

MAGYAR GEOFIZIKA

50 éves

a

Magyar Geofizikusok
Egyesülete

2004. április 27.

45. évfolyam különszám



2004

A szerkesztőség a szakcikkeket szaklektorálás után közli. A szaklektorok névsora az évfáradó kötetben jelenik meg.
A lapban megjelenő cikkek adatainak és állításainak helyességéért, ill. közölhetőségéért a felelősséget kizárólag a szerzők viselik.

MAGYAR GEOFIZIKA

Kiadja: Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet
1145 Budapest, Kolumbusz u. 17-23.
Telefon: (1)252-4999
Felelős kiadó: dr. Bodoky Tamás igazgató
Lombos Nyomda Kft., Budapest — Felelős vezető: Juhász Péter



Előfizethető a Magyar Geofizikusok Egyesületénél: 1371 Budapest, Pf. 433, tel.: (1)201-9815,
egyesületi tagoknak tagdíj ellenében. Megjelenik évente négyszer

Index: 26 507

Tisztelt Kollégák!

Néhány hónapja a mai rendezvény rendezőbizottsága felkért arra, hogy az ünnepi ülés bevezetéseként foglaljam röviden össze egyesületünk történetét. Így, tekintettel arra, hogy én nem vagyok alapító tag, hiszen az alapításkor még az általános iskola padjait koptattam, átnéztem mindazt, amit az egyesület történetéről már mások korábban leírtak. Nagyon jó összefoglaló született tíz évvel ezelőtt a negyvenéves évfordulóra ACZÉL Etelka és PINTÉR Anna szerkesztésében. Most, a fél évszázados évfordulóra, gondos és hosszú kutatómunka eredményeképpen újra kitűnő, és terjedelmében is jelentős egyesülettörténeti munkát kapnak kézbe tisztelt tagtársaim. Ezeket átnézve úgy éreztem, hogy a rendelkezésemre álló rövid időben az egyesület múltjával kapcsolatban nem nagyon tudok a már leírtakhoz hozzátenni, így egy más nézőpontból igyekszem az egyesületről egy pár szót szólni.

A geofizika, különösen az alkalmazott kőolajipari geofizika kialakulásában a magyar kutatók különösen fontos szerepet játszottak. EÖTVÖS Loránd a gravitációs tér finom változásainak vizsgálatára megalkotja a róla elnevezett Eötvös-ingát, és felismeri eszközüének lehetőségét a geológiai viszonyok tanulmányozásában. Ezzel itt, Magyarországon megszületik a fizikai alapokon álló műszeres földtani kutatás első használható eszköze, vagy ahogy sokszor talán némi túlzással állítjuk, az alkalmazott geofizika. Az eszköz ipari lehetőségeinek, vagy konkrétan kőolajipari lehetőségének felismerése a szintén magyar geológus, BÖCK Hugó nevéhez fűződik.

EÖTVÖS és munkatársai nem elszigetelten dolgoztak. Tudjuk PEKÁR Dezső híradásaiból, hogy a budapesti egyetemek kutatóiból és körükük gyűlt műszaki, illetve természettudományos érdeklődésű szakemberekből kialakult egy olyasféle csoport, mint amilyen ma az egyesület. *Kis Akadémiának* nevezték magukat és EÖTVÖS legfrissebb eredményeit általában itt, a Kis Akadémia ülésein adta elő a legszívesebben. Többet szerepelt itt, mint akár a Tudományos Akadémián, amelynek pedig hosszú ideig elnöke is volt, vagy akárhol másutt. Nem véletlen, hogy EÖTVÖS egyik legismertebb képe, a Komáromi Kacz-féle festmény is a Kis Akadémia kívánságára készült.

Mi volt ez a Kis Akadémia, amelyet EÖTVÖS ennyire nagyra becsült? Így, a rendelkezésemre álló töredékes adatokból azt hiszem, hogy egy igazi egyesület, vagy ahogy ma mondanánk, egy igazi civil szervezet.

Mit jelent ez fogalom, hogy civil szervezet? Az új Magyar Nagylexikon szerint a civil szervezet szabad egyének önkéntes és az államtól független társulása, és, bár ez így külön nincsen leírva sehol sem, de az idézett definícióból következik, hogy olyan társulás, amelyet anyagilag saját tagsága tart fenn.

A Kis Akadémia 1939-ben még megünnepeli saját fennállásának negyvenéves évfordulóját, kiadja saját történetét, majd az ezt követő évek során eltűnik szemünk elől. Megszűnésének módjáról és okáról nincsenek adataim, minden valószínűség szerint elsodorta a második világháborúban

elszenvedett vereség és az ország idegen uralom alá kerülése. A geofizika szerepe viszont éppen ezeket az eseményeket követően az ötvenes évek elejére nagyon felértékelődött, a geofizikus társadalom megerősödött, és ismét igényelte már egy saját egyesület létrejöttét. Ez az igény 1953–54 folyamán végül is elvezetett a *Magyar Geofizikusok Egyesületének* megszületéséhez. Ebben RENNER János, első tiszteleti tagunk játszotta az egyik főszerepet. Úgy gondolom, nem véletlenül, RENNER János bizonyosan jól ismerte még a hajdani Kis Akadémiát.

Ötven évvel ezelőtt tehát megszületett a Magyar Geofizikusok Egyesülete. A megszülető szervezet egyének önkéntes társulása, de ez a társulás nemcsak hogy nem volt független az államtól, hanem első pillanattól kezdve, mint abban a korban minden más is, erős állami ellenőrzés alatt állt. Az egyesület csak a hasonló szakmai egyesületek felügyeletére létrehozott MTESZ fennhatósága alatt működhetett. Ez a felügyelet szoros volt, például van rá adatunk, hogy egy közgyűlés alkalmából adandó könyvajándék beszerzéséhez is MTESZ-engedélyre volt szükség. A szoros felügyeletnek az árnyoldalai mellett azonban komoly előnyei is voltak, ugyanis az egyesület anyagi fenntartásának gondjait is jelentős részben magára vállalta a MTESZ-en, illetve az állami nagyvállalatokon keresztül az állam. Így kijelenthetjük, hogy mai értelemben az ötven évvel ezelőtt megszületett Magyar Geofizikusok Egyesülete nem volt igazi civil szervezet. A tagság ugyan önkéntes volt, de nem járt anyagi következményekkel, bárki élvezhette az egyesületi tagságból fakadó előnyöket anélkül, hogy ezért valamit is tennie kellett volna.

Ezzel természetesen nem azt akarom mondani, hogy ennek megfelelően aztán senki nem is tett semmit, hiszen nagyon sok tagtársunk időt és fáradságot nem kímélve nagyon sokat tett az egyesületért. Nekik köszönhető, hogy az egyesület hamarosan a hazai szakmai élet középpontjává vált, nekik köszönhető, hogy a Magyar Geofizikusok Egyesületének tevékenysége nemcsak az országon belül, hanem az egész régióban, a nagypolitika diktálta tömbhatárokon belül jelentős szakmai vezető és kezdeményező szerephez jutott. Nekik köszönhető, hogy a magyar geofizikusok a keleti világból elsőként találták meg újra a kapcsolatot a világ egésze felé. És végül nekik köszönhető, hogy ma itt lehetünk, hogy ma büszkék lehetünk egyesületünkre, hogy ma olyan évfordulót ünnepelhetünk, ahová annak idején a Kis Akadémia már nem juthatott el.

De visszatérnék az előző kérdéshez. Az egyesület egészen a nyolcvanas évek legvégéig nemcsak állami ellenőrzés, hanem állami gyámság alatt is állt. Ez azt jelenti, hogy egzisztenciális kérdésekkel nem küzdött, nem tagságának kellett fenntartania. Így sokunk számára vált természetessé, hogy elfogadjuk az egyesület nyújtotta előnyöket úgy, mint olyan valamit, ami alanyi jogon jár, és amiért tulajdonképpen nem tartozunk semmivel.

A nyolcvanas évek legvégén, a kilencvenes évek elején az országban, majd a régióban is lezajlott nagy átalakulá-

sok azonban merőben új helyzetet teremtettek. A Magyar Geofizikusok Egyesületének a történelem diktátumára egy államilag felügyelt és patronált szervezetből valódi civil szervezetté kellett válnia.

Ez a változás nagyon látványos volt, így utólag visszaneézve mégis azt kell mondjam, hogy ennek ellenére csak részben vettük észre. Az önállóságnak ugyanis mindig két oldala van: egyikén vannak a jogok, a másikon a kötelezettségek. Az első oldalt azonnal észrevettük, remekbe szabott új alapszabályt készítettünk, átalakítottuk az addig keretekbe szorított egyesületi lapunkat és így tovább. A másik oldal észrevételével azonban megítélésem szerint adások maradtunk.

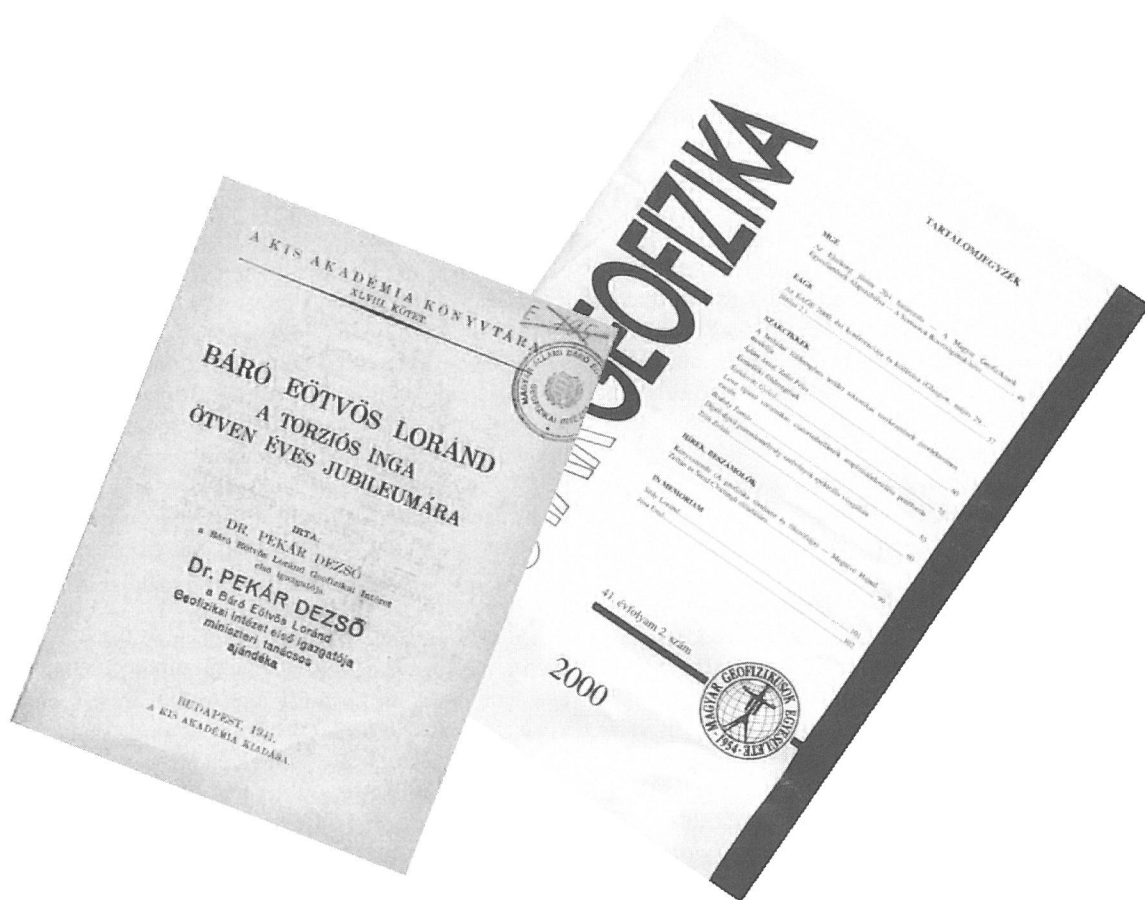
Oka van persze ennek is, annak, hogy egyesületi kötelezettségeink mellett közel másfél évtizedig nyugodtan el tudtunk siklani. Olyan, egyesületünk iránt elkötelezett és tisztán látó vezetőségünk volt a nyolcvanas évek végi döntő időszakban, amelyik tudatosan készült fel az akkor még előttünk álló bizonytalan évekre. Őszinte csodálattal és mély tisztelettel állok az előtt az alig érthető tény előtt, hogy olyan tökével bocsátották immár valódi civil útjára egyesületünket, amiből tizennégy év után még ma is méltón ünnepelhetünk. Ezt ma, itt, ismét köszönjük nekik.

A kérdésnek van azonban, sajnos, egy másik oldala is. Ennek megvilágítására itt, a felszólalásom első megfogalmazásában arról elmélkedtem, hogy kis falumban a strand melletti vendéglátó-ipari létesítményben egy korsó sör ára és az egyesületi tagdíj milyen arányban áll egymással, és hogy ennek megfelelően havi hány deci sörre taksáljuk

egyesületünket. De mondandóm többszöri átgondolása után, mások véleményét is meghallgatva úgy határoztam, hogy nem szeretném ezt a gondolatmenetet így folytatni. Egyszerűen csak emlékeztetni szeretnék mindenkit, hogy nincsen olyan bőségszaru, amelyik el nem apad egyszer. Az egyesület tőkéje az elmúlt években csökkenőben van, a Magyar Geofizikusokért Alapítvány tőkéje pedig kifogyóban. Persze nincsen még vészhelyzet, én mégis úgy gondolom, hogy elmúlt ötven évünkhöz igazán az lenne méltó, ha megpróbálnánk szembenézni az önállósággal, a civil lét másik oldalával is és azzal az előrelátással, azzal a tudatossággal készülni fel a következő ötvenre, amellyel a rendszerváltásra készült fel az egyesület. Csak a kötelezettségek tudatosabb és a teljes tagságra kiterjedő általánosabb vállalása — és itt nemcsak, illetve talán nem is elsősorban az anyagi jellegű kötelezettségekre gondolok — biztosíthatja az egyesület egészséges működését, azt, hogy majd évek múlva mi magunk, vagy akik utánunk jönnek, további évfordulókat ünnepelhessek.

Itt szinte magától adódik a kérdés, miért érdemes ezt megtennünk, miért érdemes bármit is felvállalnunk? Úgy gondolom, a választ ezekre a kérdésekre ennek az ünnepi kötetnek a cikkei adják meg. Kérem, olvassák figyelemmel.

*Dr. Bodoky Tamás főszerkesztő,
a Magyar Geofizikusok Egyesületének
második alelnöke*



A gravitációs és földmágneses kutatások története Magyarországon¹

SZABÓ ZOLTÁN²

Magyarországon az első mágneses deklinációadatunk a XV. századból származik, első mágneses térképünk pedig 1850,0 időpontra vonatkozik. A gravitációs kutatások kezdete a XIX. század 80-as éveire tehető. Az első gravitációs mérés dátuma: 1883. A gravitációs méréseket ebben az időben a földalak vizsgálata inspirálta. EÖTVÖS Lorándot ugyancsak ez a téma vonzotta. A nehézségi erőter potenciálfelületének vizsgálatához megfelelő műszerre volt szüksége. Kísérletei a Coulomb-féle ingával vezettek az Eötvös-inga feltalálásához. Terepi felmérésekről 1901-től beszélhetünk, ekkor kezdődtek a rendszeres torziósinga- és földmágneses mérések. A geodéziai célokat fokozatosan felülmutta a földtani célú kutatás. Az 1930-as évek végén megjelentek a graviméterek, amelyek igazán csak az 1950-es években kezdték kiszorítani az Eötvös-ingát a földtani kutatásból. 1949–50-ben létesült az első, a mai szemmel is korszerűnek tekintendő országos földmágneses alaphálózat, 1950–55 között pedig a gravitációs. Ettől kezdve az ország mielőbbi teljes felmérésére törekedtek. 1970-re már az egész ország területére elkészült egy 1:50 000 méretarányú gravitációs és földmágneses térképsorozat. A kellő mérési pontosság és a részletes területi felmérés lehetővé tette másodlagos feldolgozási eljárások kifejlesztését és alkalmazását. 1968-ban megkezdődött a gravitációs adatok digitális rögzítése. A gravitációs és földmágneses adatok egységes számítógépes tárolását az ELGI oldotta meg. A gravitációs és földmágneses adatbank jelenleg közel 386 000 gravitációs és 107 000 földi mágneses mérési pont adatát, valamint több mint 1 millió légi mágneses adatot tartalmaz. Az 1970-es évek elején megjelent nagy teljesítményű számítógépek nagymértékben megkönnyítették a hatószámításokat és a térképszerkesztést.

Z. SZABÓ: History of gravity and magnetic surveys in Hungary

In Hungary, the first magnetic declination data dates back to the 15th century, while the first geomagnetic map refers to the time epoch of 1850.0. The beginnings of research in gravity go back to the 80ies of the 19th century. The first gravity measurement in 1883 was inspired by the ambition of determining the shape of the Earth. Lorand Eötvös was also attracted by the topic. To enable the study of the equipotential surface of the gravity field he needed an instrument of high sensitivity. His experiments with the Coulomb balance led to the invention of the torsion balance, later named after him. Routine surveys with the torsion balance and with magnetic variometers started in 1901, while the aim of geodesy was gradually replaced by that of geology. Towards the end of the 1930ies, gravimeters appeared on the market and replaced torsion balance in geological exploration — in Hungary in the 1950ies. The first geomagnetic base network, regarded adequate even today, was established in 1949–50, and that of gravity in 1950–55. From that date the aim was to have a complete regional survey from the whole country. By 1970, two map series of 1:50,000 scale were completed for magnetic and gravity data. The accuracy of measurements and the detailed local surveys made the use of secondary data processing methods possible. In 1968, the building of a digitised databank for the gravity data has been commenced. A unified system of storing gravity and magnetic data was elaborated by ELGI. Its databank comprises at present about 386,000 gravity, 107,000 geomagnetic and more than 1 million aeromagnetic data, enabling map construction and solution of gravity as well as magnetic inverse problems efficiently. Lately, construction of digital maps started from these databanks.

A kezdetek

A földmágneses tér legkorábban felismert jellemzője, hogy az iránytű által kijelölt észak különbözik a Föld forgástengelye által kijelölt csillagászati északról. A jelenség különösen a tengeri navigációban okozott problémát. A XV. században a hordozható napórák készítői már ismerték a jelenséget, és óráikon bejelölték a két északi irány közötti helyi eltérés szögét, a mágneses deklinációt. Mátyás király 1467 körül udvarába hívta Hans DORN szász domonkosrendi műszerkészítőt, akinek itt készített műszereiről BARTHA Lajos meghatározta az 1470–85 közötti időszakra a deklináció értékét. Szerinte ennek értéke +14° volt, azaz keletre mutatott. Egy évszázaddal később a kitérés 0-ra csökkent. A török időkből pedig

csak kevés adat maradt fenn, azok is inkább Erdélyből származnak.

A felszabadító háborúk során, az 1690-es években, Luigi Ferdinando MARSIGLI olasz hadmérnök végzett térképészeti célból elhajlásméréseket a Dunával, illetve a Tiszával párhuzamos hosszúsági körök mentén Buda, Baja, Eszék közelében, illetve Eger, Szolnok, Szeged és Titel mellett. Mérései szerint ezeken a szelvényeken 9,5°, ill. 11° nyugati irányú volt az elhajlás. Ezeket az adatokat Edmund HALLEY is felhasználta 1702-ben kiadott izogontérképének szerkesztésekor.

A XVIII. század első felében MIKOVINY Sámuel végzett elhajlásméréseket térképező munkája során. Ezek a mérések már átvezetnek a jezsuiták nagyszombati egyetemén kb. 1760-tól végzett alkalmi megfigyelésekig, amelyek utóbb Budán folytatódtak.

A kezdeti gravitációs méréseket és vizsgálatokat geodéziai megfontolások vezérelték. Mivel a Föld alakját, a geoidot mint a nehézségi erőteré szintjét definiálták, a gravitációs kutatásoknak nagy szerepük lett a Föld alakjának pontos meghatá-

¹ Beérkezett: 2003. december 11-én

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

rozásában. Az erre vonatkozó vizsgálatok kiindulópontja STOKES 1849-ben publikált egyenlete, amely összefüggést állapít meg a gravitációs anomáliák és a geoid undulációi között. Geoid unduláción a geoidnak a Föld alakját közelítőleg leíró forgási ellipszoidtól (referencia ellipszoidtól) való eltérését értjük. Ahhoz, hogy STOKES képletét kellő pontossággal lehessen alkalmazni, a Föld teljes felületének gravitációs anomáliáit ismernünk kell.

Hogy a nehézségi erő meghatározásának kérdése mennyire időszerű volt a XIX. század második felében, arra bizonyíték, hogy a Királyi Magyar Természettudományi Társulat 1878. május 15-én tartott XII. választmányi ülésén, melyen az illetékes szakbizottságok jelentései alapján megtárgyalták a soros pályázatok kérdését, tárgyalták EÖTVÖS gravitációs mérésekre vonatkozó javaslatát is, és megállapították, hogy: „*hazánkban a gravitációra nézve még egyetlen adatunk sincs, úgy hogy az oktatásnál is mindig külföldi mérésekre kell hivatkoznunk. Ezért az ajánlattevő báró Eötvös Loránd egyetemi tanár úr felkérendő volna, fordítsa figyelmét egyelőre csak Budapesten, majd az Alföldön és a Szepesi Kárpátokban a nehézségi gyorsulás megállapítására.*” A téma megvalósítására 800 forintot ajánlott a bizottság. A választmány a szakbizottsági ajánlást jóváhagyta és a 800 forintnyi díj odaítélése mellett megbízta EÖTVÖST a szükséges vizsgálatok elvégzésével. 1879-ben 400 forintot előlegként ki is utaltak, de ezt további 100 forinttal megtoldva, 1880-ban EÖTVÖS megfelelő, mérésre alkalmas műszerek és helyiségek hiányára hivatkozva visszafizette.

A kérdés ezzel nem került le végképpen a napirendről, mert SCHENZL Guidó, a Központi Meteorológiai és Földdelejjességi Intézet igazgatója légnyomásméréseinek kiértékelésénél hiányolni volt kénytelen a nehézségi erő (g) budapesti értékét. Ezért a Vallás- és Közoktatási Minisztériumhoz fordult, kérve, hogy biztosítsa az anyagi feltételeket a Magyarországon végzendő nehézségi mérések számára alkalmas műszer megvásárlásához. A Tudományegyetem pártoló szakvéleménye nyomán a minisztérium engedélyezte egy reverziós inga beszerzését a hamburgi Repsold und Söhne cégtől. A műszer beszerzését GRUBER Lajos, a Meteorológiai Intézet obszervátora, majd 1886-tól igazgatója, intézte. A műszer 1885-ben érkezett meg és GRUBER a budai Várhegy északi oldalán, a Bécsi kapu közelében, a Meteorológiai Intézet akkori területén, egy fa észlelőbódében végzett méréseket. Az észlelési körülmények messze nem feleltek meg egy precíziós méréshez szükséges kívánalmaknak. A mérések végleges kiértékelésére csak GRUBER betegsége és korai halála után került sor. Az inga hosszát Sèvres-ben, a Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Intézetben határozták meg.

A sèvres-i adatok alapján a nehézségi erő értékére a

$$\varphi = 47^{\circ}30'12''$$

$$\lambda = 19^{\circ}1'55''$$

$$m = 152 \text{ m}$$

koordinátákkal meghatározott ponton

$$g = 980,827 \text{ cm/s}^2$$

értéket kaptak.

A fenti előzményekkel párhuzamosan a bécsi Katonai Földrajzi Intézet munkatársa, a prágai születésű R. STERNECK (1839–1910) is foglalkozott gravitációs mérésekkel. 1883 júniusában az Európai Fokmérés keretében Brassóban végzett csillagászati méréseket, és az általa tervezett relatív ingával három ponton meghatározta a nehézségi gyorsulás értékét is. Mérési eredményei nem bizonyultak megbízható-

nak, mivel a magasabb tengerszint feletti állomásokon nagyobb gravitációs értékeket mért, mint a legalacsonyabb állomáson, holott ennek éppen fordítottja volt várható. 1884 májusában a Celldömölk melletti Ság hegyen öt állomáson mért, itt is ellentmondó adatokat kapott, a hegy peremén ugyanis nagyobb értékeket észlelt, mint a kúp közepén. Többek között ez a jelenség is inspirálta EÖTVÖST 1891-ben, mikor első terepi méréseinek színhelyéül a Ság hegyet választotta.

STERNECK az Internationale Erdmessung 1886. évi berlini konferenciájának javaslatára 1887-től kezdődően regionális szelvények mentén végezte méréseit a Monarchia egész területén. 1896-ig 508 állomáson határozta meg a nehézségi erő értékét, a bécsi Katonai Földrajzi Intézet pincéjében létesített gravitációs fólappontra vonatkoztatva (az ún. bécsi gravitációs rendszer, melynek kiinduló értéke $980,876 \text{ cm/s}^2$). Az 508 állomásból 198 esett a történelmi Magyarország területére.

1901 folyamán STERNECK, a Magyar Földrajzi Társaság balatoni bizottságának felkérésére, id. dr. LÓCZY Lajos irányításával, 8–10 km állomásközzel 42 állomást telepített a Balaton térségében (ezekből 6 állomás korábbi mérés ismétlése). EÖTVÖS felkérésére a budapesti Tudományegyetem Fizikai Intézetének alagsorában is meghatározta a g értékét, melyre $980,860 \text{ cm/s}^2$ értéket kapott.

Időközben EÖTVÖST sem hagyta nyugodni a Természettudományi Társulat pályázatának kudarca, figyelme egyre inkább a gravitáció és a Föld alakjának vizsgálata felé fordult. A Coulomb-ingával végzett kísérletei során támadt az az egyszerű, de zseniális ötlete, hogy mi történik a torziós ingával, ha azt egyszerűen magára hagyjuk és nem helyezünk el a közelében kiterítő tömegeket. Felírta az inga egyenletét, melyből kiderült, hogy ha az ingarúd két végén levő tömeg egyikét egy lelógó szál segítségével alsóbb szintre helyezi, akkor a nehézségi erőter horizontális irányító képességén kívül az erőter vízszintes gradiensét is meg tudja mérni. Ötletét megvalósítva 1890–91-ben megépítette a később róla elnevezett Eötvös-ingát, melyet *horizontális variométernek* nevezett el¹.

Műszeréről EÖTVÖS maga a következőket mondta: „*Egyszerű egyenes vessző az az eszköz, melyet én használtam... A Coulomb-féle mérleg különös alakban, annyi az egész. Egyszerű, mint Hamlet fuvolója, csak játszani kell tudni rajta...*”

Az első terepi mérésre 1891 augusztusában került sor a Ság hegyen. A hely kiválasztását két dolog motiválta: az egyik, hogy az akkor még szabályos csonkakúp alakú hegy gravitációs hatása aránylag könnyen számítható, így alkalmas volt a mérési eredmények ellenőrzésére. A másik, hogy a Sterneck-féle mérések a hegytető mintegy 150 m távolságra levő két pontja között 33 mGal^2 különbséget mutattak ki, ami irreálisan nagy, kb. 2200 eötvösnyi gradiensnek felel meg. A mérések, amelyeket KÖVESLIGETHY Radó, TANGL Károly és BODOLA Lajos — később neves egyetemi tanárok — közreműködésével végzett, STERNECK eredményeit megcáfolták és a Ság hegyen mindent „rendben” találtak.

EÖTVÖS a sikeres Ság hegyi mérés után élete végéig műszere további tökéletesítésén dolgozott. Így született meg 1898-ban az *egyszerű nehézségi variométer*, mely a későbbiekben a *balatoni inga* nevet kapta, mert ezzel végezték EÖTVÖS és munkatársai az első nagyobb területre kiterjedő felmérést 1901 és 1903 telén a Balaton jegén. Ez az eszköz a

¹ Az Eötvös-inga történetét ld. Magyar Geofizika **40**, 1, 26–38

² $1 \text{ mGal} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ cm/s}^2$.

könnyebb terepi alkalmazhatóság érdekében az ingával egybeépített optikai leolvasó berendezéssel készült. A műszert EÖTVÖS 1900-ban a Párizsi Világkiállításon mutatta be, ahol aranyérmert nyert. EÖTVÖS figyelme hamarosan mérési eredményeinek földtani vonatkozásai felé fordult. Hogy mennyire fontos volt számára méréseinek földtani értelmezése, azt a Magyar Tudományos Akadémia 1901. évi közgyűlésén mondott elnöki beszédének az alábbi, költői szépségű részlete bizonyítja legszebben: „Itt, lábaink alatt terjed el, hegyek koszorújával övezve az Alföld rónasága. A nehézség azt lesimítván, kedve szerint formálta felületét. Vajjon milyen alakot adott neki? Micsoda hegyeket temetett el és mélységeket töltött ki lazább anyaggal, amíg létrejött ez az aranykalászkodó termő, magyar nemzetet éltető róna? Amíg rajta járok, amíg kenyérét eszem, erre szeretnék még megfelelni.”

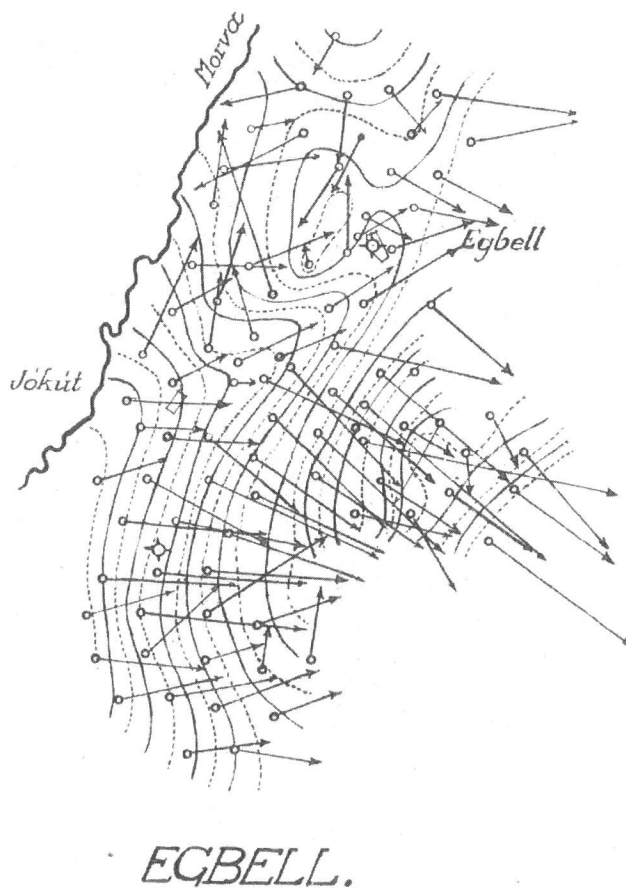
Kevésbé ismert tény, hogy EÖTVÖS — korát messze megelőzve — 1901-ben megépítette az első gravimétert is. Bifiláris elven működő műszere — valószínűleg nagyfokú hőérzékenysége miatt — nem váltotta be a hozzá fűzött reményeket, ezért félretette, továbbfejlesztésével nem foglalkozott, eredményeit nem publikálta.

PEKÁR Dezső és munkatársai a rendszeres terepi méréseket 1902-ben a Fruška Gora hegységtől északra levő területeken kezdték el, majd Arad környékén folytatták. E mérések eredményeként született a Fruška Gorára az első mágneses, Arad környékére pedig az első gravitációsható-számítás.

Az Eötvös-inga alkalmazásának kiemelkedő állomása az Egbell (Gbely, Szlovákia) környéki kőolajkutatás. Az egbelli mező előtörténetéhez tartozik az Amerikát megjárt MEDLEN János földműves esete. Történt pedig, hogy János gazda Amerikában megtakarított pénzén földet vásárolt Egbell környékén. Szántáskor furcsa szagra figyelt fel. Amerikában hallott sikertörténetek nyomán megállapította, hogy földgáz szivárog a talajból. Feltételezésének kísérleti ellenőrzése sikerrel járt, a szivárgó gáz lángra lobbant. Praktikus elme lévén, a gázt téglából épített csatornán bevezette a házába és azzal fűtött és főzött. Az esetnek híre ment a környéken, a hatóság fülébe is eljutott az ingyen fűtőanyag története. Rögvest jelentették a dolgot a fellebbvalóknak, mígnem eljutott a hír a pénzügyminisztériumba is. A továbbiakban már szakmai útra terelődött a dolog: BÖCKH Hugó, LÁZÁR Vazul és PAPP Simon kivonult földtani térképezésre, amelynek eredményeként Egbell környékén egy antiklinális alakja körvonalazódott. A tetején létesített fúrás 1913 végén, meglepően kis mélységben, 70–160 m között földgázt, 160–250 m között kőolajat talált. A későbbi termelő fúrások alapján az antiklinális meglehetősen pontosan körvonalazható volt. BÖCKH javaslatára — aki már korábban figyelemmel kísérte a terepi torziósingaméréseket — EÖTVÖS és munkatársai 1916-ban felmérték a területet. A mérési eredményeket PEKÁR az alábbiakban foglalta össze: „Egbell környékén, ahol olajok után kutattak, méréseinkkel teljesen olyan alakulatot állapítottunk meg, mint amelyet a geológusok is meghatároztak.” BÖCKH véleménye pedig a következő volt: „...de, ha nem is volna meg a geológiai felvétel, az izogammák mégis biztos támpontot nyújtanának arra nézve, hogy hol telepítsünk kutató fúrást.” E mérés bebizonyította az Eötvös-inga alkalmazhatóságát a szénhidrogén-kutatásban és ezzel megteremtette a kőolajkutató geofizika alapjait (1. ábra).

Az első magyarországi szénhidrogén-mező — a budafapusztai — megtalálása is Eötvös-inga-mérésekhez kapcsolódott. A területen már 1919-ben végzett PÁVAI VAJNA Ferenc

szénhidrogén-kutatási céllal földtani térképezést, amelynek alapján BÖCKH tűzte ki 1920-ban az első fúrást. Az 1737 m mély fúrás azonban jelentéktelen olajszagú gáznyomon kívül semmi érdemlegeset nem talált. 1934-ben az EUROGASCO³ (a MAORT⁴ és a MOL Rt. jogelődje) Eötvös-inga-méréseinek néhány hónap alatt sikerült körvonalazniuk a később kőolaj-tárolónak bizonyult budafapusztai maximumot, melynek tengelye mintegy 1500 m-rel északabbra van a BÖCK által kitűzött, meddőnek bizonyult fúrástól. Bár a terület gravitációs felmérése legfeljebb áttekintő jellegű volt, ennek ellenére a maximum tengelyébe telepített Budafapuszta-2 fúrás 1937. november 21-én kőolajat talált. Ez a dátum jelzi a magyar kőolajipar születésnapját. Érdekességként megemlíjtjük, hogy PÁVAI VAJNA szerint a fúrást eredetileg északabbra tűzték ki, de az angol fúrómester nem volt hajlandó a fúróberendezést a dombra felvinni. Lám-lám, ilyen „fontos” momentumokon múlhat egy kőolajmező felfedezése!



1. ábra. Az egbelli olajmező gradienstérképe (PEKÁR Dezső nyomán)

Fig. 1. Gradient map of the Egbell oil field (after D. PEKÁR)

A két világháború között kb. 125 db különböző típusú inga készült Magyarországon, ezeket a világ 30 országában alkalmazták. Az 1930-as évek végére azonban a kisméretű, könnyen kezelhető, sokkal termelékenyebb graviméterek kisebb

³ European Gas and Electric Co.

⁴ Magyar–Amerikai Olajipari Rt.

pontosságuk és kevésbé „intelligens” voltak ellenére világszerte háttérbe szorították az Eötvös-ingát.

A II. világháborút követő években a graviméterek pontossága és gyártási technológiája gyors ütemben fejlődött. Megjelentek a ma is korszerűnek számító első Worden és LaCoste–Romberg típusok. A hidegháborúnak „köszönhetően” azonban a modern gravimétereket stratégiai jelentőségűnek minősítették, így a vasfüggönytől keletre eső országok nem juthattak hozzá a korszerű műszerekhez. A Szovjetunióban folyt ugyan gravimétergyártás, de minősége meg sem közelítette a nyugati gyártmányú graviméterekét. Nagyrészt ennek volt köszönhető, hogy 1952-ben — elsősorban lengyel igényre — felmerült egy korszerű torziós inga kifejlesztésének ötlete. A feladatot RYBÁR István és BANAI Gyula kapta. RYBÁRnak ekkor már több évtizedes műszerszerkesztői tapasztalata volt, BANAI pedig közel két évtizedes terepi mérési gyakorlattal rendelkezett. A műszer prototípusa az ELGI finommechanikai műhelyében készült HERBÁLY Imre szerkesztői közreműködésével. Az inga 1954 végére készült el, ezért kapta az E-54 típusmegjelölést. A típusból 1956–60 között 109 db készült, 2 kivétellel valamennyit exportáltak. Az ingát az 1957-es brüsszeli világkiállításon aranyéremmel tüntették ki. 1959-től a gyártással párhuzamosan kísérletek folytak

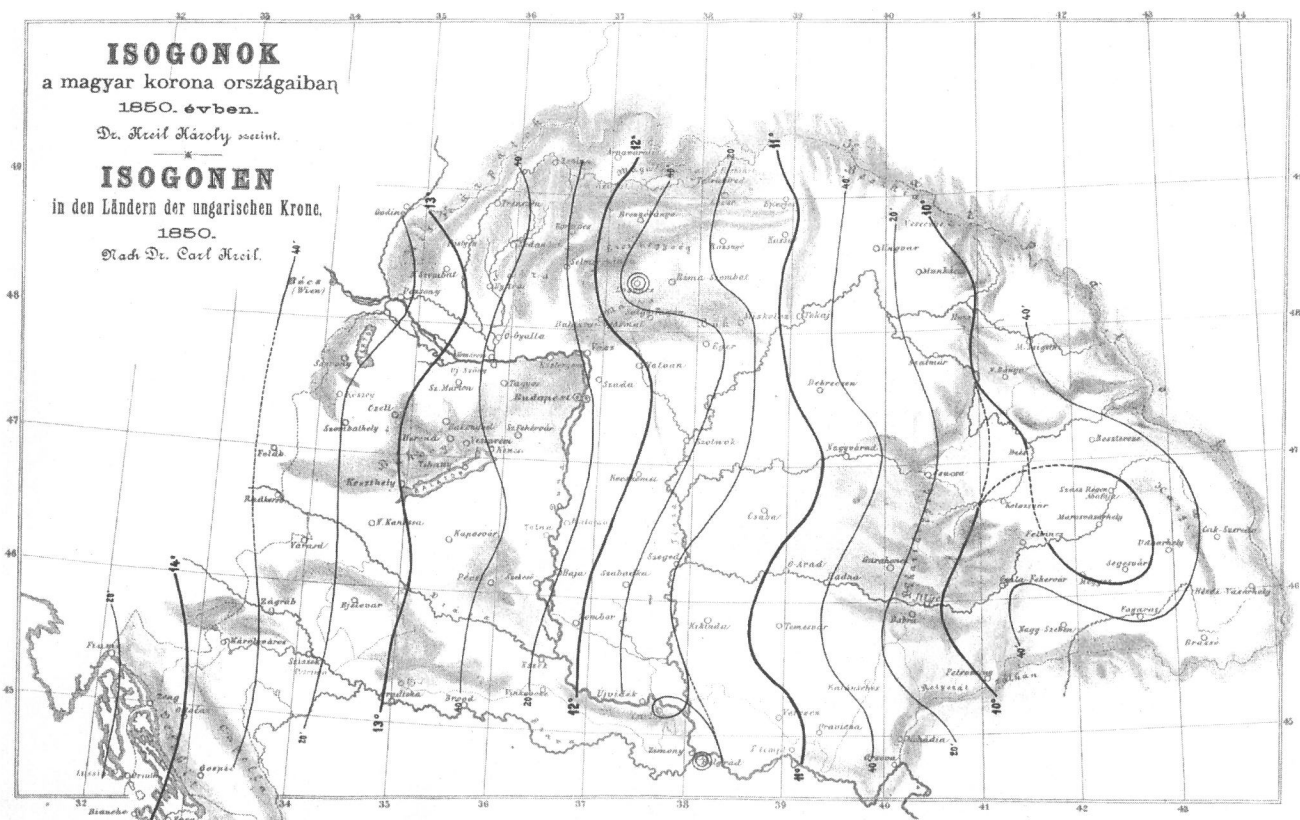
az észlelési idő csökkentésére. A kísérletek 1960-ban sikerre vezettek és megszületett az E-60 típusjelű, 20 perces csillapodási idejű inga. Ebből a típusból 1961–65 között 73 db készült, melyből 70 db került exportra.

Magyarországon az Eötvös-inga az 1960-as évek közepéig volt használatban, a több mint 65 évet átfogó mérési időszakban az ELGI, a MAORT és az OKGT összesen mintegy 60 000 állomáson végzett torziósinga-mérést. Ebben a számban a trianoni határon túli területekre eső kb. 5000 állomás is bennfoglaltatik.

Alaphálózatok

Földmágneses alaphálózat-mérések

Magyarország területén országos jellegű mágneses alaphálózat-mérést először K. KREIL végzett 1847 és 1857 között. Tíz év alatt 52 ponton határozta meg a mágneses elemek értékét és a mérési adatokat 1850,0 epochára redukálta (2. ábra). Nem sokkal a mérés befejezése után, 1864-ben kezdődött és 1879-ig tartott SCHENZLnek az 1875,0 időpontra átszámított, 111 állomást felölelő második, majd KURLÄNDER Ignácnak 1890–94 között végzett 38 pontos, 1890,0-ra átszámított harmadik mérése.



2. ábra. Carl KREIL 1850,0 epochára vonatkozó deklináció-térképe

Fig. 2. Declination chart of the normal geomagnetic field in degrees for the epoch 1850.0 (after C. KREIL)

A XX. század első két évtizedében egy másik típusú földmágneses mérési rendszer is kialakult hazánkban. Gravitációs méréseivel párhuzamosan EÖTVÖS mágneses méréseket is végzett és munkatársaival (STEINER Lajos, FEKETE Jenő, POGÁNY Béla és FRÖHLICH Pál) a három mágneses elem abszolút értékét 1600, relatív értékét pedig 3500

ponton határozta meg. Terepi abszolút méréseinek pontossága megközelítette az obszervatóriumokban végzett mérések minőségét, a horizontális intenzitást ± 5 nT, a deklinációt $\pm 1'$, míg az inklinációt $\pm 0,1'$ középphibával határozták meg. Mérései alapján 1906,5 epochára meghatározta a földmágneses elemek normálképletét. A részletessége alap-

ján abban az időben páratlan mérőszorozat a földtani szerkezetkutató mérések őskének tekinthető. Talán nem érdektelen megemlíteni, hogy Amerikában 1914-ig mindössze 1000 tengeri és 2500 szárazföldi ponton végeztek földmágneses méréseket.

A Kurländer-féle mérés után az egész országra kiterjedő mágneses alaphálózat-mérést hosszú ideig nem végeztek. 1934–36 között HOFHAUSER Jenő a Honvéd Térképészeti Intézet megbízásából határozta meg a deklináció értékét az ország 26 pontján. A mérési adatokból a térképészet céljaira meghatározta a deklináció normális változását az ország területén.

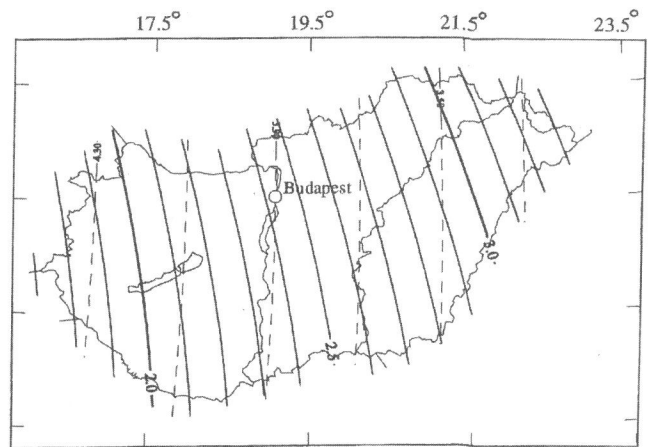
A Kreil-féle mérés centenáriuma alkalmából a Meteorológiai Intézet, a Geofizikai Intézettel karöltve, 1949–50-ben már valóban az egész ország területét egyenletesen lefedő alaphálózat-mérést végzett. A mérés folyamán BARTA György és munkatársai 290 ponton határozták meg a mágneses komponensek abszolút értékét. Az új mágneses térkép a régitől a mágneses évszázados változás miatt lényegesen eltért, a deklináció pl. 1890 és 1950 között 8° -ot, az inklináció 1° -ot, a horizontális intenzitás pedig 350 nT-t változott.

A nemzetközi nyugodt nap éve keretében szervezett mágneses világfelmérés részeként 1964–65-ben ACZÉL Etelka és STOMFAI Róbert 300 állomásra kiterjedő újabb alaphálózat-mérést végzett. A hagyományos QHM és BMZ műszerek mellett a SZEMERÉDY Pál által 1960-ra kifejlesztett protonmagnetométer terepi változatával is végeztek kísérleti jellegű méréseket. Annak érdekében, hogy a földmágneses alaphálózat-mérések hosszú ideig megismételhetők legyenek, az állomásokat az országos földmérési alaphálózat háromszögelési pontjai mellé telepítették. A normálteret a földrajzi koordináták másodfokú függvényével írták le. A mérési adatokat az 1965,0 epochára redukálták. E mérések alapján nemcsak a mágneses tér új képét ismertük meg, hanem az 1890–1950-es, mérés nélküli nagy időköz interpolációs kitöltése is biztonságosabbá vált.

A továbbiakban két egymástól független tényező: a földmágneses tér szekuláris változásának pontosabb megismerése és nyomon követése iránti igény, valamint a város- és iparfejlesztés következtében egyre nagyobb területeken fellépő mágneses zavarok felhívták a figyelmet arra, hogy

az alaphálózat-méréseket célszerű 15 évente megismételni. Így került sor 1979–82-ben a LOMNICZI Tibor és TÓTH Péter nevével fémjelzett mérésekre. 299 ponton határozták meg a mágneses tér deklinációjának, horizontális intenzitásának és teljes térerősségének értékét. Ez utóbbi észleléshez már protonprecessziós magnetométert használtak. A mérési adatokat 1980,0 epochára redukálták. A mágneses tér különböző komponenseinek normális térbeli eloszlását leíró másodfokú polinomokat a legkisebb négyzetek módszerével határozták meg.

Az utolsó alaphálózat-mérésre 1994–95-ben került sor KOVÁCS Péter és KÖRMENDI Alpár közreműködésével. E legutóbbi hálózat csak 195 pontot tartalmaz, egyrészt az észlelésekből kihagyták az előző mérések alapján anomálisnak bizonyult állomásokat, másrészt sok régi alapponthelyzetében a legutóbbi mérések óta előálló ipari zajok lehetetlenné tették a mágneses komponensek zavarmentes és kellő pontosságú meghatározását. Méréseiket 1995,0 epochára vonatkoztatták. A mérési adatok kiegyenlítése során a leggyakoribb érték módszerét alkalmazták (3. ábra).



3. ábra. KOVÁCS P. és KÖRMENDI 1995,0 epochára vonatkozó deklináció-térképe

Fig. 3. Declination chart of the normal geomagnetic field in degrees for the epoch 1995.0 (after P. KOVÁCS and KÖRMENDI)

1	2	3	4	5
1847–57 (1850,0)	K. KREIL, J. LIZNAR	52	<i>D, H, I</i>	Mágneses teodolit, földinduktor
1864–79 (1875,0)	SCHENZL Guidó	117	<i>D, H, I</i>	Mágneses teodolit, földinduktor
1890–94 (1890,0)	KURLÄNDER Ignác	38	<i>D, H, I</i>	Mágneses teodolit, földinduktor
1902–17 (1903,0; 1906,0)	EÖTVÖS Loránd	1600	<i>D, H, I</i>	Mágneses teodolit, földinduktor
1934–36 (1936,0)	HOFHAUSER Jenő	26	<i>D</i>	Mágneses teodolit
1949–50 (1950,0)	BARTA György	290	<i>D, I, H</i>	Mágneses teodolit, földinduktor, QHM, BMZ
1964–65 (1965,0)	ACZÉL Etelka, STOMFAI Róbert	300	<i>D, H, Z</i>	QHM, BMZ
1979–82 (1980,0)	LOMNICZI Tibor, TÓTH Péter	299	<i>D, H, T</i>	QHM, protonmagnetométer
1994–95 (1995,0)	KOVÁCS Péter, KÖRMENDI Alpár	184	<i>D, I, T</i>	DI fluxgate-, protonmagnetométer

1. táblázat. A földmágneses alaphálózatok összefoglaló táblázata. 1–a mérés időtartama és vonatkozási éve; 2–a mérések és a feldolgozás irányítói; 3–a mérési pontok száma; 4–a mért földmágneses komponensek; 5–az alkalmazott műszerek

Table 1. The table of geomagnetic base networks. 1–time interval of measurements and reference epoch; 2–supervisors of measurements and data processing; 3–number of stations; 4–components of the geomagnetic field; 5–instruments

Gravitációs alaphálózatok

A XIX. század második felében világszerte fokozottan jelentkezett a gravitációs adatok iránti igény, de a g abszolút értékének meghatározása csak igen nehézkesen és pontatlanul volt lehetséges. A nehézségi erő két pont közötti különbségét viszont aránylag egyszerűen, relatív ingákkal meg tudták határozni. A mérések számának gyarapodásával egyre fontosabbá vált egy közös alappont kiválasztása, hogy a különböző területeken végzett méréseket ehhez az alapponthoz viszonyíthassák. Így került sor 1891-ben az International Association of Geodesy állandó bizottságának firenzei ülésére, amelyen felvetődött az a javaslat, hogy Sèvres-ben a Bureau International des Poids et Mesures területén létesítsenek egy nemzetközi gravitációs alapállomást. A javaslatot elfogadták, az anyagi eszközök is rendelkezésre álltak, de ma már nehezen tisztázható körülmények miatt a mérésekből semmi sem lett. A későbbiekben, 1898 és 1904 között azután KÜHNEN és FURTWÄGLER Potsdamban mérte meg a nehézségi erő abszolút értékét, amely a következő:

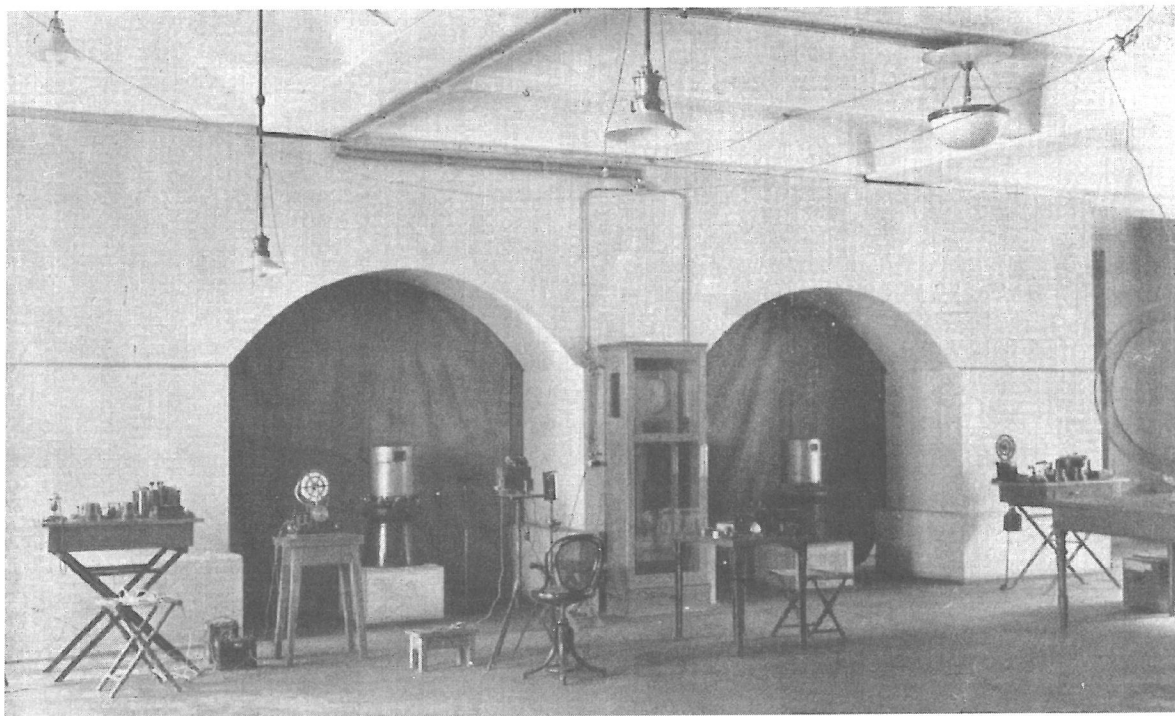
$$g_P = 981,274 \pm 0,03 \text{ cm/s}^2.$$

Eredményüket 1906-ban publikálták és ettől az időtől kezdve ezt az értéket tekintették a nemzetközi alaphálózat kiindulópontjának.

Magyarországon 1907-ben vetődött fel a különböző területeken végzett mérések egységes szintre hozásának szükségessége. EÖTVÖS kezdeményezésére és a frissen elnyert állami támogatás terhére, a Műegyetem Geodéziai tanszékén BODOLA professzor adjunktusa, majd későbbi utóda, OLTAY Károly kapott megbízást relatív inga beszerzésére és a mérési módszer tanulmányozására. OLTAY 1908-ban, majd 1913-ban és 1915-ben SZECSÓDY Miklós közreműködésével végzett összekötő méréseket a potsdami geodéziai intézet gravitációs alappontja és a budapesti Műegyetem ingatermében létesített gravitációs főalappont között (4. ábra). A budapesti alappontra

$$g_{Bp} = 980,852 \pm 0,003 \text{ cm/s}^2$$

értéket kaptak. Az összekötő mérésekkel párhuzamosan, 1908 és 1933 között OLTAY és munkatársai egy 110 állomásból álló, nem egyenletes eloszlású alaphálózatot létesítettek. A mérési pontokat, néhány kivételtől eltekintve, épületek pincéiben helyezték el. A mérések középhibájaként $\pm 1,5$ mGal-t adtak meg. A 110 állomásból 35 a jelenlegi országhatárokon kívül esik. A mérések során 33 Sterneck-féle állomáson is végeztek méréseket, amelyek lehetővé tették a Sterneck-féle hálózat megbízhatóságának ellenőrzését. Az összehasonlító mérések alapján a Sterneck-féle mérések megbízhatóságára ± 22 mGal értéket kaptak.



4. ábra. A Műegyetem ingaterme. Az Oltay-féle gravitációs főalappont a baloldali boltív alatt helyezkedik el

Fig. 4. Location of the fundamental gravity base point in the basement of the Budapest Technical University

Az EUROGASCO 1933-ban kezdte meg torzióingaméréseit a Kisalföldön. A mérési pontok száma az elkövetkező években rohamosan növekedett. A különálló területrészek egységes gravitációs szintjének biztosítása érdekében FACSINAY László 1939-ben és 1941-ben 141 pontból álló gravitációs alaphálózatot létesített a Dunántúlon. Az alaphálózat pontjai közé 48 Oltay-féle relatív inga-állomást is felvett. Méréseit Boucher-graviméterrel végezte, méréseinek négyzetes középhibájára $\pm 0,15$ mGal-t kapott, mely

érték pontosan egy nagyságrenddel kisebb, mint az Oltay-féle hálózati mérések hibája. A közös mérési pontokon végzett összehasonlító mérések egyébként megerősítették az OLTAY által megadott pontossági értéket.

A szaporodó területi mérések, valamint egy országos Bouguer-anomália-térkép szerkesztése iránti szándék miatt a 40-es évek végén égető szükségességgel merült fel egy országos gravitációs alaphálózat létesítésének igénye. A nemzeti gravitációs alaphálózatok témája egyébként az

IUGG 1948. évi oslói közgyűlésén is felmerült és a konferencia ajánlását elfogadva az MTA Geodéziai és Geofizikai Főbizottságának elnöke, TÁRCZY-HORNOCH Antal is támogatta egy modern gravitációs alaphálózat létrehozását. Így tehát a nemzetközi ajánlás és a hazai gyakorlat igénye szerencsésen találkozott. A műszeres háttér is biztosítva volt, mert az 1949-ben, még a MAORT révén beszerzett 2 db Heiland graviméter (mérési pontossága $\pm 0,02-0,03$ mGal) lehetővé tette egy minden követelménynek megfelelő gravitációs alaphálózat létesítését. Az alaphálózat 16 db I. rendű és 493 db II. rendű alappontból állt. Az alaphálózatot 1950–55 között mérték, és a Műegyetem Geodéziai Intézetének ingatermében levő (azóta elpusztult) gravitációs főalapponton keresztül kötötték be az ún. potsdami rendszerbe. Az ingaterm déli pillérét, mint már említettük, 1908-ban és 1915-ben OLTAY mérte össze közvetlenül Potsdammal. A hálózat később az MGH-50 elnevezést kapta.

Az 1950-es évek elején C. MORELLI olasz geodéta kiegyenlítette az európai gravitációs alappontok hálózatát. A kiegyenlítés eredményeképpen a budapesti főalappontra az Oltay-féle értéknél 1 mGal-lal magasabb,

$$g_{BP} = 980,853 \text{ cm/s}^2$$

értéket kapott. Ezt az adatot fogadták el a hazai gravitációs alaphálózat kiindulási értékül. A magyar alaphálózat mind részletességében, mind pontosságában a maga idejében, az evtvösi hagyományoknak megfelelően, páratlan volt a világon. A hálózat kiegyenlítés utáni középhibája $\pm 0,029$ mGal. A munka tervezésében, szervezésében RENNER János, OSZLACZKY Szilárd, FACSINAY László és SZILÁRD József, mérésében KOMÁROMY István, PÉTER Gyula, REMÉNYI György, SZABÓ Gábor és KISS Lajos vett részt.

A 60-as években szerte a világon napirendre került a szabadesés elvén alapuló ún. abszolút graviméterek kifejlesztése. Az első példányok méretüknél fogva helyhez kötöttek voltak, de hamarosan megjelentek a hordozható változatok is. Az abszolút graviméterekkel végzett mérések során hamarosan bebizonyosodott az a már korábban is gyanított tény, hogy a potsdami érték mintegy 14 mGallal nagyobb a valós értéknél. Ezért a nyugati országokban 1971-ben a Potsdami Gravitációs Rendszer kezdőpontjának értékét 14 mGallal csökkentették, és az újabb méréseket már ebbe a javított rendszerbe illesztették. 10 abszolút állomás értékének bevonásával a korábbi nemzetközi hálózatot újból kiegyenlítették. Ennek neve International Gravity Standardization Net (IGSN-71) lett.

Az interkontinentális rakéták megjelenésével hirtelen megnőtt a gravitációs adatok katonai jelentősége és az adatok iránti igény. Ezért 1963-ban elrendelték a gravitációs adatok szigorúan titkos minősítését. Következésképpen a világ gravitációs szempontból is kettészakadt. A szocialista országok 1968–69-ben nemzetközi együttműködésben létrehozták a területükre vonatkozó Egységes Gravimetriai Hálózatot (MEGP), amelynek mérésében szovjet, lengyel, német relatív-vinga-csoportokat, valamint GAG-2, Askania, Sharpe és Worden gravimétereket alkalmaztak. Minden részt vevő országban 1–3 pont g értékét határozták meg. Magyarországon a műegyetemi gravitációs főalappont elpusztulása miatt, szükségmegoldásként, az ingaméréseket a Nemzeti Múzeum egyik pinchelyiségében végezték, melyet azután összemérték a Budapest-Ferihegy I. rendű

ponttal. Az új hálózatot 1971-ben a potsdami rendszer látszólagos megtartásával, de szintjének 14 mGalos csökkentésével illesztették a nyugatihoz. Az új nemzetközi hálózatához való csatlakozás érdekében Magyarországon 1971-ben egy újabb, 19 pontból álló I. rendű gravimetriai alaphálózatot létesítettünk. Időközben, nemzetközi tapasztalatok alapján az a nézet alakult ki, hogy a nagy pontosságot kívánó gravitációs mérésekbe célszerű párhuzamosan, több gravimétert bevonni, ezért az alaphálózatot 3 db Sharpe CG-2 típusú graviméterrel mérték. A tervezési és szervezési feladatokat POLLHAMMER Manóné irányította, az észleléseket REMÉNYI György végezte.

Az 1970-es évek második felére a szovjetek által kifejlesztett abszolút graviméter már megbízhatóan működött, úgyhogy a SZOGSZ⁵ keretében, CSAPÓ Géza közreműködésével, megkezdődhetett az abszolút gravimetriai pontok telepítése. Magyarországon az első abszolút mérésre 1978-ban a siklósi vár volt börtönhelyiségében elhelyezett alapponton került sor.

Részben a műegyetemi gravitációs főalappont pusztulása, részben az abszolút mérések megjelenése szükségessé tette egy új magyarországi gravitációs főalappont létesítését. Hosszas töprengés és keresgélés után az új főalappont helyéül a Mátyás-hegyi barlangnak egy, a II. világháború során részben mesterségesen kiépített mellékágát választottuk. A később Geodinamikai Állomás néven ismertté vált föld alatti laboratórium kiépítése 1978-ban fejeződött be. A padlózatotól izolált főalapponton 1980-ban szovjet szakértők végezték az első mérést, melyet azóta többször megismételtek különböző gyártmányú abszolút graviméterekkel. A Mátyás-hegyi főalappont abszolút nehézségi gyorsulás értéke a legutolsó, 2000. évi meghatározás szerint

$$g_M = 980,824275 \text{ cm/s}^2$$

Az 1970-es évek végére kiderült, hogy az MGH-50 II. rendű gravitációs alappontok zöme különböző okok miatt (tagosítás, útkorrekciók stb.) elpusztult, vagy mérésre alkalmatlanná vált, ezért szükségessé vált egy új alaphálózat létrehozása. Levonva a tanulságokat, hogy az alappontokat nem célszerű utak mellé telepíteni, az új hálózat pontjait templomok, kastélyok, középületek, iskolák közelébe telepítették, ahol hosszú távú fennmaradásuknak nagyobb a valószínűsége. A hálózati mérésekre 1980–89 között került sor. A méréseket 2 db Sharpe CG-2 és 1 db LaCoste-Romberg graviméterrel végezték. Az 1971. évi I. rendű és az újonnan létesített II. rendű alaphálózatot CSAPÓ és SÁRHIDAI Attila dolgozta fel 1990-ben. Az új, MGH-80 elnevezésű alaphálózat kiegyenlítés utáni középhibája: ± 16 μ Gal, a pontok száma 389. A hálózat vonatkozási szintje és méretaránya már nem potsdami, hanem abszolút, mert a kiegyenlítésben az 1978–85 között létesített 5 abszolút állomás (Budapest, Szerencs, Siklós, Gyula, Kőszeg) adatait is felhasználták.

Az MGH-50 még megmaradt és az MGH-80 hálózat pontjainak összemérése alapján egy kétváltozós másodfokú függvény segítségével sikerült leírni a két hálózat közötti eltérést, amely 0,55–0,81 mGal között változik. A két hálózat különbsége a Dél-Dunántúlon a legkisebb, ÉK felé haladva fokozatosan növekszik. Az eltérés két komponensre bontható: egy kb. 0,5 mGalos szinteltolásra és egy

⁵ Szocialista Országok Geodéziai Szolgálat

DNy–ÉK irányú, közel lineáris regionális torzulásra, melynek értéke kisebb, mint $0,5 \mu\text{Gal}/\text{km}$. Figyelembe véve, hogy az MGH-50 hálózatot egy graviméterrel mérték, és jobb híján a gyár által meghatározott műszerszorzót alkalmazták, megállapíthatjuk, hogy az 50-es években elődeink valóban világszínvonalú gravitációs alaphálózatot hoztak létre.

A rendszerváltozás után megnyílt a lehetőség nyugati kapcsolatok kiépítésére is, így azután különböző együttműködési megállapodások keretében amerikai, olasz, osztrák és német szakértők bevonásával mára sikerült abszolút alappontjaink számát 16-ra növelni (5. ábra). Ezzel tulajdonképpen az abszolút állomások átvették a régi I. rendű alaphálózat szerepét. Az abszolút állomásokat bizonyos időközökben újramérik, egyrészt a különböző típusú műszerek összemérése, másrészt a gravitációs tér nem árapály okozta esetleges változásának detektálása céljából. Az abszolút graviméterek $5\text{--}6 \mu\text{Gal}$ körüli mérési pontossága már abba a tartományba esik, melyben a külső zavaró tényezők (pl. légnyomás-, talajnedvesség-, talajvízszint-változás stb.), valamint a vertikális gradiens tényleges értékének hatása sem elhanyagolható. A legújabb vizsgálatok ezen tényezők gravitációs hatásának tanulmányozása céljából folynak. Magyarországon az elmúlt 25 év alatt nem sikerült belső földtani folyamatokra utaló gravitációs változásokat észlelni.

Európa nyugati felében 1994-ben elkészült az Egységes Európai Gravimetriai hálózat (UEGN-94), amelyhez később Magyarország is csatlakozott. A rendszerváltás bekövetkeztével a gravitációs adatok titkossága is megszűnt, így lehetővé vált gravitációs alaphálózatunk összekapcsolása a szomszédos Ausztrián keresztül az európai gravitációs alaphálózattal. Az e célból végzett osztrák és korábbi szlovák határ menti összekötő mérések, valamint néhány határon túli abszolút állomás értékének bevonásával újra kiegyenlítették a gravitációs alaphálózat 490 pontját (MGH-2000), melynek szintjét és méretarányát 20 abszolút állomás biztosítja. A hálózat kiegyenlítés utáni középhibája: $\pm 14 \mu\text{Gal}$. Az MGH-2000 ponthálózatából egyenletes eloszlású ritkább hálózatot alakítottunk ki, majd a szomszédos pontokat egymással és az abszolút pontokkal összemértük. Ez a ritkított ponthálózat az UEGN-2000 magyarországi szakasza.

1	2	3	4
1908–33	Oltay	110	$\pm 1,5$
1939–41	Facsinay	141	$\pm 0,15$
1950–55	MGH-50	509	$\pm 0,029$
1971, ill. 1980–89	MGH-80	389	$\pm 0,016$
1992–99	MGH-2000	490	$\pm 0,014$

2. táblázat. A gravitációs alaphálózatok összefoglaló táblázata. 1–a mérés időtartama; 2–az alaphálózat elnevezése; 3– az alappontok száma; 4–a hálózat négyzetes középhibája

Table 2. Table of gravity base networks. 1–time interval of measurements; 2–name of the network; 3–number of stations; 4–rms error of the network

Graviméter hitelesítő alapvonal

A graviméterek mérési pontosságának növekedésével

egyre fontosabbá vált a műszerek hitelesítésének egységesítése. A graviméterek hitelesítését a különböző gyártó cégek vagy két ismert gravitációs értékű pont közötti észleléssel (melyek értékét előzőleg relativíngamérésekkel határozták meg), vagy a gravitáció magasságfüggésére alapozva, magas épületekben több szinten történő méréssel végzik. Míg a műszerek szórása meghaladta a néhány tized mGal-t, addig ezek a módszerek a gyakorlati mérések során nem okoztak különösebb gondot. A század mGal pontosságú, és főleg a nagy távolságban elhelyezkedő alapállomások közötti méréseknél azonban a kalibrációs bizonytalanságok már komoly zavaró tényezőt jelentettek. A különböző típusú graviméterek skálaszorzóinak összhangba hozása céljából hitelesítő alapvonalakra volt szükség. Magyarországon az első gravitációs hitelesítő alapvonalat FACSINAY létesítette Boucher graviméterrel, a Hármashatár-hegyen. Az alapvonal mérési tartománya 39 mGal volt. Az 50-es évek elején a Heiland graviméterekkel mértek egy újabb hitelesítő alapvonalat a Petneházi-rét és a János-hegy csúcsa között. Etalonnak az MGH-50 alaphálózat mérésénél használt Heiland graviméterrel meghatározott Δg érték számított. Az alapvonal méréstartománya 54 mGal volt.

Hamarosan kiderült azonban, hogy egyes műszerek skálaszorzója változik a földrajzi szélesség függvényében, ezért olyan hitelesítő alapvonal vált szükségessé, mely lehetőleg átfogja az ország teljes nehézségi gyorsulás tartományát. Ezért került sor 1969-ben nemzetközi mérések keretében, a Balassagyarmat–Budapest–Szeged hitelesítő alapvonal létesítésére. Hamarosan kiderült azonban, hogy az alapvonal Budapest–Szeged szakasza a megnövekedett járműforgalom okozta zavaró hatások miatt alkalmatlanná vált. 1985-ben, ugyancsak nemzetközi mérések keretében, az alapvonal déli szakaszát Budapest–Pécs vonalra helyeztük át. Azóta ez a hitelesítő alapvonal szolgál a graviméterek kalibrálására. Az alapvonal pontjai között ma már 5 abszolút állomás található és a vonal 210 mGal mérestartománya majdnem átfogja hazánk teljes 250 mGal-os Δg intervallumát.

Országos áttekintő térképezés

Országos áttekintő mérések

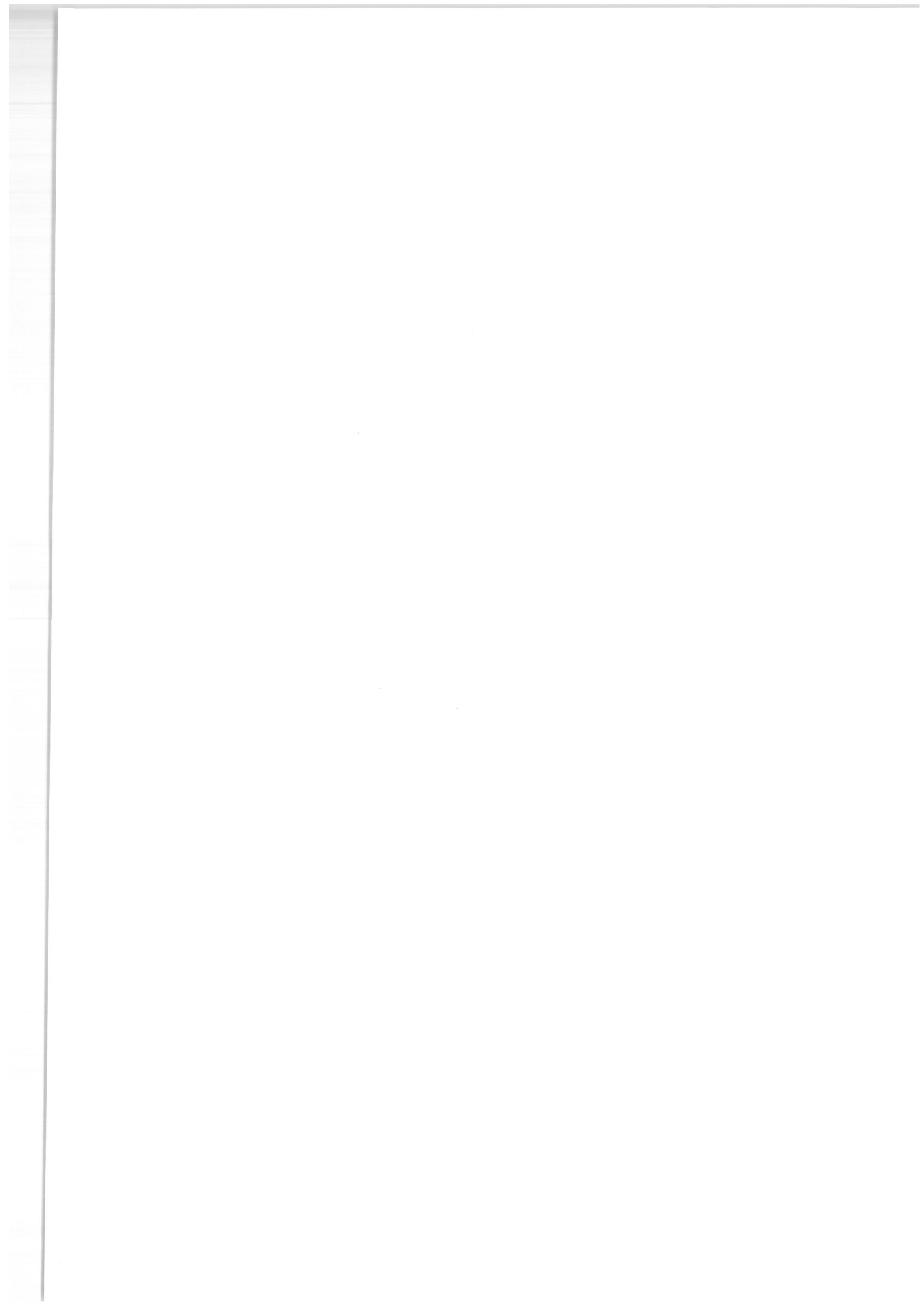
A geofizikai mérések iránt 1950 körül megnyilvánuló fokozott érdeklődés hatására megkezdődött az ország áttekintő földmágneses felmérése. A mérések előzményéhez tartozik, hogy az EUROGASCO, ill. a MAORT keretében SCHEFFER Viktor 1934–43 között átnézetes ΔZ -méréseket végzett a Dunántúlon, elsősorban a Kisalföldön és a Zalai-medencében, tehát a kőolajkutatás szempontjából akkor perspektivikusnak tekintett területeken. Az ország más területein pedig az ELGI végzett különböző célzatú földmágneses méréseket. Az egyes részterületek azonban általában nem kapcsolódtak egymáshoz.

A HAÁZ István Béla irányításával 1951-ben elkezdődött országos felmérés során a mérési pontokat hálózatosan, általában 1,5 km állomásközzel telepítették. Nagy anomáliák előfordulási helyein az állomástávolságot 1,0 km-re, illetve helyenként 500 m-re sűrítették. A felmérés a földmágneses tér vertikális komponensének, azaz a ΔZ -anomáliáknak a meghatározására korlátozódott, mivel a mágneses hatók helyzetét, kiterjedését és vonulataik irányát



5. ábra. JILAG típusú abszolút graviméter a madocsai alapponton

Fig. 5. JILAG type absolute gravimeter



a ΔZ -anomáliák önmagukban is jól szemléltetik. A méréseket Schmidt rendszerű magnetométerekkel végezték, melyek mérési pontossága néhány nT.

Vulkáni hegységeink területén a várhatóan nagy amplitúdókra és az igen változatos anomálieeloszlásra való tekintettel eredetileg 500 m-es állomásközzel tervezték a méréseket: Az ilyen részletességű felmérés nagy időigénye azonban nagymértékben hátráltatta volna az országos térkép megszületését, ezért végül ezeken a területeken is 1,5 km-es állomásközt alkalmaztak. A terepi mérésekben részt vettek: DÉR Miklós, ZSILLE Antal, HOFFER Egon.

A terepi mérésekkel párhuzamosan folyt az adatfeldolgozás KOMÁROMY vezetésével. Vonatkozási időpontnak az 1950,0 epochát választották. Az áttekintő mérések alapján 1966-ban készült el Magyarország földmágneses ΔZ -anomália térképe 1:500 000 méretarányban, amelyet a következő évben a Geofizikai Közlemények mellékleteként publikáltak. A térkép földtani értelmezésével POSGAY foglalkozott. Hatószámításokat végzett az ország minden jelentősebb mágneses anomáliáján, melynek hatója a felszín alatt keresendő. Vizsgálatainak eredményét 1:500 000 méretarányú térképen foglalta össze. A térképen feltüntette a hatók helyét, mélységét, hozzávetőleges kiterjedését, dőlését és szuszceptibilitását. Egyéb földtani-geofizikai ismeretek alapján a hatók korát és közettani összetételét is megpróbálta meghatározni. Az egész ország területére kiterjedő regionális értelmezés a szélsőértékekhez és az inflexiós pontokhoz húzott érintőkön alapuló hatószámítás bizonytalanságai ellenére jelentősen hozzájárult a nagyszerkezeti viszonyok megismeréséhez.

Az országos áttekintő graviméteres mérések kezdete 1950-re — a Heiland graviméterek megjelenésére — tehető. Az ezt követő mérések megbízhatósága ugyanis a mai napig elegendő a földtani értelmezéshez szükséges pontossági kritériumoknak. A regionális gravitációs felmérés során az állomásokat túlnyomórészt utak mentén 500 m-es állomástávolsággal helyezték el (6. ábra). A mérési rendszerben változást csak a Sharpe graviméterek magyarországi megjelenése okozott, mikortól kezdve a kedvezőtlen útviszonyokkal rendelkező területek felmérése is lehetővé vált.

Az áttekintő gravitációs felmérés sokkal tovább tartott, mint a földmágneses, befejezését 1979-re tesszük, igaz ugyan, hogy a gravitációs mérési pontok száma ekkor már meghaladta a 120 000-et, szemben a földmágneses felmérés 46 000 körüli állomászámával.

Az országos áttekintő mérésekkel párhuzamosan és azt követően mindkét módszernél a részletező mérések kerültek előtérbe. A felmérések méretarányát és hálózatos, vagy szelvény menti mivoltát mindig a kutatási célkitűzés szabta meg. Az OKGT GKV az 500 m-es szabályos négyzethálóban végzett méréseket preferálta. 1975-től kezdve graviméteres méréseikkel párhuzamosan protonmagnetométeres méréseket is végeztek. Az ELGI-ben inkább a kvázihálózatos mérési rendszert alkalmazták.

Az 1950-es évek közepéig a gravitáció játszott a vezető szerepet a szénhidrogén-kutatásban, azt követően pedig elsősorban a szeizmikus mérések tervezésére alkalmazták. A szeizmikus technika fejlődésével és a kapacitás bővülésével a 80-as évek közepétől a gravitációs módszer fokozatosan teret veszített a szénhidrogén-kutatás irányításában. Ez a folyamat a 90-es években a 3-D szeizmika megjelenésével vált különösen érzékelhetővé.



6. ábra. Észlelés a Mátrában Heiland graviméterrel. Az erdei kisvasút segítségével megpróbáltunk elszakadni az úthálózattól

Fig. 6. Working with the Heiland gravimeter in the Mátra mountains

Országos áttekintő térképek

A magyarországi gravitációs anomáliákról az 1940-es évek végéig nem volt áttekintő térkép. Ennek egyik oka, hogy a geofizikai kutatás a 30-as évek elejétől kezdve nélkülözötte az egységes irányítást. A Dunántúlon a MAORT végzett gravitációs méréseket, az Alföldön az ELGI és a MANÁT⁶. 1949-ben FACSINAY a Dunántúltra, SZILÁRD J. pedig az ELGI és a MANÁT mérései alapján az Alföldre szerkesztette meg a Bouguer-anomáliákat. Egységes gravitációs alaphálózat hiányában azonban igen nagy nehézséget okozott a különböző években, különböző műszerekkel végrehajtott, sok esetben egymáshoz nem csatlakozó mérések egységes szerkezetbe foglalása. A kéziratos térkép, amely még sok fehér foltot tartalmazott, 1950 decemberére készült el. A két térkép összedolgozása az ELGI-ben szovjet szakértőként tevékenykedő L. V. PETROV nevéhez fűződik, akinek feladata a magyarországi geofizikai kutatások helyzetének felmérése és a további kutatások irányvonalának meghatározása volt. Ezért ez a térkép Petrov-féle térképként vált ismertté a szakmai közéletben.

1953-ban, a már elkészült I. rendű alaphálózatra és egyes részleteiben már lemért II. rendű alaphálózatra alapozva, az időközben végzett újabb Eötvös-inga- és graviméteres mérések adataival kiegészítve, FACSINAY és SZILÁRD J. elkészítette a Petrov-féle térkép fejlettebb változatát. Az új térképen, ha töredékesen is, de nagy vonalakban már felismerhetővé váltak az ország nagyszerkezeti irányait tükröző fő anomáliavonalatok. Ebben az időben — SZILÁRD J. feljegyzései szerint — közel 100 000 állomás gravitációs adata állt rendelkezésükre.

1959-re már oly nagyszámú mérési anyag gyűlt össze, hogy megkezdődhetett egy országos térképsorozat szerkesztése. A sorozat 1:50 000 méretarányú Gauss-Krüger vetületű térképlapokon készült. A térképek szerkesztésénél mind az Eötvös-inga-, mind a graviméteres mérések adatait figyelembe vették. Az Eötvös-inga-mérések feldolgozásánál a gradiensekből számított Δg -értékeket a gravitációs alaphálózati pontok Bouguer-anomália-értékeihez mint kényszerértékekhez kiegyenlítették. A térképek szerkeszté-

⁶ Magyar-Német Ásványolajipari Társaság

sénél a Bouguer- és topografikus korrekcióhoz $\sigma=2,0 \text{ g/cm}^3$ sűrűségértéket használtak.

Országhatárokon átnyúló, a szomszédos országokhoz csatlakozó térképsorozat kiadásának gondolata már 1957-ben felvetődött egy varsói KGST-tanácskozáson. Ezt követően a KGST Földtani Állandó Bizottsága 1963-tól munkáuléseken tárgyalta a földmágneses és gravitációs térképek szerkesztésének és egységesítésének alapelveit és módszereit. A tagállamok megállapodása szerint mindkét térképsorozatot Gauss-Krüger szelvényezésű, 1:200 000 méretarányú térképlapokon tervezték megjelentetni. E programhoz illeszkedve, a már folyamatban lévő, 1:50 000 méretarányú gravitációs és földmágneses térképekre alapozva, kezdődött meg az 1:200 000 méretarányú térképsorozat nyomdai kiadása 1964-ben.

1970-re valamennyi 50 000-es térképlap elkészült, a 200 000-es térképlapok kiadása viszont a Dunától keletre eső terület és a győri, valamint a komáromi lap megjelenése után félbeszakadt. Ebben finánciális okok mellett az is közrejátszott, hogy a gravitációs térképek 1963-ban elrendelt szigorúan titkos minősítése nagyon megnehezítette azok használatát. A kezelésükkel járó szigorú adminisztráció is sokakat elriasztott a térképek beszerzésétől. A fentiekkel párhuzamosan, az országos földmágneses felmérésre alapozva, folyt a földmágneses ΔZ -térképek szerkesztése és kiadása, a mérési adatokat az 1950,0 epochára vonatkoztatva. A térképszerkesztési munkálatokat KOMÁROMY irányította.

1963-ban az OKGT GKÜ, kutatásainak komplexitása érdekében, létrehozta saját gravitációs részlegét FACSNAY vezetésével. Kezdetben, graviméter hiányában, Eötvös-inga-méréseket végeztek, majd 1967-től áttértek a graviméteres mérésre. A szűrési technika elterjedésével, 1969-től kezdve, az ELGI 1:50 000 méretarányú Bouguer-anomáliatérkép-sorozatára alapozva, megkezdtek nagyobb területrészekre kiterjedő szűrt gravitációs anomáliatérképek készítését. A feldolgozáshoz szükséges bemenő adatokat a térképek 1 km rácsávolságú négyzetháló pontjain kiolvasva digitalizálták. Az így kapott adatrendszert, ahol saját mérési adatokkal rendelkeztek, kiegészítették. Az 1:50 000 méretarányban megszerkesztett, majd 1:200 000 méretarányra kicsinyített szűrt térképeken sok pozitív anomália rajzolódott ki. Az ígéretesnek látszó területek részletes felmérése, majd szeizmikus megkutatása számos szerkezeti indikáció felfedezésére vezetett, közülük néhány köolaj-, ill. földgáztárolónak bizonyult.

A részterületeken nyert tapasztalatok alapján 1978-ban erős felülvágást biztosító sávszűréssel országos szűrt gravitációs térképet szerkesztettek, 1:200 000, ill. 1:500 000 méretarányban. Az erős felülvágásnak köszönhetően a digitalizálás során fellépő hibák és a kutatás számára érdektelen, felszínközeli hatóktól származó hatások jelentősen csillapodtak. A nagy sikerű országos térkép komoly segítséget jelentett a különböző nagyszerkezeti egységek elkülönítésében.

Az 1968-ban az ELGI-ben PINTÉR Anna és POLLHAMMERNÉ kidolgozta a graviméteres mérési adatok lyukkártyás tárolásának rendszerét és megkezdtek az adatok számítógépre vitelét. A nagy mennyiségű adat lyukasztása során számtalan hibalehetőség merült fel, a hibák kiszűrésére TRENKA Sándorné dolgozott ki ötletes megoldást. Mire 1979-ben befejeződött az ország át-

nézetes gravitációs felmérése (átlagosan 1,2 pont/km² állomássűrűséggel), valamennyi addigi mérés (120 000 állomás) bekerült az adatbankba. A lyukkártyás adattárolással párhuzamosan megkezdődött a térképrajzoló programok kifejlesztése. Első lépésként ZILÁHI-SEBESS László kidolgozta a szabálytalanul elhelyezkedő állomások adatainak négyzethálóra történő interpolációjára szolgáló programot. A program mérete azonban az akkor rendelkezésre álló MINSZK-2 számítógép memóriájához képest igen nagyknak bizonyult.

Az 1970-es évek első felében az OKGT GKV-nál MAKÁRY Elemér és KÉSMÁRKY István a TNR szeizmikus szelvényrajzoló plotterre írt egy izovonalas térképrajzoló programcsomagot, melyet KLOSKA Károly illesztett a gravitációs feldolgozó programokhoz. Ettől kezdve a gravitációs munkatérképek plotteren készültek, de a végső megjelenítés és feliratozás továbbra is kézzel történt. Az ELGI-ben az 1980-as évek elején készült el SÁRHIDAI MINSZK-32-re írt térképszerkesztő programja, mely lehetővé tette hogy a digitálisan tárolt gravitációs és földmágneses adatokból 1984-ben egy újabb, 1:100 000 méretarányú, de már EOVSZELVÉNYEZÉSŰ térképsorozat készüljön. SZABÓ Zoltán és SÁRHIDAI a Bouguer-anomáliák számításához $\sigma=2,4 \text{ g/cm}^3$ átlagsűrűséget használt. Elkészítették mindkét térképsorozat szűrt változatát is, valamint a gravitációs térképek 1:500 000 méretarányú változatát. A szűrt gravitációs térkép a Geofizikai Közlemények mellékleteként meg is jelent.

A számítógépes lehetőségek összehasonlíthatatlanul könnyebbé tették újabb, tetszés szerinti térkép-variációk elkészítését. Az adatbank folyamatos feltöltése az ELGI részletmérési, valamint a GKV méréseinek adataival tovább folytatódott. Napjainkban az Országos Gravitációs Adatbank 386 000 graviméteres és 22 000 Eötvös-inga állomás adatát tartalmazza. A Földmágneses Adatbank 107 000 földi és több mint 1 000 000 200×200 m-es négyzethálóra interpolált légi mágneses adatot tartalmaz.

Az országos térképsorozatok legújabb változata a digitális térkép. A teljessé vált gravitációs és földmágneses adatbázisra alapozva folyamatban van Magyarország digitális gravitációs és földmágneses térképsorozatának 1:100 000 méretarányú EOVSZELVÉNYEZÉSŰ térképlapok szerinti elkészítése, KISS János irányításával.

Nemzetközi együttműködés

Mérések

1965–69 között szovjet szakemberek a Mecseki Ércbánya Vállalat részére végeztek légi geofizikai méréseket. A légi mágneses méréseket az ELGI-ben dolgozták fel KOMÁROMY és HOFFER irányításával. A mérések célja egyrészt az átnézetes földmágneses térkép 1,5 km-es állomástávolságánál részletesebb adatgyűjtés a hatószámítások pontosságának fokozására, másrészt a hegységek területén a topográfia okozta tértorzulások kiküszöbölése. Míg a gravitációs méréseknél a topográfia hatását könnyen számításba tudjuk venni, a földmágneses méréseknél, olyan vulkáni hegységek területén, ahol a mágneses hatók a felszínen vannak, a topográfia torzító hatása nyomon követhetetlen. A Börzsönyben, például — az elvárásoknak megfelelően — a légi mágneses mérések lényegesen jobb eredmé-

nyeket szolgáltatottak, mint a földi mérések, miáltal a kaldera meglehetősen biztonsággal körvonalazhatóvá vált.

A mérésekhez AMF-21 típusú szovjet gyártmányú ferroszondás magnetométert, majd 1968-tól SZEMERÉDY protonprecessziós magnetométerét is alkalmazták. A ferroszondás mérések négyzetes középhibájára ± 13 nT adódott. A repülési szelvények bekötési hibája, a vizuális navigációnak köszönhetően, meglehetősen nagy, ± 120 m volt. A méréseket hegyvidéken általában 250 m, síkvidéken 500 m szelvényközzel végezték, a repülési magasság 50 m volt. A teljes felmért terület 43 500 km². A Börzsönyben, a Mátrában, a Jászság és a Nyírség területén összesen 9030 km²-en hatószámítási céllal több szinten is repültek: a Börzsönyben és a Mátrában 50, 1000 és 2000 m-en, míg az Alföldön 50, 550 és 1050 m magasságban. A légi mágneses adatok jelenleg 200 m-es négyzethálózatra interpolálva találhatók meg a földmágneses adatbankban.

Mai szemmel nézve meglehetősen negatívan ítélnék meg a légi mágneses program hatószámításra vonatkozó részét. Navigációs berendezés hiányában a mérni kívánt mágneses hatások indikációit csak arra lehetett fölhasználni, hogy segítségükkel helyükre csúsztassák a bizonytalan helyzetű repülési szelvényeket. Ezek után minden hatószámítási próbálkozás eleve kudarcra volt ítélve. Nem gondoltak a harmonikus függvényeknek arra a tulajdonságára, hogy már az alacsonyabb szinten mért földmágneses télerősségértékek is meghatározzák a magasabb szelvények télerősségértékeit. Ezért a három egymás fölötti szinten végzett mérések — a felfelé folytatás számítási módszerének ellenőrzésén kívül — nem szolgáltatottak többlet információt.

