi jelentése
- SZIGETI G. 1987: Analysis of several features of response functions of frequency soundings over H-, and K-type models. *Geophysical Transactions* **33**, 2
- TAKÁCS E. 1968: Váltóáramú frekvenciaszondázás. In: *Geofizika I. Tankönyvkiadó, Budapest*
- TAKÁCS E. 1970: Frekvenciaszondázás periodikus áramimpulzusok spektrumának felhasználásával. *Magyar Geofizika* **11**, 4–5
- TAKÁCS E. 1971a: Nagy fajlagos ellenállású vezérszint mélységének meghatározása frekvenciaszondázással. *Magyar Geofizika* **12**, 6
- TAKÁCS E. 1971b: Tapasztalatok a radiokip módszer alkalmazásában. *Magyar Geofizika* **12**, 4
- TAKÁCS E. 1979: Vizsgálatok 50 Hz-es villamos távvezetékek elektromágneses terének geofizikai alkalmazására. *Magyar Geofizika* **20**, 4
- TAKÁCS E. 1989: Investigations associated with the possibility of the underground frequency sounding using vertical electric transmitter and receiver dipoles in equatorial arrangement. *Anales Univ. Scient. B. de Rolando Eötvös nom. Sectio G.* 3–5
- TAKÁCS E. 1993: Multifrekvenciás elektromágneses mérések. In: *Környezetvédelmi célú geofizikai módszerek fejlesztése a Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszékén. 1553-93 JEP Tempus Szeminárium*
- TAKÁCS E., NAGY Z., FERENCZY L. 2001: Experiences obtained with the first use of the frequency sounding by casing pipe excitation method. *Geoscience. Publ. of the Univ. Miskolc. Ser. A. Mining* **59**
- TAKÁCS E., NAGY J., MÁDAI F. 1986: Field of a vertical, alternating current, electric elementary dipole in a layered medium. *Geophysical Transactions* **32**, 1
- TURAI E. 1995: Elektromágneses szondázások módszertani és interpretációs fejlesztése síkhullámú és dipól-gerjesztésű 2D és 3D inhomogenitású közegekben. MOL zárójelentés
- VARGA M. 1984: Számítógépes elemzések 2 réteges R(B) választógörbék metszéspontjainak koordinátáira vonatkozólag. GGKI jelentés
- VARGA M., KARDEVÁN P. 1991: Joint inversion of data obtained from DC resistivity and frequency sounding measurements. Abstract of the Twelfth Geophysical Convention of Türkiye **27**
- YI Y., ZHOU H., KIRÁLY E., SIMON A. 1988: Rádióhullám átvilágító mérések bauxitkutatásban. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1987. évi jelentése

4. Időtartománybeli elektromágneses mérések

Az időtartománybeli méréseknél a gerjesztő térerősséget szigetelt hurokba vagy földelt elektródapárba vezetett, szünetekkel megszakított, váltakozó előjelű áramimpulzusokkal hozzák létre. A mérőműszerrel az áram kimaradása alatt a mérőelektródákon vagy a mérőhurok sarkain regisztrálják a feszültség lecsengését. A maradék jelnek két forrása lehet. Az egyik az áram megszakadása által a földben indukált örvényáram, amely a kikapcsolástól eltelt idő függvényében fokozatosan gyengülve egyre mélyebbre diffundál. Lecsengésére hatással van az egyes rétegek fajlagos ellenállása és vastagsága. A másik ok pedig az áram által érintett összleten belül az általa létrehozott töltés-átrendeződés megszűnése. Az előbbi az áram kikapcsolása utáni tized másodpercnyi időtartamban dolgozó tranzien szondázásoknak, az utóbbi a több perces regisztrálási idejű gerjesztett polarizációs méréseknek a fizikai alapja.

4.1. Tranziens szondázás

A tranzien szondázás, amellyel, hogy gazdaságos, két fontos tulajdonsággal rendelkezik. Alkalmas az árnyékoló, nagy ellenállású rétegek alatti kutatásra és a geoelektromos módszerek közül itt a legkisebb az oldalhatás. Az utóbbi azzal függ össze, hogy a vevőműszer a tápáram szünetében csak a földtani eredetű szekunder teret méri és az adó közelében is dolgozhat [KAKAS et al. 1986].

