

A földradar módszerfejlesztés másfél éves tapasztalatai az ELGI-ben¹

PATTANTYÚS-Á. MIKLÓS², NEDUCZA BORISZLÁV², PRÓNAY ZSOLT², TÖRÖS ENDRE²

Mintegy 20 évvel ezelőtt használtak először nagyfrekvenciás adó-vevő berendezést (radarhullámokat) földtani kutatási célokra a tengerentúlon. A módszer először „Radio interferometry depth sounding” [ANNAN, DAVIS 1973], illetve „EM subsurface profiling” [MOREY, HARRINGTON 1972] néven vált ismertté, és segítségével főleg jégmezők és félig fagyott területek földtani kutatásában értek el eredményeket [ANNAN, DAVIS 1976, ANNAN, DAVIS 1977, STRANGWAY et al. 1974]. Az azóta eltelt időben — az intenzív elektronikai fejlődés eredményeképp — a földradar (Ground Penetrating Radar) módszer világszerte megtalálta alkalmazási területeit a kis mélységű geofizikai kutatásokban.

Magyarországon — kicsit későn, a 80-as évek végén — kezdett, a mérnökgeofizikai problémák előtérbe kerülése révén, a figyelem ennek a módszernek alkalmazhatóságára terelődni. Ez a cikk röviden ismerteti az ELGI tevékenységét a módszer hazai bevezetését illetően, valamint a fejlesztési és kutatási eredményeket.

M. PATTANTYÚS-Á., B. NEDUCZA, ZS. PRÓNAY, E. TÖRÖS: One and a half Year Experiences of Ground Penetrating Radar Applications in ELGI (Hungary)

It was about twenty years ago that high frequency EM waves (radar waves) were applied for geological prospecting purposes for the first time overseas. This method became known in geophysics as „Radio interferometry depth sounding” [ANNAN, DAVIS 1973], or it was called „EM subsurface profiling” [MOREY, HARRINGTON 1972], and successful results were achieved mainly in investigation of ice thickness and permafrost sounding [ANNAN, DAVIS 1976, ANNAN, DAVIS 1977, STRANGWAY et al. 1974]. Since that time, due to the intensive development in electronics, Ground Penetrating Radar (GPR) method has found its application area worldwide in the shallow geophysical survey.

The interest turned on the application of this method a bit late in Hungary — only at the end of the eighties— due to the arising of more and more engineering-geophysical and environmental problems. This paper gives a short view about the activity of ELGI in introducing GPR to the domestic geophysical prospecting and reviews the result of several field applications and of the development in data processing.

1. Bevezetés

Hosszú évekig az ELGI egyik fő célja a nyersanyagkutatási feladatok megoldása volt. Az utóbbi években egyre inkább előtérbe kerültek a környezetvédelmi, építésföldtani feladatok, vagyis a mérnökgeofizikai problémák. Ilyen célokra kiválóan alkalmas a földradar módszer, amelynek kutatási mélységtartománya 0–30 m.

Az ELGI több éve foglalkozik földradar módszerrel történő kutatásokkal [ÚJSZÁSI 1983, PATTANTYÚS 1984, 1989, 1991]. Az Intézet kezdetben nem rendelkezett saját berendezéssel, és alkalmi méréseit kölcsön, illetve bérbevett műszerrel végezte. 1991-ben nyílt lehetőség egy földradar műszer megvásárlására, amely berendezés a jelenlegi legkorszerűbbnek tekinthető [PATTANTYÚS et al. 1992].

A módszer részletes leírását különböző közlemények tartalmazzák [ULRIKSEN 1982, ANNAN, DAVIS 1989], itt csak röviden ismertetjük a módszer elvét.

2. A földradar módszer

A földradar berendezés adóantennája nagyfrekvenciás elektromágneses impulzusok sorozatát bocsátja a talajba. A hullámok a kőzetekben részben elnyelődnek, részben visszaverődnek. A visszavert jeleket a vevőantenna folyamatosan regisztrálja. Így a radarszelvényezés eredményeképpen kapott idő/mélység metszeten követhető a rétegződés, a földtani szerkezet, valamint minden, a felszín alatt lévő objektum vagy tárgy (1. ábra).

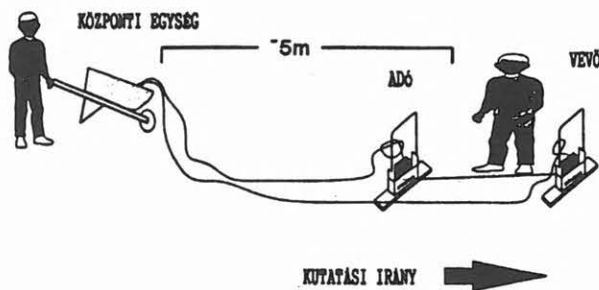
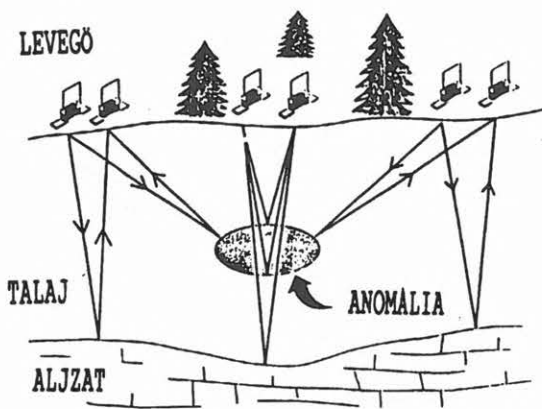
A kőzetekben a radarjel terjedése a közeg elektromos tulajdonságaitól függ. Ezek közül a két legjellemzőbb, a permittivitás és a vezetőképesség, határozza meg a hullámterjedési sebességet és az elnyelődést. A radarmérés folyamán kibocsátott jel frekvenciájától függ a behatolási mélység és a felbontóképesség. Nagyobb frekvencia használata jobb felbontást, de kisebb kutatási mélységet eredményez, míg kisebb frekvencián nagyobb behatolást, de rosszabb felbontást érhetünk el.

