

### MGE

Az MGE a Balkán Geofizikai Társaság tagja lett — Az MGE Mecseki Csoportjának 2002. július 5-i ankétja — Tájékoztató az MGE és a Magyar Geofizikusokért Alapítvány javára felajánlott 1%-ok felhasználásáról — Tisztelet az éveknek..... 61

### EAGE

64. EAGE-konferencia és kiállítás..... 64

### SZAKCIKKEK

A mérési adatokból nyert információk hibáinak csökkentése általunk ismételt generált többlethibáknak a mérési adatokra történő szuperponálásával

*Steiner Ferenc*..... 66

A gravitáció, a mágnesség és az elektromosság közötti kapcsolatokról, a geofizika szemszögéből

*Szarka László*..... 74

A Naprendszer bolygóinak és néhány holdjának mágneses tere

*Kis Károly, Wittmann Géza*..... 80

### HÍREK, BESZÁMOLÓK

Beszámoló az IAGA I-2. (elektromágneses) munkacsoport konferenciájáról — 3. Balkán geofizikai kongresszus és kiállítás — GEO 2002 – magyar földtudományi szakemberek VI. világtalálkozója — OTKA-projektek bemutatója — Szabadváry László miskolci kitüntetése — Stephan Müller-konferencia..... 93

### IN MEMORIAM

Petrovics Ilona..... 99

Csapó Gábor..... 100

43. évfolyam 2. szám



2002

CONTENTS

**MGE (Association of Hungarian Geophysicists)**

News ..... 61

**EAGE (European Association of Geoscientists & Engineers)**

News ..... 64

**Geophysical Papers**

The decrease of the errors of information exhausted from measuring data by using the “method of surplus errors”  
*F. Steiner*..... 66

About relationships among gravity, magnetism and electricity, from point of view of geophysics  
*L. Szarka* ..... 74

Magnetic fields of the planets and some of the satellites of the Solar System  
*K. Kis, G. Wittmann* ..... 80

**News and Reports**..... 93

**In Memoriam**

Ilona Petrovics ..... 99

Gábor Csapó..... 100

---

A szerkesztőség a szakcikkeket szaklektorálás után közli. A szaklektorok névsora az évfűzűrű kűtetben jelenik meg.  
A lapban megjelenű cikkeek adatainak  s  llit sainak helyess g ert, ill. kűzűlhetűs g ert a felelűss get kűz rűlag a szerzűk viselik.

---

MAGYAR GEOFIZIKA

Kiadja: Magyar  llami Eűtvűs Loránd Geofizikai Intézet  
1145 Budapest, Kolumbusz u. 17–23.  
Telefon: (1)252-4999  
Felelűs kiadű: dr. Bodoky Tamás igazgatű  
Lombos Nyomda Kft., Budapest — Felelűs vezetű: Juhász Péter



Elűfizethetű a Magyar Geofizikusok Egyesűlet n l: 1371 Budapest, Pf. 433, tel.: (1)201-9815,  
egyesűleti tagoknak tagdűj ellenében. Megjelenik évente négyszer

**Index: 26 507**

## AZ MGE A BALKÁN GEOFIZIKAI TÁRSASÁG TAGJA LETT

Az elnökség szótöbbséggel meghozott határozata értelmében a Magyar Geofizikusok Egyesülete felvételét kérte a *Balkán Geofizikai Társaságba* (Balkan Geophysical Society — BGS).

A Balkán Geofizikai Társaság Tanácsa a kérelmet ez év júniusában Szófiában a BGS 3. rendes kongresszusa alatt tartott ülésén megtárgyalta és egyhangú szavazással a Magyar Geofizikusok Egyesületét teljes jogú tagjává fogadta.

A Balkán Geofizikai Társaság, amely egyesületek egyesületeként működik, egyéni tagsággal nem rendelkezik. Tagjai Albánia, Bulgária, Görögország, Románia, Törökország és Jugoszlávia nemzeti geofizikai egyesületei.

A BGS háromévenként tartja kongresszusát, amelyet rendszerint szakmai kiállítással kapcsol össze. A kongresszus helyszíne sorba megy a tagországokon. Egy kongresszuson általában 300 körüli a résztvevők száma. A BGS kongresszusaira az EAGE, illetve az SEG kiemelten odafigyel.

A BGS szaklapját jelenleg Isztambulban szerkesztik.

A Balkán Geofizikai Társaság alapszabályát, tevékenységét és lapját a jövőben részletesebben is ismertetni fogjuk.

*Bodoky Tamás*

## AZ MGE MECSEKI CSOPORTJÁNAK 2002. JÚLIUS 5-I ANKÉTJA

A szakmai ankét az elnökség által kezdeményezett, konkrét szakterülethez kötődő „szatellit” rendezvények sorában a 2. volt (a miskolci inverziós ankétot követte). Annak ellenére, hogy az ankét időpontja már beleesett a nyári szünetbe és annak ellenére, hogy a szakmai téma eléggé speciális volt (radiometriai alkalmazások és rekultivációs geofizika), a szervezőket is meglepő nagy érdeklődés mutakozott. Ez megnyilvánult a résztvevők számában is, amely 41 főt tett ki.

A délelőtti program a budapesti intercitézés miatt kb. fél órással indul, de ez nem okozott problémát. Az előadások a MECSEKÉRC Rt. Környezetvédelmi Bázisának tárgyalótermében folytak, amely zsúfolásig megtelt. Az előadásokat élénk szakmai viták, konzultációk követték. Egyesületünk elnöke felajánlotta, hogy amennyiben az előadók írásban is összefoglalják mondandójukat, a Magyar Geofizika az ankét anyagát egy tematikus számban megjeleníti.

Ebéd ki-ki alapon a közeli hangulatos Markó csárdában volt, illetve a MECSEKÉRC Rt. vezetésének utolsó pillanatban történt hozzájárulása alapján a társaság „szerencsésebbik” felét a Mecseki Csoport vendégül látta.

Ezután folytatódott a szakmai program. Először a Kör-

nyezetvédelmi Bázis laboratóriumában tettünk szakmai bemutatóval egybekötött látogatást, majd a bányavizek uránmentesítését végző Bányavízkezelő Üzemet kerestük fel. A szakmai program zárásaként terepjárókkal az uránfeldolgozási zagytározókon tettünk látogatást, ahol gőzerővel folyik a rekultiváció, Magyarország legnagyobb környezetvédelmi beruházása. Az ekkorra már kb. a felére fogyatkozott társaság kintartását a látottak bőségesen kárpótolták: korábban a titkosság, jelenleg a veszélyhelyzet miatt szigorúan zárt területet ismerhettek meg. A szakmai program a zagytéri Kémiai Vízisztító Üzem meglátogatásával végződött.

Ekkor már jócskán előrehaladt az idő, a vendégeket mikrobuszal segítettük ki a vasútállomásra.

Az ankét iránt megmutatkozó érdeklődés igazolta az elnökség kezdeményezésének életrevalóságát, a Mecseki Csoport pedig újra bebizonyította, hogy különleges szakmai csemegével tud szolgálni az érdeklődő tagtársak számára.

*Várhegyi András,*  
az MGE Mecseki Csoportjának elnöke

## TÁJÉKOZTATÓ AZ MGE ÉS A MAGYAR GEOFIZIKUSOKÉRT ALAPÍTVÁNY JAVÁRA FELAJÁNLOTT 1%-OK FELHASZNÁLÁSÁRÓL

Ezúton szeretnénk eleget tenni a *közhasznú szervezetek-re és közhasznú alapítványokra* vonatkozó azon előírásnak, miszerint a *Magyar Geofizikusok Egyesülete* és a *Magyar Geofizikusokért Alapítvány* javára felajánlott és a megfelelő igazolások után az APEH által átutalt évi jövedelemadóból

számunkra felajánlott 1%-ok felhasználását az írott sajtó útján is közzé kell tenni.

Mint adakozóink előtt ismeretes, a Magyar Geofizikusok Egyesületének Elnöksége és a Magyar Geofizikusokért Alapítvány kuratóriuma megegyezett abban, hogy jötevé-

inket arra kérjük: jövedelemadójuk 1%-át az Egyesület adószámára utalják és ezt az Egyesület az alapítványi célokkal megegyező kiadásokra, nevezetesen az Ifjúsági Ankét kiadásaira fogja fordítani. Tettük ezt azért, mert az APEH számára igazolni kell: nincs köztartozása a szervezetnek — és volt rá példa, hogy az Alapítvány igazolásainak beszerzése érdekében megírt kérelmek illetéke több lett volna, mint az 1%-okból befolyt összeg.

Az ügy technikai lebonyolításáról még el kell mondanunk, hogy a 2000. évi személyi jövedelemadó-bevallások és a jövedelemadó 1%-ára igényt tartó szervezetek ellenőrzése 2001 második félévére jutott el abba a stádiumba, hogy a pénzek átutalása is megtörténhetett. Mivel az Ifjúsági Ankét mindig az év elején van, ennek rendezéséhez csak az előző év végén befolyt összeget használhatjuk fel.

*Tudatjuk tehát, hogy a 2000. évi jövedelemadó 1%-os felajánlásaiból az APEH 2001-ben 342 150 Ft-ot, azaz Háromszáznegyvenkettőezer-egyszázötven forintot*

utalt át. Ezt a 2002 tavaszán megrendezett Ifjúsági Ankét rendezési költségeire fordítottuk.

*2002. szeptember végén az APEH értesítése alapján tudjuk, hogy a 2001. évi személyi jövedelemadókat Egyesületünknek szánt 1%-a*

*187 671 Ft, azaz*

*Egyszáznyolvanhétezer-hatszázhetveneg forint.*

Ez azonban még nem érkezett meg az Egyesület bankszámlájára, de ha megérkezik, a 2003 tavaszán rendezendő Ifjúsági Ankét rendezési költségeire kívánjuk fordítani.

A felajánlott összegeket ezúton is mindenkinek köszönjük és őszintén reméljük, hogy a jövőben is fognak ránk gondolni.

*Nemesi László,  
a Magyar Geofizikusokért Alapítvány  
kuratóriumának elnöke*

*Bodoky Tamás,  
a Magyar Geofizikusok Egyesületének elnöke*

## TISZTELET AZ ÉVEKNEK

*Sok szeretettel köszöntjük senior tagtársainkat, különös tisztelettel azokat, akik idén kerek évfordulós születésnapot ünnepeltek. Sokan közülük ma is aktívan részt vesznek az Egyesület életében és a geofizikai kutatásokban. További sok sikert, sok örömet, derűs, békés hétköznapokat, jó egészséget és szép ünneplést kívánunk Mindannyiuknak. Köszöntjük*

JESCH Aladár gépészmérnököt, aki idén töltötte be 80. évét,  
LISZT Ferenc geofizikust, aki idén töltötte be 80. évét,  
Dr. ÁDÁM Oszkár bányamérnököt, aki idén töltötte be 75. évét,  
LAKATOS Sándor közgazdászt, aki idén töltötte be 75. évét,  
Dr. SZEMERÉDI Pál fizikust, aki idén töltötte be 75. évét,  
Dr. TAKÁCS Ernő egyetemi tanárt, aki idén töltötte be 75. évét,  
BAGI Róbert geofizikust, aki idén töltötte be 70. évét,  
BOLDIZSÁR István geológust, aki idén töltötte be 70. évét,  
DUDÁS József geofizikust, aki idén töltötte be 70. évét,  
ELEK István bányageofizikust, aki idén töltötte be 70. évét,  
GÉRESI Gyula geofizikust, aki idén töltötte be 70. évét,  
Dr. GINTER-GONDOZÓ Györgyöt, aki idén töltötte be 70. évét,  
HAJAGOS Béla tanárt, aki idén töltötte be 70. évét,  
HERMESZ Miklós geológusmérnököt, aki idén töltötte be 70. évét,  
Dr. LACZKOVICS József geofizikust, aki idén töltötte be 70. évét,  
Dr. MAJOROS György geofizikus-mérnököt, aki idén töltötte be 70. évét,  
MIKLÓS Gergely mérnök-geofizikust, aki idén töltötte be 70. évét,  
Dr. MÜLLER Pál geofizikus-mérnököt, aki idén töltötte be 70. évét,  
NYÁRI Péter geológust, aki idén töltötte be 70. évét,  
PINTÉR Anna geofizikust, aki idén töltötte be 70. évét,  
Dr. POLCZ Iván bányageológust, aki idén töltötte be 70. évét,  
Dr. STEINER Ferenc egyetemi tanárt, aki idén töltötte be 70. évét,  
SZABÓ Istvánné technikust, aki idén töltötte be 70. évét,  
SZABÓ Zoltán geofizikust, aki idén töltötte be 70. évét,  
TIRKALA Ferenc geofizikus-mérnököt, aki idén töltötte be 70. évét,  
VÁRFALVI Lajos mérnök-geofizikust, aki idén töltötte be 70. évét,  
VÁROSI Alfrédöt, aki idén töltötte be 70. évét,  
ZSILLE Antal geofizikus-mérnököt, aki idén töltötte be 70. évét.

*Kérjük, erejükhez mérten támogassák továbbra is a hazai geofizika ügyét.*

*A Magyar Geofizikusok Egyesülete nevében  
Hegybíró Zsuzsanna*



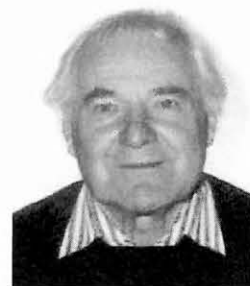
Dr. ÁDÁM Oszkár



BAGI Róbert



DUDÁS József



Dr. GINTER-GONDOZÓ György



HERMESZ Miklós



JESCH Aladár



Dr. LACZKOVICS József



Dr. MÜLLER Pál



NYÁRI Péter



PINTÉR Anna



Dr. POLCZ Iván



Dr. STEINER Ferenc



SZABÓ Zoltán



Dr. SZEMERÉDI Pál



Dr. TAKÁCS Ernő



VÁRFALVI Lajos



ZSILLE Antal

# EAGE

## 64. EAGE-KONFERENCIA ÉS KIÁLLÍTÁS

Firenze, 2002. május 27–30.

Idén az EAGE május utolsó hetében Firenzében tartotta szokásos éves kongresszusát és a hozzá tartozó műszaki kiállítást. A rendezvény helyszíne az 1991-es kongresszus óta jól ismert *Fortezza da Basso* nevű régi erődből kialakított kongresszusi központ volt. A kongresszus a szokásos módon — tavaly óta már egy nappal rövidebben — zajlott le. Egyetlen lényeges érdekessége volt az eseménynek: idén csatlakozott az EAGE-hez az EEGS-ES (Engineering and Environmental Geophysical Society – European Section) és a programban már az ő előadásai is megjelentek. Integráció mindenekelőtt!

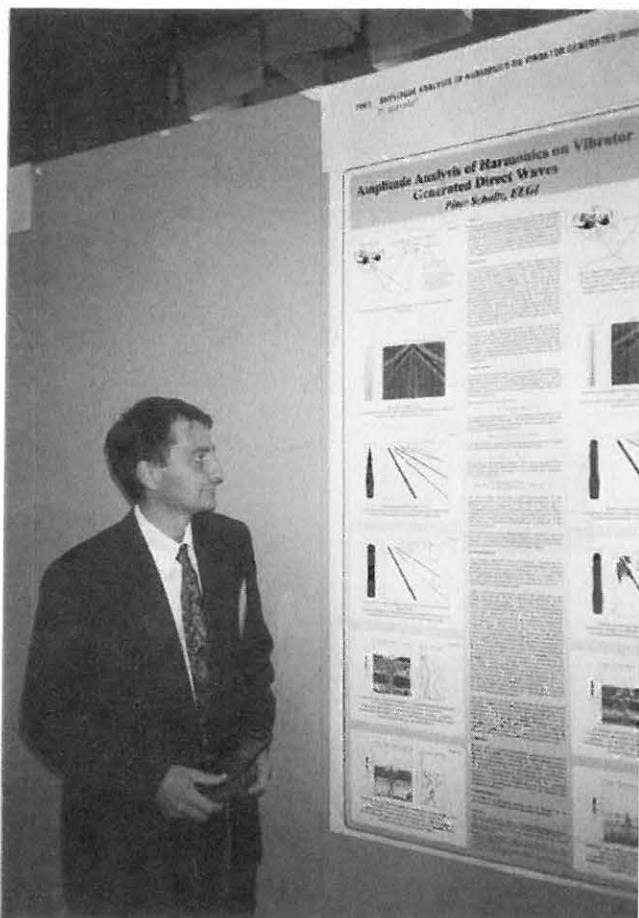
A szakmai program előadásai — összesen 365 darab — nyolc szekcióban folytak.

lehetett megtekinteni, és a poszterek csak egy napon át lehettek kiállítva. A kongresszus folyamán összesen 250 poszter került bemutatásra.



HEGYBÍRÓ Zsuzsanna az MGE standján

A szintén szekciókba szervezett poszter előadásoknál bevezették, hogy a szerzőknek a poszter előtt kb. 10–15 percen szóban is elő kellett adniuk a poszteren bemutatott eredményeiket. Egyidejűleg 16 poszter szekció posztereit



SCHOLTZ Péter a posztere előtt

A szakmai program előadásai és posztereit között összesen öt magyar volt, ezek a programban szereplő sorrendjükben a következők:

- E. HEGEDŰS, T. BODOKY, K. POSGAY, T. FANCSIK, CELEBRATION working group: *A New Generation 2D and 3D Refraction Experiment in the Carpathian Basin*;
- T. ORMOS: *Inversion of Refracted Travel-Times for Near-Surface Investigation*;
- P. SCHOLTZ: *Amplitude Analysis of Harmonics on Vibrator Direct Waves*;
- I. TÖRÖK, M. KIS, M. DOBRÓKA: *Weighted Generalized Series Expansion Used in the 2D Geoelectric Inversion Problem*;

— T. M. TÓTH, T. FÖLDES, F. SCHUBERT, C. HOLLÓS, J. KOMLÓSI: *Modelling of the Fractured Dorozsma Crystalline Reservoir, SE Pannonian Basin.*

A szakmai programhoz tartozott még 9 úgynevezett „workshop” (munkatalálkozó), egy „Symposium”, valamint 3 szakmai kirándulás. Ezeket nagyszámú üzleti bemutató (commercial presentation) egészítette ki.

Az 5200 m<sup>2</sup>-en megrendezett kiállítás mindenben követte a hagyományokat, óriási volt, látványos, számtalan számítógépes szoftver bemutatóval. A kiállításon közelítőleg 200 kiállító szerepelt, a kiállítás egyetlen magyar résztvevője a Magyar Geofizikusok Egyesülete volt.

A konferencia programjának rövidítése miatt az eddig külön-külön rendezett kulturális programot és a gálaestet

összevonták, és az összevont gálaestet a *Pitti Palota* mögötti *Boboli Parkban* rendezték meg. Remek est volt jó programmal és jó vacsorával, kár, hogy a helyhiány némileg rontotta a hangulatot (vagy túl sok volt az „illegális” vendég, vagy elszámították magukat a rendezők).

Az új rend szerint a záróülésein kiosztották az egyesület kitüntetésait. A legjobb cikkért járó *Eötvös Loránd-díjat* idén Yinghai ZHANG és szerzőtársai kapták.

Befejezésül csak még annyit, hogy emberemlékezet óta ez volt az első EAEG–EAGE kongresszus, ahol nem kaptunk táskát, csak egy minden fül és vállpánt nélküli mappát.

*Bodoky Tamás*



Kóborló magyarok Toscanában (CSABAFI Róbert, SCHOLTZ Péter, HEGEDŰS Endre, BODOKY Tamás, FANCSIK Tamás — és aki a fényképet készítette: HEGYBÍRÓ Zsuzsanna)

# A mérési adatokból nyert információk hibáinak csökkentése általunk ismételten generált többlethibáknak a mérési adatokra történő szuperponálásával<sup>1</sup>

STEINER FERENC<sup>2</sup>

*Kellően nagyszámú többlethiba-sorozatot szuperponálva a mérési adatrendszerre, az inverziók során kapott modellparaméter-adatok hiába nagyobb hibájúak az egyes esetekben, mint a szokásos inverzióknál, mediánjuk (vagy csoportok mediánjainak mediánja) szignifikánsan pontosabb értéket szolgáltathat a modellparaméterekre, mint az eredeti inverzió (a hibák körülbelül feleződnek).*

*Az alapgondolat gyakorlati alkalmazhatóságát a dolgozat mikrogravitációs példán mutatja be. Kiderült, hogy ez a „többlethiba-módszer” jól használható modellparamétereket tud szolgáltatni akkor is, ha a szokásos inverzió használhatatlan eredményekre vezet. A szerző mind ez ideig ugyan nem tette vizsgálat tárgyává, de előzetes véleménye szerint a többlethiba-módszer sikeres alkalmazásához nem szükséges a „természetes” és „mesterséges” hibák típusának az egyezése.*

**F. STEINER: The decrease of the errors of information exhausted from measuring data by using the “method of surplus errors”**

*Although the errors of the model parameters increase if the primary measuring errors are artificially increased by superposition of surplus errors to the measured values, if this surplus error superposition, however, is carried out many times enough, the medians of the inversion-determined model parameters can be more (or even much more) accurate than the model parameter got by one single inversion of the originally measured data.*

*The practical application of this fundamental conception is shown in the present paper on a microgravimetric example. It turned out that this „surplus-error method” can give well applicable model parameters even if some model parameter values are fully unusable if these values are calculated directly on the basis of the original measuring data but using only one single inversion.*

## 1. Bevezetés

Közhelynek számít az, hogy a számítástechnika rohamosan, immár több mint fél évszázada exponenciálisan (vagy annál is nagyobb mérvűen) fejlődik. Nem érdektelen ennek tükrében a geofizikában gyakran alkalmazott (és általában egyre bonyolultabbá váló) algoritmusokat az alábbi három osztályba sorolni.

- A) A direkt feladatok némelyike a gazdaságos számíthatóság határán mozog (a „forward problem” megfogalmazása olyan, hogy az algoritmus számítógépes megoldásának gépidőigénye még éppen nem lép túl egy ésszerű határt).
- B) Az inverzió egészen más jellegű problematikájával kapcsolatban most ennek csak az azonos bonyolultsági fokú direkt feladatoknál szükséges gépidő természetesen szignifikánsan nagyobb volta emelendő ki. Egy adott rövid időszak számítástechnikai szintje a bonyolultsági fok egy ésszerű limitjét ugyanúgy meghatározza, mint az A) esetben.
- C) Ha egy adott típusú inverzióknak egyszeri lefuttatása valamikor még éppen ésszerű gépidőigényűnek minősült (azaz B) kategóriájú volt), az néhány év (esetleg egy évtized) elteltével akár több százszor is lefuttathatóvá válik, ugyanannyi gépidőt véve igénybe.

## 2. A többlethiba-módszer alapgondolata

Tegyük fel, hogy adekvát modell paramétereit keressük az inverzió során, mégpedig az algoritmust illetően ez az eset számítástechnikai szempontból az 1. pont C)-vel jelölt csoportjába tartozik — így gyakorlatilag megvalósítható az alábbi alapgondolat:

*Kellően nagyszámú többlethiba-sorozatot szuperponálva a mérési adatrendszerre, az inverziók során kapott modellparaméter-adatok hiába nagyobb hibájúak az egyes esetekben, mint a szokásos inverzióknál, mediánjuk (vagy csoportok mediánjainak a mediánja) szignifikánsan pontosabb értéket szolgáltathat a modellparaméterekre, mint az eredeti inverzió.*

A jelen dolgozat szerzője bevallja, hogy ezt a 2002 januárjában eszébe jutott, egyszerűségében is merésznek tartott alapgondolatot először még a Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszékén működő geostatistikai team tagjaival is csak óvatosan közölte. Végül azonban nemcsak bátorítást kaptam, hanem HAJAGOS Béla kollégám számításai révén az alapgondolat Monte-Carlo-bizonyítását is, amiért hálás köszönetemet fejezem ki. Mivel a munka folytatását tervezzük, egy, a jelenleginél bővebb változatot kétszerzős: Hajagos–Steiner-cikk gyanánt szeretnénk az Acta Geodaetica et Geophysica Acad. Sci. Hung. című szaklapban megjelentetni, esetleg „War against error using the method of surplus errors” címmel.

<sup>1</sup> Beérkezett: 2002. április 23-án

<sup>2</sup> Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszék, H-3515 Miskolc, Egyetemváros

### 3. Gyakorlati példa az alap gondolat alkalmazására

Helytakarékossági célból az alapelvet a STEINER (ed.) [1997] monográfia 254. oldalán már ábrán is bemutatott 2-D esetre tesszük vizsgálat tárgyává. Két vízszintes, csekély mélységű körszelvényű vágat helyét (tengelyeik felszíni vetületének egy önkényesen felvett — és a mérések során is origónak tekintett — ponttól mért  $t_1$  és  $t_2$  vízszintes távolságait),  $m_1$ -gyel és  $m_2$ -vel jelölt mélységüket, valamint  $R_1$  és  $R_2$  sugaraikat kívánjuk mikrogravitációs mérésekkel meghatározni egy olyan területen, ahol már régen felhagytak a bányászkozással, a közensűrűség  $2,6 \text{ t/m}^3$  és a talajvízszint a vágatok alatt van. A méréseket az origótól indulva méterenként végezzük 18 m távolsáig. Így 19 db graviméteres adatot mérhetünk az origótól  $y_i$  távolságokban. Ha hiba nélkül lehetne mérni, JUNG [1961] szerint a következő  $g_i$  adatrendszert nyernénk:

$$g_i = -41,9 \cdot 2,6 \cdot \left[ \frac{R_1^2 \cdot m_1}{m_1^2 + (y_i - t_1)^2} + \frac{R_2^2 \cdot m_2}{m_2^2 + (y_i - t_2)^2} \right] \mu\text{Gal} \quad (i=0,1,\dots,18). \quad (1)$$

Tételezzük fel, hogy 6 db modellparaméterünk pontos értékei a következők:  $R_1=1,5 \text{ m}$ ;  $m_1=7,5 \text{ m}$ ;  $t_1=5 \text{ m}$ ;  $R_2=1,5 \text{ m}$ ;  $m_2=6,5 \text{ m}$ ;  $t_2=13 \text{ m}$ . A 19 db pontos  $g_i$  érték az origótól indulva az (1)-ből már egyszerűen számítható, amelyek rendre a következők: -30,2; -34,0; -37,9; -41,7; -45,0; -47,7; -49,6; -50,9; -51,9; -52,8; -53,7; -54,4; -54,3; -53,0; -50,2; -46,2; -41,5; -36,5; -31,9  $\mu\text{Gal}$ . Méréskor persze ezeket az értékeket csak akarunktól független, első pillanatban ismeretlen nagyságú hibával terhelve tudjuk meghatározni. DUTTER [1986/87] szerint a geostatistikai hibatípus a következő sűrűségfüggvényű standard esetben:

$$f_{st}(x) = 0,75 \cdot (1+x^2)^{-5/2}, \quad (2)$$

(ez a STEINER [1990] 30. oldalán definiált  $f_d(x)$  szupermodell  $a=5$ -höz tartozó típusa,) aminek a következő eloszlásfüggvény felel meg (ld. STEINER [1990] 50. oldalán az (1-44) formulát):

$$F_{st}(x) = \frac{1}{2} + \frac{x}{2 \cdot \sqrt{1+x^2}} + \frac{x}{4 \cdot (\sqrt{1+x^2})^3}. \quad (3)$$

Az  $F_{st}(x)$  függvény segítségével könnyen generálhatunk geostatistikus típusú véletlen számokat, s mivel ezek hibaértelműek lesznek, a helyparaméter zérus értéke miatt csak az  $S$  skálaparamétert kell figyelembe vennünk a standard (azaz az  $S=1$  esetre vonatkozó) (3) formula általánosításakor, mégpedig egyszerűen úgy, hogy  $x$  helyére mindenütt  $x/S$  kerül.

Kérdés, mekkorára célszerű  $S$ -et választanunk. Ismert, hogy a mikrogravitációs mérések hibája legalább 2–3  $\mu\text{Gal}$ . Ha a hiba alatt a  $Q$  interszextilis félterjedelmet értjük, amely a geostatistikus eloszlásra standard esetben 0,55 (ld. STEINER [1990] 52. oldalán az  $a=5$  oszlopot), az  $S$ -et legalább 4-nek kell választanunk. Gyanítható azonban, hogy a szakirodalom pontos definíció nélküli „hiba” alatt szórást ért, amelynek a standard alakú geostatistikus eloszlásra  $1/\sqrt{2} = 0,707$  az értéke, így  $S=4$  esetén 2,8  $\mu\text{Gal}$  adódik az így értelmezett hibára. Mivel a szakirodalom gyakrabban idézi a 3  $\mu\text{Gal}$  maximálisan elérhető pontosságot, a mérési hibák generálása mindig  $S=4$ -gyel történt

(és persze geostatistikus típusú volt). 19-szer generálva így véletlen számokat, „mérési adatrendszerünk” az I. Táblázat szerintieknek adódtak (ha szükséges, megkülönböztetésül  $g_i^{(m)}$ -mel jelöljük ezeket az adatokat).