A tranzien mérésekkel nálunk csak az ELGI foglalkozott. A módszer a hazai kutatásban először — akkor elektromágneses térbeállítás módszerének (EMT) nevezték — a 60-as évek közepén jelent meg. A Nyírségben az árnyékoló

vulkáni öszlet alatt a medencealjzat kutatását kísérelték meg vele. Az eredmények mellett azonban akkor még több módszertani és mérés technikai probléma akadályozta rutinszerű bevezetését [VARGA 1974]. A bauxitkutatás problémái miatt a 80-as évek első felében vetődött fel újra a módszer bevezetésének gondolata. A nemzetközi kapcsolatokat kihasználva először külföldi mérőcsoportok bevonásával kísérleti méréseket végeztek. A tapasztalatok alapján az OMF B támogatásával megvásárolták a kanadai Geonics Ltd EM-37/3 berendezését, amelyet 1985-től vettek használatba. A módszer teljes mértékben beváltotta a hozzá fűzött reményeket. Eredményességében szerepe volt annak, hogy igen gyors közelítő inverziós eljárást — a TRH transzformációt — sikerült kidolgozni [KAKAS et al. 1985]. Hozzájárultak ezenkívül az adatfeldolgozó programcsomag fejlesztéséhez és vízszintes rétegsorra hatékony direktfeladat-megoldó programot készítettek [PRÁCSER 1986, PRÁCSER 1992]. Vele vizsgálni lehetett a tranzienstér komponenseinek és a földtani felépítésnek a kapcsolatát. A laterálisan inhomogén eseteket fémlapokból felépített modelltesteken vizsgálták az EM-37 műszerrel [BALOGH et al. 1989].

4.2. Gerjesztett polarizáció — GP — mérések

A gerjesztett polarizáció jelenségét döntő módon az áram hatására a kőzetekben levő elektromos vezetőképességű ásványi összetevők — pl. ércszemcsék — felületén és az ionos vezetést biztosító, a pórusokat összekötő kapillárisok elszűkülésénél előálló töltés-felhalmozódás visszarendeződése hozza létre.

Közülük az első a nagyobb értékű. Emiatt a GP mérés az érc kutatás alapvető eszköze. Alkalmazása a hazai érc kutatásban az 50-es évek második felében kezdődött. A 60-as évek közepétől a 80-as évek közepéig tartó nagy érc kutatási programokban a szerkezetkutató módszerekkel együtt használva ércesedést indikáló szerepe volt.

Az ELGI-ben az elvi kérdések tisztázása után a 70-es évek első felében kezdődött meg a műszerfejlesztés [ERKEL, BOD 1956, DANKHÁZI 1973]. Először — 1973-ra — egy frekvenciatartománybeli műszer, a 70-es évek második felében a nagy sikerű, már említett Diapir műszerek készültek el. Emellett kifejlesztették a nagy teljesítményű és lehetőleg mélyességű, nagy felbontású GP1-77 szulfidérc-kutató berendezést is [DANKHÁZI et al. 1978].

Az érc kutatásban a GP anomáliák értelmezésének lényeges feladata, hogy szétválassza a hasznos (pl. szulfidos ércekre) és az érdektelen (pl. grafitra vonatkozó) anomáliákat. Az ELGI-ben a 70-es évek második felében intenzív kutatómunkát végeztek ennek érdekében a lecsengési görbe alakjának és az anyagi összetétel kapcsolatának tisztázására. A görbe alakjának matematikai leírására az exponenciális függvényekre bontást választották. Az összetevők amplitúdójának és időállandójának megadásával jellemezték a görbét. Ezeket azonban az anomáliát okozó ásványi szemcsék anyagi összetételén túl még számos más tényező befolyásolja, pl. méretük, alakjuk, a kőzet struktúrája stb. Az anyagi minőség és a görbék paraméterei közötti kapcsolat emiatt csak tapasztalati úton és statisztikai értelemben kereshető. A kapcsolatot terepi és fúrómagokon végzett mérések — az utóbbiba az ME-GT-t is bevonták — adatait elemezve keresték. Az anomáliák minősítésének megbízha-

tósága azonban az érc földtani viszonyok függvénye [ERKEL et al. 1979, ERKEL et al. 1981, CSÖRGEI et al. 1983, VERŐ et al. 1985].