Térképek

A Magyar és a Szlovák Tudományos Akadémia Földtudományi Osztálya 1989-ben vetette fel a határ menti földtani-geofizikai térképek összedolgozásának igényét. Miután a különböző földtani szerkezetek, nem törődve az országhatárokkal, átnyúlnak azokon, a földtani-geofizikai térképeknek is folyamatosan illeszkedniük kell egymáshoz. A gyakorlatban azonban komoly illesztési problémák merültek fel a határok mentén. Részben ez a jelenség, részben pedig a bős-nagymarosi vízi erőmű körüli vita készítette arra az illetékes szerveket, hogy kezdeményezzék a határ menti területek térképeinek összedolgozását. A program, amely a DANREG elnevezést kapta, 1990-ben indult és még abban az évben csatlakozott hozzá Ausztria is. A részt vevő felek megállapodtak abban, hogy a térképeket $\varphi = 47^\circ 20' - 48^\circ 20'$ szélességi és $\lambda = 16^\circ 15' - 17^\circ 30'$ hosszúsági koordinátákkal meghatározott területre készítik el. Időközben a gravitációs adatok titkosságát feloldották, ezáltal lehetővé vált közös Bouguer-anomália-térkép megszerkesztése is. A rendelkezésre álló adatok kölcsönös felmérése után az együttműködő felek megállapodtak a készítendő térképek méretarányában (1:200 000) és paramétereiben. A Bouguer-anomália-térkép esetében ezek a következők voltak: abszolút gravitációs rendszer, gravitációs vonatkozási szint: WGS-80, topográfiai magasság: Adriai szint, sűrűség: 2,67 g/cm³, az izogammák értékköze 1 mGal.

Tekintettel arra, hogy a három szomszédos ország gravitációs alaphálózatának szintje közötti különbség nem haladta meg a 0,04 mGalt, az egyes országok által megadott g

értékeket minden további nélkül fel lehetett használni a térkép megszerkesztéséhez. Az elkészült térkép becslült pontossága: $\pm 0,8-1,0$ mGal. A földtani értelmezés megkönnyítése érdekében elkészítették az egységes Bouguer-anomália-térkép három szűrt változatát is, éspedig egy regionális térképet a hozzá tartozó maradék-anomália térképpel, valamint egy derivált jellegű változatot. Tekintettel arra, hogy a terület egyes részein a fiatal üledékek vastagsága eléri a 7–8000 m-t, a mélyszerkezeti viszonyok kiemelése érdekében KOVÁCSVÖLGYI Sándor kiszámította az üledékhatással korrigált anomáliákat is.

Az egységes földmágneses térkép megszerkesztésénél a legnagyobb problémát az okozta, hogy a részt vevő országok területén más és más jellegű mágneses adatok álltak rendelkezésre. Magyarországon ΔZ -mérések voltak, míg Ausztria és Szlovákia különböző magasságban mért légi mágneses adatokkal rendelkezett. Első lépésként a különböző adatszereket kellett egységesíteni, ami természetesen csak közelítőleg volt megoldható. Az adatok átszámítása a Bécsi Egyetem Geofizikai Tanszékén történt. Az átszámításhoz szükséges inklinációadatokat ACZÉL és STOMFAI 1965-re vonatkozó képletéből számították. A különböző országok mágneses alaphálózatának méréseit a környező országok obszervatóriumi idősorából meghatározott függvény segítségével 1980,0 epochára számították át, majd meghatározták a földmágneses teret legjobban megközelítő másodfokú függvény együtthatóit. Hogy az országhatárokon fellépő torzulásokat elkerüljék, a Bécsi Egyetem Geofizikai Tanszékén előállított közös adatrendszer az ELGI-ben javították az egységes és a nemzeti normáltak különbségével. A térkép megszerkesztése a közös DANREG topográfiai alapon az ELGI-ben történt. A DANREG program a határokon átnyúló regionális együttműködés szép és követendő példája.

1991-ben a Leeds-i egyetem professzora, D. FAIRHEAD kezdeményezésére, és hat nyugati olajtársaság támogatásával létrejött egy hároméves projekt: *West-East Europe Gravity Project (WEEGP)*. A projekt célja az egész kontinenst lefedő egységes, 1:2 000 000 és 1:5 000 000 méretarányú, Bouguer-anomáliatérkép-sorozat elkészítése. A szervezési és kivitelezési munkát a Leeds-i egyetem keretein belül működő Geophysical Exploration Technology (GETECH) nevű divízió vállalta FAIRHEAD vezetésével. Tekintettel arra, hogy egyrészt a munka indulásakor legtöbb közép- és kelet-európai országban még nem oldották fel a gravitációs adatok titkosságát, másrészt hogy a nagyobb üledékes medencék, valamint a jelentős nagyszerkezeti irányok hatása azért tükröződjön a térképen, a térkép szerkesztői és a részt vevő országok delegáltjai 8×8 km négyzethálózaton alapuló térkép megszerkesztését tűzték ki célul. A térkép paramétereit: abszolút gravitációs rendszer, gravitációs vonatkozási szint: WGS-84, sűrűség: 2,67 g/cm³. Az ELGI 1992-ben csatlakozott a projekthez a megadott paraméterekkel meghatározott, 4×4-es km négyzethálózatra interpolált Bouguer-anomália- és topográfiai magasság adatokkal. Ennek fejében 1995-ben megkaptuk a 10 évre bizalmasnak minősített, egységesített térképet a Kárpátokat magába foglaló, $\varphi = 42^\circ - 52^\circ$ szélességi és $\lambda = 10^\circ - 30^\circ$ hosszúsági koordinátákkal meghatározott területre 1:1 000 000 méretarányban, valamint a teljes térkép 1:9 000 000 méretarányú változatát.

Módszertan

Sűrűségproblémák

A gravitációs kutatás egyik alapvető problémája a Bouguer-anomáliák számításához szükséges átlagsűrűség meghatározása. Az Eötvös-inga-méréseknél a sűrűség-probléma csak a topografikus korrekció meghatározásánál játszik szerepet. EÖTVÖS és munkatársai a mérési pontokon vett talajminták sűrűségét egy külön erre a célra kifejlesztett terepi mérleg segítségével határozták meg. A graviméterek megjelenésével viszont szükségessé vált a felszín és a vonatkozási felület — általában a tengerszint — közötti közettömegek átlagsűrűségének ismerete is. Ezt már nem lehet a felszíni talajmintákra korlátozni, sőt laboratóriumi eszközökkel nincs is mód ennek meghatározására. Ezért a kutatók már igen korán megpróbálkoztak olyan eljárások kidolgozásával, melyek magukból a graviméteres mérésekből teszik lehetővé az átlagsűrűség meghatározását. Elsőként 1939-ben NETTLETON foglalkozott a problémával. Eljárásának lényege a topográfia és az anomáliamenet korrelációjának minimalizálása. Hazánkban EGYED László dolgozott ki átlagsűrűség meghatározására szolgáló módszert. Abból a feltételezésből indult ki, hogy helyes átlagsűrűség alkalmazásakor három, egy egyenesbe eső állomás esetén a Bouguer-anomália lineárisan változik. A lineáristól való eltérést a helytelenül megválasztott korrekciós sűrűség okozza. Ebből és a hozzá tartozó magasságkülönbségből meghatározható a helyes átlagsűrűségtől való eltérés. STEINER Ferenc egy hasonló elven működő, területi kiértékelésre alkalmas eljárást fejlesztett ki. A későbbiekben PINTÉR A. és SZABÓ G. végeztek kiterjedt sűrűség-vizsgálatot az ország különböző hegyvidékein. Számításaikat szintén gravimétermérések adataira alapozták.

Mindezek ellenére a sűrűség-probléma csak nem akart nyugvóponttra jutni, elsősorban helyi értelmezési problémák miatt, mint pl. a Szolnok környéki komplex geofizikai kutatási terület zagyvaréki medencéjében, ahol a szeizmikus refrakciós és geoelektromos mérésekkel meghatározott mélymedence felett gravitációs maximum jelentkezett. Az ellentmondás feloldására KILÉNYI Éva 1966-ban feldolgozta a tágabb területre eső 77 mélyfúrás összesen 1185 magmintáján az OKGT kőzetfizikai laboratóriumában meghatározott térfogatsúly- és porozitás-adatokat. Megállapította, hogy a részmedencék sűrűség-mélység függvényei általában egyenessel közelíthetők, de az egyenesek gradiensei a medencealjzat mélységével fordítva arányosak, azaz minél sekélyebb a medence, annál meredekebben nő a sűrűség. Ebből arra a következtetésre jutott, hogy a sűrűségben elsősorban nem a terhelésnek (mélységnek), hanem a kornak, ill. a konszolidációnak van meghatározó szerepe. Továbbá a zagyvaréki medencérsz sűrűségadatai a többitől eltérően nem egyenlíthetők ki egy egyenessel, és a kezdeti meredekebb dőlésű szakasz végpontjában a pannóniaiak minősített üledékek elérik az aljzati sűrűségértéket.

Ezek az eredmények rávilágítottak a laboratóriumi kőzetfizikai paraméter-meghatározások fontosságára, ezért nagyszabású mérési programot indítottak a Tihanyi Observatóriumban. Ennek keretében több mint 12 000 kő-

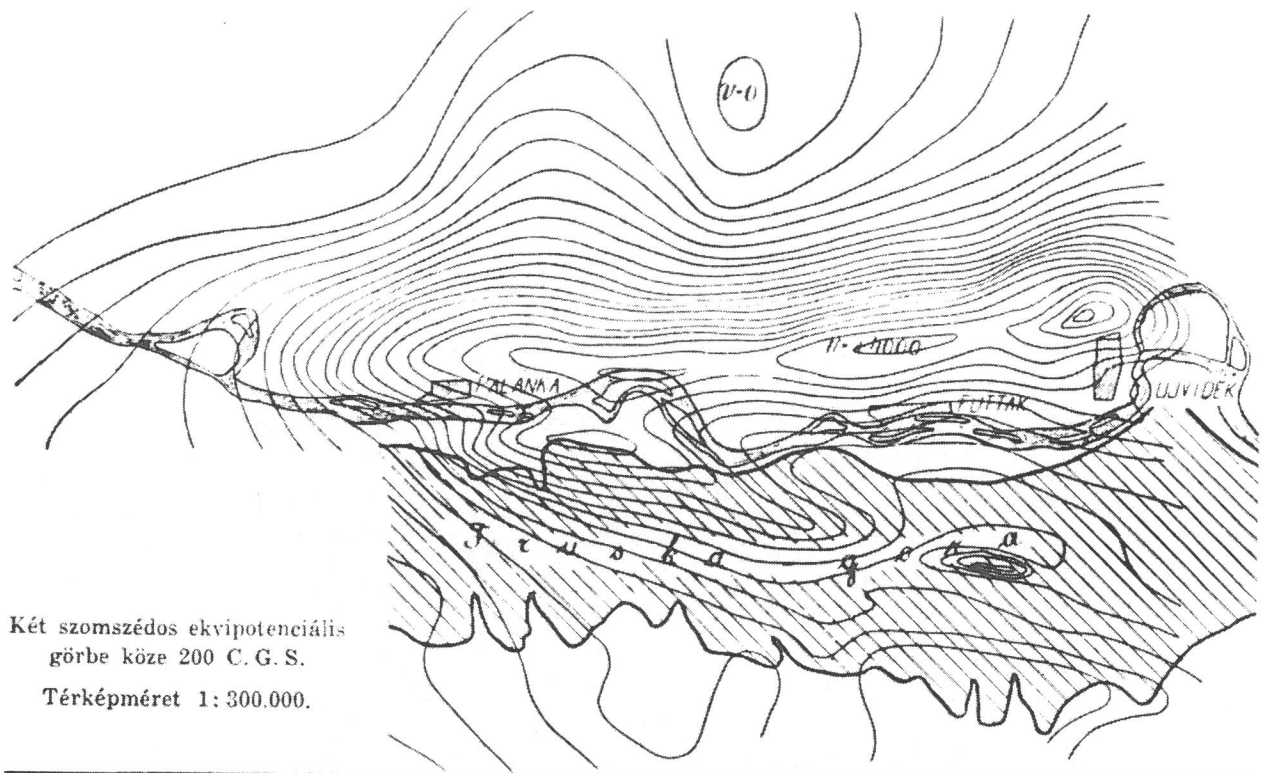
zetminta sűrűség-meghatározására került sor. A program 1970-ben megszakadt anélkül, hogy elkészült volna a mérési anyag statisztikai feldolgozása. Erre csak 1994-ben került sor, amikor SZABÓ Z. és PÁNCICS Zoltán a laboratóriumi mérések statisztikai feldolgozásával párhuzamosan 69 mélyfúrás 145 000 fm-t kitevő, gamma-gamma mérésből származó sűrűség-szelvényét is feldolgozták. Így 1995-re jó áttekintő képet kaptunk a hazánkban található kőzetek sűrűségviszonyairól.

Egy változó topográfiájú és változó kőzetfelépítésű terület térképezése során mindig gondot okoz a Bouguer-korrekcióhoz szükséges átlagsűrűség megválasztása. Különösen így van ez országos térkép szerkesztése esetén. Az átlagsűrűség megválasztása tekintetében kétféle megoldás kínálkozik: 1) egységes átlagsűrűség alkalmazása és a torzító hatás figyelembe vétele az értelmezésnél; 2) változó átlagsűrűség alkalmazása. A hazai térképszerkesztésnél az első változatot alkalmazták az 1:50 000-es térképsorozat kézi, és 1984-ben az 1:100 000-es térképsorozat számítógépes megszerkesztésénél. Az első esetben átlagsűrűségnek $\sigma = 2,0 \text{ g/cm}^3$ értéket választottak, mondván egyrészt, hogy az ország 70%-a fiatal üledékekkel fedett sík terület, ahol ez az érték jól közelíti a valóságot, másrészt szénhidrogén-kutatás céljából ez a terület perspektivikus, a hegyvidékeken jelentkező torzulás jelentősége alárendelt, mert ott a földtani szerkezet a felszínen tanulmányozható. A második esetben $\sigma = 2,4 \text{ g/cm}^3$ sűrűségértéket alkalmaztak, mondván, a vulkanikus felépítésű hegyvidékeken ez jó közelítő érték, míg az Alföldön — a sík topográfiájának köszönhetően — nem okoz számottevő torzulást, a gránit, ill. mészkő felépítésű területeken fellépő torzulás pedig jóval kisebb, mint $\sigma = 2,0 \text{ g/cm}^3$ alkalmazása esetén. Mindkét érvelésnek van létjogosultsága, ezért is készült a két térképsorozat különböző sűrűséggel.

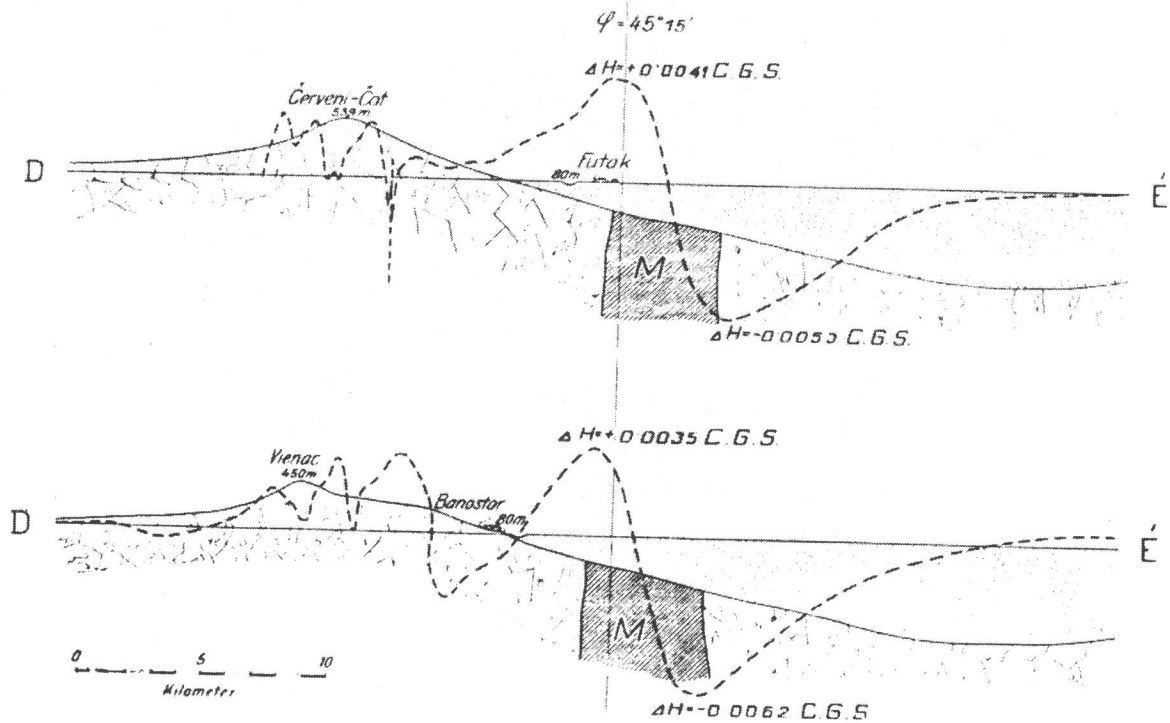
Az 1990-es években SZABÓ Z. és PÁNCICS tettek kísérletet egy változó sűrűséggel számított országos térkép megszerkesztésére. Eljárásuk lényege, hogy a síkságra érvényes $\sigma = 2,0 \text{ g/cm}^3$ és a hegységekre érvényes $\sigma = 2,67 \text{ g/cm}^3$ közti átmenetet egy magasságtól függő korrekciós tényezővel oldották meg, ezáltal elkerülve a sávok sűrűségváltozásnál óhatatlanul fellépő torzulásokat.

Hatósámítások

A gravitációs és földmágneses anomáliák hatóinak meghatározása a terepi mérések kezdetétől foglalkoztatta a kutatókat. Az első szelvény menti kétdimenziós hatósámítás EÖTVÖS és munkatársai nevéhez fűződik. Az 1902 és 1904 közötti Fruška Gora környéki földmágneses mérések anomáliájának hatóját próbálták meghatározni. A földmágneses anomália-térkép a hegység K–Ny csapásirányával párhuzamos, 4700 nT értékű maximumot mutat, melynek gerincvonala a Dunától kb. 5 km-rel É-ra húzódik. EÖTVÖS az anomália hatójaként először vasércre gondolt, majd kiderült, hogy a hegység tetején kibúvásoként jelentkező szerpentin szuszceptibilitása oly nagy, hogy az anomáliát egy mélybeli szerpentin test is előidézheti (7. ábra).



Mágneses anomáliák ekvipotenciális görbéi Fruška-Gora vidékén.

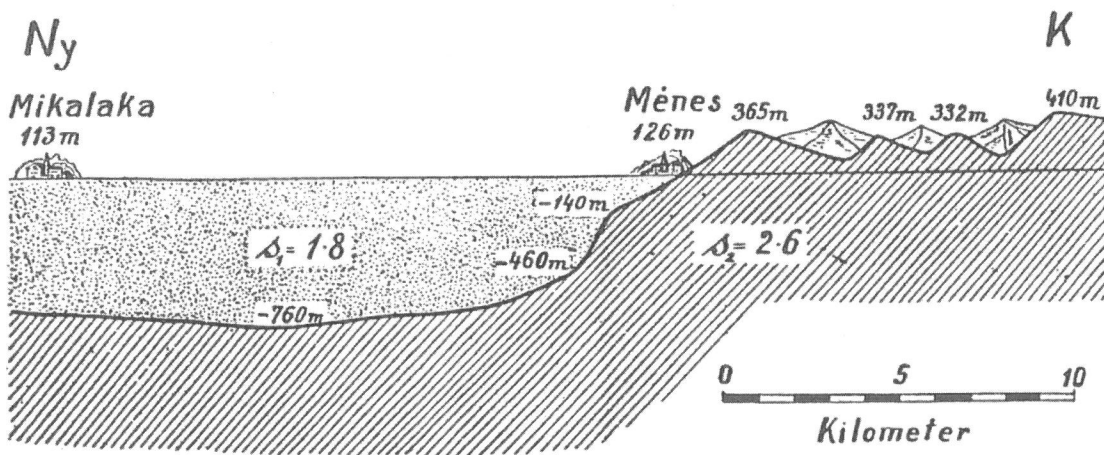
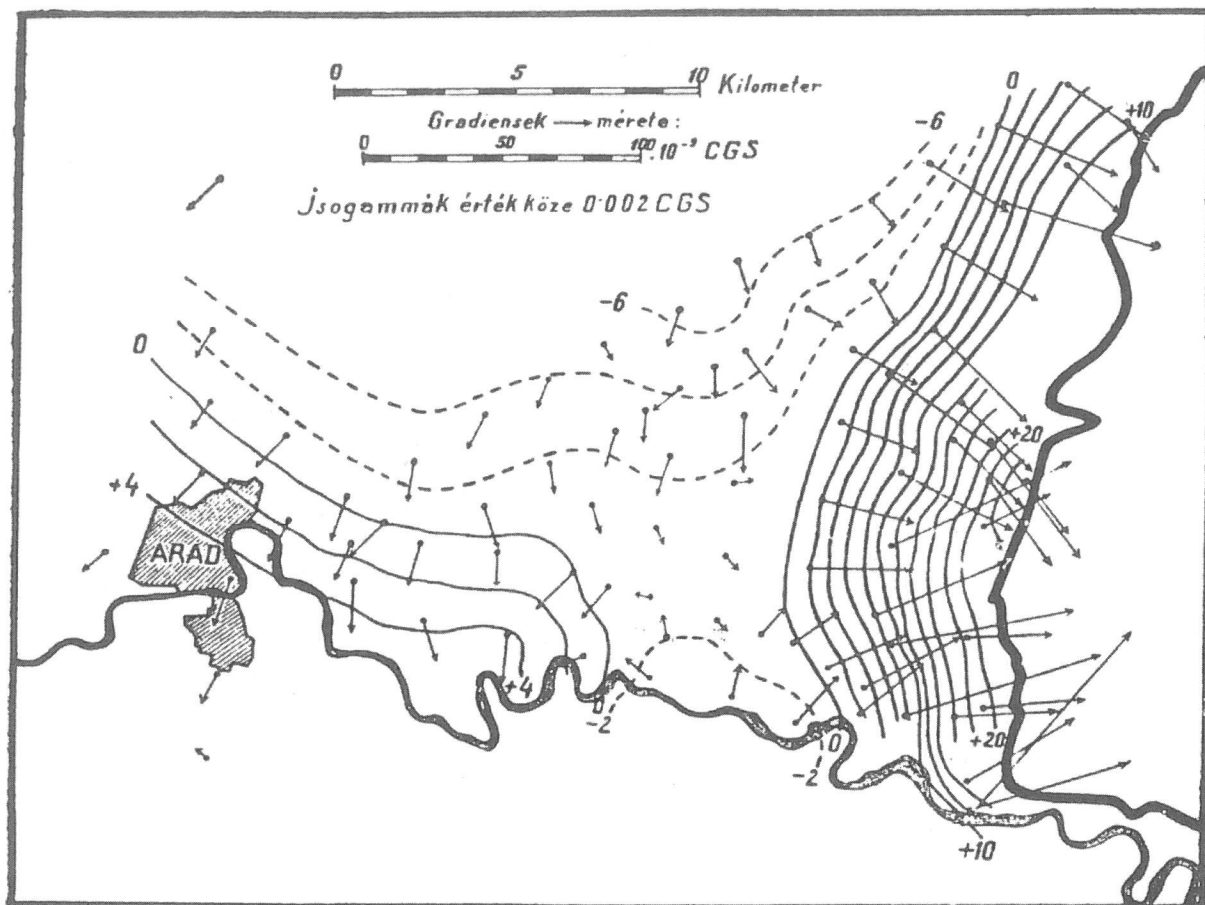


7. ábra. Az első földmágneses hatószámítás eredménye a Fruška Gorát harántoló szelvények mentén (EÖTVÖS nyomán)

Fig. 7. Geomagnetic anomalies and their interpretation in the Fruška Gora Mts. (after EÖTVÖS)

Az első, általunk ismert gravitációsható-számítás az 1906–1907 folyamán Arad környékén végzett Eötvös-ingamérések feldolgozása során készült (8. ábra). A várostól K-re kibúvásként jelentkező alaphegység mélybeli lefutását próbálták meghatározni. A későbbiekben elsősorban FEKETE volt az, aki nagy hangsúlyt helyezett a hatószámításokra. A hazai gyakorlatban az 1920-as és 30-as években a szelvény menti hatószámítást rutinszerűen alkalmazták.

Az 1950-es években jelentős előrelépést jelentett, amikor HAAZ I. kidolgozott egy, függőleges és ferde hasábok gravitációs és mágneses hatásának számítására szolgáló egyenletet. Az eljárás alkalmazásának sikere nagymértékben függ az anomália szélsőérték-helyeinek pontos meghatározásától. Mágneses hatószámítás esetén a ΔZ és ΔH görbére egyaránt szükség volt.



8. ábra. Az első gravitációsható-számítás eredménye Arad környékén (EÖTVÖS nyomán)

Fig. 8. Gradients and isogams in the Arad region with interpretation (after EÖTVÖS)

Egy tetszőleges alakú háromdimenziós alakzat gravitációs hatásának kiszámítása nehézkes feladat. Ezért ZILÁHI-SEBESS megvizsgálta, hogy milyen elemi alakzatokra célszerű a hatót felbontani. Számítástechnikai szempontból a gömb gravitációs hatása határozható meg legkönnyebben, de gömbökkel nem lehet kitölteni a teret. Ezért arra a következtetésre jutott, hogy legelőnyösebb a derékszögű hasábokra való bontás. Ezekből mint „téglákból” bármely tetszőleges alakzat felépíthető. ZILÁHI-SEBESS volt az első, aki elkészítette a háromdimenziós tömeg gravitációs hatásának számítógépes programját.

A 70-es évek közepén MESKÓ Attila, a geológiai-geofizikai modellek gravitációs-mágneses hatásának számítását tekintve direkt feladatnak, a hatószámítást inverz feladatként fogalmazta meg. De míg az előbbi egyértelmű, az utóbbi megoldása az esetek többségében nem egyértelmű feladat. A változók számának korlátozásával, néhány paraméter rögzítésével azonban egyértelművé tehető. Olyan iterációs algoritmus alkalmazását javasolta, amely a direkt feladat egzakt megoldására épül. Az elvi levezetések helyességét háromdimenziós gravitációs inverz feladatok megoldásával bizonyította.

A 70-es évek végén PINTÉR A. és STOMFAI, a szűrt anomáliák értelmezési lehetőségeire keresve megoldást, kidolgozott egy háromdimenziós hatószámítási eljárást, amelynek segítségével elvileg tetszés szerinti bonyolultságú földtani modell gravitációs hatása kiszámítható. A módszer lényege, hogy a felvett hatómodellt merőleges függőleges síkokkal folszeletelik négyzet alapú hasábok sokaságára, az egyes hasábok hatását kiszámítják, majd összegzik. E hatás kiszámítása egy négyzetháló sarokpontjaira igen számításigényes, de lehet a következő egyszerűsítést alkalmazni: a hasábok anyagát gondolatban összesűrítjük a hasáb függőleges középvonalába és ennek az „anyagfonalnak” a hatását számoljuk. Így elfogadható pontosságú közelítést nyerünk ezerszer kevesebb számolással. A szakzsargon pálcikázó módszernek nevezi ezt a korlátozás nélkül alkalmazható eljárást. Ezt a módszert alkalmazta SCHÖNVISZKY László és STOMFAI a topografikus korrekció számítógépes megvalósítására is.

A mágneses anomáliák értelmezésének egy másik lehetséges irányvonala azok pólusra redukálása. Indukált mágnesezettséget feltételezve ugyanis a földmágneses anomáliák szélsőérték helyei a hatóhoz képest eltolódva jelentkeznek. E hatás kiküszöbölésére szolgál a mágneses anomáliák északi mágneses pólusra redukálása. Az eljárást együtthatóit a Poisson-féle összefüggésen alapuló optimalizálással KIS Károly határozta meg.

A mágnesesható-számítás újszerű megközelítését tette lehetővé az 1986. évi nyírségi szeizmikus kutatás, amely minden előzőnél jobb minőségű szelvényeket eredményezett. Ezek a szelvényeken elválaszthatók a tufák a szubvulkáni testektől, ezáltal megnyitva az utat újszerű gravitációs- és mágnesesmodell-számításokhoz. Első lépésként az anomáliatérképeket szűrési kísérletnek vetették alá az egyes hatók szétválasztása érdekében. Az így nyert anomáliatérképek lényegesen jobban korreláltak a szeizmikus szelvényekben meghatározott vulkáni testekkel, de hatószámításra a szűrt anomáliaértékek alkalmatlanok. A szeizmikával meghatározott ható alakzatokból és mélységekből kiindulva, változónak tekintve a sűrűségkülönbségeket, ill. a szuszceptibilitás-értékeket, számolták ki a változatos alakú, pozitív és negatív mágnesezettségű hatók gravitációs és mágneses hatását. A legjobban illeszkedő modell szolgáltatva paraméterek reálisnak tűntek és alátámasztották az eredeti feltevést, hogy a hatók rétegvulkáni központok.

Anomália-térképek másodlagos feldolgoása

Az egebli kőolajmezőn 1916-ban végzett Eötvös-ingamérések már azt az érdekes jelenséget mutatták, hogy a tárolórétegek felboltozódása egy, a triász aljzat emelkedését jelző, regionálisan növekvő gravitációs tér másodlagos (maradék) maximumával esik egybe, de ebben az időben még nem tesznek említést a jelenségről. Az első utalást a regionális és maradék anomáliák grafikus úton történő szétválasztására az 1927–28-ban, magyar gravitációs szakemberek által a franciaországi Limagne-ban végzett Eötvös-inga-mérések feldolgozása során találunk.

A kőolajkutatás kezdeti időszakában a kiterjedt nagy pozitív anomáliákat tartották fúrásos kutatásra érdemesnek. A dunántúli nagy anomáliák fúrásos megkutatása után, 1947–48-ban meglehetősen pesszimista kép alakult ki a további

kutatásokat illetően. Hamarosan kiderült azonban, hogy a másodlagos anomáliák is jelölhetnek kőolajtároló szerkezeteket, ezek felismerése azonban részletes gravitációs felmérést igényel.

A regionális és maradék anomáliák szétválasztását kezdetben grafikus úton próbálták megoldani. Az 1930-as évek vége felé az eljárást mintegy automatizálták: pontról pontra haladva bizonyos sugarú kör, vagy körök mentén területi átlagokat számoltak, ezt tekintették regionális hatásnak, a pont értéke és a területi átlag különbségét pedig maradék anomáliának. Könnyen belátható, hogy az átlagolásba bevont terület nagysága nagymértékben befolyásolta az eredményeket. A későbbiekben, az 1950-es évek elején, számos bonyolultabb matematikai eljárást javasoltak a kétféle hatás szétválasztására. Ezek voltak az ún. magasabb derivált módszerek (ELKINS, PETERS, BARANOV, ROSENBAACH stb.), és ide számíthatjuk az analitikus lefelé folytatás módszerét is. E módszereket hazánkban 1953-ban kezdték alkalmazni, bevezetésük elsősorban FACSINAY nevéhez fűződik. Leginkább az Elkins-féle második derivált módszer terjedt el a hazai gyakorlatban. Az eljárást kiolvasási raszterek segítségével lehetett automatikussá tenni, de az alapvető probléma, a számításba bevont terület sugarának megválasztása, megmaradt. Miközben a raszterek használata valóban felgyorsította a munkát, egyúttal sematikussá tette a módszerek alkalmazását.

PINTÉR A. és SZABÓ Z. összehasonlította a magasabb deriváltak különböző számítási módszereit a területi átlag módszerrel és azt találták, hogy az eredmény gyakorlatilag azonos. Valamennyi módszernél problémát jelentett, hogy az egyenetlen állomáseloszlás miatt az átalakított térképen sok esetben fiktív anomáliák és fiktív szerkezeti irányok jelentek meg.

A számítógépek elterjedése a probléma újfajta, a szűrőlémeleten alapuló megközelítését tette lehetővé. Az elektromos szűrőkhöz hasonló eljárás a gravitációs térképek átalakítására is lehet alkalmazni, amelynél a nagyfrekvenciáknak a mérési zaj, a közepes frekvenciáknak a kutatóméllységtartomány anomáliái, míg a kisfrekvenciáknak a regionális anomáliák felelnek meg. Természetesen a frekvenciatartományok a kutatóméllységeknek megfelelően változhatnak. Az elektromos szűréshez képest lényeges különbség, hogy térképek átalakításánál kétdimenziós szűrést kell alkalmazni. A numerikus szűrésre a számítástechnikában jól kidolgozott módszerek álltak rendelkezésre, ezeket kellett alkalmazni a gravitációs térképekre. A hazai gyakorlatban MESKÓ dolgozott ki egy szűrőparaméter-sorozatot a különböző eredetű gravitációs anomáliák szétválasztására. Azóta ez a megoldás egyeduralmukodóvá vált. A szűrési eljárás gyakorlati alkalmazhatóságának egyik meggyőző példája az Algyó környéki szénhidrogén-mező felfedezése. A kutatófúrások telepítésénél elsősorban a gravitációs térképekre kellett alapozni, tekintettel arra, hogy a város közelsége miatt — a vibroszeiz technika hiányában — szeizmikus méréseket nem tudtak bevetni.

A másodlagos feldolgozásnak, illetve a szűrés alkalmazásának alapvető feltétele az eredeti térkép megbízhatóságának növelése. Egy térkép megbízhatóságát kétféle módon lehet növelni: 1) A mérési pontosság növelésével, erre vonatkozóan mondhatjuk, hogy 1950, a Heiland gravi-

méterek megjelenése óta ez a probléma megoldást nyert. 2) Az állomáseloszlás egyenletessé tételével. E téren az 1960-as évek közepén hozott fordulatot a könnyen hordozható Sharpe, majd Worden, ill. LCR graviméterek megjelenése. A Heiland gravimétereket, mint már említettük, méretüknél és súlyuknál fogva csak gépkocsival lehetett szállítani, így csak utak mentén lehetett velük mérni. Az általános gyakorlat szerint a méréseket 500 m-es távolságközzel végezték, de megfelelő úthálózat hiányában sok esetben néhányszor 10 km²-es területekre nem került mérési pont. Ilyen egyenlőtlen állomáseloszlás mellett a térkép megbízhatósága távolról sem volt egységes, következésképpen másodlagos feldolgozás esetén fennállt a veszélye fiktív anomáliák kialakulásának. A mintavételezés problémakörével elsősorban MESKÓ, KOVÁCS F. és STEINER F. foglalkozott.

MESKÓ és munkatársai részletesen vizsgálták, hogyan befolyásolja az állomáseloszlás az eredményül kapott szűrt térképeket. Szerintük a rendezetlen pontokban végzett mérések szabályos hálózatra történő interpolációja, melynek számítógépes programját KIS K. készítette el, szükségképpen információvesztéssel jár. Hasonlóképpen, ha a megrajzolt Bouguer-anomália-térképet digitalizáljuk, akkor a térképszerkesztő geofizikus szubjektív döntései lehetnek hibák forrásai. Vizsgálataik eredményeként arra a következtetésre jutottak, „*hogy a négyzethálózatban, 500 m-es állomástávolsággal végzett mérés többletköltségeit a nyert földtani többletinformáció sokszorosán visszatéríti*”.

Az ELGI-ben, ezzel szemben, szabálytalan eloszlású, út menti mérések esetére — elismerve fenti megállapítások helyességét — az a vélemény és gyakorlat alakult ki, hogy a szabályos négyzethálózatban végzett mérések többletköltsége nem áll arányban az így nyerhető többlet információval. Tapasztalatuk szerint elegendő kvázihálózatosan felmérni a területet, majd négyzethálózatra interpolálni, mert az így bekövetkező „információvesztés” tulajdonképpen a mérési hibák kiszűrését jelenti, amit szabályos négyzethálós mérés esetén rendszerint egy felülvágó szűrő alkalmazásával oldanak meg. A térképszerkesztő geofizikus szubjektuma sem feltétlenül káros, a tapasztalat ugyanis azt mutatja, hogy a térképraajzoló programok automatikus mivoltuknál fogva olyan anomáliákat is létre tudnak hozni, melyeknek fizikai valóságtartalma vajmi kevés, vagy egyenesen félrevezető.

MESKÓ tevékenységével a másodlagos feldolgozás ügye nyugvópontra jutott, nem oldotta meg azonban a származtatott térképek értelmezési problémáit. Az értelmező geofizikus szempontjából ugyanis nem mindegy, hogy egy szűrt térkép maradékanomália-térképnek tekinthető-e, vagy pedig derivált jellegű. A maradék anomália maximuma vagy minimuma ugyanis a ható felett jelentkezik, míg derivált jelleg esetén a térképen jellemzően maximum-minimum párok jelennek meg, melyeknek 0-átmenete a ható peremét jelöli ki. A probléma minden vonatkozására kiterjedő vizsgálatokat PINTÉR A. és STOMFAI végzett. Modellvizsgálatok alapján arra a következtetésre jutottak, hogy a szűrt térkép maradék, vagy derivált jellegének eldöntésére legjobb módszer az anomálieeloszlás vizsgálata. Meredek eloszlási görbe esetén a térkép derivált jellegű, ellapuló görbe viszont maradék jellegre utal.

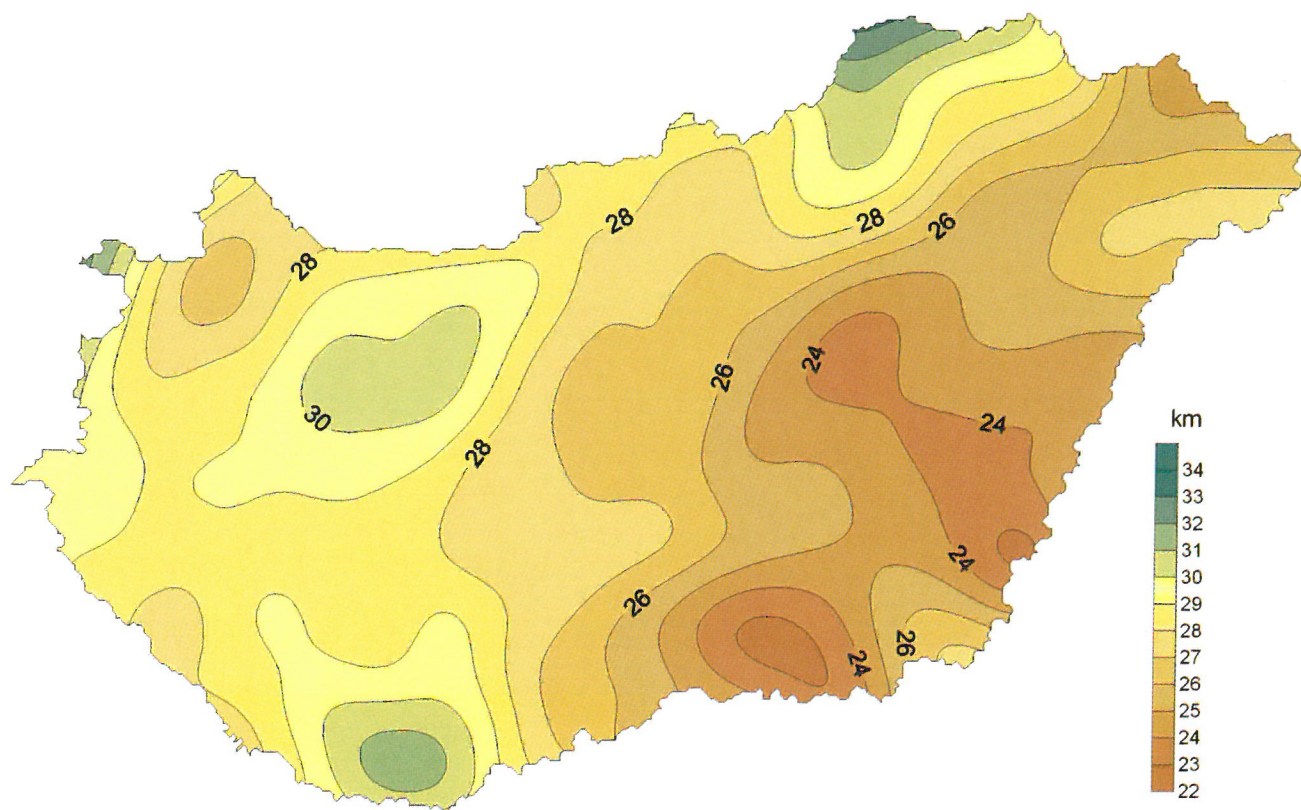
A medencealjzat mélységének térképezése

Fiatal medencékben jelentős sűrűségkontraszt általában az üledékes összlet-medencealjzat határon lép fel, továbbá hazai tapasztalatok szerint az üledékekben hirtelen horizontális sűrűségváltozás nem ismert. Ennek alapján az ELGI gravitációs szakembereinek körében megfogalmazódott az az ötlet, hogy komplex kutatások keretében megkíséreljék egyes medencék aljzatának gravitációs adatokon alapuló térképezését. Az első próbálkozás a Cserehát kutatásának keretében történt, ahol a fúrási és szeizmikus adatokra mint kényszerértékekre alapozva megszerkesztették a Cserehát gravitációs mélységtérképét.

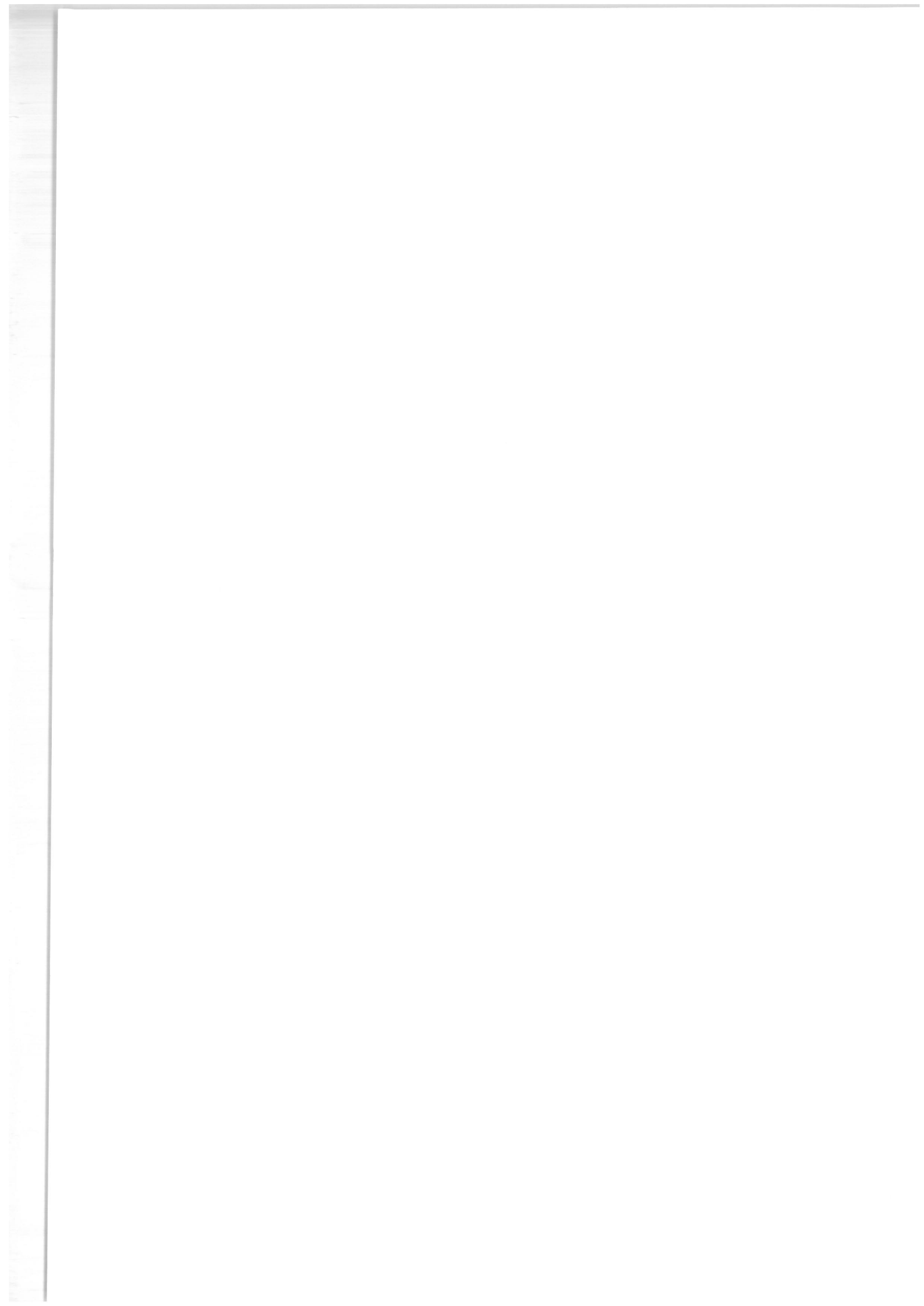
A későbbiekben, elsősorban a Dunántúli-középhegységben folyó bauxit- és kőszénkutatások keretében, azokon a területeken, ahol a medencealjzat mélysége általában nem haladta meg a néhány száz métert, PINTÉR A. és STOMFAI kidolgozott egy számítógépre alkalmazható, komplex mélységszámítási eljárást, az ún. optimalizációs módszert. Az eljárás lényege, hogy a Bouguer-anomáliák átlag körüli változásainak és a szűrt anomáliáknak célszerűen súlyozott kombinációja alapján határozták meg a medencealjzat lefutását. A súlyozás mikéntjét fúrásokkal feltárt területen, vagy szeizmikus szelvények menti vizsgálatokkal határozták meg. A kezdetben kísérleti jelleggel kidolgozott módszer olyan sikeresen bizonyult, hogy a későbbiekben a kutatás rutinfeladatává vált.

1983–84-ben, a MÁFI térképkiadási tervéhez kapcsolódóan, az ELGI és a GKV szakembereiből alakult geológus-geofizikus csoport nekiállt, hogy geofizikai adatok alapján megszerkessze az egész ország területére a neogén medence aljzatának mélységtérképét. A térkép szerkesztésében az ország különböző geofizikai módszerekkel való felmértésére döntötte el, hogy az egyes részterületeken melyik módszer adatai domináltak. Mivel egyedül a gravitációs adatok fedik le többé-kevésbé egységesen az egész ország területét, mindazokon a területeken, ahol más mélységmeghatározó módszer (szeizmika, VESZ) nem állt rendelkezésükre, gravitációs adatokból kellett megszerkeszteni az aljzat mélységtérképét. Első lépésként mélyfúrási adatok felhasználásával több területre meghatározták a $\Delta g-h$ összefüggéseket (ahol h -aljzatmélység). A második fázisban a fúrásokból kapott aljzatmélység-adatokat kényszernek véve, az adott területre érvényes $\Delta g-h$ összefüggés alapján meghatározták a medencealjzat domborzatát. A nagy érdeklődésre való tekintettel a mélységtérképet 1:1 000 000 méretarányban önállóan is publikálták a Geofizikai Közlemények mellékleteként.

1985-ben az ELGI és az Geofizika n.p. Bratislava Branch közvetlen együttműködésének keretében megkezdődött a Szlovákia területére már kidolgozott medencealjzat-mélységtérkép és a magyarországi mélységtérkép összedolgozása, mint a teljes Kárpát-medencére tervezett aljzattérkép első lépése. Ehhez a munkához még ugyanabban az évben az osztrák-magyar tudományos együttműködés keretében csatlakoztak a bécsi Bundesanstalt für Meteorologie und Geodynamik és az ÖMV szakemberei. Ennek eredményeképp 1990-re elkészült a három ország területére kiterjedően a preausztriai medencealjzat mélységtérképe, 1:500 000 méretarányban. Sajnos további



9. ábra. Gravitációs adatokból meghatározott Moho-térkép. A szintvonalak értékköze 1 km
 Fig. 9. Moho contour map of Hungary based on gravity data. Contour interval 1 km



együtműködést nem sikerült megvalósítani, annak ellenére, hogy a szlovéniai, a horvátországi, sőt a kárpátukrajnai földtani szervezetekben is találtunk olyan munkatársakat, akik lelkesen csatlakoztak volna a programhoz, de a történelem közbeszólt és a térkép továbbfejlesztéséből nem lett semmi.

Szerkezetkutatás

A Bouguer-anomália-térképek másodlagos feldolgozása tárgykörébe sorolhatjuk azokat a törekvéseket, amelyek a Bouguer-anomáliák olyan átalakítását tűzik ki célul, hogy a tektonikai irányok szembetűnőbbek legyenek. Kis K. és MESKÓ a Bouguer-anomáliák kétdimenziós autokorrelációs függvényét használta fel az irányok kiemelésére. 80×80 km-es, egymást részben átfedő blokkokra osztva a térképet, FFT módszerrel számították ezek kétdimenziós autokorrelációs függvényeit, amelyekből pedig irányítottági diagramokat számítottak. Az így meghatározott irányokat, a korreláció nagyságával súlyozva, hasonlították össze az ország fő tektonikai vonalaival.

SZABÓ Z. és PÁNCICS ugyanezt a célt más oldalról közelítette abból a megfontolásból, hogy a tektonikai vonalak okozta hirtelen horizontális sűrűségváltozást legjobban a horizontális gradiens mutatja ki. Első lépésként a Bouguer-anomália-térképet 1 km-es négyzethálóra interpolálták, majd minden pontra kiszámították a horizontális gradienst. Ebből az adattömegből egy erre a célra készített számítógépes programmal kiválasztották a lokális gradiens maximumokat. A program paraméterei rugalmasan változtathatók a tanulmányozott környezet sugara és a maximum és az átlag különbsége megválasztásával. Mivel a gradiens merőleges a csapásirányra, egy másik programmal előállították a „gravitációs lineamenseket”, amelyek a tektonikát tükrözik. A módszer, szemben az előzővel, nem képez területi átlagot, tetszőlegesen finomítható és a gyakorlatban igen jól felhasználható pl. a földrengés kockázat becslése terén.

Kéregkutatás

RENNER és STEGENA Lajos 1964-ben megvizsgálta az MGH-50 hálózat adatainak, valamint KÖRÖSSY László 1963-ban készített medencealjzat-térképének felhasználásával azt, hogy azok alapján milyen információk nyerhetők a köpeny domborzatáról. Ahhoz, hogy a gravitációs térképből kiküszöböljék a fiatal, laza üledékek hatását, az ország területét 14 tájegységre bontva vizsgálták a Bouguer-anomália medencealjzat-mélység összefüggését. Feltételezték, hogy az üledék sűrűsége a mélységgel a jól ismert Athy-féle exponenciális függvény szerint változik, az üledékösszetétel Bouguer-lemezzel közelítve kiszámították a medenceüledékek gravitációs hatását és ezzel javították a Bouguer-anomália értékeket. A sűrűségfüggvény menetét tájegységenként határozták meg úgy, hogy különböző exponenciális együtthatók feltételezésével

kiszámították az üledékes rétegek hatását. A hatást a medence mélység függvényében ábrázolták és azt a sűrűségfüggvényt fogadták el érvényesnek, melynek alkalmazása esetén a javított Bouguer-anomáliák nem mutattak mélységfüggést.

Az üledékhatással korrigált gravitációs térkép megrajzolása után megállapították, hogy ha a medencealjzat felépítését közelítőleg egységesnek tekintjük, akkor a térkép a mélyszerkezet regionális hatását tükrözi. „A kéreg nyilván ott vékonyodik ki jobban, ahol ez a regionális hatás nagyobb, mert ott a köpeny sűrűbb kőzetei közelebb vannak a tengerszínhez” — állapították meg. Érdekes, hogy az akkor még ismeretlen mélységű Békési-medence és a Makói-árok alatt a kéreg kivékonyodására utaló jelek mutatkoztak, de erre a szerzők nem hívták fel a figyelmet.

A gravitációs térképek átalakítására kifejlesztett szűrők alkalmazásával lehetőség nyílt arra, hogy a földkéreg vastagsági viszonyaira információt szerezzünk. Ha regionális szűrő segítségével eltávolítjuk, ill. csökkentjük a felső, jelentősen változó sűrűségű zónák hatását, a megmaradt regionális anomália elsősorban a kéreg vastagságviszonyait fogja tükrözni. Az ELTE Geofizikai Tanszékén MESKÓ foglalkozott a problémakörrel, vizsgálatai során 20, 45, 60 km hullámhosszúságú felülvágó szűrők alkalmazásával távolította el a kéregkutatás szempontjából érdektelen anomáliákat.

A kéreg vastagságviszonyainak vizsgálatára más módon is eljuthatunk, mégpedig úgy, hogy az üledékek által okozott „torzító” hatást a Bouguer-anomália-térképből kiküszöböljük. Az 1990-es évek közepén a teljessé váló gravitációsadat-bank, a Pannon-medencére vonatkozó sűrűségvizsgálatok eredményei és a medencealjzat-térkép birtokában megkísérelhettük a fiatal medenceüledékek viszonylag kis sűrűsége miatt fellépő tömeghiány gravitációs hatásának kiszámítását és korrekcióba vételét. A korrigált térkép már csak a medencealjzatot alkotó kőzetek sűrűségkülönbségének és a kéreg vastagságváltozásainak hatását tükrözi. A korrigált térkép anomáliáinak a kéregkutató szeizmikus szelvények mélységadataival való korrelációja révén gravitációs adatokból megszerkeszthetővé vált a Mohorovičić-felület mélységtérképe. A számítások során feltételeztük, hogy a medencealjzat esetleges sűrűséganomáliái a kéreg méreteihez képest lokális kiterjedésűek és a korrelációnál zajként jelentkeznek (9. ábra).

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani mindazoknak, akik támogattak ebben a szerteágazó, nehezen összefoglalható munkában. Elsősorban ACZÉL Etelka, CSAPÓ Géza, PINTÉR Anna és STOMFAI Róbert nevét kell említenem, akik lelkiismeretes munkával átbogarászták az egész kéziratot és kiegészítéseikkel, javításaikkal, kritikai megjegyzéseikkel segítettek munkámat.

Időrendi áttekintés

Több mint 100 év telt el az első terepi mérések óta, így nyilvánvalóan nem áll módunkban, hogy évről évre haladva felsoroljuk az egyes mérési területeket. Az alábbiakban kísérletet teszünk arra, hogy időrendben összefoglaljuk a mindkét módszerben bekövetkezett jelentősebb eseményeket, fordulópontokat, kimagasló eredményeket, remélve, hogy ezen keresztül szemléltetni tudjuk a módszerek fejlődését.

1470–85	Az első magyarországi deklinációadat
1847–57	A Kreil–Liznar-féle országos jellegű mágneses alaphálózat mérései (1850,0 epochára vonatkoztatva)
1864–79	A Schenzl-féle mágneses alaphálózat mérései (1875,0 epochára vonatkoztatva)
1883	Az első gravitációs mérés Magyarországon. STERNECK Brassó környékén 3 állomáson végzett relatívinga-méréseket
1885	GRUBER gravitációs abszolút mérése a budai Várhegyen
1890–94	A Kurländer-féle mágneses alaphálózat mérése (1890,0 epochára vonatkoztatva)
1891	Mérésre kész az első Eötvös-inga. A Ság hegyi mérés
1901	Az első terepi felmérés a Balaton jegén
1901	EÖTVÖS bifiláris gravimétert szerkeszt
1902–04	Eötvös-féle gravitációs és mágneses mérések a Fruška Gora környékén. Az első mágnesesható-számítás
1903–07	Gravitációs és mágneses mérések Arad környékén. Az első gravitációsható-számítás
1908	OLTAY és SZECSÖDY relatívinga-méréssel meghatározza a budapesti gravitációs főalappont értékét a Potsdami rendszerben
1912	Pénzügyminiszteri felkérés a Maros völgyében végzendő nyersanyagkutatói célú torziósinga-mérésekre
1916	Az első szénhidrogén-kutató Eötvös-inga-mérés Egbell környékén
1928	Az első grafikus úton előállított regionális- és maradékanomália-szelvény
1933	Az EUROGASCO megkezdi a dunántúli szénhidrogén-kutató Eötvös-inga-méréseket
1934–36	Hofhauser-féle mágneses alaphálózat-mérés
1936	Schmidt-mérleg beszerzése
1937	Az ELGI beszerzi az első (Haalck típusú) gravimétert
1939–41	FACSINAY Boucher-graviméterrel 141 pontból álló alaphálózatot létesít a Dunántúlon
1941–44	A MANÁT megbízásából a SEISMOS graviméteres méréseket végez az Alföldön, Thyssen graviméterekkel
1948	A MAORT államosítása
1949	A MAORT geofizikai részlege átkerül az ELGI-be
1949	2 db, gépkocsival szállítható Heiland graviméter beszerzése, mérési pontosságuk 0,02–0,03 mGal, amely a mai napig megfelel a terepi mérések követelményeinek
1949–50	BARTA György által irányított mágneses alaphálózat-mérés
1950–55	Az első országos gravitációs alaphálózat létesítése (MGH-50)
1951–61	Országos áttekintő földmágneses mérések
1953	A másodlagos feldolgozási eljárások meghonosítása
1959–70	1:50 000 méretarányú országos áttekintő Bouguer-anomália- és földmágneses ΔZ -térképsorozat szerkesztése
1962	Az első hordozható (Sharpe gyártmányú) graviméter beszerzése révén a mérés már elszakadhat az utaktól...
1963	Megalakul az OKGT SZKÜ Gravitációs Osztálya
1963	A gravitációs adatok titkosításának elrendelése
1964–65	Aczél–Stomfai-féle mágneses alaphálózat-mérés

1964–70	Az 1:200 000 méretarányú Bouguer- és földmágneses ΔZ -térképsorozat nyomdai kiadása
1965	Az első gravitációs adatokból szerkesztett medencealjzat-térkép (Cserehát)
1965–69	Légi mágneses mérések
1966	Kétdimenziós szűrés alkalmazása gravitációs adatokra
1967	Az utolsó terepi Eötvös-inga-mérés
1968	Gravitációs adatok lyukkártyás tárolásának beindítása
1968–69	Közös gravimetriai alaphálózat és nemzeti hitelesítő alapvonalak létesítése a volt szocialista országok területén
1971	Új I. rendű gravitációs alaphálózat mérése
1973	A Krakkó–Pécs szekuláris gravitációs alapvonal lemérése cseh–lengyel–német–magyar kooperációban, 12 graviméterrel
1974	A számítógépes térképrajzolás beindítása a OKGT GKÜ-ben
1975	Korszerű protonprecessziós magnetométer (Geometrix G–816 hordozható és G–826 bázisállomás) megjelenése
1978	Az első gravitációs abszolút mérés Siklóson Elkészült az első országos szűrt gravitációs térkép a GKÜ-ben
1979	Befejeződött az ország átnézetes gravitációs felmérése és az adatok lyukkártyára rögzítése. Az adatbank megalapozása
1979–82	Lomniczi–Tóth-féle mágneses alaphálózat-mérés
1984	1:100 000 méretarányú Bouguer-anomália- és ΔZ -térképsorozat megszerkesztése EOY térképlapokon
1984	A medencealjzat mélységtérképének megszerkesztése gravitációs adatok felhasználásával, és kiadása 1.000 000 méretarányban
1988	Scintrex MP–3 programozható, adattárolós magnetométer beszerzése
1989	1:500 000 méretarányú szűrt gravitációs térkép kiadása
1990–97	Magyar–osztrák–szlovák együttműködésben Bouguer-anomália- és földmágneses ΔT -térkép megszerkesztése és kiadása 1:200 000 méretarányban a közös Duna-szakasz mentén (DANREG program)
1991–94	Részvétel az európai Bouguer-anomália-térkép szerkesztésében (WEEGP)
1992–93	Graviméteres összekötő mérések Ausztria és Magyarország alaphálózatai között
1993–2000	Az MGH-2000 új gravimetriai alaphálózat létrehozása
1994–95	Kovács–Körmendi-féle mágneses alaphálózat-mérés
1997–	Megkezdődik a digitális földmágneses és gravitációs térképsorozat szerkesztése

A hazai geoelektromos kutatások története¹

ÁDÁM ANTAL², NAGY ZOLTÁN³, NEMESI LÁSZLÓ⁴, TAKÁCS ERNŐ⁵

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

I. A GEOELEKTROMOS MŰSZER- ÉS MÓDSZERFEJLESZTÉS EREDMÉNYEI

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

Bevezetés

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

¹ Beérkezett: 2003. december 16-án

² MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet, H-9400 Sopron, Csatka u. 6–8.

³ H-1124 Budapest, Vércse u. 6.

⁴ H-1145 Budapest, Újvidék u. 61.

⁵ Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszék, H-3515 Miskolc, Egyetemváros

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

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

1. A Föld természetes elektromágneses terét használó módszerek

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

1.1. Tellurikus mérések

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

HIVATKOZÁSOK AZ 1.1. FEJEZETHEZ

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

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

1.2. Magnetotellurikus mérések

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

HIVATKOZÁSOK AZ 1.2. FEJEZETHEZ

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

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

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

2. Egyenáramú mélyszondázások és horizontális szelvényezések

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

2.1. Műszerezettség

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

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

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

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

2.2. Vertikális elektromos szondázás

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

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

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

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

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

2.3. Horizontális elektromos szelvényezések

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

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

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

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

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

2.4. Bányabeli és más speciális mérések

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

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

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

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

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

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

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

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

HIVATKOZÁSOK A 2. FEJEZETHEZ

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

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

3. Mesterséges áramterű, frekvenciatartománybeli mérések

3.1. Mesterséges áramterű frekvenciaszondázások

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3.2. Indukciós szelvényezések

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

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

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

3.3. Rádiófrekvenciás mérések

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

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

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

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

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

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

3.4. Speciális módszerek

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

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

HIVATKOZÁSOK A 3. FEJEZETHEZ

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

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

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

4. Időtartománybeli elektromágneses mérések

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

4.1. Tranziens szondázás

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

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

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

4.2. Gerjesztett polarizáció — GP — mérések

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

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

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

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

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

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

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

4.3. Földradar

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

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

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

HIVATKOZÁSOK A 4. FEJEZETHEZ

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

A szeizmikus kutatások története¹

BODOKY TAMÁS², KÉSMÁRKY ISTVÁN³, MOLNÁR KÁROLY⁴

A szeizmika története az első világháborúig nyúlik vissza, amikor hordozható szeizmográfokat alkalmaztak elengedő ágyúállások helyének meghatározásához. A módszer ipari alkalmazására 1924 körül került sor Texasban dr. Ludger MINTROP módszerével.

Magyarországon a szeizmikus méréseket viszonylag későn, és csak kisebb mértékben kezdték alkalmazni. Külföldi vállalatok ugyan már 1934-től végeztek kutatásokat a MAORT részére, de ezek többsége még nem vonal menti, hanem csak rétegdőlés-kutató, ún. „dip” lövés volt. A hazai szeizmikus kutatások tényleges kezdetének 1936-ot tekinthetjük, amikor a magyar kir. báró Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (ELGI) megbízást adott az első szeizmikus műszer elkészítésére. Két hatsatornás műszer készült el, és ezek egészen 1949-ig dolgoztak. 1949-ben az intézet egy 24 csatornás svéd berendezést vásárolt, majd ennek hibáit kijavítva 1951-re elkészítette saját 24 csatornás berendezését is. Ez lett az időközben létrehozott Geofizikai Mérőműszerek Gyára sorozatgyártásának alapja.

A kőolajipar 1952-ben hozta létre saját geofizikai szervezetét. A korábbiakkal szemben ekkor érvényesülő új kutatási koncepció juttatta a hazai olajkutatásban vezető szerephez a szeizmikát a gravitációs módszerrel szemben, és az ezt követő években készült el az ország első regionális szeizmikus felmérése. Ezek a mérések alapozták meg a 60–70-es évek jelentős kutatási eredményeit, a hazai kutatás „aranykorát”. A többszörös fedéses eljárás és főleg a digitális technika bevezetése, majd a további technológiai újítások (Vibroszeiz energiakeltés, 3-D-s mérések stb.) alkalmazása tovább növelte a szeizmikus módszer teljesítőképességét, és mint ilyen, jelentős pozitív hatással volt a magyar energiaiparra és gazdaságra.

A kőolajipari geofizika kiválásával az ELGI kutatási profilja is változott, elsősorban a szilárdásvány-kutatások irányába. Az ötvenes években végezték a hazai szeizmikus kéregkutatás első kísérleteit is, amelyek egy, mind a mai napig folyó sikeres alapkutatás kezdetét jelentették. Közben tovább folyt az intézeti műszerfejlesztés is. 1963-ban került terepre az első intézeti analóg mágnesszalagos regisztrálású berendezés, majd ezt követte 1970-ben az első magyar digitális jelrögzítésű műszer. Bár a későbbiekben az egyre bővülő és egyre többoldalúvá váló intézeti műszerfejlesztés (terepi berendezések, tengeri adatgyűjtők, mérnökszeizmikus berendezések, bányabeli műszerek stb.) lassan elmaradt a világ élvonalától, a „keleti blokkon” belüli vezető szerepét azonban mindvégig megőrizte. A műszerfejlesztéssel párhuzamosan folyt a szeizmikus mérési módszerek, a szeizmikus digitális feldolgozás és a szeizmikus értelmezés fejlesztése is. Példaként említhetjük, hogy a keleti blokkon belül az ELGI állította üzembe 1975 őszén az első vibroszeiz csoportot, részben saját fejlesztésű mérőműszerére alapozva.

1989–90-ben a világban végbement nagy hatalomátrendeződés során megszűnt a keleti blokk. Ennek hatása a hazai geofizikára rendkívül nagy volt, hirtelen versenyszínterbe kerültünk azokkal a világ élvonalát képviselő cégekkel, amelyek mögött az olajipar nemzetközi óriásainak gazdasági ereje áll. Ez a hazai műszerfejlesztés teljes átszervezését és az ipari jellegű műszergyártás leállítását követelte meg. Napjainkra a geofizikai műszergyártásból csak néhány speciális fejlesztés (pl. mágneses obszervatóriumi műszer) maradt meg, míg a korábbi évtizedekben kialakult mérési és feldolgozási kapacitások erősen leszűkültek és a szolgáltatási szférába kerültek — szembe kell tehát nézniük a globális verseny kihívásaival.

T. BODOKY, I. KÉSMÁRKY, K. MOLNÁR: The history of the seismic exploration

The history of the seismic method goes back to the First World War, when portable seismographs were applied to locate artillery units of the enemy. Even at the very beginning it became obvious, that the geological conditions should have been taken into account at these calculations. The "inverse" application aiming to locate shallow salt domes was applied first in Texas in 1924, with the method of dr. Ludger MINTROP.

The first application of the seismic method in Hungary was relatively late and its extent was limited. Foreign seismic contractors were hired by EUROGASCO (predecessor of MAORT) since 1934, but most of these surveys were only fan-like "dip shots" to explore the dip of the geological layering, instead of line surveys. The true beginning of the domestic seismic exploration is 1936, when the Royal Hungarian baron Eötvös Loránd Geophysical Institute of Hungary (ELGI) ordered the construction of its first seismic field instrument. Two six-channel instruments were built, and these were in use up until 1949. The Institute purchased a 24-channel recorder from Sweden in 1949, then after fixing its defects, came up with its first own 24-channel instrument in 1951, which became later the prototype model produced serially at the Geophysical Instrument Factory founded in the meantime.

The oil industry established its own geophysical organisation in 1952. The introduced new concept of exploration, in contrast to the former one, brought the seismic surveys up to dominance instead of the gravity method, and the first regional seismic survey of the country has been completed in the next few years. These surveys established the significant successes of the sixties and the seventies, the "golden age" of the domestic oil and gas exploration in Hungary. The multifold stacking and mainly the introduction of the digital technology and the later innovations

¹ Beérkezett: 2003. november 27-én

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

³ GES Kft., H-1151 Budapest, Szántóföld u. 7–9.

⁴ H-1063 Budapest, Kmety u. 17.

(like the use Vibroseis energy sources and the 3-D data acquisition etc.) further improved the efficiency of the seismic method, thus it had a significant positive influence on the energy industry and the economy of Hungary.

By the time of the establishment of the separate geophysical organisation of the oil industry, the scope of activity of the Institute has been changed, mainly to cover the exploration of solid minerals. The first domestic experimental seismic deep crust surveys in the fifties introduced a still ongoing successful basic research activity. In the meantime the development of the seismic data acquisition instrument was continued. The first analogue field recorder produced by the Institute was introduced in 1963, and then the first digital recorder produced in Hungary came out in 1970. However with slowly increasing gap behind the world leaders of the industry, the instrument development activity of the Institute while becoming more diverse and productive (field recorders, marine seismic systems, engineering seismic systems, in-mine instruments etc.) preserved its leading position within the former "eastern block". In parallel with the instrument development, the seismic data acquisition, data processing and interpretation methodology has also been researched. For example, the first Vibroseis crew within the eastern block was introduced by the Institute in the fall of 1975, partially based on the field recorder unit of its own development.

During the enormous rearrangement of power in the world during 1989–90, the former isolation of the eastern block disappeared. The effect of this rearrangement had a very deep impact on the domestic geophysics, since quite abruptly we all had to start to compete with the companies representing the leading edge of the industry, having the enormous economic power of the multinational giants of the oil industry behind them. This situation required the reorganisation of the domestic instrument development, and resulted in the liquidation of the production of seismic instruments for oil exploration. Some special development activity has survived only (for example the construction of observatory equipment). The data acquisition and data processing organisations formed through the previous decades have recently been put into the sphere of the service providers, thus have to face the challenges of the global competition.

Bevezetés

A szeizmika története az első világháborúig nyúlik vissza. Földrengésekkel, szeizmológiával természetesen már sokan foglalkoztak korábban is, de az első hordozható szeizmográfot ekkor fejlesztette ki dr. Ludger MINTROP bányamérnök Németországban. Három ilyen berendezés észlelései alapján gyorsan és kellő pontossággal meg lehetett határozni az ellenséges ágyúállások helyét. Már ekkor is nyilvánvalóvá vált azonban, hogy a számításoknál a geológiai viszonyokat is figyelembe kell venni. A háború befejezése után az új eszköz szélesebb körű, békés alkalmazására is hamarosan sor került. Kézenfekvő volt a gondolat, hogy ismert helyen, ismert időpillanatban végzett robbantással az „inverz” feladat is elvégezhető, azaz a regisztrált hullámbeérkezések alapján következtetni lehet a felszín alatti geológiai viszonyokra. A sekély sódóмок felkutatását célzó szeizmikus mérésekre 1924-ben került sor Texasban MINTROP módszerével, és Eötvös-ingával is ebben az évben találták az első sódómot, ugyanebben az államban. Megjegyezzük, hogy a múlt század húszas éveiben az akkori kőolajkutató geológusok és vállalkozók számára már kezdett világossá válni a geofizika fontossága, de az még nem, hogy ezen belül a gravitáció, szeizmika vagy más módszer alkalmazása a legcélravezetőbb.

Érdekes párhuzam, hogy mind a torziós ingát, mind a szeizmográfokat az ipari alkalmazás előtt ismert kőolajlelőhelyeken próbálták ki, és mindkét tudós (mármint EÖTVÖS és MINTROP) tudatában volt műszere gyakorlati alkalmazhatóságának. Lényeges különbség viszont, hogy MINTROP tudatosan törekedett arra, hogy a meginduló ipari alkalmazások anyagi hasznát is learassa. Jó üzletember volt, aki találmányát szabadalommal védte és — tudományos és oktatói munkája mellett Seismos néven — vállalatot is alapított.

A szeizmika korai időszakáról, az 1925-ös évtől kezdve érdekes adatokat tartalmaz a PETTY fivérek családi vállalkozásának története [PETTY 1976], amely a későbbi Petty-Ray Geophysical és a Geosource vállalat elődje lett. Ők tették meg az első lépést, hogy az eredetileg mechanikai-optikai szeizmográfokat elektromechanikai rendszerre

fejlesszék, ami az elektronika gyors fejlődésével párhuzamosan később megnyitotta az utat a szeizmográf miniatürizálása és az egyre nagyobb csatornaszámok alkalmazása (analóg, majd digitális jelrögzítés, telemetrikus terepi rendszerek stb.) felé.

A Petty-féle emlékiratokból jól érzékelhető az „olajláz” idején végzett munka feszített tempója és a kíméletlen konkurenciaharc mind az olajcégek, mind a szolgáltató vállalatok között. A mai szóval „kaszálásra” való törekvés jó érzékelhető a korabeli szabadalmak nagy számából és főképpen abból, hogy a „hőskor” szeizmikusai nem csupán közvetlen működési költségeiket realizálták haszonnal, hanem a talált mező termelési bevételeiből is részesedést szereztek. Ez persze már értékmérője is volt az általuk adott információknak. A konkurens cégek sok esetben ügynököket béreltek fel a terepi csoportok munkájának, minden mozdulatának figyelésére és nagyon kellett vigyázni, hogy a mérések során szerzett információk ne szivárognak ki.

Hazai kezdetek

Magyarországon a szeizmikus méréseket — hasonlóan az Eötvös-ingához — viszonylag későn és csak kisebb mértékben kezdték alkalmazni. Ez arra vezethető vissza, hogy egyrészt az APOC (Anglo-Persian Oil Co. Ltd.), illetve a Hungarian Oil Syndicate Ltd. felszíni geológiai térképezés alapján lemélyített sikertelen budafapusztai fúrása (1920–23) sokáig diszkreditálta Magyarországon a szénhidrogén-kutatást, másrészt a kincstár alföldi fúrásai is csak termálvizet eredményeztek. Tőkeeros és találatban bízó vállalkozó — az EUROGASCO — csak 1933-ban jelentkezett a dunántúli koncessziós területre. VAJK Raul tanulmányából tudjuk [VAJK 1952], hogy az EUROGASCO gravitációs és szeizmikus mérésekkel szándékozott elvégezni a terület kutatását. Mivel ez utóbbi szolgáltatás akkor Magyarországon még nem állt rendelkezésre, a kutatások Eötvös-ingával kezdődtek. Ahol az ingamérések fúrásra alkalmas indikációt mutattak ki, ott 1934-től kezdve amerikai szolgáltató cégekkel (Humble Oil,

Seismograph Service Co.) végeztették a szeizmikus méréseket. A szeizmikus mérések iránti igény az antiklinális kutatási szemlélet akkori egyeduralma miatt pusztán arra irányult, hogy a gravitációs maximumok természetét tisztázza (valódi szerkezet vagy csak sűrűségváltozás). Ennek a feladatnak a megoldására alkalmazták az ún. „dip” lövéseket, amely még nem szelvénytípusú, hanem legegyszerűbben készült. A mélységszerkesztéshez szükséges sebességeket a kiegészítő refrakciós mérések eredményei szolgáltatták. Ezek a (gravitációs és szeizmikus) mérések vezettek az első hazai olajmező felfedezéséhez 1937-ben Budafapusztán, a mintegy másfél évtizeddel korábban fúrt, meddőnek bizonyult lyuk közelében.

Megjegyzendő, hogy a gyakorlatban nem mindig alkalmazták az előbb ismertetett elvet. Amikor a gravitáció és a szeizmika eltérő helyen mutatott ki fúrára alkalmasnak vélt indikációt, akkor — lévén ekkor még a gravitáció az olajkutatás vezető kutatómódszere — a fúrást mindig a gravitáció alapján tűzték ki. Sőt, tapasztalva a két mérési módszer közti gyakori eltérést, a szeizmikus mérések alkalmazását egyre kevesebbszer igényelték. Az EUROGASCO tehát csak ellenőrizte, hogy a különböző fizikai paraméterekre érzékeny két geofizikai módszer azonos helyen mutat-e maximumot, de elsősorban az Eötvös-inga-mérés eredményeire tűzte ki az első sikeres olajmező-feltárási fúrást. Salomvár és Görgeteg esetében viszont a szeizmika máshol jelezte a kiemelkedést, mint a gravitáció, és az utóbbi eredményére mélyített valamennyi fúrás meddő lett. A MAORT (az EUROGASCO jogutóda) a második világháború alatt és után, egészen az 1948-as államosításig szeizmikus méréseket már nem végeztetett.

A hazai szeizmika tényleges kezdetének 1936-ot tekintjük. Ekkor POGÁNY Béla műegyetemi tanár megbízást kapott az ELGI-től egy szeizmikus műszer elkészítésére. A megbízás eredményeként két hatszornás műszer készült el. A berendezésekkel rendszeres mérések kezdődtek Fót, Vásárosnamény, Mezőkövesd, Hajdúszoboszló és Dorog környékén. Több korszerűsítő átalakítás után ezek az eszközök az ötvenes évek elejéig dolgoztak és a kor technikai szintjén alkalmasak voltak mind reflexiós, mind refrakciós mérésekre. Az ELGI 1945-ig végzett méréseiről RENNER János tanulmánya tartalmaz részletes leírást [RENNER 1966].

1941-ben a Magyar–Német Ásványolajművek Kft. (MANÁT), amely 1940-ben szerzett koncessziós jogot a Nagyalföld déli részére, a SEISMOS hannoveri vállalattal végeztette el a szeizmikus méréseket. Ezek a műszerek már 18 csatornásak voltak, megfelelő erősítéssel és amplitúdószabályozással. RENNER János írja említett tanulmányában, hogy a külföldi cég szeizmikus felvételei alkalmával a Geofizikai Intézet munkatársainak alkalmuk volt a SEISMOS szeizmikus készülékének tanulmányozására. Ilyen módon meg tudták állapítani, hogy az intézeti berendezések milyen tekintetben szorulnak korszerűsítésre. Főként az erősítők átalakítása mutatkozott célszerűnek.

Az intézeti szeizmika 1950 táján gyors fejlődésnek indult. Több szeizmikus csoport is létrejött, elsősorban a kőolajipari igények kielégítésére. 1949-ben az intézet egy svéd gyártmányú 24 csatornás műszert vásárolt, ezzel kezdődtek meg a zalai szénhidrogén-kutató mérések. Sajnos, ez az akkor igen korszerű berendezés nem minden tekintetben felelt meg a hazai szeizmogeológiai viszonyoknak (pl.

szűrőkarakterisztika), ezért a vele szerzett tapasztalatok alapján az intézet 1951-re elkészítette saját 24 csatornás műszerét, amely a terepi méréseknél igen jó eredményeket adott. Ez a berendezés lett az alapja a szeizmikus műszerek sorozatgyártásának, mely az ekkor létrehozott Geofizikai Mérőműszerek Gyárában indult meg és a hazai igényeken kívül exportra is dolgozott. 1952-től azonban a szénhidrogén-kutatás súlypontja az időközben megalakított és rohamosan fejlődő kőolajipari geofizika szervezetéhez került át. Az intézet kutatási profilja ennek megfelelően egy időre irányt váltott és elsősorban a refrakciós mérések terén, valamint a szilárdásvány-kutatás igényei szerint fejlődött tovább.

Szót kell ejtenünk néhány alapvető hazai szeizmikus problémáról, amelyet kitartó kísérletező műhelymunkával sikerült idővel megoldani, párhuzamosan a rendelkezésre álló technológiai lehetőségek fejlődésével. ÁDÁM Oszkár és SZÉNÁS György, valamint ÁDÁM Oszkár tanulmánya volt az első [ÁDÁM, SZÉNÁS 1953, ÁDÁM 1955], amelyek a szeizmikus mérések eredményességét akadályozó problémákra felhívták a figyelmet. A „néma zónák” problémáját az ELGI léglövése módszerrel, az SZKÜ (a GES Kft. elődje) csoportos geofonokkal és csoportos lövésekkel igyekezett megoldani. Figyelemre méltók DOMBAI Tibornak, az ELGI akkori igazgatójának a Magyar Geofizikusok Egyesületének alakuló ülésén (1954. április 27.) a szeizmikus kutatások helyzetéről elhangzott megállapításai [DOMBAI 1993]:

„A kutatások bevezetése érdekében csaknem teljesen előlről kellett mindent kezdenünk. Nem volt ugyanis megállapítható, hogy a megfelelő mérőeszköz hiánya, vagy pedig a módszer alkalmazásában való járatlanság volt az oka az 1936-tól 1940-ig végrehajtott ez irányú kísérletek eredménytelenségének. Ha az utóbbi néhány esztendő fejlődését áttekintjük, megállapíthatjuk, hogy a szeizmikus mérések bevezetésével kapcsolatban felmerült egyik legsúlyosabb természetű nehézséget már 1951-ben sikerült leküzdenünk, midőn a még ma is korszerűnek mondható 24 csatornás szeizmikus reflexiós mérőberendezésünket megszerkesztettük. ... A korszerű mérőberendezésekkel folytatott mérések alapján megállapítható, hogy a szeizmikus reflexiós mérések alkalmazhatósága hazánk kedvezőtlen szeizmogeológiai adottságai miatt csak igen szűk területre korlátozódik. A légrobbantásos módszer bevezetésével nemcsak azt értük el, hogy a reflexiós mérések olyan területeken is, ahol eddig minden próbálkozás sikertelen volt, vagy pedig csupán kétesértékű eredményeket szolgáltattak, hanem a szeizmogramok minősége más területeken is mind a kiértékelhetőség, mind pedig a megbízható korreláció tekintetében feltűnő és igen biztató módon megjavult. A légrobbantásos eljárás bevezetése után is maradtak olyan területek, melyeken a reflexiós mérések alkalmazhatóságának biztosítása érdekében további kutatómunkára van szükség.”

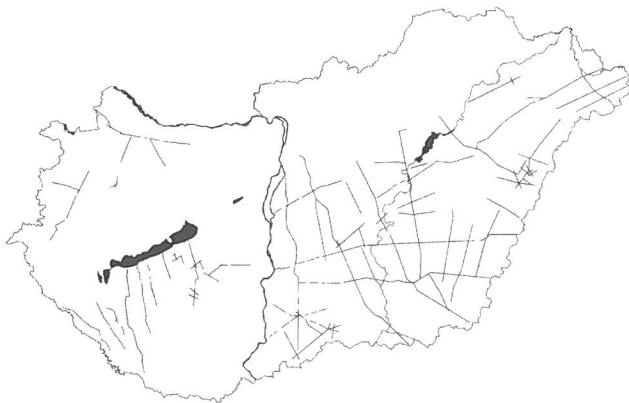
Az intézetben az ötvenes évek második felében kezdődtek meg azok a terepi kísérletek, melyek a hazai kéregkutatás kezdetét jelentették, és amelyek azóta is folytatódnak. Az ország több pontján sikerült a nagy érzékenységgű műszerekkel mélyreflexiókat észlelni a kéreg aljáról. Ezek az eredmények már nemzetközi jelentőségűek voltak, mert arra engedtek következtetni, hogy a Pannon-medencében a

kéreg sokkal vékonyabb, mint a környező területeken.

Az 1956-ban indult kínai expedícióban számos kiemelkedő szakember vett részt, emiatt az intézeti szeizmikus kutatás lelassult. A műszerfejlesztő laboratórium a 24 csatornás hazai műszer kifejlesztőinek szétszóródása miatt csak később jött létre. Ennek ellenére tovább folyt az intézeti műszerfejlesztés, 1963-ban került terepre az első 20 csatornás intézeti analóg mágnesszalagos regisztrálású berendezés, amelyet 1965-ben egy 24 csatornás változat követett. Ezt a modellt a Geofizikai Mérőműszerek Gyára sorozatban gyártotta. 1970-ben született meg az első magyar digitális jelfrögzítésű műszer, amelynek a későbbiek során szintén több változata készült el. Az intézeti fejlesztésű digitális műszerek sorába tartozik a 24 csatornás SD-10 jelű műszer, amely paraméterei és terepi megbízhatósága alapján talán a magyar geofizikai műszerfejlesztés csúcspontjának tekinthető. Ezt az eszközt az ELGI a keletnémet VEB Geophysik Leipzig-gel közösen sorozatban gyártotta. Bár a későbbiekben az egyre bővülő és egyre többoldalúvá váló intézeti műszerfejlesztés (terepei berendezések, tengeri adatgyűjtők, mérnökszeizmikus berendezések, bányabeli műszerek stb.) lassan elmaradt a világ élvonalától, a „keleti blokkon” belüli vezető szerepét mindvégig megőrizte. A műszerfejlesztéssel párhuzamosan és vele körülbelül azonos szinten folyt a szeizmikus mérési módszerek, a szeizmikus digitális feldolgozás és a szeizmikus értelmezés fejlesztése is. Példaként említhetjük, hogy a keleti blokkon belül az intézet állította üzembe 1975 őszén az első vibroseiz csoportot, részben az intézet saját fejlesztésű mérőműszerére alapozva.

A szeizmika hazai aranykora

A kőolajipar 1952-ben hozta létre saját (ELGI-től független) geofizikai szervezetét. A korábbiakkal szemben ekkor érvényesülő új kutatási koncepció juttatta a hazai olajkutatásban vezető szerephez a szeizmikát a gravitációs módszerrel szemben, és az ezt követő években készült el az ország első regionális szeizmikus felmérése. Ezek a mérések alapozták meg a 60-as, 70-es évek jelentős kutatási eredményeit, a hazai kutatás aranykorát (1., 2. ábra).



1. ábra. A kőolajipar által 1952 és 1961 között készített első országos regionális reflexiós szeizmikus vonalhálózat [A Kőolajipari ... 1962 nyomán]

Fig. 1. The first countrywide regional reflection seismic network acquired by the oil industry between 1952 and 1961 [after A Kőolajipari ... 1962]



2. ábra. A kőolajipar által 1952 és 1961 között készített első országos regionális reflexiós szeizmikus vonalhálózat, kiegészítve az ugyanez időszak alatt lőtt refrakciós vonalakkal [A Kőolajipari ... 1962 nyomán]

Fig. 2. The first countrywide regional reflection seismic network acquired by the oil industry between 1952 and 1961, completed by the refraction profiles acquired in the same period of time [after A Kőolajipari ... 1962]

Ebben az összefoglalásban — messzemenően a teljesség igénye nélkül — csupán néhány érdekesebb esetet mutatunk be az elmúlt fél évszázad kutatásainak történetéből, ahol a szeizmikus módszer a gravitációs indikációkkal némiképp ellentmondásban vezetett kutatási sikerekhez. Természetesen előrebocsátjuk, hogy ezek tendenciózan kiragadott példák, melyek inkább kivételek, mint jellemzők, és nem reprezentálnak törvényszerűséget. Jól ismert ugyanis, hogy kedvezőtlen sebességeloszlások esetén a szeizmikus időszelvények is torzulhatnak a valódi szerkezeti képhez viszonyítva ugyanúgy, ahogy a gravitációs anomáliák kedvezőtlen sűrűségeloszlások esetén. A sópárnák alatti tektonika rekonstruálása (a mélység migráció) például ilyen feldolgozási kihívást jelent. Helyi specialitás csupán, hogy ilyen jellegű problémák a Pannon-medencében nem fordultak elő.

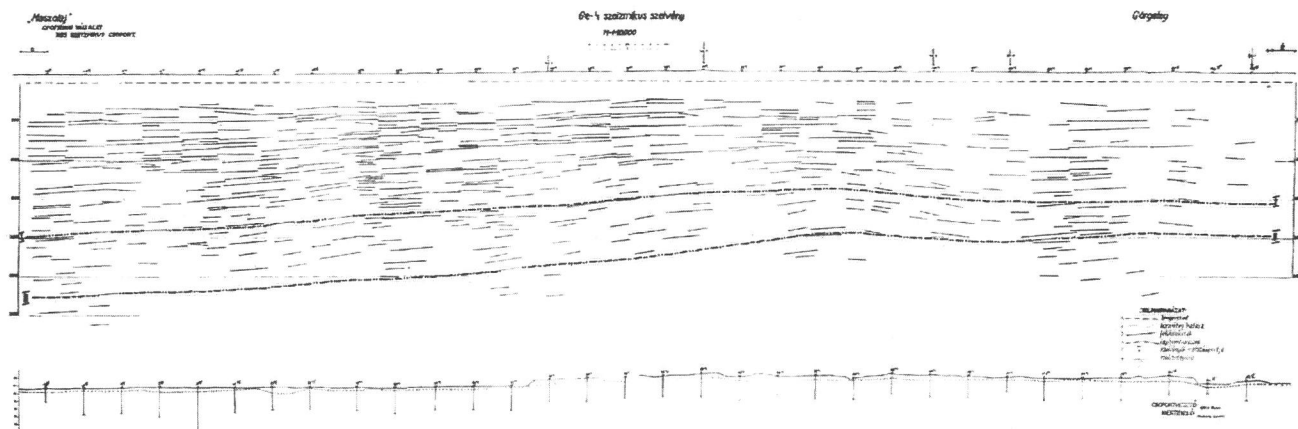
Görgeteg–Babócsa, 1954

A Görgeteg környékén kimutatott hosszú, észak–déli csapásirányú gravitációs maximumra telepített három fúrás csak gyenge olaj- és gáznomokat eredményezett a 30-as évek végén (az első fúrást az EUROGASCO mélyítette 1935–36-ban). A maximum környezetében végzett szeizmikus mérések itt sem jeleztek záródást, pusztán DNy-i dőléseket. Az eltérésre nem tudtak magyarázatot adni. Az EUROGASCO–MAORT kutatógárdája tehát a 30-as évek végén még jobban bízott a gravitációs kutatások eredményében, mint a szeizmikában. Kicsit megdöbbenő azonban, hogy még az 1951-es VAJK Raoul-tanulmány sem keres — így nem is talál — magyarázatot az eltérésre. Mindenesetre azon elgondolkozhattak volna, hogy mindegyik módszer más paramétert mér: a gravitáció összhatást, a szezmika pedig a rétegek települési viszonyairól és a mélységekről is adatokat szolgáltat. Görgeteg esetében a gravitációs teret jelentős oldalirányú változások is befolyásolhatták, hiszen a Vízvár–Heresznye–Babócsa térségében végzett fúrások kimutatták, hogy a rétegsorban nagyon gyorsan változó lencsés homokkő kifejlődés az uralkodó. Nyilvánvaló, hogy emiatt a gravitációs

mérésekből szerkesztett Bouguer-térkép nem a valódi szerkezeti viszonyokat tükrözte.

