

Henderson: „Városi és ipari környezetben alkalmazható geofizikai technikák”

az *Exploration Geophysics* 1992. decemberi cikke alapján

A hagyományos nyersanyag- és talajvízkutatás területén világszerte megfigyelhető recesszió arra kényszeríti korunk szakembereit, hogy további olyan területeket tárjanak fel, ahol a geofizika módszerei sikeresen alkalmazhatók. Ez az igény találkozik az a sajnálatos ténnyel, hogy napjainkban a környezetszennyezés problémája egyre súlyosabbá válik. Ily módon szinte adja magát a feladat, hogy a geofizikai módszerek segítségével próbáljuk meggátolni környezetünk elszennyeződését, illetve segítséget adjunk a kárelhárítási munkák elvégzéséhez.

Egy másik lehetőségként adódik a geofizika mérnöki célokra történő alkalmazása, így pl. használható üregkutatásra, földcsuszamlások előrejelzésére, nukleáris reaktorok környezetének vizsgálatára stb. Sokan és sok helyütt foglalkoznak már különböző eltemetett föld alatti objektumok (kábelek, csővezetékek, hordók) kutatásával, hasonlóképpen régóta alkalmazzák a geofizikai módszereket kriminalisztikai problémák (elásott holttestek, fegyverek lokalizálása) megoldására is.

Ebben a cikkben a fenti problémák megoldására alkalmazható geofizikai technikákat ismertetjük, valamint néhány esettanulmány vázlatos bemutatására kerül sor.

A cikk alapjául az 1992-ben, az *Exploration Geophysics*-ben megjelent „Geophysical techniques in urban and industrial environments” című cikk szolgál.

1. Bevezetés

A városi és ipari területeken fellépő, geofizikai módszerekkel megoldható problémák számos közös vonással rendelkeznek. Elsőként említeném, hogy az esetek nagyon nagy százalékában kis mélységben eltemetett objektum helyének, kiterjedésének vagy alakjának vizsgálata a célunk. Ilyen környezetben nem kerülhető el a mesterséges eredetű zajok problémája (mint pl. csövek és kábelek, távvezetékek, kerítések, vasútvonalak mágneses és elektromágneses interferenciája, a repülőtéri radar elektromágneses zaja, a közlekedés vibrációs zaja stb.). Ezek mind-mind hozzáadódnak a természetes eredetű zajokhoz, eltorzítva ezzel a mérési eredményeket.

Ez szükségessé teszi a mesterséges létesítmények által generált válaszok, valamint a geofizikai technikák és készülékek alkalmazási lehetőségeinek és korlátainak pontosabb ismeretét is.

A városi környezet természetesen erős korlátokat szab a mérési elrendezések (esetleg fúrólukak) helyére és geometriájára vonatkozóan, ráadásul a talaj megbolygatottsága is sokszor nehezíti a mérések kiértékelését. Sok esetben nagyon finom felbontás (néhány cm) szükséges a keresett objektum feltáráshoz.

További eltérés a „hagyományos” mérési metódusoktól, hogy a megszokott homogén, izotrop rétegsor modell feltételezés helyett a keresett objektumok itt általában szabálytalan, anizotrop, inhomogén képződmények.

A leggyakrabban alkalmazott mérési technikák a mágnesesség, a georadar (GPR), az elektromos és elektromágneses (EM) módszerek, a radiometria és ritkábban a szeizmikus és mikrogravitációs technikák. Az 1. táblázatban megtalálható ezek mindegyikének néhány fontos jellemzője, úgymint működésének fizikai alapja, használatának relatív nehézsége, előnyei, hátrányai. Mindegyik módszer kivitelezéséhez elegendő egy vagy két személy.

Több mérési módszer együttes használatával természetesen megbízhatóbb eredményt kaphatunk, különösen azokban az esetekben, ha a keresett objektum fizikai természetét nem ismerjük jól, vagy ha olyan helyen is létezik célobjektum, ahol az előzetesen nem volt várható. Példaként említhetnénk, hogy a magnetométeres kutatás könnyen ki tudja mutatni a ferromágneses tartályt, nem tudja viszont érzékelni a tartályból kifolyó szennyeződést. Ehhez már egy másik módszer szükséges. Más esetben ferromágneses objektumok létezhetnek olyan helyen, ahol csak nem ferromágneses anyagok létét feltételezték, így módon pedig a korábban nem tervezett magnetométeres kutatások hasznosakká válhatnak.

Néhány módszer az objektum közvetlen hatását használja ki, míg mások az általa keltett másodlagos hatást érzékelik, így a céltárgy létét közvetve mutatják ki. Például a nedves talajban lévő fém korróziós potenciálja vagy az eltemetett cső környezetében megmozgatott talaj egymástól függetlenül kimutathatók.

Minden, a geofizikában használatos mérési technika, beleértve a légi, tengeri, talaj- és fúrólukbeli méréseket (és a fúróluk tomográfiát is) itt is alkalmazható. Használhatók is a hasonló típusú készülékek, jóllehet, amennyiben az itt összefoglalt alkalmazási lehetőségek jobban elterjednek, abban az esetben speciális készülékek kifejlesztése is várható, amelyek jobban megfelelnek a feltételeknek és a kívánalmaknak. Ugyanígy alkalmazhatók a korábbi értelmezési technikák is, de ezeket lehet finomítani és hozzáidomítani a speciális körülményekhez.