3. A földradar műszer

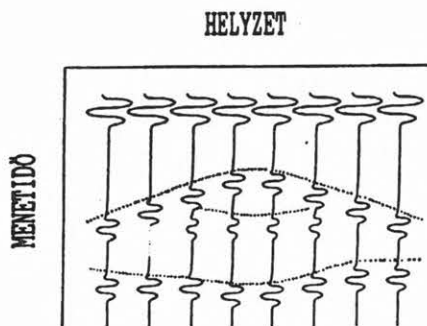
Az ELGI által vásárolt berendezés a kanadai Sensors & Software cég pulseEKKO IV típusú földradar berendezése [Sensors & Software 1992]. A berende-

¹ Beérkezett: 1994. január 16-án

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



2. ábra. A földradar üzemeltetése terepen
Fig. 2. Typical setup of GPR field work for profile collection
[Sensors & Software 1992]



1. ábra. A földradar mérési módszer egyszerűsített elve
Fig. 1. Schematic illustration of GPR field survey procedure
and the resulting reflection section
[ANNAN, COSWAY 1991]

zés főbb tulajdonságai közé sorolhatjuk, hogy működése teljesen számítógép-vezérelt, a jeltovábbítás az antennák felé digitális formában, fénykábelben keresztül történik, ami biztosítja az igen jó jel/zaj viszonyt. Könnyen hordozható és termelékeny annak ellenére, hogy nem folyamatos üzemmódra készült (többszörös mérést végez egy helyen, és ezeket összegzi). Az adatokat digitális formában tárolja. Mérés után lehetőség van a helybeni előfeldolgozásra és megjelenítésre, valamint az adatok későbbi, a szeizmikából ismert eljárásokkal történő feldolgozására.

A berendezés az alábbi egységekből áll:

- adó- és vevőantennák 25, 100 és 200 MHz frekvenciára
- adóegység 400 és 1000 V kimenő szintre
- vevőegység
- központi egység
- 386 DX IBM típusú notebook számítógép (33 MHz, 40 MB)
- kiegészítő egységek (akkumulátorok, printer).

Egy pont mérési ideje (az ismétlések számától függően) 2-5 s. Ez alatt az idő alatt a vevő kb. 1000 mintát vesz 800 ps-onként, és továbbítja a központi egység felé. Terepen általában két ember üzemelteti, napi 2-3 km munkateljesítménnyel.

A szokásos mérési módszer a szelvényezés: rögzített adó-vevő távolsággal és megfelelő sűrűségű lépésenként történik a mérés (2. ábra). A hullámterjedési sebesség meghatározására a közös középpontú

(CMP - Common Mid Point) mérési üzemmód alkalmas, amely az adó-vevő távolság lépésről lépésre történő növelésével végezhető.

A ELGI-ben a berendezéssel kapcsolatban végzett fejlesztési tevékenységet három részre tagolhatjuk:

- módszertani kísérletek
- adatfeldolgozási programfejlesztés
- különböző kutatási feladatok megoldása (esettanulmányok).

4. Az elvégzett módszertani kísérletek rövid ismertetése

A pulseEKKO berendezés számos mérés-technikai kombinációra ad lehetőséget, amelyek közül a kutatási feladatnak megfelelően kell választani (figyelembe véve a termelékenységet is). A kezelési útmutató tartalmaz ajánlásokat, de a magyarországi viszonyokhoz, illetve az egyes területek földtanához illeszkedő alkalmazáshoz sok kísérletre, tapasztalatra van szükség.

Kísérleteink során az alábbi vizsgálatokat végeztük el:

- a lépéstávolság változtatásának hatása
- adó- és vevőantennák közötti távolság (antennaköz) változtatása
- antenna irányítottság vizsgálata
- antenna-talaj csatolás vizsgálata
- az antenna-árnyékolás lehetőségének vizsgálata
- több frekvencián való mérés azonos vonalon
- a mérési paraméterek változtatása (időablak, ismétlési szám stb.)
- közös mélységpontos mérés (CMP)
- háromdimenziós mérés és ábrázolás.

A fentiekben felsorolt kísérletekből szerzett tapasztalatok alapján jelenleg már elég nagy biztonsággal tudjuk kiválasztani a legmegfelelőbb elrendezést, illetve mérési kombinációt.

Az értelmezés során az antennák árnyékolatlansága okozza a legnagyobb gondot. Úgy tűnik, mérés-technikailag ez a probléma nem oldható meg, csak a gondos terepi megfigyelés és az esetleges utólagos feldolgozás jelentheti a megoldást.

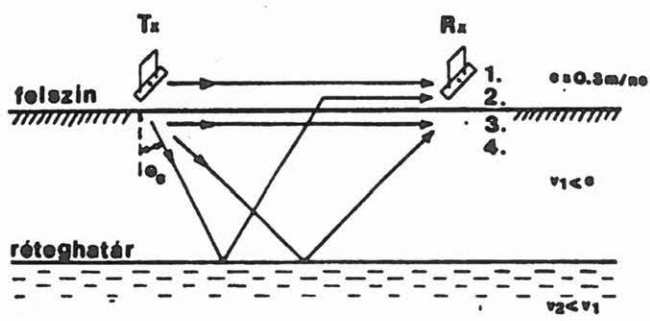
Természetesen több alkalommal elvégeztük a földradar mérési eredményeinek és értelmezésének ellenőrzését mind más geofizikai módszerrel (elektromágneses vezetőképesség mérés, horizontális

ellenállás szelvényezés), mind pedig fűréssal. Néhány esetben részletes feltárással is alá tudtuk támasztani a földradar szelvények értelmezését. Mindezekre a későbbiekben mutatunk be példákat.

5. Adatfeldolgozási programfejlesztés

A pulseEKKO a mért értékeket eredeti nagyságban, digitális formában tárolja. Ezek minden földtani információt tartalmaznak, de ahhoz, hogy a megjelenítés eléggé kifejező legyen, különböző feldolgozási lépéseket célszerű alkalmazni az adatrendszerre. Ezt legegyszerűbben az ismert szeizmikus feldolgozó eljárások alkalmazásával végezhetjük el. Azért tehetjük ezt meg, mert a rugalmas és az elektromágneses hullámok terjedése a talajban hasonló, a földradar adatok jellege és formátuma is hasonló a szeizmikus adatokéhoz (idő függvényében rögzített amplitúdó). Első lépésként mi is a már kidolgozott szeizmikus programcsomagokat [BAKY et al. 1986] alkalmaztuk a radar mérési adatok javítására, azonban hamarosan kiderült, hogy célszerű létrehozni egy menürendszerrel működő, speciális radar feldolgozó programot.

A programcsomag elkészítésénél figyelembe kellett venni, hogy az elektromágneses hullámok terjedési tulajdonságai eltérnek a rugalmas hullámokétól (3. ábra).



JELALAK



3. ábra. Az elektromágneses hullámterjedés elméleti modellje a talajban. 1—közvetlen levegőhullám; 2—kritikus szögben beeső reflektált, majd refraktált hullám (csak nagyobb adó-vevő távolság esetén); 3—közvetlen hullám a talajban; 4—a visszavert hullám. (A számozás időbeli beérkezési sorrendet is tükrözi)

Fig. 3. Theoretical EM wave propagation in the soil (first order ray path without multiples). 1—direct air wave; 2—critically refracted air wave (only in case of greater antenna separation); 3—direct ground wave; 4—reflected wave. (The numbers also refer to the order of arrival)

A feldolgozás egyik problémáját az okozza, hogy a radarhullám terjedési ideje a talajban összemérhető a jeltovábbítás terjedési idejével a fénykábelen. A szeizmikában az indítójelet a forrás közelében elhelyezett geofon szolgáltatja, itt azonban, az indítójel hiánya miatt, az első beérkezések különböző okokból eltolódhatnak, mivel nincs az időszámításnak kezdete. Az egyik feladat tehát a „nulla-idő” (az első beérkezések) rendezése, az ún. „time-zero” korrekció.

