

Környezetgeofizikai problémák megoldása¹

TÖRÖS ENDRE²

A környezetgeofizika a posztindusztriális társadalom terméke, az ember által lakott világ vizsgálata geofizikai módszerekkel. Jellemző dimenziói a kimutatandó deciméteres méretektől az esetenként vizsgálandó száz kilométeres hosszakig terjednek. A sokféle feladat megoldása ebben a bonyolult, néha gyorsan változó térségben új kihívások elé állította a geofizikát. A dolgozat példákkal illusztrálva ismerteti az egyes módszerek jelenlegi állapotát. A hazai kutatóműhelyek bemutatkozásával megismerhetjük a magyar környezetgeofizika módszertani hátterét, sokszínűségét és nemzetközi kapcsolatait.

E. TÖRÖS: Solution of environmental & engineering geophysical problems

Environmental geophysics is a product of the post-industrial society. It investigates sites inhabited by the mankind using geophysical methods. Its characteristic dimensions sometimes range from the decimetres to resolve to the length of hundred kilometres to explore. The solution of various tasks in this complicated, sometimes highly varying environment confronts geophysics to new challenges. This article reviews the state-of-art of the methods through examples. By the presentation of domestic research collectives the reader can be acquainted the backgrounds of the methodology, the variety of activities and the international connections of the Hungarian environmental geophysics.

1. Az emberi környezettel foglalkozó geofizikai kutatások kialakulása

A környezetgeofizikai kutatás az emberi tevékenység által érintett, ahhoz tartozó, sekély mélységű, felszínközeli talajok vagy kőzetek különböző célú geofizikai vizsgálatára alkalmazott nagy felbontóképességű módszerek összefoglaló neve. Szűkebb értelemben a környezetgeofizika, a környezetvédelmi célú geofizika a talaj és a talajban lévő szennyeződések vizsgálatára, a talajszerkezet meghatározására, a szennyeződések behatárolására és azok mozgásának megfigyelésére szorítkozik. Tágítva az alkalmazások körét pl. a természetvédelem irányába, könnyen eljutunk a barlangkutatástól az eltemetett pincék vagy egyéb, az emberi környezet számára fontos talaj-inhomogenitások kimutatásának szükségességéig. Az urbanizáció fejlődésével, a talaj mind nagyobb igénybevételével a környezetgeofizikai feladatok száma növekszik. Az árvízvédelmi, a hulladék-elhelyezési célú mérnökgeofizikai, a régészeti, a kriminalisztikai feladatok megoldásához ugyanazon fizikai elven működő geofizikai módszereket használjuk.

A főként a nyersanyagkutatásban alkalmazott klasszikus geofizikai módszerek — elterjedésük időszakában — kényszerűségből a földtani környezet leegyszerűsített modelljével számoltak. A mérések kiértékelésekor feltételezték a kutatott objektum vízszintes, vagy kis dőlésű réteghatárok közötti homogén elterjedését, a település mélységéhez képest jelentős rétegvastagsággal. Az analóg elven működő műszerek meglehetősen lassú mérési technikákat jelentettek. Az egyes módszereknél a direkt kiértékelési eljárásokat alkalmazták.

Külföldön és Magyarországon a bányageofizikai módszerek alkalmazásának nagy szerepe volt a környezetgeofizikai kutatások kialakulásában. A megoldandó problémák

hasonlósága a felszínközeli inhomogenitások kutatásában az ismert geofizikai módszerek adaptációján túl új eljárások kialakulásához is vezetett. A fejlődéssel együtt járó fizetőképes kereslet megjelenése, majd érdekes módon a nyersanyagkutatás iránti igény csökkenése gyorsította fel a környezetgeofizikai kutatásokat. A környezetgeofizikai kutatásokkal foglalkozó szakemberek száma az 1980-as évektől a 90-es évekre megnövekedett. A fejlődés ezekben az években jelentősen felgyorsult, mára a felhasználók és a fejlesztők tevékenysége szinte különvált, a feladatok sokrétűbbek, mint a nyersanyagkutatási, vagy egyéb klasszikus geofizikai alkalmazásoknál.

A fejlődés egybeesett a digitális technika iparszerű elterjedésével, ami alapvetően új lehetőségeket teremtett a geofizikában. A bonyolult felépítésű felszínközeli talajkörnyezet kutatására részben a klasszikus módszerek mérési és értelmezési eljárásainak fejlődése, részben új módszerek megjelenése révén kerülhetett sor. Néhány fontos jellemző: a szeizmikában elkészült a digitális, már összegfelvételek készítésére is alkalmas mérnökgeofizikai műszer, megjelent a geofizikai kutatásokra alkalmas földradar módszer.

Az inhomogén, emberi beavatkozással is terhelt sekély mélységű összletek kutatása megkívánta a térbeli mintavétel jelentős sűrítését, az egyes módszerek felbontóképességének javítását. Előbb a szelvénybeli mérések, később a 2.5-D-nek nevezett, még szelvényenként feldolgozott, kvázi 3 dimenziós eljárások terjedtek el. Bizonyos méréstípusoknál a környezetgeofizikai alkalmazásokban is megjelentek (értsd: egyes feladatoknál már gazdaságosan alkalmazhatókká váltak) a 3-D mérések. A feldolgozás során általánosan elterjedtek az inverziós (ritkábban joint inverziós) eljárások.

Mára a megoldandó környezetgeofizikai feladatok skálája meglehetősen széles. Az eddig csak a geológusok számára eladható geofizika termékké vált a mérnökök, a geotechnikus szakemberek, a környezetvédők (vegyészek, biológusok) számára is. A specializálódott, szerencsés esetben komplexen alkalmazott eljárások integrálódtak az egyéb kutatási módszerekbe.

¹ Beérkezett: 2004. február 3-án

² Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet,
H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17–23.

2. A műszerezettség fejlődése és helyzete

A környezetgeofizikai kutatásoknak módszerek szerint elkülönült, speciális műszerezettségük van. Általános követelmény a gyors, nagy felbontású és nagy pontosságú mérést lehetővé tevő, könnyen szállítható terepi adatgyűjtők szükségessége. Méréstípustól függően a műholdvevős helymeghatározás adatai a méréssel egyidejűleg kerülnek rögzítésre.

A magyarországi műszergyártás kezdetben élen járt a fejlesztésben: az ELGI-ben kifejlesztett ESS-024 mérnökszeizmikus műszer, majd későbbi 48 csatornás, 24 bites, számítógép-vezérelt változata a megjelenésének pillanatában világszínvonalat képviselt. Ugyanez elmondható a KBFI-TRIÁSZ Kft. által gyártott sokelektrodás egyenáramú ellenállás-szelvényezésre alkalmas rendszerrel. A mérnökgeofizikai szondázás ötletét, hogy az ismert geotechnikai célzatú szondázásokat kiegészítsék geofizikai mérésekkel is, az ELGI-ben valósították meg először.

A professzionális műszergyártók a világon egyre kevesebben vannak, mert a versenyt ezen a viszonylag kis piacon csak kevesen bírják, és a háttérben a folyamatos fejlesztés elengedhetetlen követelmény. Az eredeti fejlesztő gárdának a jelen időszakra történő átmentése Magyarországon nem következett be, a megélhetés a hangsúlyt a műszergyártás irányából az alkalmazás irányába tolta el. Jellemző azonban, hogy a környezetgeofizikai problémák sok esetben a piacon beszerezhető eszközökkel sem oldhatók meg. Ezért bizonyos feladatok megkívánják az eszközök célirányos fejlesztését, saját felhasználásra, értékesítési szándék nélkül is. Jó példák erre az ELGI akusztikus, vagy szonár mérések céljára kialakított műszerei, Recskén a bányabezárást követően a felhagyott akna vizsgálatára tervezett, optikai tartományban működő négycsatornás videó aknaszelvényező berendezése, vagy a GEOPARD Kft. eredetileg bányageofizikai mérésekre kifejlesztett sokcsatornás rezgési adatgyűjtő és analízis célműszere. Bizonyos első vonalbeli eszközöket a fejlesztés korai szakaszában a nagyobb nemzetközi gyártók sem adnak el mostanában, csak magát a vele elvégezhető geofizikai tevékenységet. Ilyen a jelen cikk megírásának pillanatában a nagy mélységű fúrólukbeli 3-D mérésre alkalmas radar, vagy a nagyfrekvenciás, nagy felbontóképességű S-hullámot gerjesztő szeizmikus vibrátor esete. Az állandó útkeresést, a környezetgeofizikai műszerezettség fejlődését jól jellemzi, hogy a műszerpiacon egyszer már megjelent, a gyakorlatban később be nem vált műszerekről önálló cikket lehetne írni, amire a szép számmal megjelenő sekélyszeizmikus rezgéskeltők jó példát szolgáltatnának.