MERRICK és HOCKING [1992] pl. kidolgozott egy speciális technikát egy nagyon bonyolult felépítésű beépített területen az útburkolat alatt lévő horgony kimutatására és kifejlesztett egy speciális matematikai módszert az eredmények értelmezésére. WHITELEY és JEWELL [1991] azt állítja, hogy az általuk alkalmazott hagyományos módszer téves következtetésre vezetett egy esetben és eredmény hiányában a szokatlan és bonyolult feltételek miatt kifejlesztettek egy új módszert és több újdonságot is bevezettek,

Jellemző	mágneses	G.P.R	Elektromágnesesség		elektromos ellenállás	sajátpotenciál	szeizmika	radiometria	mikro gravitáció
			frekvencia	gerjesztett polarizáció					
A válasz oka	Az anyag mágneses szuszceptibilitása	A dielektromos tulajdonságok változásai	Az elektromos vezetőképesség változásai			Oxidációs-redukációs potenciálok	Közetsebesség változások	radioaktivitás	sűrűségváltozások
Használatának relatív nehézsége	nagyon könnyű	nem olyan könnyű	nagyon könnyű	könnyű	könnyű	nagyon könnyű	nem olyan könnyű	nagyon könnyű	könnyű
A megkívánt adatfeldolgozási lépések száma	keves	néhány	egy sem	nagyon kevés	nagyon kevés	semmi	néhány	semmi	néhány
Különleges előnyök	- nagyon könnyű kivitelezés - ez a legalkalmasabb módszer fémes tárgyak esetében - nagy mélységű behatolás	- nagyon jó kis tárgyak és megbolygatott talaj esetében	- nagyon könnyű és gyors mérés - az értelmezés jórészt minőségi	- mély behatolású a mérendő területen	- mind alacsony, mind pedig magas ellenállásra ad választ	- könnyen használható	- jó mélységi felbontás	- nagyon könnyű és gyors a kivitelezése - speciálisan csak radioaktivitást mér	
Hátrányok	- az értelmezés nem egyértelmű (kiegészítő módszer szükséges)	- mélységi behatolást az anyag és a nedves talaj korlátozza - az értelmezés bonyolult lehet	- a mélységi értékeket rosszul mutatja ki	- a FEM-nél jóval érzékenyebb a környező zajokra	- elektroda érintkezés szükséges - kicsi, az elrendezéstől függő mélységű behatolás	- alkalmazása korlátozott - nem lehetséges mennyiségi értelmezés	- energiaforrása a környezet szempontjából sokszor elgádhatalan - az effektusok gyakran kicsik		- az értelmezés nem egyértelmű (kiegészítő módszer szükséges) - akkurátus pozicionálást kíván

1. táblázat

főleg a fúrólukák használatával és a fúróluk-fel-szín módszer alkalmazásával kapcsolatban.

2. Példák a geofizikai módszerek alkalmazására városi és ipari környezetben

Bűnügyi kutatások és eltemetett objektumok kutatása

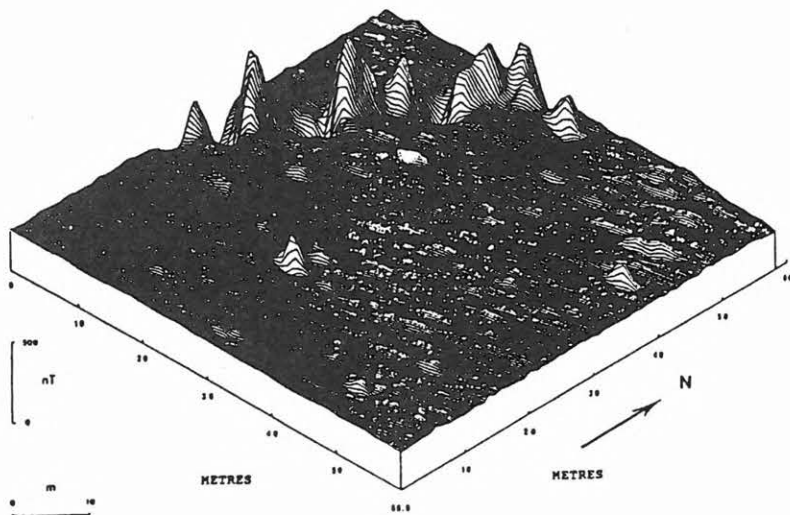
A geofizika egyik újszerű alkalmazása az ún. törvényszéki geofizika, ami alatt bírósági bizonyítékok geofizikai eszközökkel történő felkutatását kell értenünk. Ezek lehetnek ellopott javak, gyilkos kézfegyverek vagy akár kis mélységben elhantolt áldozatok holtteste is. Ezek a kutatások a geofizika segítségével nélkül sokszor nagyon jelentős rendőri erőket kötnék le és meglehetősen kevés eredménnyel járnak. B. R. SPIES már az 1970-es évek közepén használta a tranziens elektromágneses (TEM) módszert a SIROTEM egy korai prototípusával és a rendőrséget Canberrában egy fegyverrejtekhely nyomára vezette. FRAMPTON és BAWDEN [1991] pedig GPR technikát alkalmazva talált meg nagyon sikeresen föld alá rejtett kis tárgyakat (pl. kézfegyvereket).

STANLEY és CATTACH [1990] nagy felbontású mágneses térképezést folytattak veszélyes hulladékot tartalmazó tartályok kimutatására.

Mint az az 1. ábrán látható, nemcsak a tartályok és más lineáris képződmények (mint pl. vízvezetékrendszer) miatt megjelenő tiszta anomáliákat tudták kimutatni, hanem még azt a térelsimulást is, amit az okozott, hogy egy autópálya építése miatt eltávolították a felső mágneses ta-

lajréteget. LORD és KOERNER [1990] könyvükben részletesen foglalkoznak veszélyes anyagokat tartalmazó konténerek kimutatásával. Összesen 17 nemroncsoló technikát vizsgáltak meg acél-, illetve műanyagtartályok kimutathatósága szempontjából. A végső tesztesre ezek közül 4 maradt meg, mégpedig az elektromágneses, a fémdetektoros, a mágneses és a georadar (GPR) módszer. Ezek mindegyikének megvizsgálták az erősségeit és a gyengéit.

Végül azt találták, hogy ezek közül egyedül a GPR módszer képes a műanyag konténer kimutatására — a GPR, az EM és a fémdetektorok mind konduktív



1. ábra. Egy olyan terület mágneses térképe, amiről feltételezték, hogy nagy méregtartalmú folyadékkal megtöltött tartályokat rejt. Ezt sikerült is azonosítani az adatok alapján a (25E,20N) helyen. Megfigyelhető még két további anomália a térképen: egy nagy intenzitású lineáris anomália, ami egy vízvezetékcső képe és egy elsimított lineáris anomália az előbbivel párhuzamosan, ami egy útpálya építése miatt eltávolították a felső mágneses talajréteget. [STANLEY és CATTACH 1990 nyomán]

területekre korlátozódnak — a mágneses módszer mindenféle feltételek között jól működik fémtartályokra, a GPR a talaj megbolygatottságának kimutatására képes, amit a céltárgy eltemetése okozott.