Az elkészült programrendszerrel a következő feldolgozási lépéseket lehet végrehajtani:

- az első beérkezések rendezése, vagyis a „time-zero” korrekció („regulate”)
- a csatorna átlagértékének kivonása (a rendezés kiegészítő művelete)
- normálás („normalize”)
- frekvenciaszűrés („band-pass filter”)
- dekonvolúciós szűrés („dekonv.filter”)
- simítás (normál és medián - „smoothing”).

A menü szerkezetét a 4. ábra mutatja.

Különleges előnye a programnak, hogy minden egyes feldolgozási lépéssel az eredeti adatrendszerből egy új adatfile-t hoz létre, amelyen további feldolgozásokat lehet végezni. (A gyártó által adott program csupán egy-egy megjelenítéshez végez el bizonyos lépéseket [rendezés, AGC, szűrés], de nem tárolja az új adatokat.) Egy másik előny, hogy be van építve egy ellenőrzési lehetőség a beállított paraméterek helyességének egy rövidebb szelvényszakaszon történő kipróbálásához.

A különböző műveletekhez a következő paraméterek állíthatók be:

- a csatornák rendezéséhez a korrelációs ablak hossza és annak maximális elmozdíthatósága
- a normálás ablakhossza, amelyen belül számítja a program a jel-energia összegét
- a frekvenciaszűrés alsó és felső határa, valamint a vágási meredekség
- dekonvolúciós szűrésnél a szűrő hossza, a becslési távolság és a becslési átlag-zaj mértéke, valamint a „hangolási” szakasz
- a simító szűrésnek horizontális és vertikális mérete.

File	Options	General	Filters	Smoothing
Open... F3 Change dir...	View... Mouse...	Normalize... Regulate... View...	Band pass... Test1...	Smoothing... Test1...
Window		DOS shell Exit Alt-X	Dekonv. filter... Test2...	Median... Test2...
DOS shell Exit Alt-X			DOS shell Exit Alt-X	DOS shell Exit Alt-X

F1 Help F10 Menu Alt-X Exit F3 Open Alt-F3 Close

391880

4. ábra. A "RAD'ART" programrendszer menüszerkezete
Fig. 4. The menu of the 'RAD'ART' radar data processing program developed in ELGI

6. Esettanulmányok

Amint azt a módszer ismertetésében említettük, a földradar szempontjából két legjellemzőbb közetparaméter a permittivitás és a fajlagos vezetőképesség. Mindkét paraméter értékét a nedvességtartalom nagymértékben befolyásolja. A permittivitás, vagyis a dielektromos kontraszt, a rétegek, objektumok kimutathatósága szempontjából meghatározó. A fajlagos vezetőképesség növekedése pedig általában nagyfokú elnyelődést okoz, ezért csökkenő kutatási mélységet eredményez. Mindezek alapján az alábbi kutatási feladatokra alkalmazható a földradar módszer:

- környezetvédelmi vizsgálatok: eltemetett, veszélyes hulladékok felderítése, illegális hulladék-lerakóhelyek felderítése, a földtani környezet-szennyezés elterjedésének vizsgálata, hulladéklerakóhelyek előzetes földtani kutatása
 - geotechnikai kutatások mindenféle építkezést megelőzően
 - üregek, pincék, barlangok kutatása
 - gátak, töltések, utak szerkezetének vizsgálata
 - földtani szerkezet kutatás: rétegződés, aljzattérség, törési zónák, talajvízszint stb.
 - ásványkincs és nyersanyag kutatás: bauxit, homok, kavics, agyag stb.
 - bányabeli speciális feladatok megoldása
 - régészeti célú geofizikai kutatások.
- A továbbiakban példákat mutatunk be eddigi sikeres földradar kutatásainkból.

6.1. Földalatti pincék (A) és eltemetett hordók (B) kimutatására mutat példát az 5. ábra. A méréseket mindkét esetben 100 MHz frekvencián végeztük.

A löszbe mélyített borospincék feletti mérést Pakson végeztük. A feledésbe merült, leromlott állapotú pincék beomlása számos épületkár előidézője. Igen sok (terjeszkedő) város esetében komoly gondot okoz ezek felkutatása.

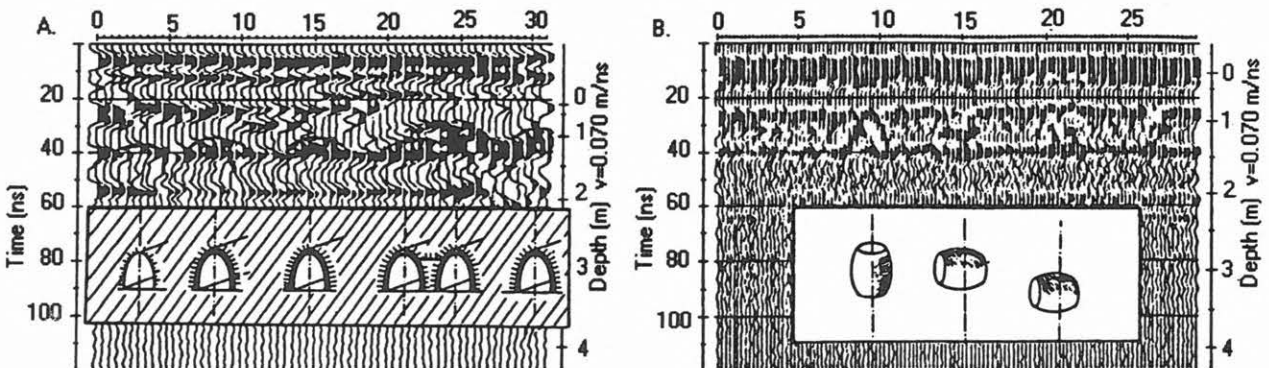
Két fém és egy műanyag hordót temettünk el kísérleti célokra nagy vezetőképességű környezetben. Az ezek felett mért földradar szelvényen a műanyag hordó hiperbolikus és a fémhordók fémes hatást tükröző reflexiói láthatók.

6.2. Ismert földtani szerkezet földradar mérésrel történő leképezését láthatjuk a 6. ábrán. Ez igen jól egyezik a mérés helyétől kb. 20 méterre levő feltárás alapján szerkesztett földtani metszettel. Ennek fényképe szintén az ábrán látható.