3. A módszerek jellemzése

A szakmatörténet szempontjából áttekinthető időtartam igen rövid. Ráadásul e kiadvány más cikkeiben elkerülhetetlenül megjelennek ide is tartozó történeti elemek, amelyek ismétlése felesleges lenne. A következő leírás ezért sokkal inkább a környezetgeofizikai módszerek jelenlegi helyzetét, mintsem történetét igyekszik bemutatni. Csábító lehetne még, hogy a környezetgeofizikai feladatok megoldásai a feladatok szerinti csoportosításban kerüljenek bemutatásra. Bár ennek is vannak előnyei, a módszerek sze-

rinti bemutatásban a feladat szerinti tárgyalásnál óhatatlanul előforduló módszertani ismétlések elkerülhetők.

3.1. Az egyenáramú geoelektromos módszer

A leggyakrabban alkalmazott környezetgeofizikai módszer a hazai és a nemzetközi gyakorlatban. Az elv, hogy a méréshez vonalban kiterített elektródák közötti műszeres kapcsolat révén tetszőleges szelvénybeni konfigurációjú mérést lehet kivitelezni — a „sokelektrodás” mérés — kb. 10–15 éve vonult be a gyakorlatba, ami jelentősen meggyorsította az adatgyűjtést. Napjainkban a többcsatornás berendezések terjednek, amelyekkel egy forrás hatását nemcsak egymást követően, hanem egyidejűleg több mérőcsatornán is meg lehet mérni. Ennek jelentősége a hagyományos pontmérésekből adódó „szelvényezési” eljárásokhoz képest abban áll, hogy jóval nagyobb adatsűrűséget lehet vele elérni, így lehetővé váltak a 2 vagy 3 dimenziós inverziós feldolgozások. A módszert összefoglaló néven tomográf leképezésnek (ERT: Electrical Resistivity Tomography) nevezik, ahol az adatgyűjtéssel többnyire kilépünk a megszokott szelvénybeli terítésekből. Nem ritkák a felszíni terítést alkalmazó 3-D-s egyenáramú elektromos mérések, vagy a fúrólukbeli terítéseket is felhasználó mérési rendszerek alkalmazásai a környezetfizikai gyakorlatban (1. ábra).

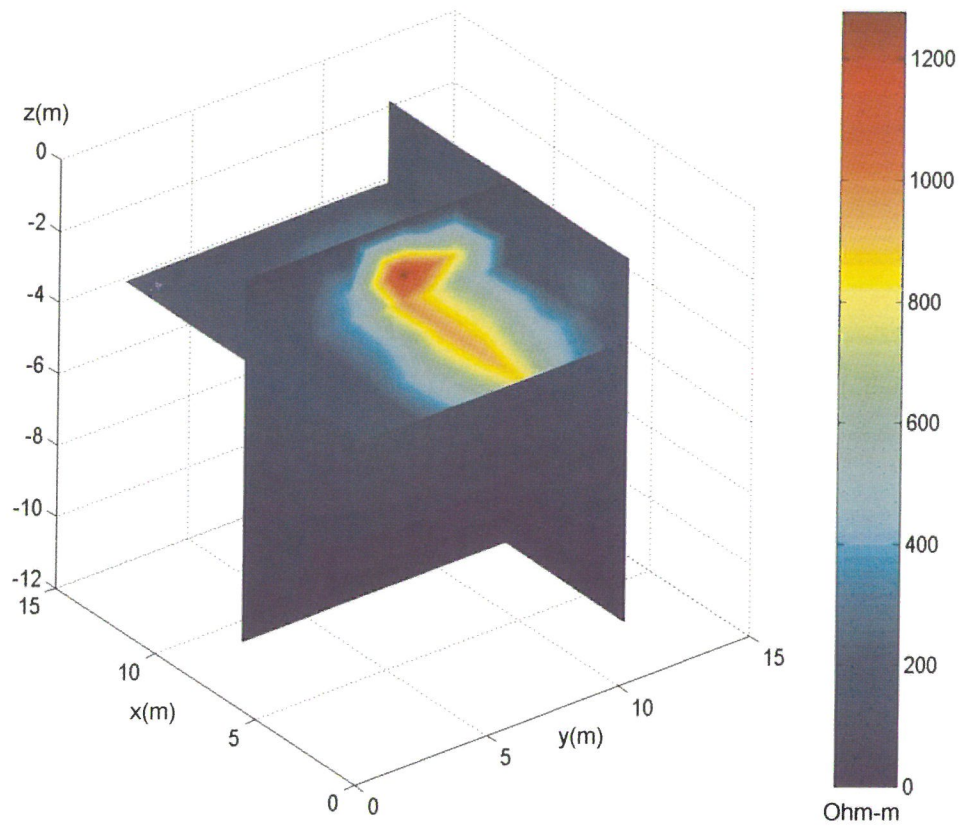
Azzal, hogy a terítési rendszer állandósítható és újabb mérésekkel az elektromos tér időbeli változásai is rögzíthetők (pl. talajvízáramlás megfigyelése fúrólukak környezetében, hulladéklerakók védőfóliái jóságának vizsgálata stb.), az ERT monitoring célra való felhasználását teszi lehetővé. Magyarországon ilyen jellegű mérésekkel leginkább a KBFI-TRIÁSZ Kft. munkáiban találkozhatunk.

A sokelektrodás méréseknek nagy szerepük volt a hazai árvízvédelmi gátak felmérésében. Segítségükkel kimutathatókká váltak eltemetett egykori folyómedrek, gáttól idegen szemcsés anyagú beépítések stb. A munkában szinte minden környezetgeofizikai érdekeltségű hazai intézmény, vállalkozás részt vett a 80-as évek végén, a 90-es évek elején.

Néhány éve több műszergyártó cég megjelent kapacitív csatolású elektródáival (pl. a Geometrics az OhmMapper fantázianévű berendezéssel), amellyel megspórolható az elektródák talajba szúrásának munkája és a földfelszínen húzva, csaknem sétáló üzemmódban használható a mérőrendszer. A mérés elvéből következően a műszer alkalmazhatósága a hagyományos eljáráshoz képest számos előnye mellett korlátozott, főleg a terep tagoltsága okozta problémák és az eleve rögzített elektródák miatt, bár eredményességét illetően nincsenek hazai tapasztalataink.

