

MAGYAR GEOFIZIKA

Az 1995 és 1997 között befejezett
geofizikai tárgyú OTKA pályázatok
poszteres bemutatója

1998. november 5–6.

A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet
konferenciaterme

39. évfolyam OTKA különszám



1998

Lapunk megjelenését támogatja a



MOL
MAGYAR OLAJ- és GÁZIPARI
Részvénytársaság

A lapban megjelenő cikkek adatainak és állításainak helyességéért, illetve 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, telefon: (1)201–9815
Egyesületi tagoknak tagdíj ellenében. Megjelenik évente négyszer

Index: 26 507

TARTALOMJEGYZÉK

Takács Ernő professzor megnyitóbeszéde	1
A lemeztectonika törvényszerűségeinek vizsgálata nemzetközi együttműködésben a litoszféra és az asztenoszféra tartományában <i>Posgay Károly</i>	3
A Schumann-rezonanciák vizsgálata <i>Sátori Gabriella</i>	8
LCR árapály-graviméterek abszolút módszerrel végzendő kalibrálása (1993-1995) <i>Csapó Géza</i>	10
Mezozoós karbonátplatformok: magneto-ciklosztratigráfia, geodinamika <i>Mártonné Szalay Emőke</i>	14
A gravitációs értelmezés megbízhatóságát fokozó elméleti vizsgálatok <i>Steiner Ferenc, Hajagos Béla, Kovácsvölgyi Sándor</i>	16
Délkelet-Magyarország nagyszerkezete tektonikai elemeinek térbeli vizsgálata mélyszeizmikus mérések alapján <i>Bodoky Tamás</i>	17
Laza üledékek petrofizikai paramétereinek mérése agrogeológiai munkaterületekről származó anyagokon <i>Erki Imre, Kalmár János</i>	21
Tranziens geomágneses jelenségek jelalakvizsgálata <i>Steiner Tibor, Wesztergom Viktor, Zieger Bertalan</i>	23
Modern statisztikai módszerek alkalmazása a mélyfúrású geofizikai szelvényértelmezésben <i>Steiner Ferenc, Hajagos Béla, Hursán László, Szűcs Péter</i>	26
Nagy pontosságú gravitációs erőtér modellezés és geoid számítások a Kárpát-Pannon régióban <i>Papp Gábor</i>	28
Földrengések és geotermika kapcsolata a Magyar-medencében <i>Bodri Bertalan</i>	31
A matematikai statisztika és a geostatisztika alkalmazási lehetőségei a geofizikában <i>Verő László, Gulyás Ágnes, Kiss János, Kummer István, Ocsenás Péter</i>	34
A kőzetek infrahang-frekvenciás elektromos tulajdonságainak kutatása <i>Dankházi Gyula</i>	39
Geológiai mintákon mért lézer-indukált plazma atom emissziós spektrumok időbeli és térbeli vizsgálata <i>Andrássy László, Német Béla, Vihar Levente</i>	42
Magyarországi klímaváltozások vizsgálata geotermikus módszerrel <i>Bodriné Cvetkova Lujza</i>	45
Felszíni zavarhullámok inverziója <i>Ádám Oszkár</i>	46
Termikus konvekció a Föld belsejében <i>Cserepes László, Lenkey László, Galsa Attila</i>	48
A geofizika és a mélyfúrású technológia szerepe a formációvédelemben <i>Szűcs Péter, Robonyi András</i>	50
Üregkutatás geoelektromos és szeizmikus módszerekkel <i>Gyulai Ákos, Ormos Tamás, Nyári Zsuzsanna</i>	53
Márton Péter professzor zárszava.....	55

MEGHÍVÓ

A Magyar Tudományos Akadémia Geofizikai Tudományos Bizottsága, valamint a Magyar Geofizikusok Egyesülete Tudományos és Oktatási Bizottsága nevében tisztelettel meghívjuk

az 1995. és 1997. között befejezett geofizikai tárgyú OTKA pályázatok eredményeinek poszteres bemutatójára, amelyre a Magyar Tudomány Hete rendezvénysorozat keretében kerül sor.

A bemutató ünnepélyes megnyitójának időpontja
1998. november 5. (csütörtök) 10 óra,

helyszíne az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet
(Budapest, XIV. Kolumbusz u. 17–23.)

Csütörtökön 10:00 és 12:30 között a témavezetők szóban is beszámolnak főbb eredményeikről. A bemutató 1998. november 5-én és 6-án 16 óráig látogatható. Egyúttal felhívjuk figyelmüket az Eötvös Loránd születésének 150. évfordulója alkalmából az ELGI épületében megnyílt emlékkiállításra.

Dr. Takács Ernő
a műszaki tud. doktora
a MTA Geofizikai Tud. Bizottság
elnöke s.k.

Dr. Márton Péter
a műszaki tud. doktora
a MGE Tud. és Oktatási Bizottság
elnöke sk.

TAKÁCS ERNŐ MEGNYITÓBESZÉDE

Hölgyeim és Uraim, Tisztelt Vendégeink, Kedves Kolléganők és Kollégák!

Tisztelettel köszöntöm Önöket a *Magyar Geofizikusok Egyesülete Tudományos és Oktatási Bizottságának* és a *Magyar Tudományos Akadémia Geofizikai Tudományos Bizottságának* közös rendezvényén az 1995 és 1997 között befejezett, geofizikai tárgyú OTKA pályázatok eredményeinek poszteres bemutatóján. Köszönjük, hogy meghívásunk elfogadásával megtiszteltek bennünket.

Rendezvényünk része a *Magyar Tudomány Napjához* csatlakozó ünnepi rendezvény sorozatnak. Geofizikus közösségünk általa veszi ki részét e nap méltó megünneplésében.

Úgy gondoltuk, hogy az *Országos Tudományos Kutatási Alap* támogatásával elért tudományos eredményeinknek ebben a formában történő bemutatását több szempont is indokolja.

Egyrészt az a tény, hogy meghatározó módon az OTKA támogatásával születtek olyan alapkutatói eredmények, amelyekkel bizonyítani tudjuk legújabb hozzájárulásunkat a magyar tudomány értékeihez. A bemutatandó eredmények jellemzője, hogy témáik nagyrészt lefedik a geofizika széles spektrumú részterületeit, továbbá, hogy elérésükben valamennyi hazai geofizikai kutatóhelynek szerepe van. Ezáltal rendezvényünk amellett, hogy bemutatja a geofizikai kutatási feladatok sokrétűségét, egyben képviseli a hazai geofizikus társadalmat is.

A másik indok, hogy teljesíteni kívántuk a három évvel ezelőtti, első ilyen rendezvényünk szándékát, amennyiben ebben a formában, rendszeres ismétlődéssel el akarunk számolni a geofizika területére jutó támogatás felhasználásáról. Részben a támogatást odaítélő és az eredményeket értékelő illetékesek felé, de a teljes nyilvánosságot biztosítva önmagunknak is. Továbbá szeretnénk megismertetni eredményeinket a munkánkat igénylő szakterületekkel, intézményekkel, hatóságokkal. Ezt a szándékot jól szolgálja majd, hogy a *Magyar Geofizika* — egyesületünk szakmai lapja — különszámában nyomtatott formában is közreadja az itt hallottakat és látottakat.

A harmadik indok az, hogy ezzel a rendezvénnyel is kifejezzük: az OTKÁ-nak a szűkített lehetőségek ellenére is mennyire döntő szerepe van tudományunk fejlesztésében, a kutatóhelyek és kutatók kutatási kapacitásának és képességeinek mozgósításában. Amikor ezt megköszönjük, hangsúlyoznunk kell, hogy feladataink ellátásában — a földi környezet teljesebb megismerésében, kincseinek jobb feltárásában, veszélyei hatásának csökkentésében — nagyon nagy szükség van erre a támogatásra nem önös tudományos célból, hanem társadalmunk fejlődése érdekében.

Végezetül Bizottságaink nevében megköszönöm a *Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézetnek* és személy szerint dr. BODOKY Tamás igazgató úrnak nagyvonalú segítségét a rendezvény befogadásával és technikai megrendezésével. Itt van ennek méltó helye, a tudományunk megalapítójáról elnevezett intézetben és az életútját, munkásságát bemutató emlékkiállítás közelében. Köszönetünket fejezem ki VERŐ László igazgatóhelyettes úrnak és dr. SZARKA Lászlónak, az MTA Geofizikai Tudományos Bizottsága titkárnak a szervezésben vállalt áldozatos fáradozásukért. Köszönet mindenkinek, aki a rendezvény érdekében munkálkodott, így a *Magyar Geofizikusok Egyesülete* elnökségének és kiemelten a témavezetőknek, munkatársaiknak, akiknek hozzájárulása a leglényegesebb.

1992-1996

- T4079 Posgay Károly: A lemeztektonika törvényszerűségeinek vizsgálata nemzetközi együttműködésben a litoszféra és az asztenoszféra tartományban
 T4181 Horváth Ferenc: Kainozoós szekvencia sztratigráfia a Pannon medencében
 T4395 Sántori Gabriella: A Schumann-rezonanciák vizsgálata

1993-1996

- F7234 Prónay Zsolt: Talajnyugalanság-mérések a földrengésérzékeny épületek építését megelőző helyszíni vizsgálatához
 T7348 Csapó Géza: Árapály-graviméterek abszolút módszerrel végzendő hitelesítése
 T7368 Mártonné Szalay Emőke: Mezozoos karbonátplatformok, magnetociklosztratigráfia, geodinamika
 T7388 Steiner Ferenc: A gravitációs értelmezés megbízhatóságát fokozó elméleti vizsgálatok és mérésorozatok
 T7504 Bodoky Tamás: Délkelet-Magyarország nagyszerkezetének háromdimenziós tektonikai modellezése mélyszeizmikus mérések alapján
 F7551 Székely Balázs: Változó frekvenciaspektrumú elektromágneses jelek automatikus digitális felismerése
 T7605 Erki Imre: Laza üledékek geofizikai paramétereinek laboratóriumi és terepi mérése
 T7640 Steiner Tibor: Tranziens geomágneses jelenségek jelelővizsgálata
 F7667 Tímár Gábor: Légszennyezés detektálása és térbeli eloszlásának meghatározása digitális műholdas távérzékelési adatok segítségével

1994-1997

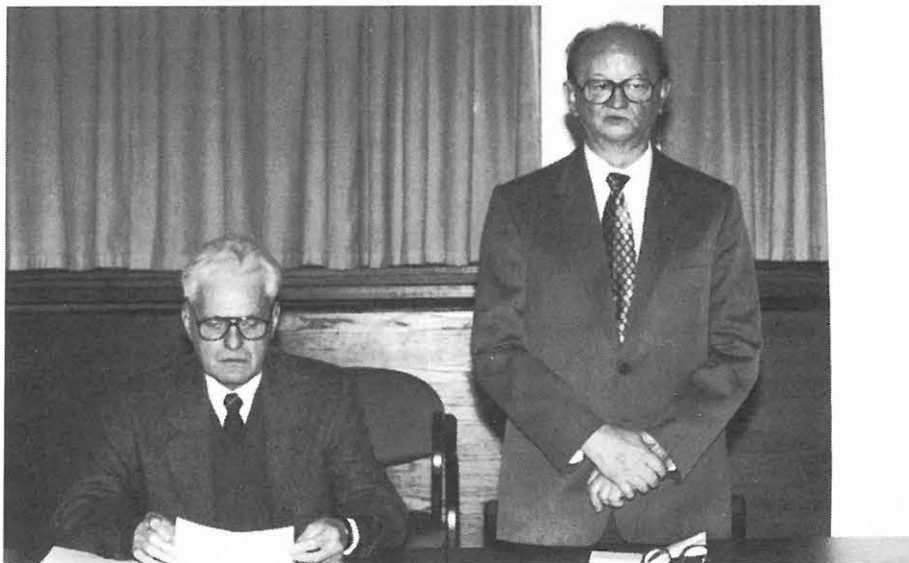
- T14027 Steiner Ferenc: Modern statisztikai módszerek alkalmazása a mélyfűrési geofizikai szelvény értelmezésben
 T14423 Bodri Bertalan: Földrengések és geotermika kapcsolata a Magyar medencében
 T14447 Verő László: A matematikai statisztika és a geostatisztika alkalmazási lehetőségei a geofizikában
 F14492 Scholtz Péter: Újabb szeizmikus attribútumok értelmezése

1995-1997

- T14848 Dankházi Gyula: A kőzetek infrahangfrekvenciás elektromos tulajdonságainak kutatása
 T14863 Andrassy László: Geológiai mintákon mért lézer-indukált plazma atom emissziós spektrumok időbeli és térbeli vizsgálata
 T14946 Bodri Bertalan: Magyarországi klímaváltozások vizsgálata a Kárpát-medence fosszilis és recens üledékeiben
 T14976 Bondár István: A Pannon-medence mélyszerkezeti viszonyai szeizmológiai adatok alapján
 T15850 Ádám Oszkár: Felszíni zavarhullámok inverziója
 T15966 Cserepes László: Termikus konvekció a Föld belsejében
 F16804 Szűcs Péter: A geofizika és a mélyfűrési technológia szerepe a formációvédelemben

1996-1998

- T19088 Gyulai Akos: Üregkutatás geoelektromos és szeizmikus módszerekkel



MÁRTON Péter és TAKÁCS Ernő

A lemeztektonika törvényszerűségeinek vizsgálata nemzetközi együttműködésben a litoszféra és az asztenoszféra tartományában

POSGAY KÁROLY¹ (témavezető)

OTKA nyilvántartási szám: T 4079

Az ELGI hetvenes évek elején kezdett kismélységi reflexiók kutatásai során sikerült átvilágítani a teljes litoszférát és helyenként az asztenoszférába is behatolni [POSGAY et al. 1981, 1995]. 1992-ben a PGT-4 (1. ábra) mentén magyar, kanadai és svájci együttműködésben folytatódottak a kutatások [HAJNAL et al. 1996]. A szelvény helyét úgy választottuk meg, hogy az eredmények a Kárpát-medence fiatal mélymedencéire legyenek jellemzők. A PGT-4 szelvény az Algyői hegyhát keleti lejtőjéről indult, keresztezte

- a Hódmezővásárhely–Makói árkot,
- a Pusztaföldvár–Battonyai hegyhátat és
- a Békési medencét.

A neogén üledékek vastagsága mind a Hódmezővásárhely–Makói árokban, mind a Békési medencében 6–7 km. A kutatás célja a mélymedencék keletkezésével és fejlődésével kapcsolatos tektonika, továbbá a folyadékok, gázok, szerkezeti csapdák elhelyezkedését kialakító hő- és mechanikus folyamatok tanulmányozása volt.

A szeizmikus, magnetotellurikus, geotermikus, mágneses és gravitációs adatoknak az egész litoszférára kiterjedő komplex értelmezése enyhe dőlésű medencefejlődési tektonikai modell vázolásához vezetett. A Basin and Range típusú extenziós modellhez hasonlóan a Hódmezővásárhely–Makói árok — és ettől DNy-ra a Dorozsmai árok — mélyre ható nyírási zónák, továbbá a Békési medence alatti alsó kéreg és litoszféra–asztenoszféra határ feldomborodása következtében alakult ki. Süllyedékek sora található NyDNy–KEK irányban DK-Magyarországon és Erdélyben [POSGAY et al. 1996].

Az új tektonikai modellhez vezetők vizsgálatok során a szénhidrogén-kutatás számára érdekes mélységben levő szerkezeteket is sikerült meghatározni.

K. POSGAY: An international investigation of the rules of plate tectonic in the range of the lithosphere and the asthenosphere

Deep seismic reflection experiments initiated by the Hungarian Eötvös Loránd Geophysical Institute in the early 70's utilised low frequencies which penetrated the complete lithosphere and, in some localities, segments of the asthenosphere [POSGAY et al. 1981, 1995] as well. In 1992 the investigations were extended through an international seismic experiment carried out with the collaboration of Hungarian, Canadian and Swiss investigators [HAJNAL et al. 1996] along the reflection profile PGT-4 (Fig. 1). The location of the survey line was chosen to map deep structures beneath this rapidly-developed region of the inner Carpathians. The profile PGT-4 starting at the eastern flank of the Algyő High, crossed

- the Hódmezővásárhely–Makó Graben,
- the Pusztaföldvár–Battonya Ridge and
- the Békés Basin.

The Neogene sediments of both the Hódmezővásárhely–Makó Graben and the Békés Basin have a thickness of 6–7 km. A special aim of the study was to gain a better insight on the origin and formation of the deep sedimentary basins, their associated thermal and tectonic processes, injection of fluids, and the development of structural traps within the lower segments of these features.

The integrated interpretation of seismic, magnetotelluric, regional geothermal, geomagnetic and gravity data outlined a sketch of the complete lithosphere, suggesting a tectonic development described by low angle extensional basin forming models. Analogously to the Basin and Range type extensional model, the Hódmezővásárhely–Makó Graben and the Dorozsma Graben (to the South-west) were formed as a consequence of major deep-penetrating shear zones and an upswell of the lower crust and the lithosphere–asthenosphere boundary below the Békés Basin. A row of depressions running in WSW–ENE direction were located in South-east Hungary which are stretching over even to the Transylvanian region [POSGAY et al. 1996].

In addition to this new tectonic model, intriguing structures were mapped, at those depths which may be effective targets for oil and gas exploration.

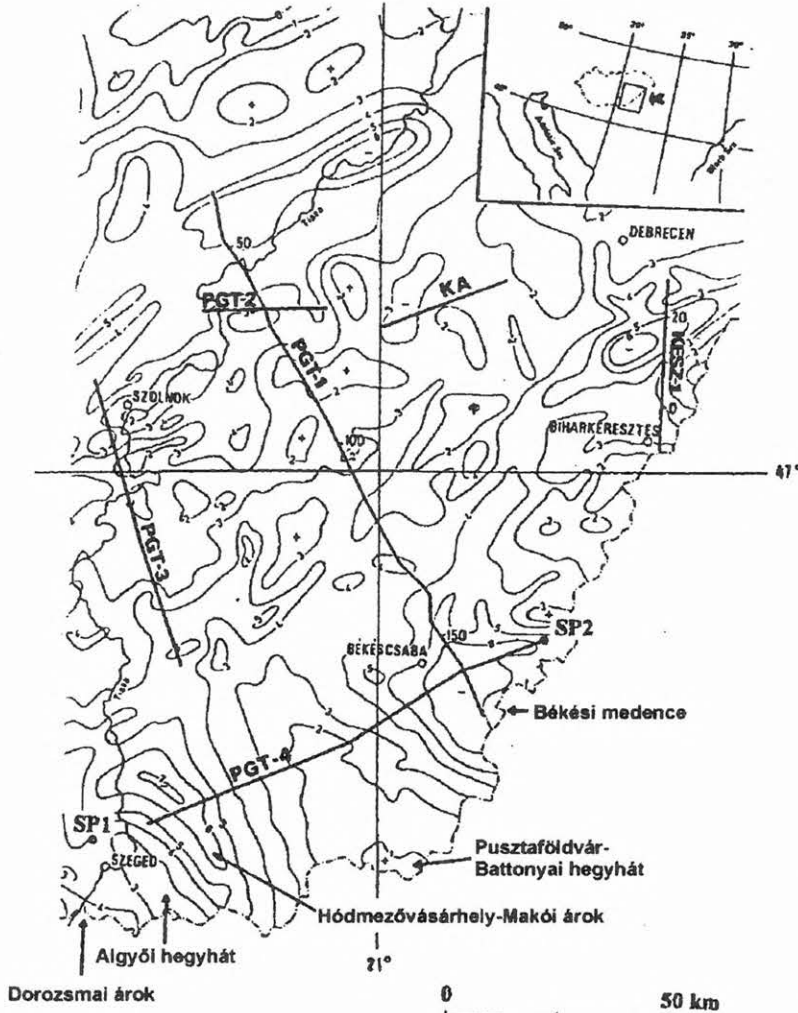
Magyar, kanadai és svájci együttműködésben DK-Magyarországon kismélységi reflexiók szeizmikus litoszféra-kutatásokat végeztünk 1992-ben. A nemzetközi

mérések jól illeszkedtek az ELGI negyed évszázados kísérletsorozatába, mellyel a szeizmikus reflexiók mélységi behatolását kívánta kiterjeszteni a felső köpeny kutatására. A kísérletek célja olyan terepi és feldolgozási metodika kialakítása volt, mellyel a nyersanyagkutató szeizmikus méréseknél használt frekvenciatartományánál több

¹ Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17–23.

oktávval kisebb frekvenciák is felhasználhatók. A nemzetközi mérés kulcsproblémája a refrakciós mérésekhez tervezett kanadai (PRS típusú) berendezések mélyreflexiós alkalmazása volt. A kísérlet sikerrel zárult. Az átviteli frekvenciatartományt sikerült 1–2 Hz-ig csökkenteni és a teljes litoszféra szerkezetét megismerni.

A PGT-4 jelű szeizmikus szelvény az algyői kiemelt szerkezet oldaláról indult, a Hódmezővásárhely–Makói árkot, a Pusztaföldvár–Battonyai medencealjzat felboltozódást és a Békési medencét harántolta (1. ábra).



1. ábra. DK-Magyarországon végzett mélyreflexiós kutatások helyszínrajza a terciér medencealjzat mélységtérképén [KILÉNYI et al. 1991]. A szintvonalak értékközét km-ben írtuk fel

Fig. 1. Location of the deep seismic reflection profiles in SE Hungary. The contour map of the basement (pre-Tertiary rocks) compiled by KILÉNYI et al. [1991] is also shown. Contour intervals are indicated in km

A kanadai berendezéssel párhuzamosan (kisebb fedésszámmal) az előző mélyreflexiós kutatásoknál használt (MDS-18 típusú) felszerelést is üzemeltettük tájékoztató összehasonlítás, továbbá a neogén üledékek és a preneogén medencealjzat jobb felbontású vizsgálata végett. A méréseket kiegészítettük a szelvényvégekre telepített, a mérés egész ideje alatt helyben maradó (svájci, magyar és kanadai) állomásokkal.

A terepi mérések tervezésében és kivitelezésében a három ország kutatói együttműködtek. A feldolgozás és ér-

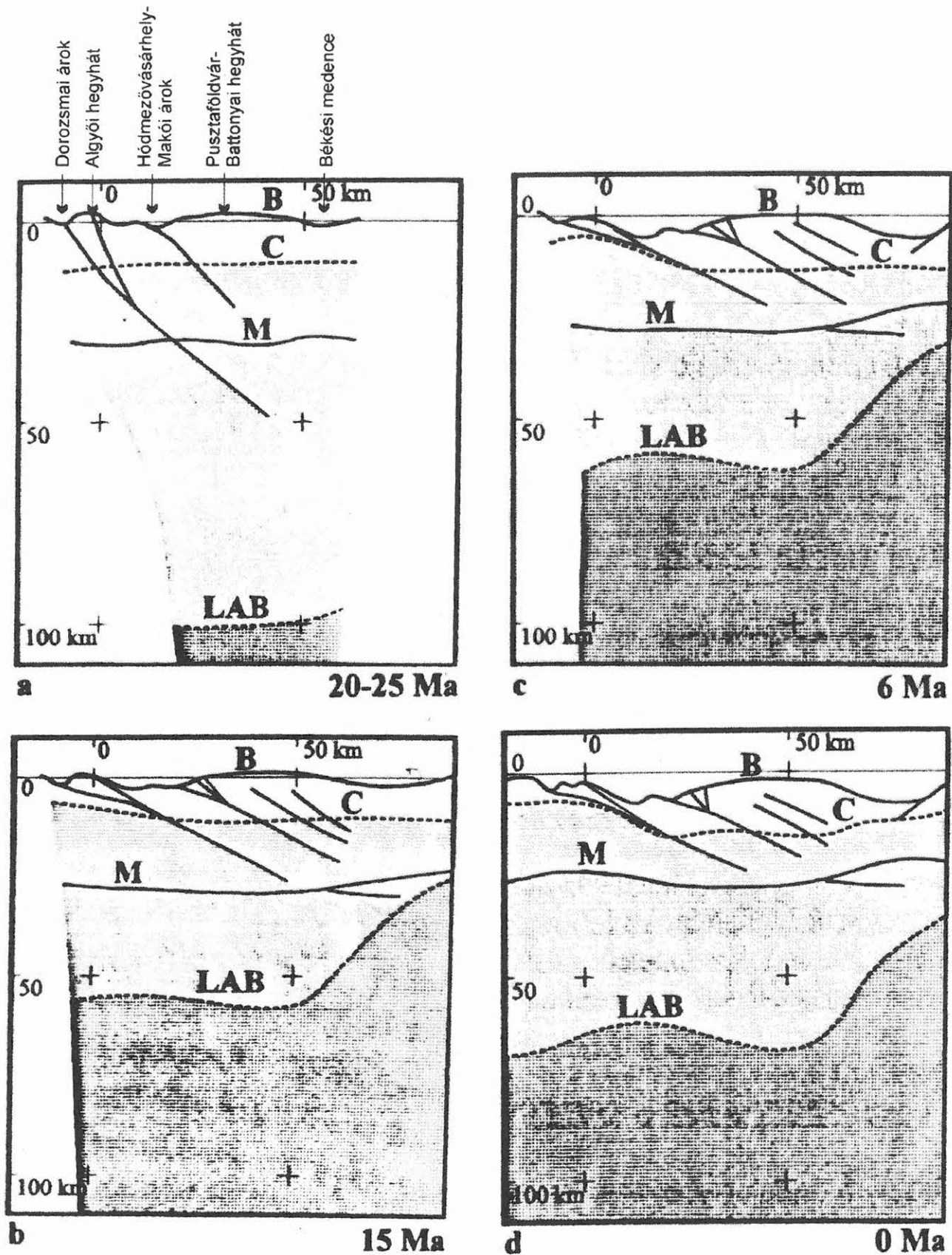
telmezés feladatmegosztással folyt. Ebben a cikkben az ELGI-ben végzett feldolgozás szelvény irányú értelmezését ismertetjük.

A konszolidált litoszféra szerkezetét tanulmányozva a nagy behatolású szelvényből az alpi orogén alatt kialakult töréses, gyűrődéses szerkezetre következtethetünk. A szeizmikus kép arra utal, hogy a Hódmezővásárhely–Makói árok és az algyői medencealjzat magaslat között nyírási zóna tételezhető fel, amelyik az algyői szerkezet alatti, a Dorozsmai árok felé irányuló nyírási zónával együtt a

szelvény ÉK-i vége felé lejt [POSGAY et al. 1996]. A vázolt zónától ÉK felé, a Hódmezővásárhely–Makói árok alól kiinduló további nyírási zónák is feltételezhetők, azaz egy több km vastag, kis szilárdságú zónára lehet következtetni, amely értelmezésünk szerint döntő szerepet játszott az árok kialakulásában. Ez a nyírási zóna — enyhébb dőléssel — az alsó litoszférában is nyomozható. A PGT-4 mélyreflexiós és magnetotellurikus adatok szerint a litoszféra–asztenoszféra határ emelkedése a Békési medencén túl is valószínűnek látszik, azaz a Békési medence mély részéhez viszonyítva az astenoszféra felboltozódása ÉK felé helyezkedik el és elképzelhető, hogy az Algyői hegyhát felől lejtő, nyírási zóna ennek közelében végződik. A Hódmezővásárhely–Makói árok alatt a kéreg–köpeny határ és a litoszféra–asztenoszféra határ is csak enyhe domborulatot képez.

Az eredmények értelmezéséhez vázolt medencefejlődési modellünk szerint a szinrift fázisban a köpenylitoszférának az ÉK-i szelvényvég tájára eső része jobban megnyúlt, mint a köpeny–litoszféra többi része. Ennek következménye volt, hogy az Algyő felől lejtő nyírási zóna mentén litoszféra méretű megcsúszás következett be, létrehozva a Hódmezővásárhely–Makói árkot, a metamorf kőzetekből álló medencealjzatú, viszonylag vékony felső kéreggel jellemezhető Algyői hegyhátat és valószínűleg a Dorozsmai árkot is (2a. és 2b. ábrák). A köpenylitoszféra rendkívüli elvékonyodása a szelvény ÉK-i részén az astenoszférának az átlagosnál nagyobb megemelkedéséhez is vezetett. A viszonylag magasabbra került astenoszféra-résznek az átlagosnál korábbi és gyorsabb kihűlése a

meggyengült nyírási zóna közvetítésével a Hódmezővásárhely–Makói árok (és a Dorozsmai árok) további besüllyedéséhez vezetett (2c. ábra). Nézetünk szerint ezzel magyarázható, hogy a Hódmezővásárhely–Makói árokban anomális vastagságú üledék keletkezett annak ellenére, hogy az astenoszféra a Kárpát-medencére jellemző átlagos mélységben valószínűsíthető. Az astenoszférának a Kárpát-medencében történt regionális összehúzódása hatásaként értelmezzük az algyői és a Pusztaföldvár–Battonyai hegyhátak 5–7 millió évvel ezelőtti megcsúszását és elöntését (2c. és 2d. ábra).



2. ábra. A Dorozsmai árok, a Hódmezővásárhely–Makói árok és a Békési medence 20–25, 15, 6 millió évvel ezelőttre és a mai időpontra feltételezett kifejlődési modellje. *B* a preneogén medencealjazatot, *C* az alsó–felső kéreg, *M* a kéreg–köpeny, *LAB* a litoszféra–asztenoszféra határt jelöli

Fig. 2. Basin formation models of the Dorozsma Graben, the Hódmezővásárhely–Makó Graben and the Békén Basin assumed for 20–25, 15, 6 Ma and for the present date. *B* indicates the pre-Neogen basement, *C* the upper–lower crust, *M* the crust–mantle and *LAB* the lithosphere–asthenosphere boundary

A PGT-4 szelvényszakasz átlagos megnyúlására a kéregre 1,5 és a köpeny-litoszférára 2,5 értéket kaptunk, azaz egy kb. 100 kilométeres kéregszakasz kb. 150 km-re történt megnyúlása volt (nagyjából) azonos egy lényegesen rövidebb (kb. 60 km-es) köpeny-litoszféra szakasz megnyúlásával. (Ezt alátámasztja például, hogy az algyői nyírási zóna menti felső kéreg megcsúszásából kb. 15 km-es térmeghosszabbodásra következtethetünk.) A szelvény irányában egy — nagy vonalaiban szimmetrikus — süllyedéksor ismert [GYÖRFI 1994]. A külső süllyedékek félároként fejlődtek ki és fő töréseik a Békési és a szomszédos Zarándi medence felé lejtnek. A süllyedéksor és az azokat elválasztó hegyhátak Ny-ról K felé a következők: Dorozsmai árok, Algyői hegyhát, Hódmezővásárhely-Makói árok, Pusztaföldvár-Battonyai hegyhát, Békési medence, Zarándi (Zarand) medence, Béli hegység (Codru-Moma), Belényesi (Beius) árok, Királyerdő (Paduera Craiului), Báródi (Vad-Borod) árok, Réz (Plopiș) hegység. Feltételezhető, hogy a süllyedéksor keletkezése a litoszférának a Békési és a Zarándi medence alatti felszakadásával kapcsolatos nyírási zónarendszerre vezethető vissza [POSGAY et al. 1996]. Ezekben a medencékben és az alattuk elhelyezkedő litoszféra-részben következtethetünk a legjelentősebb magma-benyomulásra is.

Tudomásunk szerint a Kárpát-medencében végzett kisfrekvenciás reflexiók mérések az *első*k, ahol az eredményekből a teljes litoszféra szerkezete vázolható [POSGAY et al. 1981, 1995, 1996, HAJNAL et al. 1996]. Érdekesnek látszott, hogy a PGT-4-en kapott eredményeket összevessük olyan medencefejlődési modellel, amely a mérések értelmezését elősegítheti. A kapott eredmények emlékeztetnek WERNICKE [1981, 1985] medence-kialakulási modelljére. A felszíntől az alsó litoszféráig tartó nyírási zóna felszínközeli részén keletkezett a Hódmezővásárhely-Makói árok és feltételezésünk szerint a Dorozsmai árok. WERNICKE „Core Complex range”-ének helyén, a PGT-4 szelvény DNy-i részén is feldomborodik az alsó kéreg (a Dorozsmai árok és a Hódmezővásárhely-Makói árok között), és a litoszféra-asztenoszféra határnak a mélytörés-zóna mély része (a szelvényben ÉK) felé történő emelkedése valószínűsíthető.

Eltérést jelent WERNICKE modelljéhez viszonyítva a Hódmezővásárhely-Makói árok nagy mélysége és annak magyarázata.

A mélylitoszférára vonatkozó új ismereteken kívül a medencealjazat és a fiatal üledékek mélységéből is érdekes szerkezetekre lehetett a mérési adatokból következtetni, amelyek a nyersanyagkutatás, a nagyszerkezet megismerése és módszertani szempontokból is figyelemre méltók lehetnek.

Az új kutatási perspektívákat a kiemelt szerkezet lejtőin kialakult csapdák, illetve a liztrikus vető oldalán létrejött roll-over szerkezetek jelentik [POSGAY et al. 1996].

Köszönetnyilvánítás

Az ismertett eredmények alapját hazai és nemzetközi kutatások képezték. Ezúton is köszönjük az alábbi hatóságok és intézmények vezetőinek és az ott dolgozó kollégáknak, hogy részvételükkel, illetve támogatásukkal munkánkat elősegítették:

- Continental Geoscience Division, Geological Survey of Canada,
- Department of Geological Sciences, University of Saskatchewan (Canada),
- Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (ELGI, témavezető kutatóhely),
- Institut für Geophysik, Eidgenössische Technische Hochschule (Switzerland),
- LITHOPROBE (kanadai litoszféra-kutató tudományos társulás),
- Magyar Geológiai Szolgálat és jogelődje, a Központi Földtani Hivatal,
- MOL Magyar Olaj- és Gázipari Rt.,
- Ministry of Energy, Mines and Resources of Canada,
- Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok (T 4079).

A kutatásokban, az eredmények feldolgozásában, értelmezésében és publikálásában együttműködők segítségét ezúton is köszönöm. Kiemelten kívánok köszönetet mondani TAKÁCS E., SZALAY I., BODOKY T., HEGEDŰS E., JÁNVÁRINÉ KÁNTOR I., KOVÁCSVÖLGYI S., TÍMÁR Z., VARGA G. (ELGI), BÉRCZI I., SZALAY Á., NAGY Z., PÁPA A. (MOL Rt.), ÁDÁM A. (MTA GGKI) HAJNAL Z., REILKOFF B. (University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada), MÜLLER St., ANSORGE J., DE IACO R. (Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich), ASUDEH I. (Geological Survey of Canada) kollégáknak, akiknek segítsége nélkül ez a széleskörű együttműködés nem jöhetett volna létre.