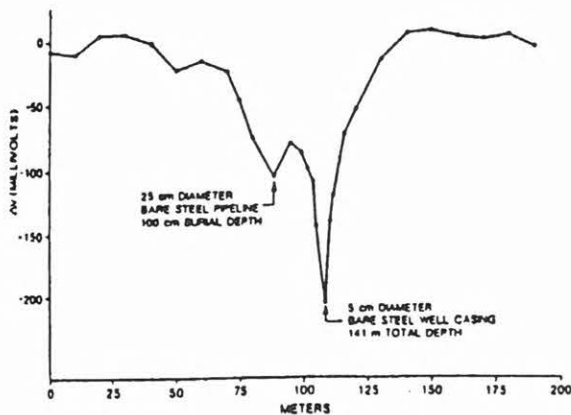
Eltemetett fémtárgyak detektálhatók azonban közvetett módon is, amennyiben rozsdásodnak, lévén hogy az ekkor fellépő redoxi folyamatok kimutathatók indukált polarizációs [OLHOEFT 1986] vagy sajátpotenciál mérési metódus segítségével [CORWIN 1990].

Kedvező körülmények között nagyobb eltemetett tartályok már levegőből végzett mérésekkel is feltérképezhetők, így jelentősen lecsökkenthető a kutatásokra fordítandó idő. Fontos továbbá, hogy a gradiens módszer jobb felbontású, mint a totális tér mérése. SCHLINGER [1990] cikke alapján látható, hogy a gradiens módszer az eltemetett tartály hosszúságát és irányát jobban visszaadja, mint a totális téranómália.

ÜNTERBERGER et al. [1991] és BEVAN [1991] sikeresen használtak georadart (GPR) recens sírok helyének feltárására. Fontos megjegyeznünk, hogy amit kimutattak, az a megbolygatott talaj volt, szemben a máshol érintetlen talajjal. Ez a különbség viszont jóval kevésbé érzékelhető akkor, ha a talaj nedves, mondjuk eső után. Az adó-vevő távolság gyakran csak 30 cm, ami nagyon részletes térképezést jelent, viszont szükség is lehet ilyen részletes kutatásra. FRAMPTON és BAWDEN [1991] szintén GPR technikát alkalmaztak ősi temetők kimutatására. Ők olyan jelfeldolgozási technikát alkalmaztak a GPR adatok értelmezhetőbb formába alakítására, mint ami a szeizmikus reflexiós módszernél szokásos.

Föld alatti fémcsővek és kábelek sikeresen észlelhetők elektromos, elektromágneses, mágneses vagy GPR technika segítségével. Ez utóbbinak elég korlátozott a mélysége, de nagyon jó felbontású, ami különösen örömteli a telefontársaságok számára. Mint arról már korábban szó volt, a sajátpotenciál módszer közvetett módon szintén alkalmas fémcsővek kimutatására. A 2. ábra [CORWIN 1990] ezt illusztrálja.

A műanyag csöveket mágneses módszerrel nem lehet érzékelni, ugyanakkor viszont jól térképezhető elektromágneses és elektromos módszerrel, ab-

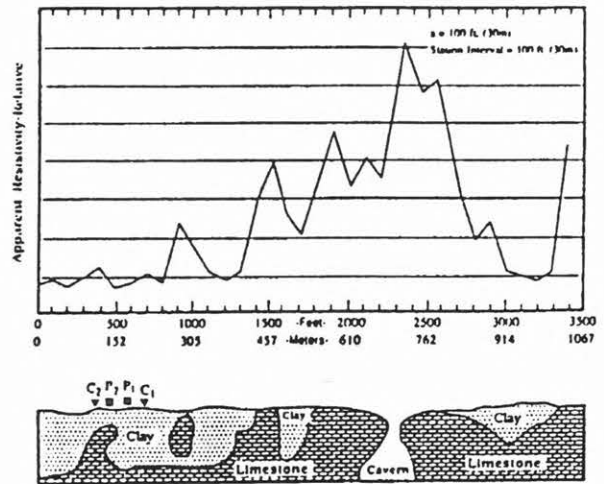


2. ábra. Eltemetett csövek és béléscső által okozott sajátpotenciál anomáliák. [CORWIN 1990 nyomán]

ban az esetben, ha valamilyen folyadékot tartalmaznak, különösen ha az jól vezető folyadék. A csövek lefektetésével kialakult üres tér, illetve a megbolygatott talaj is érzékelhető elektromos vagy GPR módszerrel.

Üregkutatás

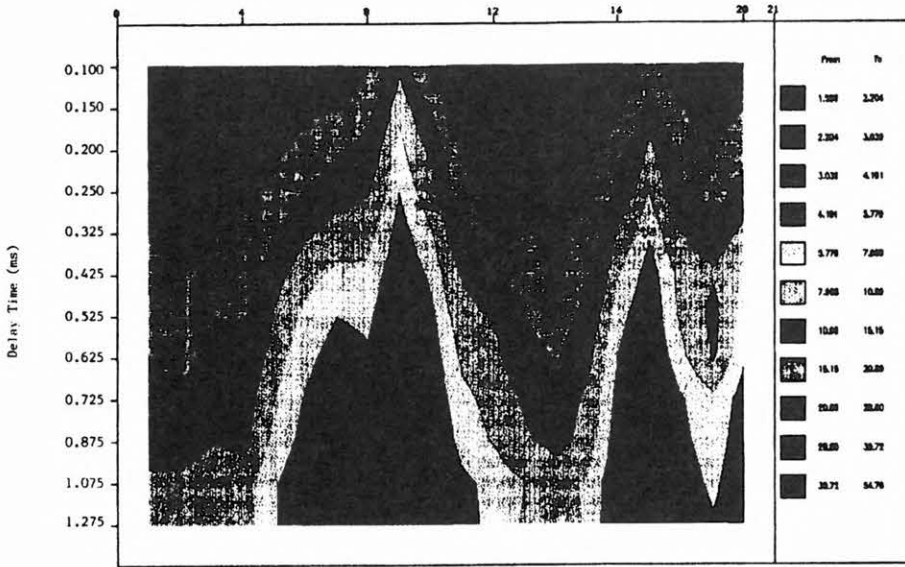
Az üregkutatás a városi környezetben alkalmazott geofizika egy másik fontos alkalmazási területe. Az üregek helyének és méretének meghatározása azért fontos, mert a föléjük épített létesítmények megsüllyedhetnek vagy összedőlhetnek. Szerencsére a mészkőbarlangok és környezetük között általában elektromos ellenálláskontraszt van vagy azért, mert nagy vezetőképességű agyaggal, ill. vízzel vannak kitöltve, vagy azért, mert üresek. Ily módon az elektromos vagy az elektromágneses módszer alkalmazható. A 3. ábra mutat egy példát az elektromos ellenállás módszer alkalmazhatóságára agyaggal kitöltött és üres barlangok felett.