Később a MASZOLAJ Rt. Geofizikai Vállalata a térségben először regionális vonalakat mért (1953), majd ezek alapján részletező reflexiós szeizmikus méréseket végzett.

A szeizmikus mérések a görgetegi gravitációs maximumtól DNy-ra Babócsa, Ny-ra pedig Vízvár térségében mutattak ki fúrásra alkalmas szerkezeteket (3. ábra). A fúrásos kutatás az így kijelölt szerkezetekben szénhidrogéntelepeket tárt fel.



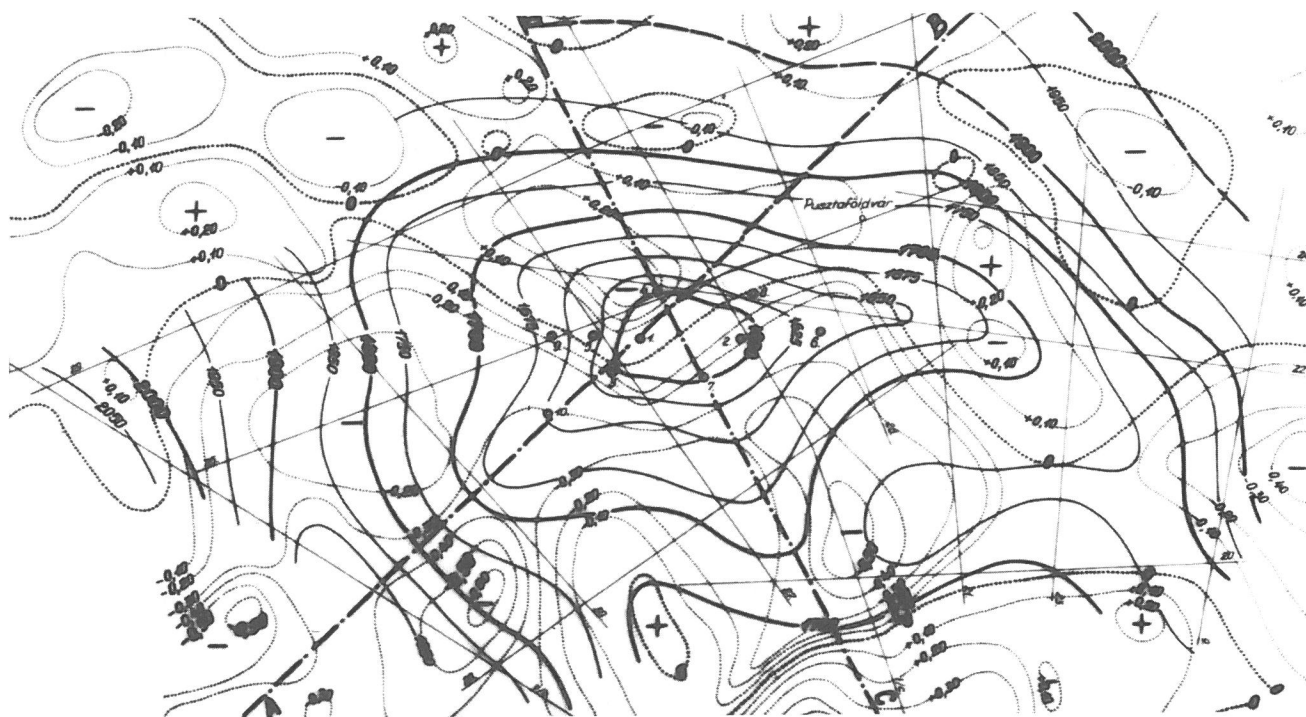
3. ábra. A Ge-4-es Görgeteg–Babócsa-i szeizmikus felületelem-szelvény a feltételezett, pontozott vonallal bejelölt ún. „fantom” horizontokkal [KÉSMÁRKY 2002 nyomán]

Fig. 3. The Ge-4 Görgeteg–Babócsa seismic reflection profile with the so-called „phantom horizons” marked by dashed lines superimposed on the reflection segments [after KÉSMÁRKY 2002]

Pusztaföldvár, 1958

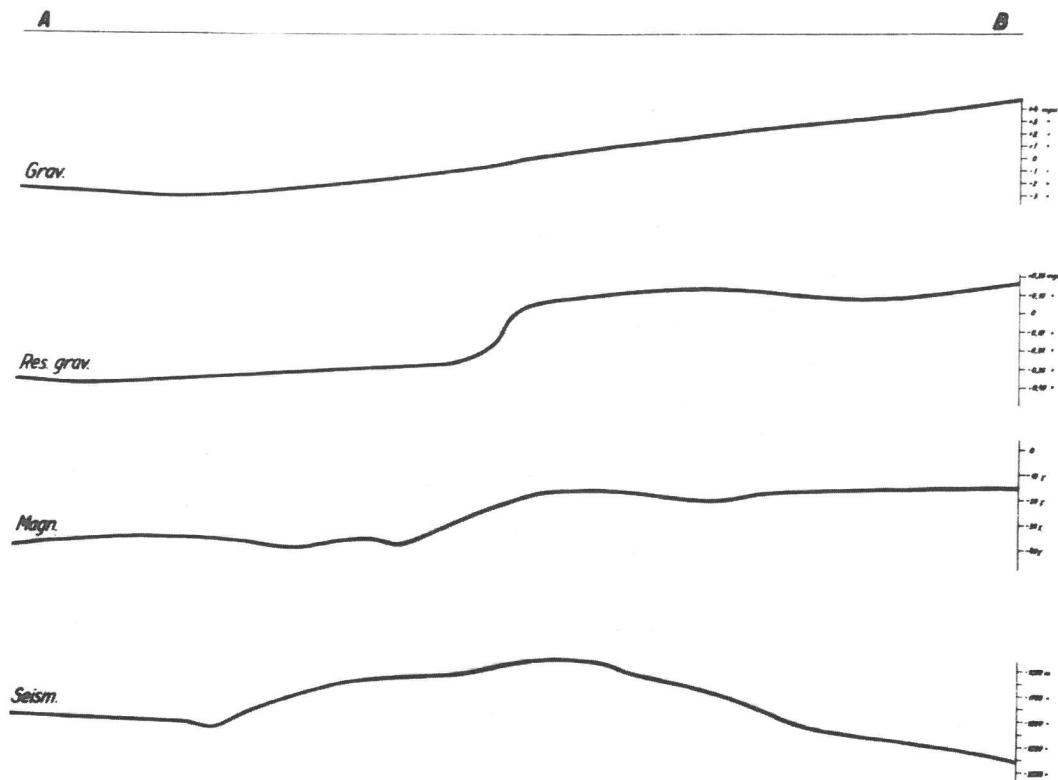
A Nagyalföldön az első jelentős siker a Pusztaföldvár térségében lévő olaj- és gázmező felfedezéséhez fűződik

(1958). A reflexiós szeizmikus mérések egy nagy kiterjedésű gravitációs minimumzóna (!) ÉK-i részén mutatták ki a szénhidrogéneket tároló szerkezetet (4., 5. ábra).



4. ábra. A pusztaföldvári egyesített szintvonalas szeizmikus mélységtérkép és az Elkins-formulával számított gravitációs maradékanomália-térkép a szeizmikus vonalhálózattal [KÉSMÁRKY 2002 nyomán]

Fig. 4. The depth-contoured seismic map of Pusztaföldvár, superimposed on the residual gravity map calculated with the Elkins formula and the seismic network [after KÉSMÁRKY 2002]



5. ábra. A pusztaföldvári gravitációs Bouguer- és Elkins-féle maradék-anomália, valamint mágneses és szeizmikus mélységprofil, a 4. ábrán látható A–B nyomvonal mentén [KÉSMÁRKY 2002 nyomán]

Fig. 5. The Bouguer and Elkins residual gravity profiles of Pusztaföldvár and the corresponding magnetic and seismic depth profiles along the trace A–B of Fig. 4. [after KÉSMÁRKY 2002]

A szerkezet létezésére a MASZOLAJ Rt. Geofizikai Vállalat AR–II jelű regionális vonala hívta fel a figyelmet. A terület felmérésére 1957-ben került sor.

Hajdúszoboszló, 1959

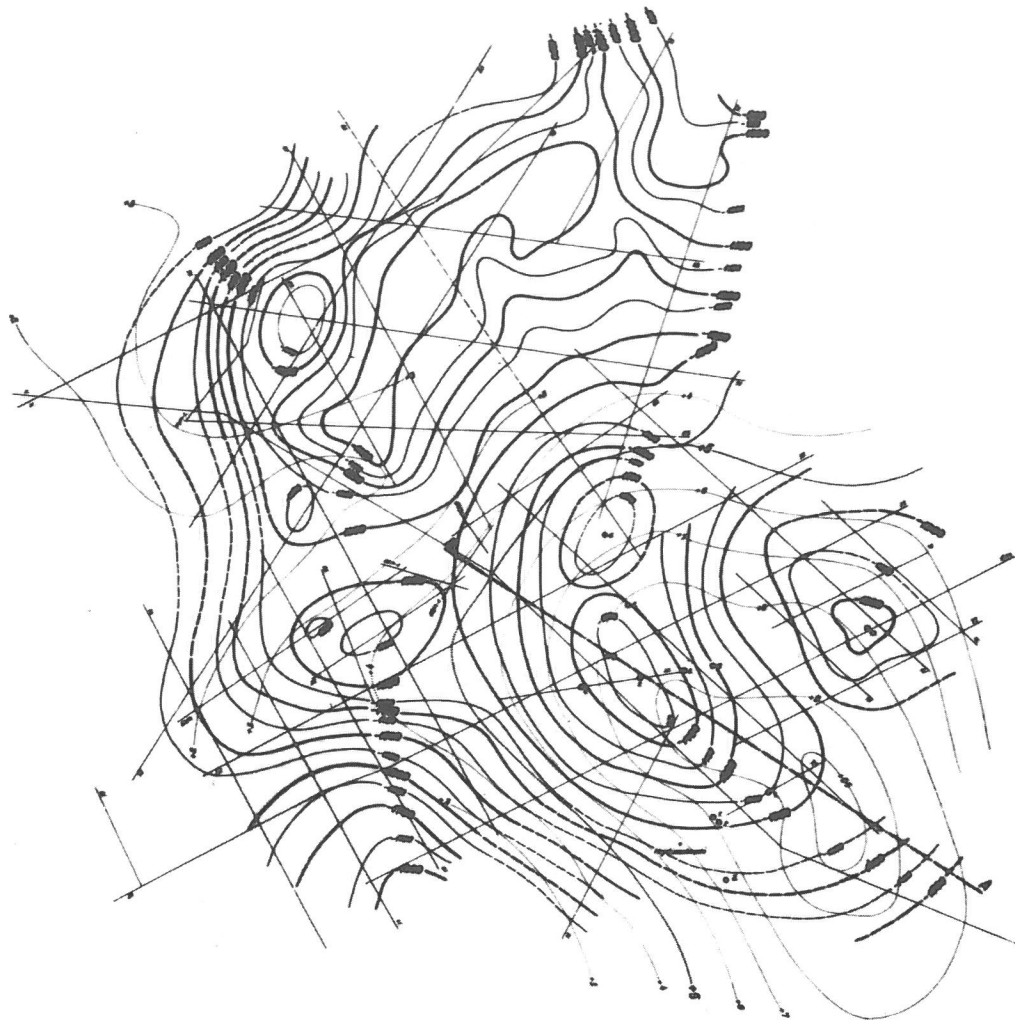
Hajdúszoboszlón az első, hatszornás műszerrel mért szeizmikus szelvény 1936-ban készült a korábban Eötvösingával kimutatott gravitációs maximumon. Az ország legjelentősebb gázmezőjét azonban csak jóval később, 1959-ben fedezték fel a Szeizmikus Kutatási Üzem ezt megelőző években bemért részletesebb szeizmikus vonalhálózata alapján. Ezek a szeizmikus mérések a szerkezeti tetőzónát a gravitációs maximumtól több kilométerrel ÉNy-ra mutatták ki. Az erre telepített fúrások bizonyultak eredményesnek (6., 7. ábra).

A hetvenes évek elején a hagyományos fotóregisztrációs technika minden lehetőségét sikerült kipróbálni, megismerni és kihasználni. Miközben e mérések eredményeképpen egyre-másra születtek szénhidrogén-találati eredmények, nyilvánvalóvá vált, hogy a klasszikus szeizmikus módszer csak egyszerű — főképpen antiklinális típusú — csapdákat képes kimutatni. Ezek azonban addigra a szeizmika alkalmazásával már ismertekké váltak. Nagy volt a bizonytalanság a hazai kutatási berkekben. A hazai szeizmikusok azonban nem nézték ölbe tett kézzel a kialakult helyzetet. A Magyar Tudományos Akadémia Szeizmikus Albizottságának tagjai tanulmányt állítottak össze [Szeizmikus Munkaközösség 1963], amelyet a Magyar Geofizikusok Egyesüle-

tében népes hallgatóság előtt hoztak nyilvánosságra (megjegyzendő, hogy a dolgozat nem felkérésre, hanem saját elhatározásból született). A tanulmányban foglaltakkal (helyzetelemzés, feladatok) az előadóülésen részt vevő döntéshozók is többségében egyetértettek. A szeizmikusok következetes kiállása — ugyan 1–2 év késéssel — meghozta az eredményt. Az új magyar és a modern nyugati analóg műszerek alkalmassá tették a geofizikát az új kihívások felvállalására és a korábbinál sokkal részletesebb földtani adatszolgáltatás teljesítésére.

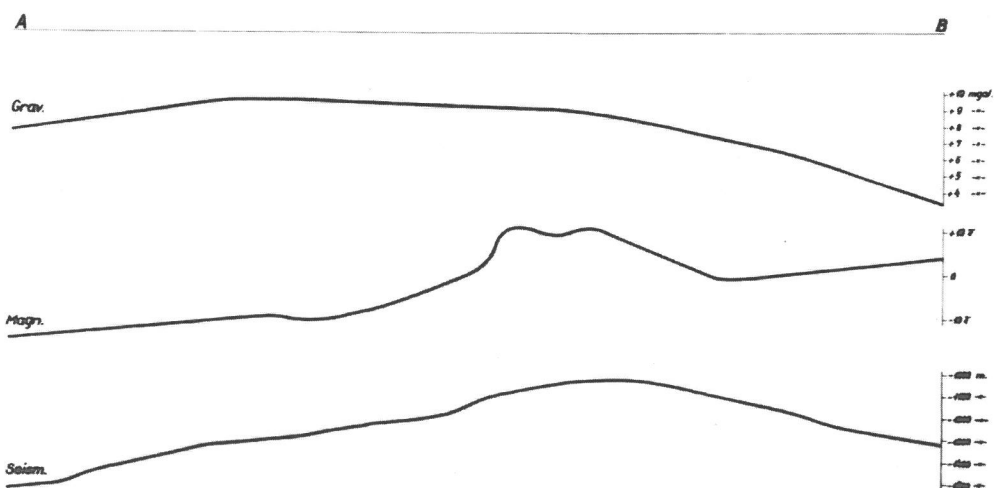
A többszörös fedéses eljárás és főleg a digitális technika bevezetése, majd a további technológiai újítások (Vibroszeiz energiakeltés, 3-D-s mérések stb.) alkalmazása tovább növelte a szeizmikus módszer teljesítőképességét, és mint ilyen, jelentős pozitív hatással volt a magyar energiaiparra és gazdaságra. A kőolajipari mérési technikára jellemző volt kezdetben a szovjet berendezések használata, majd a 60-as évektől az aktuális importkorlátozások csökkenése révén lehetővé tett nyugati csúcstechnológia alkalmazása. A szigorú hidegháborús korlátozások 1990 óta megszűntek.

A hagyományos szeizmika nagy találatai után (Pusztaföldvár 1958, Hajdúszoboszló 1959, Algyő 1965) az 1975 és 1985 közé eső periódus volt a hazai olajkutatás legsikeresebb évtizede a találatok alapján. 1981–1985 között a felkutatott készlet nagysága 51 millió tonna kőolaj-egyenérték volt. Ezek a sikerek már a digitális technika eredményei voltak (8., 9., 10. ábra).



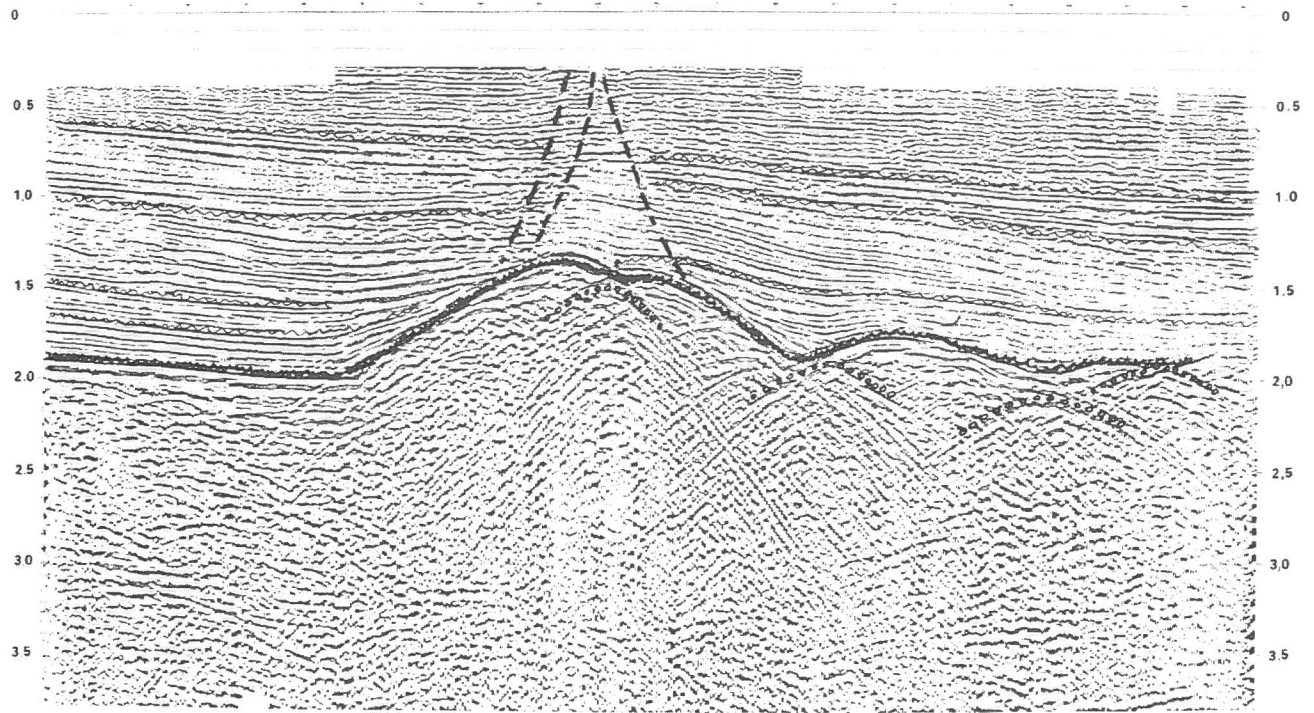
6. ábra. A hajdúszoboszlói egyesített szintvonalas szeizmikus mélységtérkép és Bouguer-anomáliatérkép a szeizmikus vonalhálózattal [KÉSMÁRKY 2002 nyomán]

Fig. 6. The depth-contoured seismic map of Hajdúszoboszló, superimposed on the Bouguer gravity map and the seismic network [after KÉSMÁRKY 2002]



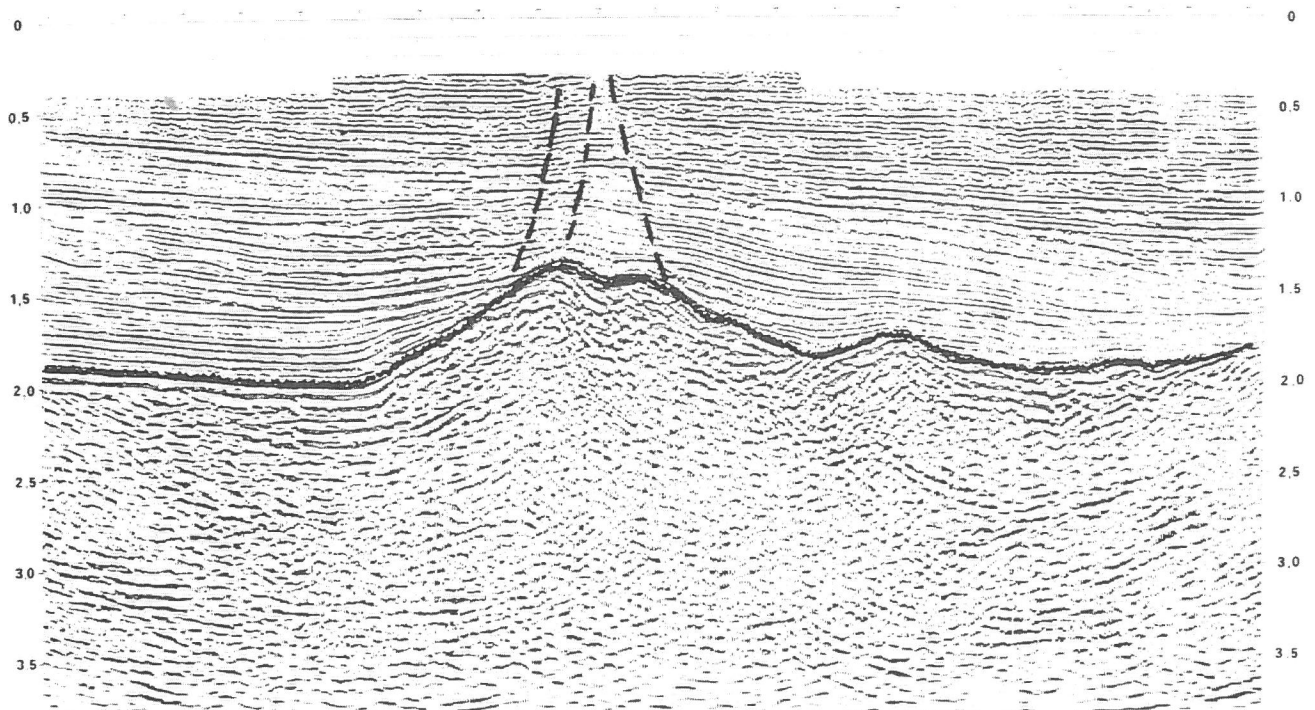
7. ábra. Hajdúszoboszlói gravitációs, mágneses és szeizmikus mélységsvlvény a 6. ábrán látható A–B nyomvonal mentén. A gravitációs maximum a szeizmikusan kimutatott antiklinális DK-i szárnyán van [KÉSMÁRKY 2002 nyomán]

Fig. 7. The gravity and magnetic profiles of Hajdúszoboszló and the corresponding seismic depth profile along the trace A–B of Fig. 6. The gravity maximum is located on the SE flank of the structural high indicated by the seismic method [after KÉSMÁRKY 2002]



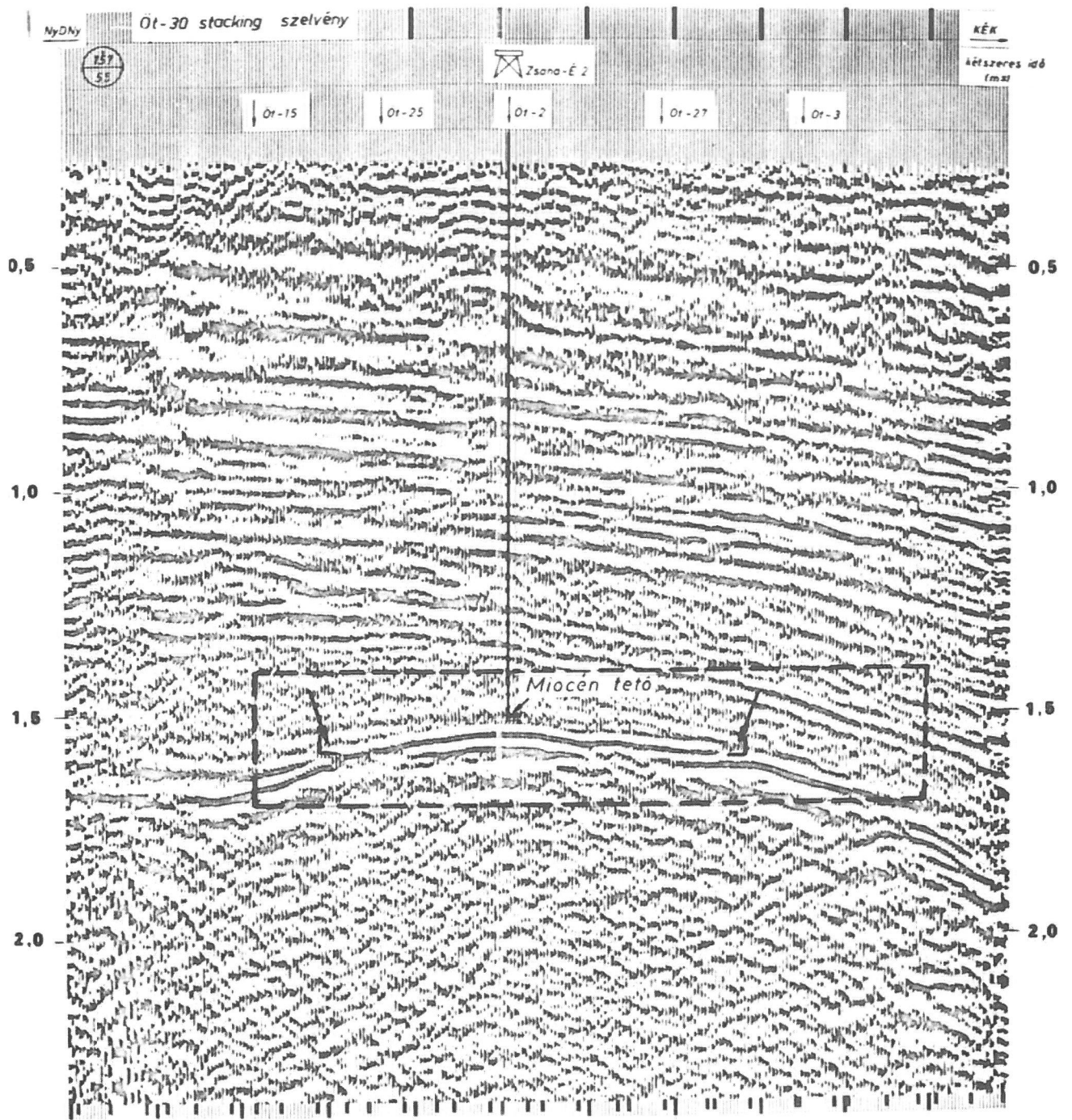
8. ábra. Jó minőségű többszörös fedésű dekonvolvált digitális szeizmikus időszelvény [MOLNÁR 1982 nyomán]

Fig. 8. Good quality, digitally recorded multifold deconvolved time section [after MOLNÁR 1982]



9. ábra. A 8. ábrán feltüntetett szelvény „15 fokos” hullámegyenletes migrációval készített változata, amely az alaphegység lefutásának sokkal pontosabb képét adja [MOLNÁR 1982 nyomán]

Fig. 9. “15 degree” wave-equation migrated version of the time section shown in Fig. 8., excellently revealing the relief of the basement [after MOLNÁR 1982]



10. ábra. A Zsana-É kutatási területen mért szelvény kísérleti dekonvolvált változata bright spot jelenséggel [MOLNÁR 1982 nyomán]

Fig. 10. Experimental deconvolved section of the Zsana-É area with "bright spot" [after MOLNÁR 1982]

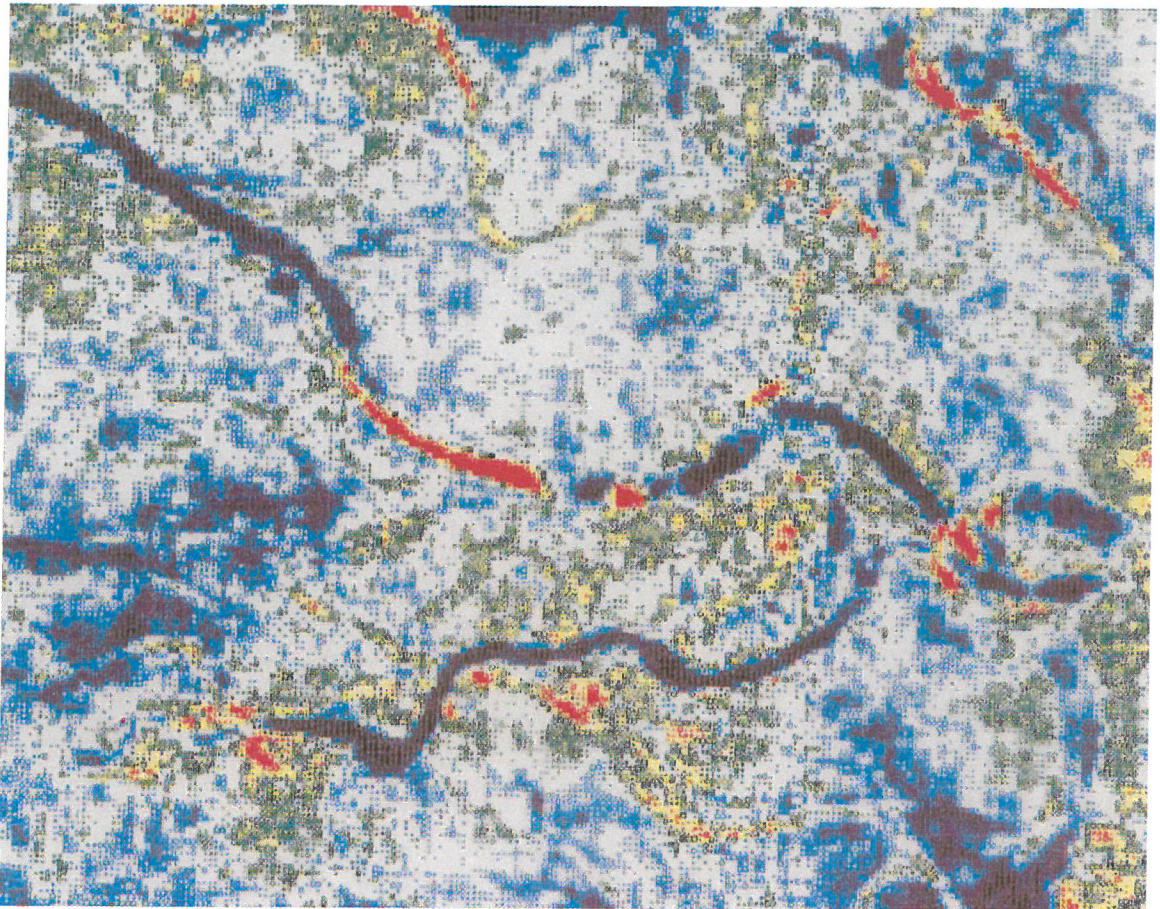
Az utolsó nagy technológiai lépcső a háromdimenziós mérések bevezetése volt a kilencvenes évek első felében.

Endrőd-É, 1992

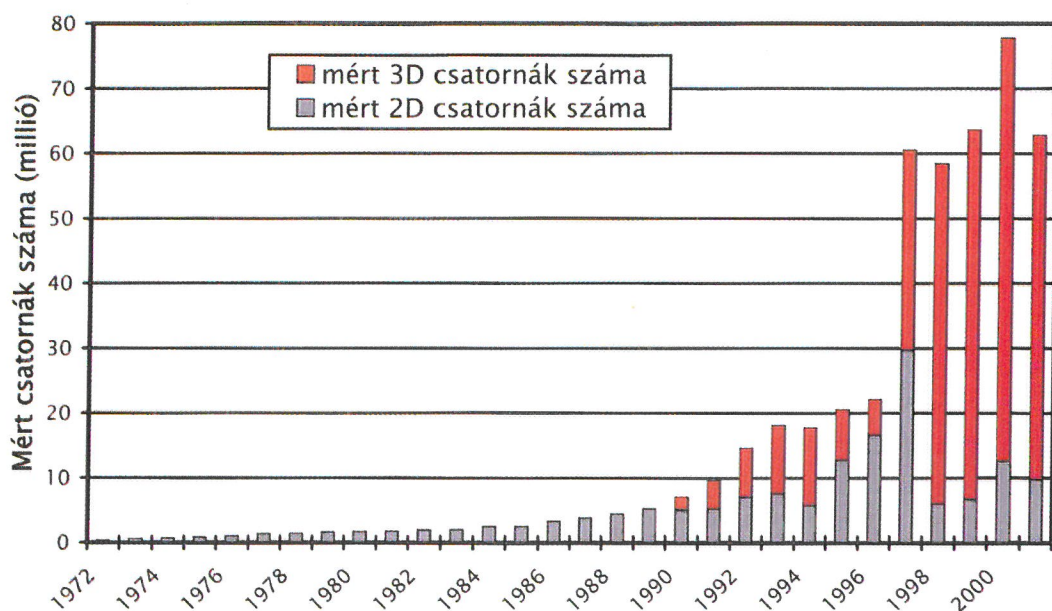
Az Endrőd-É-i mező problémáját egy 2-D-s szeizmikus vonalhálózattal kimutatott lapos boltozatra telepített jó gáztermelő kút vetette fel, mivel az első sikeres mélyfúrás környezetében lemélyített számos további kút meddőnek bizonyult. A tároló valódi megismerése és működésének megértése a mezőn mért 3-D-s szeizmikus

anyag lemérése után vált lehetségessé. A szeizmikus adathasáb vízszintes „időszeletein” vált láthatóvá az a bonyolult csatornarendszer, amely jól magyarázta a többi fúrás meddőségét és lehetővé tette további tárolótestek megcsapolását a termelő kutak megfelelően célzott telepítésével (11. ábra).

Ez utóbbi példa — a csatornahomokkő csapadék eredményes kutatása — a háromdimenziós szeizmika csúcsteljesítményei közé tartozik. Nem ide számítva a mélyfúrás közvetlen környezetére korlátozódó karotázs adatokat, egyik geofizikai módszer sem vetekedhet a 3-D-szeizmika



11. ábra. Az Endrőd-É területen mért 3-D-s adathasáb egy „időszelete” folyómeder indikációkkal (a MOL engedélyével)
 Fig. 11. “Time slice” of the 3-D “data cube” of the Endrőd-É area with indications of channel sand bodies (courtesy of MOL)



13. ábra. A GES Kft. és elődjei által évente bemért 2-D és 3-D csatornák számának alakulása [KÉSMÁRKY 2002 nyomán]
 Fig. 13. The number of the annually acquired 2-D and 3-D traces by GES Ltd. and its predecessors [after KÉSMÁRKY 2002]



szeizmika térbeli felbontóképességével. Ez a magyarázata, hogy vi-lágszerte erre a módszerre költik a geofizikára szánt pénzek túlnyomó részét és ezen belül is növekszik a 3-D-szeizmika részaránya.

A kőolajkutató szeizmika néhány jellemző adata

MASZOLAJ Rt. Geofizikai Vállalat–KŐKUFÉV–SZKÜ–GKÜ–GKV–GKE–GES

Hagyományos fotoregisztrációs reflexiós mérések	28 908 km
Refrakciós módszerrel bemért vonalhossz (1957–1969)	7641 km
Analóg jelrögzítésű reflexiós mérések (1966–76)	11 516 km
Digitális jelrögzítésű hazai reflexiós mérések (2002-ig)	80 643 km
A hazai 3-D-vel bemért összterület	6082 km ²

ELGI

Hagyományos fotoregisztrációs reflexiós mérések	nincs pontos adat
Refrakciós módszerrel bemért vonalhossz	6668 km
Analóg és digitális jelrögzítésű reflexiós mérések	8906 km

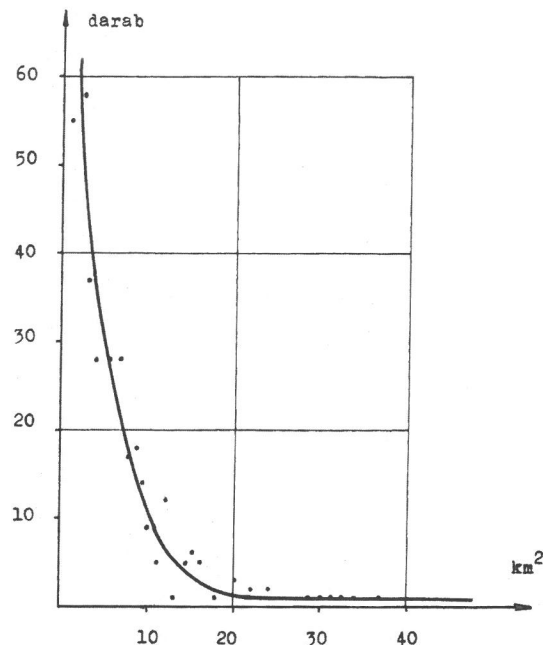
A szeizmikus mérések szerepe a szénhidrogén-készlet megtalálásában

A megtalált szerkezetek számáról tulajdonképpen az antiklinális típusú alakzatok vonatkozásában beszélhetünk, és itt lehet a mérések eredményeit pontosan számszerűsíteni. A bonyolultabb (sztratigráfiai, litológiai) csapdák esetén ennek megállapítása már nem pusztán geofizikus, hanem a tágabb geo-szakma közös feladata. SZUROVY Géza — az OKGT jóváhagyásával és segítségével — kísérletet tett az 1952–1991 között geofizikai mérések által kimutatott, kőolajkutatásra alkalmasnak tartott földtani alakzatok számbavételére [SZUROVY 1993]. A geofizikai mérések „összesen 873 kőolajkutatásra alkalmas szerkezetet” mutattak ki, ebből 1991 végéig 650-et vizsgáltak meg fúrásokkal és 130-ban találtak kitermelhető szénhidrogénkészletet. Ami figyelemre méltó, és a szeizmikával azonos lefutást mutat, az a mezők és a szeizmikus szerkezetek nagysága közötti szoros összefüggés. SZUROVY Géza közlése szerint (KFH adat) tíz mező tartalmazza a megismert készletek 71,4%-át.

Pontosan ebben kereshető a szeizmikus kutatás hazai adottságokból adódó speciális helyzete. A kis kiterjedés, a viszonylag kis távolságokon belüli nagy földtani változások és sűrű vonalhálózatok a speciális módszerek, új műszerek és feldolgozó programok azonnali alkalmazásbavételét sürgették. Ezért kellett többnyire a nyugati importot igénybevenni.

Összefoglalás

Visszatekintve a szeizmika fejlődésére megállapítható, hogy az a földre lefektetett antenna, amellyel a mélyből



12. ábra. Az 1952–1973 között geofizikai mérésekkel kimutatott szerkezetek száma a „nagyság” függvényében [KÉSMÁRKY 2002 nyomán]

Fig. 12. Number of the anticlinal structures explored by geophysical methods between 1952 and 1973 against the “size” of the structures [after KÉSMÁRKY 2002]

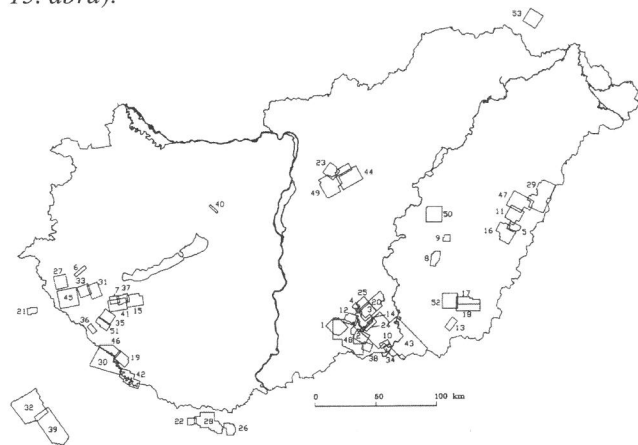


14. ábra. A GKÜ–GKV–GES és az ELGI által 1971 és 2000 között mért magyarországi 2-D-s, digitálisan feldolgozott szeizmikus szelvényeinek nyomvonalai. A vonalak együttes hossza kétszer bőven körbeérné az Egyenlítőt! (a MOL engedélyével)

Fig. 14. Network of the digitally processed 2-D seismic lines acquired by GKÜ–GKV–GES and ELGI in Hungary, between 1971 and 2000. The total length of lines is longer than two times the perimeter of the Equator! (courtesy of MOL)

visszavert rugalmas hullámokat felfogjuk, a technológiai váltások során egyre kifinomultabbá vált. Ehhez kapcsolódott szervesen a regisztrálás, a hullámkeltés, a feldolgozás és a kiértékelés fejlődése is. A technikai fejlődéssel párhuzamosan közel exponenciálisan nőtt a mért adatok mennyisége és jelentősen bővült a megoldható földtani problémák köre. Az évente mért és feldolgozott csatornák mennyiségének gyors gyarodását a műszerek csatornaszámának növekedése és a termelékenyebb és környezetkímélőbb vibrátoros jelgerjesztés alkalmazása tette lehe-

tövé. A 80 évvel ezelőtt még kizárólag a szénhidrogénmezők megtalálására alkalmazott robusztus szeizmika napjainkra olyan kifinomult módszerré fejlődött, amely alkalmas a tárolók teljes életciklusának követésére (mezőfejlesztés, leművelés monitorozás, föld alatti gáztározók kialakítása stb.). A világtrendek szerint a szeizmika alkalmazása a költséges mélyfúrési tevékenység mellett fokozódó mértékben szükséges és gazdaságos (13., 14., 15. ábra).



15. ábra. A GKV és GES által mért 3-D-s projektek [KÉSMÁRKY 2002 nyomán]

Fig. 15. Map of the 3-D projects acquired and processed by GES and its predecessor GKV [after KÉSMÁRKY 2002]

A szeizmika alkalmazása — bár hazánk nem rendelkezik világviszonylatban számottevő kőolaj- és földgázkészletekkel és a hazai szeizmikus tevékenység általában a világ vezető cégei által diktált trendeket követte —, jelentős pozitív hatással volt a magyar energiaiparra és gazdaságra. Az iparág jó teljesítményeit sem a 80-as évek második felének világbanki projektjei, sem az 1993 óta Magyarországon aktív külföldi olajvállalatok tevékenysége nem kérdőjelezték meg.

1989–90-ben a világban végbement nagy hatalomátrendezés során megszűnt a keleti blokk sajátos, elszigetelt léte. Ennek hatása a hazai geofizikára rendkívül nagy volt, mivel hirtelen versenyhelyzetbe került azokkal a világ élvonalát képviselő cégekkel, akik mögött az olajipar nemzetközi óriásainak gazdasági ereje áll. Ez a hazai műszerfejlesztés teljes átszervezését és az ipari jellegű műszer-

gyártás leállítását követelte meg. A korábbi évtizedekben kialakult mérési és feldolgozási kapacitások napjainkra a szolgáltatási szférába kerültek, és szembe kell nézniük a globális verseny kihívásaival.

Természetesen e helyen külön kell méltatnunk a Magyar Geofizikusok Egyesülete által évtizedeken keresztül nyújtott lehetőségeket (előadói ülések, szimpóziumok stb.), amelyek nagyban hozzájárultak a hazai geofizikai műhelyek közötti együttműködés előmozdításához és a szakma művelőinek egy tágabb közösséggé történő összekovácslásához.

HIVATKOZÁSOK

- ÁDÁM O. 1955: Egyes DNy-dunántúli területek némaságának okai. *Geofizikai Közlemények* **4**, 1
- ÁDÁM O. 1992: Szeizmikus történelem *Magyar Geofizika* **33**, 4
- ÁDÁM O., SZÉNÁS Gy. 1953: Szeizmogeológiai viszonyok DNy-Magyarországon. *Geofizikai Közlemények* **2**, 9
- A Kőolajipari Szeizmikus Kutatási Üzem 10 éve, 1962 (Az SZKÜ 10 éves fennállásának jubileumára egy példányban készített album)
- DOMBAI T. 1993: A geofizikai kutatások helyzete hazánkban, *Magyar Geofizika* **34**, 4, 180. o.
- KÉSMÁRKY I. (szerk.) 2002: A felszíni geofizikai kutatás 50 éve a kőolajiparban (GES Kft., Budapest)
- KILÉNYI É., SZABÓ Z. 1985: History and present state of the art of Geophysics in Hungary. *First Break* **3**, 5
- MOLNÁR K. (szerk.) 1972: A felszíni geofizikai kutatás 20 éve a kőolajiparban (Kartográfiai Vállalat, 61669/1972)
- MOLNÁR K. 1982: Felszíni geofizikai módszerek a szénhidrogénkutatásban. MTA X. Oszt. Közleményei, 15
- PETTY O. S. 1976: Seismic reflections, recollections of the formative years of the geophysical exploration industry. *Goesource Inc., Houston*
- RENNER J. 1966: A magyar geofizika története Eötvös Loránd halálától a felszabadulásig. *Magyar Geofizika* **7**, 1
- Szeizmikus Munkaközösség 1963: A magyar szeizmikus kutatás helyzete és feladatai. *Magyar Geofizika* **4**, 3–4
- SZUROVY G. 1993: A kőolaj regénye. Hírlapkiadó Vállalat, Budapest
- VAJK R. 1952: Geophysical exploration of SW Hungary. *Geophysics* **17**, 2

A mélyfúrás geofizika története Magyarországon¹

(avagy „a világszínvonalról a világszínvonalig”)

BARÁTH ISTVÁN², KISS BERTALAN³

A mélyfúrás geofizika történetét 1927-től, az első Schlumberger-szelvényezéstől számítjuk (de újabb adatok szerint már 1869-től!), Magyarországon pedig 1935-től, az első hazai SP&R szelvényezéstől. Kezdetben tehát a hazai mélyfúrás geofizika világszínvonalú volt. Magyar gyártmányú berendezéssel az ELGI 1935–1939 között három alkalommal végzett szelvényezéseket (SP, R, TEL) a Mezőkövesd-1 sz. CH-kutató fúrásban. A hőskort 1935–1954 között számítjuk, az időkavak végére a szakmán kívül álló okok miatt a világszínvonalról elmaradtunk. Az extenzív fejlődés azonban nem állt meg, a következő időkavakban, 1954–1970 között történt meg az analóg mélyfúrás geofizika térhódítása. Az ELGI-ben halaszthatatlanná vált a nem olajipari célú mélyfúrás geofizikai eszközök fejlesztése, de az olajipar is — 1954 után — fokozatosan áttért a hazai gyártmányú berendezések használatára, míg lyukeszkozei vegyesek (hazai, szovjet, NDK-beli stb.) voltak. A vízkutatás fejlődése is töretlen volt a 60-as években és a 70-es évek elején, bár a félautomata berendezések csaknem a 60-as évek végéig üzemeltek. A hetvenes évek végén a Bauxitkutató V. átvette az ELGI-től a karotázs munkák végzését. A NAG szelvényezés fejlesztése érdekében a Bauxitkutató V. hitelesítő kutakat fúrt különböző átmérőkkel s ezek, illetve elméleti számítások segítségével kvantitatív Al-értékelési eljárást dolgoztak ki.

Az extenzív fejlődés intenzívvé válása az 1970–1982 közötti időkavakra tehető, a szelvényezések minőségi fejlődésével és az értelmezések kvantitatívvá válásával. A 70-es évek elején az ELGI-ben a karotázsszállomások családja az új K-600, K-1000 és K-1500-as tagokkal bővült. Az olajipari kutatás-termelés a legkorszerűbb mélyfúrás-geofizikai módszerek alkalmazását igényelte. Ehhez a szükséges műszereket és szoftvert az időkavak végén (1982) vásárlással biztosították. 1982–1992 között a számítástechnika térhódításával kezdődött a mélyfúrás geofizika rendszerré szervezése — a magyarországi digitális korszak. Az 1990-es évek döntő változásokat hoztak a hazai mélyfúrás geofizikában is. Az ELGI-t mint a hazai fejlesztés bázisát két lépcsőben leépítették (1990–1993), de az új körülmények között is szakmai háttér kíván maradni: pl. az országos adatbázis kiépítésével, a radioaktív hulladék-elhelyezés lehetőségének és a földrengés-veszélyeztetettség megismerésének vizsgálatával. Végül az olajipar területén ezen időkavakat a MOL megalakulásától számíthatjuk és a fordulat azt jelenti szakmailag, hogy minden — a világban elérhető — indokolt szelvény mérhető/megrendelhető, így az olajiparban 2000 után megjelentek a XXI. század módszerei (ATSIGN, NMR, MDT, CBIL, FMI, UBI, ...), s ezzel újra visszatértünk a világszínvonalhoz.

I. BARÁTH, B. KISS: The history of well logging in Hungary

The history of well logging is counted from the first measurement of Schlumberger in 1927 (according to more recent data the beginning must be dated to 1869!). In Hungary the first logging of SP&R took place in 1935. At the beginning, the Hungarian well logging was considered being at the word standard. Using Hungarian instruments, ELGI carried out well loggings (SP, R, TEL) three times between 1935–1939, in the Mezőkövesd-1 CH prospecting well. It was our heroic age, between 1935 and 1954, but by the end of this period, through no fault of our own, we were dropped behind. However, the extensive development did not stop, and between 1954 and 1970 the analogue well logging was propagating, and became common. That is why the development of non-oil industry well logging instruments in the ELGI became urgent. However, after 1954, the oil industry switched to using Hungarian made logging stations, while the logging tools were mixed (Hungarian, Soviet, East German etc.). In the 60-ies and at the beginning of 70-ies, the development of water prospecting was continuous as well, though they used the semiautomatic stations by the end of the 60-ies. At the end of the 70-ies, the Bauxite prospecting Co. took over the bauxite well logging from the ELGI. In order to improve the NAG logging, they drilled test wells with different diameters. Using these wells, and theoretical models, they elaborated a quantitative method for Al content determination.

The extensive evolution switched into an intensive period between 1970–1982 with the ever-improving quality of logs and with the beginning of quantitative interpretation. At the beginning of 70-ies, the ELGI widened the family of logging stations with new members, as the K-600, K-1000 and K-1500. For the exploration and production in the oil industry, the most modern well logging methods became necessary; this demand was satisfied by purchase of tools in 1982. Between 1982–1992, as the computers became more common, the well logging started to be organized into complex systems — it was the dawn of our digital age. The 90-ies have brought decisive changes in the Hungarian well logging too. The ELGI, as the base of national development, was cut back in two steps (1990–1993). However, among the new circumstances, it remains the professional background: improving a national database, investigating the possibilities of radioactive waste material disposal, the endangered areas prone to seismic activities, etc. At last, in the oil industry, this new period is reckoned from the establishment of MOL, which has meant a professional turning point as well. From then on, all the necessary and available on earth logging methods can be ordered, so after 2000, in the oil industry, the XXI century logs (ATSIGN, NMR, MDT, CBIL, FMI, UBI, etc.) have become available, resulting in our return to the highest world standards.

¹ Beérkezett: 2004. január 29-én

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

³ MOL Rt., H-5001 Szolnok, Pf. 86

Bevezetés

A mélyfúrás geofizika történetét általában 1927-től az első Schlumberger-szelvényezéstől számítják, de újabb adatok szerint Lord Kelvin (USA) már 1869-ben hőmérsékletszelvényt vett fel.

A másik dilemma — a történet kezdetét illetően — az, hogy a mélyfúrás geofizikai szelvényezés és szelvényértelmezés, valamint a közetfizika (petrofizika) mint szakterület szorosan összekapcsolódik, különösen a kezdeteknél és az utóbbi időben (példa erre, hogy a Log Analysis 2000 óta Petrophysics néven jelenik meg). A közetfizika történetét az általunk is használt és törvénynyé nemesült Darcy-féle összefüggés publikálásától, 1856-tól számítják.

A mélyfúrás geofizika, de döntően a közetfizika is — adatait, információit mélyfúrásokban / kutakban végzett mérésekből, mintavételekből nyeri;

— alapadatai a fúradék- és a magvizsgálatok, valamint a szelvények (log-ok), amelyek egy jellemzője mindig a fúrás/kút mélysége, a másik a mintavétel helye, vagy valamilyen mért fizikai (ellenállás-R; akusztikus-AT; neutronporozitás-PORN; sűrűség-DEN stb.) jellemző;

— kiegészítésként geológiai, termelési, művelési, laboratóriumi mérési adatokat használ;

— a fúrás közben végzett mérések adatait is alkalmazza.

A mélyfúrás geofizika a felszín alatti geológiai képződmények kutatásának, megismerésének, jellemzésének az egyik leghatékonyabb eszköze.

„A világszínvonalról a világszínvonalig” alcím azt kívánja jelezni, hogy a kezdetekkor (1935) közel voltunk, illetve világszínvonalon dolgoztunk és 2003-ban az e szakterületet vezető „világcégek” fontosnak érezték, hogy megjelenjenek a vándorgyűlésünkön. Emellett meg kell emlékezni arról is, hogy az utóbbi öt évben megjelentek a „XXI. század szelvényei”.

Az előbbiekből kiderül, hogy mi — eddig szokásunkhoz híven — 1927-től számítjuk a mélyfúrás geofizika történetét, hazai kezdetét pedig pedig 1935-től, az első magyarországi szelvényezéstől.

1. A mélyfúrás geofizika történetének kezdetei — „világszínvonalon” — a hőskor (1935–1954)

Az első mélyfúrás geofizikai — 1 m-kénti ellenállás-mérést a Schlumberger fivérek végezték (1927. szeptember 5., szénkutató fúrás, Pechelbronn, Franciaország).

Az első magyarországi szelvényezésre (SP+R) 1935. december 21-én került sor a Görgeteg-1 sz. szénhidrogénkutató fúrásban, a mérés 1985 m-től indult, és érdekessége még, hogy az ellenállást logaritmikus skálán regisztrálták (1. ábra).

Az igények indokoltá tették, hogy a Schlumberger cég Nagykanizsán bázist alakítson ki:

— itt volt a Magyar–Amerikai Olajipari Rt. központja is;

— a csoport tevékenysége az egész országra és a határokon túlra is (Erdélyre, Kárpátaljára) kiterjedt;

— költségessége miatt szinte kizárólag CH-kutató fúrásokban voltak szelvényezések.

A szelvényválaszték alakulása — 1935: SP, R₁, 1936: TEL, TEMX, 1937: R₂, golyós perforálás, 1939: oldalfal magminta, 1943: DV + AZ, 1952: rétegdőlés.

Magyar gyártmányú berendezéssel a m. kir. báró Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (továbbiakban ELGI) 1938–39-ben három alkalommal végzett szelvényezéseket (SP, R₁, TEL) a Mezőkövesd-1 sz. CH-kutató fúrásban 790,4 m-es mélységben (2. ábra).

A második világháború alatt és után

— a Schlumberger csoport magyar tagjai eredményesen tudtak dolgozni a cég tulajdonát képező eszközökkel (a külföldi — francia, svájci — állampolgárokat hazaküldték);

— a MAORT-ot államosították (1948);

— a Schlumberger eszközeit 1949–50-ben az államosított olajipar megvásárolta. Megvette az első automata szelvényező berendezést is a hozzá tartozó eszközökkel együtt. Ez az automata berendezés képezte a hazai mélyfúrás-geofizikai műszergyártás alapját, amely a későbbi években jelentős exporthoz vezetett (pl. NDK, Cseh-szlovákia, Kína);

— a MASZOVOL megjelenésével az olajipari mélyfúrás-geofizikai szelvényezéseket a nagykanizsai Schlumberger csoport továbbra is folyamatosan, és az Alföldi csoport (Biharnagybajom 1949, Mezőkövesd 1951) végezte;

— szakmailag érdekes helyzet alakult ki a dunántúli „nyugati technikával felszerelt”, és az alföldi, szovjet eszközökkel ellátott csoportok között;

— a Schlumberger 1940-től használta az automata jelrögzítést, hazánkban ez 1950-ben indult meg a Dunántúlon, míg a Szovjetunióból 1952–55 között érkeztek hasonló berendezések (AKSZ/L-51);

— Archie 1942-ben publikálta az $F=POR^2$, illetve

$$S_w^2 = POR^{-m} \frac{R_w}{R_l}$$
 összefüggést, amellyel megkezdőd-

hetett a mélyfúrás geofizikai szelvények kvantitatív kiértékelése;

— A Schlumberger-automatával végzett mérések elindították az ugyan még kezdetleges kvantitatív értelmezést. Van olyan budafai szelvény, amelyen egyes szintek víztelítettsége (S_w) számszerűen meg van adva;

— a Szovjetunióból ered a vizsgálandó rétegek mélyfúrás-geofizikai minősítési rendszere, amely még közetfizikai-mélyfúrás geofizikai alapokon nyugszik;

— a szelvényválaszték és a minőség lehetővé tette a rétegek korrelációját, valamint a rétegvizsgálatra alkalmas permeabilis, szénhidrogén-gyanús rétegek mélységének kijelölését;

— 1954-ben megszűnt a MASZOLAJ Rt., távoztak a szovjet szakértők.

Az új helyzet 1954-ben azt eredményezte, hogy

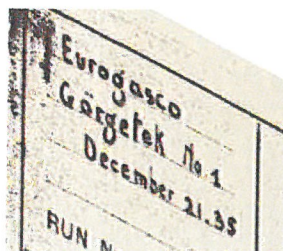
— a kőolajbányászatban a mélyfúrás geofizika teljesen visszatért saját területére (korábban szénkutató fúrásokban is mértek);

— az ELGI jelentős szerepet kapott és vállalt a hazai szilárdásvány- és vízkutatásban.

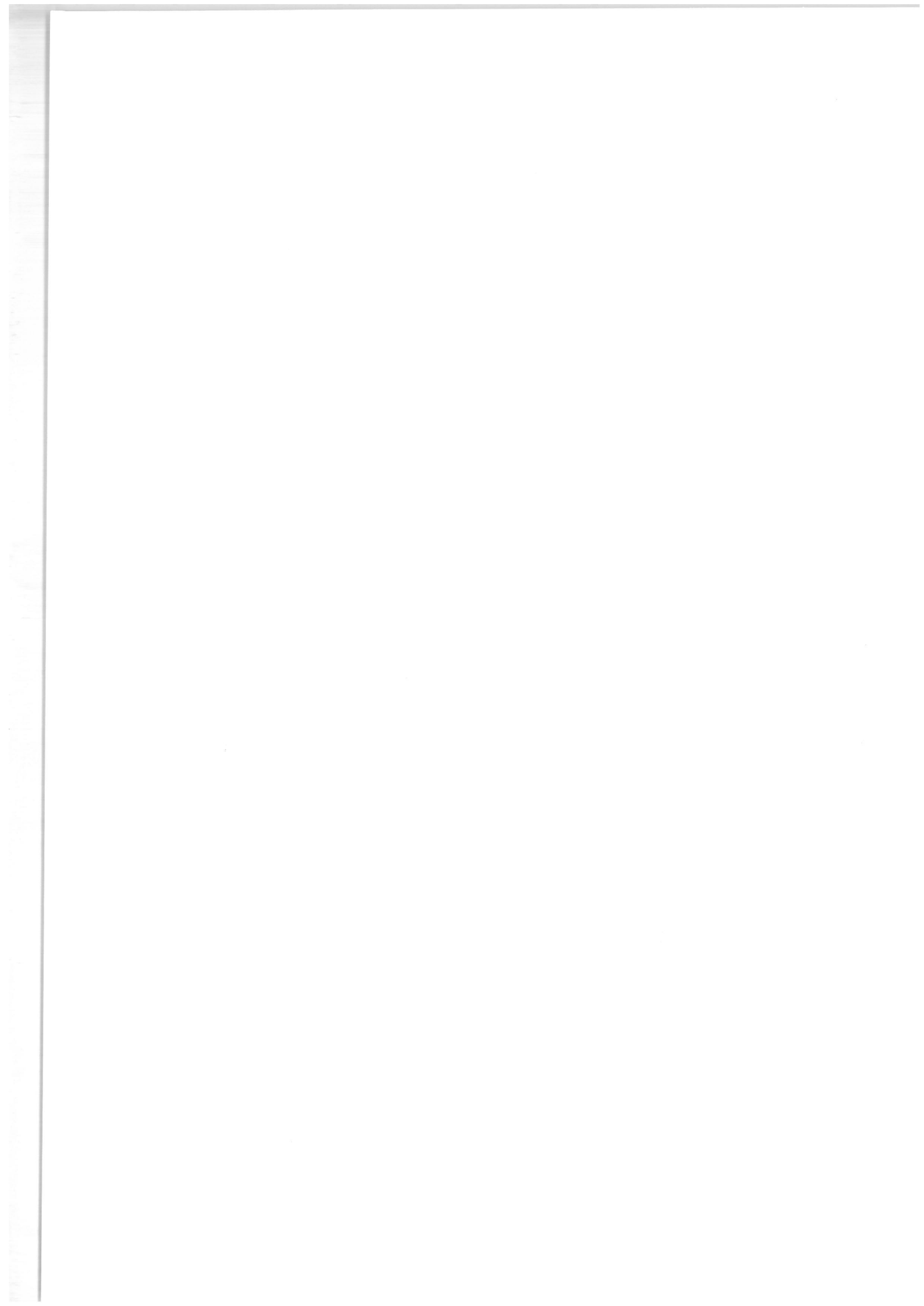


1. ábra. Az első, Magyarországon készült szelvény (Görgeteg-1. sz. fúrás)

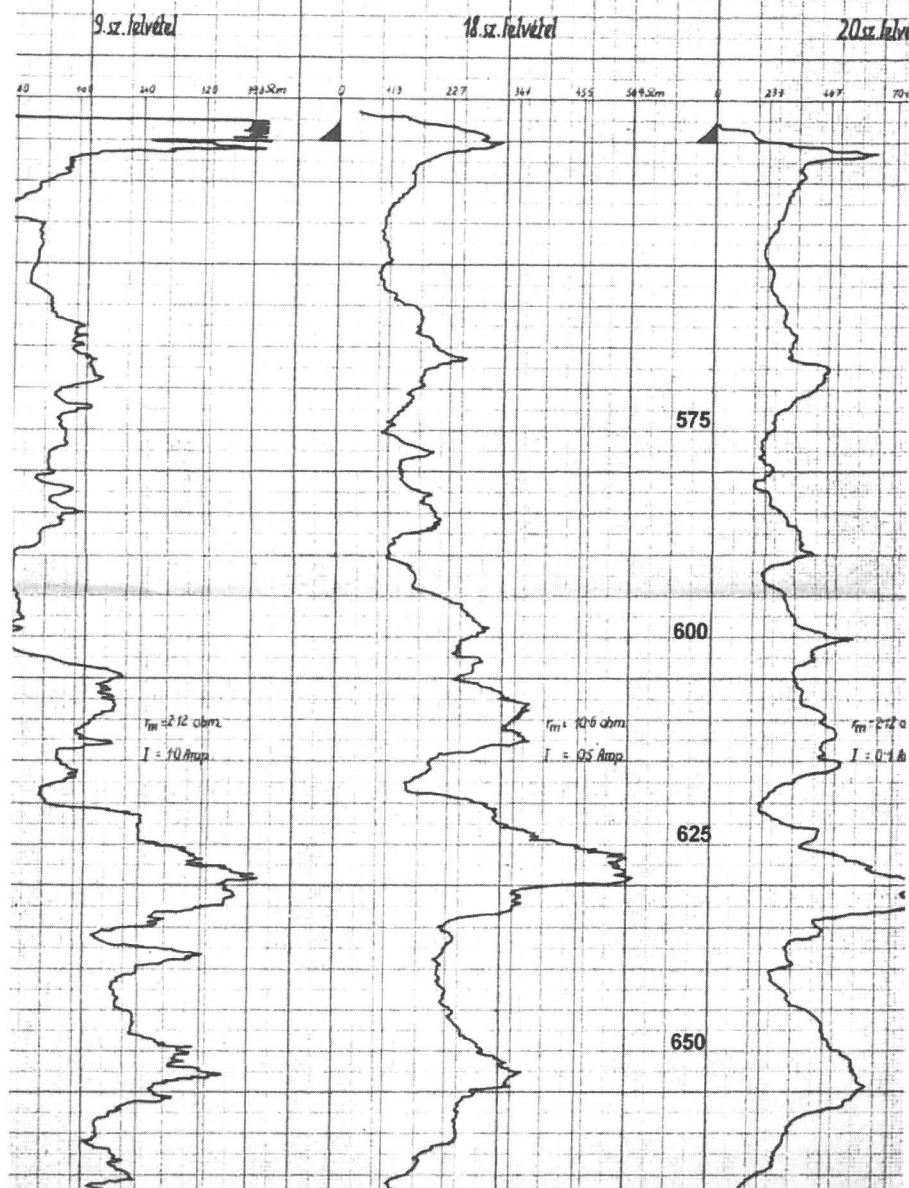
Fig. 1. The first log in Hungary (Görgeteg-1)



(Ezt csak zárójelben — T. L.)



A Mezőkövesd-i I. sz. mélyfúrás 538,5-790,4 m szelvényének elektr. ellenállásváltozásai különböző elektródátávolságokkal készült felvételei.



2. ábra. A Mezőkövesd - I. számú fúrás ellenállásgörbéi [BARÁTH 2001]

Fig. 2. Resistivity logs in the Mezőkövesd - I. borehole [BARÁTH 2001]

2. A mélyfúrás geofizika térhódítása — az analóg korszak (1954–1970)

Az ELGI-ben halaszthatatlanná vált a nem olajipari célú mélyfúrás geofizikai eszközök fejlesztése, mert — a szilárdásvány-kutatásra mélyített fúrások kis átmérőjűek (76 mm) és sekélyek voltak; — a vízkutató fúrások szelvényigénye kisebb volt az olajipariakénál;

— a fejlesztést a Bányászati Aknamélyítő Trösztől átvett (1953) kétszatornás félautomata és egy GMG-s automata berendezésre alapozták, amelyet később a világ számos országába exportáltak.

Az ELGI-fejlesztések sikeresen alkalmazást nyertek — a hódmezővásárhelyi strandfürdő területén (1953. december 1.), amely az első eredményes mérés vízkutató fúrásban;

— szénkutató fúrásokban (pl. Do-T-8, 1954. április 9.), amelyek szükségessé tették csoportok létrehozását Esz-

tergomban (1955 nyara), Komlón (1955 ősze), Miskolcon (1958. november 1.);

A szelvényválaszték is bővült — 1955: TG, 1958: GG, R (A1.95M0.1N és 3.6M0.1N), CAL, DV+AZ, oldalfal magmintavevő (50 mm-es átmérővel), RML. Ezáltal olyan szelvényválaszték állt az értelmezők rendelkezésére, amellyel — megoldható a litológiai tagolás;

— kijelölhető a haszonanyag (kőszén, víz stb.) és meghatározható minőségi paraméterei;

— meghatározható a haszonanyag fedője, fekéje, vastagsága, települési mélysége, valamint részletes felbontása (betelepülések elkülönítése stb.);

— minősíthető a vízáadó réteg szűrőzés szempontjából, valamint vízvédelmi szempontok szerint;

— elvégezhető a geofizikai réteggörbe, amelynek segítségével lehetségessé válik a földtani szerkezet (vetők) és a földtani kor meghatározása is.

Az olajipar 1954 után fokozatosan áttért a hazai gyártmányú szelvényező berendezések használatára, míg a lyukszközök tekintetében vegyes volt a kép:

— az EL-301. típusú (GMG, 1952–54 között) és EL-7000-es elektronikus (1963) szelvényező berendezések kifejlesztése, amelyeket sorozatban gyártottak;

— a lyukszközök vonatkozásában mikrolog (hazai, 1955); TG+NG (szovjet, 1955); LL (hazai, 1960-as évek eleje); rétegdőlésmérő (hazai, 1955); Δt (NDK, 1968, majd SZKFI); kommutatív perforátorok (hazai, 1964); kábelteszter (szovjet, 1969).

A fentiek elősegítették az értelmezés fejlődését is, hiszen — szelvények korrelációja alapján tisztázták a szerkezeti viszonyokat, szintvonalas térképeket szerkesztettek;

— a mélyfúrás-geofizikai értelmezések egyre inkább a rétegvizsgálati tervek alapját képezték;

— a mélyfúrás-geofizikai értelmezés litológiai leírást, jellemzést is tartalmazott;

— a műszaki adatok (lyukferdeség, lyukterfogó, cementpalást-tető és minőség) szolgáltatása egyre rendszeresebbé vált;

— a tároló paraméterek közül — nem rendszeresen ugyan — de már megadták a telepvastagságot, az effektív vastagságot, a fázishatárokat, az effektív porozitást és a víztelítettséget.

Az olajipar területén a 60-as években komoly erőpróbát jelentett a nagy mélységű kutatás, mert nemcsak a mélység, hanem az extrém geotermikus helyzet miatt is bonyolultabbá vált a megoldandó feladat. A hetvenes évek elején kiderült, hogy a kutatás és a termelés igényeit csak a legkorszerűbb mélyfúrás-geofizikai módszerek és eszközök alkalmazásával lehet kielégíteni.

A szénhidrogén-kutatás az 50-es évek végéig főleg a Dunántúlra koncentráldott, majd ezt követően a súlypont fokozatosan az Alföldre tevődött át. Az Alföldön jelentős kutatási eredmények születtek (Tótkomlós, Hajdúszoboszló, Pusztaföldvár, majd később Algyő, Dorozsma, Szeged, Sarkadkeresztúr, Füzesgyarmat). 1959-ben és 1960-ban szelvényező és perforáló csoportok települtek Orosházára, Hajdúszoboszlóra, ill. Szolnokra. A nagymélységű kutatás továbbra is a Dunántúlra koncentráldott (pl. Budafa, Lovászi, Bósárkány, Csesztreg), ahol a hőmérséklet lényegesen magasabbak voltak. Ezért a hetvenes évek második felében jelentős változások következtek be az olajipari szelvényezés területén.

A vízkutatás egyre szélesebb körű alkalmazásával a munkálatok az ELGI-ből a Vízkutató és Fúró Vállalathoz (VIKUV) kerültek át 1959-ben. A fejlődés töretlen volt a 60-as években és a 70-es évek elején is (alkalmazásba kerültek az ELGI fejlesztésű AB12-es típusú hordozható automata mérőműszerek). A félautomata berendezések csaknem a 60-as évek végéig üzemeltek, mert a vízkarotázs árak nem tették lehetővé az új beruházásokat, a szükséges mennyiségű mérésadatgyűjtők megvásárlását. A termálfúrásokban a következő mérési program volt kötelező (9/1973. sz. KFH elnöki utasítás) — bár e mérések részben már korábban gyakorlattá váltak: SP, RPOL, RGR, RML, TG/GR, NG, GG, CAL, DA+AZ, TEBU, TEL, FLOWM. Ezek alapján meghatározták a litológiai viszonyokat, kijelölték a szűrőzés helyét, kútdiagnosztikai vizsgálatokat végeztek, régi kutak vizsgálatával a kútjavításokhoz szükséges információkat szolgáltatottak.

A szénkarotázs 1965. január elsejével az ELGI-ből az Országos Földtani Kutató-Fúró Vállalathoz (OFKFFV) került. 1977-ben a bauxitkutatásban végzett mélyfúrás-geofizikai munkálatok önállósodtak és az ELGI-ből a Bauxitkutató Vállalathoz (BKV) kerültek.

Továbbra is mért az ELGI érckutató fúrásokban (első méréseit 1956-ban Rudabányán, 1957-ben Úrkúton, 1962-ben Recskben végezte). Az érckutatásban elterjedt gyémántkoronájú fúrás (46, ill. 59 mm lyukátmérők) szükségessé tették a 36, ill. 43 mm átmérőjű szondacsatlódók kifejlesztését.

A 60-as évek második felétől alkalmazzák az ELGI K-500-as műszercsaládját, amely akkor korszerű rack rendszerével, megbízhatóságával eredményes volt nemcsak a hazai földtani kutatásban, hanem a környező országokban is, sőt eljutott Indiába és Irakba is. Kisebbsé vált az országban is, sőt eljutott Indiába és Irakba is. Kisebbsé vált az országban is, sőt eljutott Indiába és Irakba is. Kisebbsé vált az országban is, sőt eljutott Indiába és Irakba is.

A hazai uránkutatást a Mecseki Ércbányászati Vállalat Geofizikai Szolgálat végezte. Tevékenységüket titok övezte. A 70-es évektől kezdve nyitottabbá váltak, s a hazai érckutatásba is bekapcsolódtak.

3. A szelvényezések minőségi fejlődésének — analóg-digitális átmenet — időszaka, az értelmezések kvantitatívává válása (1970–1982)

Az olajipar területén az 1970-es évek elején kiderült, hogy a kutatás-termelés igényeit csak a legkorszerűbb mélyfúrás-geofizikai eszközök és módszerek alkalmazásával lehet kielégíteni. Újabb technikai-technológiai feladatok igénye jelentkezett:

— a kalibrált mérések, a technológizált szelvényezések és a feladat-orientált szelvényezési programok gyakorlattá szervezésén túl igényként merült fel a nagymélységű fúrások szelvényezése;

— az EL-7000-es elektronikus szelvényező berendezések előkészítése nagy nyomásra és hőmérsékletre (Hód-I. 5750 m, 212 °C, 805 bar, karotázs tesztelés 4995 m-ben, rétegmegnyitás 4990 m-ben);

— eredményes radioaktív mérés a Bó-1 sz. fúrásban 243 °C talphőmérsékleten;

- 1973-ban Szolnokon üzembe állították a szondavizsgáló állomást (150 MPa, 250 °C);
- ugyancsak 1973-ban elkezdődött a kiértékelés gépesítése (szelvénytáblázat — számítás — eredménytáblázat);
- 1974-ben magyar (nagykanizsai) csoport végezte a legmélyebb csehszlovákiai fúrás szelvényezését (Laksarska N.V.-7), 5756 m, 140 °C;
- 1977-ben a Dresser Atlastól használt IL, DEN, a Gearhart Owen-től PL-t és lyukeszközöket (TEL, PR, flow-meterek, CBL stb.) vásároltak.
- a robbanóanyagok fejlesztése eredményesebb volt a hőálló robbantólánc kis keresztmetszetű béléscsőben történő alkalmazása és az iker-perforátorok tekintetében;
- a mélyfúrás geofizika szerkezetileg is megerősödött (főosztály – 3 osztály, 1 üzem – 3 telephely);
- az időszak végére nyomasztó igény volt a szakterülettel szemben a minőség és a megfelelő szelvényválaszték biztosítása, ezt támasztotta alá a petrofizikusok által kidolgozott integrált CH-kutatás és -termelés módszertana (1980), amelyben kulcsszerephez jutott a mélyfúrás geofizika mint egyik fő szakterület;
- 1976-ra a kiértékelés gépesítése ott tartott, hogy a képletek és állandók a számítógépben voltak és papírcsíkokra nyomtatták az eredményeket;
- az 1980-ban már pontonkénti feldolgozás volt digitalizált adatokon (adat—program—eredmény-lyukszalagok).

A 70-es évek elején az ELGI-ben a mélyfúrás-geofizikai állomások családja a K-600, K-1000 és K-1500-as új tagokkal bővült. A természetes gamma spektrális változatának fejlesztése eredményesen végződött, és alkalmazni kezdték a műszereket a köszenkutatásban. Így lehetőség nyílt arra is, hogy a nagy aktivitású köszen és a lignit (általában inaktív) anomáliáinak összetevőit is megvizsgálják (Tatabánya, Mány stb.), valamint a bauxitkutatásban is alkalmazták genetikai kérdések vizsgálatára, miután in situ mérték a K^{40} mellett az U és Th aktivitását is.

Az 1974 végéig kifejlesztett analóg berendezések kisebb változtatásokkal mind a mai napig használatban vannak itthon és külföldön egyaránt.

Az ELGI 1974-től eredményesen alkalmazta és értékesítette a K-3000-es digitális karotázsállomást, amely 3000 m mélységig szelvényezett. 1976-ban fejezte be az ELGI a sekély fúrások (kőszen, érc, víz) karotálására szolgáló, terepi digitalizálással rendelkező kisberendezés (KD-10) kifejlesztését. Ezt a műszert a hazai szükségletek kielégítésén túl elég nagy számban külföldön is értékesítették. 1979-ben az ELGI létrehozta a számítógéppel vezérelt karotázsállomást (INTERGEOTECHNIKA nemzetközi program), amely stabil, igen jó berendezés volt. Szovjet eladásra is került, de mégsem terjedt el, mert a számítógép szériadarabjai elég megbízhatatlannak bizonyultak. Ezért 1984-re az ELGI kifejlesztette a mikroprocesszoros KD-80-as (MOLE) karotázsállomást, amelyből több példányt értékesítettek, s amelyek még ma is eredményes működnek (Geo-Log Kft.).

A digitális rendszerek adathordozói igen nagy fejlődésen mentek keresztül. Az analóg regisztrálók is változatosak voltak, valamennyit az ELGI fejlesztette ki. Ezekből az olajiparba is kerültek. Lehetőség volt nyomtatók csatlakoztatására és megjelent a diszkes adatrögzítés is.

A lyukműszerek területén a teljes ELGI-szondakészlet megjelent:

- a 70-es évek végére kifejlesztették a kompenzált gamma-gamma, kompenzált neutron-neutron szondákat;
- a 80-as évek elején elkészült a kis átmérőjű indukciós szonda és a kis átmérőjű akusztikus szonda (a magyar-szovjet együttműködés termékei);
- ugyancsak a 80-as évek második felére elkészült a háromelektródás (guard) laterolog szonda és a gerjesztett potenciál szonda.

Az eszközök átmérője szabványosított (36, 43, 76, 86 mm), hőtűrésük 70, 120, 150, 200 °C, amelyek közül néhányat az olajiparban is felhasználtak mind a nyitott, mind pedig a béléscsővezetett fúrásokban. Az ELGI szondaparkját (1. táblázat) mind itthon, mind a volt szocialista országokban, valamint jó néhány egyéb országban is használják, de korlátozott mértékben az olajipar is. A szondák különböző átmérői és hőtűrése azt mutatja, hogy mind a szilárd hasznos ásvány (szén, lignit, bauxit, érc), mind a víz és olaj kutatásához rendelkezünk hazai fejlesztésű szondákkal. Az eredményesen működő kft.-k (Geo-Log, Geo-Genesis, Geoservice, Karotázs) ma is ezekkel az eszközökkel dolgoznak.

Az ELGI olajipari célú eszközfejlesztésében jelentős szerepet játszott az akkor már az olajipari mélyfúrás geofizikában meglévő fejlett nyugati eszközök ismerete. Erre az időszakra tehető a Magyar Kútgeofizikai Metrológiai Bázis létrehozása, jelentős bővülése. Az ELGI-ben a hatvanas évek elején kezdődött a Modellbázis létrehozása, amely később az olajipar (OKGT) és Gamma Művek támogatásával Magyar Kútgeofizikai Metrológiai Bázissá fejlődött. Ma tehát lehetőség van természetes gamma és spektrális gamma szondák hitelesítésére, gamma-gamma modellezésére és sűrűségekre való hitelesítésre homokkő, mészkő és szén mátrix figyelembevételével, neutron-neutron szondák modellezésére, neutron-porozitás meghatározására és hitelesítésére különböző kőzetmátrix, illetve lyukátmérő esetén, M=1:1 méretarányban (3. ábra). A kifejlesztett saját eszközöket az ELGI módszertani segédlettel látta el.

Bauxit modellsorral rendelkezett a BKV geofizikai szolgálata is, melyek az Al_2O_3 meghatározását segítették fúrólyukakban.

A számítógépes feldolgozás elősegítésére a hatvanas évek végére az ELGI kifejlesztette a KAD típusú asztali digitalizálót, majd a hetvenes évek közepén tökéletesítette. Az ELGI-ben a feldolgozás háttérét biztosító központi számítógépek a Minszk-2, Minszk-32, ESZ-35, ESZ-55 és IBM voltak ebben az időben. A 80-as évek végén nagy számban jelentek meg az IBM-kompatibilis személyi számítógépek az ELGI-ben, többek között mélyfúrás-geofizikai minicentrum szerepkörben is. Ezekre készült el a COAL-1 és WATER-1 feldolgozó programcsomag.

A mérő- és feldolgozóeszközök fejlődésével lehetővé vált a rétegfizikai paraméterek meghatározásán túl a kőszenek minőségi paramétereinek meghatározása. Ezek a paraméterek a következők: sűrűség, fűtőérték, hamutartalom, víztartalom; rugalmassági paraméterek: Poisson-szám, Young-modulus, nyírési modulus stb., ez utóbbiak a szén fedő és fektő rétegeire vonatkozóan különösen fontosak. Lehetővé vált továbbá a hidrológiai fontos rétegek tanulmányozása, a területi réteggörreláció és a sztratigráfiai kérdések tisztázása.

1. táblázat

		Mért paraméterek			
Alkalmazás	Mérnökgeofizika	•	•		
	Szénhidrogén-kutatás	•	•		
	Uránkutatás	•	•		
	Bauxitkutatás	•	•		
	Érckutatás	•	•		
	Vizkutatás	•	•		
	Szénkutatás	•	•		
	Kutatás	•	•		
	Szelvények	Karmantyulokátor		◆	
		Aramlásmérés			
		Folyadéksűrűség			
		Iszapellenállás			
		Lyukferdeség		◆	
		Hőmérséklet		◆	
		Lyukátmérő		◆	
		Röntgen radiometria		◆	
		Szelektív gamma-gamma			
		Neutron aktiváció		◆	
		Kompenzált n-n		◆	
		Neutron-neutron		◆	
Neutron-gamma			◆		
Kompenzált g-g			◆		
Gamma-gamma			◆		
Spektrális term. gamma			◆		
Természetes gamma			◆		
Akusztkikus			◆		
Gerjesztett polarizáció			◆		
Mágneses szuszceptibilitás			◆		
Indukciós		◆			
Fokuszált fajt. ellenállás		◆			
Mikro-fajlagos ellenállás		◆			
Fajlagos ellenállás		◆			
SP		◆	◆		
Szondatípus	Tipus				
	Paraméter				
	Hőmérsékl.				
	Átmérő				
	Egyéb				
	2N4		43 – 60		
	kábeliszondák		43 – 60		
	MS1		43 – 60		
	KLLS4	120	43 – 60		
	4FV40		43 – 60		
	MG23250		43		
	GM25060		43		
	KIP	2	80	43 – 60	
	KAS	2		43	
	KRGU	2	50	36	SY
	KRGE	1	80 – 175	43 – 76	S
	KRG	2	80 – 120	36 – 60	SY
	KRGG	2	80 – 150	43 – 85	SY
	KRGGC	3	80 – 175	43 – 85	SMY
	KRGN	2	80 – 150	36 – 85	SHY
KRNN	2	120	43 – 85	HY	
KRGNN	3	80 – 200	43 – 85	SHY	
KsGC	2	80	43	SMY	
KRG	2	50	43	XY	
KRGE	1	50	36 – 43	X	
KCT	2	120 – 150	36 – 43	MY	
KGC	2	80	36 – 43	SMY	
MI-30					
FKF-PRSR		60	43		
KRGFD	2	150	43	SY	
FL			36 – 43		
KL	1	150	36 – 85		

1. táblázat. A jelmagyarázatot ld. a következő oldalon

K	R	GNN	3	120	43	SHY
Fúróluk szelvényezés (karotázs)	A szondában lévő radioaktív izotóp jelzése (kombinált szondáknál nincs jelölve)	Az egyidejűleg mért paraméterek jelölése: G–Gamma N–Neutron L–Fokuszált ellenállás A–Akusztikus GU–Uránkutató GE–Energiaszelektív sG–Szelektív gamma-gamma C–Lyukátmérő T–Hőmérséklet L–Karmantyúlokátor	Az egyidejűleg mért paraméterek száma	A maximális üzemi hőmérséklet °C	A szonda külső átmérője	Különleges jelölések: S–szcintillációs detektor H–Hélium töltésű proporcionális neutrondetektor P–„pados” detektor D–Dewar-edény alkalmazása M–Motoros működésű átmérőmérés Y–Holtidő- és koincidencia-független rendszer

Jelmagyarázat az 1. táblázathoz. Alkalmazott szondaátmérők: 36, 43, 60, 76, 85 mm;
a szondák hőmérséklettűrése: 50, 80, 120, 150, 175, 200 °C

4. A mélyfúrás geofizika rendszerre szervezése — a digitális korszak (1982–1992)

A hetvenes évek közepétől a *kőolaj*- és a *kőszén* kutatás erőteljes fejlesztése hatással volt a mélyfúrás geofizika fejlesztésére is. A *kőolaj* kutatása az idősebb korú képződmények felé fordult, így a nehezebb körülmények (nagy mélység, extrém hőmérséklet és nyomás), összetett (kettős porozitású és bonyolult összetételű) kőzetek (pl. metamorfitek) miatt szükség volt

- a megfelelő technikai háttérre (komplett szelvényező berendezés analóg és digitális felvételi lehetőségekkel, a szondavonatok módosítási segédletekkel láttuk el);
- valamint feldolgozó szoftverre és hardverre (bár ezek ekkor még alapvető igényként nem jelentkeztek).

A hazai fejlesztő kapacitás és ipari háttér nem volt elégséges, ezért magasabb szinten döntés született (1978. április) egy *korszerű, komplett szelvényező berendezés* beszerzésére. A berendezés hosszú idő után, 1982. áprilisában érkezett a Dresser Atlastól a megfelelő lyukszközökkel: nagy hőmérséklet- és nyomás-tűrésű szondák (200 °C, 20 kbar), de hangsúlyosan nem volt „igény” a szelvényfeldolgozó és kiértékelő szoftverekre (ezért csak később — 1986-került sor ezek megvásárlására). Az 1980-as évek végén már évi 2–2,5 millió méter szelvény készült és megvásároltuk a Well Data System (Dresser Atlas) szelvényfeldolgozó és kiértékelő szoftverét a szükséges hardverekkel (egyesegek COCOM-listások voltak).

1982 és 1987 között

- a szelvényfeldolgozást, értelmezést saját fejlesztésű szoftverrel oldottuk meg (Karotage Interpreter SubSystem — KISS, 1982-ben fejeződött be a tesztelése, 4. ábra). A mélyfúrás-geofizikai szelvényértelmezés eredményesen szolgálta a szénhidrogén-kutatási-termelési feladatok megoldását;
- a rétegmegnyitás nagy hőállóságú (200 °C) robbantóláncok, termelőcsövön keresztül lebocsátható perforátorok létrehozásában és a perforátorok teljesítményének növelésében nyilvánult meg.

Nem lenne teljes az olajipari mélyfúrás geofizika története a Schlumberger cég által végzett bérmerések említése nélkül, amelyeket részben egyes területek kulcsfúrásai,

részben extrém mérési körülmények miatt vett igénybe az olajipar.

Az ELGI-ben a digitális rendszerek igen nagy fejlődésen mentek keresztül:

— ekkora ért be a KD-10 terepi digitalizálóval ellátott kisberendezés és a számítógéppel vezérelt karotázs-állomás, majd a KD-80 (MOLE) mérésadatgyűjtő;

— a lyukműszerek vonatkozásában kompenzált neutron-neutron és kompenzált gamma-gamma (sűrűség), fluidum sűrűség stb. alkalmazására került sor.

Más hazai fejlesztőhelyeken (SZKFI, GAMMA) az akusztikus és a laterolog mérőrendszereket vezették be.

A perforátorok tekintetében a nagy hőmérséklet-tűrésűekre volt igény (200–300 °C), elsősorban az Al-földön.