A TÉMÁBAN ELÉRT EREDMÉNYEKET AZ ALÁBBI HELYEKEN ISMERTETTÜK:

- ÁDÁM A., POSGAY K. 1997: A Pannóniai medence jelenlegi mélyszerkezeti vázlata. MTA Földtudományok Osztályának osztályülése, Budapest, május 5.
- ANSORGE J., MUELLER St., DE IACO R., POSGAY K., HEGEDŰS E., SZALAY I., TAKÁCS E., HAJNAL Z., REILKOFF B., ASUDEH I. 1996: A detailed lithospheric reflection/refraction survey in the South-eastern Pannonian Basin. EGS előadás
- HAJNAL Z., REILKOFF B., POSGAY K., HEGEDŰS E., TAKÁCS E., ASUDEH I., MUELLER St., ANSORGE J., DE IACO R. 1996: Crustal-scale extension in the central Pannonian basin. In: Seismic reflection probing of the continents and their margins. (Eds.): WHITE D. J., ANSORGE J., BODOKY T. J., HAJNAL Z. Tectonophysics 264, 191–204
- HEGEDŰS E., POSGAY K., TAKÁCS E. 1995: The role of the lower lithosphere during the evolution of the Békés basin: ILP 6th Workshop of the task force origin of „sedimentary basins”, Sitges, Italy
- HEGEDŰS E., POSGAY K., TAKÁCS E., HAJNAL Z. 1996: A postulated model of the basin evolution derived from deep reflection data. Abstracts of the 7th International Symposium on Deep Seismic Profiling of the Continents. Asilomar, California, 93
- HEGEDŰS E., POSGAY K., TAKÁCS E. 1997: A comparison of basin evolution models derived from deep geophysical data. 59th EAGE Conference & Technical exhibition, Geneva. Extended Abstracts, V1, P-105

- HEGEDŰS E., POSGAY K., TAKÁCS E. 1997: Medencefejlődési modellek összehasonlítása geofizikai mélyszondázási adatok segítségével. *Az MGE 26. Vándorgyűlése, Sopron, szeptember 10–11.* P2 poszter
- KOVÁCSVÖLGYI S. 1995: DK-Magyarország gravitációs és földmágneses anomáliáinak értelmezése. *Magyar Geofizika* 36, 3, 198–202
- KOVÁCSVÖLGYI S., OCSÉNÁS P. 1997: Klaszter analízis alkalmazása felszíni geofizikai adatok komplex értelmezésében. *Magyar Geofizika* 38, 1, 59–66
- POSGAY K., TAKÁCS E., SZALAY I., BODOKY T., HEGEDŰS E., JÁNVÁRINÉ K. I., TÍMÁR Z., VARGA G., BÉRCZI I., SZALAY Á., NAGY Z., PÁPA A., HAJNAL Z., REILKOFF B., MUELLER St., ANSORGE J., DE IACO R., ASUDEH I. 1996: International deep reflection survey along the Hungarian Geotraverse. *Geoph. Trans.* 40, 1–2, 1–44
- TAKÁCS E., POSGAY K., HEGEDŰS E., HAJNAL Z. 1996: A study on deep reflection data with the aim of detecting hydrocarbon inside the pre-Tertiary basement. Abstracts of the 7th International Symposium on Deep Seismic Profiling of the Continents. Asilomar, California, 94

TOVÁBBI IRODALOM:

- GYÖRFI I. 1994: DK-Magyarország és az Erdélyi Középhegység neogén medencéinek szerkezetfejlődése. Szakdolgozat. ELTE Földtani Tanszék, Könyvtár
- 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. *Geoph. Trans.* 36, 15–36
- 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., Vieweg, Wiesbaden.* 1, 272–279
- POSGAY K., BODOKY T., HEGEDŰS E., KOVÁCSVÖLGYI S., LENKEY L., SZAFIÁN P., TAKÁCS E., TÍMÁR 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., SASSI W. Tectonophysics* 252
- WERNICKE B. 1981: Low-angle normal faults in the Basin and Range Province: nappe tectonics in an extending orogen. *Nature* 291, 645–648
- WERNICKE B. 1985: Uniform-sense normal simple shear of the continental lithosphere. *Can. J. Earth Sci.* 22, 108–125

POSGAY Károly



ÁDÁM Oszkár, POSGAY Károly, TAKÁCS Ernő



A Schumann-rezonanciák vizsgálata

SÁTORI GABRIELLA¹ (témavezető)

G. SÁTORI: Investigation of the Schumann resonances

OTKA nyilvántartási szám: T 4395

A kutatási eredmények ismertetése

A Föld felszíne és az ionoszféra által határolt térrész elektromágneses sajátfrekvenciáit nevezzük Schumann-rezonanciáknak. Az első három rezonanciamódus frekvenciája sorrendben: ~8 Hz, ~14 Hz, ~20 Hz. A Föld-ionoszféra üregrezonátor gerjesztő forrása a világzivatartevékenység. Ez a jelenségkör természetes és olcsó eszközként szolgálhat globális változások vizsgálatára.

A pályázatban kitűzött feladatok megvalósítása alapvetően két részre bontható:

- Schumann-rezonancia mérőrendszer kifejlesztése,
- a mérőrendszerrel nyert adatok felhasználásával új tudományos eredmények elérése.

Schumann-rezonancia mérőrendszer

a) Az MTA GGKI elektromos és mechanikai műhelyében kifejlesztettünk egy, a Schumann-rezonanciák mérésére szolgáló kvázi real-time digitális mérő-feldolgozó rendszert. A vertikális elektromos komponens mérésére egy 2 m magas szigetelő lábazon álló, 45 cm átmérőjű gömbantenna (alumínium öntvény), 20 Mohm bemeneti impedanciájú, alacsony zajú előerősítő és erősítő szolgál. Az előerősítő erősítési tényezője 700, az erősítő pedig további 2 nagyságrendű, 5 fokozatban változtatható erősítést tesz lehetővé. Az 50 Hz-es hálózati frekvenciát több fokozatban, összesen 80 dB-es elnyomással szűrjük ki. A 150 Hz-es felharmonikus zavaró hatásának kiszűrésére további szűrők szolgálnak. A mérőrendszer frekvenciaátviteli karakterisztikája az 5–25 Hz-es frekvenciasávban $\pm 0,5$ dB pontossággal frekvenciafüggetlen. A $\sim 100\text{--}200 \mu\text{V m}^{-1}\text{Hz}^{-1/2}$ amplitúdójú, felerősített természetes jelek egy többcsatornás AD konverter bemenetén keresztül, 100 Hz-es mintavételi frekvenciával személyi számítógépre kerülnek.

A komplex demodulációt használjuk az első három rezonanciamódus aktuális frekvenciájának és amplitúdójának a meghatározására. Ez a spektrális eljárás lehetővé teszi egy idősorozat spektrális komponensének, esetünkben a Schumann-rezonancia első három módusának megfelelő aktuális frekvenciák és amplitúdók időtartományban történő kifejezését. A komplex demodulációt Hanning-függvénnyel csonkított konvolúciós típusú digitális szűrővel valósítottuk meg. A szűrők centrális frekvenciájának a Schumann-rezonancia első három módusának megfelelő legvalószínűbb frekvenciát választottuk. Komplex demoduláció esetén a fázis lineáris kapcsolatban van a cent-

rális frekvencia körüli frekvenciaingadozással, amely előjelével a frekvenciacsúszás irányát mutatja a centrális frekvenciához képest, a fázisváltozás sebessége pedig a frekvenciaváltozás mértékét adja meg.

A fentiekben vázolt kvázi real-time digitális mérő-feldolgozó rendszer 1993 májusa óta folyamatosan, obszervatóriumi adatszolgáltatás szintjén működik. Ez a vertikális elektromos komponens esetében jelenleg egyedülállóan hosszú adatsort jelent a világon. A nemzetközi érdeklődést adatsorunk hosszúsága, s nem utolsósorban az adatok nagyon jó minősége váltotta ki.

A pályázat harmadik évében elkészült két indukciós szonda, amelyek a két horizontális mágneses komponens (H_x , H_y) mérésére hivatottak. A spektrális eljárás ugyanaz, mint a vertikális elektromos komponens esetében. A mágneses komponenseket időszakosan vagy folyamatosan 3–4 helyen mérik a világon. 1995 októberében lehetőség nyílt szinkronmérésekre (Institut für Geophysik der Universität Göttingen). A H_x , H_y komponensek aktuális frekvenciájának és amplitúdójának órás átlagait hasonlítottuk össze az alapmódus esetében (a német partner csak ezt mérte). A mérési időszakokra vonatkozó, átlagos napi frekvencia- és amplitúdóeloszlások komponensenkénti hasonlósága megnyugtató referenciát jelent mindkét fél számára, ugyanis a szinkronmérés a Schumann-rezonancia jelenségkör szempontjából nagyon közel, az alapmódusnak megfelelő hullámhossz (földkerület) $\sim 2\%$ -ának megfelelő távolságban történt.

Új tudományos eredmények bemutatása

A Nagycenken mért vertikális elektromos komponensre vonatkozó adatsor hosszúsága és pontossága lehetővé tette, hogy a Schumann-rezonancia (SR) jelenségkör eddig ismeretlen spektrális tulajdonságait tárjuk fel. Mindegyik SR-módusra egymástól különböző, sajátos napi frekvenciame- net jellemző és mindegyik SR-módus határozott évszakos változást is mutat. Ugyanakkor ugyanazon módusok napi frekvenciame- neteinek hasonlósága a két egymást követő év azonos évszakaiban a frekvenciaváltozások, illetve az azokat kiváltó folyamatok visszatérési tendenciáját támasztja alá.

A frekvenciaváltozások három csoportba oszthatók. A napi frekvenciaeloszlás, ami minden módusra más és más, elsősorban virtuális frekvenciaváltozás, amely annak köszönhető, hogy a forrás (az éppen aktív zivatargóc) mozog az észlelőhöz képest. A nodális pontoknál, ahol egy-egy módus amplitúdója lecsökken (elméletileg zérussá válik), a szomszédos módusok fáziscsúszási kölcsönhatásba lépnek a szinguláris helyzetben levő módussal, amely frekvencia-növekedésben vagy csökkenésben nyilvánul meg, attól

¹ MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet, H-9401 Sopron, Pf. 5.

függően, hogy a szinguláris helyhez éppen közeledik-e vagy távolodik a forrás. A frekvenciaváltozások második csoportja a napi frekvenciaminimum és -maximum szintje közötti változás, amely a gerjesztő forrás, zivatarregió kiterjedésének változásával függ össze. A frekvenciaváltozások harmadik csoportja az átlagos napi frekvenciaszintek változása, amely valódi frekvenciaváltozással, például az ionoszférikus terjedési viszonyok megváltozásával áll összefüggésben.

Az első SR-módus esetében a nyári hónapokban, a dél-éltől órákban egy frekvenciamaximum alakul ki. Ezen maximum megjelenésének az időpontja fokozatosan a délutáni órákra tevődik át a téli hónapokban. Az őszi fokozatos átmenettel szemben, tavasszal ez a frekvenciamaximum még a délutáni órákban marad, majd viszonylag nagyon rövid ideig tartó (1–2 hét) jellegtelen frekvenciafluktuációt követően, április végén vagy május elején ismét kialakul a jellegzetes nyári napi frekvenciamenet.

A napi amplitúdóeloszlások ugyanabban az évszakban nagyon hasonlók egymáshoz mindhárom módus esetében, ugyanakkor meglehetősen eltérők egymástól nyáron és télen. A nyári hónapokban maximális az amplitúdó 14 és 17 óra között világszerte, jelezve ezáltal, hogy egy közép-európai megfigyelő számára az elsődleges zivatarforrás Afrika térsége. Az átlagos napi amplitúdóeloszlás elsősorban a különböző zivatargóciók jelentőségét tükrözi a megfigyelő pozíciójából. Az amplitúdók nagyságát az ionoszférikus D-tartomány okozta csillapítás is befolyásolja. A különböző módusokhoz tartozó amplitúdók aránya az éppen aktivizálódott zivatargóciók megfigyelőhöz képesti helyzetéről adnak információt.

A globális villámaktivitás nagymértékben függ a felszín közelében mért levegő-hőmérséklettől. A trópusi felszíni léghőmérséklet éves és határozott féléves változást mutat. A fő zivatargóciók is a trópusi régiókban helyezkednek el. Amennyiben a villámok száma nagymértékben (nem lineárisan) függ a hőmérséklettől, akkor a globális hőmérsékleti változásoknak az SR-amplitúdók változásában is tükröződni kell, ahogyan azt WILLIAMS javasolta.

A féléves hullám létezését a SR-amplitúdókban először mutattuk ki a világon, bizonyítva ezáltal, hogy a Schumann-rezonanciák alkalmasak kis hőmérsékletváltozások indikálására. A trópusokon mért felszíni hőmérsékletben a féléves hullám amplitúdója $< 1,5\text{ }^\circ\text{C}$! A SR-amplitúdókban kimutatott féléves hullám amplitúdója messze a szignifikancia szint felett van, így a Schumann-rezonancia jelenségkör ennél kisebb globális hőmérséklet-változás (~ néhány tized $^\circ\text{C}$ változás!) indikálására is alkalmas. A felfokozódott nemzetközi érdeklődés nem véletlen, ugyanis a jelenség óriási jelentőségűvé válhat a globális klimatikus trendek kimutatásában, vizsgálatában.

A Schumann-rezonancia paraméterek mérése egyedülálló lehetőséget teremt olyan extraionizációs folyamatok tanulmányozására is, amelyek a Föld-ionoszféra hullámvezető felső falában, az ionoszférikus D-tartományban fejtenek ki hatásukat. Az 1992. július 26–28-i, valamint az 1992. szeptember 16–18-i időszakban a geomágneses aktivitásra jellemző K_p -indexek növekedésével párhuzamosan az első rezonanciamódus frekvenciájának 0,1–0,3 Hz-nyi „elcsúszását” tapasztaltuk a magasabb frekvenciák irányá-

ba. Az aktuális napi frekvenciamenetek megőrizték szokásos alakjukat, csak a frekvenciák tolódtak el felfelé. Ezek szerint a frekvenciacsúszás okát a Föld-ionoszféra hullámvezető felső falában végbement vezetőképességnek a geomágnesesen háborgatott időszakban történő megváltozásában kell keresni, nem pedig a forrás-vétel geometriában történt változásban. Esetenként a magnetoszférából kiszóródó relativisztikus elektronok minden más ionizáló forrásnál erősebb ionizációt idéznek elő a középső légkörben 40–60 km-es magasságban, közepes és magas szélességeken. A K_p -index jelzi a napszél sebességének a növekedését, a megnövekedett napszélsebesség pedig alapvetően felelős a magnetoszféra külső részében felhalmozódó relativisztikus elektronokért. Így a K_p -index jó indikátora a magnetoszférikus relativisztikus elektronok jelenlétének, műholdas elektronfluxus adatok vagy napszélsebesség értékek hiányában. A két skálamagasságú ionoszféra-modell szerint két teljesen elkülönülő disszipációs réteg van a Föld-ionoszféra hullámvezető felső falában, az ionoszféra D-tartományában. A 70–80 km körül elhelyezkedő felső régiót „tangenciális disszipációs réteg”-nek nevezik, jelezve, hogy az ELF-tér tangenciális komponense vezérli a disszipációt. A 40–50 km-es magasságban elhelyezkedő régió a „radiális disszipációs réteg”, amelyben a radiális (vertikális) elektromos komponens disszipálódik. A vertikális elektromos komponens igen alkalmasnak látszik az olyan ionizációs zavarok vizsgálatára, amelyek a „radiális disszipációs réteg”-et befolyásolják. A magnetoszférából kiszóródó relativisztikus elektronok éppen ezen tartományban módosíthatják az ionoszférikus vezetőképességet. Az 1992. júliusi és szeptemberi események hátterében a magnetoszférából a középső légkörbe kiszóródott relativisztikus elektronok jelenlétére következtettünk. Később a birtokunkba került műholdas adatok bizonyították, hogy az említett események során a frekvencia elcsúszását a nagyobb frekvenciák irányába a „radiális disszipációs réteg” magasságába kiszóródott relativisztikus elektronok hatása váltotta ki.

A pályázat legfontosabb eredménye

A féléves hullám létezését az SR-amplitúdókban először mutattuk ki a világon, bizonyítva ezáltal, hogy a Schumann-rezonanciák alkalmasak kis hőmérséklet-változások indikálására. A trópusokon mért felszíni hőmérsékletben a féléves hullám amplitúdója $< 1,5\text{ }^\circ\text{C}$! Az SR-amplitúdókban kimutatott féléves hullám amplitúdója messze a szignifikancia szint felett van, így a Schumann-rezonancia jelenségkör ennél kisebb globális hőmérséklet-változás (~ néhány tized $^\circ\text{C}$ változás!) indikálására is alkalmas. A felfokozódott nemzetközi érdeklődés nem véletlen, ugyanis az SR-paraméterek ezen képessége óriási jelentőségűvé válhat a globális klimatikus trendek kimutatásában, vizsgálatában.

Köszönetnyilvánítás

Köszönöm munkatársaim közreműködését a pályázatban megfogalmazott feladatok sikeres megvalósításában, valamint az Országos Tudományos Kutatási Alap támogatását.

LCR árapály-graviméterek abszolút módszerrel végzendő kalibrálása (1993-1995)

CSAPÓ GÉZA¹ (témavezető)

G. CSAPÓ: Absolute calibration of LCR type earth-tide gravimeters

OTKA nyilvántartási szám: T 7348

Bevezetés

A kutatás célja nagypontosságú laboratóriumi eljárás kidolgozása FB rendszerű LaCoste-Romberg (LCR) gyártmányú relatív graviméterek leolvasó rendszerének kalibrálására.

Az elmúlt évtizedben egyre nagyobb számban alkalmaznak LCR műszereket az árapály-regisztráló állomásokon. Ezek a mérések (regisztrálások) néhányszor 10^{-9} m/s² megbízhatóságúak és mintegy $250 \cdot 10^{-8}$ m/s² mérési tartományt ölelnek fel.

Az idők folyamán a gyártó cég az alapképzésű gravimétereken két olyan fejlesztést eszközölt, amely lehetővé tette a jelen kutatási téma sikeres megvalósítását. Az egyik az, hogy a gravimétereket speciális leolvasó elektronikával látták el. Ennek lényege, hogy a graviméter ingakarját, ill. az érzékelő tömeget két kondenzátorlemez közé helyezték el (kapacitív érzékelés). Az ingakar vízszintes helyzetében a kapacitív „hídban” nem folyik áram. Amikor a nehézségi térerősség változik, a lengő kitér nyugalmi helyzetéből. Ilyenkor a graviméter elektromos kimenetén a kitéréssel arányos, előjeles feszültséget regisztrálunk. Ezt az eljárást CPI (Capacitance beam Position Indicator) leolvasási rendszernek nevezik az irodalomban.

A másik, ezt követő fejlesztés lényege, hogy az ingakar kitérésekor egy szabályozott „pótlólagos” feszültség kerül a megfelelő kondenzátorlemezre, aminek eredményeképpen az érzékelő tömeg helyzete a két kondenzátor lemez között változatlan marad (FB — feedback rendszerű érzékelés). Ilyenkor a kimeneten a visszatérítő (egyensúlyozó) feszültség olvasható le. Ez szintén arányos a nehézségi térerősség változásával.

A kalibrálás célja a feszültség mértékegységben regisztrált „leolvasási” értékek átszámítása fizikai egységbe (m/s², ill. μ Gal), vagyis a „műszerszorzó” (mV/ μ Gal) minél pontosabb meghatározása.

A kutatási téma előzményei és elvi alapok

A regisztráló graviméterek kalibrálásához már a korábbi évtizedekben is számos eljárást dolgoztak ki a szakterületen tevékenykedő külföldi kutatók. Ezek lényegét az irodalomban [CSAPÓ 1994, VARGA et al. 1995] ismertették. Az általunk kidolgozott és megépített kalibráló berendezés elvi alapja a következő: ha egy graviméter közelébe nehézségi térerősség változást indikáló tömeget helyezünk el,

akkor azt a műszer érzékelő rendszere kimutatja. Növeli, vagy csökkenti a pillanatnyi helyi térerősséget annak megfelelően, hogy a „pótlólagos” térerősséget okozó tömeg a graviméter érzékelője alatt, vagy felett helyezkedik el. A pótlólagos hatást okozó tömegek elvén korábban is végeztek kalibrálást, azonban valamennyi eljárásnak közös hibái voltak. Egyrészt nem tudták megfelelő pontossággal számítani a kiegészítő hatást (a technikai kivitelezés, ill. a számításokhoz szükséges méretek, pl. az érzékelő és hitelesítő tömeg távolság-meghatározásának pontatlanságai miatt), másrészt az alkalmazott tömegek mozgatása olyan talajdeformációkat okozott (amelyek a mérőpilléren keresztül a graviméter dőlését is változtatták a mozgatás függvényében). Ez a hatás erősen rontotta a kalibrálás megbízhatóságát.

A pályázati támogatással megvalósított eljárás a korábbiakban alkalmazottaktól két dologban tér el:

- az alkalmazott tömeg kialakításában,
- a mérés elrendezésében.

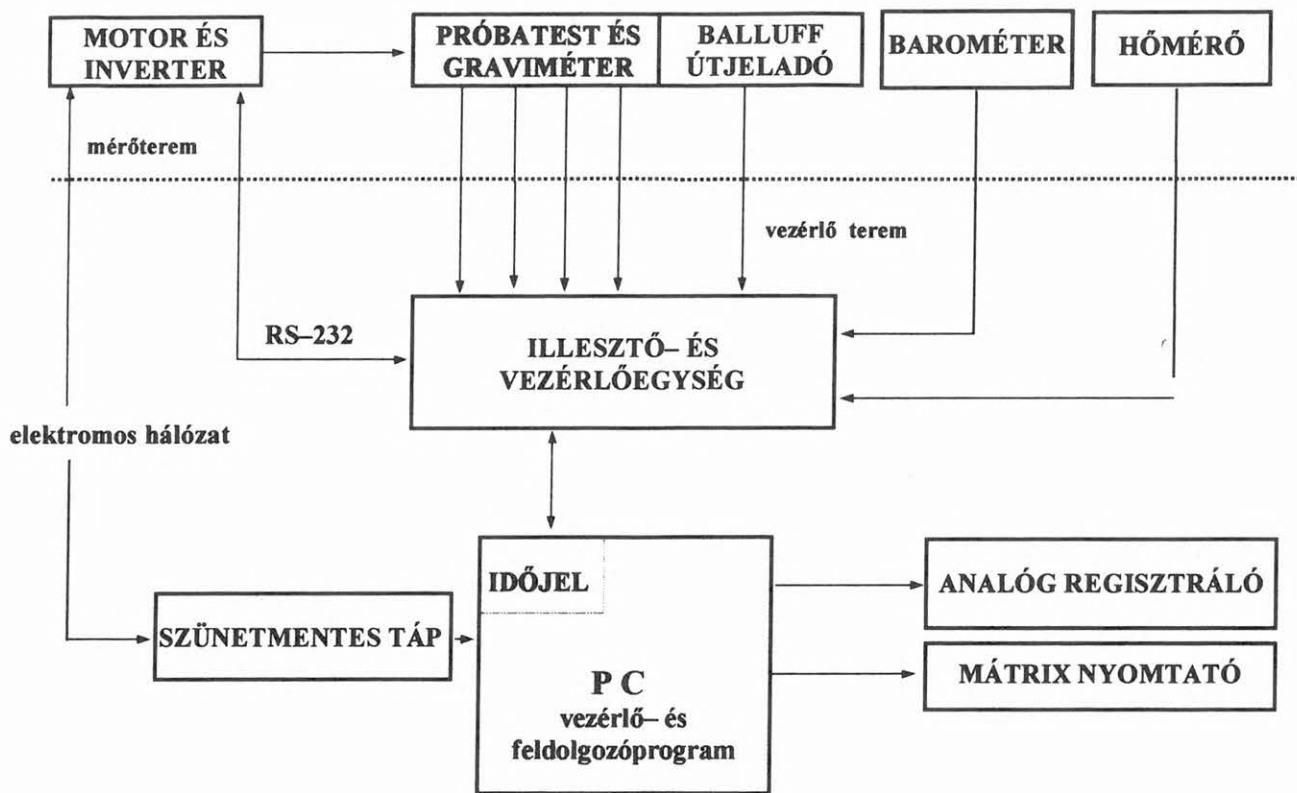
A módszer alap gondolata az, hogy egy körszimmetrikus test belsejében — annak valamely vízszintes metszeti síkjában — a nehézségi erőter is körszimmetrikus [BARTA, HAJÓSY 1985]. Ennek megfelelően kalibráló tömegnek hengergyűrű formát választottunk. A gravimétert a hengergyűrű belsejében kialakított pillére állítjuk fel. A kalibrálás során a hengergyűrűt függőlegesen mozgatjuk — miközben a graviméter helyzete nem változik — és folyamatosan regisztráljuk a kimeneti mérőjelet.

Az eljárás lényegét tekintve abszolút kalibrálás, mert a hengergyűrű és a graviméter érzékelője egymáshoz viszonyított helyzetének változtatásakor valódi (nem árapály okozta) nehézségi térerő-változásokat hasonlítunk össze a graviméter műszerleolvasási értékváltozásaiból számítható nehézségi térerősség változásokkal. A megfelelő értékpárok hányadosa a kalibrálási tényező, vagyis az a szám, amellyel a műszer mérésnél figyelembe vett szorzójának értékét megszorozva a helyes műszerszorzót kapjuk.

A pályázat támogatásával elért eredmények ismertetése

A berendezés első változatát még 1992-ben készítettük. E „deszkamodellnél” a hengergyűrű függőleges mozgatását csörlővel, emberi erővel végeztük. Ez a megoldás nagymértékben korlátozta a berendezés hatékonyságát. Nem lehetett pontosan egyforma lépésközi mozgatásokat elérni sem térben, sem időben, a kalibráló sorozatok méréséhez

¹ Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17–23.



szükséges idő korlátozott volt és folyamatos mozgást sem lehetett végezni. A mérés közbeni emberi jelenlét szükségessége pedig rontotta az eredmények megbízhatóságát (hőmérsékletváltozások, mozgás okozta mechanikus rázkódások stb.). Ezen hiányosságok kiküszöbölése érdekében elkészítettük az automatikus vezérlés első hardver és szoftver változatát (ld. az ábrát). A hardveres munka során a kalibráló berendezést és az irányítást két külön helyiségben helyeztük el.

A kivitelezés után zavaró elektromágneses hatások léptek fel, amelyek gyakran meghamisították a mérési eredményeket. A BME Automatizálási Tanszéke együttműködésével elhárítottuk ezeket a zavaró hatásokat (zavarforrások bemérése, majd megfelelő kis- és nagyfrekvenciás zavarszűrés készítése). Az Országos Mérésügyi Hivatal és az ELGI együttműködésében elvégeztük a hengergyűrű darabok pontos tömegmérését. A kalibráló test összsúlya: $3103,765 \text{ kg} \pm 0,021 \text{ kg}$. Ezt a nagy pontosságú meghatározást részben az tette lehetővé, hogy a tömeget 150–450 kg-os részekből állítottuk össze, részben pedig az, hogy a mérést hiteles tömegekkel történő összehasonlítással, a Bizerba cég legkorszerűbb, MCI-W típusú elektronikus mérlegével és teherelosztóival végezhetjük.

A kalibráló tömeg és a graviméter érzékelője relatív függőleges távolságának meghatározására a Balluff német cég kérésünkre távolságmérésre átalakított, 0,2 mm megbízhatóságú útjeladóját használtuk fel. A hőmérséklet- és légnyomásváltozások regisztrálására érzékelő szondákat helyeztünk el a graviméter közelében. Megoldottuk a mérőterem folyamatos termosztát-szabályozott fűtését, aminek eredményeképpen a napi hőmérsékletváltozás ott nem haladja meg az $1 \text{ }^\circ\text{C}$ értéket. A mechanikai (vibrációs) hatások csökkentése érdekében az észlelőpillér alapját 1 m mélységig padlófüggetlenül építettük meg és rezgés-csökkentő szigeteléssel láttuk el.

A kalibrálási sorozatok feldolgozásához szükséges adatok tárolására nyolccsatornás adatgyűjtő és vezérlő egységet építettünk. Az adatgyűjtő a következő adatokat tárolja: a graviméter mérőjeleit, a tömeg és a graviméter vertikális távolságának mm pontosságú értékét az adott mintavétel-nél, a mintavétel idejét, a graviméter környezetének hőmérsékletét, a légnyomást, a graviméter elektronikus libelláinak jeleit (ha van ilyen libella az adott graviméterben).

A kalibrálást vezérlő szoftver a következő üzemmódokat támogatja:

- *folyamatos tömegmozgatás* előre választott sebességgel és végállásokkal, valamint mintavételi sűrűséggel,
- *szakaszos (lépcsős) mozgatás* tetszőlegesen variálható lépcsőmagasságokkal (a mintegy 1400 mm mozgástartományban min. 4 mm lépésközzel), az előre programozott mintavételi helyeken megszabható számú mintavétellel és mintavételi időközzel, a mozgás irányának kiválasztásával, egy teljes (fel-le) mérési periódus ismétlési számának előírásával,
- *interaktív egyéni vezérlés* a számítógép billentyűzetével.

A számítógépes programot menüvezérelt rendszerben készítettük magyar és angol (előre választható) nyelven. Valamennyi fázisban gazdag „help anyag” segíti a felhasználót. A program elkészíti a fejléccel ellátott „mérési jegyzőkönyvet”, amely a szükséges kiinduló adatokat tartalmazza mind a graviméterre, mind a kalibráló sorozatra vonatkozóan (ezeket az adatokat az észlelő határozza meg egy-egy sorozat előkészítése során). A program jelzi a hibás adatbevitelt.

Az elkészült 1. változat üzembe helyezése után számos kísérleti mérést végeztünk hibaelemzés céljából, majd elvégeztük a kalibrálási eljárás hibaelemzését. Ezekről a munkákról publikáció formájában és előadásokban is beszámoltunk.

A vizsgálatok eredményének rövid összefoglalása

- A választott mérési elrendezés kiküszöböli a hasonló elven korábban kidolgozott külföldi eljárások azon hibáját, hogy azoknál nem lehetett kellő pontossággal meghatározni a graviméter érzékelője és a kalibráló tömeg tömegközéppontja közötti vízszintes távolságot. A hengergyűrű mértani tengelyének és az érzékelő tömegnek egymáshoz képesti horizontális távolságát a mi eljárásunknál 1 mm pontosan határozzuk meg — ismerve egyrészt a mérőtömeg helyét a graviméter belsejében (a szükséges méreteket a LCR gyárban magunk határoztuk meg), másrészt a távolságmérésre általunk készített segédberendezés mérési bizonytalanságát. A hengergyűrű belsejében a nehézségi erőter izovonalait az elméleti értékek meghatározásával megrajzolva (körszimmetrikus szerkezet) kiszámítottuk az 1 mm-es pozíció eltérés hatását: az kisebb, mint $5 \cdot 10^{-10}$ m/s².
- A hengergyűrű és a LCR graviméterek méretei miatt nem érhető el olyan pozicionálás, amelynél az érzékelő tömegközéppontja és a hengergyűrű szimmetriatengelye egybeesik, ezért a lineáris excentricitást minden kalibrálás előtt meg kell határozni és a jegyzőkönyvben rögzíteni. A program az elméleti hatás számításánál figyelembe veszi az excentricitás mértékét. A térváltozás a hengergyűrű szimmetriatengelye és belső fala között ($r=160$ mm) $1,6 \cdot 10^{-8}$ m/s².
- A vertikális távolság meghatározásának maximális hibája kisebb 1 mm-nél, ami a kalibrálás pontosságát nem befolyásolja.
- A súlymérés hibája úgyszintén nem rontja az eredmények pontosságát éppúgy, mint a hengergyűrű lehetséges inhomogenitásai sem (erre nézve kísérleti számításokat végeztünk és törési mintákat is vettünk a kísérleti hengergyűrű darabok gyártásánál).
- A pillérdőlés nagysága — elektronikus libellákkal történt kísérleti meghatározás eredményeként — két, egymásra merőleges síkban kisebb 2 szögmásodperc értékénél. Az ebből származó hatás elhanyagolható.
- Az időmérés pontossága abszolút értelemben 30, relatív értelemben (a mintavételek közötti időintervallumok meghatározása) 1 másodperc. Az időmérés az árapály-korrektció és a műszerjárás meghatározásánál játszik szerepet, azonban itt a hibaforrás ténylegesen nem az időmérés bizonytalansága, hanem az árapály elméleti értékének pontossága. Ezzel minden kalibrálási eljárásnál számolni kell.
- A kalibrálások idején fellépő mikroszeizmikus zavarok hatásait a hatásgörbe szélsőértékeinek közelében végzett sűrűbb mintavételezéssel és a sorozatok számának növelésével lehet csökkenteni. Tekintettel arra, hogy a laboratóriumban folyamatos árapály regisztrálás is folyik, annak analóg regisztrátuma felvilágosítással szolgál a talajnyugalanság mértékéről, így szükség esetén (pl. földrengés) a sorozat leállítható.

Mіндеzen vizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy az eljárással a kalibrálás relatív megbízhatósága (mintegy 0,1–0,2%) teljesíti a pályázatban elvárt értéket.

A Nemzetközi Gravimetriai Bizottság (IAG) Sevres-ben rendezte meg 4. Workshopját relatív és abszolút graviméterek körvizsgálatára. E munka során LCR–G 1919. számú

műszerünket az ott bemutatott két, különböző elven működő laboratóriumi eszközzel kalibráltuk. Az eredmények alapján a következő megállapításokat tehetjük (amit a külföldi hivatkozások is alátámasztottak, ld. Hivatkozások):

- Az ELGI berendezésének pontossága eléri, vagy meghaladja a másik két bemutatott módszerrel és berendezéssel elérhető megbízhatóságot.
- A kiegészítő gravitációs hatás igen nagy pontossággal ismert.
- Eljárásunk reprodukáló képessége (néhány napon belül többször megismételt kalibrálás eredményei közötti eltérések alapján) jobb mindkét külföldi eljárás hasonló paraméterénél.
- Tekintettel arra, hogy a mi eljárásunknál a kalibrálás idején a graviméter mozdulatlan, vagyis olyan állapotban van, mint árapály regisztráláskor, ebből semmiféle torzító hatás nem keletkezik, míg a másik két eljárásnál a gravimétert mozgatják a kalibrálás során. Nem hallottunk arról, hogy elemezték volna az ebből adódó esetleges hatásokat.
- A mi eljárásunk alkalmazásához semmiféle — a berendezés kezelésére vonatkozó előképzés, vagy speciális szakismeret nem szükséges, a feldolgozás automatikusan történik és a kalibrálás eredménye a mérési sorozat befejezése után 10 perccel rendelkezésre áll.

Eljárásunk hátránya a másik két eljárással szemben, hogy a jelenleg alkalmazott etalon-tömeg viszonylag kis kalibrálási tartományt biztosít (kb. $1,1 \cdot 10^{-6}$ m/s²), a berendezés helyhez kötött és az, hogy a vasból készített hengergyűrű esetleges mágneses hatásai torzíthatják a mérések eredményeit. A mágneses hatások kimutatására számos mérést végeztünk, azonban ezek a vizsgálatok nem tekinthetők befejezetteknek. Proton magnetométerrel (GSM-19) végzett mérések a hengergyűrű környezetében és a gyűrűn belül maximálisan 14 μ T változást mutattak ki. A normál földi tér értéke Budapesten mintegy 46 μ T. Tekintettel arra, hogy a LCR graviméterek érzékelőjét kettős μ -fém burkolattal látják el — ami a földi térrel megegyező nagyságú változásokat kompenzál — elvileg a kb. 30%-os variáció nem jelenthet hibaforrást. Azonban ezzel a magnetométer típussal nem lehet mérni a tér komponenseit, külföldi tapasztalatok szerint viszont néhány graviméternél mintegy $6\text{--}10 \cdot 10^{-8}$ m/s² hatást mutattak ki az egyes komponensek értékének megduplázásával. Fluxgate magnetométerrel (Bartington MAG 03 MSS) az egyes komponensekben a földi térkomponensek értékeit megközelítő változásokat regisztráltunk. Mindezek alapján a kutatás jelenlegi stádiumában az a következtetés vonható le, hogy a jelenlegi berendezéssel végzendő kalibrálás előtt szükséges a graviméterek mágneses hatás-vizsgálata (Helmholtz-tekercs), amely vizsgálattal kimutatható az egyes komponensek változásának mértéke és a graviméter műszerleolvasás-változásai közötti összefüggés.

További kísérleteink közben tapasztaltuk, hogy a laboratóriumban meglehetősen gyakoriak az 5–90 perc közötti áramkimaradások, ami számos mérést tönkretett. Ezért a rendszerbe egy mikroprocesszoros stabil tápáramforrást illesztettünk (az ábrán UPS), amely 15–20 perces áramkimaradások idejére képes a rendszer „életben tartására”. Tekintettel arra, hogy a kalibrálás éjszakai órákban is

végezhető (programozható a mérési sorozat kezdésének időpontja), ezzel a változtatással sok idő takarítható meg, ami különösen a külföldi kutatók itteni munkájánál fontos. Ez a változtatás a szoftver módosítását is szükségessé tette (2. variáció elkészítése). A módosítás során a vezérlőprogramot úgy egészítettük ki, hogy az mind a képernyőn, mind az adatgyűjtő mágneslemezen rögzíti az áramszünet kezdetének és végének időpontját és kijelzi a hibaforrást is (külső hálózati zavar, vagy rendszerhiba).

HIVATKOZÁSOK

- BARTA GY., HAJÓSY A. 1985: Új módszerű gravitációs állandó meghatározás elvi alapjainak kidolgozása. ELTE Kutatási Jelentés. Budapest
- VARGA P., HAJÓSY A., CSAPÓ G. 1995: Laboratory calibration of LaCoste-Romberg type gravimeters by using a heavy cylindrical ring. *Geoph. Journal Internat.* **120**, 3, 745–757
- CSAPÓ G. 1994: A nehézségi gyorsulás mérése. *Mérésügyi Közlemények* **2**, 65–72

IRODALMI REFERENCIÁK

Az általunk megépített laboratóriumi abszolút kalibráló berendezés „üzemszerű” használatba vételére 1994-ben került sor, az első eredményekről — szóbeli előadás formájában — 1994 szeptemberében a Nemzetközi Gravimetriai Bizottság Grazban tartott szimpóziумán számoltunk be. Ettől az időtől kezdve a következő irodalmi referenciákkal találkoztunk:

- MEURERS B. 1994: Problems of gravimeter calibration in high precision gravimetry. *International Association of geodesy symposia* **113**, p. 26
- BALDI P., CASULA G. et al. 1994: Intercomparison of IMGC absolute and GWR superconducting gravimeters. Ugyanott, p. 28
- BECKER M., BALESTRI L. et al. 1995: Microgravimetric measurements at the 1994 International Comparison of Absolute Gravimeters. *Metrologia* **32**, p. 145
- RICHTER B., WILMES, H., NOWAK I. 1995: The Frankfurt calibration system for relative gravimeters. *Metrologia* **32**, p. 217
- MEURERS B. 1996: Comparison of feedback calibration methods — results from LCR D-9. *Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik, Heft 14*, 235–247, Vienna

BARÁTH István és CSAPÓ Géza



MÁRTON Péter és PÁLYI András



Mezozoós karbonátplatformok: magneto-ciklosztratigráfia, geodinamika

MÁRTONÉ SZALAY EMŐKE¹ (témavezető)

E. MÁRTON: Mesozoic platform carbonates: magneto-cyclostratigraphy, geodynamics

OTKA nyilvántartási szám: T 7368

A projekt eredményei nagyszámú platform karbonátminta vizsgálatából származnak. Ezeket a terepen fűrtük és tájoltuk, majd részletes paleomágneses vizsgálatoknak vetettük alá a laboratóriumban: 500 minta a Dunántúli-középhegység triászából (1. ábra), 250 az Adriai platform karbonát paleocén-eocénjéből, és 200 minta a görögországi Parnassos Egység mezozoikumából származik. További 40 mintát egy 200 m hosszú fűrómagból (T5 fűrés) gyűjtöttünk, amelyet a mélyfűrés helyén, a felszínen mért dőlés segítségével reorientáltunk.