A GP mérések másik területe a — porózus öszletből származó anomáliát hasznosító — vízkutatás. Az ELGI kutatói a látszólagos fajlagos ellenállás és a polarizálhatóság együttes felhasználásával a 80-as évek közepén kidolgozták a litológiai — elsősorban a vízáadó rétegek finom rétegzettségére és a szemcseméretre vonatkozó — minősítésének módszerét, ami nagy előrelépést jelentett a víznyerési perspektíva megadásában. E két paraméter együttes használata nagyon hasznosnak bizonyult a káros, szennyező folyadék felszín alatti áramlásának követésében is [DRASKOVITS, HOBOT 1984, DRASKOVITS et al. 1990, DRASKOVITS, AIGNER 1991, DUDÁS et al. 1991, DANKHÁZI 1995].

Az ME-GT-n módszerrel dolgoztak ki a GP görbék időállandó-spektrumának meghatározására és mérési adatainak inverziójára. A spektrumban időablakok jelölhetők ki, amelyekben eltérő folyamatok hozzák létre a polarizációt. Az egyes időablakokban mért amplitúdók térbeli eloszlása alapján a veszélyes szennyeződés — pl. nehézfémek, kémiai anyagok — és a geológiai háttértől származó polarizáció térrészei szétválaszthatók [TURAI 1985, TURAI, DOBRÓKA 2001].

4.3. Földradar

A reflexiós szeizmikával rokonságot mutató, kimondottan kis mélységű kutatásokra szánt földradar alkalmazási lehetőségeivel az ELGI a 80-as évek végétől kezdett foglalkozni. Ez a módszer megfelelő földtani adottságok mellett hatékony, igen nagy felbontóképességű, folyamatos szelvényezést vagy átvilágítást tesz lehetővé. Az adó antenna 25 MHz–1,5 GHz frekvenciatartományú elektromágneses impulzust gerjeszt, amely a felszín alatti, eltérő geoelektromos paraméterű határfelületekről visszaverődik. A reflexiókat szélessávú vevőantenna észleli és a műszer a beérkezésük idejét regisztrálja. A terjedési viszonyokat a földtani képződmények elektromos paraméterei befolyásolják. A dielektromos állandó határozza meg a terjedési sebességet és változási határfelületei adják a reflektált jelet. A vezetőképesség inkább az energia elnyelődéséért felelős. A műszer képernyőjén időszelvény jelenik meg, mert a visszaverődött jelek a műszer mozgásával sötét sávokba rendeződnek. A kutatási mélység tartománya a frekvenciától és a geoelektromos paraméterektől függően mintegy 0–20 m között változik.

Az ELGI az első műszert a kis mélységű földtani kutatásokra 1992-ben vásárolta meg. Frekvenciatartománya 25–200 MHz. A beszerzéssel egy időben elkezdődött a feldolgozó szoftver fejlesztése, amelynek egy része a szeizmikus feldolgozó rendszerek rutinjainak átdolgozásán alapult. A műszer a sekély mélységű kutatásban széleskörű alkalmazást nyert. Így például üregek, eltemetett objektumok, árvízvédelmi gátak állapotának kutatásában, régészeti feladatokban, hulladéklerakók lehatárolására, mérnökgeofizikai feladatok során [PATTANTYÚS et al. 1994]. A 90-es évek vége felé egészen a felszínhez közeli kutatási, sőt a műtárgyak vizsgálatát jelentő feladatok kerültek előtérbe. Ezekhez jobb felbontású, tehát nagyobb frekvencián és korszerűbb elektronikával dolgozó — pl. ps mintavételezé-

sú — műszerre volt szükség. 1999-ben útvizsgálatokhoz vásárolták meg a 225–1200 MHz frekvenciájú berendezést, amelyet azóta több esetben alkalmaztak épített szerkezetek roncsolásmentes vizsgálatára is [ELEK et al. 2000]. A szoftverek folyamatos fejlesztésével a sűrű hálózatban végzett mérések adatait kvázi-mélység szintben tudják ábrázolni.