A szelvények kiértékelése terén is jelentős változások történtek az 1970-es évek közepétől kezdődően:

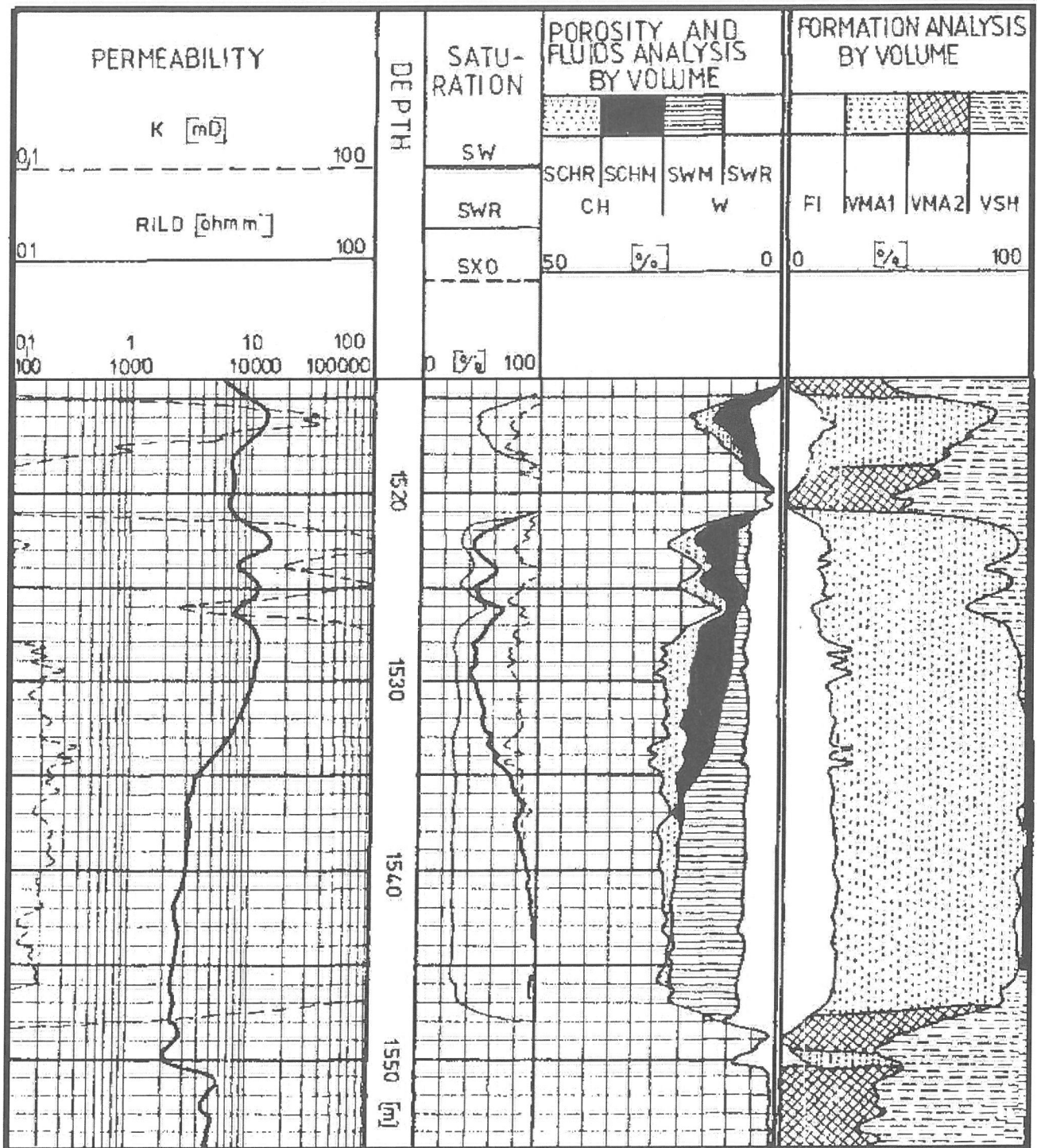
a) A *nyitott lyukszelvények területén* a számítógépes szelvényfeldolgozás kisszámítógépen kezdődött 1974 körül, majd a KÉR (Karotázs Értelmezési Rendszer) kifejlesztésével folytatódott. A KISS-t TPA-70-es gépre 1983-ra fejlesztették ki a Kőolajkutató Vállalatnál, majd az IBM PC-re 1988-ra. A KfV és SZKFI 1987-ben szoftvert vásárolt (Petroleum Computing INC. PCI USA, Dallas). Bonyolult litológiai tárolók elemzésére az ELGI-ben kidolgozták a Comwell-B.R. értelmezési rendszert. A szocialista országok olajipari szelvényfeldolgozó rendszere, az ASZOIGISZ is alkalmazásra került néhány esetben. A Kőolajkutató V.-nál 1988-ban helyezték üzembe az új számítóközpontot (Perkin Elmer — PE — számítógéppel, IBM PC terminálokkal és megfelelő perifériákkal), főként Western Atlas szoftverekkel. A számítóközpont — a karotázs kiértékelésen túl — alkalmas volt geológiai metszet és térképrajzolás céljára, valamint fúrás és gazdasági feladatok megoldására is.

b) A *kútgeofizikai és termelés-geofizikai mérések értelmezése* az alábbi fő területekre terjed ki: a gáz–folyadék fázishatár és gáztelítettség meghatározása; besajtolási profil megállapítása; termelési profil és termelvény összetétel meghatározása; kútproblémák felderítése és felszámolása; bonyolult felépítésű tárolók egyes tároló-

paramétereinek pontosabb meghatározása (kutatási feladatok).

- c) A vízszintes fúrások szelvényezése és kiértékelése új kihívásként jelentkezett az 1990-es évek elején (5. ábra). Magyarországon az első vízszintes fúrás 1989-ben mélyült, amelyben szelvényezés nem volt, az első algyői (AI-34) pedig 1993-ban, amelynek víz-

szintes hossza a tárolóban 300 m. A termelékenység átlagosan 10-szeresére, majd néhány hónap után 4-8-szorosára nőtt. A vízszintes fúrások alkalmazásának célja a produktivitás javítása, a művelési idő (töke-megtérülés) lerövidítése, a kizozatal növelése (lefűződött szakaszok) és a gázkúp-, illetve vízkúp-képződés mérséklése volt.

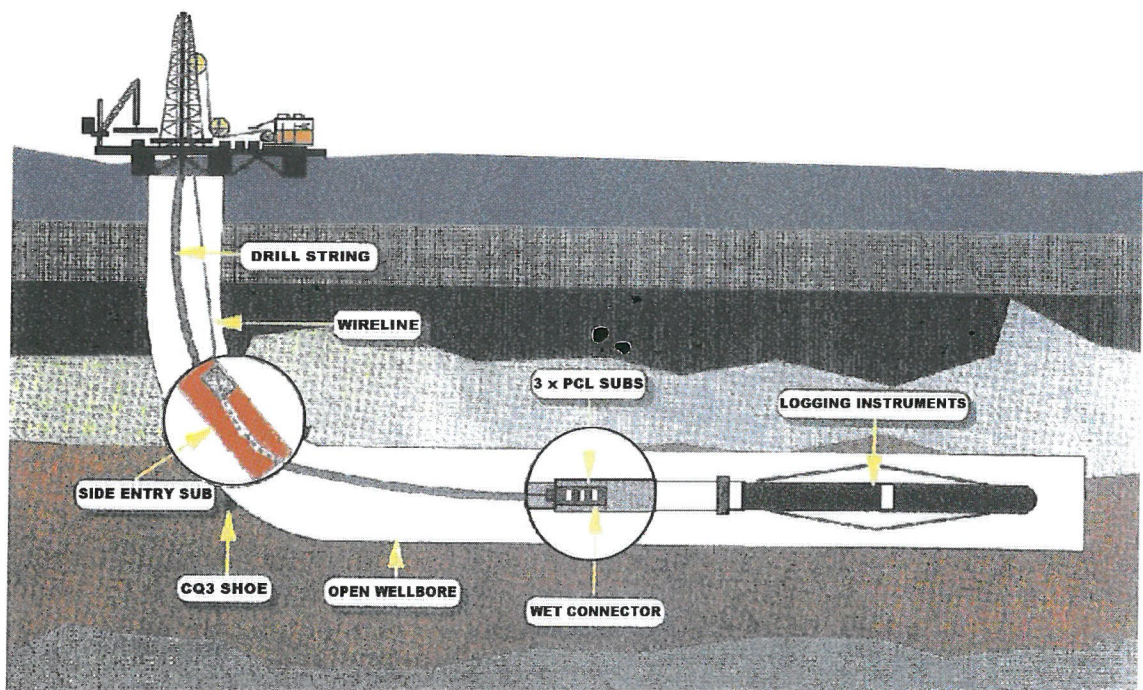


4. ábra. Az első hazai szelvényfeldolgozó program — KISS (Karotage Interpreter SubSystems)

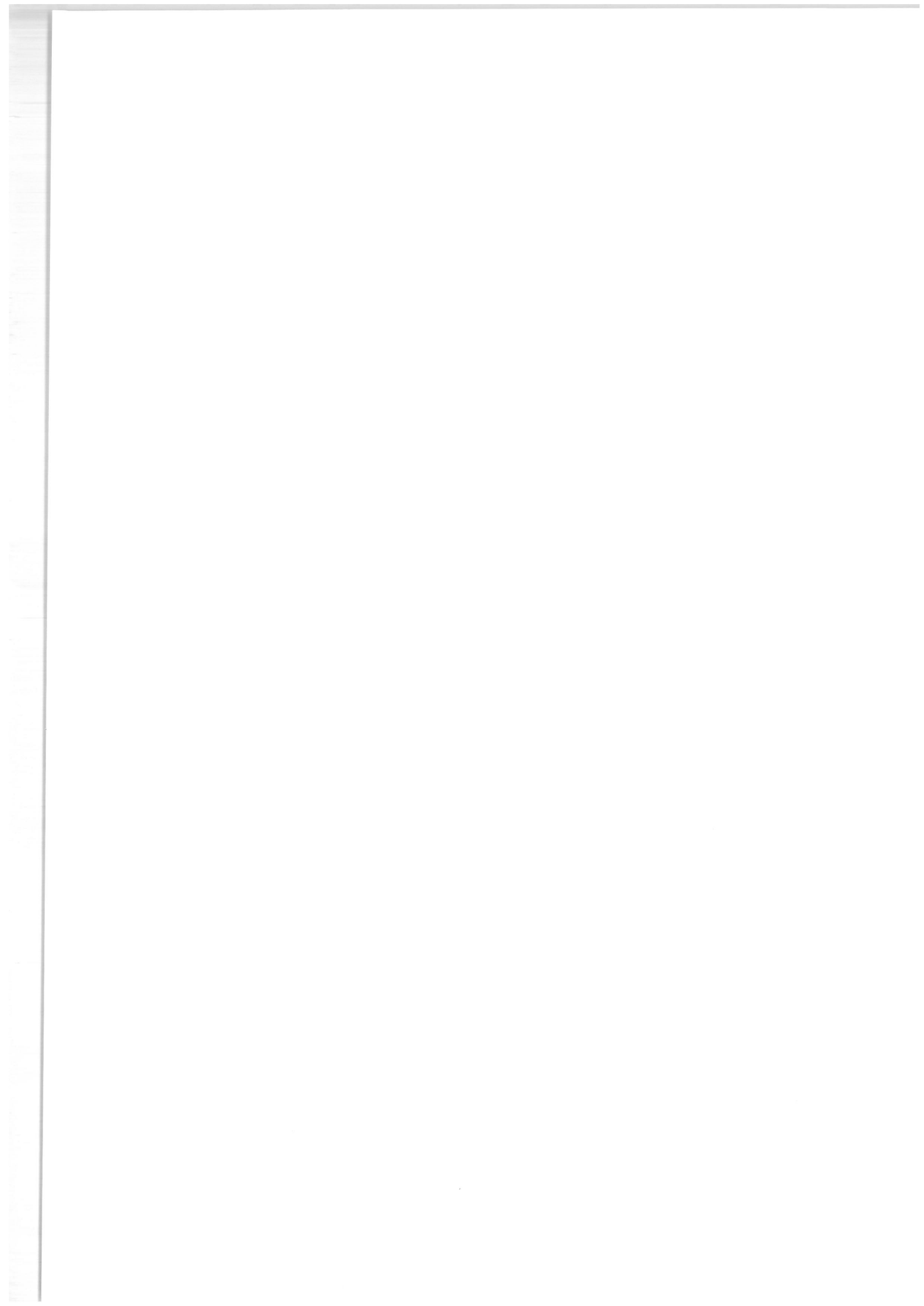
Fig. 4. The first Hungarian log evaluation software — KISS (Karotage Interpreter SubSystems)

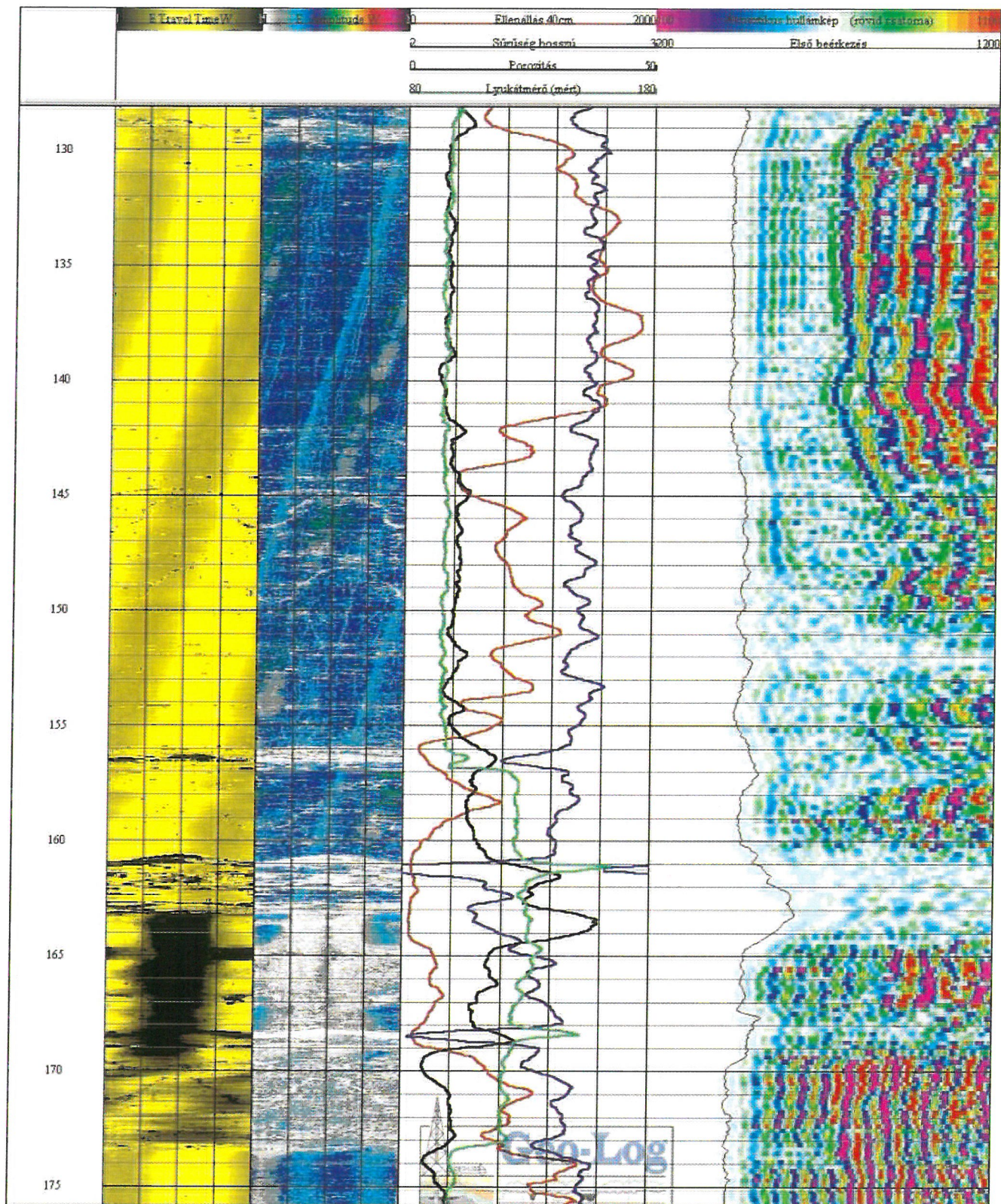


3. ábra. Magyar Kútgeofizikai Metrológiai Bázis
 Fig. 3. Hungarian Metrological Base for Well-logging



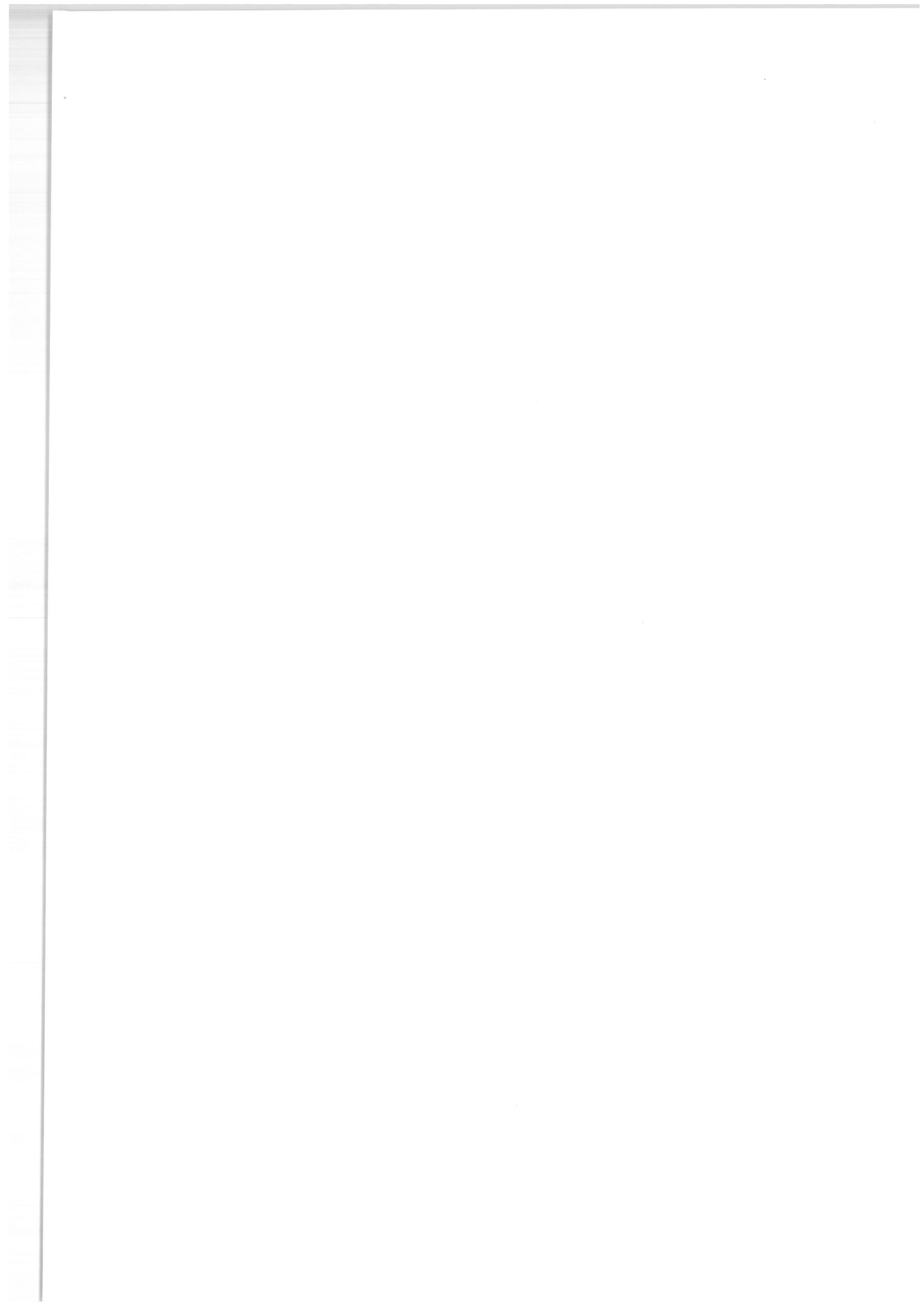
5. ábra. Vízszintes fúrások szelvényezése
 Fig. 5. Logging of horizontal wells

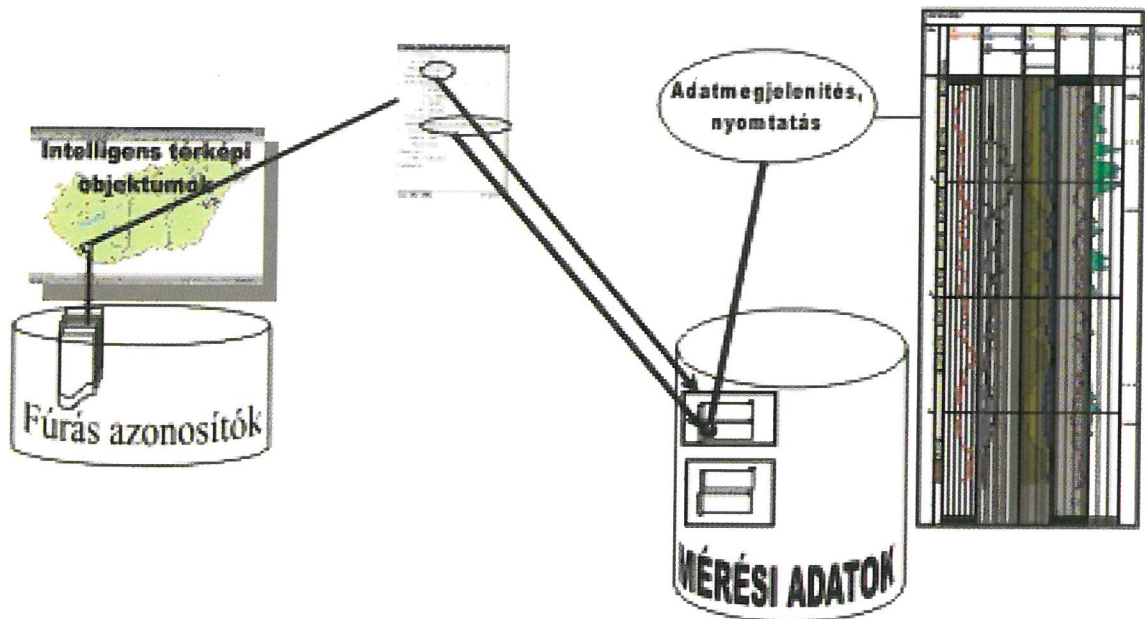




6. ábra. Akusztikus hullámkép és lyuktelevíziós mérés összehasonlítása

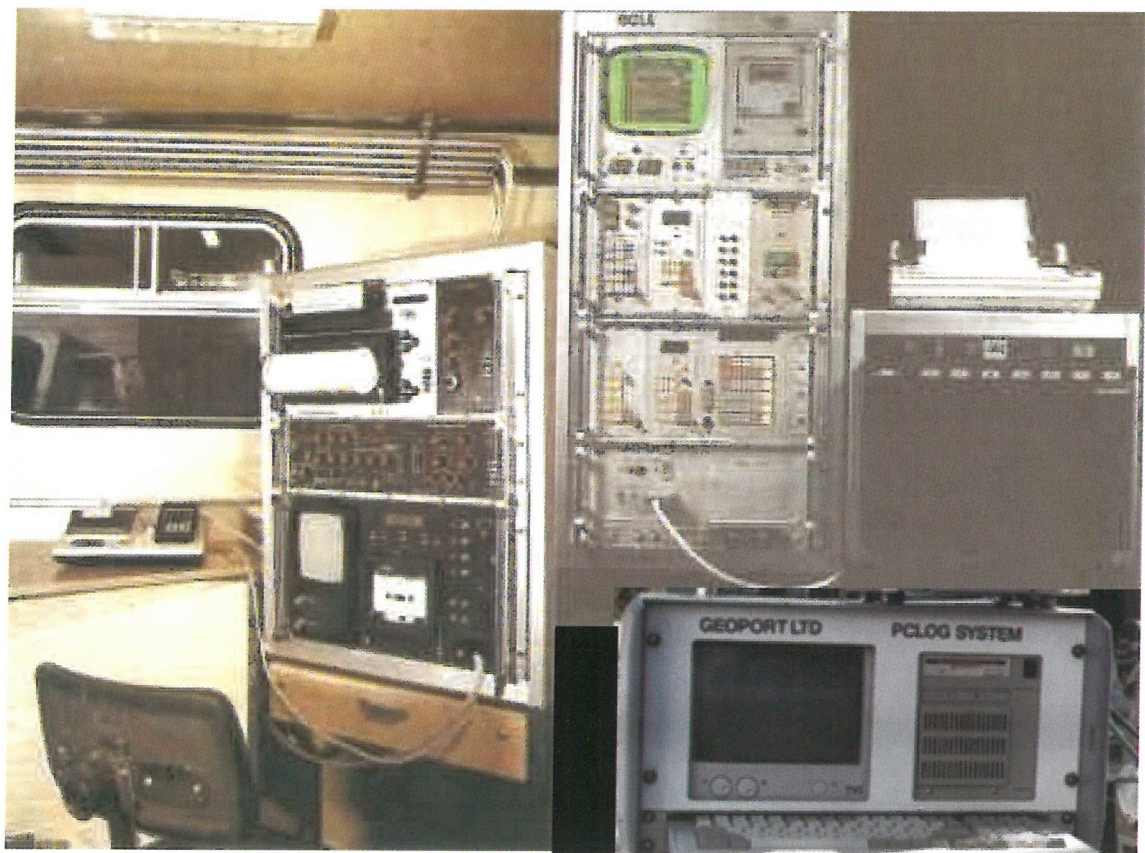
Fig. 6. Comparison of full wave sonic to borehole TV logs





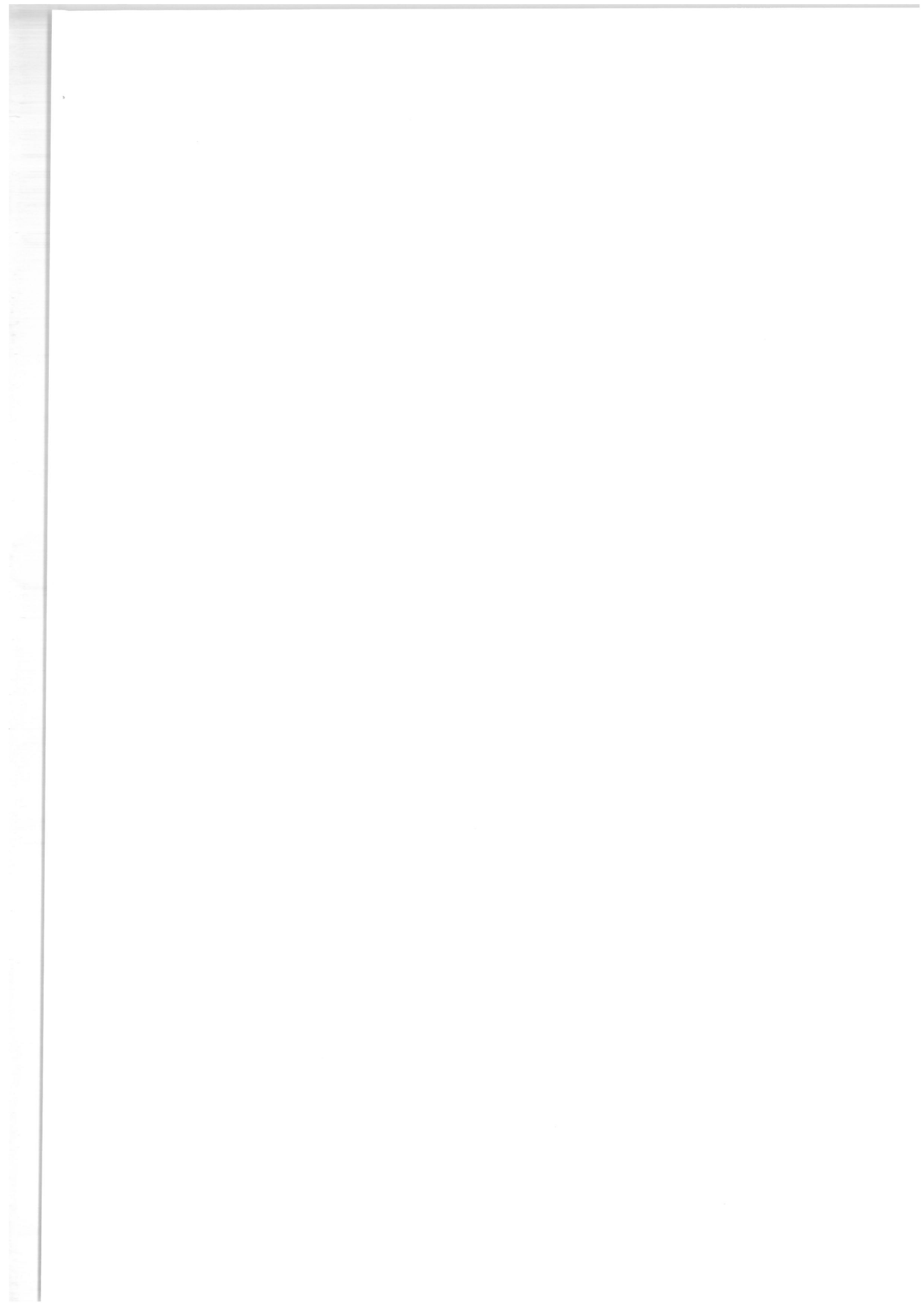
7. ábra. Mélyfúrás-geofizikai adatbázis (ELGI)

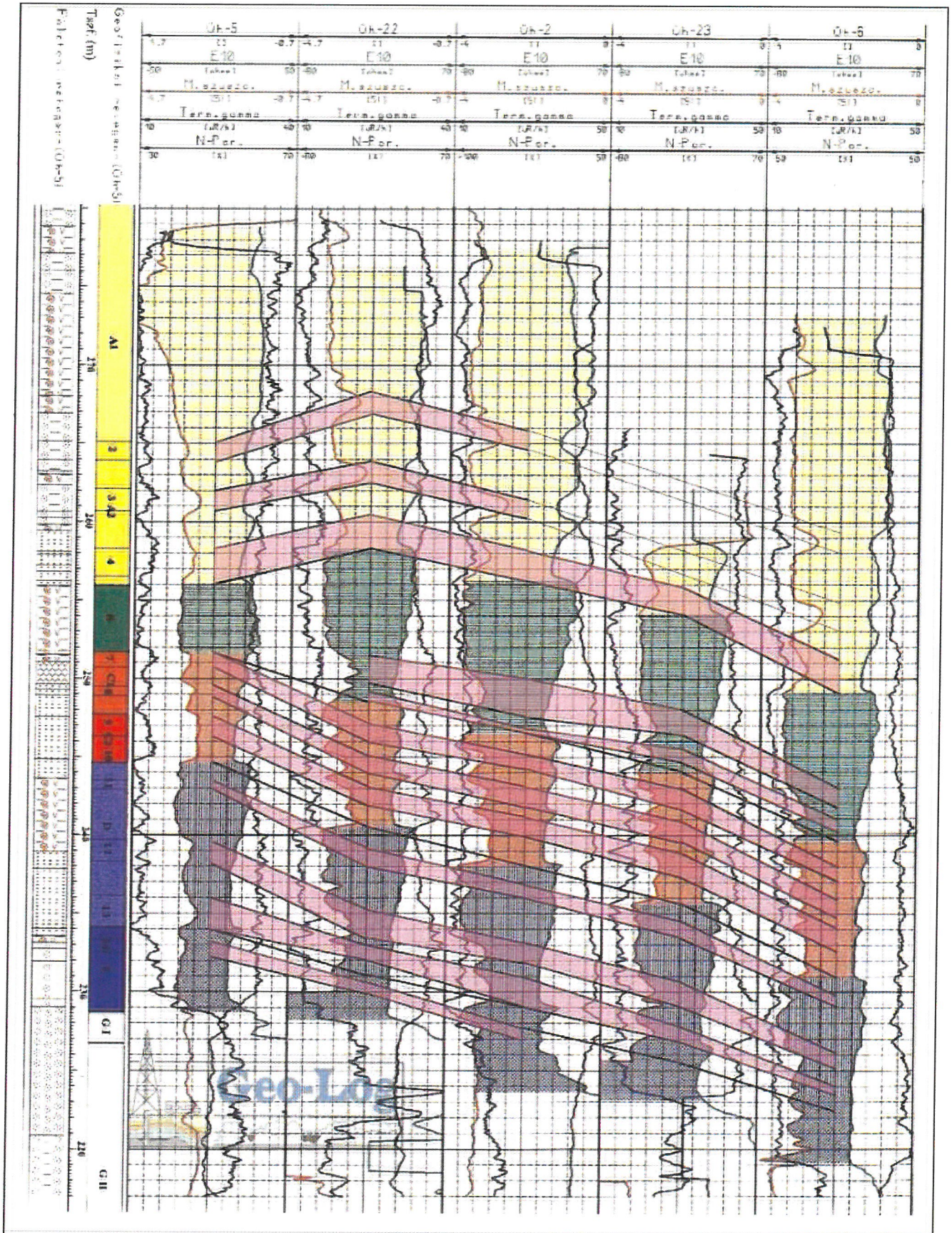
Fig. 7. Well logging data base of ELGI



8. ábra. Korszakváltó mélyfúrás-geofizikai felszíni műszerek

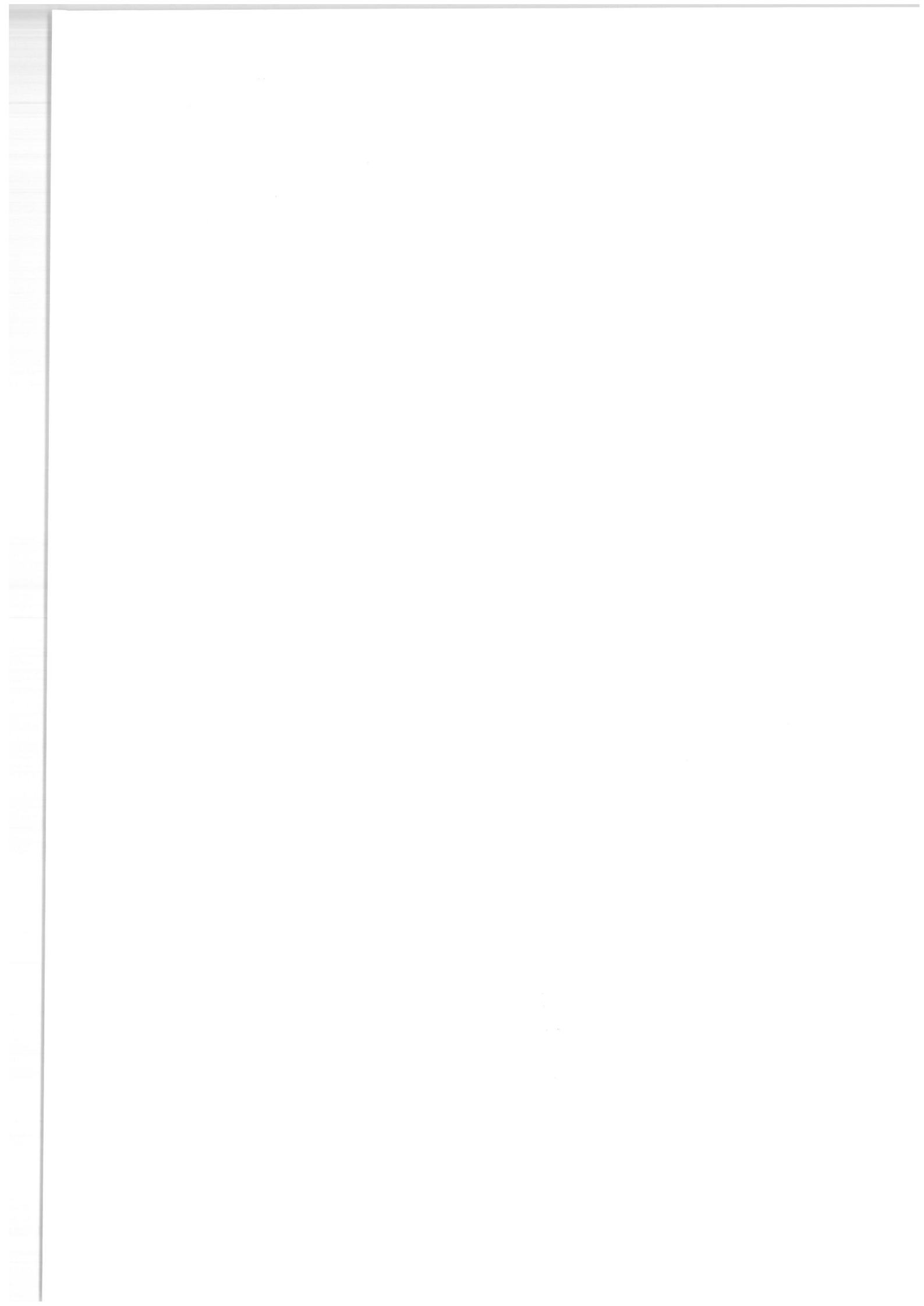
Fig. 8. Epoch-changing well logging units

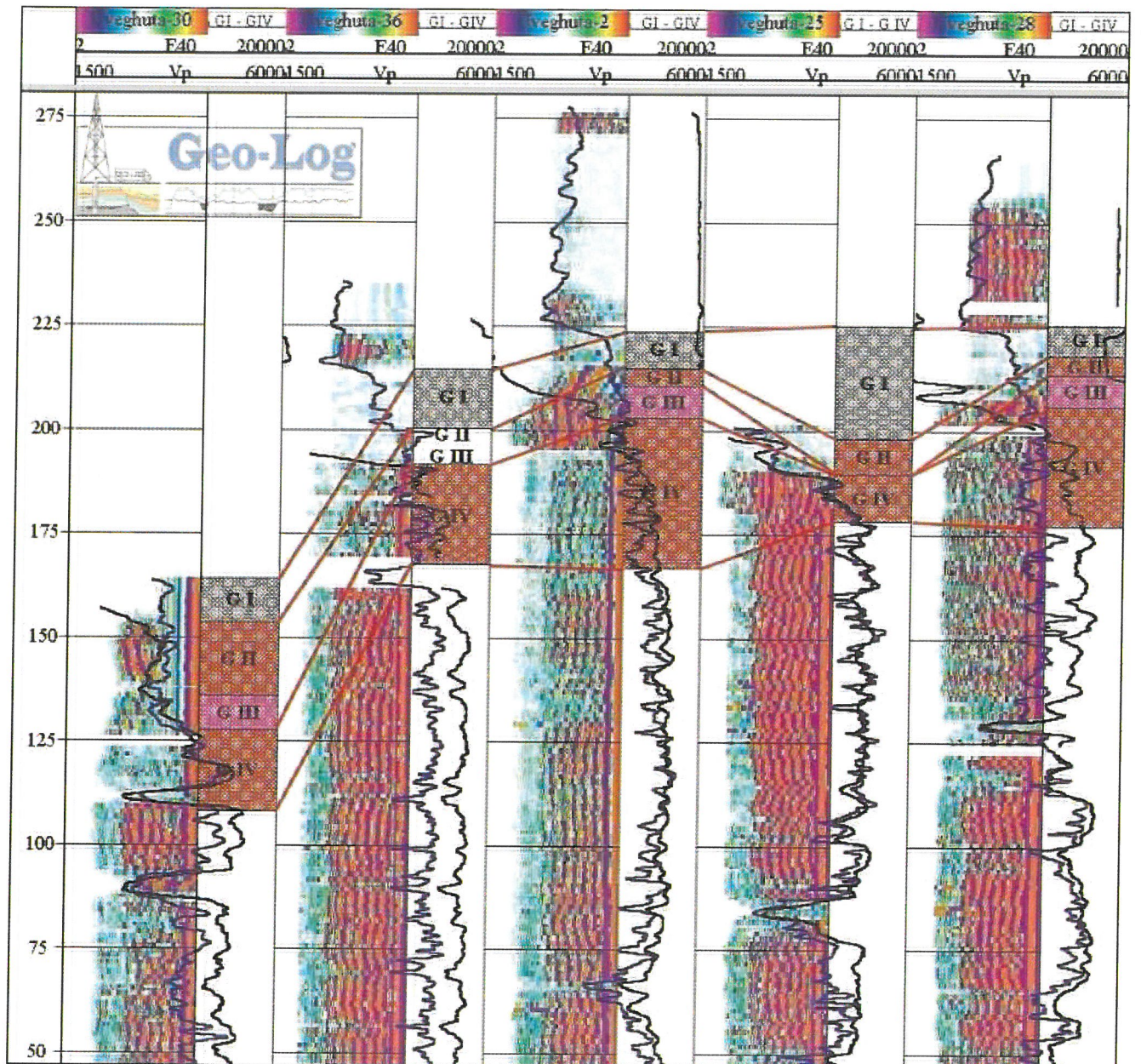




9. ábra. Korreláció löszben

Fig. 9. Cross section in loess

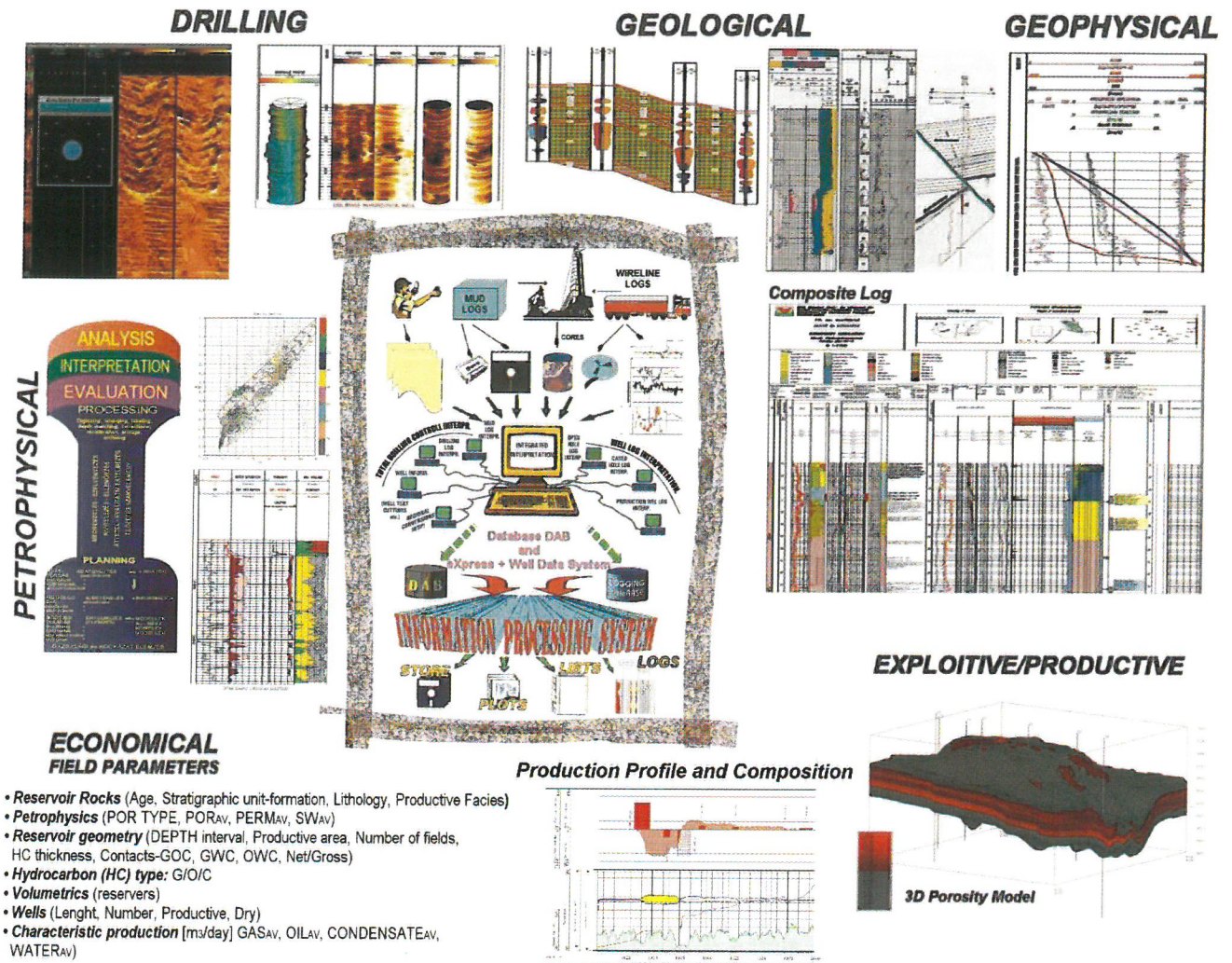




10. ábra. A radioaktív hulladék elhelyezés lehetőségének vizsgálata (a gránit mállási kéreg övezetei)

Fig. 10. Radioactive waste disposal site exploration (zones of the weathering crust of the granite)





11. ábra. Petrofizikai (közvetfizikai) dokumentációk

Fig. 11. Petrophysical documentations



5. A fordulat/a nagy változások időszaka — „újra világszínvonalon” (1992–2003)

Ezen időszak előkészítésének is tekinthetjük az 1990. október 22–26. között Budapesten megrendezett „The Thirteenth European Formation Evaluation Symposium”-ot.

Az 1990-es évek döntő változásokat hoztak a hazai mélyfúrás geofizikában is.

Az ELGI-t mint a hazai fejlesztés bázisát két lépcsőben leépítették (1990–1993), de az új körülmények között is — az állami feladatok mellett — szakmai háttérre kívánt lenni a kis egységeknek, a magánvállalkozásoknak:

- a víz és a szilárd hasznos ásvány mélyfúrás geofizikai munkálataira kft.-k alakultak (Geo-Log, Geo-Genesis, Geoservice, Karotázs stb.), amelyek az ELGI-műszerekkel dolgoznak, kiegészítve a teljes akusztikus hullámkép (V_p , V_s , V_{st}) felvételére alkalmas 3 és 4 elemes lyukműszerrel (AHK-val) és lyuktelevízióval (BHTV) (6. ábra);
- a csökkenő mértékű nyersanyagkutatás (ivóvíz, lignit, építőanyag) mellett egyre gyakrabban vettek részt régi kutak (víz, termálvíz) diagnosztikai vizsgálatában;
- a mélyfúrás geofizika a lignitkutatásban (visontai és bükkábrányi lignitmezők) alapvető szerepet játszik (ELGI, Geo-Log Kft., Geoservice Kft.), elsősorban a harántolt rétegsor litológiai tagolásában, a lignittelepek kijelölésében és korrelációjában, a víztelenítés mértékének nyomon követésében és a külszíni fejtést zavaró kemény képződmények kijelölésében.

Az 1990-es évek elejétől jelentősen megváltozott az ELGI-ben folyó munka és szerepe:

- fontos volt az országos adatbázis kiépítése (7. ábra), amely — a szilárd hasznos ásvány- és vízkutatás területén — az analóg szelvények digitalizálását is igényelte;
- korszakváltó — ELGI fejlesztésű — KD-80, PC LOG (8. ábra) digitális szelvényező berendezés (szilárd hasznos ásványra és vízre), amelyek szelvényeit a Well-CAD programmal dolgozzák fel (elfogadott és használt nemcsak az európai országokban, de az afrikai és amerikai kontinensen is);
- a felhasznált szelvények: GR, CAL, DEN, NG, ATSIGN (ATP, ATS), amelyekből rétegfizikai paramétereket határoztak meg;
- állami feladatként foglalkozik az ELGI a földrengésveszélyeztetettség mélyfúrás-geofizikai vizsgálatával, mivel a felszínközeli rétegek szerepet játszanak a földrengés energiájának közvetítésében (9. ábra);
- az elmúlt évek egyik legfontosabb feladata a radioaktív hulladék-elhelyezés lehetőségének vizsgálata, a számításba jöhető objektumok a gránitok, s itt fontos a repedések és a mállási kérgék kimutatása és követése (BHTV, AHK, R stb.) (10. ábra).

A következő évek feladatai között kiemelkedően fontos

- az új és régi ivóvíz- és termálkutak mélyfúrás-geofizikai vizsgálata (VIKUV Rt., Geo-Log Kft., Geo-Genesis Kft., Karotázs Kft.);
- a földrengés-veszélyeztetettség tanulmányozása (ELGI, Geo-Log Kft.);
- a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék elhelyezésének kutatása (ELGI, Geo-Log Kft., Karotázs Kft.).

A szilárd hasznos ásvány- és vízkutatással foglalkozó mélyfúrás-geofizikai egységek szakemberei mind műszer,

mind módszertani vonatkozásban felkészültek a fontosabb nemzetgazdasági feladatok megoldására, a többi geozakemberrel együtt.

Az 1992–2003 közötti időszakot (11. ábra) a MOL megalakulásától számíthatjuk és a fordulat azt jelenti szakmailag, hogy minden — a világban elérhető — indokolt szelvény mérhető/megrendelhető:

- a szelvényezés és a rétegmegnyitás a Geoinform Kft.-hez, a kiértékelés/értelmezés pedig a MOL-hoz került;
- továbbra is a Baker Atlas (volt Dresser, majd Western) technológiára támaszkodtunk (CLS-CLU-ECLIPS);
- korszerűsítettük a feldolgozó szoftvereket (eXpress-WA) és hardvereket, és ezek beépültek a MOL integrált rendszerébe (ISZFÉR-Landmark);
- rendszeressé vált a fúrásonkénti/kutankénti kvantitatív szelvény-/petrofizikai értelmezés, de tőlünk nem fogadják el kifogásként azt, hogy „nincs pontos R_w , a , m , n adatunk”;
- fordulat (szemléletváltás) következett be abban is, hogy nem a mérendő program a fontos elsősorban, hanem az értelmezés eredményessége, minősége, megbízhatósága;
- tevékenységünk (szelvényezés, értelmezés) megállta a helyét nemcsak itthon, hanem külföldön is (Szíria, Pakisztán, Tunézia, Jemen stb.).

Az, hogy a világ vezető cégei kötelességüknek érezték a vándorgyűlésen való aktív és reprezentatív részvételt, a MOL-ban folyó petrofizikai munka szakmai színvonalának is köszönhető — „újra közel a világszínvonalhoz”, s talán ennek is tulajdonítható, hogy a 2003. évi vándorgyűlésünkön

- a résztvevők 20%-a külföldi (a résztvevők száma 155 fő volt);
 - kiállított a Schlumberger, a Computalog, a Baker Atlas-Geoinform Kft. (a világ élvonala);
 - előadások hangzottak el a MOL, a Schlumberger, a Computalog, az ELGI, Geoinform és közösen a Baker Atlas-MOL szakemberei részéről;
 - támogatóink között volt a MOL Rt., a Schlumberger és az EAGE.
- Az olajiparban megjelentek a XXI. század szelvényei:
- az akusztikus teljes hullámkép (ATSIGN) felvétele és analízise (Δt_p , (Δt_s , Δt_{ST});
 - a nukleáris mágneses rezonancia (NMR) mérés és elemzés;
 - array indukciós felvétel;
 - a lyukfal leképezés (ellenállás és akusztikus alapú: CBIL, FMI, UBI);
 - a kábelteszter (MDT) fluidumelemzéssel, nyomásméréssel és permeabilitászámítással;
 - C/O szelvényezés olaj-víz fázishatár és olajteltettség meghatározása céljából.

A szövegben alkalmazott jelölések

a	tortuozitási együttható
AHK/ATSIGN	akusztikus teljes hullámkép
AT	akusztikus terjedési idő (Δt)
ATP	longitudinális hullám terjedési idő
ATS	nyíró hullám terjedési idő
ATST	Stonelly-hullám terjedési idő
BHTV	lyuktelevízió (Bore Hole Televíwer)
C/O	szén-oxigén szelvényezés

CAL	lyukátmérő
CBIL	akusztikus lyukfalkép (Circumferential Borehole Imaging Log)
CBL	cementlog
CH	szénhidrogén
DEN	sűrűség/közetsűrűség
DV-AZ	lyukferdeség, azimut
F	formáció tényező
FMI	ellenállás lyukfalkép (Formation Micro Imaging)
GG	gamma-gamma
<i>m</i>	cementációs kitévő
<i>n</i>	szaturációs kitévő
NG	neutron gamma
NMR	nukleáris mágneses rezonancia (Nuclear Magnetic Resonance)
POR	porozitás
PR	nyomásmérés
PWL	termelés geofizikai szelvényezés (Production Well Logging)
R	ellenállás
R1/R2/RPOL	ellenállás
RML	mikrolog (ellenállás)
R_t	érintetlen zóna ellenállása
R_w	rétegvíz ellenállás
SP	természetes potenciál
SW	víztelítettség
TEBH	hőmérséklet (lyuktalp)
TEL	hőmérsékletszelvény
TEMX	hőmérséklet (maximum hőmérővel)
TG	természetes gamma
UBI	akusztikus lyukfal kép (Ultrasonic Borehole Imaging)

IRODALOM

- BARÁTH I. 2001: A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet szerepe a hazai geofizika fejlődésében 1950–2000-ig. Az 50 éves a Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszéke c. ünnepi rendezvényen elhangzott előadás (Kézirat)
- BARÁTH I., JESCH A., KISS B., LAKATOS S. 1994: A mélyfúrás geofizikai kutatás története Magyarországon. *Magyar Geofizika* **35**, 2
- KISS B. 2003: Nemzetközi geofizikai földtani fluidumbányászati környezetvédelmi vándorgyűlés és kiállítás. *Magyar Geofizika* **44**, 3
- KISS B. 2003: Chapter News — Budapest Chapter. *Petrophysics* **44**, 6
- KISS B., BUCSI SZABÓ L., LENDVAY P., ZILAHY-SEBESS L., JÁMBOR Á., DRAHOS D., FERENCZY L. 2002: Magyarország legelterjedtebb litosztratigráfiai egységeinek mélyfúrás geofizikai jellemzése. *Magyar Geofizika* **43**, OTKA különszám
- LENDVAY P. 2002. Mélyfúrás geofizikai adatbázis fejlesztése az Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben. Doktoranduszok fóruma 2002, p. 37–42. ME Műszaki Földtudományi Kar kiadványa
- MÉSZÁROS F., ZILAHY-SEBESS L. 2001: Földrengés-veszélyeztetettség és a mélyfúrás geofizika kapcsolata. *Magyar Geofizika* **42**, 4
- MÉSZÁROS F., ZILAHY-SEBESS L. 2001: Compaction of sediments with great thickness in the Pannonian Basin. *Geophysical Transactions* **44**, 1
- ZILAHY-SEBESS L. 2003: Well-logging methods to investigate a granitic site for radioactive waste deposition. *Geophysical Transactions* **44**, 2
- ZILAHY-SEBESS L., SZONGOTH G. 2002: Investigation of granite inhomogeneity by well logging methods. *Bulletin of Czech Geological Survey* **77**, 2

A geofizikai kutatások szerepe és jelentősége a nemzetgazdaságban¹

MESKÓ ATTILA²

A Földön élünk és a földből élünk. Építőanyagaink, az ércekből nyert fémek a Földből származnak. Ez elmondható az energiaforrások döntő többségéről is: a mélyebb rétegekből termeljük a fosszilis energiaforrásokat, a szén, olajat és gázt, de még az alternatív energiaforrások jelentős része is a Földhöz kötődik. A geotermikus energia a radioaktív bomlásnak és a litoszféra folyamatainak köszönhető. A vízerőművek vagy szélenergiaforrások a Nap, de működésükben szerepe van a hidroszférának és az atmoszférának is.

Evidenciának tűnik, hogy minden lényeges dolgot tudnunk kellene a Földről. A földtudomány művelése, ezen belül a geofizika sokoldalú eszköztárának használata a Föld és a Föld körüli térség megismerésének egyik alapja. A geofizika fontos részterülete a nyersanyagok és energiaforrások kutatása. Nemzetgazdasági jelentősége nyilvánvaló: az iparnak, mezőgazdaságnak, közlekedésnek nyersanyagokra és energiaforrásokra van szüksége. De a geofizika más alkalmazásokban is szerepet kap: az építőipar igényli a felszínközeli rétegsor ismeretét, törekszünk a földrendésbiztos építkezésre, biztonságos környezetben kell elhelyeznünk a veszélyes hulladékokat.

A geofizikai mérések közvetve vagy közvetlenül a földben lévő anyagok fizikai tulajdonságai közötti különbségeket tudják kimutatni. A legfontosabb módszerek részleteiről — a potenciáalterek méréséről és felhasználásáról, a szeizmikáról, a mélyfúrásokban végezhető geofizikai mérésekről ugyanúgy, mint fontos nyersanyagok (szénhidrogének) kutatásáról vagy az általános geofizikáról — külön cikkek számolnak be. Céлом emiatt az lehet, hogy átfogó képet adjak arról: mit tudtak, illetve hogyan vélekedtek a geofizikáról, és milyen mértékben hasznosították lehetőségeit az elmúlt évszázadban.

A XIX. század végén az ipari fejlődés egyre sürgetőbben igényelte az új energiaforrásokat. A lelőhelyek szakszerű kutatása állami monopóliummá vált. A Kincstár által végzett kutatások az egyetlen jelentős eredményt Egbell környékén hozták. A földtani térképezés alapján mélyített fúrások 70–160 métertől földgázt, 160–250 méter között kőolajat fedeztek fel. A világszerte ugrásszerűen növekedő számú meddő fúrások gyökeresen új megközelítést igényeltek. Ezt az első geofizikai módszer: EÖTVÖS Loránd torziós ingája szolgáltatta, amely lehetővé tette olyan földtani szerkezetek (felboltozódások) kimutatását, amelyben a szénhidrogén (olaj vagy gáz) halmozódhat fel.

Az 1930-as években PAPP Simon főgeológusként kezdett hozzá a magyar olajipar kialakításához. Igen sikeresen, mert munkássága — nem kis részben az új geofizikai módszerek meghonosítása révén — 1948-ig összesen több mint 5 millió tonna olaj és közelítőleg 7 milliárd köbméter gáz termelését tette lehetővé. A második korszak negyven esztendejét (1952–1992) a szeizmikus módszer és az azt megalapozó potenciáltér-mérések tudományos igényű alkalmazása jellemezte (a feltárt kitermelhető készlet 93,7 millió tonna kőolaj, 249,1 milliárd köbméter éghető földgáz).

A geofizika fejlődését világszerte az olajipar igényelte és támogatta. Joggal lehetünk büszkéek arra, hogy a modern gyakorlati geofizika EÖTVÖS munkásságával kezdődött. De sikeres volt a geofizika a nem energiaforrású ásványi nyersanyagok lelőhelyeinek felderítésében, a vízkutatásban és a környezetvédelmi feladatok megoldásában is.

A. MESKÓ: The role and significance of geophysical exploration in the economy

We live on the Earth and we live from the resources of the Earth. Constructional materials, metal ores are mined from the Earth. Fossil fuels: coal, petroleum and natural gas, as well as uranium, used in nuclear power plants, are also obtained from deeper strata of the Earth, but other, partly renewable, energy sources such as geothermal energy or water and wind power generation are also connected to the Earth. The final source of geothermal energy is radioactive fission and though the final source of water and wind power is the Sun, but the interplay of the hydrosphere and atmosphere is inevitable.

It is obvious, that we should acquire as much knowledge about the Earth as possible. The earth sciences accumulated knowledge since several centuries and geophysics, a relatively young member of the family of earth sciences, contributed tremendously in the last century, using a large variety of instruments and methods to investigate both the Earth as well as its environment. One of the most important applications of geophysics is the exploration for resources. Its economical significance is evident: industry, agriculture, transportation etc. all require material from the Earth. But geophysics has other applications as well. The building industry requires the geometry and physical properties of the uppermost layers for being able to construct earthquake resistant structures, the safe disposal of hazardous wastes is based upon a thorough knowledge of the geological condition of the sites.

Geophysical measurements detect, directly or indirectly, the differences of some physical properties of layers or materials within the layers. Details of the most widely used methods: measurements of potential fields, seismic exploration, borehole geophysics, together with their applications as well as the scope and results of general geophysics are dealt with in separate papers. The purpose of the present contribution is to give an overall picture on

¹ Beérkezett: 2003. december 16-án

² Magyar Tudományos Akadémia,
H-1051 Budapest, Roosevelt tér 9.,
e-mail: mesko@office.mta.hu

the development of geophysics in the last century, on the changing awareness of its potential and the opportunities it provides.

The rapid growth of industrial activity required an ever-increasing quantity of energy sources already at the end of the 19th century. After the turning of the century exploration for oil and gas became a state monopoly in Hungary. The only significant discovery of the exploration led by the Treasury was the Egbell anticline structure, where borings, allocated by geological mapping, found gas between depths 70 and 160 meters and petroleum between 160 and 250 meters. The number of dry holes increased rapidly worldwide, evidencing the necessity of a basically new approach for finding anticlines. In the first years of the 20th century Baron Lorand EÖTVÖS improved the precision of the torsion balance to such a degree that it could solve the problem: it could detect anticlines.

Dr Simon PAPP, chief geologist in the 1930's and early 1940's introduced the (then) latest geophysical methods and enhanced the performance of both the exploration and the production. His outstanding leadership can be summarized in two figures: up to 1948 more than 5 million tons of petroleum and over 7 billion cubic meters of gas were produced in Hungary. In the second, 40-year long period of oil exploration in Hungary (1952–1992), dominated by the application of potential field and seismic methods 93,7 tons of petroleum and about 250 billion cubic meter gas were found.

The oil industry demand and support were the dominating forces in the development of exploration geophysics. We may rightly be proud of the fact that modern exploration geophysics started with the EÖTVÖS torsion balance at the beginning of the last century. But geophysics was successful in finding other resources: coal, bauxite, minerals, water etc. and it plays an increasing role in the solution of environmental problems.

Bevezetés

A Földön élünk és földből élünk. Építőanyagaink, az ércből nyert fémek, a víz innen származnak. A Földből termeljük a fosszilis energiahordozókat, a szenet, az olajat és a gázt. Az alternatív energiaforrások jelentős része is a Földhöz kötődik. A geotermikus energia a radioaktív bomlásnak és a litoszféra folyamatainak köszönhető. A vízi erőművek vagy szélerőművek végső energiaforrása a Nap, de működésükben szerepe van a hidroszférának és atmoszférának is. Bolygónkat a Föld geológiai és biológiai rendszerei: a légkör, a hidroszféra, a talaj és a bioszféra tartják életben.

A földtudomány célja megérteni a földi rendszerek múlt-, jelen- és jövőbeli viselkedését. A diszciplína legutóbb megadott definíciója [PANTÓ et al. 2002] szerint tudományágunk „a Föld szerkezetének, tulajdonságainak, folyamatainak, történetének és fejlődésének vizsgálatával foglalkozik”, ... „azzal a bolygóval, amelyen élünk, azokkal a kontinensekkel és óceáni medencékkel, amelyekből ásványi nyersanyagainkat és készleteinket nyerjük, a közetekkel, amelyekből a talaj képződik, amelyen terményeinket állítjuk elő, és azokkal a kőzetformációkkal, ahová hulladékaikat helyezük el.” A földtani környezetünkre vonatkozó ismeretek fontosak, alapvetők, a helyes döntések meghozatalához elengedhetetlenek.

A földtudomány hagyományos részterületei a bányászat, a geodézia, a geológia, a geofizika, a geokémia, a hidrológia, a meteorológia, a paleontológia stb. A XX. század első felében e részterületeket csoportokba osztották, a csoportok tagjai közötti érintkezés nagyon kevés volt. Az elmúlt évtizedekben azonban néhány nagy felfedezés elősegítette a speciális területek közötti együttműködést, illetve elmosta az azok közötti határokat. Jelenlegi fejlődésére három fő kutatási irány van nagy hatással: a lemeztektonika, a térinformatika és az ember és a környezet kölcsönhatásait elemző környezettudomány. A geofizikának komoly szerepe van az első területen, de nem képzelhető el geofizikai kutatások nélkül a környezettudomány sem [ÁDÁM, MESKÓ 2001].

Ugyanakkor nem szabad megfeledkeznünk arról sem, hogy az energia- és anyagszükséglet biztosítása a XXI. század egyik legnagyobb feladata. Természetesen az energia és a nyersanyagok felhasználásának hatékonyságát is javítani kell, de mindenekelőtt meg kell találni a kitermelésre érdemes készleteket.

A geofizika szerepe a nyersanyagkutatásban

A XX. századot túlzás nélkül nevezhetjük a szénhidrogén századának. A geofizika fejlődését világszerte az olajipar igényelte és támogatta. Joggal lehetünk büszkék arra, hogy a modern gyakorlati geofizika EÖTVÖS munkásságával kezdődött. De sikeres volt a geofizika a nem energiahordozó ásványi nyersanyagok lelőhelyeinek felderítésében, a vízkutatásban és a környezetvédelmi feladatok megoldásában is.

A Geofizikai Szolgáltató Vállalat kiadásában megjelent kiadvány [KÉSMÁRKY 2002] összegzi és értékeli a felszíni geofizika szerepét és jelentőségét a hazai szénhidrogénkutatásban. A kötet a MASZOLAJ Rt. Geofizikai Vállalat alapításának ötvenedik évfordulója tiszteletére jelent meg. Számos szerzője volt, szerkesztőbizottság gondozta és KÉSMÁRKY István szerkesztette. A kötet — természetesen — legnagyobb terjedelemben a szeizmikus kutatással foglalkozik, de képet ad a mágneses és gravitációs mérésekről, valamint a geoelektromos kutatási tevékenységről is.

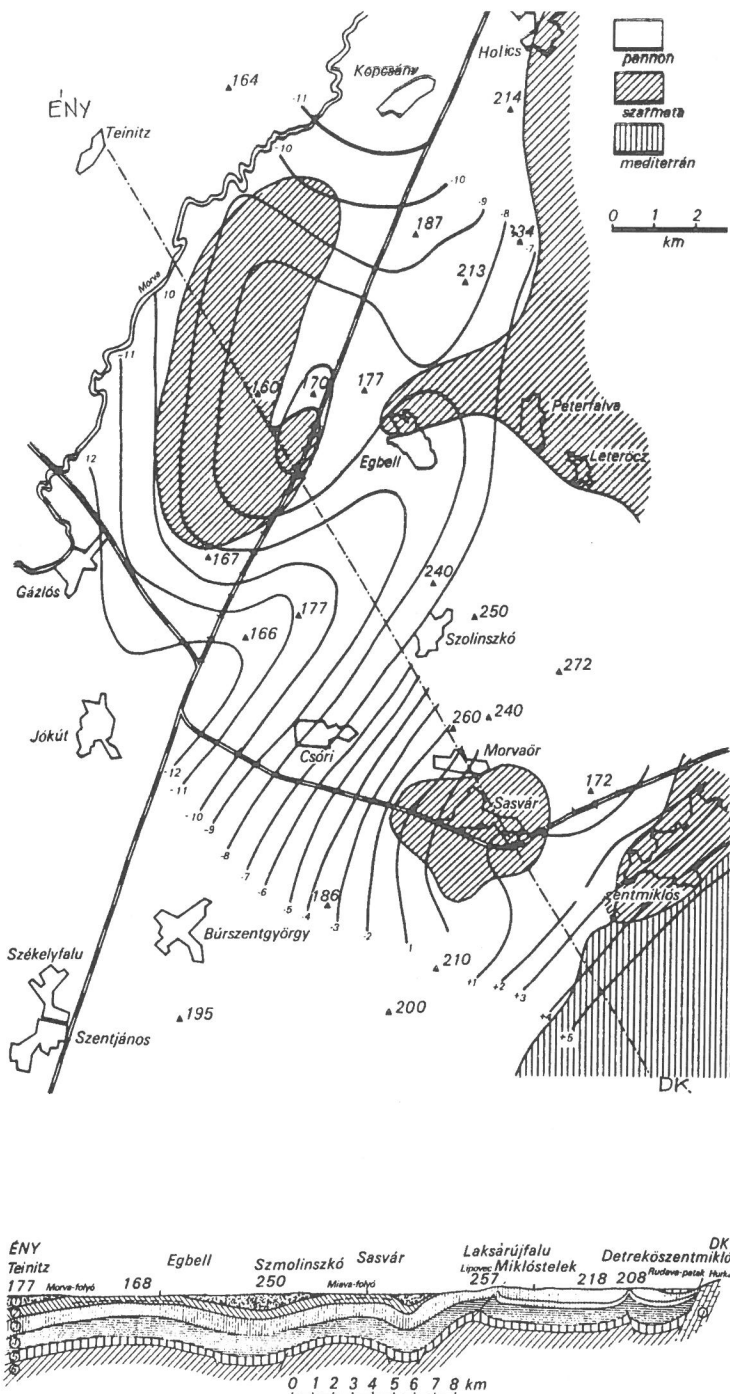
A magyar szénhidrogén-kutatás első korszaka az 1850-es évektől a második világháború végéig tartott. Az első próbálkozások csak keresgélésnek nevezhetők, amelyek végén — ha szerencsénk volt — a vállalkozók akár olajra is bukkanhattak. A XIX. század végén az ipari fejlődés azonban egyre sürgetőbben igényelte az új energiahordozókat. Az állam ezt időben felismerte és százezer koronáig terjedő szubvencióval támogatta a megbízható vállalkozókat. 1893-ban WEKERLE miniszterelnök levelet küldött BÖCKH Jánosnak, a Magyar Királyi Földtani Intézet igazgatójának, amelyben az intézetet bízta meg a kutatási támogatás felhasználásának ellenőrzésével. Érdemes idézni a levélből, mert ma is érvényes megállapításokat tartalmaz.

„... A hazai fogyasztóközönségre úgy, mint a kifejlett kőolajiparunkra nézve fölöttébb fontos, hogy a nyersolaj az országban nyeressék...Több helyen akadtak petróleumra is, de sehol sem olyan mennyiségre, hogy kiadós termelésre számítani lehessen. ...Szükségesnek találom, hogy a mélyfúrások a geológiai viszonyok alapos tanulmányozásával kezdessenek meg, a fúrólukak pedig alkalmas pontokon mindaddig mélyítessenek le, míg a petróleum formációt keresztül nem fúrják, oly célból, hogy megtudjuk: vajon van-e benne kőolajtartány.”

Az állami támogatás azonban csak fokozta a spekulációt. 1910-ben ugyan már 30 ezer ún. zártkutatómánt tartottak nyilván, de csak nagyon kevés hasznosítható kőolajtelepet találtak.

Az állam végül az 1911. évi VI. törvénycikk megalkotásával az ország valószínű petróleum-lelőhelyeinek szakszerű kutatását állami monopóliummá tette. A Kincstár által végzett kutatások az egyetlen jelentős eredményt Egbell környékén hozták, a földtani térképezés alapján mélyített fúrások 70–160 métertől földgázt, 160–250 méter között kőolajat fedeztek fel.

A világszerte ugrásszerűen növekedő számú meddő fúrások gyökeresen új megközelítést igényeltek. Ezt az első geofizikai módszer, EÖTVÖS Loránd báró torziós ingája szolgáltatta, amely lehetővé tette vastag üledékrétegekkel fedett medenceterületeken is olyan földtani szerkezetek kimutatását, amelyekben a szénhidrogén (olaj vagy gáz) felhalmozódhatott. A egbelli mérésekből levezetett gravitációsanomália-térképet és a földtani szerkezetet az 1. ábrán mutatjuk be.



1. ábra. Az Egbell–Sasvár szerkezet Eötvös-ingamérésekből levezetett gravitációsanomália-térképe és egy földtani szelvény

Fig. 1. Gravity anomaly field, derived from torsion balance measurements over the Egbell–Sasvár geological structure (top) and a geological cross section (bottom)

A korszak kiemelkedően nagy kutatója PAPP Simon volt. Bár az 1921–25 között végzett magyarországi kutatások egy angol koncessziós szerződés keretében teljesen eredménytelenek voltak, PAPP Simon meg volt győződve arról,

hogy nálunk is van kereskedelmi mennyiségű olaj, csak meg kell találni. 1933 júniusában az EUROGASCO (European Gas and Electric Co.) megkötötte a koncessziót a magyar állammal és PAPP Simon a vállalat főgeológusa-

ként kapott lehetőséget arra, hogy hozzákezdjen nagyszabású tervéhez, a magyar olajipar kialakításához. Pozícióját 15 éven át megtartva egészen 1948. augusztus 12-ig a magyarországi kutatások vezetője volt és olyan eredményeket ért el, amilyeneket előtte senkinek sem sikerült. Valóban megteremtette a magyar olajipart.

Az olaj- és gáztermelés alakulását az 1. táblázat összegzi (kerekített adatok, forrás: PAPP Simon: Életem című könyve).

Év	Olajtermelés (ezer tonna)	Földgáztermelés (millió köbméter)
1937	1,4	2,3
1938	37,3	15,0
1939	141,8	46,3
1940	249,6	75,9
1941	421,6	136,6
1942	665,2	221,9
1943	837,7	266,1
1944	810,0	310,7
1945	665,6	363,5
1946	674,5	412,2
1947	569,3	374,1
Összesen	5064,0	6964,1

1. táblázat. A kőolaj- és földgáztermelés változása 1937 és 1947 között

Table 1. Petroleum (first column) and gas production (second column) from 1937 to 1947

Az összesen több mint 5 millió tonna olaj és közelítőleg 7 milliárd köbméter gáz termelése kiemelkedő eredmény volt. Különösen figyelemre méltó a rendkívül gyors felfutás: a termelés néhány év alatt megszázszorozódott. Valamennyi termelő kutat PAPP Simon vezetésével alakították ki. Még felmérni is nehéz, mennyit veszített az ország azzal, hogy kutatásait 1948 októberétől már nem folytathatta.

A koncepciók perben ellene emelt vádak teljes egészükben alaptalanok voltak. Ennek illusztrálására csak egy példát idézek (PAPP Simon: Életem, 222–232. oldal). Az egyik súlyos vád az volt, hogy az ismert mezők termelését szándékosan csökkentette. A 2. táblázat a teljes hazai termelést (első oszlop) hasonlítja össze az 1948-ban már ismert és PAPP Simonnak köszönhető mezők termelésével (második oszlop).

Év	Teljes termelés (ezer tonna)	1948-ban ismert mezők termelése (ezer tonna)
1948	482,6	482,6
1949	503,1	503,1
1950	508,5	467,1
1951	494,8	418,1
1952	585,5	448,9
1953	824,1	406,8
1954	1197,4	372,4

2. táblázat. A magyar kőolajtermelés 1948 és 1954 között, összehasonlítva az 1948-ban már ismert mezők termelésével

Table 2. Petroleum production in Hungary from 1948 to 1954 (first column) and the production from fields, known in 1948

A számok világosan mutatják, hogy a már ismert mezőkből egyszerűen nem lehetett többet termelni. A teljes termelés csak azután növekedett, amikor 1950-től kezdve a Lendvaujfalu, majd 1951-től a Nagylengyel környéki mezők termelése is megindult. Egyébként ez utóbbi mezők feltáráshoz vezető kutatómunka kezdeti lépéseit is PAPP Simon irányította. A táblázat már átvezet a második korszakba.

A második korszak a második világháború vége és 1992 közötti periódus. A háborús károk felszámolásának feladatai között kiemelt szerepe volt az energia biztonságának mind a lakosság, mind az ipari tevékenység számára. Újraindították a dunántúli olajmezők termelését és megkezdték a kutatásokat az Alföldön. A MAORT-nál a termelés 1945 áprilisában indult újra. A visszatért amerikai vezetés azonban az állam sokirányú beavatkozása miatt nagyobb kutatási programot már nem valósíthatott meg. A MAORT elleni koncepciók per után 1948 szeptemberében a Magyar–Amerikai Részvénytársaságot államosították.

A munkát nehezítő átszervezések ellenére a kutatás eredményes volt. 1951-ben felfedezték a nagylengyeli olajmezőt, ami azért is jelentős, mert igazolta, hogy az antiklinálisok mellett más földtani szerkezetek is alkalmasak kőolaj és földgáz tárolására.

1952. október 1-én a magyar kőolajipar egésze a MASZOLAJ Rt. kezelésébe került és ugyanakkor megalakult a Geofizikai Vállalat, mint annak kutatórészlege. A második korszakot mind a kutatások, mind a szénhidrogéntalalatok szempontjából aranykorszaknak nevezik a szerzők. Ekkor fedezték fel Nagylengyel, Pusztaföldvár, Hajdúszoboszló, Algyő stb. szénhidrogénmezőit. Egy évvel ezt megelőzően két geofizikai tanséket létesítettek, Sopronban a Földmérő Mérnöki Karon és a budapesti Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karán. A tanszékek első vezetői KÁNTÁS Károly (Sopron) és EGYED László (Budapest) voltak. Tavaly mindkét tanszék megünnepelte fennállásának 50 éves évfordulóját.

A MASZOLAJ Rt. Geofizikai Vállalatát az első időkben szovjet szakemberek vezették. A szovjet szakemberek a szeizmikus kutatás fontosságát hangsúlyozták, és regionális refrakciós szeizmikus méréseket is végeztek, hogy a részletező mérések helyét a legtöbbet ígérő területeken jelölhessék ki. A Pusztaföldvár, Algyő és Hajdúszoboszló térségében kirajzolódó neogén boltozatokra az alföldi II, III és V regionális mérések hívták fel a figyelmet és a későbbi részletező szeizmikus mérések (1957–61) adatai alapján kitűzött fúrások tárták fel az ezekben rejtőző, gazdaságilag jelentős szénhidrogéntelepeket.

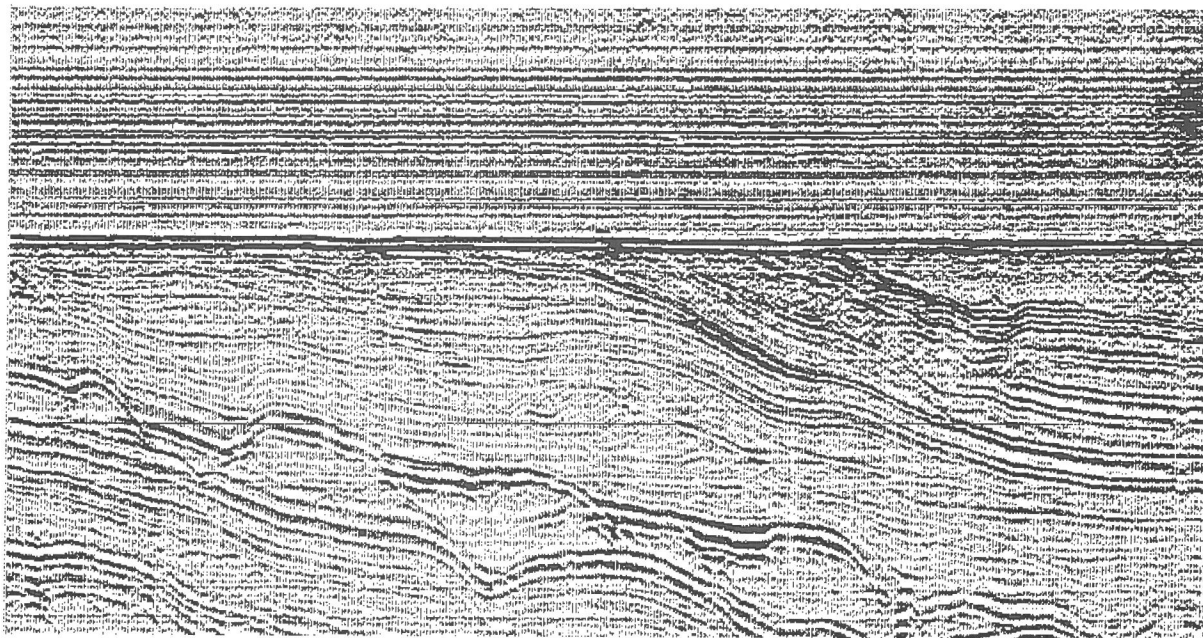
A refrakciós módszer akkor alkalmazható, ha a rétegsorban van egy, a felette elhelyezkedőnél lényegesen nagyobb szeizmikus terjedési sebességgel bíró réteg. A mélybe hatoló hullámok ennek a rétegnek a határán mozognak és a felszín felé úgynevezett fejhullámokat sugároznak. Ezeket érzékeljük a felszínen mint refrakciós beérkezéseket. A beérkezési időkből következtetni lehet a terjedési sebességekre és a refraktált hullámokat keltő réteg felső határának mélységére. Ez a réteg, amelyben a szeizmikus hullámok nagyobb sebességgel terjednek, rendszerint a medencealjzat. Kedvező esetben az üledékes összletben is van egy, esetleg két követhető felület. Nem teszi lehetővé azonban a módszer a további réteghatárok megismerését, hiszen kisebb sebességkontraszt esetén nem kapunk értékelhető refraktált hullámot.

A reflexiós szeizmika lehetőségei sokkal jobbák: minden réteghatárról kapunk visszaverődést, ha a határ két oldalán elhelyezkedő közegek akusztikus impedanciái között elegendő nagy különbség van. (Az akusztikus impedancia a sebesség és sűrűség szorzata). A reflexiós szeizmika ezért alkalmas az üledékes medencékben számos réteghatár pontos követésére.

1966-ban a fotoregisztrálású szeizmikus technikát váltotta az analóg mágneses jelelregisztrálás. Ekkorra már domináns volt a reflexiós szeizmika és a módszerrel előállított időszelvények alkalmazása.

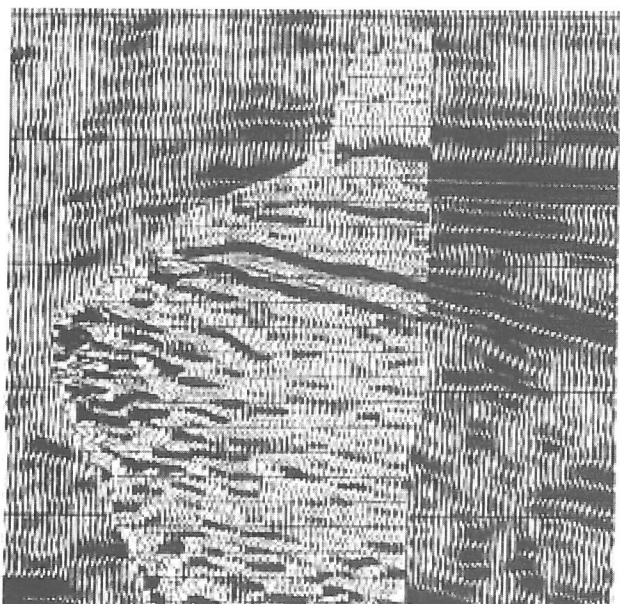
Az analóg terepi műszerek és számítóközpont használ-

atba vétele lehetővé tette időszelvények előállítását a többszörös fedés elvének alkalmazásával. 1968-ban kezdődött a felkészülés a digitális technika fogadására és 1971-ben érkezett meg az első digitális terepi műszer, kezdődött meg a számítógépes adatfeldolgozás. A digitális adatfeldolgozás nemcsak az addiginál sokkal jobb minőségű időszelvények előállítását tette lehetővé, de számos más művelet elvégzését is (dekonvolúció, automatikus statikus korrekciójavítás, sebességanalízis, migráció, pszeudo-sebesség szelvény, szeizmikus attribútumok meghatározása, AVO analízis stb.). Digitálisan regisztrált és feldolgozott időszelvényt mutat be a 2. ábra.



2. ábra. Reflexiós szeizmikus szelvény. Az egymás mellett ábrázolt csatornák kirajzolják a visszaverő felületek képét

Fig. 2. Seismic reflection profile. The consecutive traces of the time section give an idea about the strong subsurface reflectors



3. ábra. Időszelvény és (középen) a szelvénybe illesztett offsetes VSP szelvény

Fig. 3. Seismic reflection profile and (about the middle part) an in-laid migrated off-set VSP section, illustrating that the VSP section serves as a final calibration tool

1978 a vibroszeiz módszer, 1982 a Vertical Seismic Profiling (VSP) módszer alkalmazásának kezdő éve. A VSP módszert a „végső kalibrációs eszköznek” is nevezik. Ezt illusztrálja a 3. ábra.

1986-ban alkalmaztak először modern telemetrikus digitális terepi műszereket. 1990-ban végezték az első saját kivitelezésű hazai 3-D-s szeizmikus mérést.

1992-től kezdve a telemetrikus digitális mérőműszerek használata kizárólagossá, a környezetbarát vibroszeiz módszer pedig a robbantásos módszerrel szemben dominánssá vált.

A második korszak negyven esztendejének (1952–1992) eredményei a következőben összegezhetők. Geofizikai módszerekkel felmérték a földtani kutatásra érdemesnek tartott valamennyi területet. Összesen 873, kőolajkutatásra alkalmas földtani alakulatot mutattak ki. Közülük 1991 végéig 650-et vizsgáltak meg fúrásokkal és 130-ban találtak kitermelhető szénhidrogénkészletet. Ez 20% körüli találati arány. 5257 kutatófúrást mélyítettek, összesen 9 621 000 méter hosszúságban. Ebből 2533 volt eredményes (48,2%). 2518 feltáró fúrás készült, összesen 4 393 000 méter hosszúságban. Az eredményesség 82,6%.

A feltárt kitermelhető készlet 1991 végéig 93,7 millió tonna kőolaj, 249,1 milliárd köbméter éghető földgáz és 34 milliárd köbméter szén-dioxid gáz. A kőolajkészletből

1991-ig 74 millió tonnát, a földgázból 160 milliárd köbmétert termeltek ki.

10 mező tartalmazza a megismert készletek 71,4%-át, ebből három a készletek 48,4%-át. A maradék 28,6% 120 mező között oszlik el. Ez jelzi a telepek zömének kis méretét, a kutatás bonyolultságát, egyben a magyar szakemberek kiváló felkészültségét. Mivel nem szeretnék méltatlanul kihagyni valakit azok közül, akiknek tevékenysége a módszerek meghonosításában, alkalmazásában vagy a geofizikai eredmények földtani értelmezésében segítette az eredmények elérését, inkább egyetlen nevet sem említek. Szakmánki csapatmunka és csak akkor lehet sikeres, ha valamennyi résztvevő megteszi a magáét. A szénhidrogén-kutató geofizikában dolgozók túlnyomó többsége mindig tudta ezt és ennek szellemében cselekedett.

A magyar szénhidrogén-kutatás harmadik korszakának kezdetét az 1993-as bányatörvény hatályba lépésétől lehet számítani. A bányászatról szóló 1993. évi XLVIII. törvény a kutatásokkal kapcsolatban új szabályozást alkotott, az állami monopólium meghatározott időre és területre történő átadását koncessziós szerződések alapján. Ezzel a magyar szénhidrogén-kutatást kiszolgáltatta a nagy nemzetközi olajvállalatoknak. Ugyanebben az évben kormányrendelet szabályozta a Magyar Geológiai Szolgálat új feladatkörét és létrehozták a Magyar Bányászati Hivatalt.

A Geofizikai Szolgáltató (GES) Kft. 1993. január 1-től kezdve kizárólag szolgáltatással, terepi adatgyűjtéssel és adatfeldolgozással foglalkozott. A mérések és adatfeldolgozás tervezése, ellenőrzése és értelmezése a MOL szervezetén belül maradt. Ez azt jelentette, hogy a társaság szigorúan a gazdasági környezet szabályai szerint, a MOL Rt. elvárásai alapján működött.

Világszerte jellemző tendencia a 2-D mérések arányának csökkenése és a 3-D mérések arányának növekedése. Már 1994-től kezdve a háromdimenziós mérésekben használt szeizmikus csatornák száma meghaladta vagy megközelítette a kétdimenziós kutatásban használt csatornák számát. Jellemző a csatornák számának jelentős növekedése is, az utóbbi öt évben évente 60–80 millió csatornát mértek.

A modern szeizmikus mérések mennyiségére jellemző, hogy az 1971–2000 között mért 2-D-s digitális szeizmikus szelvények együttes hossza kétszerese a Föld Egyenlítőjének. A 3-D projektek összes száma pedig napjainkig meghaladta a félszázat.

A geofizikai módszerek segítségével (is) megtalált közelítően 100 millió tonna kőolaj és 250 milliárd köbméter földgáz gazdaságilag is jelentős az ország életében.

A nyersanyagkutatásban dolgozó geofizikusok mindig követték a szakma fejlődését, törekedtek az új módszerek megértésére, majd meghonosítására és értő alkalmazására. Ezt mutatja a digitális szeizmika gyors meghonosítása, a VSP alkalmazása vagy a 3-D szeizmika bevezetése a hazai gyakorlatba. Itt teszek említést az erőter-geofizikáról (a gravitációs és az elektromágneses módszerekről), amelyekkel nem foglalkozom. Feltétlenül ide kívánkozik azonban, hogy ezeket is világszínvonalon művelték mind a GES Kft.-ben, mind az Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben.

A sikerek titka, hogy a geofizikusok szakmai tevékenységüket hivatástudattal, lelkesedéssel végezték a közös cél: az új kőolaj- és földgázmezők felfedezése érdekében, még a legnehezebb időkben is.

Remélem, hogy a magyar olajipar újból vállalkozik mérész célok elérésére, ha nem is a teljes hazai szükségletet kielégítő, de jelentős új mezők megtalálására. A következő öt, tíz év távlatában azonban a tartós fejlődést és fennmaradást csak egy-két külföldi piacon való tartós jelenlét biztosíthatja. A jelentős, új mezők egy részét ott kell megtalálni. A szakértelem és a közös munka vállalása megvan a magyar szakemberekben. Széles látókörű vezetőkre, eszközökre és némi szerencsére még szükségünk van. Kívánom, hogy a jövő ezeket is hozza meg.

A geofizika szerepe a környezettudományban

Amíg a Földön kevés ember élt és az ember gyenge és kiszolgáltatott volt, le akarta győzni a természetet. A XX. században az a téves eszme terjedt el, hogy a tudomány fejlődése majd minden gondot megold. Feledésbe merült a természeti népek tapasztalata, hogy az embernek a természettel összhangban kell élnie. A „fejlődés” bűvkörébe esett emberiség mindent át akart alakítani és a beavatkozások gyakran károsnak bizonyultak, szennyezték a környezetet, akadályozták az ökológiai rendszerek működését.

A Föld ökológiai rendszereiből ered számos életfontosságú anyag: táplálék, építőanyag, tüzelő, gyógyszeranyag, ipari nyersanyag. Számos funkciójuk hasonlóan fontos: a vízkörforgás és más vegyületek körforgása, víztisztulás, áradások megfékezése, termények beporzása, a légkör tisztulása és mások. A gének, fajok és ökoszisztémák sokfélesége önmagában is értékes. Ma már tudjuk, hogy saját életünk fennmaradása is csak úgy képzelhető el, ha megőrizzük a Föld életünk számára kedvező körülményeket teremtő rendszereinek működését, az ökoszisztémák működőképességét, a fajok állapotát a gyorsan változó körülmények között. Ehhez sokkal többet kellene tudnunk az életfontosságú rendszerek elemeiről és működéséről, melyeknek része a földtani környezet is [World Commission on Environment... 1987, United Nations Conference on Environment... 1992, Board on Sustainable Development 2000].

