

TARTALOMJEGYZÉK

TISZTELT KOLLÉGÁK!

Gratulálunk dr. Bencze Pálnak! — Gratulálunk dr. Galsa Attilának és dr. Bus Zoltánnak! — Gratulálunk dr. Bodoky Tamásnak!..... 85

MGE

Tisztelet az éveknek — Kettős születésnap Tihanyban (50 éves a Tihanyi Observatórium és 950 éves a Tihanyi Bencés Apátság) — A földmágneses mérések kezdetei Magyarországon — Emlékezés a Tihanyi Observatórium egyik első munkatársára 86

SZAKCIKKEK

Paleorengések által gerjesztett maximális horizontális gyorsulásamplitúdók számítása a cseppkövek törőszilárdságának ismeretében
Szeidovitz Győző, Leél-Őssy Szabolcs, Surányi Gergely, Czifra Tibor, Gribovszki Katalin..... 91

A Curie-hőmérsékleti fázisátalakulás geofizikai következményei
Kiss János, Szarka László, Prácser Ernő..... 102

INTERMAGNET: globális geomágneses rendszer
Geomágneses-aeronómiai közösség..... 111

Globális szeizmológiai megfigyelések
Tóth László..... 121

CIKK

Geofizika az Akadémián 1949–2005
Szarka László..... 127

HÍREK, BESZÁMOLÓK

Emléktábla-avatás — Elkésett megemlékezés (Bengt E. Sjögren 1925–2001) — Támogassa a Magyar Geofizikusokért Alapítványt! 136

46. évfolyam 3. szám



2005

CONTENTS

Foreword of the Editors	85
MGE (Association of Hungarian Geophysicists)	
News	86
Geophysical Papers	
Calculating the peak ground horizontal acceleration generated by paleoearthquakes from failure tensile stress of speleothems <i>Gy. Szeidovitz, Sz. Leél-Őssy, G. Surányi, T. Czifra, K. Gribovszki</i>	91
Phase transition at the Curie temperature and its geophysical consequences <i>J. Kiss, L. Szarka, E. Prácser</i>	102
INTERMAGNET: a global geomagnetic network <i>Geomagnetic-Aeronomic Group</i>	111
Global seismic monitoring <i>L. Tóth</i>	121
Paper	
Geophysics and the Hungarian Academy of Sciences 1949–2005 <i>L. Szarka</i>	127
News and Reports	136

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

MAGYAR GEOFIZIKA

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

• • •

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

Index: 26 507

Tisztelt Kollégák!

GRATULÁLUNK DR. BENCZE PÁLNAK!

Dr. BENCZE Pálnak az űrkutatás érdekében végzett kimagasló tevékenysége, valamint életműve elismeréseként KOVÁCS Kálmán informatikai és hírközlési miniszter 2005. október 23-án alkalmából

Bay Zoltán-díjat
adományozott.

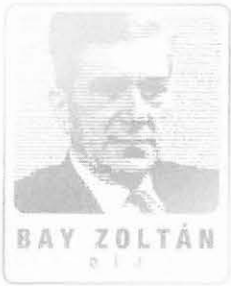


Informatikai és
Hírközlési
Minisztérium

Dr. Bencze Pál

részére

az űrkutatás érdekében végzett
kimagasló tevékenysége,
valamint életműve elismeréseként
BAY ZOLTÁN – DIJAT
adományozok.



Budapest, 2005. október 23.

Kovács Kálmán
informatikai és hírközlési miniszter

GRATULÁLUNK DR. GALSA ATTILÁNAK ÉS DR. BUS ZOLTÁNNAK!

AGÓCS Béla, a Kutztown State College nyugalmazott tanszékvezető professzora a magyar geofizikai kutatók iránt érzett őszinte nagyrabecsüléséből, EÖTVÖS Loránd, EGYED László és BARTA György nemzetközi hírű tudományos munkásságának elismeréséül

**William B. and Elisabeth Behr Agocs
Geophysical Research Fund**

díjat alapított. Díjazottak lehetnek az Eötvös Loránd Tudományegyetem geofizika szakán végzett, a Földtudományi Doktori Iskola geofizika szakán kiváló minősítésű PhD fokozatot szerzett fiatal ku-

tatók. A felügyelő kuratórium döntése alapján 2005-ben dr. GALSA Attila, az ELTE Geofizikai Tanszékének egyetemi tanársegéde és dr. BUS Zoltán, az MTA GGKI Földrengés-jelző Observatóriumának tudományos munkatársa érdemelte ki a díjat kiemelkedő PhD dolgozatuk elismeréseként.



GALSA Attila és BUS Zoltán a díj átvétele után

GRATULÁLUNK DR. BODOKY TAMÁSNAK!

Főszerkesztőnk az EAGE 37. tiszteleti tagja lett

Az EAGE (European Association of Geoscientists & Engineers) madridi 67. éves nagyrendezvényén (tudományos konferencia és technikai kiállítás) a kitiüntetések átadására rendezett külön ünnepségnek magyar szereplője is volt. BODOKY Tamás, a Magyar Geofizikusok Egyesületének volt elnöke (1990 és 2002), az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet nyugalmazott igazgatója (1994–2004), illetve a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karának egyetemi magántanára

az EAGE tiszteleti tagja (Honorary Member)
lett. Ő lett az EAGE tiszteleti tagjainak sorában a 37. Az elismerés rangját jelzi, hogy elsőként 1958-ban Arie van WEELDEN, az EAEG (European Association of Exploration Geophysicists) alapító atyja vehette ezt át. Az azóta eltelt 47 év nem mindegyikére jutott kitiüntetett, de a későbbi tiszteleti tagok sorában olyan neveket találunk, mint Nigel ANSTEE, Theodor KREY, Mike COX, Gerard GRAU, vagy például Turhan TANNER. Ezzel a kitiüntetéssel nyilvánvalóan az EAGE és az MGE immár több mint két évtizedes szoros együttműködését is el kívánták ismerni az adományozók és jelzés értékűnek is tekinthetjük, hogy éppen a magyar EAGE Csoport megalakulásának évében adták.

TISZTELET AZ ÉVEKNEK

Sok szeretettel köszöntjük szenior tagtársainkat, különös tisztelettel azokat, akik idén kerek évfordulás 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

DANKHÁZI László okl. gépészmérnök, aki idén töltötte be 85. évét,

Dr. POSGAY Károly bányamérnököt, aki idén töltötte be 80. évét,

CZEGLÉDI István karotázsmérnököt, aki idén töltötte be 75. évét,

HÁMOR Nándor geofizikus-mérnököt, aki idén töltötte be 75. évét,

MOLNÁR Károly geofizikus-mérnököt, aki idén töltötte be 75. évét,

Dr. MORVAI László kandidátust, aki idén töltötte be 75. évét,

POLLHAMMER Manóné geofizikust, aki idén töltötte be 75. évét,

DIKÓ Ferenc geológust, aki idén töltötte be 70. évét,

HURSÁN László geofizikus-mérnököt, aki idén töltötte be 70. évét,

KARAS Gyuláné geofizikust, aki idén töltötte be 70. évét,

NAGY Zoltánné geofizikust, aki idén töltötte be 70. évét,

PAULIK Dezső geofizikus-mérnököt, aki idén töltötte be 70. évét,

SÁGHY György geofizikus-mérnököt, aki idén töltötte be 70. évét,

TURÁN Ferencet, aki idén töltötte be 70. évét,

VIDA Zsolt geofizikus-mérnököt, aki idén töltötte be 70. évét,

ZIMÁNYI István geofizikust, aki idén töltötte be 70. évét.

Kérjük, erejükhez mérten támogassák továbbra is a hazai geofizika ügyét!

*A Magyar Geofizikusok Egyesülete nevében
Hegybíró Zsuzsanna*



DANKHÁZI László



Dr. POSGAY Károly



CZEGLÉDI István



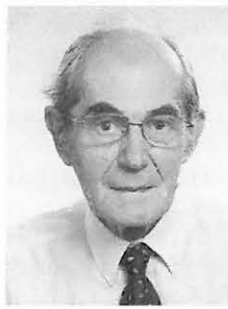
MOLNÁR Károly



Dr. MORVAI László



HURSÁN László



DIKÓ Ferenc



NAGY Zoltánné



PAULIK Dezső



SÁGHY György



VIDA Zsolt



ZIMÁNYI István

KETTŐS SZÜLETÉS NAP TIHANYBAN

50 éves a Tihanyi Obszervatórium és 950 éves a Tihanyi Bencés Apátság

Kettős születésnapot ünnepeltünk ebben az évben Tihanyban. 2005. szeptember 8-án az MGE Seniorok Bizottsága tanulmányi kirándulást szervezett a fennállásának ötvenedik évfordulóját ünnepelő Tihanyi Obszervatóriumba, illetve az alapításának kilencszázötvenedik évfordulóját ünnepelő Tihanyi Bencés Apátságba.

Több mint 50 évvel ezelőtt BARTA György, az Eötvös Loránd Tudományegyetem külső előadója, aki a budapesti egyetem első geofizikus hallgatóinak földmágnességet adott elő, elvitte az évfolyamot a tihanyi Cser-hegyre és bemutatta azt a helyet, ahol az új magyar földmágneses obszervatóriumot szándékozott létrehozni.

Előadása nyomán kirajzolódott a hallgatóság előtt, hogy ez a hely a létesítendő obszervatórium számára a legjobb választás: a félszigetet három oldalról víz veszi körül, nincs és feltehetőleg nem is lesz az obszervatóriumi észleléseket zavaró ipari tevékenység a félszigeten, és a vasútvonalak is kellő távolságban vannak. Megtudtuk, hogy a félsziget előzetes földmágneses felmérése szerint a kiválasztott hely környékén a tér változása nem haladja meg a 20 nT-t. Nagyobb anomália csak a Külső-tó területén volt kimutatható.

Ötven évvel ezelőtt Tihany egy forgalomtól elzárt, szegény halászfalu volt. Megközelítése vasúton volt lehetséges, Aszófő–Tihany vasútállomástól 6 km gyaloglással Tihany községig.

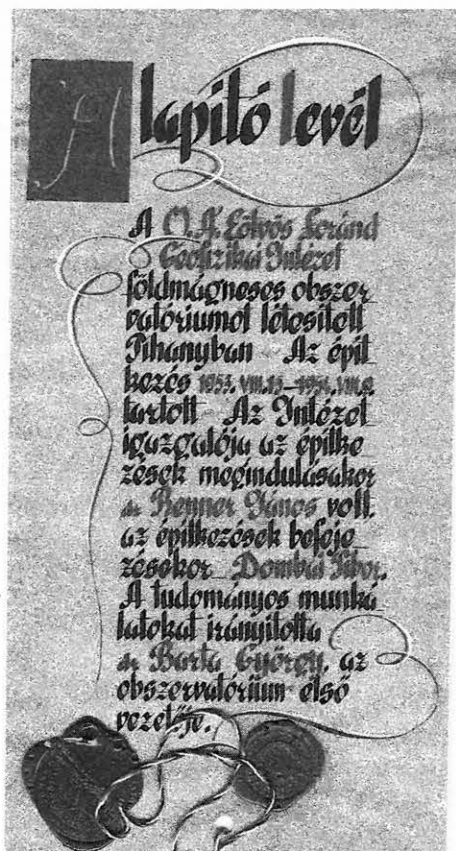
Az új magyar földmágneses obszervatóriumra az ógyallai obszervatórium pótlása miatt volt szükség.

1944-ig BARTA György az ógyallai obszervatóriumban végezte a földmágneses méréseket, abban az obszervatóriumban, ahová KONKOLY-THEGE Miklós, a kor neves csillagásza 1893-ban az ipari zajok megnövekedése miatt áthe-

lyezte a budai földmágneses észleléseket a saját földbirtokára. A második világháború után Ógyallát ismét elcsatolták Magyarországtól, hazánk tehát földmágneses obszervatórium nélkül maradt. (Jelenleg Hurbanovo néven a Szlovák Tudományos Akadémia működteti az obszervatóriumot). A háború számunkra szomorú vége előtt BARTA György visszatért budapesti állomáshelyére, az Országos Meteorológiai és Földmágnességi Intézetbe, ahol akkor a földmágneses kutatás irányítása folyt. Magával hozta Budapestre a ládába csomagolt földmágneses műszereket és elhelyezte az intézet egyik szobájában. Budapest ostroma során ez a helyiség találatot kapott, a romok maguk alá temették a műszereket. Csak a romeltakarítás során derült ki, hogy a ládák megvédték a műszereket a pusztulástól, így rövidesen el lehetett kezdeni a földmágneses észleléseket. Átmenetileg Budakeszi határában, az erdészet telepén egy épület pincéjében kezdték meg a méréseket. 1948 végétől 1954-ig folyt itt a földmágneses regisztrálás.

A Tihanyi Obszervatórium építése 1953. augusztus 15-én kezdődött és egy év múlva már álltak a mérőházak, valamint az iroda- és lakóépületek. Az utódok mély tisztelettel kell, hogy adózzanak BARTA Györgynek, aki pusztán a szakma iránti szeretetétől indítva egyedül vállalta az építkezés minden terhet és felelősségét. Az obszervatórium építésének rövid történetét BARTA Györgyné FOLKMANNS Viola grafikus rögzítette az obszervatórium alapítólevelében, amelynek hiteles másolatát a tanulmányi kirándulás résztvevői ajánlékba megkapták a Földfizikai Főosztálytól.

1954 végén megkezdődtek Tihanyban a földmágneses mérések és 1955 volt az az év, amelynek teljes mérési anyagát már a Tihanyi Obszervatórium szolgáltatta.



Az obszervatórium vezetői a következő munkatársak voltak:

1954–1960	NYITRAI Tibor
1960–1968	SAJTI László
1968–1977	NEMES István
1977–1981	TÓTH Péter
1981–1982	HEGYMEGI László
1982–1998	KÖRMENDI Alpár
1998–	CSONTOS András

A Tihanyi Obszervatórium az idők során más geofizikai módszerekre is kiterjesztette a tevékenységét. Ma hivatalosan mint Geofizikai Obszervatórium működik, a

Geofizikai Intézet Földfizikai Főosztályának irányításával. A Földfizikai Főosztály élén HEGYMEGI László főosztályvezető áll.

Az obszervatórium munkatársainak vezetésével a tanulmányi kirándulási résztvevői megismerkedtek az obszervatóriumban folyó kutatómunkával, jelenlegi tevékenységükkel.

Ugyancsak 2005-ben Tihany egy másik, nagyon fontos születésnapot is ünnepelhetett. 1055-ben, 950 évvel ezelőtt alapította meg a Tihanyi Bencés Apátságot I. ANDRÁS magyar király, akinek hamvai az apátsági templom altámlájában nyugszanak.

A latin nyelven íródott alapítólevélben a kutatók szerint 58 magyar község szerepel, ez teszi oly becses, első magyar nyelvemlékünké. A tanulmányi kirándulás valamennyi résztvevője ajándékba megkapta az alapítólevél latin és magyar szövegét.

A jubileumi évfordulóra az apátság történeti és képzőművészeti kiállításokat rendezett, leróva a tiszteletet az alapító előtt.

A Szeniorok Bizottsága örömmel nyugtázza, hogy ideai tanulmányi kirándulása az átlagosnál nagyobb érdeklődést váltott ki. 74 tagtársunk vett részt a rendezvényen.

Köszönet illeti STOMFAI Róbertet, a Szeniorok Bizottságának tagját, aki a tanulmányi kirándulás előkészítő munkájában szerzett érdemeket. Köszönettel tartozunk BARTHA Lajos tagtársunknak a földmágneses kutatás Magyarországon tárgyú összeállításáért és ismertetéséért, amelyet csatloltunk közlünk. Hálásak vagyunk a Magyar Geofizikusokért Alapítványnak a rendszeres anyagi támogatásért, BELLÉR Éva ügyvezető titkárnak a program gondos megszervezéséért. VIDA Zsolt tagtársunknak köszönjük a résztvevőkről készített, jól sikerült csoportképet. Végül, de nem utolsósorban köszönjük a budapesti és tihanyi munkatársaknak: HEGYMEGI Lászlónak, KOVÁCS Péternek, CSONTOS Andrásnak, HEILIG Balázsnak, valamint SZABADOS Lászlónak a szakmai vezetést.