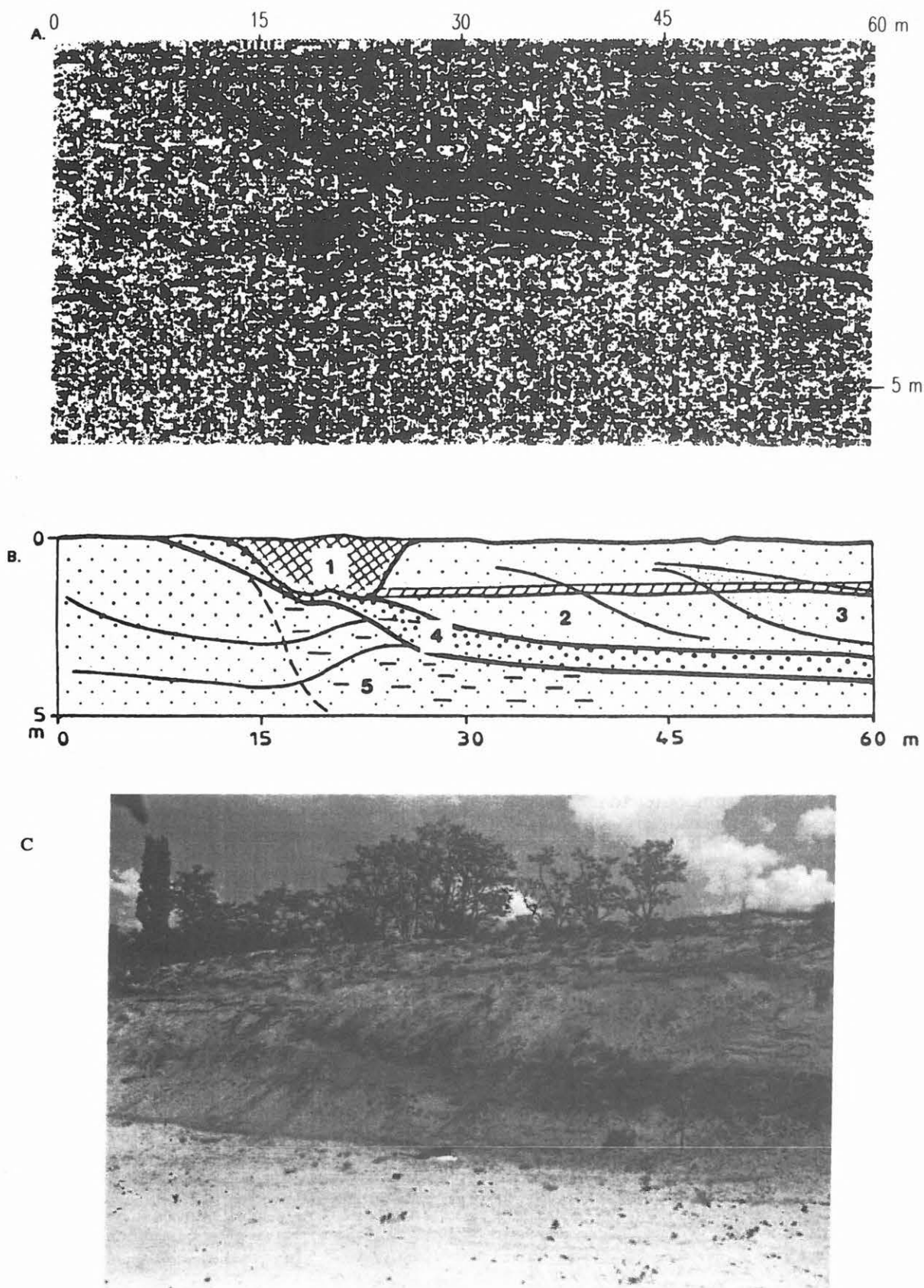
6.3. A neotektonikai törésvonalak felszínközeli nyomozása volt a feladat a következő földradar méréseinknek. Itt egy komplex geofizikai kutatást mutatunk be. A nagyszerkezeti geológiai és mélyszerkezeti szeizmikus kutatások eredményeképp kerültek kijelölésre az egyenáramú ellenállás szondázás vonalai több tíz kilométer hosszban. Az ebből kapott eredmények alapján, már csak a kisebb mélységben is jelentkező földtani szerkezeti változások környékén végeztünk 25 MHz-es (nagyobb kutatási mélységű) földradar szelvényezést mintegy tíz kilométer hosszban. A felszínközeli hatások vizsgálata céljából (az előző mérés alapján kijelölt helyeken) kb. 2 km hosszban 100 MHz frekvencián végeztünk részletező méréseket. Az ily módon mind jobban leszűkített tartományból 500 m teljes hosszban, több rövid szakaszt tűztünk ki feltáró árkolás céljára, amelyek mélysége 2 m volt. (Figyeljük meg a kutatási mélységnek az egyes módszerek szerinti fokozatos csökkenését!) A kutatóárok a vizsgált mélységben teljes mértékben igazolták a földradar mérések értelmezését [GÓGH, PRÓNAY 1992]. A radarreflexiók minden esetben földtani szerkezeti változásokat jeleztek.

Az előbbieken részletezett kutatási lépések illusztrálásaként bemutatunk egy 25 MHz-es felvételt (7. ábra), amelyen bejelöltük az érdekes szerkezeti változásra utaló szakaszt. Ennek a szakasznak 100 MHz frekvencián mért radarszelvényét mutatja a 8. ábra, alatta a feltáróárok földtani értelmezése látható.

6.4. Az M0 autópálya tervezett nyomvonalának diódsi szakaszán végeztünk komplex geofizikai kutatást a földtani felépítés tisztázása céljából. Erre a földmunkák tervezése, a munkagépek optimális kihasználása miatt volt szükség. A kutatást vízszintes ellenállás szelvényezéssel, radar mérésrel és mérnökgeofizikai szondázásokkal végeztük. Egy jellemző szakasz földradar szelvényét mutatja a 9. ábra (A), amelyen topografikus korrekciót is alkalmaz-