A továbbiakban valódi mérési eredményekként kezeljük a 19 db adatot (természetesen akármelyik adatoszlopról legyen is szó.) Így első lépésként inverziót hajtunk végre a  $P$ -norma minimumhelyének meghatározásával, vagy ami ugyanaz: a legkisebb szorzatok elvének teljesítésével (ld. STEINER (ed.) [1997] 367. oldalát): megkeressük azokat az  $R_1, m_1, t_1, R_2, m_2$  és  $t_2$  értékeket, amelyek kielégítik a

$$\prod_{i=0}^{18} (4\varepsilon_k^2 + X_i^2) = \text{minimum} \quad (4)$$

követelményt, ahol az  $X_i$  az eltérést jelenti az (1) szerint számított és a  $g_i^{(m)}$  mért érték között, miközben az  $\varepsilon_k$  dihézió egyidejűleg eleget tesz a következő egyenletnek:

$$\varepsilon_k^2 = 3 \cdot \frac{\sum_{i=0}^{18} \frac{X_i^2}{[X_i^2 + \varepsilon_k^2]^2}}{\sum_{i=0}^{18} \frac{1}{[X_i^2 + \varepsilon_k^2]^2}}. \quad (5)$$

A 6 db modellparaméter és az  $\varepsilon_k$  dihézió nyilván kettős iteráció eredményeképpen adódik, felváltva elégítve ki (4)-et és (5)-öt. — Az  $\varepsilon_k$ -ra adódó értékeket az I. táblázat utolsó sora tünteti fel.

A fentiek elvégzése után még csak a  $P$ -norma minimumhelyének vagyunk a birtokában: kezünkben van az egyetlen, de első inverzió eredménye, azaz 6 db modellparaméter ahhoz a  $k$ -adik mérési adatsorhoz, amelyet kiválasztottunk. Még eddig egyetlen szó sem esett tulajdonképpeni célunkról: a többlethiba-módszer alkalmazásáról.

Nem volt felesleges azonban áttekinteni ezt az első lépést kicsit részletesebben ahhoz, hogy a 2. pontban definiált új módszert most hogyan célszerű alkalmaznunk. Mivel STEINER [1990] 106. oldalán a geostatistikus eloszlás ( $a=5$ ) standard esetére  $\varepsilon=0,4818$  nagyságú dihézióértéket olvashatunk ki, a primer hibageneráláskor alkalmazott  $S=4$  miatt az először mérési hibaként szuperponált véletlen számok dihéziója mindegyik  $k$  sorozatra  $0,4818 \times 4 = 1,9272$  volt. Naivitás lenne azonban azt várnunk, hogy mindössze 19 adatból  $\varepsilon_k$ -ként ezt az értéket pontosan vissza is kapjuk — mivel azonban terepi mérés inverziójakor csak 19 adat (az I. táblázat valamelyik oszlopa) áll csak rendelkezésünkre, kénytelenek vagyunk az ehhez tartozó  $\varepsilon_k$  értéket dihézióként elfogadni. (A  $P$ -norma robusztussága miatt szerencsére még viszonylag nagy dihézióeltérések sem befolyásolják szignifikánsan a paraméterter-beli minimumhelyet.) De miért is fontos ez az  $\varepsilon_k$  érték? Hogy a többlethiba se túl kicsiny, se túl nagy ne legyen, célszerű ugyanolyan  $\varepsilon_k$ -vel generált, geostatistikus típusú „mesterséges” hibát az I. táblázatbeli mérési adatokra szuperponálni. Mivel ekkor a két azonos hiba összegének skálaparamétere másfélszeres lesz, végül a többlethibás adatokra elegendő egyszeres iterációval a következő feltételt teljesíteni:

$$\prod_{i=0}^{18} (9\varepsilon_k^2 + X_i^2) = \text{minimum} . \quad (6)$$

A (6)-ban azért kapja  $\varepsilon_k$  a kilences faktort, mert a geostatistikus típusnak ( $\alpha=5$ -nek) a szimmetrikus stabilis eloszlástípusok  $f_{\alpha}(x)$  családjában (ld. STEINER [1990] 34. oldal) a legjobban az  $\alpha=1,677$  típusparaméterű felel meg [HAJAGOS, STEINER 1997], — márpedig ha két azonos  $\alpha$  típusú és azonos skálaparaméterű valószínűségi változót

összeadunk, annak (az ugyancsak  $\alpha$  típusú) eloszlásnak  $2^{1/\alpha}$ , azaz jelenleg  $2^{1/1,677} = 3/2$  lesz a skálaparamétere, így most (a többlethiba hozzáadása után) a dihézió az  $\varepsilon_k$   $3/2$ -szerese lesz, s mivel a  $P$ -normában (és a hozzátartozó szorzatminimum elvben) a dihézió kétszeresének a négyzete szerepel, 4-gyel egyszerűsíthetünk és végül csak  $3^2=9$  marad meg  $\varepsilon_k$  szorzójaként.

$i$	$k$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0		37,78	31,34	27,87	30,16	32,58	33,27	31,57	29,18	28,70	31,87
1		31,95	33,12	31,40	37,11	33,70	29,66	29,00	33,25	35,73	33,82
2		38,12	39,05	40,31	39,29	36,54	43,20	41,61	39,44	36,81	39,56
3		42,11	40,86	39,69	39,56	59,59	40,90	46,08	45,65	41,17	43,23
4		43,77	46,00	47,31	47,34	45,65	46,97	45,29	42,43	39,99	45,89
5		55,02	44,41	45,11	47,30	46,46	44,60	48,29	47,56	49,86	49,08
6		47,23	50,62	52,30	49,39	49,08	46,05	50,53	49,48	49,36	49,22
7		47,23	46,38	52,49	51,89	45,12	54,90	51,43	48,15	52,04	51,99
8		50,72	51,46	53,34	51,11	50,43	49,96	47,66	51,13	54,11	54,51
9		52,08	53,71	53,00	54,54	53,40	55,85	50,30	53,73	54,97	52,97
10		55,09	52,48	55,38	53,96	55,66	53,23	55,82	53,28	50,84	55,40
11		57,89	55,88	53,80	53,95	53,14	49,19	54,09	53,29	52,72	55,02
12		48,37	50,57	54,28	55,05	55,35	53,96	52,53	56,20	55,55	51,99
13		55,77	50,45	55,07	53,05	50,76	54,80	51,46	51,59	51,90	52,19
14		51,23	51,33	48,58	48,86	51,29	51,62	54,67	52,04	50,57	46,42
15		54,48	40,79	45,19	49,40	46,91	50,36	47,53	50,57	43,67	47,81
16		40,75	41,26	42,32	43,41	43,12	36,62	41,45	41,26	45,54	41,21
17		37,09	36,45	36,97	35,43	39,52	38,83	39,35	35,62	30,35	38,35
18		35,99	32,02	28,72	30,13	35,18	29,30	29,93	27,06	33,25	33,09
$\varepsilon_k$		1,39	1,96	1,70	0,91	1,23	2,79	2,06	2,02	2,55	1,30

*I. táblázat.* A vizsgálatok céljára a következő 2-D-modell szolgál: két vízszintes üres hengernek mint egy felhagyott bányá vágatainak mélységei és egyéb paraméterei határozandók meg mikrograviméteres mérések eredményeinek  $P$ -norma bázisú inverziójával. A fentiekhez szimulált, e táblázatban bemutatott „mérési” eredményeket  $S=4$  skálaparaméterű statisztikus hiba többszöri generálásával és az egzakt adatokra való szuperponálásával nyertük, hogy a mikrogravimetriában reálisnak számító hibával terhelt adatrendszerek lehessenek vizsgálataink alapjai. Az összes adat negatív (ezért előjeleket nem tüntettünk fel) és  $\mu\text{Gal}$ -ban értendő. Az utolsó sorban a megfelelő ( $k$ -val definiált) mérési adatrendszer egyetlen,  $P$ -norma alapú inverziójakor adódó dihézióértékek szerepelnek; egyaránt 5–5  $\varepsilon_k$  érték nagyobb, ill. kisebb a dihézió elméleti értékénél (1,9272-nél)

*Table I.* Different data sets of simulated microgravimetric measurements consisting of 19 data each above the chosen 2-D model: two horizontal cylinder considered as two galleries in an old mine. The random numbers for errors were generated according to the statistical type using  $S=4$  as parameter of scale to get errors in the scale of the real microgravimetric measurements. In the last row are given the corresponding  $\varepsilon_k$  values of the dihesion gotten as results of the inversion carried out on the basis of the  $P$ -norm; five  $\varepsilon_k$  values are greater, the other five ones are less than the theoretical value of the dihesion (=1.9272). All gravimetric values are given in  $\mu\text{Gal}$ -s and are negative (therefore signs are not given)

Világos, hogy a (6) minimumhelyét — a nagyobb összhiba miatt — pontatlanabban kapjuk meg. Többlethibát azonban egyetlen mérési adatrendszerhez tetszőlegesen sokszor generálhatunk, így kellően sok így kapott modellparaméter mediánja már pontosabb értéket szolgáltathat az egyszeri iterációval kapottnál. Mivel vizsgált modellünk egyszeres inverziójának gépidéjénél a ME geofizikai teamjének rendelkezésére álló számítástechnika akár három nagyságrenddel nagyobb gépidővel is még ésszerűen dolgozhat, azonos  $k$ -hoz 21-szer szuperponáltunk többlethibát, az így adódó 6 modellparaméter mindegyikére meghatároztuk a mediánt — és ezt az egész procedúrát 21-szer megismételve, végül a mediánok mediánjait fogadtuk el mint a többlethiba-módszer ered-

ményeit. Ez utóbbiakat, felülvonás alkalmazásával,  $\bar{p}_{j,k}$ -val jelöltük, megkülönböztetésül az egyszeri inverzióval kapott  $p_{j,k}$  paraméterekről. A  $p_j$ -k a helyes paraméterértékek, amelyekre terepi mérés esetén persze nem ismerünk, mostani vizsgálatainkban azonban célszerű felhasználnunk a többlethiba-módszer előnyös alkalmazhatóságát bemutató *II. táblázatban*. Itt mindegyik  $k$ -hoz és ezen belül mind a hat paraméterhez részletesen adottak a többlethiba-módszer alkalmazásával kapott, hibacsökkenést jellemző számértékek. Röviden úgy foglalhatjuk össze eredményeinket, hogy a dolgozat által javasolt módszerrel nagy valószínűséggel érhetjük el a paraméterhibák szignifikáns csökkenését.

$k$	$p_j$	$p_{j,k}$	$\overline{p_{j,k}}$	$ p_{j,k} - p_j $	$ \overline{p_{j,k}} - p_j $	$\frac{ \overline{p_{j,k}} - p_j }{ p_{j,k} - p_j } \cdot 100$
1	$R_1$	2,42	1,46	0,92	0,04	4,59%
	$m_1$	12,3	7,94	4,76	0,44	9,24%
	$t_1$	9,32	4,12	4,32	0,88	20,4%
	$R_2$	0,48	1,64	1,02	0,14	13,5%
	$m_2$	0,08	6,79	6,42	0,29	4,55%
	$t_2$	14,6	12,6	1,59	0,40	25,2%
2	$R_1$	1,00	1,46	0,50	0,04	8,24%
	$m_1$	5,95	8,02	1,55	0,52	33,7%
	$t_1$	3,26	4,66	1,74	0,34	19,5%
	$R_2$	1,91	1,58	0,41	0,08	20,5%
	$m_2$	8,48	7,47	1,98	0,97	49,0%
	$t_2$	11,6	12,6	1,43	0,45	31,3%
3	$R_1$	1,49	1,49	0,01	0,01	168%
	$m_1$	6,65	6,83	0,85	0,67	78,9%
	$t_1$	5,56	5,45	0,56	0,45	79,4%
	$R_2$	1,43	1,45	0,07	0,05	73,8%
	$m_2$	6,00	6,05	0,50	0,45	91,4%
	$t_2$	13,2	13,1	0,20	0,06	29,9%
4	$R_1$	1,42	1,58	0,08	0,08	98,0%
	$m_1$	6,96	7,94	0,54	0,44	81,3%
	$t_1$	4,42	5,06	0,58	0,06	11,1%
	$R_2$	1,55	1,42	0,05	0,08	158,0%
	$m_2$	6,46	5,97	0,04	0,53	1380%
	$t_2$	12,7	13,0	0,35	0,04	12,6%
5	$R_1$	0,55	1,38	0,95	0,12	12,1%
	$m_1$	0,05	8,18	7,45	0,68	9,15%
	$t_1$	3,28	4,32	1,72	0,68	39,6%
	$R_2$	2,40	1,73	0,90	0,23	25,2%
	$m_2$	11,5	8,01	4,98	1,51	30,3%
	$t_2$	10,1	12,6	2,90	0,36	12,4%
6	$R_1$	2,21	1,60	0,71	0,10	13,5%
	$m_1$	10,7	8,12	3,24	0,62	19,0%
	$t_1$	8,02	4,87	3,02	0,13	4,44%
	$R_2$	0,59	1,40	0,91	0,10	11,3%
	$m_2$	49	5,67	4,01	0,83	20,6%
	$t_2$	13,9	13,3	0,93	0,26	28,0%
7	$R_1$	1,39	1,50	0,11	0,00	2,84%
	$m_1$	6,24	6,71	1,26	0,79	63,0%
	$t_1$	4,13	4,59	0,87	0,41	47,3%
	$R_2$	1,57	1,46	0,07	0,04	56,1%
	$m_2$	6,33	5,92	0,17	0,59	336,0%
	$t_2$	13,1	13,3	0,09	0,32	373,0%
8	$R_1$	1,62	1,51	0,12	0,01	9,9%
	$m_1$	7,55	7,13	0,05	0,37	766,%
	$t_1$	5,29	4,87	0,29	0,13	44,2%
	$R_2$	1,31	1,40	0,19	0,10	50,1%
	$m_2$	5,08	5,31	1,42	1,19	83,8%
	$t_2$	13,3	13,1	0,32	0,15	45,7%
9	$R_1$	2,02	1,53	0,52	0,03	6,22%
	$m_1$	9,39	7,51	1,89	0,01	0,39%
	$t_1$	7,59	5,60	2,59	0,60	23,2%
	$R_2$	0,88	1,47	0,62	0,03	5,29%
	$m_2$	4,66	6,63	1,84	0,13	6,98%
	$t_2$	14,3	13,2	1,33	0,22	16,5%
10	$R_1$	1,21	1,52	0,29	0,02	8,20%
	$m_1$	6,97	8,08	0,53	0,58	109%
	$t_1$	4,16	5,18	0,84	0,18	21,1%
	$R_2$	1,85	1,60	0,35	0,10	28,0%
	$m_2$	8,54	7,94	2,04	1,44	70,6%
	$t_2$	12,0	12,7	1,02	0,33	32,3%

II. táblázat. A többlethiba-módszer előnyei. A  $p_j$  ( $j=1,2,\dots,6$ ) modellparaméterek valódi értékei a következők:  $R_1=1,5$  m;  $m_1=7,5$  m;  $t_1=5$  m;  $R_2=1,5$  m;  $m_2=6,5$  m és  $t_2=13$  m. A táblázat első oszlopának  $k$  értékei az I. táblázatra (folytatás a következő oldalon)

utalnak, hogy ti. éppen melyik mérési adatrendszer a vizsgálat alapja. A második oszlop definiálja, hogy e táblázat adott sorában  $p_j$  alatt melyik modellparaméter értendő. A 3. oszlop  $p_{j,k}$  értékei egyetlen inverzió eredményeit jelentik, ha a  $k$ -edik mérési adatoszlopot választottuk az I. táblázatból. A többlethiba-módszer eredményeit a negyedik oszlop tartalmazza  $\bar{p}_{j,k}$ -val jelölve; ezek abszolút értékben értett eltéréseit a valódi értékektől a hatodik oszlop adja meg. Az egyetlen inverzió eredményeinek analóg különbségei az ötödik oszlopban adóttak. Utóbbiakhoz viszonyítva a 6. oszlop különbségeit, a százalékokban kifejezett és a 7. oszlopban számszerűleg megadott arányok kvantitatív tájékoztatást nyújtanak a dolgozatban javasolt módszernek az esetek túlnyomó többségében teljesülő előnyeiről. (A többszáz %-os esetek mindegyikében néhány ezrelékes, szinte elhanyagolható volt az első iterációs lépésben kapott modellparaméter-érték eltérése a valódi értéktől, míg a többlethiba-módszer 8% körüli, tehát nem irreálisan nagy hibára vezetett. A  $k=3$  sor  $R_1$ -hez tartozó 168%-os aránya az előző két, mm-ekben mérhető és a gépben így szereplő értékek hányadosa; mivel a táblázat csak cm-ekig tüntet fel értékeket, mindkét esetben a kerekített 0,01 érték szerepel)

*Table II.* This Table shows the advantages occurring in the overwhelming majority of cases using the method of surplus errors. The true values of the  $p_j$  ( $j=1,2,\dots,6$ ) model parameters are the followings:  $R_1=1.5$  m;  $m_1=7.5$  m;  $t_1=5$  m;  $R_2=1.5$  m;  $m_2=6.5$  m and  $t_2=13$  m. The  $k$  value in the first column refers to Table I: which data set was actually chosen for the investigations. The second column gives the actually meaning of the  $p_j$  model parameter in the row in question. The  $p_{j,k}$  values in the third column mean the results of one single inversion, carried out on the basis of the measured values given in the  $k^{\text{th}}$  column in Table I. The results of the method of the surplus errors are denoted by  $\bar{p}_{j,k}$  and given in the 4<sup>th</sup> column. The absolute values of the difference  $p_{j,k}$  minus the true value of  $p_j$  are in the 5<sup>th</sup> column; the analogous differences for  $\bar{p}_{j,k}$  are given in the 6<sup>th</sup> column. The last column presents (in percent) the value of the decrease of the error of the model parameters if the surplus error method is used instead of one single inversion. (In the cases if some hundred % figure in the last column, the error of the result of the first iteration is only some per thousand whilst the error of the proposed method resulted in the acceptable values of about 8%. The ratio of 168% figuring for  $R_1$  in row 3 of the table is the ratio of small values; after rounding them to cm-s, both have the value of 1 cm)

Nem maradhat megemlítés nélkül, hogy a fent idézett két ismétlési számot (a többlethiba-generálások, valamint a teljes procedúra ismétléseinek a számát) más irányú, de rokon gyakorlati tapasztalataink alapján adtuk meg. A későbbi vizsgálatok egyik célja éppen az lehet, hogy a mediánok mediánjának képzésekor milyen ismétlési számpár alkalmazása tekinthető optimálisnak. — Az olvasó joggal vethetné fel azt a kérdést, hogy ha egyetlen lépéssorozatban szuperponálnánk 400–500-szor többlethibát, az inverziókkal nyert modellparaméterek mediánja nem adódna-e hasonlóan pontosnak, mint a 21 darab, szintén 21 elemű paramétercsoportból meghatározott mediánoknak a  $\bar{p}_{j,k}$  mediánja. Ilyen vizsgálat nem történt ugyan, de valószínűleg igenlő lenne a válasz a fenti kérdésre, annál is inkább, mert a paraméterek külön-külön történő mediánképzésével mindkét esetben feltételezhetően ugyanúgy csökken az egyes paraméterpárok közötti kapcsolat vélhetően káros hatása. Ha azonban a „21-szer 21-es” szisztémánál maradunk, a 21-es csoportok mediánjainak nemcsak a mediánja képezhető, hanem a nagyság szerinti rendezés után a negyedik elem a  $Q_a$  alsó szextilist, a 18-ik elem a  $Q_f$  felső szextilist szolgáltatja, amelyből nyilvánvalóan képezhetjük a mediánokra az interszextilis félterjedelmet  $Q=0,5 \cdot (Q_f - Q_a)$  szerint, azaz kvantitatív adattal tudjuk jellemezni a  $\bar{p}_{j,k}$  végeredményeink hibáját, utóbbi alatt a statisztikus ingadozások mértékét értve. Indokolt tehát a „ $Q_a$ ; medián;  $Q_f$ ” értékhármassok számértékeinek áttekinthető megadása is, a hatféle modellparaméterre és mind a tíz, az I. táblázatban megadott mérési adatrendszerre (III. táblázat).

#### 4. A többlethiba-módszer hatásosságának bemutatása a mérési adatok terében

4.1. A 21x21-es többlethiba-módszer eredmény-paramétereivel számított, valamint a valódi modellhez tartozó graviméteres adatok eltérése

A 3. pontbeli, paramétertérben megadott eredmények legegyszerűbb, ha nem is legtanulságosabb átfogalmazása a mérési adatok terére, ha kiszámítjuk a fenti (4.1) címben definiált különbségeket  $\mu\text{Gal}$ -ban, és ezeket az értékeket mind a tíz esetre ( $k=1,2,\dots,10$ ) és esetenként mind a 19 mérési pontra ( $i=0,1,2,\dots,18$ ) megadjuk (ld. a IV. Táblázatot, ahol a különbségi értékek  $\mu\text{Gal}$ -ban adóttak). Megállapíthatjuk,  $Q_f$  hogy a 21x21-es többlethibamódszer eredményparamétereivel számított graviméteres adatok a hibamentes mérési adatoktól csak a mikrogravitációs mérések reális (legalább 2–3  $\mu\text{Gal}$ -nyi) mérési hibájának legtöbbször néhányszor 10%-nyi részével térnek csak el.

4.2. Milyen mérvű mérési hibacsökkentés volna szükséges ahhoz, hogy egyetlen inverzió a 21x21-es többlethiba-módszernek a 3. pontban már megismert paraméter-pontosságához hasonlót szolgáltatasson?

Gondolatmenetünket indítsuk a mérési adatokból kiindulva, ld. pl. az I. ábrán a 19 db mérési pontot, amely a  $k=9$  esetnek felel meg (ld. az I. táblázatot). Végezzünk kiegyenlítést az (1) formula analitikus alakját használva, hogy a mérési pontoknak jól megfelelő sima görbét kapjunk. Az analitikus formulában szereplő 6 paraméteradat valamely statisztikai norma alapul választása után (esetünkben ez a  $P$ -norma) azon 6 értéként kapjuk, amelyekkel definiált folytonos görbe mérési pontokbeli értékeinek és a mérésről kapott adatoknak az eltéréseire minimális a választott eltérés-norma (itt a  $P$ -norma). Így az 1. ábrán vékony vonallal ábrázolt folytonos görbét kapjuk, ami

„ránézésre” is jól egyenlíti ki a mérési pontokat, azaz az egyetlen minimumhely-kereséssel kapott 6 érték, mint kiegyenlítési paramétervektor, kielégítően „vizsgázott” a mérési adatok terében.

	$R_1=1,5$	$m_1=7,5$	$t_1=5$	$R_2=1,5$	$m_2=6,5$	$t_2=13$
$k=1$	1,42	7,70	3,97	1,60	6,66	12,5
	1,46	7,94	4,12	1,64	6,79	12,6
	1,47	8,21	4,31	1,65	6,95	12,7
$k=2$	1,43	7,77	4,40	1,56	7,27	12,6
	1,46	8,02	4,66	1,58	7,47	12,6
	1,47	8,22	4,80	1,63	7,61	12,6
$k=3$	1,47	6,60	5,35	1,43	5,87	13,0
	1,49	6,83	5,45	1,45	6,05	13,1
	1,50	6,87	5,55	1,47	6,26	13,2
$k=4$	1,54	7,75	4,87	1,35	5,87	12,9
	1,58	7,94	5,06	1,42	5,97	13,0
	1,65	8,10	5,45	1,46	6,17	13,2
$k=5$	1,33	8,02	4,06	1,70	7,85	12,6
	1,38	8,18	4,32	1,73	8,01	12,6
	1,42	8,38	4,44	1,78	8,24	12,7
$k=6$	1,57	7,93	4,74	1,36	5,37	13,2
	1,60	8,12	4,87	1,40	5,67	13,3
	1,64	8,31	5,14	1,42	5,93	13,4
$k=7$	1,49	6,54	4,41	1,45	5,79	13,2
	1,50	6,71	4,59	1,46	5,92	13,3
	1,52	6,97	4,66	1,49	6,02	13,4
$k=8$	1,50	6,94	4,79	1,38	5,20	13,1
	1,51	7,13	4,87	1,40	5,31	13,1
	1,54	7,41	4,95	1,43	5,53	13,3
$k=9$	1,52	7,40	5,50	1,45	6,52	13,1
	1,53	7,51	5,60	1,47	6,63	13,2
	1,56	7,71	5,85	1,48	6,84	13,3
$k=10$	1,49	7,91	5,01	1,57	7,77	12,6
	1,52	8,08	5,18	1,60	7,94	12,7
	1,54	8,27	5,28	1,64	8,20	12,9

III. táblázat. Mind a hat modellparaméterhez és mind a tíz (az I. táblázatban megadott) mérési adatrendszerhez adottak a 21-szeri többlethiba generaláskor kapott paraméter-mediánok alsó és felső szextilisei (mint az adathármasok első és harmadik értékei); a második érték e mediánok mediánja. Ezek az értékek a többlethiba-módszer jellemzésére pontosnak tekinthetők, hiszen az egész procedúra szintén 21-szeres ismétlésének eredményei alapján történt a meghatározásuk

Table III. Three values are given for all six model parameters and for all ten measuring data systems given in Table I: the first one means the lower, the third one the upper sextile value of the medians, the second one the median of the medians superposing 21 times surplus errors. Repeated this latter procedure 21 times, too, these three values can be determined accurately enough

Jól tudjuk azonban, hogy ennek a hat adatnak fizikai, ha tetszik, modellgeometriai értelme van: két hengerkeresztmetszetű vágat sugarait, valamint tengelyük mélységeit és e tengelyek felszíni vetületeinek origótól mért távolságait jelentik. Az 1. ábrán a (kiegyenlítéskor kielégítő eredményt adó) 6 paraméterértékhez vékony vonalú körök adják meg a hozzájuk tartozó vágat-metszeteket. Az eredmény annyira rossz, hogy már félrevezetőnek sem nevezhető. (A jobb felső vágatot, kis keresztmetszete miatt, leginkább Hófehérke törpéi tudták volna valaha kihajtani...) Láttuk viszont, hogy a 21x21-es többlethiba-módszer ekkor is a valódi paraméterértékekhez közeliekhez vezet (ld. a II. táblázatban a megfelelő különbségi értékeket  $k=9$  esetére); az első ábra vastag vonallal rajzolt körei egyrészt valóban közel vannak a valódi, azaz az  $R_1=1,5$  m;  $m_2=7,5$  m;  $t_1=5$  m;  $R_2=1,5$  m;  $m_2=6,5$  m;  $t_2=13$  m modellparaméterekkel definiált esethez, — másrészt a vastag körök szerinti üres vágatok (1) szerint számolt graviméteres hatás-

görbéje, amint azt a vastag vonalú görbe mutatja az 1. ábrán, vizuálisan megítélve hasonlóan jól egyenlíti ki a pontokkal jelölt mérési eredményeket, mint az egyetlen inverzióknak megfelelő, vékony vonalú görbe. — A 4.2. alpont címében feltett kérdést, legalábbis  $k=9$ -re, most az 1. ábrára utalva fogalmazhatjuk át: a mérési hibák milyen mérvű csökkentése vezetne (a vékony vonalú körök helyett) egyetlen inverzióval is a valóságos határhoz oly mértékben közeli eredményhez, mint az 1. ábra vastag vonallal rajzolt körei, amelyeket a 21x21-es többlethiba-módszer szolgáltatott?