A módszertani vizsgálatok fő következtetései az alábbiak:

1. A rendkívül gyenge mágnesezettség ellenére nagyon jó a paleomágneses eredmény, ha a minták Lofér-ciklusos karbonátplatformot képviselnek (Dunántúli-középhegység, Parnassos Egység); egyébként csak bizonyos szintekről várható paleomágneses irányok.

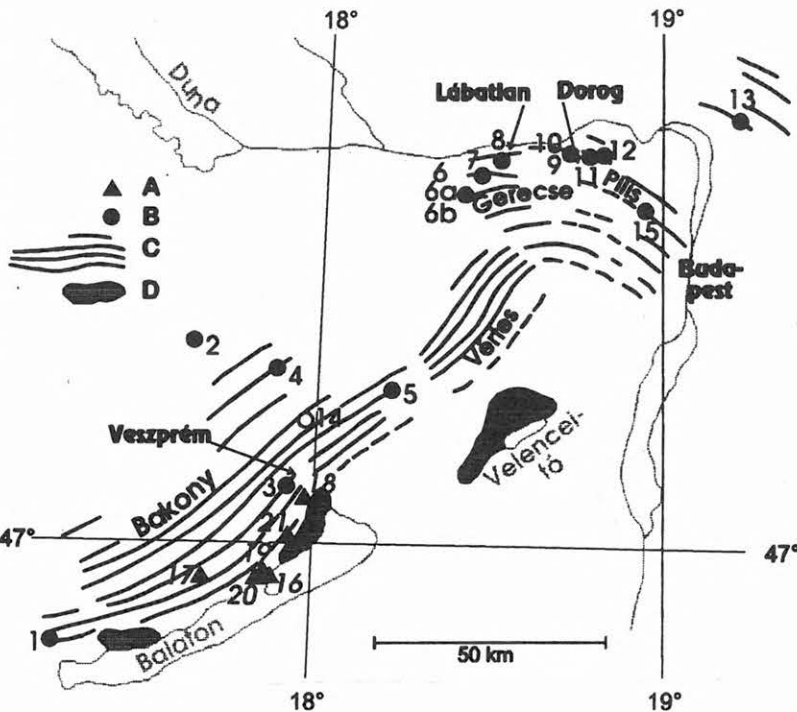
2. Akkor is sikeres lehet a mélyfűrés magok reorientálása, ha a dőlésszög kicsi (pl. a T5 fűrésben 10°).

Magneto-ciklosztratigráfiai vonatkozásban a remanencia intenzitása éppúgy, mint a mágnesezés szuszceptibilitás jól korrelálhatónak bizonyult a Lofér-ciklus tagjaival; polaritásváltást szinte mindig kondenzált ciklushatárokon figyeltünk meg, ami jelentős üledékhézagra utal; sztratigráfiai korreláció a polaritás és a mágnesezés paraméterek együttes alkalmazásával lehetséges.

Tektonikai alkalmazási területén a főbb eredmények a következők:

1. A Dunántúli-középhegység hajlítási modelljét paleomágneses adatok nem támasztják alá, éppen ellenkezőleg, a deklináció térbeli eloszlása az ellenkező tendenciát jelzi, szakadással a Dorogi medence körzetében (2. ábra).

2. Perdöntő bizonyítékot nyertünk egy Afrikától független Adriai mikrolemez létezésére, amely Afrikához képest óramutató járásával ellentétesen fordult el az eocén óta; ezenkívül egy új, paleomágnesesen definiált Dinári Egység is körvonalaztunk az Adriai mikrolemeztől északra.



1. ábra. Triász mintavételi helyek a Dunántúli-középhegységben és a Duna-balparti rögökben. Jelmagyarázat: A: alsó triász mintavételi helyek; B: felső triász mintavételi helyek; C: mezozoós képződmények csapásváltozása; D: paleozoós képződmények

Fig. 1. Triassic sampling localities in the Transdanubian Central Range and in the Transdanubian Central Range type basement, at the left side of the river Danube.

Key: A: lower Triassic localities; B: upper Triassic localities; C: change in strike of the Mesozoic; D: Paleozoic rocks

3. Kimutattuk, hogy a görögországi Parnassos Egység általános óramutató járásával egyező irányban (90°-os) rotált a Kréta vége óta.

A TÉMÁHOZ KAPCSOLÓDÓ ELŐADÁSOK:

MÁRTON E., PAPANIKOLAOU D. J. 1994: Preliminary palaeomagnetic results from the Parnassos unit Greece: Late Jurassic through Eocene. Palaeomagnetism in the Mediterranean Region, Sep. 27–29, London

DROBNE K., OGORELEC B., LOWRIE W., MÁRTON E. 1994: Shallow benthic fauna: Their extinction and survival on the K/T boundary, Adriatic Platform, Slovenia. New Developments Regarding the K/T Event and Other Catastrophes in Earth History, Feb. 9–12, Houston

DROBNE K., OGORELEC B., LOWRIE W., MÁRTON E. 1994: Shallow benthic faunas. Its extinction and survival on the K/T boundary. Adriatic Platform, Slovenia. IGCP 268 Early Paleogene Benthos. 4th meeting, Sep. 7–11, Aspet

¹ Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17–23.

DROBNE K., OGOROLEC B., LOWRIE W., MÁRTON E. 1994: Shallow benthic faunas — its extinction and survival on the K/T boundary, Adriatic Platform, Slovenia. 1er Congres Français de Stratigraphie CFS '94, Sep. 12–15. Toulouse

MÁRTON E., DROBNE K. 1995: Separation of the Adriatic and Dinaric terranes on the basis of paleomagnetism. XV. Congress of the Carpatho-Balkan Geological Association, Sep. 17–20, Athens

MÁRTON E., DROBNE K., CIMERMAN F., COSOVIC V., KOŠIR A. 1995: Paleomagnetism of Late Maastrichtian Through Oligocene rocks in Istria, the Karst region and South of the Sava Faults. 1st Croatian Geological Congress, Oct. 18–21, Opatija

DOLENEC T., CUCCHI F., GIACOMICH R., MÁRTON E., OGOROLEC B., DROBNE K. 1995: Abiotic characteristic of carbonate rocks from K/T boundary on the karst area (isotopes, geochemistry, geochronology and paleomagnetism) 4th international Workshop of the ESF Scientific Network in „Impact Cratering and Evolution of Planet Earth”, May 12–17, Ancona

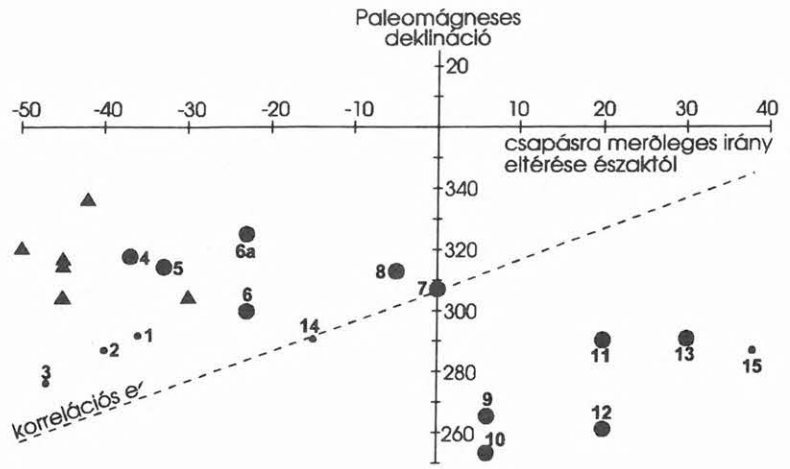
DROBNE K., OGOROLEC B., DOLENEC T., MÁRTON E., PALINKAS L. 1996: Biota and Abiota at the K/T Boundary in the Dolenja Vas Sections, Slovenia. European Science Foundation, The Role of Impact Processes in the Geological and Biological Evolution of Planet Earth, Sep. 27–Oct. 2, Postojna

DROBNE K., OGOROLEC B., DOLENEC T., MÁRTON E., PUGLIESE N., CAFFAU M. 1996: Cretaceous–Tertiary boundary: on the carbonate platform of the NW part of the Adriatic Plate. The Cretaceous–Tertiary Boundary: Biological and Geological Aspects. Societe Geologique de France, Dec. 2–3, Paris

MÁRTON E. 1996: The Bending model of the Transdanubian Central Range in the light of paleomagnetic data. New Trends in Geomagnetism, 5th biennial meeting. July 19–24, Topolcianky, Slovakia

MÁRTON E. 1996: Paleomagnetic approach to the (suspect) terranes of the Alpine–Carpatho–Pannonian area and the NW part of the Adriatic–Dinaric region. European Geophysical Society. May 6–10, The Hague

MÁRTON E. 1997: Magnetic Properties associated with Early and Late Diagenesis in Platform Carbonates. Paleomagnetism and Diagenesis in Sediments. Oct. 1–2, London



2. ábra. Paleomágneses deklinációk a Dunántúli-középhegység triászából a csapás függvényében. A korrelációs egyenes a várható deklinációkat mutatja akkor, ha a deklinációk a csapásváltozástól függnének. Kisebb pontokkal jelzett helyek mágnesezettsége nem elsődleges

Fig. 2. Paleomagnetic declinations as a function of the strike in the Transdanubian Central Range. The correlation line shows the expected declinations granted that the declinations are related to the change in strike. Small dots indicate locations with secondary remanence

A TÉMÁHOZ KAPCSOLÓDÓ CIKKEK

MÁRTON E., DROBNE K., CIMERMAN F., COSOVIC V., KOŠIR A. 1995: Paleomagnetism of Latest Maastrichtian Through Oligocene Rocks in Istria (Croatia), the Karst Region, and S of the Sava Fault (Slovenia). First Croatian Geological Congress, Oct. 18–21, Opatija, Croatia. Proceedings 2, 355–360

MÁRTON E., HAAS J. 1996: Ancient platform carbonates with well-developed Lofer-cyclicity: new candidates for magnetostratigraphy and geodynamically oriented paleomagnetism. Geophysical Journal International 126, 253–262

MÁRTON E. 1998: The bending model of the Transdanubian Central Range (Hungary) in the light of Triassic palaeomagnetic data. Geophysical Journal International 134, 625–633

MÁRTON E. 1998: Diagenesis in platform carbonates: a palaeomagnetic study of a late Triassic — early Jurassic section, Tata (Hungary). From: TARLING D. H., TURNER P. (Eds), Palaeomagnetism and Diagenesis in Sediments. Geological Society, Special Publications

MINDSZENTY Andrea,
MÁRTONNÉ SZALAY Emőke



A gravitációs értelmezés megbízhatóságát fokozó elméleti vizsgálatok

STEINER FERENC¹ (témavezető), HAJAGOS BÉLA¹, KOVÁCSVÖLGYI SÁNDOR²

F. STEINER, B. HAJAGOS, S. KOVÁCSVÖLGYI: Theoretical investigations on the reliability of gravimetric interpretation

OTKA nyilvántartási szám: T 7388

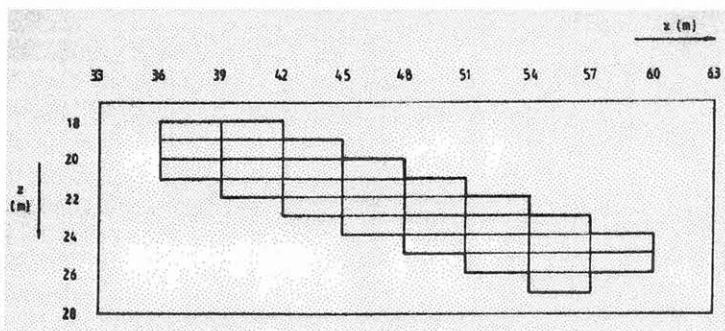
A gravitációs inverzió csak a priori adott hatómodell esetén számít rutinfeladatnak, kutatómunkánk ezért zömmel az ismeretlen hatóalak invertálásának problematikus esetének vizsgálatát tűzte ki célul.

A bemutatott, vízzel telt üreget feltételező példában a graviméteres szelvényen kívül csak a kétdimenziós jelleg és a konstansnak tekintett közetsűrűség értéke számított járulékos információ. Az 1. ábra elemi hasábok összességéként adja meg a feltételezett üreget; ennek méterenkénti graviméteres hatásaira reális hibát szuperponáltunk. A 2. és 3. ábrán egyaránt feltüntetett, 110 db elemi hasáb sűrűségét tekintettük ismeretleneknek.

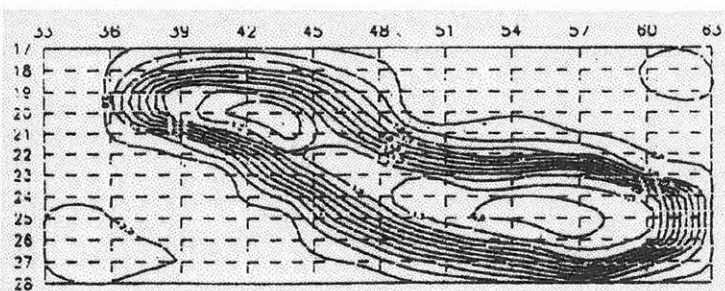
A 110 ismeretlen meghatározása három követelményrendszer együttes teljesítésével történt meg. Első követelés természetesen az, hogy a sűrűségeloszlás lehetőleg pontosan adja vissza a szimulált mérési adatokat. Ehhez két regularizáló követelményrendszer csatlakozott: az egyikben minden elemi hasábra a kőzet és a víz átlagos sűrűségét követeltük meg valamilyen súllyal, egy más súllyal pedig a szomszédos elemi hasábok azonos sűrűségét posztuláltuk. Az eredmények persze a választott súlyoktól függenek, azonban minimális reziduálok a súlypárok jelentősen különböző eseteinél adódtak. Az ezen esetekhez adódó sűrűségértékeket (bemutatott esetünkben 25–25 adatot) átlagoltuk és ezt az értéket rendeltük az illető elemi hasábnak; a második ábra izovonalrendszerrel szemlélteti a kapott eredményeket. Mivel a 2 t/m^3 -esnek felvett közetsűrűségtől a víz 1 t/m^3 -es sűrűségéig a regularizációs feltételek miatt adódott folyamatosnak az átmenet, logikus volt az $1,5 \text{ t/m}^3$ -es sűrűségértékhez tartozó izovonalat az inverzió végeredményének tekinteni (3. ábra).

A fentiek HAJAGOS Béla és STEINER Ferenc kutatómunkájának eredményei.

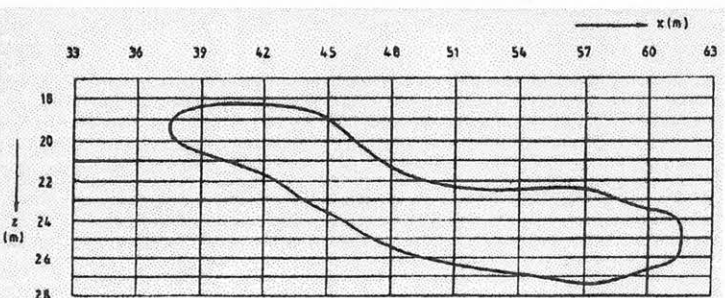
KOVÁCSVÖLGYI Sándor e munka keretében gravimetriai adatokból számított látszólagos sűrűség-adatok statisztikai feldolgozásán alapuló sűrűségmeghatározó módszert dolgozott ki. A módszert egyes kutatóhelyeken rutinszerűen alkalmazzák. A részletek a következő dolgozatban találhatóak: *Felszínközeli képződmények sűrűségének számítása gravimetriai adatokból (esettanulmány)*. Magyar Geofizika 37, 1, 38–45. old. (1996).



1. ábra
Fig. 1



2. ábra
Fig. 2



3. ábra
Fig. 3

¹ Miskolci Egyetem, H-3515 Miskolc, Egyetemváros

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

Délkelet-Magyarország nagyszerkezete tektonikai elemeinek térbeli vizsgálata mélyszeizmikus mérések alapján

BODOKY TAMÁS¹

OTKA nyilvántartási szám: T 7504

A PGT-1 szelvény (1. ábra) D-i részén mért szeizmikus, magnetotellurikus, geotermikus, mágneses és gravitációs adatok komplex értelmezéséből az alsó kéreg, a kéreg–köpeny és a litoszféra–asztenoszféra határ felboltozódására lehetett következtetni [POSGAY et al. 1995].

A területen 1992-ben nemzetközi együttműködésben végzett szeizmikus mérésekkel folytatódott a kutatások. Számos intézmény kutatói működtek közre a kísérlet tervezésében, kivitelezésében, az adatok feldolgozásában és értelmezésében:

- Continental Geoscience Division, Geological Survey of Canada,
- Department of Geological Sciences, University of Saskatchewan (Canada),
- Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (ELGI, témavezető kutatóhely),
- Institut für Geophysik, Eidgenössische Technische Hochschule (Switzerland),
- LITHOPROBE (kanadai litoszférakutató tudományos társulás),
- MOL Magyar Olaj- és Gázipari Rt.

A PGT-4 menti kismélységi mélyreflexiók és a magnetotellurikus adatok a Békési medence alatt a kéreg–köpeny és a litoszféra–asztenoszféra határ rendkívüli feldomborodását jelzik. A Hódmezővásárhely–Makói ároktól kissé Ny-ra a kéreg–köpeny és a litoszféra–asztenoszféra határ kis kiemelkedése figyelhető meg [POSGAY et al. 1996]. Jéna keretében végzett vizsgálatok során a medencefejlődés főbb tektonikai elemeinek térbeli elhelyezkedését közelítően meghatározva olyan térbeli medencefejlődési modellt alakítottunk ki, amelynek alapját a szeizmikus reflexiók szelvényeken az asztenoszféraig követhető mély nyírási zónák alkotják [POSGAY et al. 1997]. Ezek az enyhe dőlésű nyírási zónák (amelyeket B-vel jelöltünk a 2. ábrán) ÉK-nek lejtnek Ny (a Dorozsmai és a Hódmezővásárhely–Makói árok) felől és DNy-nak K (a Belényesi és Báródi árok) felől (1. ábra). Ezen zónák mentén jelentős (több km-es) elmozdulás történt mind a szinrift, mind a posztrift fázisban a (Békési és Zarándi medencék alatt) kis mélységbe felemelkedett, központi asztenoszféra magaslat felé. A közel ellentétesen elmozduló blokkok között (a központi részen) meredek dőlésű, ÉÉK–DDNy irányú nyírási zónarendszer alakult ki (amit A-val jelöltünk a 2. ábrán).

T. BODOKY: Determination of the spatial position of the main tectonic elements of South East Hungary by deep seismic data

Integrated interpretation of seismic, magnetotelluric, regional geothermal, geomagnetic and gravity data along the southern part of the seismic reflection profile PGT-1 (Fig. 1) revealed an updoming in the lower crust, the crust–mantle and the lithosphere–asthenosphere boundary, as well as magmatic intrusions which protrude as high as the upper crust beneath the Békés Basin [POSGAY et al. 1995].

On that area the investigations were extended in 1992 through an international seismic experiment along the PGT-4 profile (Fig. 1). Researchers from a number of institutions contributed to the planning, execution, processing and interpretation of the data set:

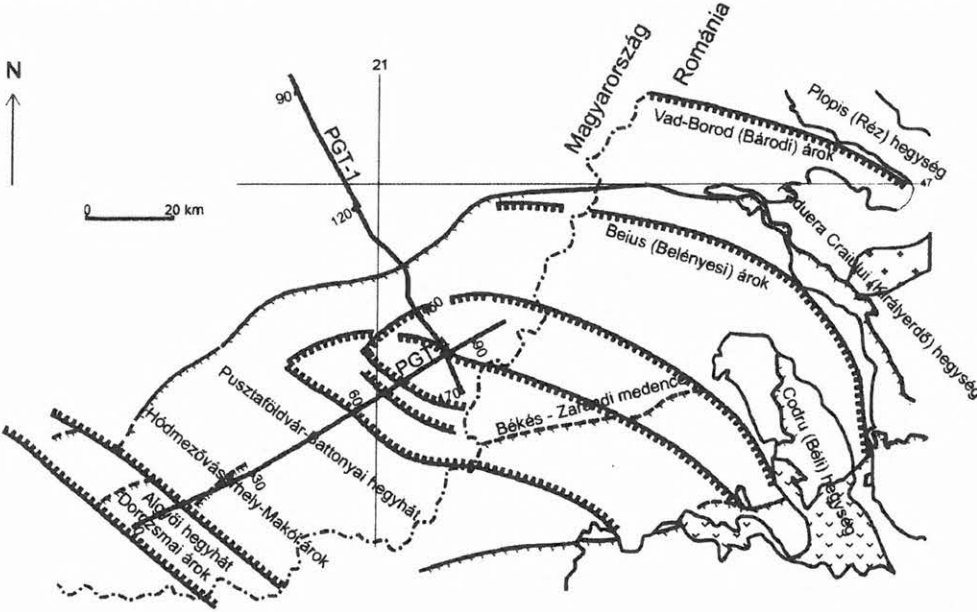
- Continental Geoscience Division, Geological Survey of Canada (Canada),
- Department of Geological Sciences, University of Saskatchewan (Canada),
- Eötvös Loránd Geophysical Institute (Hungary),
- Hungarian Oil and Gas Company Ltd. (MOL Rt),
- Institut für Geophysik, Eidgenössische Technische Hochschule (Switzerland),
- LITHOPROBE (Canada).

The results of the low-frequency deep reflection and magnetotelluric data along the PGT-4, beneath the Békés Graben also indicated an anomalous domal uplift of the crust–mantle and the lithosphere–asthenosphere boundary. Beneath the Hódmezővásárhely–Makó Graben both the crust–mantle and the lithosphere–asthenosphere boundaries form a minor uplift slightly westward from the Hódmezővásárhely–Makó Graben [POSGAY et al. 1996].

By an approximate determination of the spatial position of the main tectonic elements we established a spatial model of basin evolution based on deep shear zones which can be traced on seismic reflection sections down to the asthenosphere [POSGAY et al. 1997]. These slightly dipping shear zones (marked by B on Fig. 2) are slanting to NE in the W (Dorozsma and Hódmezővásárhely–Makó Grabens) part and to SW on the E (Beius and Vad–Borod Grabens) part (Fig. 1). Along those substantial (several kilometres long) displacements took place in both the synrift and posztrift phases towards a domal uplift of the asthenosphere updoming to little depth at the central (Békés and Zarand Basins) part. A system of steeply dipping shear zones with NNE–SSW strike were formed (beneath the central part) between the blocks moving in nearly opposite directions (marked by A on Fig. 2).

¹ Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17–23.

Az 1992-ben, nemzetközi együttműködésben készült, mélyreflexiós PGT-4 szelvény a fiatal üledékektől az asztenoszféraig érdekes eredményeket adott. Az Erdélybe is áthúzódó, DK-magyarországi fiatal medence- és árokrendszer (1. ábra, GYÖRFI [1994] után) fő nyírési zónái — feltevésünk szerint — az asztenoszféraig, vagy annak közeléig nyúlhatnak le [POSGAY et al. 1996]. Az OTKA téma keretében a nyírési zónák térbeli paramétereinek meghatározását kíséreltük meg.



1. ábra. DK-Magyarország és az Erdélyi Középhegység szerkezet földtani térképén [GYÖRFI 1994 nyomán] a mélyszizmikus [POSGAY et al. 1996] szelvények helyszínrajza

Fig. 1. The locations of the deep seismic profiles [POSGAY et al. 1996] shown on the tectonic map of SE Hungary and the Transylvanian Central Range [after GYÖRFI 1994]

A színrift üledékek vékony volta és az alaphegységi reflexiók minősége a szeizmikus szénhidrogén-kutató szelvényeken nehezzé teszi a mezozoós árok szerkezetének és az alaphegységi vetőknek biztonságos felismerését [GROW et al. 1989, 1994]. A különböző szelvényeken feltételezhető törések közül az azonos töréshez tartozók meghatározása — a gyakorlatban használt eljárással — bizonytalan, különösen akkor, ha a szelvényháló ritka és a szelvények sokféle irányban haladnak. A litoszféra-kutató szelvényeken a törések, nyírési zónák hosszabban figyelhetők meg, de a szelvények közötti távolság miatt a feltételezhető nyírési zónák összetartozásának felderítésekor több lehetőség közül választhatunk. A vázolt bizonytalanságok csökkentésére a törések, nyírési zónák bejelöléséhez és a különböző szelvényeken látható nyírési zónák összetartozásának meghatározására — térbeli elhelyezkedésük közelítő paramétereiknek felhasználásával — új eljárást dolgoztunk ki [POSGAY et al. 1997].

A felületek elhelyezkedési paramétereinek vizsgálata az egyes zónák szelvények közötti azonosítását megkönnyítette, de nagyobb távolság esetén mégis feltételezhető volt, hogy nem összetartozó, vagy közel párhuzamos — egymástól kis távolságra húzódó — zónákat kötöttünk össze. A hibalehetőség csökkentésére ezért a térbeli értelmezéshez — a mélyreflexiós szelvényeken kívül — igyekeztünk publikált szénhidrogén-kutató szelvényeket is felhasználni.

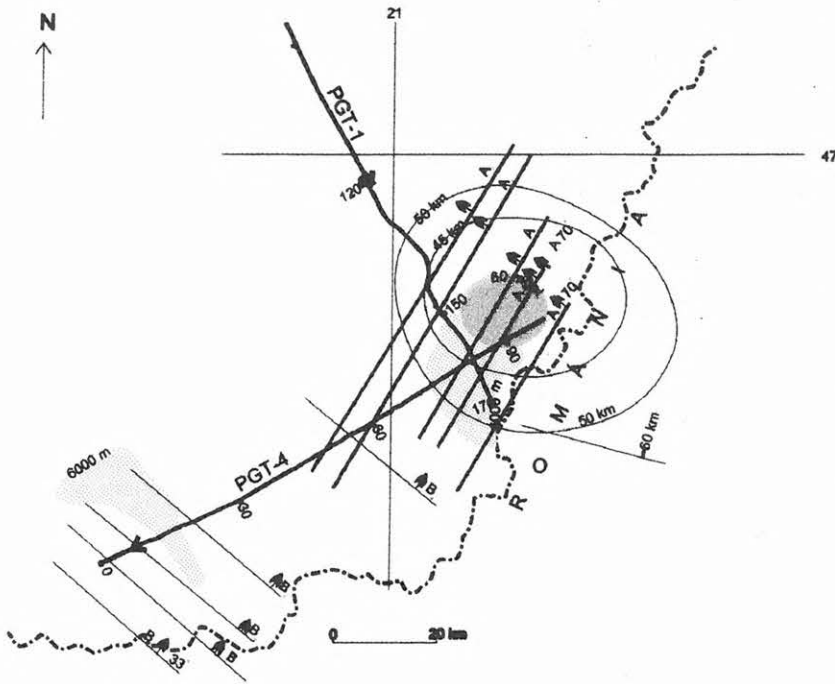
A medencefejlődés főbb tektonikai elemeinek térbeli vizsgálatával — az Erdélybe is áthúzódó DK-magyarországi, NyDNy–KÉK irányú süllyedéksor Ny-i (Dorozsmai és Hódmezővásárhely–Makói árok felőli) részén levő — ÉÉK-i dőlésű, enyhe lejtésű (a 2. ábrán B jelzésű) nyírési zónák paraméterein kívül egy — ezek csapására közel merőleges (a 2. ábrán A jelzésű) — meredek nyírési zónarendszer paramétereit is meghatároztuk. GYÖRFI [1994] értekezése alapján feltételeztük, hogy a K-i

területen a Belényesi és Báródi árok keletkezése (1. ábra) DDNy-i, enyhe dőlésű nyírési zónák menti — a központi (Békési és Zárandi medencék alatti) részen kis mélységbe felnyúló asztenoszféra magaslat felé történt — elmozdulások következménye. A közel ellentétesen elmozduló részek között (a központi részen) meredek dőlésű nyírési zónarendszer alakult ki. Az A nyírési zónák NyÉNy-i dőlése folytán a Hódmezővásárhely–Makói árok felől a B zónákon csúszó tömbök valószínűleg rátolódásokat okoztak az A nyírési zónák Ny-i felén, míg a K-i részen a fordítottja történhetett. A feltolódásokra következtethetünk a reflexiós felületelemeknek a nyírési zónák menti lekanyarodásából.

Lokálisan lehetséges a jelenségek területileg fordított megjelenése is.

A területi vizsgálatok rendkívül érdekes, új eredménnyel is gazdagították a korábbi képet [POSGAY et al. 1996], amelynél a közismert medence modellekhez hasonlóan az elmozdulásokat a szelvény mentén vizsgáltuk. A medencét kialakító elmozdulások vizsgálatához készítettük a 2. ábrát. Ezen a mélyreflexiós szelvényeket, az A és B nyírési zónarendszert, továbbá a Hódmezővásárhely–Makói árok és a Békési medence környéki pretercier korú medence aljzata nagy bemélyüléseit, — az alsó kéreg és a kéreg–köpeny határ feldomborodását jelző [POSGAY et al. 1995, 1996], medencehatással korrigált — gravitációs anomáliát [KOVÁCSVÖLGYI 1994, 1995], valamint az asztenoszféra magaslatot vázoltuk fel. Romániai oldalon feltüntettük a Chișineu Criș és Galați közötti integrált szelvény Ny-i részén közölt asztenoszféra mélység értékeket is [RÁDULESCU et al. 1985, POPESCU, LAZARESCU 1988], amelyek jelzik, hogy a litoszféra–asztoszféra határ a Pannon-medence felé meredeken emelkedik.

Az ismertetett kutatások nemzetközi viszonylatban is új eredményre vezettek. A szakirodalomban található medencefejlődési modellek alapját a litoszféra-kutatás geofizikai, földtani és laboratóriumi eredményei adták. Ezeket az eredményeket az ELGI-nek — a kisfrekvenciás reflexiós terepi és feldolgozási metodikával — végzett



2. ábra. A PGT-1 és PGT-4 mélyreflexiók szelvényeket és az A és B nyírási zónarendszert ábrázoló helyszínvázlaton feltüntettük a Hódmezővásárhely–Makói árok és a Békési medence pretercier korú medence aljzatának 6000 m mélységű szintvonalát [KILÉNYI et al. 1991], — az alsó kéreg és a kéreg–köpeny határ feldomborodására jellemző [POSGAY et al. 1995, 1996], — medencehatással korrigált gravitációs anomália 60 mgal-os szintvonalát [KOVÁCSVÖLGYI 1994, 1995] és a Békési és Zarándi medencék alatti asztenoszféra magaslat 45 és 50 km mélységű szintvonalát. Ezenkívül a romániai oldalon feltüntettük még a Chişineu Criş és Galaţi szelvény Ny-i részén közölt asztenoszféra mélység értékeket is [RĂDULESCU et al. 1985, POPESCU, LAZARESCU 1988], mert ezek is jelzik, hogy a litoszféra–asztoszféra határ a Pannon-medence felé meredeken emelkedik

Fig. 2. The sketch shows the location of the deep reflection profiles PGT-1 and PGT-4, as well as the system of shear zones A and B, the contour line of 6000 m in the pre-Tertiary bottom of the Hódmezővásárhely–Makó Graben and the Békés Basin [KILÉNYI et al. 1991], the 60 mgal contour line of the gravity anomaly corrected for basin effect [KOVÁCSVÖLGYI 1994, 1995], which is characteristic for the domal uplift of the lower crust and the crust-mantle boundary [POSGAY et al. 1995, 1996] and the contour lines of 45 km and 50 km of the asthenosphere elevation beneath the Békés and Zaránd Basins. In addition, on the Rumanian side also depth values of the asthenosphere published on the W part of the Chişineu Criş and Galaţi profile [RĂDULESCU et al. 1985, POPESCU, LAZARESCU 1988] are presented, which indicate that the lithosphere-asthenosphere boundary is steeply elevating towards the Pannonian Basin

kutatásai új színnel gazdagították: az asztenoszféraig feltárt litoszféra szerkezetéből vonhattuk le a következtéseinket. Az ebben a dolgozatban leírt eredmények újdonsága a PGT-4 szelvény irányában végzett értelmezéshez [POSGAY et al. 1996] képest a központi medencék környékén meghatározott, az asztenoszféra mélységéig lenyúló, meredek dőlésű, — a dolgozatban A-val jelölt — nyírási zónarendszer.

Az ismertetett mélyreflexiók kutatási eredmények a neogén medence fejlődése főbb szerkezeti elemeinek meghatározásával segítik a békési neogén süllyedéskor kifejlődésének jobb megértését is. Lehetővé teszik, hogy a folyadékok, gázok, szerkezeti csapdák elhelyezkedését kialakító hő és mechanikus folyamatokra az eddigieknél pontosabban következtessünk. A nagy mélységbe lenyúló szerkezeti elemek meghatározásával új adatokat kaptunk a preneogén korú medencealjzat szerkezetének megismeré-

séhez is. Az A-val jelölt nyírási zónarendszer meghatározása, továbbá az a feltevéseink, mely szerint eme zónarendszer jelentős része nyomásos övet képezhet, új megvilágításba helyezte a területen — a szénhidrogén-kutató szeizmikus mérések során — észlelt „kisfrekvenciás” reflexiók beérkezéseket [GROW et al. 1989, 1994]. Ezek az A-val jelzett nyírási zónáknál csapdázódott szénhidrogén-felhalmozódásokat is jelenthetnek. Az ilyen és ezekhez hasonló szerkezetek részletesebb tanulmányozásához további vizsgálatok szükségesek, potenciális gazdasági jelentőségük mérlegelése céljából.

Köszönetnyilvánítás

A kutatások a T 7504 OTKA téma keretében folytak. Ezúton is köszönöm POSGAY Károlynak, BARDÓCZ Bélának, ALBU Istvánnak, GUTHY Tibornak, HEGEDŰS Endrének, TAKÁCS Ernőnek, RÁNER Gézániának és BANCIU Gábornénak az eredmények feldolgozásában, értelmezésében és publikálásában nyújtott segítségüket.