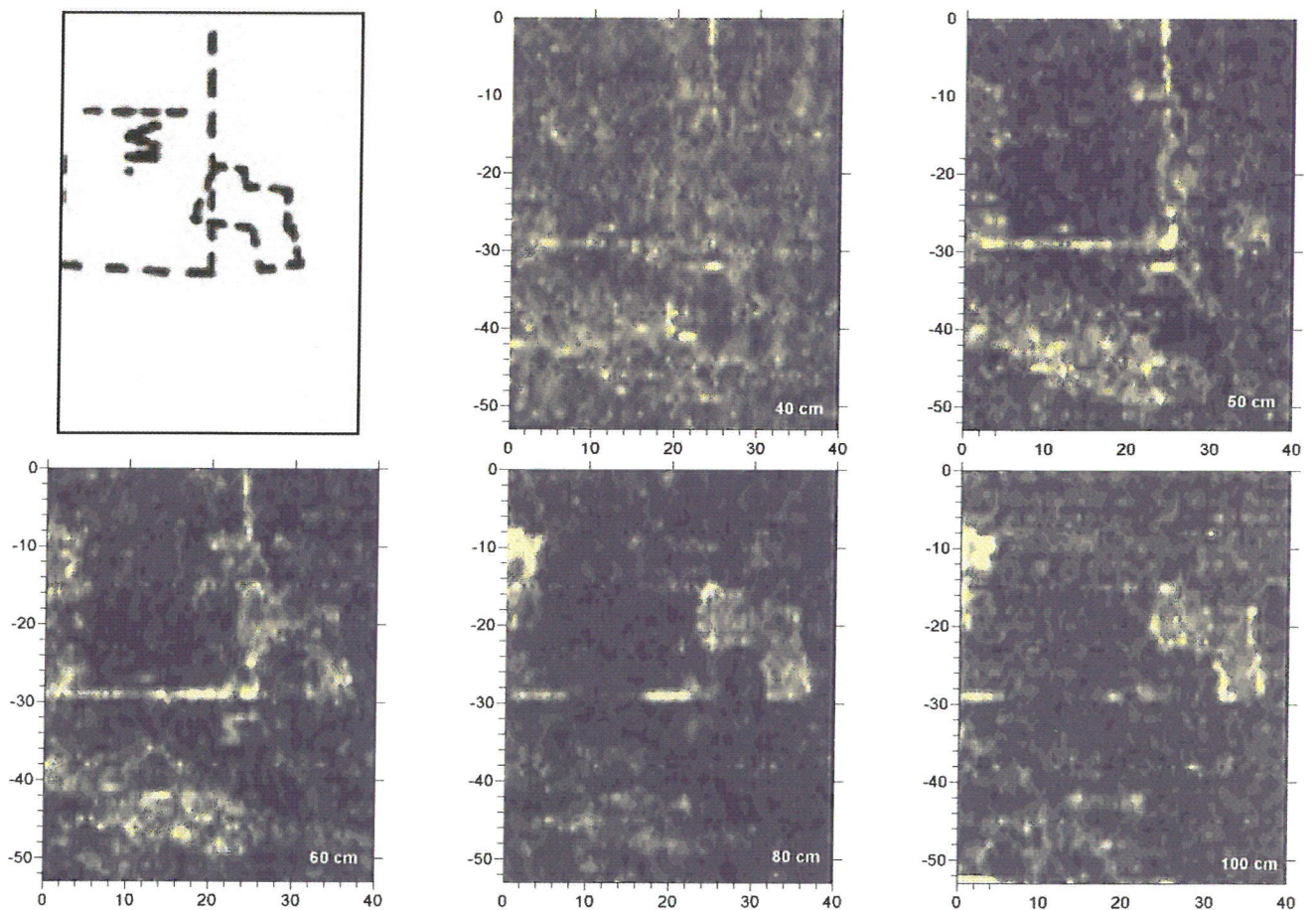
3.2. Elektromágneses módszerek

Az elektromágneses módszerek környezetgeofizikai alkalmazásában fontos tényező, hogy nem a talajhoz rögzített elektródákon keresztül, hanem tekercsekkel méri a talajnak az elektromágneses teret torzító hatását. Ezért, bár gyors mérést tesz lehetővé, az egyenáramú rendszerekkel szembeni nagyobb zajérzékenysége hátráltatja rendszeres alkalmazását. A néhány méteres kutatási tartományban a talaj átlagos fajlagos ellenállásának térképezésére általánosan az EM31-es berendezés használata terjedt el. Az utóbbi tíz évben gyártottak rögzített frekvenciákon működő egyéb



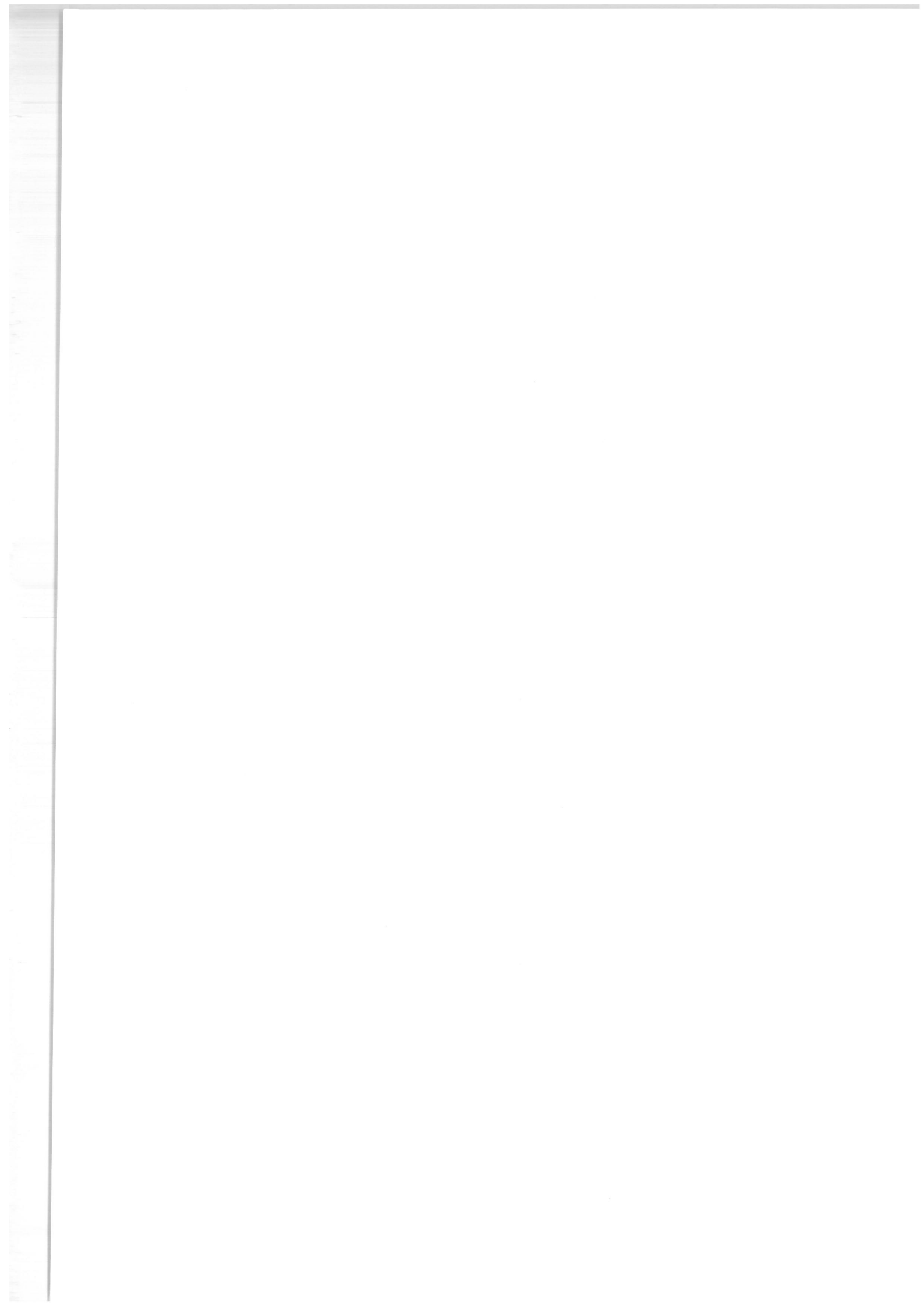
1. ábra. Egy egyenáramú elektromos módszerrel kutatott pince 3-D leképezése

Fig. 1. 3-D ERT image of a cellar



2. ábra. 2.5-D radarmérés eredménye mélységmetszetekben egy régészeti feladatban

Fig. 2. Depth slices of 2.5-D radar measurement on an archaeological site



műszereket is, amelyeket elsősorban talajok fémszennyeződésének kimutatására alkalmaztak.

Az utóbbi néhány évben megjelentek a rögzített távolságú adó-vevő tekercset használó, egyidejűleg több frekvencián mérő, „sétáló üzemmódu” berendezések is (pl. GEM2). Mivel a frekvencia változtatásával a kutatási mélység is változik, a műszer kiválóan használható a környezetgeofizikai feladatok megoldásához, így pl. hulladéktestek lehatárolására, CH-szennyeződések elterjedésének vizsgálatára stb. Az elérhető legnagyobb behatolásnak ugyan határt szab a tekercsek között lévő állandó távolság és a talaj átlagos vezetőképessége, de jobb felbontóképesége és gyorsabb mérési lehetősége miatt a hagyományos elektromágneses módszerek elé helyezhető.

A tranzien elven működő rendszerek a sekélykutatásokban nem terjedtek el.

3.3. A földradar

Speciálisan környezetgeofizikai módszer, amely bár az elektromágnesesség elvén működik, külön fejezetet érdemel. Az első sorozatgyártású digitális radart 1989-ben a kanadai Sensors & Software cég készítette.