A „közelséget”, általában a valódi esettől való távolságot persze célszerű volna kvantitatíve is definiálni, hogy áttekinthetőbben lehessen a fenti kérdést megválaszolni. Az inverzió irodalma szerencsére használja a modell-távolság fogalmát, s így például GYULAI [2000]-rel (ld. 108. oldal) összhangban vagyunk, ha az akármilyen hibájú mérési adatokból az éppen alkalmazott algoritmussal adódó számí-

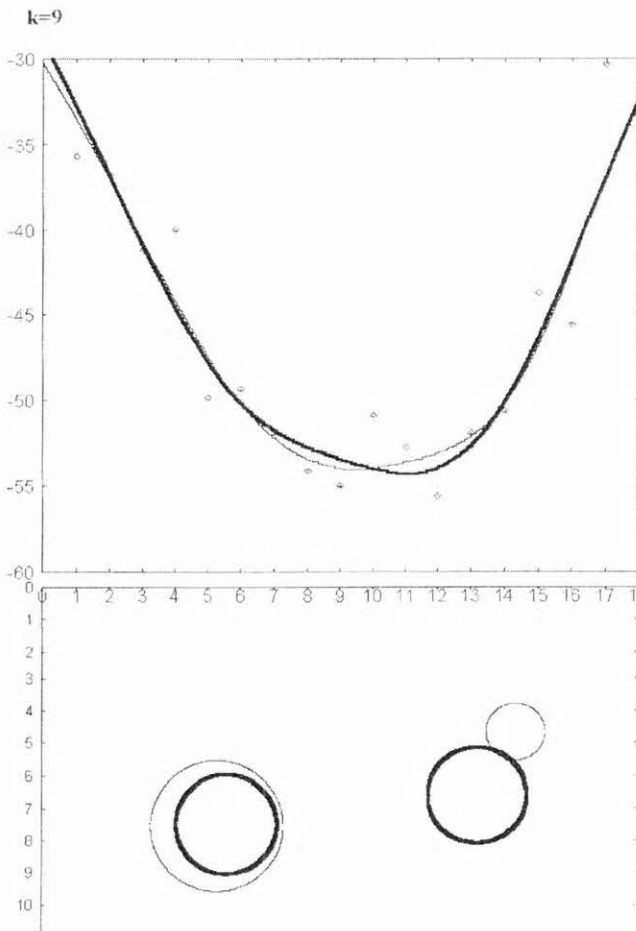
tott modellparaméter-értékeket  $p_j^{számított}$ -tal jelölve, a valódi hatótól a paraméter-térben értelmezett (és  $\Delta$ -val jelölt) távolságot a következőképpen definiáljuk:

$$\Delta = \sqrt{\frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \left( \frac{p_j^{számított} - p_j^{valódi}}{p_j^{valódi}} \right)^2} \quad (7)$$

$i$	$k$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0		-2,488	-1,022	1,945	-0,491	-1,396	-0,793	-1,113	0,707	1,181	-1,905
1		-2,240	-0,724	1,646	-0,334	-0,932	-0,492	-1,676	0,563	1,197	-1,791
2		-1,803	-0,334	1,137	-0,128	-0,341	-0,068	-2,191	0,432	1,092	-1,667
3		-1,224	0,096	0,439	0,098	0,295	0,448	-2,488	0,377	0,828	-1,583
4		-0,636	0,477	-0,345	0,303	0,834	0,989	-2,387	0,468	0,405	-1,598
5		-0,227	0,710	-1,028	0,443	1,124	1,468	-1,805	0,740	-0,107	-1,736
6		-0,164	0,748	-1,429	0,496	1,079	1,812	-0,840	1,148	-0,575	-1,951
7		-0,505	0,638	-1,477	0,468	0,751	1,980	0,251	1,551	-0,859	-2,115
8		-1,166	0,518	-1,259	0,367	0,318	1,946	1,173	1,749	-0,878	-2,058
9		-1,955	0,559	-0,953	0,190	0,004	1,673	1,699	1,534	-0,647	-1,640
10		-2,643	0,881	-0,725	-0,073	-0,034	1,110	1,708	0,775	-0,267	-0,830
11		-3,040	1,471	-0,643	-0,399	0,199	0,262	1,209	-0,467	0,116	0,238
12		-3,076	2,143	-0,641	-0,688	0,501	-0,708	0,379	-1,802	0,358	1,261
13		-2,832	2,612	-0,567	-0,791	0,579	-1,467	-0,449	-2,600	0,381	1,883
14		-2,479	2,664	-0,311	-0,621	0,239	-1,709	-0,935	-2,420	0,212	1,893
15		-2,165	2,283	0,106	-0,241	-0,482	-1,406	-0,947	-1,398	-0,049	1,340
16		-1,945	1,630	0,561	0,193	-1,374	-0,795	-0,604	-0,071	-0,294	0,476
17		-1,801	0,911	0,940	0,548	-2,206	-0,160	-0,127	1,088	-0,466	-0,425
18		-1,695	0,271	1,193	0,774	-2,837	0,335	0,315	1,880	-0,557	-1,185

IV. táblázat. A  $\bar{p}_{j,k}$ , valamint a helyes  $p_j$  modellparaméterekkel számított mikrogravitációs hatások különbségei

Table IV. Differences of microgravimetric effects calculated according to the  $\bar{p}_{j,k}$  and to the true  $p_j$  model parameters



I. ábra. Az ábrán a pontok az I. táblázat  $k=9$  mérési adatszlopának felelnek meg. Az ezek alapján egyetlen inverzióval nyert hengerkeresztmetszeteket vékony vonallal rajzolt körökkel, a 21x21-es többlethiba-módszerrel kapottakat vastag vonalú körökkel mutatja be az ábra. Mindkét hatásgörbe, vizuálisan megítélve, hasonlóan jól egyenlíti ki a mérési pontokat

Fig. 1. The points demonstrate the measured data series given in the  $k=9^{\text{th}}$  column of Table I. The results of the single step inversion are demonstrated by two thin line circles (as the section of both galleries); the circles drawn by thick line are the results of the method of surplus errors carrying out 21 times 21 superpositions of surplus errors. Both curves of the gravimetric effect seem to fit similarly the original measured points

A jelen dolgozatban persze  $J=6$  és a  $p_j$ -k jelentésére is emlékezünk: a két vízszintes henger sugarai, tengelyvonalai mélységei és egy rögzített ponttól való vízszintes távolságai a modellparaméterek. A definíció relatív jellege miatt  $\Delta$ -t célszerű %-okban megadni; az 1. ábra vékony vonalú köreire pl.  $\Delta=34,4\%$ , míg a vastag vonallal rajzoltakra mindössze  $\Delta=5,18\%$ . Milyen mérvű mérési hibacsökkentés szükséges ahhoz, hogy az utóbbi  $\Delta$  értéket kapjunk egyetlen inverzióval?

A  $k = 9$  esetre az egyes pontok  $h_i$ -vel jelölt primer mérési hibáit nyilván úgy kapjuk, hogy az I. táblázat kilencedik oszlopának minden számértékéből levonjuk az (1)-ből a valódi modellparaméterértékekkel adódó hibamentes értéket; utóbbiak az (1) képletet követő szövegsorokban már kiszámított értékekkel is adóttak. A továbbiakban ezekhez a hibamentes értékekhez  $c \cdot h_i$ -ként kapott hibákat adunk hozzá, ahol  $c$  kisebb 1-nél, majd elvégezve az egyetlen iterációt, az így adódó modellparamétereket helyettesítjük  $p_j^{\text{számított}}$ -ként a (7) szerinti kifejezésbe; az eredményt célszerű  $\Delta(c)$ -vel jelölni. Megkeresve azt a  $c$  értéket, amely mellett  $\Delta(c)$  az 5,18%-os értéket veszi fel (emlékezünk, hogy ez az utóbbi érték a 21x21-es többlethiba-módszerrel kapott eredmény  $\Delta$ -ja volt), ez a  $c$  érték az a mérési hibacsökkentési arány, amelyet keresünk. A számítások a  $c=0,199$ , azaz kereken a  $c=0,2$  értéket eredményezték, s mivel a primer hibageneráláskor igazodtunk a jelenlegi mikrogravitációs mérések legkedvezőbb esetben is 2–3  $\mu\text{Gal}$  körüli hibájához, a kapott  $c$  érték azt jelenti,

hogy kb. 0,4–0,6  $\mu\text{Gal}$  körüli mérési hibák engedhetők csak meg. *A többlethiba-módszer tehát a vizsgált esetben a mért mikrogravitációs értékek olyan mérvű hiba-csökkentésével egyenértékű, amelyet a mikrogravitációs mérés technika feltehetően még a távolabbi jövőben sem fog tudni produkálni.* — Valószínű, hogy számos más geofizikai feladatnál is hasonlóan jó szolgálatot tehet a többlethibák módszere, de ezt természetesen minden esetben külön kell vizsgálat tárgyává tenni.

## HIVATKOZÁSOK

- DUTTER R. 1986/87: Mathematische Methoden in der Montangeologie. Vorlesungsnotizen. Manuscript, Leoben
- GYULAI Á. 2000: 2-D földtani szerkezetek interpretációja együttes geoelektromos inverziós módszerekkel. MTA doktori dolgozat. Kézirat. Miskolc
- HAJAGOS B., STEINER F. 1997: Symmetrical stable probability distributions nearest lying to the types of the supermodel  $f_a(x)$ . Appendix VIII. in STEINER F. (Ed.) 1997: Optimum Methods in Statistics. Akadémiai Kiadó, Budapest
- JUNG K. 1961: Schwerkraftverfahren in der angewandten Geophysik. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig
- STEINER F. 1990: A geostatistika alapjai. Tankönyvkiadó, Budapest
- STEINER F. (Ed.) 1997: Optimum Methods in Statistics. Akadémiai Kiadó, Budapest

# A gravitáció, a mágnesség és az elektromosság közötti kapcsolatokról, a geofizika szemszögéből<sup>1</sup>

SZARKA LÁSZLÓ<sup>2</sup>

*A gravitáció, a mágnesség, az elektromosság és az egyenáram mágneses terének külön-külön jól ismert összefüggéseit a tanulmány együtt, a potenciálméleti eredetű kapcsolatok előtérbe állításával mutatja be.*

**L. SZARKA: About relationships among gravity, magnetism and electricity, from point of view of geophysics**

*The well-known equations of gravity, magnetism, electricity and magnetic field of direct currents are shown together in a special way, emphasizing inter-relations, originated from potential theory.*

## 1. Bevezetés

Különböző összefoglaló könyvekben nagyszerű példák találhatók eltérő fizikai jelenségek közötti potenciálméleti hasonlóságokra, de a geofizikai kutatómódszerek között megbúvó kapcsolatok feltárása alapvetően a felszín alatti térséget kutató geofizika a feladata. A geofizikai kutatási módszerek közül a legtisztább, legátalábbat összefüggésekkel a gravitáció rendelkezik, tehát az összehasonlításhoz a gravitációt érdemes kiindulási pontnak megtenni.

A tanulmány rendszerezett formában mutatja be a gravitáció és az elektromosság közötti, s a gravitáció és az egyenáram mágneses tere közötti kapcsolatot, majd kitér az elektromosság és a mágnesség különböző megnyilvánulásai közötti, a geofizika szempontjából érdekes összefüggések áttekintésére is, s végül érinti a Poisson-egyenlet helyét az elektromágneses potenciálokra felírható inhomogén differenciálegyenletek rendszerében. A külön-külön régóta ismert összefüggések szembesítése nemcsak szép (hiszen bepillantást enged a természet rendjébe), hanem talán hasznos is, hiszen új nézetben világít rá a különböző geofizikai anomáliák forrásaira. (A történeti hűség kedvéért megemlítendő, hogy 30–40 évvel ezelőtt sokat foglalkoztak bonyolult két- és háromdimenziós hatók egyidejű geoelektromos, mágneses,

gravitációs és indukált polarizációs analóg modellezésével [TAKÁCS 2002].)

Az elektromosság és a mágnesség alapegyenleteinek levezetését a Függelék A1. és A2. táblázataiban foglalom össze (a gravitáció esetében a levezetést nem tartom szükségszerűnek); a dolgozat szöveges részében az alapösszefüggéseket innen, de külön hivatkozás nélkül származtatom. A jelölések listája szintén a Függelékben szerepel.

A dolgozat a STEINER Ferenc 70. születésnapjára ünnepélyesen elhangzott előadás alapján készült.

## 2. Gravitáció, mágnesség, elektromosság, egyenáram mágneses tere

### 2.1. Gravitáció és mágnesség

Az I. táblázat a gravitáció és a mágnesség legalapvetőbb összefüggéseit foglalja össze.  $d$  a közet sűrűsége,  $\mathbf{M}$  az egységi térfogatban lévő közet mágnessége. A gravitációs, illetve a mágneses skalárpotenciál mindkét esetben Poisson-egyenlet megoldásaként adódik. A lehető legegyszerűbb írásmódot választottam, a  $dV$  térfogatelem és a mérési pont távolságát egyszerűen az  $r$  távolság jelöli.

### GRAVITÁCIÓ

$d$ : sűrűség,

ahol  $d$  csak a hely függvénye

Poisson-egyenlet:

$$\nabla^2 \Phi = -\text{div } \mathbf{g}, \text{ azaz}$$

$$\nabla^2 \Phi = 4\pi \gamma d$$

Gravitációs potenciál:

$$\Phi = -\gamma \int_V \frac{d}{r} dV$$

Gravitációs térerősség:

$$\mathbf{g} = -\text{grad } \Phi$$

### MÁGNESSÉG

$\mathbf{M}$ : térfogati mágnessézettség,

ahol  $\mathbf{M}$  csak a hely függvénye

Poisson-egyenlet:

$$\nabla^2 W = -\text{div } \mathbf{H}, \text{ azaz}$$

$$\nabla^2 W = \text{div } \mathbf{M}$$

Mágneses skalárpotenciál:

$$W = \frac{1}{4\pi} \int_V \mathbf{M} \text{ grad } \frac{1}{r} dV$$

Mágneses térerősség:

$$\mathbf{H} = -\text{grad } W$$

I. táblázat. A gravitáció és a mágnesség alapösszefüggései

Table I. Basic relationships of gravity and magnetism

A  $\Phi$  és  $W$  potenciálokra vonatkozó megoldások általános alakjában közös, hogy mindkét esetben térfogati integrálok szerepelnek. A  $W$  mágneses skalárpotenciál esetében a mágneses dipólusok jelenléte miatt nem a távolság reciproka, hanem a reciprokok gradiense szerepel. Közös ható

<sup>1</sup> Beérkezett: 2002. június 11-én

<sup>2</sup> MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet, 9400 Sopron, Csatkai u. 6-8.

esetén ezért tűnnek végső soron a mágneses térképek a gravitációs anomáliatérképek irány szerinti deriváltjának. Ezt a közismert, még közvetlenebb alakban is felírható kapcsolatot hívjuk Poisson–Eötvös-összefüggésnek.

## 2.2. Elektromosság

A II. táblázat bal oldali része az elektromosság egyenleteit mutatja. Nézzük őket együtt az I. táblázatban bemutatott gravitációs egyenletekkel! A tér forrását ezúttal nem a

ELEKTROMOSSÁG

$\delta_l, \tau_l$ : térfogati és felületi töltéssűrűség,  
ahol  $\delta_l = -\frac{\varepsilon_0}{\sigma} \mathbf{E} \cdot \text{grad } \sigma$ ,  $\tau_l = \frac{\varepsilon_0}{\sigma} \overline{E}(\sigma_1 - \sigma_2)$

Poisson-egyenlet:  
 $\nabla^2 U = -\text{div } \mathbf{E}$ , azaz  
 $\nabla^2 U = -\frac{\delta_l}{\varepsilon_0}$

Elektromos skalárpotenciál:  
$$U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \left( \int_V \frac{\delta_l}{r} dV + \oint_a \frac{\tau_l}{r} da \right)$$

Elektromos térerősség:  
 $\mathbf{E} = -\text{grad } U$

EGYENÁRAM MÁGNESES TERE

$\mathbf{j}$ : térfogati áramsűrűség,  
ahol  $\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E}$

Poisson-egyenlet:  
 $\nabla^2 \mathbf{A} = -\mu_0 \text{rot } \mathbf{H}$ , azaz  
 $\nabla^2 \mathbf{A} = -\mu_0 \mathbf{j}$

Mágneses vektorpotenciál:  
$$\mathbf{A} = -\frac{\mu_0}{4\pi} \int_V \frac{\mathbf{j}}{r} dV$$

Mágneses térerősség:  
 $\mathbf{H} = \frac{1}{\mu_0} \text{rot } \mathbf{A}$

II. táblázat. Az elektromosság, valamint az egyenáram mágneses térének alapösszefüggései ( $\overline{E}$ ,  $\overline{\sigma}$  a  $\sigma_1/\sigma_2$  határfelületre vonatkozó számtani átlagértékeket jelent)

Table II. Basic relationships of electricity and magnetic fields of direct currents ( $\overline{E}$ ,  $\overline{\sigma}$  are arithmetic mean values at the

Az elektromos anomália forrásait tehát — amennyiben mesterséges módszerekről van szó — vagy mi magunk aktivizáljuk, vagy pedig (mint például a tellurika esetében) a természetes elektromos tér által létrehozott töltésrendszert figyeljük meg.

Homogén féltér esetén a töltések a felszínen helyezkednek el, s a Coulomb-féle felfogásban ezek azok, amelyek benn tartják az áramot a vezető alsó féltérben. (Végtelen kiterjedésű homogén és izotróp térben a töltések egyszerűen sugárirányban szétáramolnának.) A réteghatárokon, inhomogenitásokon kialakuló felületi töltések hatása általában sokkal jelentősebb, mint a tértöltéseké. A helyről helyre változó vezetőképességű féltér (pl. az anizotrop féltér) tele van szétoszlott („hintett”) töltésekkel, s e töltések térítik el az áramokat attól az úttól, ami homogén térben, illetőleg féltérben kialakulna.

Vegyük észre, hogy az elektromosságot szükségtelen elektrosztatikára és egyenáram elektromos terére szétválasztani. Az elektrosztatika és az egyenáram elektromos tere közötti kapcsolat nem csupán formai: lényegi azonoság van e kétféle megnyilvánulás között, mint ahogyan azt TAKÁCS Ernő szokásos szóhasználata is jelzi, aki előadásában következetesen „egyenárammal feltöltött féltérről” szól. (Egy részletesebb okfejtés SZARKA [1990]-ben található.)

Formálisan az egyenáram elektromos tere és az elektrosztatika közös tárgyalhatóságának kulcsa az, hogy a töltéssűrűséget indexszel látjuk el: a  $t$  „teljes” vagy „totális” töltést jelent; az  $f$  a „szabad” („free”) töltésekre utal. Figyeljük meg, hogy az elektromos eltolódási vektor Maxwell-egyenletében  $f$ , a potenciál Poisson-egyenletben  $t$  a töltéssűrűség indexe.

Mivel  $\text{div } \mathbf{E} = \text{div} [(\mathbf{D} - \mathbf{P}) / \varepsilon_0]$ , ezért bebizonyítható, hogy  $\delta_l = \delta_f + \delta_p = \text{div } \mathbf{D} - \text{div } \mathbf{P}$ , ahol a  $\delta_p$  polarizációs töltésekre érvényes a következő összefüggés:  $\delta_p = -\text{div } \mathbf{P}$ , azaz a teljes töltéssűrűség egyenlő a szabad és a polarizációs töltések összegével.

Az elektrosztatika és az egyenáram elektromos tere közötti különbség abban áll, hogy az elektrosztatikában az egyszer odavitt töltések magukra hagyva örökre meg-

mérés megkezdése előtt is létező és csak helytől függő sűrűségeloszlás jelenti, hanem olyan térfogati és felületi töltéssűrűség-eloszlás, amely külső elektromos tér hatására jön létre (mintegy  $10^{-9}$  s időtartamon belül, amennyiben más fékező jelenségek: indukált polarizáció, indukciós tranziens nincsenek, vagy elhanyagolhatók). A  $\delta_l$  térfogati és a  $\tau_l$  felületi töltéssűrűséggel kifejezhető töltések a vezetőképesség-változások helyein mutatkoznak, s mértékük az elektromos tér nagyságától és irányától függ.

maradnak, az egyenáramú elektromosságban pedig folytonosan („continuously”) pótolni kell őket.

## 2.3. Egyenáram mágneses tere

A 2. táblázat jobb oldali részében az egyszerűség kedvéért feltételezzük, hogy a közet nem mágnesezett. Amennyiben a közzetesen egyenáram folyik keresztül, állandó mágneses tér alakul ki, amely a Biot–Savart-törvénnyel írható le.

A Poisson-egyenletből következően a tér forrása ezúttal maga a felszín alatti térségben folyó áram (ami az elektromosság esetében a térbeli és felületi töltéssűrűség-eloszlás volt, a gravitáció esetében pedig a térbeli sűrűségeloszlás). A térbeli vezetőképesség-eloszlással való kapcsolat itt annyiban egyszerűbb, mint az elektromos tér esetében, hogy a tér forrása nem a  $\text{grad } \sigma$ -val, hanem magával a  $\sigma$  vezetőképességgel arányos. A tér forrása ezúttal is függvénye a külső elektromos térének. Izotrop közegben  $\mathbf{j}$  és  $\mathbf{E}$  azonos irányúak; anizotrop közegben tenzoriális vezetőképesség-eloszlást kell figyelembe vennünk.

Az A2. táblázat (4) sorából közvetlenül látszik, hogy amennyiben az atomi köráramok és a makroszkopikus áram kapcsolatára bevezetjük  $\text{rot } \mathbf{M} = \mathbf{j}$  helyettesítést, akkor a  $\mathbf{j}$  áram és az  $\mathbf{M}$  mágnesezettség lényegében (mivel  $\text{grad div } \mathbf{A}$  nullának választható) azonos  $\mathbf{A}$  vektorpotenciálhoz, és tökéletesen azonos  $\mathbf{H}$  mágneses tereeloszláshoz vezet.

## 3. Kétoldalú kapcsolatok

Foglaljuk össze, hogy az elmondottak alapján milyen kapcsolatok vannak a gravitáció és mágnesség, a gravitáció és elektromosság, a gravitáció és az elektromos áram mágneses tere között. A III. táblázat a négy jelenség között mind a hat lehetséges párosítást tartalmazza:

- (1) Gravitáció és mágnesség
- (2) Gravitáció és elektromosság
- (3) Gravitáció és egyenáram mágneses tere
- (4) Elektromosság és egyenáram mágneses tere
- (5) Mágnesség és egyenáram mágneses tere
- (6) Elektromosság és mágnesség

(1)	Gravitáció és mágnesség	A sűrűség térbeli skalárfüggvény, a mágnesség térbeli vektorfüggvény A felszín alatti sűrűségeloszlás és a mágnesség egyaránt csakis a hely függvénye „A mágneses térképek a gravitációs térképek deriváltjának tűnnek” (Poisson–Eötvös-összefüggés)
(2)	Gravitáció és elektromosság	Analógia nem a közeg fizikai paraméterei (sűrűség és elektromos vezetőképesség) között van, hanem a sűrűség és a töltésfelhalmozódás között A töltésfelhalmozódás bonyolult függvénye a vezetőképesség térbeli eloszlásának és az elektromos térnek. (Az elektromosság még szigetelő környezetben (az ún. „elektrosztatikus” esetben) is bonyolultabb a gravitációnál, mert kétfajta előjelű töltés létezik.) A gravitációs anomáliák állandósága, az elektromos anomáliák — mérési elrendezéstől függő — változékonysága jó példa a „konzervatív erők” különbözőségére
(3)	Gravitáció és egyen-áram mágneses tere (MMR)	Analógia a sűrűségeloszlás és a térbeli áramsűrűség között van Az áramsűrűség (legalábbis térrészenként homogén és izotrop közegben) az elektromos tér lineáris függvénye Kétdimenziós közegekben és csapásirányú áramsűrűség esetén a $\Delta H_{\text{hor}}$ anomália a gravitációs $\Delta g_z$ anomália menetéhez hasonló
(4)	Elektromosság és egyenáram mágneses tere (MMR)	Az elektromos anomália (legalábbis térrészenként homogén és izotrop közegben) a vezetőképesség-inhomogenitások határfelületén az elektromos tér hatására kialakuló és Coulomb-törvénnyel számítható térből származik; az MMR-anomáliát a térbeli áramsűrűségből származó és a Biot-Savart törvény által leírt mágneses tér alakítja ki Hányadosuk a hosszú periódusú magnetotellurikus anomáliát közelíti
(5)	Mágnesség ( $\mathbf{M}$ ) és egyenáram ( $\mathbf{j}$ ) mágneses tere	A kialakuló mágneses tér ( $\mathbf{H}$ ) szempontjából mindegy, hogy $\mathbf{M}$ -mel kifejezett atomi köráramoktól, vagy makroszkopikus $\mathbf{j}$ térbeli áramsűrűségtől származik-e, amennyiben $\text{rot } \mathbf{M} = \mathbf{j}$
(6)	Elektromosság és mágnesség ( $\mathbf{M}$ )	Az időben állandó $\mathbf{M}$ mágnességnek nincs elektromos tere Az álló térbeli töltéssűrűség-eloszlásnak nincs mágneses hatása, csak a mozgó (a vezető közegben „elszivárgó” és a tápáram révén utánpótlódó) töltéseknek van.

III. táblázat. Kapcsolatok a gravitáció, a mágnesség, az elektromosság és az egyenáram mágneses tere között

Table III. Bilateral relations between gravity, magnetism, electricity and magnetic field of direct currents, respectively

	Általános (időtartománybeli) egyenletek	Harmonikus ( $e^{i\omega t}$ ) térváltozás
(a) Potenciál: $f(\mathbf{r}, t)$ Forrás: $S_f$ (általános alak)	$\nabla^2 f - \mu\sigma \frac{\partial f}{\partial t} - \mu\varepsilon \frac{\partial^2 f}{\partial t^2} = -S_f$ (“távíró” egyenlet)	$\nabla^2 f + k^2 f = -S_f$ , ahol $k^2 = \omega^2 \mu\varepsilon - i\omega\mu\sigma$ (Helmholtz-egyenlet)
(b) $\sigma \ll \varepsilon \frac{\partial}{\partial t}$ (EM földradar)	$\nabla^2 f - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 f}{\partial t^2} = -S_f$ ahol $v = \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}}$ (hullámegyenlet)	$\nabla^2 f + k^2 f = -S_f$ , ahol $k^2 = \omega^2 \mu\varepsilon$ (Helmholtz-egyenlet)
(c) $\sigma \gg \varepsilon \frac{\partial}{\partial t}$ (EM indukció)	$\nabla^2 f - \mu\sigma \frac{\partial f}{\partial t} = -S_f$ (diffúziós egyenlet)	$\nabla^2 f + k^2 f = -S_f$ , ahol $k^2 = -i\omega\mu\sigma$ (Helmholtz-egyenlet)
(d) $\frac{\partial}{\partial t} = 0$ (gravitáció, mágnesség, elektromosság)	$\nabla^2 f = -S_f$ (Poisson-egyenlet)	

IV. táblázat. A Poisson-egyenlet az elektromágneses potenciálokra vonatkozó inhomogén differenciálegyenleteinek rendszerében. (A rugalmas hullámok egyenletei formailag azonosak a (b) sorban közölt egyenletekkel)

Table IV. Poisson's equation in the system of inhomogeneous differential equations of the electromagnetic potentials

Megjegyzem, hogy az utólag triviálisnak látszó felismerés — miszerint kétdimenziós szerkezetek fölött és csapásirányú áram esetén a  $\Delta H_{\text{hor}}$  (azaz az egyenáram mágneses tere vízszintes összetevőjének anomáliája): a gravitációs  $\Delta g_z$  anomália menetéhez hasonló — efféle összehasonlítások eredménye volt [SZARKA 1986, SZARKA 1987].

#### 4. A Poisson-egyenlet mint az elektromágneses potenciál speciális esete

A gravitáció, az elektromosság, valamint a mágnesség mindkét fajtáját Poisson-egyenlet írja le. Az elektromágnesség alapegyenleteiből (azaz a Maxwell-egyenletekből) általános esetben (időbeli térváltozást megengedve) ennél sokkal

bonyolultabb inhomogén hullámeqyenletek adódnak. A hullámeqyenletek szerkezete azonban azonos, akár valamelyik potenciálra, akár valamelyik térkomponensre fejezzük ki.

Az inhomogén hullámeqyenletek rendszerét a 4. táblázat foglalja össze, ahol az elektromágneses egyenletek legáltalánosabb alakja, az ún. táviró egyenlet a középtől, illetőleg az időbeli változás sebességétől függően hullámeqyenletre vagy diffúziós egyenletre egyszerűsödik, s a Poisson-egyenlet, amiről eddig beszéltünk, szerényen meghúzódik a legelső sorban.

Végül érdemes megjegyezni, hogy harmonikus térváltozás esetén a hullámeqyenletet és a diffúziós egyenletet is formailag azonos módon fejezhetjük ki.

A potenciálok forrásait az 5. táblázat foglalja össze.

Fizikai jelenség	Az anomália forrása
Gravitáció	sűrűségkülönbség
Mágnesség	mágnesezettség (atomi köráram) térbeli áramsűrűség
Elektromosság	elektromos töltések
Elektromágnesség	töltések + töltések időbeli változása + áramok + áramok időbeli változása (retardált)
Rugalmas hullámok	köztefeszültség, alakváltozás (retardált)

5. táblázat. Néhány geofizikai tér anomáliaforrása

Table 5. Source of anomaly of several geophysical fields

#### 5. Összefoglalás

Céltudatosan nem a különböző erők bonyolultságára, hanem a közöttük lévő rejtett vagy kevésbé rejtett összefüggésekre mutattam rá. A mögött a geofizikai értelmezési tapasztalat mögött, hogy a gravitációs térképet minden más módszerrel végzett kutatás esetén érdemes elővenni, lényegében az itt is láttatott kapcsolatok állnak. A bemutatott táblázatok alapján az elméleti háttér a lehető legtömörebben így foglalható össze: az elektromosság szeszélyessége mellett a gravitáció olyannyira megbízható, hogy figyelembevétele mindig nélkülözhetetlen lesz az egyértelmű földtani értelmezéshez.