Az emberi tevékenység következményei közül csak a hulladékok, közöttük a veszélyes vegyi és radioaktív hulladékok mennyiségének rendkívül gyors növekedését említem. Más, tiszta technológiákra, újrafelhasználásra, de addig is a hulladékok kezelésére (égetés, megsemmisítés), illetve gondos elhelyezésére van szükség. Ebben szintén elengedhetetlen a földtudomány szerepe. Olyan tárolókat kell kialakítani, amelyek már földtani adottságaik miatt sem engedik kijutni a káros anyagokat a környezetbe. A feladatok a hulladék típusától függően változnak. Kevesebb előkészítő munka szükséges egy kommunális hulladék-tároló kialakításához, mint a kis vagy közepes radioaktív hulladékok biztonságos elhelyezéséhez. A nagy aktivitású radioaktív hulladékok, a kiégett fűtőelemek végleges tárolására alkalmas helyek megtalálása majd kialakítása több évtizedes intenzív földtani kutatómunkát igényel.

Az Európai Unió környezetvédelmi teendőit a jelenleg folyó hatodik Akcióprogram a 2001–2010 közötti időszakra fogalmazza meg. A múltra visszatekintve megállapítja, hogy az elmúlt évtizedekben az Európai Unió országai sokat foglalkoztak a környezet állapotával és az azt megőrző szabályozással. Az előző akcióprogramok végrehajtásá-

val sikerült javítani a környezet állapotán. Emiatt a 2001. január 1-vel indult „Környezet 2010” című hatodik Környezetvédelmi Akcióprogram a fenntarthatóság környezetvédelmi feltételeit állítja a középpontba.

A dokumentum hangsúlyozza, hogy a határozat céljai, prioritásai és cselekvései már egy kibővített közösségre alkalmazandók. Ennek 2004. május 1-től Magyarország is tagja lesz. Az Akcióprogram megállapítja, hogy a most még csak tagjelölt országok (Közép- és Kelet-Európa országai, Málta és Ciprus) csatlakozása után az Európai Unió 170 millió lakossal és 58%-kal nagyobb földterülettel fog rendelkezni, ugyanakkor számos környezeti kárral sújtott, elszennyezett területtel is bővül. Ezek megtisztítása a következő 5–10 évben komoly gondot fog jelenteni a csatlakozó országoknak. A megoldás kulcsa az EU szabályainak, törvényeinek elfogadása és következetes alkalmazása. Az Akcióprogram betervezte az első öt év után az előrehaladás felmérését és ennek eredményeként — amennyiben szükséges — a Program felülvizsgálatát és módosítását.

A Program négy súlyponti területet nevez meg. Ezek:

- a klímaváltozás és kezelése,
- a természetvédelem,
- a környezet és egészség,
- a természeti erőforrások megőrzése és a hulladékkezelés.

A program két súlyponti területe — a klímaváltozás, illetve a természeti erőforrások és hulladékkezelés — döntően a földtudomány eredményeinek alkalmazását igényli, de a másik kettőben is van szerepünk, hiszen a természetvédelem és környezet vizsgálata sem képzelhető el a földtudomány aktív részvétele nélkül. A környezeti geofizikának pedig döntő szerepe van az illegális lerakók megtalálásában és a hulladékok elhelyezésére alkalmas telephelyek kialakításában.

A környezeti geofizika

A környezeti geofizika kezdetben a szilárd Föld felszínközeli részének vizsgálatát jelentette, hiszen a szennyeződés nagy részének a végállomása éppen ez a térrész. A környezettudományi-környezetvédelmi célú megközelítés azonban hamar megmutatkozott a globális és regionális léptékű geofizikában is. A környezetgeofizikában is beszélhetünk lokális, regionális és globális feladatokról [SZARKA et al. 2001]. A regionális feladatok közül talán a legfontosabb a földrengés-veszélyeztetettség meghatározása.

A földrengések leírása és hatásaik térképi ábrázolása hazánkban csaknem két évszázados múltra tekint vissza. Az 1810. január 14-i móri földrengés hatásáról KITAIBEL P. és TOMTSÁNYI R. 1814-ben térképet szerkesztett. Nyilakkal ábrázolták az első lökés irányát és szaggatott vonallal megrajzolták a nagyobb kárt szenvedett terület határát. Ezzel — korukat messze megelőzve — lényegében bevezették az izoszeizta (=azonos megrázottságú területeken határoló) vonalak használatát. Sajnos a nemzetközi tudományos szakirodalomban munkájuk nem vált közismertté és az izoszeizta fogalom bevezetését R. MALLET angol tudósnek tulajdonítják, aki az 1857. december 16-i nápolyi földrengés okozta károkat ábrázolta térképen. MALLET a legerősebben megrázott rész középpontját nevezte epicentrumnak. Az intenzitás és izoszeizta pontos definíciója és a megrázottság mértékét minősítő 12 fokozatú Mercalli-skála csak jóval később jelent meg.

Az intenzitást a földrengés „erősségének” többé-kevésbé objektív jellemzésére több mint egy évszázada használják. Előnye, hogy a múlt földrengéseire az úgynevezett történelmi rengésekre is alkalmazható, amennyiben elegendő leírás van a károkról. Az intenzitás legnagyobb az epicentrumban és csökken a távolsággal. A csökkenés mértékéből következtetni lehet földrengés fészekmélységére és a terület átlagos energia-elnyelési együtthatójára. A számításokban használt egyenletet magyar szeizmológus, KÖVESLIGETHY Radó vezette le elsőként. A műszeres megfigyelések előtti időszakban ez volt, illetve történelmi rengések esetében ma is ez az egyetlen lehetőség a fészekmélység meghatározására. Az egyenletet a szakirodalom ma is Kövesligethy-képletként tartja számon.

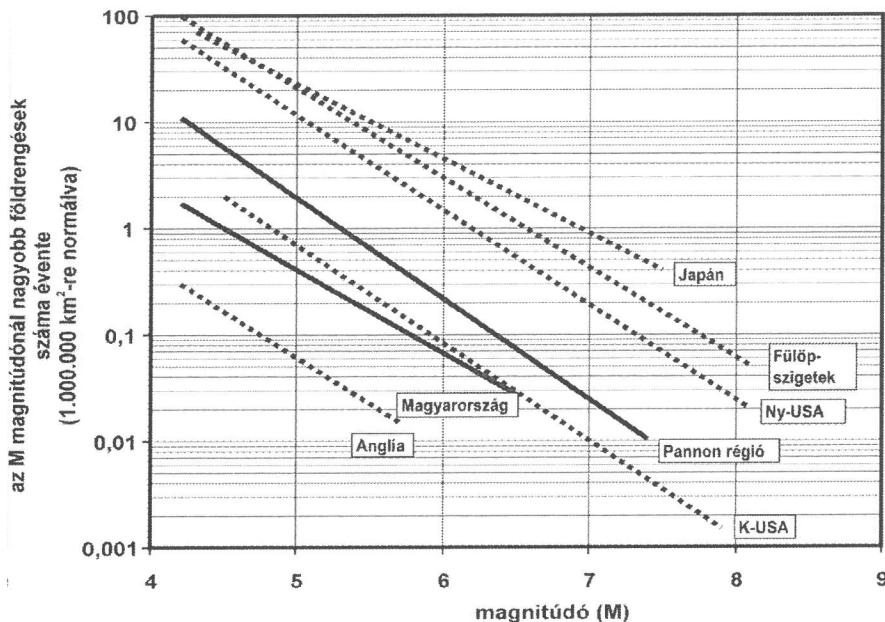
A Pannon-medence szeizmikus aktivitása viszonylag kicsiny, de nem elhanyagolható. Több nagy földrengés volt az utóbbi évszázadokban, amelyeket történelmi feljegyzések vagy — a későbbieket — műszeres megfigyelések és részletes kárfelmérés alapján jól ismerünk: Komárom (1763, 1783, 1806, 1851), Kecskemét (1908, 1911), Eger (1925), Dunaharaszti (1956) és Berhida (1985). A mérsékelt szeizmicitás tehát nem jelenti azt, hogy minden földrengés mérsékelt erősségű, csak azt, hogy a nagy rengések ritkábbak, mint a nagy aktivitású területeken (Japán, az Egyesült Államok nyugati partvidéke, vagy Európában a mediterrán területek). Hazánkban több, a Richter-skálán bizonyítottan a 6-os magnitúdót meghaladó rengés volt (Komárom, 1763 $M=6,2$, Érmellék, 1834 $M=6,2$) emiatt nem zárható ki, hogy a jövőben is lesznek 6,0 és 6,5 közötti, esetleg 7,0 magnitúdót is elérő rengések. Az epicentrumok eloszlását Magyarországon és környezetében a 4. ábra mutatja be. Az 5. ábra hasonlítja össze hazánk és néhány más terület földrengés-aktivitását a magnitúdó-gyakoriság eloszlások segítségével. A 6. ábrán Európa hazánkat is tartalmazó déli részének földrengés-veszélyeztetettségét mutatja be. A térkép nemzetközi kutatómunka eredménye, amelyben magyar szeizmológusok is részt vettek.

Hazánk területén jelenleg 4 általános célú obszervatórium működik: Sopronban, Piskéztetőn és Gyulán modern digitális műszerekkel és Budapesten (a Sas-hegy belsejében) analóg műszerrel. Ezt egészíti ki a Paksi Atomerőmű földrengés-veszélyeztetettségének megállapítására 1995-ben felállított mikroszeizmikus hálózat és az 5 úgynevezett gyorsulásmérő (vagy strong-motion) műszer. A Paks körüli hálózat központi feldolgozó számítógépe Budapesten van és a kis földrengések helyének, nagyságának, kedvező esetben a mozgás jellegének meghatározására is alkalmas. A hálózat működtetésétől joggal várják a szeizmológusok, hogy a hazai földrengés-tevékenységről néhány év (évtized) után minden eddiginél pontosabb képet fognak kapni [TÓTH, MÓNUS 1997].

A nukleáris erőművek veszélyeztetettsége közismert és komoly erőfeszítéseket is tesznek a biztonságos működtetésre — többek között Magyarországon is [MAROSI, MESKÓ 1998]. A különösen fontos és védendő létesítmények földrengés-veszélyeztetettségét az időtartamok és valószínűségek különböző szintjeivel jellemzik. Az építési szabványokban is rendszerint az adott időtartamhoz és valószínűséghez tartozó intenzitás vagy az abból következő horizontális gyorsulás szerepel. Például atomerőművek esetén a biztonságos működésre vonatkozó érték a $T=100$ év és a 0,5 valószínűségi

szint lehet (úgynevezett OBE = operation basis earthquake), míg a biztonságos lezáráshoz tartozó érték meghatározásához a $T = 10\,000$ évet és ugyancsak a 0,5 valószínűségi szintet választhatjuk (úgynevezett SSE = safe shutdown earthquake). Az első adat annak a földrengésnek az intenzitása,

melynek bekövetkezése esetén a működésben még semmilyen zavar nem lesz. A második azt adja meg, hogy a működést ugyan abba kell hagyni egy ekkora rengés esetén, de az erőmű biztonságosan lezárható — anélkül, hogy a környezetbe radioaktív anyagok kerülnének ki.



5. ábra. Magnitúdó-gyakoriság kapcsolat néhány területre

Fig. 5. Magnitude-frequency relation for some areas

Nem ilyen megnyugtató a helyzet más nagy létesítmények földrengés-veszélyeztetettségével kapcsolatban. Talán a mérnökök számára beláthatatlannak tűnő időtartamok miatt a földrengés-veszélyeztetettséget sokszor elhanyagolják. (Nagyméretű víztárolók gátjaira lakott területek közelsége esetén rendszerint $T = 30\,000$ évet írnak elő. Még hosszabb időtartamra kell számításokat végezni nagy aktivitású radioaktív hulladékok elhelyezésekor, hiszen az anyagot több százezer évig kell biztonságosan elszigetelni környezetétől.) A geodéziai módszerekkel jól nyomon követhető szintváltozások jelzik egyes területek emelkedését, mások süllyedését. A GPS mérési kampányok képet adnak a horizontális elmozdulásokról. A feszültségmérésekből világosan kitűnik, hogy Magyarország nem feszültségmentes terület. A nagyobb mélységek viszonyait felderítő szeizmikus mérések sok törésvonalat — tört, zúzott övet — tártak fel. Ezek egy része ma is aktív lehet, vagy tektonikai aktivitása felújulhat.

A földrengések előrejelzése a világon sehol sem megoldott, a földrengéskárok mérséklésének jelenleg egyetlen hatékony módja a földrengésálló építkezés: olyan építési technológiák alkalmazása, melyek biztosítják az épületek földrengésállóságát. Emiatt lényeges feladat az Európai Unióban használatos földrengés-biztonsági építési normák átvétele és betartása. Az EU egységes szabályozásának (EUROCODE8) hazai honosítása folyamatban van.

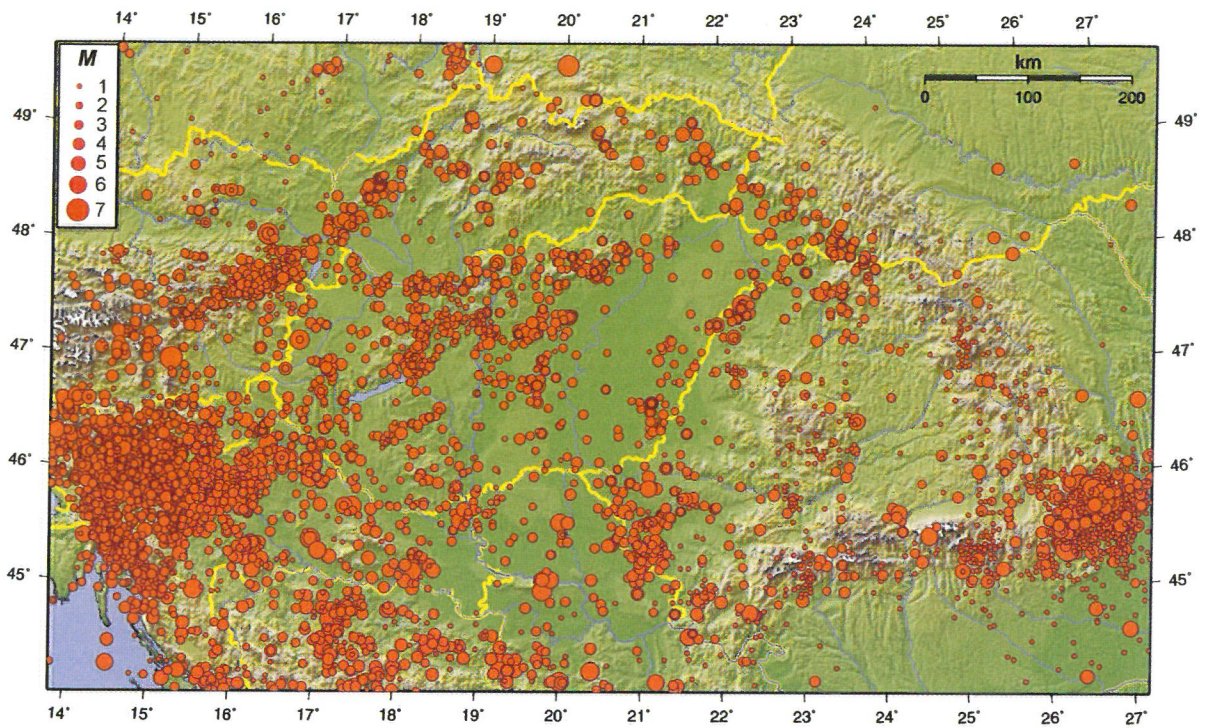
A jövő fontos feladata a Paksi Atomerőmű és a kialakítandó kis és közepes aktivitású hulladéktároló szeizmológiai monitorozásának folyamatos biztosítása, valamint a nagy aktivitású (kiégett fűtőelemek elhelyezésére szolgáló) tároló hely kiválasztásának szeizmológiai előkészítése.

Az a tény, hogy a geofizikai mérésekkel — közvetve vagy közvetlenül — a földben lévő anyagok fizikai tulajdonságai közötti különbségek felderíthetők, jól alkalmazható a lokális feladatok megoldására alkalmazott környezeti

geofizikában is. Egy hulladéktárolóból szivárgó szennyezett, a porózus közetrétegben lassan áramló oldatnak más az elektromos ellenállása, mint az ugyanolyan mélységben és közetrétegben áramló tiszta talajvíznek. Veszélyes hulladékot tároló, elásott hordóknak más a mágnesezhetőségük, mint a környező vagy fedő talajé. A fémhordóknak saját mágneses terük is van — míg a környező talajnak nincsen. De még az egyszerűen csak megbolygatott talaj szerkezete és több fizikai paramétere is megváltozik. Nemcsak természet alkotta üregek, de kiásott, majd betemetett árkok is megtalálhatók geofizikai mérésekkel — még akkor is, ha évszázadok alatt új rétegek kerülnek rájuk és felszíni nyomaik a szem számára láthatatlanná válnak. Ugyanezt a jelenséget használják ki a régészeti felderítésre kiterjedten alkalmazott, és gyorsasága és megbízhatósága miatt közkedvelt részletes mágneses mérések is.

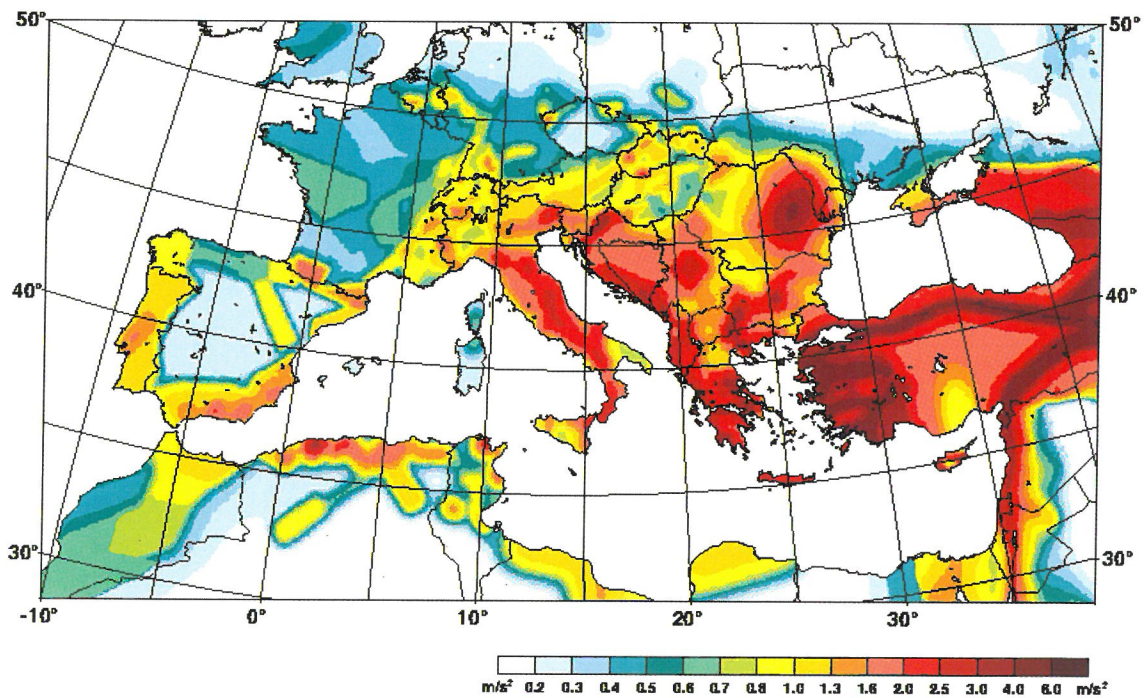
Az elektromágneses hullámok is, a rugalmas hullámokhoz hasonló módon, visszaverődnek különböző rétegek határáról és így a rétegek helyzete meghatározható a felszínen keltett és érzékelt hullámokkal. Ezt hasznosítja a földradar (GPR) — bár sokkal sekélyebb rétegek, de sokkal jobb felbontású, részletesebb megismerésére. A 7. ábra egy feldolgozott földradarmérés szelvényét és — alatta — a mérések értelmezését mutatja be.

A földmozgások okozta veszélyek között a földrengések mellett a földcsuszamlásokat, omlásokat kell említenünk. Szerencsére hazánkban viszonylag ritkán okoznak nagyobb károkat, de állandó potenciális veszélyt jelentenek, amelyre fel kell készülnünk. A csuszamlások és rokon folyamatok problémáját nem lehet egyedi megoldásokkal tartósan kezelni, mivel nagy térséget érintő regionális környezeti problémáról van szó, amelyben a természeti folyamatok és antropogén hatások együttesen eredményezik a veszélyhelyzetek kialakulását. Egységes szemlélettel és módszerekkel kell elvégezni a tudományos vizsgálatokat, majd



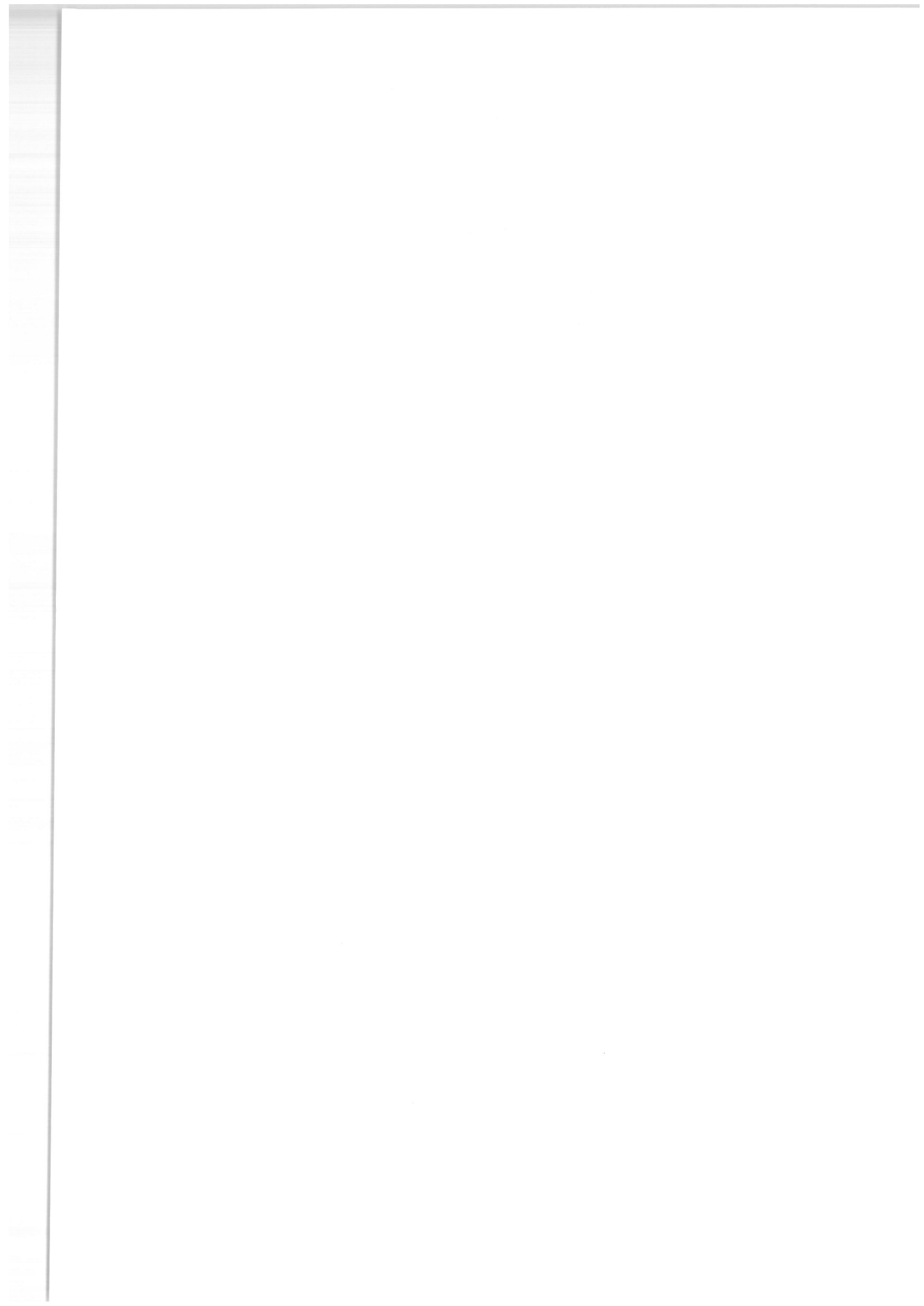
4. ábra. A földrengések epicentrumainak eloszlása a Pannon-medencében és a hozzá kapcsolódó területeken (44,0–50,0 É; 13,0–28,0 K). A katalógus több mint 20 ezer rengést tartalmaz a 456-tól 1998-ig terjedő időszakról. A körök mérete a rengések magnitúdójával arányos [TÓTH, ZSÍROS 2002 nyomán]

Figure 4. Epicenters in the Carpathian Basin and adjacent areas (44.0° – 50.0° N and 13.0° – 28.0° E). The catalog includes over 20,000 earthquakes in the time interval 456–1998. The radii of the circles are proportional to the magnitude [after TÓTH, ZSÍROS 2002]



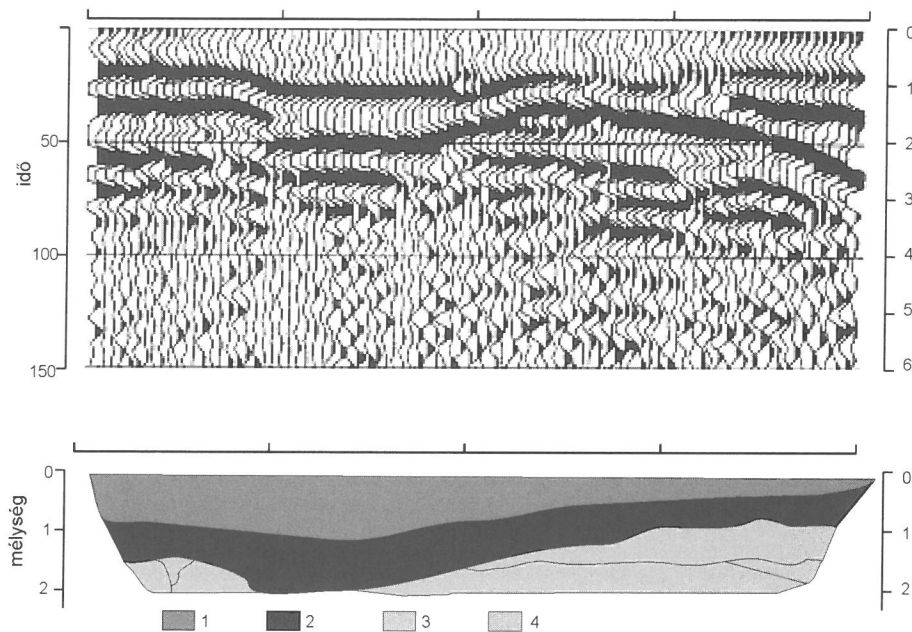
6. ábra. Közép- és Dél-Európa földrengés-veszélyzettségi térképe (valószínűség 10%, időtartam 50 év, készült a GSHAP program során 1992–1998)

Figure 6. Seismic hazard map for Central and Southern Europe (probability level: 10%, time span: 50 years, constructed in the framework of the GSHAP 1992–1998)



végrehajtani a szükséges műszaki beavatkozásokat. A tapasztalatok alapján megállapítható, hogy átgondolt településfejlesztési és rendezési tervvel, szakszerű közművesítéssel és felszíni vízelvezetéssel a partomlások, rogyások jelentős része elhárítható.

Mind a csuszamlásveszélyes területeket, mind a gátak állapotát célszerű ellenőrizni a környezeti geofizikai (köztük a földradar) mérések segítségével. A jelentős károk egy része így elkerülhető, azaz méréseink komoly gazdasági előnyökkel is járhatnak.



7. ábra. Földradar felvétel (felül) és értelmezése (alul)

Fig. 7. Section obtained by ground penetrating radar (top) and its interpretation (bottom)

HIVATKOZÁSOK

- ÁDÁM A., MESKÓ A. (szerk.) 2001: A földtudományok és földi folyamatok kockázati tényezői. Stratégiai kutatások a Magyar Tudományos Akadémián 1–242 old., Magyar Tudományos Akadémia kiadása
- Board on Sustainable Development, National Research Council 2000: Our Common Journey, a transition towards sustainability. National Academy Press, Washington, D.C.
- KÉSMÁRKY I. (főszerk.) 2002: A felszíni geofizikai kutatás 50 éve a kőolajiparban. GES Kft kiadása, 348 old.
- MAROSI S., MESKÓ A. (szerk.) 1998: A Paksi Atomerőmű földrengésbiztonsága. Akadémiai Kiadó, Budapest. 178 old.
- MESKÓ A. 1997: Energia és nyersanyagok a Földből. Magyar Tudomány **10**, 1188-1202
- MESKÓ A. 2000: Átmenet a fenntarthatósághoz a 21. században. Magyar Tudomány **10**, 1252–1263
- PANTÓ GY., ÁDÁM J., MÉSZÁROS E. 2002: Földtudomány. Tudománypolitika Magyarországon II. A diszciplínák művelése. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest
- PAPP S. 1996: Életem. Magyar Olajipari Múzeum kiadása. 352 old.
- SZARKA L., GYULAI Á., VERŐ L., 2001: A magyar környezetgeofizika — európai mércével. In: ÁDÁM A., MESKÓ A. (szerk.) 2001: A földtudományok és földi folyamatok kockázati tényezői. Stratégiai kutatások a Magyar Tudományos Akadémián 1–242. old.
- TÓTH L., MÓNUS P. 1997. A Paksi Atomerőmű mikro-szeizmikus megfigyelő hálózata. In: A Paksi Atomerőmű földrengésbiztonsága (szerk.: MAROSI S., MESKÓ A.) 113–121
- TÓTH L., ZSIROS T. 2002: A Pannón-medence szeizmicitása és kockázata In: Magyarország földrengésbiztonsága konferencia kiadványa, 129–138
- United Nations Conference on Environment and Development, 1992: Report of the United Nations Conference on Environment and Development. Rio de Janeiro, 3-14 June 1992. (Annex I: Rio Declaration, Annex III: Agenda 21)
- World Commission on Environment and Development 1987: Our Common future (Brundtland Report). Oxford University Press, New York

Általános geofizika: a Föld körüli térség fizikája¹

BENCZE PÁL, VERŐ JÓZSEF²

A tanulmány az elmúlt 50 évben magyarországi, elsősorban geofizikai intézményekben végzett, a Föld körüli térségre vonatkozó kutatások legfontosabb eredményeinek összefoglalását tartalmazza. A tudományos kutatáshoz szükséges adatszolgáltatást végző obszervatóriumok (Nagyecsk, Tihany) ebben fontos szerepet játszottak. Újabban a Föld körüli térség fizikai folyamatainak tanulmányozása már nem nélkülözheti a mesterséges holdakon végzett méréseket sem. Ezek a kutatások nagyrészt az elmúlt 50 évben indultak el és a geomágneses tér változásai eredetének, a geomágneses tér által elfoglalt térrészben a magnetoszférában, valamint a felső légkör ionizált részében, az ionoszférában lejátszódó fizikai folyamatoknak a megismerésére irányultak.

P. BENCZE, J. VERŐ: Physics of the Earth: Physics of the Earth's environment

This paper is a review of results referring to the study of the Earth's environment obtained first of all in geophysical institutions in Hungary in the past fifty years. The observatories yielding data for research work play an important role in this respect (Nagyecsk, Tihany). Recently, investigation of physical processes of the Earth's environment cannot miss measurements carried out on board of satellites. Most of these investigations started during the last fifty years and are aimed at the knowledge of the origin of geomagnetic variations, at the knowledge of physical processes in the space occupied by the geomagnetic field, that is in the magnetosphere, as well as in the ionized part of the upper atmosphere, in the ionosphere.

A Nap–Föld fizika magyarországi kezdetei

Magyarországon éppúgy, mint más országokban, a Nap–Föld kapcsolatok megismerése a sarki fényből indult el. A Réthly–Berkés könyvben [RÉTHLY, BERKES 1963] közölt régi egylapos nyomtatványok meglehetősen széles körben váltak ismertté, közelmúltbeli tanulmányok is hivatkoznak rájuk, közlik ismét őket. A XVIII. század közepén a jezsuiták HELL Miksa kezdeményezésére már egyidejű észleléseket szerveztek Nagyszombat és Bécs között. Maga HELL pedig sok sarki fényt észlelt Észak-Norvégiába vezetett expedíciója alatt, és erről írt disszertációjával a koppenhágai egyetem első külföldi doktora lett. A budai csillagda a XIX. század első felében bekapcsolódott a Göttingeni Mágneses Társaság mágneses megfigyeléseibe is.

A XIX. század közepén az érdeklődés inkább a permanens mágnesre irányult. Magyarországon még osztrák szervezésben KREIL, majd SCHENZL Guidó végzett ilyen méréseket, az utóbbi grazi bencés szerzetesként jött hazánkba, a Meteorológiai Intézet igazgatója lett, könyve jelent meg a mérés módszeréről [SCHENZL 1884, SCHENZL, KRUSPÉR 1868].

A fordulatot a KONKOLY-THEGE Miklós által alapított ógyallai magánobszervatórium jelentette, amelyet később az államnak adományozott. Itt már korszerű műszerekkel végezték a megfigyeléseket, egy-két műszer ezek közül ma is létezik. A másik, akkoriban érdekes vonalat FRÖHLICH Izidor képviselte, aki egy-egy észak–déli és kelet–nyugati (Brassó és Sopron közötti) távírvonalon mérte a földi áramokat.

Az első, nemzetközi elismerést szerzett magyar kutató a geomágnesség terén ugyancsak meteorológus volt, a szerencsétlen sorsú STEINER Lajos. Az akkoriban geomágneses öbölnek nevezett szubviharok átlagos vektor-

diagramját szerkesztette meg a nap különböző időszakában, evvel elsőként utalt arra, hogy többé-kevésbé szabályos áramrendszernek kell megjelenie ilyen eseményekkel kapcsolatban. Erre a munkájára hivatkozik a nagy Chapman–Bartels monográfia is [CHAPMAN, BARTELS 1940], mint egyetlen magyar szerzőre.

Egyébként ez a monográfia még egy szempontból magyar vonatkozású: megjelenése már a II. világháború idejére esett, amikor az Angliában megjelent könyvet nem lehetett eljuttatni Németországba BARTELSnek. BARTA György akkor Dániában tanulmányozta a geomágneses obszervatórium működését, ott megvette a könyvet, s hazafelé jövet ő mutatta meg BARTELSnek, aki, mivel a háború vége előtt elhunyt, különben nem is láthatta volna.

BARTA Dániában szerzett ismeretei alapozták azután meg a geomágneses mérések újraindítását, először az ideiglenesen ismét magyarrá lett Ógyallán, majd a II. világháború után Budakeszin, illetve Tihanyban.

A budakeszi és a tihanyi obszervatórium

A második világháború után, mikor az ógyallai obszervatórium megint Csehszlovákiához került, Magyarország ismét mágneses obszervatórium nélkül maradt. BARTA György, aki lelkesen munkálkodott a mágneses alaphálózat újramérése érdekében, a redukciókhoz szükséges időbeli változást jellemző adatok regisztrálása céljából 1949-ben Budakeszin ideiglenes obszervatóriumot létesített, még az Országos Meteorológiai és Földmágnességi Intézet keretében. 1950. szeptember 1-én azután a földmágneses obszervatóriumi szolgálat átkerült az ELGI kötelekébe. Az új állandó obszervatórium helyikijelölő méréseinek befejezése után, 1953-ban elkészültek az obszervatórium tervei, majd megkezdődött az építkezés. Az épületek felépítése és felszerelése után 1953. november 15-én megnyílt a Tihanyi Obszervatórium. A kezdeti időkben az időbeli változások regisztrálására és az abszolút mérések végzésére az Ógyalláról átmentett klasszikus műszereket használták. A

¹ Beérkezett: 2003. december 15-én

² MTA FKK Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet, H-9400 Sopron, Csatai E. u. 6–8.

regisztrátumok fotópapírra készültek, melyeket az obszervatórium személyzete naponta cserélt és hívott elő helyben. A regisztrátumok feldolgozása is kézi munkával történt, beleértve a bázismenet számolását, a napi maximumok és minimumok amplitúdójának és előfordulási idejének, illetve az óraátlagértékeknek a meghatározását. A megfigyelés eredményei a szintén kézi munkával előállított obszervatóriumi évkönyvben jelentek meg [A Tihanyi Obszervatórium évkönyvei 1955–1987].

Az obszervatórium létszáma általában 5–10 fő között mozgott, de a 70-es években egyszer a 16 főt is elérte. Igaz, ekkor a mágneses mérések mellett ionoszféra-magnetoszféra, meteorológiai, gravimetriai, paleomágneses, geotermikai és kőzetfizikai megfigyelések is folytak, és kisebb műszerfejlesztési tevékenység is volt. Később a munkatársak száma folyamatosan csökkent a mai háromra.

A technikai fejlődés, az első számítógépek megjelenése kézenfekvő lehetőséget kínált a mérések és a feldolgozási munka automatizálására. Kezdetben ez ugyan nem csökkentette a létszámigényt, csak megváltoztatta az emberek tevékenységét, de később már lehetővé tette ugyanazon munkák végzését kevesebb emberi munka felhasználásával.

Először 1969-től az évkönyvek készültek részben számítógép felhasználásával, majd 1970-től megindultak az első kísérletek a fotoregisztrálók kiváltására és elkezdett dolgozni az obszervatóriumban a SZEMERÉDI Pál által kifejlesztett protonrecessziós magnetométer is. Az első időben az automatizálás csak elektromos kimenetű variométerek és vonalírók használatát jelentette, de 1973-ban már elkészült az első digitális regisztráló, mely az adatokat lyukszalaglyukasztó segítségével rögzítette. Ekkor még a világpiacon ilyen berendezések nem voltak, és ha lettek volna is, a forint konvertibilitásának hiánya miatt elérhetetlenek voltak.

Sajnos a lyukszalagos regisztrálás nem csökkentette a kézi munkát, sőt néha még növelte is, mivel a perforátor gyakori hibázását sziszifuszi kézi munkával kellett javítani, így 1977-től már áttértek a kazettás magnóra, majd az igazi nagy változást az jelentette, amikor 1982-től már az időközben megjelent PC-k adatrögzítőjét, a flopit használták. Az első igazán kompakt műszer a Bobrov variométereket és beépített mikroprocesszort tartalmazó DIMARS (Digital Magnetic Recording System) volt, amely nagy feltűnést keltett az 1986-ban Kanadában megrendezett első IAGA Obszervatóriumi Munkatalálkozón. Későbbi változata Tihany mellett Nagycenken, a Szovjetunióban és Indiában is dolgozott, sőt az alibagi obszervatóriumban (India) még 1997-ben is üzemben volt. Jelentős mérföldkő a tihanyi obszervatórium történetében 1991. Ekkortól lett tagja az INTERMAGNET nemzetközi együttműködésnek, mely mára 38 ország 94 obszervatóriumának közös szervezete lett. Itt a résztvevőknek meghatározott szabványokat kell teljesíteniük, tehát a tagság egyben garantált színvonalat is jelent. Mi több, a követelmények a technika fejlődésével emelkednek, így aki tag akar maradni, folyamatosan fejlesztenie kell. Az egykori lassú, variációs fotoregisztrátum által biztosított körülbelül kétperces időbeli és egy nanoteszlás mágneses felbontás mára egy másodpercre és egytized nanoteszlára változott.

Tihanyban 1998-tól van internet elérhetőség, de csak 2003-ban sikerült megvalósítani a folyamatos kapcsolatot.

Lassú variációs adatok 1991-től előbb a Meteosaton keresztül jutottak óránként a nemzetközi adatközpontba, amit később az e-mail váltott fel, mára pedig real-time formában rendelkezésre állnak az interneten keresztül.

Bár időközben a politikai és gazdasági változások miatt már nem jelentett adminisztratív nehézséget a piacon esetleg megtalálható műszerek megvásárlása, az időközben felhalmozódott fejlesztési tapasztalatok indokoltá tették ezen tevékenység folytatását is és ehhez jól lehetett hasznosítani az obszervatórium még mindig meglehetősen jó, mágneses zavaroktól mentes elhelyezkedését. Egy 1993-ban indult magyar–amerikai közös projekt keretében elindult egy régebben publikált, de bizonyos kényelmetlen tulajdonságai miatt elfelejtett mérési módszer: a delta I – delta D (dIDD) adaptálása a modern technika eszközeire. Ekkor a KÖRMENDI Alpár által e célra matematikailag modellezett tekercsrendszer fizikai megvalósítása kezdődött meg, az ennek alkalmazásával létrehozott műszer ma már a tihanyi és a US Geological Survey által üzemeltetett kilenc obszervatórium mellett további öt ország tíznél több obszervatóriumában működik. 2001-re elkészült ennek egy újabb változata, egyelőre három példányban. Az ezekkel elért nagy bázison-stabilitás nem zárja ki, hogy a jövőben ez a műszer váljon uralkodóvá az obszervatóriumi, sőt egyes terepi alkalmazásokban is.

Az obszervatóriumban jelenleg öt különböző típusú regisztrálóműszer mér folyamatosan, ami a nagy adatbiztonság mellett érdekes eredményeket ad a különböző műszerek jellemzőinek pontosabb megismerésére.

Meg kell még említeni, hogy 1998-tól szintén egy magyar–amerikai együttműködéssel kezdődött téma keretében újraindult a mágneses pulzációk vizsgálata. Ennek elsődleges célja a pulzációk egy fajtája eredetének megállapítása. A munka jelenleg Tihany, Nagycenk, Farkasfa, illetve a szlovákiai hurbanovoi állomás adataira épül, de további állomások adatai is felhasználásra kerültek.

A geoelektromos módszer és az MTA soproni intézete

Az olajkutatás felől induló geo(elektro)mágneses mérések kiemelkedő alakja volt KÁNTÁS Károly professzor. Eleinte a geomágneses terepi mérések módszerével, mágneses hatószámítással foglalkozott, egyebek között így került Sopronba is, ahol megismerkedett TÁRCZY-HORNOCH professzorral. Az ismeretség révén szerzett magántanári képesítést Sopronban, majd ott megalapította a Geofizikai Tanszéket. Ez a geofizikus szak indításával, a Magyar Geofizikusok Egyesületének megalapításával esett időben össze. KÁNTÁSnak még az olajipari időkből jó kapcsolatai voltak Franciaországgal, a Schlumberger céggel, ennek révén szerzett be akkoriban újdonságnak számító tellurikus műszereket. Ezekkel a műszerekkel végezték az első hazai tellurikus kutatásokat is. A kutatások otthonául hozta létre az MTA *Geofizikai Kutatólaboratóriumát*, amely később az MTA *Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet* keretében folytatta működését.

Mivel a tellurikában elsősorban a geomágneses pulzációkat használják, ezek a mérések sok szempontból tágitották a pulzációkkal kapcsolatos ismereteinket is. Egyetlen példa szemléltesse ezt: KÁNTÁS barátja, a magyar származású,

Franciaországban élő KUNETZ Géza egyidejűleg hasonló pulzációkat észlelt Franciaországban, Venezuelában és Madagaszkáron. Ez azt bizonyította, hogy a pulzációk, pontosabban azok egy része globális jelenség. Az viszont már általános érvényű megfigyelés volt, hogy mintegy 20–40 km-es távolságig a pulzációk összehasonlíthatók, vagyis a bázisállomás ilyen távolságra lehet a mozgó állomásoktól.

Érdekes eredmények születtek a KÁNTÁS által kezdeményezett kínai geoelektromos expedíció előkészítése során is. A bemutatóra kivitt műszerekkel Pekingben ÁDÁM Antal egyidejű méréseket végzett Sopronnal, s nemcsak a jelek egyidejűségét, hanem a periódusok hasonlóságát is kimutatta. Ez ismét a pulzációk globális jellegét bizonyította.

Mindezek az eredmények jelezték egy hazai földi áram-obszervatórium létesítésének szükségességét. Ekkor Tihany már működött, így elsődleges célnak a rövidebb periódusú geoelektromágneses jelek vizsgálatát tűzték ki, ez pedig az akkori technikai lehetőségek mellett a tellurikus áramok mérésével volt könnyebben megvalósítható. Kapóra jött az 1957–58-ra meghirdetett Nemzetközi Geofizikai Év, amelynek keretében a magyar részvétel egyik lényeges eleme éppen a Nagycenken létesített geofizikai obszervatórium lett.

A nagycenki Széchenyi István Geofizikai Obszervatórium

Hosszas előkészítő munka, számos lehetséges helyszín alapos vizsgálata után esett a választás a Fertőboz melletti Kiscenki Fácánosnak nevezett dűlőre. Kézenfekvő volt, hogy az obszervatóriumot ne a közelebbi Fertőboz községről nevezzék el, hanem a SZÉCHENYI nevéhez kapcsolódó Nagycenkről, annak ellenére, hogy SZÉCHENYI nevét csak a rendszerváltás után vette fel az obszervatórium. Az építkezések 1956-ban kezdődtek, 1958-ban fejeződtek be (1. ábra). KÁNTÁS távozása után TÁRCZY-HORNOCH vette át a laboratórium vezetését, s a Geofizikai Év kezdetére, 1957 augusztusára meg is indultak a mérések.

Az elején a körülmények eléggé kezdetlegesek voltak, nem volt sem villanyhálózat, sem víz, akkumulátorok szolgáltatták az energiát. Kezdetben sok gondot okozott a kábelek gyakori szakadása vagy éppen átvágása, mígnem mélyebbre ásott, páncél burkolatú kábelekkel sikerült ezt a problémát megoldani. Igaz, a kábelcsera bizonyos mértékig módosította a változások, elsősorban a napi változás vektordiagramját — ennek oka a mai napig ismeretlen. Az elektródok 2 m mélységben, agyagágyban elhelyezett ólomlemezek, közel 50 év után is sértetlenek, viszont a Fertő felé lejtő lankás területen áramló víz nagy esőzések vagy gyors hóolvadás idején meglehetősen nagy természetes potenciált hoz létre. Szerencsére ilyen eset csak többévenként fordul elő. Gondot okozhat a villámcsapás is, a geomágneses obszervatóriumok legnagyobb ellensége, sőt bizonyos rejtélyes sztatikus feltöltődést is észleltek.

Természetesen a legtöbb gondot a mesterséges, ember okozta zavarok okozzák. Ezek egy részét maga az obszervatórium termeli, tapasztalatok szerint úgy, hogy a földelt nullán a talajba kerülő váltakozó áram egy ezredrészt sem éri el, mégis tönkreteszi a regisztrátumokat.

Az idő múlásával az obszervatórium mérései egyre szélesebb körűek lettek. Elsősorban az 1961-ben megindult mágneses relatív és abszolút mérések jelentettek komoly előrelépést. Amikor a nyolcvanas években a GYSEV Győr–Sopron közötti vonalát villamosították, az addig nagyon alacsony zajszint megnőtt, elsősorban a rövid periódusú tartományban, emiatt az 1 Hz frekvencia körüli gyöngy-pulzációk mérését le is kellett állítani. Viszont a jelképes kártérítésből vásárolt műszerekkel sikerült elindítani a digitális regisztrálást és evvel az INTERMAGNET együttműködésbe is be tudtak kapcsolódni.

A Nagycenki Geofizikai Obszervatórium létesítésének az előkészületeinél is már egy, a földi elektromágneses tér tanulmányozására szolgáló obszervatórium létesítése volt a cél. Így az Obszervatórium műszerezése során a földi áram és a geomágneses tér időbeli változásai regisztrálásának megindítását követően sor került a légköri elektromos mérések megindítására is. Annak idején a földi elektromágneses térrel kapcsolatban az volt az elképzelés, hogy a geomágneses tér három X, Y, Z komponense és a geoelektromos térnek a földi áramok által képviselt vízszintes É–D és K–Ny-i összetevői mellett a légköri elektromos tér képezi a függőleges összetevőt. A légköri elektromosság tanulmányozása saját tervezésű és készítésű műszerekkel indulhatott meg még 1961-ben, illetve 1962-ben. A légköri elektromosság tanulmányozása a csúcskísülési áramok — mint a zivataros időszakokban fellépő, nagy elektromos térerőségekkel arányos paraméter, és az ún. „szépidő” időszakokban észlelhető elektromos térerősség regisztrálásával kezdődött. Ez a mérési tevékenység ma is folyik, így már mintegy 40 évre terjedő adatsor keletkezett. Közben kísérletek voltak a légköri elektromos áramkör másik jellemzőjének, a vertikális áramnak a regisztrálására is.

Hamarosan kiderült, hogy a légköri elektromos térerősség nem felel meg a földi áramok által képviselt geoelektromos tér függőleges összetevőjének, más eredetű. Így fordult a figyelem a geomágneses és a geoelektromos tér változásaihoz valóban kapcsolódó ionoszféra megfigyelése felé. Az ionoszféra megfigyelése Magyarországon az 1957–58-as Nemzetközi Geofizikai Évet közvetlenül megelőző években kezdődött az Országos Meteorológiai Intézet pestlőrinci Aerológiai Obszervatóriumában FLÓRIÁN Endre kezdeményezésére. Ezt egy magyar gyártmányú ionoszféra-szondázó berendezés tette lehetővé. Ez a berendezés 1960-ban Budapestről Békéscsabára került. A párhuzamos kutatások elkerülése végett olyan döntés született, hogy a Meteorológiai Intézetben a felső ionoszféra, az MTA Geofizikai Kutatólaboratóriumában az alsó ionoszféra kutatásával foglalkoznak. Így az alsó ionoszféra tanulmányozására a Nagycenki Obszervatóriumban 1966-ban megindult a rádióhullámok ionoszférikus abszorpciójának a mérése. Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál történt leépítések során az 1974-ben beszerzett ausztrál gyártmányú ionoszféra-szondázó berendezés 1992-ben a Nagycenki Obszervatóriumba került. 1993-ban elkezdődött a Schumann-rezonancia frekvenciák regisztrálása is, amely az első három módus amplitúdójának és frekvenciaváltozásának a meghatározására irányul (2. ábra).



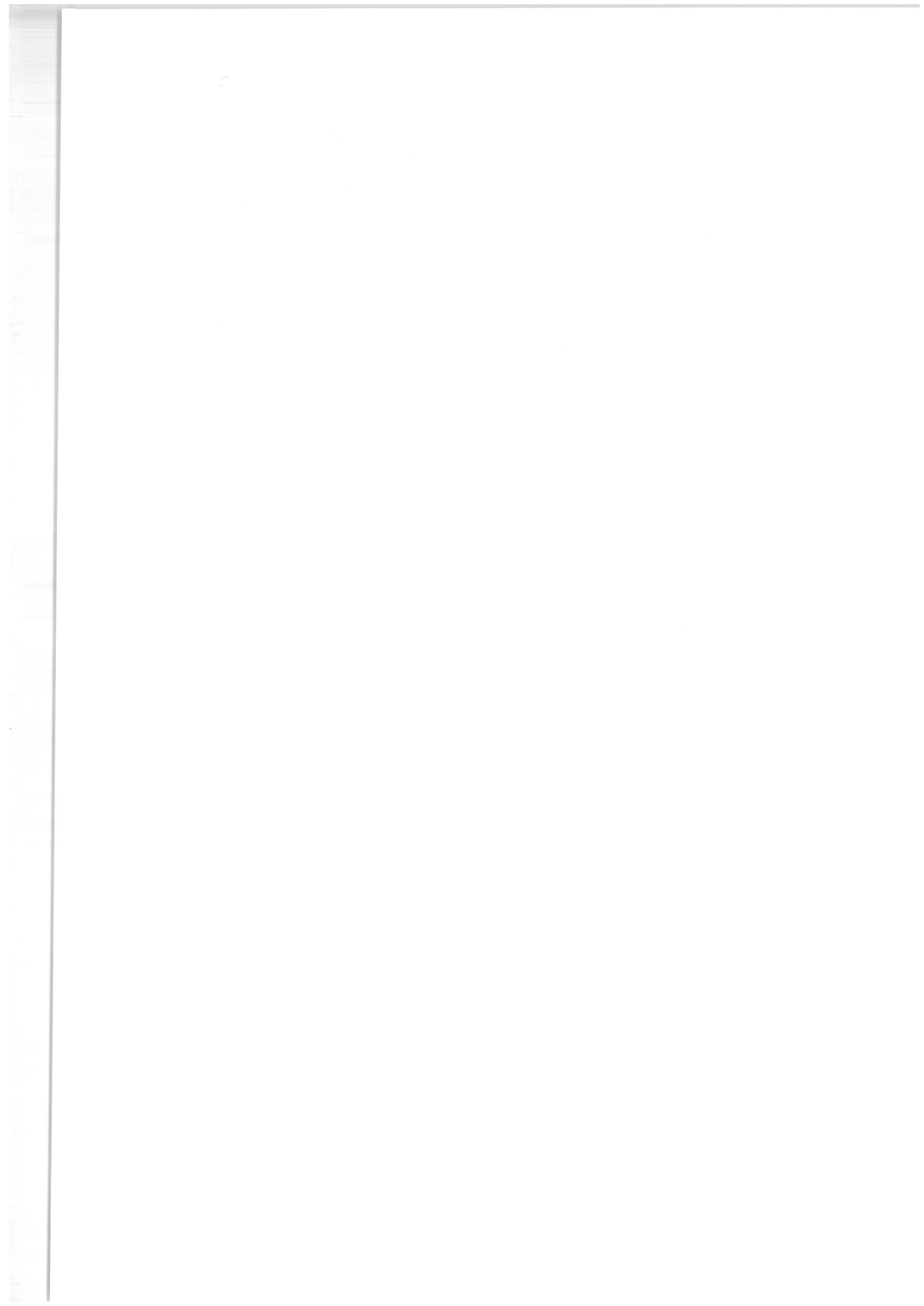
1. ábra. A nagyecenki Széchenyi István Geofizikai Observatóriumban a geomágneses tér változásait regisztráló műszerek befogadására szolgáló épület

Fig. 1. Building for the housing of instruments recording variations of the geomagnetic field in the Széchenyi István Geophysical Observatory Nagycenk

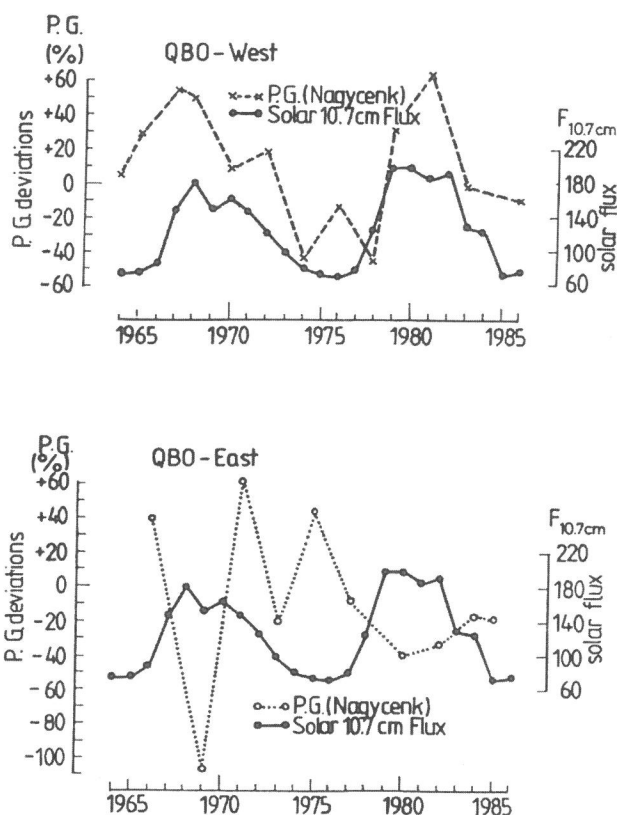


2. ábra. Gömbantenna a Schumann-rezonanciák vertikális elektromos komponensének a mérésére a Széchenyi István Geofizikai Observatóriumban [SÁTORI et al. 1996]

Fig. 2. Ball antenna for the measurement of the vertical electric field component of Schumann resonances in Széchenyi István Geophysical Observatory [SÁTORI et al. 1996]



A Nagycenki Observatóriumban az 1960-as évek elején megkezdett légköri elektromos mérések az első időszakban a légköri elektromos térerősség (potenciálgradiens) napi változásának a tanulmányozására összpontosultak. Ennek alapján megállapították, hogy az Observatórium, szárazföldi állomás volta ellenére, a potenciálgradiens viszonylag zavartalan mérését teszi lehetővé. Ez azt mutatta, hogy az ott regisztrált értékek elsősorban a téli hónapokban a globális légköri elektromos jelenségek vizsgálatára is alkalmasak. Így megfelelően kiválasztott és elegendően hosszú téli adatsor birtokában feltárták a légköri elektromos tér és a naptevékenység 11 éves ciklusa közötti kapcsolatot (3. ábra). Rövid periódusú (néhány napos) időskálán pedig kimutatták a légköri elektromos tér szignifikáns változását mind a napkitöréseket, mind a galaktikus kozmikus sugárzásban fellépő Forbush-csökkenéseket követően.



3. ábra. Felül: Téli (január és február havi) légköri elektromos potenciálgradiens eltérések (%-ban) Nagycenken (hajnali órákból vett minták alapján) az 1964–1986 időszak téli (január–február) átlagára vonatkoztatva a QBO nyugati fázisával jellemzett években (1964 és 1986 között), valamint a naptevékenység változását jelző 10,7 cm-es szoláris fluxus január és február havi átlagai ugyanezen időszakban. Alul: A fentiekkel megegyező paraméterek változása a QBO keleti fázisával jellemzett években [MÁRCZ 1990]

Fig. 3. Top: Late winter (January and February) atmospheric electric potential gradient deviations (in percents) from the long-term (1964–1986) January and February means for the years in the QBO west phase during the given interval (based on samples taken in dawn hours at the Nagycenk Observatory) as well as the averaged January–February 10.7 cm solar flux values characterizing solar activity over the same interval. Bottom: Changes of the same parameters as in the top panel but for years in the QBO east phase [MÁRCZ 1990]

A csúcskislési áramok regisztrátumainak az elemzése útján a zivatarfelhők elektromos szerkezetének a meghatározása és ennek alapján annak statisztikai vizsgálata vált lehetővé. A csúcskislési áramok által szállított negatív és pozitív töltések hányadosának 34 éves adatsorát elemezve a hányados folyamatos növekedését tapasztalták, ami a globális változással függhet össze.

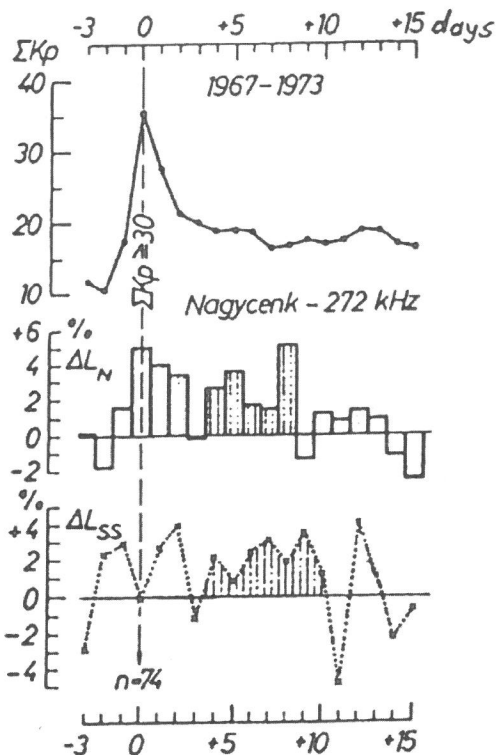
A Schumann-rezonanciák (SR) folyamatos mérésének a megindítása 1993-ban új lehetőségeket teremtett a globális zivartartévékenység, és ezáltal a globális éghajlati trendek tanulmányozására. Az SR amplitúdók érzékenyek a zivartartévékenység hőmérsékletfüggő változására, az SR frekvenciák függenek mind a zivatarforrás–észlelő távolságtól, mind a Föld-ionoszféra üregrezonátor ionoszférikus határfelületének a tulajdonságaitól. Az SR amplitúdókban kimutatták a féléves, kb. 1,5 °C-os trópusi hőmérsékletváltozás zivartartévékenységre gyakorolt hatását. SR frekvenciák változásából a globális zivartartévékenység meridionális átrendeződésére következtek a trópusi ENSO (El Nino Southern Oscillation) időskálán. Az SR frekvenciák 11 éves napciklussal összefüggő elhangolódását a szoláris röntgensugárzásnak az ezen az időskálán, az ionoszférikus határoló rétegben játszott domináns (több mint két nagyságrendű fluxusváltozás) szerepével magyarázták.

A felső légkör kutatása

Az ionoszféra a felső légkörnek az a mintegy 60 km magasságtól 1000–2000 km-ig terjedő része, ahol a szabad elektronok koncentrációja már elegendő ahhoz, hogy a rádióhullámok terjedését befolyásolja. Az ionoszféra keletkezése a Nap ionizáló elektromágneses és részecskesugárzásának a semleges felső légkörrel történő kölcsönhatására vezethető vissza. A mintegy 70 km-nél kisebb magasságokban már csak a nagy energiájú — > 100 MeV — galaktikus kozmikus sugárzás képes a légkört ionizálni.

Az alsó ionoszféra az ionoszférának a kb. 60 és 100 km közötti része. Mivel ahhoz, hogy a légkörbe ilyen „mélyre” hatolhasson be az ionizáló sugárzás, annak nagy áthatoló képességűnek, nagy energiájúnak kell lennie. Ilyen a Nap extrém ultraibolya (< 160 nm), illetve röntgensugárzása (V < 10 nm), valamint a primer galaktikus kozmikus sugárzás. Ezek hozzák létre az ionoszféra legalsó tartományát, a D tartományt. A kutatások során a D tartomány elektronsűrűségében fellépő anomáliákat tanulmányozták. Ezek a téli anomália és a geomágneses utóhatás. Az előbbi az ionizáló sugárzás intenzitása alapján várhatóan nagyobb elektronsűrűséggel jellemezhető, míg az utóbbi geomágneses szempontból zavart időszakban lép fel és az abszorpciónak a geomágneses háborgás lecsengési időszakában fellépő növekedésében nyilvánul meg. Megállapítást nyert, hogy a téli anomália déli határa a korábbi megállapításokkal szemben 50°-nál kisebb, 30°–35°-os szélességeig terjed. A téli anomáliának a szabálytalan, rövidebb időszakokra terjedő változásával kapcsolatban összefüggést állapítottak meg az ilyen időszakokban mért abszorpció növekedése és a könnyen ionizálható gázok (NO) függőleges transzportjának változása között. A geomágneses anomália részletes tanulmányozása azt mutatta, hogy egymás után akár három megnövekedett abszorpciójú időszak is követheti egymást a geomágneses háborgás maximuma utáni tizedik napig a sugárzási övezetekből történő, ismétlődő elektron-

precipitáció eredményeként (4. ábra). Az ún. sztratoszferikus felmelegedések idején az abszorpció növekedését tapasztalták, ami ugyancsak a könnyen ionizálható gázok függőleges transzportjának csökkenésével magyarázható.



4. ábra. Megfelelően kiválasztott, jelentős geomágneses háborgásokkal (felül) összefüggő változások a Nagycenken (272 kHz-en) mért ionoszférikus abszorpcióban az éjszakai órákban (középen) és napnyugtakor (alul), megkülönböztetéssel jelezve az abszorpció növekedésében fellépő 3 fázist [MÁRCZ 1986]

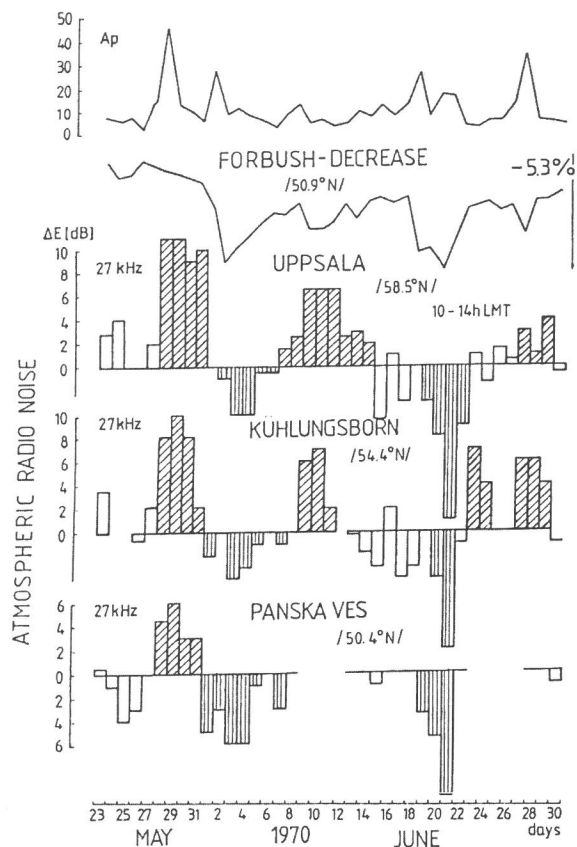
Fig. 4. Changes in ionospheric absorption (272 kHz) measured at Nagycenk both in night hours (middle panel) and at sunset (bottom panel) around appropriately selected important geomagnetic disturbances (top panel) by indicating the three phases of the absorption enhancement [MÁRCZ 1986]

A galaktikus kozmikus sugárzás geomágneses viharok idején mutatkozó intenzitáscsökkenéseinek (Forbush-csökkenés) vizsgálata azt mutatta, hogy az intenzitáscsökkenés által okozott abszorpcióscsökkenés jelentősen befolyásolhatja a geomágneses utóhatást képviselő abszorpciónövekedést, csökkentve annak nagyságát (5. ábra).

Módszert dolgoztak ki a turbulencia paramétereinek a meghatározására a 90–130 km közötti magasságtartományban az ionoszféra itt előforduló szporadikus E rétegének a jellemzői alapján. Meghatározták a turbulens diffúzió évszakos és napi változását, a levegőt alkotó gázok arányának állandósága által jellemzett és az összetevők molekulaszíri elválasztódásával jellemezhető része közötti határfelület, a turbopauza magasságának a változását, a felső légkör összetételében ezáltal előidézett változást (6. ábra).

Az 1975 és 1985 közötti időszakban részt vettek az INTERKOZMOSZ keretében végzett geofizikai rakétakísérletekben. A Vertikal 6, 7 és 10 geofizikai rakétákon elhelyezett fékező potenciálanalizátorok segítségével, melyeknek elektronikáját a KFKI Atomenergia Kutatóintézetének Űrelektronikai Csoportja készítette, meghatározták

az ionösszetételt és az ionhőmérsékletet mintegy 1500 km magasságig (7. ábra). Elsőként mutatták ki kísérletileg az esti órákban a plazmaszférából az ionoszféra felé történő plazmaáramlást.



5. ábra. Légköri rádió zaj szintváltozása 27 kHz-en különböző közepes szélességi obszervatóriumban Forbush csökkenésekkel kísért geomágnesesen háborgatott időszakban (1970. május-június) [SÁTORI 1991]

Fig. 5. The change of the atmospheric radio noise level at 27 kHz in different mid-latitude observatories during a geomagnetically disturbed period (May-June 1970) accompanied by Forbush decreases [SÁTORI 1991]

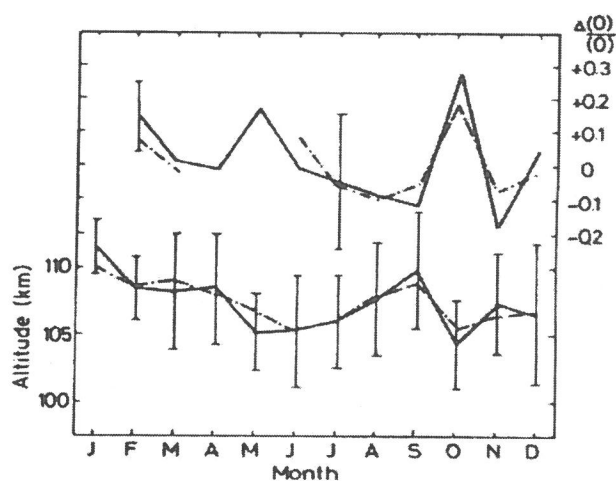
A semleges felső légkör kutatásában az MTA Csillagászati Kutatóintézet kutatóival együttműködve mesterséges holdakon (Castor, San Marco V) mért teljes sűrűség adatok geomágneses szempontból zavart időszakokban jelentkező változásait elemezve megállapították, hogy a sűrűség növekedés kis szélességeken az egyenlítői gyűrűáramból kiszóródó részecskék energialeadásával kapcsolatos fűtéssel hozható összefüggésbe. Ez a felső légkörben a sarkifényöv mellett egy második hőforrást jelentene.

Magnetoszféra-kutatás pulzációkkal

A nagycenki obszervatórium geoelektromágneses méréseinek alapján az elmúlt évtizedekben több eredmény született a geomágneses pulzációk, elsősorban a Pc3 (15–45 s periódusú) pulzációk vizsgálata nyomán.

Az obszervatórium létesítése idején még nagyon keveset tudtak ennek a jelenségnek a fizikájáról. Az ötvenes évek közepén ugyan DUNGEY kimutatta a ma erővonal menti rezonanciának nevezett folyamat létezését, de ennek az elméleti eredménynek tapasztalati alátámasztása alig-alig

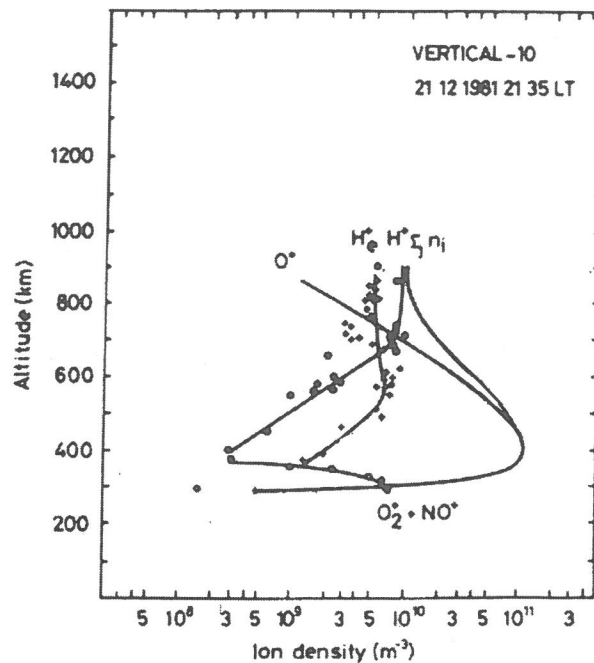
volt. Emellett az egész jelenség energiaforrása, sőt keletkezési helye is ismeretlen volt. Megfelelő adatok hiányában a pulzációk különböző típusainak szétválasztása, a morfológia tisztázása, továbbá a megjelenés változásainak (napszakos, évszakos, naptevékenységgel kapcsolatos változások) a meghatározása is nehézségekbe ütközött. Jellemző volt az a vita, amely az évszakos változást firtatta. Voltak, akik nyáron, mások napéjegyenlőség idején tapasztalták a pulzációk megjelenési gyakoriságának maximumát. A nagycentri adatokkal bizonyították, hogy a kétfajta éves változás megjelenése a naptevékenységtől függ: nagy naptevékenység idején és télen a pulzációk nagyon gyengén lépnek fel, viszont kis naptevékenység idején a maximum márciusra és szeptemberre esik. Ez a kérdés a mai napig sincs teljesen tisztázva, mivel az erővonalaknak nem az Egyenlítő síkjában való áthaladása körül megjelenő részecskesűrűség lehet az ok, tekintettel arra, hogy a két féltekén a saját tél időszakában van a legnagyobb „csillapítás”, emiatt az okot lejjebb, a plazmaszférában vagy az ionoszférában, annak F2 tartományában kell keresni.



6. ábra. Az oxigénatomok koncentrációjának évszakos változása a turbopauza magasságváltozása alapján (>110 km) [BENCZE 1987]

Fig. 6. Seasonal variation of the atomic oxygen concentration determined by the height change of the turbopause (>110 km) [BENCZE 1987]

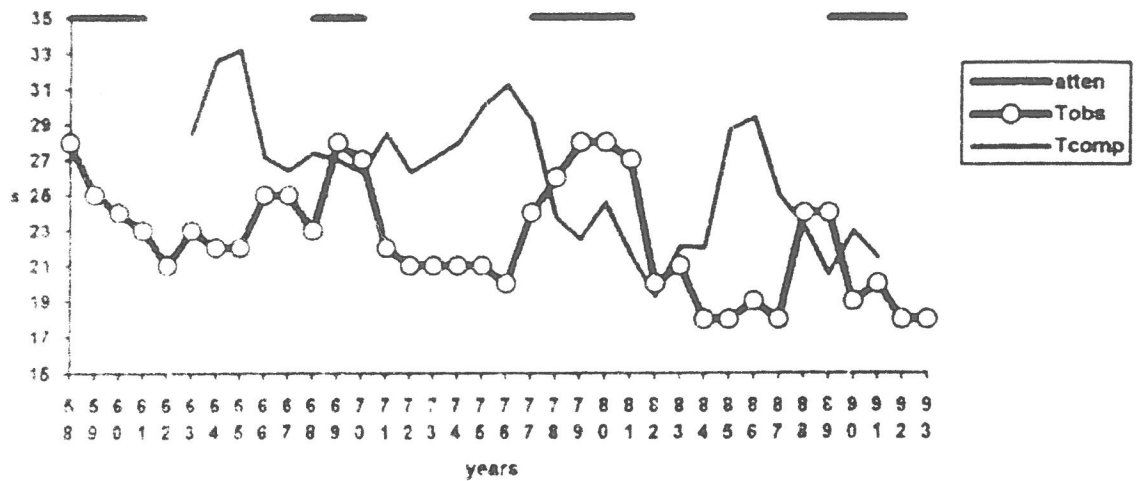
Egy másik régi keletű kérdés a Pc3 pulzációk periódusának a naptevékenységgel való változására vonatkozik. Már DUNGEY modelljében szerepel az erővonal menti részecskesűrűség, elsősorban az erővonal Egyenlítő közeli szakaszán, mivel ez szabja meg a hullám terjedési sebességét. Nagyobb részecskesűrűséghez kisebb sebesség, hosszabb periódus tartoznék. Viszont a nagy naptevékenységű években a rövid periódusú jelek gyakorisága nő meg a sokszorosára. Ezt az ellentmondást régi, az obszervatórium működésének első éveiből származó adatokkal úgy sikerült feloldani, hogy a rövid periódusú jelek egyszerűen nem ugyanahhoz a típushoz tartoznak, azok más eredetűek. Ha csak a legszabályosabb szinuszos jelket vesszük — ezek nagy valószínűséggel valóban erővonal menti rezonanciából származnak —, akkor a leghosszabb periódusokat éppen naptevékenységi maximum idején találjuk, még a rendkívül tevékeny 1957–58-as években is (8. ábra).



7. ábra. Az ionösszetétel változása a felső ionoszférában a Vertikál-10 geofizikai rakéta mérései alapján [BENCZE et al. 1985]

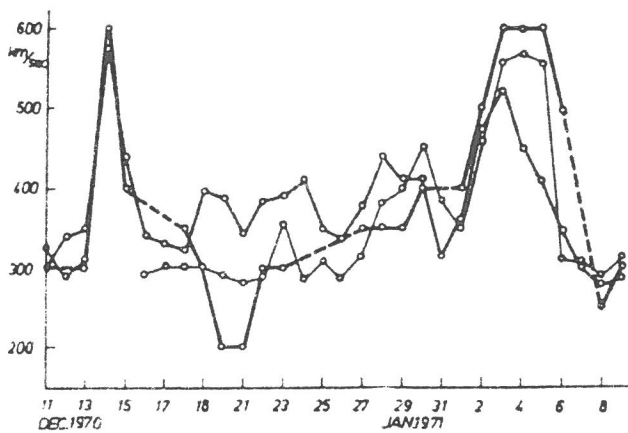
Fig. 7. Variation of the ion composition in the upper ionosphere on the basis of measurements on board of the geophysical rocket Vertical-10 [BENCZE et al. 1985]

A pulzációk eredetével kapcsolatos elképzelések akkor válhattak határozottabbakká, amikor megjelentek az első, a napszél paramétereire vonatkozó mérési eredmények a hatvanas évek elején. Az mindjárt kiderült, hogy a napszél sebességével van kapcsolat (9., 10. ábra). Az viszont már meglepőbb, hogy a periódus kapcsolatban állt a napszélbeli mágnes tér erősségével (11. ábra), a bolygóközi mágnes tér iránya pedig határozott kapcsolatban van a pulzációk amplitúdójával. Más lehetőség nem volt, a forrást a magnetoszférán kívül, a bolygóközi térben kell keresni. Ez azért volt meglepő, mert azt sem szabad elfelejteni, hogy a jelek periódusa az erővonal menti rezonancia miatt a geomágneses szélességgel, illetve az L értékkel (az erővonal dőfspontjának távolsága az Egyenlítő síkjában föld-sugárban kifejezve a Föld középpontjától) változik. Hosszú ideig tartó vita keletkezett, s ennek lezárását éppen a nagycentri adatok jelentették, amelyekkel kimutatták a bolygóközi mágnes térrel való kapcsolat valódiságát több éves, hatalmas adatmennyiség alapján. Bár még mindig vannak kételkedők, de más megoldás aligha lehetséges, minthogy két típus létezik a Pc3 pulzációkon belül: az egyik az erővonal menti rezonancia terméke, ennek periódusa változik az L értékkel, alakja pedig, éppen a rezonancia miatt, nagyon szabályos. A másik: az upstream hullámok, amelyek a bolygóközi térből a spektrum jelentős változása nélkül érkeznek a felszínre, így a jelek alakja általában kevésbé szabályos (12. ábra). További bonyodalmat jelent, hogy az erővonal menti rezonancia csak akkor léphet fel, ha a bolygóközi térből érkező jel spektruma tartalmazza az erővonal menti rezonancia periódusát is, vagyis ennek a típusnak a periódusa is függ az upstream hullámok periódusától, végső soron a bolygóközi tér paramétereitől.



8. ábra. A szabályos (FLR jellegű) pulzációk mért periódusa (Tobs), a bolygóközi mágnes tér (IMF) értéke alapján várt periódus (Tcomp) és a pulzációknak a nagy naptevékenység idején a nagy magnetoszférikus plazmasűrűség miatt megjelenő „téli csillapításának” (atten) időszakai 1957–1993 között. A periódus változását itt nem az IMF, hanem a magnetoszférikus plazmasűrűség szabja meg az FLR befolyásolása révén [VERŐ 1997]

Fig. 8. Observed periods of the regular (FLR-type) pulsations (Tobs), the expected periods on the basis of the IMF (Tcomp) and intervals of the “winter attenuation” of the pulsations during high solar activity due to high magnetospheric plasma densities (atten) in the interval 1957–1993. Period changes are here depending on plasma density (FLR is influenced) and not on IMF [VERŐ 1997]



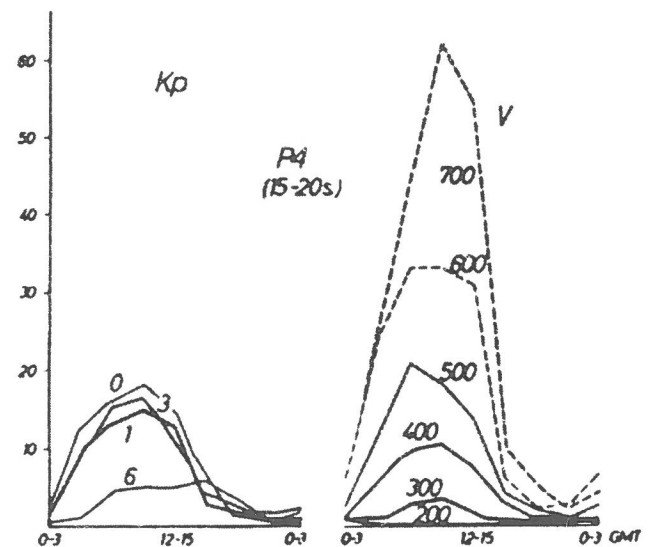
9. ábra. A napszél sebességének mért értékei (vastag vonal), a ΣK_p geomágneses tevékenységi indexből meghatározott napszélsebesség (közepes vonal) és a pulzációk alapján meghatározott napszélsebesség (vékony vonal) 1970. december–1971. január hónapban. Az üres szakaszokon nem lehet az értéket meghatározni. A pontozott vonal interpolált értékeket jelent [VERŐ 1975]

Fig. 9. Measured values of solar wind velocity (heavy line), velocities computed from ΣK_p (medium line), and from pulsation indices (thin line) in December 1970–January 1971. In empty sections no determination was possible. Dotted line means interpolation [VERŐ 1975]

Az erővonal menti rezonanciákat, a rezonáló erővonal-héjak vastagságát nemzetközi együttműködésben vizsgálták, és eredményül pl. a rezonáló héj vastagságára (a felszínen) a ma általánosan elfogadott mintegy 100 km-es értéket kapták.

Német kollégákkal együttműködve a magnetoszféra előtti térrészben megjelenő upstream hullámok felszínre való eljutását vizsgálták. 3–4 perccel (terjedési idő) a megjelenésük után a felszínen is megnőtt a tevékenység, ami

igazolta az ilyen hullámok bejutásának lehetőségét is (13. ábra).



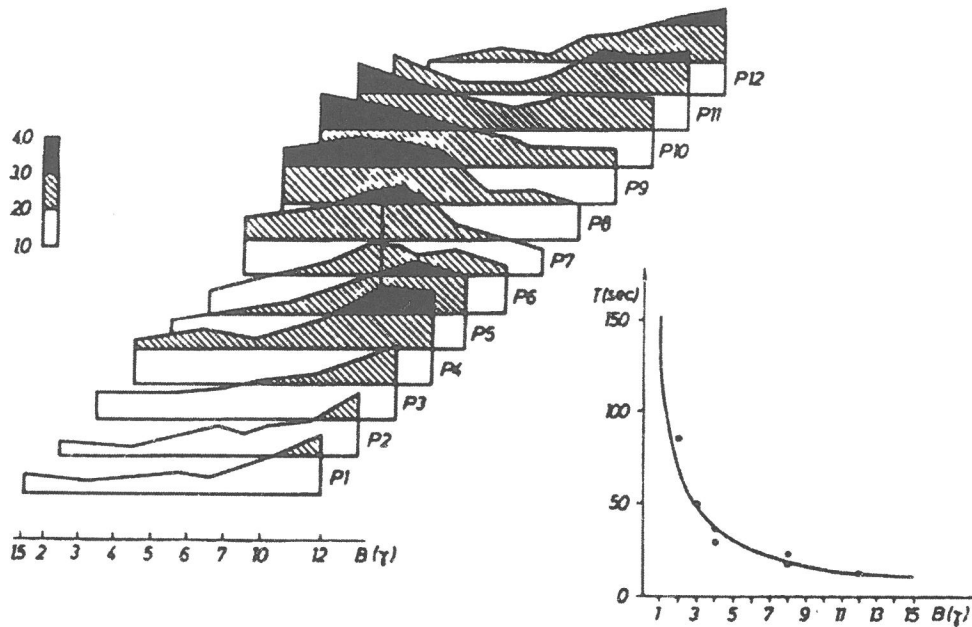
10. ábra. A P4 sáv amplitúdójának függése a geomágneses tevékenységtől (K_p), illetve a napszél sebességétől. Mindkét esetben az amplitúdók napi változását ábrázoltuk [VERŐ 1980]

Fig. 10. Dependence of the amplitude in the P4 range (15–20 s) from geomagnetic activity (K_p) and from solar wind velocity. In both cases diurnal variations are plotted [VERŐ 1980]

Végezetül ugyancsak hosszabb ideje folyó kutatások alapján arra a megállapításra jutottak, hogy többféle olyan jelenség, amelynek kialakulásában, terjedésében a geomágneses erővonalak menti szerkezeteknek van szerepük, sokszor együtt jelenik meg, illetve megjelenési gyakoriságuk között kapcsolat van. Ilyen jelenség az erővonal menti rezonancia mellett a gyöngy típusú pulzáció, vala-

pulzáció, valamint a whistlerek, amelyek ugyancsak erővonal menti csatornában terjednek. Nemcsak a megjelenési gyakoriságok között van kapcsolat, hanem a magnetoszféra azon tartományával (L-értéke), amelyben

ezek a jelek terjednek, is egybeesik. A magnetoszféra kedvező állapota azután több napig is fennmarad, így ezek a jelenségek bizonyos mértékig több napon át tartó kedvező időszakokra összpontosulnak.



11. ábra. A nagyeceni obszervatóriumban a pulzációs aktivitás jellemzésére használt periódussávok (P1 1–5 s, P2 5–10 s, P3 10–15 s, P4 15–20 s, P5 20–25 s, P6 25–30 s, P7 30–40 s, P8 40–60 s, P9 1–1,5 min, P10 1,5–2 min, P11 2–5 min, P12 5–10 min) tevékenységének függése a bolygóközi mágnes tér (IMF) térerősségétől. Jobbra lent pedig a pulzációk periódusa és az IMF térerőssége közötti, ebből levezetett összefüggés [VERŐ, HOLLÓ 1978]

Fig. 11. Connection between activities of the period ranges used at the Observatory Nagycenk for the characterization of the pulsations (P1 1–5 s, P2 5–10 s, P3 10–15 s, P4 15–20 s, P5 20–25 s, P6 25–30 s, P7 30–40 s, P8 40–60 s, P9 1–1,5 min, P10 1,5–2 min, P11 2–5 min, P12 5–10 min) and the intensity of the interplanetary magnetic field (IMF). Bottom right connection between IMF and pulsation periods as deduced from the previous [VERŐ, HOLLÓ 1978]

Űrfizikai mérések mesterséges holdakkal

Az ELTE Geofizikai Tanszék Űrkutató Csoportja 1967-ben jött létre a Műegyetem űrkutató csoportjából. Kezdetben SZEMERÉDY Pál és TARCSAI György VLF méréseket végzett Tihanyban. Induláskor az Űrkutatói Kormánybizottság, 1978-tól az MTA Interkozmosz Tanácsa, majd 1991-től a Magyar Űrkutatói Iroda támogatásával működik a csoport.

A csoport tevékenysége két területre terjed ki: egyrészt ELF-VLF jelekkel vizsgálják a felső légkört több föld-sugárnyi távolságig, másrészt űreszközökön is végeznek kísérleteket.

Eredményeik között alapvető jelentősége van a kis és közepes szélességeken terjedő whistlerek feldolgozására készült rutin módszernek, amelynek segítségével nagyszámú whistler elemzése, értelmezése válik lehetővé. Meg lehet határozni a magnetoszférikus plazma paramétereit, valamint a terjedés útvonalát. A whistlerek digitális feldolgozására készült eljárás a hiperfinom szerkezet kutatását teszi lehetővé, és lehetővé teszi a terjedési irány meghatározását is.

Az űreszközökön végzett kísérletek között az 1989–92 között repült Interkozmosz-24 vitte magával a SAS kísérlet műszerét, amely 0–22 kHz közötti sávban öt elektromágneses komponenszt mért és továbbított digitális alakban a földi állomásra. Sikeresen azonosítottak a jelek között whistlere-

ket, de előfordultak ismeretlen eredetű, „furcsá”-nak tűnő jelek is.

A tapasztalatok alapján jelenleg is több kísérlet előkészítése folyik, így a KOMPASZ-2, a VULKÁN sorozat, valamint a nemzetközi űrállomásra szánt OBSTANOVKA kísérlet. Ezek a kísérletek a hagyományos kettő-hatkomponensű elektromágneses ELF-VLF mérések mellett a földrengések előrejelzésének lehetőségét is hivatottak vizsgálni, keresve az ELF-VLF tartományban esetlegesen meglévő prekursorokat.