A többnyire impulzusos gerjesztésű adóantennából a talajba bocsátott jelek a dielektromos állandóban és vezetőképességben eltérő tulajdonságú rétegek határaitól reflektálódnak, vagy a hullámhosszal összemérhető inhomogenitásokról diffraktálódnak, így a vevőantennával regisztrált jelek a felszín alatti talajszerkezet egyfajta leképezését adják. Alkalmazását megkönnyíti, hogy a kőzetekben az elektromágneses hullám terjedési sebessége nem változik jelentősen (kb. egyharmada a fény levegőbeni hullámterjedési sebességének), így a reflexiós radarszelvények jó közelítéssel mélységszelvények is. Általános tapasztalat, hogy a jó reflexiós radarszelvényhez elegendő csupán a kutatás szempontjából megfelelő mélység elérése, mert a kőzetalkotó, valamint a kőzet repedéseit, hézagait kitöltő anyagok (víz, levegő, CH-szennyeződés) dielektromos állandójukban jelentősen eltérnek egymástól. Így a radarhullámok behatoló képességét, a módszer környezetgeofizikai alkalmazhatóságát alapvetően a rétegsor, különösen a felszínközeli rétegek vezetőképessége határozza meg. Hazai körülményeink között gyakoriak a felszínközeli agyagos képződmények, amelyeknél az agyag erős energiaelnyelő hatása korlátozza a kutatási mélységet.

Külföldi alkalmazásokban talajszennyezettségvizsgálatok során gyakorta a radar az egyik meghatározó módszer. Nálunk jól alkalmazható a barlang- és egyes üregkutatási feladatoknál, kőzetek szerkezetének, repedezettségének mérésénél, mérnöki létesítmények állagvizsgálatainál. A legmélyebb, közel 20 m-es behatolású reflexiós szelvényt itthon a Halászi, vagy a Szekszárd melletti Duna-szakaszok folyóvízi homokos-kavicsos üledékein mérték, 25 MHz-es antennákkal (ELGI). Ugyancsak kedvező behatolás (10–15 m) érhető el a kis fedettségű mészke képződményeken, vagy üde gránitban.

A radarral történő adatgyűjtés a leggyorsabb a környezetgeofizikai módszerek közül. Néhány dm-es mélységek kutatásához (pl. útszerkezet-vizsgálat) 1–1,5 GHz-es frekvenciájú, járműre szerelt, ún. tölcserantennákat használnak. Ezekkel a jármű megfelelő sebességű mozgása mellett is, az úttesttől néhány dm-re felemelve, meg-

felelő minőségű radarszelvény mérhető. A legkorszerűbb radarok többszörös, azaz párhuzamosan több frekvencián működnek, csatornánként különböző mélységekre fókuszálva a mérést, és fel vannak szerelve GPS-sel. A kevésbé robusztus, 100 MHz-es, vagy ettől nagyobb adófrekvenciájú antennák környezeti zajok elleni árnyékolása megoldott.

A radar módszer felszíni 3-D-s használata nem terjedt el a nagyfokú műszerezettség, ill. munkaigénye miatt, míg kismélységű fúrólukbeli vizsgálatokra a 3-D-s radarmérés gyakrabban előfordul. Hazai alkalmazásokban a sűrű szelvényezésű (0,5–1 m közötti) 2.5-D mérési módszerekkel jó eredményeket értek el. A 2. ábrán római kori épületmaradványok kutatási eredménye látható egy kb. 40x60 m-es területen, 450 MHz-es antennákkal mérve.

Az átvilágítás elvén működő radar módszert korlátozottan alkalmazzák környezetgeofizikai feladatokban, elsősorban a műtárgyak vizsgálatában terjedt el. Ugyancsak korlátozott a radarhullámok csillapodásának vizsgálatán alapuló módszerek használata.

Tekintettel a radar igen széleskörű alkalmazási lehetőségeire, a reflexiós mérések feldolgozása, felhasználási területenként különböző értelmezése nagy tapasztalatot és rutint kíván az értelmezőtől.

3.4. A szeizmikus módszerek

A szeizmikus módszerek alkalmazásának tág tere van a környezetgeofizikában. A sekélykutatások a hagyományos nyersanyagkutató eljárásoknál alkalmazott szeizmikához képest kibővültek. Szélesebb a mérési frekvencia sávja: egyes rezgéstani feladatoknál az alsó határ lehet 1 Hz, gyakorlati feladatokban a jobb felbontóképeség elérése érdekében a nagyobb szeizmikus frekvenciáktól az ultrahangig terjed. A dinamikus rugalmassági paraméterek meghatározásához a különböző hullámtípusra alapozott mérések (P- és S-hullámok) kiemelt szerepet kapnak, ugyanígy a felületi hullámos mérések, mert ismeretük közelebb visz a transzverzális hullámsebességek meghatározásához. A mérési geometria változatosabb, mint a hagyományos szeizmikus eljárásokban (tomográf, vagy átvilágítási módszerek megjelenése). A feldolgozás interaktivitása, egyedisége jellemzőbb, a rutinszerűen használható eljárások száma kevés.

A hazai mérnökszeizmikában a legkorábban alkalmazott hullámforrás a hagyományos kalapács után a kenguru (SRII szeizmikus rezgéskeltő), amelyet az ELGI-ben gyártottak (3. ábra), majd ennek fűrt lyukba helyezhető „módosultai”, a különböző „puskák”. Sokféle rezgéskeltési eljárás létezik a súlyejtéstől a vibrátorig, vannak külön transzverzális hullámot keltő források. A legfontosabb velük szemben támasztott követelmény, hogy a kívánt kutatási mélység eléréséhez szükséges energiát szolgáltatssa a talaj átvitele szempontjából a legnagyobb frekvencián, a minél jobb felbontóképeségű mérés kivitelezéséhez.

Az eszközök változatossága a mérés sokféleségéből következik a vevő oldalon is. A felszíni méréseknél általában hagyományos geofonokat használnak, míg a fúrólukbeli vagy vízi méréseknél speciális, a feladatnak megfelelően kialakított eszközökre van szükség. Egyes külföldi munkákban sikeres próbálkozások jelentek meg a vontatott

szeizmikus terítésekkel történő mérések kivitelezésére. Ezek azonban csak speciális körülmények között használhatók. A mérés idejére meg kell állni, mert a vontatás zaja jelentősen rontja a felvétel minőségét.

Adatgyűjtők tekintetében a többcsatornás, fotóregisztrálás, analóg elven működő hordozható berendezések után jelentős változást hozott a digitális, később már számítógép-vezérelt, majd egyre jobb dinamikájú és nagyobb csatornaszámú mérőszekszimikus műszerek megjelenése. Követve az olajiparban már megvalósított fejlesztési eljárásokat, a jelenlegi adatgyűjtési technika eszközei a telemetria irányába fejlődnek. A fejlődés egy másik irányát képviselik a célorientált adatgyűjtők. Ezeket a környezetre káros rezgések vizsgálatára, vagy pl. az ultrahangos környezetgeofizikai vizsgálatokra készítették.

A környezetgeofizikai feladatok sokszínűsége miatt a piacon megvásárolható sekélyszeizmikus feldolgozó szoftverek csak korlátozott lehetőséget adnak a felvételek feldolgozására, ezért az alkalmazók többsége saját fejlesztésű, kellően interaktív szoftverekkel dolgozik.

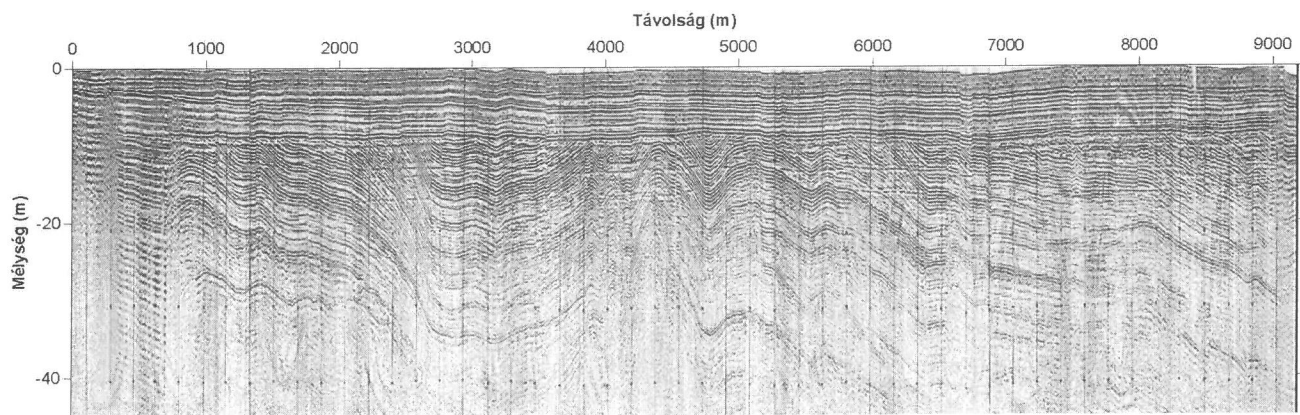
A felszínközeli laza talajok inhomogenitásainak vizsgálatára a hagyományos refrakciós, reflexiós terítésekhez képest általában sűrűbb térbeli mintavételezést valósítanak meg hosszabb felvételek készítésével, amellyel a később különböző célok szerint leválogatott felvételek speciális feldolgozásaira nyílik lehetőség. Ilyenek a szelvényben végzett bemező hullámos tomográfia eredményei, amelyek alkalmazására számtalan példát szolgáltatnak az üregkutatási, felhagyott bányák környezetének süllyedésvizsgálatai (ELGI). Ilyen a felületi hullámok felszínközeli inhomogenitásokon történő reflexióján/transzmisszióján alapuló üregkutatási módszer is (ELGI, Miskolci Egyetem).