#### Köszönetnyilvánítás

A téma részfinanszírozásában megemlítendő a T037694 és a TS 048408 számú OTKA projekt. ÁDÁM Antal és

VERŐ József tanácsait, valamint a bírálók (TAKÁCS Ernő és PETHŐ Gábor) észrevételeit külön megköszönöm.

#### HIVATKOZÁSOK

- SIMONYI K. 1986: Elméleti villamosságtan. Tankönyvkiadó, Budapest, 72–75 és 233–238
- SZARKA L. 1986: Geofizikai térképezés stacionárius elektromos és mágneses térkomponensekkel. Kandidátusi értekezés, Sopron
- SZARKA L. 1987: Geophysical mapping by stationary electric and magnetic field components: A combination of potential gradient mapping (PM) and magnetometric resistivity (MMR) methods. *Geophysical Prospecting* **35**, 434–444
- SZARKA L. 1990: A Coulomb-törvény, mint a geoelektromos anomáliák alapja. *Magyar Geofizika* **31**, 1–10
- TAKÁCS E. 2002: Szóbeli közlés

#### Függelék

1. A tanulmányban szereplő jelölések a következők:

$U$ : elektromos skalárpotenciál	$W$ : mágneses skalárpotenciál $A$ : mágneses vektorpotenciál	$\Phi$ : gravitációs potenciál
$E$ : elektromos térerősség	$H$ : mágneses térerősség	$g$ : gravitációs térerősség
$D$ : eltolási vektor $P$ : polarizációs vektor	$B$ : mágneses indukció $M$ : mágnesezettség vektor	
$\epsilon$ ( $\epsilon_0$ ): dielektromos állandó (értéke vákuumban)	$\mu$ ( $\mu_0$ ): mágneses permeabilitás (értéke vákuumban)	$\gamma$ : gravitációs állandó
$\delta$ : térbeli töltéssűrűség $\tau$ : felületi töltéssűrűség $\sigma$ : elektromos vezetőképesség}	$j = \sigma E$ : térbeli áramsűrűség	$d$ : sűrűség
$r$ : a $dV$ térfogatelemben (a $da$ felületelemben) mutató vektor végpontjának és a mérési pontnak a távolsága		

2. Az A1. és A2. táblázat az  $U$  elektromos skalárpotenciál, a  $W$  mágneses skalárpotenciál és az  $A$  mágneses vektorpotenciál táblázatos formában bemutatott levezetését foglalja össze. (Az elektromos vektorpotenciál csak  $\text{div } \mathbf{D} = 0$  esetén vezet könnyen kezelhető egyenletekhez; a feltétel irrealitása miatt az elektromos vektorpotenciál levezetésétől eltekintünk.) A kiindulási egyenletek a Maxwell-egyenletek, illetőleg az anyagjellemzők. A geofizikai szakirodalomban előforduló sokféle jelölési mód és előjelhasználat helyett a SIMONYI [1986] által használt tárgyalási módot javaslom követni.

	Elektromosság ( $U$ )	Mágnesség ( $W$ )
(1) Alap-egyenletek	$\text{rot } \mathbf{E} = 0$ $\text{div } \mathbf{D} = \delta_f$ $\mathbf{D} = \varepsilon_o \mathbf{E} + \mathbf{P} = \varepsilon \mathbf{E}$	$\text{rot } \mathbf{H} = 0$ $\text{div } \mathbf{B} = 0$ $\mathbf{B} = \mu_o(\mathbf{H} + \mathbf{M}) = \mu \mathbf{M}$
(2) $U$ és $W$ definíciója	$\mathbf{E} = -\text{grad } U$ $\text{div } \mathbf{E} = \text{div}(-\text{grad } U) = -\nabla^2 U$ $\nabla^2 U = -\text{div } \mathbf{E}$ (Poisson-egyenlet)	$\mathbf{H} = -\text{grad } W$ $\text{div } \mathbf{H} = \text{div}(-\text{grad } W) = -\nabla^2 W$ $\nabla^2 W = -\text{div } \mathbf{H}$ (Poisson-egyenlet)
(3) A források	$\text{div } \mathbf{D} = \varepsilon_o \text{div } \mathbf{E} + \text{div } \mathbf{P}$ $\text{div } \mathbf{E} = \frac{1}{\varepsilon_o}(\delta_f - \text{div } \mathbf{P})$	$\text{div } \mathbf{B} = \mu_o \text{div } \mathbf{H} + \mu_o \text{div } \mathbf{M}$ $\text{div } \mathbf{H} = -\text{div } \mathbf{M}$
(4) (2) és (3) alapján	$\nabla^2 U \equiv \Delta U = -\frac{1}{\varepsilon_o}(\delta_f - \text{div } \mathbf{P})$	$\nabla^2 W \equiv \Delta W = \text{div } \mathbf{M}$
(5) Általános megoldás Simonyi (1986) alapján	Amennyiben $V$ térfogatot körülzáró $a$ felület normálisa kifelé (a felülettől el) mutat és a potenciál a határfelületen folytonos:  $U = -\frac{1}{4\pi} \int_V \frac{\Delta U}{r} dV - \frac{1}{4\pi} \oint_a \frac{1}{r} \left( \frac{\partial U}{\partial n_1} + \frac{\partial U}{\partial n_2} \right) da$	$W = -\frac{1}{4\pi} \int_V \frac{\Delta W}{r} dV - \frac{1}{4\pi} \oint_a \frac{1}{r} \left( \frac{\partial W}{\partial n_1} + \frac{\partial W}{\partial n_2} \right) da$
(6) Általános megoldás $\mathbf{n}$ másféle definíciójával	Amennyiben az $a$ felület normálisa (1)-ből (2)-be mutat, az előjel az (1) oldalon megfordul  $U = -\frac{1}{4\pi} \int_V \frac{\Delta U}{r} dV - \frac{1}{4\pi} \oint_a \frac{1}{r} \left( \frac{\partial U}{\partial n_2} - \frac{\partial U}{\partial n_1} \right) da$	$W = -\frac{1}{4\pi} \int_V \frac{\Delta W}{r} dV - \frac{1}{4\pi} \oint_a \frac{1}{r} \left( \frac{\partial W}{\partial n_2} - \frac{\partial W}{\partial n_1} \right) da$
(7) $U$ és $W$ skalárpotenciálok levezetése	$U = \frac{1}{4\pi} \int_V \frac{\text{div } \mathbf{E}}{r} dV + \frac{1}{4\pi} \oint_a \frac{E_{n_2} - E_{n_1}}{r} da$ $U = \frac{1}{4\pi \varepsilon_o} \int_V \frac{\text{div}(\mathbf{D} - \mathbf{P})}{r} dV + \frac{1}{4\pi \varepsilon_o} \oint_a \frac{(D_{n_2} - D_{n_1}) - (P_{n_2} - P_{n_1})}{r} da$	$W = \frac{1}{4\pi} \int_V \frac{\text{div } \mathbf{H}}{r} dV + \frac{1}{4\pi} \oint_a \frac{H_{n_2} - H_{n_1}}{r} da$ vagy Simonyi (1986) alapján $W = -\frac{1}{4\pi} \int_V \frac{\text{div } \mathbf{M}}{r} dV - \frac{1}{4\pi} \oint_a \frac{M_{n_2} - M_{n_1}}{r} da$
(8) Megoldás $U$ -ra, $W$ -re	Mivel $D_{n_2} - D_{n_1} = \tau_f$ , $-(P_{n_2} - P_{n_1}) = \tau_p$ $\text{div } \mathbf{D} = \delta_f$ , $-\text{div } \mathbf{P} = \delta_p$ és $\delta_t = \delta_f + \delta_p$ és $\tau_t = \tau_f + \tau_p$ : $U = \frac{1}{4\pi \varepsilon_o} \left( \int_V \frac{\delta_t}{r} dV + \oint_a \frac{\tau_t}{r} da \right)$	$W = -\frac{1}{4\pi} \int_V \frac{\text{div } \mathbf{M}}{r} dV + \frac{1}{4\pi} \oint_a \text{div } \frac{\mathbf{M}}{r} dV$ Mivel $\text{div } \frac{\mathbf{M}}{r} = \frac{\text{div } \mathbf{M}}{r} + \mathbf{M} \text{grad } \frac{1}{r}$ : $W = \frac{1}{4\pi} \int_V \mathbf{M} \text{grad } \frac{1}{r} dV$

A1. táblázat. Az  $U$  elektromos és a  $W$  mágneses skalárpotenciál párhuzamos levezetése

Table A1. A parallel derivation of electric and magnetic scalar potentials  $U$  and  $W$

Megjegyzések:

1. A potenciálok ugrásának feltételezése (5)-ben azzal lenne egyenértékű, hogy a felületi töltéssűrűség helyett kettősréteget tételezünk fel.
2. Térrészenként homogén és izotrop vezetőképességeket feltételezve a (8) sorban  $U$  kifejezésében a  $\delta_i$  tértöltések eltűnnek, s az  $U$  kialakításában kizárólag az inhomogenitások határfelületein kialakuló  $\tau_i$  töltések játszanak szerepet.

3. A tértöltés ( $\delta_i$ ), de különösen a felületi töltéssűrűség ( $\tau_i$ ) megadásában mutatkozó ellentmondások feloldása érdekében megadom azok levezetését:

a)  $\delta_i = \text{div } \mathbf{D} = \varepsilon_0 \text{div } \mathbf{E}$  levezetése

A folytonossági egyenlet  $\text{div } \mathbf{j} = 0$  alakjából  $\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E}$  behelyettesítéssel  $\sigma \text{div } \mathbf{E} + \mathbf{E} \text{grad } \sigma = 0$  származik, amelyből a térbeli töltéssűrűsége közvetlenül adódik:

$$\delta_i = -\varepsilon_0 \mathbf{E} \cdot \frac{\text{grad } \sigma}{\sigma} .$$

b)  $\tau_i = D_n^{(2)} - D_n^{(1)} = \varepsilon_0 (E_n^{(2)} - E_n^{(1)})$  levezetése

A folytonossági egyenlet  $j_n^{(2)} - j_n^{(1)} = 0$  alakjából  $\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E}$  behelyettesítéssel  $\sigma_2 E_n^{(2)} - \sigma_1 E_n^{(1)} = 0$  adódik, ami egyenértékű az alábbi egyenlettel:

$$(\sigma_1 + \sigma_2) [E_n^{(2)} - E_n^{(1)}] + (\sigma_2 - \sigma_1) [E_n^{(2)} + E_n^{(1)}] = 0 .$$

Innen

$$\tau_i = \varepsilon_0 \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2} (E_n^{(1)} + E_n^{(2)}) = \varepsilon_0 \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma} \bar{E}_n .$$

	<b>j</b> áramsűrűség mágneses tere	<b>M</b> mágnesezettség mágneses tere
(1) Alap- egyenletek	$\text{rot } \mathbf{H} = \mathbf{j}$ $\text{div } \mathbf{B} = 0$ $\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H}$	$\text{rot } \mathbf{H} = 0$ $\text{div } \mathbf{B} = 0$ $\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M}) = \mu \mathbf{H}$
(2) <b>A</b> definíciója	$\mathbf{B} = \text{rot } \mathbf{A}$ , mivel $\text{div rot } \mathbf{A} \equiv 0$	
(3) <b>A</b> levezetése	$\mathbf{H} = \mathbf{B} / \mu_0$ $\frac{1}{\mu_0} \text{rot } \mathbf{B} = \frac{1}{\mu_0} \text{rot rot } \mathbf{A} = \mathbf{j}$ $\text{rot rot } \mathbf{A} = \mu_0 \mathbf{j}$ Mivel $\text{rot rot } \mathbf{A} \equiv \text{grad div } \mathbf{A} - \nabla^2 \mathbf{A}$ és $\text{grad div } \mathbf{A}$ nullának választható, $\nabla^2 \mathbf{A} = -\mu_0 \mathbf{j}$	$\mathbf{H} = \mathbf{B} / \mu_0 - \mathbf{M}$ $\frac{1}{\mu_0} \text{rot } (\mathbf{B} - \mu_0 \mathbf{M}) =$ $\frac{1}{\mu_0} (\text{rot rot } \mathbf{A} - \mu_0 \text{rot } \mathbf{M}) = 0$ $\text{rot rot } \mathbf{A} = \mu_0 \text{rot } \mathbf{M}$ Mivel $\text{rot rot } \mathbf{A} \equiv \text{grad div } \mathbf{A} - \nabla^2 \mathbf{A}$ és $\text{grad div } \mathbf{A}$ nullának választható, $\nabla^2 \mathbf{A} = -\mu_0 \text{rot } \mathbf{M}$
(4) Megoldás <b>A</b> -ra	$\mathbf{A} = -\frac{\mu_0}{4\pi} \int_V \frac{\mathbf{j}}{r} dV$	$\mathbf{A} = -\frac{\mu_0}{4\pi} \int_V \frac{\text{rot } \mathbf{M}}{r} dV$

A2. táblázat. Az egyenáram mágneses terét, valamint a mágnesezettséget leíró mágneses **A** vektorpotenciál párhuzamos levezetése

Table A2. A parallel derivation of the magnetic vector potential **A** describing both magnetism due to magnetisation and magnetic fields due to direct currents

# A Naprendszer bolygóinak és néhány holdjának mágneses tere<sup>1</sup>

KIS KÁROLY<sup>2</sup>, WITTMANN GÉZA<sup>3</sup>

A Naprendszer bolygóinak mágneses teréről több mint harminc éve állnak rendelkezésre mérési adatok. Az űrszondák által végzett mérések mennyisége és minősége lehetővé tette azok értelmezését és a bolygók belső szerkezetének vázlatos meghatározását. Jelen cikk témája a szakirodalomban az elmúlt harminc év során publikált eredmények összefoglalása.

**K. KIS, G. WITTMANN: Magnetic fields of the planets and some of the satellites of the Solar System**

The magnetic fields of the planets of the Solar System have been measured in situ for about thirty years. The quality and quantity of the data obtained by the spacecrafts have made it possible to develop schematic models of the interiors of the planets. The published interpretations of the measurements are summarised.

## 1. Bevezetés

Az űrszondák által végzett mágneses mérések következtében részletes, de korántsem teljes ismeretekkel rendelkezünk a Naprendszer bolygóinak — és néhány esetben — azok holdjainak mágneses teréről. Az űrszondákon elhelyezett műszerek különböző célú méréseket végeznek, ezek közül a mágneses mérések feldolgozásának eredményeit foglaljuk össze. A mágneses mérések értelmezése olyan eredményeket szolgáltatott, amelyek jól használhatók a bolygók fejlődéstörténetének, továbbá belső szerkezetének megismerésében.

Az űrkutatási programok óriási összegeket igényelnek és magas színvonalú műszerezettséget kívánnak meg. Ennek illusztrálására szolgáljon néhány adat! A *Pioneer-11* űrszonda, amelynek tömege mindössze 250 kg, több műszer mellett hélium magnetométerrel és háromtengelyű fluxgate magnetométerrel is fel volt szerelve. Fluxgate magnetométerének tömege 272 gramm volt és működtetése 300 mW teljesítménnyel történt! A NASA tájékoztatása szerint a 30 évvel ezelőtt útjára indított *Pioneer-10* űrszondával is sikerült kapcsolatot létesítenie. Ennek a szondának egyetlen, még ma is működő műszere, a GM-számláló. A *Voyager-2* űrszonda 4 darab háromtengelyű fluxgate magnetométerrel rendelkezett, amelyek közül kettő-kettő azonos volt. Az egyik pár  $\pm 50\,000$  nT-től  $\pm 200\,000$  nT-ig terjedő tartományban, a másik pár  $\pm 50\,000$  nT-ig terjedő tartományban végzett méréseket (automatikus mérés határ beállításal). A *Voyager program* kifejlesztése és végrehajtása 11 000 ember/év munkát igényelt.

Mielőtt rátérnénk a bolygók mágneses terének ismertetésére, célszerűnek látszik a Föld mágneses terére vonatkozó ismeretek összefoglalása, hiszen a Föld mágneses terét ismerjük legrészletesebben, továbbá az alkalmazott számítási és értelmezési eljárások, bár hasonlóak a bolygók esetében is, az eredmények több esetben igen érdekes eltéréseket mutatnak a Földhöz képest.

## 2. A Föld mágneses terének jellegzetességei

A Naprendszer bolygóival történő összevetés érdekében megadjuk a Föld néhány jellemző adatát: az egyenlítői sugarra 6378,137 km, tömege  $5,976 \cdot 10^{24}$  kg, átlagsűrűsége  $5520 \text{ kg/m}^3$ , Naptól mért átlagos távolsága  $1,495979 \cdot 10^8$  km, azaz 1 CSE (CSillagászati Egység) [ZOMBECK 1990].

A földi mágneses térnek máig is érvényes analitikai leírását Karl Friederich GAUSS adta meg az *Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus* (A földmágnesség általános elmélete) című könyvében, amely 1838-ban jelent meg. GAUSS szerint a belső eredetű mágneses tér  $W(r, \theta, \lambda)$  skalárpotenciálját gömbi polárkoordináta-rendszerben a

$$W(r, \theta, \lambda) = a \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left( \frac{a}{r} \right)^{n+1} (g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \sin m\lambda) P_n^m(\cos \theta) \quad (1)$$

sorfejtés írja le, ahol  $r$  a Föld középpontjától mért távolságot,  $\theta$  a gömbi pólustávolságot,  $\lambda$  a greenwichi kezdőmeridiántól mért gömbi hosszúságot,  $a$  a Föld egyenlítői sugarát,  $g_n^m$  és  $h_n^m$  a sorfejtés Gauss-féle együtthatóit, amelyeket az egész Földre kiterjedő mérések feldolgozása alapján lehet meghatározni,  $P_n^m(\cos \theta)$  az  $n$ -edfokú,  $m$ -edrendű gömbfüggvényt jelenti [CHAPMAN, BARTELS 1951; FARKAS 1964]. A mágneses teret a potenciál negatív gradiense határozza meg:

$$\mathbf{T}(r, \theta, \lambda) = -\text{grad}W = -\frac{\partial W}{\partial r} \mathbf{e}_r - \frac{1}{r} \frac{\partial W}{\partial \theta} \mathbf{e}_\theta - \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial W}{\partial \lambda} \mathbf{e}_\lambda \quad (2)$$

ahol  $\mathbf{e}_r$ ,  $\mathbf{e}_\theta$  és  $\mathbf{e}_\lambda$  az  $r$ ,  $\theta$  és  $\lambda$  irányú egységvektorokat jelentik.

Az elsőfokú együtthatók felhasználásával kiszámítható a földi mágneses teret első közelítésben leíró (az  $n=1$ -hez tartozó) centrikus dipólus teret létrehozó momentum és annak iránya. Az  $\mathbf{m}_d$  momentum értékét az

$$\mathbf{m}_d = \frac{4\pi}{\mu_0} a^3 \left( (g_1^0)^2 + (g_1^1)^2 + (h_1^1)^2 \right)^{1/2} \quad (3)$$

egyenlet adja meg, ahol  $\mu_0$  a vákuum mágneses permeabilitása. A dipólusmomentum értéke a 2000.0 epochára (2000. január 1-jén 0 órakor) érvényes együtthatók alapján  $7,84 \cdot 10^{22} \text{ Am}^2$ . A momentum irányának felszíni dőféspontjait nevezik földmágneses pólusoknak. Ezek szintén meg-

<sup>1</sup> Beérkezett: 2002. május 22-én

<sup>2</sup> ELTE Geofizikai Tanszék

1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c.

<sup>3</sup> MOL Magyar Olaj- és Gázipari Rt. Kutatás-Termelés, Mélyfúrás és Geofizikai Felügyelet

1039 Budapest, Batthyány u. 45.

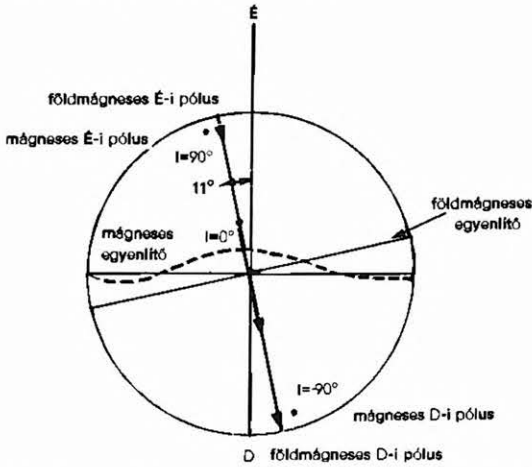
határozhatók az  $n=1$ -hez tartozó, Gauss-féle együtthatók felhasználásával, azaz

$$\theta_0 = \arctg \frac{\left( (g_1^1)^2 + (h_1^1)^2 \right)^{1/2}}{g_1^0} \quad \text{és} \quad \lambda_0 = \arctg \frac{h_1^1}{g_1^1}. \quad (4)$$

A földmágneses északi pólus koordinátái a 2000.0 epochára vonatkozóan  $\theta_0 = 10,9^\circ$ ,  $\lambda_0 = 288,9^\circ$ .

Kissé, de nem lényegesen jobb közelítése a földi mágneses tér forrásának az Adolf Schmidt által definiált excentrikus dipólus [SCHMIDT 1934], amely mintegy 480 kilométerre található a Föld középpontjától a  $\theta = 68^\circ$  és a  $\lambda = 146^\circ$  koordinátájú pont irányában.

Meg kell jegyezni, hogy a földmágneses pólusok helye valamelyest különbözik a tényleges, az  $I = \pm 90$  fokkal jellemzett mágneses pólusoktól (1. ábra). Hasonló megállapítás tehető a centrikus dipólus irányára merőleges és a Föld középpontján átmenő sík földfelszíni metszésvonala által meghatározott földmágneses és az  $I = 0$  fokkal jellemzett mágneses egyenlítőre (1. ábra).



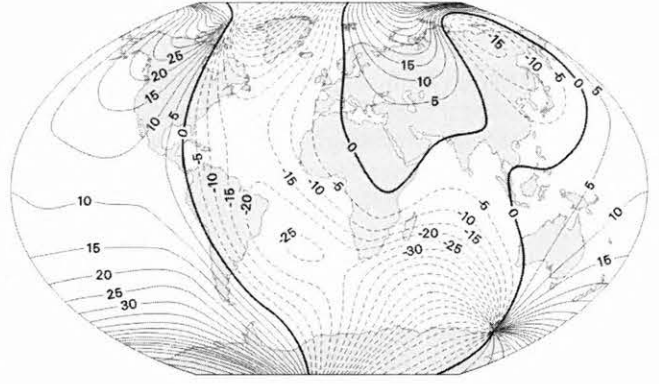
1. ábra. A földmágneses pólusok és a földmágneses egyenlítő, továbbá a mágneses pólusok és a mágneses egyenlítő elhelyezkedése

Fig. 1. The position of the geomagnetic poles, geomagnetic equator, magnetic poles, and magnetic equator

A 2000.0 epochára vonatkozó  $g_n^m$  és  $h_n^m$  együtthatók ismeretében meghatározhatók a 2000.0-ra vonatkozó IGRF összetevői. Az IGRF (International Geomagnetic Reference Field) alatt az egész Földre kiterjedő, adott epochára redukált mérések alapján meghatározott, a sorfejtésben  $n=10$ -ig figyelembe vett együtthatók alapján kiszámított mágneses teret értik. A 2., 3. és 4. ábrán a földi mágneses tér deklínációjának, inklinációjának és a totális tere abszolút értékének eloszlása látható a Föld felszínén.

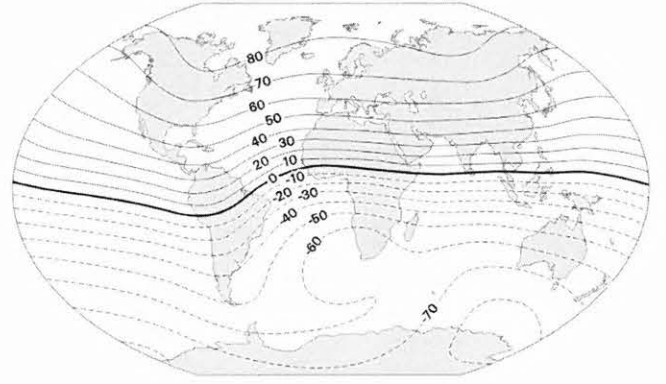
Az (1) egyenletben szereplő sorfejtésben az  $n=1$ -hez a dipólus tér, az  $n=2$ -höz a kvadrupólus tér, az  $n=3$ -hoz az oktopólus tér, míg a további  $n$ -ekhez a magasabb multipólus összetevők tartoznak. Az 5. ábrán a földi mágneses tér intenzitásának dipólus, kvadrupólus és oktopólus járuléka láthatók. Ezek aránya 1:0,14:0,07, azaz a földi mágneses tér dipólus közelítése jónak mondható.

A Föld és a mágneses térrel rendelkező bolygók kölcsönhatásba lépnek a napszéllel és a napszél által hordozott mágneses térrel. Ennek a kölcsönhatásnak az eredménye a bolygók magnetoszférájának kialakulása. A Föld magneto-



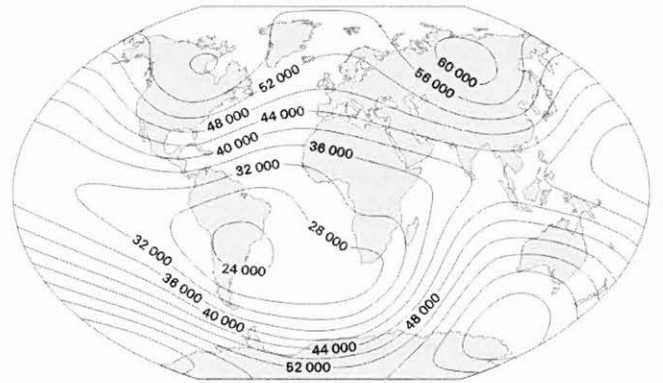
2. ábra. A deklínáció izogonjai a 2000.0-ra vonatkozó IGRF esetében, Winkler-féle vetületben ábrázolva. Az izovonalak egysége fok, a szaggatott izogonok a negatív értékeket jelölik [MANDEA, MACMILLAN 2000]

Fig. 2. Contour map of the IGRF 2000.0 for the  $D$  component, in Winkler's projection, isolines are given in degrees, dashed lines indicate negative values [MANDEA, MACMILLAN 2000]



3. ábra. Az inklináció izoklinjei 2000.0-ra vonatkozó IGRF esetében, Winkler-féle vetületben ábrázolva. Az izovonalak egysége fok, a szaggatott vonal a negatív értékeket jelöli [MANDEA, MACMILLAN 2000]

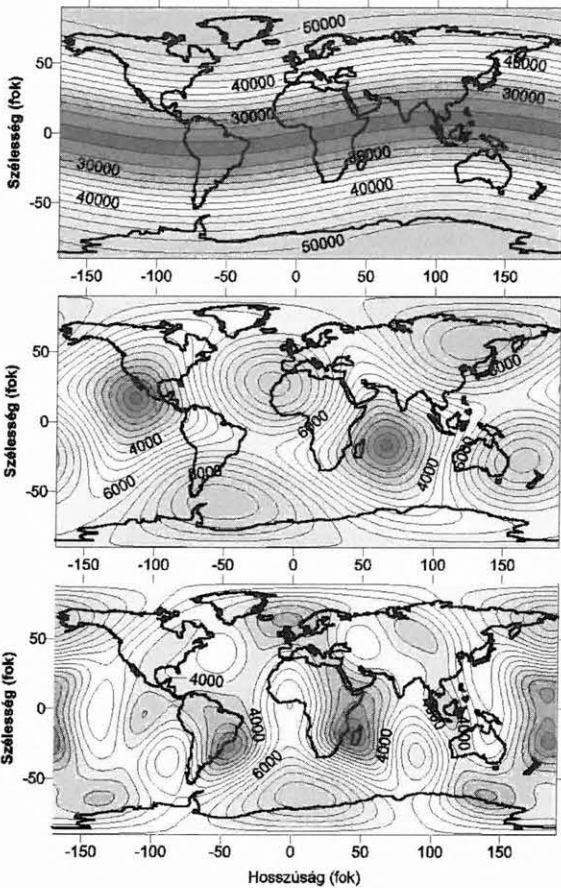
Fig. 3. Contour map of the IGRF 2000.0 for the  $I$  component, in Winkler's projection, isolines are given in degrees, dashed lines indicate negative values [MANDEA, MACMILLAN 2000]



4. ábra. A totális mágneses tér izodinamjai 2000.0-ra vonatkozó IGRF esetében, Winkler-féle vetületben ábrázolva. Az izovonalak egysége nT [MANDEA, MACMILLAN 2000]

Fig. 4. Contour map of the IGRF 2000.0 for the  $T$  component, in Winkler's projection, isolines are given in nT [MANDEA, MACMILLAN 2000]

szférájának határa a Nap irányában mintegy 10 földugrányira található. Ez a határ ott alakul ki, ahol a napszél kinetikus nyomása és a földi mágneses tér nyomása egyensúlyban van. A Nappal ellentétes oldalon a magnetoszféra közel 1000 földugrány távolságig terjed. A magnetoszféra csővéja a földi mágneses tér és a napszél által hordozott mágneses tér kölcsönhatásának következtében alakul ki (6. ábra).