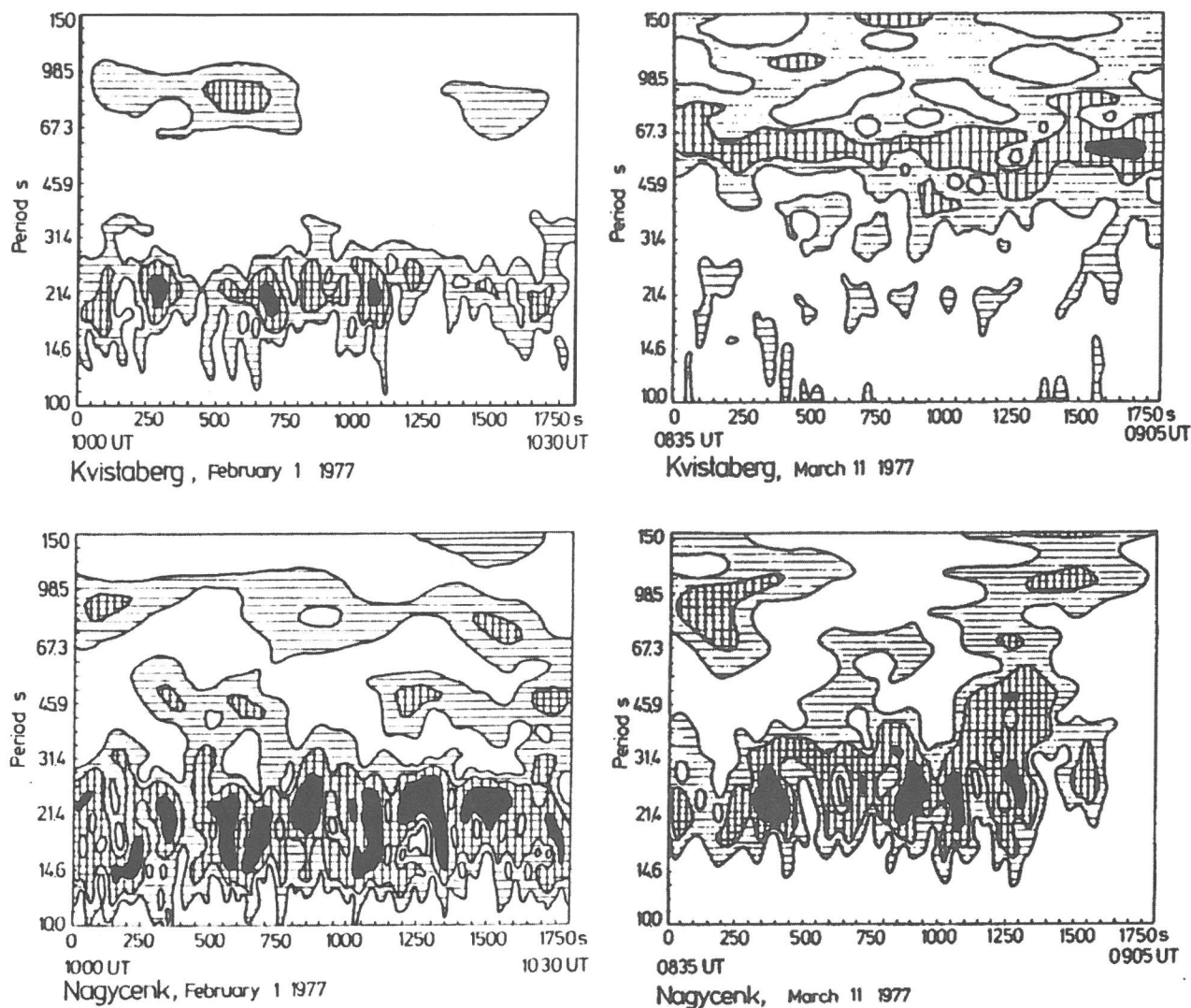
A fenti kísérleti vizsgálatokat elméleti kutatások támasztják alá, amelyek a Maxwell-egyenletek általános megoldása alapján a whistlerek terjedésének pontos leírására is alkalmasak.

Jelenleg is folyik egy automatikus whistler-felismerő rendszer építése, amely folyamatos üzemben lehetővé teszi az automatikus whistler-azonosítást.

Nemzetközi szempontból is kiemelkedő, de a geofizikához kevésbé kötődő űrkutatói tevékenység folyik a Központi Fizikai Kutatóintézetben, majd az abból létrejött Részecske- és Magfizikai Kutatóintézetben. Ennek a kutatásnak megindulása JÁNOSSY Lajos nevéhez kapcsolódik, aki Dublinból hazatérve játszott fontos szerepet már előzőleg is művelt szűkebb szakterületének, a kozmikus sugárzás vizsgálatának fejlesztésében. Ehhez a már meglévő, illetve akkor fejlesztett műszerek kellő alapot nyújtottak, évtizedeken át folyt a kozmikus sugárzás mérése. 1958-

ban indult el föld alatti laboratóriumban a mű-mezonok mérése SOMOGYI Antal vezetésével. Ez két és fél napcikluson keresztül működött, a világ egyik leghosszabb adatsorát szolgáltatva. Kiemelkedő eredménye a mágneses viharokkal kapcsolatban fellépő Forbush-csökkenés első észlelése a nagy energiájú kozmikus sugárzás-részecskék esetében. A 10 GeV-nél nagyobb energiájú

részecskék esetében a 27 napos kvázi-periódust is itt észlelték először. Bulgáriában, a Muszala-csúcson kiterjedt légizapokat észleltek több mint 100 esetben. Itt mutatták ki a kozmikus sugárzás ezen részének 0,1%-os anizotropiáját, a galaktikus eredet bizonyítékát. A hetvenes évek derekától fokozatosan átálltak az űrkutatásra.



12. ábra. Az 1977. február 1., 1000–1030 UT közötti upstream wave (UW) típusú esemény és az 1974. március 11., 0835–0905 közötti erővonal-rezonancia (FLR) típusú esemény dinamikus spektruma a svédországi Kvistabergben és Nagycenkben, azonos geomágneses hosszúságon, de eltérő szélességen [Cz. MILETITS et al. 1988]. Az első esetben a periódusok megegyeznek, a másodikban erősen különböznek

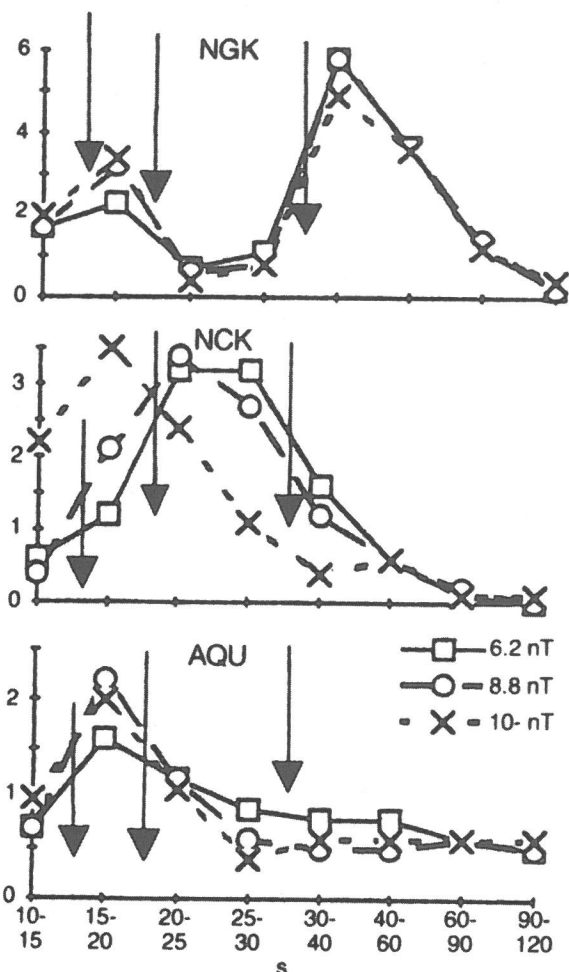
Fig. 12. Dynamic spectra of an upstream wave (UW) type event on 1 February 1977., 1000–1030 UT, and of a field line resonance (FLR) type event on 11 March 1974, 0835–0905 UT at the observatories Kvistaberg (Sweden) and at Nagycenk, at the same geomagnetic longitude, but at different latitudes [Cz. MILETITS et al. 1988]. Periods are similar in the first event, in the second they differ significantly

A témák a napszél és az égitestek közötti kölcsönhatásra, a Nap-Föld fizikára, valamint a földi magnetoszféra kutatására irányulnak. A tevékenység mind fedélzeti műszerek építését, mind a nyert adatok elméleti értelmezését magában foglalja. Első jelentős eredményük a Vénusz éjszakai magnetoszférájának magyarázata volt szovjet (INTERKOZMOSZ) szatelliták és a Pioneer-Venus-Orbiter adatai alapján. A legnagyobb és

legsikeresebb vállalkozásuk a VEGA (Venus-Halley) űreszköz műszereiből egyharmadnyi rész elkészítése volt, köztük az első olyan televíziós rendszeré, amely automatikusan az üstökös magjára irányult és közvetített valós idejű képeket.

1985-től széles nemzetközi együttműködésben dolgoztak a Mars Phobos holdjára küldött leszállóegység műszerein. Sajnos, ennek a kísérletnek csak a Mars plazma-

plazmakörnyezetére vonatkozó, de így is komoly eredményeket hozó része maradt meg a leszálláskor. Jelentős volt rész-vételük a szintén megsemmisült MARSZ-92 műszerezésében is.



13. ábra. Niemegek (NGK), Nagycenk (NCK) és L'Aquila (AQU) pulzációinak (gyakorisági) spektruma három különböző IMF esetén (az átlag 6,3, 8,8 és több mint 10 nT, a megfelelő várható pulzációs periódusokat nyilak jelzik 25, 15 és 10 s-nál). A napszél sebessége 300–500 km/s [VERŐ et al. 1995]

Fig. 13. Occurrence frequency spectra of pulsations at Niemegek (NGK), Nagycenk (NCK) and L'Aquila (AQU) at three different values of the IMF (averages 6.3, 8.8 and more than 10 nT, corresponding expected pulsation periods are indicated by arrows at 25, 15 and 10 s). Solar wind velocity is here 300–500 km/s [VERŐ et al. 1995]

1990-től vesznek részt az ESA, az európai űrkutatási szervezet Ulysses programjában, ennek során a Nap körüli térség mágnessterével kapcsolatban értek el új és váratlan, az elmélet módosítását megkövetelő eredményeket. Ugyancsak az ESA programja a CLUSTER, négy egyforma hold, amelyek adatai mind a magnetoszférikus plazma, mind a mágnes tér szerkezetére vonatkozóan szolgáltatott adatokat, így a nyitott és zárt erővonalak tartományának elhatárolása is sikerült. A NASA-ESA SOHO mesterséges bolygó a bolygóközi teret kutatta 1995-től, ebben a kis naptevékenység idején fellépő, csak kisebb energiákon észlelhető hirtelen intenzitás-növekedéseket vizsgálták, amelyek szoros kapcsolatban

vannak a geomágneses tevékenységgel is. 1997-ben magyar részvétellel indította a NASA a Cassini tudományos szondát, amelyről 2004-ben leszállást hajtanak végre a Szaturnusz Titán nevű holdjára. Eddig a mérési eredmények közül a Jupiter fejhullámának alapos vizsgálata nyújtotta a legjelentősebb eredményt. Folyik az ESA üstökös-kutató Rosetta szondájának műszerzése. A még tervezés alatt lévő sok közös űrprogram közül említendő a német–francia NetLander marskutató kísérlet, amelyben az RMKI-n kívül egy geomágneses szondázási kísérlettel a GGKI is részt kíván venni.

A kutatás mai helyzete

Az a fajta kutatás, amely Magyarországon az elmúlt 60 évben a Föld környezetének vizsgálata terén folyt, fokozatosan elvesztette — elveszti — jelentőségét. Ez megmutatkozik abban, hogy a különféle obszervatóriumok működésének fokozatosan technikai problémává válik, a meghatározó tényező nem a kutató ügyessége, „művészete”, ahogyan még a korszak kezdetén is volt. Másrészt űreszközök, illetve legalább adataik felhasználása nélkül ilyen kutatás ma lehetetlen. Ugyanakkor az elektromágneses zaj egyre fokozódó erőssége a fénytől a rádióhullámokon át a hosszú periódusú mágneses zavarokig (pl. elektromos hálózatról működő gépek, különféle, elektromágneses zajt kibocsátó létesítmények, mint villamosított vasútvonalak, csővezetékek korrózióvédelme és így tovább) a méréseket nagyon megnehezítik.

Magyarországon a kutatóknak eddig sikerült olyan területeket kiválasztaniuk, amelyekben adottságaink, pénzügyi lehetőségeink eredményes kutatást tettek lehetővé. Az egyes csoportok megtalálták a csatlakozási pontokat a nemzetközi programokhoz, az INTERMAGNET-től kezdve egészen a nemzetközi és nemzeti űrprogramokig. Emellett Magyarországon belül is kialakultak a csoportok közötti együttműködés formái, elsősorban a már 30 éve létező Ionoszféra-Magnetoszféra fizikai szemináriumoktól egészen az egyes csoportok közötti közvetlen együttműködésig, mint pl. az ELTE Űrkutató Csoportja által a nagycenki obszervatórium-ban létesített whistler-vevő rendszer. Evvel kapcsolatban nem szabad elfelejtenünk, hogy az ismert kutatásoknak csak egy része folyt „geofizikus” keretek között, részt vettek benne fizikusok, elektromos szakemberek, meteorológusok, csillagászok is, tehát széles szakmaközi együttműködés kialakítása ezen a területen is alapvető fontosságú. Hogy nem ok nélkül tartjuk mégis ezt a területet a geofizika részének, annak legmeggyőzőbb bizonyítéka a vezető folyóiratunk „Journal of Geophysical Research” címe.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak az ELGI részéről HEGYMEGI Lászlónak, az ELTE Űrkutató Csoportjától LICHTENBERGER Jánosnak, az RMKI-től TÁTRALLYAY Mariellának, valamint GGKI-beli munkatársaiknak, MÁRCZ Ferencnek, SÁTORI Gabriellának, WESZTERGOM Vikornak, ZIEGER Bertalannak, akik a jelen összeállítás egyes részeihez szövegekkel, adatokkal járultak hozzá. Köszönetet mondanak az OTKA-nak és a magyar űrkutatás vezető szerveinek a kutatások folyamatos támogatásáért.

HIVATKOZÁSOK

- A Tihanyi Observatórium évkönyvei 1955–1987. Kiadó: Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet
- BENCZE P. 1987: Turbulence and aeronomical processes in the lower thermosphere. *Acta Geod. Geoph. Mont. Hung.* **22**, 1–2, 251–274
- BENCZE P., KOVÁCS K., SZEMEREY I., AFONIN V. V., BEZRUKIH V. V. 1985: Measurement of the plasma parameters in the ionosphere by night with retarding potential analyzers on board of the geophysical rocket Vertical-10, *Acta Geod. Geophys. et Montanist. Hung.* **20**, 1, 81–84
- CHAPMAN S., BARTELS J. 1940: *Geomagnetism. Vol. I. Geomagnetic and related phenomena. The International Series of Monographs on Physics.* R. H. FOWLER, P. KAPITZA, N. F. MOTT, E. C. BULLARD (Eds), Oxford, Clarendon Press
- CZ. MILETITS J., VERŐ J., STUART W. 1988: Dynamic spectra of pulsation events at L 1.9 and L 3.3. *J. Atm. Terr. Phys.* **50**, 649–656
- MÁRCZ F. 1986: Three phases of post-storm events in ionospheric absorption. *Acta Geod. Geoph. Mont. Hung.* **21**, 201–207
- MÁRCZ F. 1990: Atmospheric electricity and the 11-year solar cycle associated with QBO, *Ann. Geophysicae* **8**, 7–8, 525–530
- RÉTHLY A., BERKES Z. 1963: *Nordlichtbeobachtungen in Ungarn (1523–1960).* Akadémiai Kiadó, Budapest
- SÁTORI G. 1991: Combined ionospheric effect due to Forbush decreases and magnetospheric high energy particles at mid latitudes. *J. Atm. Terr. Phys.* **53**, 325–332
- SÁTORI G., SZENDRŐI J., VERŐ J. 1996: Monitoring Schumann resonances-I. Methodology. *J. Atm. Terr. Phys.* **58**, 1475–1481
- SCHENZL G. 1884: *Útmutatás földmágnességéi helymeghatározásokra.* Akadémiai Kiadó, Budapest
- SCHENZL G., KRUSPÉR I. 1868: *Magnetikai helymeghatározások Magyarországon 1866. és 1867. évben.* Budapest
- VERŐ J. 1975: Determination of the solar wind velocity from pulsation indices. *J. Atm. Terr. Phys.* **37**, 561–564
- VERŐ J. 1980: Geomagnetic pulsations and parameters of the interplanetary medium, *J. Atm. Terr. Phys.*, **42**, 371–380
- VERŐ J. 1997: Solved and unsolved problems of pulsation research 40 years ago and today. *Publ. Univ. Miskolc, Series A, Mining* **52**, 65–79
- VERŐ J., HOLLÓ L. 1978: Connections between interplanetary magnetic field and geomagnetic pulsations. *J. Atm. Terr. Phys.* **40**, 857–867
- VERŐ J., BEST I., VELLANTE M., LÜHR H., DE LAURETIS M., MÁRCZ F., STRETIK J. 1995: Relations of field line resonances and upstream waves and the winter attenuation of pulsations. *Ann. Geophysicae* **13**, 689–697

Általános geofizika: a Föld fizikája¹

MÁRTON PÉTER²

Az elmúlt 50 év az általános geofizika teljes megújulásának időszakát jelentette. E periódus kezdetén meglévő ismereteinket a szilárd Földről EGYED László „A Föld fizikája” (1956) és BARTA György „Földmágnesség” (1957) című könyveiben foglaltak tükrözik: viszonylag jól ismert volt a héjas felépítésű Föld mechanikai szerkezete, az izosztázia szerepe a felszínközeli tömegek elrendezésében, és a belső eredetű mágneses tér felszíni eloszlása. A Föld rendszer működési mechanizmusára vonatkozó elgondolások azonban, beleértve a mágneses tér képződését és fenntartását is, alig haladták meg a spekuláció szintjét. A kontinensvándorlás Wegener-féle elméletét ekkor már, úgy tűnt, véglegesen elvetették, noha az akkor divatos tágulási hipotézisek nagyrészt arra irányultak, hogy arra bizonyítékot szolgáltatassanak. Ezt végül az 1950-es évek végétől megélnékelő paleomágneses kutatások hozták meg, amelyek többek között arra is rámutattak, hogy a földmágneses tér időről időre megváltoztatja polaritását. Az 1950-es évek végével kezdődően kialakuló új diszciplína, a tengeri geológia/geofizika új felfedezéseket hozott, többek között az egész Földet behálózó óceáni vonalas törérendszer megismerését, amelynek (és a kapcsolt transform töréseknek az) aktív voltát az egyre pontosabbá váló szeizmológiai megfigyelések is igazolták. Egyidejűleg megszületett a „sea floor spreading” hipotézis, majd — az óceáni sávok mágneses anomáliák értelmezése nyomán — az 1960-as évek végén a lemeztectonika elmélete. Szélesebb értelemben a lemeztectonika az első geofizikai elmélet, amely a globális földtani/tektonikai folyamatok egységes magyarázatát szolgáltatja a földfelszín borító mintegy tíz litoszféralemez keletkezésének, fejlődésének és kölcsönhatásának következményeként. A lemeztectonika érvényessége a földtörténet „késői” szakaszában ma kétségtelennek tűnik, de a távolabbi múlt tektonikai eseményeinek feltárása a köpeny dinamikájának megismerése nélkül nem lehetséges. Ennek jelenleg rendelkezésre álló geofizikai eszközei az ultranagy nyomású laboratóriumi kísérletek, a globális szeizmikus tomográfia és a köpenyáramlások numerikus modellezése. A tomográfia alapján az alsó köpenyben két hatalmas (több ezer km átmérőjű) felszálló „superplume” (a déli Pacifikum és Afrika alatt), továbbá egy óriási leszálló „superplume” (középső Ázsia alatt) azonosítható. Az utóbbi években felvetett hipotézis, az ún. „plume” tektonika szerint az alsó köpeny dinamikáját ezek a vertikálisan mozgó „superplume”-ok, míg a felső köpenyét a lemezek horizontális mozgásai uralják. Stacionárius állapotban az alsó és felső köpeny nincsenek csatolásban. Csatlós akkor jön létre, amikor a szubdukciós zónákban felgyülemelő hideg litoszféra elemek lavinaszerűen „lezuhanva” áttörik az alsó-felső köpeny határt. Amennyiben ez a teljes leszálló „superplume”-ra kiterjed, akkor az egész köpeny mozgásba jön (kb. 400 millió évenként), amely szuperkontinensek keletkezéséhez és felszakadásához vezet. Úgy tűnik tehát, legalábbis a spekuláció szintjén, hogy a geodinamikai folyamatokat a felszínen lehűlő, süllyedő hideg anyag vezérli, a konvektív hűlés velejárájaként.

P. MÁRTON: The last fifty years in Earth's physics

The study of the solid Earth with physical methods has a long history starting with geomagnetism and gravity studies but it was not until world seismology was started around 1900 that the principle of isostasy and the internal layered structure of the Earth were established. Despite of all advances during the first fifty years of the last century, geodynamics remained a highly speculative subject. In particular, the theory of continental drift proposed by Alfred Wegener and supported by the expansionists could not be substantiated until modern palaeomagnetism studies were started in the late 1950s. At about the same time, marine geology and geophysics were established and led rapidly to important discoveries on the sea floor, which in turn brought in new ideas such as the world encircling oceanic rift system and the sea floor spreading hypothesis (1956–1963). The next important idea was the proposal of transform faults and of plate tectonics (1965–1968). The theory of plate tectonics provided the first self-consistent explanation of global tectonic processes in terms of formation, evolution and interaction of ten or so rigid lithospheric plates covering the surface of the Earth. Though the validity of plate tectonics is now unchallenged in the superficial part of the Earth during its later history, to understand the long-term behaviour, the dynamics of the deeper parts of the Earth had to be investigated in greater detail. Recent results obtained by high-pressure mineral physics, global seismic tomography (developed from the mid-1970s) and modelling of mantle convection have given new ideas of mantle dynamics. Based largely on global seismic tomography, that has indicated the existence of possible upwelling superplumes beneath the South Pacific and Africa and a downwelling superplume beneath central Asia, a changing view from plate tectonics to plume tectonics (so called) has emerged. In a steady state regime plate tectonics dominates the superficial part and plume tectonics dominates the deeper part and these domains are uncoupled. Coupling is initiated by the abrupt downward movement of slab material piling up at the base of the transition zone and when this extends to the entire downwelling superplume then the whole mantle stirs which in turn may lead to formation and break-up of supercontinents. This theory is still in its infancy and its development is one of the challenges facing the physics of the solid Earth.

1 Beérkezett: 2003. november 30-án

2 Eötvös Loránd Tudományegyetem Geofizikai Tanszék,
H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c.,
e-mail: martonp@ludens.elte.hu

Bevezetés

Az általános geofizika két fő részre osztható. Az egyik a Föld felszíne alatti (földbelső), a másik a Föld felszíne feletti (légkör, ionoszféra, magnetoszféra) tartománynak a fizikai jelenségeit tanulmányozza és értelmezi. A következőkben a szilárd Föld mechanikai szerkezetével foglalkozunk, különös tekintettel azokra az eredményekre, amelyeket az elmúlt 50 év hozott.

Régen ismeretes, hogy a Föld első közelítésben hidrosztatikus egyensúlyban lévő testnek tekinthető, azaz belső szerkezete dominánsan koncentrikus héjas felépítésű. Ugyanakkor a Föld rugalmas test, azaz a Földet alkotó ásványok és fémötvözetek az adott nyomás és hőmérsékleti viszonyok mellett képesek szeizmikus hullámok továbbítására, amelyek, ha elég erős rengésekből erednek, az egész Földet átjárják. A szeizmikus hullámokat a szeizmológusok valamivel több mint 100 éve regisztrálják, analizálják és értelmezik a Föld belső szerkezetének modellezése céljából. A kapott szeizmológiai modellek képezik az alapját az ásványi összetétel, a fizikai állapot és a dinamikai folyamatok megismerésére vonatkozó további vizsgálatoknak.

50 évvel ezelőtt a szeizmológiai földmodellek gerincét a *P*- és *S*-térhullámokra vonatkozó interpolált menetidő adatoknak (Jeffreys–Bullen táblázatok) a Wiechert-Herglotz módszerrel invertált pontos 1-D hullámsebesség-eloszlásai képezték. Erre épült a sűrűségeloszlásnak a Föld tömege és tehetetlenségi nyomatéka által jól behatárolt, Bullen-féle modellje.

A szeizmológia teljesítőképességét jelentősen növelte az 1960 körül indult, a föld alatti nukleáris robbantások és a természetes eredetű földrengések megkülönböztetését szolgáló program, amelynek keretében korszerűsített, az egész világra kiterjedő állomáshálózatot hoztak létre és üzemeltettek. További minőségi javulást jelentett a digitális szeizmometria fokozatos bevezetése, valamint a Föld sajátrezgéseinek felvételezésére alkalmas ultrahosszú periódusú rendszerek telepítése az 1980-as években. Mindezek nyomán óriási mennyiségű, a korábbiaknál részletesebb és pontosabb szeizmogram keletkezett, amely a modern számítástechnika módszereinek és eszközeinek alkalmazásával lehetővé tette a Föld szerkezeti részleteinek feltárását. Ebben nagy szerepet játszott a Föld sajátrezgéseinek felfedezése.

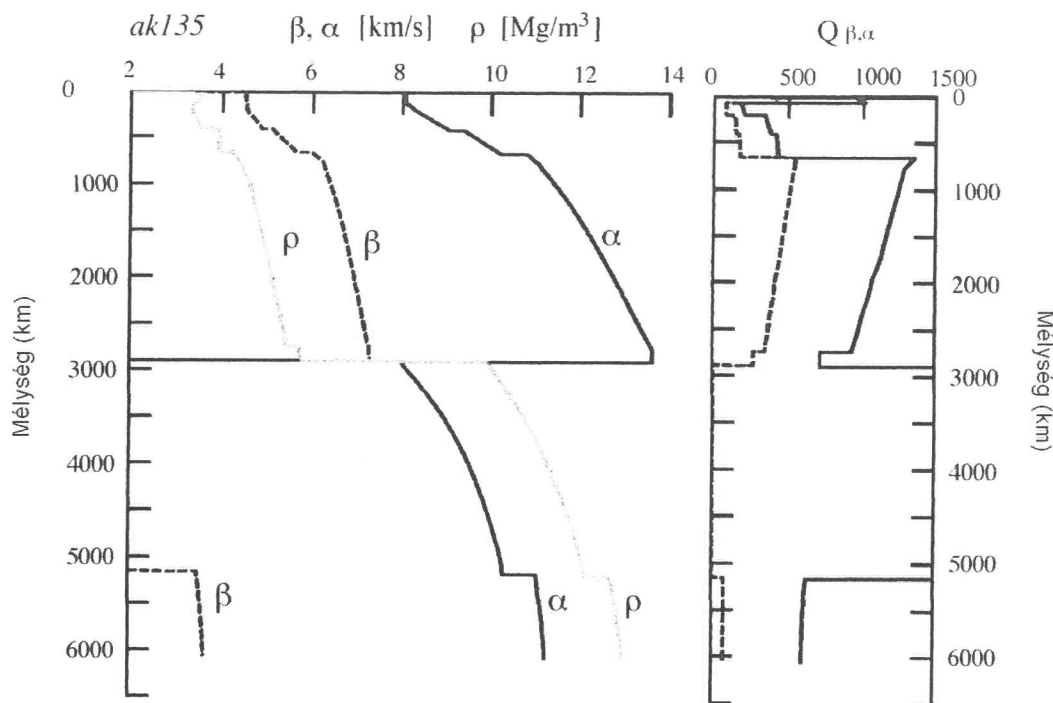
Egy-egy nagyméretű földrengés hatására az egész Föld rezgésbe jön, amint azt elméletileg már a XX. század elején megjósolták. E rezgések detektálása azonban sokáig nem sikerült, míg végre BENIOFF az 1952. november 4-i kamcsatkai földrengés szeizmogramján egy 57 perc periódusú rezgést a sajátrezgések fundamentális harmonikusával vélt azonosíthatónak. Azt viszont, hogy a Föld fentebb hivatkozott modelljének vibrációi milyen frekvenciákkal történhetnek, csak 1959-ben tisztázták egy korai elektronikus számítógépen lefuttatott modellező program segítségével. A következő évben azután, a nagy chilei földrengés szeizmogramjainak Fourier-analízisével É- és D-Amerikában, Japánban és Európában is megtalálták az elmélet által megjósolt frekvenciákat. Innen kezdve a sajátrezgés-kutatások fokozatosan elterjedtek, az elmélet mára csaknem teljessé vált, továbbá megbizonyosodott, hogy a sajátrezgések észlése és invertálása a belső szerkezet kutatásának igen hatékony eszköze.

A korszerűsített szeizmológiai észlés és feldolgozás meghatározó szerepet játszott a globális lemeztektónikai elmélet alapjainak lerakásában, valamint abban a folyamatban, amely a lemeztektónikai szemléletű gondolkodást uralkodóvá tette a szilárd Föld nagyméretű fizikai folyamatainak értelmezésében. A lemeztektónikai elmélet szerint a Föld felszínét „néhány” merev (aszeizmikus) litoszférelemez borítja, amelyek egymáshoz képest állandó mozgásban vannak. A lemezhatárok mentén a szomszédos lemezek távolodhatnak (akkréciós határ), egymás mellett „elcsúszhatnak” (transzform és „strike-slip” vetők), illetve az egyik (óceáni) lemez a vele szemben lévő lemez alá süllyedhet (szubdukciós határ). Minthogy e mozgások mindegyike jellegzetes földrengéseket indukál, a szeizmicitás segítségével a lemezhatárok kijelölhetővé és értelmezhetővé váltak. A lemeztektónikai elmélet első kvantitatív megfogalmazása (az 1960-as évek vége) óta eltelt több mint 30 esztendő múltán a földrengésvizsgálatoknak továbbra is jelentős szerep jut a lemezhatárok definiálásában és a relatív mozgások meghatározásában. Ezen állítás fenntartása mellett, nem lehet figyelmen kívül hagyni azt a tényt, hogy a lemeztektónika az ún. „sea-floor spreading” hipotézissel kezdődött (1963), ami viszont a földmágnesség új eredményeinek felhasználásával vált megfogalmazhatóvá. Ezek a kiterjedt tengeri mágneses mérések nyomán felfedezett sávos mágneses anomáliák, a térfordulások és a kontinensvándorlás igazolása, mindkettő az 1950-es évek végén kezdődött modern paleomágneses kutatások vívmánya.

Visszatérve a Föld belső szerkezetére, az elmúlt 20–30 évben több 1-D földmodellt is kiszámítottak, amelyek során a térhullám menetidő adatok mellett a sajátrezgés frekvenciákat (és csillapításokat) is felhasználták. A modern földmodellek nagyságrendekkel (!) több észlelési adaton nyugszanak, mint pl. a klasszikus Jeffreys–Bullen modell, másrészt származtatásuk módszere is különbözik. Az alkalmazott eljárás (inverzió, amelynek 1-D elméletét az 1960-as években dolgozták ki) első lépése egy, „a valósághoz közel álló” kiindulási földmodell felvétele, majd a modellhez tartozó észlelési adatok (menetidők, sajátfrekvenciák és csillapítások) kiszámítása, és ezek összehasonlítása a valóságban mért értékekkel. A második lépés arra irányul, hogy a kiszámított és mért értékek különbségeit, az ún. reziduálokat minimalizálják, azaz a kiindulási modell iteratív változtatásával elérjék, hogy a reziduálok a lehető legkisebb értékeket vegyék fel. Az alábbiakban egy kurrens 1-D földmodell (*I. ábra*) bemutatása mellett, LEE et al. [2003] nyomán összefoglaljuk a földbelső legfontosabb tulajdonságait.

A szilárd Föld szerkezeti és anyagi tulajdonságai

Eltekintve a kissebességű kéregtől, a szeizmikus sebességek szisztematikusan növekszenek a mélységgel a Jeffreys-féle modellhez hasonlóan, de attól eltérően ugrásszerű sebesség- (és sűrűség-) növekedést jeleznek 410 km és 660 km közelében. 410 km és 800 km között az ún. átmeneti zóna helyezkedik el. 800 km-től 2700 km-ig a szeizmikus sebességek monoton növekszenek. 2900 km-ben a transzverzális sebesség nullára esik (folyadéktartomány kezdete), a longitudinális hullám sebessége pedig a felső köpenybeli értékre zuhan vissza, majd monoton nő a külső-belső maghatárig. A belső magban mindkét hullámsebesség csaknem állandó



1. ábra. Hullámsebességek (α : P-hullám, β : S-hullám), sűrűség (ρ) és jósqági tényezők (Q_{α} : P-hullám, Q_{β} : S-hullám) a mélység függvényében az ak135 modell szerint

Fig. 1. P velocity (α), S velocity (β) and density (ρ) as well as quality factors (Q_{α} , Q_{β}) according to the ak135 Earth model

(gyengén nő). A földbelső legnagyobb részében a sebességek laterális változásai 1% alatt maradnak, kivéve a határretegek közelében, így a földfelszín, a köpeny-mag határ közelében és a süllyedő litoszféralemezekben. Termodinamikai alapon feltehető, hogy a Föld nagyobb zónáinak (héjainak) kémiai összetétele állandó, azaz a sűrűség növekedése a mélységgel az egyes zónákban a gravitációs eredetű kompresszióval kielégítően megmagyarázható. A 410 km és 660 km közelében lévő diszkontinuitások a legfontosabb köpenyásványnak, az olivinnek a szilárd fázisú átalakulásaiával vannak kapcsolatban, míg az aktuális sűrűségértékek és kozmokémiai megfontolások is arra utalnak, hogy a mag lényegében vasból áll. Nagyban és egészben véve, a Föld kémiai összetétele a differenciálatlan kondrit meteoritok összetételével közelíthető, szerkezete kémiai differenciációval alakult ki, amelynek során a kontinentális kéreg egy könnyű anyagokból álló vékony réteg elkülönülésével jött létre, míg a mozgó és a köpenybe visszatérő óceáni kérget a felső köpeny olvadékaént felnyomuló bazalt alkotja. A köpeny közel azonos kémiai összetétel mellett kristályos szilikátokból és oxidokból épül fel. A mag olvadt állapotban lévő, zömében vasból álló fémötvet, amelynek belseje folytonosan szilárdul és növekszik.

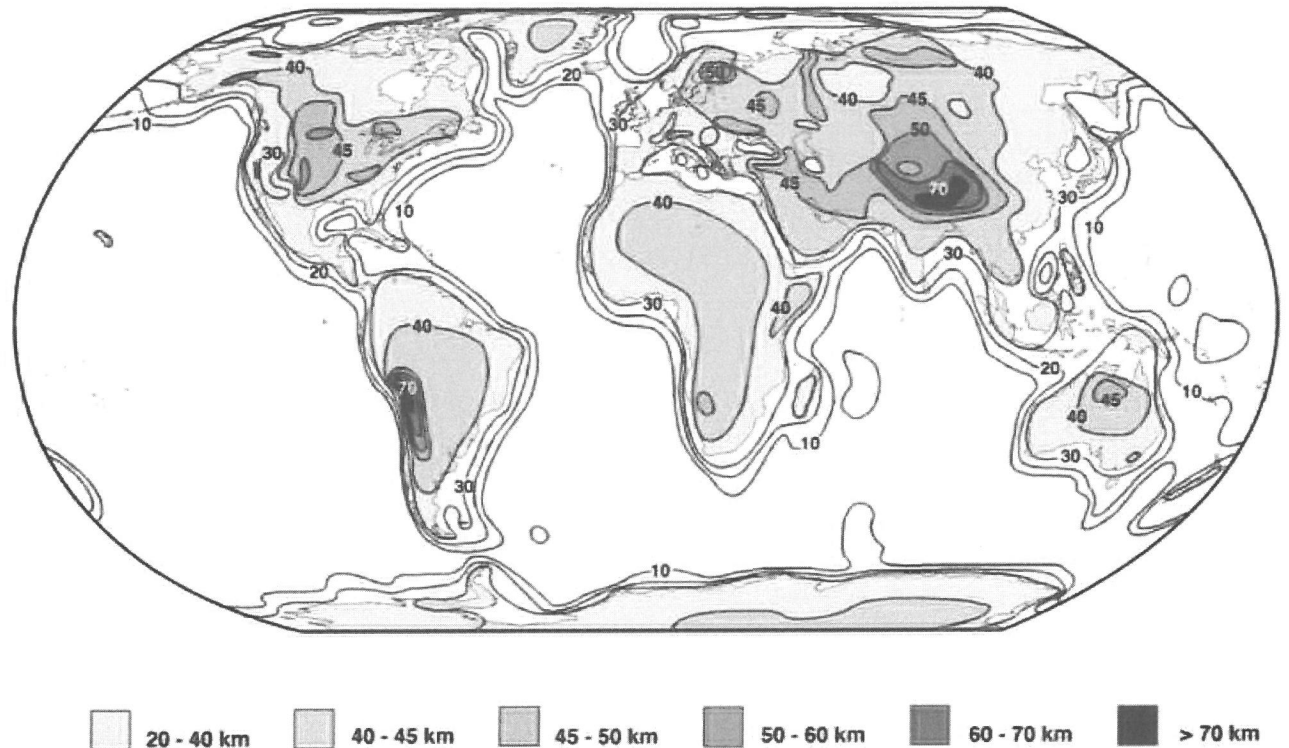
Az 1-D földmodellek a földbelső átlagos, koncentrikus héjas szerkezetét tükrözik. A héjas felépítés azonban, amint arra számos észlelési adat utal, csak elsőrendű közelítése a Föld szerkezetének. Egy ilyen Föld valódi geometriai lapultságának ($f = 1/298,257$) és hidrosztatikus lapultságának ($f_H = 1/299,75$) 0,6%-os különbsége, amely első rendben jelentéktelennek mondható, további közelítésben viszont nem elhanyagolható, azt mutatja, hogy a Föld szerkezete valamennyire eltér a hidrosztatikus egyensúly által meg-

követelt felépítéstől. Az eltérés látványosabb, ha a Föld alakját reprezentáló geoid magasságait tekintjük a hidrosztatikus alakhoz képest. Elég csak a hosszúhullámú összetevőket vizsgálni, amelyek egymásra merőlegesen két, egy pozitív és egy negatív nem teljes sávot alkotnak (a teniszlabda mintázatának megfelelően), hogy felismerjük a Föld globális háromtengelyűségét, illetve azt, hogy a mélyben jelentős „tömegetbbletek” és „tömeghiányok” vannak.

A legnagyobb laterális változások a Föld legfelső szilárd héjában találhatóak, amelyek többek között a szilárd felszín magasságainak eloszlásában is megnyilvánulnak. Az óceánok aljzata átlagosan 5 km-rel mélyebben van, mint a kontinensek felszíne, ami első rendben jól magyarázható az izosztázia által megkívánt kéregvastagság-változásokkal. Annak felismerése, hogy az óceánok alatti kéreg különbözik a kontinentális területek kérgétől, az 1950-es évekre tehető. Ekkor, különböző szeizmikus mérések egybehangzó eredményei alapján, az átlagos óceáni kéregvastagság 6 km-nek, a tipikus kontinentális kéregvastagság pedig 35 km-nek adódott (1957). A későbbi mérések a különböző tektonikai környezetekben különböző kéregszerkezeteket tártak fel. A 2. ábra a kéregvastagság világtérképe, amelynek segítségével tételesen összefoglalhatók a kéreg fő jegyei. Az átlagos kéregvastagság a kontinensek belseje felé növekszik. Az idős, stabil pajzsok és táblák kérge 35–45 km vastag, míg a fiatal, orogéneken kívüli kéreg jelentősen vékonyabb, 25–35 km. A medencék kérge vékonyabb, az orogének kérge vastagabb. A kéreggyökér a fiatal hegységek (Kaukázus, Pamír) alatt a legvastagabb. Az ősi táblákon kifejlődött orogének (pl. Altáj hg.) gyökere sekélyebb, és a kanadai Kordilleráknak egyáltalán nincs gyökere. A stabil kontinentális kéreg normálisan három fő rétegből áll,

vastagsága 40 ± 7 km. Az egyes rétegek 10–15 km vastagok. Ilyen kéreg van Eurázsia, É-Amerika, Afrika és Ausztrália belsejében, míg a kontinensperemi vékonyabb (25–35 km) kéreg két rétegből áll. Reológiaiilag gyenge rétegek vannak a középső és alsó kéregben, valamint a kéreg–köpeny határon. Egyéb jellemzők közül a *P*-hullám sebességek a háromszortatú kéregben felülről lefelé 6,0 km/s, 6,6 km/s és

7,2 km/s, a kéreg alatt pedig 8,0–8,2 km/s. A vastag kontinentális kéreg átlagos közzettani modellje szerint a felső réteget kisért metamorf kőzetek és amfibolit fáciesű Si-gazdag gneiszek, a középső réteget tonalit-gneisz, gránit-gneisz és amfibolit építi fel, míg az alsó réteg kőzetei a gabbró és granulit fáciesű mafikus metamorfit, legalul gránát-granulittal.



2. ábra. A kéregvastagságok világtérképe ($5^\circ \times 5^\circ$ átlagok)

Fig. 2. Global crustal thicknesses ($5^\circ \times 5^\circ$ grid averages)

A magmás eredetű óceáni kérget hagyományosan három rétegre osztják. A felső (2. réteg) 2–3 km, az alsó (3. réteg) 3–5 km vastag. A kéregre települt üledék képezi az 1. réteget. Az átlagos *P*-hullám sebességek: $5,07 \pm 0,63$ km/s (2. réteg), illetve $6,69 \pm 0,23$ km/s (3. réteg). A 2. réteg bazalt láva és telér összlet, a 3. réteg pedig intruzív gabbróidális kőzetekből áll.

A két különböző jellegű kéreg léte és bimodális eloszlása arra utal, hogy a szerkezet komplexitása a felső köpenyben is folytatódik. Nyilvánvaló, hogy az idős (egészen 3,8 milliárd évig), erősen differenciált kőzetekből álló kontinentális kéreg más viszonyban van a felső köpenyvel, mint a fiatal (legfeljebb 200 millió éves) óceáni bazalt összetételű kéreg.

Mind óceáni, mind szárazföldi környezetben közvetlenül a kéreg alatt egy mechanikailag ellenálló réteg, az ún. *szeizmikus litoszféra* helyezkedik el, amelynek felső részében a sebesség a mélységgel kissé és területileg változó mértékben növekszik. (Az átlagos (*P_n*) sebesség kontinensek alatt $8,15 \pm 0,2$ km/s, óceánok alatt $8,15 \pm 0,15$ km/s, összhangban a felső köpeny olivinben és piroxénben gazdag peridotit összetételével.) A legnagyobb laterális változások az 50–100 km mélységintervallumban tapasztalhatók: az *S*-hullám sebessége több mint 10%-ot, a *P*-hullámé is több

%-ot változik. Kontinentális területeken a stabil kratonok és táblák alatt a kéreg alatti sebességek viszonylag nagyok (4,7–4,8 km/s (*S*), 8,2–8,4 km/s (*P*)), míg tektonikailag aktív területeken kisebbek (4,3 km/s (*S*), illetve 7,9 km/s (*P*)). A nagy különbség oka a felépítés és a kémiai összetétel eltéréseiben keresendő. A litoszféra a stabil területeken lényegesen vastagabb (150–250 km) mint a tektonikailag aktív területeken, ahol sokkal vékonyabb (riftesedő területeken a kéreggel azonos vastagságú), és kémiaiailag is más. Az óceáni területek litoszférájának vastagsága a kéreg korával növekszik, nyilván a fokozatos hűlés következtében.

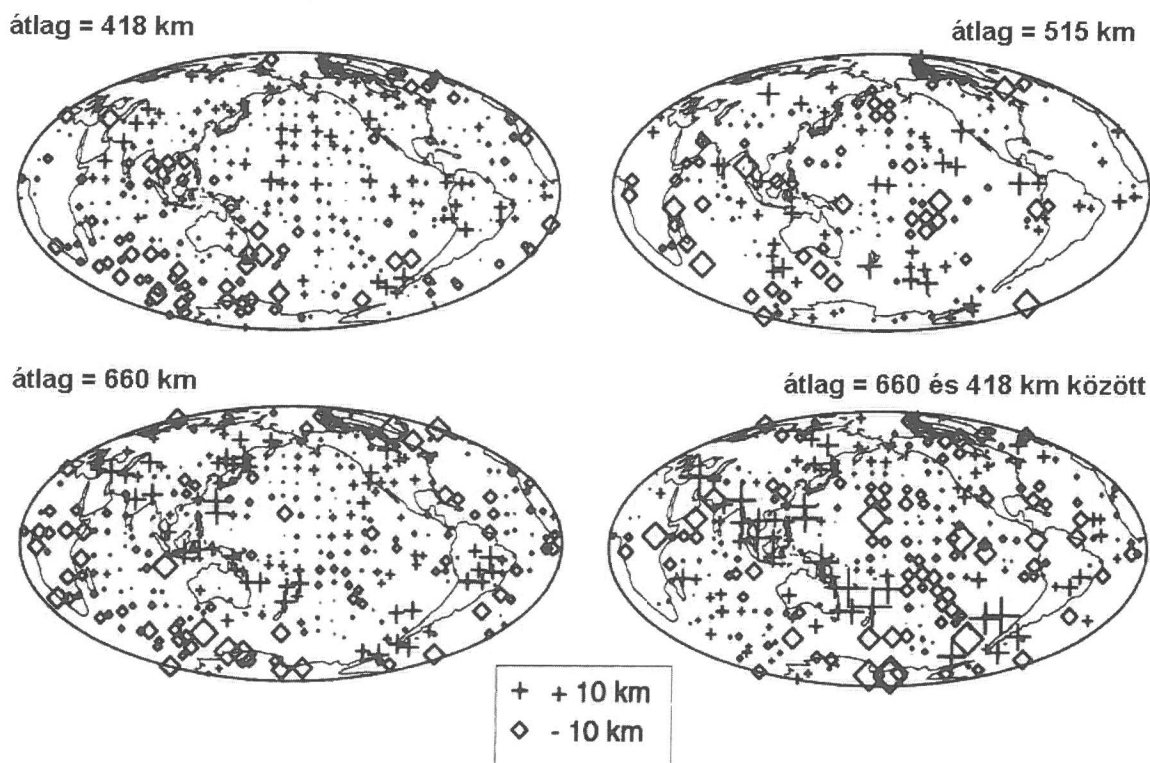
GUTENBERG szerint 60–80 km mélységtől kezdve a szeizmikus sebességek csökkennek, majd 100–150 km alatt fokozatosan növekszenek a mélységgel (Gutenberg-csatorna). A kisebbességű csatorna az asztenozsférával azonosítható, amely a litoszféra alatt fekvő erős plasztikus deformációval és valószínűleg parciális olvadással jellemezhető tartomány. A kisebbességű csatorna néha, főleg tektonikailag aktív területek és óceáni kéreg alatt, hirtelen sebességszökkenéssel kezdődik (*G*-diszkontinuitás 80 km mélységben). Kratonok és táblák alatt a kisebbességű zóna valamivel mélyebben található, kezdete lehet hirtelen és fokozatos is.

A kisebbességű héjat lefelé a mélységgel viszonylag gyorsan növekvő sebességű zóna követi. Az 1-D földmodellekben ez a 200–400 km között fekvő tartomány alig strukturált. A sebességnövekedés 410 km mélységben globális sebességugrással végződik, amely egyben kijelöli a 410 km és 800 km közötti tartományba eső átmeneti zóna felső határát is. Az átmeneti zóna sebességstruktúrájának felderítése az 1960-as években kezdődött. A korabeli felületi hullám diszperziós görbék jeleztek először, hogy a kisebbességű réteget erős pozitív sebességgradiensek követik 350–450 km és 600–700 km mélységben. Röviddel ezután két felső köpeny eredetű menetidő triplikációról kimutatták, hogy 410 km-ben és 660 km-ben bekövetkező sebességugrások okozzák. A sebességugrásokat az olivin ((Mg,Fe)₂SiO₄) fő köpenyásvány β -fázisba, illetve a γ -spinell szorosabb szerkezetű oxidokba történő átalakulásának tulajdonították. Mai ismereteink szerint azonban a γ -spinell szilikátpetrovskittá (MgSiO₃) és magneziowüszttitá ((Mg,Fe)O) disszociál. A sebességugrások nagyságára vonatkozó adatok eléggé szórnak. Az ugrás 660 km-ben *S*-re 7–10%, *P*-re 2–4%, 410 km-ben mindkét hullámra 5%. A mért sebességkontrasztok az olivintartalom becslésére szolgálhatnak, ui. az olivin fázisátalakulásaival járó sebesség- és sűrűségkülönbségek laboratóriumi mérésekből ismertek. A fenti ugrások kisebbek, mint a tisztán olivinból álló köpenyben lennének, ezért jelentős ortopiroxén, gránát és klinopiroxén jelenlétével lehet számolni. Ezek részarányának megadása azonban a fel-

adat többértelműségéből kifolyólag közvetlenül nem lehetséges.

A felső köpeny diszkontinuitások mélységének laterális változásai a *PP* és *SS* hullámok prekurzorainak (*PdP*, *SdS*, ahol *d* a diszkontinuitás alján történő reflexiót jelöli) felhasználásával térképezhetők. A 3. ábra a 410 km-es és a 660 km-es sebességugrások 10°-os sugáron belül átlagolt mélységeit mutatja. Az ábrán viszonylag koherens régiókat lehet kijelölni, pl. a 660 km-es határ a cirkumpacifikus övben mélyebben helyezkedik el, miután itt a szubdukciós lemezek mélyebbre hatolnak a felső köpenybe. Hosszú periódusú *SS* prekurzorokkal 520 km-ben is sikerült egy határfelületet kimutatni, amely azonban gyengén reflektál, és valószínűleg az elsősorban sűrűség-, nem pedig sebességnövekedéssel járó β -fázis γ -spinell fázisátmenet hozza létre. Egy további, nem mindenhol kimutatható impedanciakontraoszt is nyomozható 705–770 km mélységben, egyebek közt a *PKPPK* (*P'P'*) prekurzorok analízisével. A 4. ábrán a felső köpeny szerkezetének változásai láthatók a kontinentális pajzsoktól az óceáni területekig. Az ábra jól tükrözi a kontinentális és óceáni területek viszonylag nagy mélységig (350 km) lehatoló különbségeit. A felső köpenyben jelenlévő regionális szerkezeti különbségek a felszínközeli földtani felépítésből adódnak. A lokális (!) 1-D sebességmodellek eltérései azonban arra utalnak, hogy a köpeny felépítésében jelentős laterális változások vannak, amelyek nem társíthatók közvetlenül a felszíni geológiával.

MÉLYSÉG BECSLÉSEK (KORRIGÁLT)

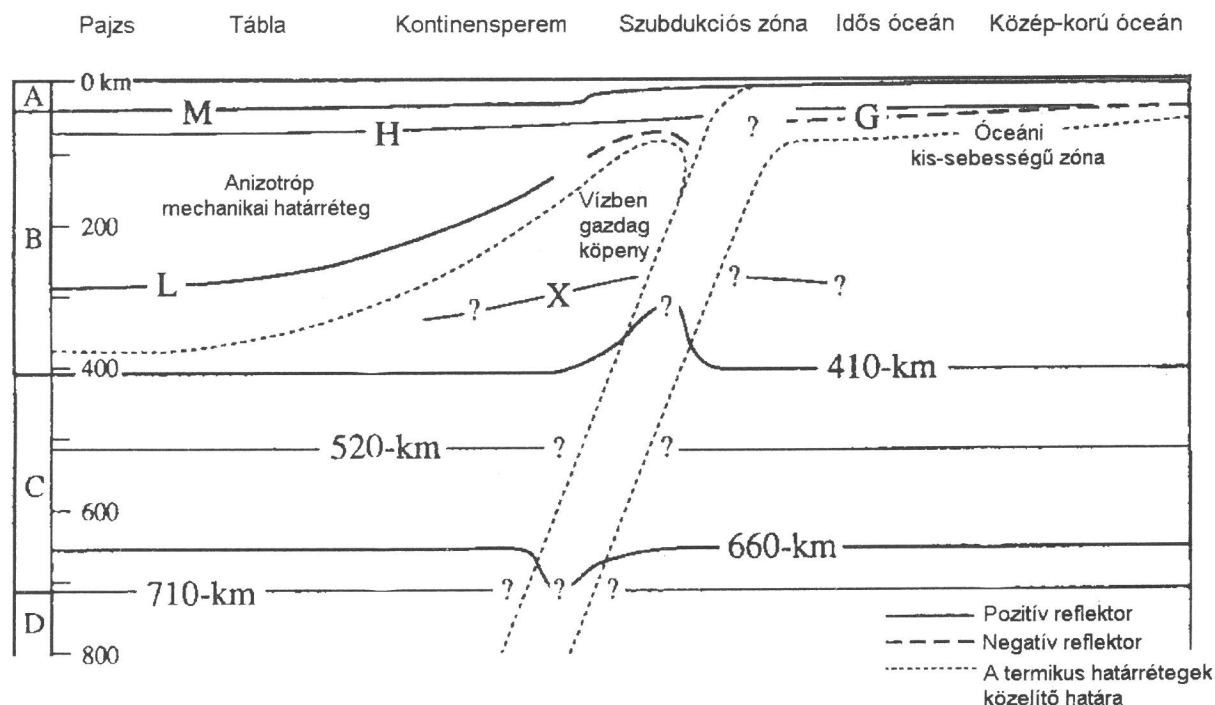


3. ábra. Köpenybeli diszkontinuitások és az átmeneti zóna vastagságának 10°-os sugárú körökön képzett átlagai az *SS* prekurzorok alapján. A felszíni topográfia és a felső köpeny *S* sebességeinek figyelembevételével korrigált adatok

Fig. 3. Estimates (10° cap averages) of topography on the 410, the 520, the 660 km discontinuities and the transition zone thickness between the 410 km and the 660 km discontinuities

Az 1970-es évektől kezdődően különböző tomográfiai módszereket (gyűjtő néven szeizmikus tomográfia) dolgoztak ki a mechanikai tulajdonságok, valamely globális 1-D földmodellhez viszonyított (lokális, regionális vagy globális méretű) laterális változásainak modellezésére. (A szeizmikus tomográfia a modellezendő térfogatot sűrűn behálózó, nagy mennyiségű sugárút felhasználásával következtet a közeg fizikai heterogenitásaira, pl. 3-D szeizmikus sebességszerkezetére.) Már az első generációs globális tomográfiai modellek (1980-as évek) világosan demonstrálták, hogy a köpeny legfelső 200 km-ének sebességheterogenitásaiban a felszíni geológia és tektonika hatása nyilvánul meg. Eszerint a középóceáni hátságok és kontinentális riftterületek (pl. Vörös-tenger) alatt (felszálló áramlások) viszonylag kis sebességek vannak, az idősödő óceáni kéreg alatti sebességek a kéreg korával növekszenek, továbbá az aktív tektonikai deformációnak kitett kontinentális területek alatti felső

köpeny kis sebességű, míg a nagy kontinentális pajzsok nagyobb sebessége egészen 400 km-ig kimutatható. Az évek során a globális tomográfiai modellek felbontóképessége közel egy nagyságrenddel javult és a felső köpenyben ma eléri az 500–1000 km-t. Az 5. ábra a transzverzális hullámsebesség-eloszlást mutatja a köpeny különböző mélységeiben egy tomografikus modellezés alapján, amely a jelenlegi modellek reprezentánsának tekinthető. Az ábra szerint a kontinensek alatti nagy sebességű szerkezetek egészen 300 km mélységig lehúzódnak. Nagy mélységig ható kis sebességek vannak a gyorsan növekvő középső Pacifikus hátság alatt, ami nem tapasztalható a lassan növekvő középső Atlanti hátság alatt. A „felszínközeli” sebességfluktuációk jelentősen lecsökkennek az átmeneti zónáig, amelyben bizonyos területeken a nagy sebességű régiók (szubdukciós lemezek) és a Pacifikus lemez alatt néhány lokális kis sebességű régió mutatkozik.

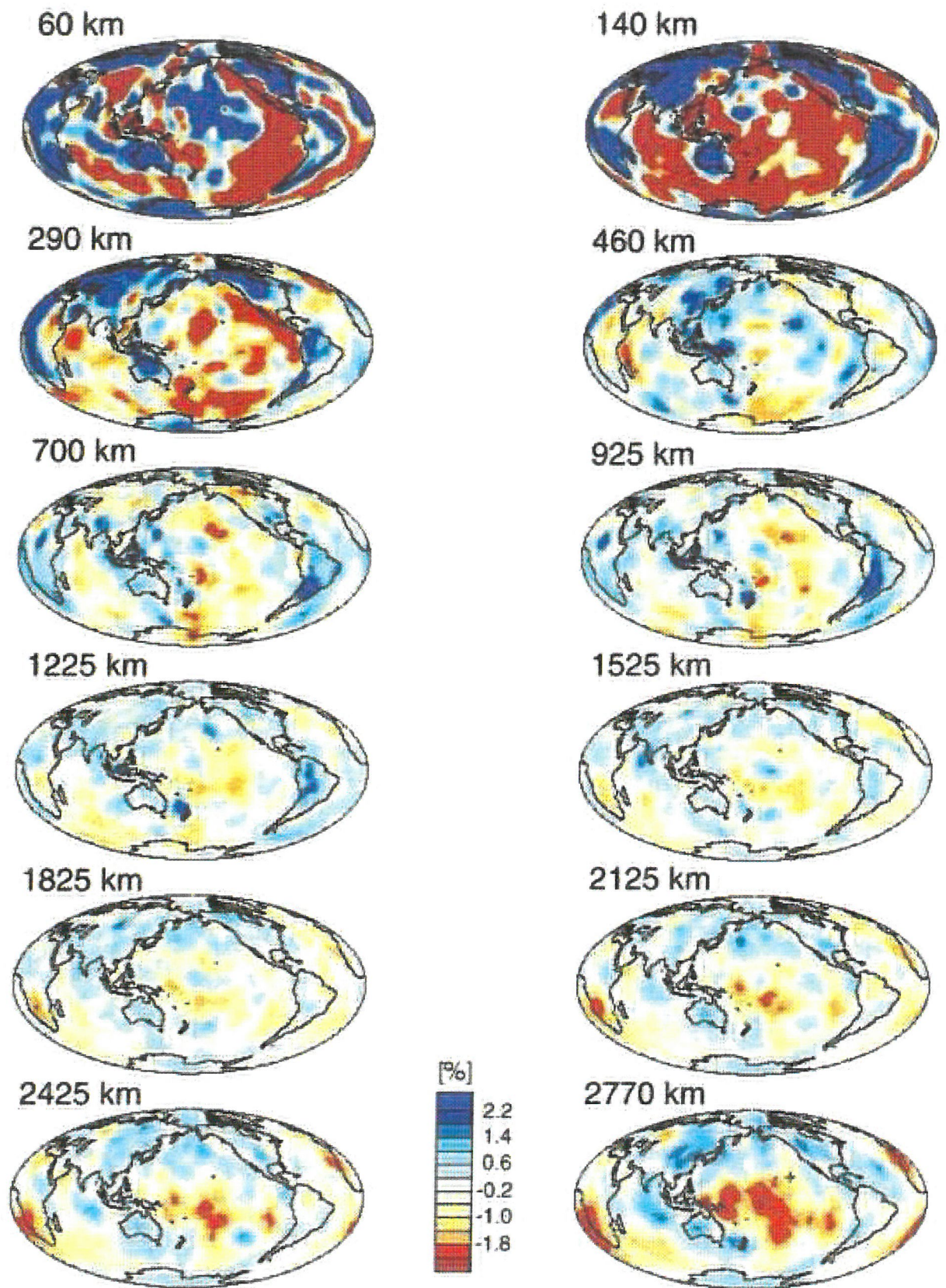


4. ábra. A felső köpeny szerkezeti változásai a kontinentális pajzsoktól az óceáni környezetig. A nagyobb sebesség-diszkontinuitások a kéreg-köpeny határ (*M*), a kontinentális sebességnövekedés 80 km-ben (*H*), az óceáni sebességcsökkenés a litoszféra alján (*G*), a stabil kontinentális határ 200 km-ben (*L*) és a szubdukciós zónák környezetében esetlegesen megfigyelhető diszkontinuitás (*X*), valamint a globális struktúrák 410, 550 és 660 km-ben és egy kevésbé jól definiált határ 710 km körül. A szubdukciós lemezt övező kisebb hőmérséklet következtében a fázishatár 410 és 550 km környékén emelkedhet, illetve süllyedhet

Fig. 4. Upper mantle structural variations ranging from continental shield to ocean environments. Major velocity discontinuities are the Moho boundary (*M*) between the crust and mantle, the continental velocity increase near 80 km depth (*H*), an oceanic velocity decrease at the base of the oceanic lithosphere (*G*), a stable continental feature near 200 km (*L*), an intermittent discontinuity observed near subduction zones (*X*), and the global structures near 410, 520 and 660 km as well as a less pronounced feature near 700 km. Cold temperatures near subducting slabs can elevate or depress the phase boundaries at 410 or 660 km, respectively

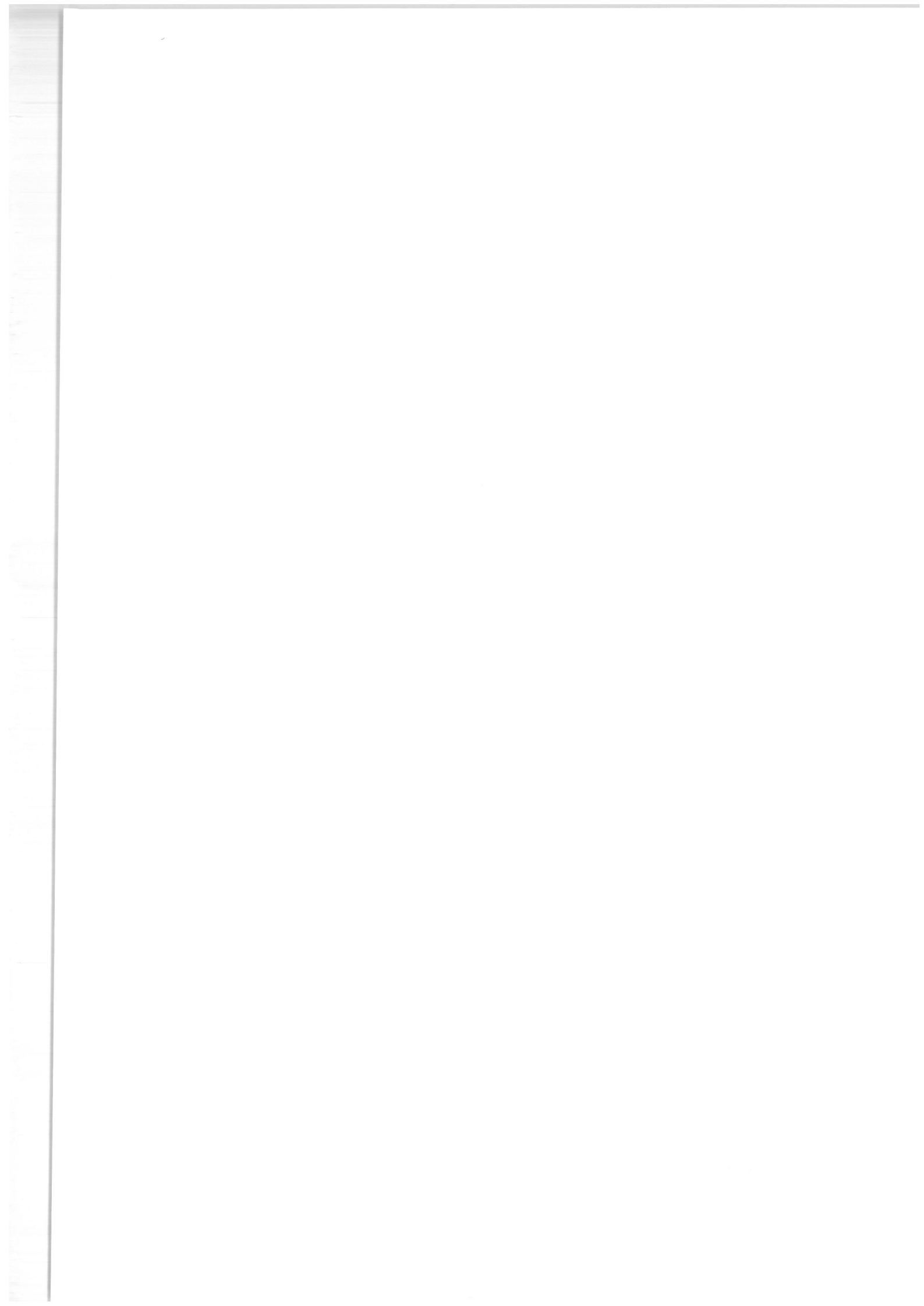
A kurrens 1-D földmodellekben az alsó köpeny a 800 km és 2890 km közti mélységintervallumra terjed ki. E tartomány legnagyobb része homogén. Az uralkodó ásványok a szilikát-perovszkit ((Mg_{0.9},Fe_{0.1})SiO₃) és a magnezio-wüstit ((Mg,Fe)O) kis mennyiségű stichovittal (SiO₂) és Ca-perovszkittal. Az 1-D modellekben a sebességek simán növekszenek a mélységgel, és az egyetlen látható szerkezet a sebességgradiensek csökkenése a D''

rétegben. Maga D'' kémiai heterogén, ami a rétegben zajló termikus és kémiai folyamatok következménye. A hosszúhullámú, szeizmikus tomográfiával kimutatott változások dominánsan másod-, és harmadrendű gömbi harmonikusokkal reprezentálhatók. Ezekben a modellekben a Pacifikus lemezt nagy *S*-sebességek övezik, míg kis sebességek vannak a középső Pacifikum, a DK-i Atlantikum és D-Afrika alatt (5. ábra, 2700 km). A nagy



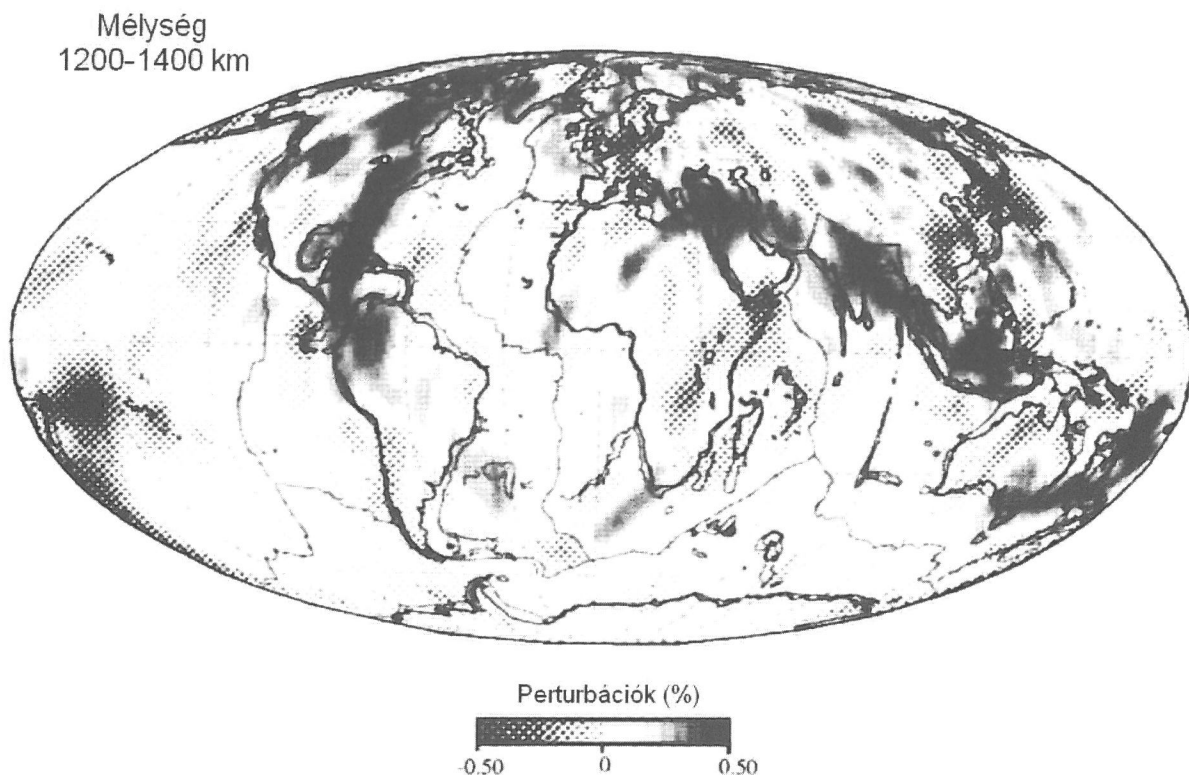
5. ábra. Globális tomografikus modell az S sebesség eloszlására a köpenyben

Fig. 5. Horizontal sections of the S velocity distribution in the Earth mantle according to global shear velocity tomographic model SB4118



sebességű területek valószínűleg az elmúlt több száz millió év folyamán a köpeny alján összegyűlt szubdukciós lemezmaradványok (leszálló „superplume”-ok), amelyek még elég „hidegek” ahhoz, hogy pozitív sebességanomáliát okozzanak. A kis sebességű területek általában a felszíni „hotspot” tartományok alatt találhatók, tehát feltételezhető, hogy a D”-ből kiinduló hőfeláramlások a köpenyen keresztül egészen a felszínig hatolnak. Az alsó köpeny első tomográfiai modelljei a heterogenitások 2.–4. rendű gömbi harmonikusokkal leírható hosszúhullámú komponenseit tárták fel, amelyek korreláltak a hasonló méretű geoid undulációkkal. Az újabb generációjú modellek a rövidebb (intermedier) hullámhosszúságú heteroge-

nitásokról is számot adnak, mint pl. középső köpenyben (1300 km) kimutatott nagy sebességű, függőleges táblás szerkezet, valamint egy hasonló elnyújtott test D-Ázsia alatt (6. ábra). Ezek viszonylag hideg, süllyedő litoszféra anyagként értelmezhetők, amelyek az alsó köpenybe hatoltak, egyidejűleg a Tétisz óceán bezáródásával és a két Amerika nyugati irányú mozgásával. 1800 km alatt a másod-, és harmadrendű komponensek dominálnak. D”-ben a nagy hullámhosszú, kis sebességű területek a középső Pacifikum és D-Afrika alatt felhúzódnak az alsó köpenyre és a D” rétegből kiinduló, nagy méretű hőfeláramlások (felszálló „superplume”-ok) szignatúrájának tekinthetők.



6. ábra. A P -sebességeloszlás globális tomográfikus modelljének horizontális metszete az alsó köpenyben, 1300 km körüli mélységben. Az ábrán kirajzolódó két koherens sötét sáv nagyobb sebességű vertikális táblás szerkezetnek felel meg D-Ázsia, illetve É-Amerika keleti része alatt

Fig. 6. Horizontal section through a tomographic model of P velocity structure near 1300 km depth. The two major high velocity signatures correspond to tabular structures extending vertically below southern Asia and eastern North America

A Föld folyadékállapotú (külső) magjának felfedezése a szeizmológia egyik első eredménye (1906). A belső magra utaló feltételezés szintén szeizmológiai alapú (1936), szilárdságának közvetett bizonyítása (1940) után, a közvetlen bizonyítékot a sajátrezgések szolgáltatták (1971). Laboratóriumi nagy nyomású hangsebesség- és sűrűségmérések eredményei meggyőzően bizonyították, hogy a magban uralkodó nyomás mellett a vas az egyetlen elem, amelynek sűrűsége a mag sűrűségével kompatibilis (1961, 1964). Minthogy azonban a külső mag sűrűsége mintegy 10%-kal kisebb, mint a tiszta vasé, egy vagy több könnyű elemnek is részt kell venni a felépítésben. Ezek, a gyakoriságok alapján, a Si, S, O, H és C lehetnek, de jelenleg még sem maguk az elemek, sem részarányuk az összetételben nem tisztázott. A külső maggal szemben a belső mag szeizmo-

lógiailag meghatározott tulajdonságai egybevágóak egy kevés nikkellel és még kisebb mennyiségű könnyű elemmel ötvözött vaséval az adott fizikai viszonyok között.

A külső mag folyadék halmazállapotának és jó vezetőképességének felismerése nyomán már viszonylag korán (1919) felvetődött, hogy a földi mágneses teret a dinamó elv értelmében a magban zajló élénk folyadékáramlások hozzák létre, amelyek hajtóereje a magbeli hőmérsékleti különbségekre és a Föld forgására vezethető vissza. A dinamó probléma megoldása azonban rendkívül nehéz, és noha bizonyos részeredmények korábban is születtek, a földmágneses dinamó első 3-D modelljének numerikus szimulációjára viszonylag későn, a szuperszámítógépek által teremtett lehetőségek kiaknázásával kerülhetett sor (1995). A modell mágneses tér mind szerkezetét, mind

dinamikáját tekintve hasonlít a valódi földmágneses térhez, és komoly lépést jelent a földmágneses dinamó probléma teljes megoldásának irányában. A szimuláció fontos eleme volt, hogy a belső mágneses véges vezetőképességet tulajdonítottak, amely a mágneses tér stabilizálásában kap szerepet.

Az élénk konvekció miatt a külső mag szeizmológiai szerkezetében laterális változások (azoktól eltekintve, amelyeket maguk a konvekciók hozhatnak létre és a konvekciók szerkezetét tükrözhetnek) valószínűleg nincsenek. Ezzel szemben az újabb szeizmológiai vizsgálatok (1980-tól) szerint a szilárd halmazállapotú belső mag a gömbszimmetrikustól eltérő, kifejezett strukturáltsággal rendelkezik (anizotrop, rétegzett és erősen inhomogén). Az anizotrópia dominánsan hengersizmetrikus, tengelye közelítőleg egybeesik a forgástengellyel, és abban nyilvánul meg, hogy az É–D-i irányban haladó *P*-hullámok mintegy 3%-kal gyorsabbak, mint az Egyenlítővel párhuzamosan terjedők. Emellett az anizotrópia mind radiálisan, mind laterálisan változik. A belső mag 150 km mélységig közelítőleg izotrop, míg a belső rész a középpontig anizotrop. A laterális változás hemiszférikus és rövidebb hullámhosszú komponenst is tartalmaz. Az anizotrópia oka a belső magot felépítő, hexagonális legsűrűbb térrácsú ϵ -vas preferált orientációja lehet, amelynek mechanizmusa egyelőre nem tisztázott. Említésre méltó még, hogy a fentebb említett dinamómodellben az elektromágneses kölcsönhatás megköveteli a belső mag K-i irányú relatív forgását. Ennek

szeizmológiai igazolására több pozitív kísérlet is történt, de a végső konklúzió levonása még várat magára.

A szeizmikus tomográfia eredményeire építve az utóbbi években (1995-től) egy új geodinamikai elmélet, a „plume” tektonika körvonala látszanak kibontakozni. Eszerint az alsó köpeny dinamikáját a fent említett vertikálisan mozgó „superplume”-ok, a felső köpenyét viszont a litoszféramezek horizontális mozgásai uralják. Stacionárius állapotban az alsó és a felső köpeny két különböző dinamikai rendszert képvisel. A két rendszer akkor kerül csatolásba, amikor a szubdukciós zónákban felgyülemelő hideg litoszférea elemek lavinaszerűen „lezuhanva” áttörnek az alsó-felső köpeny határt. Amennyiben ez a teljes leszálló „superplume”-ra kiterjed, akkor az egész köpeny mozgásba jön (kb 400 millió évenként), amely szuperkontinensek keletkezéséhez és felszakadásához vezet. Úgy tűnik tehát, legalább is a spekuláció szintjén, hogy végső soron a Föld hűlése által hajtott geodinamikai folyamatok vezérlése dominánsan a felszínen lehűlő, süllyedő hideg anyagra hárul.

HIVATKOZÁS

LEE H. K., KANAMORI H., JENNINGS P. C., KISLINGER C. (Eds) 2003: International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology. Part A, p. 1–933. Academic Press

A mélyszeizmikus kutatások újabb eredményei: kapcsolat az alkalmazott kutatásokkal¹

POSGAY KÁROLY, HEGEDŰS ENDRE, BODOKY TAMÁS, CSABAFI RÓBERT, FANCSIK TAMÁS, KOVÁCS ATTILA CSABA, TAKÁCS ERNŐ²

Hazánk területén a kéreg és a felső köpeny szerkezetének megismerésére irányuló nemzetközi összefogással végzett új generációs szeizmikus sebesség- és szerkezetvizsgálatok (CELEBRATION 2000) 2000-ben indultak. A vizsgálatok évről évre bővültek. 2001 évben a VRANCEA, 2002-ben az ALP, 2003-ban a SUDETES program keretében folytatódtak a kutatások. Az eredmények közül olyan kelet-magyarországi 3-D feldolgozásokat mutatnak be a szerzők, amelyekből vulkáni takaró alatti szerkezetekre lehet következtetni.

A kéreg kőzettani vizsgálatánál felhasználták az új generációs szeizmikus mérések során meghatározott sebességeket is. Feltevésük szerint a mélyreflexiós szelvényekből viszonylag fiatal metamorf folyamatokra is lehet következtetni. Az előadásban a konsolidált kéregben található közel vízszintes reflektáló felületek keletkezésével kapcsolatban egy új elképzelést ismertettek. A hazai kutatások során a kőzeteket felépítő ásványtársulások stabilitási zónáinak és a kőzetek teherbíró képességének törvényszerűségeit szeizmikus szelvényekkel összehasonlítva arra a következtetésre jutottak, hogy a konsolidált kéreg közel vízszintes reflektáló felületeinek nagy része a képződésükkor uralkodó hőmérséklet, nyomás és geokémiai viszonyoknak megfelelően alakult ki. Ez az elképzelés a kainozoos medence aljzatából kapott kutatási eredmények értelmezéséhez is új szempontot adhat.

K. POSGAY, E. HEGEDŰS, T. BODOKY, R. CSABAFI, T. FANCSIK, A. Cs. KOVÁCS, E. TAKÁCS: New results of deep seismic investigations: a link to the industrial surveys

In Hungary the new generation seismic velocity and deep structure investigations (CELEBRATION 2000) carried out in international co-operation started in the year of 2000. The investigations were expanded from year to year. The work proceeded in the frames of VRANCEA, ALP and SUDETES projects in 2001, 2002 and 2003 respectively. Results of areal (3-D) processing of the seismic data from Eastern-Hungary are presented, from those conclusions concerning the structures below the volcanic layers can be drawn.

The seismic velocities determined from new generation seismic measurements are utilised at the investigations of the crust's petrology. It is pointed out that from deep reflection profiles one can conclude to the young processes of metamorphism also. In connection with sub-horizontal reflecting horizons in the consolidated crust a new idea is presented. It is shown that comparing seismic sections with the rules of stability zones of mineral compounds of rocks and with that of weight-bearing capacity of rocks one can conclude that most of the sub-horizontal reflecting horizons in the consolidated crust were formed in accordance with the temperature, pressure and geochemical environment prevailing at their development. The idea may give a new viewpoint for the interpretation of the results got from investigations of the basement of the Cainozoic basin.

Bevezetés

A mélyszeizmikus kutatások a kéreg és a felső köpeny szerkezetéről mind hazai, mind nemzetközi viszonylatban jelentős eredményeket adtak, és a medencék kialakulásáról alkotott elképzeléseket is új színnel gazdagították. A kutatások addigi történetét, eredményeit illetve nyitott kérdéseit 1998-ban a Magyar Geofizikában foglaltuk össze [POSGAY et al. 1998].

„Új generációs” mélyszeizmikus mérések

Közép-Európában az első, jelentős nemzetközi összefogással végzett új generációs mélyszeizmikus (tomografikus feldolgozásra is alkalmas) kéregkutató mérést a lengyel kutatók szervezték, akiknek a későbbi mérésekben is döntő szerepük volt. A *Polonaise'97* projekt célja a TESZ (Trans-European Suture Zone) és környezete szerkezetének megismerése volt [GUTERCH et al. 1999].

Ezt követte a CELEBRATION 2000 (Central European Lithospheric Experiment Based on Refraction, 2000) program, amelyben már az ELGI is részt vett. Ebben a szelvények összhossza 8900 km volt [GUTERCH et al. 2001, 2003]. A CEL szelvények elhelyezkedését az 1. ábrán a narancssárga vonalak jelzik.

A 2001. évi VRANCEA program [HAUSER et al. 2002] keretében mért szelvényt az 1. ábrán zöld, az ALP 2002 hálót [BRÜCKL et al. 2003] világoskék vonalak jelölik. A mérési sorozat utolsó szakaszában készített SUDETES vonalakat [GRAD et al. 2003] az ábrán kék színnel jelöltük.

Az eredmények szemléltetésére a 2. ábrán az ország ÉK-i részén a tomográfias inverzióval meghatározott P-hullám sebességeloszlásának 8 km mélységben készített vízszintes metszetét mutatjuk be [HEGEDŰS et al. 2003a]. Figyelemre méltó, hogy a neogén tektonikára az ország nagy részén jellemzőnek tartott ÉK–DNy-i irány helyett ezen a területen az alaphegységben a Keleti-Kárpátokkal párhuzamos, nagy sebességű anomália rajzolódott ki.

A 3. ábra ÉK-Magyarországról az 5,8 és 6,5 km/s sebességű felületek térbeli elhelyezkedését mutatja be DNy-i irányból nézve. Az 5,8 km/s felület a preausztriai alaphegység felszíne közelében húzódik, míg a 6,5 km/s sebesség

¹ Beérkezett: 2003. november 28-án

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

egy mélyebb felületet, illetve a kép jobb oldalán a Nagyecsed környéki vulkanizmus mélyebb szerkezetét jellemzi. Az ábra DNy-i oldalán látható mélyedés adat hiányból adódott.

Az ALP 2002 program kiterjesztéseként a kéreg felső harmadának kutatására területi méréseket is végeztünk [HAJNAL et al. 2002a]. A mérés a Nyírségben mintegy 700 km²-nyi területen történt, célunk az üledékek és az ezekben változatosan elhelyezkedő vulkáni rétegek, továbbá a harmadkori medencealjzat 3-D sebességképének áttekintő meghatározása volt. A 4. ábrán a *P* beérkezések idejéből 3-D tomográfiával meghatározott sebességmező 2,8 km mélységű színezett metszete és feketével a gravitációs anomáliák látszik. Az 5. ábra a sebességmetszetet és a vertikális mágneses anomáliákat mutatja. Az ábra közepén látható sebességanomália és egy kisebb gravitációs anomália egybeeséséből a medencealjzat kiemelkedésére lehet következtetni. A mágneses térkép itt nem jelez anomáliát. Ez a nagyobb szuszceptibilitású vulkáni kőzetek (és kedvező esetben a vulkáni takaró) jelentős elvékonyodását jelezheti [POSGAY 1967].

Értelmezési kérdések

Az új generációs mérések eredményeként meghatározható szeizmikus sebességtér a szeizmikus reflektáló felületek értelmezésében is új lehetőséget ad. A Föld szilárd kérgében található közel vízszintes reflektáló felületek keletkezése már egy 1984-ben Londonban rendezett nemzetközi konferencián, amely több geofizikai és földtani társulat közös rendezvénye volt, jelentős vitát váltott ki [MATTHEWS 1986]. A vitára jellemző, hogy a lemeztektonika geofizikai megalapozásában nagy tekintélyt kivívott MATTHEWS elismerte, hogy az értekezlet többsége a bázikus betelepülésekkel, lencsékkel indokolja a lamellás reflexiókat, de nem értett ezzel egyet!

A hazai kutatások során is gyakran észleltünk közel horizontális reflexiókat a pretercier medencealjzat alatt, így ez a kérdés az ELGI kutatóit is foglalkoztatta. A Föld kérgét az irodalomban közölt szilárdsági modellszámításoknál egy vagy két réteggel közelítik. A közel vízszintes reflektáló felületek keletkezésének vizsgálatánál célszerűbb pontosabb modellezésre törekedni, azaz többréteges modellel végezni a számításokat [POSGAY et al. 2001].

A Földben keletkező feszültségek a másodperctől több százmillió évig tarthatnak. A különböző nagyságú és időtartamú igénybevételekre a kőzetek reológiai viselkedése is eltérő lehet, rugalmasan, ridegen, vagy folyékonyan is válaszolhatnak. A rugalmasnak feltételezett testnél a feszültség arányos az alakváltozással. A tektonikai erők nagysága irány szerint változhat. Amennyiben a legnagyobb és legkisebb főfeszültségek különbsége meghaladja a kőzet szakítószilárdságát, a test tönkremegy: a ridegrugalmas tartomány felső határa felett folytonossághiány, törés vagy plasztikus folyás lép fel. A litoszféra rugalmas-rideg részében a reológiát a súrlódásos tönkremenés értékével jellemezzük a pórusterfogatban levő folyadék nyomásának figyelembevételével [RANALLI 1995].

A hőmérséklet az atomok vibrálását túlviheti a rugalmassági határon: duktilis, azaz viszkózus lesz a kőzet, alakváltozását kúszás jellemzi. A duktilis tartományban a

megfelelő átalakítással az úgynevezett Dorn-összefüggést [RANALLI 1995] használtuk.

A kúszási kúszób (aktivációs) energia értékének felvételénél a kéreg tulajdonságainak jobb megközelítése érdekében a longitudinális intervallumsebességek és a kőzetek laboratóriumban meghatározott kúszási kúszób energiája közötti empirikus összefüggést, az úgynevezett *VP-E* diagramot [MEISSNER 1989, MEISSNER et al. 1991] vettük figyelembe. A sebesség meghatározásánál ugyanis lényegesen több szakaszra bontottuk a litoszférát, mint azt az irodalomból ismert reológiai modelleknél tették, illetve tehetők. MEISSNERÉK statisztikus vizsgálata lehetővé teszi, hogy ne általános (laboratóriumi és terepi) ismeretekből becsüljük meg a kőzetparamétereket, hanem a területen mért sebességadatok alapján.

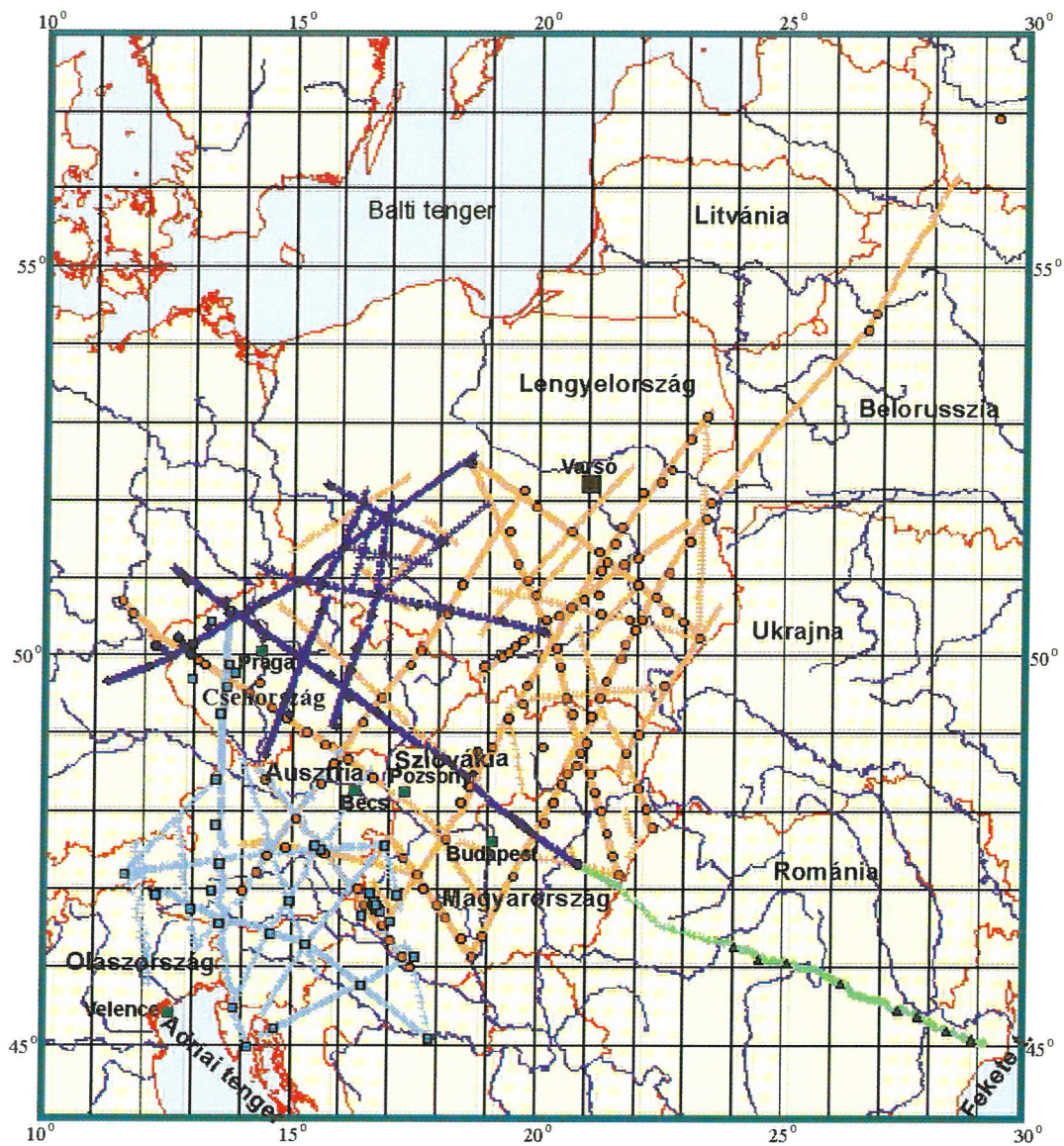
A közel vízszintes reflexiók vizsgálatához a kisebb mélységekben részletgazdag, tomográfiával meghatározott sebességképet használtuk fel, ahol a közelben ilyen feldolgozásra alkalmas mérés volt. Nagyobb mélységre (8–10 km felett) a reflexiók kéregkutatásoknál meghatározott sebességet alkalmaztunk. Ez a finomítás a litoszférának az irodalomban ismertett módszereknél részletesebb reológiai vizsgálatát teszi lehetővé.

A *VP-E* diagramból kiválasztott *E* érték alapján kerestük ki a szakirodalomban közölt laboratóriumi mérési adatokból az anyagi állandók nagyságát. További szempont volt az is, hogy olyan kőzet — laboratóriumi mérésekből ismert — paramétereit válasszuk, amelynek a laboratóriumban nagy hőmérsékleten és nyomáson mért sebessége egyezik a tomográfiásan, illetve a KESZ-1 mélyreflexiók szelvényen meghatározott sebességgel és előfordulása a kérdéses intervallumban valószínű [POSGAY et al. 2001].