3. ábra. Wenner-elrendezéssel érzékelt ellenállás anomáliák karsztos morfológiájú terület felett [VAN NOSTRAND és COOK 1966 nyomán]

HENDERSON [1990] tranziens EM eljárást alkalmazott Malajziában egy Ipoh nevű városban azt követően, hogy ott néhány ház már összeomlott az alattuk lévő üregek beomlása miatt. Rendkívül nehezítette a méréseket, hogy azokat csak a szűk, 8 m széles utcákon lehetett kivitelezni. Mindemellett a háztartási szolgáltatások csövei és kábelei által létrehozott hamis interferenciákkal is számolni kellett. NELSON és HAIGH [1990] úgy találták, hogy a SIROTEM rendszer (egy tranziens elektromágneses szondázási rendszer) gyors és könnyen használható és sokkal jobb eredményeket szolgáltat, mint pl. a szeizmikus vagy a gravitációs módszer.

A 4. ábra egy kutatási profilt mutat példaként arra, hogy milyen anomáliát keltenek az üregek. A 9. állomásnál látható anomália egy olyan üreg helyét mutatja, amelyik már egy ház beomlásához vezetett. A 17. állomásnál látható hasonló anomália egy másik üreg lehet, aminek a teteje egyelőre még zárt.



4. ábra. Egy SIROTEM Mk3-mal készített látszólagos ellenállás keresztmetszet és a hozzá tartozó mérési geometria a 4. szelvény mentén 12,5 méteres állomásközzel és 12,5 méteres tekercstávolsággal. A 9. állomásnál lévő üreg a szelvényen létrehozott egy kis ellenállású anomáliát. Hasonló anomália látható a 17. állomásnál, ahol így fennáll egy másik üreg létezésének veszélye

RUMBENS [1990] tekercs-tekercs EM technikát alkalmazott sokkal kisebb behatolási mélységgel, mint a TEM, szintén üregek kimutatására. OGDEN et al. [1991] pedig 3-potenciál ellenállás módszer segítségével állapította meg mészkőben lévő, levegővel kitöltött vetők és üregek helyét, amelyekbe kerozin jutott egy kilyukadt föld alatti tartályból. DANIELS [1988] arra mutat példát, hogyan lehet a szeizmikus reflexiók vagy a GPR metódust föld alatti üregek kutatására felhasználni és kifejti, hogy amennyiben a törések összefüggnek, azok könnyebben kimutathatók.

DANIELS közölt egy cikket a fúróluk kutatásokról is, beleértve a fúróluk-fúróluk konfigurációt (ahol több fúróluk is lehetséges), ahol inkább az áthatoló szeizmikus vagy GPR energiát mérik, mint a visszavert energiát és ahol a tomografikus rekonstrukció nemcsak az üreg helyzetét, hanem annak méretét és alakját is képes megmutatni. Az olyan fúróluk módszerek, mint pl. a TEM és a GPR, képesek mérni az épületalpok sértetlenségét oly módon, hogy kimutatják az alapokban lévő üregeket, vagy a bennük lévő acél deformációjának mértékét. Ennek egy újszerű alkalmazása a nagyon magas frekvencián (1 GHz vagy nagyobb) alkalmazott GPR, ami épületek szerkezetében lévő kis lyukak létezéséről adhat információt.

Mikro-gravitációs mérések is használhatók üregek detektálására, mivel ezek sűrűségkontrasztal jellemezhetőek. Ha azonban az üreg részben vagy egészen anyaggal van kitöltve, a gravitációs anomália nagyon kicsi és így rendkívül precíz mérésekre van szükség. Ebben az esetben a sűrűségkontraszt mészkő esetében $0,5-1,5 \text{ kg/m}^3$ és a lyuk méretétől és mélységétől függ a kialakuló anomália nagysága. A legnagyobb anomália sem éri el azonban a

$0,1 \text{ mm/sec}^2$ -os (0,01 mgal) értéket, ami kisebb, mint a normál graviméterek érzékenysége és súlyos követelményeket támaszt a terepi eljárással és az adatfeldolgozással szemben. A tipikus árapály-változás 24 óra alatt pl. ennek az értéknek a 3-szorosa. A téma részletes tárgyalása — különös tekintettel az érzékelhetőség és a felbontás kérdéseire — néhány esettanulmánnyal BUTLERNél [1984] megtalálható.

Ha az üreg üres (csak levegővel töltött), a kontraszt egy kicsit magasabb és egy sűrű mérési elrendezés eredményes lehet. Ennek ellenére BUTLER kimutatja, hogy egy gömb alakú üreg csak akkor érzékelhető, ha mélysége a sugarának legfeljebb a 3-szorosa. LIU és XI [1990] éppen ilyen szituációban végeztek kutatásaikat 5 m-

es hálótávolsággal (a BUTLER által végzett kutatásoknál 3 m-es hálótávolságot használtak) és ismételt megfigyelésekkel kimutatták, hogy $\pm 0,1 \text{ m/sec}^2$ -es mérési pontosság szükséges egy ilyen helyen ahhoz, hogy a hitelességet biztosítani tudjuk.