5. ábra. A földi mágneses tér intenzitásának dipólus (a), kvadrupólus (b) és oktopólus (c) összetevői a 2000.0-ra vonatkozó együtthatókból meghatározva. Az izovonalak egysége nT

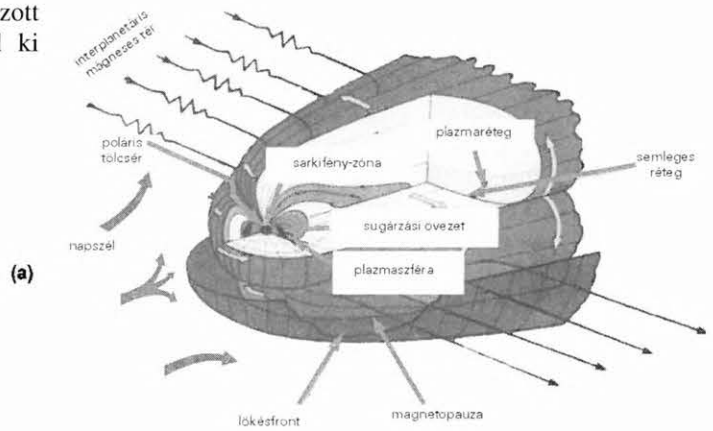
Fig. 5. The dipole (a), quadrupole (b), and octupole (c) intensities of the Earth's magnetic field from the IGRF coefficients for 2000.0. Isolines are given in nT

### 3. A belső eredetű mágneses teret létrehozó folyamatok

A belső eredetű mágneses tér a folyékony (külső) földmag jó elektromos vezetőképességű anyagának bonyolult konvekciós mozgására vezethető vissza, amelyeket termikus illetve kémiai eredetű heterogenitások hozhatnak létre (dinamóelmélet).

A Naprendszer bolygóit két csoportba lehet besorolni: a Föld típusú bolygók (Merkúr, Vénusz, Föld, Mars, Plútó?) és az óriásbolygók (Jupiter, Szaturnusz, Uránusz, Neptunusz) kategóriájába. Az elméletekkel és a mérésekkel összhangban a Föld típusú bolygók kérge és köpenye szilícium- és magnézium-oxidokból áll, és magjuk minden bizonnyal valamiféle vasötvözet. Az óriásbolygók ezzel szemben a Nap összetételéhez hasonló gáz kondenzálódott anyagából

épülnek fel. Magjuk valószínűleg vas- és magnézium-szilikátokból áll, míg a külső részek szilárd halmazállapotú víz, ammónia és metán keverékei, ezekhez jelentős mennyiségű hidrogén és hélium komponensek járulnak.



6. ábra. A Föld magnetoszférája, a napszél és a bolygóközi mágneses tér

Fig. 6. The magnetosphere of the Earth, the solar wind, and the interplanetary magnetic field

A földmagban kialakuló mágneses tér energetikai hátterre egyszerű számítással megbecsülhető [MERRILL, MCELHINNY 1983]. A mágneses tér energiasűrűsége:  $T^2/2\mu_0$ . A földi mágneses teret első közelítésben leíró dipólustér értéke a földmagban  $4 \cdot 10^{-3}$  T. Így a tér energiasűrűségére mintegy  $1 \text{ J/m}^3$  érték adódik. A földmag térfogatát nagyságrendileg  $10^{20} \text{ m}^3$ -nek tekintve a tér energiájára hozzávetőlegesen  $10^{31} \text{ J}$  adódik. A mágneses tér  $\tau$  lecsengési idejét a

$$\tau = \frac{L^2}{k_m} \quad (5)$$

összefüggés alapján lehet megbecsülni, ahol  $L$  a mágneses tér karakterisztikus mérete (ez most legyen azonos a földmag méretével, azaz  $3 \cdot 10^6 \text{ m}$ -rel),  $k_m$  pedig a mágneses diffuzivitás, amely fordítva arányos a  $\sigma$  vezetőképességgel:

$$k_m = \frac{1}{\sigma \mu_0} \quad (6)$$

A  $\sigma$  vezetőképesség legyen a fémes vezetőképességgel azonos nagyságú ( $\sigma = 10^6 \text{ A/Vm}$ )! Ezek szerint a földi mágneses tér  $\tau$  lecsengési idejére  $\sim 10^5$  évet kapunk, a mágneses tér fenntartásához  $\sim 10^8 \text{ W}$  teljesítmény szükséges.

A dinamó folyamat fenntartásához szükséges energia származhat radioaktív bomlásból. Ez a spontán folyamat hőtermeléssel jár. A Földben jelentős szerepet játszó radioaktív elemek: az uránium ( $^{238}\text{U}$ ), a tórium ( $^{232}\text{Th}$ ) és a kálium ( $^{40}\text{K}$ ). A földmag összetételére vonatkozó elképzelések szerint az uránium és a tórium jelenléte a magban elhanyagolható, viszont 0,1 százalék káliumtartalmat tételezünk fel. A bomlásból  $4 \cdot 10^{12} \text{ W}$  teljesítmény származhat. Teljesítmény eredhet a külső mag-belső mag határán történő fázisátalakulásból is. A belső mag a hűlés következtében növekszik és ez a fázisátalakulás  $10^{11}$ – $10^{12} \text{ W}$  teljesítményt hozhat létre.

BUSSE [1978] végzett számításokat a mágneses tér energiasűrűsége a Merkúrra, a Földre és a Jupiterre vonatko-

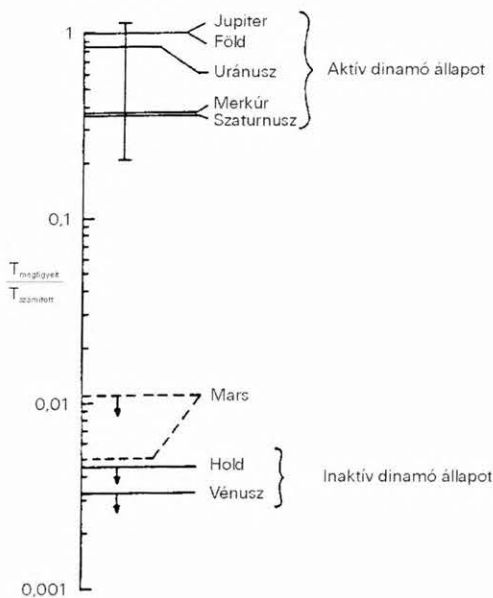
zónán. BUSSE szerint mindhárom bolygó aktív dinamóval rendelkezik.

A CURTIS és NESS [1986, 1988] által levezetett összefüggés szerint eldönthető, hogy egy bolygó az aktív dinamóval rendelkező kategóriába kerül-e vagy sem. Az egyenlet a magnetosztrifikus egyensúlyból vezethető le. (A magnetosztrifikus egyensúly a Lorentz-erő és a Coriolis-erő egyensúlyát fejezi ki, és a két erő egyensúlyának fontos szerepe van a dinamófolyamatot leíró egyenletekben.) A levezetett egyenlet érdekessége, hogy olyan mennyiségeket tartalmaz, amelyek megfigyelhetők. Az egyenlet a

$$T_{\text{számított}} = r^{-3} \rho^{1/3} M^{1.54} \omega^{1/2} E^{1/6} T_{\text{Föld}} \quad (7)$$

alakot ölti, ahol  $T_{\text{számított}}$  a bolygó egyenlítői mágneses térének számított értéke,  $r$  a sugara,  $\rho$  az átlagsűrűsége,  $M$  a tömege,  $\omega$  a forgási szögsebessége,  $E$  a bolygó belső eredetű hőáramsűrűségének értéke. A bolygó sugara, átlagsűrűsége, tömege, szögsebessége és hőáramsűrűsége a Föld azonos adataira vannak normálva, így mértékegység nélküli mennyiségek. Ha a bolygó  $T_{\text{megfigyelt}}$  egyenlítői mágneses térének normáljuk az előző egyenletből meghatározott  $T_{\text{számított}}$  értékkel, akkor a hányadosok két kategóriába sorolhatók. Az egyik, ahol a  $T_{\text{megfigyelt}}/T_{\text{számított}} \approx 1$ ; a másik kategória esetében  $T_{\text{megfigyelt}}/T_{\text{számított}} \ll 1$ . Amennyiben a hányados közelítőleg egyenlő 1-gyel akkor fennáll a magnetosztrifikus egyensúly. Az egyensúly azt a kategóriát jelöli, amely az aktív dinamó állapotát jellemzi.

A 7. ábrán a (7) egyenlet alapján meghatározott mennyiségek láthatók logaritmikus skálán. A Naprendszer bolygói közül a Merkúr, a Föld, a Jupiter, a Szaturnusz, az Uránusz és valószínűleg a Neptunusz kerül az aktív dinamóval rendelkező égitestek csoportjába, míg a Vénusz, a Mars és a Hold a jelenleg aktív dinamóval nem jellemezhető kategóriába tartozik.



7. ábra. Az aktív és inaktív belső eredetű mágneses térrel rendelkező bolygók csoportosítása a Curtis–Ness összefüggés alapján [CURTIS, NESS 1988]

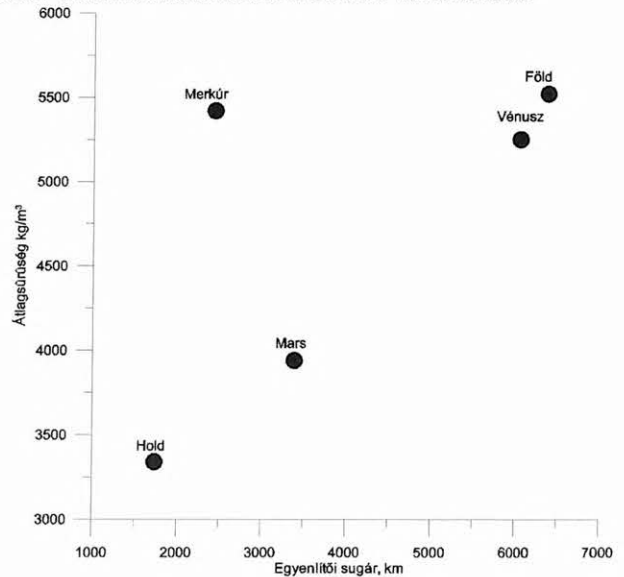
Fig. 7. The categories of the planets which have active or inactive intrinsic magnetic field of dynamo origin; the categories are determined by the Curtis–Ness scaling law [CURTIS, NESS 1988]

#### 4. Merkúr

A Merkúr a Naprendszer legbelső bolygója, amelynek egyenlítői sugara 2436 km, tömege  $3,3 \cdot 10^{23}$  kg, átlagsűrűsége  $5420 \text{ kg/m}^3$ , Naptól mért átlagos távolsága 0,3871 CSE [ZOMBECK 1990].

A Merkúr mágneses terére, illetve magnetoszférájára vonatkozó ismereteket NESS et al. [1975], WHANG [1977], NESS [1979], WHANG [1979] és RUSSEL [1993] tanulmányai foglalják össze. A Merkúr mágneses térének az 1973. november 3-án indított *Mariner-10* űrszonda magnetométere regisztrálta. Az űrszonda 1974-ben kétszer, míg 1975-ben egyszer közelítette meg a bolygót. A *Mariner-10* űrszonda esetében a megközelítés legkisebb távolsága 327 km volt, a mágneses tér 400 nT értékűnek adódott. Noha az űrszonda mérései nem tárták fel teljes részletességgel a mágneses tér szerkezetét, az adatok feldolgozása alapján meg lehetett határozni a momentum értékét, amely  $2 \cdot 10^{19}$ – $5 \cdot 10^{19} \text{ Am}^2$  tartományba esik [RUSSEL 1993] (ez a Föld momentumának 0,025–0,064%-át teszi ki). A momentum iránya 4–10 fokot zár be a bolygó forgástengelyével. A dipólus, a kvadrupólus és az oktapólus összetevők aránya a Merkúr esetében 1:0,45:0,29 [WHANG 1979], azaz a bolygó mágneses terében a kvadrupólus és az oktapólus összetevők nagyobb szerephez jutnak, mint a Föld esetében.

Ha a 8. ábrát tekintjük, amely a Föld típusú bolygók és a Hold átlagsűrűségét ábrázolja egyenlítői sugaruk függvényében, akkor érdekes következtetésre juthatunk a Merkúr belső szerkezetét illetően. Ha feltételezzük, hogy az említett bolygó köpenye és magja hasonló összetételű, mint a Földé, akkor a Merkúr magjának sugarára 1500 km adódik, ami kicsit több, mint az egyenlítői sugarának 60%-a. A dinamóelméletben elfogadott Busse-féle [1978] becslés alapján meghatározott mágneses energia lehetővé teszi az aktív dinamó működését a Merkúrra vonatkozóan.

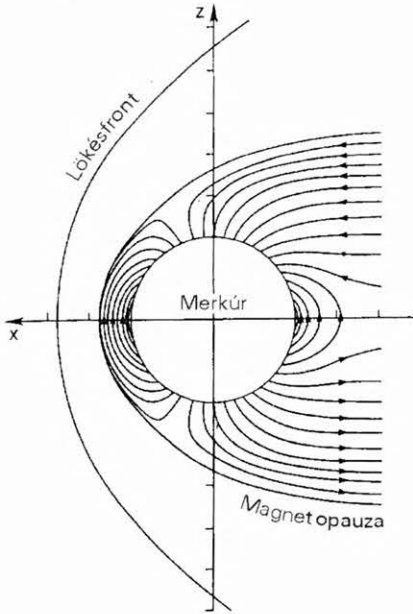


8. ábra. A Merkúr, a Vénusz, a Föld, a Mars és a Hold átlagsűrűsége egyenlítői sugaruk függvényében

Fig. 8. The average density of the Mercury, Venus, Earth, Mars, and Moon versus their equatorial radius

A Merkúr magnetoszférájának alakja a 9. ábrán látható, amely hasonló a Föld magnetoszférájához, bár mérete lé-

nyegesen kisebb, mint a Földé: a Nap irányában  $(1,85 \pm 0,15) R_{\text{Merkúr}}$  távolsáig terjed, ami 5–6-szor kisebb, mint a Föld esetében.



9. ábra. A Merkúr magnetoszférájának dél-éjfél irányú metszete [RUSSEL 1993]

Fig. 9. The noon-midnight meridian of the Mercury's magnetosphere [RUSSEL 1993]

Mivel a Merkúr bolygóról kevés in situ méréssel rendelkezünk, ezért a NASA (National Aeronautical and Space Administration, az Egyesült Államok Légügyi és Űrhajózási Igazgatósága) és az ESA (European Space Agency, az Európai Űrügynökség) kutatási programjában szerepel a legbelső bolygó kutatása. A NASA 2004-ben tervezi a *MESSENGER* (MERCURY SURFACE SPACE ENVIRONMENT GEOCHEMISTRY AND RANGING) nevű, míg az ESA 2009-ben a *BeppiColombo* nevű űrszonda indítását a Merkúr részletes vizsgálatára. Az ESA által tervezett űrszonda nevét Giuseppe Colombo olasz csillagász után kapta.

## 5. Vénusz

Ha a Vénusz bolygó 6053 km-es egyenlítői sugarát,  $4,87 \cdot 10^{24}$  kg tömegét,  $5250 \text{ kg/m}^3$  átlagsűrűségét [ZOMBECK 1990] és ezeket összevetjük a Föld adataival, akkor mágneses terére vonatkozóan is hasonlóságot várhatunk. Az űrszondák mérései egészen más jellegzetességet mutattak. A bolygó Naptól mért átlagos távolsága 0,7233 CSE.

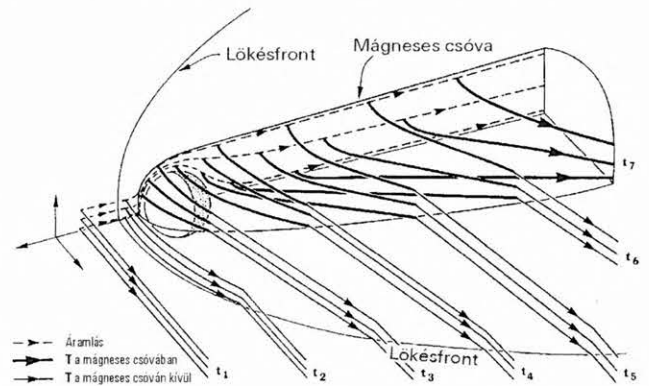
A Vénusz mágneses terére vonatkozó eredményeket RUSSEL et al. [1980], PHILLIPS, RUSSEL [1987] és RUSSEL [1993] tanulmányai foglalják össze. A Vénusz mágneses terét — egyéb vizsgálatok mellett — a *Mariner-2* (1962. augusztus 27.), *Venyera-4* (1967. június 12.), *Mariner-4* (1967. június 14.), *Venyera-9* (1975. június 8.), *Venyera-10* (1975. június 14.), *Pioneer Venus-1* (1978. május 20.), *Pioneer Venus-2* (1978. augusztus 8.) (zárójelben az indítás időpontja) űrszondák mérték meg.

RUSSEL et al. [1980] részletesen ismerteti a *Pioneer Venus* orbiter egységének mágneses méréseit, azok feldolgozását, illetve összefoglalja a korábbi mérésekből levont

következtetéseket. Az orbiter egységet közel poláris ( $105^\circ$  inklinációjú) pályára állították, amely 140 km-re közelítette meg a bolygót. A mérések alapján a Vénusz mágneses momentumára  $(4,29 \pm 2,03) \cdot 10^{18} \text{ Am}^2$  értéket határoztak meg. Ez az érték a Föld mágneses momentumának 0,005%-a. A dipólus iránya 15 fokot zár be a bolygó forgástengelyével. D. J. STEVENSON okfejtése szerint [RUSSEL 1993] a Vénusz valószínűleg úgy differenciálódott, mint a Föld, azzal a különbséggel, hogy a bolygó belső magja még nem alakult ki, mivel a Vénusz magjában a hőmérséklet valószínűleg nagyobb az olvadási pontnál. A belső mag kialakulása során bekövetkező fázisátalakulás következtében szabadulhat fel olyan mértékű energia, amely a dinamófolymat elindulását eredményezheti. Így a Vénusz valószínűleg a dinamófolymat megindulása előtti állapotban van.

A *Pioneer Venus-1* radarmérései alapján térképezték fel a bolygó topográfiáját, de nem találtak kapcsolatot a felszíni alakzatok és a mágneses tér szerkezete között.

Az űrszondák és a bolygó körüli pályára állított szondák vizsgálták a Vénusz mágneses csóvját is. A mérések szerint a bolygó kis intenzitású mágneses tere nem elegendő a Földön tapasztalt csóva kialakításához. A mért gyenge mágneses csóva úgy alakul ki, hogy a bolygó keringési pályasíkjában elhelyezkedő bolygóközi mágneses tér elvonszolódik a bolygó mint akadály körül (10. ábra).



10. ábra. A Vénusz mágneses csóvjája [RUSSEL 1993]

Fig. 10. The magnetic tail of Venus [RUSSEL 1993]

## 6. Mars

A Naprendszer Vörös Bolygónak is nevezett égitestje hamarosan a legintenzívebben kutatott bolygóvá válik a közeljövő űrkutatási programjainak következtében, így mágneses terére vonatkozó ismereteink is lényegesen bővülni fognak. A Mars egyenlítői sugara 3393 km, tömege  $0,642 \cdot 10^{24}$  kg, átlagsűrűsége  $3940 \text{ kg/m}^3$ , a Naptól mért átlagos távolsága 1,542 CSE [ZOMBECK 1990].

A bolygó mágneses terére vonatkozó kutatások első fázisát a *Mariner-4* (1964. november 28.), a *Marsz-2* (1971. május 19.), *Marsz-3* (1971. május 28.), *Marsz-5* (1973. július 25.), *Viking-1* (1975. június 20.), *Viking-2* (1975. szeptember 9.), és a *Fobosz-2* (1988. július 12.) űrszondák mérései jelentették [DOLGINOV et al. 1976, DOLGINOV 1978a, 1978b, RUSSEL 1978, RUSSEL 1979, RUSSEL et al. 1984, RUSSEL 1993], amelyek nyomán meghatározásra került a Mars  $2,5 \cdot 10^{19} \text{ Am}^2$  értékű mágneses momentuma.

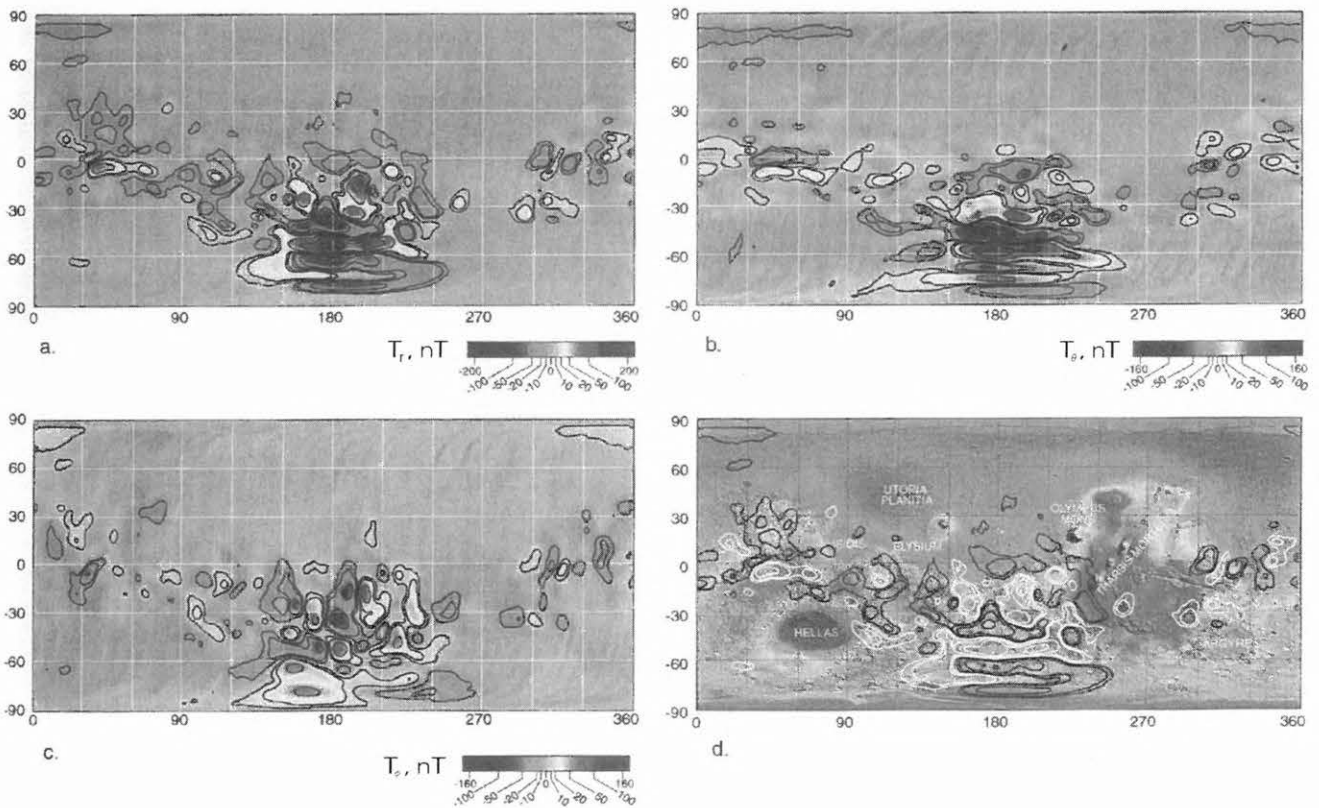
Ez a Föld mágneses momentumának mintegy 0,032%-a. Ezeknek a méréseknek feldolgozása során felmerült a kérdés: a Mars rendelkezik-e belső eredetű mágneses térrel?

A Mars kutatásának második fázisát a *Mars Global Surveyor* (1996. november 7.) mérései, illetve azok feldolgozása jelentette. Természetesen az újabb mérési adatokat összevetették a korábbi eredményekkel. A kutatások újabb eredményeit ACUÑA et al. [1992], ACUÑA et al. [1999], CONNERNEY et al. [1999], HARGRAVES et al. [2000], NIMMO, STEVENSON [2000], ACUÑA et al. [2001], CONNERNEY et al. [2001] tanulmányai tartalmazzák. Az újabb mérések nyomán a Mars mágneses momentumát  $2 \cdot 10^{17}$  Am<sup>2</sup> értékre módosították [ACUÑA et al. 2001].

A Naprendszer égitestjei közül három esetében rendelkezünk paleomágneses mérésekkel, amelyek alapvető adatokat szolgáltatnak a mágneses tér múltjára vonatkozóan. Kőzetminták állnak rendelkezésre a Holdról, a Marsról és természetesen a Földről. A Marsról származó, a szakirodalomban röviden SNC meteoritoknak nevezett közetcszemcsék jelölése az első megtalálási helyükre utal: Shergotty (India), Nakhla (Egyiptom), Chassigny (Fran-

ciaország). Ezek a közetcszemcsék kristályosodott lávából származnak, feltehetően a Marson bekövetkezett nagyméretű meteorbecsapódás következtében kerültek a Földre. A nagyméretű meteorbecsapódás közölhet olyan mértékű mozgási energiát a közetcszemcsékkel, hogy azok sebessége meghaladja a marsi szökési sebességet (5 km/s) és a bolygóközi térbe távoznak. Kedvező esetben ezek a szemcsék a Földre is eljutnak. Az Antarktiszon talált SNC meteoritok gázzárványainak analízise hasonló eredményeket szolgáltatott, mint amelyeket a Marsra leszállt *Viking* szondák mérései adtak. Az SNC meteoritok paleomágneses vizsgálata szerint a közetcszemcsék mágnesesítése 103–104 nT intenzitású mágneses térben történt. A Mars egyenlítőjén a jelenlegi átlagos mágneses tér értéke 20–60 nT.

A *Mars Global Surveyor* bolygó körüli pályája során részletes mágneses méréseket végzett. Ezekből meghatározták a Mars mágneses anomália térképét (11. ábra) [ACUÑA et al. 2001; CONNERNEY et al. 2001], amelyből megállapítható, hogy a Mars jelenleg nem rendelkezik globális (belső eredetű) mágneses térrel. Az anomáliáktól el-



11. ábra. A Mars mágneses anomália térképe 400 km-es magasságból mérve (a) a mágneses tér radiális komponense; (b) a mágneses tér  $\theta$  irányú komponense; (c) a mágneses tér  $\lambda$  irányú komponense (hosszúság irányú); (d) a mágneses tér radiális komponense és a topográfia együttes ábrázolása [CONNERNEY et al. 2001]

Fig. 11. Magnetic anomaly maps of the Mars at 400 km altitude. (a) The radial component of the magnetic field, (b) the  $\theta$  component of the magnetic field, (c) the  $\lambda$  component of the magnetic field, (d) comparison of the radial field component with the topography [CONNERNEY et al. 2001]

tekintve a felszíni tér a bolygó egyenlítője mentén  $\sim 0,5$  nT. A kéregből származó anomáliák maximuma eléri a 220 nT értéket. A mágneses anomáliák érdekes eloszlást mutatnak. Az erősebben mágnesezett kéreg a bolygó déli félgömbjén jelentkezik, míg az északi félgömbön, a marsi mélyföldeken nem találhatók mágneses anomáliák. Az anomáliáknak

ez az eloszlása a mareológiának jelenleg még meg nem oldott kérdése. Amennyiben elfogadjuk — és ezt az SNC meteoritok mágneszettsége alátámasztja —, hogy a Mars mintegy 4,6–3,8 milliárd évvel ezelőtt (a marsi kronológia szerint a Noachian korban) rendelkezett aktív dinomóval, akkor az anomáliák kialakulása valószínűleg ekkor történt-

hetett. A térképek alapján látható, hogy a Hellas és Argyre becsapódási medencék nem mutatnak mágneses anomáliát. Ezeknek a becsapódási medencéknek a korát 300 millió évnél fiatalabbnak tartják [ACUÑA et al. 2001]. Az északi félgömbön a marsi mélyföldeken található, alig mágnesezett marsi kéreg valószínűleg később, a marsi dinamó működésének megszűnte után alakult ki. A Mars déli félgömbjén a Terra Sirenum és a Terra Cimmeria régióban 100 km szélességű és 2000 km hosszúságú, közel párhuzamos mágneses anomáliákat határoztak meg [CONNERNEY et al. 1999]. Ezeknek jellege hasonló a földi óceáni hátságok területén mért mágneses anomáliákhoz. Az anomáliák alakjából a földi lemeztektonikához hasonló folyamatot tételeznek fel. A közel 400 km-es magasságban mért 100–200 nT intenzitású mágneses anomáliákat valószínűleg nagy mágnesezettségű kőzetek okozzák. Az anomáliák amplitúdója mintegy a 20-szorosa a *Magsat* által a földközeli pályán hasonló magasságban mért mágneses anomáliáknak.