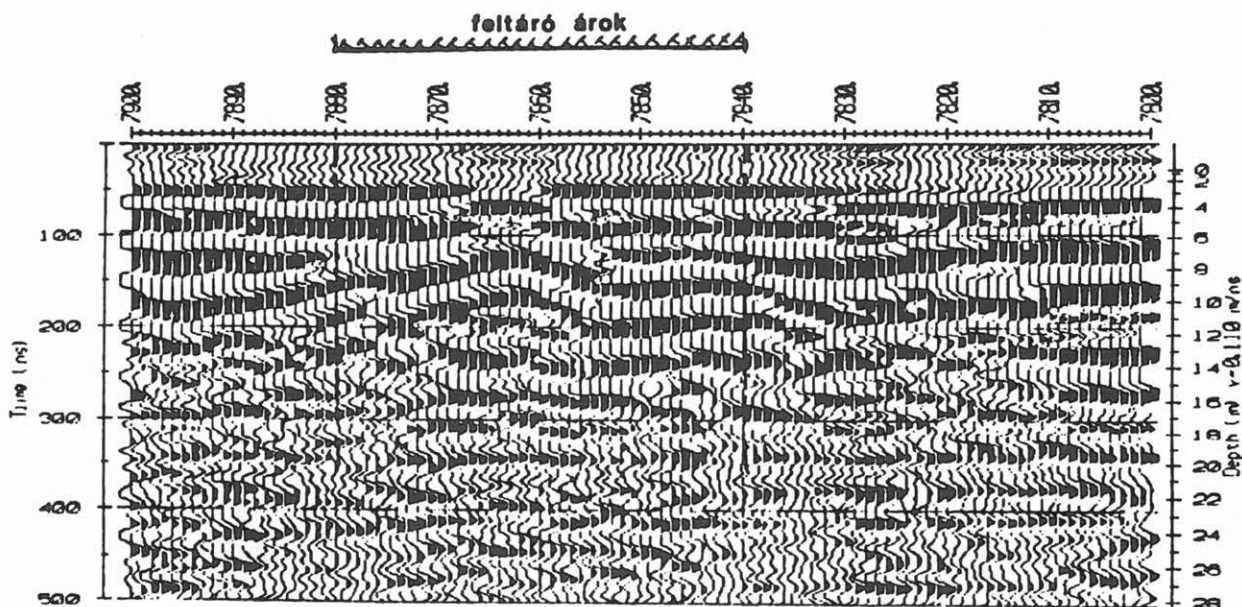


5. ábra. Pincék (A) és hordók (B) kimutatása földradar mérésrel
Fig. 5. Prospecting for cellars (A) and barrels (B) by GPR

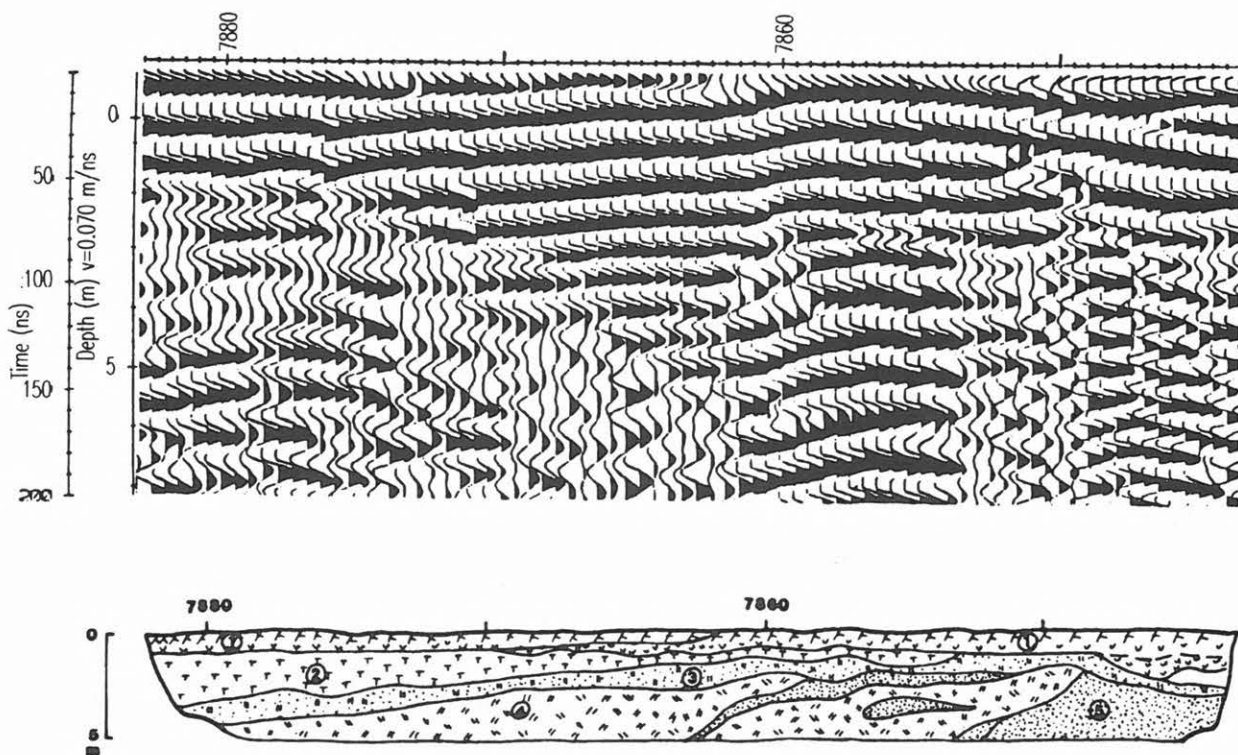


6. ábra. Földtani szerkezet kutatása Paks környékén földradar méréssel. A radarszelvény (A) tükrözi a fényképen (C) látható feltárás földtani értelmezését (B). 1—omladék; 2—pleisztocén futóhomok; 3—folyóvízi homok; 4—talajosodott futóhomokszint; 5—futóhomok kovárványos lencsékkel