Aczél Etelka,
a Szeniorok Bizottságának elnöke



A FÖLDMÁGNESES MÉRÉSEK KEZDETEI MAGYARORSZÁGON

Az i.e. 1. évezred derekán kínai mágusok vették észre, hogy a mágnesvaskő-tárgyak önmaguktól észak–dél irányba állnak be. Ennek alapján az időszámításunk kezdete körüli időben kezdtek mágneses „iránymutatókat” készíteni. Kb. 720 körül Ji SING arra is felfigyelt, hogy a mágneses tájoló által mutatott észak–déli irány eltér a földrajzi (csillagászati) égtájaktól: ezzel felfedezte a mágneses deklinációt. Az iránytű alkalmazása azonban Kínában nem terjedt el, még kevésbé a mágnesű elhajlásának mérése. Európában a 12. században ismerték meg az iránytűt, és alkalmazása hamarosan széles körben elterjedt, előbb a hajósok, majd a napóra-készítők körében.

Valószínűleg a bécsi „matematikus iskola” csillagászai — G. PEURBACH, J. REGIOMONTANUS és Hans DORN — figyelte meg 1450 körül, hogy a mágneses iránytű által mutatott északi irány jelentősen eltér a meridiántól. A hordozható napórák tájolásához alkalmazott kompaszoknál ezért pontosan meghatározták a földrajzi és a mágneses észak eltérését, és ezt az iránytű tokjában vésett vonallal jelölték. DORN magiszter az 1460-as évektől Budán, MÁTYÁS király szolgálatában, számos csillagászati műszert készített, amelyeket iránytűvel is ellátott. Így Bécs és Buda a két legrégebbi európai pont, ahol hiteles, évszámhoz köthető deklináció megfigyelések állnak rendelkezésre. (Budán a keleti deklináció szélső értéke 1440 körül lehetett, kb. 12–13° elhajlással.) A 16. sz. elejétől a nürnbergi kompasz-készítő műhelyekben mérték a deklináció szögét, és előbb az iránytűkön, majd a térképeken is feljegyezték az elhajlás mértékét.

A török hódítás, a katonai és politikai helyzet mintegy két évszázadra visszavetette ugyan az ország kulturális fejlődését, de pl. mágneses megfigyelések szórványosan a következő évtizedekben is történtek. Igaz, hogy Európa nyugati felén sem végeztek még obszervatóriumi körülmények közt észleléseket. A tengerhajózás és a bányászat egyre sürgetőbben igényelte a rendszeres méréseket, mivel a deklináció időbeli változása (amelyet W. GELLIBRANDT vett észre 1622-ben) a hajókompaszok és a felmérő műszerek iránytűinek időnkénti ellenőrzését kívánta. A Magyar Királyság területén 1760-ig néhány magasabb színvonalú

főiskola tanárán és kompaszkészítő mestereken kívül a térképész-mérnökök és bányafelmérők végeztek alkalmi deklináció-meghatározásokat. (Nagyszében 1576, Eperjes 1660, Pozsony 1728, Nagyenyed 1735, Brassó, Medgyes, Segesvár 1731–35.)

Bár a mágneses inklináció jelenségét már a 16. sz.-ban felfedezték (G. HARTMANN és R. NORMANN) rendszeres mérésére a 19. sz.-ig sehol sem került sor. Magyarországon (eddig ismereteink szerint) csupán a 19. sz. második felében kezdtek mérni a lehajlást.

Az egész Föld mágneses deklináció-felmérését Edmund HALLEY szorgalmazta a 17. sz. végén. Valószínűleg az ő ösztönzésére végezte el az első tervszerű, előre meghatározott pontokon végzett felmérést a Kárpát-medence területén, 1696-ban az olasz L. F. MARSIGLI és német munkatársa, J. C. MÜLLER. Adataik szerint a deklináció értéke a Duna észak–dél vonala mentén 10° nyugatra. (Az agyonvonat kb. 1545 körül haladt át a Duna vonalán.)

A Kárpát-medence mágneses kutatása terén fontos lépést jelentett a nagyszombati egyetem „Matematikai tornyának” (csillagvizsgálójának) berendezése 1756-ban, ahol az 1760-as években folyamatos deklinációmérést is végeztek. Ezt a sorozatot megszakította az egyetem áttelepítése Budára, ahol azután 1782-től már rendszeres — napi három leolvasással — végzett deklinációmérés indult meg (1802-ig). Ezeket a méréseket a világméretű meteorológiai hálózatot szervező „Mannheimi Meteorológiai Társulás” (Societas Palatinae Meteorologicae) kezdeményezte; a hálózat legelső, és leghosszabb ideig működő állomása a budai obszervatóriumban volt.

Az ódon budai csillagásztorony újjáépítése után, a Gellért-hegyen megszűnt a mágneses mérések sora, bár erre az időre esik a C. F. GAUSS által kezdeményezett nemzetközi „Mágneses Társaság” működése (Magnetischer Verein, 1836–41). GAUSS dolgozta ki a földmágneses tér szabatos és fizikailag egyértelmű mértékének rendszerét. Magyarországon a 19. sz. utolsó harmadáig az 1840–50-es években a Habsburg-birodalom felmérő Karl KREIL végzett országos mágneses mérést.

Bartha Lajos

EMLÉKEZÉS A TIHANYI OBSZERVÁTORIUM EGYIK ELSŐ MUNKATÁRSÁRA

A Tihanyi Obszervatórium fennállásának 50. évfordulója alkalom arra, hogy megemlékezzünk egykori kedves munkatársunkról, FARKAS Ágostonról.

Amint a háború megindítása a táborkok dolga és a csata megnyeréséhez legénység is szükséges, úgy egy intézmény is — alapítása után — csak szorgalmas, képzett beosztottakkal működhet. Róluk is emlékezve most bemutatjuk az obszervatórium legelső munkatársai közül FARKAS Ágostont, aki 10 éven át haláláig csak „egyszerű” megbecsült dolgozó volt, és aki élete során a XX. század történései közül több esetben az események cselekvő, vagy éppen szenvedő részese lehetett.

Munkatársam és idős barátom volt FARKAS Ágoston. Sok-sok beszélgetésünk alapján állítottam össze rendkívüli életrajzát. Erdélyben született 1894 körül. Apja katona volt, Brassótól Prágáig számos helyen szolgált. FARKAS Ágoston már gyermekkorától a magyar nyelven kívül megtanult románul és németül. Tizenegynéhány éves korában a fiu-meitengerésziskolába jelentkezett, ahol egyes tárgyak oktatása német és olasz nyelvű volt. Tengerésznyövendéként az angol Carpathia iskolahajóra került. A Monarchia a hajót tengerészeti iskolahajóként bérelte, a legénység és a tisztek között több magyar is szolgált. Az I. világháborúban a dunai flottánál szolgált, a háború végén az Al-Dunán

francia fogságba került. Születési helye és román nyelvtudása alapján románnak adta ki magát, így a franciák engedték a fogságból.

A háború után, a 20-as évek elején Magyarországon egy tengerész számára nem volt ígéretes foglalkozás, ezért nyugaton, belga hajókon keresett és talált helyet magának. Az ottani rendelkezések szerint külföldi állampolgárok nem kaptak kapitányi és első tiszti megbízást, ezért, amikor jó ajánlatot kapott, gyarmati szolgálatra jelentkezett. A 30-as évek elejétől Belga-Kongóban előbb geodéziai munkát végzett, de hamarosan a Dunántúl nagyságú Tanganyika-tavon hajóskapitányként dolgozott mintegy 10 évig, igen kalandos afrikai körülmények között. Egyes afrikai törzseknel ekkor még nagyon barbár szokások uralkodtak (karóba húzás, emberevés). A belga szolgálatban a francia nyelvet, a nemzetközi hajózásban pedig az angol nyelvet sajátította el, sőt a Közép-Afrikában közvetítő nyelvként használt szuahéli nyelvet is bizonyos mértékig meg kellett tanulnia. (A szuahéli nyelvet nem volt módomban tőle hallani, de minden más említett nyelven fordított és tolmácsolt is tihanyi munkahelyén). Háromévenkénti 6 hónapos szabadságát rendszerint Magyarországon töltötte, ám 1940-ben már mint hadköteles tartalékos tisztet nem engedték visszautazni. Hamarosan behívták szolgálatra a dunai hajókra. Ismét háború, ismét hadifogság következett. Ezúttal szovjet hadifogságba esett a Duna felső szakaszán. A Szovjetunióban eltöltött hároméves fogságból 1948-ban hazatérve nem igazolták, mert „megbízhatatlan magyar nyugatos” volt. Állást nem kapott, vagyonát államosították. Megmaradt tihanyi nyaralójába költözött, nyáron gyümölcsöt árult számárhátra rakott kosarakból. A Balaton partján szokatlan piaci megjelenési formáját bizonyára dalmát származású felesége, Kéti sugalmazta...

1954-ben a Tihanyi Observatórium első helyi vezetője én voltam. Induláskor műszaki ismeretekkel rendelkező munkatársat kerestünk. Ekkor ismertem meg FARKAS Ágostont, aki munkatársunk lett és több mint 10 évig végzett értékes munkát.

Mint már említettem, annak idején FARKAS Ágoston fiatal tengerészként a Carpathia nevű hajón kadétként szolgált, amikor 1912. április 14-én a Titanic, korának

legnagyobb (46 300 tonna súlyú) személyszállító hajója jéghegynek ütközve hajótörést szenvedett és elsüllyedt. A tragédiát megelőző napon a két hajó igen közel volt egymáshoz, de ellenkező irányban haladtak. FARKAS Ágoston elmondása szerint különösnek tartották, hogy az óceánnak azon a részén találkoztak, ugyanis a Titanic a szokásos útvonalnál északabbra haladt. Az eltérést azzal magyarázták, hogy a Titanic már első útján rekordot szeretett volna elérni, elnyerni annak a hajónak járó kék szalagot, amelyik a két kontinens közötti utat a legrövidebb idő alatt teszi meg.

A legrövidebb menetidőt a két pont között a legrövidebb úton, az ún. gömbi főkör mentén lehet elérni. A gömbi főkört a gömb középpontján át fektetett elméleti sík metszészvonala jelöli ki a gömb felszínén. Ez a Föld felszínén húzódó elméleti vonal az angliai Southampton és New York között pedig esetünkben messze északra ívelt, a tavaszi időszakban jégveszélyes zónában.

A Titanic ütközése egy úszó jégheggyel az éjszakai órákban történt. Röviddel az ütközés után veszélyt jelző rakétákat lőttek fel a hajóról. E fényeket a Carpathián látták ugyan, de a Titanicon folyó buta mulatság tréfájának tulajdonították, mivelhogy a korábbi találkozáskor semmi sem utalt veszélyre. Már akkor is működött a hajókon szikratávíró, de a távírás éjszaka csak 4 vagy 6 óránként tartott rövid ügyletet, úgyhogy az ütközés után még órákig távolodott egymástól a két hajó. Csak amikor a távírás újból szolgálatba lépett és vette a vészjeleket, akkor fordultak a Titanic felé. A Carpathia legénysége — köztük FARKAS Ágoston — több száz ember életét mentette meg.

A Carpathia története a szörnyű tragédiával szemben tanúsított hősi helytállás története. A Carpathia féktelen vágója az Atlanti-óceán jég borította északi vidékén át, hogy százak életét mentő cselekedetet hajtson végre, örök emléket állít a kapitány és a legénység hihetetlen bátorságának.

FARKAS Ágoston és szeretett felesége a 70-es évek elején hunyt el, a tihanyi temetőben alusszák örök álmukat.

Nyitrai Tibor

Paleorengések által gerjesztett maximális horizontális gyorsulásamplitúdók számítása a cseppkövek törőszilárdságának ismeretében¹

SZEIDOVITZ GYŐZŐ², LEÉL-ÖSSY SZABOLCS³, SURÁNYI GERGELY⁴, CZIFRA TIBOR², GRIBOVSZKI KATALIN²

A Magyarország területén található Hajnóczy- és Baradla-barlangokban lévő cseppkövek egy része alkalmas a környezetükben az elmúlt néhány tízezer évben keletkezett földrengések erősségének felső becslésére.

Az ép cseppkövek paramétereiből megállapítható, hogy fejlődésük során milyen nagyságú horizontális gyorsulásértéknél nagyobb nem terhelhette őket.

Laboratóriumban megmértük a cseppkőmintákban terjedő rugalmas hullámok sebességét, sűrűségét és a minták törőszilárdságát.

Két azonos típusú szeizmográfal folyamatosan regisztráltunk a sas-hegyi dolomit felszínén és a felszín alatt 25 m mélységben lévő pincében. Azt tapasztaltuk, hogy a földrengések regisztrátuma jól megegyezett.

A helyszínen mértük a cseppkövek sajátfrekvenciáját és csillapodási tényezőjét. Mintát vettünk a Baradla-barlang Olimposz Termében lévő 5,1 m magas sztalagmit cseppkőből és meghatároztuk életkorát.

Megállapítottuk, hogy az elmúlt 100 000 évben a cseppkővet 1,14 m/s²-nél nagyobb horizontális gyorsulás nem terhelte. A vizsgált cseppkő környezetében lévő tektonikai szerkezetek (Darnó vonal) földrengés-potenciáljának megállapításánál figyelembe kell venni ezeket az eredményeket.

Gy. SZEIDOVITZ, Sz. LEÉL-ÖSSY, G. SURÁNYI, T. CZIFRA, K. GRIBOVSZKI: Calculating the peak ground horizontal acceleration generated by paleoearthquakes from failure tensile stress of speleothems

In the Hajnóczy and Baradla caves in Hungary some of the suitable speleothems are appropriate for estimating the upper limit of largest earthquakes that occurred in the last few ten thousand years.

From the parameters of not damaged speleothems can be determined the upper limit of peak horizontal acceleration generated by paleoearthquakes during their formation.

In a laboratory the velocity of elastic waves, density and failure tensile stress of speleothem samples have been determined.

Earthquakes have been recorded on the surface and 25 m deep in dolomite cavity by two identical type horizontal seismographs. The seismograms and the power spectra of the earthquakes recorded at the two stations were similar.

The fundamental frequency and damping of speleothems have been measured in cavity. We took samples from dripstones of 5.1 m height in Baradla cave and determined their age.

It was established that these speleothems was not excited with a horizontal acceleration more than 1.14 m/s² during the last 100 000 years. This value has to be taken into account in the estimation of earthquake potential of tectonical structures at the vicinity of the examined speleothems.

1. Bevezetés

A litoszféralemezek peremén keletkezik a nagy földrengések túlnyomó többsége. Lemezeken belül a nagy rengések ritkábbak. Akár 10 000 év is eltelhet ugyanazon forrásból kipattant két nagy rengés között [SCHOLZ 1990]. Ebből következik, hogy a hosszúnak tűnő 1–2 ezer éves földrengés-megfigyelésekből sem szabad messzemenő következtetéseket levonni egy területen várható legnagyobb rengés erőssé-

gére. Ennek alátámasztására elég, ha csak a 1976-os tangshani rengésre hivatkozunk [CHENG YONG et al. 1988].

A Kárpát-medencében keletkezett földrengések megbízhatónak tekinthető adatsora 1763-tól kezdődik. Igaz, hogy 456-tól vannak adataink, de ezek szórványosak és megbízhatatlanok [ZSÍROS 2000].

Ha a földrengések gyakoriságára és erősségére megbízhatóbb és realisabb eredményeket akarunk elérni, akkor a történelmi időkben keletkezett földrengések mellett a paleorengések maradó nyomait is kutatni kell. A történelmi és paleorengések felderítésének komoly akadályai vannak.