A teljes hullámkép értékeléséből kiemelendő a felületi

hullámok szerepe, olyannyira, hogy a mérőszekszimikus kutatásokban ez a leggyakrabban használt hullámtípus. A diszperzív hullámok terjedési körülményeinek értékelésével így a környezetgeofizikai feladatokban leginkább vizsgálni kívánt összetetlet jellemezzük, valamint éppen a talajok olyan geotechnikai tulajdonságaival kapcsolatos jellemzőket határozzuk meg (pl. nyírási modulus), amelyekre csak költséges, közvetlen feltérési módszerek léteznek. Az ELGI-ben néhány éve kezdődött el a Budapest földrengés-veszélyeztetettségi értékeléséhez szükséges térképek elkészítése, ami a felületi hullámok terjedési körülményeinek vizsgálatán alapszik.

A különböző hullámtípusokra alapozott, különböző geometriai elrendezésben végzett szeizmikus sebességtomográf-mérések általánosan elterjedtek a környezeti geofizikában. Nagy előnyük, hogy akkor is kivitelezhetők, ha a vizsgált terület belseje nem közelíthető meg a méréshez — pl. épületek alatti üregesedések, süllyedések, vagy a fúrólukak közötti térség vizsgálatánál. A fúrólukak közötti átvilágítások legnagyobb problémáját a kivitelezés nehézségei adják: a fúrólukkímélő, ugyanakkor elegendő energiát szolgáltató rezgésforrások, valamint alkalmas vevőszondák (szonda-fűzők) használata. Az értelmezést megnehezíti, ha a vizsgált terület a mérés szempontjából csak részlegesen járható körül. A szeizmikus hullámok abszorpcióján alapuló tomográf kiértékelések nem terjedtek el általánosan, de hazai alkalmazásukra vannak sikeres kísérletek (4. ábra).

Vízi szeizmikus méréseket először a Magyar Állami Földtani Intézet szakemberei és kubai geofizikusok végeztek a Balatonon 1987-ben (5. ábra). Később az ELTE Geofizikai Tanszékének kutatói és a GEOMEGA Kft. (Balaton, Duna, Tisza), majd az ELGI munkái (Balaton, Velencei-tó, Duna) fémjelzték a vízen végzett szeizmikus kutatásokat.



5. ábra. Az első nagy felbontású vízi szeizmikus mérés eredménye a Balatonon (1987)

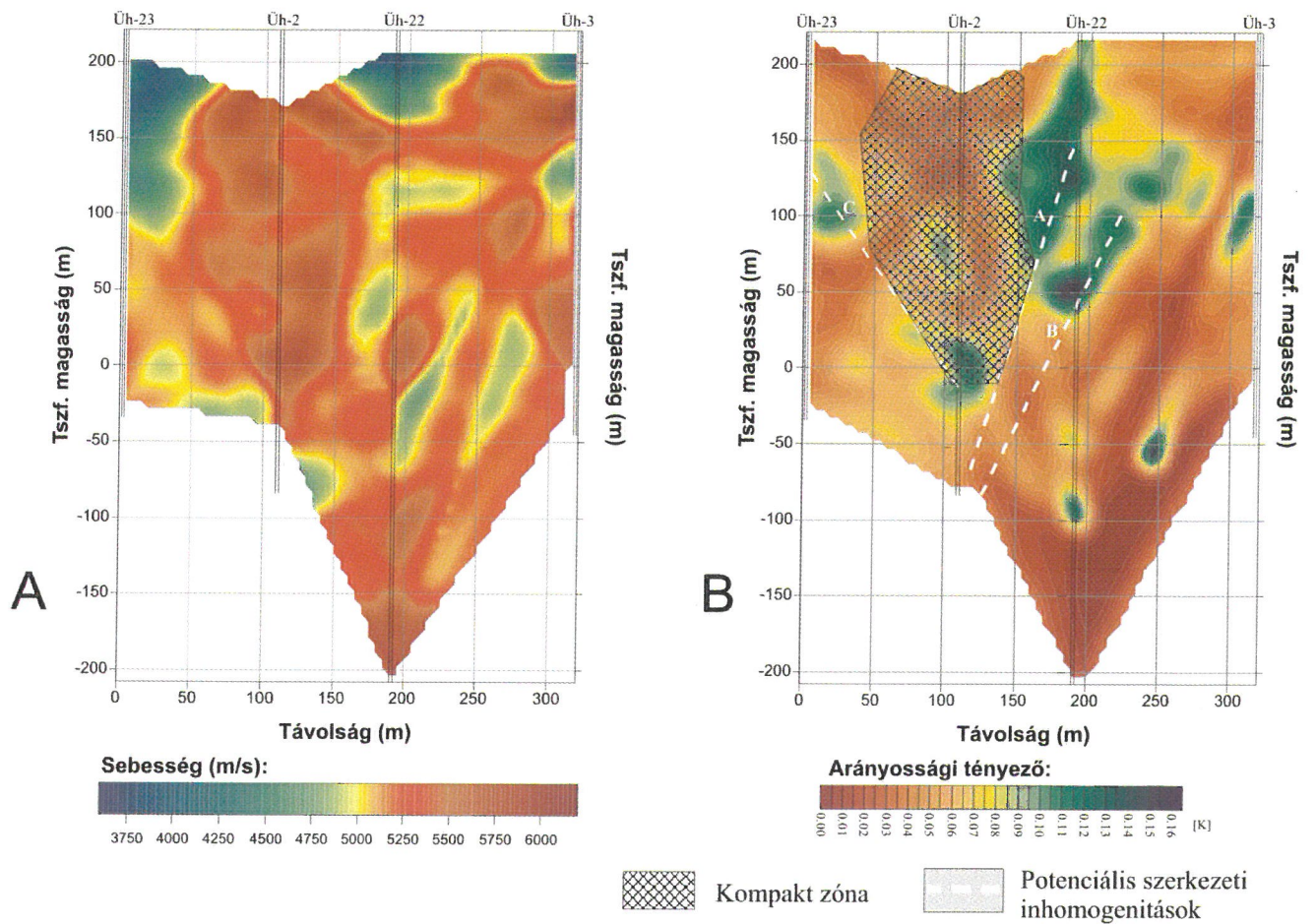
Fig. 5. First application of high resolution seismic measurement on the Lake Balaton (1987)

A vízen végzett szeizmikus mérések is különleges eszközöket igényelnek. Ugyan a hullámterjedési körülmények, az eszközök csatolása, a jelgerjesztési lehetőségek a vízben igen kedvezőek, mégis egy hagyományos reflexiós stacking szelvény vízbéli megvalósításának számtalan technikai és gyakorlati akadály van. Nem véletlen, hogy az eredmények látványosabbak az egycsatornás, adó-vevő és helymeghatározó rendszert alkalmazó mérés technikák esetében. Ilyenek a boomer szeizmikus forrással (meder-környezet geológiai szerkezete) vagy a szonárral (iszapvastagság) mért mérések eredményei.