Radon gáz mérések szintén alkalmazhatók üregkutatásra, mivel az üregek alacsony radongáz-tartalommal rendelkeznek a befolyó talajvizek következtében [NIELSON 1990]. NIELSON közlétesz egyben egy esettanulmányt is, amit Moszkvában kiviteleztek ezzel a módszerrel.

Talaj-, és talajvízszennyezés

Városi környezetben a talajt és a talajvizet gyakran szennyezik mérgező anyagok. Az elsősorban az ipari telephelyekről és a kilyukadt tartályokból és csövekből eredő szennyeződést több helyen is vizsgálták már. A geofizika távérzékelő hatása igazi előnyt jelent sok esetben, amikor a veszélyes kemikáliák megbolygatása vagy a velük való érintkezés veszélyes lenne. Számos példa található erre a Geotechnical and Environmental Geophysics-ben [1990, 2. kötet] és FRISCHKNECHT et al.-nál [1991]. LAHTI és HOEKSTRA [1991] is közöl azonban példákat. Elsőként egy olajmezőről kimigráló sós víz által elárasztott közettartomány laterális kiterjedését vizsgálja meg EM frekvencia profilméréssel, majd tranziens elektromágneses szondázás segítségével a sósvízzel telített zóna vertikális méretét határozza meg. ZERILLI és JAMES [1991] közöl egy modelltanulmányt szennyezőanyag fúróluk-felszín módszerrel való kutatásáról. FOSTER et al. [1987] részletesen leírja a veszélyes szennyeződések kimutatására használhatóknak talált módszereket. CORWIN [1990] megjegyzi, hogy sajátpotenciál alkalmazásáról nem ismer

publikált eredményt, jóllehet az (kis anomáliákkal ugyan, de) használható.

Ahogy a szennyeződések helyének meghatározása és feltérképezése, úgy az adott hely hidrológiai és szerkezeti feltételeinek meghatározása is kívánatos, hiszen ez irányítja a migrációt és a diszperziót. Ilyen jellegű információk szükségesek ugyanakkor az új szeméttárolók vagy más potenciális szennyező források elhelyezésénél és a tárolók megtervezésénél is.

STEEPLES [1991] említ néhány példát, ahol hatékony sekélyszizmikus kutatásokat folytattak kilyukadás vizsgálatára százszor kisebb költséggel, mint amennyit a fúrólukákkal történő vizsgálatokra fordítottak. Hozzáteszi még, hogy a fúrások ráadásul semmiféle információt nem szolgáltatottak.

Az időbeli változásokat monitorozni lehet bizonyos időközönkénti ismételt geofizikai mérésekkel [BUSELLI et al. 1990, FRISCHKNECHT et al. 1991]. Ily módon a szennyeződés mértéke és iránya meghatározható és előre megjósolható a jövőbeni állapot. A monitorozás kivitelezéséhez a mérőeszközöket, úgymint az EM tekerceket vagy az elektródákat a kívánt pozícióban kell hagyni vagy az egész mérőrendszert ott kell hagyni a későbbi használatra. El lehet végezni a méréseket bizonyos időközönként teljesen automatikusan is.

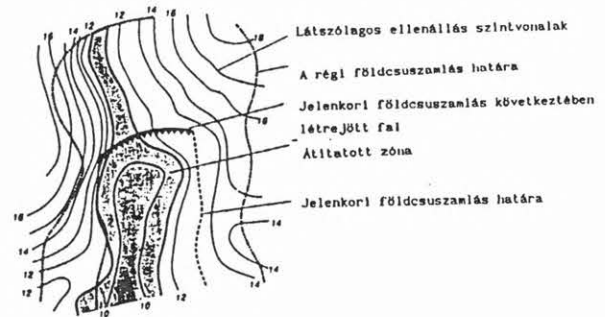
Néhány szennyező anyag elektromos vezető és így a vízzel szemben megnyilvánuló ellenálláskontrasztja lehetővé teszi elektromos és elektromágneses úton történő kimutatásukat. A szerves szennyezőket — lévén azok általában nem vezetők — nehezebb kimutatni. De a nyersolaj tartalmazhat sót és valamennyi hidrokarbont és ezáltal az ellenállása helyről helyre változhat.

OLHOEFT [1986] mutat egy példát (5. ábra) a GPR módszer alkalmazására egy olajcsővezeték törésének vizsgálatánál, ahol a víz tetejére ömlő olaj teljesen megváltoztatta a felvétel jellegét. Az EM vezetőképeség térkép viszont nem jelzi a törés helyét. OLHOEFT megmutatja, hogyan lehet indukált polari-

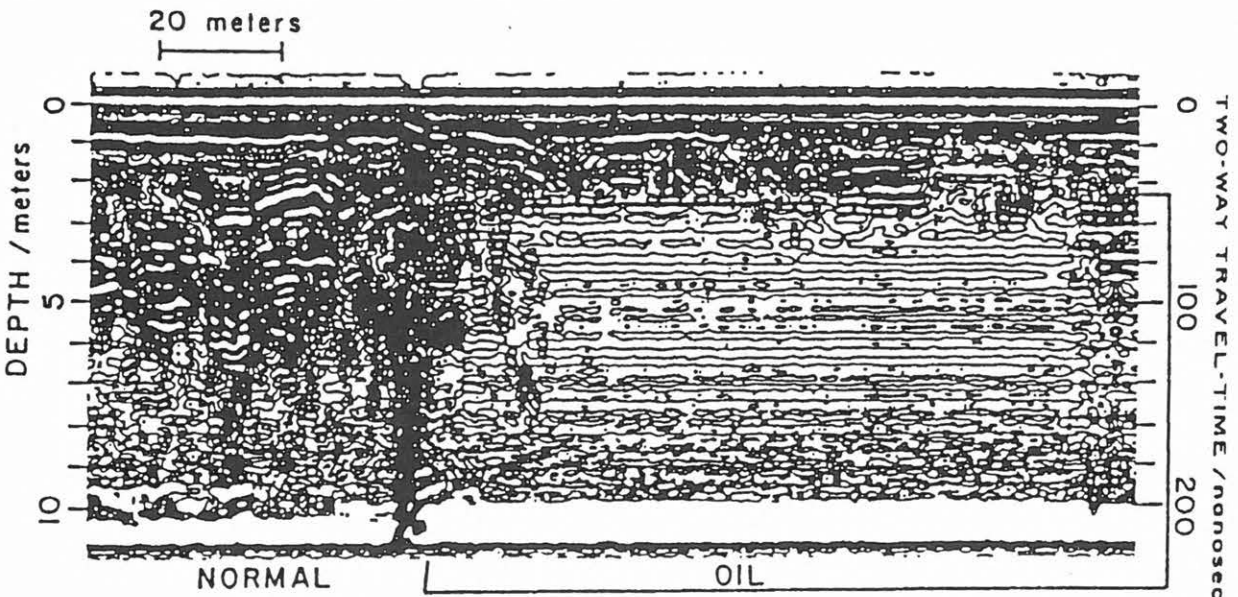
zációs módszert alkalmazni a szerves kemikáliák máskülönben bonyolult kimutatására, azoknak az agyaggal való reakciója segítségével. További részleteket erről a technikáról KING és OLHOEFT cikkében [1989] találhatunk.