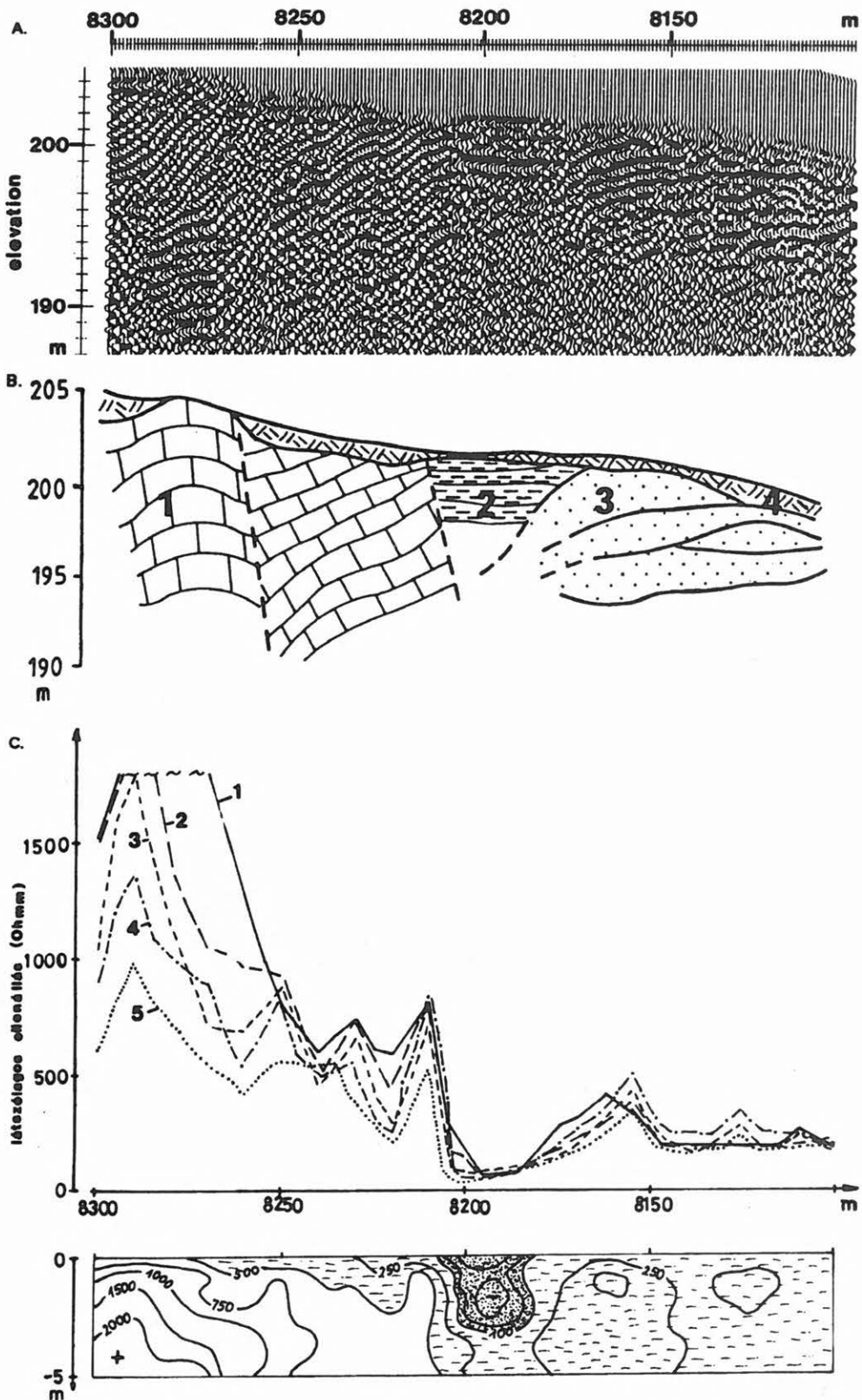
Fig. 6. Investigation of geological structure by GPR near Paks. The radar section (A) shows exactly the geological construction (B) interpreted from the wallface shown in the photo of the site (C). 1—slide rock; 2—Pleistocene running sand; 3—river sand; 4—footwall of a sand deposit; 5—running sand with lenses



7. ábra. 25 MHz-en mért földradar szelvény. A szerkezeti változásra utaló szakaszt feltárásra javasoltuk
 Fig. 7. Radargram measured by 25 MHz antennae near Paks. The signed part of the section was proposed for further detailed investigation



8. ábra. A 7. ábrán bejelölt szakasz 100 MHz-es földradar szelvénye. Alatta a feltárás alapján szerkesztett földtani szelvény látható. 1—homokos talaj; 2—szerves üledék; 3—kőzetlisztes homok; 4—kőzetliszt; 5—homok
 Fig. 8. 100 MHz radar record of the section marked in Fig. 7. The geological interpretation constructed from the excavation is shown below. 1—sandy soil; 2—sediment with organic elements; 3—clayey sand; 4—rock flour; 5—sand



9. ábra. Földradar szelvény egy szakasza (A) és ennek földtani értelmezése (B) az M0-ás autópálya diósi szakaszán végzett mérésekből. 1—mészkö; 2—agyagos üledékes kőzet; 3—kereszttrétegzett homokos üledék; 4—talaj; C—ugyanezen szakasz öt mélységpontos ellenállás szelvénye, alatta mélységmetszet. Behatolási mélységek: 1—5 m; 2—3 m; 3—1,7 m; 4—1 m; 5—0,55 m

Fig. 9. GPR section (A) measured along a new highway line near Diósd and the geological interpretation (B). 1—limestone; 2—clayey sediment; 3—fractured sandy limestone; 4—soil; C—apparent resistivity profile referring to five depths and resistivity depth section. Investigation depths are: 1—5 m; 2—3 m; 3—1.7 m; 4—1 m; 5—0.55 m

tünk (az ilyen ábrázolás csak a csatornák elején látható egyenes szakasszal együtt lehetséges). Az ábrán megadtuk a földtani értelmezést is (B). Ugyanezen szakasz öt mélyégpontos ellenállás szelvénye is látható a 9. ábrán (C). Mindkét szelvényen jól követhető a nagy ellenállású, jól reflektáló mészkőkibúvások között elhelyezkedő kis ellenállású (nagy elnyelésű) üledékekkel feltöltött bemélyedés.

Az azóta elkezdett építkezés során készült fényképeken (10. ábra) látható, hogy a feltárás igazolta az előzetes földtani elképzelést: a világos színű mészkő oldalfalat megtöri a sötétebb színű, rétegzett feltöltési szakasz.



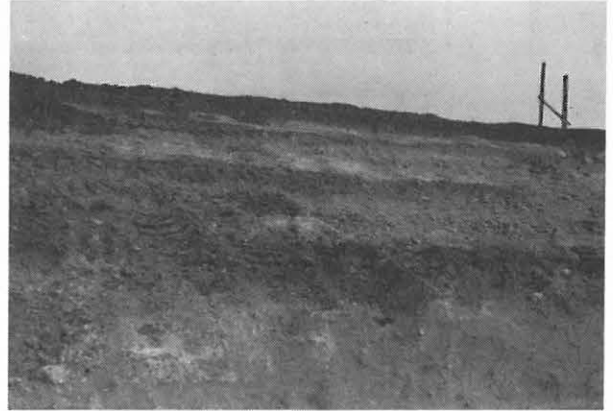
is, amelyen bejelöltük azokat a helyeket, ahol a szelvényen üreget észleltünk. Ezek igen jó korrelációja a járatokkal teljesen egyértelmű.

6.7. Számos egyéb kutatási feladatot tudunk földradar módszerrel megoldani. Ezeket itt csupán felsoroljuk, röviden ismertetve a lényegét.

Elhagyott szovjet repülőtéren beton *objektumot* találtunk földradar szelvényezéssel, amelynek létét fúrással igazoltuk.

Templom belsejében történő szelvényezéssel az *atemplom* üregének kimutatására vállalkoztunk, és megadtuk a feltételezhető lejárati helyét.