A történelmi rengésekről kevés adatunk van. Akkor sikerül részeredményeket elérni, ha kutatásaik során a történeteszek, régészek stb. mint melléktermékre, egy nagyobb földrengésre bukkannak. Ilyen esetben esetleg pontosítani lehet a földrengés nagyságát [SZEIDOVITZ, CSABAFI 1998], de átfogó és alapvetően új eredményekre nem számíthatunk.

A nagy történelmi rengések nyomot hagyhatnak bizonyos nem eliszapolódott, és nem háborított sírokból. Pél-

¹ Beérkezett: 2005. június 16-án

² Magyar Tudományos Akadémia Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet Szeizmológiai Főosztály, H-1112 Budapest, Meredek u. 18. E-mail: szeid@seismology.hu; czifra@seismology.hu; kgribovszki@ggki.hu;

³ Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar Általános és Történelmi Földtani Tanszék, H-1117 Budapest, Pázmány P. sétány 1/c. E-mail: losz@iris.geobio.elte.hu;

⁴ Magyar Tudományos Akadémia–Eötvös Loránd Tudományegyetem Geofizikai és Környezetfizikai Kutatócsoport, H-1117 Budapest, Pázmány P. sétány 1/c.

daként megemlíthetjük a Dunaújvárosban a felszín alatt 2 m mélységben talált két, 1600 éves szarkofágot. Az egyik tetejét leemelve egy háborítatlanul fekvő, mumifikálódott holttestet találtak [FEHÉR 1994]. Sajnos a sírban nem találtak könnyen dőlő mellékletet, csak egy szivacsot. Így csak azt mondhatjuk, hogy az elmúlt 1600 évben Dunaújváros környezetében nagy rengés ($I \geq 6^\circ$) nem keletkezett [BISZTRICSÁNY 1974].

A neotektonikai és geomorfológiai vizsgálatok a paleorengések nyomait csak szerencsés esetben deríthetik ki, hiszen az erózió a felszíni és felszínközeli formációkat átalakíthatja.

A földrengések és a cseppkövek növekedése, elhajlása és törése közötti kapcsolat kutatása kvantitatív eredményekkel kecsegtetett, ezért az utóbbi időben elkezdődtek az ilyen irányú vizsgálatok. A paleorengések kutatásának legújabb eredményeit a CAMELBECK [2001] szerkesztésében megjelent könyvben foglalták össze. Az itt megjelent DELABY [2001]-cikk törött és eldőlő sztalagmitból egy paleorengésre következtet.

Külföldi eredmények [FORTI, POSTPISCHL 1984; 1988] azt mutatják, hogy a történelmi és paleorengések felderítésében a cseppkövek törésének, hajlásának tanulmányozása célravezető lehet.

A földrengések és a cseppkövek növekedése, törése és dőlése közötti kapcsolatot eddig hazánkban még nem vizsgálták, de a cseppkövek korára, növekedésére vonatkozó kutatások már eredményesek voltak [LAURITZEN, LEÉL-ÖSSY 1999; ZÁMBÓ et al. 2002; FORD, TAKÁCSNÉ BOLNER 1993]. Meghatározható a cseppkövek eltörésének, kidőlésének az időpontja. Természetesen a mérések megkezdése előtt a földtani környezet alaposan megvizsgálendő, az egyéb aszeizmikus okok, pl. csuszamlások, barlangi árvizek kizárandók.

CADORIN et al. [2001] a Hotton-barlangban fellelhető 34 minta vizsgálata során csupán egy olyat találtak, amely 2 m/s^2 gyorsulásra tört, a többi cseppkő töréséhez 1 g-nél nagyobb horizontális gyorsulás amplitúdójú gerjesztésre volt szükség. Ezek a cseppkövek tehát nem lehettek a paleorengések indikátorai. Az egyetlen „használható minta” saját-frekvenciája is magas ($\geq 20 \text{ Hz}$) volt, törőszilárdságának számításánál a rezonancia jelenségét nem vették figyelembe, hiszen a földrengések által gerjesztett hullámok frekvenciája 20 Hz -nél alacsonyabb (lásd később). A külföldi kutatások az elferdült, eltört cseppkövek és a földrengések, paleorengések kapcsolatára kívántak fényt deríteni.

Előzetes vizsgálataink arra utaltak, hogy hazánkban található olyan szálban álló cseppkövek, amelyek már viszonylag kis horizontális gyorsulás amplitúdók ($< 1 \text{ m/s}^2$) hatására törnének. Ezért ezek a cseppkövek a vizsgált területen előforduló legnagyobb paleorengések indikátorai lehetnek.

2. Elméleti megfontolások

A következőkben megadjuk azokat az összefüggéseket, amelyek alapján a cseppkövek bizonyos típusainak a paraméterei számíthatók. Három típusú cseppkő viselkedését tanulmányozhatjuk: sztalaktit, sztalagmit és sztalagmát. A barlang mennyezetéről lecsüngő sztalaktitot saját-frekvenciájának és törésének meghatározásakor FERENCZ és PÉTERFALVI dolgozatára [2002] hivatkozunk. Jelen tanul-

mányunkban csak a barlang fenékszintjén felfelé növő sztalagmittal és a fentről és lentől növekvő és összeérő sztalagmáttal foglalkoztunk.

A sztalagmit saját-frekvenciáját az

$$f = \frac{1}{\pi\sqrt{3ED^2/16\rho H^4}},$$

a törési talajgyorsulást az

$$a_g = \frac{r\sigma_u}{2\rho H^2}$$

képlettel számoltuk [CADORIN et al. 2001], ahol

H a sztalagmit hossza [m],

D az átmérője [m],

r a sugara [m],

ρ a sűrűsége [kg/m^3],

σ_u a törési feszültsége [Pa],

E a Young-modulusz [Pa],

$\pi \sim 3,14$.

Abban az esetben, ha rezonancia jelenségek is fellépnek, a törési gyorsulás amplitúdót megadó összefüggése a következőképpen módosul:

$$a_g = \frac{r\sigma_u}{2\alpha H^2 \sqrt{(1 - (T/T^0))^2 + 4\alpha^2 (T/T^0)^2}}, \quad \text{ahol}$$

$$\alpha^2 = \frac{\log^2 \varepsilon}{1,9 + \log^2 \varepsilon}.$$

A csillapítás (ε) ismeretében (ε értéke a cseppkő saját-frekvenciájának meghatározásához készített szeizmogramok egymást követő amplitúdóinak arányából számolható), α meghatározható. T a gerjesztő erő változó periódusa, T^0 a vizsgált cseppkő sajátperiódusa.

3. Cseppkövek sérülésmentes vizsgálata barlangokban

A barlangok irodalmi tanulmányozása [KORDOS 1984], szakértőkkel történt megbeszélések és személyes bejárások alapján a Hajnóczy- és a Baradla-barlangban találtunk olyan cseppköveket (sztalagmitok), amelyek paleorengés-vizsgálatra perspektivikusnak tűntek. (Az 1. ábra az említett barlangok elhelyezkedését mutatja az ország ÉK-i részén.)

Tekintettel arra, hogy ezeknek a karcsú, magas cseppköveknek in situ vizsgálata csak sérülésmentesen történhet, ezért csak a méreteik meghatározására és saját-frekvenciájuk regisztrálására szorítkoztunk. Ilyen méréseket először e munka szerzői hajtottak végre.

A cseppkövekre horizontális rezgésmérőket erősítettünk és a sztalagmitokat ráütéssel horizontális rezgésre kényszerítettük (2. ábra). A rezgések időbeli lecsengését regisztráltuk, és spektrumát meghatároztuk. A mérések eredményeinek egy példáját a Baradla-barlangban készült felvétellel szemléltetjük (3a. és 3b. ábrák, ld. a 94. oldalon).

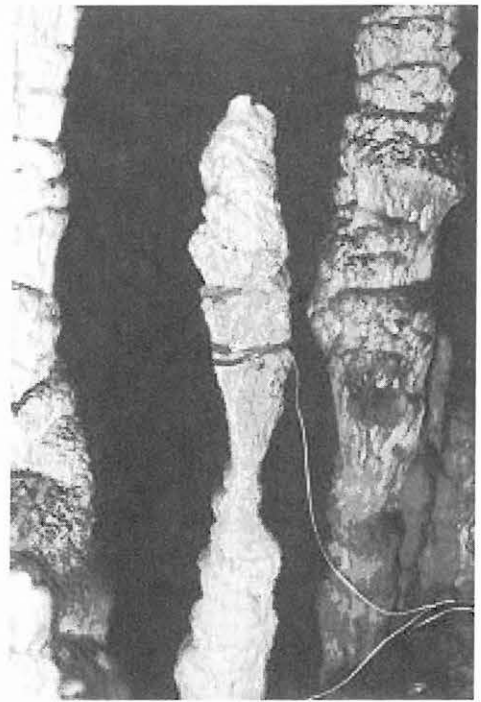
A cseppkövek nem mind egyszerű szerkezetűek. Ennek alátámasztására bemutatunk két — a Baradla-barlang Sárkány Termében található cseppkő (4. ábra) gerjesztésével készült — felvételt (5. ábra, ld. a 95. oldalon), amelyhez hasonló tudomásunk szerint még senki sem készített. A horizontális

gerjesztés hatására a cseppkő két egymáshoz közeli frekvencián lebegett. Jelenleg még nem vizsgáljuk, hogy az ilyen szerkezet hogyan viselkedik földrengés általi gerjesztés hatására.



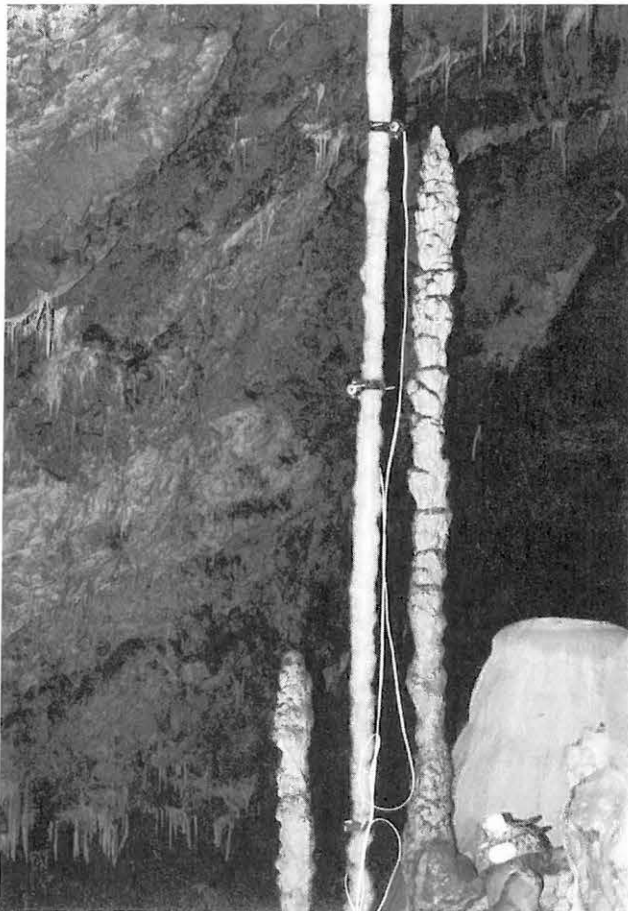
1. ábra. A Baradla- és a Hajnóczy-barlang elhelyezkedése az ország ÉK-i részén

Fig. 1. The location of the Baradla and Hajnóczy caves at the North-eastern part of Hungary



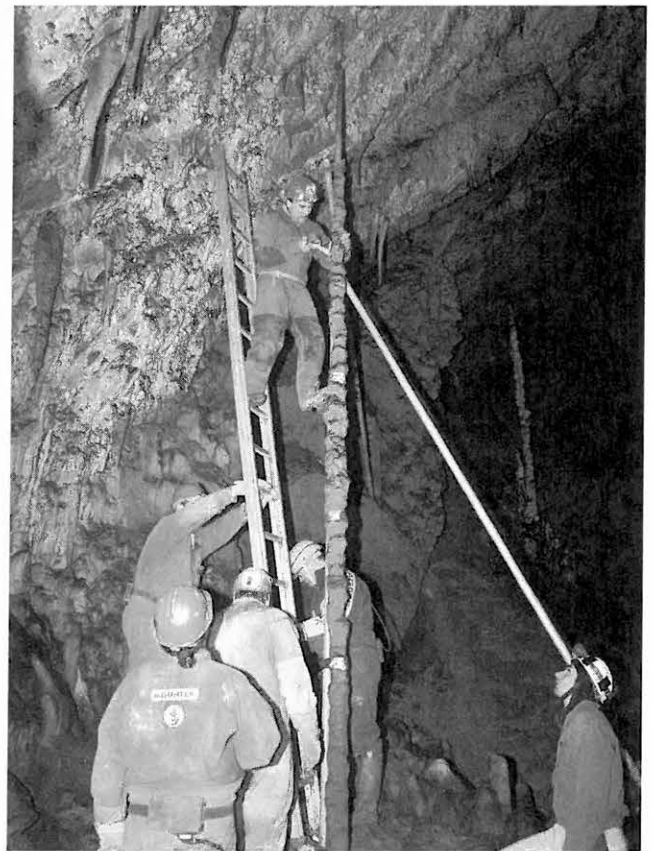
4. ábra. Baradla-barlang Sárkány Termében található, két sajátfrekvenciával rendelkező „lebegő” cseppkő

Fig. 4. The stalagmite with two different frequencies in the Sárkány hall of Baradla cave