Földcsuszamlások

A földcsuszamlások előre jelezhetőek elektromos ellenállás módszerrel, ami ki tudja mutatni a megnövekedett folyadék tartalmat a mobilis zónában. A 6. ábrán látható, hogyan is működik ez a módszer. Radon módszert szintúgy alkalmaztak a talaj legkevésbé stabil részének behatárolására, mivel itt magas a radonkoncentráció [NIELSON 1990]. Monitorozni is lehet különböző idejű mérésekkel a földcsuszamlás kifejlődését. Összességében ezek a területek a normálisnál kisebb szeizmikus sebességűek [STAPLEDON 1990].



6. ábra. Földcsuszamlás felett mért ellenállás szintvonal térkép Gagra város közelében, ami mutatja a vízzel való elárasztás következtében létrejövő ellenállás-csökkenést [WARD 1990 nyomán]



5. ábra. Georadar felvétel (80 MHz központi frekvencia, monoszatikus impulzus) olajcsővezeték felett. Vegyük észre a felvételen jobb oldalán a drámai változást, ami a talajvíz felszínére jutott olaj hatására jött létre. A baloldali mélységskála közelítő jellegű

Nukleáris problémák

A geofizika radioaktív módszere általában ideális a nukleáris reaktorok radioaktív sugárzásának vizsgálatára. A csernobili nukleáris reaktor katasztrófát mind légi, mind pedig földi radiometrikus kutatásokkal vizsgálták. Néhány műhold is kis nukleáris erőmű segítségével működik, így ezek Földre való visszatérése esetén komoly veszélyt jelentenek a településekre, amennyiben lakott területen érnek földet. Légi radiometrikus rendszer segítségével keresték annak az orosz műholdnak a roncsait is, ami a kanadai Nagy-Medve-tóba zuhant [NIELSON 1990]. A kapott eredmények azt mutatták, hogy a reaktor-mag a visszatérésnél szétesett és darabjai mintegy 400 km hosszan szóródtak szét. A baleset akár egy sűrűn lakott helyen is történhetett volna.

Radongáz az épületekben

A radongáz értéke az egyes épületekben geofizikai technikákkal könnyen monitorozható. Egyesült államokbeli mérések szerint szoros korreláció van a nép egészségi állapota és a radongáz koncentrációja között. Az ott végzett megfigyelések szerint a lakások 7%-ában a sugárterhelés meghaladja az elfogadott szintet [NIELSON 1990].

A probléma az USA-ban olyan méreteket ölt, hogy a szupermarketekben radongázzint-mérőket helyeztek el a sugárzás vizsgálatára. Ez a különleges probléma azoknál a házaknál jelentkezik, amelyek-

nek alagsoruk van és a radon különösen a téli hónapokban jelent nagy veszélyt. Nyilvánvaló kapcsolat van a radonkoncentráció és a geológia között, például okáért, ha a ház egy urániumot tartalmazó vulkáni vagy metamorf kőzetkibúvára épült.

A belső radonkoncentrációk mérésére New Jersey-ben végeztek méréseket, majd ezeket korrelálva a légi radiometrikus úton gyűjtött adatokkal megállapították, hogy a légi radiometria volt a leghatékonyabb módszer a lakáson belüli radonkoncentráció regionális becslésére.

Radioaktív hulladék

Azok a radioaktív anyagok, amiket véletlenül hulladéklerakó helyeken helyeztek el, radiometriás technikával könnyen kikutathatók. Az Egyesült Államokban szinte minden, a lerakóhelyre bevitt hulladékot megvizsgálják a bejáratnál radiometrikus detektorral annak biztosítására, hogy a háztartási szemétkébe ne kerüljön radioaktív hulladék.

Összefoglalás

A geofizikai módszerek jól használhatók sok, a településeken fellépő problémás helyzetben. Roncsolásmentes technikájuk rendkívül előnyös lehet a gyakran érzékeny, sokszor pedig veszélyes mérgező vagy radioaktív hulladékot tartalmazó régiók esetében. Emellett a fűrésszel összehasonlítva a geofizikai

GEOFIZIKAI MÓDSZEREK VÁROSI ALKALMAZHATÓSÁGA - ÖSSZEJÉZÉS

Alkalmazások	mágneses	G.P.R.	elektromágneses		elekt.	saját potenciál	szeizmika	radiometria	más
			1.	2.					
Geofizika a bűnüldözésben		●	●	○	○				
a) sírok									
b) kézfegyverek	●	●	○						
Eltemetett hordók	●	●	○	○	○	◇			◇ (I.P.)
Fémcsövek és kábelek	●	●	●	○	○	◇			
Műanyag csövek és optikai vezetők		○	◇		◇				
Üregek		○	●	●	●		○	○	○ gravitáció
Szennyező anyagok		◇	●	●	●	○	◇		
a) szervetlen									
b) szerves		○							◇ (I.P.)
Földcsuszamlások			○	○	●	○	○	○	
Radioaktivitás								●	