Eltemetett *kovásodott fatörzsek* kutatásában vet-



10. ábra. Diósd — M0 autópálya építés. A—az üledékekkel feltöltött árok távlati képe; B—a rétegzett üledék közelről
Fig. 10. Photos made during the building of the highway. A—view of the dike filled with clayey sediment; B—focused picture of the layered sediment

6.5. Az ismert mátraderecskei *gázszivárgási* probléma tisztázása céljából komplex geofizikai kutatást végeztünk, amelynek egyik módszere a földradar szelvényezés volt. A szelvényen követhető az a vetőzóna, amelynek egyik oldalán a vastag oligocén fedőréteg megakadályozza a mélyből feltörő gázok felszínre jutását. A másik részen viszont a töredezett andezit felszínközeli jutása révén a törések mentén felszivárgó mérgező gázok veszélyeztetik az ott élők egészségét.

A 11. ábrán bemutatott földradar szelvények egyben érzékeltetik az 5. pontban leírt feldolgozási módszerek alkalmazásának előnyeit is. A felső kép a 25 MHz-es felvétel adatait minimálisan feldolgozott formában mutatja, míg az alsó felvételen — a komplex feldolgozás eredményeképp — az összes földtani információ kiválóan követhető mind a felszínközeli, mind a mélyebb tartományban. A reflexiók alapján képet kaphatunk a rétegződésről, valamint a felvetett zónában tisztán követhetők az andezitkibúvás törései, repedései.

6.6. Kísérleti jelleggel végeztünk földradar mérést a Budapest, Ferenc-hegyi ismert *barlangjáratok* felett. A 12. ábrán bemutatott 100 MHz-es felvételen a könnyen észrevehető, feltűnő hiperbolikus reflexiókat a különböző mélységben elhelyezkedő üregek okozzák. Az ábrán látható a barlangok helyszínrajza

tünk részt.

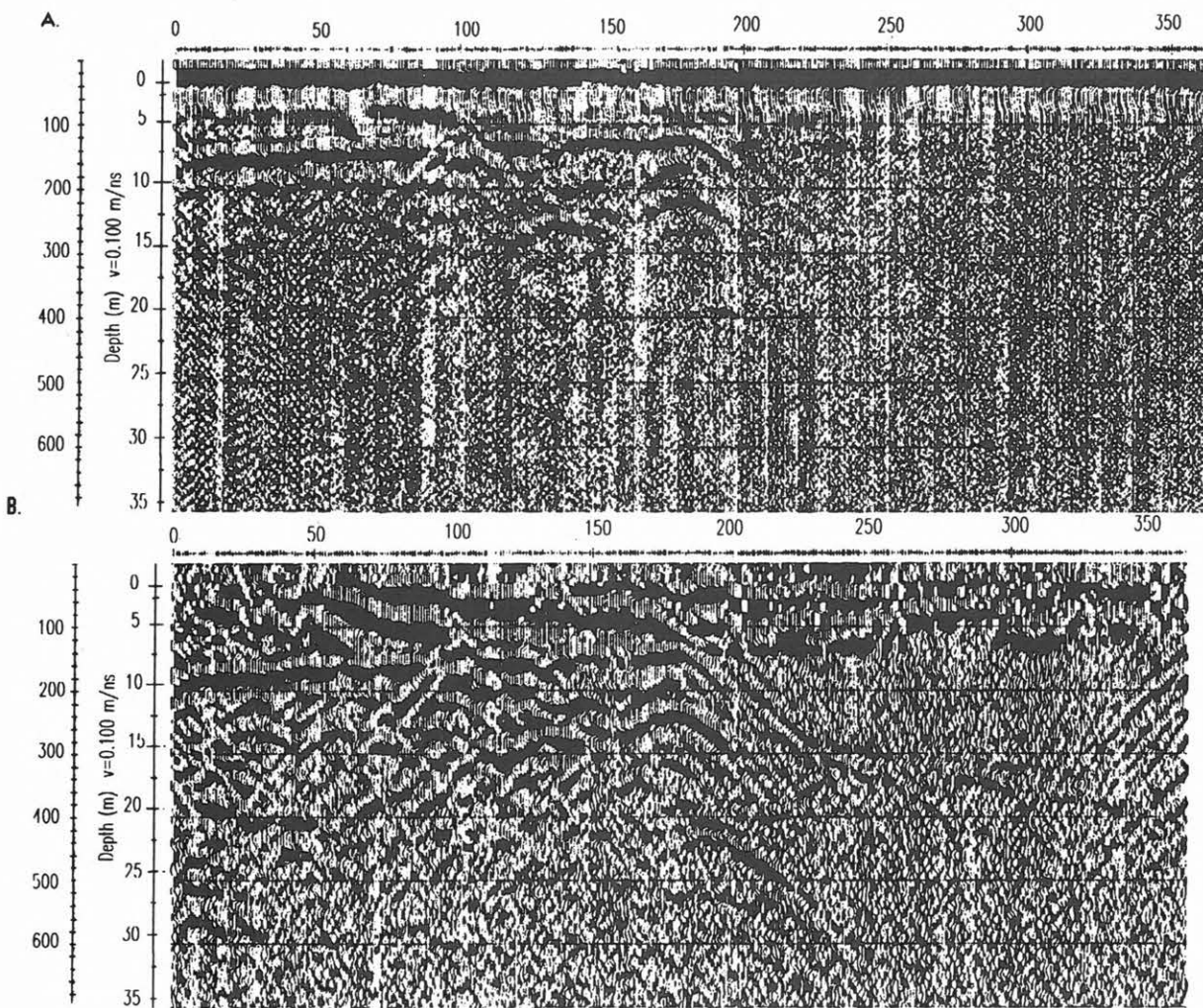
Ismeretlen földalatti *műtárgyak* (vízvezeték, kábel, csatorna stb.) kutatására mutat példát a 13. ábra.

Felhagyott egykori *bánya* rosszul tömődékelt objektumainak (lejtakna, légakna stb.) felkutatását végeztük el Nagykovácsi területén. A laza, feltöltési zónákat jelző radar anomáliákat kézfúrással igazoltuk (lásd e kötet más helyén).