2. ábra. Vizsgált cseppkő a Baradla-barlangban

Fig. 2. A dripstone being examined in Baradla cave

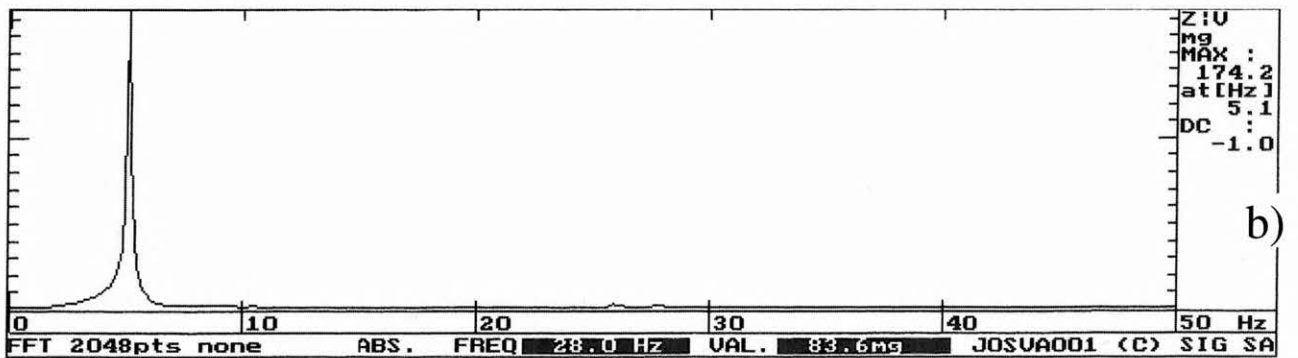
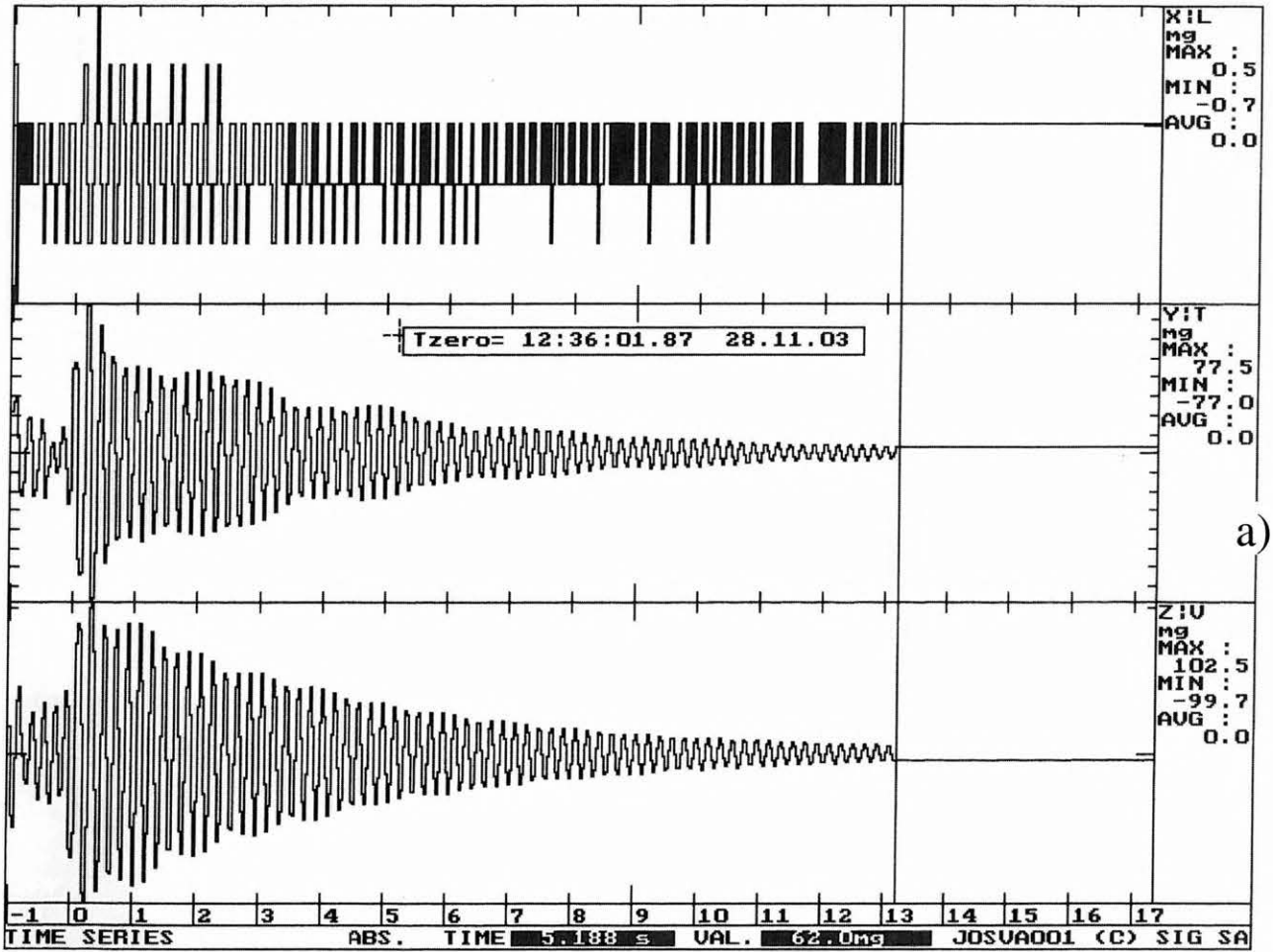


6. ábra. Mintavételi nehézségek az aggteleki Baradla-barlang Olimposz Termében található 5,1 m magas 7–10 cm átmérőjű sztalagmitről

Fig. 6. Sampling difficulties of the stalagmite high 5.1m with a diameter of 7–10 cm in Olimposz hall of Baradla cave

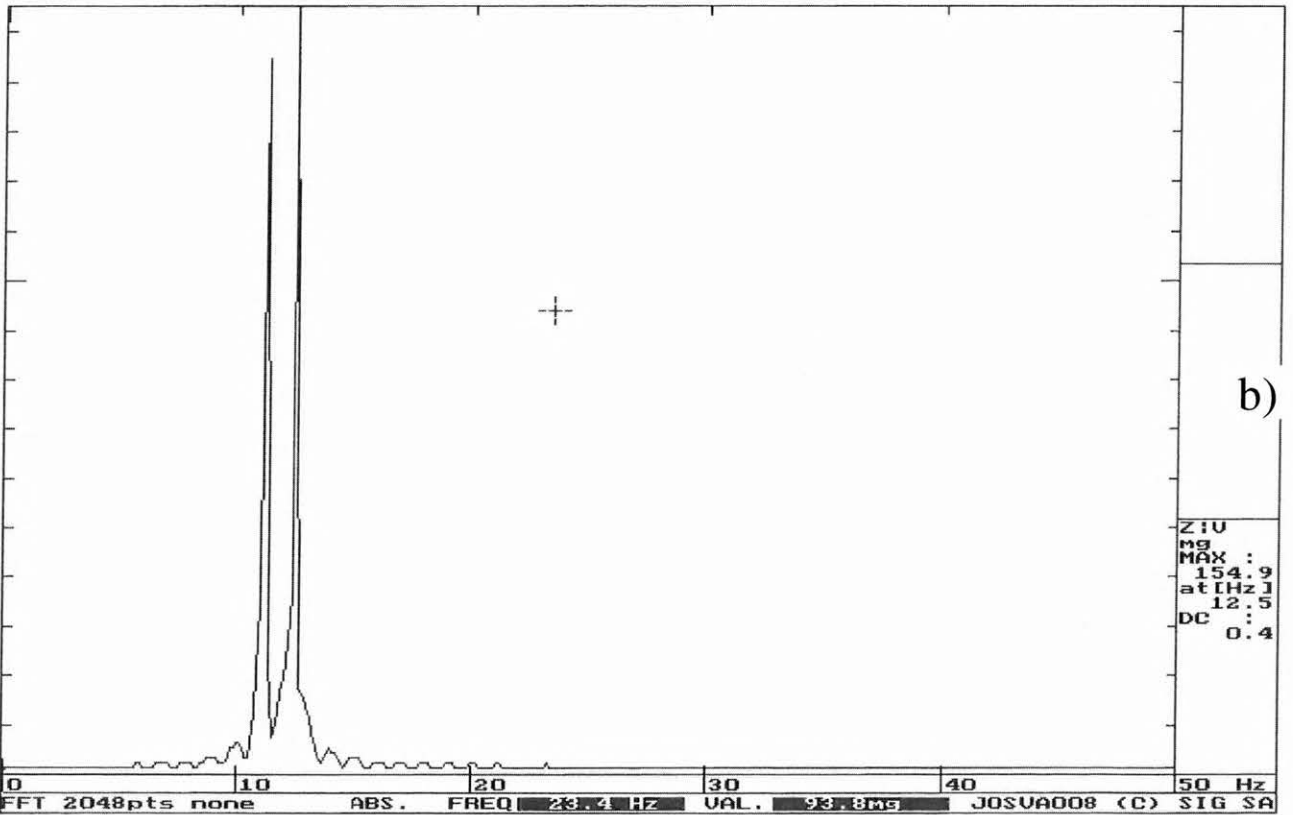
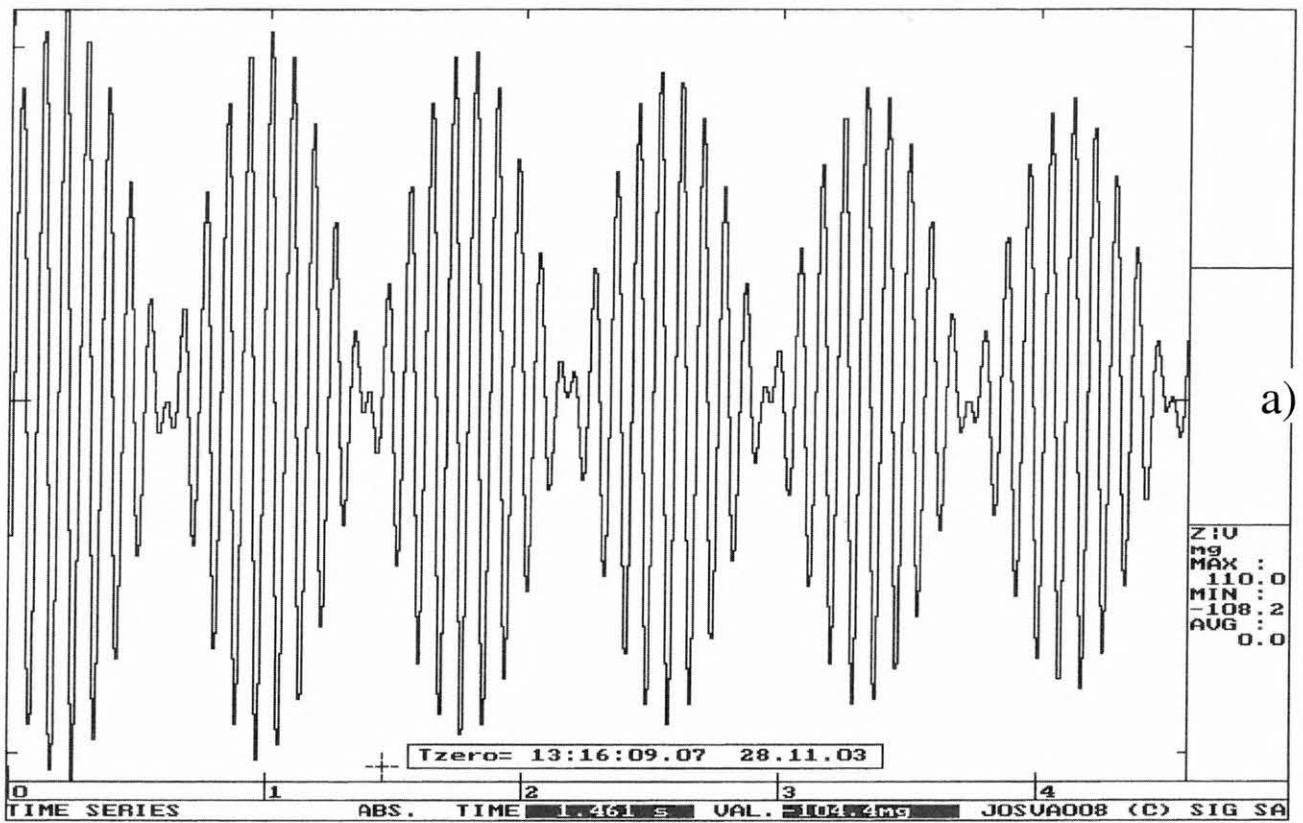
A Baradla-barlang Olimposz Termében találtunk egy 5,1 m magas, 7–10 cm átmérőjű sztalagmitot (6. ábra), amely az előzetes becslés alapján idősnek tűnt. Horizontális gerjesztéssel meghatároztuk sajátfrekvenciáját és csillapítá-

sát (7. ábra). A cseppkőből különböző magasságban mintát vettünk, hogy korát és növekedési sebességét meghatározzuk.



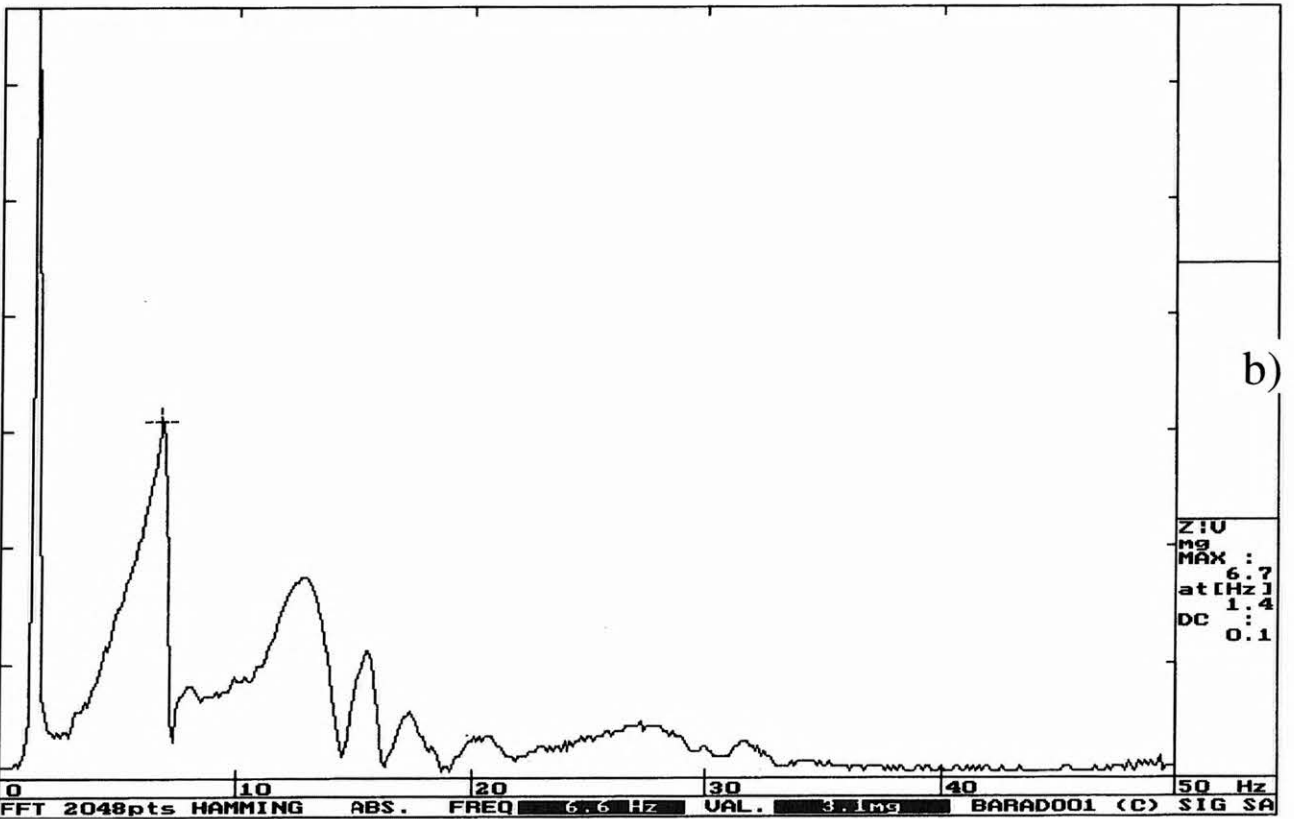
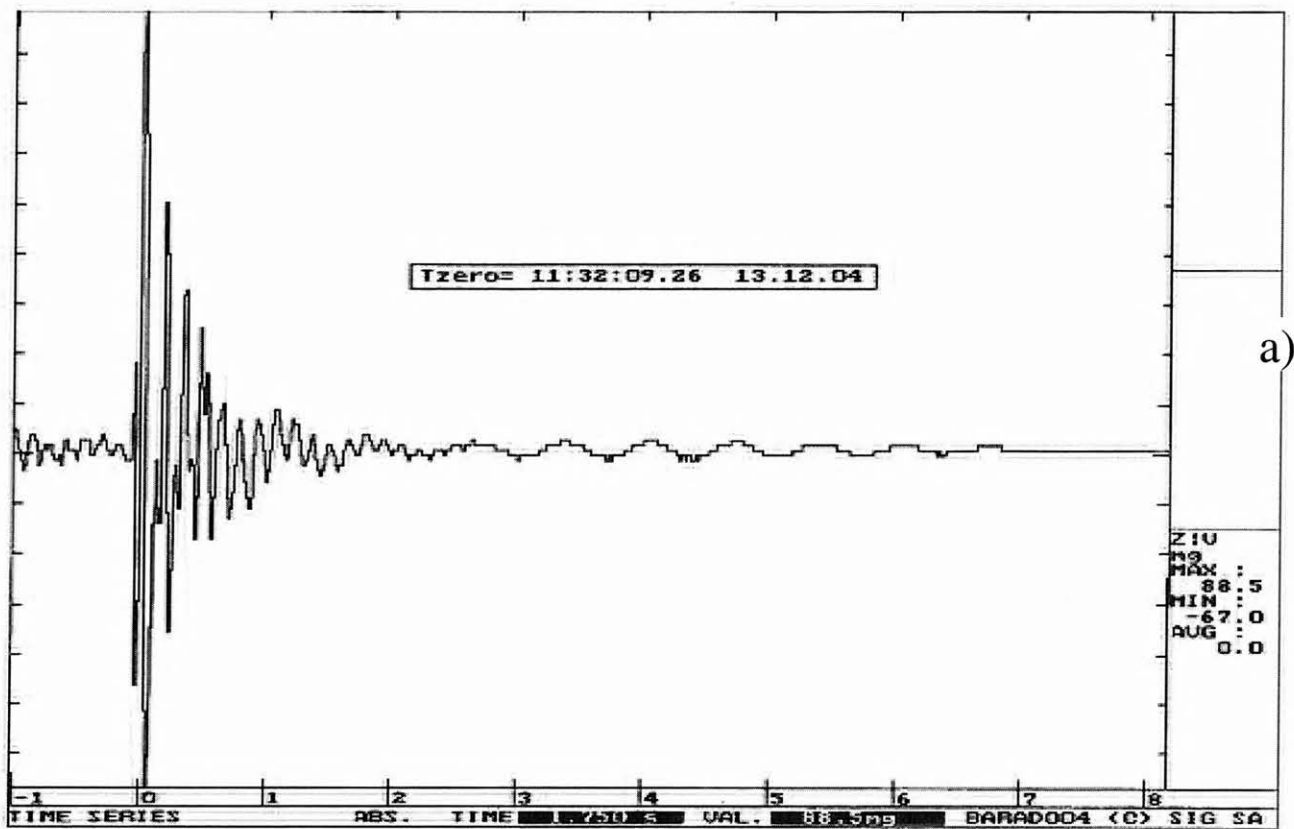
3. ábra. A Baradla-barlang Sárkány Termében készült felvétel. A 3,35 m magas sztalagmit rezgésének lecsengése (a) és spektruma (b). Az y tengely beosztása mGal