Jelmagyarázat	közvetlen	közvetett
elsődleges	●	◇
másodlagos	○	◇

I.P. = Indukált polarizáció
1. Elektromágneses frekvencia
2. Tranziens elektromágneses

2. táblázat

eljárások sokkal gazdaságosabbak. A 2. táblázat kísérletet tesz annak összegzésére, hogy melyek azok a módszerek, amik használhatók bizonyos helyzetekben (és melyek nem). Látszik, hogy néhány közülük sokkal alkalmasabb bizonyos kutatási feladatokra, mint mások (ezeket nevezzük elsődleges módszereknek) és megkülönböztetjük azokat a metódusokat is, amik közvetlenül képesek kimutatni a cél-objektumot azoktól, amelyek valamilyen közvetett hatást mutatnak ki. Emlékeztetünk azonban arra, hogy sokszor a legjobb megoldás két vagy több mérési technika együttes alkalmazása egy adott helyzetben, ami amellett, hogy segíthet feloldani néhány esetben az értelmezés kétértelműségét, egyben felkínálja a lehetőséget egynél több típusú céltárgy felismerésére is.

A hagyományos módszerek alkalmazásának új útjai és a gyakran komplex eredmények értelmezésének speciális módjai már használatosak és ezen a területen folytatódik az előrehaladás. Azokban az esetekben azonban, amikor a felhasználó nem geofizikus, az adatok sokkal szemléletesebb megjelenítésére van szükség, mint pl. az igazi mélységshelvény. Várható, hogy a geofizika további új alkalmazásai kerülnek kifejlesztésre, amint nő az ilyen technikák iránti érdeklődés.

Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni Dr. SZARKA Lászlónak a cikk megírása során nyújtott segítségét és természetesen R. J. HENDERSON úrnak a cikk megjelenéséhez történő hozzájárulását.

HIVATKOZÁSOK

- ARBOUW J. 1991: Is this the start of a new underground movement? *Australian Business*, Oct. 9, 82
- BEVAN B. W. 1991: The search for graves. *Geophysics*, **56**, 1310-1319
- BUSELLI G., BARBER C., DAVIS G. B., SALAMA R. B. 1990: Detection of groundwater contamination near waste disposal sites with transient electromagnetic and electrical methods. *In: Geotechnical and Environmental Geophysics*, (Ed. S. H. WARD), SEG, Vol. 2, 27-39
- BUTLER D. K. 1984: Microgravimetric techniques for detection and delineation of subsurface cavities. *Proceedings of the National Symposium and Workshops on Abandoned Mine Land Reclamation*, Bismark, North Dakota, 1984, 63-100
- BUTLER D. K. 1984: Microgravimetric and gravity gradient techniques for detection of subsurface cavities. *Geophysics*, **49**, 1084-1096
- CORWIN R. F. 1990: The self-potential method for environmental and engineering applications. *In: Geotechnical and Environmental Geophysics*, (Ed. S. H. WARD) SEG, Vol. 1, 127-145
- DANIELS J. 1988: Locating caves tunnels and mines. *Geophysics: The Leading Edge*, **7**, (3), 32-37 and 52
- FOSTER A. R., VEATCH M. D., BAIRD S. L. 1987: Hazardous waste geophysics. *Geophysics: The Leading Edge*, **6**, (8), 8-13
- FRAMPTON C., BAWDEN M. 1991: Ground penetrating radar — urban case histories. Paper presented at Earth Resources Foundation Seminar on Geophysical Techniques in Urban and Industrial Environments, University of Sydney
- FRISCHKNECHT F. C., LABSON V. F., SPIES B. R., ANDERSON W. L. 1991: Profiling methods using small sources. Ch. 3 *In: Electromagnetic Methods Applied Geophysics*, Vol. 2, Part A, S.E.G., 105-270
- HENDERSON R. J. 1990: A report on SIROTEM transient EM trials near Ipoh Malaysia for Geological Survey of Malaysia. Unpublished Report, Geo Instruments. Nov. 1990
- KING T. V. V., OLHOEFT G. R. 1989: Mapping organic contamination by detection of clay-organic processes. *In: Proc. of the NWWA/API Conf. on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemical in Ground Water Prevention, Detection and Restoration*, Houston, Texas, Nov. 15-17, 1989, 627-640
- LAHTI R. M., HOEKSTRA P. 1991: Geophysical surveys for mapping migration of brines from evaporation pits and ponds. *Proc. of the Symposium on the Applications of Geophysics to Engineering and Environmental Problems*, Knoxville, Tennessee, March, 65-69
- LORD Jr. A. E., KOERNER R. M. 1990: Detection of subsurface hazardous waste containers by non-destructive techniques. Noyes Data Corporation, New Jersey, USA, 83 pp
- LIU W., XI J. 1990: Effectiveness of the high-precision gravity method in detecting sinkholes in Tainan railway station of Shandong Province. *In: Geotechnical and Environmental Geophysics*, (Ed. S. H. WARD), SEG, Vol. 3, 169-174
- MERRICK N. P., HOCKING G. 1992: Detection of earth anchors at building sites. *Explor. Geophys.* **23**, No. 4
- NELSON R. G., HAIGH J. H. 1990: Geophysical investigations of sinkholes in lateritic terrains. *In: Geotechnical and Environmental Geophysics*, (Ed. S. H. WARD), SEG, Vol. 3, 133-153
- NIELSON D. L. 1990: Gamma-ray spectrometry and radon emanometry in environmental geophysics. *In: Geotechnical and Environmental Geophysics*, (Ed. S. H. WARD), SEG, Vol. 1, 219-250
- ODGEN A. E., TAYLOR J. T., SMITH M. O. 1991: Tri-potential resistivity applications at a leaky underground storage tank site. *Proc. of the Symposium on the Applications of Geophysics to Engineering and Environmental Problems*, Knoxville, Tennessee, March, 247-259
- OLHOEFT G. R. 1986: Direct detection of hydrocarbon and organic chemicals with ground penetrating radar and complex resistivity. *In: Proc. of the NWWA-API Conf. on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water Prevention, Detection, and Restoration*, Houston, Texas, Nov. 12-14, 284-305
- RUMBENS A. J. 1990: Detection of cavities in karstic terrain. *Explor. Geophys.*, **21**, 121-124