Bizonyos rezgéstani feladatokra szabványos, nem geofizikai módszerrel kivitelezett mérésfajták léteznek. Mégis, a szeizmikában meglévő sokcsatornás digitális műszerezettség, a talajbeli rugalmas hullámterjedési körülmények ismerete feljogosítják a geofizikusokat, hogy különböző céllal kivitelezett rezgéstani vizsgálatokat végezzenek. Ezekben általában a talajnak mint az épületekre, emberre káros rezgést közvetítő közegnek, vagy nemritkán a talajon lévő épületeknek a jellemzőit kell meghatározni (elmozdulási sebességek, saját frekvencia), ritkábban az ismeretlen eredetű, káros rezgést kibocsájtó forrás megtalá-

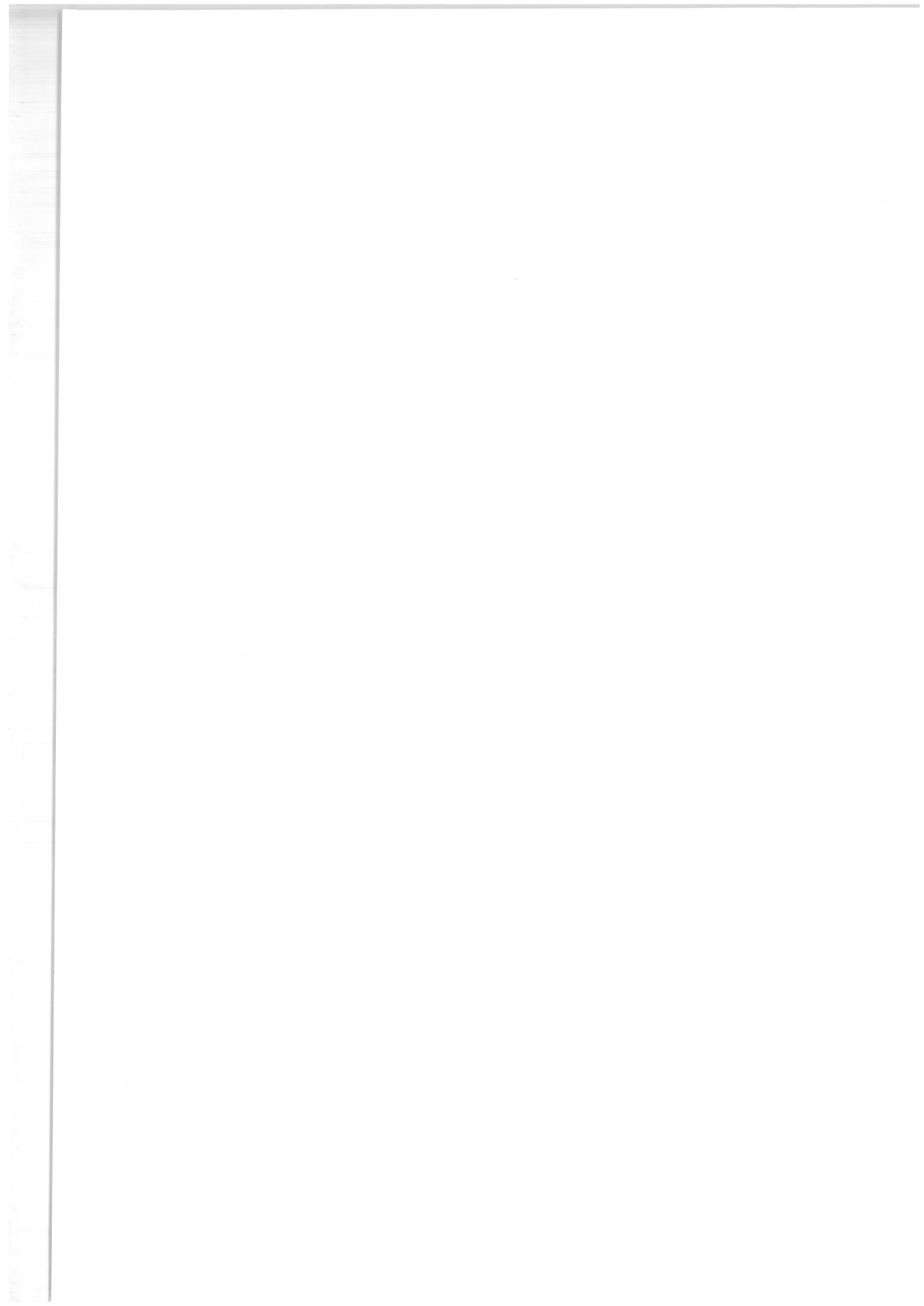


3. ábra. A kenguru, SRII szeizmikus rezgékeltető
 Fig. 3. The kangaroo, SRII seismic source



4. ábra. Szeizmikus sebesség- és abszorpciós tomográf térkép fúrólukak között gránitban. A) sebesség tomográfia; B) abszorpciós tomográfia

Fig. 4. Seismic velocity (A) and absorption crosswell tomogram (B) in granite



lása a feladat. Ilyen jellegű vizsgálatokat több hazai intézményben és vállalkozásban is végeznek (GEOPARD Kft., GEOMEGA Kft., ELGI).

3.5. A mágneses módszer

A mesterséges elektromágneses zajoktól terhelt körzektől távol, zöldmezős beruházásoknál, régészeti feladatok megoldására, nagyobb területek átvizsgálására használják a mágneses módszert, többnyire a felszínközeli eltemetett fémtárgyak kimutatására. Aktuális hazai alkalmazásai az autópályák építését megelőző régészeti kutatáshoz, világháborús roncsok felderítéséhez kapcsolódtak (FRACTAL Bt., ELGI mérései).

A kezdeti, mágneses mérleg elven működő műszerezettség mára jelentősen fejlődött a protonprecessziós, majd az overhauser elven működő magnetométerekig. Ez utóbbi egy módosított, a mérés közben is gerjeszteni tudó protonprecessziós magnetométernek fogható fel, amelynek felbontása jobb az elődjénél. Méretei, energiaszükséglete is kisebbek és a mágneses tér totális értékét méri.

A mágneses tér vertikális gradiensét mérő ún. gradiométerek tipikus környezetgeofizikai eszközök. Ezeknél a műszereknél két érzékelő egymás felett helyezkedik el, ami a jelek különbségeit mérve lehetővé teszi a mágneses tér aktuális ingadozásainak és a regionális, távoli hatásoknak a kiejtését, kiemelve ezzel a lokális hatásokat. Az ilyen korszerű műszer gyors és pontos térképezést tesz lehetővé. Normális gyalogmenetben, vagy ennél is nagyobb sebességgel történő mérés közben a GPS jelei is rögzítésre kerülnek, miközben a pontosság eléri a 0,01 nT-át.

3.6. A gravitációs módszer

Ellentétben a mágneses módszerrel, a környezetgeofizikai feladatok megoldásában ritkán játszik szerepet. A műszerezettség már hosszabb ideje nem fejlődött jelentősen, a mérés lassú, a műszer viszonylag drága, a kiértékelés bonyolult. Elsősorban üregkutatásnál, felhagyott mélyművelésű bányák felszínén is kimutatható hatásvizsgálatainál, esetleg süllyedései monitoring, vagy regionális, felszín alatti vízmozgások megfigyelésénél van szerepe a mikrogravitációs méréseknek. A kőbányai és a budai várbeli üregkutatásnál került hazai alkalmazásra (ELGI).

Külföldi példák szerint épített környezetben történő használatát nagyban megkönnyíthetik a felszínén lévő objektumok tömegére is vonatkozó digitális térképek, mivel pontosabb hatószámítást tesznek lehetővé.

3.7. PS módszer

Napjainkban ismét „felfedezték” a környezetgeofizikai kutatások számára. A felszín alatti szivárgó vizek megváltoztatják a tér eredeti elektromos potenciálját, amellyel a vízben oldott szennyeződések terjedési irányai, alaptestek szivárgási helyei a felszínén végzett mérésekkel kimutathatókká válnak. Hulladékártalókba, völgyzárógátákba beépítve monitoring vizsgálatokra is jól használható, a hosszú idejű regisztrációkkal a módszer elektromágneses zajok iránti érzékenysége erősen csökkenthető.

Hazai alkalmazása szivárgó medencék környezeti vizsgálatánál (ELGI), hulladékártaló monitoring vizsgálatánál (KBFI-TRIÁSZ Kft.) ismert.

3.8. Mérnökgeofizikai (penetrációs) szondázás

A módszer a statikus szondázás vagy CPT (Cone Penetration Test) néven ismert talajmechanikai eljárásnak néhány fűrólyuk-vizsgálati módszerrel való kiegészítése. A hazai változat kifejlesztésében az ELGI munkatársainak jelentős szerepe volt.