Fig. 3. A recording made in the Sárkány hall of Baradla cave. The attenuation (a) and spectra (b) of a stalagmite high 3.5 m. The y axis represents the horizontal acceleration amplitude in mGal



5. ábra. a) A Baradla-barlang Sárkány Termében található cseppkő (4. ábra) regisztrált lebegése. Az y tengelyen a gerjesztés horizontális gyorsulásamplitúdóját ábráztuk mGal-ban; b) A Baradla-barlangban lévő „lebegő” cseppkő spektruma két, egymáshoz közeli éles rezonanciacsúccsal

Fig. 5. a) The registered frequency of the dripstone in the Sárkány hall of Baradla cave (Fig. 4). On the y axis we represented the horizontal acceleration amplitude in mGal. b) The spectra of the dripstone with two frequencies with two sharp resonance peaks close to each other



7. ábra. A Baradla-barlang Olimposz terem 5,1 m magas sztalgmit a) sajátrezgésének időbeli lefutása, b) sajátfrekvenciája (1,4 Hz). A cseppkő 4,76 m magasságban repedt volt. A magasabb frekvenciájú mellékrezonanciák a cseppkő felső repedt részének mozgásából származhatnak

Fig. 7. The 5.1 m high stalagmite Olimposz hall of Baradla cave a) attenuation in time of the self-frequency b) self-frequency (1.4 Hz). The dripstone was cracked at a height of 4.76 m. The higher frequency side-resonances may originate from the movement of the cracked part of the dripstone

Az 1. táblázatban összehasonlítottuk a CADORIN et al. [2001] által megadott értékekből ($E = 22\,000\text{ MPa}$, $\rho = 2\,500\text{ kg/m}^3$, $\sigma_u = 0,4\text{ MPa}$) számított sajátfrekvenciát a saját laboratóriumi méréseink eredményeiből számolt érté-

kekkel. Saját számításaink eredményei a 6. oszlopban találhatóak, a CADORIN és munkatársai által számított értékek pedig a 7. oszlopban. A cseppköveken ténylegesen mért értékeket a 8. oszlop tartalmazza.

	1	2	3	4	5	6	7	8
	Cseppkő típusa	H [m]	D [m]	Hivatkozás	a_g [m/s^2]	f [Hz] számított $E=90\,000\text{ MPa}$	f [Hz] számított $E=22\,000\text{ MPa}$	f [Hz] mért
1	Sztalagmit Baradla, Sárkány Terem	3,35 (3,35–3,45)	0,075 (0,045–0,12)	3. ábra	0,267 1,136	5,4	2,7	5,1
2	Sztalagmit Baradla, Sárkány Terem	3,9 (3,79–3,9)	0,07 (0,045–0,08)					25,8
3	Sztalagmit Baradla, Sárkány Terem	2,85	0,29–0,12 bonyolult forma két kiszélesedő résszel	4. és 5. ábra			Előzetes adat nincs	Két frekv.: 11,3 és 12,5 lebegés: 1,25
4	Sztalagmit Baradla, Sárkány Terem	2,84	(0,08–0,15)			10,1		9,8
5	Sztalagmit Baradla, Sárkány Terem	2,1	alsó részén: 0,085 felfelé kiöblösödik: 0,28					27,9
6	Sztalagmit, München Terem eltört oszlop	3,1 (fekü felett 0,9 m-re törött, 0,20 m-es elmozdulás)	0,28 (0,38×0,18 téglalap alakú)		23		125	
7	Sztalagmit Baradla, Olimposz Terem	5,1 (4,76-nál repedt)	0,1–0,075	6. ábra	0,34 1,14			1,4
8	Sztalagmit, Hajnóczy-barlang	3,6	0,05		0,15 0,658	3,2	1,6	4,0

1. táblázat. CADORIN et al. [2001] által megadott értékekből számított sajátfrekvenciák összehasonlítása a saját laboratóriumi méréseink eredményeiből számolt értékekkel

Table 1. Comparison of self-frequencies calculated from the values given by CADORIN et al. [2001] with the values calculated on the basis of our own laboratory measurements

A CADORIN et al. által használt ρ sűrűséget elfogadtuk ERKI Imre mérése alapján [SZEIDOVITZ et al. 2004]. CADORIN és munkatársai a cseppkövek törőszilárdságra sok különböző értéket kaptak, melyek közül számításaihoz a legkisebbet választották (0,4 MPa) Saját mintáink törőszilárdságát a Baradla-barlang Olimposz Termében lévő dölt cseppkőből GÁLOS Miklós [SZEIDOVITZ et al. 2004] határozta meg. Méréseinek átlagértékével számoltunk ($\sigma_u = 1,7\text{ MPa}$). Ez az érték 4,25-ször nagyobb a CADORIN et al. által választott törőszilárdságnál.

A Sárkány Teremben lévő elfekvő cseppkőből vett mintákban mért sebességadatokból (ERKI Imre által) meghatározott E -re kapott 90 000 MPa is lényegesen meghaladja CADORIN et al. 22 000 MPa-os értékét.

A 90 000 MPa értékkel számolva a mért és a számított sajátfrekvencia (6. és 8. oszlop) jól megegyezett.

A táblázat 5. oszlopában megadtuk a $\sigma_u = 1,7\text{ MPa}$ -al (a táblázat azonos sorának alsó értéke) és a 0,4 MPa-lal (a táblázat azonos sorának felső értéke) számolt értéket is.

A táblázatunkban nem tüntettük fel a rezonanciát is figyelembe vevő értéket. Ez azt jelenti, hogy merev testnek tekintettük a vizsgált cseppköveket, ezért azok a megadott horizontális gyorsulásnál a valóságban kisebb értékre törnek.

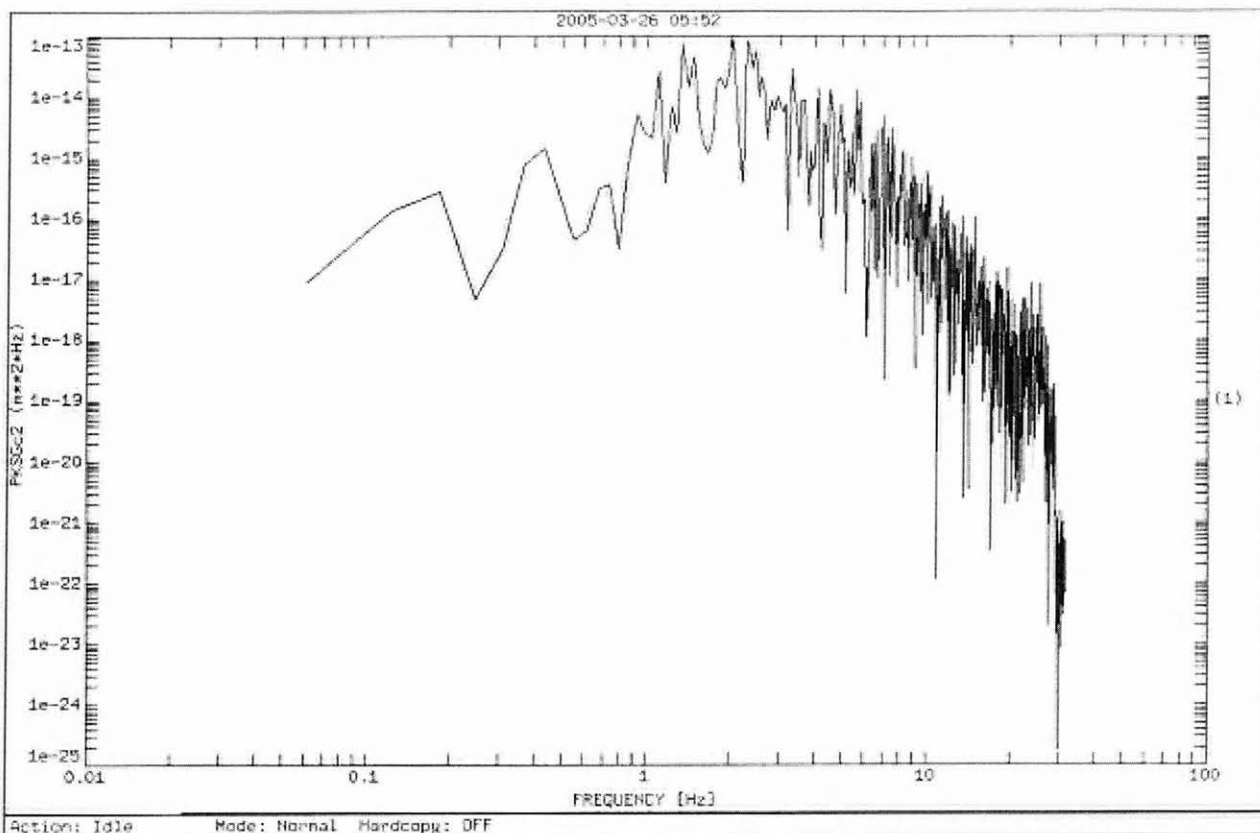
A cseppkövek növekedése közben törőszilárdságuk, koruk és sajátfrekvenciájuk változik. Bizonyos méretű cseppköveknél sajátrezgésük a földrengések frekvenciatartományába „nöhet”. Az általunk kiválasztott cseppkövek saját-

frekvenciája — az esetek többségében — az 1–10 Hz-es tartományban van. Megfigyelések szerint a közeli rengések domináns frekvenciasávja ebbe a tartományba esik. Ennek bizonyítására KISZELY Márta volt szíves az MTA GGKI és a Georisk Kft. által 2004-ben és 2005-ben regisztrált közeli rengések spektrumait rendelkezésünkre bocsátani. Ebben a dolgozatban csupán egy spektrum bemutatását (8. ábra) tartottuk célszerűnek. A földrengés-spektrumok további felvételei egy részletes OTKA (T038099 számú) jelentésben megtalálhatók.

4. Földrengéshullámok intenzitásának változása a barlangokban

Annak vizsgálatára, hogy a felszínen érzékelt hullámok mennyit módosulnak ugyanazon a helyen, de mélyebben, zárt barlangban, két azonos típusú szeizmográfot telepítettünk a Sas-hegyen. Közülük az egyiket a Sas-hegy tetején a felszínen helyeztük el, a másikat pedig az első alatt, a sas-hegyi obszervatórium pincéjében.

Egy Romániában keletkezett (45.788N, 26.627E; 2004. október 27.; 20:34:36.8; $M_L=5.6$) és egy hazai, Mezőörsön keletkezett (47.572N, 17.922E; 2004. október 14.; 09:44:51.7; $M_L=5.6$) földrengést sikerült mindkét műszerrel regisztrálnunk. A regisztrátumokat a 9. és 10. ábrákon mutatjuk be.



8. ábra. Egy közeli rengés spektruma

Fig. 8. Spectra of nearby earthquakes

Az ábrák alapján megállapítható, hogy annak ellenére, hogy 25 m vastag porló dolomit van a két állomás között, a regisztrátumok és a regisztrátumok spektrumaik jó közelítéssel megegyeznek.

5. Mintavétel és kormeghatározás

Az álló cseppkő az Aggteleki Nemzeti Park fokozottan védett objektumában található (a Baradla-barlang Olimposz Termében), ezért a mintavétellel csak minimális kárt okozhattunk. Az 6. ábrán bemutatott cseppkő geometriája miatt a mintavétel komoly feladat elé állított minket. A törés elkerülésére a cseppkővet több helyen a mellé épített állványzathoz rögzítettük. Az alfa-spektrometria számára szükséges 3–4 g anyagot magfúrással (16 mm koronaátmérő) vettük négy különböző magasságból.

A mintafeldolgozás és a mérés az MTA–ELTE Geofizikai és Környezetfizikai Kutatócsoport Radiometriai Laboratóriumában történt. A bemért minta híg sósavas feltárása után vashidroxidos előkoncentráció történt, majd az urán-tórium elválasztást UTEVA gyantán szilárd fázisú extrakciós kromatográfiával végeztük. A forráskészítés NdF_3 mikrocsapadékos együttleválasztással történt. Az alkalmazott nyomjelző egyensúlyi ^{232}U volt, a kémiai ki-termelések 65–95% között voltak. A források aktivitását alacsony háttérű alfa-spektrométerekben mértük, a mérés-ideje 8–10 nap volt. A méréseket saját fejlesztésű kiértékelő eljárással és Monte Carlo-módszeren alapuló hibaszámítással értékeltük ki. Az eddigi elvégzett mérések eredményei a 2. táblázatban láthatók.