- SCHLINGER C. M. 1990: Magnetometer and gradiometer surveys for detection of underground storage tanks. *Bull. Assoc. Engineering Geologists*, **27**, (1), 37-50
- STANLEY J. M., CATTACH M. K. 1990: The use of high definition magnetics in engineering site investigation. *Explor. Geophys.*, **21**, 91-103
- STAPLEDON D. 1990: Engineering geophysics — a geologists view. *Explor. Geophys.*, **21**, 17-24
- STEEPLES D. 1991: Uses and techniques of environmental geophysics. *Geophysics: The Leading Edge*, **10**, (9), 30-31
- UNTERBERGER R. R., MAURI S., UNTERBERGER G. 1991: On finding graves using ground probing radar. Paper presented at Am. Assoc. for the Adv. Sci., 67th Ann. Mtg. Lubbock, Texas, May
- WARD S. H. 1990: Resistivity and induced polarisation methods. *In: Geotechnical and Environmental Geophysics*, (Ed. S. H. WARD), SEG, Vol. 1, 147-189
- WHITELEY R. J., JEWELL C. 1992: Geophysical techniques in contaminated land assessment — do they deliver? *Explor. Geophys.* **23**, No. 4
- ZERILLI A., JAMES B. A. 1991: Borehole- to-surface D.C. resistivity and time domain electromagnetics monitoring of contaminant plumes A model study. Paper presented at the Europ. Assoc. of Expl. Geophys. Meeting, Florence, Italy, May

Szalai Sándor

A hazai földrengéskutatás rövid története

Az első ismert nagyobb földrengés 1763-ban Komárom környezetében keletkezett. A rengés következtében súlyos épületkárok keletkeztek és sokan meghaltak. E földrengésnek a környezetre gyakorolt különféle hatásairól részletesen írtak a korabeli sajtóban, így az egész Osztrák—Magyar Monarchiában közismertté vált. Valószínűleg e pusztító rengés hatására kezdtek részletesebben foglalkozni a hazánkban keletkezett rengésekkel.

Az első átfogó katalógust a hazai földrengésekről GROSSINGER J. B. állította össze és publikálta 1783-ban. E munkát további dolgozatok követték: STERNBERG J. [1786], KITAIBEL P. és TOMTSÁNYI Á. [1814], HOLÉCZY M. [1824], HUNFALVY J. [1859], SALY A. [1860], JEITTELES H. [1860] és KOCH A. [1880] földrengésekkel foglalkozó átfogó tanulmányai. Ezenkívül egy-egy kisebb terület földrengés-tevékenységének vizsgálatával is sokan foglalkoztak. Talán érdemes — a teljesség igénye nélkül — elődeink közül néhány szerzőt felsorolni: INKEY B. [1877], HANTKEN M. [1882], SCHAFARZIK F. [1880, 1889, 1901], RÉTHLY A. [1906, 1907, 1908, 1909, 1912, 1914, 1915], BALLENEGGER R. [1911], CHOLNOKY J. [1912], SZILBER J. [1914], CSENGERI M. [1916], SCHRETER Z. [1925], MORAVETZ K. [1925], SIMON B. [1931, 1937].

SCHAFARZIK F. javaslatára a Magyarhoni Földtani Társulat kebelében 1881-ben megalakították — a svájciakat követve, másodikként Európában — a Földrengési Állandó Bizottságot, amelynek első elnöke SZABÓ József kiváló geológus volt. A bizottság tagjai a következők voltak: LÓCZY Lajos alelnök, SCHAFARZIK Ferenc, HANTKEN Miksa, SZONTÁGH Tamás, VÁLYA Miklós. A bizottság első ülésén elhatározták, hogy minden magyarországi szerkesztőséghez, valamint a vidéki városok hatóságaihoz magyar és német nyelvű levelet küldenek, amelyekben a rengések megfigyelésének leírását és rövid magya-

rátát foglalják össze. A levelekhez kérdőíveket is mellékeltek, amelyek elkészítésében HEIM A. zürichi egyetemi tanár hasonló anyaga volt segítségükre.

A bizottság tagjai a makroszeizmikus adatok gyűjtésén és értékelésén kívül fontos feladatuknak tekintették a hazai szeizmológiai hálózat kiépítését is. Annak felszerelése, hogy hol és milyen típusú műszereket telepítettek, és azok mettől meddig működtek, meghaladná e rövid történelmi összefoglaló terjedelmét, ezért csak utalunk BISZTRICSÁNY E. és CSOMOR D. [1981] tanulmányára, amelyben a szeizmológiai állomásokkal kapcsolatos különböző kérdésekre részletesebb választ kaphatunk.

A Földrengési Bizottság KÖVESLIGETHY Radót a strassburgi intézetbe küldte 1900-ban, hogy tanulmányozza az ott működő szeizmológiai állomás felépítését és műszerezettségét. Útjelentéséből kiderült, hogy az említett állomáson kívül más földrengésjelző obszervatóriumokat is meglátogatott [KÖVESLIGETHY R. 1900].

RÉTHLY A. [1909] az ógyallai obszervatórium 1902. évi jelentésében már beszámolt néhány szeizmológiai állomás felállításáról. Megtudhatjuk, hogy az első állomás Kalocsán kezdte meg működését. 1901-ben egy strassburgi horizontális ingapárt Ógyallán, majd valamivel később — dr. DARÁNYI Ignác és dr. SEMSEY Andor támogatásával — a Földtani Intézet pincéjében állítottak fel. A földművelésügyi miniszter 5000 koronát bocsátott rendelkezésre, amelyből 5 darab Vincentini-ingát kívántak vásárolni. A műszereket Budapesten, Ógyallán, Segesváron és Fiumében tervezték felállítani. Az első 1901-ben Strassburgban tartott szeizmológiai ülésen SCHAFARZIK számolt be a Magyar Földrengési Bizottság munkájáról. KÖVESLIGETHY ismertette a FERENC L. által összeállított földrengéskatalógust. KÖVESLIGETHY az ülés résztvevői a nemzetközi bizottság hetedik tagjává választották.