A Marson mért mágneses anomáliák kialakulását és a bolygó termális fejlődését NIMMO és STEVENSON [2000] vetette össze. Modellszámításokkal azt vizsgálták, hogy milyen mértékű — a bolygó magjából származó — hőáram szükséges a dinamó folyamat elindulásához és fenntartásához. Arra a következtetésre jutottak, hogy a marsi dinamó a bolygó első 500 millió éves története során működött, és a kőzetek remanens mágnesezettsége ebből az időszakból származik.

A Mars kutatásának harmadik fázisát a 2003 decemberében a Marsra leszálló *Beagle-2* űrszonda (ESA) és a NASA által kiválasztott tíz újabb Mars-szonda jelenti majd. Ezeknek az indítását 2007-től tervezik és a szondák kifejlesztésére és elkészítésére 300 millió dollárt fordítanak.

## 7. Jupiter

A Jupiter a Naprendszer legnagyobb bolygója. A Jupiter egyenlítői sugara 71 372 km, tömege  $1,9 \cdot 10^{27}$  kg, átlagsűrűsége  $1330 \text{ kg/m}^3$ , Naptól mért átlagos távolsága 5,2 CSE [ZOMBECK 1990].

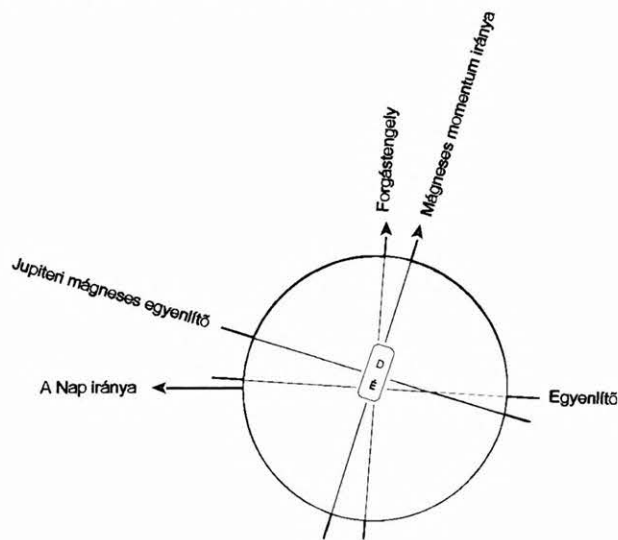
A Jupiter mágneses terére vonatkozó vizsgálatokat ACUÑA és NESS [1976], SMOLUCHOWSKI [1979], CONNERNEY [1981], CONNERNEY et al. [1982] és CONNERNEY [1993] tanulmányai foglalják össze.

A Jupiter mágneses tere az űrszondák in situ mérései előtt is ismert volt. 1955-ben regisztrálták a bolygó 22 MHz-es rádiósugárzását, amelyet nem-termikus eredetű sugárzásként azonosítottak. Ez a rádiósugárzás a Jupiter belső eredetű mágneses tere által befogott és Van Allen övezetében nagy sebességre gyorsított elektronok szinkrotron sugárzásának felel meg. Az említett rádiósugárzás vizsgálatából meg lehetett becsülni a Jupiter dipólus terének a forgástengelyével bezárt szögét, amely  $9,5^\circ$ -nak adódott, továbbá momentumát, amelynek értéke  $4,25 \cdot 10^{27} \text{ Am}^2$  [CONNERNEY 1993]. Ezeknek az értékeknek alapján tervezték meg a későbbi űrszondák mágneses méréseit.

Az első in situ mágneses méréseket (más mérések mellett) az 1972. március 2-án és az 1973. április 6-án felbocsátott *Pioneer-10* és *-11* űrszondák végezték 1973 decemberében, illetve 1974 decemberében. A *Pioneer-10*  $1,7 R_{\text{Jupiter}}$ , míg a *Pioneer-11* űrszonda  $6 R_{\text{Jupiter}}$  távolságra közelítette meg a Jupitert. A *Pioneer-10* és *-11* űrszondák

mágneses méréseinek egyik érdekes eredménye a Jupiter egyenlítői zónájában folyó, lemez formájú áramrendszer detektálása. Közelítőleg  $300 \cdot 10^6 \text{ A}$  áram folyik keleti irányban. Ez mintegy  $5 R_{\text{Jupiter}}$  távolságtól körülbelül  $50 R_{\text{Jupiter}}$  távolságra terjed, vastagsága eléri az  $5 R_{\text{Jupiter}}$  méretet. A Jupiter Io holdjának pályája ( $5,9 R_{\text{Jupiter}}$ ) keresztezi ezt az áramrendszert [ACUÑA, NESS 1976].

Az 1977. augusztus 20-án indított *Voyager-2* és az 1977. szeptember 5-én pályára bocsátott *Voyager-1* űrszondák 1979. július 9-én, illetve 1979. március 5-én érték el a Jupitert. A *Voyager* űrszondák sok egyéb érdekes mérés mellett a Jupiter mágneses terét is vizsgálták. A *Voyager-1* űrszonda  $4,9 R_{\text{Jupiter}}$  távolságra közelítette meg a Jupitert, míg a *Voyager-2*  $10 R_{\text{Jupiter}}$  távolságban haladt el a bolygó mellett. A *Voyager* űrszondák mérései megerősítették a *Pioneer* űrszondák mágneses méréseiből meghatározott eredményeket, illetve pontosították azokat. A *Voyager* űrszondák mérései alapján a Jupiter mágneses momentumának értéke  $1,48 \cdot 10^{27} \text{ Am}^2$  (ez a Föld momentumának közel 18 900-szorosa), a hajlásszöge a forgástengelyhez  $13,3^\circ$  a  $194^\circ$  hosszúság irányában. A dipólus excentrikus helyzetű, távolsága a bolygó középpontjától  $0,1 R_{\text{Jupiter}}$  a forgástengely mentén. A 12. ábra mutatja a Jupiter egyenlítőjét és forgástengelyét, továbbá a bolygó excentrikus helyzetű dipólusának elhelyezkedését és a dipólusra merőleges jupiteri mágneses egyenlítő pozícióját. A Jupiter mágneses terében a dipólus, kvadrupólus és az oktupólus összetevők 1:0,24:0,21 arányúak [ACUÑA, NESS 1976].



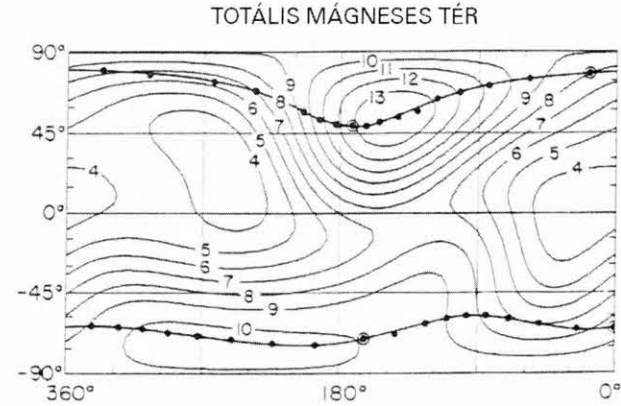
12. ábra. A Jupiter forgástengelyének és egyenlítőjének elhelyezkedése; excentrikus mágneses momentumának iránya és a jupiteri mágneses egyenlítő helyzete

Fig. 12. Axis of rotation and equator of the Jupiter; direction of the excentric magnetic moment of the planet and the Jovian magnetic equator

A 13. ábrán a Jupiter totális mágneses terének felszíni eloszlása látható. A bolygó mágneses tere az egyenlítői régióban 300 000 nT, míg az északi poláris területeken a 1 400 000 nT-t is eléri [ACUÑA, NESS 1976].

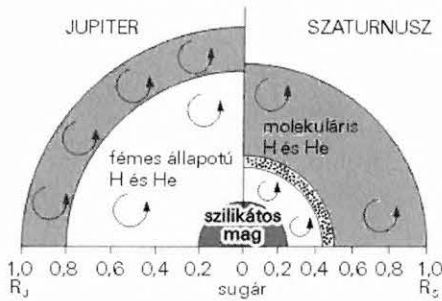
Az óriásbolygók szerkezetének leírására a Stevenson-féle modellt használják [CONNERNEY 1993]. SMOLUCHOWSKI [1979] és JOHNSON [2000] vizsgálatai szerint a  $\text{H}_2 \rightarrow$  fémes vezetőképeségű H fázisátalakulás 200–300 GPa nyomás mellett következik be, ami a Jupiter esetében  $(0,8-0,75) R_{\text{Jupiter}}$

sugár mellett áll elő. Ebben a nyomástartományban a sűrűség 26%-kal növekszik. A Jupiter intenzív mágneses tere a  $(0,8-0,2) R_{\text{Jupiter}}$  sugárral jellemzett tartományban lejátszódó folyamatok következtében jön létre. A 14. ábrán a Jupiter (valamint a Szaturnusz) belső szerkezetének Stevenson-féle modellje látható [CONNERNEY 1993]. A bolygó legkülső héja, amely  $(1-0,8) R_{\text{Jupiter}}$  kiterjedésű, folyékony halmazállapotú hidrogént és héliumot tartalmaz. Ebben a tartományban konvekciós áramlások mehetnek végbe. Az ezt követő héj a  $(0,8-0,2) R_{\text{Jupiter}}$  tartományban a hidrogén és a hélium fémes vezetőképes állapotban van. A bolygó magja valószínűleg vas- és magnézium-szilikátokból épül fel. A bonyolultabb szerkezetű mágneses tér feltehetően a forrásnak a bolygó felszínéhez viszonylag közeli helyzetéből ered.



13. ábra. A totális mágneses tér eloszlása a Jupiter felszínén, az izovonalak egysége 105 nT; az Io holdon átmenő erővonalak talppontját pontok mutatják [ACUÑA, NESS 1976]

Fig. 13. Contours of the total magnetic field of Jupiter, isolines are given in 105 nT units; the foot of the Io flux tube is indicated by dots [ACUÑA, NESS 1976]



14. ábra. A Jupiter és a Szaturnusz belső szerkezetének Stevenson-féle modellje [CONNERNEY 1993]

Fig. 14. The schematic model of Jupiter and Saturn by Stevenson [CONNERNEY 1993]

A Jupiter Io nevű holdja áthalad a bolygó mágneses terén. Azoknak a mágneses erővonalaknak a talppontjait, amelyeket az Io keresztez, a 13. ábra szintén feltünteti.

További mágneses méréseket végeztek a Jupiter körül az 1989. április 4-én felbocsátott *Galileo*, és az 1990. október 6-án indított *Ulysses* űrszondák. Az előbbi 1995 decemberétől két évig, míg az utóbbi 1992 februárjában végzett különböző, többek között mágneses méréseket.

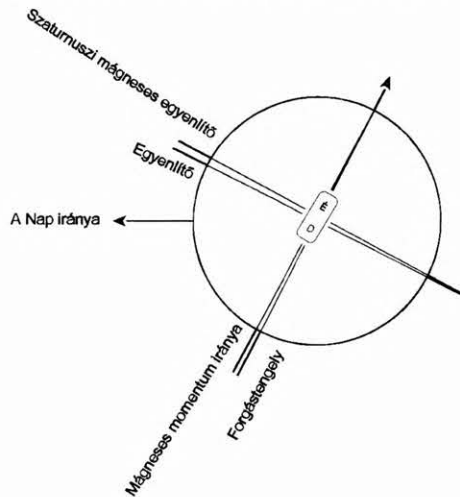
A *Galileo* űrszonda megmérte a Jupiter legnagyobb holdjának, a Ganymedesnek saját belső eredetű mágneses terét. Feltételezik, hogy a Ganymedes 1500 km sugarú,

vas-vasszulfid összetételű maggal rendelkezik, amelyet 700 km vastagságú köpeny vesz körül [JOHNSON 2000]. A *Voyager* űrszondák sarki fényt észleltek a Jupiter poláris zónájában, a *Galileo* űrszonda a Jupiter légkörében villámokat regisztrált, amelyeknek a fényessége 1000-szerese a Földön látottaknál [JOHNSON 2000].

## 8. Szaturnusz

A Szaturnusz a Naprendszer második legnagyobb bolygója, egyenlítői sugara  $60\,208\text{ km}$ , tömege  $5,686 \cdot 10^{26}\text{ kg}$ , átlagsűrűsége  $690\text{ kg/m}^3$ , Naptól mért átlagos távolsága  $9,539\text{ CSE}$  [ZOMBECK 1990].

A Szaturnusz mágneses terét a *Pioneer-11*, a *Voyager-1* és *-2* űrszondák mérték meg. A mérések értelmezését SMOLUCHOWSKI [1979], ACUÑA et al. [1983], CONNERNEY [1993] tanulmányai ismertetik. A *Pioneer-11* űrszonda 1979 szeptemberében haladt el a Szaturnusz mellett, a *Voyager-1* 1980 novemberében, a *Voyager-2* 1981 augusztusában végzett mágneses méréseket. A *Pioneer-11* közelítette meg a bolygót legjobban, míg a *Voyager-1* és *-2* nagyobb távolságban végzett méréseket. A Szaturnusz mágneses momentumának értéke  $4,37 \cdot 10^{25}\text{ Am}^2$ , amely a Föld momentumának 557-szerese. A momentum iránya 1 fokot zár be a bolygó forgástengelyével, polaritása fordított a földihez viszonyítva, és  $2400-3000\text{ km}$ -re excentrikus északi irányában [ACUÑA, NESS 1980; ACUÑA et al. 1983]. A 15. ábrán a Szaturnusz egyenlítőjének és forgástengelyének elhelyezkedése látható. Az ábra mutatja a bolygó kicsit excentrikus helyzetű dipólusának helyét, a momentum irányát és a szaturnuszi mágneses egyenlítőt. A Szaturnusz mágneses tere közel tengelyszimmetrikus, a mágneses terét lényegében a zonális harmonikusok írják le. A dipólus és kvadrupólus összetevők aránya  $1:0,076$ . A Szaturnusz egyenlítőjén a mágneses tér értéke  $18\,000\text{ nT}$ , míg az északi pólusán  $84\,000\text{ nT}$ , a déli pólusán  $65\,000\text{ nT}$ .



15. ábra. A Szaturnusz forgástengelyének és egyenlítőjének elhelyezkedése; excentrikus mágneses momentumának iránya és a szaturnuszi mágneses egyenlítő helyzete

Fig. 15. Axis of rotation and the equator of the Saturn; direction of the excentric magnetic moment of the planet and the Saturnian magnetic equator

A Szaturnusz belső szerkezetét a 14. ábrán látható Stevenson-féle modellel írják le [STEVENSON 1980;

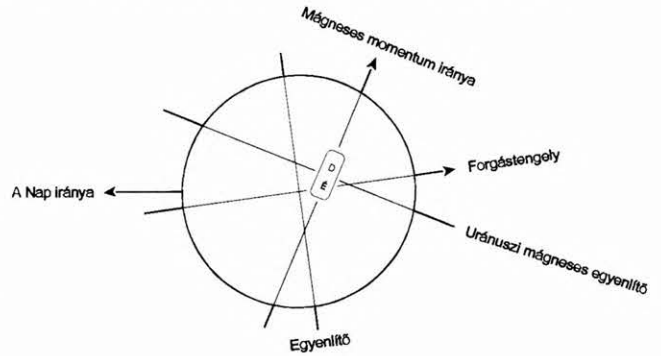
CONNERNEY 1993]. A bolygó külső héja, amely sugarának feléig terjed, molekuláris szerkezetű hidrogénből és héliumból áll. Ez a héj elektromos szempontból szigetelőnek tekinthető, benne konvekciós áramlások mennek végbe. A fémes vezetőképeségű H fázisátmenet a bolygó belsejében, a sugarának fele-ötöde mélységben következik be. Ebben a rétegben is áramlások mehetnek végbe. A mag külső határán viszonylag vékony, fémes vezetőképeségű héj található, amelyben áramlás nem következik be. A mag legbelső része szintén fémes vezetőképeségű vas- és magnézium-szilikátokból épülhet fel. Stevenson a Szaturnusz mágneses terének tengelyszimmetrikus formáját a mag külső héjának és az alatta található réteg differenciális rotációjával magyarázza.

## 9. Uránusz

Az Uránusz a nagybolygók egyike, amelynek egyenlítői sugara 26 150 km, tömege  $8,69 \cdot 10^{25}$  kg, átlagsűrűsége  $1190 \text{ kg/m}^3$ , Naptól mért átlagos távolsága 19,182 CSE.

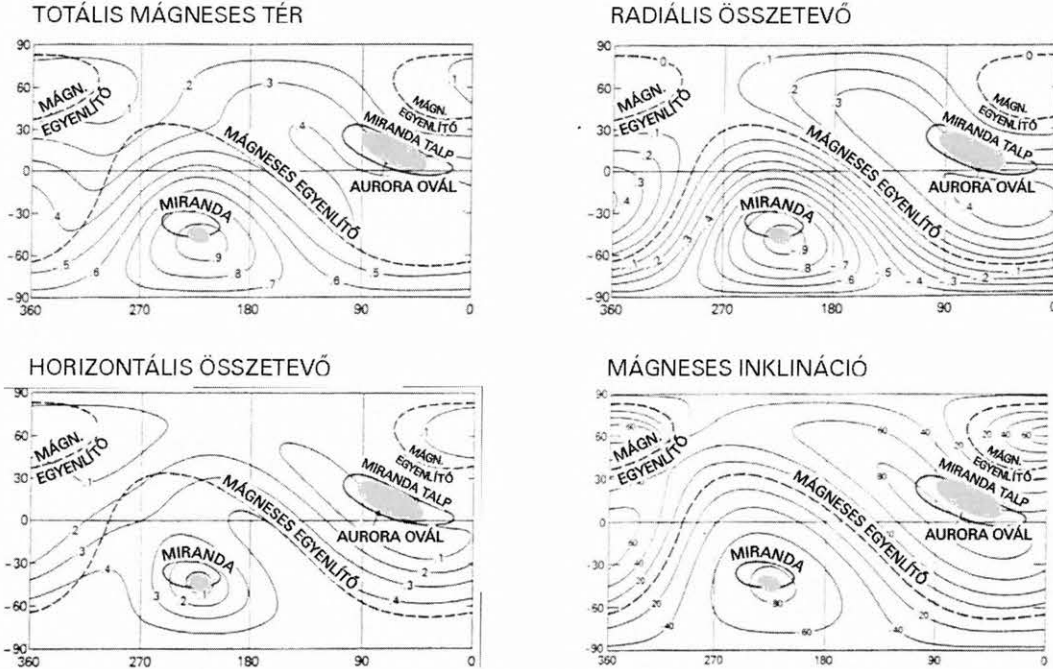
Az Uránusz mágneses terét a *Voyager-2* űrszonda mérései tárták fel. A mérések eredményeit CONNERNEY et al. [1987], CONNERNEY [1993] és HOLME, BLOXHAM [1996] tanulmányai ismertetik. A *Voyager-2* űrszonda 1986. január 24-én közelítette meg a bolygót. Az űrszonda 109 569 km-es legközelebbi távolságban 413 nT mágneses teret mért. A mágneses tér méréseit a 209 200 km-es közelítéstől a 209 200 km-es távolodásig végezték el. A mérések alapján  $4,113 \cdot 10^{24}$  Am<sup>2</sup> értéket határoztak meg az Uránusz mágneses momentumára. Ez a Föld mágneses momentumának 52,5-szerese. Az Uránusz momentuma 60 fokot zár be a bolygó forgástengelyével,

7845 km-rel excentrikus a forgástengely mentén [CONNERNEY et al. 1987]. A 16. ábrán az Uránusz forgástengelyének és egyenlítőjének, továbbá excentrikus helyzetű dipólusának és az uránuszi mágneses egyenlítőnek elhelyezkedése látható. A dipólus-kvadrupólus összetevők aránya 1:0,7, azaz a mágneses tér a Földtől lényegesen különböző szerkezetű. A 17. ábrán az Uránusz felszínére vonatkozó totális mágneses tér, a tér radiális és horizontális összetevője és inklinációja látható. Az ábra feltünteti azoknak az erővonalaknak a talp-pontjait, amelyeket a bolygó Miranda nevű holdja keresztesz. Vonalkázott terület jelzi az aurora ovál lehetséges helyzetét.



16. ábra. Az Uránusz forgástengelyének és egyenlítőjének elhelyezkedése; excentrikus mágneses momentumának iránya és az uránuszi mágneses egyenlítő helyzete

Fig. 16. Axis of rotation and equator of the Uranus; direction of the excentric magnetic moment of the planet and the Uranian magnetic equator

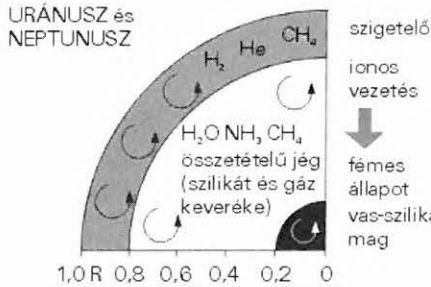


17. ábra. Az Uránusz totális mágneses tere, mágneses terének radiális és horizontális összetevője a felszínen; az izovonalak egyisége 105 nT. Az inklináció értékei a bolygó felszínén fok egységben. A vonalkázott terület a lehetséges aurora ovál helyzetét mutatja. Az ábra feltünteti azoknak az erővonalaknak a talp-pontját, amelyeket a bolygó Miranda nevű holdja keresztesz

[CONNERNEY et al. 1987]

Fig. 17. Contours of the total magnetic field, the radial component, and the horizontal component on the surface of Uranus, isolines are given in 105 nT units. The dip angles on the Uranus surface isolines are given in degrees; the possible auroral oval is indicated by shading. The figures indicate the foot of the Miranda flux tube [CONNERNEY et al. 1987]

A 18. ábrán az Uránusz belső szerkezetének Stevenson-féle modellje látható [CONNERNEY 1993]. A bolygó legkülső héja hidrogén, hélium és metán keverékéből tevődik össze. Ez a tartomány elektromos szempontból szigetelőnek tekinthető. A bolygó köpenyében az ionos vezetés és a fémes vezetés a  $(0,8-0,2) R_{\text{Uránusz}}$  tartományban következik be. A mágneses tér forrása is valószínűleg ebben a tartományban található. Az Uránusz magja valószínűleg vas és szilíciumoxid keverékéből áll. Mindhárom tartományban áramlásokat tételeznek fel.



18. ábra. Az Uránusz és a Neptunusz belső szerkezetének Stevenson-féle modellje [CONNERNEY 1993]

Fig. 18. The schematic model of Uranus and Neptune by Stevenson [CONNERNEY 1993]

## 10. Neptunusz

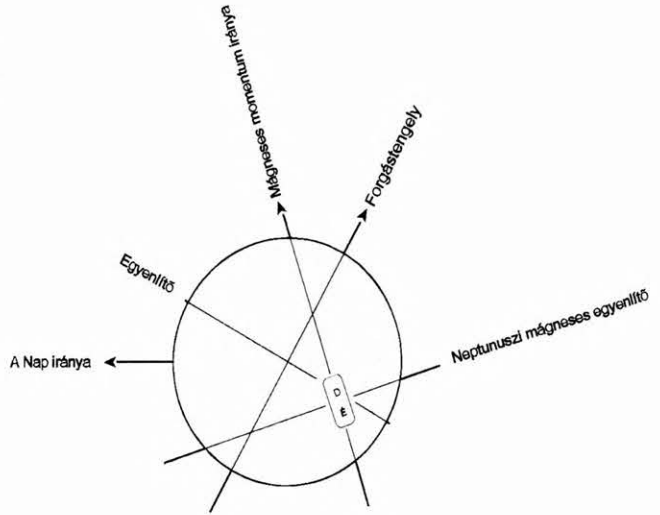
A Neptunusz bolygó egyenlítői sugara 24 747 km, tömege  $1,030 \cdot 10^{26}$  kg, átlagsűrűsége  $1660 \text{ kg/m}^3$ , Naptól mért átlagos távolsága 30 CSE [ZOMBECK 1990].

A Voyager-2 méréseit és azok értelmezését CONNERNEY et al. [1991], CONNERNEY [1993] és HOLME, BLOXHAM [1996] tanulmányai foglalják össze. A Voyager-2 űrszonda 4457 km-re közelítette meg a Neptunust 1989. augusztus 25-én. Az űrszonda magnetométerei a közelítés és távolodás során közel 24 órán keresztül végeztek méréseket. A bolygóhoz legközelebbi helyzetben 9940 nT értéket regisztráltak. A mérési adatok feldolgozásából meghatározták a mágneses momentum értékét, amely  $1,975 \cdot 10^{24} \text{ Am}^2$  értékűnek adódott. Ez a Föld momentumának kicsit több mint 25-szöröse. A Neptunusz mágneses momentumának iránya 47 fokos szöveget zár be a forgástengelyével, a 72 fokos nyugati hosszúság irányába (19. ábra). A bolygó mágneses momentuma szintén excentrikus helyzetű, a középponttól  $0,55 R_{\text{Neptunusz}}$  távolságban helyezkedik el. A Neptunusz mágneses terében a dipólus és kvadrupólus összetevők 1:1 arányúak [CONNERNEY et al. 1991].

A 20. ábrán a bolygó felszínére kiszámított totális mágneses tere, a tér vertikális és horizontális összetevője, továbbá az inklinációjának eloszlása látható. A mágneses tér eloszlása mutatja a bolygó mágneses terének jelentős aszimmetriáját. A Neptunusz mágneses tere is viszonylag nagy kvadrupólus tér összetevővel rendelkezik. A bolygó mágneses egyenlítője a déli félgömbön a pólus közelében helyezkedik el.

HOLME és BLOXHAM [1996] az Uránusz és Neptunusz mágneses terének jellegzetességeit vizsgálta. Megállapításuk szerint domináns dipólus összetevő nem szükséges a dinamó működéséhez. Energetikailag működőnek találtak

olyan dinamót, amely a kisebb vezetőképességű (a fémes állapotú réteg felett található) tartományra szorítkozik. Ez a dinamó eredményezheti az Uránusz és a Neptunusz esetében a többi bolygótól jelentősen különböző mágneses tereket.



19. ábra. A Neptunusz forgástengelyének és egyenlítőjének elhelyezkedése; excentrikus mágneses momentumának iránya és a neptunuszi mágneses egyenlítő helyzete

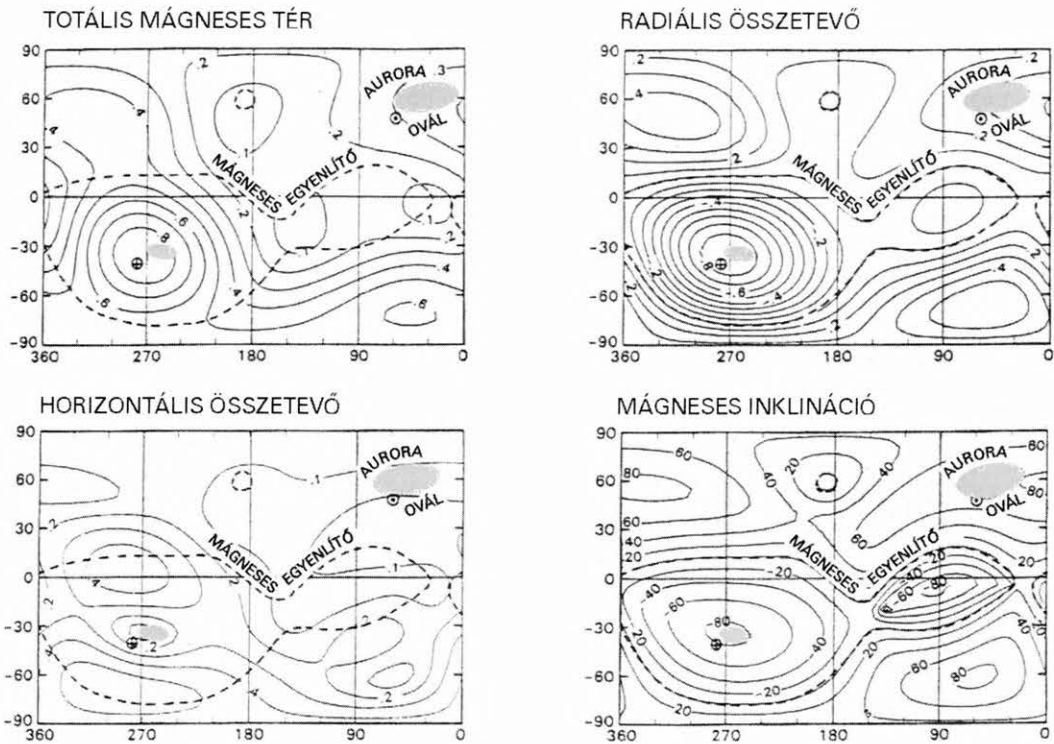
Fig. 19. Axis of rotation and equator of the Neptune; direction of the excentric magnetic moment of the planet and the Neptunian magnetic equator

A Voyager űrszondák pályaelemeiből meghatározhatóvá váltak az Uránusz és a Neptunusz nehézségi erőterét leíró sorfejtés  $J_2$  és  $J_4$  együtthatói [PODOLAK et al. 1990]. Az együtthatók értékéből a bolygók sűrűségeloszlását lehetett levezetni. A két bolygó hasonlóságot mutat, hiszen tömegük, és sugaruk is hasonló, sűrűségük eloszlása a 21. ábrán látható. A bolygók belső szerkezetében három tartományt különböztetnek meg. A legbelső tartomány a bolygók magja, amely valószínűleg  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}$  és  $\text{Ni}$  összetételű. A középső tartomány  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$  és  $\text{CH}_4$  kondenzátumból épülhet fel. A legkülső vékony réteg döntő összetevői a  $\text{H}_2$  és  $\text{He}$ , továbbá jellegzetessége a jelentős  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$  és  $\text{CH}_4$  tartalom. A két bolygó közötti különbséget a belső eredetű hőáram különbözőségében látják.