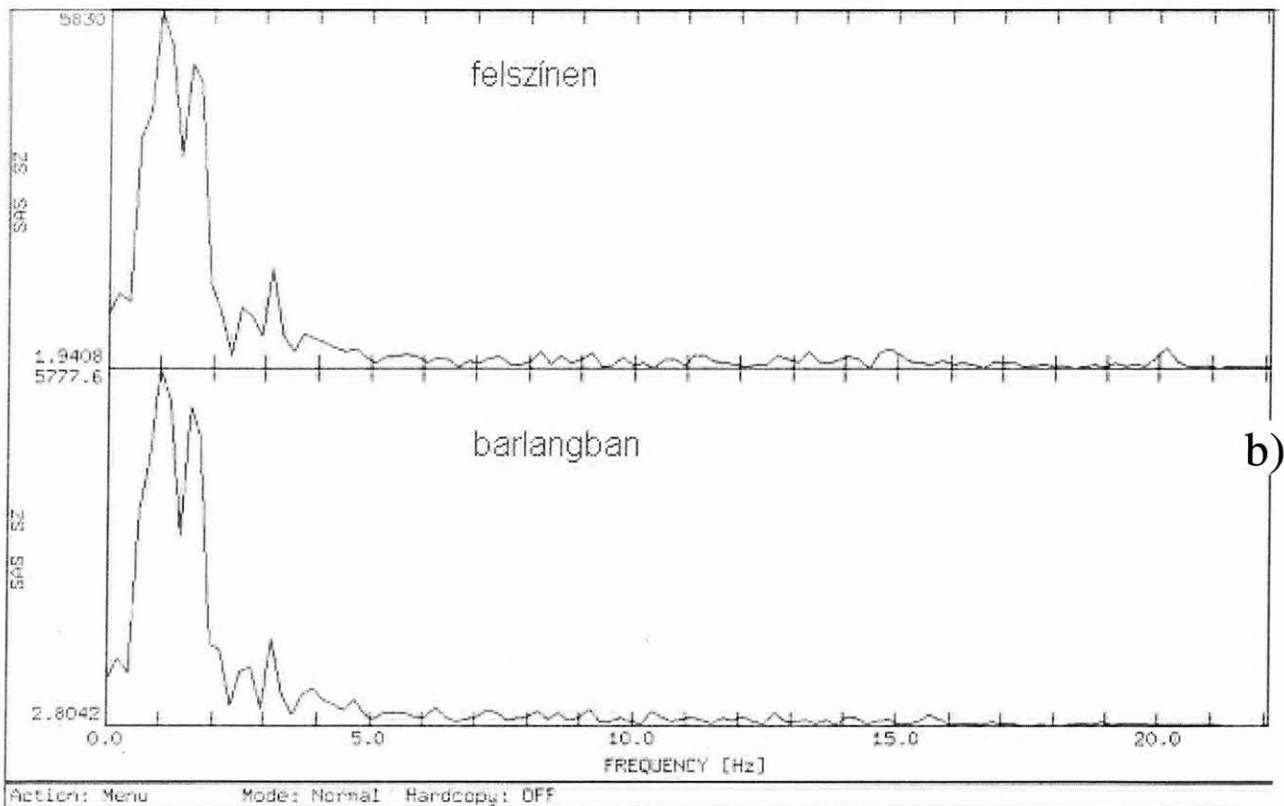
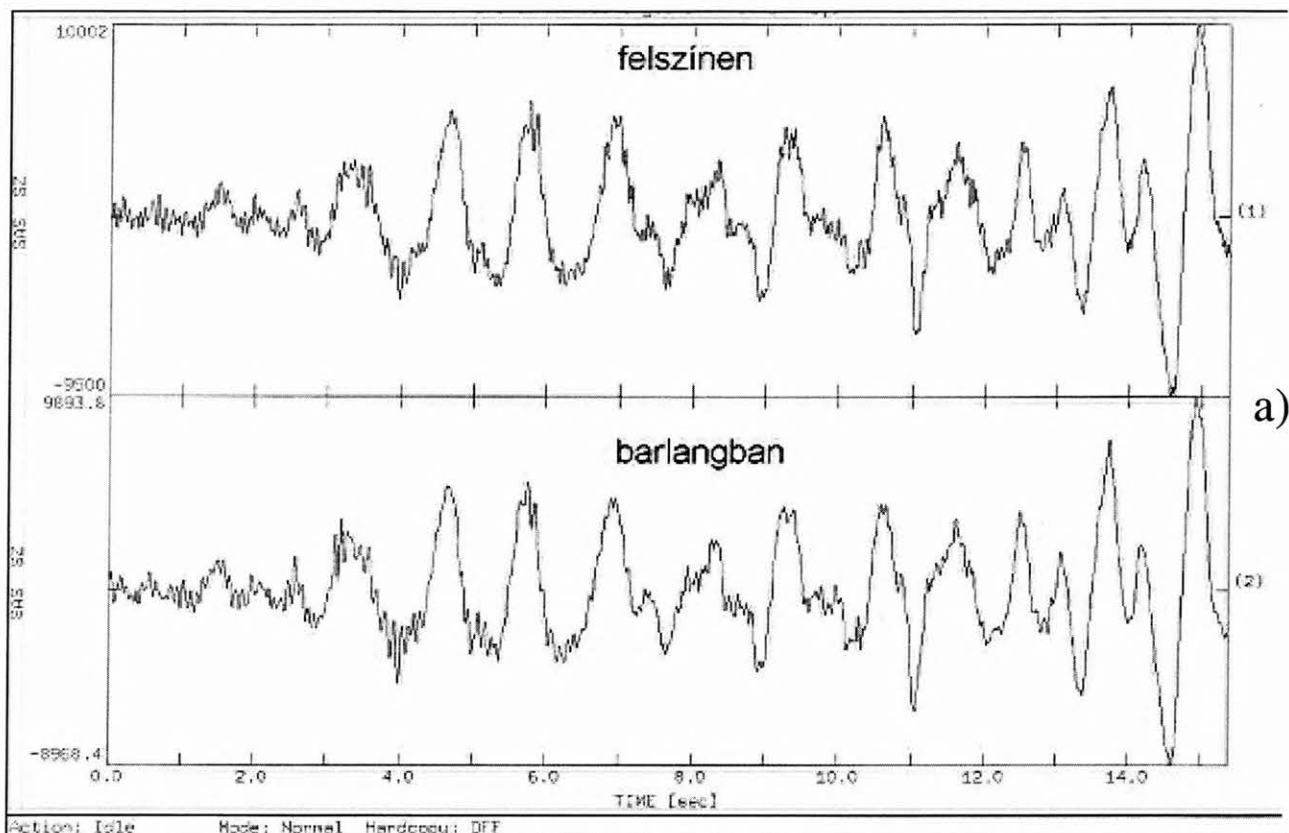
Az eredmények ellentmondásosságának okát többszöri mérés- és kiértékelés-ellenőrzés ellenére sem sikerült megtalálni. Keresztszennyezés és ^{232}Th -szennyezés kizárható. Gyanú merült fel a mintavető fúrókorona festésének esetleges urántartalmával kapcsolatban, de az 5 napos kontrollmérésen a festék nem mutatott alfa aktivitást, amellet a mintavétel előtt a festék nagy részét eltávolítottuk. A mérések nagy szórása a rendkívül kis urántartalom és a rendelkezésre álló kis mintatömeg következménye. A további kontrollmérések elvégzéséig annyi nagy biztonsággal kijelenthető, hogy a cseppkő 3 m feletti része legalább 100 000 éves.

6. Következtetések

Az 1. táblázatból kitűnik, hogy az Olimposz Teremben lévő 5,1 m magas sztalagmit $0,34\text{--}1,14\text{ m/s}^2$ horizontális gyorsulásértékre török. Még a nagyobb gyorsulás amplitúdó is alig haladja meg az (MSK-64) intenzitás skála 7 fokos (1 m/s^2) szintjét.

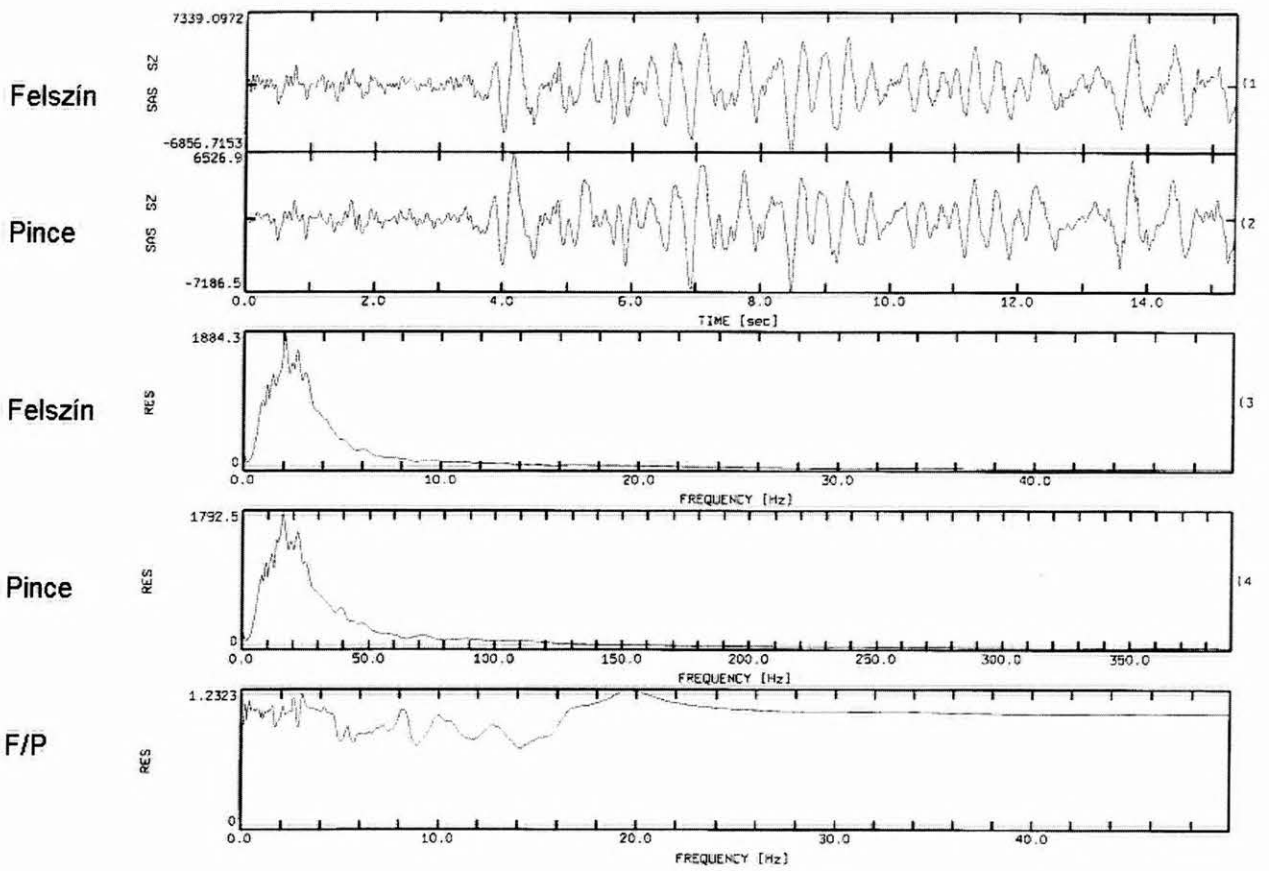
Tekintettel arra, hogy ez a cseppkő nem fiatalabb 100 000 évesnél, ezért mondhatjuk, hogy ez alatt az idő alatt a vizsgált helyen $7,5^\circ$ -os intenzitásúnál erősebb meg-rázottság nem lépett fel.

Vizsgálataink alapján tehát megállapítható, hogy azok a földtani szerkezetek, amelyek egy részét a 11. ábrán mutatjuk be, nem gerjesztettek az elmúlt 100 000 évben nagy paleorengést. Minden — különböző módszerrel — kiszámított földrengés-veszélyeztetettségi értéknek ezt az eredményt figyelembe kell venni.



9. ábra. Romániai földrengés felszínen és a sas-hegyi obszervatórium pincéjében mért horizontális komponenseinek regisztrátumai (a) és azok spektrumai (b). Az y tengelyen mGal-ban megadott érték szerepel

Fig. 9. Seismograms (a) and spectra (b) of the horizontal component of an earthquake in Romania, registered on the surface of Sas-hegy and in the cellar of the observatory. The y axis represents the horizontal acceleration amplitude in mGal



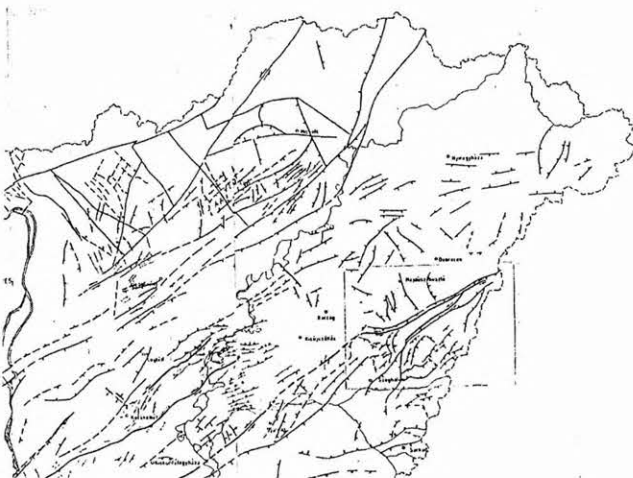
10. ábra. A mezőörsi rengés földrengés-regisztrátumai (felső két kép), azok frekvenciaspektruma a felszínen és a barlangban (harmadik és negyedik kép) és a felszínen és a barlangban mért regisztrátumok amplitúdó-aránya (legalsó kép)

Fig. 10. Seismograms of the earthquake occurred in Mezőörs (upper two figures) and the spectra of the seismograms (the third and the fourth figures) and the ratio of amplitudes registered on the surface of Sas-hegy and in the cellar of the observatory (bottom figure)

Mintavételi hely magassága [cm]	A mag távolsága a cseppkő felületétől [mm]	Kor [év]	Hiba [év, 95%-os konfidenciaszint]	U-tartalom [ppm]
476	19–39	140 000	+29 000 / –24 000	0,034
390	19–39	138 000	+45 000 / –32 000	0,021
287	22–43	102 500	+22 500 / –19 000	0,020
287	3–22	102 500	+36 000 / –28 000	0,020

2. táblázat. A Baradla-barlang Olimposz Termében található 5,1 m magas, 7–10 cm átmérőjű sztalagmit kormeghatározási táblázat

Table 2. Age definition table of the stalagmite high 5.1m with a diameter of 7–10 cm in Olimposz hall of Baradla cave



11. ábra. Törésvonalak Aggtelek környezetében BARVITZ et al. [1990] szerint. (Az országhatár — pontvonal —, a Tisza és a Duna vonalának kivételével a térképen ábrázolt vonal mind recens törésvonal)

Fig. 11. Active faults around Aggtelek according to BARVITZ et al. [1990]. (The lines in the figure are recent faults except the lines of the country borderline, the rivers Tisza and Danube)

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány az OTKA T038099, T049713 és a T32433 sz. pályázatok támogatásával készült. Külön köszönet illeti meg GRUBER Pétert, az Aggteleki Nemzeti Park munkatárát a technikai segítségért.