A metamorf fáciesek zónái a metabazalt jellemző ásványtársulásai szerint láthatók a 6. ábrán. Az ábrán feltüntetjük a mérési területre jellemző hőmérséklet-mélység menetet [DÖVÉNYI et al. 1983, ČERMÁK, BODRÍCVETKOVA 1987, LENKEY 1999], amely mentén a mai mélységi hőmérsékletváltozásnak megfelelő stabilitási zónák várhatók. A görbe mentén tüntettük fel a KESZ-1 litoszféra- és asztenoszféra-kutató szeizmikus szelvényen meghatározott szakaszsebességek felső litoszférába eső részét [POSGAY et al. 1981]. A szakaszsebességek jól egyeztetethetők az egyes ásványtársulási stabilitási zónákkal. Az amfibolit fáciesben látható sebességváltozás valószínűleg a felső és alsó amfibolit fácies határzónáját mutatja.

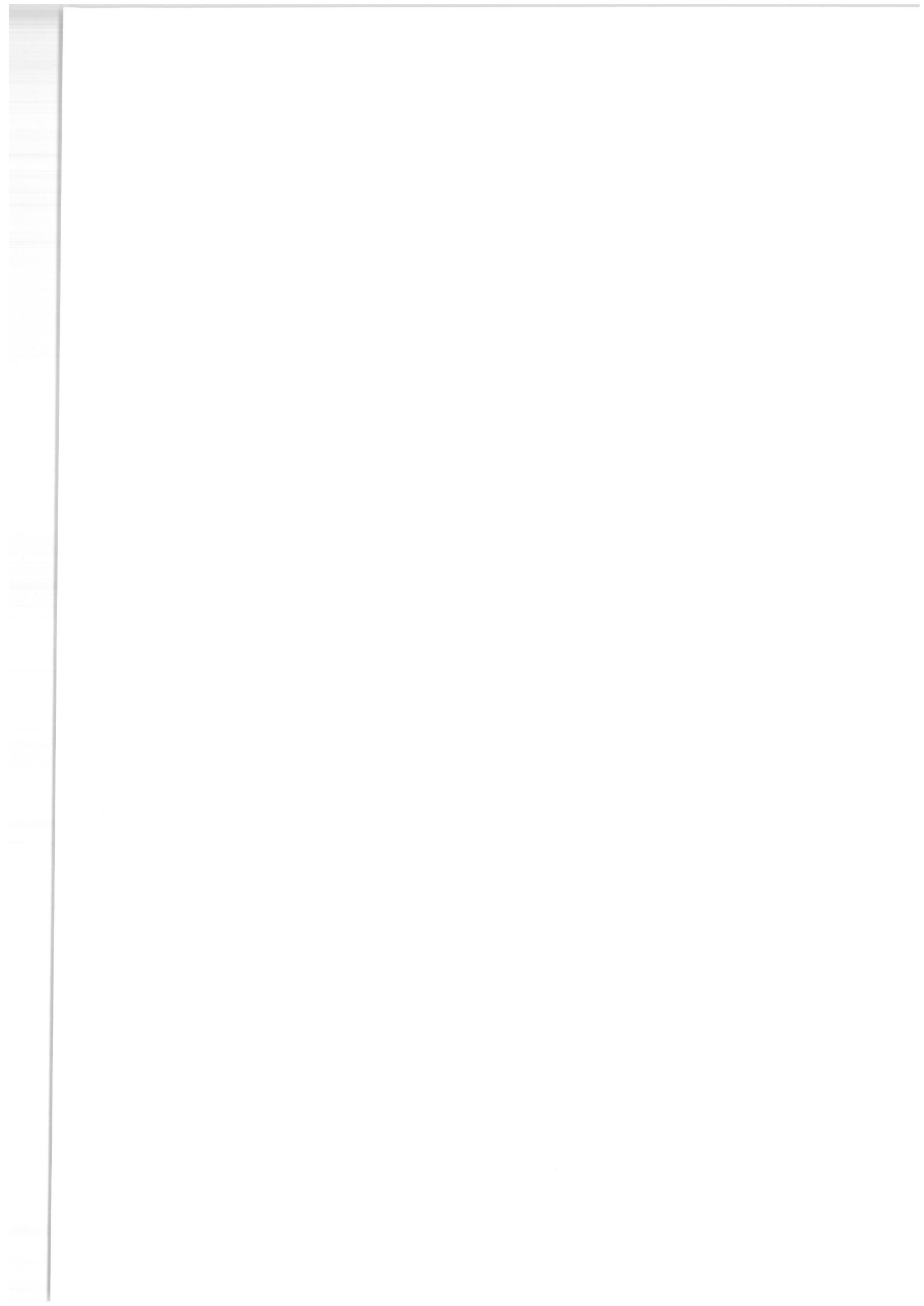
Közel vízszintes reflexiók

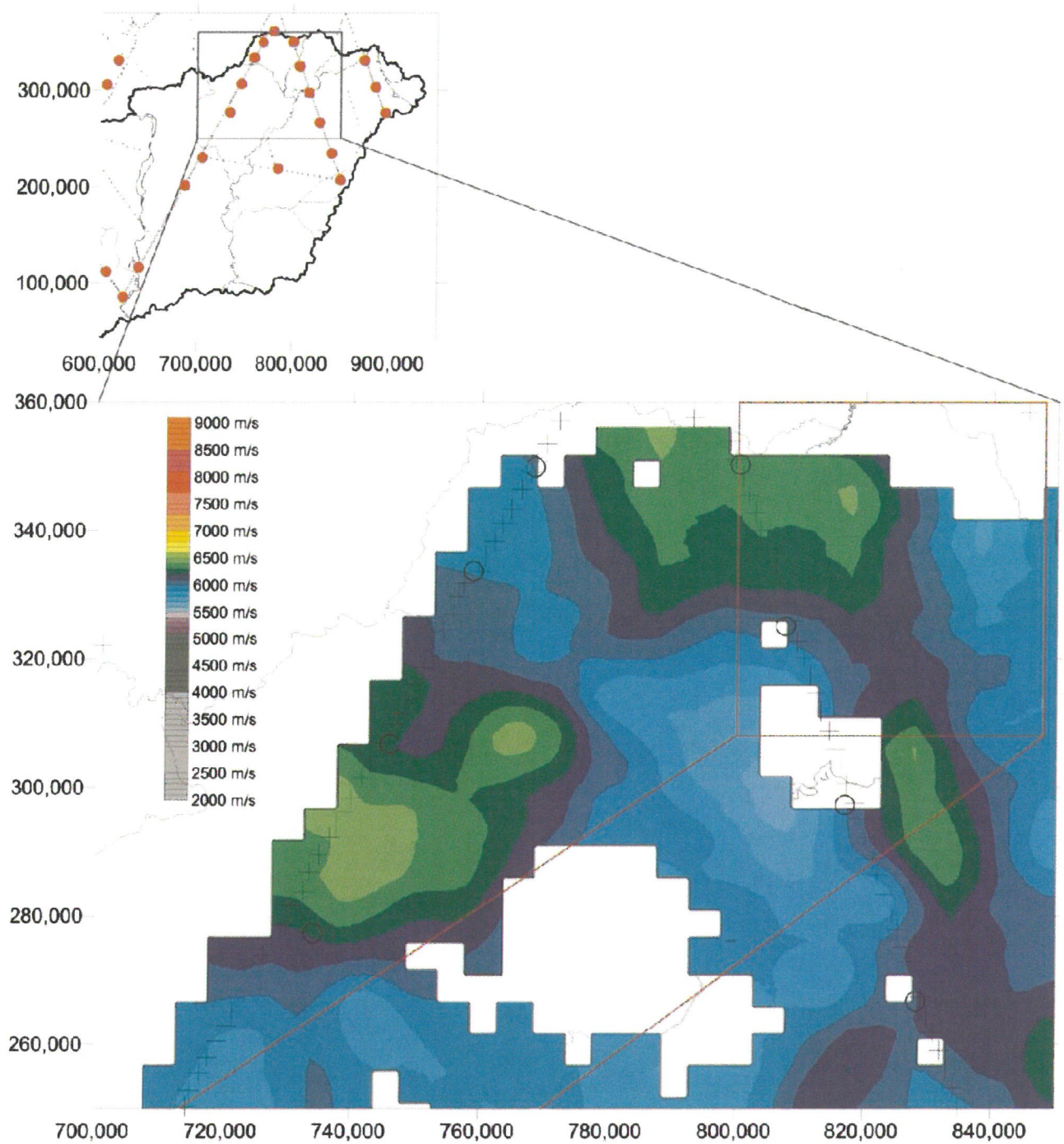
A szeizmikus szelvények helyszínrajzán (7. ábra) a preneogén medencealjzat felépítése Magyarország szerkezetföldtani térképe alapján látható. A következőkben a PGT-1 szelvény egy (az ábrán vastag vonallal jelölt) szakaszát ismertetjük és vetjük össze a kérdéses mélységben feltételezhető metamorf és reológiai viszonyokkal, majd a kóliai szupermély kutatófúrás, illetve egy Kanadában mért szeizmikus szelvény adataival hasonlítjuk össze. Ezután egy, a Derecskei-árkot keresztező szénhidrogén-kutató szelvénynek egy szakaszát vizsgáljuk meg. Ezt a vizsgálatot a CEL-04 nemzetközi litoszféra-kutató szelvénynek a szakaszhoz közel eső részén kapott tomográf sebességadatokkal végezzük.



1. ábra. Nemzetközi litoszférakutató mérések helyszínrajza. A narancssárga vonalak a 2000. évben mért CELEBRATION, a zöld vonal a 2001. évi VRANCEA, a világoskék a 2002-ben mért ALP, és a sötétkék vonalak a 2003-ban mért SUDETES elnevezésű szelvények helyét mutatják

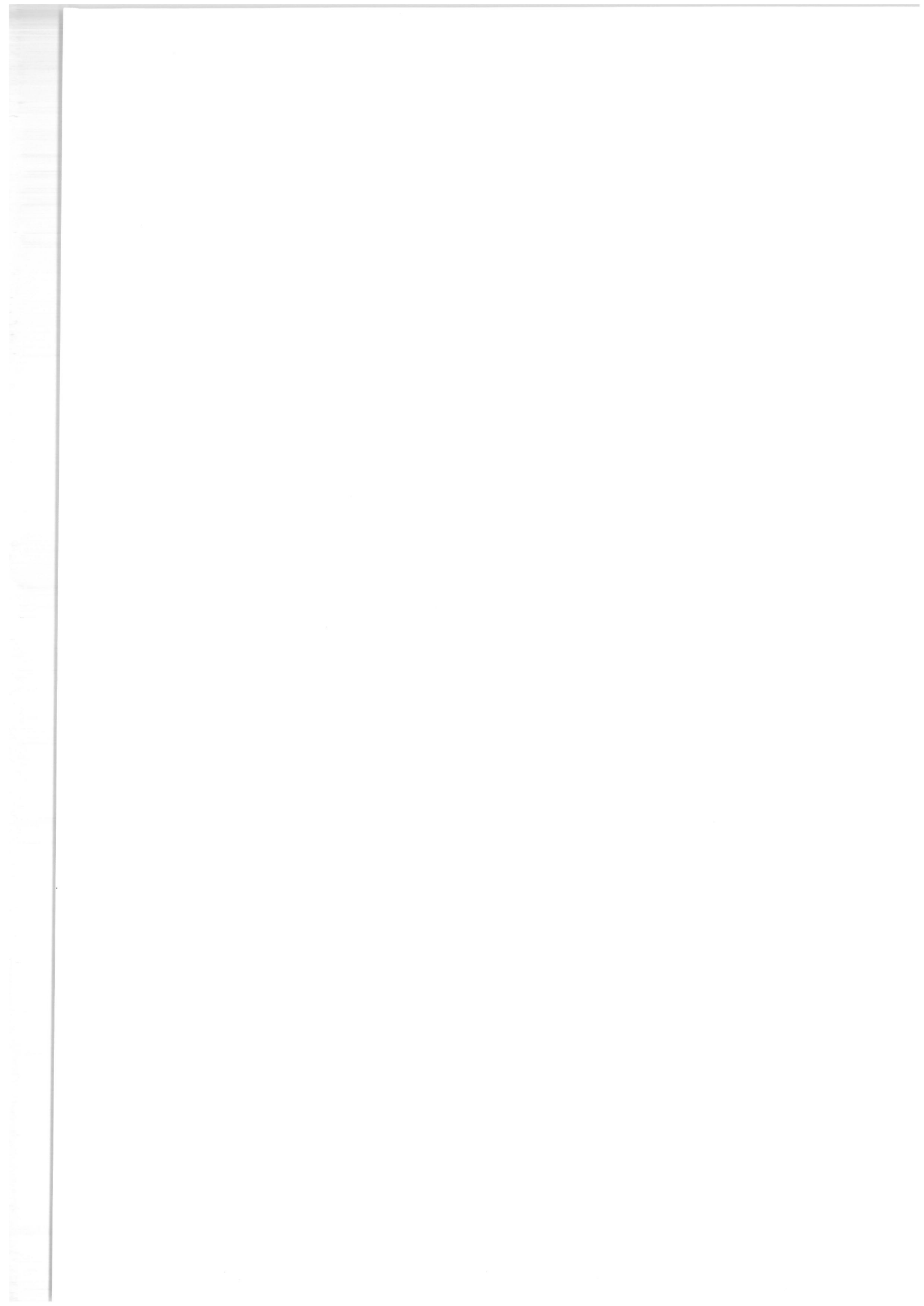
Fig. 1. Location map of the international lithospheric projects. Orange lines mark CELEBRATION profiles measured in 2000, the green one marks VRANCEA profile measured in 2001, the light blue ones mark ALP profiles measured in 2002 and the dark blue ones show SUDETES profiles of 2003

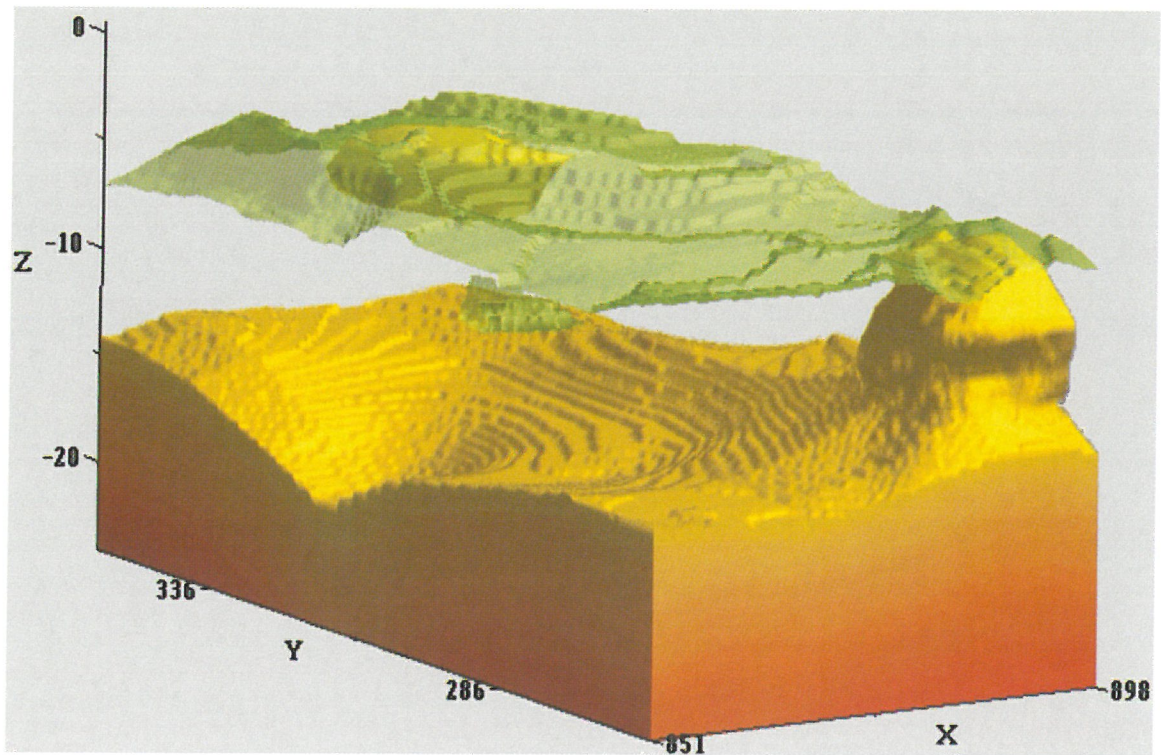




2. ábra. Az ország ÉK-i része P -hullám sebességeloszlásának 8 km mélységben készített vízszintes metszete [HEGEDŰS et al. 2003a alapján]. Az ábra bal felső sarkában a kelet-magyarországi CEL szelvények és robbantópontok helyszínrajzán levő négyzet mutatja a sebességmetszet helyét. Figyelemre méltó, hogy a neogén tektonikára eddig jellemzőnek tartott ÉK–DNY-i irány helyett az alaphegységben a Keleti-Kárpáttal párhuzamos nagy sebességű anomália rajzolódott ki

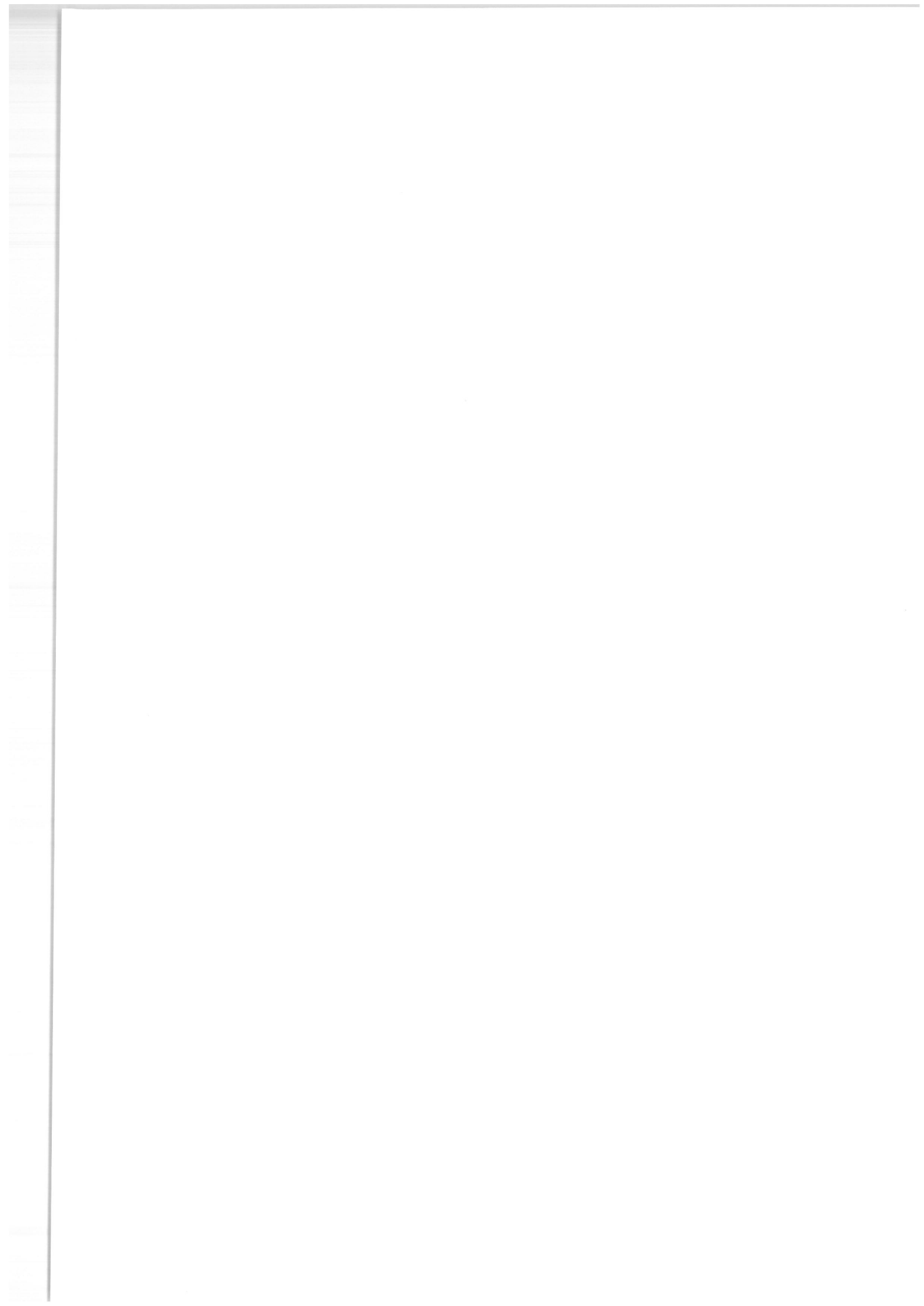
Fig. 2. Horizontal slice of the seismic velocity distribution of North-Eastern Hungary in a depth of 8 km [modified after HEGEDŰS et al. 2003a]. Location of the slice and the relating source points are shown at the upper left corner of the figure. It is remarkable that instead of the NE–SW direction characteristic of the Neogene tectonics in the region a high velocity anomaly parallel with the Eastern-Carpathians appears within the basement

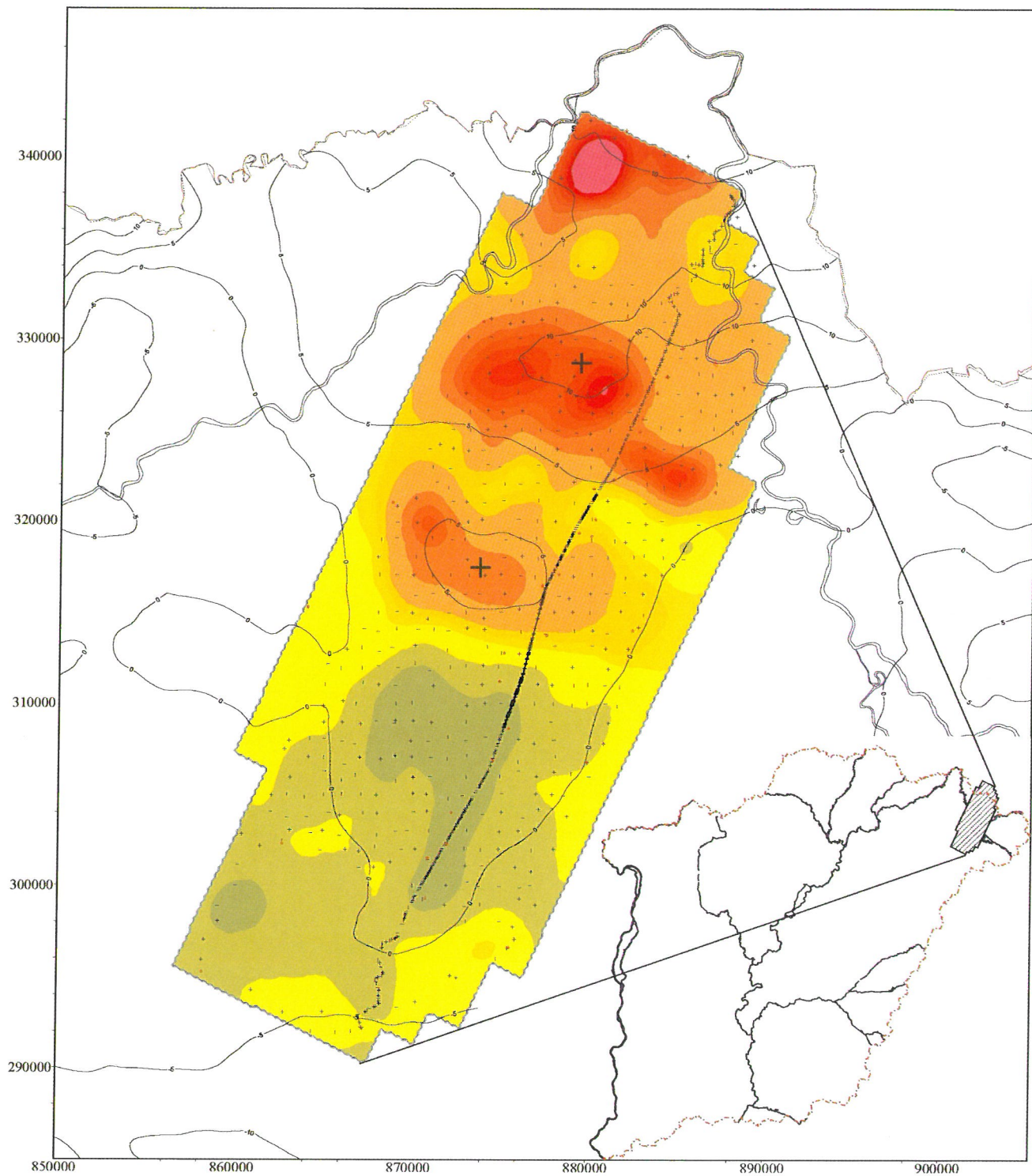




3. ábra. ÉK-Magyarországon a CEL szelvényekből meghatározott sebességfelületek térbeli képe. A zöldre rajzolt, 5,8 km/s sebességet ábrázoló felület a preausztriai korú alaphegység mélységének táján van, a sárga-barna, 6,5 km/s sebességfelület a mélyebb, illetve a kép jobb oldalán a Nagyecsed környéki szerkezetre lehet jellemző

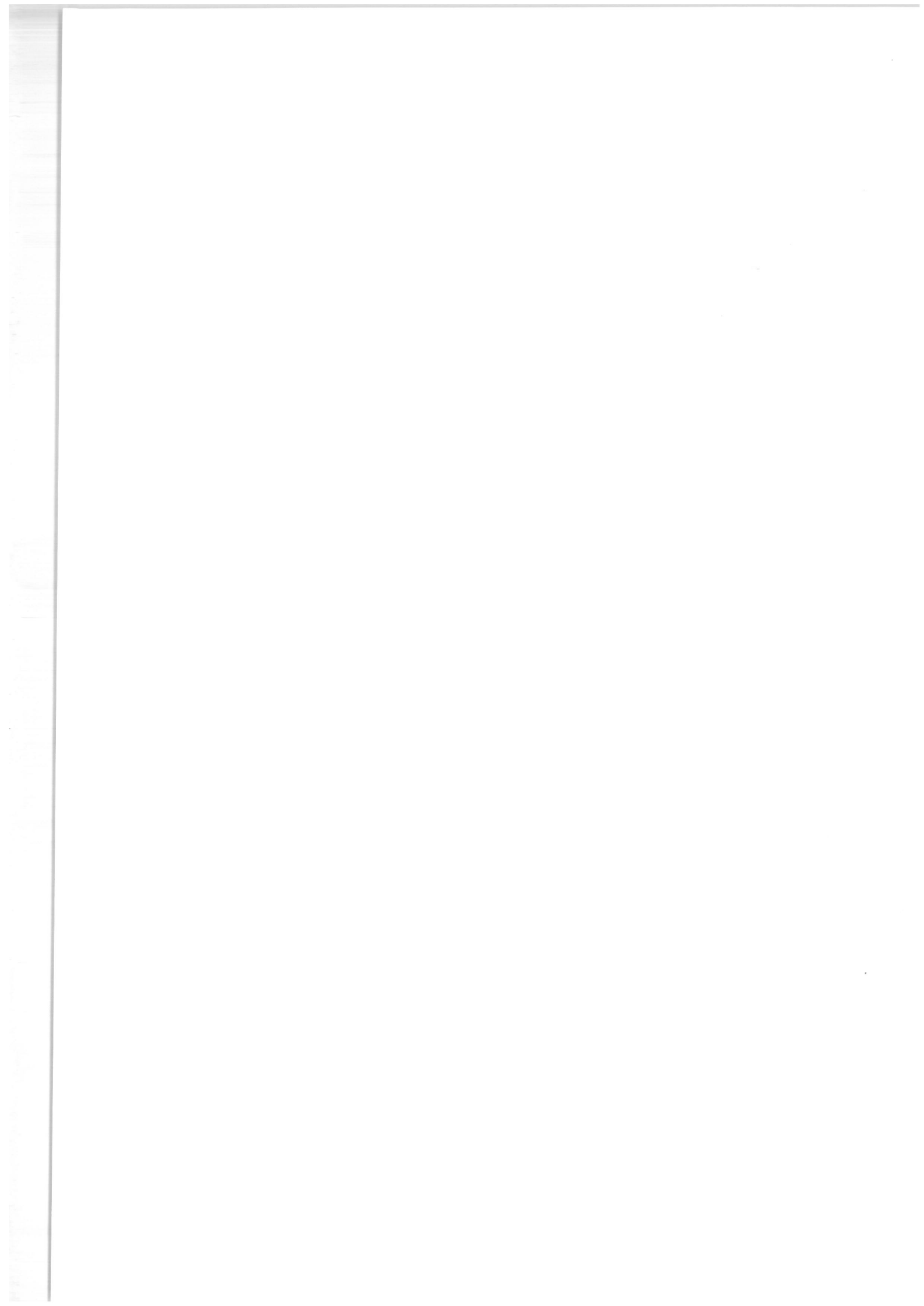
Fig. 3. Axonometric representation of iso-velocity interfaces determined from the CEL profiles. The green one represents the seismic velocity of 5.8 km/s and corresponds roughly to the basement of Neogene basin, the yellow one representing a velocity of 6.5 km/s is much deeper and depicts the paleovolcanic structure of Nagyecsed

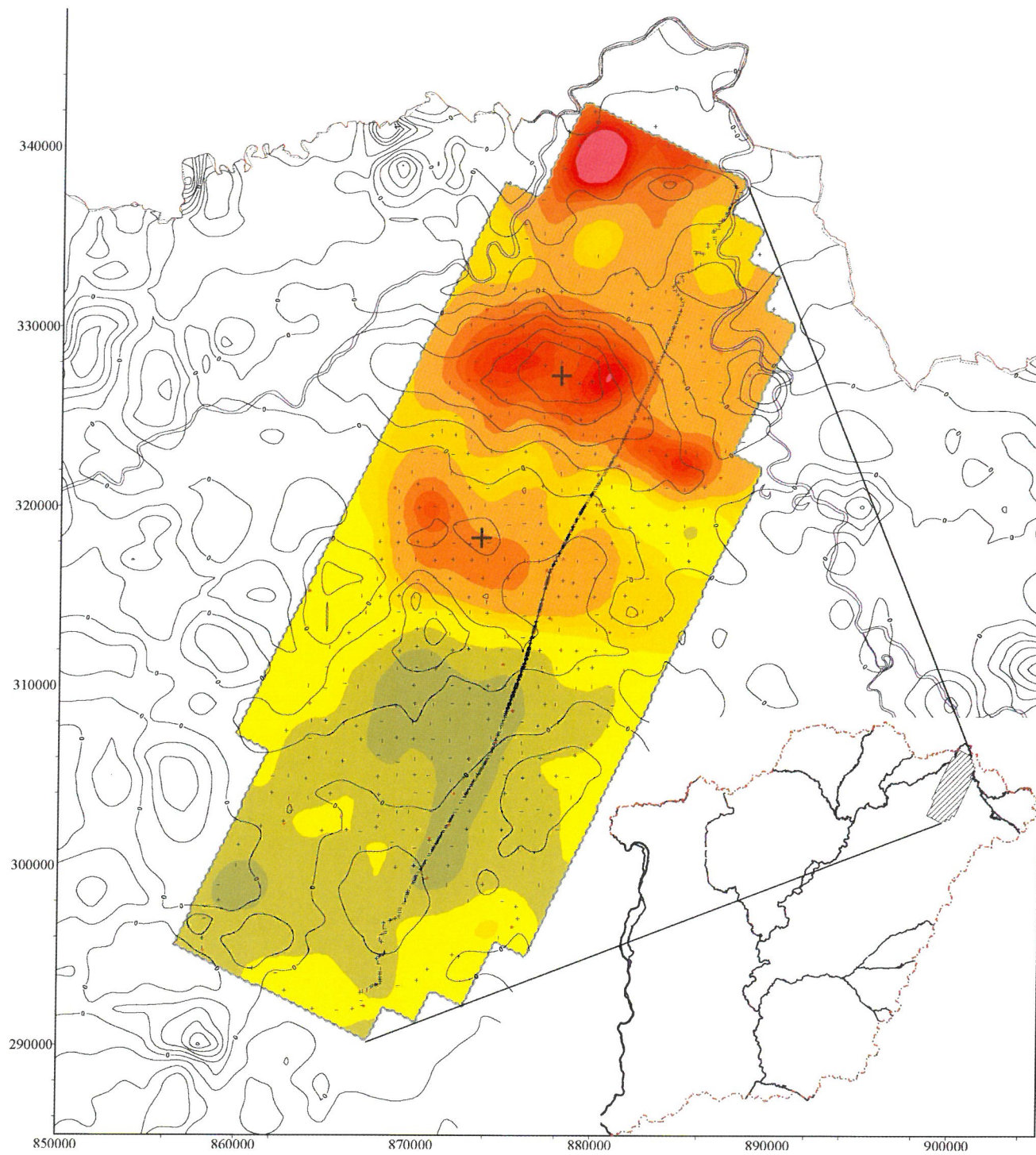




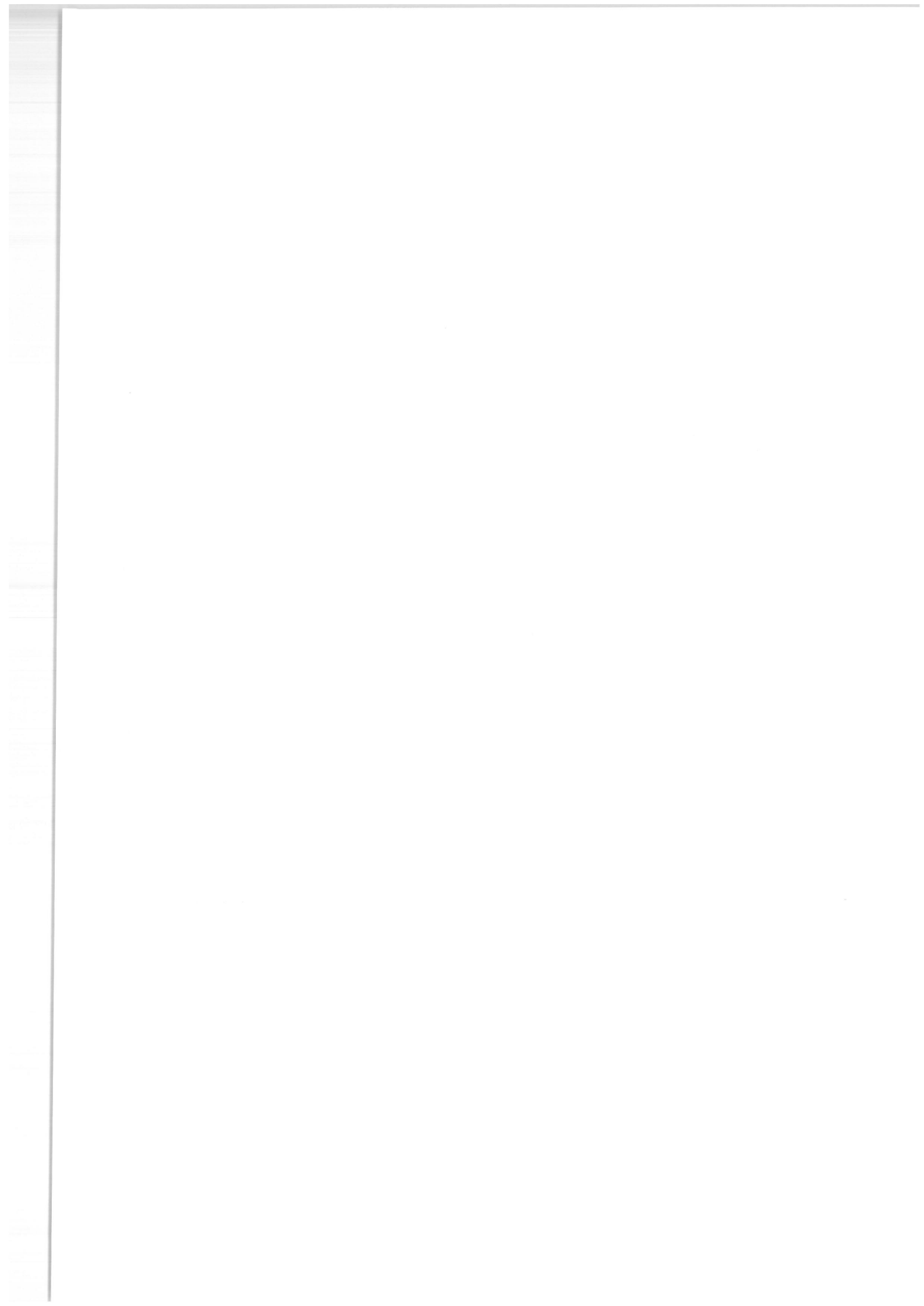
4. ábra. Az ALP 2002 program egyik kiegészítő mérése során észlelt P beérkezések idejéből 3-D tomográfiával meghatározott sebességmező 2,8 km mélységű színezett metszete [HAJNAL et al. 2002b alapján]. A fekete vonalak a gravitációs anomáliaképet mutatják. A mellékábra a kutatás helyét vázolja

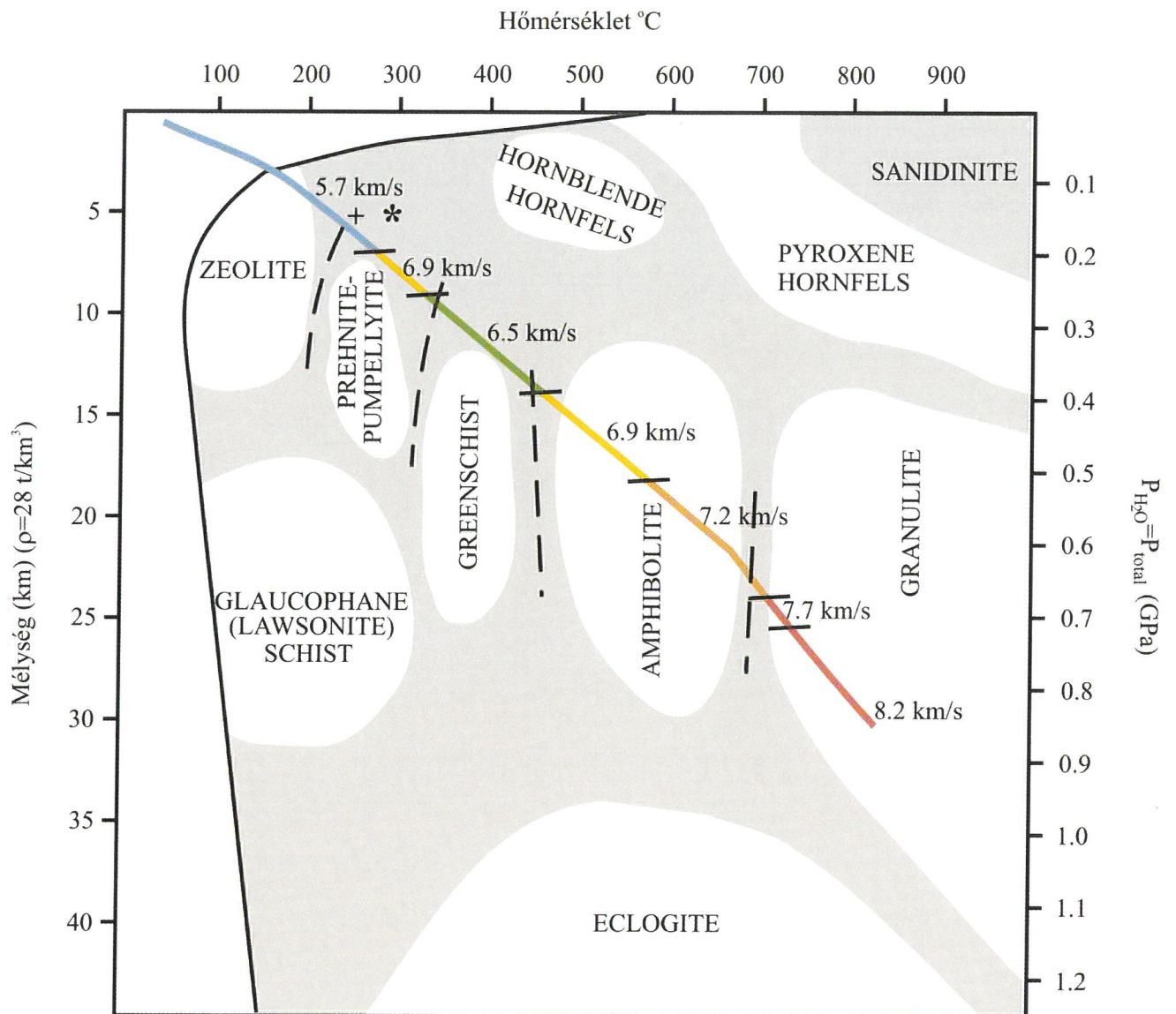
Fig. 4. Coloured horizontal slice of a velocity distribution in a depth of 2.8 km which is determined by real 3-D tomographic processing from a supplementary dataset of the ALP project [after HAJNAL et al. 2002b]. The black lines represent the gravity anomalies. The location is shown at the lower right corner





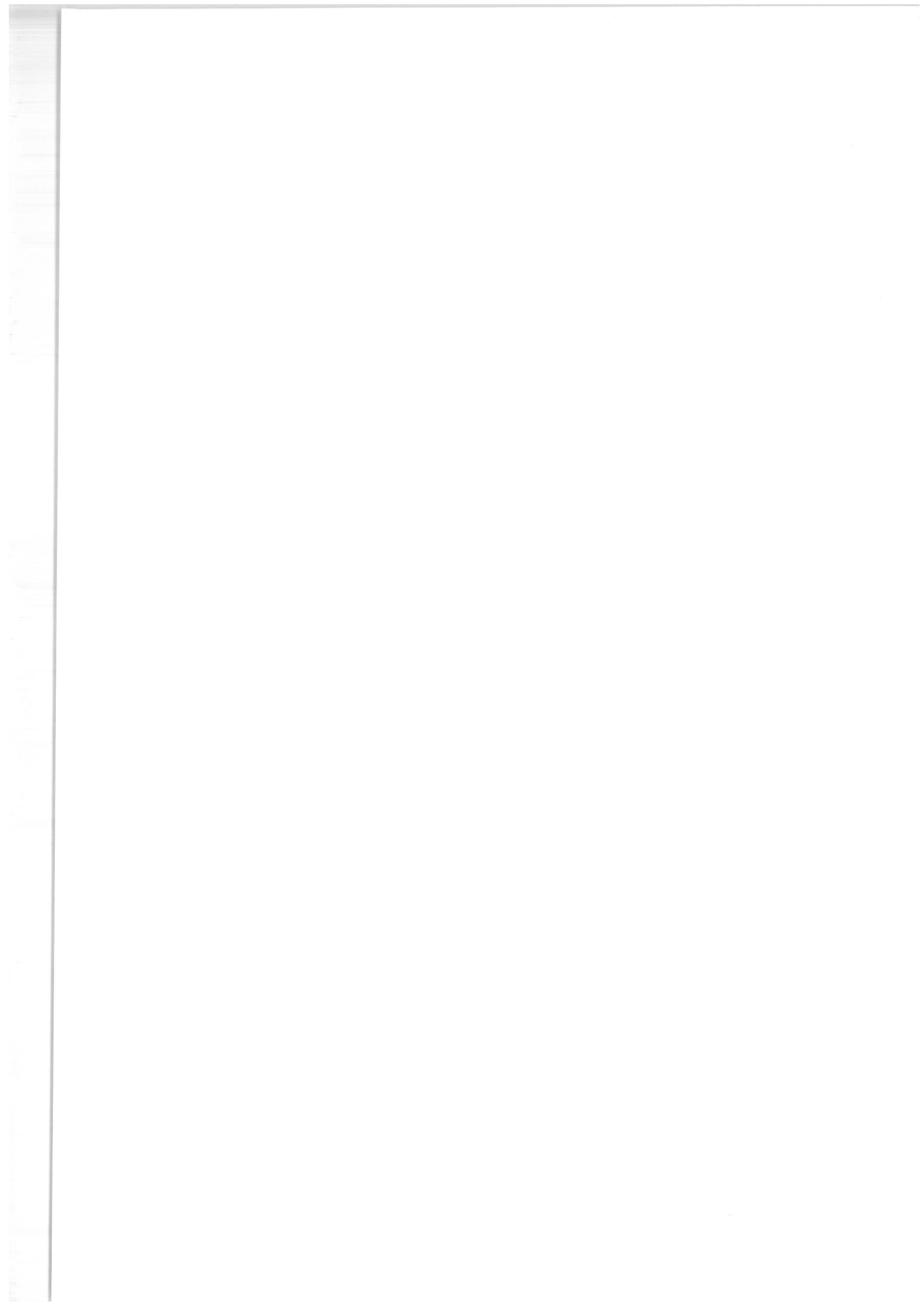
5. ábra. A 4. ábrán látható sebességmetszet és fekete vonallal a vertikális mágneses anomáliák láthatók
 Fig. 5. The same slice as in Fig. 4 with a magnetic anomaly (vertical component) map in the background

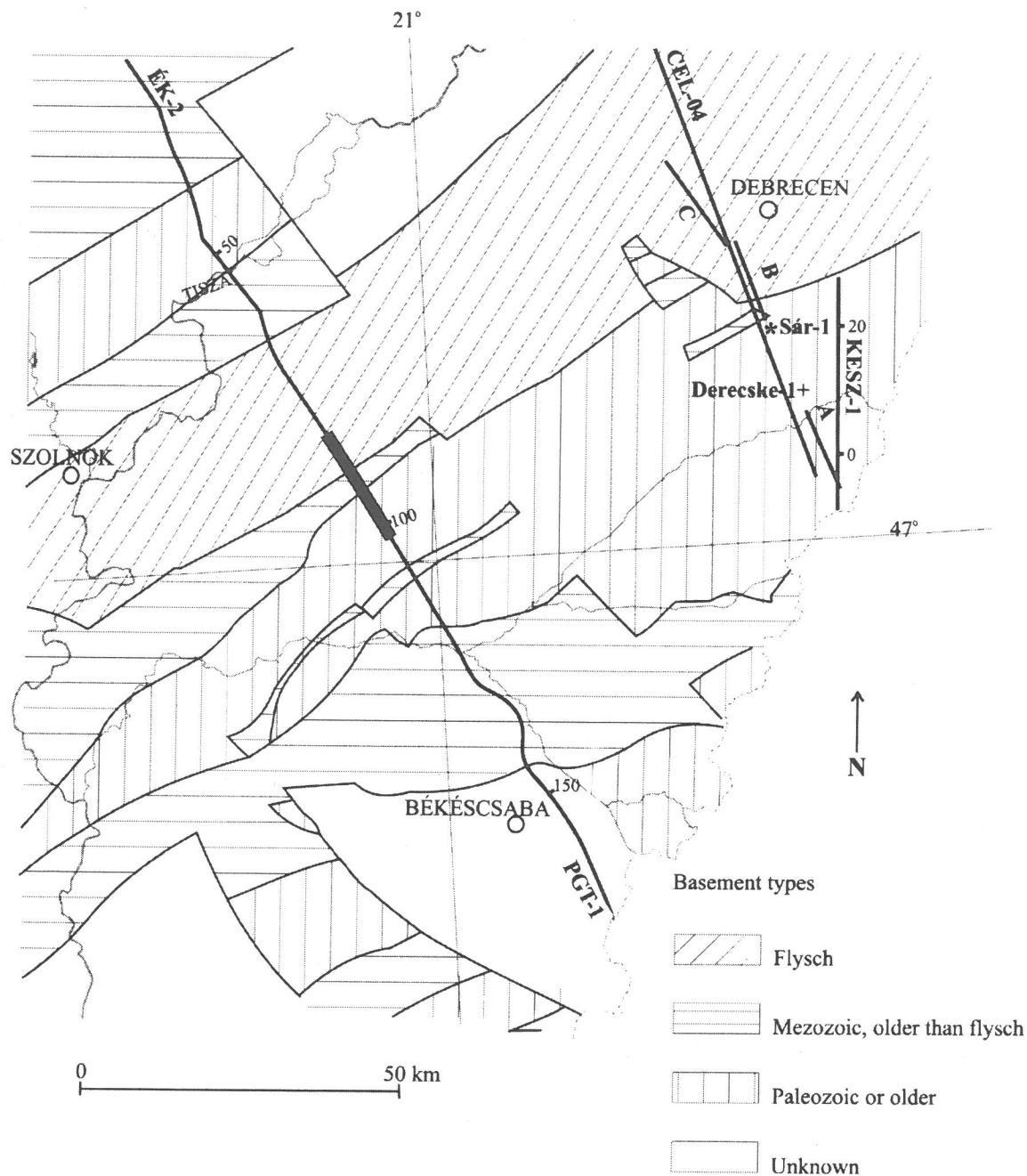




6. ábra. Az ásványok kísérletileg meghatározott állandósági viszonyai figyelembevételével meghatározott közelítő ásványtársulási diagram [FYFE et al. 1978 alapján]

Fig. 6. Approximate locations of mineral facies in terms of experimentally determined mineral stabilities [modified after FYFE et al. 1978]





7. ábra. Szeizmikus szelvények helyszínrajza. A preneogén medencealjzat felépítését Magyarország szerkezetföldtani térképe alapján vázoltuk

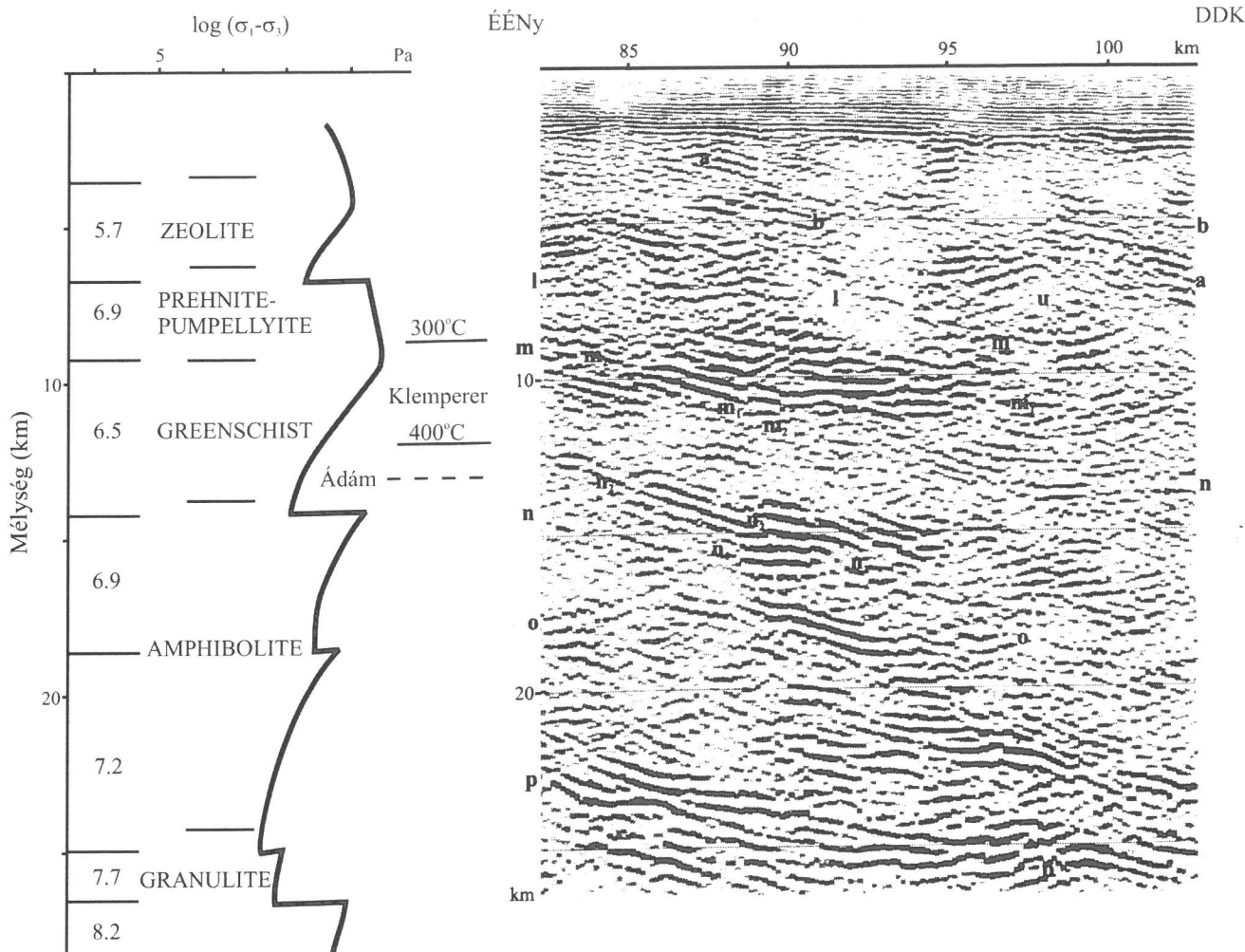
Fig. 7. Location maps of seismic profiles. The structure of the Paleogene basement is taken from the uncovered geological map of Hungary

Az 8. ábra bal oldalán tüntettük fel a KESZ-1 mély-reflexiók szelvényen meghatározott szakaszsebességeket, a kőzetek ennek felhasználásával meghatározott szilárdságszelvényét, továbbá a kettő között a 6. ábra alapján becsült metamorf fácieseket. Az ábra jobb oldalán a PGT-1 migrált mélységszelvény [POSGAY et al. 1995] egy szakaszának felső része látható. Ezenkívül feltüntettük azt a mélységet, amelynél 300–400 °C hőmérséklet várható, ahol KLEMPERER [1987] szerint a „jól reflektáló alsó kéreg” kezdődik, továbbá ÁDÁM [1987] jól vezető rétegének regionálisan meghatározott mélységét.

Az üledékes kőzetekre jellemző reflexiósor alatt a medencealjzatban 85. és 90. szelvénykilométertől DDK felé

lejtő (a-a-val jelölt) reflexiókat az ausztriai orogén időszak feltolódásos szerkezetével hozzuk kapcsolatba. Úgy 4 km alatt — a zeolit fácies maximális szilárdságú mélységében — közel vízszintes (b-b-vel jelölt) zavar látszik, amely alatt 100. szelvénykilométer táján ismét a lejtő reflektáló felületek vehetők ki. Ehhez hasonló reflexiók szerkezet a később tárgyalt derecskei szelvényszakaszon jól tanulmányozható.

A szelvény elején, kb. a 90. szelvénykilométerig, 7 km mélység táján ugyancsak kevésbé határozott (l-l-lel jelölt) vízszintes reflexió látható, amely egybeesik egy nagyobb szilárdságú (és sebességű) zóna felső részével. Ez tartozhatna a prehnit–pumpellit metamorf fáciesű zónába.



8. ábra. A PGT-1 migrált mélység szelvény [POSGAY et al. 1995 alapján] egy szakaszának felső része. A *b-b*, *l-l*, *m-m*, *n-n*, *o-o*, *p-p* betűkkel jelzett közel vízszintes reflexiók az ásványstabilitási zónák, illetve a szilárdsági burkoló görbe változói egyező mélységben találhatóak

Fig. 8. Upper part of a section from the PGT-1 migrated seismic depth profile. The sub-horizontal reflections indicated by the letters of *b-b*, *m-m*, *n-n*, *o-o* and *p-p* can be found in the same depth as the major changes of the mineral stability zones or of the stability curve

A mélyebben látható közel vízszintes reflexiók kötegek az egyes ásványtársulási zónák feltételezhető stabilitási tartományának felső részén vannak, és mélységük egyezik a közetzilárdság növekedési helyeivel, illetve maximumaival. A nagyobb amplitúdóval jelentkező (*m-m*, *n-n*, *o-o*, *p-p*-vel jelölt) jellegzetes reflexiók kötegek közül a legfelső (*m-m*) mélysége egyezik a KLEMPERER által meghatározott zónával, amely a jelen esetben megfelel a zöldpala fácies stabilitási mélységtartománya felső részének. Figyelemre méltó, hogy ez alatt helyezkedik el az ÁDÁM Antal által regionálisan meghatározott jól vezető réteg. A közel vízszintes (pl. *m₁-m₁*, *n₁-n₁*) reflexiók között láthatók (maximálisan 17°-kal) lejtő reflexiók is (pl. *m₂-m₂*, *n₂-n₂*), amelyek amplitúdója egyezik a vízszintes amplitúdókéval. Remélhető, hogy a vízszintes és a ferde felületek értelmezésére tervezett további vizsgálatok a tektonikai és metamorf folyamatok pontosításához vezetnek.

A kólai mélyfúrás áthaladó szeizmikus szelvény jelentős tektonikai hatásokat mutat. A tektonikai szerkezetre jellemző képet a közel vízszintes reflexiók a szelvény jelentős részén felülírták (9. ábra). GANCHIN és társai szerint

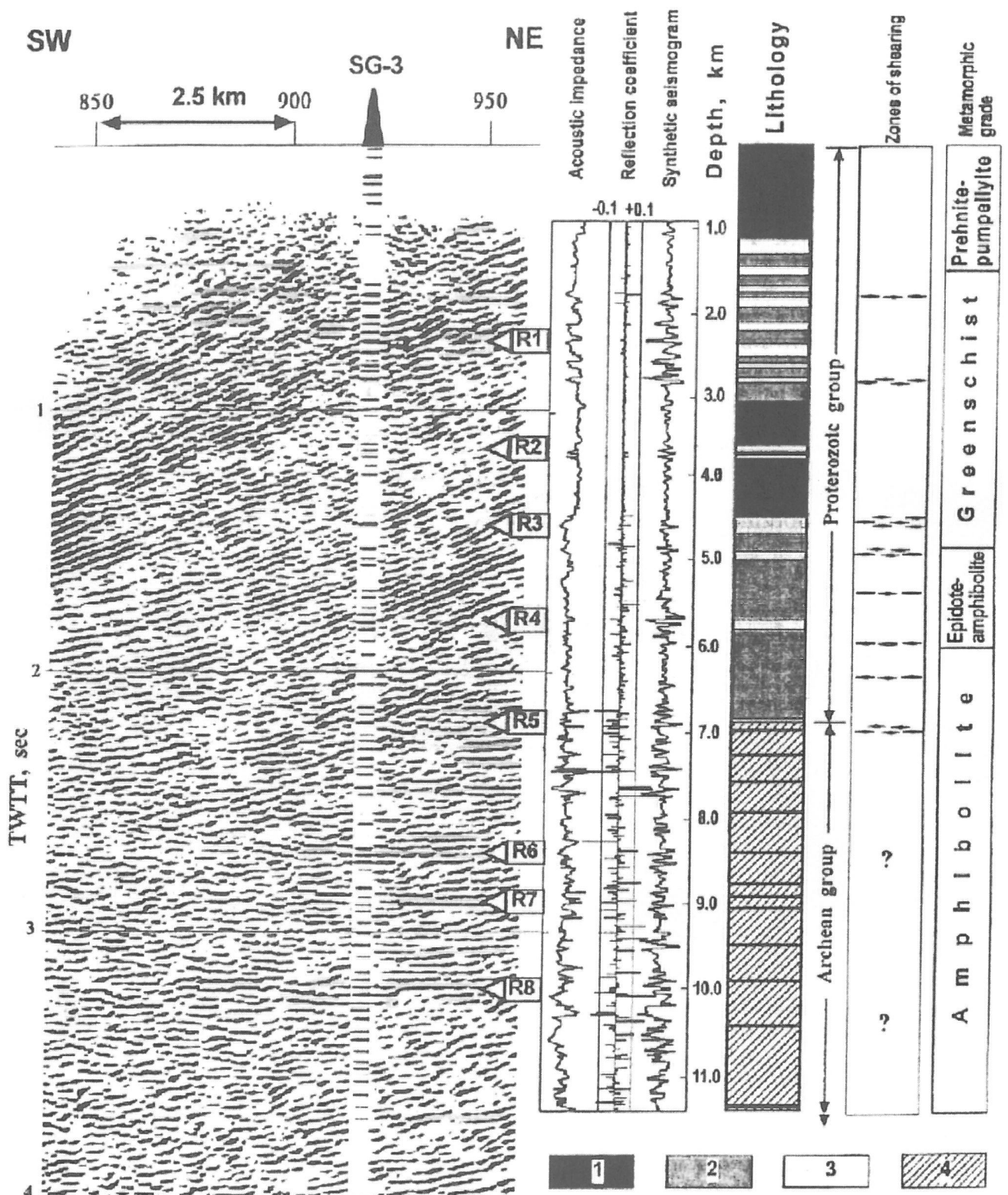
a közetfeszültség hatására tönkrement [KOZLOVSKY 1987] közet vízzel telt üregei kelthetik a reflexiókat. A közel vízszintes kifejlődés a kéregbeli közel lineáris *P-T* viszonyokat tükrözi.

A LITHOPROBE — a világ egyik legeredményesebb litoszféra-kutató tudományos egyesülése — szelvényein hazánk területét meghaladó, több mint 120 000 km² területen figyeltek meg kiemelkedő amplitúdójú, közel vízszintes, kötegesen jelentkező reflexiókat [MANDLER, CLOWES 1997, 1998, HAJNAL et al. 2002b]. Ezek a reflexiók a környezetük sugallta, bonyolult szerkezeti képpel nincsenek összhangban, ezért a szerzők utólagos, középső proterozoós (1,3 Ga) bázikus, ultrabázikus közet benyomulásaként értelmezik ezt a jelenséget. A 10. ábrán látható, hogy a szeizmikus kép nagyon hasonlít az utólagos felülírást mutató hazai szelvényekre. Feltételezhető, hogy mind a kólai, mind a kanadai megfigyelések is utólagos metamorf elkülönüléssel magyarázhatók.

A 11. ábrán egy kelet-magyarországi szénhidrogén-kutató reflexiók mélység-szelvény részlete látható. Helyét a 7. ábrán A betűvel jelöltük. A szelvényrészlet közepe táján,

az ábra alsó felében, a medencealjzatban egy (a-a-val jelölt) több kilométer széles elmozdulási zónára következtettünk. Ez feltehetőleg az ausztriai orogén idején keletkez-

hetett és később ismét felújult. A lejtő reflexiókat az ábra közepén, 4,5–5,5 km között, közel vízszintes (b-b-vel jelölt) rétegződés zavarja meg.



9. ábra. Kóla-i fúrási és szeizmikus szelvény [GANCHIN et al. 1998]

Fig. 9. Bore hole and seismic section from the Kola peninsula [after GANCHIN et al. 1998]

FYFE és társai [1978] szerint a prográd metamorfózis vízvesztéssel és egyben tömörődéssel jár. Nagyfokú metamorfózis után, ha a kőzet kis P - T viszonyok közé kerül, csak kis mennyiségben vesz fel vizet, és nagy része a régebbi szerkezetét őrzi. Amennyiben metamorf kőzetben jelentősebb vízfelvétellel járó retrográd metamorf átalakulást találunk, abból FYFE és társai szerint feltolódásra következtethetünk.

Ezt a gondolatmenetet követve feltételezhető, hogy a variszkuszi időben már metamorfizálódott, tömörödött kőzet rész az ausztriai orogén során takarós szerkezetű lett és későbbi tektonikai hatásokra az elmozdulási zóna közvetlen környékén megrepesztett, fellazult, ami lehetővé tette, hogy vízfelvétellel a kőzetben az éppen uralkodó viszonyoknak megfelelő ásványtársulások keletkezzenek. Az átkristályosodáskor a maximális főfeszültség és hőmérsékleti gradiens a maihoz hasonló, azaz függőleges lehetett és hatására alakulhatott ki metamorf elkülönüléssel a horizontális közeli szerkezet, amely a ferde elmozdulási övet felülírta.

A 12. ábrán a CEL-04 szeizmikus szelvény mérési területre eső részének tomográfiával meghatározott sebességeloszlása látható. Az A szelvényrész kisebb sebességéből a kőzeteket ért igénybevételre következtethetünk. Tőle balra a Derecskei-árok látszik. A B szakasz nagyobb sebessége a sárándi mélyfúrásból is ismert kiemelt blokkot jelzi.

A CEL-04 nemzetközi szelvényen az A szakasz közelében tomográfiával meghatározott sebességképet a reflexiós szelvényre vetítve látjuk a 13. ábrán. A vizsgálatnál figyelembe vettük a *Sár-1* szénhidrogén-kutató mélyfúrásban 4800 m mélységben mért 290 °C talphőmérsékletet ([ÁRKAI et al. 1998], helyét *-gal jelöltük a 6. ábrán; a fúrás helyét a 7. ábrán szintén feltüntettük), továbbá a *Derecske-1* mélyfúrásban 5200 m mélységben mért 250 °C talphőmérsékletet ([DÖVÉNYI, HORVÁTH 1988], helyét +-tel jelöltük az említett ábrákon). A mélyfúrásokban meghatározott hőmérsékletértékek nagyobbak, mint amelyek a környékre meghatározott átlagos hőmérséklet-mélység görbéből adódnak. A jelentős anomáliát a Derecskei-árokban lévő 6500 m-nél is vastagabb [KILÉNYI et al. 1991] fiatal üledékek okozzák. Hővezető képességük lényegesen kisebb, mint a medencealjzatot alkotó idősebb kőzeteknek. Az árok alján ezért lényegesen nagyobb a hőmérséklet, mint hasonló mélységben a kisebb üledékvastagságú területeken. A *Derecske-1* mélyfúrás a neogén üledékeket 5000 m vastagságban harántolta, a *Sár-1* fúrást pedig a Derecskei-árok szélén mélyítették le.

Az ásványtársulási stabilitási zónákat és a kőzetszilárdági burkoló görbéket a 13. ábrán az X -szel jelölt helyen meghatározott tomográfiás sebességeloszlás, továbbá a fúrásokban mért hőmérsékleti értékek felhasználásával vázoltuk. A retrográd átkristályosodással felülírt szelvényrész ma a prehnit-pumpellit stabilitási zóna felső részén található.

A 14. ábrán egy egyszerűsített szerkezeti vázlat látható. A szubhorizontális reflexiók alatti — 5600 m/s értéknél kisebb, d -vel jelölt — sebesség egyrészt hőmérsékleti hatásnak, másrészt az átkristályosodott kőzet alatt keletkezett pórusfolyadék túlnyomásaként értelmezhető [HYNDMAN 1988]. A medencealjzat felszíne közelében meghatározott — e -vel jelölt, 5800 m/s-nál nagyobb — sebesség a retrográd folyamat során keletkezett legszilárdabb kőzet részét jelezheti.

Közel vízszintes reflektáló rétegek kialakulási ideje

Az 11. ábrán a - a -val jelölt nyírási zóna — iránya, dőlése és jellege alapján, a Tisza nagyszerkezeti egységre jellemző — felső kréta (80 Ma) korú feltolódási zónaként értelmezhető. A b - b -vel jelölt vízszintes reflexiós köteg az a - a zónát írta felül, ezért 80 Ma-nál fiatalabb. A Pannon-medencében és környékén az alpi regionális metamorf események ÁRKAIÉK [ÁRKAI 2001] által történt felismerése, időbeli és térbeli rendszerezése az elmúlt évtized jelentős eredménye. A fiatalabb (pl. mezo-alpi: 30–40 Ma) metamorfózisról csak kevés adatot találunk a szakirodalomban [BALOGH et al. 1990, ÁRKAI et al. 2000, ÁRKAI 2001, BALOGH, PÉCSKAY 2001]. Ezeket tektonotermális hatásként említik, és a koradat leírásánál érzékeltetik annak bizonytalanságát. A szeizmikus szelvényekben, fúrással elérhető mélységben megjelölt, közel vízszintes reflexiós kötegek helyén végzett metamorf kor vizsgálat nem ismert. A közölt adatokat extrapolálva, egyik lehetőségként feltételezhető, hogy a viszonylag kis mélységű, közel vízszintes reflexiók a Pannon-medence kialakulása előtt keletkeztek.

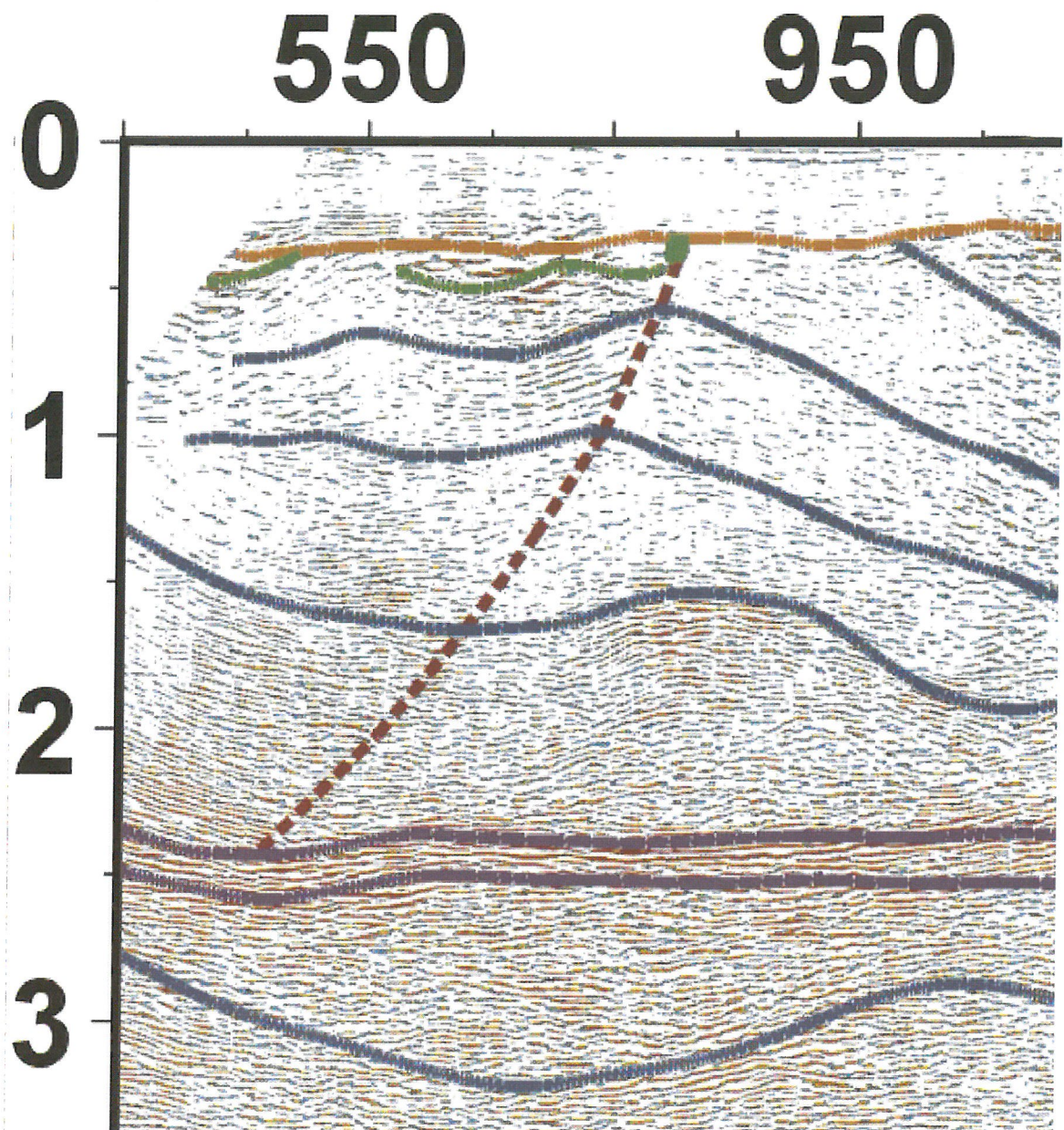
A közel vízszintes reflexiók egy fiatalabb keletkezés lehetőségét is felvetik. A reflexiós kötegek mélységének egyezése a metamorf stabilitási, továbbá a nagyobb kőzetszilárdságú zónák mélységével azt sugallja, hogy a reflektáló felületek a maihoz közeli kéregvastagság mellett keletkeztek. Ez a kéreg a Pannon medencerendszerrel a miocén folyamán alakult ki. (A kezdeti és fő színrift fázis: 24–14 Ma, a termális süllyedés fázisa: 14–4 Ma időszakra tehető [HÁMOR et al. 2001].) A süllyedés és hőtörténeti modellezés [DÖVÉNYI 1994] eredményei szerint a gyors kezdeti süllyedés után lassabb termális süllyedés időszaka következett. Az izoterma felületek nagyobb változása csak a kezdeti időszakban tételezhető fel, ezután az utolsó 2–10 Ma alatt pedig mélységi helyzetük és a geotermikus gradiens értéke csak keveset változhatott. A mély üledékes medencék ezt a képet módosították. A tektonikai folyamatokhoz viszonyítva a medence üledékek felfűtődése „készt” [STEGENA, DÖVÉNYI 1983].

A fentiek szerint a termális süllyedés idején levő viszonyok kedvezhettek újabb stabil ásványtársulások kialakulásának [POSGAY 2003]. A közel vízszintes reflektáló felületek keletkezésének utóbb leírt lehetőségét valószínűsíti az a tapasztalat is, mely szerint ezek a reflexiók a legtöbbször a fiatal extenziós területeken fordulnak elő [MEISSNER 1986; MOONEY, MEISSNER 1992].

Összefoglalás

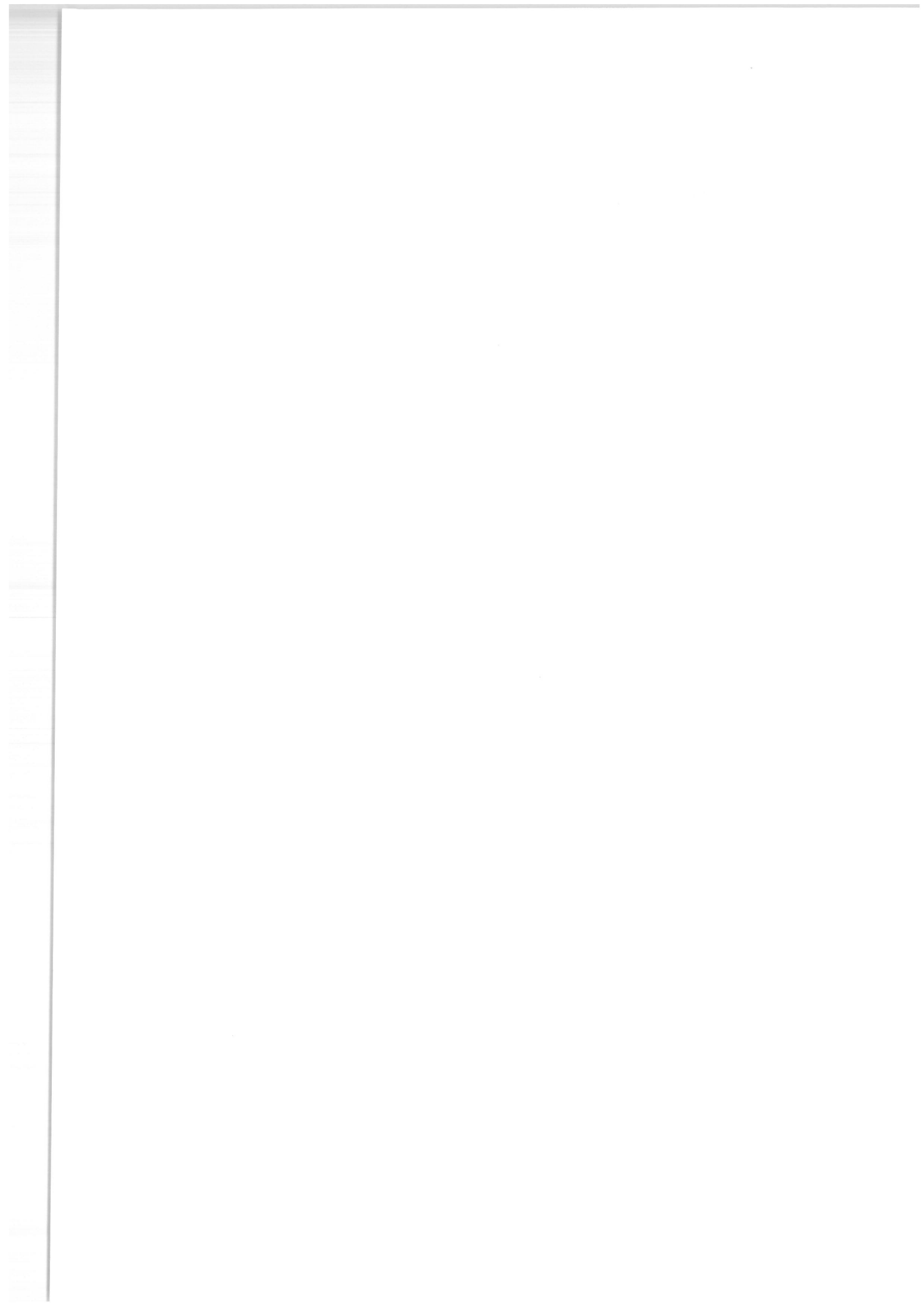
A CELEBRATION 2000, a következő évi VRANCEA 2001 és az ALP 2002 elnevezésű nemzetközi, refrakciós, tomográfiás kéregkutatásban Európából és Észak-Amerikából 10–30 intézmény vett részt. Az említett projektekben alkalmazott szeizmikus mérési eljárás megfelelő módosítással a gyakorlati geofizikában is eredményesen felhasználható.

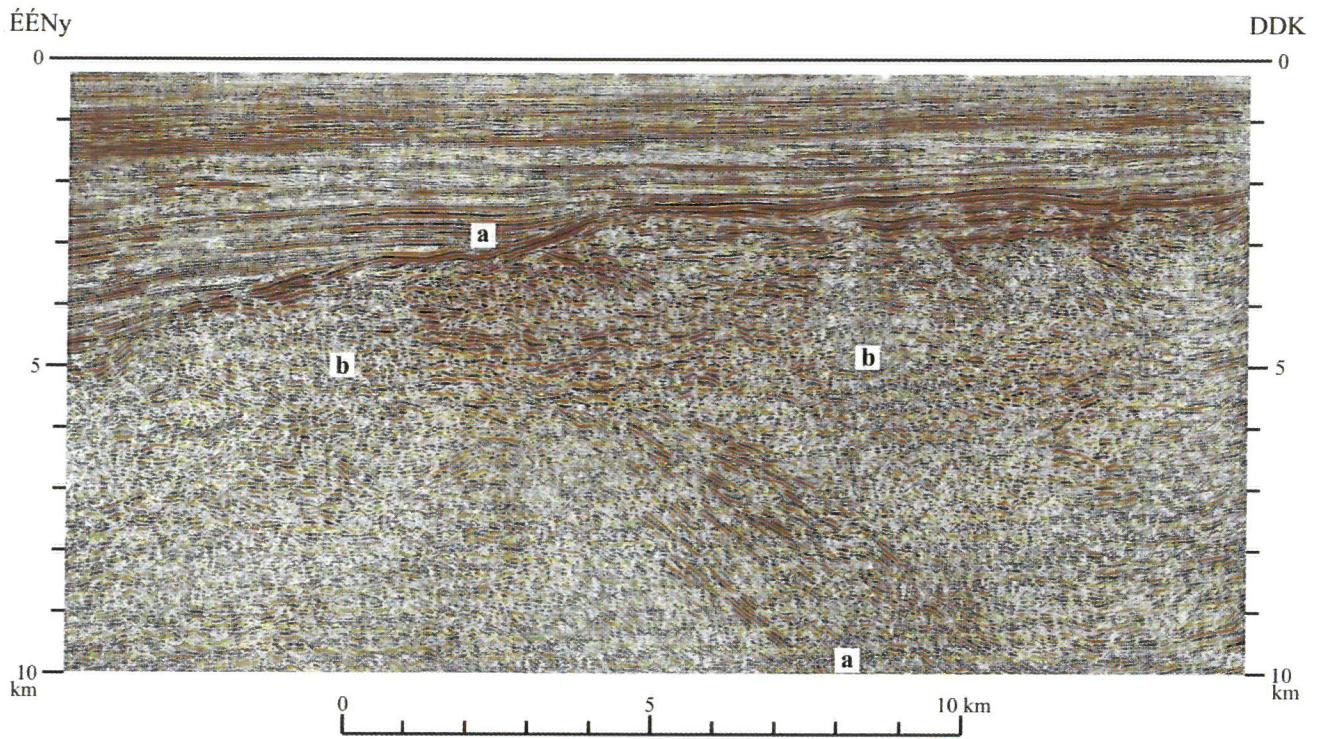
A CELEBRATION projekt egyik részeredményéből az ország ÉK-i részének tomográfiás inverzióval meghatározott P -hullám sebességeloszlásából a vulkáni kőzetek felszínközeli és mélybeli részének együttes értelmezésén kívül a neogénnél idősebb tektonikai elemekre is lehetett következtetni.



10. ábra. Kanadai kéregkutató szeizmikus szelvény egy részlete [HAJNAL et al. 2002b alapján]

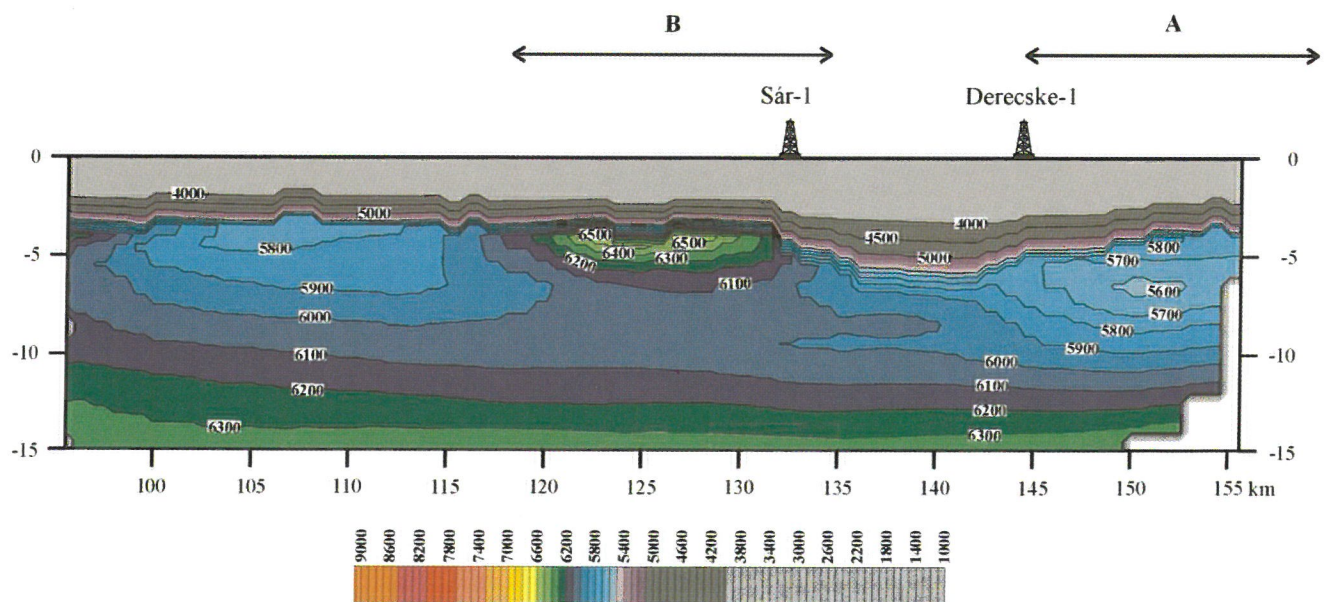
Fig. 10. A part of a deep seismic profile in Canada [modified after HAJNAL et al. 2002b]





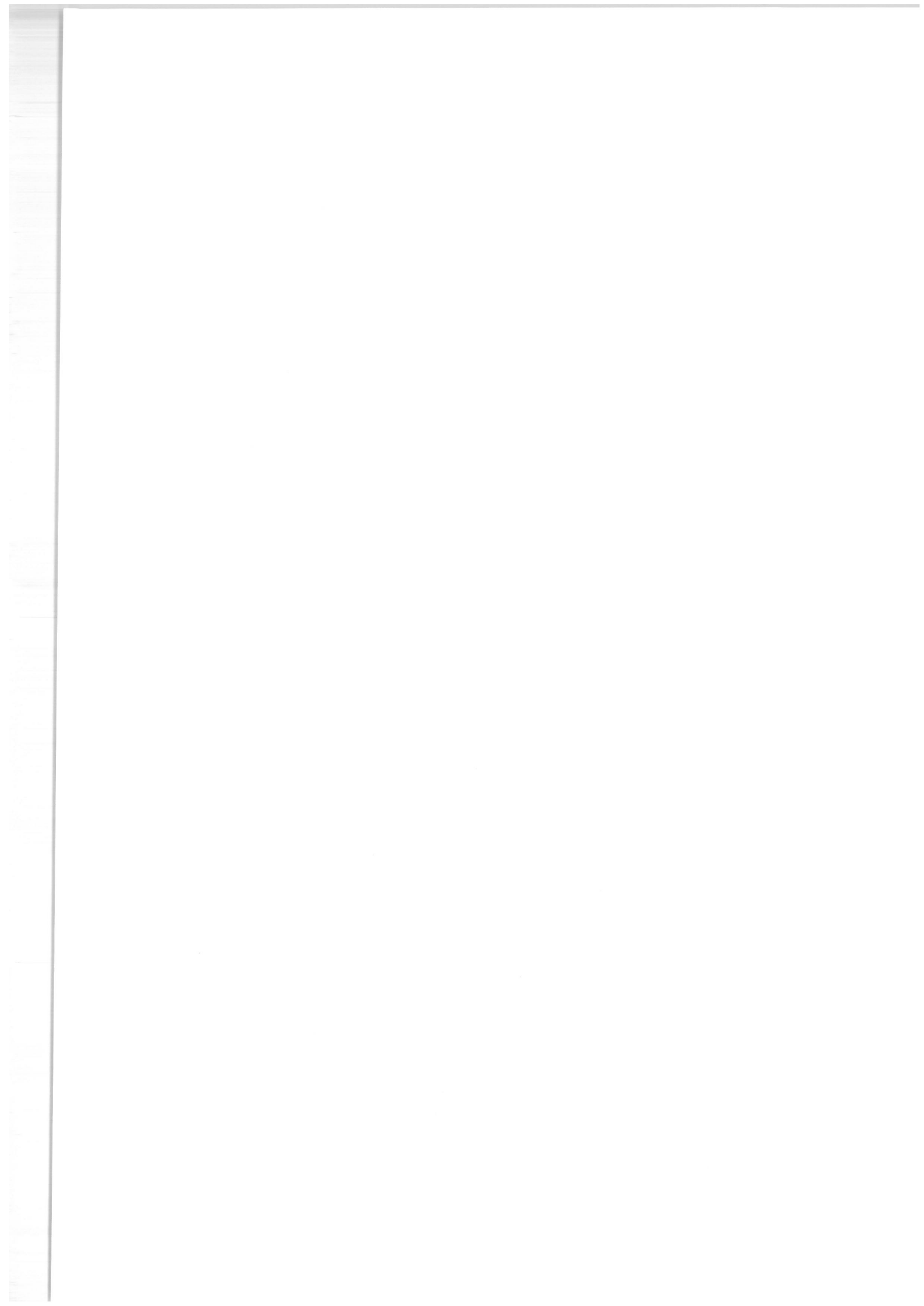
11. ábra. Kelet-magyarországi szénhidrogén-kutató reflexiós mélységsvlvény részlete [POSGAY et al. 2001]. Helyét a 7. ábrán A betűvel jelöltük. A medence aljzatban jól látható nyírási zónát 4,5–5,5 km mélységben közel vízszintes réteg-zördés írta felül

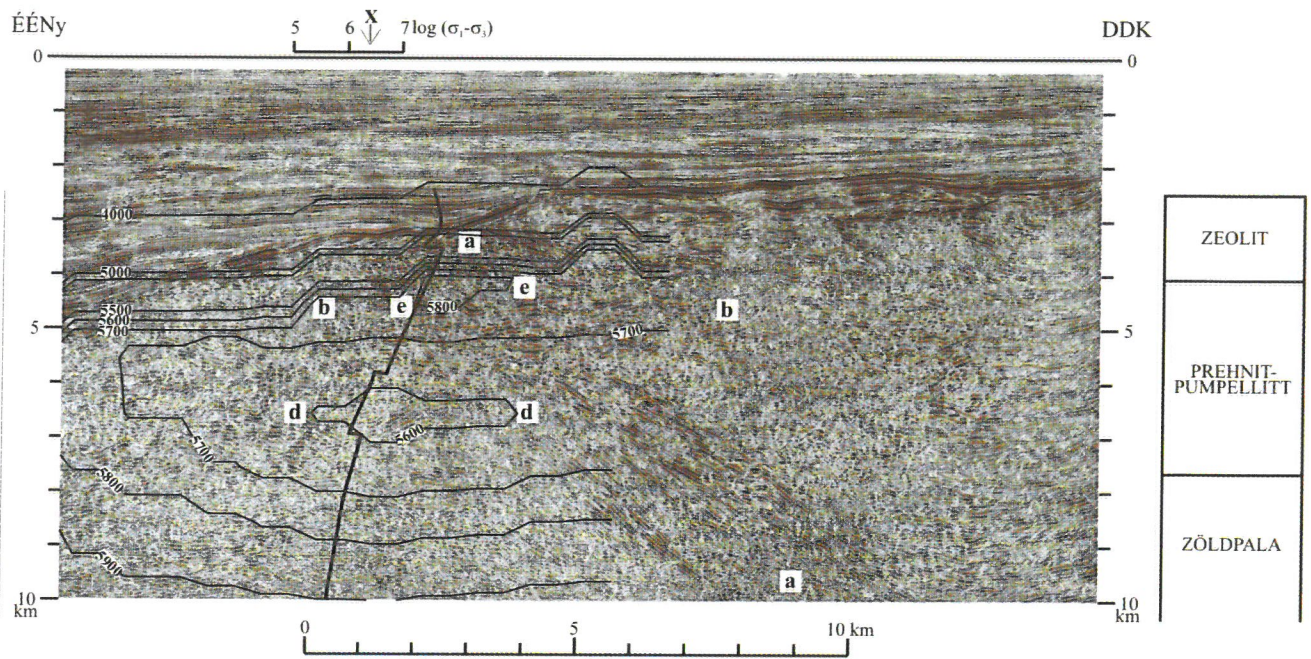
Fig. 11. Part of an industrial seismic depth section from Eastern Hungary [after POSGAY et al. 2001]. Its location is indicated by A in Fig. 7. Within the basement it can be seen that a shear zone has been overwritten by sub-horizontal reflections in a depth of 4.5–5.5 km



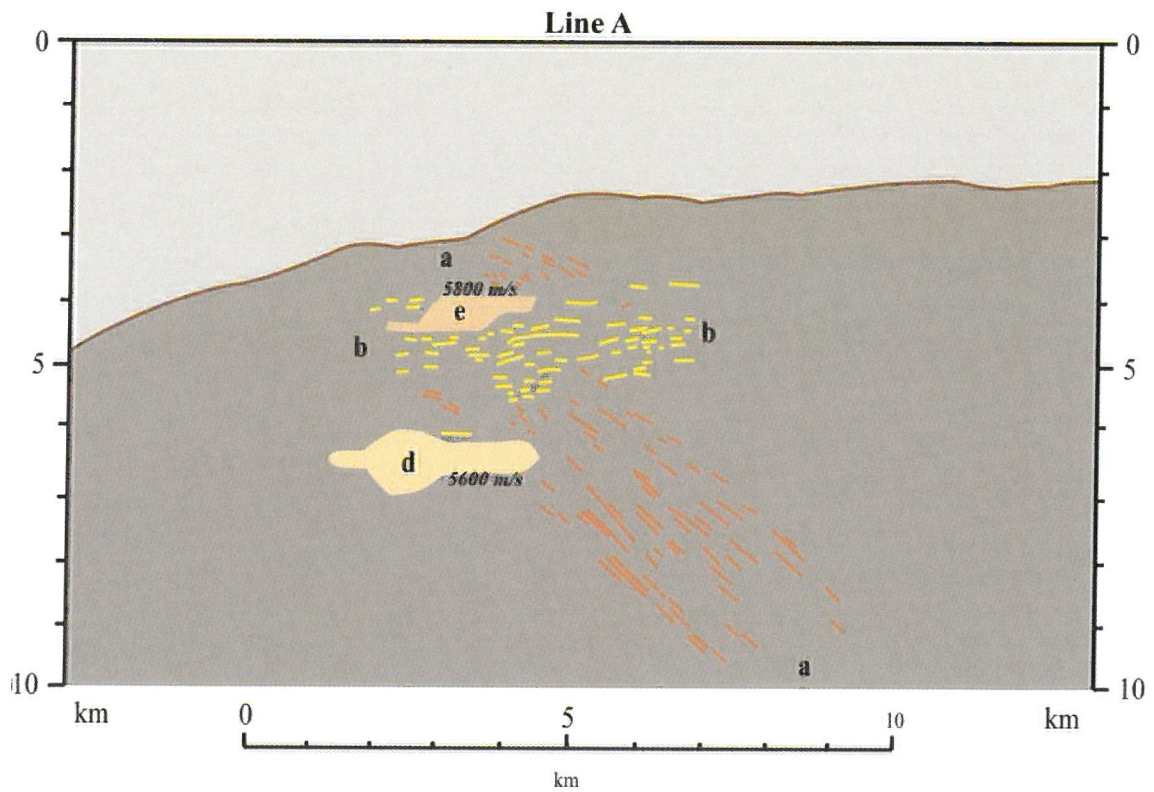
12. ábra. A CEL-04 szeizmikus szelvény mérési területre eső részének tomográfiával meghatározott sebességeloszlása

Fig. 12. Part of the velocity section of profile CEL-04 derived through 3-D tomographic analysis

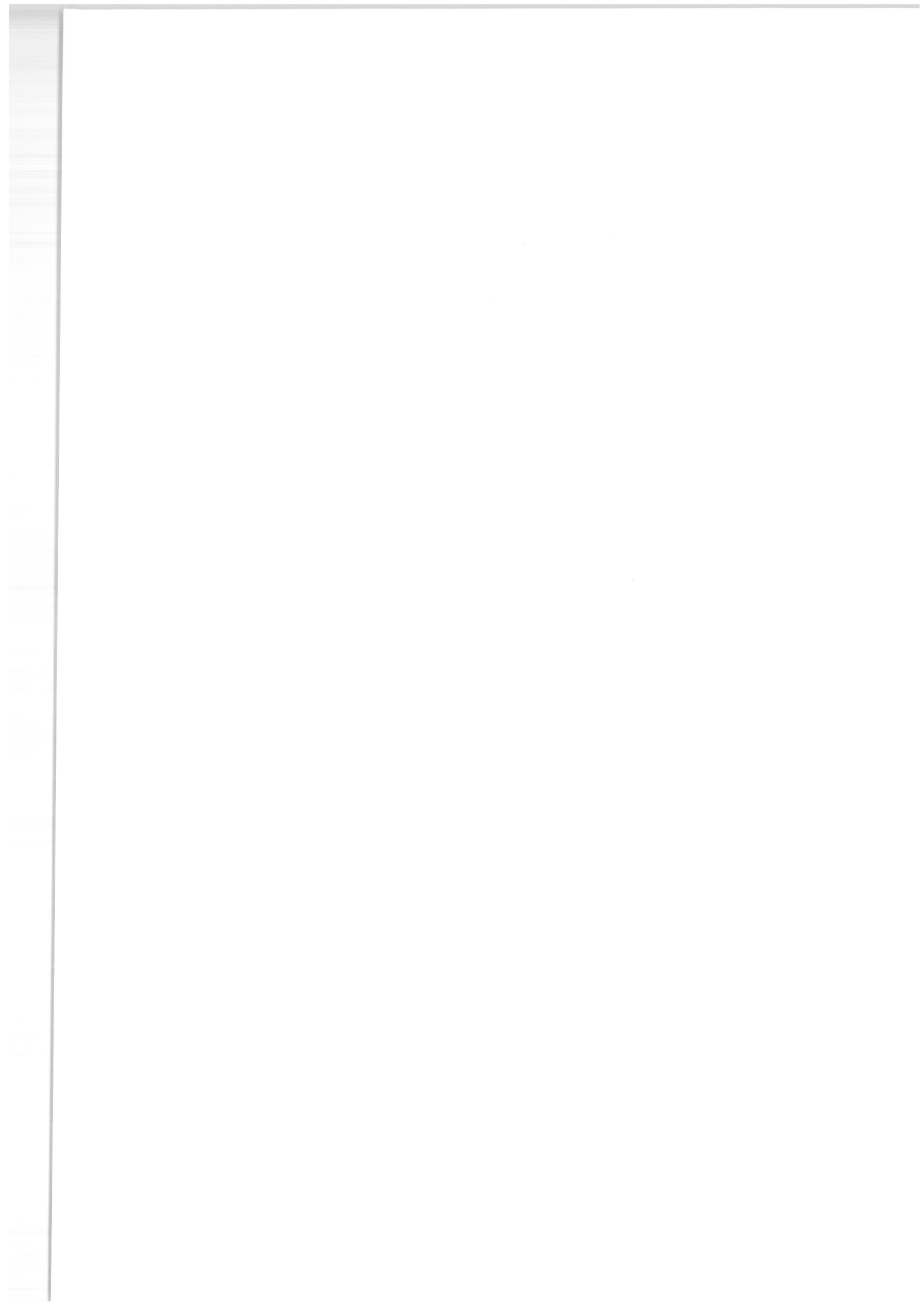




13. ábra. Az A reflexiós szelvényrész a tomográfias sebességekkel és a feltételezett kőzetstabilitási zónákkal
 Fig. 13. Velocity distribution of profile CEL-04 projected into the depth section of profile A and the approximate locations of mineral facies



14. ábra. Az A szakasz egyszerűsített szerkezeti vázlata
 Fig. 14. A simplified structural sketch of profile A



Az ALP 2002 program kiterjesztéseként végzett területi kutatások nemcsak az üledékek és az ezekben változatosan elhelyezkedő vulkáni rétegek, továbbá a harmadkori medence aljzata 3-D sebességképének áttekintő meghatározását tették lehetővé, hanem a *P* beérkezések idejéből 3-D tomográfiával meghatározott sebességmező komplex vizsgálatából a medencealjzat olyan helyi kiemelkedésére is lehetett következtetni, ahol kedvező esetben a vulkáni takaró jelentősen elvékonyodhat.