A bolygó belső szerkezetének Stevenson-féle modellje a 18. ábrán látható [CONNERNEY 1993].

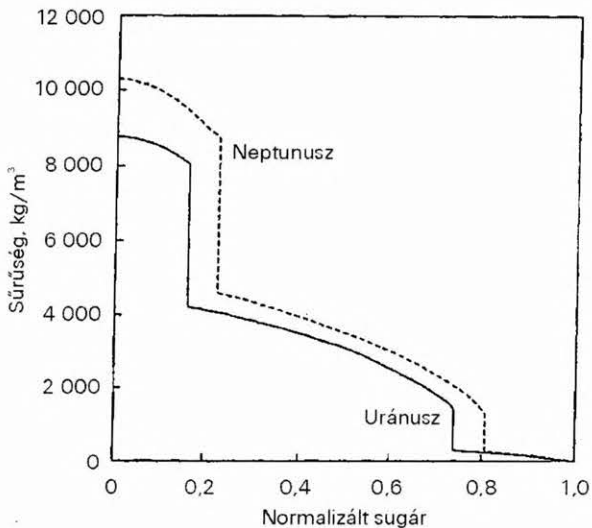
## 11. Plútó

A Plútó a Naprendszer legkevésbé ismert bolygója, mágneses teréről nem rendelkezünk adatokkal. A Plútóra vonatkozó ismeretek bővítése céljából több űrszonda terve született meg. A NASA azonban törölte kutatási programjából a Plútó–Kuiper Express nevű szondát. Az újabb tervek szerint a POSSE (Pluto Outer Solar System Explorer) és a New Horizons Shedding Light on Frontier Worlds programjavaslatok keretében küldenének űrszondát a Plútó és a Kuiper övezet objektumainak tanulmányozására. Amennyiben a tervezett űrszondák közül valamelyik megvalósításra kerül, akkor a 2004-es kedvező indítási időpont után a szonda 2020 körül éri el a Plútót.



20. ábra. A Neptunusz totális mágneses tere, mágneses terének radiális és horizontális összetevője a felszínen; az izovonalak egysége 105 nT; továbbá az inklináció értékei a bolygó felszínén (fok egységben). A vonalkázott terület a lehetséges aurora óvál helyét mutatja [CONNERNEY et al. 1991]

Fig. 20. Contours of the total magnetic field, the radial component, and the horizontal component on the surface of Neptune, isolines are given in 105 nT units; as well the dip angles on the surface of Neptune isolines are given in degrees. The possible auroral oval is indicated by shading [CONNERNEY et al. 1991]



21. ábra. Az Uránusz és a Neptunusz sűrűségének eloszlása a normalizált sugár függvényében [PODOLAK et al. 1990]

Fig. 21. Density as a function of the normalized radius for Uranus and Neptune [PODOLAK et al. 1990]

## 12. Hold

A Hold a Naprendszer legjobban megkutatott égitestje. Egyenlítői sugara 1738 km, tömege  $7,35 \cdot 10^{22}$  kg, átlagsűrűsége  $3340 \text{ kg/m}^3$ , a Földtől mért átlagos távolsága 384 400 km [ZOMBECK 1990].

A Hold kutása térképezésre, kőzetminták különböző célú vizsgálatára, belső szerkezetének megismerésére, mágneses terének mérésére stb. terjedtek ki. A Hold felszínén mért mágneses tér eléri a 100–200 nT-t, mágneses momentumának értéke  $1,3 \cdot 10^{19} \text{ Am}^2$ , a Földének 0,016%-a.

A Hold mágneses szempontból a felszínéről származó kőzetminták (az Apollo-program során a Földre szállított) paleomágneses vizsgálata után vált érdekessé. A Hold mágneses terének vizsgálatát DAILY, DYAL [1979], LIN [1979] és RUSSEL [1993] tanulmányai foglalják össze. Korábban a Holdat mágneses tér nélküli égitestnek tekintették. Az Apollo-11, -12, -14, -15, -16, -17 holdraszállások során gyűjtött kőzetminták adatai azonban  $\sim 10^5$  nT-től  $\sim 5 \cdot 10^3$  nT-ig csökkenő átlagos paleointenzitást mutattak ki a Hold 4 milliárd évtől a 3 milliárd évre terjedő korára, miközben a mágneses dipólusmomentum  $10^{21} \text{ Am}^2$ -ről  $10^{19} \text{ Am}^2$ -re csökkent [MERRILL, McELHINNY 1983].

DAILY, DYAL [1979], MERRILL, McELHINNY [1983] és RUSSEL [1993] összefoglalták azokat a lehetséges folyamatokat, amelyek szóba jöhetnek a holdi kőzetek remanens mágnesezettségének kialakításában:

— A szenes kondritok és a Holdról származó minták mágneses paleointenzitásai hasonlóságot mutattak. Így merült fel az a gondolat, hogy a holdi kőzetek remanens mágnesezettsége a Naprendszer korai állapotában jelenlévő mágneses tér következtében jött létre. Az elgondolásnak az a hátrányos vonása, hogy ez a mágnesező hatás a holdi kéregben közelítőleg azonos irányú remanens mágnesezettséget okozna, ami viszont nincs összhangban a paleomágneses mérések eredményeivel.

- Az 1970-es években olyan elképzelés jelent meg, amely szerint a holdi kőzetek remanens mágnesezettsége a földi mágneses tér hatására alakult ki. Ez a magyarázat a jelenlegi földi mágneses tér intenzitásának 100-szorosát kívánja meg. A földi kőzetek paleomágneses vizsgálata azt mutatta, hogy a tér intenzitásának változása a földtörténet során nem volt nagyobb 50%-nál.
- Lehetséges okként vizsgálták a mágnesezett mag hatását is. Ezek szerint a Hold magja közvetlenül az égítést keletkezésekor jött létre, izotermikus remanens mágnesezettségét a bolygóközi mágneses tér hatására nyerte el. Ennek az elképzelésnek a hátránya, hogy nem tudja megmagyarázni a 105 nT nagyságrendű paleointenzitást.
- A szakirodalomban széleskörűen elfogadott elképzelés szerint a Hold magjában 3–4 milliárd évvel ezelőtti múltjában aktív dinamó működött. A dinamó működése azonban mintegy 3 milliárd évvel ezelőtt leállt. Meg kell jegyezni, hogy a Hold magjára vonatkozó ismeretek nem véglegesek. Az Apollo-program során szeizmográfokat is elhelyeztek a Hold felszínén. A szeizmológiai mérések kimutattak holdrengéseket is [TOKSÓZ et al. 1974]. A szeizmológiai mérések nem voltak elégségesek a Hold magjának, illetve szerkezetének pontos feltárására. A mérések alapján vagy egy vasból álló 470 km sugarú, vagy egy 720 km sugarú vasszulfidból álló mag létezése fogadható el.

A tanulmányok összefoglalnak lokális hatásokat is, amelyek szintén okozhatnak remanens mágnesezettséget: lokális Fe–FeS dinamó, termoelektromos dinamó, becsapódás következtében létrejövő termoremanens mágnesezettség.

### Köszönetnyilvánítás

A tanulmányba foglalt vizsgálatok a T 025799 számú OTKA kutatási szerződés keretében készültek.

### HIVATKOZÁSOK

- ACUÑA M. H., NESS N. F. 1976: The Main Magnetic Field of Jupiter. *Journal of Geophysical Research* **81**, 2917–2922
- ACUÑA M. H., NESS N. F. 1980: The Magnetic Field of Saturn: Pioneer 11 Observations. *Science* **207**, 444–446
- ACUÑA M. H., CONNERNEY J. E. P., NESS N. F. 1983: The Z3 Zonal Harmonic Model of Saturn's Magnetic Field: Analysis and Implications. *Journal of Geophysical Research* **88**, A11, 8771–8778
- ACUÑA M. H., CONNERNEY J. E. P., WASILEWSKI P., LIN R. P., ANDERSON K. A., CARLSON C. W., MCFADDEN J., CURTIS D. W., RÉME H., CROS A., MÉDALE J. L., SAUVAUD J. A., D'USTON C., BAUER S. J., CLOUTIER P., MAYHEW M., NESS N. F. 1992: Mars Observer Magnetic Field Investigations. *Journal of Geophysical Research* **97**, E5, 7799–7814
- ACUÑA M. H., CONNERNEY J. E. P., NESS N. F., LIN R. P., MITCHELL D., CARLSON C. W., MCFADDEN J., ANDERSON K. A., RÉME H., MAZELLE C., VIGNES D., WASILEWSKI P., CLUTIER P. 1999: Global Distribution of Crustal Magnetization Discovered by the Mars Global Surveyor MAG/ER Experiment. *Science* **284**, 790–793
- ACUÑA M. H., CONNERNEY J. E. P., WASILEWSKI P., LIN R. P., MITCHELL D., ANDERSON K. A., CARLSON C. W., MCFADDEN J., RÉME H., MAZELLE C., VIGNES D., BAUER S. J., CLOUTIER P., NESS N. F. 2001: Magnetic Field of Mars: Summary of Results from the Aerobraking and Mapping Orbits. *Journal of Geophysical Research* **106**, E10, 23403–23417
- BUSSE F. 1978: Magnetohydrodynamics of the Earth's Dynamo. *Annu. Rev. Fluid. Mech.* **10**, 435–462
- CHAPMAN S., BARTELS J. 1951: *Geomagnetism*. Oxford Clarendon Press
- CONNERNEY J. E. P. 1981: The Magnetic Field of Jupiter: A Generalized Inverse Approach. *Journal of Geophysical Research* **86**, A9, 7679–7693
- CONNERNEY J. E. P. 1993: Magnetic Fields of the Outer Planets. *Journal of Geophysical Research* **98**, E10, 18659–18679
- CONNERNEY J. E. P., ACUÑA M. H., NESS N. F. 1982: Voyager-1 Assessment of Jupiter's Planetary Magnetic Field. *Journal of Geophysical Research* **86**, A5, 3623–3627
- CONNERNEY J. E. P., ACUÑA M. H., NESS N. F. 1987: The Magnetic Field of Uranus. *Journal of Geophysical Research* **92**, A13, 15329–15336
- CONNERNEY J. E. P., ACUÑA M. H., NESS N. F. 1991: The Magnetic Field of Neptune. *Journal of Geophysical Research* **96**, 19023–19042
- CONNERNEY J. E. P., ACUÑA M. H., WASILEWSKI P. J., NESS N. F., RÉME H., MAZELLE C., VIGNES D., LIN R. P., MITCHELL D. L., CLOUTIER P. A. 1999: Magnetic Lineations in the Ancient Crust of Mars. *Science* **284**, 794–798
- CONNERNEY J. E. P., ACUÑA M. H., WASILEWSKI P. J., KLETETSCHKA G., NESS N. F., RÉME H., LIN R. P., MITCHELL D. L. 2001: The Global Magnetic Field of Mars and Implications for Crustal Evolution. *Geophysical Research Letters* **28**, 4015–4018
- CURTIS S. A., NESS N. F. 1986: Magnetostrophic Balance in Planetary Dynamos: Predictions for Neptune's Magnetosphere. *Journal of Geophysical Research* **91**, A10, 11003–11008
- CURTIS S. A., NESS N. F. 1988: Remanent Magnetism at Mars. *Geophysical Research Letters* **15**, 737–739
- DAILY W. D., DYAL P. 1979: Theories for the Origin of Lunar Magnetism. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* **20**, 255–270
- DOLGINOV Sh. Sh. 1978a: On the Magnetic Field of Mars: Mars 2 and 3 Evidence. *Geophysical Research Letters* **5**, 89–92
- DOLGINOV Sh. Sh. 1978b: On the Magnetic Field of Mars: Mars 5 Evidence. *Geophysical Research Letters* **5**, 93–95
- DOLGINOV Sh. Sh., YEROSHENKO Y. G., ZHUZGOV L. N. 1976: The Magnetic Field of Mars According to the Data from Mars 3 and Mars 5. *Journal of Geophysical Research* **81**, 3353–3362
- FARKAS M. 1964: Speciális függvények műszaki–fizikai alkalmazásokkal. Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- HARGRAVES R. B., KNUDSEN J. M., BERTELSEN P., GOETZ W., GUNNLAUGSSON H. P., HVIID S. F., MADSEN M. B., OLSEN M. 2000: Magnetic Enhancement on the Surface of Mars? *Journal of Geophysical Research* **105**, E1, 1819–1827
- HOLME R., BLOXHAM J. 1996: The Magnetic Fields of Uranus and Neptune. *Journal of Geophysical Research* **101**, E1, 2177–2200
- JOHNSON T. V. 2000: The Galileo Mission to Jupiter and its Moons. *Scientific American* February, 24–33
- LIN P. P. 1979: Constrains on the Origins of Lunar Magnetism from Electron Reflection Measurements of Surface Magnetic Fields. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* **20**, 271–280
- MANDEA M., MACMILLAN S. 2000: International Geomagnetic Reference Field — the eight generation. *Earth Planets Space* **52**, 1119–1124
- MERRILL R. T., MCELHINNY M. W. 1983: *The Earth's Magnetic Field*. Academic Press, Inc. London

- NESS N. F. 1979: The Magnetic Field of Mercury. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* **20**, 209–217
- NESS N. F., BEHANNON K. W., LEPPING R. P., WHANG Y. C. 1975: The Magnetic Field of Mercury 1. *Journal of Geophysical Research* **80**, 2708–2716
- NIMMO F., STEVENSON D. J. 2000: Influence of Early Plate Tectonics on the Thermal Evolution and Magnetic Field of Mars. *Journal of Geophysical Research* **105**, E5, 11969–11979
- PHILLIPS J. L., RUSSEL C. T. 1987: Upper Limit on the Intrinsic Magnetic Field of Venus. *Journal of Geophysical Research* **92**, A3, 2253–2263
- PODOLAK M., REYNOLDS R. T., YOUNG R. 1990: Post Voyager Comparisons of the Interiors of Uranus and Neptune. *Geophysical Research Letters* **17**, 1737–1740
- RUSSEL C. T. 1978: The Magnetic Field of Mars: Mars 5 Evidence Re-examined. *Geophysical Research Letters* **5**, 85–88
- RUSSEL C. T. 1979: The Martian Magnetic Field. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* **20**, 237–246
- RUSSEL C. T. 1993: Magnetic Fields of the Terrestrial Planets. *Journal of Geophysical Research* **98**, E10, 18681–18695
- RUSSEL C. T., ELPHIC R. C., SLAVIN J. A. 1980: Limits on the Possible Intrinsic Magnetic Field of Venus. *Journal of Geophysical Research* **85**, A13, 8319–8332
- RUSSEL C. T., LUHMANN J. C., SPREITER J. R., STAHARA S. S. 1984: The Magnetic Field of Mars: Implications from Gas Dynamic Modeling. *Journal of Geophysical Research* **89**, 2997–3004
- SCHMIDT A. 1934: Der magnetische Mittelpunkt der Erde und seine Bedeutung. *Gerlands Beiträge für Geophysik* **41**, 346–358
- SMOLUCHOWSKI R. 1979: Origin of the Magnetic Field in the Giant Planets. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* **20**, 247–254
- STEVENSON D. J. 1980: Saturn's Luminosity and Magnetism. *Science* **208**, 746–747
- TOKSÖZ M. N., DAINY A. M., SOLOMON S. C., ANDERSON K. R. 1974: Structure of the Moon. *Reviews of Geophysics and Space Physics* **12**, 539–567
- WHANG Y. C. 1977: Magnetospheric Magnetic Field of Mercury. *Journal of Geophysical Research* **82**, 1024–1030
- WHANG Y. C. 1979: Model Magnetosphere of Mercury. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* **20**, 218–230
- ZOMBECK M. V. 1990: *Handbook of Space Astronomy and Astrophysics*. Cambridge University Press, Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne, Sydney

# HÍREK, BESZÁMOLÓK

## BESZÁMOLÓ AZ IAGA I-2. (ELEKTROMÁGNESES) MUNKACSOPORT KONFERENCIÁJÁRÓL

2002. június 16–22. között Santa Fe-ben (Új-Mexikó, USA) rendezték meg a 16. elektromágneses indukciós konferenciát. (A „magnetotellurikusok” által kihagyhatatlanul fontosnak ítélt „workshop”-nak két éve a braziliai Cabo Frio, 1998-ban a romániai Sinaia adott otthont; 1976-ban — persze akkor még sokkal kisebb létszámban — Sopronban gyűltek össze a témakör kutatói: közülük kerülnek ki ma a magnetotellurika „nagy öreg”-jei.)

Santa Fe-be több mint 200 kutató jött el a világ minden tájáról. Az előadás-szekciók (jobb lenne talán csoportbontást említeni, hiszen a „szekció” esetünkben nem a párhuzamos üléseket, hanem tematikus körülhatárolást jelent) az alábbiak voltak (zárójelben az előadások száma szerepel):

- Laboratóriumi mérések (10)
- Az EM ipari alkalmazása (21)
- 2D értelmezés a 3D ellenében (14)
- A természetes elektromágneses tér forrásának hatásai (12)
- Modellezés és inverzió (47)
- Lokális és regionális tanulmányok (55)
- Globális vizsgálatok (12)
- Az óceánok vizsgálata (7)
- Szeizmikus és vulkánvizsgálatok (7)
- Az elektromágnesség környezeti célú alkalmazásai (12)
- Geodinamikai modellek (18)
- Az MT tenzor (13)

Magyarországról ÁDÁM Antal, KIS Márta, SZALAI Sándor, PRÁCSER Ernő, SZARKA László vett részt a konferencián, különféle (részben a szervezők által biztosított) támogatásokból. Az öt magyar hét előadást tartott (a táblázatban nyolcadikként HURSÁN Gábor társzerzős előadása soraközi):

- ÁDÁM A., KIS M.: Study of a regional phase anomaly in a 3D basin
- ÁDÁM A., TÁTRAI M. R., VARGA G.: Can help the bright spot in the interpretation of a shallow conductivity anomaly?
- KIS M., PRÁCSER E., DOBRÓKA M. Generalized series expansion (GSE) method used in the simultaneous inversion of magnetotelluric data
- KOPPÁN A., FENYVESI A., SZARKA L., WESZTERGOM V.: Electric potential difference monitoring on a living tree
- SZALAI S., SZARKA L.: Electric and magnetic parameter sensitivity maps for studying DC and long-period MT anomalies
- SZALAI S., SZARKA L.: Geoelectrical null arrays

— UBRÁNKOVICS Cs., MENVIELLE M., SZARKA L., PINCON J-L., TARITS P.: A network method for induction studies using magnetometer data

— ZHDANOV M., GOLUBEV N., HURSÁN G.: Rapid 3D inversion of array MT data

Különös érdeklődésre tarthatnak számot a konferenciakötetben hozzáférhető összefoglaló előadások:

— G. NOVER: Electrical properties of crustal and mantle rocks — a review

— CHRISTOPHERSON K. R.: EM in the 21st century — Looking for oil, gas and water

— SHEARD S. N., BRAND E., RITCHIE T.: Industry applications of EM — base metal and environment

— LEDO J.: 2D versus 3D magnetotelluric data interpretation

— MCPHERRON R. L.: Magnetic pulsations: their sources and relation to solar wind and geomagnetic activity

Megítélésem szerint ezen a konferencián elsősorban a háromdimenziós értelmezés, s annak a kétdimenziós értelmezéssel való helyettesíthetősége került különösen előtérbe. Szembetűnő volt továbbá a magnetotellurika és az egyéb elektromágneses-geoelektromos módszerek kapcsolódási pontjait célzó tanulmányok viszonylag nagy száma is. Feltétlenül megemlítendő az a több ízben is felbukkant (szerintem inkább kívánságként, mint megvalósítható lehetőségként elhangzott) észrevétel, miszerint az elektromágneses indukciós kutatóknak az elektromágneses fajlagos ellenállás megadása helyett lépniük kellene a még egyértelműbb földtani értelmezés felé.

A szervezők különféle alapítványoktól rengeteg anyagi támogatást szereztek, az egyhetes konferencia regisztrációs költségét 150 USD-re sikerült leszorítani. Mindennek köszönhetően nem reprezentatív külsőségek, hanem tudományos elmélyültség és természetes jókedv jellemezték végig az egy hetet. A fiatalok számára a konferencia előtti héten észak-amerikai cégek műszerbemutatót is tartottak.

A rendezők jó néhány szervezési hibát is elkövettek, s egyikük-másikuk döbbenetesnek minősíthető. Számítógépmádatuk például alaposan visszaütött: a vasárnap délelőtt elkezdődött regisztrálás egészen péntekig elhúzódott, s elképzelhető az európaiak elképedése annak a bejelentésnek a hallatán, hogy a számlákat majd később, e-mailen fogják megküldeni. Meglepően nagy volt az idővesztés a PowerPoint-os bibelődések miatt is. Az amerikaiak — egyébként szeretetre méltó és szakterületüket kiválóan művelő kollégák — mindezek ellenére rendületlenül (csökönnyösen?) hittek az általuk kidolgozott rendszer tökéletességében.

A hatnapos rendezvény közepe táján tanulmányi kiránduláson vettünk részt, amelyen pueblo indián emlék-

helyekkel (a Bandelier Nemzeti Parkkal) és Los Alamossal ismerkedtünk. (A Los Alamos-i ún. Bradbury Tudomány Múzeum az atombomba elkészítésének állít emléket. A moziateremben bemutatott film azzal kezdődik, hogy EINSTEIN és három magyar: SZILÁRD Leó, NEUMANN János, TELLER Ede levélben hívják fel az Egyesült Államok elnökének figyelmét az atombomba elkészítésének lehetőségére és szükségességére.)

A hazafelé út bizony az ötből négyünk túróképességét alaposan próbára tette: a denveri járat sem szombat délután, sem vasárnap reggel nem volt képes elhagyni az Albuquerque-i repülőteret, ugyanis a fedélzeti számítógép mindannyiszor hibáüzeneteket jelzett, valahányszor be akarták kapcsolni a hajtóművet. 24 órás késéssel értünk haza, sokféle tapasztalattal gazdagodva, holtfáradtan, s ami a lényeg: biztonságilag többszörösen, alaposan átvizsgálva.

Az elektromágneses indukciós (túlnyomórészt magneto-tellurikus) közösség ügyeit kezdettől fogva egy választott bizottság intézi. Miután a dél-amerikai Ana OSELLA váratlanul lemondott alelnöki megbízatásáról, helyette a német Andreas JUNGE lett Pascal TARITS (a jelenlegi elnök) helyettese, a bizottság következő elnöke. Ana OSELLA bizottsági tagsági helyére egy másik argentin hölgy, Claudia SAINATO került. A nyolc éves megbízatás lejártával a japán Yoshi HONKURA-t Yashuo OGAWA, a Közép-Európát eddig képviselő SZARKA Lászlót Vladimir SZEMENOV (Lengyelország) váltja fel a bizottságban.

2004-ben India (valószínűleg Hyderabad), 2006-ban pedig egy katalán kisváros (Vic) lesz az indukciós konferencia helyszíne.

*Szarka László*

### 3. BALKÁN GEOFIZIKAI KONGRESSZUS ÉS KIÁLLÍTÁS

Szófia, 2002. június 24-28.

A Balkán Geofizikai Társaság (BGS) Szófiában tartotta 3. rendes kongresszusát és a hozzá kapcsolódó szakmai kiállítást 2002. június 24–28. között. A házigazda szerepét betöltő Bulgár Geofizikai Társulat (BgGS) az eseményt mind az általános, mind az alkalmazott geofizikai terén szilárd alapokon álló nemzetközi szakmai fórumként szervezte meg. A 3. BGS-kongresszus folytatta az athéni első (1996) és az isztambuli második kongresszus (1999) jó hagyományait. A rendezvényt az EAGE mint fő szponzor és az SEG mint társ szponzor támogatta.

A rendezvényt megnyitó ülésen a nyitóbeszéd után, amelyet a BGS és a BgGS elnöki tisztét betöltő Petar STAVREV professzor mondott el, a tag egyesületek képviselői — Vilson BARE professzor, az Albán Geofizikai Társulat elnöke, dr. George SIDERIS, a Hellén Geofizikai Unió elnöke, Paul GEORGESCU professzor, a Geofizikusok Romániai Társaságának elnöke és Ruchan YILMAZ, a Geofizikus Mérnökök Törökországi Kamarájának alelnöke — köszöntötték a kongresszus résztvevőit. Utánuk dr. Helmut GAERTNER, az EAGE volt elnöke, Walter LYNN, az SEG elnöke és az EAGE PACE Alapítványa, illetve a Magyar Geofizikusok Egyesülete képviselőjében jelenlévő dr. BODOKY Tamás mondtak üdvözlőbeszédet. A szónokok mindnyájan hangsúlyozták a nemzetközi együttműködés növekvő fontosságát a geofizikai alkalmazások, módszerek és technológiák terén.

A kongresszus szakmai programja a 14 félnapos előadó-ülésen elhangzó előadásokon túl magában foglalt még egy szimpóziumot, amely a Balkán régió geodinamikájával foglalkozott, egy munkatalálkozót a régészetben alkalmazott geofizikai módszerekről, egy kerekasztal-megbeszélést a Balkán szeizmikus hálózatáról és az EAGE és az SEG közös ügynevezett DISC kurzusát, amelyet dr. Leon THOMSEN tartott a szeizmikus anizotropiáról. A kongresszusra összesen 420 szerző több mint 200 előadással jelentkezett.

A kongresszus üléseinek témái, amelyek napjaink geofizikai kutatásainak széles spektrumát tükrözték, a Föld belsejének kutatásától a szénhidrogén- és érckutatáson, a különböző sekély-geofizikai vizsgálatokon, az ürgeofizikán és az elméleti kutatásokon át egészen a modern technológi-

ák és gyakorlati hatékonyságuk módszertani vizsgálatáig terjedtek. A konferencia a geofizika legkülönbözőbb ágaira szakosodott kutatóknak és mérnököknek lehetőséget teremtett eredményeik bemutatására, illetve a velük kapcsolatos közvetlen reakciók megismerésére és azok kötetlen formában történő megbeszélésére. A Balkán geodinamikájával foglalkozó szimpózium jelentős kollektíváit vonzotta azoknak a szerzőknek, akik bemutatták a Balkán különböző területeinek és geológiai szerkezeteinek dinamikus folyamataira vonatkozó legújabb eredményeiket. Különös érdeklődés övezte a régészeti geofizikát, mert a Balkán régió jellegénél fogva gazdag az ilyen jellegű kulturális örökségben. A több mint 20 előadást felvonultató munkatalálkozó fő témája az archeomágneses kronológia és az ősi települések geofizikai kutatása volt.

A szakmai kiállítás nem volt olyan nagy, mint egy EAGE vagy SEG kongresszusain, de egész vonzó volt és jól elrendezett. Az OilField Services ZN Hannover Schlumberger GmbH, a Hampson-Russell Software Services Ltd., az Anschutz Bulgaria Ltd., a TerraMentor E.E.I.G., csakúgy, mint az EAGE, SEG, BGS és mások, nagyon érdekes anyagokat mutattak be tevékenységükről. A Schlumberger egynapos kereskedelmi bemutatóját sok szakember nézte végig, nemcsak geofizikusok, de geológusok, olajmérnökök és mások is.

Az elhangzott előadások Absztrakt Könyve és a kongresszus programja az EAGE anyagi segítségével készült el. Számottevő segítséget kapott a rendezvény Bulgária Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztériumától, valamint geofizikai cégektől is, mint pl. az Anschutz Bulgária Ltd., GeoLINT Ltd. Sofia, REXIMseis Ltd. Sofia, Consortium Geokomplex Ltd. Sofia és mások.

A szófia 3. BGS kongresszus és kiállítás gazdag volt egyéb eseményekben is. A kongresszus alatt tartották a BGS elnökségének, végrehajtó bizottságának, az újonnan alakult Geofizikai Oktatás Tanácsának, a „Journal of the Balkan Geophysical Society” szerkesztőbizottságának és végül a BGS tanácsának gyűléseit. A BGS alapszabályának fontos módosításait illetve kiegészítéseit tárgyalták és határozták el, azért, hogy a BGS mind szakmai, mind földrajzi tekintetben nyitottabbá váljon. A Magyar Geofizikusok Egyesületének

felvételi kérelmét elbírálva a BGS tanácsa egyhangú szavazással teljes jogú tagjának vette fel az MGE-t.