HIVATKOZÁSOK A 4. FEJEZETHEZ

- BALOGH Gy., CSATHÓ B., PRÁCSER E., SÖRÉS L. 1989: Tranziens elektromágneses fizikai modellezés terepi műszerrel. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1987. évi jelentése
- CSÖRGEI J., ERKEL A., VERŐ L. 1983: Time domain IP equipment and method for source discrimination. *Geophysical Transactions* **29**, 4
- DANKHÁZI Gy. 1973: A gerjesztett potenciál elméleti alapjai. *Geofizikai Közlemények* **21**, 1–4
- DANKHÁZI Gy. 1995: A gerjesztett potenciál elvi alapjairól különös tekintettel a porózus képződményekre. *Magyar Geofizika* **41**, 2
- DANKHÁZI Gy., ERKEL A., VERŐ L., REZESSY G. 1978: Nagy teljesítményű, nagy lehatolási mélységű szulfid-érc kutató berendezés. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1977. évi jelentése
- DRASKOVITS P., AIGNER H. 1991: IP method as a means of improving the siting of water wells. *Geophysical Transactions* **36**, 1–2
- DRASKOVITS P., HOBOT J. 1984: A gerjesztett polarizációs módszer alkalmazása negyedkori homokos-agyagos víztároló összletek kutatásában. *Magyar Geofizika* **25**, 2–3
- DRASKOVITS P., HOBOT J., SMITH B. D., VERŐ L. 1990: Induced polarization surveys applied to evaluation of ground water resources, Pannonian Basin, Hungary. In: *Induced polarization: Application and case histories, Investigation in Geophysics No. 4*, SEG, Tulsa
- DUDÁS J., NIESNER E., VERŐ L. 1991: Resistivity and IP parameters used for hydrogeologic purposes and differentiation between nonmetallic minerals. *Geophysical Transactions* **36**, 1–2
- ELEK B., NEDUCZA B., PATTANTYÚS A. M., TILDY P. 2000: Highway inspection using radar. *Proceedings of 6th meeting of the EEGS European Section, Bochum, P-EG04*
- ERKEL A., BOD M. 1956: Gerjesztett potenciálmérések eredményeinek kiértékelése tekintettel a laboratóriumi közetvizsgálatokra. *Geofizikai Közlemények* **5**, 1
- ERKEL A., KIRÁLY E., VERŐ L. 1981: Anomáliaminősítő GP mérések a Börzsöny-hegységben. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1980. évi jelentése
- ERKEL A., SIMON P., VERŐ L. 1979: Gerjesztett potenciál lecsengési görbék dinamikus jellemzőinek mérése és értelmezése. *Geofizikai Közlemények* **25**, 61–72
- KAKAS K., FRISCHKNECHT F.C., ÚJSZÁSI J., ANDERSON W. L., PRÁCSER E. 1985: Transient electromagnetic soundings — Development of interpretation methods and application to bauxite exploration. *Geophysical Transactions* **31**, 1–3
- KAKAS K., PRÁCSER E., SÖRÉS L. 1986: A tranziens módszer hazai bevezetése, fejlesztése és alkalmazása. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1985. évi jelentése
- PATTANTYÚS Á. M., NEDUCZA B., PRÓNAY Zs., TÖRÖS E. 1994: A földradar módszerfejlesztés másfél éves tapasztalatai az ELGI-ben. *Magyar Geofizika* **35**, 1
- PRÁCSER E. 1986: Computing of transient response of layered half-space: Problems in apparent resistivity inversion. *Geophysical Transactions* **32**, 3
- PRÁCSER E. 1992: Fast computing of transient electromagnetic field on the surface of layered half-space. *Geophysical Transactions* **37**, 2–3
- TURAI E. 1985: TAU-transformation of time-domain IP curves. *Annales Univ. Scien. Budapest de R. Eötvös Nom., Sectio Geophys. et Meteorol.* 1–2
- TURAI E., DOBRÓKA M. 2001: Az indukált polarizációs adatok értelmezésének új módszere — a TAU-transzformáció inverz feladata. A Miskolci Egyetem Közleménye, *Geotudományok* **56**, 197–202
- VARGA G. 1974: Az elektromágneses térbeállítás módszere. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1973. évi jelentése
- VERŐ L., SMITH B. D., ANDERSON W. L. 1985: Comparison of interpretation methods for time-domain spectral induced polarization data. *Geophysical Transactions* **31**, 1–3