HIVATKOZÁSOK

- BARVITZ A., LAKATOS L., POGÁCSÁS Gy., RUMPLER J., SIMON E., UJSZÁSI K., VAKARCS G., VÁRKONYI L., VÁRNAI P. 1990: Magyarország tektonikai térképe, OKGT, GKV, MÁFI adatok alapján. M = 1: 500 000, Budapest
- BISZTRICSÁNY E. 1974: Mérnökszeizmológia. Akadémiai Kiadó, Budapest 216 old.
- CAMELBEECK Th. (Ed.) 2001: Evaluation of the Potential for Large Earthquakes in Regions of Present Day Low Seismic Activity in Europe. Luxembourg, p. 1–173
- CADORIN J. F. et al. 2001: Modelling of speleothem rupture. Proceedings of Workshop: Evaluation of the Potential for Large Earthquakes in Regions of Present Day Low Seismic Activity in Europe (Ed.: CAMELBEECK Th.), Luxembourg
- CHEN YONG, KAM-LING TSOI, CHEN FEIBI, ZOU QIJIA, CHEN ZHANGLI 1988: The Great Tangshan Earthquake of 1976. Pergamon press. Oxford, New York, Beijing, Frankfurt, Sao-Paulo, Sydney, Tokyo, Toronto, 153 p.
- DELABY S. 2001: Paleoseismic Investigations in Belgium Caves. Proceedings of Workshop: Evaluation of the Potential for Large Earthquakes in Regions of Present Day Low Seismic Activity in Europe (Ed.: CAMELBEECK Th.) Luxembourg, p. 45–48
- FEHÉR T. 1994: Aquincumi lovas. Babits Kiadó, 524 oldal
- FORD D., TAKÁCSNÉ BOLNER K. 1993: Abszolút kormeghatározás és stabil izotóp vizsgálatok budai barlangi kalcitmintákon. Karszt és Barlang 1991, 11–18
- FORTI P., POSTPISCHL D. 1984: Seismotectonic and paleoseismic analyses using karst sediments. Marine Geology 55, p. 145–161
- FORTI P., POSTPISCHL D. 1988: Seismotectonics and radiometric dating of karst sediments. Proc. Hist. Seismol. of Central-eastern Mediterranean Region ENEA – IAEA Roma, p. 312–322
- FERENCZ E., PÉTERFALVI Cs. 2002: Cseppkövek rezgéseinek és letörésük lehetőségeinek vizsgálata földrengések esetén. Témavezető GNÄDIG P. ELTE–TTK Atomfizikai Tanszék, p. 1–16
- KORDOS L. 1984: Magyarország barlangjai. Gondolat Kiadó, Budapest, 315 oldal
- LAURITZEN Stein-Erik, LEÉL-ÖSSY Sz. 1999: Előzetes koradatok egyes baradlai cseppkövekről. Karszt és Barlang 1994, p. 3–8
- SCHOLZ H. 1990: The mechanics of the earthquakes and faulting. Cambridge University Press, 467 p.
- SZEIDOVITZ Gy., CSABAFI R. 1998: Szombathely és környezetének földrengései. Magyar Geofizika 39, 3, 76–79
- SZEIDOVITZ et al. 2004: T038099. sz. OTKA éves beszámoló
- ZÁMBÓ L., FORD D., TELBISZ T. 2002: Baradla-barlangi cseppkőkoradatok a késő-negyedidőszaki klímaingadozások tükrében. Földtani Közöny 132, különszám, 231–238
- ZSÍROS T. 2000: A Kárpát-medence szeizmicitása és földrengés veszélyessége: Magyar földrengés katalógus (456–1995). MTA GGKI Szeizmológiai Osztálya, Budapest

A Curie-hőmérsékleti fázisátalakulás geofizikai következményei¹

KISS JÁNOS^{2,3}, SZARKA LÁSZLÓ^{3,4}, PRÁCSEK ERNŐ²

A Curie-hőmérsékletnek megfelelő mélységtartományban — Magyarországon ez 4–16 km-re tehető — több érdekes geofizikai anomália jelentkezik. Elsőként említhetünk a földmágneses adatok spektrális vizsgálata alapján ebben a mélységtartományban kimutatott rétegszerű mágneses hatókat. Ugyanitt több magnetotellurikus szelvényen is jól vezető kéreganomália jelentkezik, és minden alapunk megvan annak feltételezésére, hogy az eddig ismert és fizikailag reális mechanizmusokhoz egy eddig figyelembe nem vett jelenség, a mágneses fázisátalakulás is hozzájárulhat.

Cikkünkben a Curie-hőmérsékleten jelentkező fázisátalakulást ismertetjük, illetve az ennek kísérőjeként megjelenő, rendkívüli módon megnőtt mágneses szuszeptibilitást (Hopkinson-effektust), mint a mélybeli mágneses és jól vezető kéreganomáliák egy lehetséges magyarázatát.

A másodrendű mágneses fázisátalakulás jelensége — mint lehetséges magyarázat a mágneses és magnetotellurikus anomáliák eredetére — KISS JÁNOSBAN VETŐDÖTT FEL A NYME KITAIBEL PÁL KÖRNYEZETTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLÁBAN VÉGZETT PhD TANULMÁNYAI SORÁN.

J. KISS, L. SZARKA, E. PRÁCSEK: Phase transition at the Curie temperature and its geophysical consequences

There are some interesting geophysical anomalies in the depth of the Curie temperature — that is 4–16 km in Hungary. First of them we would mention the deep magnetic bodies identified in this depth by spectral depth estimation of geomagnetic data. On the other hand, there are a lot of magnetotelluric crustal conductivity anomalies in the same range. On base of these arguments we suppose, that the anomalies are related partly to the magnetic phase transition, beyond the well-known physically realistic phenomena.

In this paper we try to review the magnetic phase transition just at the Curie temperature causing enhanced magnetic susceptibility (Hopkinson effect). This may be a good explanation of deep magnetic and crustal conductivity anomalies.

1. Bevezetés

Az általunk vizsgált jelenség megértéséhez a cikk elején ismertetjük a legfontosabb fizikai jellemzőket és azok összefüggését. Az elemzések során megnézzük, hogy Magyarországon milyen valószínűséggel és milyen mélységben jelentkezik ez a hatás, majd gyakorlati példákon vizsgáljuk azokat az anomáliákat és azokat a földtani felépítésből adódó helyzeteket, ahol mindennek reális esélye van [KISS, SZARKA, PRÁCSEK 2005].

1.1. Fázisátalakulások [GESZTI 2004]

A termodinamikának a fizikusok számára talán leggazdagabb alkalmazási területét a fázisátalakulások és a fázis-egyensúlyok leírása jelenti, ami a fizikai anyag-tudománynak és az ezt hasznosító mérnöki tudományoknak is alapvetően fontos háttére.

A fázis a halmazállapot fogalmának általánosítása, amely megkülönbözteti egymástól a bár azonos halmazállapotú, de különböző szimmetriájú anyagokat, pl. egy szilárd anyag különböző kristálymódosulatait, egy mágneses kristály paramágneses és ferromágneses állapotát, vagy

a folyékony hélium normális és szuperfolyékony állapotát. A fázis az anyagnak halmazállapot és szimmetria tekintetében egységes állapota, amely a külső paraméterek (hőmérséklet, nyomás, a környezet egyes komponenseinek kémiai potenciálja) meghatározott tartományában lehet stabil. A stabilitási tartomány határát átlépve az anyag — külső feltételektől függően — felbomlik más stabil fázisokra, vagy egyetlen stabil fázisba megy át. A stabilitási tartományok meghatározása és a tartományok határain fellépő fázisátalakulások körvonalazása a termodinamikai elemzés feladata.

1.2. Mágneses fázisátalakulás [GESZTI 2004; KITTEL 1981]

A ferromágneses anyagok spontán (külső mágneses mező nélkül is jelen levő) mágneszettsége a hőmérséklet növelésével csökken, majd egy adott hőmérsékleten, a T_c Curie-ponton eltűnik, előlért az anyag paramágneses. A Curie-pontonál megváltozik az anyag szimmetriája, a paramágneses tértükrözéssel szemben szimmetrikus, a ferromágnesnél viszont kitüntetett irányt jelent a mágnesezés vektora. Emiatt a T_c -nél fázisátalakulás zajlik le. Ez sok tekintetben könnyebben és pontosabban vizsgálható, mint a folyadék-gőz átalakulás, ezért a fizikai alapoktatás szempontjából döntő szerepe volt a ferromágnes-paramágnes átalakulás részletekbe menő megértésének. Magasabb hőmérsékletre T_c alá hűtve az anyag újra ferromágneses lesz: a szimmetria szerint lehetséges különböző mágnesezési irányok közül véletlenszerűen választ magának egyet, amelyhez azután ragaszkodik. Ennek a véletlen választás-

¹ Beérkezett: 2005. augusztus 9-én

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

³ Nyugat-Magyarországi Egyetem, KITAIBEL PÁL Környezettudományi Doktori Iskola, Sopron

⁴ MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet, H-9400 Sopron, Csataki u. 6.

nak neve spontán szimmetriasértés. A hőmérséklet változtatásával a ferromágnesség eltűnése, ill. újbóli megjelenése legtöbbször folytonosan történik: kicsivel T_c alatt a mágnesezés kicsi, emiatt a rendszer még „nem tudja, milyen irányt választott”: a mágnesezés nagy ingadozásokot mutat, akárcsak a folyadék-gőz rendszer kritikus pontjában. Emiatt a folytonos fázisátalakulások pontját általában is kritikus pontnak nevezzük. *A mágneses kritikus pontban fellépő ingadozásokat nem fényszórásban, hanem spin-polarizált neutronok szóródásában figyelhetjük meg. Az ingadozások velejárója a kritikus pontban óriásira megnövekedő mágneses szuszceptibilitás* (a kompresszibilitással analóg mennyiség) és az ugyancsak megnövekvő fajhő is.

A jelenséget matematikailag — bár születtek azóta pontosabb formulák is — a Curie-Weiss-törvénnyel közelíthetjük ($T < T_c$ esetben):

$$\kappa = C / (T - T_c)$$

ahol

κ — mágneses szuszceptibilitás,

C — Curie-állandó,

T — hőmérséklet,

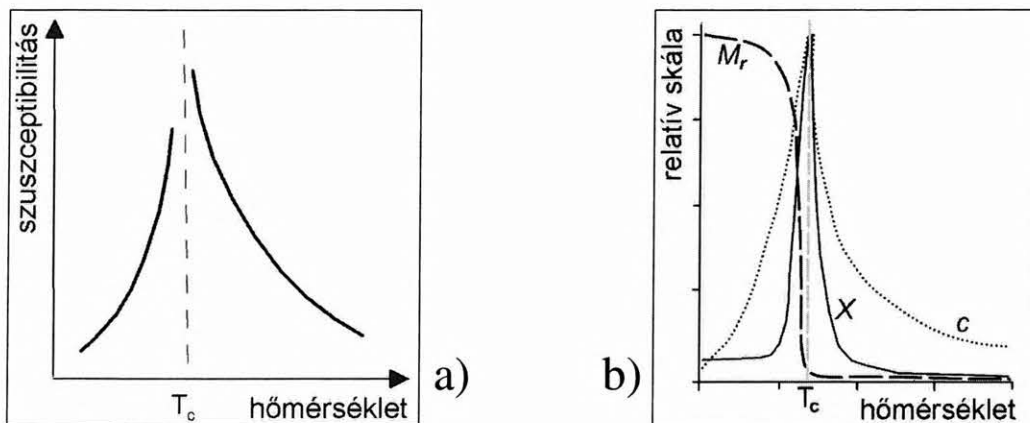
T_c — Curie-hőmérséklet.

Ferromágneses esetben a Curie-hőmérséklet alatt komplex viselkedést tapasztalunk, amit a remanens mágnesezettség és a mágneses szuszceptibilitás változása határoz meg. Elérve a Curie-hőmérsékletet a spontán, vagy remanens mágnesezettség az eredeti értékről nullára csökken le. A

mágneses szuszceptibilitás a Curie-hőmérséklet környezetében, egy szűk tartományban, elvileg végtelen nagyságú lehet (1. ábra) — ezt 1885-ben John HOPKINSON fedezte fel és publikálta elsőként [HOPKINSON 1889] — ami rendkívül érdekes, és magyarázatot adhat néhány általunk jól ismert, de rendkívülinek tűnő geofizikai jelenségre.

Földmágneses kutatás szempontjából ez azt jelenti, hogy a mágneses kritikus pont környezetében (a litoszférában, ahol a hőmérséklet eléri a Curie-hőmérsékletet) jelentkező megnövekedett mágneses szuszceptibilitás hatására kialakuló földmágneses anomália a rendkívül nagy mélység — és az ebből adódó nagy hullámhossz — ellenére detektálhatóvá válik a felszíni mérésekből, ha megfelelően hosszú szelvény mentén vizsgáljuk.

Az elektromágneses indukció esetében a közeg áramvezetését a kisméretű elektromágneses térben az elektromos vezetőképesség (σ) és a mágneses permeabilitás (μ) együttesen ($\sqrt{\mu\sigma}$) határozza meg, ez azt jelenti, hogy ha a mágneses permeabilitás értéke n -szeresére nő, az egyenértékű a vezetőképesség n -szeres megnövekedésével [MATVEJEV 1990]. Ebből az következik, hogy ha a mágneses szuszceptibilitás értéke egy-két nagyságrenddel nagyobb a normális értékénél, akkor ez szigetelő környezetben fiktív vezetőképesség-anomáliákat eredményezhet. A valóság azonban ennél bonyolultabb, amit az 5.2. fejezetben bővebben is kifejtünk.



1. ábra. a) A mágneses szuszceptibilitás függése a hőmérséklettől a Curie-hőmérséklet közvetlen környezetében [KAGANOV, CURKERNYIK 1982]; b) vázlat a mágnesezettség (M_r), a mágneses szuszceptibilitás és a fajhő (C) viselkedéséről a Curie-hőmérséklet környezetében [GOULD, TOBOCHNYIK 2005 alapján]

Fig. 1. a) Temperature depending of magnetic susceptibility near the Curie temperature [after KAGANOV, CURKERNYIK 1982]; b) schematic behaviour of magnetization (M_r), magnetic susceptibility and specific heat (C) near the Curie temperature [after GOULD, TOBOCHNYIK 2005]

2. Mágneses és elektromágneses alapparaméterek

Cikkünkben sokszor hivatkozunk a különféle mágneses paraméterekre, illetve kapcsolatba hozzuk őket a látszólagos fajlagos ellenállás számítással az elektromágneses mérések során. Célszerűnek tűnik, hogy bemutassuk ezeket az alapparamétereket és kapcsolatrendszerüket.

2.1. Mágneses alapparaméterek [BUDÓ 1979 alapján]

Mágnesezettség (M):

Az anyag egy kis térfogatú része a benne uralkodó mágneses térerősség hatására bizonyos mágneses momen-

tumot vesz fel, amelynek térfogategységre vonatkoztatott értéke az M mágnesezettség, amit mágneses polarizációnak is szoktak nevezni. A mágnesezettség megmutatja, hogy az anyag a külső mágneses tér hatására mekkora mágnesességre tesz szert.

Mágneses szuszceptibilitás (κ):

Egy anyagi állandó (a mágnesezhetőség mértéke), az anyag belsejében uralkodó mágneses térerősség és a mágnesezettség közötti mérőszám. Használatos még a fajlagos szuszceptibilitás is ($X = \kappa / \zeta$), ahol az anyag sűrűségét (ζ) is figyelembe veszik.

Mágneses permeabilitás (μ):

A mágneses indukció és a térerősség között fennálló kapcsolatot mutatja. A szuszceptibilitás és a permeabilitás közötti összefüggés:

$$\mu_r = 1 + \kappa \quad \text{és} \quad \mu = \mu_r \cdot \mu_0, \text{ ahol}$$

μ_r — relatív mágneses permeabilitás,

μ_0 — a vákuum mágneses permeabilitása.

Curie-hőmérséklet (T_c):

A ferromágneses anyagok esetében μ_r és κ nem tekinthetők anyagi állandóknak, mivel függenek a mágneses térerősségtől, a mágneses anyag előéletétől, és egy szűk tartományban a hőmérséklettől is. Ez a tartomány közvetlenül a Curie-hőmérséklet alatt jelentkezik.

A Curie-hőmérséklet (Néel-hőmérséklet) felett a ferromágneses anyagok elvesztik a mágnesezettségüket, valamint mágnesezhetőségüket, és paramágnesessé válnak. Közvetlen a Curie-hőmérséklet alatt a Hopkinson-effektus következtében a ferromágneses anyagok szuszceptibilitása több nagyságrenddel megnőhet. Ferromágneses anyagok a vas, a nikkell, a kobalt tartalmú anyagok és ezek különböző ötvözetei. Az 1. táblázat mutatja a főbb mágneses ásványok szuszceptibilitását és Curie-hőmérsékletét.

Ferromágneses ásványok	Szuszeptibilitás (CGS)	Curie-hőmérséklet (°C)
Magnetit (Fe_3O_4)	0,3–2,0	578
Titanomagnetit ($\text{Fe}_{3-n}\text{Ti}_n\text{O}_4$)	10^6 – 10^1	(–150)–578
Hematit (Fe_2O_3)	$(2-10) \cdot 10^{-4}$	675 (Néel)
Maghemit ($\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$)	0,3–2,0	675 (Néel)
Pirrotin ($\text{Fe}_n\text{S}_{n+1}$)	$(1-10) \cdot 10^{-2}$	300–325

1. táblázat. Ferromágneses ásványok mágneses tulajdonságai [CSÓKÁS 1977; LOGACSOV, ZAHAROV 1979]

Table 1. Magnetic properties of ferromagnetic minerals [CSÓKÁS 1977; LOGACSOV, ZAHAROV 1979]

A kőzetek mágneses szuszceptibilitása a mágneses ásványok szemcseméretétől, formájától és a befoglaló kőzet kémiai összetételétől, a hőmérséklettől, valamint a nyomástól függ. A legnagyobb szuszceptibilitású ásványok (1. táblázat) — a mágneses anomáliák többsége feltételezhetően ezekről származik — Curie-hőmérséklete (a titanomagnetit és pirrotin kivételével) 500–700 °C közé tehető.