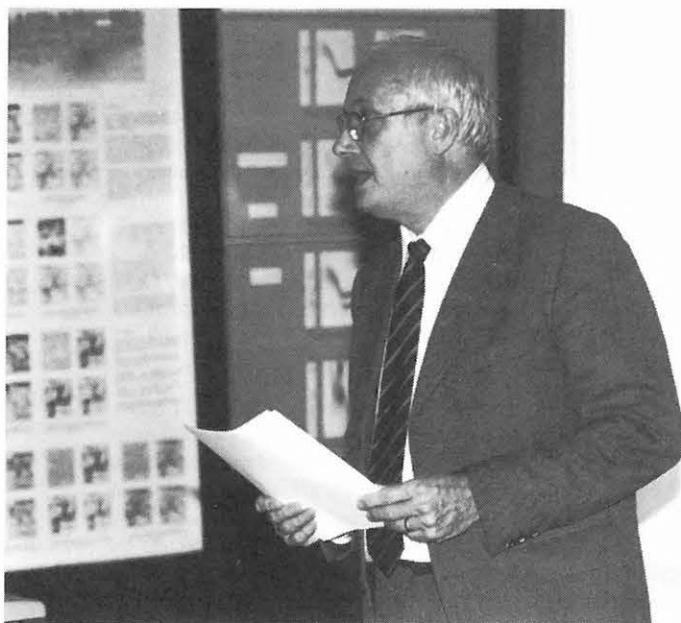
PUBLIKÁCIÓK

- BODOKY T. 1998: A litoszféra kutatása. Természet Világa. **129/II**, 6-10
- HEGEDŰS E., POSGAY K., TAKÁCS E. 1997: A comparison of basin evolution models derived from deep geophysical data. 59th EAGE Conference & Technical exhibition, Geneva. Extended Abstracts VI, P-105
- HEGEDŰS E., POSGAY K., TAKÁCS E. 1998: Determination of the spatial position of the main tectonic elements by deep seismic data in the Carpathian Basin. Abstracts of the 7th International Symposium on Deep Seismic Profiling of the Continents and their Margins. Barcelona, Spain, 131
- HEGEDŰS E., POSGAY K., TAKÁCS E. 1997: Medencefejlődési modellek összehasonlítása geofizikai mélyszondázási adatok segítségével. MGE. 26. Vándorgyűlés, Sopron. szept. 10–11. P2. poszter
- HORVÁTH F., ÁDÁM A., POSGAY K. 1998: A Pannon-medence kialakulása és szerkezetfejlődése. A Magyarhoni Földtani Társulat 150. Évfordulója. MTA
- KOVÁCSVÖLGYI S. 1995: DK-Magyarország gravitációs és földmágneses anomáliáinak értelmezése. Magyar Geofizika **36**, 3, 198-202
- POSGAY K., BARDÓCZ B., BODOKY T., ALBU I., GUTHY T., HEGEDŰS E., TAKÁCS E. 1997: A Hódmezővásárhely–Makói árok és a Békési medence nagymélységű nyírási zónái térbeli elhelyezkedésének közelítő meghatározása. Magyar Geofizika **38**, 2, 95-123
- POSGAY K., BODOKY T., HEGEDŰS E. 1998: Szeizmikus litoszféra- és asztenoszféra kutatás, eredmények és nyitott kérdések. Magyar Geofizika **39**, 3, közlés alatt

HIVATKOZÁSOK

- GYÖRFI I. 1994: DK-Magyarország és az Erdélyi Középhegység neogén medencéinek szerkezetfejlődése. Szakdolgozat. ELTE Földtani Tanszék, Könyvtár
- GROW J. A., POGÁCSÁS Gy., BÉRCZINÉ MAKK A., VÁRNAI P., HAJDU D., VARGA E., PÉRO Cs. 1989: A Békési-medence tektonikai és szerkezeti viszonyai. *Magyar Geofizika* 30, 2-3, 63-97
- GROW J. A., MATTICK R. E., BÉRCZI-MAKK A., PÉRO Cs., HAJDÚ D., POGÁCSÁS Gy., VÁRNAI P., VARGA E. 1994: Structure of the Békés basin inferred from seismic reflection, well and gravity data. *In: Basin analysis in petroleum exploration. (Eds.): TELEKI P. G., MATTICK R. E., KÓKAI J. Kluwer Ac. Pub. Dordrecht/Boston/London, 1-38*
- 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. *Geophys. Trans.* 36, 15-36
- KOVÁCSVÖLGYI S. 1994: A Békési medence gravitációs és földmágneses anomáliáinak értelmezése az újabb ismeretek tükrében. *Magyar Geofizika* 35, 2, 90-94
- POPESCU M. N., LAZARESCU V. 1988: Recent vertical crustal movements in Romania: Spatial and temporal variations. *Journal of Geodynamics* 9, 187-197
- 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 south-east Hungary. *In: Interplay of extension and compression in basin formation. (Eds.): CLOETINGH S., D'ARGENIO B., CATALANO R., HORVÁTH F., SASSI W. Tectonophysics* 252, 467-484
- POSGAY K., TAKÁCS E., SZALAI I., BODOKY T., HEGEDŰS E., JÁNVÁRINÉ K. I., TIMÁR Z., VARGA G., BÉRCZI I., SZALAY Á., NAGY Z., PÁPA A., HAJNAL Z., REILKOFF B., MUELLER St., ANSORGE J., DE IACO R., ASUDEH I. 1996: International deep reflection survey along the Hungarian Geotraverse. *Geophys. Trans.*, 40, 1-2., 1-44
- RĂDULESCU F., DEMETRESCU C., BITER M., ANDREESCU M., RĂILEANU V., ENE M. 1985: Lithosphere structure along the Galați-Chișineu Criș and Iași-Turnu Măgurele profiles. *Rev. Roum. Phys., Bucharest* 30, 2, 151-160

BODOKY Tamás



SZARKA László,
PÁLYI András
és BODOKY Tamás



Laza üledékek petrofizikai paramétereinek mérése agrogeológiai munkaterületekről származó anyagokon

ERKI IMRE¹ (témavezető), KALMÁR JÁNOS²

I. ERKI, J. KALMÁR: Measurement of petrophysical parameters on loose sediments

OTKA nyilvántartási szám: T 7605

A vizsgálandó anyagmintákat a MÁFI agrogeológiai kutatási területéről gyűjtöttük. Ezen területek:

- 1) Apajpuszta (1., 2. sz. minta)
- 2) Kunszentmiklós (3. sz. minta)
- 3) Szikszó (4., 5. sz. minta)
- 4) Gödöllő (6., 7. sz. minta, 8–10. sz. minta).

A munka első részét a kutatási területek „geológiai” vizsgálatai képezik (KALMÁR János), amelyek mintegy alapjai a fizikai vizsgálatoknak. Ezen első rész fő témáitjai: — mintavételi területek és minták leírása, földrajza, — mintavételi területek mélyföldtana és tektonikája, — a mintavételi helyek rétegoszlopai, a konkrét minták rétegsorai, — az üledékek geokémiai jellemzése, szedimentációs, mineralógiai vizsgálatok.

A fenti témák igen alapos és részletes feldolgozása a MÁFI és más intézmények színvonalas laboratóriumi vizsgálatain alapulnak komoly segítséget nyújtva a fizikai vizsgálatoknak.

A kutatási téma súlyponti részét a fizikai (laboratóriumi) vizsgálatok képezik, amelyek az alábbi területeket ölelik fel):

1) Elektromos paraméterek vizsgálata. Ezen belül a fő jellemzők:

- a fajlagos elektromos ellenállás (ρ)
- a relatív dielektromos állandó (ϵ)
- a veszteségi tényező ($\text{tg } \delta$)

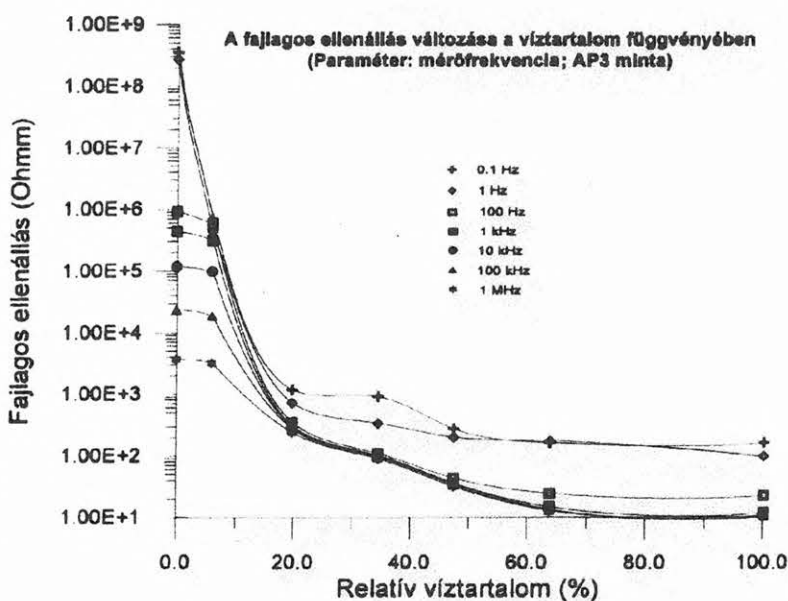
vizsgálatával foglalkoztunk. A fenti jellemzőket általában a frekvencia függvényében (1 Hz - 1 MHz), teljesen száraz $\eta=0\%$ és teljesen telített állapotban határozzuk meg, esetenként több víztartalom ($0 < \eta < 100\%$) mellett.

Az eredményeket mintegy harminc táblázatban foglaltuk össze. Az egyes paraméterek értékei (a változó anyagösszetétel, illetve a mérési körülmények miatt) igen széles határok között mozognak:

$$10 \Omega\text{m} < \rho < 10^7 \Omega\text{m}$$

$$2 < \epsilon_r < 10^6$$

$$10^{-3} < \text{tg } \delta < 50.$$



1. ábra. Fig. 1

Az eredmények demonstrálásához (a jelentéshez) tíz, esetenként 4–6 görbét tartalmazó ábra készült (pl. 1. ábra).

2) A termikus paraméterek meghatározása a

- hővezető-képességet (k)
- hőmérsékletvezető-képességet (κ) és a
- fajhőt (c) jelenti $\eta=0\%$; $\eta=100\%$ mellett, 9 mintán.

Az Apajpuszta 1. számú minta esetében minden paramétert 9 pontban határoztunk meg, a víztartalom (η) függvényében ($0\% \leq \eta \leq 100\%$). Az eredményeket három táblázatban foglaltuk össze, demonstráló ábrával (2. ábra). A változó körülmények között az egyes paraméterek értékei az alábbi határok között mozogtak:

$$0,36 \text{ (W/mK)} < k < 2,42 \text{ (W/mK)}$$

$$1,6 \cdot 10^{-7} \text{ (m}^2\text{/s)} < \kappa < 4,9 \cdot 10^{-7} \text{ (m}^2\text{/s)}$$

$$1,17 \cdot 10^3 \text{ (J/kgK)} < c < 3,4 \cdot 10^3 \text{ (J/kgK)}$$

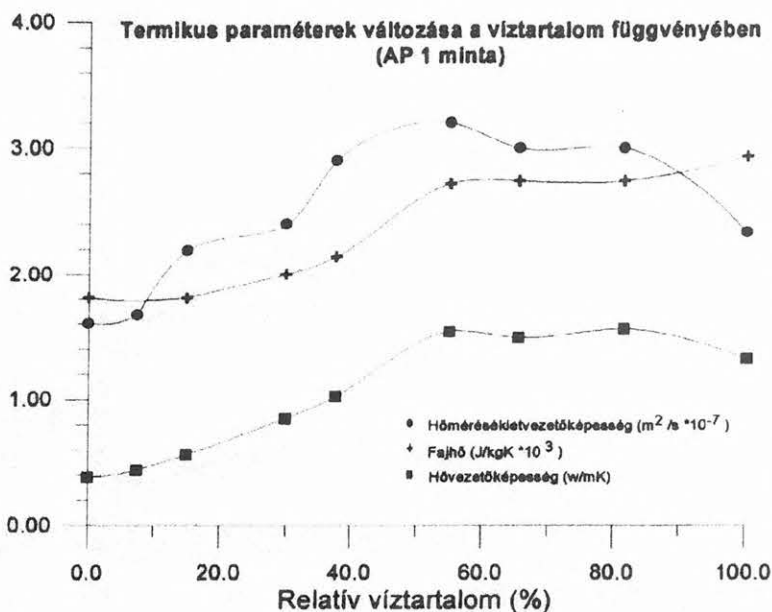
A paraméterek meghatározásának relatív hibája (δ): $\delta < 8\text{--}12\%$.

3) Rugalmas (P -) hullámok terjedési sebességének meghatározását (v_p) változó víztartalom mellett ($0\% \leq \eta \leq 100\%$) végeztük 9 mintán. Az értékek a $340 \text{ (m/s)} < v_p < 1600 \text{ (m/s)}$ (Szikszó 4. sz. minta) értékek között változtak. A meghatározás hibája: $\delta v_p < 3\text{--}5\%$.

A gödöllői 6. számú mintán a v_p nyomásfüggését, míg a G7 minta esetében a v_p - η relatív nedvességtartalom függést is vizsgáltuk.

¹ ELTE Geofizikai Tanszék, H-1083 Budapest, Ludovika tér 2.

² Magyar Állami Földtani Intézet, H-1143 Budapest, Stefánia út 14.



2. ábra. Fig. 2

4) A talajminták radioaktivitását Ge-detektoros gamma-spektrométerrel vizsgáltuk. Az apajpusztai és szikszói mintáknál az urán-, illetve a tórium sor tagjait (minden spektrumvonalával) kimutattuk. Nagy biztonsággal kimutatható volt a K-40-es izotóp is, mindegyikük a természetes feldúsulás szerint.

A kunszentmiklósi (3. számú minta) és szikszói talajmintákban jól kimutatható volt a Cs-137 jelenléte mintegy $A \leq 26,7$ Bq/kg aktivitás koncentrációval.

A fentiek összegzéseként megállapíthatjuk:

a) A vizsgált paraméterek fontosak (és érdekesek) a gyakorlati geofizika, a mezőgazdaság (talajok, hőháztartás, öntözés), a környezetvédelem számára.

b) A vizsgált talajminták (rétegsorait is figyelembe véve!) csak egy részére jellemzőek az eredmények.

c) Célirányos kutatások minden vizsgált paraméternél új, konkrét eredményt hozhatnak (esetleg más paramétereket — pl. GP, hőmérsékletfüggés stb. — is mérve).

ERKI Imre



A hallgatóság



Tranziens geomágneses jelenségek jelalakvizsgálata

STEINER TIBOR¹ (témavezető), WESZTERGOM VIKTOR¹, ZIEGER BERTALAN¹

T. STEINER, V. WESZTERGOM, B. ZIEGER: Signal analysis of transient geomagnetic phenomena

OTKA nyilvántartási szám: T 7640

A geomágneses indexek meghatározása, a tranziens jelenségek kiválogatása, osztályozása úgy történik, hogy a kiértékelő a grafikus megjelenített idősort egy olyan mintához hasonlítja, melyet a tapasztalat alakított ki. Célnk ennek a szubjektivitást sem nélkülöző gyakorlatnak az algoritmizálása, kiváltása volt. Mintaesemények halmazából faktoranalízissel kiemeltük a legfőbb morfológiai jegyeket, illetve az ezeket hordozó eseményeket. Ezek az események képzik az osztályozási kritérium meghatározásának — a tanulási folyamatnak — az alapadatait. Az osztályozáshoz a *perceptron neuron modellt* választottuk. Többretegű neuron modell egyidejűleg több jelenségtípus felismerését is lehetővé teszi.

A Nagycenki Geofizikai Observatórium 1957 óta folyamatos, egyedülállóan hosszú adatsora lehetővé teszi a geomágneses pulzációs aktivitás, a naptevékenység és a napszél-paraméterek kapcsolatának vizsgálatát. A nagyon hosszú idősorokra a Welch-féle módszerrel becslött spektrális sűrűségfüggvényt használtuk az átlagos spektrum számítására. Az erővonal rezonancia eredetű hullámokat az upstream hullámoktól három állomásból álló hálózat adatait felhasználva, optimum szűréssel sikerült elkülöníteni.

1. Aktivitási mértékek valós idejű meghatározása, tranziens jelenségek osztályozása

A K index automatikus meghatározása

Az indexek közül a legszélesebb körben használt és számunkra is a legfontosabb a *K* index, amelyet BARTELS kezdeményezésére 1938 óta határoznak meg. A *K* indexről annyit kell tudni, hogy 3 órás időtartamra vonatkozik, a napi járás eliminálása után megmaradó legnagyobb és legkisebb érték különbségéből határozzák meg. Léptéke kvázilogaritmikus, 0–9 értékeket vehet fel. Figyelembe véve, hogy napjainkban a már több mint 50 éves, *K* indexekkel jellemzett idősor pótolhatatlan, további folyamatos meghatározását biztosítani kell. Mindinkább szükségessé vált alkalmas számítógépes eljárás kidolgozása. Az index automatikus meghatározásának nehézsége abban van, hogy a napi járást eliminálni kellene, a napi járás pedig fizikailag definiálatlan.

Az indexek meghatározását a történeti okok mellett más érvek is alátámasztják. A mágneses tér helyről helyre változik, regionálisan a vezetőképesség inhomogenitásaitól, globálisan pedig elsősorban a geomágneses szélességtől és a helyi időtől függ. A *K* index kvázilogaritmikus skáláját

minden obszervatóriumban a helyi adottságok figyelembevételével, tapasztalati úton határozták meg. Ez pedig implikálja, hogy a *K* indexek elvben függetlenek a Föld elektromágneses paramétereinek változásaitól csakúgy, mint a geomágneses szélességtől. Szemben tehát *B*, különböző helyen mért értékeivel, a *K* indexek összehasonlíthatók a primer források vonatkozásában.

Az IAGA V/5 munkacsoportja 1993-ban közzétette azoknak az algoritmusoknak a listáját, amelyeket alkalmasnak talált a *K* index automatikus meghatározására. A megfelelő algoritmus kiválasztását több mint 10 éves vita előzte meg. Ennek során az alábbi kritériumok fogalmazódtak meg a korábbi, sok szubjektív elemet is tartalmazó manuális eljárást felváltó módszerrel szemben:

— Maximálisan összhangban legyen a Bartels- (és Mayaud-)féle definíció alapján meghatározott index és az automatizált eljárás eredménye. Szakítani kellett tehát azzal az elképzeléssel, hogy az „új” *K* index fizikai tartalommal bírjon.

— Az automatikus eljárással szemben sem várható el jobb egyezés, mint amit két gyakorlott kiértékelő képes elérni, ugyanazon adatsor esetén.

— Az eljárásnak alkalmazhatónak kell lennie a különböző geomágneses szélességeken, ami a standardizálást biztosíthatja.

Az obszervatórium aktivitási indexének automatikus meghatározása céljából az IAGA ajánlásaiban rögzített algoritmusok összehasonlítását elvégeztük a Nagycenki Geofizikai Observatórium adatain. Megvizsgáltuk az eljárásokat eltérő geomágneses szélességeken, valamint a mágnesesen nyugodt, ill. zavart napok vonatkozásában is. Az FMI (SUCKSDORFF et al. 1985, *Geophysical Transactions* 36, 97) algoritmust találtuk a legalkalmasabbnak. Ez az eljárás a nyugodt napi változást $K < 5$ esetben változó hosszúságú időablakban eliminálja, $K \geq 5$ esetben pedig elhagyja!

Tranziens jelenségek jelalakvizsgálata

A jelalakvizsgálat és -felismerés ma már csaknem száz éves múltra tekint vissza. PEARSON úttörő jelentőségű munkája *A tér pontjaihoz legjobban illeszkedő vonalakról és síkokról* 1901-ben jelent meg. A műszaki és természettudományok számos területén (a geofizikán belül elsősorban a szeizmikában és a karotázásban) komplex elméletek születtek a számítástechnika fejlődésével párhuzamosan. A jelfelismerés első lépése valamilyen invariáns mennyiség (függvénykapcsolat, annak geometriai reprezentációja, spektrális összetétel stb.) meghatározása. A felépített időbeli, térbeli struktúrák és ún. referenciastruktúrák össze-

¹ MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet, H-9401 Sopron, Pf. 5.

hasonlításával a modell finomítható. Egy, az invariánsokból felépített struktúra a jelenség(ek) egy-egy osztályát írja le, a végső fázis ezeknek az elkülönülő osztályoknak a meghatározása.

A geomágneses tranziens jelenségek jelalakvizsgálata során két olyan körülmény is van, ami a jelfelismerést rendkívül megnehezíti. Az első a geomágneses tér B , a második a történelmileg kialakult feldolgozási eljárások sajátágaiból adódik. B közelítőleg sem stacionárius, egyes intervallumok nyugodtak, máskor gyors változások vannak és a zaj jóval meghaladja a vizsgálni kívánt jel nagyságát. A jelfelismerés (különlegességek meghatározása) hagyományosan a kiértékelő tapasztalati modelljei alapján történik, egy-egy jelenségnek csak általános leírása ismert (az csupán verbálisan van meghatározva). (Az *aurorális substorm* pl. AKASOFU [1980] szerint „olyan megnövekedett energiadisszipáció, melynek során az aurorális elektrojet megerősödik, majd a nyugalmi szintre tér vissza”. Az SI nemzetközileg elfogadott meghatározás szerint olyan intervallum, melynek során a térerősség 5–15 perces intervallumban megnő, de SSC -nek nem tekinthető.) A jelfelismerés modelljei tehát definiálatlanok abban az értelemben, hogy strukturális invariánsokat nem jelölnek meg, ennek megfelelően a hagyományos eljárás nem is algoritmizálható. A geomágneses adatszolgáltatással szemben támasztott azon követelmény, miszerint az adatsornak folyamatosnak és homogénnek kell lennie, egy olyan adaptív automatikus eljárás kidolgozását teszi szükségessé, amelyik nem annyira a definíción, hanem inkább a kiértékelő tapasztalatain alapul.

Olyan véletlenszerűen kiválasztott, ún. mintajelenségeket vizsgáltunk, melyeket gyakorlott kiértékelők „ismertek fel” tapasztalati modelljük alapján. Az így összeválogatott mintában faktoranalízis segítségével kerestük a legfontosabb közös ismérveket.

A minta jellemzésére olyan új változókat (komponenseket) keresünk, melyekre a következő megkötéseket tesszük:

1. az eredeti változók lineáris kombinációi,
2. korrelálatlanok és négyzetösszegük = 1.

A hagyományos eljárással kiértékelt SI sorozatból a közös ismérveket (faktorokat) válogattuk ki. Fő ismérvek azokat a faktorokat tekintettük, melyekre a kovarianciamátrix sajátértéke nagyobb, mint 1. A százalékban kifejezett variancia kumulált összege a 7 fő faktorra 92%. Abban az egyszerű esetben, amikor az idősorban csupán egyfajta jelenséget keresünk (pl. SI), az idősort úgy transzformálhatjuk, hogy a transzformáció eredménye kétértékű — igaz vagy hamis (1 vagy 0) — legyen. A Matlab Neural Network Toolbox neuronmodelljei közül az ún. perceptron neuron alkalmazható az esemény osztályba sorolására. Feltételezve, hogy a keresett esemény és ellentette lineárisan szétválasztható, az osztályozáshoz ezt a hipersíkot kell megkeresnünk. Az osztályozási hipersík paramétereit a tanulási fázisban a fő ismérveket megtestesítő mintaeseményekkel határoztuk meg. Az így meghatározott döntési kritérium alapján a hagyományos eljárással meghatározott impulzusok 80%-a ismerhető fel. A nem felismert események egy része kis amplitúdójú, az effektivitás ezekben az esetekben normálással javítható, így a hagyományos és az automatikus eljárás 90%-os egyezése várható.

2. Geomágneses pulzációk digitális regisztrálása és feldolgozása

1994-ben megkezdődött a geomágneses pulzációk folyamatos digitális regisztrálása és az automatikus eljárásokkal, valamint az analóg regisztrátumok hagyományos kiértékelésével kapott eredmények összehasonlítása. A 0–2 perc periódusidő tartományra (pulzációk) jellemző aktivitási mérték — $K1$ index — automatikus előállításához az integrált jel teljesítményét határozzuk meg. A teljesítmény és a szubjektív, hagyományos kiértékelési eljárás eredményének megfeleltetésére konverziós formulát készítettünk. A 12 frekvenciasávra vektorszűréssel meghatározott $P1$ – $P12$ indexek értékelése folyamatban van.

A mágneses erővonalak átviteli függvényének, ill. válaszfüggvényének meghatározása optimum szűréssel

Bizonyos feltételek mellett az optimum szűrés segítségével akkor is meg tudjuk határozni az impulzusválaszfüggvényt, illetve az átviteli függvényt, ha nem ismerjük a gerjesztő forrást és csupán a felszíni pulzációs regisztrátum áll rendelkezésre. Az eljárás a szeizmikában *spike dekonvolúció* néven ismert. Ekkor a felszíni pulzációs regisztrátum a bemenet és a gerjesztő impulzusok a várt kimenet. Ha feltesszük, hogy a gerjesztés lineáris, a gerjesztő forrás fehér spektrumú, azaz az autokorrelációja a zérus időtolású hely kivételével mindenütt zérus, a gerjesztő forrás és a zaj korrelálatlanok és az impulzusválaszfüggvény egyoldalas, minimumfázisú és nem időfüggő, akkor a bemenet (a felszíni regisztrátum) autokorrelációjának ismeretében a dekonvolúciós optimumszűrő invertálásával kapjuk az eredményt. A válaszfüggvény Fourier-transzformáltja pedig megadja az átviteli függvényt. A módszert általánosítottuk komplex változókra úgy, hogy a felszíni regisztrátum északi, ill. keleti komponensét tekintettük a komplex változó reális, ill. imaginárius részének, így a válaszfüggvény polarizációját is meg lehet határozni. Az így számított válaszfüggvényre exponenciális lecsengő toroidális oszcillációt kaptunk a helyi erővonal rezonanciának megfelelő periódussal, ami Preseleenci, Nagycenk, ill. Niemegek esetében 15, 20, ill. 35 s-nak adódott. A módszer segítségével jól elkülöníthetjük az erővonal rezonanciát az upstream eredetű hullámoktól és lehetőség nyílik a polarizáció és a csillapítási tényező meghatározására is.

Idősorok spektrális sűrűségfüggvényének becslése a Welch-féle módszerrel

Egy digitális idősor teljesítményspektrumát legegyszerűbben úgy becsülhetjük, hogy kiszámítjuk a diszkrét Fourier-transzformáltját és az amplitúdó négyzetét vesszük. Ezzel az úgynevezett periodogrammal az a probléma, hogy nagy a szórása és ez akkor sem csökken, ha növeljük a minta elemek számát, azaz nem lesz „simább” a spektrum. A spektrum szórását úgy csökkenthetjük, hogy adott hosszúságú szakaszonként számítjuk a Fourier-transzformáltat és ezeket a részspektrumokat átlagoljuk. Minél több részspektrumot számítunk, annál kisebb lesz az átlagperiodogram szórása, viszont a jel hosszúsága korlátot szab a részspektrumok számának. A spektrum becslését úgy is javíthatjuk, hogy a Fourier-transzformáció előtt egy megfelelő ablakkal (Hamming, Hanning vagy Kaiser) súlyoz-

zuk az adatokat. Ez csökkenti a szélek zavaró hatását és kiszélesíti a spektrális csúcsoakat. Tehát a spektrális sűrűségfüggvény legjobb becslése ezzel az úgynevezett módosított átlag-periodogrammal érhető el.

Ez a módszer lehető teszi pl. átlagos spektrumok számítását nagyon hosszú pulzációs idősorokra is (napi vagy havi spektrum).

A KUTATÁS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓINK

WESZTERGOM V., SZARKA L., STEINER T. 1993: Remarks on midlatitude induction hazard. *IAGA Bull.* **55**, 208

WESZTERGOM V., STEINER T. 1993: On the automatic classification of transient geomagnetic variations. *IAGA Bull.* **55**, 201

VERÓ J., WESZTERGOM V. 1993: A geománeses indexek automatikus előállításáról. *Ionoszféra- és Magnetoszféra Fizika XIX*, 149–152

VERÓ J., ZIEGER B., LÜHR H. 1994: Upstream waves and surface geomagnetic pulsations. *In: Solar Wind Sources of Magnetospheric Ultra-low Frequency Waves*, Geoph. Monograph, **81**, American Geophysical Union, Washington, 365–373

VERÓ J., ZIEGER V. 1994: Upstream waves and field line resonances — Pulsation research at the Nagycenk Geophysical Observatory during three solar cycles. *In: Solar Wind Sources of Magnetospheric Ultra-low Frequency Waves*, Geoph. Monograph, **81**, American Geophysical Union, Washington, 55–66

ZIEGER B., MURSULA K. 1993: A 13.5-day variation in the near-Earth solar wind and in the geomagnetic activity, and its development during the solar cycle. *Proc. of the Eighth Intern. Symp. Solar Terr. Phys. Part I*, Kyoto, 99

WESZTERGOM V., ZIEGER B. 1995: Automatic recognition of sudden impulses. *Acta Geod. Geoph. Hung.* **30**, 407–415

SÁTORI Gabriella



A hallgatóság



Modern statisztikai módszerek alkalmazása a mélyfúrási geofizikai szelvényértelmezésben

STEINER FERENC¹ (témavezető), HAJAGOS BÉLA¹, HURSÁN LÁSZLÓ¹, SZÜCS PÉTER¹

F. STEINER, B. HAJAGOS, L. HURSÁN, P. SZÜCS: Application of modern statistical methods in well log interpretation

OTKA nyilvántartási szám: T 14027

Az 1. ábra egy kutatási területről és ugyanabból a szén-
tétegből származó mintákra a fűtőérték és sűrűség adat-
párok lineáris regressziójának eredményeit mutatja, a ha-
gyományos statisztikai eljárással kapott L_2 -vel, a leggya-
koribb értékek (MFV) szerint számított P -vel jelölve; e
normák minimumhelyeit reprezentálják ui. az egyenesek. A
legfontosabb értéktartományban: a nagy fűtőértékeknél az
 L_2 -vel jelölt egyenes távol van a ponthalmaztól, míg az
utóbbit a P jelű korrekttül jellemzi.

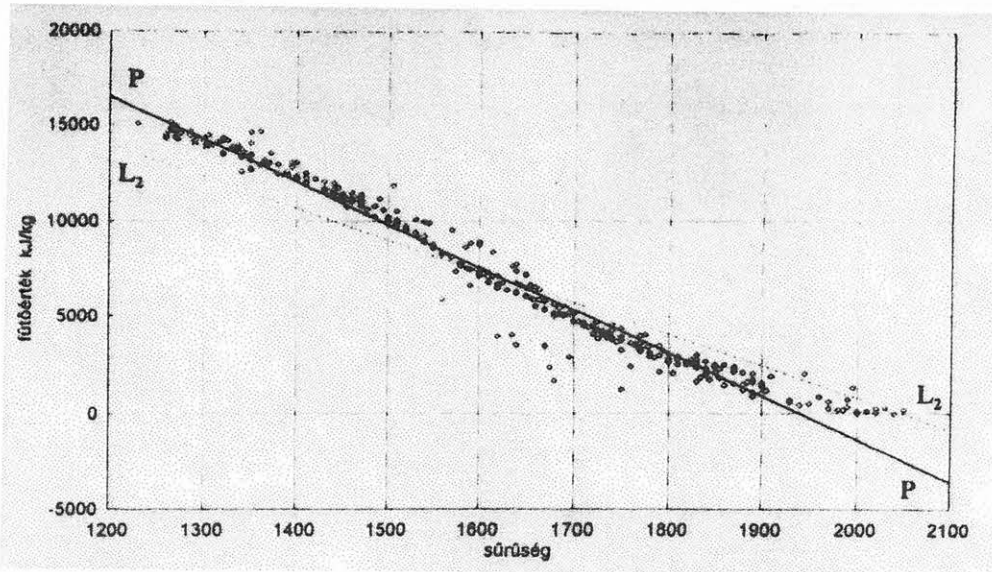
A téma kidolgozásakor e rövid összefoglalásban még
felsorolászerűen sem közölhető sok alternatívát vizsgált-
tunk meg karotáz- és minta-adatrendszerekre egyaránt. Az
1. ábrát azok számára közöljük, akik esetleg még nem
ismerik a P -normán alapuló MFV módszerek előnyeit a
hagyományosokkal szemben.

A 2. és 3. ábra egy elvi fontosságú kutatási eredmé-
nyünket emeli ki: a modern statisztika P -normán alapuló
MFV módszerével az Sg-59-es kutatófúrásban mért termé-
szetes gamma (TG) és látszólagos fajlagos ellenállás (R_a)
adattárjai részintervallumonként olyan, a 2. ábrán null-
körökkel jelölt eredményeket szolgáltatottak, amelyek egy
nem várt törvényszerűséget tártak fel. Ez utóbbi szerint két,
egy ferde és egy vízszintes egyenessel írható le a kapcsolat
a vizsgált két mennyiség között. Amennyire egyértelműen
mutat erre a törvényszerűsége a 2. ábra, annyira bizonyta-

lanul (következtetésre alkalmatlan módon) helyezkednek el
a 3. ábra nullkörei, amelyek ugyanazokra a részintervallu-
mokra vonatkozó TG átlagok, mint amelyekre a 2. ábrán az
MFV értékeket hordtuk fel. (E törvényszerűség felismerése
előtt különböző hiperbola-típusokkal eredménytelenül
próbálkoztunk.) Gyakorlati alkalmazása a fentieknek, hogy
vízkutatási feladatoknál, ahol hasonló geológiájú területen
számos fúrásban csak elektromos szelvényeket mértek, ez
utóbbiak alapján következtethetünk a gyakorlatilag agyag-
mentesnek minősülő mélységtartományokra.

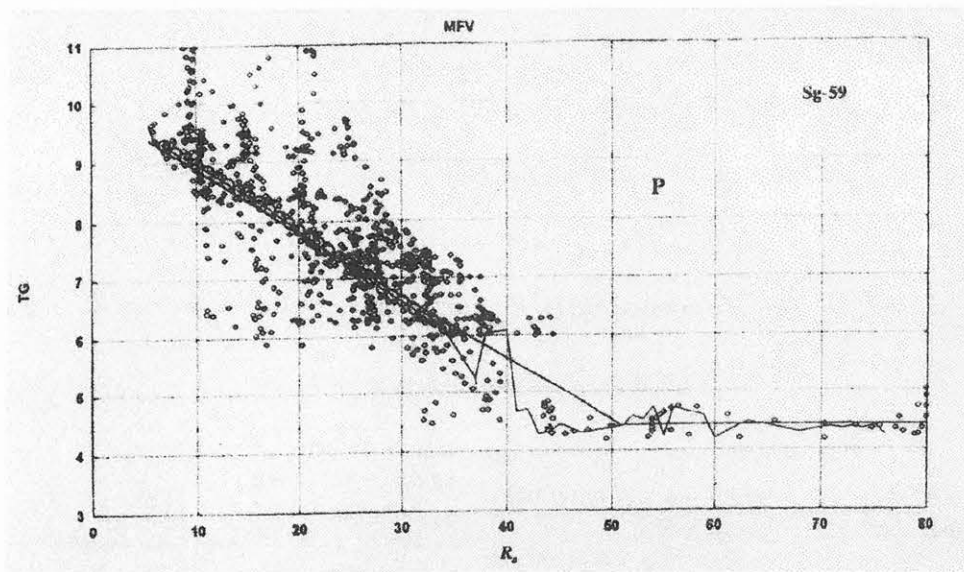
E kérdéskomplexumokkal a témavezető HAJAGOS Béla-
val és HURSÁN Lászlóval működött együtt.

SZÜCS Péter szénhidrogén-karotázis modern statisztikai
értelmezésével foglalkozott. Regularizációs feltételként a
témavezetőnek a Miskolci Egyetem nyilvántartásában sze-
replő 54. sorszámú (1987-es) know-how leírás alapgondola-
tát alkalmazta. Így sokkal megbízhatóbban kapta meg a
keresett 5 tárolóparamétert — főleg, ha a 7-féle karotázis-
mérésre vonatkozó P -normát (és nem az L_2 -normát) mini-
malizálta SA módszerrel, — mintha mélységszintenként
végzett volna számításokat. A részletek az Optimum Meth-
ods in Statistics c. könyv SZÜCS Péter által írt 10.3 alfejeze-
tében tanulmányozhatók. A szerző itt bemutatta a modern
statisztikával kapott eredmények új típusú hibabeecslését is.

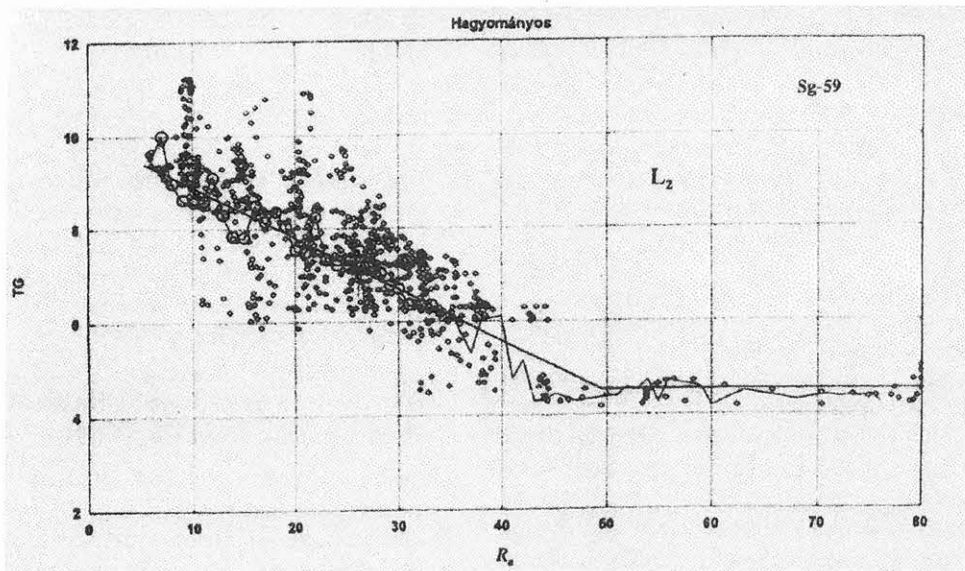


1. ábra. Fig. 1

¹ Miskolci Egyetem, H-3515 Miskolc, Egyetemváros



2. ábra. Fig. 2



3. ábra. Fig. 3

STEINER Ferenc



Nagypontosságú gravitációs erőter modellezés és geoid számítások a Kárpát-Pannon régióban

PAPP GÁBOR¹ (témavezető)

G. PAPP: Precise gravity field modeling and geoid determinations in the Carpathian-Pannonian region

OTKA nyilvántartási szám: F 14284

Bevezetés

Az OTKA keretében folyó kutatásnak az 1994–1997. évek közötti időszakban három fő célja volt.