A 3. BGS kongresszus és kiállítás Szófiában sikeres geofizikai rendezvénynek bizonyult nemcsak szakmai és szervezési szempontból, hanem azért is, mert az együttműködés és a barátság légkörét teremtette meg. A BGS a társulatok, illetve egyesületek társulata, ami különleges jelleget ad a tagjai közötti kapcsolatnak és lehetőséget nyújt a regionális vagy még szélesebb körű szakmai együttműködésre.

Napjaink geofizikája egyre inkább domináns helyet fog-

lal el a Földnek mint bolygónak, mint a természeti kincsek forrásának és mint környezetünknek a vizsgálatában. A kongresszuson megtartott előadások, és az egész program megmutatta a részt vevő geofizikusok alkotó kedvét és hozzájárult a jó minőség erősítéséhez a geofizika tudománya és gyakorlata terén.

*Prof. Dr. Petar Sztavrev,  
a BGS és a BgGS elnöke, a Mining and  
Geological University tanszékvezetője*

## GEO 2002 — MAGYAR FÖLDTUDOMÁNYI SZAKEMBEREK VI. VILÁGTALÁLKOZÓJA

Sopron–Burgenland, 2002. augusztus 21–25.



„A mai magyar geofizikában az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet a vezető szerep” — ezzel a kissé provokatív mondattal kezdtem meg a GEO 2002 konferencián a geofizikai szekcióról szóló összefoglalómat. A kijelentést az indokolta, hogy a

világtalálkozón a geofizika témakörében bemutatott 16 előadásból (12 szóbeli és 4 poszter) 9 szerzője ELGI-s kolléga volt. A megjegyzéssel természetesen Intézetünknek akartam reklámot csinálni. A kijelentés megismétlésével a Magyar Geofizikában már inkább a többi hazai geofizikus kollégát szeretném aktivizálni, felhívni figyelmüket erre a két évente megrendezésre kerülő eseményre. Ez ugyanis kiváló alkalmat teremt arra, hogy a magyar származású, a világ bármely részén élő földtudományi szakemberekkel kapcsolatba kerüljünk, megismerjük tevékenységüket, eredményeiket és természetesen őket magukat is.

Bizonyára sokan nem tudnak még arról, hogy a HUNGEO Bizottság 1996-ban alakult KOMLÓSSY György kezdeményezésére. Az a fő célkitűzése, hogy a világ bármely táján élő, szétszóródott, földtudománnyal foglalkozó magyar szakemberek részére fórumot, találkozási lehetőséget teremtsen. A bizottságban a geofizikusokat a kezdetektől VERŐ László képviselte, az ő helyét vettem át 2002-től. A HUNGEO feladatainak szervezését a Magyarhoni Földtani Társulat vállalta magára, de a munkában az öt társ egyesület is közreműködik. Ezek:

- Magyar Földmérési, Térképészeti és Távérzékelési Társaság,
- Magyar Földrajzi Társaság,
- Magyar Geofizikusok Egyesülete,
- Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat,
- Magyar Meteorológiai Társaság.

A találkozási lehetőséget az előző évente, majd két évente (1996-ban Budapest–Balatonalmádi–Vörösberény, 1997-ben Erdély–Csíkszereda–Csíksomlyó, 1998-ban Budapest, 1999-ben Kelet-Szlovákia–Kárpát–Ukrajna, 2000-ben Pilis-Csaba, 2002-ben Sopron–Burgenland) megrendezett konferenciák teremtik meg. Természetesen, a résztvevők országonkénti megoszlása nagyjából tükrözi az egyes országokban élő magyarok létszamarányát is. Idén Sopronban 176 résztvevő regisztráltatta magát: 7 fő Ausztriából, 1 Finnországból, 2 Franciaországból, 1 Hollandiából, 4 Jugoszláviá-

ból, 45 Romániából, 1 Svájcban, 1 Szlovákiából, 5 Ukrajnából, 1 az Egyesült Államokból és 108 Magyarországról. A hivatalos nyelv a magyar volt — néhány előadás német nyelven hangzott el, magyar fordítással.



A gánti bauxitbánya tanösvényén

Hagyományosan a konferencia kirándulással kezdődik és végződik. Így augusztus 21-én két autóbusz indult Budapestről, a Batthyány térről Sopronba, útba ejtve a gánti bauxitbánya múzeummal alakított külfejtését, a pannonhalmi apátságot és a celldömölki Ság hegy bazaltbányáját. A „nemzetközi” társaság a Ság hegyi trianoni keresztnél a magyar és a székely himnusz eléneklésével kezdett összehangolódni. A szakmai véleménycsere és vita már az autóbuszban megkezdődött, a földrajzi nevek használatáról hangzottak el észrevételek. A kérdés elsősorban a határon túli területek helységneveinek említésénél problematikus.

A hivatalos megnyitóra csütörtökön került sor, ahol KÖRÖSI László, a HUNGEO Bizottság elnöke üdvözölte a megjelenteket, majd GIMESI Szabolcs, Sopron polgármestere, FARAGÓ Sándor, a házigazda Nyugat-Magyarországi Egyetem rektora, valamint BREZSNYÁNSZKY Károly, a Magyarhoni Földtani Társulat — mint főszerző — elnökének köszöntői után akadémikusok és egyetemi tanárok mellett doktoranduszok is szóhoz jutottak a plenáris ülésen. A konferencia szerteágazó témáiból tartottak egy-egy mindenki számára érthető, ugyanakkor szakmailag is magas színvonalú előadást. A sort MESKÓ Attila, az MTA főtítkárhelyettese *Magyarország és a Kárpát-medence környezeti gondjai* című előadása nyitotta meg. MÉSZÁROS Ernő a hazai levegőkörnyezetről,

KLINGHAMMER István a földrajzi szemléltetés történetéről beszélt. Ezen az ülésen hangzott el még Jürgen SCHÖN (Leoben) *Fúróluk-geofizika a vízkutatásban* és RYBACH László (Zürich) *Légi és terepi radiometrikus mérések összehasonlítása* című előadása. Az ez évi konferencia alap gondolatát — *Kelet és Nyugat határán* — a helyszín sugallta, ugyanez érdekes gondolatmenetre inspirálta HEVESI Attilát. De hallhatunk előadást a magyar közlekedéspolitikai katonai szempontjairól, a vasfüggöny helyén kialakított Nemzeti Parkról, a geotermikus energia hasznosításának geokörnyezeti következményeiről, hiperspektrális kísérleti mérésekről és MAGYAR László afrikai térképeiről is. Ritkán adódik alkalom arra, hogy a társtudományok ennyi jeles képviselőjét megismerhessük, és tudományos eredményeikről tájékoztatást kapjunk.

Pénteken szekciókra oszlott a társaság, öt teremben folytak az előadások, szekciónként 20–40 résztvevővel. Természetesen a legnagyobb létszámot a geológiai szekció vonzotta, de a geofizikusoknál is nagy számban voltak jelen. A meteorológusok — foglalkozási ártalom — óránként rögzítették hallgatóságuk létszámát.

A péntek reggeli szekcióülésen a következő témakörökből hangzottak el előadások: vízkutatás, sekély és mély talajvíz kutatása, védett barlangok kutatása, nehézségi erőteré vertikális gradiensének mérése, geofizikai adatgyűjtő építése, mélyszerkezet-kutatás és magnetotellurika összefüggései, földrengés-előrejelzés lehetőségei, vetőkutatás. A szerzők, ill. előadók az elhangzás sorrendjében: NYÁRI Zsuzsanna, TILDY Péter, W. GRUBER, Ch. SCHMID, NEDUCZA Boriszláv, PATTANTYÚS-Á. Miklós, CSAPÓ Géza, VÖLGYESY Lajos, MERÉNYI László, ÁDÁM Antal, VARGA Géza, POGÁNY András, BAIKAY Péter. Az előadásokat nagy érdeklődés kísérte, számos hozzászólás hangzott el.

A poszterek a megnyitástól kezdve láthatók voltak, de a program külön biztosított 40 percet arra, hogy a poszterek szerzőivel konzultálni lehessen.

A konferencia előadásainak kivonatát tartalmazó kötet az ELGI könyvtárban is megtekinthető.

A konferencia záró plenáris ülésén a szekcióelnökök röviden összefoglalták az elhangzott előadásokat. A HUNGEO elnökségének ülésével a szigorúan vett hivatalos rész befejeződött. A rejtélyes „U1” fantázianévű záró kirándulást az Ausztriában élő BERTHA Sándor és BALOG Zoltán szervezte. Szombaton Neunkirchenben egy felszámolt csavargár helyének környezetvédelmi ártalmatlanítására láttunk példát. Igen nagy területen kell a szennyezett talajt kicserélni. A három különböző szennyeződést különböző módon lehet ártalmatlanítani, ezért pontos dokumentálással, állandó laboratóriumi ellenőrzés mellett folyik a talaj elszállítás, a káros anyagok mennyiségétől és fajtájától függően különböző helyszínekre. A csavargár helyére épülő kórház átadását 2004-re tervezik.

A Bad Vöslau-ban található ásványvíz tisztasága viszont annyira jó, hogy a forrásból feljövő víz azonnal palackokba tölthető (legfeljebb ízesítő anyagokat kevernek bele). Hamar kiderült, hogy szakmabeliek vannak a csoportban, többen kifogásolták, hogy a vizet ásványvízként forgalmazzák, holott az ásványisó-tartalma nem éri el sem a magyar, sem a svájci norma szerinti minimális értéket. A palackozó üzem látogatása a helyi polgármester fogadása és a térség geológiáját ismertető előadás után kellemes ráadás volt, különösen a nagy melegben kapott ásványvizek miatt.

A kirándulás kulturális programja a fraknoi vár (Burg Forchtenstein) megtekintése volt. Az Esterházy család birtokában lévő több száz éves várkastély a régi idők hangulatát idézte, a kiállított kincsek mindenkit ámulatba ejtettek. Sajnos, mire Doborjánba (Raiding) értünk, LISZT Ferenc szülőháza már zárva volt, csak kívülről röhattuk le tiszteletünket a nagy magyar zeneszerző emlékének.

Osztrák kollégáink szervezőkészségét bizonyította, hogy a Horitschonban kapott búcsúvacsorán ismét egy polgármester vendégei lehettünk, aki szőlő- és bortermelő gazdaként saját boraival vendégelte meg a társaságot. Nem volt csoda, hogy ismét számos magyar és erdélyi népdal, no meg egy-két bányászdal is felhangzott.



A konferencia résztvevői a Ság hegyi bazaltvulkán rétegsora előtt

A vasárnapi kirándulás Bécsbe vezetett, elsősorban azok kedvéért, akik még nem látták a császárvárost, melynek számos magyar emléke is van. Vezetőink, NEMES Ferenc és SCHMUCK András, ausztriai magyar kollégáink, szívvel-leléssel, nagy szeretettel és barátsággal fogadtak minket. Az utolsó kirándulási célpont a Fertő-Hanság Nemzeti Park és annak központja, Sarród-Kócsagvár volt. KÁRPÁTI László igazgató személyében arra láttunk példát, hogy hozzáértéssel és szakmaszeretettel milyen szép eredményeket lehet elérni a természet és a környezet védelmében. Gyönyörködhattunk a kócsagokban, láttunk magyar szürke marhákat és fekete bivalyokat, és a Hanság élővilágáról készített kiállítást is.

Mindazok részére, akik Ausztriába csak vízzel utazhatnak, „U2” kirándulási lehetőség is volt. Ennek útvonala Sopron-kőszegi-hegység volt, több geológiai megállóval, „kibúvással” — ahogy ezt egyetemista korunkban tanultuk. Erről többet, sajnos, nem tudok mesélni, mert tudomásom szerint geofizikus nem volt ebben a csoportban.

A beszámolóból kimaradt még két „szociális program”, a csütörtöki fogadás és a fakultatív péntek esti borkóstoló az ágfalvi Pálos-pincében. Mindkettő kiváló alkalmat teremtett a személyes kapcsolatok építésére, a határok ledöntésére, és természetesen a közös népdalkincsek felfrissítésére.

Említést szeretnék még tenni arról a problémakörrel, ami a konferencián többször is felmerült, szinte minden nap valamilyen formában szóba került, ez a magyar helységnevek használata itthon és a határon túl.

Végül csak az elismerés szavaival lehet illetni a Magyarhoni Földtani Társulat szervezői munkáját, a konferencia igen gördülékenyen, nagyon precíz időütemezéssel, jól szervezeten zajlott le, a különböző országokból sok egyéni

kívánsággal érkező vendégek gondjait ZIMMERMANN Katalin és segítők a legmesszebbmenőkig igyekeztek figyelembe venni, és a problémákat megoldani.

Csak azt sajnáltam, hogy — visszautalva a bevezető mondatokra — mindezen élményekből a hazai geofizikus kollégák nagy része kimaradt. Pedig most, hogy az Egyesület kényszerűségből ritkábban rendez meg a vándorgyűléseket, a HUNGEO konferenciái kiváló alkalmat teremtenek

arra, hogy a geofizikusok bemutassák eredményeiket, és ezenfelül még a társszakmákról is tájékozódhassanak. Javaslom, hogy a 2004-re tervezett szegedi HUNGEO konferenciára és a csatlakozó szerbiai kirándulásra minél többen jöjjenek el.

Hegybíró Zsuzsanna

## OTKA-PROJEKTEK BEMUTATÓJA

Az MTA Geofizikai Tudományos Bizottsága és a Magyar Geofizikusok Egyesülete ez év őszén — immár harmadik alkalommal — megrendezi a geofizikai tárgyú OTKA-projektek seregszemléjét.

Az 1998–1999–2000–2001-ben lezárult OTKA-projektek bemutatójára

2002. november 15-én, pénteken 10 órai kezdettel az ELGI konferenciatermében (1145 Budapest, Kolumbusz u. 17–23.) kerül sor.

Minden projektvezetőtől kérjük, mutassák be poszteren eredményeiket, és tartsanak egy 5 perces összefoglaló előadást. A Magyar Geofizika — a korábbi alkalmakhoz hasonlóan — a 2-3 oldalas cikkeket különszámban jelenteti meg.

**Technikai feltételek:**

**Poszterméret:** függőlegesen max. 2 m, vízszintes irányban lehet 1 m-nél szélesebb is.

**Szóbeli előadás:** digitális projektor, írásvetítő rendelkezésre áll.

**Magyar Geofizika cikk:** a kézirat leadásának határideje: 2002. november 15. Az ábrákkal együtt kb. 3 oldalas Word RTF vagy DOC fájlokat (1 Word-oldal 12-es betűméretben egyes sorközzel, fent 1,8 cm, lent 2,6 cm-es, oldalt 1,6 cm-es margókkal kb. 2/3 oldalnak felel meg a Magyar Geofizikában) elektronikusan kérjük eljuttatni TÓTH Lajosnak a tothl@elgi.hu címre. Az ábrákat JPG formátumban kérjük. Rövid angol nyelvű összefoglalót és angol címet is kérünk.

### A bemutató részletes programja

#### 10.00 Megnyitó

PANTÓ György, az MTA rendes tagja, a X. osztály elnöke, KOLLÁR László Péter, az MTA levelező tagja, az OTKA Élettelen Természettudományi Kollégium elnöke.

#### 10.15-12.15 Délelőtti poszterismertető előadások

**Elnök:** MESKÓ Attila, az MTA rendes tagja, az MTA főtítkárhelyettese

VERŐ József, az MTA levelező tagja (MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet): *Mágnesez erővonalak és whistler-ductok* (T019568, 1996–1999)

SÁTORI Gabriella kandidátus (MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet): *A Föld-ionoszféra hullámvezető vizsgálata* (T023111, 1996–2000)

SZÉKELY Balázs (ELTE TTK Geofizikai Tanszék): *Automatikus whistlerdetektáláson alapuló gyors magnetoszféra-monitorozó eljárás kifejlesztése* (F019271, 1996–1999)

ÁDÁM Antal, az MTA rendes tagja (MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet): *A Kárpáti ív/Pannon-*

*medence elektromos mélyszerkezetének kutatása (EUROPROBE subprojekt)* (T014882, 1995–1998)

ÁDÁM Antal, az MTA rendes tagja (MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet): *A Kárpát–Pannon-medence földkérgének elektromos szerkezete és fizikája a magnetotellurikus leképezési módszereinek fejlesztésével (EUROPROBE/PANCARDI Project)* (T029443, 1999–2001)

NEMESI László dr. (Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet): *A Dunántúli tellurikus térképének létrehozása* (T024097, 1997–1999)

POSGAY Károly DSc. (Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet): *A törésszrendszerek törvényszerűségeinek kutatása mélyreflexiók eredmények felhasználásával* (T019950, 1996–1999)

MÁRTONNÉ SZALAY Emőke DSc. (Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet): *A Dunántúli-középhegység mozgásai a harmadkorban a környezetében lévő tektonikai egységekhez képest: komplex paleomágnesezés vizsgálata* (T022119, 1996–2000)

HORVÁTH Ferenc kandidátus (ELTE TTK Geofizikai Tanszék): *Kvantitatív neotektonika* (T019393, 1996–1999)

REDLERNÉ TÁTRAI Marianna (Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet): *A Dunántúli-középhegység mélyszerkezeti felépítésének szintézise* (T017365, 1995–1998)

KISS Bertalan dr. (Magyar Olaj- és Gázipari Rt.): *Magyarország legelterjedtebb litosztatigráfiai egységeinek mélyfúrás geofizikai jellemzése* (T026370, 1999–2001)

BODRI Bertalan kandidátus (ELTE MTA Geofizikai Tanszéki Kutatócsoport): *Földrendések fraktálananalízise* (T022954, 1997–1998)

WÉBER Zoltán kandidátus (MTA GGKI Szeizmológiai Observatórium): *Reflexiók szeizmikus tomográfia* (F019277, 1996–1999)

CSEREPEZ László DSc. (ELTE TTK Geofizikai Tanszék): *A földköpeny termikus konvekciójának numerikus vizsgálata a szeizmikus tomográfia legújabb eredményeinek tükrében* (T026630, 1998–2001)

KIS Károly kandidátus (ELTE TTK Geofizikai Tanszék): *Gravitációs és földmágnesezési mérési adatok inverziója* (T025799, 1998–2001)

ORMOS Tamás kandidátus (ME Geofizikai Tanszék): *Üregkutatás geoelektromos és szeizmikus módszerekkel* (T025370, 1999)

PETHŐ Gábor kandidátus (ME Geofizikai Tanszék): *Felszínközeli inhomogenitások geofizikai kimutathatósági vizsgálata modellezési eljárásokkal* (T030532, 1999–2001)

TURAI Endre kandidátus (ME Geofizikai Tanszék): *Az IP-adatok TAU-transzformációját felhasználó, környezet-*

vizsgálati célú módszer fejlesztése (T022694, 1998–1999)

*Hozzászólások*

12.15–14.00 A poszterek megtekintése

14.00–15.15 Délutáni poszterismertető előadások

Elnök: TAKÁCS Ernő DSc.

MÁRTON Péter, az MTA levelező tagja (ELTE TTK Geofizikai Tanszék): *A Tisza egység a harmadkorban: paleomágnesség és tektonika* (T017008, 1995–1998)

MÁRTON Péter, az MTA levelező tagja (ELTE TTK Geofizikai Tanszék): *Archeomágneses keltezés* (T019282, 1996–1999)

ÁDÁM Oszkár kandidátus (Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet): *A felszíni szeizmikus zavarhullámok II.* (T026415, 1998–2000)

KOVÁCS Valéria (ELTE TTK Környezetfizikai Tanszékcsoporthoz): *Környezetszennyezettség vizsgálata a távérzékelési spektrális és atom-emissziós spektroszkópiai módszerek együttes alkalmazásával* (T015499, 1996–1999)

FEJES Imre (Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet): *Geofizikai eredmények hasznosítása a talajmechanikai vizsgálatokban* (T017574, 1996–1999)

TAKÁCS Ernő PhD. (Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet): *Az AVO analízis fejlesztése a hazai földtani kutatási feladatok figyelembevételével* (T025609, 1998–2000)

DRAHOS Dezső kandidátus (ELTE TTK Geofizikai Tanszék): *Regionális felszín alatti vízáramlási rendszerek kutatása laza üledékes medence területeken komplex*

*geofizikai módszerek felhasználásával* (T026633, 1998–2001)

KOVÁCSVÖLGYI Sándor (Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet): *Statisztikai módszerek alkalmazása felszíni geofizikai adatok együttes értelmezésében* (T026515, 1998–2001)

ANDRÁSSY László dr. (Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet): *Geológiai mintákon mért lézer-indukált plazma atom emissziós spektrumokból számított szelvény, illetve terület menti elem koncentráció eloszlások elméleti és statisztikai vizsgálata* (T025226, 1998–2000)

SZÜCS Péter kandidátus (ME Alkalmazott Kémiai Kutatóintézet): *Telepállapotú és felszíni köztér fizikai paraméterek kapcsolatának vizsgálata* (F022665, 1997–1999)

*Hozzászólások*

15.15–16.00 A poszterek megtekintése

16.00–16.30 *Hozzászólások*

16.30 *Zárszó* (MESKÓ Attila, TAKÁCS Ernő)

Szarka László, az MTA  
Geofizikai Tudományos Bizottság elnöke  
Bodoky Tamás,  
a Magyar Geofizikusok Egyesülete elnöke  
Gyulai Ákos, az MTA  
Geofizikai Tudományos Bizottság titkára  
Márton Péter, az MGE  
Tudományos és Oktatási Bizottság elnöke

## SZABADVÁRY LÁSZLÓ MISKOLCI KITÜNTETÉSE

A Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kara dr. SZABADVÁRY László nyugalmazott főosztályvezető részére

### Pro Facultate Rerum Metallicarum

kitüntetést adományozott a Geofizikai Tanszék javaslatára. A kitüntetést dr. BÖHM József, a Kar dékánja adta át a tanévnyitó ünnepségen az alábbi indoklással:

*Dr. SZABADVÁRY László a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet főosztályvezetőjeként jelentősen hozzájárult az ELGI és a Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszéke közötti szakmai-tudományos*

*együttműködés kialakításához. Meghívott előadóként évtizedeken át közreműködött az elektromágneses kutatómódszerek oktatásában, az ipari gyakorlat megismertetésében.*

A kitüntetéshez a tagtársak nevében is őszintén gratulálunk.

Gyulai Ákos,  
az MGE Észak-magyarországi Csoportjának elnöke

## STEPHAN MÜLLER-KONFERENCIA

Az European Geophysical Society a Déli-Kárpátokban, a Retyezát hegyekben rendezi 4. Stephan Müller-konferenciáját *Geodynamic and tectonic evolution of the Carpathian Arc and its Foreland* címmel 2003. május 31–június 7. között.

Érdeklődni lehet:

Dr. D. Ioane vagy dr. V. Macanu  
University of Bucharest, Dept. of Geophysics  
6 Traian Vuia Street

RO-70139 Bucharest 1  
PO 37, Romania  
E-mail: ioane@gg.unibuc.ro  
vagy mocanu@gg.unibuc.ro  
A konferencia honlapja: www.gg.unibuc.ro/mueller2003  
Fax: +40-1-211 3120

Tóth Lajos

# *In Memoriam:*

## **PETROVICS ILONA**

1940–2002



Porból vagyunk, porrá leszünk.

Életünk a földtörténeti időszakokhoz viszonyítva csak egy villanás. Mi mégis ez alatt a rövid idő alatt szeretnénk megismerni az elmúlt évmilliók, évmilliárdok történéseit, szeretnénk megjósolni az elkövetkező százezer évek változásait.

Most, amikor búcsúzunk kedves kollégánktól, évfolyamtársunktól, számvetést szeretnénk készíteni életéről, munkájáról, tudni szeretnénk, mi is őrzi emlékét az idők végtelenségéig.

Aki életét a Föld megismerésének szentelte, annak munkája hatalmas tudásanyag részét képezi. Ez a rész megmarad akkor is, amikor az új nemzedékek munkája nyomán már nehéz megállapítani, hogy a megszerzett tudás kinek a tevékenységéhez fűződik.

PETROVICS Ica 1963-ban szerzett bányageológus-mérnöki diplomát Miskolcon, a Nehézipari Műszaki Egyetemen.

1963-ban — első és egyetlen munkahelyén — kezdett dolgozni az Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben. Részt vett a terepi kutatásokban, majd a szeizmikus adatfeldolgozás vált fő munkaterületévé.

Ez az időszak az Intézet kiemelkedő időszakához kapcsolódik, amikor mindent megtettünk, hogy méltán feleljünk meg elődeinknek.

PETROVICS Ica ennek a munkának volt tevékeny, áldozatvállaló részese.

A legkisebb mélységtől, a sekély szeizmikus kutatásoktól a nagymélységű kéreg- és asztenoszféra-vizsgálatokig folytatta sokrétű munkáját.

Tevékeny részese volt, hogy az intézeti fejlesztéseken alapuló eszközök, szelvényírók, kisszámítógépes programrendszerek hazánkon kívül is a nemzetközi kutatások részeivé váljanak, nemcsak a szárazföldön, a távoli Szibériában, de a tengereken és óceánokon is.

Ebben a munkában nagyon sok kutató vett részt, s azóta sok ember útja elvált az Intézettől. Így talán mindenkire, akikkel együtt dolgozott, nem is jutott el a szomorú hír, de hisszük: a régi idők emlékei között ott őrzik az ő munkáját.

PETROVICS Ica egy sikeres időszak résztvevője volt, munkáját a kényszerű nyugdíjazás szakította meg, pedig méltán szeretett volna az új kihívásoknak megfelelni.

Emlékét a Magyar Geofizikában, a Geofizikai Közleményekben, az ELGI Évi Jelentéseiben, hazai és nemzetközi kiadványokban és az ELGI jelentéseiben kiadott munkái őrzik. Több mint 20 szakmai cikk, előadás, 9 adattári jelentés szerzője, de ezeken kívül több tucat jelentés tartalmazza feldolgozó munkájának eredményét.

1994 után a geofizikával való kapcsolatai leszűkültek, munkaszeretetét, segítőkészségét a természetgyógyászatban fejtette ki.

Sok embernek segített életében, sajnos, magán már nem sikerült segítenie.

Lezárult egy Élet!

Utolsó Jó szerencsét! mondunk kedves kollégáknak, egykori tankörtársunknak.

Hamvai most újra egyesülnek a Földdel, melynek megismeréséért oly sokat dolgozott. De a rövid élet munkája megmarad, tovább él ismereteinkben, tudásunkban.

*Ráner Géza,  
Szalay István*

# CSAPÓ GÁBOR

1953–2002



2002. április 15-én kísértük utolsó útjára kedves kollégánkat, CSAPÓ Gábort, a Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszékének mechanikusát, a Magyar Geofizikusok Egyesületének tagját. A ravatalnál DOBRÓKA Mihály tanszékvezető egyetemi tanár mondott búcsúbeszédet.

CSAPÓ Gábor 1953. augusztus 13-án született. Meleg családi légkörben nevelkedett, érettségi és szakmunkásvizsgát tett. A Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszékének 1974-től megszakítás nélkül haláláig volt a munkatársa. A műszerek készítését és javítását, a laboratóriumi és terepi mérések előkészítését végezte, valamint részt vett a mérések végrehajtásában is. A műhelymunkákat, a műszaki rajzok elkészítését és a terepi méréseknél rábízott feladatokat mindig igényesen és a rá jellemző találékonysággal oldotta meg. Fialat korában sportolt, s részben ennek köszönhette kivételes fizikai állóképességét. A munkában nem ismert megoldhatatlan feladatokat. Műveltsége, olvasottsága, életkedve és sajátos humora mindig a társaság középpontjába helyez-

te. Szeretetre méltó, egyenes ember volt, ha úgy hozta a sors, mindenkinek megmondta és vállalta a véleményét, azonban szándékosan senkit nem bántott meg. A sors nem kényeztette, az élet nehézségeivel többször kellett szembenéznie. Kislánya tragikus elvesztése nagyon megviselte, s ezután kissé zárkózott lett. Kifelé kemény tartású, erős emberként belülről égette el magát. Gyógyíthatatlan betegségét több mint két évig méltósággal viselte, az utolsó félév kivételével betegen is dolgozott. 2001 októberében, a 50 éves jubileumi konferencián volt utoljára a tanszéken. Tudtuk, egyre rosszabbul van, azonban bíztunk a csodában, amely sajnos nem következett be.

Kedves Gábor! Az egyenes fűszálat levágja a kasza, a hajlékony viszont gazzá válik. A kérlelhetetlen kaszás fiatalon Téged sem kímélt. Osztozva szüleid, két lányod, szeretteid és barátaid fájdalmában, soha nem feledünk. Nyugodj békében!

*Turai Endre,  
az MGE Észak-magyarországi Csoport titkára*