A mérnökgeofizikai szondázás laza szerkezetű felszínközeli képződmények — agyagok, homokok, kavicsok és hasonlóan „átjárható” képződmények — vizsgálatára alkalmas. A kutatási mélység az első kemény képződményig (mészke, márga, homokkő stb.), laza rétegekben, jó horgonyzási körülmények között 20–30 m-ig terjed. Alkalmazásával minden 20 cm-nél vastagabb, környezetétől eltérő tulajdonságú réteg biztonsággal kimutatható olyan közegben, amely laza szerkezete következtében magképtelen, így fűrással igen nehezen kutatható. A módszer alkalmazása során a talajhoz rögzített hidraulikus lenyomó berendezéssel forgatás nélkül kis átmérőjű (44 mm) csövet (mérőrudazatot) sajtolunk a vizsgálandó közegbe. A kis átmérő következtében az eredeti tulajdonságok alig változnak meg, majdnem „in situ” adatokat kapunk.

A harántolt rétegek tulajdonságaival kapcsolatban álló sűrű mélységközű (10 cm) adatsorok regisztrálása vagy lehaladás közben a cső hegyén elhelyezett detektorok segítségével, vagy a talpmélység elérése után a cső belsejében mozgatott mérőszondákkal történik. Lehaladás közben a csúcscellenállás, a palástsúrlódás és az elektromos fajlagos ellenállás mérésére van lehetőség, a cső belsejében pedig a radioaktív paraméterek mérésére kerül sor. A radioaktív paraméterek ugyan nem elsődleges sugárzási adatok, de alkalmasak a harántolt rétegek bizonyos tulajdonságok szerinti elkülönítésére. A természetes gamma aktivitás az agyag-iszap tartalommal (az agyag- és az iszapfrakció együttes részarányával), a gamma-gamma aktivitás a halmazsűrűséggel (több összetevőből álló rendszer együttes sűrűségével), a neutronaktivitás pedig a víztartalommal függ össze. A sugárzási adatoknak az említett paraméterekké történő átszámítása etalonokban végzett hitelesítő mérések alapján lehetséges.

A mért adatsorok együttes értékelése lehetővé teszi a földtani képződmények elkülönítését (rétegekre bontását), sok esetben eredeti helyükön való felismerését (minősítését), és néhány — a mérnöki gyakorlat számára fontos — tulajdonság számszerű meghatározását. Az eredményekben élesen elkülönülnek az agyagtartalmú (vízzáró) és a szemcsés (vízvezető) képződmények, amelyek ismeretessége a környezetvédelmi feladatokban különösen fontos. A mérőszár eltávolítása után visszamaradó kis átmérőjű lyuk csak ritkán omlik össze azonnal, így lehetőség van az ún. „megütött vízszint” megmérésére, de filtrációs szonda segítségével bármely réteg megnyitható tartós vízszintmegfigyelés, rétegszelektív víz-mintavétel vagy a k filtrációs együttható mérése céljából.

A módszer elenkegi leggyakoribb felhasználója az ELGOSCAR-2000 Kft.

4. Fontosabb intézmények és vállalkozások a hazai környezetgeofizikai kutatásban

Magyarországon a környezetgeofizikai kutatás története a környezetgeofizikai módszereket alkalmazó hazai intézmények és vállalkozások történetét is jelenti. A vállalkozá-

sok száma meglehetősen nagy, jelenleg kb. 15–20-ra tehető. A leggazdagabb múltra az elsősorban az oktatásban jelen lévő egyetemi tanszékek és az ELGI mint megfelelő háttérrel is rendelkező intézmény tekinthetnek vissza. A többi vállalkozás kialakulásának története nem független az utóbbi évtizedek politikai rendszerváltozásától. Sokuknál nem a geofizikai módszerek alkalmazása az egyedüli megélhetési forrás, az kiegészül egyéb, elsősorban geológiai, környezetvédelmi, talajmechanikai, vagy geotechnikai feladatokkal. Mégis, az alábbiakban bemutatandók közös jellemzője, hogy valamilyen, egymástól különböző, a munkájuk profilját a későbbiekben meghatározó környezetgeofizikai módszer alkalmazásával emelkedtek ki a többiek közül, egyben mindegyikük rendelkezik külföldi kapcsolatokkal.

4.1. ELTE Geofizikai Tanszék

Az ELTE Geofizikai Tanszékének kiemelt kutatási területe a környezetgeofizika, különös tekintettel a sekély behatolású és ultra-nagy felbontású mérési módszerek és feldolgozási eljárások fejlesztésére, értelmezésére. Kompetenciájába tartoznak a hidrológiai és hőtörténeti modellszámítások, az archeomágneses vizsgálatok, a mágneses szuszceptibilitás és számos más közt fizikai paraméter laboratóriumi meghatározása.

A legújabb módszerek fejlesztését és alkalmazását a Balaton és környezete vizsgálatára az OTKA Tudományos Iskola Pályázat kiemelten támogatja.

Nemzetközi együttműködés területén hatékony kapcsolatban állnak az amszterdami Vrije Universiteit, a nápolyi Istituto per l'Ambiente Marino Costiero és az Universität Tübingen földtudományi szakembereivel. Ennek legjelentősebb formái a hosszabb külföldi kinntartózkodások és a közös képzés a PhD cím megszerzése érdekében.

4.2. Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszék

A Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszéke elméleti kutatásaival jelentősen hozzájárul a geofizikai mérések inverziós módszerekkel történő kiértékelési eljárásainak fejlesztéséhez, amelyet az elmúlt években az alábbi témakörök fémjeltek:

- függvényinverziós eljárások fejlesztése és alkalmazása felszínközeli szerkezetek kutatására az egyenáramú geoelektromos, a szeizmikus refrakciós, a szeizmikus felületi hullámos és a gerjesztett polarizációs vizsgálatokban, továbbá a különböző módszerek együttes inverziójában,
- inverziós módszerek és algoritmusok fejlesztése, beleértve az együttes inverziót is a környezeti kutatások által megkívánt megbízhatóság és felbontóképesség eléréséhez, valamint
- inverziós módszerek fejlesztése fúróluk-szelvényezések kiértékelésére.

Felszínközeli szerkezetek vizsgálatára végzett módszertani kutatásaik magukban foglalják a gerjesztett potenciál és elektromágneses módszerfejlesztéstől a szeizmikus tomográfia és geoelektromos rekonstrukciós módszerek fejlesztéséig és alkalmazásáig tartó eljárásokat.

Kiemelkedők az üregkutatás területén a geoelektromos és szeizmikus módszerekkel végzett módszertani és gyakorlati eredményeik, valamint az archeogeofizikai módszerek fejlesztése során elért kutatásaik. A kifejlesztett mód-

szereket, illetve eljárásokat számos környezeti probléma megoldásában — vízbázisvédelem, hulladéklerakók vizsgálata, szennyezett területek kimutatása és lehatárolása, árvédelmi töltések vizsgálata, üregek kimutatása, archeológiai kutatások — tesztelték. Az eredményeket beépítették az oktatásba.

Nemzetközi kapcsolataik vannak német, osztrák, finn, olasz és holland intézményekkel, egyetemekkel.

4.3. MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet, Nyugat-Magyarországi Egyetem Földtudományi Intézet

A Nyugat-Magyarországi Egyetem az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézetbe kihelyezett Földtudományi Intézetet működtet. Ennek révén a GGKI saját — geoelektromos és elektromágneses jellegű — környezetgeofizikai vizsgálatait többnyire az egyetemmel közösen, hallgatók (rendszerint a környezetmérnöki, és újabban a bio-geo szemléletű környezettudományi képzésben részt vevő diákok) bevonásával, elsősorban Sopron környékén végzi. Az elmúlt évek eredményeiből a Fertő geoelektromos térképezése, az ún. null-elrendezéses vizsgálatok, a sokelektrodás térképezés, valamint az élő fák vizsgálatával kapcsolatos elektromos kísérletek emelhetők ki.

4.4. ELGI Mérnökgeofizikai Főosztály

A Mérnökgeofizikai Főosztály a szénbányákban elsősorban szeizmikus telephullám és tomográf vizsgálatokat végző egykori Bányageofizikai Osztályból jött létre a kilencvenes évek elején az ELGI-ben. Utolsó, bányában végzett mérésorozatokra 1993/94-ben a szlovákiai Handlován került sor. Az új feladatok megoldását nagyban elősegítették a bányákban szerzett tapasztalatok. A részben saját fejlesztésű széleskörű eszközpark lehetővé teszi a változatos feladatoknak megfelelő módszerek „testre szabott” kiválasztását, vagy éppen együttes alkalmazásukat (üregkutatás, régészet, mérnöki feladatok, földrengés-veszélyeztetettség, rugalmassági paraméterek meghatározása).