1. Létrehozni a Pannon-medence litoszféra-szerkezetének háromdimenziós, derékszögű térfogatelemekkel meghatározott modelljét a sűrűségeloszlás leírására.
2. Előállítani a geoid helyi (magyarországi) felületdarabját olyan módon, hogy a lokális unduláció hozzájárulások kizárólag a Pannon-medence sűrűségeloszlásának modelljéből legyenek kiszámítva.
3. A modell alapján fizikailag értelmezni a geoid undulációkat és megállapítani a szerkezeti elemek dominanciáját a hozzájárulások spektrális vizsgálatával.

A kutatás módszerei és eredményei

A célok megvalósításához elsősorban létre kellett hozni a Pannon-medence litoszféra-szerkezetének háromdimenziós (3-D) modelljét olyan formában, hogy az lehetőséget adjon a modell által keltett tömegvonzási potenciál analitikus meghatározására. A munka adatok gyűjtésével kezdődött, ami javarészt a medence szerkezetére vonatkozó térképek és információs anyagok beszerzéséből állt. A térképeken ábrázolt geológiai-geofizikai határfelületek digitalizálásával adatbázist hoztunk létre MicroStation GIS környezetben, melyből egyenközű rácshálókat vezettünk le az egyes szerkezeti egységekre vonatkozóan. A harmadkor előtti (pre-Tertiary) medencealjzat esetén fűrólyuk adatok alapján a rácsmo­dell átlagos megbízhatóságát ± 370 m-nek becsültük száz mintából [KALMÁR et al. 1995].

A derékszögű hasáb mint térfogatelem egyszerűsége miatt (és mert ennek az elemnek zárt, analitikus formában adható meg a tömegvonzási potenciálja, ill. annak első- és magasabb rendű parciális deriváltjai) a rácshálókból változó méretű, derékszögű hasábokon alapuló térfogatmodelleket hoztunk létre. Ehhez egy megfelelő algoritmust dolgoztunk ki, amely egy előre megadott tolerancia értéken belül automatikusan veszi figyelembe a határfelületek változékonyságát, és ahol szükséges, ott egyre kisebb méretű hasábokat alkalmaz a tér kitöltésére. Ugyanakkor, ahol a generalizálást a geometria engedi, ott nagyméretű hasábok jönnek létre. Ily módon a térfogatelemek számát a legtöbb esetben jelentősen tudtuk csökkenteni (akár 90%-kal is) anélkül, hogy az lényeges információvesztéssel járt volna az elemi rácsháló reprezentációhoz viszonyítva (ld. ugyan-

ott). A térfogatelem-modell jelenleg négy fontos szerkezeti egységet tartalmaz:

1. A felszíni topográfia modellje, amely a magyarországi 500 m x 500 m felbontású digitális domborzatmodellből lett levezetve. A térfogatelemek sűrűsége homogén, 2670 kg/m^3 . A domborzatmodellt az MH Térképészeti Intézetének Kartográfiai Üzeme bocsátotta rendelkezésünkre. A kb. 800 000 rácspontból 125 000 térfogatelem készült.
2. A neogén negyedkori üledékösszlet modellje, amely a harmadkor előtti medencealjzat 2 km x 2 km felbontású digitális mélységmodellje alapján készült. Az üledék kompaktiója a Bielik-féle [BIELIK 1991] sűrűség-mélység függvény szerint került figyelembe vételre. A kb. 30 000 rácspont helyett 7 703 db derékszögű hasáb írja le a sűrűségeloszlást a mélység függvényében. A térfogatelemek sűrűsége negatív a kéreg átlagos 2750 kg/m^3 sűrűségéhez viszonyítva.
3. Az alsó kéreg modellje, amelyet az üledékösszlet és a felső köpeny tömegvonzási hatásaival korrigált, majd aluláteresztő szűrővel ($\lambda_{\text{pass}} = 50 \text{ km}$) megszürt Bouguer nehézségi rendellenességek „trial and error” 3-D inverziójával hoztunk létre [PAPP 1996a]. Az inverzióban kényszerként alkalmaztuk azt az információt, mely szerint a felső és alsó kéreg közötti határfelület átlagos mélysége a vizsgált területen 10–12 km. A hasábok száma mindössze 78 db, sűrűségük $+300 \text{ kg/m}^3$.
4. A Mohorovičić-felület által definiált felső köpeny modellje különböző publikált térképek alapján készült. A 10 km x 10 km-es rácshálóra leképezett mélységadatokból 1 703 térfogatelem készült, amelyeknek sűrűsége egyenként $+500 \text{ kg/m}^3$. A modell horizontális kiterjedése 950 km x 750 km.

A litoszféra szerkezeti egységeinek V_i tömegvonzási potenciálját egyenként kiszámítva és a potenciált potenciálzavarnak ($T=V$) tekintve, a Bruns-egyenlet segítségével meghatároztuk a szerkezeti egységek N_i unduláció hozzájárulásait:

$$N_i = \frac{V_i}{\gamma_{47.5}}$$

ahol $\gamma_{47.5}$ a nehézségi gyorsulás normálértéke a vizsgált terület közepes földrajzi szélességén, $i = \overline{1,4}$ a megfelelő egységek indexe. Az unduláció hozzájárulások összegzésével megkaptuk a geoid hullámok helyi összetevőit. Az értelmezhető kép kialakításához azonban el kellett távolítá-

¹ MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet, H-9401 Sopron, Pf. 5.

ni azokat a „mesterséges” hatásokat, melyek az előremodellezés velejárói (peremhatás és abszolút jellegű, a modellek teljes tömegéből származó, a gömbi harmonikusok terminológiája szerinti „alacsony fokszámú összetevők”). Az eltávolítandó összetevők meghatározásához és eltávolításához a geodéziában szokásos vonatkoztatási elv szerinti módszert dolgoztunk ki. Ezt a rövidség kedvéért „fizikai szűrésnek” neveztük el [PAPP 1996b], érzékeltetve, hogy a szűrés folyamatban egy fizikai (tömeg)modell, a részletes modell erősen egyszerűsített, Bouguer-lemezszerű változata szolgáltatja a spektrumnak azt a részét, amelyet nem kívánunk értelmezni, ill. felhasználni a további számításokban. Így a szűrés a tér tartományban egyszerű kivonássá válik és a maradék tömegvonzási potenciált valóban a helyi tömeg-rendellenességeket reprezentáló (lokális) potenciálzavarnak tekinthetjük. Az eljárással javíthatók az adatok jellemzői a spektrális technikák torzításmentes alkalmazásának tekintetében is és a kapott undulációk nagyságrendje megegyezik a nehézségi rendellenességekkel meghatározható hozzájárulás nagyságrendjével. A fizikai szűrés alkalmazásával egyértelműen növekszik a modellezésből kapott adatok értelmezhetősége is,

azaz a szűrés utáni kép és a geológiai szerkezet közötti korreláció növekedik.

A kiszámított unduláció hozzájárulások előkészítése után módszert dolgoztunk ki a helyi hatások és a globális hozzájárulások torzításmentes összegzésére. Mivel a számításokat az ún. sík-közelítésben (flat-Earth approximation) végeztük el, kézenfekvő volt, hogy az unduláció hozzájárulások egzakt szétválasztására a digitális szűrés technikáját alkalmazzuk [PAPP, KALMÁR 1996].

Ezzel a kombinációs technikával különböző, ún. litoszféra geoid variánsokat számítottunk ki, amelyeket összehasonlítottunk számos globális és lokális geoid megoldással (1. táblázat). A levezetett statisztikai adatok alapján úgy látszik, hogy

- 1) a helyi sűrűségeloszlásból számított geoid képek pontossága nem marad el az egyéb geoid megoldások egymáshoz viszonyított pontosságától,
- 2) a topográfia hatása összességében alig kimutatható (1–2 cm), de lokálisan igen jelentős lehet (0,5–0,8 m) a közephegységek területén,
- 3) helytelenül megválasztott szűrőparaméterek esetén a globális és a lokális hatások összegzése torz eredményre vezet.

	N_1	N_2	DTM	szűrő átmeneti sáv	min. [m]	max. [m]	átlag [m]	szórás [m]
1	HGQ91B	HLG94	nem	200-300 km	-0,80	0,69	0,08	±0,22
2	HGQ91B	HLG94	igen	200-300 km	-0,78	0,60	0,08	±0,22
3	HGQ91B	HLG94	nem	100-300 km	-0,25	0,60	0,09	±0,12
4	HGQ91B	HLG94	igen	100-300 km	-0,24	0,34	0,09	±0,10
5	HGQ94	HLG94	nem	200-300 km	-0,56	1,08	0,35	±0,23
6	HGQ94	HLG94	igen	200-300 km	-0,73	0,94	0,35	±0,23
7	HGQ94	HLG94	nem	100-300 km	-0,20	1,12	0,38	±0,17
8	HGQ94	HLG94	igen	100-300 km	-0,29	0,92	0,38	±0,16
9	HGQ94	HLG94	igen	500-700 km	-2,22	1,32	0,15	±0,88
10	HGQ91B	OSU81	-	-	-1,21	1,51	0,04	±0,59
11	HGQ91B	OSU89B	-	200-300 km	-1,16	1,14	0,05	±0,49
12	HGQ91B	OSU89B	-	-	-0,20	0,62	0,08	±0,13
13	HGQ91B	OSU91A	-	-	-0,11	0,67	0,18	±0,14
14	HGQ94	OSU89B	-	-	-0,32	1,08	0,28	±0,21
15	HGQ94	OSU91A	-	-	-0,05	1,08	0,38	±0,16
16	HGQ94	HGQ91B	-	-	-0,40	0,78	0,19	±0,16
17	OSU91A	OSU89B	-	-	-0,52	0,04	-0,10	±0,09

1. táblázat. Különböző litoszféra geoid (HLG94) variánsok és egyéb lokális (HGQ) és globális (OSU) geoid megoldások összehasonlításából kapott unduláció maradékok ($\Delta N = N_1 - N_2$) statisztikai adatai. DTM—Digitális Terepmodell

A kedvező statisztikák alapján megvizsgáltuk az unduláció hozzájárulások és a litoszféra szerkezetének kapcsolatát a frekvencia/hullámhossz tartományban is. A szerkezeti egységek unduláció hozzájárulásait 10 km-es mintavételezésű 128 x 128 pontból álló rácson számítottuk ki, majd meghatároztuk a hozzájárulások ún. radiális teljesítmény spektrumait. Ezek a spektrumok lehetőséget adnak az undulációk amplitúdó négyzetei hullámhossz szerinti eloszlásának vizsgálatára ill. a hozzájárulások mennyiségi összehasonlítására. Megállapítottuk, hogy az 500 km feletti hullámhossz tartományban a felső köpeny hatása a domináns, míg a topográfia hatása csak a 30 km alatti hullámhosszakon válik uralkodóvá. A köztes tartományban az alsó kéreg és az üledékek adják a legnagyobb hozzájárulást. Az eredményeket táblázatban foglaltuk össze (2. táblázat).

hullámhossz λ amplitúdó	DTM %	üledék %	alsó kéreg %	felső köpeny %
> 300 km	5	10	16	69
> 100 km	12	35	36	17
> 40 km	21	50	27	2
> 20 km	45	48	5	2

2. táblázat. A litoszféra modell szerkezeti egységeinek unduláció hozzájárulásai az amplitúdó/hullámhossz függvényében

A geoid modellezés általunk kidolgozott eljárásának rövid ismertetését az MTA GGKI honlapján elektronikus formában is elérhetővé tettük az alábbi URL címen:

www.ggki.hu/a/gravity/geoid1.html

A litoszféra modellt felhasználtuk annak vizsgálatára is, hogy az észlelt nehézségi rendellenesség adatokból (azaz a V potenciál első vertikális deriváltjaiból) vonható-e le kvantitatív következtetés az üledékek kompaktációjának mértékére a Kisalföld-medence térségében. A vizsgálatokra alapozva a kompaktáció leírására matematikai modellt dolgoztunk ki [PAPP, KALMÁR 1995], melynek segítségével levezethető látszólagos sűrűség-mélység függvényt összevetettük az általánosan elfogadott kompaktációs modellel. Kimutattuk, hogy az eltérés jól indikálja a Kisalföld-medence izosztatikusan kompenzált állapotát.

A sík közelítés alkalmazásának korlátai miatt a Finn Geodéziai Intézettel együttműködve vizsgáltuk a Newton-féle tömegvonzási integrál gömbi harmonikus sorfejtéssel való megoldásának lehetőségét a lokális erőter modellezésben [PAPP, WANG 1996]. A gömbi koordináta-rendszer, azaz gömbi „derékszögű” térfogatelemek alkalmazása elvileg biztosítja a sűrűségmodellek kontinentális/regionális, ill. globális kiterjesztését a Föld lapultságának megfelelő nagyságrendű elhanyagolással ($\approx 1/300$). Azonban a sorfejtés kényszerű csonkítása miatt (általában $n_{\max} = 360$) nagy térbeli felbontással bíró sűrűségmodellek esetén a számítások információvesztéssel járnak. Ennek mértékét, ill. a harmonikus sorfejtés spektrális tulajdonságait vizsgáltuk meg mind egyszerű geometriájú fiktív modellek, mind a Pannon-medence üledékösszetételének modelljéből készített gömbi modell segítségével. Különböző fokszámú sorfejtésekre számításokkal meghatároztuk a gömbi harmonikusok spektrális átviteli függvényeit a derékszögű hasáb integráláshoz viszonyítva. Ezek alapján kvantitatív módon állapítottuk meg, hogy a csonkítás

következtében a csonkításnak megfelelő hullámhossz környezetében a csillapítás a csonkítási hullámhossztól függően túlságosan széles sávban megy végbe nagy hatékonyságú, meredek levágással bíró digitális aluláteresztő szűrőkhöz viszonyítva. Azt is megállapítottuk, hogy a gömbi harmonikus sorfejtés viszonylag nagy zajszintet (0,1 mm–1 mm) hoz létre az elméletileg „tiltott” hullámhossz sávban (null space), aminek következtében a csillapítás itt csak 40 dB–50 dB.

HIVATKOZÁSOK

- BIELIK M. 1991: Density inhomogeneities of the Earth's crust of the Intra-Carpathian region. *Contr. Geophys. Inst. Slov. Acad. Sci.* **21**, 79–92
- KALMÁR J., PAPP G., SZABÓ T. 1995: DTM-based surface and volume approximation. *Geophysical applications. Computers – Geosciences* **21**, 245–257
- PAPP G., KALMÁR J. 1995: Investigation of sediment compaction in the Pannonian basin using 3-D gravity modelling. *Phys. Earth Planet. Int.* **88**, 89–100
- PAPP G., KALMÁR J. 1996: Toward the physical interpretation of the geoid in the Pannonian basin using 3-D model of the lithosphere. *IGes Bulletin* **5**, 63–87
- PAPP G., WANG Z. T. 1996: Truncation effects in using spherical harmonic expansions for forward local gravity field modelling. *Acta Geod. Geoph. Hung.* **31**, 1–2, 47–66
- PAPP G. 1996a: A Pannon-medence nehézségi erőterének modellezése, Kandidátusi disszertáció, Sopron
- PAPP G. 1996b: On the application of physical filtering in 3-D forward gravity field modelling. *In: MEURERS, B. (Ed.), Proc. of the 7th International Meeting on Alpine Gravimetry, Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik* **14**, 145–154

GYULAI Ákos,
BARANYAI Pál



Földrengések és geotermika kapcsolata a Magyar-medencében

BODRI BERTALAN¹

B. BODRI: Earthquakes and geothermics in the Hungarian basin

OTKA nyilvántartási szám: T 14423

Bevezetés

A szeizmicitás és termikus állapot között lehetséges kapcsolat szempontjából alapvetően fontos a litoszféra reológiai rétegeztségének vizsgálata, annak becslése, hogy a hőmérséklet milyen módon és mértékben befolyásolhatja ezt a rétegződést. Ezért reológiai modelleket (a rideg nyírószilárdság és képlékeny tartósúlyási szilárdság számítása alapján szerkesztett reológiai állapotdiagramokat) dolgoztunk ki Magyarország területének több jellegzetes földrajzi-földtani egységére, illetve geotermikus provinciájára. Ilyen modellek alapján becslés adható a lágy aszeizmikus és rideg szeizmogén zónák mélységbeli elhelyezkedéséről, és ezáltal bizonyos mélységszinteken szeizmikus aktivitás, rengések várhatóságáról adott területen. Ezt a lehetőséget különösen célszerű mérlegelni a Pannon-medencéhez hasonló térségek esetében, ahol is a szeizmicitás viszonylag alacsony szintje és a hipocentrum-meghatározások ismert nehézségei miatt csak kevés rengésről áll rendelkezésre fészekmélységi adat.

Eredményeink szerint a vizsgált területen a kéreg reológiai horizontjainak elhelyezkedését elsősorban a termikus állapot szabja meg. A reológiai szerkezet az ország egész területén „szendvicsszerű”, egy alul és felül rideg szeizmogén kéregrészek közötti lágy, aszeizmikus zónával. A felső kéregben 10–12 km-es mélységig várható szeizmikus aktivitás, amivel az ismert hipocentrumok eloszlása jó egyezést mutat. Az alsó kéreg mintegy 20–22 km-ig terjedő tartományának a modell szerint szeizmogén jellegét, fenti tények miatt, kevésbé támasztják alá szeizmológiai indikációk. Mindkét szeizmogén tartomány alsó határfelülete izotermikusnak mutatkozik, a felső zóna a ~200 °C-os, az alsó a ~375 °C-os izoterma mélységénél végződik. A legalsó (20–22 km alatti) kéregrészt és a felső köpeny az ország egész területén képlékeny reológiát mutat, szeizmikus aktivitás lehetősége ebben a mélységrégióban kizárható.

Reológiai vizsgálatok

A reológiai állapot változásaira és így a szeizmotektonikus zónák elhelyezkedésére számos olyan tényező van hatással, melyekről adott területen nincsenek adataink, konkrét ismereteink. Ezért a feladatban szereplő paraméterek széles változási intervallumaiban kellett megvizsgálnunk az egyes tényezők számszerű hatását a litoszféra reológiai rétegeztségére. Ezáltal ismeretekhez jutottunk a

kérdéses reológiai modellek megbízhatóságáról, és módunk nyílt eltekinteni olyan tényezőktől, amelyek csak kismértékben vannak hatással a reológiai állapotra.

A Magyar-medence geotermikus modellje

A reológiai modellezéshez feltétlenül szükséges a termikus állapot, a termikus modell ismerete. Ennek megfelelően munkánk fontos részét képezte a mélyhőmérsékletek számítása a Magyar-medence területére vonatkozóan. A számítás a háromdimenziós, inhomogén közegben történő stacionárius hővezetés véges differenciákban kifejezett egyenletének numerikus megoldásával történt, a jelen és hasonló feladatokban általánosan alkalmazott határfeltételek mellett. A határfeltételekben a felszíni hőáram a számítás egyik alapvetően fontos bemenő adata, esetünkben a DÖVÉNYI, HORVÁTH [1988]-féle hőáramtérképből digitalizált adatrendszert alkalmaztuk. A mélyhőmérsékletek eloszlását országunk és környezetének együttesen mintegy 180 000 km²-nyi kiterjedésű térségére számítottuk.

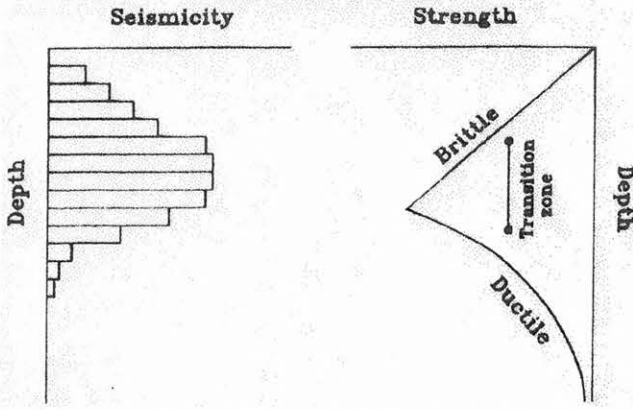
Reológiai szelvények

A szeizmicitás mélységeloszlási jellemzői és termikus állapot között valamilyen reológiai modell segítségével teremthető kapcsolat. A litoszféra feszültséggel szemben eltérő módon lehetséges viselkedése jól illusztrálható egy, az 1. ábrán bemutatott és általában reológiai szelvény néven ismert diagram segítségével, melyen az eltérő reológiai törvények érvényességi tartományai szemléletesen kirajzolódnak. Ilyen szelvény a rideg nyírószilárdság és képlékeny tartósúlyási szilárdság mélység függvényében történő számszerű összehasonlításával szerkeszthető. Adott mélységen rideg viselkedésmód dominál, ha a rideg nyírószilárdság értéke kisebb, mint a folyási szilárdság, és fordítva.

Mérvadó szeizmotektonikai hipotézis szerint földrengések olyan litoszféarészekben keletkeznek, ahol a feszültséggel kiváltott deformáció rideg-frikciós jellegű, és fordítva, szeizmikus csend, aktivitás hiánya képlékeny deformációs módusra utal. Legerősebb és/vagy leggyakoribb rengések a reológiai átmenet tartományában vagy annak környékén várhatók, a szilárdság négyzetével arányos deformációs energiasűrűség maximuma ugyanis ide koncentrálódik. Földrengések gyakoriságának mélység szerinti eloszlása általában az 1. ábrán baloldalt bemutatott hisztogrammal ábrázolható, mely szerint a szeizmicitás a mélységgel növekszik, majd bizonyos maximum elérése utáni nagyobb

¹ MTA Geofizikai és Környezetfizikai Tanszéki Kutatócsoport
ELTE Geofizikai Tanszék, H-1083 Budapest, Ludovika tér 2.

mélységeken a rengések száma gyorsan csökken. Szeizmikus-aszeizmikus határnak általában azt a mélységszintet tekintik, amely fölé az előfordulások 90%-a esik.

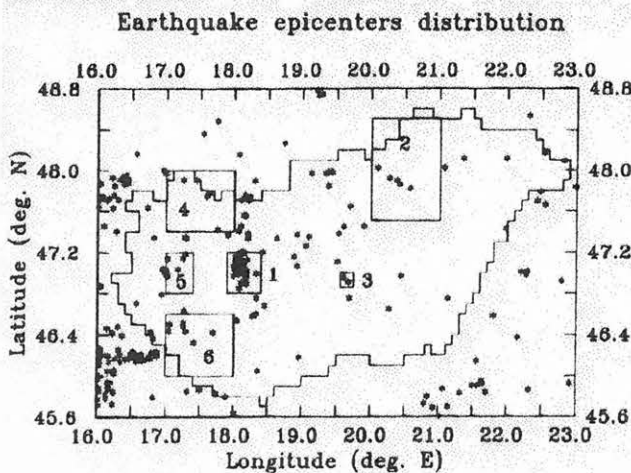


1. ábra. Szeizmitás és reológiai állapotok kapcsolatának sematikus szemléltetése

Fig. 1. Schematic representation of the relation between rheological state and seismicity

Szeizmogén mélységzónák Magyarország területén

Reológiai szelvények számításával becsültük a rideg-képlékeny reológiai átmenet mélységét Magyarország néhány jellegzetes földrajzi-földtani formációjára (2. ábra). Vizsgáltuk továbbá a szeizmitás mélységeloszlása (ZSÍROS et al. [1986] alapján) és a reológia által szeizmogénnek prediktált mélységzónák egyezésének kérdését, az egyezés egyértelműen jónak tartható.

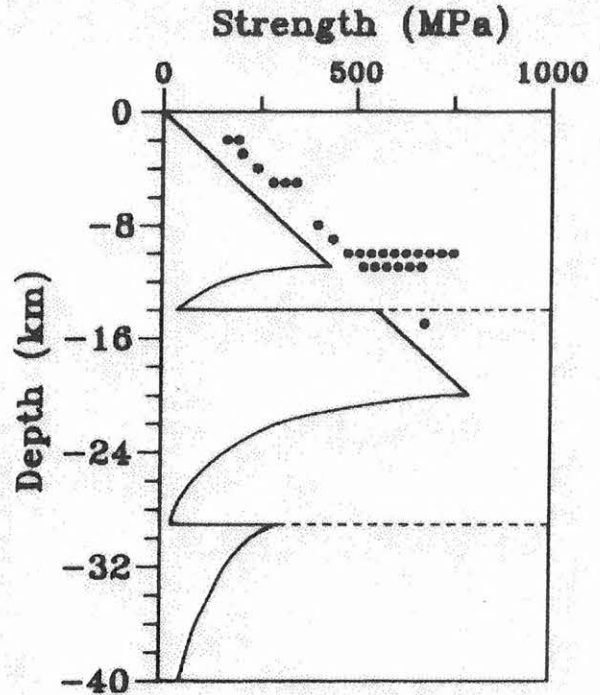


2. ábra. Ismert fészekmélységű rengések területi eloszlása Magyarországon. A sorszámmal ellátott négyzetek az egyes vizsgált területek elhelyezkedését szemléltetik

Fig. 2. Distribution of earthquakes with known hypocenter depths in Hungary. Numbered rectangles indicate locations of the considered particular areas.

A 3. ábra a Dunántúli-középhegységi Berhida térségére számított reológiai szelvényt szemlélteti. Ezen a mindössze ~1600 km²-nyi területen viszonylag sok (összesen 26) rengés fészekmélysége ismeretes. Az említett „szendvicszerű” reológiai szerkezet úgy jelentkezik, hogy egy képlékeny, lágy réteg (az ábrán exponenciális görbeszakasz ~11 és 14 km között) ágyazódik keményebb, rideg mélységzónák közé.

A fekete pontokkal jelzett hipocentrumok eloszlása igen jól értelmezhető a reológiai modell alapján. A felső kéreg nagyjából, kb. 11 km-es mélységig, rideg reológiát mutat.



3. ábra. Számított reológiai szelvény Berhida (Dunántúli-középhegység) térségére. A szelvény dőlt egyenes szakaszai rideg, az exponenciális görbének képlékeny reológiát reprezentálnak. A fekete pontok a rengési hipocentrumokat szemléltetik, a szaggatott vonalak kéregszerkezeti határt jelölnek

Fig. 3. Calculated rheological profile for Berhida area (Transdanubian Central Range). The inclined linear and the exponential sections of profile indicate brittle and ductile rheological modes, respectively. Dots illustrate earthquake hypocenters, dashed lines show structural boundaries

Legtöbb rengés a rideg-képlékeny határ környezetében fordul elő, ahol is a deformációs energiasűrűség maximális nagyságú. A 11–15 km-es mélységszakaszon nincsenek indikációk rengések előfordulásáról, ez a tény a szendvicszerű reológia realizálása mellett szól. Az alsó kéregbe lépve újból rideg reológia kezdődik, ez a sajátosság kb. 20 km-ig érvényes. Az eddig megfigyelt maximális fészekmélység a területen 15 km. Így nem zárható ki az eddig tapasztaltaknál nagyobb mélységű rengés előfordulásának lehetősége a térségben. Potenciálisan tehát lehetséges nagy deformációs energiakonzentráció mélyebb régióban, mint amire az eddigi szeizmitási adatok utalnak, ilyen térségek pedig fokozottan földrengésveszélyesnek tekintendők [FURLONG, ATKINSON 1993]. A reológiai rétegződés a vizsgált többi területen is nagyjából fentihez hasonló.

Összefoglalás

A fontosabb eredmények összefoglaló ismertetését a bevezetőben megadtuk.

A VÉGZETT VIZSGÁLATOKAT ISMERTETŐ PUBLIKÁCIÓK

- BODRI B. 1994: Földrengések és geotermika a Magyar-medencében. 1. rész: A rideg-képlékeny reológiai átmenet hőmérsékletéről. *Magyar Geofizika* **34**, 117–124
- BODRI B. 1995: Földrengések és geotermika a Magyar-medencében. 2. rész: A rengések mélységeloszlásának termikus szabályozottsága. *Magyar Geofizika* **36**, 203–214
- BODRI B. 1996. Thermal state, rheology and seismicity in the Pannonian basin, Hungary. *Journ. Geodyn.* **21**, 309–328

HIVATKOZÁSOK

- DÖVÉNYI P., HORVÁTH F. 1988: A review of temperature, thermal conductivity, and heat flow data for the Pannonian basin. *In*: L. H. ROYDEN, F. HORVÁTH (Editors): *The Pannonian Basin — A Study in basin Evolution*. AAPG Memoir **45**, Am. Assoc. Petrol. Geol. Publ., Tulsa, Oklahoma, 195–233
- FURLONG K. P., ATKINSON S. M. 1993: Seismicity and thermal structure along the northern San Andreas Fault system, California, USA. *Tectonophysics* **217**, 23–30
- ZSÍROS T., MÓNUS P., TÓTH L. 1988: Hungarian Earthquake Catalog (456–1986). *Seismol. Observ., Geod. Geophys. Res. Inst., Hung. Acad. Sci., Publ., Budapest*



BODRI Bertalan



A hallgatóság



A hallgatóság



BODRINÉ CVETKOVA Lujza

A matematikai statisztika és a geostatistika alkalmazási lehetőségei a geofizikában

VERŐ LÁSZLÓ¹ (témavezető), GULYÁS ÁGNES¹, KISS JÁNOS¹, KUMMER ISTVÁN¹,
OCSENÁS PÉTER¹

L. VERŐ, Á. Gulyás, J. KISS, I. KUMMER, P. OCSENÁS: Potential geophysical applications of mathematical statistics and geostatistics

OTKA nyilvántartási szám: T 14447

Bevezetés

A pályázattal az volt a célunk, hogy a geofizika különböző területein megvizsgáljuk a statisztikai módszerek alkalmazási lehetőségeit, az ily módon elérhető eredményeket. Először is megvásároltuk és üzembe helyeztük az SSPS statisztikai programrendszert. Ezután az elemzéseket a geofizika három részterületén — szeizmika, légi geofizika, hidrogeológiai célú mérések — végeztük. A felszíni geofizikai adatokra az SSPS-t alkalmaztuk, a légi geofizikai adatelemzésre pedig az ERDAS programrendszer statisztikai moduljait is felhasználtuk.

A hidrogeológiai célú geofizikai kutatásokkal kapcsolatban két eltérő felépítésű terület földtani és geofizikai adatait (vertikális elektromos szondázások, mérnök-geofizikai szondázások, szemcseeloszlási és egyéb laborvizsgálatok eredményeit) elemeztük statisztikailag. Meghatároztuk a paraméterek közötti statisztikai összefüggéseket, majd ezek felhasználásával azt vizsgáltuk, hogy a geofizikai paraméterekből hogyan lehet hidrogeológiai paramétereket megbecsülni és egyben számítottuk ezek megbízhatóságát is.

A légi geofizikai és távérzékelési adatrendszerek értelmezése során sikerrel alkalmaztuk a főkomponens transzformációt adattömörítési és adategyesítési feladatok megoldására. Az adatok kvalitatív vizsgálatánál fontos szerepet kaptak az osztályozási eljárások, ezek lehetővé tették a földtani képződmények jellemzését, lehatárolását. Ezen a területen az adott feladattípus megoldására legkedvezőbb eljárás kidolgozása továbblépést jelenthet.

Szeizmikus eredménytérképeken a szintvonalak felvételét félvariogramok segítségével vizsgáltuk, szeizmikus szelvényeken pedig értelmezett reflexiós szintek időértékeinek elemzésével vetőket nyomoztunk. A származtatott időkülönbség (időbeli vastagság) paraméter változékonyságát és hatástávolságát határoztuk meg. Az irányfüggetlen félvariogramok segítségével szerkesztett krigelt térképeken a szintvonalak jellegéből a tektonikai zóna helyére, irányára lehetett következtetni.

1. Hidrogeológiai célú geofizikai kutatások statisztikai elemzése

Az elmúlt években nagy mennyiségű adat gyűlt össze az Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben a kismélységű víz-bázisok veszélyeztetettségének meghatározását célzó geofizikai kutatások során. Célkitűzésünk ezen a területen egy olyan geofizikai módszerrel kidolgozása volt, amely — laza üledékekben — alkalmas lehet felszínközeli földtani szerkezeteknek a hidrogeológia által használt rétegparaméterekkel való jellemzésére is.

1.1. A mérnökgeofizikai szondázások és a laboratóriumi elemzések eredményeinek statisztikai vizsgálata

A mérnökgeofizikai szondázási adatokból való közetparaméter-bebecslést két területen végeztük el: a döntően homokból és kavicsból felépített szigetközi, valamint az elsősorban agyag, kőzetliszt, homok összetételű békési területen.

A szigetközben a kőzet vízvezetési viszonyait jellemző hatékony szemcseátmérő (d_h) regressziós bebecslését a csúcsellenállás (c_p), porozitás (Φ) és természetes γ aktivitás (TG) adatok felhasználásával végeztük. A meghatározott regressziós modell:

$$\lg d_h = a TG + b c_p + c \Phi + d$$

A békési területen d_h bebecslésére a szűk határok között változó porozitás és csúcsnyomás adatok nem voltak felhasználhatók, így itt egyváltozós regressziós modellt alkalmaztunk:

$$\lg d_h = a TG + b$$

A regressziós bebecslések eredményeinek felhasználásával mindkét területen kiszámíthatók az egyes mérnökgeofizikai szondázási pontokhoz tartozó hatékony szemcseátmérő, víztelítettség (s_w) és porozitás paraméter-mélység szelvények.

1.2. A vertikális elektromos szondázási adatok hidrogeológiai értelmezése

Az értelmezés első lépéseként azt vizsgáltuk, hogy egyes területeken mely tényezők befolyásolják az ellenállás adatokat. Az elemzéshez felhasználtuk a mérnökgeofizikai szondázásokból számított hidrogeológiai paraméterek mélység-szelvényeit, valamint az azonos helyen mért vertikális elektromos szondázások réteg-

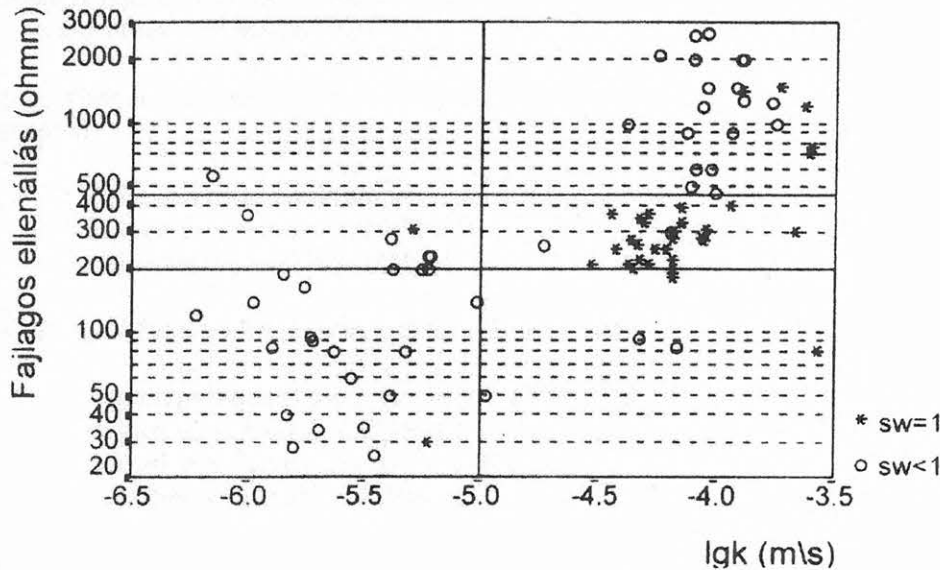
¹ Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17-23.

ellenállás adatait. A szigetközi területen a három (d_h , Φ és s_w), a békésin két (d_h és s_w) közetparaméter együttesen jól meghatározza a rétegellenállás adatokat, további paraméterek (például a pórusfolyadék ellenállása) hatása nem számottevő.

A hidrogeológiai minősítés következő lépése a vertikális elektromos szondázásokból meghatározott rétegeket jellemző átlagos szivárgási tényező (k) számítása. Ezt követően ábrázolhatjuk az összetartozó átlagos $\lg(k)$, s_w és R (rétegellenállás) adatokat a $\lg(R)-\lg(k)$ síkon, a vízszint alatti és feletti adatokat elkülönítve.

A következő feladat az ellenállás adatok intervallumokra történő felosztása oly módon, hogy az egyes hidrogeológiai kategóriákhoz tartozó ellenállás eloszlások a lehető legkisebb mértékben fedjék át egymást. A $\lg(R)-\lg(k)$ „crossplot”-ról (1. ábra) leolvashatók a szigetközi hidrogeológiai kategóriákhoz tartozó ellenállás tartományok:

- 1) telítetlen, rossz vízvezető, gyengén vízzáró — $0 < R < 200 \Omega m$,
- 2) telített vízvezető — $200 < R < 450 \Omega m$,
- 3) telítetlen vízvezető — $450 \Omega m < R$.