A tomográfiai feldolgozások során meghatározott sebességek a kéreg közzettani vizsgálatánál is felhasználhatók voltak. A közel vízszintes reflexiók tanulmányozásánál — ahol a közelben tomográfiai szelvény is volt — a tomográfiával meghatározott sebességkép a reflexiók eredmények értelmezéséhez új szempontot adott.

A közel vízszintes reflektáló felületeknek a metamorf ásványtársulások mai stabilitási zónáival, továbbá a reológiai szelvény viszonylag nagyobb szilárdságú zónáival mutatott mélységi egybeeséséből arra lehet következtetni, hogy a közel vízszintes reflexiók kötegek a kéreg korábbi szerkezetének retrográd metamorf átírása során keletkeztek. Az elmondottak alapján valószínű, hogy a konszolidált kéregben a szeizmikus reflektáló felületek a jelenlegihez hasonló mélységi, hőmérsékleti és nyomásviszonyokat is tükrözik.

A preneogén medencealjzatban egy közel vízszintes reflexiókat adó rétegsor egy ferde nyírási zónát írt felül. Ez a jelenség csak a feltolódási zónában és közvetlen környékén volt megfigyelhető. A retrográd folyamathoz a vizet a nyírási zóna szolgáltatta.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők ezúton is köszönik, hogy a MOL Rt. és az ELGI vezetősége hozzájárult az adatok közléséhez. A mélyreflexiók szeizmikus szelvények kiváló feldolgozását TIMÁR Zoltánnak, az ábrák gondos elkészítését BANCIU Gábornénak köszönik a szerzők. A tomográfiai számítások nagy része a Magyar Nemzeti Információs Infrastruktúra Fejlesztési Program keretében működő SUN 10 000 számítógépen történt.

HIVATKOZÁSOK

- ÁDÁM A. 1987: Are there two types of conductivity anomaly (CA) caused by fluid in the crust? *Physics of the Earth and Planetary Interiors* **45**, 209–215
- ÁRKAI P. 2001: Alpine regional metamorphism in the main tectonic units of Hungary: A review. *Acta Geologica Hungarica* **44**, 2–3, 329–344
- ÁRKAI P., BÉRCZI-MAKK A., BALOGH K. 2000: Alpine low-T prograde metamorphism in the post-Variscan basement of the Great Plain, Tisza Unit (Pannonian Basin, Hungary). *Acta Geologica Hungarica* **43**, 1, 43–63
- ÁRKAI P., BÉRCZI-MAKK A., HAJDU D. 1998: Alpine prograde and retrograde metamorphisms in an overthrust part of the basement, Great Plain, Pannonian Basin, Eastern Hungary. *Acta Geologica Hungarica* **41**, 2, 179–210
- BALOGH Kad., KOVÁCS Á., PÉCSKAY Z., SVINGOR É., ÁRKAI P. 1990: Very low-grade and low-grade metamorphic rocks in the pre-Tertiary basement of the Drava Basin, SW-Hungary, II: K-Ar and Rb-Sr isotope geochronologic data. *Acta Geologica Hungarica* **33**, 1–4, 69–78
- BALOGH Kad., PÉCSKAY Z. 2001: K/Ar and Ar/Ar geochronological studies in the Pannonian–Carpathians–Dinarides (PANCARDI) region. *Acta Geologica Hungarica* **44**, 2–3, 281–299
- BRÜCKL E., BODOKY T., HEGEDŰS E., HRUBCOVÁ P., GOSAR A., GRAD M., GUTERCH A., HAJNAL Z., KELLER G.R., ŠPIČAK A., SUMANOVAC F., THYBO H., WEBER F., ALP 2002 Working Group 2003: Alp 2002 seismic experiment. *Studia geophysica et geodaetica*, Prague **47**, 671–679
- ČERMÁK V., BODRI-CVETKOVA L. 1987: Kelet- és Közép-Európa geotermikus modellje. *Magyar Geofizika* **28**, 4, 153–189
- DÖVÉNYI P. 1994: Geofizikai vizsgálatok a Pannon-medence litoszférafejlődésének megértéséhez. Kandidátusi értekezés. ELTE TTK Geofizikai Tanszék irattára, 127 old.
- DÖVÉNYI P., HORVÁTH F. 1988: A review of temperature, thermal conductivity and heat flow data from the Pannonian Basin. In: *The Pannonian Basin, a study in basin evolution (Eds: ROYDEN, L. H. and HORVÁTH, F.)*. AAPG Memoir **45**, 195–234
- DÖVÉNYI P., HORVÁTH F., LIEBE P., GÁLFI J., ERKI I. 1983: Geothermal conditions of Hungary. *Geophysical Transactions* **29**, 1, 3–114
- FYFE W. S., PRICE N. J., THOMPSON A. B. 1978: Fluids in the Earth's crust. Developments in geochemistry. Elsevier Sci. Publ. C. Amsterdam–Oxford–New York
- GANCHIN Y. V., SMITHSON S. B., MOROZOV I. B., SMYTHE D. K., GARIPOV V. Z., KARAEV N. A., KRISTOFFERSON Y. 1998: Seismic studies around the Kola Superdeep Borehole, Russia. *Tectonophysics* **288**, 1–16
- GUTERCH A., GRAD M., KELLER G. R. 2001: Seismologists Celebrate the New Millennium with an Experiment in Central Europe. EOS, Trans., American Geophysical Union **82**, 45, p. 529–534–535
- GUTERCH A., GRAD M., KELLER G.R., POSGAY K., VOZÁR J., ŠPIČAK A., BRÜCKL E., HAJNAL Z., THYBO H., SELVI O., CELEBRATION 2000 Experiment Team 2003: CELEBRATION 2000 Seismic Experiment. *Studia geophysica et geodaetica*, Prague **47**, 659–669
- GUTERCH A., GRAD M., THYBO H., KELLER G. H., The POLONAISE Working Group 1999: POLONAISE '97 — an international seismic experiment between Precambrian and Variscan Europe in Poland. *Tectonophysics* **314**, 101–121
- GRAD M., ŠPIČAK A., KELLER G. R., GUTERCH A., BROŽ, M., HEGEDŰS E., Working Group 2003: Sudetes seismic experiment. *Studia geophysica et geodaetica*, Prague **47**, 681–689
- HAJNAL Z., HEGEDŰS E., KELLER R., HARDER S., BRUECKL E., FANCSIK T., KOVÁCS A. Cs., CSABAFI R., BODOKY T., POSGAY K. 2002a: Detailed investigation of shallow lithospheric anomalies in the Pannonian Basin. Fall Meeting Abstracts, EOS Trans. AGU **83**, 47
- HAJNAL Z., LEWRY J., TAKÁCS E., NÉMETH B., BEZDÁN S., GYÖRFI I. 2002b: Integráció a kollíziós övek tanulmányozásában. HAJNAL Z., a MTA külső tagjának székfoglalója
- HAUSER F., PRODEHL M., LANDES M., the VRANCEA working group 2002: Seismic experiments target earthquake-prone region in Romania. EOS Transactions AGU **83**, 41, 457–463
- HÁMOR G., JÁMBOR Á., POGÁCSÁS Gy. 2001: Paleogeographic/structural evolutionary stages and the related volcanism of the Carpathian–Pannonian Region. *Acta Geologica Hungarica* **44**, 2–3, 193–222
- HEGEDŰS E., FANCSIK T., KOVÁCS A. Cs., BODOKY T., CSABAFI R., POSGAY K. 2003a: 3D crustal velocity structures of the Pannonian basin derived from CELEBRATION 2000 seismic data. EGS–AGU–EUG Joint Assembly, Nice, France

- HEGEDŰS E., HAJNAL Z., KELLER R., HARDER S., BRUECKL E., FANCSIK T., KOVÁCS A. Cs., CSABAFI R., BODOKY T., POSGAY K. 2003b: Detailed wide-angle refraction-reflection surveys in frame of the ALP 2002 international lithospheric program. EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice, France
- HYNDMAN R. D. 1988: Dipping seismic reflectors, electrically conductive zones, and trapped water in the crust over a subducting plate. *J. Geophys. Res.* **93**, B11, 13391–13405
- KILÉNYI É., KRÖLL A., OBERNAUER D., ŠEFARA J., STEINHAUSER P., SZABÓ Z., WESSELY G. 1991: Pre-Tertiary basement contour map of the Carpathian Basin beneath Austria, Czechoslovakia and Hungary. *Geophysical Transactions* **36**, 15–36
- KLEMPERER S. L. 1987: A relation between continental heat flow and the seismic reflectivity of the lower crust. *J. Geophys.* **61**, 1–11
- KOZLOVSKY Ye. A. 1987: The superdeep well of the Kola Peninsula. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York
- LENKEY L. 1999: Geothermics of the Pannonian Basin and its bearing on the tectonics of basin evolution. PhD thesis. Vrije Univ., Amsterdam
- MANDLER H. A. F., CLOWES R. M. 1997: Evidence for extensive tabular intrusions in the Precambrian shield of western Canada: A 160-km-long sequence of bright reflections. *Geology* **25**, 3, 271–274
- MANDLER H. A. F., CLOWES R. M. 1998: The HSI bright reflector: further evidence for extensive magmatism in the Precambrian of Western Canada. *Tectonophysics* **208**, 71–81
- MATTHEWS D. H. 1986: Seismic reflections from the lower crust around Britain. *In: DAWSON, J. B., CARSWELL, D. A., HALL, J., WEDEPOHL, K. H. (Eds) The Nature of the Lower Continental Crust. Geological Society Special Publications* **24**, 11–22
- MEISSNER R. 1986: Twenty years of deep seismic reflection profiling in Germany — a contribution to our knowledge of the nature of the lower Variscan crust. *In: DAWSON, J. B., CARSWELL, D. A., HALL, J., WEDEPOHL, K. H. (Eds) The Nature of the Lower Continental Crust. Geological Society Special Publications* **24**, 1–10
- MEISSNER R. 1989: Rupture, creep, lamellae and crocodiles: happenings in the continental crust. *Terra Nova* **1**, 17–28
- MEISSNER R., WEVER Th., SADOWIAK P. 1991: Continental collisions and seismic signature. *Geophys. J. Int.* **105**, 15–23
- MOONEY W. D., MEISSNER R. 1992: Multi-genetic origin of crustal reflectivity: a review of seismic reflection profiling of the continental lower crust and Moho. *In: Continental lower crust (Eds: FOUNTAIN, D. M., ARCULUS, R. and KAY, R. W.) Developments in Geotectonics* 23. Elsevier, Amsterdam, London, New York, Tokyo, 45–79
- POSGAY K. 1967: A magyarországi földmágneses hatók áttekintő vizsgálata. *Geofizikai Közlemények* **16**, 4, 1–118
- POSGAY K. 2003: A litoszférában észlelt, kötegesen megjelenő, közel vízszintes reflektáló felületek értelmezése. A Miskolci Egyetemen habilitációs eljárás keretében tartott előadás
- POSGAY K., ALBU I., PETROVICS I., RÁNER G. 1981: Character of the Earth's crust and upper mantle on the basis of seismic reflection measurements in Hungary. *Earth Evol. Sci.* **1**, 272–279
- POSGAY K., BODOKY T., HEGEDŰS E. 1998: Szeizmikus litoszféra- és asztenoszféra-kutatás — eredmények és nyitott kérdések. *Magyar Geofizika* **39**, 3, 90–99
- POSGAY K., BODOKY T., HEGEDŰS E., KOVÁCSVÖLGYI S., LENKEY L., SZAFIÁN P., TAKÁCS E., TIMÁR Z., VARGA G. 1995: Asthenospheric structure beneath a Neogene basin in southeast Hungary. *In: Interplay of extension and compression in basin formation (Eds: CLOETINGH, S., D'ARGENIO, B., CATALANO, R., HORVÁTH, F. and SASSI, W.) Tectonophysics* **252**, 467–484
- POSGAY K., PÁPA A., FANCSIK T., BODOKY T., HEGEDŰS E., TAKÁCS E. 2001: Metamorphic and rheologic effects shown by seismic data in the Carpathian Basin. *Acta Geologica Hungarica* **44**, 2–3, 113–134
- RANALLI G. 1995: Rheology of the Earth. Chapman & Hall, London, Glasgow, Weinheim, New York, Tokyo, Melbourne, Madras
- STEGENA L., DÖVÉNYI P. 1983: Procedure to correct temperatures and temperature gradients for geological effects. *Zbl. Geol. Paläont. Teil I.4*, **112**, 25–34

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).

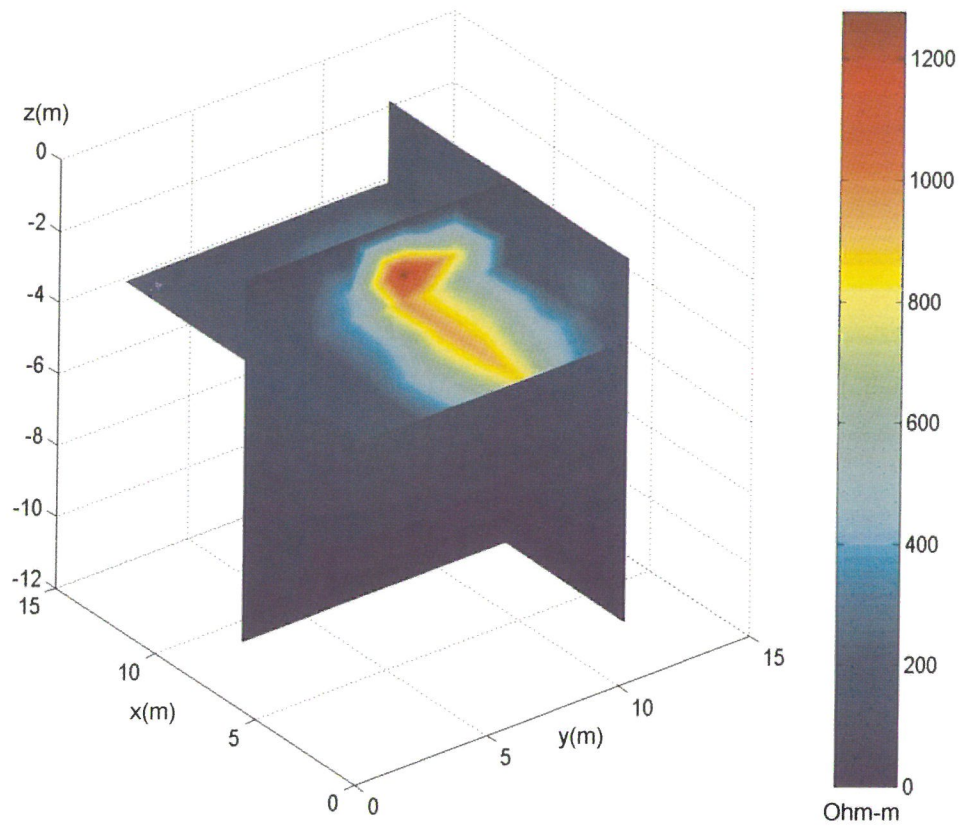
Azzal, hogy a terítési rendszer állandósítható és újabb mérésekkel az elektromos tér időbeli változásai is rögzíthetők (pl. talajvízáramlás megfigyelése fúrólukak környezetében, hulladéklerakók védőfóliái jóságának vizsgálata stb.), az ERT monitoring célra való felhasználását teszi lehetővé. Magyarországon 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 eljárásához képest számos előnye mellett korlátozott, főleg a terep tagoltsága okozta problémák és az eleve rögzített elektródák miatt, bár eredményességét illetően nincsenek hazai tapasztalataink.

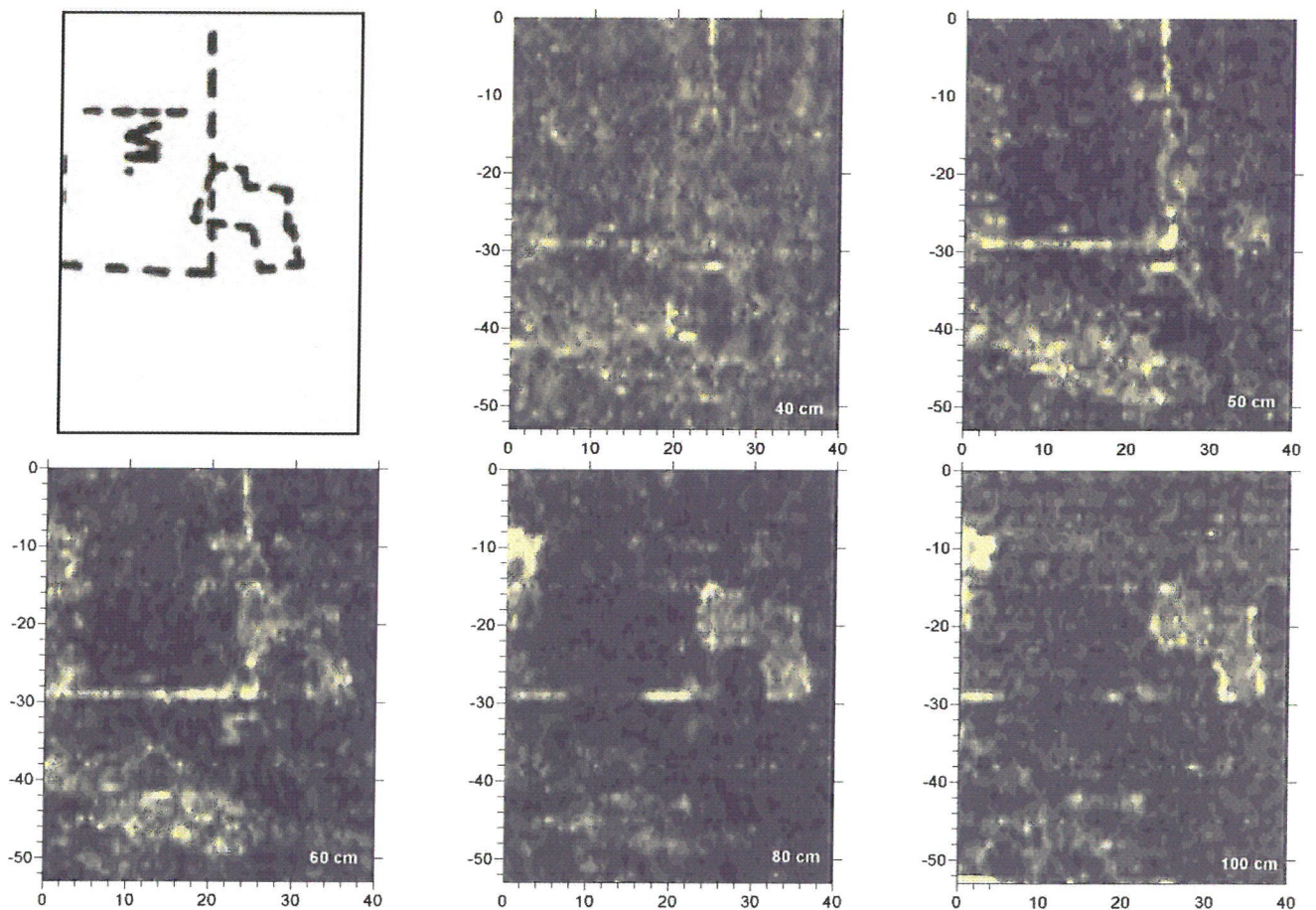
3.2. Elektromágneses módszerek

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 felbontóképessége 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 elektromágnesség 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 felbontóképesség 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 felbontóképességű 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 mérőműszerek 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.

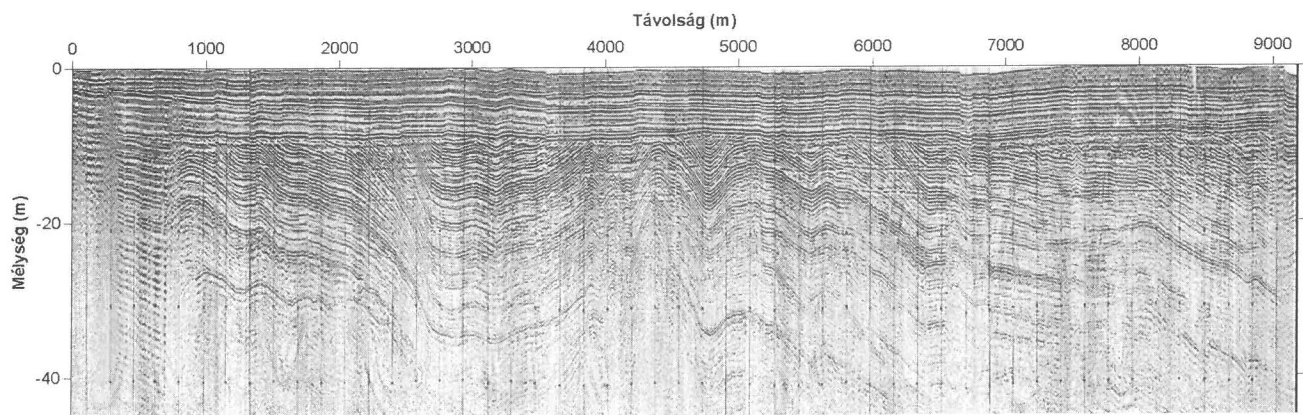
A felszínközeli laza talajok inhomogenitásainak vizsgálatára a hagyományos refrakciós, reflexiós terítésekhez képest általában sűrűbb térbeli mintavételezést valósítanak meg hosszabb felvételek készítésével, amellyel a később különböző célok szerint leválogatott felvételek speciális feldolgozásaira nyílik 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 mérőműszerek 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. nyírési 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)

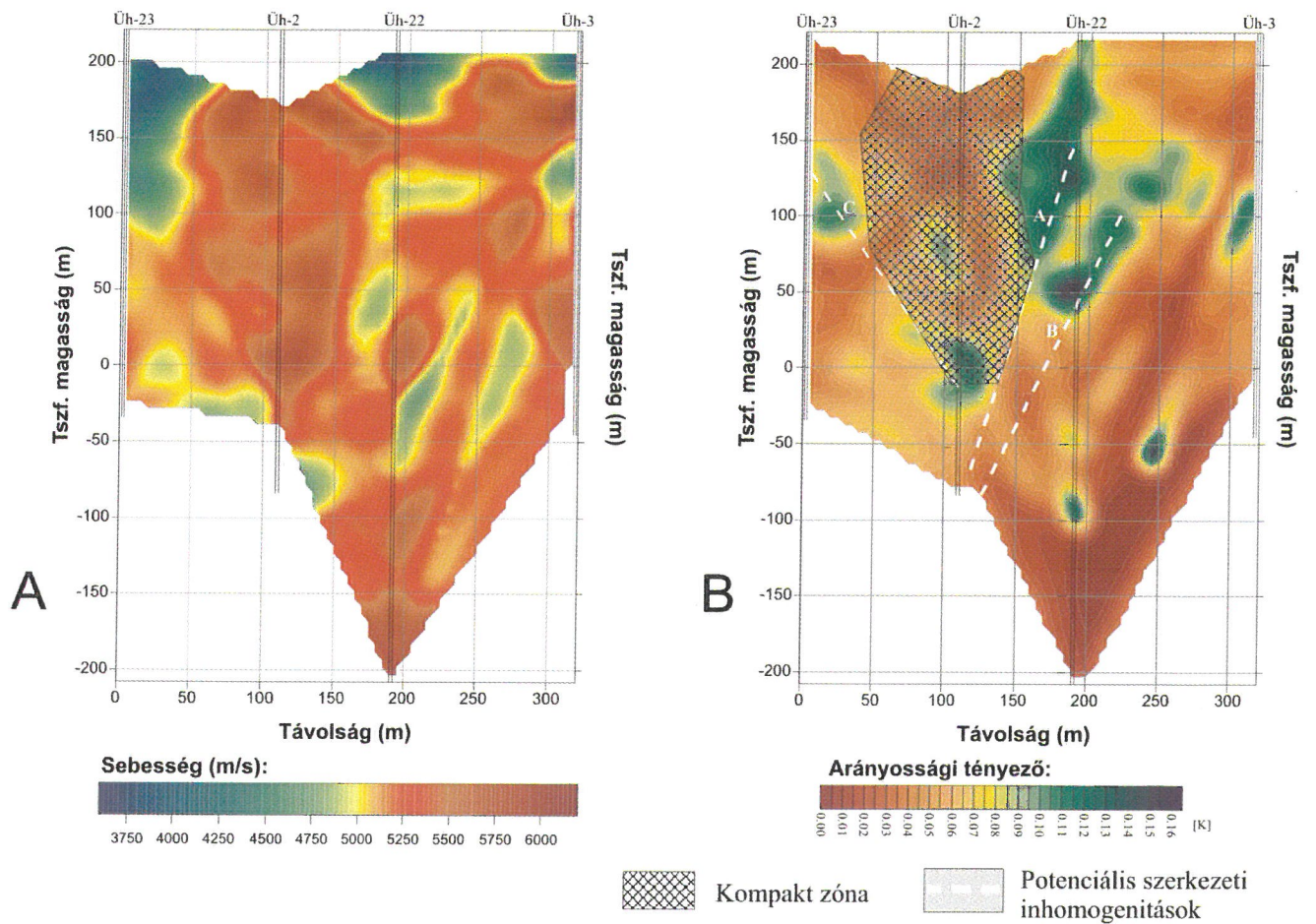
Fig. 5. First application of high resolution seismic measurement on the Lake Balaton (1987)

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 mérőtechnikák 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-

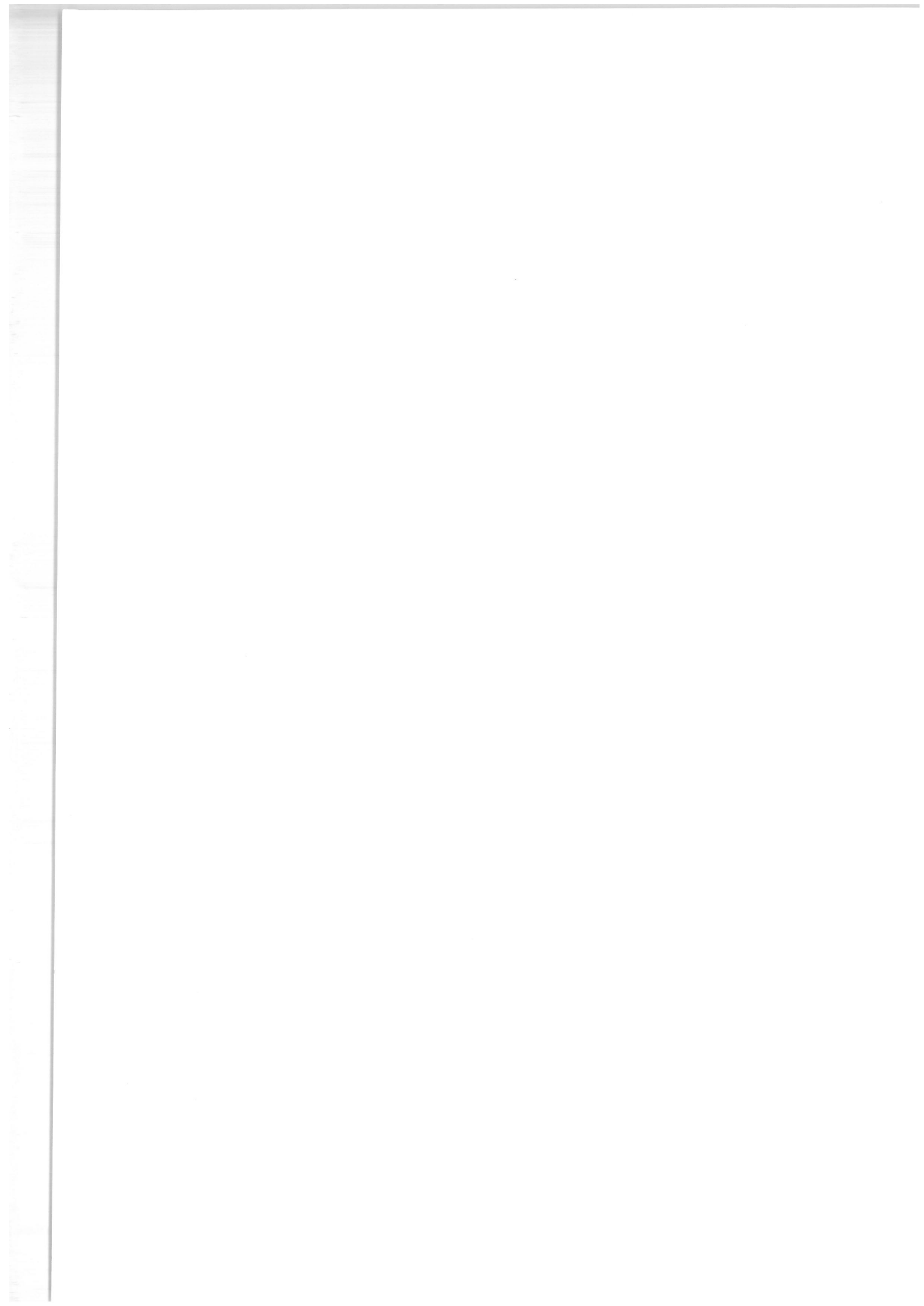


3. ábra. A kenguru, SRII szeizmikus rezgékeltető
 Fig. 3. The kangaroo, SRII seismic source



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 süllyedéses 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 regisztrálásokkal 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 fúróluk-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 fúrással 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 fúrólyuk-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 feltérési módozatok 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 gázkítörés-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 feszültségátrendezőési 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-elhelyezéssel 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 felméréssel, 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 kislektródás 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.

A Pannon-medence földtani-geofizikai modellje¹

HORVÁTH FERENC²

A Magyar Geofizikusok Egyesületének félvszázados története egybeesik azzal az időszakkal, amikor a Pannon-medence és az azt körülölelő hegláncok szerkezetfejlődési modelljében olyan jelentős haladás történt, amelyet joggal sorolhatunk a világméretű „földtudományi forradalom” fontos eseményei közé. Ennek az áttekintésnek az a fő célja, hogy bemutassa ezt a haladást, s ebben a geofizika vezető szerepét.

50 évvel ezelőtt az uralkodó koncepció a „köztes tömeg” elmélet volt. Eszerint a Pannon-medence aljzata a variszkuszi orogenezis során konszolidálódott rideg kéregblokk, amely körül gyűrődtek fel plasztikus kőzetekből a fiatalabb, alpi hegláncok. A kéregkutató szeizmikus, magnetotellurikus, geotermikus és gravitációs vizsgálatok fényében azonban hamarosan világossá vált, hogy a Pannon-medence kérge vékony, asztenoszféra felemelt helyzetű, hőmérséklete és hőárama pedig anomálishan magas. A hazai geofizika látványos fejlődése az 1960–70-es években lehetővé tette a medence szerkezeti viszonyainak és rétegtani architektúrájának részletes megismerését, s ezúton a medence extenziós eredetének és az ezt követő szerkezeti változások jellegének a bizonyítását.

A XXI. század földtudományának minden bizonnyal legnagyobb kihívása az, hogy a litoszféra-fejlődés dinamikáját és ennek szerepét a globális és regionális környezetváltozásokban hitelesen feltárja. Ebben a folyamatban a nagy mélységeket leképező szeizmikus tomográfia, a kértet 4-D-ben feltérképező és vizualizáló ipari geofizika mellett a felszínközeli tartományt „mikroszkopikus” részletességgel feltáró környezetgeofizikának van kardánális szerepe itthon és a nagyvilágban egyaránt.

F. HORVÁTH: Geological-geophysical model of the Pannonian basin

The half-a-century long history of the Hungarian Geophysical Society coincides with the time when such a dramatic progress has taken place in understanding the structural evolution of the Pannonian basin and surrounding orogens that can be considered as an important contribution to the worldwide “Earth science revolution”. The main goal of this review is to show that geophysics played a key role in this progress.

The ruling concept some 50 years ago was the idea of the “median mass”. This concept held that the substrata of the Pannonian basin was a rigid mass consolidated during the Variscan orogenesis, and the more plastic and younger rocks were deformed during the Alpine orogenesis around this rigid nucleus. However, in the years of 1950s and 1960s it was demonstrated by crustal seismic, magnetotelluric, geothermal and gravitational surveys that the Pannonian basin was characterised by thin continental crust, elevated asthenosphere and high heat flow values. Further progress in exploration geophysics led to a good knowledge of the basin architecture and structural conditions and, hence, recognition the extensional origin of the Pannonian basin in a former orogenic setting.

A greatest challenge of Earth sciences in the 21st century is given most probably by better understanding of the lithospheric dynamics and its role in global and regional environmental changes. Seismic tomography, 4-D seismic surveys, high-resolution geophysical technologies and high-performance data visualisation systems will certainly play a crucial role in this process of understanding.

1. Történeti előzmények

Az Alpok és a kapcsolódó hegláncok takarós szerkezetének felismerése és térképezése vezetett arra az eredményre, hogy a Pannon-medencét övező hegységkioszorúban a takarók elmozdulási iránya sugárszerűen kifelé, a stabil előterek felé irányul. Ezzel szemben a medencéből kiemelkedő „szigethegységek” láthatólag nem takarós felépítésűek, hanem szerkezetüket töréses formaelemek uralják. Mindezeket a megfigyeléseket KOBER [1912, 1921] foglalta egyszerű tektonikai modellbe, amely több mint fél évszázadon keresztül alapvetően befolyásolta a hazai földtudományi gondolkodást. Szerinte Európa és Afrika egymás felé nyomulása következtében az ütköző szegélyterületek feltorlódtak és gyúrt-takarós övek alakultak ki. A pannon terület a plasztikusan deformálódó orogén területek között elhe-

lyezkedő merev tömeg, ún. *közbensőhegység* (Zwischengebirge). A merevség következtében az ilyen területeket blokk-tektonika és ehhez kapcsolódó függőleges elmozdulások jellemzik.

A közbensőhegység koncepciót tudományosan id. LÓCZY munkássága alapozta meg. Terepi megfigyelései, különösen a Balaton-felvidék részletes térképezése során meggyőződött arról, hogy hegységeinkre a blokk-tektonika jellemző. Az Alföld sík felszíne alatt EÖTVÖS gravitációs ingájával kimutatott eltemetett hegységet zömében ősi kristályos kőzetekből felépítettnek gondolta, amely az összekötő kapcsot képezi a Központi Alpok kristályos tömegei és a Rodope masszívum között [LÓCZY 1918]. A szigethegységek mezozoós kőzetei véleménye szerint hosszú ideig kiemelkedő kristályos háta (küszöbök) között elhelyezkedő szűk vályúkban képződtek. Ezen merev tömeg besüllyedése a miocénban kezdődött meg, intenzív vulkánosság kíséretében.

A pannóniai közbensőhegységet PRINZ [1926] Tisia névre keresztelte, határait jelentősen kiterjesztette és szerepét tovább hangsúlyozta. A következőket írta: „Az Alpok kelet felé kiszélesednek ... az egész redőzet szétnyílik, olló

¹ Beérkezett: 2003. december 4-én

² Eötvös Loránd Tudományegyetem Geofizikai Tanszék, H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c.

alakkal szétágazik. Az északi ág átmege a Kárpátokba, a déli a Dinaridákba, s így a kettő közrefogja a Tisia tömböt. A Tisia tömb így beékelődik az Alpok közé...". Ez tulajdonképpen a híres „kaptafa” modell.

A közbenső tömeg koncepció első radikális ellenzője PÁVAI VAJNA [1930] volt. A szigethegységek szerkezeti viszonyainak alapos ismeretében és több mélyfúrási adat birtokában arra következtetett, hogy „...gyűrődések szabják meg összes hegységeink tektonikájának alapjellegvonását, a kétségtelenül szembeszökő és elmaradhatatlan törések csak ennek a gyűrődéses hegyszerkezetnek következményei...”. A gravitációs méréseket is figyelembe véve arra következtet, hogy „Az Alföld síkja ... több pászta ősi hegység alámerült romjait és közöttük egy csomó mezozoos teknő teljes feltöltődését takarja el szemünk előtt”. Ezekben a teknőkben lévő üledékek az intenzívebb süllyedés időszakában „... nemcsak tovább gyűrődtek, hanem helyenként egymásra torlódva pikkelyeződtek, sőt lokálisan kisebb takarók alakjában át is tolódtak...”. PÁVAI VAJNA tehát a Pannon-medencét és teljes alját az alpi-kárpáti orogén szerves részének tartotta, nem pedig abból „kirívó exotikum”-nak. Elsőként fogalmazta meg, hogy az aljzat a Kárpátok ívét követő geoszinklinális pásztaiból épül fel, amely jelenlegi szerkezetét *orogenezis* és nem *epirogenetikus* mozgások során nyerte el.

Az ötvenes évek második felétől jelentősen meggyorsult a földtudományok hazai fejlődése. Medencekutató területén ennek legfontosabb hajtómotorjai a szénhidrogén-kutatás céljából végzett mélyfúrások és a geofizikai mérések voltak. Átfogó kép alakult ki a medence mélységviszonyairól, az aljzat felépítéséről és a medenceüledékek sztratigráfiájáról [KERTAI 1957; DANK 1963; KÖRÖSSY 1958, 1964]. Különösen fontos volt az Alföld tengelyében húzódó Szolnok–Mármárosi flis öv felfedezése [KÖRÖSSY 1959], mert a flis árkok általában aktív orogének frontjához kapcsolódnak.

A geofizikai eredmények közül kiemelkedik az első és másodrendű gravitációs hálózat kifejlesztése és az országos gravitációs anomália-térképek megszerkesztése [FACSINAY, SZILÁRD 1956; RENNER 1959]. A Bouguer-anomáliák és a mágneses tér függőleges komponensének anomáliáit összehasonlítva SCHEFFER [1960] kimutatta azok jellegzetes irányítottágát. Felismerte a Nagykanizsa–Kecskemét–Debrecen vonalat követő KÉK–NyDNy csapású törésvonalakkal jellemzett zavarzónát, amelyet neogén eredetűnek gondolt.

Jelentős eredmények születtek a hazai geotermikus viszonyok további megismerésében. A felgyorsuló kőolaj-kutatás számos új hőmérsékleti adatot eredményezett, amelyek rámutattak arra, hogy a geotermikus gradiens a világátlagnál határozottan magasabb, de változó értékű [STEGENA 1958]. Döntő jelentőségű volt a hazai hőáram-meghatározások megindulása. BOLDIZSÁR [1956, 1959] első mérései azt mutatták, hogy a földi hőáramsűrűség a Mecsekben és Nagylengyel környékén több mint kétszerese a nyugodt kontinentális területekre jellemző értéknek. Véleménye szerint az egész Pannon-medencében hasonló a helyzet. Megállapításai heves vitát váltottak ki. STEGENA [1963] úgy vélte, hogy a magas hőmérsékleti gradiens nem kell feltétlen párosuljon magas földi hőáramsűrűséggel, mert a laza üledékek hővezető képessége alacsony. Felhívta

a figyelmet a hőáram-meghatározások két lényeges hibaforrására: a hővezető képesség laboratóriumi meghatározásának nehézségére, és az üledékes medencékben fellépő vízmozgások okozta hőmérsékleti torzulásokra.

A Pannon-medence kialakulásának megértése szempontjából legnagyobb jelentőségű adatokat a szeizmikus kéregvastagság-meghatározások szolgáltatták. GÁLFI és STEGENA [1957, 1960] kimutatta, hogy a medenceterület alatt a Moho-felület jelentősen emelt helyzetű, a Pannon-medence kérgé meglepően vékony. Ezeket az első eredményeket a későbbi pontosabb mérések [MITUCH et al. 1964; MITUCH 1964] némileg módosították, de az alapvető megállapítás helyesnek bizonyult. Hamarosan megszülettek az első magnetotellurikus szondázási eredmények, amelyek azt mutatták, hogy az elektromosan jól vezető köpeny is emelt helyzetben, 40–80 km mélységben található a Pannon-medence alatt [ÁDÁM 1964].

Mindezek fényében világossá vált, hogy a merev pannon közbenső tömeg elképzelés tovább már nem egyeztethető össze a geofizikai megfigyelésekkel. Az ellentmondás feloldására különböző modellek születtek.

Az alapvetően geofizikai adatokon nyugvó egységes medencefejlődési modellt STEGENA [1964, 1967] vázolta fel. Megvizsgálta, hogy a vékony kéreg miatti köpenyfelboltozódás hogyan jelentkezik a gravitációs anomáliákban. Összefüggést vezetett le a laza medenceüledékek sűrűségének mélységi változására, majd megbecsülte az emiatt kialakuló negatív anomáliákat. Az ily módon korrigált regionális Bouguer-anomáliák már elsősorban a köpenyboltozat miatti tömegtöbblet hatását tükrözik. Eredményként az adódott, hogy a felemelkedő köpenyanyag az átlagosnál hígabb és a boltozat a peremi hegységek irányában ellaposodik. Ezután, a Föld különböző korú és fejlettségű medencéit áttekintve, kimutatta, hogy a süllyedékek vékony vagy igen vékony kéreggel rendelkeznek. Ebből levonható az a valószínű következtetés, hogy süllyedés elindítója a kéreg elvékonyodása. Egyszerű izosztikus számítások azt mutatták, hogy az alulról elvékonyodott kéreg süllyedése, valamint a behordott üledékek súlya a Pannon-medencében ténylegesen megfigyelt üledékvastagságokkal jól egyező mélységű medencét eredményez. A konzisztens modell legnehezebb „végső” problémája a kéregkivékonyodás mechanizmusa. A szerző szerint erre nehéz jó választ adni, de a medence alatt felemelkedő és a szegélyező hegységek felé irányuló magmaáramlás valószínű feltevelés.

Egy másik, geofizikai indíttatású kísérlet a Pannon-medence tektonikai szintézisére SZÉNÁS [1967, 1969] nevéhez fűződik. Kimutatta, hogy a terület izosztikus egyensúlyi állapotban van, és lokális izosztikus kompenzáció érvényesül. A nem folyamatosan, de szisztematikusan mélyen (19–20 km) jelentkező Conrad-felület és az emelt helyzetű Moho összevetése alapján egyértelműnek látja, hogy a medencealakulás fő mechanizmusa a kéreg alulról való elvékonyodása. Ez az ausztriai orogén fázis után (felső kréta) indult meg. A Belső-Kárpátokban a preausztriai medencealjzat a felszínen van, tehát ezen a területen a jelenlegi 32–36 km vastag kéreg régóta megvan. Ebből arra a merész következtetésre jutott, hogy ez a terület nem is igazi geoszinklinális

és spekulatív úton megkérdőjelezett olyan tektonikai evidenciát, mint a Belső-Kárpátok takarós felépítése. A geotermikus adatokat nem tartotta használhatónak, mert szerinte az egész Pannon-medencében a hő zömét feláramló vizek szállítják. Mégis valószínű, hogy a Pannon-medence kérge az átlagosnál jóval melegebb, de ennek létrejöttét a felboltozódó kéreg alkotta zárt kupola hőgyűjtő hatásának tulajdonította. A felfűtött köpenyanyag a kéreg tenziós felrepedésekor létrejött nyomásesés során megolvadt és óriási mennyiségben a felszínre tört. A köpeny tetején így kialakuló anyagihiány helyébe sülyed le a kéreg. A sülyedést a vulkáni anyag és a lerakódó üledékek súlya tovább növelte. Nem nehéz azonban látni, hogy az összes negoén vulkanit térfogata legalább egy nagyságrenddel kisebb, mint a kéreg aljáról hiányzó anyag mennyisége. Ezért SZÉNÁS megfontolásra érdemesnek tart más kéregvékonyodási mechnizmusokat is.

A századelő merev pannon tömegétől a 60-as évek végére eljutottunk az aktív magmafelyomulással, kéregfelboltozódással, tenziós felszakadással, majd beszakadással jellemzett Pannon-medencéig. E látványos fejlődés eredményeképpen megszületett nagytektonikai modellek számos alaptételben megegyeztek vagy nagyon hasonlók voltak. Több fontos kérdésben azonban eltértek az álláspontok vagy plauzibilis megoldások híján tág tere volt a spekulatív magyarázatoknak. Ebben a tudományos helyzetben született meg az új lemezteknikai elmélet, amely majd minden korábbi medencekutatósi eredmény átértékelését vonta maga után [ROYDEN, HORVÁTH 1988].

2. A lemezteknikai forradalom

A kéregkutató szeizmikus [POSGAY et al. 1981, 1986, ALBU et al. 1983] és magnetotellurikus szondázások [ÁDÁM 1977, 1984, HOBOT et al. 1990] együttes értelmezése eredményeképpen világossá vált [HORVÁTH et al. 1986], hogy a Dunántúli-középhegység takarós felépítésű. A takarók az Alcapa nagyszerkezeti egység keleti irányú kiszökését megelőzően az eoalpi orogén fázis idején, a Tethys óceán konzumációja során jöttek létre. A Dunántúli-középhegység a szerkezeti hierarchia legfelső tagja, vagyis az európai előtérre obdukálódott Penninikum feletti Alsó és Középső Ausztróalpkumra feltolódott takaróegységet képviseli. Belső takaróegységei közti csúszatófelületet a triász márgás és/vagy evaporitos kifejlődésű rétegek szolgáltatják. Ezek közül a megfelelően magas széntartalmúak a dinamometamorf hatásra elektromosan jólvezető fekete palává alakultak.

A kárpáti íven belüli terület más részéről is bebizonyosodott újabban, hogy takarós felépítésűek. Ez azt jelenti, hogy a Pannon-medence egésze alpi orogén területen jött létre. A medence kialakulására vonatkozó vizsgálatok szerint az iniciális sülyedési fázis során sík és lisztrikus normálvetők, valamint oldalelmozdulásos vetők működtek. TARI et al. [1992] arról adott számot, hogy az oldalelmozdulások jelentős része valójában transzfer vető. Ezek azért alakultak ki, mert a Pannon-medence különböző területein eltérő mértékű, ütemű vagy polaritású extenziók mentek végbe, s az ezek közti differenciális mozgást kellett kiegyenlíteni. Az extenzió mértékének területi változása ténylegesen igen nagy a Pannon-medencében: alig, gyen-

gén és nagymértékben megnyúlt kéregblokkok helyezkednek el egymás mellett.

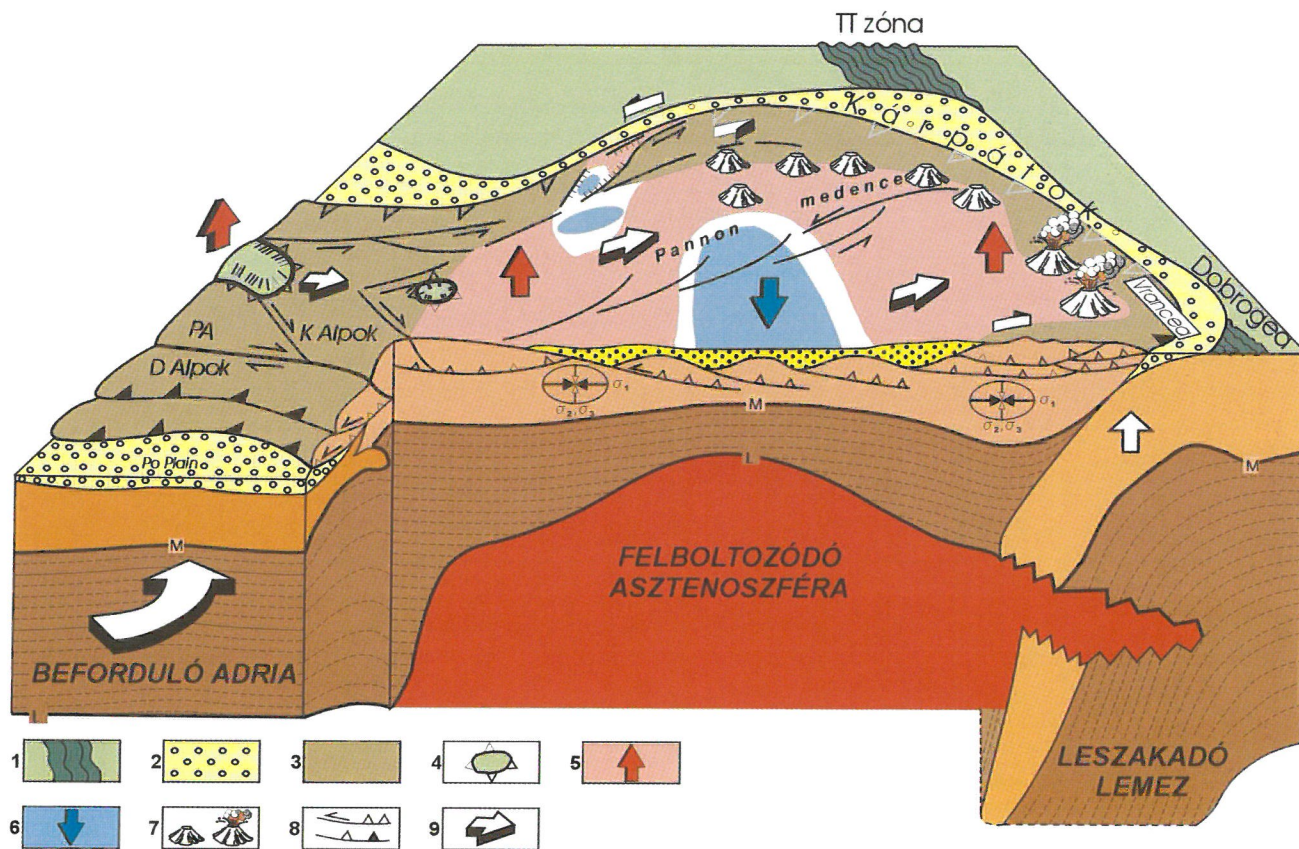
A Pannon-medence teljes extenziós megnyúlásának kialakításában értelemszerűen a nagymértékű extenziót mutató részmedencék szerepe a döntő. Eddigi ismereteink szerint két ilyen részmedence van a Pannon-medencében: a Kisalföld, valamint a Nagyalföld délkeleti része. A nagymértékű extenzió szerkezeti stílusának, valamint a korábbi kompressziós szerkezetekkel való kölcsönhatásának felismerését az ez tette lehetővé, hogy a szeizmikus kutatás eredményeképpen láthatóvá váltak a lapos dőlésű normálvetők és ezek kapcsolódása az alpi feltolódási síkokhoz [HORVÁTH 1993].

A Kisalföldön és a Nagyalföld délkeleti medencéjében észlelt háta és aszimmetrikus medencék lapos dőlésű normálvetők mentén, a középső miocén során végbement nagymértékű extenzió során jöttek létre. A háta lejtőjén induló és 30°–50° dőlésű és lefelé ellapuló extenziós csúszató síkok a mélyebb kéregtartományokig (15–20 km) követhetők, de az alsókéregben elhalnak és láthatólag nem vetik el a Moho határfelületet. Általában összeesnek vagy közepes mélységben egyesülnek a korábbi feltolódási síkokkal, vagyis a kompressziós siklató felületek reaktiválódásaként alakultak ki. A normálvető alatti fekvő blokk a fedő blokk lecsúszása során fokozatosan tehermentesítődik és 5–20 km-es izosztikus kiemelkedést is végezhet, s ezúton mélységi metamorf kőzeteket hoz felszínre. A Kőszegi-hegység penninikuma és az Algyői-hát kristályos palái tipikus metamorf magkomplexumnak tekinthetők. A mélyszeizmika tanúsága szerint a magkomplexum alatt a Moho felület nem boltozódik fel jelentősen, vagyis az alsókéreg duktilisan folyik.

A Pannon-medence és környezete miocén kinematikáját alapvetően három tényező határozza meg:

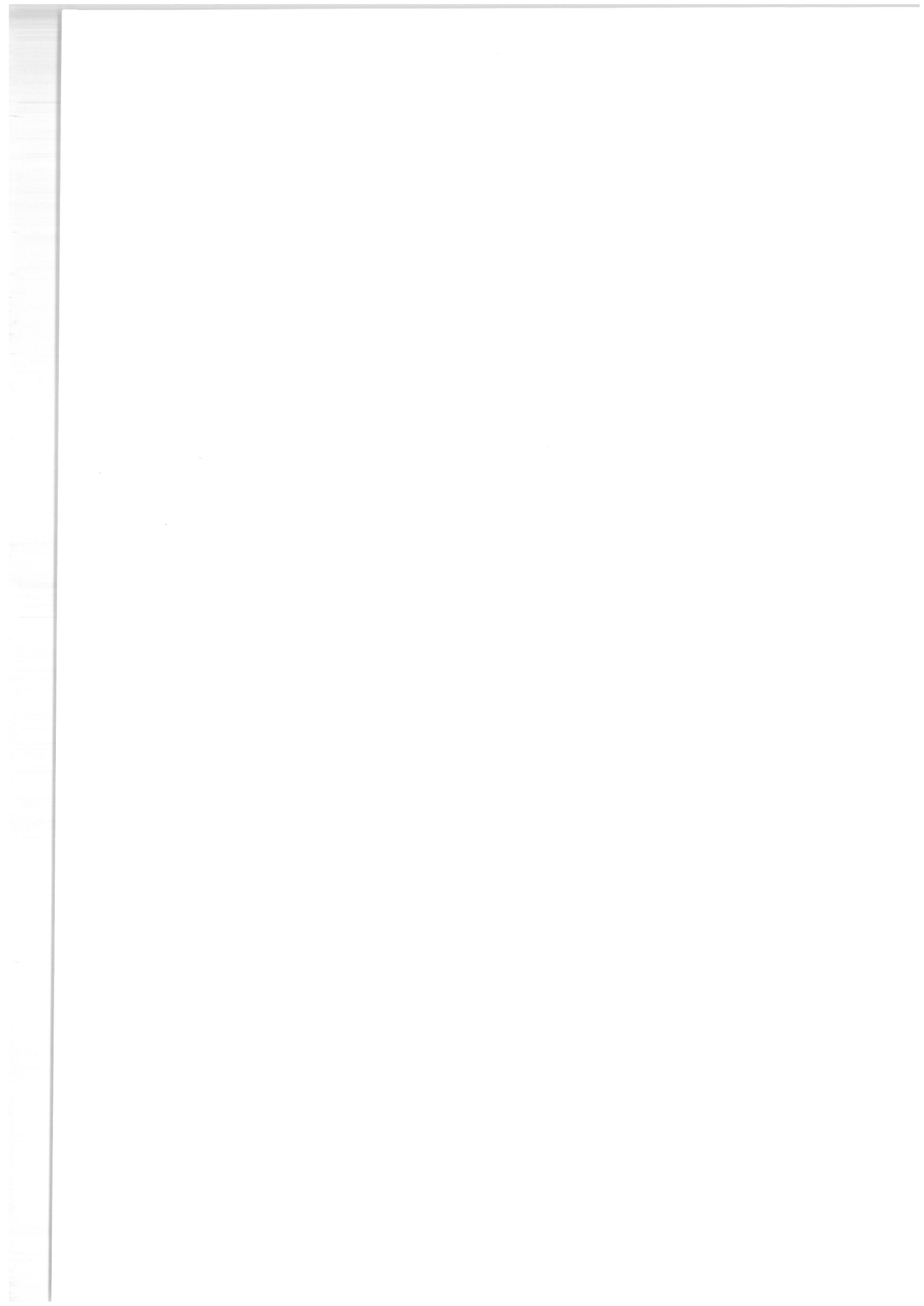
- a) az Afrikai-lemez hatására északra nyomuló, de közben az óramutató járásával ellentétes rotációt végző Adria blokk. Ennek következményeként a Keleti-Alpok nagy része kiperéselődik, oldalelmozdulásos vetőpárok mentén keleti irányba kiszökik. A Déli-Alpok északi vergenciájú takarói déli irányba visszatorlódnak, míg a Dinaridák területén a hegység főcsapásával párhuzamos jobbos transzpressziós vetőzónák alakulnak ki;
- b) a Keleti-Kárpátok előtéréből a Pannon térség alá irányuló litoszférolemez szubdukciója és a szubdukálódó lemez „hajlatvonalának” visszafelé történő mozgása, azaz a szubdukált zóna hátragördülése (roll-back);
- c) a Pannon terület inhomogén extenziója. Ennek során egyes területeken nagymértékű extenzió jön létre alacsony dőlésű normálvetők mentén. A peremi differenciális elmozdulásokat KÉK–NyDNY csapású transzfer vetők egyenlítik ki, amelyekhez helyi széthúzásos medencék kapcsolódhatnak.

Az extenziós folyamatok létrejöttében a kéreg kardinális szerepe mellett fontos tényező még az alsó litoszféra is. Ennek oka az, hogy tenziót eredményező feszültségtérben a kéreg és a köpenylitoszféra egyaránt elvékonyodik és az ébredő izosztikus felhajtóerő a két litoszférrétegre ellentétes előjelű. Egy litoszférolemez extenziója során bekövetkező eredő függőleges mozgását ezért e két hatás összege adja meg. Emiatt egy terület geodinamikai állapotának alapvető jellemzője a kéreg és



1. ábra. A Pannon-medence és a környező orogének recens geodinamikai modellje. Jelkulcs: 1—európai előtér és a Transz-Európai (TT) szutura zóna; 2—molassz; 3—alpi-kárpáti orogén; 4—pennini ablakok; 5–6—a Pannon-medence emelkedő, ill. süllyedő területei; 7—inaktív és aktív vulkánok a kvarterban; 8—takarós feltolódási síkok, és inaktív (üres háromszög), ill. aktív (fekete háromszög) takaróhatárok; 9—laterális blokkmozgási irányok

Fig. 1. Geodynamic model of the recent Pannonian basin and the surrounding orogens. Keys: 1—European foreland and the Trans-European suture zone (TT); 2—Molasse zone; 3—Alpine-Carpathian orogen; 4—Penninic windows; 5–6—Uplifting and subsiding regions of the Pannonian basin; 7—Inactive and active volcanism during the Quaternary; 8—Thrust planes, and inactive (open triangles) and active (black triangles) thrust fronts; 9—Direction of lateral block movement



a litoszféra vastagságváltozását mutató térkép [HORVÁTH 1993].

A Pannon-medencét elvékonyodott, környezetét megvastagodott, a Dunántúli-középhegységet pedig közel normális kéreg jellemzi. Ezek az alpi orogén fejlődés eredményeit tükrözik: vastag kéreg kontinentális kollízió, vékony kéreg a neogén során bekövetkezett extenziós kollapszus hatására jött létre.

A litoszféra mai átlagos vastagsága 60 km a Pannon-medence alatt, de lokálisan 40 km-re is csökkenhet [ÁDÁM et al. 1989]. 120–130 km-es minimális kiindulási vastagságot feltételezve és tekintettel arra, hogy az extenzió csúcsidezőzaka (17–13 Ma) óta a litoszféra konduktív hűléssel fokozatosan vastagodott, megállapítható, hogy a köpenylitoszféra eredeti elvékonyodása sokkal nagyobb volt, mint a kéregé. Vagyis a Pannon-medencében nyilvánvalóan inhomogén extenzió ment végbe.

A Pannon-medence riftesedési időszaka a kárpáti-alsóbádeni (17–14 Ma) volt. Ennek során gyorsan süllyedő medencerészek alakultak ki különböző részeken, s ezeket lassan süllyedő vagy stagnáló blokkok választották el. A peremi medencékben (Kárpátaljai-, Bécsi-, Stirii-, Zalai- és Száva-medence) a gyors üledékfelhalmozás egyensúlyt tudott tartani a süllyedéssel, míg a belső medencében (Nagykunság, Makói- és Békési-árok) jelentős vízmélységek alakultak ki. Ez a morfológiai kontraszt a lassú süllyedéssel járó termális fázis során fokozatosan simult el, midőn a progradáló delta üledékképződés elérte és feltöltötte a belső medencerészeket.

A belső medencékben végbemenő tömeges üledékfelhalmozás az utóbbi 10–12 millió évben azt eredményezte, hogy az üledékben még nem jött létre termikus egyensúly, hidegebbek a stacionárius értéknél. Ennek ellenére a nagymélységű bádeni és alsópannóniai anyakőzetek eljutottak, sőt részben túljutottak az olajgenerációs ablakon. A peremi medencékben jóval kevesebb pannóniai és fiatalabb üledék tudott csak lerakódni, így azok hűtő hatása általában elhanyagolható. Mégis a sekélyebb pozíció miatt a pannon éretlen és csak a mélyebb bádeni vagy kárpáti rétegek voltak képesek CH-generálásra.

A Pannon-medence riftesedési időszakát a felsőbádenitől kezdődően a termikus süllyedési fázis követte. A termomechanikus medencefejlődési elmélet szerint ebben a fázisban nincs tektonikai aktivitás, csak lassú és fokozatosan csökkenő sebességű süllyedés. A tektonika markáns gyengülése a riftesedés után nyilvánvaló a Pannon-medencében. A meglévő gyengébb aktivitást kezdetben elhanyagolható, lokális jelenségnek véltük. Az ország szeizmikus anyagának tematikus átvizsgálása azonban alapvetően új helyzetet teremtett. Kiderült, hogy a színrift vetők jelentős részéhez a legfiatalabb üledékeket is átmetsző új vetők kapcsolódnak. Ennél is elgondolkodtatóbb volt az a megfigyelés, hogy a szarmata üledékek elterjedése kisebb, mint a bádenié; gyakran az alsópannóniai diszkordánsan a bádenire települ. További új felismerés volt, hogy néhány területen szarmata utáni kompressziós fázis mutatható ki [HORVÁTH 1995].

A medencefejlődési modell alapvető revízióját végül is a legfiatalabb tektonikai események felismerése tette elkerülhetetlenné. Kiderült, hogy a felsőpannóniai és neogénkori összletek átmenete csak az alföldi mélyzónában tekinthető folyamatosnak. Másutt, mint például a Dunántú-

lon, csupán néhány méter vastag lösz alkotja a kvartert és ez 5–7 Ma éves pannonra települ. Ez a jelentős rétegtani hiány fiatal emelkedéssel és erózióval magyarázható. Regionális szeizmikus szelvények értelmezése bizonyította, hogy az emelkedő területek tengelye a Magyar Középhegység. Ez a felismerés új fénybe helyezte azokat a korábbi geomorfológiai megfigyeléseket, amelyek a Duna egykori teraszai, valamint forrásmészkövek mai pozíciói alapján javasolták a középhegység pleisztocén és holocénkori emelkedését.

Az új szerkezeti megfigyeléseket a Pannon-medence recens feszültségállapotának megismerése tette érthetővé. Kiderült, hogy a medence ma nem extenziós, hanem kompressziós feszültségek hatása alatt áll. A váltás valószínűleg fokozatosan ment végbe, és az új feszültségtér a kvarter során vált meghatározóvá [HORVÁTH, CLOETINGH 1995; BADA et al. 1998].

A Pannon-medence neotektonikusan aktív terület. A tektonika negyedkori reaktiválódása a horizontális feszültség megnövekedésének eredménye. Az új feszültségtér hatására különböző skálájú kompresszív szerkezetek jönnek létre. Az új feszültségtér hatására oldalmozdulásos vetőként reaktiválódhattak az idősebb (főleg miocén) fő nyíróadási zónák. Ezek mentén az elmozdulás a feszültségtér jelentős térbeli változása miatt helyenként egyező, másutt ellentétes a korábbival. A Pannon-medence földrengéseinek döntő többsége korábbi és újonnan reaktiválódott vetőzónák mentén pattan ki. Hosszú távú előrejelzésekben a földrengés-tevékenység növekedésével lehet számolni.

A Pannon-medence neogén–kvarter szerkezetfejlődésének jobb megismerése világossá tette, hogy az extenziós medencék kialakulásának „klasszikus” termomechanikai modellje a valóságnak csak első közelítését tudja adni. Nevezetesen, helytálló a medencefejlődést két erőteljesen eltérő időszakra, azaz szín- és posztrift fázisra osztani, de ezen fázisokon belül markáns szerkezetfejlődési anomáliák jelentkeznek. Kiderült, hogy ilyen anomáliák valójában gyakori jelenségek más medencékben is, vagyis a litoszféra fejlődésének természetes velejárói. Másképpen fogalmazva ez azt jelenti, hogy ismereteink mai szintjén a termomechanikus modell már nem állja meg a helyét.

A területet ma elfoglaló két kontinentális kérgű nagy szerkezeti egység (Alcápa és Tisza–Dácia téren) az alpi orogén zóna két különböző tartományában megy át a krétakori takaróképződésen. Mindkettő sikeresen elkerüli azonban a fiatalabb alpi orogén fázisokat azáltal, hogy eredeti helyükről elmozdulnak, utóbbi Európával való leszakadása hozza létre a kárpáti flis medencéket. Az itt lévő, jórészt óceáni medence litoszférája a behatoló kontinentális térennek alá tolódik, s ily módon teszi lehetővé a két kontinentális egység fokozatos egyesülését. A szubdukciós lemez lehajlása és hátrálása (subduction roll-back) miatt a két orogén térenben húzásos feszültségtér alakul ki és bekövetkezik az extenziós kollapszus. Ettől kezdve napjainkig a terület szerkezetfejlődését az alpi kollíziós zónában fellépő kompresszió és a Keleti-Kárpátok íve mentén alátoló szubdukciós lemez szívó hatásának együtthatása irányítja (1. ábra).

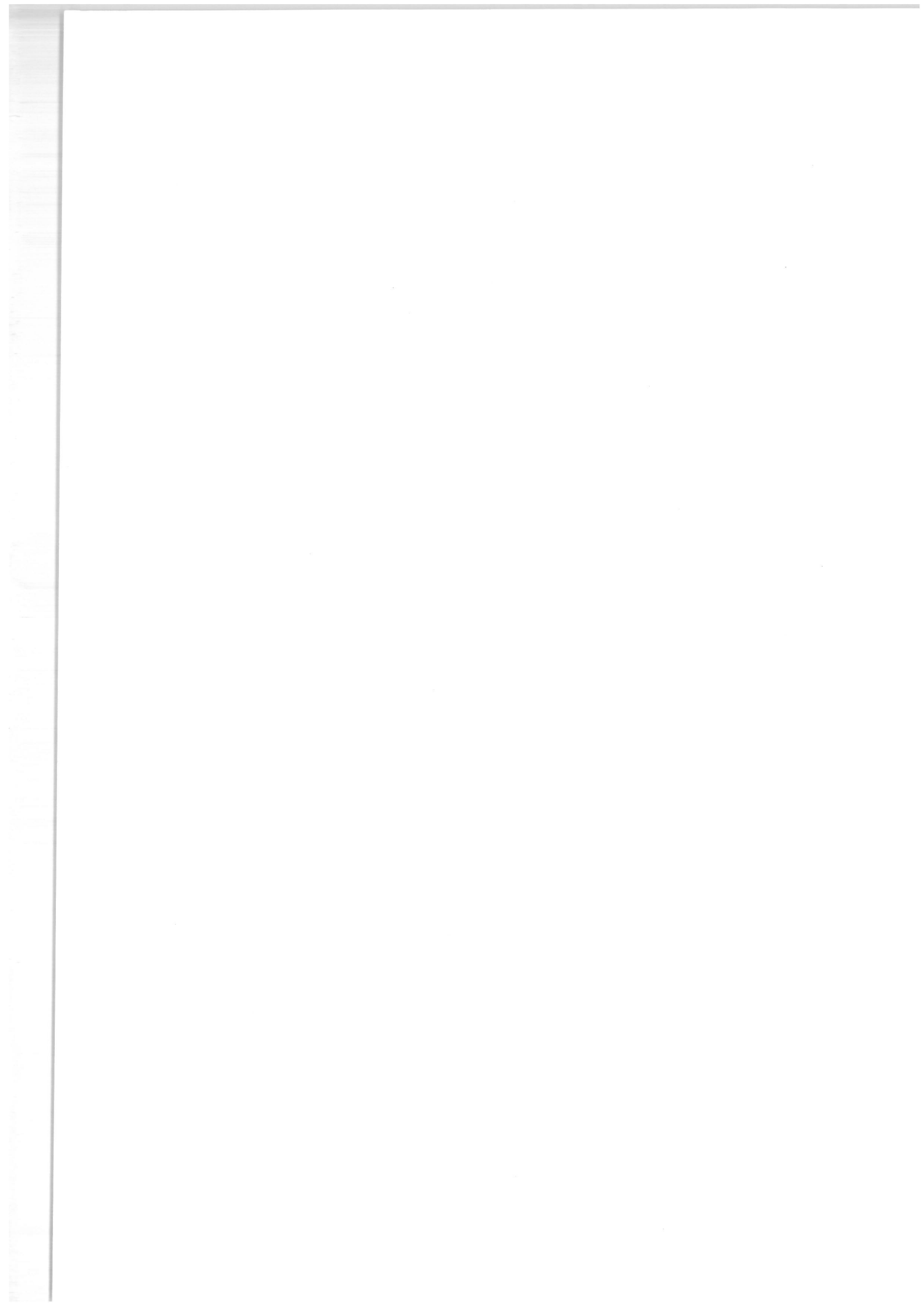
Míndezek alapján a Kárpát–Pannon terület neogén-kvarter geodinamikájáról az alábbi összefoglaló következ-

tetések tehetők [HORVÁTH 1988, 1993, 1995; CSONTOS et al. 1992; TARI et al. 1999; BADA, HORVÁTH 2001]. Az alpi orogén terület különböző eredeti helyeiről származó litoszféra fragmentumok a miocén elején a kárpáti flis medence területére érkezve extenziós feszültségi állapotba jutottak. A túlvastagodott és gyenge litoszféra extenziós kollapszust szenvedett, s ennek során változó mértékben kivékonyodott és megsüllyedt. Az extenzió lefolyását az egykori flis medence litoszférájának szubdukciója irányította. A medencében megfigyelhető tektonikai fázisok a szubdukált lemez lehajlási ütemében és mértékében bekövetkező változások eredményei. A szubdukció folyamatának ellehetetlenülése az extenzió végét jelenti (1. ábra). Ez következett be 2–4 millió évvel ezelőtt, mikor minden szubdukcióra képes litoszféra elfogyott és az alátolódott lemez közel függőleges helyzetűvé vált. Ettől kezdve a kontinentális keretbe teljesen bezárt Pannon-medencében kompressziós feszültségtér vált uralkodóvá.

HIVATKOZÁSOK

- ÁDÁM A. 1964: A kéreg és felsőköpeny felépítése Magyarországon a magnetotellurikus és relatív tellurikus frekvenciaszondázások alapján. *Geofiz. Közl.* **13**, 2, 141–161
- ÁDÁM A. 1977: The Transdanubian crustal conductivity anomaly. *Acta Geol. Geophys. Mont. Hung.* **12**, 73–79
- ÁDÁM A. 1984: Fractures as conducting dykes and corresponding two-dimensional models. *Geophys. Prospect.* **32**, 543–553
- ÁDÁM A., LANDY K., NAGY Z. 1989: New evidence for the distribution of the electric conductivity in the Earth's crust and upper mantle in the Pannonian Basin as a „hotspot”. *Tectonophysics* **164**, 361–368
- ALBU I., ÁDÁM O., MAJKUTH T., NEMESI L., R. TÁTRAI M., RÁNER G., VARGA G. 1983: Regional study of the tectonics of Transdanubia. *Annual Rep. Eötvös L. Geophys. Inst. Hung.* 1982, 66–71
- BADA G., GERNER P., CLOETINGH S., HORVÁTH F. 1998: Sources of recent tectonic stress in the Pannonian region: inferences from finite element modelling. *Geophys. J. Int.* **134**, 87–102
- BADA G., HORVÁTH F. 2001: On the structure and tectonic evolution of the Pannonian basin and surrounding orogens. *Acta Geol. Hung.* **44**, 301–327
- BOLDIZSÁR T. 1956: Measurement of terrestrial heat flow in the coal mining district of Komló. *Acta Technica Acad. Sci. Hung.* **15**, 1–2, 219–227
- BOLDIZSÁR T. 1959: Terrestrial heat flow in the Nagylengyel oil field. *Publ. Mining Faculty Sopron*, **20**, 27–34
- CSONTOS L., NAGYMAROSY A., HORVÁTH F., KOVÁCS M. 1992: Tertiary evolution of the Intra-Carpathian area: a model. *Tectonophysics* **208**, 221–241
- DANK V. 1963: A délföldi neogén medencék rétegtani viszonyai és kapcsolatuk a délbaranyai és jugoszláv területekhez. *Föld. Közl.* **93**, 3, 304–324
- FACSINAY L., SZILÁRD J. 1956: A magyar országos gravitációs alaphálózat. *Geofiz. Közl.* **5**, 2, 3–49
- GÁLFI J., STEGENA L. 1957: Szeizmikus reflexiók méréssel meghatározott néhány adat a földkéreg magyarországi részéről. *Geofiz. Közl.* **6**, 1–2, 5–60
- GÁLFI J., STEGENA L. 1960: Deep reflections and crustal structure in the Hungarian basin. *Annales Univ. Sci. Bp. R. Eötvös nom.* **3**, 41–47
- HOBOT J., DUDÁS J., FEJES I., MILÁNKOVICH A., PÁPA A., NEMESI L., VARGA G. 1990: Regional geophysical exploration of the Little Hungarian Plain. *Annual Rep. Eötvös L. Geophys. Inst. Hung.* 1988–89, 13–19 (in Hungarian with English abstract)
- HORVÁTH F. 1988: Neotectonic behavior of the Alpine-Mediterranean Region. *In: L. H. ROYDEN, F. HORVÁTH (Eds): The Pannonian basin — A study in basin evolution. Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem.* **45**, Tulsa, Okl., p. 49–55
- HORVÁTH F. 1993: Towards a mechanical model for the formation of the Pannonian basin. *Tectonophysics* **226**, 333–357
- HORVÁTH F. 1995: Phases of compression during the evolution of the Pannonian basin and their bearing on hydrocarbon exploration. *Mar. Petr. Geol.* **12**, 8, 837–844
- HORVÁTH F., ÁDÁM A., STANLEY W. S. 1986: New geophysical data: evidence for the allochthony of the Transdanubian Central Range. *Rendiconti Soc. Geol. Ital.* **9**, 123–130
- HORVÁTH F., CLOETINGH S. 1995: Stress-induced late stage subsidence anomalies of the Pannonian basin. *Earth Plan. Sci. Lett.*
- KERTAI Gy. 1957: A magyarországi medencék és kőolajtelepek szerkezete a kőolajkutatás eredményei alapján. *Földt. Közl.* **87**, 383–394
- KOBER L. 1912: Über Bau und Entstehung der Ostalpen. *Mitt. Geol. Ges. Wien*, **5**, 368–481
- KOBER L. 1921: Der Bau der Erde. Berlin, Borntraeger, 1–324
- KÖRÖSSY L. 1958: Adatok a Kisalföld mélyföldtanához. *Földt. Közl.* **88**, 291–298
- KÖRÖSSY L. 1959: A Nagy Magyar Alföld flissjellegű képződményei. *Földt. Közl.* **89**, 115–124
- KÖRÖSSY L. 1964: Tectonics of the basin areas of Hungary. *Acta Geol. Acad. Sci. Hung.* **8**, 1–4, 377–394
- LÓCZY L. 1918: Magyarország földtani szerkezete. A Magyar Szent Korona országainak földrajzi ... leírásában. Magyar Földr. Társ. kiadványa, Budapest, 1–180
- MITUCH E. 1964: A hazai szeizmikus kéregkutatás újabb eredményei. *Geofiz. Közl.* **13**, 3, 289–300
- MITUCH E. et al. 1964: Szélesszögű reflexiók alkalmazása a kéregkutatásban. *Geofiz. Közl.* **13**, 2, 201–210
- PÁVAI VAJNA F. 1930: Magyarország hegységeinek szerkezeti vázlat. *Földt. Közl.* **60**, 10–33
- POSGAY K., ALBU I., PETROVICS I., RÁNER G. 1981: Character of the Earth's crust and upper mantle on the basis of seismic reflection measurements in Hungary. *Earth Evol. Sci.* **1**, 3–4, 272–279
- POSGAY K., ALBU I., RÁNER G., VARGA G. 1986: Characteristics of the reflecting layers in the Earth's crust and upper mantle in Hungary. *In: M. BARAZANGI, L. BROWN (Eds), Reflection Seismology: a Global Perspective. AGU Geodyn. Ser.* **13**, 55–65
- PRINZ Gy. 1926: Magyarország földrajza. Tudományos Gyűjtemény 15, Pécs, Danubia, 1–190
- RENNER J. 1959: A magyar országos gravitációs alaphálózat végleges feldolgozása. *Geofiz. Közl.* **8**, 3, 105–141
- ROYDEN L. H., HORVÁTH F. (Eds) 1988: The Pannonian basin, a study in basin evolution. *AAPG Memoir* **45**, Tulsa, Okl., p. 1–394
- SCHEFFER V. 1960: A magyar „közbülső tömeg” kérdéséhez. *Geofiz. Közl.* **9**, 1–2, 55–68

- STEGENA L. 1958: A Nagyalföld geotermikus viszonyai. *Geofiz. Közl.* **7**, 3–4, 229–238
- STEGENA L. 1963: A magyarországi földi hőáram kérdéséhez. *MTA Műsz. Tud. Oszt. Közl.* **32**, 1–4, 151–158
- STEGENA L. 1964: The structure of the Earth's crust in Hungary. *Acta Geol. Acad. Sci. Hung.* **8**, 1–4, 413–431
- STEGENA L. 1967: A magyar medence kialakulása. *Földt. Közl.* **97**, 3, 278–285
- SZÉNÁS Gy. 1967: The crustal structure of the Carpathian basin. *Acta Geod. Geophys. Montanist. Acad. Sci. Hung.* **3**, 3–4, 373–393
- SZÉNÁS Gy. 1969: The evolution and structure of the Carpathian basin. *Spec. paper of the Hung. R. E. Geophys. Inst. for the Ixth Session CBGA, Budapest*, 1–111
- TARI G., HORVÁTH F., RUMPLER J. 1992: Styles of extension in the Pannonian Basin. *Tectonophysics* **208**, 203–219
- TARI G., DÖVÉNYI P., DUNKL I., HORVÁTH F., LENKEY L., STEFANESCU M., SZAFIÁN P., TÓTH T. 1999: Lithospheric structure of the Pannonian basin derived from seismic, gravity and geothermal data. *In: DURAND B., JOLIVET L., HORVÁTH F., SÉRRANE M. (Eds), The Mediterranean basins: Tertiary extension within the Alpine orogen. Geol. Soc. London Spec. Publ.* **156**, 215–250



TARTALOMJEGYZÉK

Tisztelt Kollégák! — <i>Bodoky Tamás</i>	1
A gravitációs és földmágneses kutatások története Magyarországon <i>Szabó Zoltán</i>	3
A hazai geoelektromos kutatások története I. A geoelektromos műszer- és módszerfejlesztés eredményei <i>Ádám Antal, Nagy Zoltán, Nemesi László, Takács Ernő</i>	22
A szeizmikus kutatások története <i>Bodoky Tamás, Késmárky István, Molnár Károly</i>	38
A mélyfúrási geofizika története Magyarországon (avagy „a világszínvonalról a világszínvonalig”) <i>Baráth István, Kiss Bertalan</i>	49
A geofizikai kutatások szerepe és jelentősége a nemzetgazdaságban <i>Meskó Attila</i>	59
Általános geofizika: a Föld körüli térség fizikája <i>Bencze Pál, Verő József</i>	68
Általános geofizika: a Föld fizikája <i>Márton Péter</i>	79
A mélyszeizmikus kutatások újabb eredményei: kapcsolat az alkalmazott kutatásokkal <i>Posgay Károly, Hegedűs Endre, Bodoky Tamás, Csabafi Róbert, Fancsik Tamás, Kovács Attila Csaba, Takács Ernő</i>	87
Környezetgeofizikai problémák megoldása <i>Törös Endre</i>	95
A Pannon-medence földtani-geofizikai modellje <i>Horváth Ferenc</i>	102

CONTENTS

Foreword (<i>T. Bodoky</i>)	1
History of gravity and magnetic surveys in Hungary <i>Z. Szabó</i>	3
History of the geoelectrical prospecting in Hungary <i>A. Ádám, Z. Nagy, L. Nemesi, E. Takács</i>	22
The history of the seismic exploration <i>T. Bodoky, I. Késmárky, K. Molnár</i>	38
The history of well logging in Hungary <i>I. Baráth, B. Kiss</i>	49
The role and significance of geophysical exploration in the economy <i>A. Meskó</i>	59
Physics of the Earth: Physics of the Earth's environment <i>P. Bencze, J. Verő</i>	68
The last fifty years in Earth's physics <i>P. Márton</i>	79
New results of deep seismic investigations: a link to the industrial surveys <i>K. Posgay, E. Hegedűs, T. Bodoky, R. Csabafi, T. Fancsik, A. Cs. Kovács, E. Takács</i>	87
Solution of environmental & engineering geophysical problems <i>E. Törös</i>	95
Geological-geophysical model of the Pannonian basin <i>F. Horváth</i>	102

HU ISSN 0025—0120

Főszerkesztő: dr. Bodoky Tamás*Szerkesztő:* Tóth Lajos*Szerkesztőbizottság:* dr. Aczél Etelka, dr. Ferenczy László, Hegybíró Zsuzsanna, Kakas Kristóf,
dr. Ormos Tamás, dr. Szarka László, Verő László*A szerkesztőség címe:* Budapest, II., Fő u. 68. (1371 Budapest, Pf. 433)

Telefon: (1)201-9815