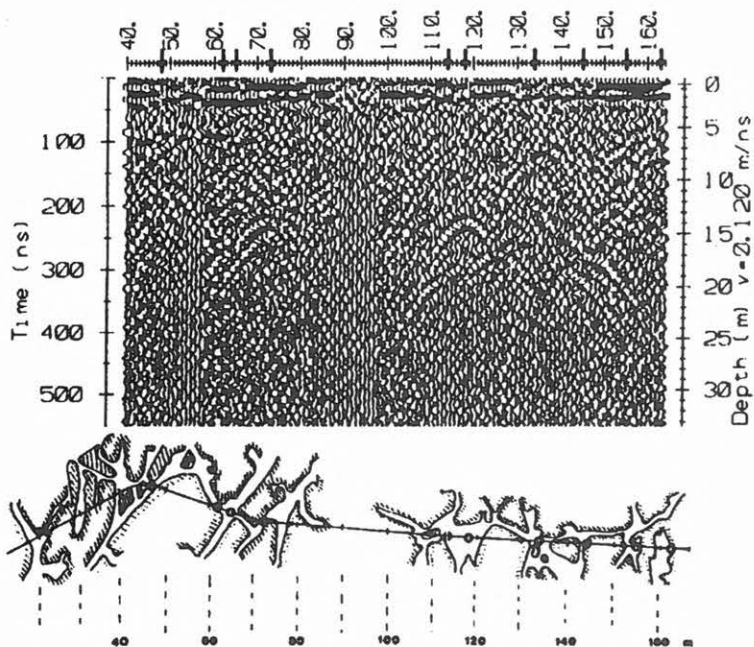
Teszteltük a földradar módszert *gátak*, töltések szerkezetkutatására, *régészeti* feladatok megoldására és számos esetben *építésföldtani* vizsgálatokra.

7. Összefoglalás

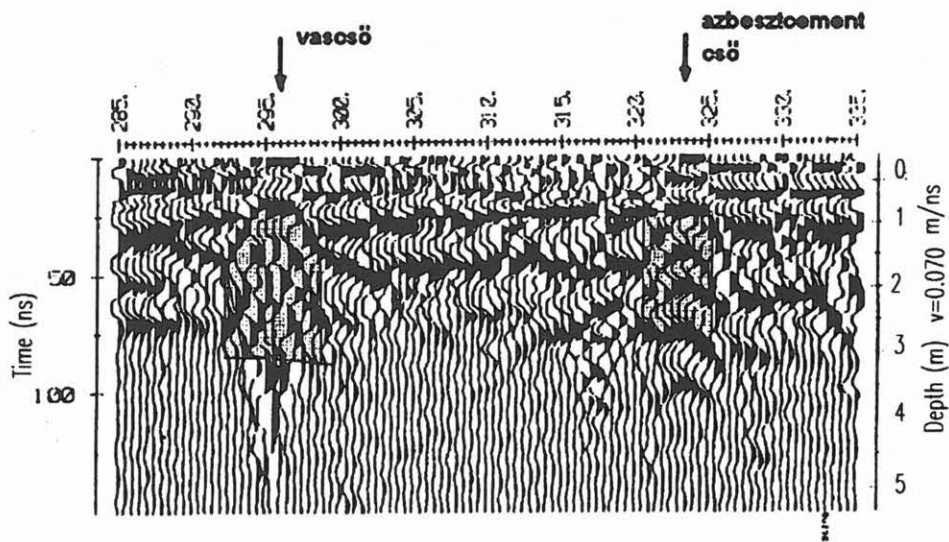
Az ebben a beszámolóban leírtak bizonyítják a földradar módszer számos alkalmazási lehetőségét. A különböző kutatási feladatok megoldása igazolja a beruházás szükségességét, a feldolgozó programrendszer kifejlesztése pedig sok esetben hozzájárul a sikeres interpretációhoz.



11. ábra. A mátraderecskei 25 MHz-es földradar szelvények A—feldolgozás előtt, és B—feldolgozás után
 Fig. 11. GPR sections measured at Mátraderecske with 25 MHz frequency. A—before and B—after processing



12. ábra. Barlangok felett mért földradar szelvény és a barlangok helyszínrajza. A felvételen az üregre utaló reflexiók és a helyszínrajzon ezek megfelelői meg vannak jelölve
 Fig. 12. Detection of caves by GPR (100 MHz). Characteristic reflections are marked both on the record and on the site map below



13. ábra. Közművek hatása a földradar szelvényen
 Fig. 13. Effect of pipelines crossing perpendicularly the survey line on the radar record

HIVATKOZÁSOK

- ANNAN A. P., DAVIS J. L. 1973: Radio interferometry depth sounding. *Geophysics* 38, 557-580 & 581-599
- ANNAN A. P., DAVIS J. L. 1976: Impulse radar sounding in permafrost. *Radio Science* 11, 383-394
- ANNAN A. P., DAVIS J. L. 1977: Impulse radar applied to ice thickness measurements and freshwater bathymetry. *Geol. Surv. of Canada, Rep. of Act. 77-1B*
- ANNAN A. P., DAVIS J. L. 1989: Ground penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting* 37, 531-551
- ANNAN A. P., COSWAY S. W. 1991: Ground Penetrating Radar Survey Design. Paper presented at the 53rd Annual Meeting of EAEG, Florence, Italy
- BAKY GY., BODOKY T., SCHOLTZ P. 1986: Személyi számítógépekre kifejlesztett bányageofizikai feldolgozó rendszer. *Az ELGI 1986. Évi Jelentése*, 104-111
- GÓGH É., PRÓNAY ZS. 1992: Felszínközeli rétegek vizsgálata földtani radar módszer segítségével Paks környékén. *ELGI-MÁFI jelentés*
- MOREY R. M., HARRINGTON W. S. 1972: Feasibility study of electromagnetic subsurface profiling. EPA rep. N. R2-72-082
- PATTANTYÚS-Á. M. 1984: Régészeti célú geofizikai mérések. *Az ELGI 1984. Évi Jelentése*, 96-103
- PATTANTYÚS-Á. M. 1989: Radar-mérések bevezetése a bányageofizikába és a felszínközeli kutatásokba. *ELGI-KFH-GKA jelentés*
- PATTANTYÚS-Á. M. 1991: A felszínközeli bauxitok kutatásának és környezetvédelmi feladatok megoldásának módszertani vizsgálata [földradar módszerrel]. *ELGI-KFH jelentés*
- PATTANTYÚS-Á. M., PRÓNAY ZS., STICKEL J. 1992: A földradar berendezés meghonosítása és bevezetése a sekélygeofizikai (környezetvédelmi) kutatásokba. *ELGI-KFH jelentés*
- STRANGWAY D. W., SIMMONS G., LATORRACA G. A., WATTS R. D., BANISTER L., BAKER R., REDMAN J. D., ROSSITER J. R. 1974: Radio-frequency interferometry — A new technique for studying glaciers (*J. Glaciology*)
- SENSORS & SOFTWARE INC. 1992: pulseEKKO IV User's Guide, Version 3.1 (Technical Manual 17)
- ÚJSZÁSZI J. 1983: Jelentés a radar földtani alkalmazásáról. *ELGI belső jelentés*
- ULRIKSEN P. 1982: Application of impulse radar to civil engineering (Doctoral Thesis)