1. ábra. A fajlagos ellenállás adatok a szivárgási tényező függvényében, a víztelítettség feltüntetésével (szigetközi adatok)

Fig. 1. Resistivity data plotted against hydraulic conductivity, water saturation (s_w) is also indicated (data from Szigetköz)

Hidrogeológiai kategóriák	R kategóriák		
	$0 < R < 200$	$200 < R < 450$	$450 < R$
rossz vízvezető (gyengén vízzáró)	23	8	1
vízszint alatt	71,9%	25,0%	3,1%
vízvezető	5	23	5
vízszint alatt	15,2%	69,7%	15,2%
vízszint felett	17,2%	65,7%	25,0%
vízvezető	1	4	14
vízszint felett	5,3%	21,1%	73,7%
	3,4%	11,4%	70,0%

1. táblázat. A fajlagos ellenállás kategóriák és a hidrogeológiai kategóriák keresztábrázolása (szigetközi adatok)

Table 1. Cross-table of resistivity and hydrogeological categories (data from Szigetköz)

Az ellenállás kategóriákból történő hidrogeológiai kategória becslések megbízhatósága az 1. táblázatban követhető nyomon. A táblázatban található cellák első sora a cellába tartozó elemek száma, a második sor az aktuális elemszám és az aktuális sor összes elemszámának hányadosa, a harmadik sor a cellaelemszám és az aktuális oszlop összes elemeinek hányadosa. Ezek jelentése: például a táblázat $0 < R < 200$, rossz vízvezető cellájában 23 adat szerepel, a rossz vízvezető réteg az esetek 71,9%-ában $0 < R < 200 \Omega m$ ellenállású és a $0 < R < 200 \Omega m$ ellenállású rétegek az esetek 79,3%-ában rossz vízvezetők.

Mindezek alapján a szigetközi fajlagos ellenállás kategóriákkal 65–80%-os pontossággal becsülhetők a hidrogeológiai kategóriák.

A békési területen is hasonló eredmények adódtak, természetesen az eltérő földtani felépítésnek megfelelően a kategóriák másképpen alakultak (az eredményeket OCSENÁS [1998] tartalmazza).

A hidrogeológiai és földtani minősítés statisztikai bizonytalanságai a geoelektromos rétegszelvények szerkesztése és értelmezése közben többnyire kiszűrhetők, mivel ennek során további, a bemutatott statisztikai elemzésnél figyelmen kívül hagyott információk is rendelkezésre állnak. Ilyen információk lehetnek a rétegtörésvonalak elhelyezkedésére vonatkozó feltételezések és egyéb földtani-hidrogeológiai adatok.

1.3. Következtetések, javaslatok

A mért geofizikai adatok és a közetparaméterek kapcsolatának leírására általánosan érvényes összefüggés nem adható, az eltérő felépítésű területeken különböző függvények alkalmazhatók. A függvénykapcsolatok meghatározásának hatékony módszere lehet a bemutatott statisztikai analízis. A statisztikai módszerekkel eldönthető, melyek azok a geofizikai jellemzők, amelyek lényegesen befolyásolják a geofizikai paramétereket, ez alapján meghatározható, melyek azok a geofizikai adatok, amelyek alkalmasak a közetjellemzők becslésére.

A statisztikai módszerek alkalmazásának másik lényeges eredménye, hogy a paraméterbecslések megbízhatósága számítható, azaz minőségük ellenőrizhető.

2. Légi geofizikai adatok statisztikai vizsgálata

2.1. Korreláció vizsgálatok: radiometriai paraméterek és a topográfia (DTM), ill. a repülési magasság kapcsolatának vizsgálata (minőség ellenőrzés)

A légi radiometriai mérések során feltételezzük, hogy egy sík féltér felett (2π geometria) végeztük a méréseket. A valóságban azonban ettől jelentős eltérések is lehetnek, ha igen meredek és változékony a domborzat és kicsi a repülési magasság. Egy hegycsúcs felett mérve a valóságnál nagyobb beütésszám mérhető a lecsökkenő magasság miatt ($<2\pi$ geometria), egy szűk völgybe berepülve ($>2\pi$ geometria) a valóságnál nagyobb, jóval felette repülve pedig kisebb beütésszámok mérhetők. A normál feldolgozás során a repülési magasság változását korrekcióba vesszük (a radarral mért magasságadatok alapján). Érdekes azonban a repülési nyomvonalnak a domborzathoz viszonyított helyzetét is figyelnünk.

Ennek érdekében a digitális topográfiai térképből (DTM) elkészítettük a a Finn Geológiai Szolgálat által 1992-ben végzett mérések területének lejtőkategória térképét és vizsgáltuk a radiometriai paraméterek — különösen a legkritikusabb urán paraméter — korrelációját. A térképek közti korrelációt számító program egy, az Egyesült Államok Geológiai Szolgálatával által kidolgozott nyílt szoftver továbbfejlesztésével készült (a programozási munkákat Kiss János végezte). Megállapítható volt, hogy a terület 73%-án nincs korreláció ($-0,5\pm 0,5$ közti értékek), alig több mint 10-10% esetén volt gyenge korreláció vagy antikorreláció. 90%-ot meghaladó korreláció, antikorreláció csak 0,2, illetve 0,3%-ban volt jellemző. Megjegyezzük, hogy tagoltabb topográfiajú területek lemérése során, például Svájcban, speciális szoftverek segítségével veszik figyelembe a topográfiát [SCHWARZ et al. 1991].

A paramétertérképeken látható csíkosság — különösen az ekvivalens uránkoncentráció és teljes beütésszám térképeken — kisebb korrekciós hibára utal (szintelésűzés). Az igen szélsőséges repülési magasságok esetén — például Eger felett, 150–200 m — nem tökéletes a korrekció.

A másik érdekes repülési paraméter a repülési magasság. Az ekvivalens uránkoncentráció és a repülési magasság közti korreláció vizsgálata során kiderült, hogy a terület 58%-án nincs korreláció ($-0,5\pm 0,5$ közti értékek), 22% esetén gyenge korreláció, 18% esetén pedig gyenge antikorreláció figyelhető meg. Határozott kapcsolat csak mintegy a terület 1–1%-án van (0,9 feletti értékek).

2.2. Azonos geológiai adottságú területek elkülönítése légi geofizikai és felszíni geofizikai mérések statisztikai jellemzőinek vizsgálatával

A légi geofizikai mérés egyik feladata a felmért terület geológiai térképének pontosítása vagy megszerkesztése lehet. Ezen feladat megoldása érdekében először meg kell állapítanunk, hogy a különböző földtani felépítésű területekre mely — a légi geofizikai kutatás során mért — paraméter(ek) jellemző(ek). A terület digitális földtani térképének segítségével meghatároz-

hatjuk a különböző földtani felépítésű területek felett mért geofizikai paraméterértékek szórását és átlagértékét. Amennyiben a mért paraméterek egy bizonyos kombinációja csak egy bizonyos földtani felépítésre jellemző, akkor ezen a területen a

$$\sum_{i=1}^n \frac{a_{0i} - a_{ki}}{\sigma_i}$$

kifejezésnek minimuma lesz, ahol i az aktuális mért paraméter indexét, a_{0i} a terület felett mért aktuális paraméter értékét, a_{ki} és σ_i a terület felett mért aktuális paraméter várható értékét, illetve szórását jelöli. A fenti összefüggés numerikus értékét az összes mérési pontra kiszámítva a vizsgált földtani képződmény területi előfordulásának valószínűségi térképét kapjuk. A szükséges programozási munkákat SÁRHIDAI Attila végezte.

Vizsgálatainkba a légi geofizikai mérés során nyert adatokon (látszólagos fajlagos ellenállás, urán-, tórium- és káliumkoncentráció, mágneses térerősség) kívül bevontuk még a földi gravitációs adatokat és a mérési terület bizonyos részéről készült Landsat TM űrfelvételeket, valamint néhány, légi mérési adatból lezármasztatható analitikus értékeket, vagy a radioaktív paraméterek bizonyos kombinációit is.

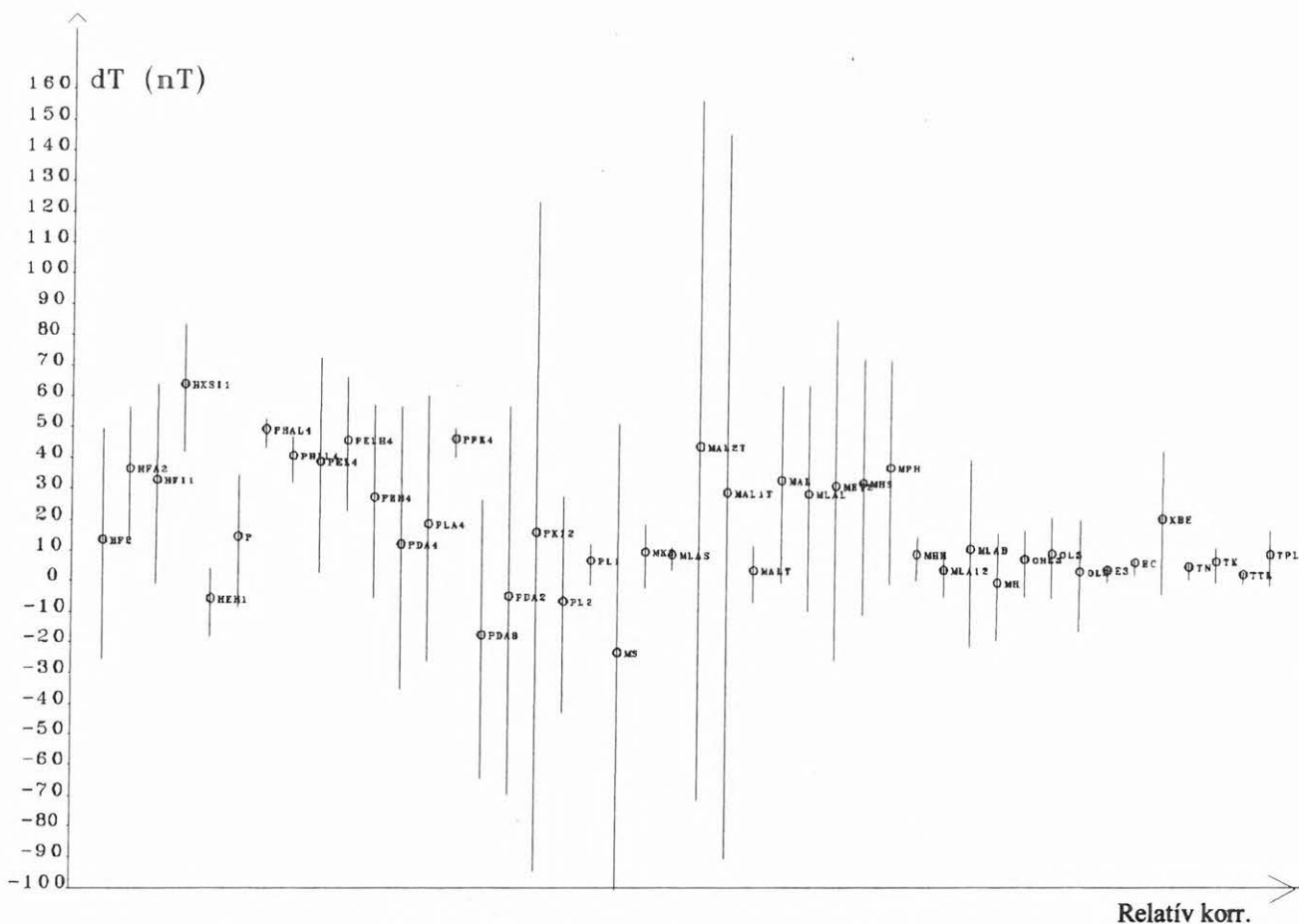
Ettől az eljárástól olyan földtani felépítésű területek esetén várhatunk jó eredményt, amelyekre egy vagy több paraméter értéke viszonylag kis szórású és átlagértéke jelentősen eltér a többi értékétől.

A mérés típusa	Kutatási mélység
légi elektromágneses	a felső 30 – 150 méter
légi mágneses	a ható „erősségétől” függő (kilométeres mélységtartomány)
légi radiometria	legfelső néhány 10 cm
gravitáció	a hatótól is függően kilométeres nagyságrendű
űrfelvételek	gyakorlatilag csak a felszínt érzékeli

2. táblázat. Az alkalmazott módszerek kutatási mélységtartománya

Table 2. Investigation depth of the applied methods

A számított statisztikák megjelenítésénél a legfontosabb szempontnak az egyértelműséget, illetve a közép- és szórásértékek egyidejű megjelenítését tartottuk. Így abszcisszaként egy relatív idő- vagy kortengelyt választottunk (a területen előforduló képződményeket, függetlenül a köztük lévő korkülönbségre, egymáshoz képest azonos távolsággal toltuk el a jobb összehasonlíthatóság kedvéért), míg az ordináta az adott fizikai/mérési paraméter változásának tengelye. A diagramokon feltüntettük az adott paraméter középértékét és szórását is. Ez a fajta megjelenítés azért érdekes, mert a képződmények fizikai paramétereinek korfüggése rögtön szembeötlő. Így például jól látszik a korral együtt növekvő sűrűség, illetve fajlagos ellenállás, vagy jól kijelölhető a vulkáni aktivitás ideje a mágneses és radiometriai paraméterek alapján. Példaképpen a 2. ábrán a mágneses adatok ilyen ábrázolását mutatjuk be.



2. ábra. A mágneses tér statisztikai vizsgálatának eredménye az egyes földtani képződmények felett (légi geofizikai mérés, Eger, 1992)

Fig. 2. Result of magnetic field's statistical analysis over different geological formations (airborne geophysical survey, Eger, 1992)

3. Vetőnyomozás geostatistikai módszerrel

Célunk a szeizmikus szelvények alapján szerkesztett vetők vizsgálata volt geostatistikai módszerrel, ily módon közelítve egymáshoz a földtani és matematikai szemléletmódot. Eredményeinket részletesen ismerteti KUMMER et al. [1996].

A félvariogramok segítségével szerkesztett krigelt térképek alkalmazása sokféle feladat megoldásánál bizonyult sikeresnek, például szintvonalak lefutásának elemzésében. A szeizmikus szelvényeken értelmezett reflexiók szintek időértékeinek vizsgálatával törésvonalakat nyomoztunk. A félvariogramok felhasználásával a származtatott időkülönbség (időbeli vastagság) paraméter változékonyságát és hatástávolságát határoztuk meg. Az irányfüggetlen félvariogramok alapján szerkesztett krigelt szintvonalak jellegéből a tektonikai zóna helyére, irányára és mértékére lehetett következtetni. A vetők csapásirányai ugyanis bizonyos rendszert mutatnak, aminek geostatistikai módszerekkel is kimutathatóknak kell lennie.

Szeizmikus szelvényeken kijelölt (és hagyományos módon, a Landmark értelmező rendszeren térképezett) kréta és miocén felszín, valamint pannonbeli szekvenciahatárok időszint adataiból időbeli vastagság térképet állítottunk elő. Ezen vastagságértékek félvariogramokkal történő vizsgálata eredményeképpen krigelt szintvonalas térképeket is szerkesztettünk. A hagyományos módon és a geostatistika

módszereivel készített térképek összehasonlítása mutatja az utóbbiak előnyös tulajdonságait.

A kréta felszín — amely egyben a miocén fekéje is — irányfüggetlen félvariogramjára illesztett elméleti, hatványfüggvény típusú félvariogram hatástávolsága 16 000 m körüli érték. A tapasztalati félvariogram jellegéből úgy tűnik, hogy összetett, két küszöbszintes félvariogrammal találtunk. A K–Ny irányú empirikus félvariogram elméleti közelítése hasonló eredménnyel jár, mint az irányfüggetlen esetében, azonos az elméleti függvénnyel való közelítés és azonosak a hatástávolságok, sőt még a szórásnégyzetek is megegyeznek.

Elvégezve a számítást az alacsonyabb küszöbszintre is, azonos szórás és azonos elméleti függvénytypussal való közelítés mellett a hatástávolság 7200 m körüli érték. Ebből az a következtetés vonható le, hogy a keresett szerkezeti elemek nagy valószínűséggel két csoportba sorolhatók. E két csoporthoz tartoznak külön-külön az említett két hatástávolsággal jellemezhető szerkezeti elemek.

Két pannon szekvencia hatásterületi ellipsziseit is összehasonlítottuk. Ezek közel azonos paraméterekkel jellemezhetők, ellentétben a szekvencia vastagságára vonatkozó ellipszis paramétereivel, amelyek gyakorlatilag használhatatlanok az ellipszisek erős polarizáltsága miatt.

A statisztikai módszer tehát hasonlóan az eredeti, kvalitatív értelmezéshez két különálló csoportba sorolható szerkezeti elemeket mutatott ki.

A geostatistika módszereivel is azonosítani tudtuk a vetőzóna helyét, fő irányát és a vetődés mértékét. Az ilyen típusú feladatok esetében a kvalitatív értelmezés után érdemes elvégezni a leírtakhoz hasonló vizsgálatokat, elősegítendő a térképszerkesztés során a vetőirányok helyesebb megválasztását. A tektonikai kép további pontosítása érdekében azonban indokolt egyéb geostatistikai elemzések elvégzése is, figyelembe véve a két kimutatott különböző léptékű szerkezeti elemet.

Összefoglalás

A geostatistikai OTKA-pályázat keretében sikerült megtenni az első lépéseket különböző adatrendszerek matematikai vizsgálatában, elemzésében. Az a tény, hogy több geofizikai módszer, távérzékelési, légi és felszíni adatok esetében is sikerült eredményeket, az értelmezés pontosítását, javítását elérni, arra utal, hogy

mindenképpen érdemes hasonló elemzéseket más adatrendszereken is elvégezni.

IRODALOM

- OCSÉNÁS P. 1996: Mérnökgeofizikai adatok elemzése statisztikai módszerekkel. *Magyar Geofizika* 37, 4
- OCSÉNÁS P. 1998: Kontrollált VESZ adatok hidrogeológiai minősítése statisztikai módszerek alkalmazásával. *Magyar Geofizika*, közlésre elfogadva
- KOVÁCSVÖLGYI S., OCSÉNÁS P. 1997: Klaszter analízis alkalmazása felszíni geofizikai adatok komplex értelmezésében, *Magyar Geofizika* 38, 1
- KUMMER I., UNGER Z., KISS P. P. 1996: Tektonikai zónák kimutatása félvariogramok alkalmazásával egy szeizmikus kutatási területen, *Magyar Geofizika* 37, 2
- SCHWARZ G. et al. 1992: How to handle rugged topography in airborne gamma-ray spectrometry surveys. *First Break* 10, 1, 11–17



VERŐ József és VERŐ László

A kőzetek infrahang-frekvenciás elektromos tulajdonságainak kutatása

DANKHÁZI GYULA¹

Gy. DANKHÁZI: Investigation of the electrical rock properties at very low frequencies

OTKA nyilvántartási szám: T 14848

Eredeti célkitűzéseink szerint elsősorban frekvencia-tartományú mérésekkel szerettünk volna foglalkozni, azonban az amplitúdók frekvenciafüggése — várakozásunkkal ellentétben — alig haladta meg a mérőelektrodák és az erősítők együttes zajszintjét, így az időtartományú mérésekkel kísérleteztünk. Ezek a kísérletek viszont a várakozásnál lényegesen jobban értelmezhető eredményt adtak, ezért méréseinket az időtartományban végeztük.

A mérőrendszert úgy alakítottuk ki, hogy az a felszínről, bányából, fúrólukból származó üledékes, mesterségesen — pl. őrléssel — előállított minták, szennyezett vagy termőtalajok elsősorban polarizációs sajátosságainak tanulmányozására legyen alkalmas. A plexiből készült mérőegység, amely a hagyományos ellenállásmérést modellezi, három részre tagolódik: az A és B elektróda környezetére, valamint a közetmintára. Az A és B elektródákat egy áramlabirintus választja el a közetmintától. A mintatartóban elhelyezhető közetanyag térfogata 500 cm^3 , a mintatartó hossza 36 cm , a minta maximális felülete $6 \times 6 \text{ cm}^2$ lehet. Az áramlabirintus beiktatására azért volt szükség mert az áramot közvetítő ionok mozgékonyasága különböző (pl. a Cl/Na arány 1,5), így időegység alatt a nagyobb mozgékonyaságú ionokból több éri el a gerjesztő elektródát, mint a lassú ionokból. Az egyensúlyi feltételek miatt azonban mindkét elektródán csak azonos számú ion válhat ki. Ez az ellentmondás úgy oldódik fel, hogy a nagyobb mozgékonyaságú ionok az elektróda környezetében egy ionkoncentrációs potenciált alakítanak ki, amelyek lassítják a gyorsabb ionok mozgását. A mérőáram kikapcsolása pillanatában azonban megváltoznak az egyensúlyi feltételek, magára marad az ionkoncentrációs potenciál, amely kiegyenlítő áramot indít el a mérőegységen keresztül, amely tehát a mérőelektrolit ionkoncentrációjától és az ionok milyenségétől függően járulékos potenciállal zavarja az időtartományú méréseket. A labirintus azonban nemcsak a járulékos potenciálok hatását csökkenti, de egyben az áramtér homogenizálását is szolgálja. Gerjesztőelektrodnak platina, mérőelektrodnak AgCl/KCl nem polarizálódó elektródákat alkalmaztunk.

A mérőműszer megépítésénél a korszerű mérés technika szempontjait vettük figyelembe, így erre a célra a legalkalmasabbnak mutatkozott a számítógéppel vezérelt mérőegység kifejlesztése. A mérőműszer négy fő egységből áll: a programvezérelt erősítőből, a programvezérelt áramgenerátorból, az illesztőkártyából és a számítógépből. Kulcs szerepe van az illesztőegységnek, mivel ez teremti meg a kapcsolatot a mérőerősítő, az áramgenerátor és a

számítógép között. A kereskedelemben beszerezhető illesztőkártya (Advantech PCL 818) — a számítógépbe írt program szerint — digitalizálja az erősítőből érkező jelet, vezérli a mérőerősítő erősítését, a mintavételezési és gerjesztési időket, továbbá az áramgenerátor áramát. Mivel a számítógép mérés technikai szempontból jelentős zajforrásnak tekinthető, ezért a mérőegységet, a mérőerősítőt és az áramgenerátort galvanikusan le kellett választani a számítógéptől. Ezt a feladatot galvanikusan leválasztó lineáris erősítők és optikai csatolók alkalmazásával oldottuk meg.

A mérőprogram öt részprogramból áll: a menü, a nullázó, a mérő, a megjelenítő és a floppyra író részből. A menü rész minden beállítható értéket felsorol, itt adhatjuk meg a mérési paramétereket. A megjelenítő program a mérések gyors ellenőrzésére szolgál.

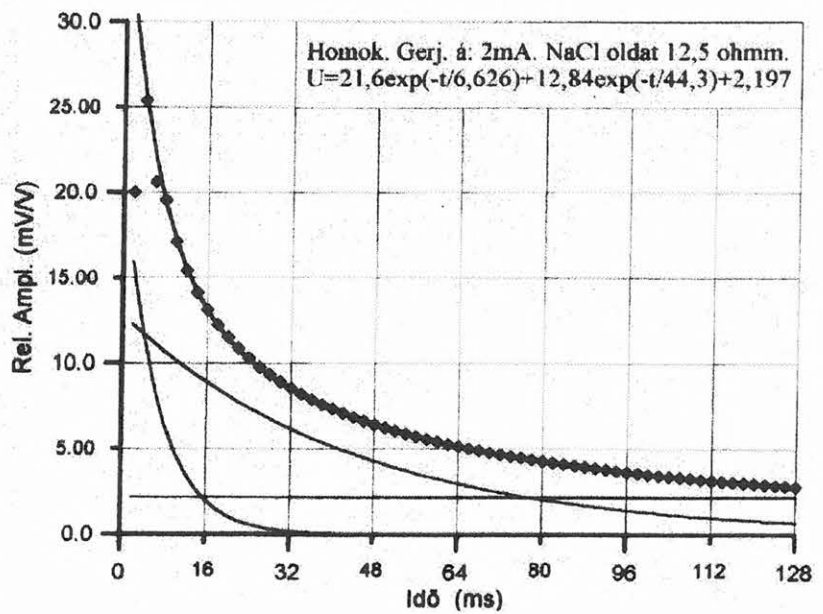
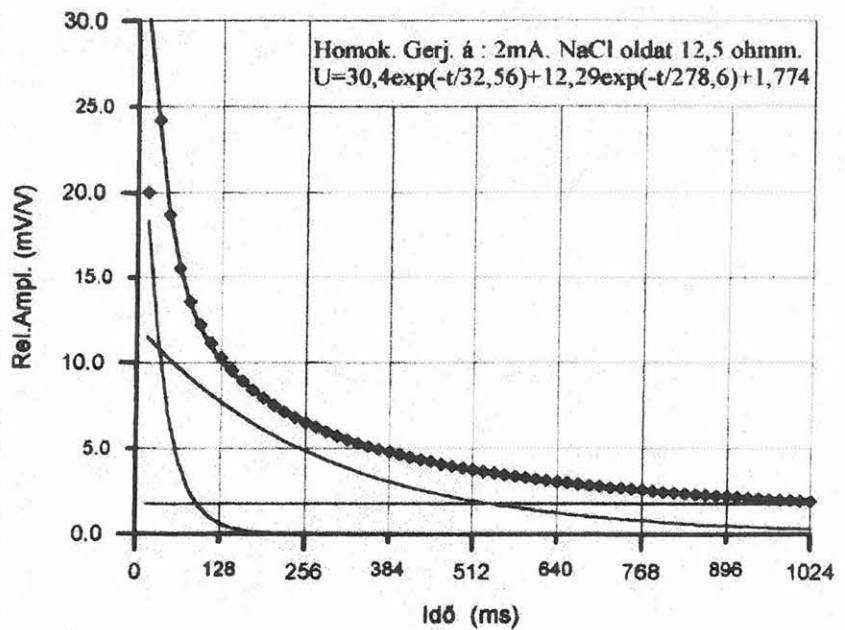
Minden megvizsgált mintán három, egymástól jól elkülöníthető polarizációs folyamatot ismertünk fel. Ezek közül feltételezéseink szerint az egyiket (amely már a tiszta elektrolitokban is megjelenik) az áramot közvetítő ionok és azok potenciálterét semlegesítő ionatmoszféra együttes polarizációja okozza, amit *ionpolarizációnak* neveztünk el. Ebben a polarizációban a vízmolekulák mint dielektrikumok is részt vesznek, tehát átmenetnek kell tekinteni a dielektromos polarizáció és a gerjesztett potenciál vagy az egyre gyakrabban használt indukált polarizáció — a továbbiakban IP — néven ismert polarizációs folyamat között. Erre az ionpolarizációs folyamatra sem a geofizikai, sem az elektrokémiai irodalomban nem találtunk utalást. Ez a polarizációs folyamat meglehetősen bonyolult, mivel az ionpolarizáció a gerjesztési idő növelésével növekvő időállandóval jelentkezik. Ezt az időállandó-növekedést pedig azzal magyarázzuk, hogy az áramot közvetítő ionok potenciálterét a feltehetően diffúz szerkezetű ionatmoszféra csak a hőmozgás átlagában semlegesíti, ugyanakkor, a gerjesztési idő növelésével a gerjesztőelektrodák anód- és katódterében fokozatosan nő az ionkoncentráció, ezzel csökken a szomszédos ionok közti távolság. Ez pedig az ion és atmoszférájából kialakult diffúz szerkezetű „iondipól” rendezettségéhez vezet, így nagyon valószínű, hogy az iondipólok közt ébredő kölcsönhatás növekedése eredményezi a gerjesztési időtől is függő ionpolarizációt. A kőzetekben az ionpolarizációt tovább bonyolítja az, hogy a kőzetalkotók körül kialakuló, általában vízmolekulákból álló klaszter zónák is polarizálódnak, és méréseink alapján a kétfajta polarizáció — tehát az ionpolarizáció és a klaszter zónák polarizációja — nem különíthető el.

¹ Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17–23.

Az indukált polarizációt (IP-t) egyes kutatók szerint a kőzetalkotók — pl. agyag, ércszemcse — felületén, a kettősrétegben adszorbeált ionok átrendeződése, polarizációja hozza létre, míg mások szerint ebben inkább az ionok kőzetalkotótól függő átviteli számainak különbözőségéből adódó, gyakran (pl. a pórusokat összekötő szűkületek környezetében kialakuló) membrán effektusnak nevezett polarizációnak van meghatározó szerepe. Méréseink szerint azonban feltételezhető, hogy a két polarizációs forma egyidejűleg van jelen, és hatásuk a mérések alapján ugyancsak nem különíthető el. Ezeket a polarizációs formákat is szintén az bonyolítja, hogy a polarizációt kialakító adszorbeált — a kettősrétegben megkötött — ionok a termikus mozgást végző iondipólokból alakulnak ki, amelyek a gerjesztési idő alatt az iondipólokhoz hasonlóan fokozatosan rendeződnek, cementálódnak, így ebben az esetben is a gerjesztési időtől függő időállandók alakulnak ki. Az időállandók az IP esetben is arányosak a gerjesztési idővel, de legalább egy nagyságrenddel meghaladják az ionpolarizációnál tapasztalt értékeket. Relatív (kiindulási) értékeik azonban már függvényei a kőzetösszetételnek, és a pórusokat kitöltő elektrolit ionkoncentrációjának. A kőzetekre jellemző IP amplitúdókról viszont egyértelműen állítható, hogy csak igen kicsi mértékben függenek a gerjesztési időtől, és ez a függés sem lineáris. Méréseink alapján valószínű, hogy az IP-ről kialakult eddigi elképzeléseinket — újabb mintákon végzett mérésekkel — célszerű újraértelmezni.

A harmadiknak említhető polarizációról viszonylag kevés információt sikerült megszerezni, részben azért, mert a folyamat amplitúdója gyakran két nagyságrenddel marad el az előzőekben említett amplitúdóktól, időállandója pedig igen nagy, gyakorlatilag tehát konstans háttérpolarizációnak kell tekinteni. Ez a polarizációs átalakulás valószínűleg irreverzibilis geokémiai átalakulási folyamatokkal hozható kapcsolatba (pl. van der Waals-kötések felbomlása), de szerepet játszhat benne a kőzetek inhomogenitása, és a gerjesztő, valamint a mérőelektrodák polarizációja is. A háttérpolarizáció amplitúdója rendkívül rapszodikusan viselkedik részben azért, mert az átlagértékhez viszonyítva meglehetősen nagy szórást mutat, másrészt azért, mert pozitív irányú gerjesztés esetén negatív értéket — és fordítva — is felvehetnek. Az 1. ábra két homokminta lecsengő görbéit mutatja, amelyeken jól felismerhető a három polarizációs folyamat, és az időállandók gerjesztési időtől való függése is. A gerjesztési és mérési idők azonosak voltak.

Megvizsgáltuk a különböző szemcseméretű homokok viselkedését a telítő NaCl-oldat koncentrációjának változtatásával. Megállapítható volt, hogy a $t=0$ -ra extrapolált relatív (mV/V) értékek lognormális eloszlást követnek, a maximum



1. ábra. Fig. 1

900–1000 mg/l ionkoncentrációnál jelentkezett. A szemcsemérettől való függés nem volt megbízhatóan értelmezhető, mivel a szórás meghaladta a maximális változás mértékét, azonban az mégis felismerhető volt, hogy a szemcseméret csökkenésével nőtt a polarizáció. A kvarchomokba kevert, porított agyag esetében az agyagtartalom növekedésével a polarizáció gamma eloszlást mutatott, a maximum értéket 6–9% agyagtartalomnál érte el. Ugyancsak kvarchomokot használtunk a lamináris szerkezetek modellezésére. Az áram irányával párhuzamosan, illetve arra merőlegesen 100–100 db 0,5–1,5 cm² felületű és kb. 1 mm vastagságú agyaglemezt helyeztünk el a homokban. Az áram irányával párhuzamos modell polarizációja több mint háromszorosa volt a merőleges modellnek, amely a polarizáció lamináris szerkezetekre való érzékenységét tükrözi.

A polarizáció jelensége nemcsak a gerjesztő elektródákon mérhető, hanem az MN mérőelektrodákon is, ami azt jelenti, hogy a polarizáció térbeli folyamat során alakul

ki. Ebből pedig azonnal következik, hogy a közetekben a $\text{div}\mathbf{E}=0$ feltétel *nem* teljesül. Mivel ez az állítás ellentétben van a legtöbb tankönyv feltételezésével, ebben a rövid összefoglalóban is célszerű ezt bizonyítani. A bizonyításhoz természetesen elégséges egy egyszerű, egydimenziós modell is. Legyen a modellünk egy olyan egysegnyi térfogatú kocka, amelynek szemben fekvő oldalait elektródának képeztük ki, és amely 1 ohmm fajlagos ellenállású elektrolittal van feltöltve. (2. ábra). Ha 1 A áramot vezetünk át ezen a kockán, akkor az elektródákon mérhető feszültség

$$U = \frac{R_w I l}{s} = 1,0 \text{ [V]},$$

ahol R_w az elektrolit fajlagos ellenállása, I az áram, l a kocka hossza, s pedig a felülete. Legyen az áramirány x tengely irányú, akkor az \mathbf{E}_x térerő

$$\mathbf{E}_x = \frac{U}{l} = \frac{R_w I}{s} = 1$$

egyenlettel írható le. Válasszunk ki most az elektródák felületéből olyan Δs elemi felületet, amelyből egyetlen áramvonal indul ki. Osszuk n részre ezt az áramvonalat, és az egyes szakaszok hosszát jelöljük Δx_i -el, akkor az i -ik szakasz Δx_i távolságához tartozó $\Delta \mathbf{E}_{xi}$ térerő növekedése

$$\frac{\Delta \mathbf{E}_{xi}}{\Delta x_i} \Delta x_i.$$

A teljes térerőt összegezéssel kapjuk, vagyis

$$\mathbf{E}_x = \frac{U}{l} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \mathbf{E}_{xi}}{\Delta x_i} \Delta x_i = 1.$$

Feltételezhetjük, hogy az elektrolit makroszkopikus szempontból homogén és izotróp, akkor ha

$$\Delta x \rightarrow 0, \text{ akkor}$$

$$\frac{U}{l} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \mathbf{E}_{xi}}{\Delta x_i} \Delta x_i \rightarrow \int_0^l \frac{\partial \mathbf{E}_x}{\partial x} dx.$$

Ha most áttérünk az elemi Δs felületről a teljes elektródafelületre, akkor

$$\frac{U}{l} = \iiint_{xyz} \frac{\partial \mathbf{E}_x}{\partial x} dx dy dz = 1$$

Mivel esetünkben a térerőnek csak x irányú komponense van ($\mathbf{E}_y = \mathbf{E}_z = 0$), ezt az egyenletet még így is írhatjuk:

$$\iiint_{000}^{111} \left(\frac{\partial \mathbf{E}_x}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{E}_y}{\partial y} + \frac{\partial \mathbf{E}_z}{\partial z} \right) dx dy dz = \int_V \text{div} \mathbf{E} dv,$$

amiből következik, hogy $\text{div}\mathbf{E}=1$, tehát már a homogén elektrolitban sem teljesül $\text{div}\mathbf{E}=0$ feltétel. (Bár a bizonyítás egydimenziós speciális esetre vonatkozik, mégis általános érvényű.) Ez az összefüggés számszerűen is helyes eredményt ad, ha elfogadjuk a *Log Analyst* 1993. július-augusztusi számában bevezetett paramétert, az ekvivalens töltéskapacitást (C_e). Ekkor $\text{div}\mathbf{E}$ így írható:

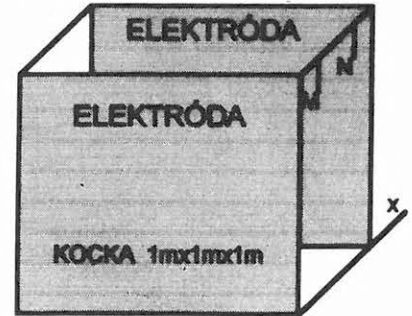
$$\text{div}\mathbf{E} = \frac{\rho}{C_e} = 1,$$

ahol ρ a térfogati töltéssűrűséget jelenti. Ha a 2. ábrán a kockát 25 °C-os NaCl-oldattal töltjük meg, akkor az előző feltételek mellett $\rho = C_e = 1$, tehát az összefüggés számszerűségében is helyes.

Az elmondottakból következik, hogy már az ellenállásmérésnél sem indulhatunk ki a hagyományos Laplace-egyenletből, így ezt a Poisson-egyenlettel kell helyettesíteni, vagyis a

$$\Delta U = 0 \text{ helyett a } \Delta U = \frac{\rho}{C_e}$$

egyenletet kell megoldani. Lorentz elektronelméletét felhasználva bebizonyítottuk, hogy homogén közetben a Laplace- és a Poisson-egyenletek megoldásai azonosak, így a Lorentz elektronelméletére épülő Maxwell-egyenletektől várhatunk megoldást eddig tisztázatlan kérdésekre, így elsősorban az IP-vel kapcsolatos polarizációs folyamatokra.