A szeizmikus vizsgálatoknál kiemelendők a *P*- és *S*-hullámokkal együttesen végzett reflexiós, a felszíni hullámos, a downhole/crosshole mérések és a tomográf módszerek alkalmazásai, valamint a nagy felbontású vízi mérések. A többféle típusú, széles frekvenciatartományban működő radarberendezések és saját fejlesztésű feldolgozó szoftverek lehetővé teszik a régészeti alkalmazástól a geotechnikai feladatokon keresztül a műtárgyvizsgálatokig, esetenként a bűnügyi felderítésig terjedő feladatok megoldását. Geoelektromos eszközeik tára magában foglalja az egyenáramú fajlagosellenállás-mérő és szelvényező, és az elektromágneses vezetőképességet mérő berendezések több fajtáját. A VESZ mérések és a sokelektrodás mélység-szelvényezés 2-D és 3-D módszerei a vízbázisok, szennyezések és a földtani környezet kutatására alkalmazhatók sikeresen, míg a többfrekvenciás vezetőképesség-mérő műszer nagyobb területek gyors térképezésére alkalmas.

Jelentős szerepük van az aktuálisan folyó nukleáris-hulladék-elhelyezési feladatok megoldásában. Nemzetközi kapcsolataikat az utóbbi években megalósult és folyamatban lévő európai uniós és NATO-projektek fémjelzik. Meghatározó szerepük volt az MGE által szervezett 1999-es budapesti EEGS-konferencia szervezésében és lebonyolításában.

4.5. ELGOSCAR

Az ELGOSCAR-cégcsoport (ENVIROKOMPLEX Kft., ENVITEST Kft., ELGOSCAR-2000 Kft.) egyidős az iparszerű hazai környezetvédelmi kárfelmérések és kárfelszámolások történetével. A cégcsoport 1991-es megalapítása ELGOSCAR Magyar–Amerikai Környezetvédelmi és Mérnökgeofizikai Kft. néven még az ELGI aktív szerepvállalásával kezdődött, amely akkor is a hazai környezetföldtani kutatás meghatározó intézménye, a geofizikai módszerek világszerte elismert kutatóhelye volt. Az állami földtani kutatás leépítése időszakában beinduló új környezetvédelmi jogalkotás és tevékenység leginkább a földtanorientált szemléletet és tapasztalatot igényelte, így az ELGOSCAR Kft. továbbvitte és az új szerepvállalásnak megfelelően fejlesztette, ill. szelektálta a hagyományos geofizikai-földtani vizsgálati eljárásokat.

A meginduló in situ módon végzett környezetvédelmi kárelhárítások során a biológia, kémia, műszaki építésfejlesztés, terepi és laboranalitika felhasználása mellett megőrizte a földtani szemlélet és kutatás vezető szerepét, melyet a cég szakmai állományának összetétele is híven tükröz. A geofizikai feltérképezési módok közül a geoelektromos felszíni szelvényezések, térképezések (VESZ, HESZ, EM-31, VLF) alkalmazása mellett a mérnökgeofizikai szondázást olyan módszerként alkalmazza, mely az OMFB pénzügyi és az ELTE Geofizikai Tanszék szakmai támogatását élvezi. A cég több hazai egyetem környezetmérnök- és geofizikus-képzésében vesz részt, segíti az anyagi, technikai és szakmai felkészítést, a diploma megszerzését.

4.6. GEOMEGA Kft.

A GEOMEGA Földtani és Környezetvédelmi Kutató-Szolgáltató Kft. 1992 óta működik Magyarországon. Munkatársai és szakértői szakmai tapasztalatára, valamint folyamatosan bővülő geofizikai eszközparkjára épülő, komplex földtani-geofizikai szolgáltatást nyújt. Tevékenységének sokrétűségét mutatják az elmúlt évek során sikeresen elvégzett feladatok, melyek a geotermikus potenciál felméréstől a tektonikai stabilitásvizsgálat, vízbáziskutatás, mérnökgeofizikai mérések témákon át az európai uniós projekt keretében történő módszerfejlesztésekig terjednek.

A környezetgeofizikai feladatok megoldásában az elmúlt tíz év során a GEOMEGA Kft. hazánkban kiemelkedő pozíciót szerzett a vízi szeizmikus kutatások területén, mely tevékenységét számos nemzetközi méréssel is fémjelzte. Ezek magukban foglalják a rétegtani és tektonikai vizsgálatok céljából végzett nagy felbontású vízi geofizikai méréseket, a mederfenék részletező térképezését és változásainak monitorozását, valamint a szennyezett iszaprétegek elterjedésének és vastagságának térképezését.

A környezetgeofizikához kapcsolódó fontosabb tevékenységeik még a talaj szennyeződések felderítése, monitorozása, a vízbázisok kutatása, állapotfelmérése geofizikai módszerekkel, a speciális létesítmények (erőmű, gát, magas építmények) földrengés-veszélyeztetettségének vizsgálata és az eltemetett tárgyak (pl. fémtárgyak, veszélyes hulladékok) kimutatása.

4.7. A GEOPARD Kft.

A GEOPARD Geotechnikai, Környezetvédelmi Kutató-fejlesztő és Szolgáltató Kft. 2003-ban ünnepelte jogelődjének, a Pécsi Szénbányászati Tröszt Kutatási Osztálya megalakulásának 50. évfordulóját. A mélyművelésű bányák működése idején az osztály a tűz- és robbanásvédelem, a gázkitorés-elhárítás, a geofizika, a közetmechanika, a környezetvédelem és a porvédelem területén jelentős szakmai eredményeket felmutató intézmény volt. A geofizikai csoport több irányban is folytatott kutatásokat, foglalkozott a szénben terjedő szeizmikus hullámok, a telephullámok vizsgálatával átvilágítás és reflexiók mérések alapján, a közet tönkremenetelét kísérő akusztikus emissziós jelek észlelésével, és a törések helyének meghatározásával. Fontos kutatási terület volt a szeizmikus átvilágítás mérések feldolgozása sebességtomográfiai módszerrel, amellyel a bányászati műveletek hatására létrejövő feszültségátrendező és fellazulási folyamatokat rekonstruálták.

A Mecseki Szénbányák megszűnését követően a piaci igényeknek megfelelően a környezetvédelmi tevékenységek váltak hangsúlyosabbá, amelyekből a legfontosabbak a különböző eredetű rezgéshatások és rezgésterhelések, a stratégiai létesítmények rezgésvédelmi, földrengés-állósági vizsgálati, valamint a rezgésterheléssel járó feladatok diagnosztikája és azok megoldásai voltak. Kiemelten foglalkoznak a geofizikai módszerekkel történő hulladék-elhelyezési vizsgálatokkal, a felszín alatti fémtárgyak keresésével és a mérnöki célú geofizikai kutatásokkal.

4.8. KBFI-TRIÁSZ Kft.

A KBFI-TRIÁSZ Termékgyártó, Szolgáltató és Kereskedelmi Kft.-t a Központi Bányászati Fejlesztési Intézettel együtt a KBFI Geotechnikai osztályának munkatársai hozták létre 1989-ben, akikhez később csatlakozott a korábban az ELGI-ben dolgozó néhány műszer- és módszerfejlesztéssel foglalkozó kutató-fejlesztő mérnök.

A cég tevékenységi köre a geoelektromos mérésekkel megoldható környezetvédelmi és mérnökgeofizikai feladatokhoz kapcsolódik. Kezdetben árvízvédelmi töltéstestek altalaj- és repedezettségvizsgálatával, vonalas létesítmények nyomvonalának geoelektromos módszerrel történő felméréseivel, üregek, pincék, barlangok felkutatásával foglalkoztak. Tevékenységük később kiegészült a talajvíz-áramlási vizsgálatokkal, szennyezett területek lehatárolásával, sérülékeny és távlati vízbázisok, kommunális és veszélyeshulladék-lerakók, folyók és tavak medre környezetének geofizikai vizsgálatával.

Saját fejlesztésű — főként geoelektromos — műszerekkel és módszerrel geofizikai monitoring rendszereket telepítenek és üzemeltetnek az újonnan létesített hulladéklerakók szigetelő fóliája épségének vizsgálatára. Sokéves mérési tapasztalataik alapján kifejlesztették a sokelektrodás számítógépezérelt RESP-12 (egyenáramú ellenállás- és sajátpotenciálmérő) és a kisméretű váltóáramú GRM-120 (Geoelectric Resistivity Meter) mérőrendszereket, amelyeket itthoni és külföldi eladásra is gyártanak. A mérési adatok feldolgozására és értelmezésére kifejlesztett 2-D és 3-D számítógépes szoftvereiket több hazai és külföldi cég használja.