2. ábra. Fig. 2

PRÁCSER Ernő és DANKHÁZI Gyula



Geológiai mintákon mért lézer-indukált plazma atom emissziós spektrumok időbeli és térbeli vizsgálata

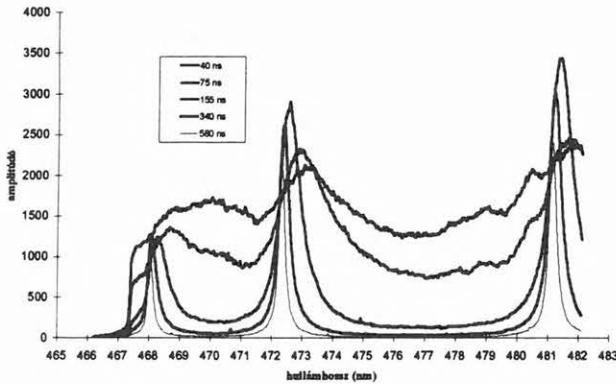
ANDRÁSSY LÁSZLÓ¹ (témavezető), NÉMET BÉLA², VIHAR LEVENTE³

L. ANDRÁSSY, B. NÉMET, L. VIHAR: The time resolved and spatial examination of the laser-induced plasma emission spectra measured on the geological core samples

OTKA nyilvántartási szám: T 14863

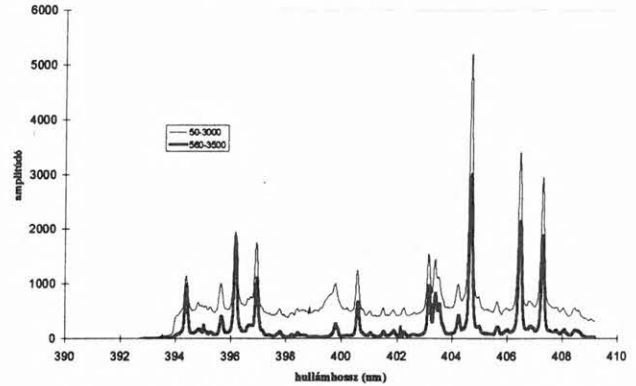
A lézer-indukált plazma atom emissziós spektrumok időbeli eloszlás vizsgálata

Az OTKA Pécsi Regionális Műszerközpont Lézerspektroszkópiai Laboratóriumában (Janus Pannonius Tudományegyetem TTK, Kísérleti Fizika Tanszék) alapkutatói célokból kísérleti méréseket végeztünk a TRELIBS (OSMA) laboratóriumi spektrométerrel nagytisztaságú fém- és ismert összetételű kőzetmintákon a mért indukált plazma emissziós spektrumok időbeli változásainak vizsgálatára, a minták elemi összetételének meghatározására. Az időben bontott mérések eredményei alapján lehetővé vált néhány elemre és a kiválasztott kőzetmintákra egy megválasztott τ_g időkapuhossz mellett a szinképi eloszlások időbeli változásainak vizsgálata és az optimális időkésleltetések értékeinek meghatározása.



1. ábra. Nagytisztaságú Zn fémáltalón mért emissziós spektrum időbeli alakulása

Fig. 1. Changing in time of emission spectra of heavy metal Zn



2. ábra. Recski fűrómagmintán mért emissziós spektrum változásai két időkapuhossz mellett

Fig 2. Changing in two time gates of emission spectra on core samples of Recsk

A lézer-indukált plazma atom emissziós spektrumok térbeli eloszlás vizsgálata

Az alapkutatásaink során vizsgáltuk félbevágott fűrómagmintákon és porított homogenizált etalon mintákon egy véletlenszerűen megválasztott mérési pontsűrűség mellett a minták mikro- és makroszerkezetéből adódó elem eloszlásokat. A vizsgálatokat a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben kifejlesztett LIPS hordozható lézer-indukált plazma spektrométerrel végeztük. Az egyes mérési pontokban felvett lézer-indukált plazma atom emissziós spektrumok *Wskrom 2000* programmal történő feldolgozásának eredményei alapján, szelvény menti eloszlásdiagramok segítségével tanulmányoztuk a mintákat alkotó elemek előfordulási gyakoriságát. Kutatásaink során kidolgoztunk egy kalibrációs technológiát, amely segítségével adott célfüggvények alkalmazásával az elemkoncentráció értékek kiszámíthatók.

A mért emissziós spektrumok feldolgozása

A Magyar Állami Földtani Intézetben elvégzett ICP AES laboratóriumi vizsgálatok eredményeinek ismeretében a mért emissziós spektrumok *Wskrom 2000* programmal történő feldolgozásához összeállítottuk a szükséges szakértői elemkönyvtárat. Az elemazonosításhoz felhasznált legerősebb mért és (irodalmi) spektrumvonal hullámhossz értékek a következők:

¹ Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17-23.

² Janus Pannonius Tudományegyetem TTK, Kísérleti Fizika Tanszék, H-7604 Pécs, Ifjúság útja 6.

³ OPLAB Optikai Elektronikai Fejlesztő és Gyártó Mérnöki Kft., H-1221 Budapest, Arany János u. 115.

Al: 309,3 nm (309,271), Ba: 455,2 nm (455,404),
 Ca: 393,6 nm (393,367), Cu: 328,0 nm (327,396),
 Fe: 260,0 nm (259,940), Mg: 279,4 nm (279,553),
 Si: 288,2 nm (288,158), Sr: 407,7 nm (407,771),
 Ti: 335,0 nm (334,903).

A kalibrációs technológia és az elemkoncentráció kiszámítása

A feltételezett összefüggés egy csúcs intenzitása és az elem koncentrációja között (célfüggvény):

$$I_n = p_1 * c_n^{p_2} * \exp(c_n * p_3),$$

ahol

I_n — az n . spektrumvonal intenzitása, c_n — az n . spektrum koncentrációja, $p_1, p_2, p_3 \dots$ — paraméterek, és $n = 1, \dots$, de legalább 3.

Az exponenciális tag az önabszorpció modellezését szolgálja (módosított Malpica-egyenlet).

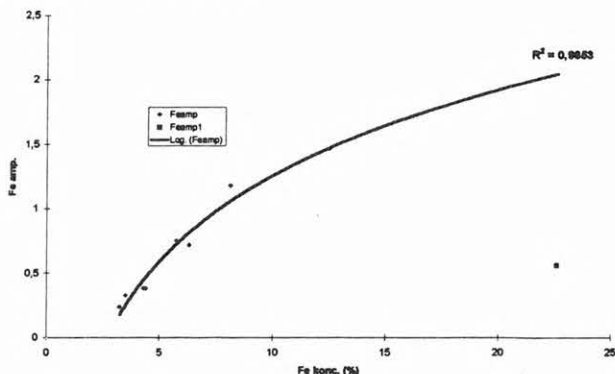
A kalibrálás

(p_1, p_2, p_3 meghatározása ismert c és I értékekből)

A kalibrációs görbe háromparaméteres nemlineáris függvény. A paraméterek kiszámításához legalább három különböző — de a pontosság növelése céljából célszerűbb több — ismert, eltérő koncentrációjú minta spektruma szükséges. A mennyiségi analízis elvégzéséhez minden egyes kiértékelendő elemhez külön kalibrációs függvényt kell létrehozni. A csúcshoz tartozó kalibrációs görbe három paraméterét három spektrum esetén egy háromismeretlenes egyenletrendszer megoldásával, háromnál több spektrum esetén regressziós eljárással határozzuk meg. Több csúcs-hely is megadható, ekkor mindegyik csúcs helyhez külön paraméter-hármas tartozik. A kalibráció eredményeként létrejövő paramétermátrix tehát $3 \times m$ -es, ahol m a csúcs-helyek száma. ($1 \leq m \leq 20$).

A koncentráció meghatározása (c meghatározása)

Egyetlen csúcs esetén az egyváltozós nemlineáris függvény megoldása, több csúcs esetén regresszió szolgáltatja a koncentráció értékeket.

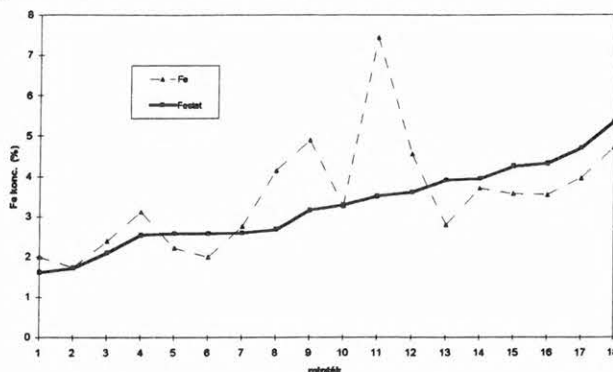


3. ábra. Összefüggés a koncentráció és a LIPS mérésekből számított amplitúdó értékek között vasra

Fig 3. Relation between the concentration and the amplitude values calculated from LIPS on Fe

A reecski Lahóca UF13 fúrás őrlött és porított mintáin végzett mérések eredményei

A 4. ábrán a reecski Lahóca UF13 fúrás 20 db őrlött porított mintáján véletlenszerűen kiválasztott pontokban egyedi, illetve 10 mérés statisztikai átlagát reprezentáló emissziós spektrumokból az *Ferecsk* kalibrációs célfüggvény segítségével kiszámított koncentráció értékek láthatók.

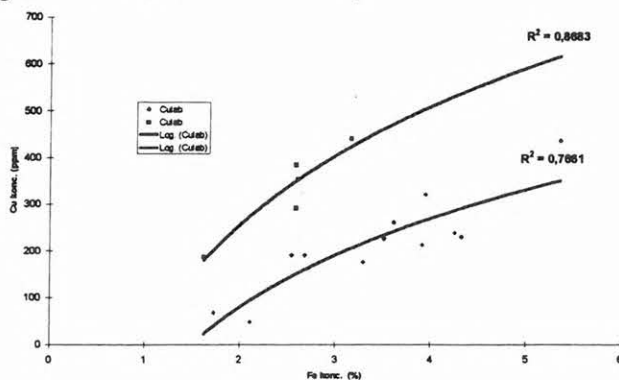


4. ábra. Reecski Lahóca UF13 fúrás mintáin egyedi és statisztikai LIPS mérésekből számított Fe koncentráció értékek diagramja

Fig 4. Diagram of the Fe concentration values, calculated from individual and from statistical LIPS measurements on samples of the bore hole Reecsk Lahóca UF13

A kutatások számára igen fontos feladat a szulfidos rézércekben előforduló Cu-tartalom és az érces zónákban kimutatható Fe-tartalom korrelációs vizsgálata.

Feltételezéseink szerint az 5. ábrán jelzett pontok a közetmátrixnak (az ásványos összetételnek) megfelelően egymástól jól elkülöníthető két trendet követnek, amelyet mindkét ponthalmazra illesztett logaritmusos függvények is alátámasztanak. A kiszámított korrelációs faktorok értékei $R^2_1 = 0,8683$ és $R^2_2 = 0,7661$, amelyek a geológiában elfogadható értékek.



5. ábra. LIPS mérésekből kiszámított Fe- és ICP AES mérésekből meghatározott Cu-koncentráció értékek korrelációs diagramja

Fig 5. Correlation diagram of the Fe concentration from LIPS measurements and of the Cu from ICP AES

IRODALOM

ANDRÁSSY L., KOZMA L., LENDVAY P., LUPKOVICS G., NÉMET B. 1993: Real time in situ application of the Laser Induced Plasma Spectrometry. The field mode laser spectrometer LIPS-1-60. *Optics as a Key to High Technology*, SPIE, 1005, Budapest

ANDRÁSSY L., LENDVAY P., LUPKOVICS G., KOZMA L., NÉMET B.
1995: A lézer-indukált plazma atom emissziós spektroszkópia
alkalmazási lehetőségei a földtani és környezetvédelmi kutatá-
sokban. Magyar Geofizika 36, 1, 68–74

ANDRÁSSY L., MARA J., LUPKOVICS G., MOLNÁR G., VIHAR L.
1995: LIPS2 hordozható lézer-indukált plazma spektrométer.
Magyar Geofizika 36, 3, 222–231

ANDRÁSSY L., FÖLDESSY J., VIHAR L., ZELENKA T. 1997: Recsk-
lahócai fűrómagmintákon a LIPS2 hordozható lézer-indukált

plazma spektrométerrel végzett vizsgálatok eddigi eredményei.
Magyar Geofizika 38, 1, 44–58

CHINNI R. C., CREMERS D. A., FERRIS M. J. 1998: The detection
of contaminants on surface using a portable instrument based
on Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS). Winter
Conference on Plasma Spectrochemistry, Scottsdale, Arizona

YAMAMOTO K. Y., CREMERS D. A., FERRIS M. J., FOSTER J. E.
1996: Detection of metals in the environment using a portable
laser induced breakdown spectroscopy instrument. Appl.
Spectr. 50, 2, 222–232

ANDRÁSSY László



KAKAS Kristóf
és
ORMOS Tamás



CSEREPES László
és
MINDSZENTY Andrea



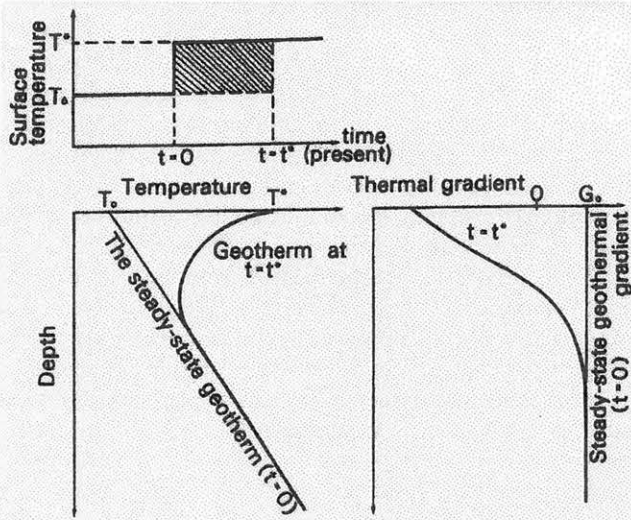
Magyarországi klímaváltozások vizsgálata geotermikus módszerrel

BODRINÉ CVETKOVA LUJZA¹

L. BODRI: Studies of climate change in Hungary by geothermal method

OTKA nyilvántartási szám: T 14946

A felszín alatti termikus állapotot kis mélységeken az alulról feláramló hőfluxus mellett a földfelszín termikus viszonyai határozzák meg. A felszíni hőmérséklet bármilyen változása természetesen tovaterjed a felszín alá. Míg az első tényező hatása stacionárius, a felszíni viszonyok változásából származó hőmérsékleti hullám tranzienst jelent. Az 1. ábra a felszíni hőmérséklet lépcsős emelkedésének a hőmérsékleti mélységjelvényre gyakorolt hatását szemlélteti szemantikusan. Egy t^* időtartam során ható járulékos melegítés a szelvény felső szakaszában anomális görbületet eredményez. Az anomális szakaszon a termikus gradiens negatív, majd fokozatosan növekedve eléri a zavarmentes értéket. A jelenlegi középhőmérsékletek tehát ilyen módon mintegy archiválva őrzik a felszíni hőmérséklet múltbeli változásait kapcsolatos információt. Ezért a geotermikus világadat-rendszer, mely eredendően hőáramvizsgálatok céljaira végzett mérési adatokat tartalmaz, rendkívül hasznosnak bizonyulhat a paleoklíma kutatásának szempontjából is.



1. ábra. A felszíni hőmérséklet lépcsős emelkedésének hatása a geotermára

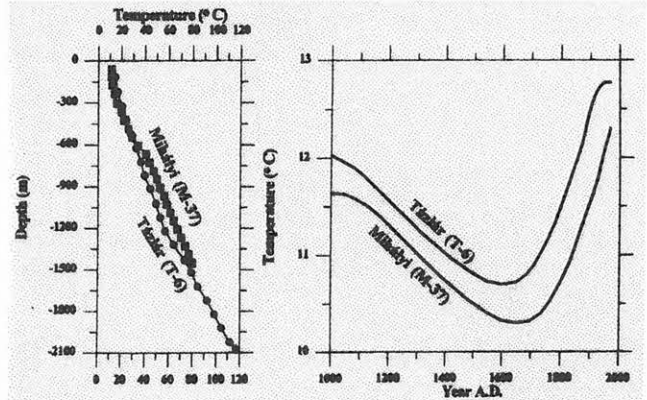
Fig. 1. Influence of a stepwise increase of surface temperature on the geotherm

Múltbeli klímaváltozások rekonstruálása matematikailag a hővezetés inverz feladatának megoldását jelenti, időben változó határfeltételek mellett. Egyértelmű és stabil megoldás csak úgy határozható meg, ha a vizsgálatba „a priori”

¹ MTA Geofizikai és Környezetfizikai Tanszéki Kutatócsoport
ELTE Geofizikai Tanszék, H-1083 Budapest, Ludovika tér 2.

információt építünk be a meghatározandó klímaváltozások perszisztenciájára, állhatatosságára, a mérési adatokban rejlő információ fluktuációkkal szembeni tehetetlenségére vonatkozóan [BODRI, ČERMÁK 1995, 1998].

A 2. ábra geotermikus módszerrel végzett paleoklimatikus rekonstrukcióra mutat be két példát. A Mihályi (Dunántúl) és Tázlár (Duna–Tisza köze) helységeken található mélyfúrásokban 1455, illetve 2074 m-es mélységig végzett hőmérsékleti szelvényezés adatai nagyjából az utóbbi évezred során lezajlott klimatikus változásokról adnak képet. A felszíni hőmérséklet rekonstruált változása a két esetben fő vonalaiban hasonló, a változás intervalluma 2–2,5 K nagyságú. A kimutatott fő klimatikus események az i. sz. 1000. év körüli meleg periódus (Középkori Enyhe Időszak), a Kis Jégkorszak néven ismert lehülés az 1620–1650-es évek közötti minimum hőmérsékletekkel, majd az ezt követő jelentős felmelegedés. A fenti változás menete jól egyezik az Európa egyéb területeire végzett klímarekonstrukciók eredményeivel.



2. ábra. Mért hőmérsékleti szelvények (balról) és a felszíni hőmérséklet rekonstruált változása (jobbról) Mihályi (Dunántúl) és Tázlár (Duna–Tisza köze) területén

Fig. 2. Measured temperature logs (left) and reconstructed surface temperature histories (right) for sites Mihályi (Transdanubian area) and Tázlár (Danube–Tisza interfluve)

HIVATKOZÁSOK

BODRI L., ČERMÁK V. 1995: Climate changes of the last millennium inferred from borehole temperatures: Results from the Czech Republic — Part I. *Global Planet. Change* **11**, 111–125

BODRI L., ČERMÁK V. 1998: Last 250 years climate reconstruction inferred from geothermal measurements in the Czech Republic. *Tectonophysics* **291**, 251–261

Felszíni zavarhullámok inverziója

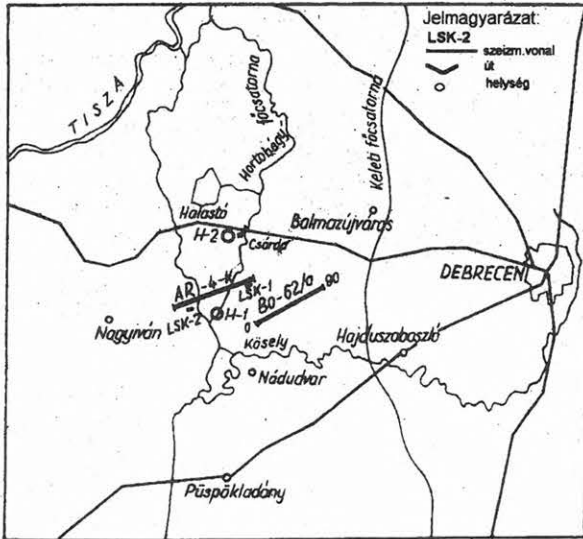
ÁDÁM OSZKÁR¹ (témavezető)

O. ÁDÁM: The inversion of seismic ground roll

OTKA nyilvántartási szám: T 15850

Bevezetés

A szeizmikus felszíni zavarhullámok a szeizmikus gyakorlatban — legalább is hazánkban — a laza konszolidálatlan üledékekhez kapcsolódnak. Ilyen a DNY-Dunántúl lösszel, illetőleg felső pannon korú laza üledékekkel borított területe, valamint a Dunántúl más, enyhén dombos területei, ahol a talajvíz mélyen van. De zavarhullámoktól terhesek az Alföld olyan területei (Hortobágy, LSK-2, 1. ábra) is, ahol a talajvízszint ugyan a felszínen vagy a felszín közelében van, de a felszíni és felszínközeli nagyon laza, konszolidálatlan üledékek rendkívül rossz energiaközvetítők, és jó zavarhullám-vezetők [ÁDÁM 1967]. Hortobágy időközben természetvédelmi területté minősült, így ott a mérést nem engedélyezték. A reambulációt csak a még rendelkezésre álló nagyon kevés archív (nagyreszt publikált) anyag új feldolgozása jelenti. Az 1995–97. évi új mérések célja volt az egyes dunántúli lösszel, ill. felső pannóniai laza képződményekkel fedett hat zavarhullámos területen az 1967. évi eredmények általánosíthatóságának vizsgálata.



1. ábra. Az LSK-2 kísérleti terület topográfiai térképe.
O—mélyfúrás; — szeizmikus vonal

Fig. 1. Topographical map of LSK-2 experiments. O—well site;
— seismic profile

Új mérési eredmények

Az új adatokat egységes rendszerben megvalósított mérésorozat keretében gyűjtöttük össze. A mérési területek:

1. Szárítópuszta homok hátság (Gödöllő–Máriabesnyő környezetében);
2. Szakadát–Gyöngy lőszhátság (Tolna megye);
3. Nagytillaj–Csehi felső pannon hátság (Zala megye, Vasvár környezete);
4. Duna-1 lőszhátság (Rácalmás–Dunaújváros, Fejér megye);
5. Udvari lőszhátság (Tolna megye, tervezett atomhulladék lerakó, mélyfúrással);
6. Duna-2 lőszhátság (Rácalmás–Dunaújváros, Fejér megye, mélyfúrás szelvényezéssel).

A méréseket úgy terveztük, hogy a következő három kérdésre választ kapjunk:

1. Milyen felszíni „rétegszerkezet” hozza létre a zavarhullámot?
2. A zavarhullám egyetlen felületi hullámot, vagy több, különböző jellegű (test-)hullámot tartalmaz-e?
3. Amennyiben különböző hullám(csoportokat) tartalmaz, melyek azok és melyek keletkezésük feltételei?

A sebességfüggvény

A negyedkori löszből, vagy felső pannóniai homokos agyagos képződményekből álló rétegsorban a feszültségek nagysága (a Young- és a torziós modulusok értéke) és így a szeizmikus hullám terjedési sebessége is valamilyen (tetszőlegesen, vagy matematikai függvénnyel leírható módon) nagymértékben függ a mélységtől, vagyis a $V(z)$ sebességfüggvény mind a P -, mind az S -hullámokra vonatkozóan létezik. Emiatt lesz a rétegszerkezet hullámvezető. A hazai munkálatok során úgy találtam, hogy ezt a hullámvezetőt képező rétegsort legjobban a $V(z) = Az^{1/n}$ sebességfüggvény írja le [BANTA 1941; KAUFMAN 1953; ÁDÁM, SZ. KILÉNYI 1963]. A hullám(ok) útját és a direkt hullám $t(x)$ menetidőgörbéjének jellegét (változó látzólagos sebesség) alapvetően a $V(z)$ sebességfüggvény határozza meg, amint az a 2. ábrán is kiténik. A mélységgel változó sebesség a hullámcsapdát és a *bemerülő* (diving wave) hullámot hozza létre. A menetidőgörbék egyenleteiből a $V_p(z)$ longitudinális (P) és $V_s(z)$ transzverzális S hullám sebességfüggvényeinek az egyenletei is meghatározhatók (2. ábra).

Felületi hullám vagy testhullám

A hullám, ill. a hullámok jellegének meghatározásához az 1967-es kísérletek során is vertikális és horizontális szeizmometereket használtunk [ÁDÁM 1967]. A korábbi kísérletnél csak $\Delta t = 5$ ms volt a mintavétel, a mostani kísérleteknél $\Delta t = 1$ ms-ot, esetenként kisebbet választottunk, hogy a felbontást növeljük (3. ábra). Ezen a kis ábrán is látszik az egyes beérkezés-csoportok elkülönülése. A szeizmogram *elején nagyobb frekvenciás és hátraforgó, végén kisfrekvenciás, de előreforgó* elmozdulásokat látunk (a kis kör a trajektória kezdetét jelzi, a vége szabad). Ezt a képet a szabad felszínre beérkező SV -

¹ Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17–23.

A szabad felszínen indított vertikális erőhatásra létrejövő P - és S -hullámok közül általában az S -hullámok a nagyobb energiájúak. Ezt a jelenséget megfigyelhetjük az $A(f)$ amplitúdó-frekvencia spektrumokban is. A frekvenciától függő abszorpciós tényező az egyes hullámtípusokra mindegyik területen más. A Gödöllő-Szárítópuszta területi adatokat elemezve a frekvenciától is függő abszorpció értékei a közeli (38-as) és a távoli (221-es) csatornákon nem szignifikánsan ugyan, de különböznek.

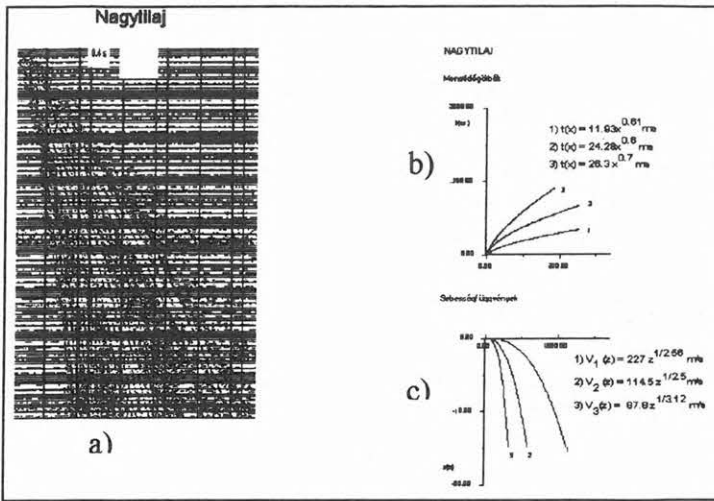
Terület	Pont neve	Abszorpció $1/(m,Hz)$
Gödöllő	218. csat.	$\kappa=0,0023/Hz,m$
	221b. csat.	$\kappa=0,0022/Hz,m$
	221. csat.	$\kappa=0,0022/Hz,m$
	38. csat.	$\kappa=0,0026/Hz,m$

A $Q=\pi f/\alpha V$ faktorban az α jelenti az összes veszteségi tényezőt, így magában foglalja az abszorpciós és a transzmissziós veszteséget is. A 38. csatorna csúcshérfrekvenciája ~ 20 Hz, míg a távoli csatornáké ~ 10 Hz körüli. Hasonló értékeket kaptunk a többi területen is. A csak távolságtól függő abszorpció esetében mód van a geometriai tényező meghatározására is. Ezekben sem kaptunk azonban 0,5–1,0 közötti értéket, ami szintén a testhullámra utal.

Ezek az eredmények mind a statikus korrekciók, mind a fizikai-talajmechanikai paraméterek számításánál juthatnak jelentősebb szerephez.

IRODALOM

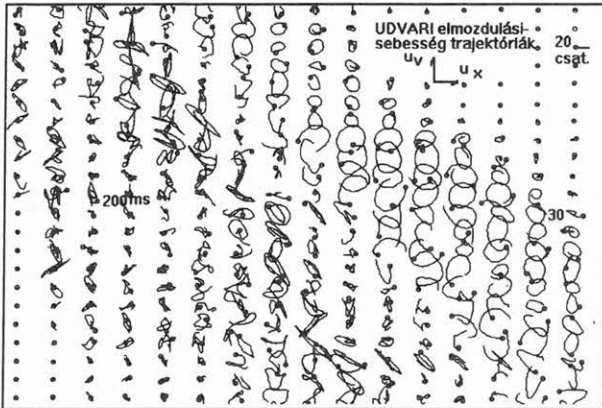
- ÁDÁM O. 1954: Egyes DNY-dunántúli területek némaságának okai. Geofizikai Közlemények IV, 1
- ÁDÁM O. 1963: Szeizmikus felvételek frekvencia analízise. Geofizikai Közlemények XIII, 1
- ÁDÁM O. 1964: Szeizmikus felszíni zavarhullámok (ground roll) dinamikai vizsgálata. Magyar Geofizika, 5, 1–2
- ÁDÁM O., SZ. KILÉNYI É. 1963: Közelítő sebességfüggvény meghatározása refrakciós menetidő görbékből. Geofizikai Közlemények XII, 3–4
- ÁDÁM O. 1967: A szeizmikus felszíni zavarhullámok. Geofizikai Közlemények XVIII, 3
- ÁDÁM O. 1998: A felszíni zavarhullám inverziója. Magyar Geofizika 39, 1, 2–12



2. ábra. Zavarhullám Nagytillaj (Zala) területről. a) szeizmogram, b) menetidőgörbe 1, 2, 3.. fázisonként, c) $V(z)$ sebességgörbék 1, 2, 3... fázisonként

Fig. 2. Ground roll of Nagytillaj (Zala) area. a) seismogram, b) time-distance curves, c) $V(z)$ velocity curves for different phases of 1, 2, 3...

hullám adja. R -hullám beérkezést ezen a távolságon, ilyen közetviszonyok mellett nem regisztráltunk. Mindebből az is következik, hogy a felszíni szeizmikus zavarhullám (ground roll) nem felületi, hanem SV - vagy $P-SV$ (csatolt) testhullám.



3. ábra. v_x-v_z részecske sebesség trajektóriák (Nagytilaj)

Fig. 3. v_x-v_z trajectory of displacement velocity

ÁDÁM Oszkár



Termikus konvekció a Föld belsejében

CSEREPES LÁSZLÓ¹ (témavezető), LENKEY LÁSZLÓ¹, GALSA ATTILA¹

L. CSEREPES, L. LENKEY, A. GALSA: Thermal convection in the Earth's interior

OTKA nyilvántartási szám: T 15966

A Föld élő bolygó, de nemcsak biológiai értelemben. A „halott”, kővé fagyott égitestektől (ilyen pl. a Hold) az különbözteti meg, hogy szinte minden mozog benne. A légemű atmoszféra, a cseppfolyós óceán, de a „szilárd” földbelső is. A Földnek ezeket a mozgó, cirkuláló részeit csaknem mindenütt a *termikus konvekciónak* nevezett mozgásforma tartja „életben”. Ez a mozgás a hőmérséklet-különbségekből fakadó felhajtóerőtől származik.

Kutatási programunkban a Föld belsejében zajló termikus konvekció három konkrét esetét tettük vizsgálataink tárgyává. Ezek:

- 1) a Föld köpenyében zajló mozgás (köpenykonvekció), a geológiai evolúció, a lemeztektonika hajtóereje;
- 2) a külső magban zajló cirkuláció, amely fenntartja a Föld mágneses terét (magnetokonvekció);
- 3) a kéreg kőzeteiben elhelyezkedő vizek áramlása, amely ugyan csak részben konvektív eredetű, de a termikus hajtóerő is szerepet játszik benne (hidrotermális konvekció).

Összefogta e három területet az, hogy a három áramlásforma fizikai különbségei mellett sok hasonlóság is van közöttük. E hasonlóságok között első helyen áll az, hogy matematikai leírás módjuk nagyon nagy mértékig azonos.

A vizsgált konvekciós problémák három fő egyenlete a mozgásegyenlet, a hőtranszport egyenlete és (csak a magnetokonvekció esetében) a magnetohidrodinamika alap-egyenlete. A mozgásegyenlet a köpenykonvekció és a hidrotermális konvekció esetében nem tartalmazza explicite az időváltozót, azaz peremérték feladatra redukálódik. Ezt az egyenletet horizontális irányokban spektrális felbontással, vertikálisan véges differenciákkal oldottuk meg. A hőtranszport és a mágneses tér egyenlete, valamint a mozgásegyenlet a magnetokonvekció problémájában evolutív, azaz itt időben előre kell integrálnunk: erre a véges differenciákon alapuló ADI (alternating direction implicit) iterációt alkalmaztuk. Két- és háromdimenziós szimulációval egyaránt foglalkoztunk.

1. A legérdekesebb új eredményeink a köpenykonvekció számítógépes szimulációjából születtek.

Az eredmények egy első csoportja a földfelszint alkotó litoszféablokkok mozgásának explicit figyelembevételén alapszik. A kérdés az, hogy a merev lemezmozgás hogyan befolyásolja a konvekció háromdimenziós szerkezetét. A feladat két meghatározó paramétere a Rayleigh-szám és a lemezmozgás sebessége. Ezek függvényében lehet feltérképezni a lehetséges megoldási formákat. Ezek között transzverzális és longitudinális (Richter-féle) hengeráramok, ill. sokszögcellás cirkulációs elrendezések fordulnak elő. A Föld

aktuális paramétereivel számolva a felszálló oszlopok által dominált sokszögcellás szerkezetnek kell megvalósulnia. Ez az eredmény megerősíti azt az elképzelést, hogy a köpenykonvekció fő felszálló mozgása oszlopszerű és a *hotspot*-ok alatt található meg.

A köpenyre vonatkozó modellszámításaink nagyobbik csoportjában a 400 és 1000 km mélységek között húzódó „átmeneti zóna” sajátosságaira koncentráltunk. E zónában több fontos fázisátalakulás van, emellett az újabb geoid-inverziók azt jelzik, hogy itt egy „második asztenoszféra”, azaz egy alacsony viszkozitású rétegnek is jelen kell lennie. A köpenyszerkezet e fontos elemei nagyon erősen befolyásolják a konvekció elrendezését. A 660 km-nél megállapított endoterm spinel-perovszkit átalakulás és a második asztenoszféra együtt erőteljes áramlási rétegződést okoz, éppen a 660 km-es határnál [CSEREPES, YUEN 1997]. Ha ez alatt a határ alatt valahol 1000 km környékén egy további endoterm fázisátalakulás is jelentkezik, ahogy ezt amerikai és japán szeizmológusok méréseiből ténylegesen fel lehet tételni („920 km-es diszkontinuitás”), akkor áramlási rétegződés 660 km-nél és e mélyebb határnál egyaránt előfordulhat [CSEREPES et al. 1998]. Ez az eredmény magyarázatot tud adni a szubdukciós zónákat érintő, tomografikus eszközökkel nyert adatokra, melyek szerint a szubdukció 660 km-nél és egy mélyebb szinten is akadályba ütközhet. Emellett pedig a második asztenoszféra, a 660 km-es diszkontinuitás alól is származhatnak felszálló oszlopáramlatok [CSEREPES et al. 1998, YUEN et al. 1998]. A geofizikában (és a geokémiában is) jelenleg az a nézet az uralkodó, hogy felszálló oszlopok vagy a 660 km-es határról, vagy a 2900 km mélységben lévő köpeny-mag határról érkeznek a felszínhez. A geokémiai elemzések valóban igénylik is legalább két különböző mélybeli „rezervoár” jelenlétét. A második asztenoszféra is jelölt lehet egy ilyen geokémiai rezervoárra, s a belőle induló felszálló áramoszlopok sokkal egyszerűbben magyaráznák a geokémiai adatokat, mint a köpeny-mag határ instabilitásai.

2. A Föld folyékony magjának konvekciója elektromosan vezető közegben és mágneses térben zajlik. Ez a folyamat a földmágnesség dinamikájának egyik alapeleme. A rá vonatkozó ismereteink egyelőre sokkal bizonytalanabbak, mint amit a köpenykonvekcióról tudunk. A modellszámítások fontos mozzanata a mágneses térnek az áramlásra való visszahatása a Lorentz-erőn keresztül. Bár a Föld magjában a Coriolis-erő közvetítésével a Föld forgásának is fontos dinamikai szerepe van, egyelőre ezt a hatást mellőztük, hogy tisztán a mágneses tér és a konvekció kölcsönhatásainak fizikai természetére kaphassunk választ [CSEREPES 1998]. A földforgás hatása az örvényegyenletben minimális akkor, ha az Egyenlítő síkjában vagyunk, ezért kétdimenziós modelljeinket úgy lehet interpretálni, hogy azok a földmag egyenlítői

¹ ELTE Geofizikai Tanszék, H-1083 Budapest, Ludovika tér 2.

metszetének áramlási viszonyait írják le. A földmag paramétereit minden valószínűség szerint olyanok, hogy ez az áramlás a nagy sebességek tartományában, kaotikus módusban zajlik. Modellszámításaink főként ennek a módusnak a vizsgálatát célozták. A számítások a paraméterek (Rayleigh-szám, Chandrasekhar-szám) változásának szélesebb intervallumait ölelték át, tekintve, hogy ezek az adatok a magra vonatkozólag nagyságrendileg is bizonytalanok. Az eredmény az, hogy a feltehetőleg erős toroidális mágneses tér a magban elnyúlt áramlási cellákat okoz, azaz az áramlásnak is domináns toroidális komponense van. Ez a toroidális áramlás a mágneses dinamó egyes elméleti modelljeinek fő mozgáseleme, ezért különösen érdekes, hogy a mágneses konvekció önmagában is produkálja ezt a mozgásformát.

3. A földkéreg porózus-permeábilis közetrétegeiben, tipikusan a legfelső laza üledékretegekben a felszín alatti vizek cirkulációja zajlik. Ez a mozgás ugyan legtöbbször egyszerűen a hidraulikus nyomáskülönbségek folyamánya, helyenként azonban a hőmérsékleti eredetű felhajtóerő is befolyásolja. Ahol ilyen hidrotermális konvekció fellép, ott nagyon erős ez a befolyásoló szerep.

Feltérképeztük a hidrotermális konvekció szerkezeti formáit arra az esetre, amikor a nyitott felszínen konstans hidraulikus gradiens van adva. Ezek a „térképek” a (Rayleigh-szám, hidraulikus gradiens) változó páros függvényében rajzolják fel a cirkulációs formák stabilitási zónáit. Jellemzően három nagy tartomány figyelhető meg e stabilitási diagramokon. Viszonylag kis hidraulikus gradiens, de elég nagy Rayleigh-szám esetén időben változó, szabálytalan alakú poligoncellák mutatkoznak. Növelve a hidraulikus gradienst longitudinális hengercellákat kapunk, melyeknek tengelye a lejtés irányába mutat. Végül nagyon nagy hidraulikus lejtő esetén transzverzális hengerek jönnek létre, melyekben a hidraulikus eredetű áramláskomponens elnyomja a termikus konvekció hatását.

Magyarországon a Kis- és Nagyalföld nagyléptékű, regionális vízáramlási rendszerek területe, s előfordul termikus konvekció is (Tiszakécske). Ezek az áramlások többékevésbé kimérhetők a nyomáseloszlásnak és az oldott anyagok eloszlásának a segítségével. Több alföldi szelvény mentén megpróbálkoztunk az áramlás pontos rekonstrukciójával. Kútbeli nyomásmérések nagy számban állnak rendelkezésre,

így ez a legegyszerűbb lehetőség az áramlás felmérésére. Egy, a Dunától Tiszakécskén át a Nyírségig húzódó hosszú szelvény mentén ilyen módon határoztuk meg a vízmozgás elrendeződését [GALSA 1997]. Az eljárás egyfajta geofizikai inverciónak tekinthető, melynek során adatokat nyertünk a közeg permeabilitásáról és anizotrópiájáról. A szelvény mentén mindenütt hidraulikus típusú áramlás zajlik, de Tiszakécske vidéke kiugróan jelzi, hogy itt a termikus konvekció is megjelenik. Egy másik inverziós kísérlet során a Tiszakécske–Nyírség szelvényrészleten a felszín alatti vizek héliumgáz-tartalmának segítségével rekonstruáltuk a vízáramlást [CSEREPES, LENKEY 1998]. Bár He-koncentrációt mérni nehezebb, mint víznyomást, Magyarországon viszonylag jelentős mennyiségű He-tartalom adat áll rendelkezésünkre. A hélium, mint környezetével nem reagáló nemesgáz, egyszerű törvényeknek megfelelően migrál a mozgó felszín alatti vizekben. A He-inverzió ugyancsak fontos adatokkal szolgált a tiszántúli vízvezető rétegek permeabilitási viszonyairól, s ezzel a módszerrel is ki lehetett mutatni a tiszakécskei konvekciós zónát.

HIVATKOZÁSOK

- CSEREPES L., YUEN D. A. 1997: Dynamical consequences of mid-mantle viscosity stratification on mantle flows with an endothermic transition. *Geophys. Res. Lett.* **24**, 181–184
- CSEREPES L., YUEN D. A., SCHROEDER B. A. 1998: Effects of the mid-mantle viscosity and phase-transition structure on 3D mantle convection. University of Minnesota Supercomputer Institute, Res. Rep. UMSI 98/60, p. 34
- CSEREPES L. 1998: High-amplitude magnetoconvection in a horizontal external magnetic field. Submitted to *Acta Geod. Geophys. Hung.*
- CSEREPES L., LENKEY L. 1998: Modelling of helium transport in groundwater along a section in the Pannonian basin. Submitted to *J. Hydrology*
- GALSA A. 1997: Felszín alatti vízmozgás modellezése egy alföldi szelvényen, fúrólukakban mért víznyomások felhasználásával. *Magyar Geofizika* **38**, 245–256
- YUEN D. A., CSEREPES L., SCHROEDER B. A. 1998: Mesoscale structures in the transition zone: Dynamical consequences of boundary layer activities. *Earth, Planets and Space* (in press)

CSEREPES László



A geofizika és a mélyfúrési technológia szerepe a formációvédelemben

SZÜCS PÉTER¹ (témavezető), ROBONYI ANDRÁS²

P. SZÜCS, A. ROBONYI: The role of geophysics and drilling technology in the prevention of formation damage

OTKA nyilvántartási szám: F 16804

Bevezetés

A hazai kőolaj- és földgázbányászat készleteinek folyamatos csökkenése mellett egyre inkább felértékelődnek azok az emberi tudáson és szakértelmen alapuló módszerek és technológiák, melyek lehetővé teszik, hogy szénhidrogén-tárolóinkat minél nagyobb kizozatali hatásokkal művelhessük le. Ennek a stratégiának a részeként egyre inkább előtérbe kerül a formációvédelem témaköre is. A formációvédelem fő célja az, hogy a különböző műveletek és beavatkozások során a gáz- vagy olajtároló minél kisebb mértékben károsodjék. Hogy ez az elv maradéktalanul megvalósulhasson, természetesen pontosan kellene ismerni a különböző formációkárosodási folyamatokat. Ebben lehet nagy jelentősége a formációkárosodás matematikai modellezésének, hiszen eddig főként csak kvalitatív leírások születtek annak ellenére, hogy a formációkárosodás jelenségének az ismerete szinte egyidős a kőolaj- és földgázbányászattal.

Magyarországon eddig a formációkárosodás komplex modellezésével nem foglalkoztak, ugyanakkor a nemzetközi szakirodalomban található matematikai modellek száma is igen csekélynek tekinthető. A szerzők az OTKA téma keretében kifejlesztettek egy globális inverzió alapuló formációkárosodási modellt, mely az elsődleges rétegmegnyitási tevékenységhez kapcsolódik. Emellett javaslatokat és eljárásokat adnak arra vonatkozólag, hogy a különböző mélyfúrési geofizikai módszerek és a mélyfúrési technológia hogyan segíthetik a károsodási folyamatok pontosabb megismerését és az eredményesebb formációvédelmet. A szelvényezési eljárások ilyen célú felhasználása a mélyfúrési geofizika hazai alkalmazásának új fejezetét nyithatja meg.

1. Formációkárosodás

A különböző formációkárosodási folyamatok, melyek termelékenységre, illetve permeabilitáscsökkenéssel járnak együtt, végigkísérik egy szénhidrogén-tároló „teljes életét”. Károsodás léphet fel az elsődleges rétegmegnyitás (fúrás), a bélésűcsövezés, a cementezés, a másodlagos rétegmegnyitás (perforálás), a termelés, és minden egyéb, a mezőt érintő beavatkozás során. Ha a mechanikai deformációktól eltekintünk, a legfontosabb permeabilitáscsökkentő hatások a kőzet-folyadék kölcsönhatásokhoz köthetők az alábbi három kategória szerint:

1. finomrészecskékhez kapcsolódó károsodás,

2. agyagok duzzadása,
3. geokémiai átalakulások.

A sokféle károsító beavatkozás közül az elsődleges rétegmegnyitás, azaz a mélyfúrési tevékenység hat leginkább egy tárolóra. Ezért a vizsgálatainkban elsősorban az itt lejátszódó folyamatokkal és azok modellezésével foglalkoztunk.

2. A formációkárosodás matematikai modellezése

Egy matematikai modell megalkotásánál fontos pontosan definiálni azokat a főbb jelenségeket, melyek egy rendszerben lejátszódó folyamatokért a leginkább felelősek. A formációkárosodás folyamatának megértéséhez szükséges tudnunk azt, hogy mi játszódik le a pórustérben. Ehhez alkottunk egy pórustérmodellt, mely lehetővé tette a formációkárosodási folyamatok matematikai modellezését. A modellegyenletek megalkotásánál a következő modellfeltevésekkel dolgoztunk:

- a közeg izotróp;
- a réteggázosító folyamat izotermális;
- az egydimenziós, horizontális, egyfázisú áramlás Darcy jellegű;
- a gravitációs hatásoktól eltekintettünk;
- a permeabilitás csökkenése a finomrészecskék lerakódásával és eltömő mechanizmusával, valamint az agyagok duzzadásával magyarázható.

3. A modell paramétereinek a meghatározása

A modellegyenletekben szereplő hat modellparaméter meghatározására inverziós algoritmust állítottunk fel. A parciális differenciálegyenletek megoldására a véges differenciák módszerét alkalmaztuk. Az inverziós algoritmus magjaként a P -normát használtuk. A globális minimumhely megtalálását biztosító algoritmusok közül a mérnöki gyakorlatban széles körben elterjedt *Simulated Annealing* módszert építettük be. Az inverziós algoritmus teljes felépítését megkönnyítette, hogy támaszkodhattunk korábban kidolgozott munkáinkra. Például SZÜCS bemutatta a *Simulated Annealing* adaptálásának előnyeit a legkülönbözőbb statisztikai normákra, SZÜCS és CIVAN pedig mélyfúrési geofizikai eljárást dolgozott ki.

A matematikai modell tényleges kipróbálásához mérési adatokra volt szükségünk. A modell paramétereinek a meghatározásánál mi is laboratóriumban mért magadatokat használtunk fel, ahogy a többi, eddig közölt károsodási modellen is tették. Az elméleti vizsgálatok során a mások által is feldolgozott irodalmi alapadatrendszerek adaptálá-

¹ ME Hidrogeológiai–Mérnökgeológiai Tanszék, 3515 Miskolc, Egyetemváros

² MOL Rt. KFÜ Kecskeméti Távvezetési Üzem, Kecskemét

sának két fő előnye van. Egyrészt kezdetben mentesülünk a fáradtságos és nagy pontosságot igényelő laboratóriumi vizsgálatoktól. Másrészt pedig így a későbbiekben lehetőségünk lesz összehasonlító vizsgálatokra, melyek különböző modellekre terjedhetnek ki. Természetesen saját laboratóriumi mérési anyagon is bemutattuk a javasolt modell alkalmazhatóságát.

4. A mélyfúrás geofizika szerepe a formációvédelemben

Különböző formációkárosodási folyamatok kvantitatív kiértékelésére a nyitott kutakban végzett szelvényezési eljárások a jelenlegi technikai szinten nem alkalmasak. Formációvédelmi eljárásokban elsősorban kvalitatív szinten a termelési geofizikai szelvények használhatók. Ezek egyrészt képesek lehetnek a károsodott zónák kimutatására. Másrészt monitoring rendszerek építhetők fel belőlük, hosszabb ideig tartó, például termelés hatására bekövetkező károsítási folyamatok kimutatására. A mélyfúrás geofizikához kapcsolódik a perforálás témaköre is, melynek kulcsszerepe lehet a kialakult károsodások csökkentésében. Formációvédelmi monitoring rendszer kiépítésével kapcsolatban és perforálási adatok vizsgálatát illetően az alábbi eredményeket kaptuk.

5. Mélyfúrás geofizikai módszereken alapuló monitoringrendszer kidolgozása kompaktációs folyamatok által létrehozott károsodások kimutatására

Sokréteges olajtelepek művelésénél szinte mindig problémát jelent a rétegek közötti kommunikáció, illetve elsősorban a gázátfejtődések létrejötte. Ezek közül is a legtöbb problémát a gázátfejtődések okozzák, melyek többszintes mezők esetében jelentősen megnehezítik az alsóbb tárolórétegek művelését. Az átfejtődések oka az esetek döntő részében kútszerkezeti hibákhoz köthető. Ha a hiba a kútkiképzés során jön létre, akkor az korán detektálható és javítható. Súlyosabb a helyzet akkor, ha a kúthibák az alábbiakban ismerttetendő, a telep művelése alatt létrejövő folyamatok hatására jönnek létre.

A szénhidrogén-termelő rétegekben a termelés hatására az évek folyamán jelentős rétegyomás-csökkenések jönnek létre. Ez a mélységi rétegek kompaktációjához vezet, melynek hatását néha geodéziai kimutatható felszíni süllyedések is igazolják. Az így kialakuló közetkompakció mind a rétegek, mind a kútszerkezet károsodásához vezethet. A kútszerkezet hibáinál elsősorban a cementpalást sérüléseire számíthatunk, így az évek folyamán egyre inkább nő a valószínűsége az olaj- és gázátfejtődéseknek.

Ezeket figyelembe véve megállapítható, hogy a rétegekben létrejövő kompakció, felszíni süllyedés és gázátfejtődés vizsgálatára időben ismétlődő mérési rendszer bevezetése szükséges. Javaslatot tettünk egy időben ismétlődő mérési program kialakítására, melyben geodéziai és mélyfúrás geofizikai módszerek szerepelnek. A kiépítendő monitoring rendszer fontos része kell, hogy legyen a kútfeknél elvégzett 2–3 évenkénti geodéziai magasságmérés a felszíni süllyedések kimutatására. A figyelőrendszer döntő részének azonban mélyfúrás geofizikai módszereken kell alapulnia. A javasolt szelvényezési program kialakítá-

sában a Geoinform Kft. Kútgeofizikai Üzemétől (Szolnok) kaptunk jelentős segítséget.

6. Megjegyzések a perforálások réteggárosító mechanizmusához

Jelentős mértékű lehet a formáció károsítása a másodlagos rétegmegnyitási, azaz perforálási munkák kivitelezése alatt. Másrészt viszont elmondható, hogy a megfelelő módon elvégzett perforálás képes kiküszöbölni a réteggárosítás okozta termelékenység-csökkenést.

Az Egyesült Államokban laboratóriumban végeztek perforálási kísérleteket különböző homokkőmagokon, kúttalpi viszonyok között, a károsodott zóna vizsgálata céljából. A perforálás után a magokat számítógépes tomográfia, higanyos poroziméterrel és mikroszkóppal vizsgálták, valamint permeabilitással mértek, illetve számítottak. Ezeket a vizsgálati eredményeiből, illetve az ezekből származtatott hisztogramokból újszerű következtetéseket vontunk le a korszerű, robusztus geostatistikai módszereket felhasználva. Elvégzett vizsgálataink eredményei alapján az alábbi megjegyzéseket tehetjük.

Laboratóriumban, homokkőmagokon, lyuktalpi viszonyok között végzett perforálási kísérletek eredményeiből bizonyítható, hogy a perforálás során keletkezett károsodott zónában a közet sűrűsége és porozitása gyakorlatilag nem változik az érintetlen rétegekéhez képest, tehát a károsodott zóna nem olyan mértékben kompaktálódik, ahogy azt eddig feltételezték.

A számítógépes tomográf által szolgáltatott adatokból az is megállapítható, hogy ebben a zónában a nagyobb pórusok tönkremennek, összeesnek. Az ebből adódó pórustérfogat-vesztéssel pótolják azonban a jet töltetek behatolása mentén létrejövő mikrorepedések. Ez az átlagos pórusméret-csökkenés okozza a permeabilitás lecsökkenését a károsodott zónában, amit tovább ronthat a perforációs csatornába kerülő törmelék, és a szilárd részecskék mozgása.

A következtetésekből az is megállapítható, hogy ez a jelenség okozza a szénhidrogén-termelő kutak termelőképességének, illetve a besajtoló kutak elnyelőképességének esetleges romlását is, mivel a nagyobb pórusokat a nagyobb kapilláris erővel rendelkező, rosszabb vezetőképességű, keskenyebb áramlási csatornákat (azaz a repedéseket) és kisebb átmérőjű pórusokat váltják fel.

7. Összefoglalás

Az optimális fúrás technológia és formációvédelmi stratégia kialakításához nélkülözhetetlenek azok az információk, melyek egy adott rétegben várható formációkárosodási folyamatokkal kapcsolatosak. E téma keretében egy olyan globális inverziót és modern geostatistikai módszereket alkalmazó matematikai modellt alkottunk, mely elősegítheti a formációkárosodás jelenségének jobb megértését. A modell gyakorlati alkalmazhatóságát szakirodalmi és laboratóriumi magadatokkal történt összehasonlítás bizonyította.

Emellett bemutattuk, hogy a különböző mélyfúrás geofizikai módszerek és perforálási eljárások által szolgáltatott adatok hogyan segíthetik a hatékonyabb formációvédelmi eljárások kidolgozását. Eljárást dolgoztunk ki arra vonatkozólag, hogy a termelési geofizikai módszerek hogyan alkalmazhatók a formációkárosodási folyamatok kvalitatív és részben kvantitatív leírásában. Szénhidrogén-tárolókban ter-

melés hatására létrejövő károsodási jelenségek detektálására speciális monitoring rendszer bevezetését javasoltuk. Perforálási adatok statisztikus feldolgozásával újszerű eredményeket kaptunk a másodlagos rétegmegnyitás réteggárosító folyamatait illetően. A szelvényezési módszerek és a perforálási technológia ilyen irányú alkalmazásai a mélyfúrési geofizika hazai felhasználásának új fejezetét nyithatja meg.

Távlati célként két fő irány jelölhető ki. Egyrészt fontos a saját mérési adatrendszer bővítése és a matematikai modell továbbfejlesztése. A réteggárosodások még pontosabb kiértékelésében a jelenleg alkalmazott magvizsgálati módszerek továbbfejlesztésének lehet nagy szerepe. Másrészt fontos tény, hogy a jelenlegi modell nem in situ mérési adatokon alapszik. Fontos lenne, hogy a laboratóriumi magadatok mellett más, közvetlen mérési anyagra is támaszkodhassunk. Ebben lehet nagy szerepe a modern mélyfúrési geofizikai módszereknek.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk kifejezni köszönetünket az OTKÁ-nak, melynek anyagi támogatása tette lehetővé az itt ismertetett munka megvalósítását.

HIVATKOZÁSOK

SZÜCS P., ROBONYI A. 1995: A geofizika és a mélyfúrési technológia szerepe a formációvédelemben. MicroCAD 95 Nemzetközi Számítástechnikai Tudományos Konferencia, február 23., Miskolc, Egyetemváros. A: Geotechnika, bányászat, környezetvédelem szekció, 45–49

SZÜCS P., ROBONYI A. 1995: An applicable formation damage model in sandstone petroleum reservoirs. Publications of the University of Miskolc, Series A, Mining, 50, 267–273

SZÜCS P. 1995: A hagyományos statisztika alkalmazásának néhány veszélye. Előadás. V. Geomatematikai Ankét, Szeged

SZÜCS P. 1995: Áttekintés néhány olyan eltérésnormáról, amelyek minimalizálása inverziós algoritmus kidolgozását teszi lehetővé. Előadás. Geofizikai inverzió (módszerek és eredmények) c. tudományos ankét, Magyar Geofizikusok Egyesülete, Miskolc, december 12–13.

SZÜCS P., ROBONYI A. 1996: A hagyományos normalitásvizsgálat veszélye a földtudományokban. MicroCAD 96 Nemzetközi Számítástechnikai Tudományos Konferencia, február 29., Miskolc, Egyetemváros. A: Geoinformatika, környezetvédelem szekció, 59–64

ROBONYI A., SZÜCS P. 1996: Perforálások réteggárosító hatása. MicroCAD 96, Nemzetközi Számítástechnikai Tudományos

Konferencia, február 29., Miskolc, Egyetemváros. A: Geoinformatika, környezetvédelem szekció, 31–36

SZÜCS P. 1996: Theoretical and practical consequences of the global optimization methods. Acta Geodaetica, Geophysica Hungarica 30, 2–4, 301–312

SZÜCS P., ROBONYI A. 1996: Szénhidrogén-tárolókban létrejövő formációkárosodás matematikai modellezése. Előadás. MGE, Ifjú Szakemberek Ankétja, Balatonvilágos, április 25–26.

SZÜCS P., ROBONYI A. 1996: Földtudományi adatrendszerek elsődleges vizsgálatának veszélyei. előadás, Magyar Geofizikusok Egyesülete, Ifjú Szakemberek Ankétja, Balatonvilágos, április 25–26.

SZÜCS P., HURSÁN L. 1996: A mélyfúrési geofizika alkalmazásának lehetőségei a formációkárosodás mértékének meghatározásában. előadás, Kőolaj és Földgáz-bányászati Kommunikáció '96 Ankét, Szolnok, december 5–6.

SZÜCS P., ROBONYI A. 1997: Szénhidrogéntárolókban létrejövő formációkárosodás modellezése globális optimalizációval. MicroCAD 97, Nemzetközi Számítástechnikai Tudományos Konferencia, február 26–27., Miskolc, Egyetemváros, A: Geoinformatika, környezetvédelem szekció, 95–101.

ROBONYI A., SZÜCS P. 1997: A perforálás szerepe a formációvédelemben. előadás, Magyar Geofizikusok Egyesülete, Ifjú Szakemberek Ankétja, Tata, április 17–18.

SZÜCS P., ROBONYI A. 1997: Szénhidrogén-tárolókban létrejövő formációkárosodás matematikai modellezése. Magyar Geofizika 38, 1, 30–36.

SZÜCS P., TÓTH J., HURSÁN L., FERENCZY L., PALÁSTHY Gy., ROBONYI A. 1997: A magvizsgálat és a mélyfúrési geofizika szerepe a formációvédelemben. előadás, Magyar Geofizikusok Egyesülete 26. Vándorgyűlése, Sopron, szeptember 10–11.

ROBONYI A. 1997: A mélyfúrési és perforálási technológia szerepe a szénhidrogén-tároló formációk védelmében. Szakdolgozat, Környezet-menedzser szakirány, ME Gazdaságtudományi Kar, 1–45.

SZÜCS P., TÓTH J., PALÁSTHY Gy., SZABÓ N. P. 1998: A réteggompakció környezeti hatásai. MicroCAD 98, Nemzetközi Számítástechnikai Tudományos Konferencia, február 25–26., Miskolc, Egyetemváros, A: Geoinformatika, környezetvédelem szekció, 55–60

SZABÓ N. P., SZÜCS P. 1998: Szénhidrogéntelepekben létrejövő kompakció és annak hatásai. Előadás. MGE, Ifjú Szakemberek Ankétja, Kecskemét, április 23–24.

SZÜCS P., TÓTH J., ROBONYI A. 1998: The role of core analysis in formation damage evaluation. Sixth Symposium on Mining Chemistry, Siófok, Hungary, 27–30 September. Proceedings 125–130

ROBONYI A., SZÜCS P. 1998: Megjegyzések a perforálások réteggárosító mechanizmusához. Kőolaj és Földgáz, megjelenés alatt

ROBONYI András



Üregkutatás geoelektromos és szeizmikus módszerekkel

GYULAI ÁKOS¹ (témavezető), ORMOS TAMÁS¹, NYÁRI ZSUZSANNA²

Á. GYULAI, T. ORMOS, Zs. NYÁRI: Exploration of caves by geoelectric and seismic methods

OTKA nyilvántartási szám: T 19088

Bevezetés

Az 1996-ban elvégzett munka után, a kutatás félidejében már látszott, hogy az általunk eredményesnek ítélt kutatás ellenére célszerűnek látszik a kutatás továbbfolytatása egy újabb pályázat keretében. Ennek finanszírozására újabb pályázatot nyújtottunk be, amelyet az OTKA Bizottság 800 ezer Ft-os kutatási kerettel elfogadott. Az újabb pályázat lényegében a korábbi kutatási célkitűzések egy teljesebb megvalósítására fog irányulni.

Az 1996–97-es főbb kutatási eredményeinket Zárójelentésben foglaltuk össze, valamint publikációkban (előadásokban) tettük közzé [GYULAI Á., ORMOS T., NYÁRI ZS. 1998; GYULAI Á., ORMOS T., DRESEN L. 1998; GYULAI Á. 1998; GYULAI Á. 1998; NYÁRI ZS. 1996; NYÁRI ZS. 1997; ORMOS T. 1998; ORMOS T. 1998].

1. A geoelektromos módszer kutatás legfontosabb eredményei

- Analitikus megoldáson alapuló előremodellező, paraméter-érzékenységet számító algoritmust és szoftvert készítettünk el, amelyeknél az analitikus megoldás homogén térben elhelyezkedő, körszelvényű, fekvő henger alakú üreget feltételez.
- Előremodellezési és paraméter-érzékenységi vizsgálatokat végeztünk az üregkutatás optimális mérési elrendezéseinek megválasztásához. Eszerint az üregkutatásra legalkalmasabbnak az axiális dipól elrendezés ígérkezik, mind az anomália, mind a paraméter-érzékenységek alapján. Célszerű azonban még további elrendezéseket is bevonni ezekbe a vizsgálatokba.
- Inverz modellvizsgálatokat végeztünk szintetikus adatokkal. A megbízhatósági vizsgálatok szerint a terepi gyakorlatban sokszor előforduló közepesen magas (5%-os) zajszintnél is megbízható üregmeghatározás lehetőségét mutatják a szimulációs vizsgálatok. Inverziós módszer alkalmazásával egymáshoz közeli üreg elkülönítésére is van lehetőség.
- 3-D FD („finite difference”) program átalakításával, ill. fejlesztésével szögletes keresztzelvényű üregekre számításokat végeztünk ún. fél-Schlumberger- (háromelektrodos), Schlumberger-, Wenner-, módosított Schlumberger- és axiális dipólmérések esetére az anomáliák jellegzetességeinek megismerése és a látszólagos fajlagos ellenállások vonatkozási mélységének meghatározá-

sa céljából. Eközben egy új mérési módszer, a módosított Schlumberger-mérés geofizikai alkalmazására tettünk javaslatot. Bevezettük a geometriai eltolás fogalmát, megvizsgáltuk különböző mérési elrendezéseknél jelentkező értékeit.

- Új paraméter-érzékenységeket definiáltunk üregekre, a mérésekben jelentkező, az üregekre vonatkozó információ vizsgálata céljából. (Honnan származik a mérési információ?)
- Vizsgáltuk rétegzett ágyazó közeg esetében az üreg anomáliakép alakulását. Ezt az anomáliaképet összehasonlítottuk a homogén ágyazó összletben elhelyezkedő üreg esetével és megállapítottuk, hogy a rétegzettség jelentősen befolyásolja az anomália nagyságát. Megállapítottuk, hogy lehetőség van az üreg lokalizálására szűrőrel számított maradékanomália szelvény alapján.
- Alkalmaztuk az 1.5-D együttes inverziós módszert üregek kimutatására. Megállapítottuk, hogy az új inverziós módszer alkalmas bonyolult ágyazó közegekben elhelyezkedő üregek kimutatására. Ehhez szintetikus és terepi vizsgálatokat végeztünk.

2. A szeizmikus módszer kutatás legfontosabb eredményei

- Közelítő analitikus előremodellező módszert dolgoztunk ki, amellyel a homogén féltér feletti Rayleigh felületi hullám amplitúdója vertikális és horizontális komponensének nagysága számítható a felszínközeli üreg mélységének és méretének függvényében a frekvencia szerint. A modellezésnél 2-D üreget és síkhullámú terjedést feltételeztünk. A módszer alapját a Rayleigh felületi hullám mélység-energiasűrűség összefüggése képezi.
- Közelítő analitikus előremodellező módszerrel üregérzékenységi vizsgálatokat végeztünk arra vonatkozóan, hogy a felszínközeli 2-D üregek milyen amplitúdócsökkenést okoznak méretük és mélységük szerint a hullám frekvenciájának függvényében. A vizsgálatokból azt a következtetést vontuk le, hogy az üregek kimutatása felületi hullámokkal reményteljesnek tűnik.
- A közelítő eljárás ellenőrzésére analóg szeizmikus modellezést és a szeizmogramok numerikus feldolgozását terveztünk, amelyhez fizikai modellsorozatot készítettünk és modellméréseket végeztünk több frekvencián.
- A Rayleigh felületi hullámok maximális amplitúdói relatív változásainak vizsgálata alapján megállapítottuk, hogy a közelítő analitikus vizsgálatok által jelzett amplitúdócsökkenés modellen mérhető.

¹ Miskolci Egyetem, H-3515 Miskolc, Egyetemváros

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

- e) A frekvenciafüggés információtartalmának hasznosítása céljából feldolgozó programot fejlesztettünk ki. A program a diszperzív hullámok analizésénél elterjedten használt MMWA („Modified-Moving-Window-Analysis”) módszer elemeit használja fel. Egyaránt alkalmas impulzusos és sweep hullámkeltéssel generált nem diszperzív és diszperzív felületi hullámok feldolgozására, amelyek mind az analóg modellmérésekből, mind a terepi mérésekből származhatnak.
- f) A programmal elvégzett analízis alapján megállapítottuk, hogy az üreg helye a szórt hullámok interferenciája és az amplitúdócsökkenés alapján kimutatható. A mélység és méret elkülönített meghatározására további feldolgozási lépések és programfejlesztés szükséges. Ezen program segítségével nemcsak üregek, hanem felszín közeli inhomogenitások is kutathatók.

Az 1996–1997-ben elért kutatási eredmények alapján megállapítható, hogy mind a geoelektromos módszer, mind pedig a szeizmikus módszer perspektivikus az üregkutatás szempontjából.

- GYULAI Á., ORMOS T., NYÁRI Zs. 1998: Üregkutatás geoelektromos és szeizmikus módszerekkel. Zárójelentés, Miskolci Egyetem, Geofizikai Tanszék, Miskolc, 1996–1997
- GYULAI Á., ORMOS T., DRESEN L. 1998: Parameterbestimmung von 2-D geologischen Strukturen mit Simultaninversion von VES Daten — Ein neues Verfahren. DGG Tagung, Göttingen, kiadvány 92. o.
- GYULAI Á. 1998: Geoelektromos üregkutatás lehetőségei. MGE 27. Vándorgyűlés, Pécs, szeptember 23–24. Poszter előadás, kiadvány 29. o.
- GYULAI Á. 1998: A geoelektromos üregkutatás néhány kérdése. Magyar Geofizika 39, 2
- NYÁRI Zs. 1996: Hohlraumerkundung mit geoelektrischen Messverfahren. DGG Tagung, Hamburg, kiadvány 222. o.
- NYÁRI Zs. 1997: Analitikus modellezés a geoelektromos üregkutatás lehetőségeinek vizsgálatára. Magyar Geofizika 38, 3
- ORMOS T. 1998: Szeizmikus üregkutatás felületi hullámokkal. MGE 27. Vándorgyűlés, Pécs, szeptember 23–24. Poszter előadás, kiadvány 32. o.
- ORMOS T. 1998: Üregkutatás Rayleigh-hullámokkal. Szeizmikus modellvizsgálatok. Magyar Geofizika 39, 2

NYÁRI Zsuzsanna



Vita a poszterek előtt



MÁRTON PÉTER ZÁRSZAVA

Kedves Kollégák!

Az elhangzott beszámolókkal csupán ízelítőt kaptunk abból az alapos és sokrétű munkából, amelyet Önök az 1995–1997. években befejezett, OTKA támogatást élvező kutatásaik során végeztek. Kérem, hogy az ülés befejezése után ki-ki tekintse meg a számára érdekes posztereket, amelyeken a szerzőknek módjukban volt témájukat és eredményeiket bővebben is kifejtteni, mint a rövidre szabott szóbeli tájékoztatón.

Az 1995–1997. közötti években befejezett geofizikai kutatásokat az OTKA mintegy 40 millió forinttal támogatta, ami ugyan a bankszektorban elhanyagolható összeg, de a tudományban jelentős ráfordításnak számít. Annyira jelentős, hogy bizonyos intézményekben, illetve témákban geofizikai kutatásokat az OTKA támogatása nélkül ma valószínűleg nem lehetne végezni. Noha a kutatások minden területen feltételezik a támogatást, az adott időszakban az OTKA egyre csökkenő arányban tudta az igényeket kielégíteni. Őszintén reméljük, hogy az OTKA támogatására a jövőben is számíthatunk, és hogy a csökkenő trend egyszer az ellenkezőjére fog változni. A három év múlva esedékes következő OTKA beszámolón ezt is lemérhetjük.



HEGYBÍRÓ Zsuzsanna és ORMOS Tamás



MEGHÍVÓ

5. Környezet- és Mérnökgeofizikai Konferencia



Budapest, 1999. szeptember 6-9.

A Környezet- és Mérnökgeofizikai Egyesület (EEGS) európai szekciójának 5. konferenciája 1999 szeptemberében Budapesten kerül megrendezésre. A konferencia célja a tapasztalt geofizikusok és az érdekelt végfelhasználók közti kapcsolat megteremtése, az aktuális kutatási módszerek megvitatása, a tapasztalatok átadása, és nem utolsósorban a környezetvédelem és geotechnika területén jelentkező geofizikai igények felmérése.

Témák:

- környezetvédelmi terepkutatás, hulladék-elhelyezés
- hulladéklerakók paramétereinek vizsgálata, talaj- és kőzetjellemzők
- üregek és barlangok kutatása, a csúszásveszélyesség kutatása
- geotechnikai és bányászati problémák
- hidrogeológia
- archeológia
- lyukgeofizika
- aktuális geofizikai módszertani kutatások

JELENTKEZÉSI LAP

Név:

Munkahely:

Cím:

Tel.:

Fax: E-mail:

Szeretnék

- részt venni a konferencián
- szóbeli előadást tartani
- poszter előadást tartani
- részt venni a kiállításon, és kérem a kiállítók tájékoztató fizetét
- terepi bemutatót tartani
- kereskedelmi bemutatót vagy előadást tartani

Kérjük, másolja le a Jelentkezési lapot, és kitöltve juttassa el a Magyar Geofizikusok Egyesületének Titkárságára: 1371 Budapest, POB 433. Fax: (36-1)201-9815, E-mail: eegs99@elgi.hu. Jelentkezni a <http://www.elgi.hu/eegs99> Internet oldalról is lehet.

Dátum:

Aláírás:

CONTENTS

Opening	1
An international investigation of the rules of plate tectonic in the range of the lithosphere and the asthenosphere <i>K. Posgay</i>	3
Investigation of the Schumann resonances <i>G. Sători</i>	8
Absolute calibration of LCR type earth-tide gravimeters <i>G. Csapó</i>	10
Mesozoic platform carbonates: magneto-cyclostratigraphy, geodynamics <i>E. Márton</i>	14
Theoretical investigations on the reliability of gravimetrical interpretation <i>F. Steiner, B. Hajagos, S. Kovácsvölgyi</i>	16
Determination of the spatial position of the main tectonic elements of South East Hungary by deep seismic data <i>T. Bodoky</i>	17
Measurement of petrophysical parameters on loose sediments <i>I. Erki, J. Kalmár</i>	21
Signal analysis of transient geomagnetic phenomena <i>T. Steiner, V. Wesztergom, B. Zieger</i>	23
Application of modern statistical methods in well log interpretation <i>F. Steiner, B. Hajagos, L. Hursán, P. Szűcs</i>	26
Precise gravity field modeling and geoid determinations in the Carpathian-Pannonian region <i>G. Papp</i>	28
Earthquakes and geothermics in the Hungarian basin <i>B. Bodri</i>	31
Potential geophysical applications of mathematical statistics and geophysics <i>L. Verő, Á. Gulyás, J. Kiss, I. Kummer, P. Ocsenás</i>	34
Investigation of the electrical rock properties at very low frequencies <i>Gy. Dunkházi</i>	39
The time resolved and spatial examination of the laser-induced plasma emission spectra measured on the geological core samples <i>L. Andrásy, B. Németh, L. Vihar</i>	42
Studies of climate change in Hungary by geothermal method <i>L. Bodri</i>	45
The inversion of seismic ground roll <i>O. Ádám</i>	46
Thermal convection in the Earth's interior <i>L. Cserepes, L. Lenkey, A. Galsa</i>	48
The role of geophysics and drilling technology in the prevention of formation damage <i>P. Szűcs, A. Robonyi</i>	50
Exploration of caves by geoelectric and seismic methods <i>Á. Gyulai, T. Ormos, Zs. Nyári</i>	53
Closing.....	55

HU ISSN 0025—0120

Főszerkesztő: dr. Bodoky Tamás

Szerkesztő: Tóth Lajos

Szerkesztőbizottság: dr. Aczél Etelka, dr. Ferenczy László, Kakas Kristóf, dr. Szarka László,
dr. Várhegyi András, Verő László

A szerkesztőség címe: Budapest, II., Fő. 68. (1371 Budapest, Pf. 433)

Telefon: (1)201-9815