Curie-mélység (H_c):

Az erősen mágneses anyagok — közöttük azok a kőzetek, amelyekben ezek az ásványok jelen vannak a földkéregben — csak addig a mélységig kutathatók, amíg a litoszférában a kőzetek hőmérséklete el nem éri a Curie-hőmérsékletet, mert ott a ferromágneses anyagok átalakulnak és paramágnesessé válnak. A földtani kutatásban fontos annak ismerete, hogy milyen mélységig tudunk a földmágneses anomáliák értelmezése során hatókat kijelölni. Ez a mélység a Curie-hőmérsékletnek megfelelő mélység, azaz a Curie-mélység, vagy az ún. Curie-izoterma.

A földmágneses mérések esetén a mágneses kritikus pontban jelentkező nagy (akár nagyságrendekkel is nagyobb) mágneses szuszceptibilitás hatása 500–700 °C-nak megfelelő hőmérsékletnél, a Curie-mélységben jelentkezik, és minél nagyobb a szuszceptibilitás, annál nagyobb amplitúdójú anomáliát okoz, illetve annál kisebb mágneses tömeg szükséges egy felszínen is észlelhető mágneses anomália kialakulásához.

2.2. Elektromágneses alapparaméterek:

Hullámszám (k):

A közeg — amelyen keresztül az elektromágneses hullámok terjednek — alapvető geoelektromos karakterisztikáját a hullámszám (k) adja meg, ami egy komplex szám:

$$k = \sqrt{-i\omega\sigma\mu - \omega^2\epsilon\mu} \quad (3)$$

A képletben megtalálhatók a földtani közeg jellemző fizikai paraméterei, mint elektromos vezetőképesség (σ), mágneses permeabilitás (μ), dielektromos permittivitás (ϵ), és az elektromágneses tér jellemző paramétere a körfrekvencia ($\omega=2\pi f$) vagy frekvencia (f). A földtani közegek elektromágneses indukciós vizsgálatánál $\omega\mu\sigma \gg \omega^2\epsilon\mu$, azaz $\sigma \gg \omega\epsilon$, tehát

$$k = \sqrt{-i\omega\sigma\mu} \quad (4)$$

Szkin-mélység (d_s):

A szkin-mélység megadja, hogy homogén féltérben milyen mélységben csökken le a tér amplitúdója a felszíni érték 1/e-ad részére. A magnetotellurikus méréseknél ez egyszerűen kifejezhető:

$$d_s = \sqrt{2/(i\omega\sigma\mu)} \quad (5)$$

Impedancia (Z):

Az elektromágneses mérések során a mért elektromos és mágneses térkomponensek alapján a váltóáramú ellenállást vagy impedanciát határozzuk meg. A magnetotellurikus méréseknél legegyszerűbb esetben ez a következő:

$$Z_{xy}(\omega) = E_x(\omega)/H_y(\omega), \quad (6)$$

ahol

$E_x(\omega)$ — a felszínen mért ω frekvenciájú elektromos térváltozás x irányú horizontális komponense,

$H_y(\omega)$ — a felszínen mért ω frekvenciájú mágneses térváltozás y irányú horizontális komponense.

A földtani közeg paramétereivel is szoros összefüggésben van az impedancia. Homogén féltér felszínén

$$Z_{xy} = \omega\mu/k \quad (7)$$

Látzólagos elektromos fajlagos ellenállás (ρ_L):

A magnetotellurikus mérések kiértékelése során a látzólagos fajlagos ellenállás értékét (ρ_L) határozzuk meg. A ρ_L értéke azt mutatja meg, hogy adott frekvencián és földtani felépítés mellett mekkora ellenállással lehet jellemezni a heterogén földtani közeget. Az ún. Cagniard-féle ρ_L értéket a magnetotellurikus méréseknél a következőképpen határozzuk meg (ahol $\mu_L = \mu_r \mu_0$, és általános esetben $\mu_r = 1$, tehát $\mu_L = \mu_0$):

$$\rho_L = \frac{|Z_{xy}^2|}{\omega\mu_0} \quad (8)$$

A (8) képletből is láthatjuk, hogy valójában sem a látzólagos fajlagos ellenállás nem határozható meg pontosan a mágneses permeabilitás ismerete nélkül, sem pedig a permeabilitás a fajlagos ellenállás ismerete nélkül. Ez természetesen csak akkor játszik szerepet, ha a relatív mágneses permeabilitás nem egyenlő 1-gyel — pl. mágneses anyag jelenléte esetében a mágneses fázisátalakulás kritikus pontján. Szerepe csak anomálishan mágneses zóna esetén van, egyébként $\mu_L = \mu_0$.

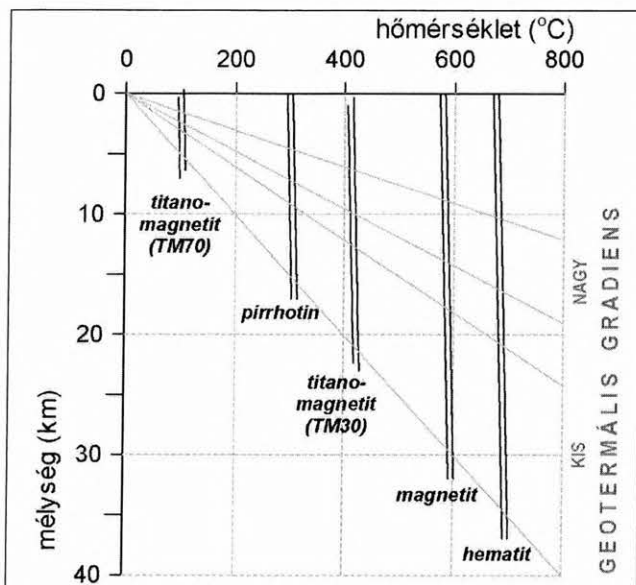
3. A geotermikus gradiens és a Curie-mélység Magyarországon

Hazánk geotermikus adottságai sajátosak, mivel a Magyarországot magába foglaló Pannon-medencében a földkéreg vékonyabb a 30–35 km-es világátlagnál, mindössze 24–26 km vastag, valamint a medence jó hőszigetelő üledékekkel (agyag, homok) van kitöltve. A Föld belsejéből kifelé irányuló hőáram átlagos értéke $90\text{--}100\text{ mW/m}^2$, ami csaknem kétszerese a kontinentális átlagnak — az európai kontinens területén az átlagérték 60 mW/m^2 .

Az egységnyi mélység-növekedéshez tartozó hőmérséklet-emelkedést jelentő geotermikus gradiens átlagértéke a Földön általában $0,020\text{--}0,033\text{ }^\circ\text{C/m}$, nálunk pedig általában $0,042\text{--}0,066\text{ }^\circ\text{C/m}$ (2. ábra). A felszínen kb. $10\text{ }^\circ\text{C}$ a közép-hőmérséklet, az említett geotermikus gradiens feltételezésével 1 km mélységben $60\text{ }^\circ\text{C}$, 2 km mélységben $110\text{ }^\circ\text{C}$ a kőzetek hőmérséklete. A geotermikus gradiens a Dél-Dunántúlon és az Alföldön nagyobb, mint az országos átlag, a Kisalföldön és a hegyvidéki területeken pedig kisebb.

A geotermikus gradiens néhány kilométerre érvényes adataiból csak bizonytalanul lehet meghatározni nagyobb mélységek hőmérsékletét. Ezek az értékek legfeljebb a földkéregre érvényesek és a földkéregben is helyről helyre változnak; a legnagyobb különbségek az óceáni hátságok, ősmasszívumok és fiatal geosinklinálisok között vannak.

A 2. ábra mutatja, hogy a mágneses ásványok Curie-hőmérséklete a geotermikus gradiens alapján milyen mélységben jelentkezik. A Curie-pont nyomásfüggőségét jelzi az ásványok mélységgel növekvő Curie-hőmérséklete.



2. ábra. A Curie-hőmérséklet és Curie-mélység kapcsolata a geotermikus gradiens alapján különböző mágneses ásványok (1. táblázat) esetében (a földi, valamint a magyarországi minimális és maximális geotermikus gradiensek esetén)

Fig. 2. Connection between the Curie temperature and Curie depth — based on the geothermal gradient — for the main magnetic minerals (at the minimum and maximum geothermal gradient of the Earth and Hungary)

Az 2. ábra alapján a Földre átlagosan elmondható, hogy a Curie-hőmérséklet a pirrhotin esetében már 9 km környé-

kén jelentkezhet, és a hematit esetében ugyanez az érték 35 km-es mélység is lehet. A magnetit Curie-hőmérséklete $17\text{--}30\text{ km}$ között található.

A magyarországi geotermikus adatok alapján ezek a mélységek sokkal kisebbek (a legkisebb Curie-mélység 4 km, a legnagyobb 16 km), a magnetit elméletileg feltételezett Curie-mélysége $9\text{--}14\text{ km}$.

A Curie-hőmérséklet értékéhez — elvileg minden földrajzi koordináta esetében — egy meghatározott mélység rendelhető hozzá. Nem ismerjük azonban pontosan a mágneses ásványt, amely a hatást létrehozza, és a geotermikus gradienstről is csak közelítő információink vannak, így nem tudunk ennél pontosabb meghatározást adni. A lineáris mélységfüggés csak durva közelítés, a gyakorlat alapján [RYBACH 2005] ez az összefüggés sokkal bonyolultabb és az adott földtani felépítéstől függően változhat. Ezt tovább bonyolítja a Curie-hőmérséklet és a geotermikus gradiens közötti összefüggést.

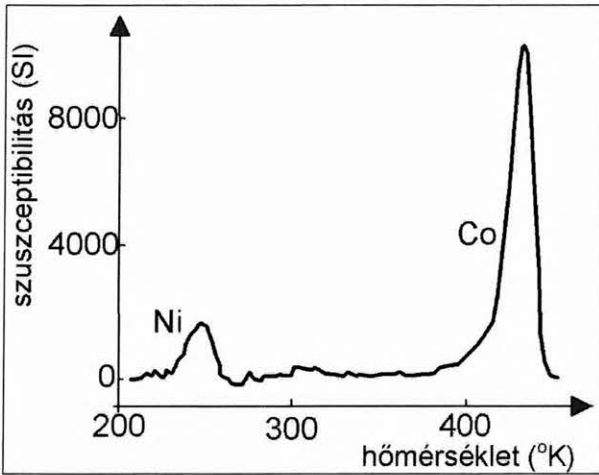
A gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy az ásványok eltérő Curie-hőmérséklete ellenére a kőzetekre „vonatkoztatható” Curie-hőmérséklet — összetételtől függetlenül — $600\text{ }^\circ\text{C}$ alatt van [LOGACSOV, ZAHAROV 1979], ami gyakorlatilag a magnetit Curie-hőmérsékletét jelenti. Ez viszont egyszerűsítheti a Curie-mélység meghatározását.

4. Laboratóriumi kísérletek ferromágneses anyagokon

Az elméleti megfontolások alapján végtelennek feltételezett szuszceptibilitás-növekedést laboratóriumi vizsgálatok segítségével ellenőrizték [RÜDT, BABERSCHKE 2004; LENZ et al. 2004]. A vizsgálatok kimutatták, hogy közvetlenül a kritikus Curie-hőmérséklet alatt, pl. egy rézlemezen elhelyezett ferromágneses nikkell bevonat mágneses szuszceptibilitása rendkívüli mértékben megnövekedik (3. ábra, Ni-csúcs). A Curie-hőmérséklet és a fázisátalakulást jelentő kritikus pont a nikkell bevonat vastagságától és a külső mágneses tér irányától is függ. Az anyagtartalomnak is jelentős befolyása van, amit egy rézlemez két oldalára felvitt, nikkell és kobalt bevonatú mintán kísérletekkel bizonyítottak. A mágneses szuszceptibilitás maximuma mindkét elem Curie-hőmérsékleténél megjelenik (3. ábra, Ni-, Co-csúcsok), eltérő nagysággal. A kísérletek alapján a szuszceptibilitás maximumok $5\text{--}15\text{ }^\circ\text{C}$ -os szélességű zónában jelentkeznek és a szuszceptibilitás értéke néhány 100-tól néhány 1000 SI értékig emelkedik. Ez kb. 3–4 nagyságrenddel nagyobb, mint az ásványok és kőzetek ismert szuszceptibilitása. Figyelembe véve, hogy a kőzetekben a ferromágneses anyag különféle ásványok és ötvözetek formájában van jelen, a Curie-mélység és a kritikus pont hőmérsékleti tartománya sokkal szélesebb is lehet, mint ahogy azt feltételeznénk.

Az első laboratóriumi méréseket, amelyeket a Hopkinson-csúcs kimutatása céljából végeztek kőzetalkotó ásványokon — magnetit és hematit — DUNLOP publikálta [DUNLOP 1974]. Napjainkban — a mai technikai eszközökkel megvalósítható laboratóriumi körülmények között — egyre több adat keletkezik a kőzetalkotók ásványok Hopkinson-csúcsainak jellegzetességeiről. A pirrhotint például [KONTNY et al. 2000], a magnetitet [KONTNY, DE WALL 2000], a titanomagnetitet [KONTNY, VAHLE, DE

WALL 2003] vizsgálta. Érdekesek — és korántsem befejezettek — a fejlemények a kataklízisokkal kapcsolatban [JUST 2004]. Valószínűleg sok mérési eredmény (és mérési körülmény) egyszerűen nem került publikálásra, pedig érdekes lenne ismerni azokat is.



3. ábra. Nikkel-réz-kobalt lemezek mágneses szuszeptibilitásának változása különböző hőmérsékleten, a két ferromágneses anyag a saját Curie-hőmérsékletén jelentkezik [RÜDT, BABERSCHKE 2004]

Fig. 3. Changes of magnetic susceptibility of a Nickel-copper-cobalt ultra thin magnetic layer at different temperature, the ferromagnetic materials give maximum at own Curie temperature [after RÜDT, BABERSCHKE 2004]

5. Geofizikai jelenségek

5.1. Nagy szerkezetekhez kapcsolódó mágneses anomáliák vonulata — mélység és eredet

Magyarország mágneses térképén a fő szerkezeti irányoknak megfelelően hosszán elnyújtott, 20–50 km szélességű, ún. kisfrekvenciás — mélybeli hatótól származó — változó amplitúdójú anomáliák rajzolódnak ki. A mágneses anomáliák egy részének eredetét a földtani és mélyfúrás adatok alapján [ZELENKA et al. 2004] azonosították, ezek a mélyfúrással elért, 1–3 km mélységtartományban megjelenő vulkanitok. A vulkanitok elterjedése és a mágneses anomáliák közötti kapcsolat egyértelműen látszik, de a mélységkülönbség miatt a földtani adatokból ismert vulkanitok csak az ún. nagyfrekvenciás tartományra adnak magyarázatot. Felvetődik azonban annak lehetősége, hogy az 1–3 km-ben jelenlévő vulkanitok nagyszerkezeti mozgások hatására kialakult hasadékokból erednek, amely vulkáni gyökérszónák mentén a bázisos vulkáni anyag kisebb-nagyobb vastagságban még most is jelen van. Lehet azonban másféle magyarázatot is találni, pl. az anomáliákat a metamorfózisnak köszönhetően szerkezeti vonalak mentén — nagy, 5–15 km mélységben — kialakult közettani változások mágneses anyagai is okozhatják (kb. 450 °C-on a vaskarbonátok magnetitá alakulnak át).

A nagy mélységű mágneses hatókra utaló szakirodalom már több is jelent meg, a hazaiak közül meg kell említeni KIS Károly és társai cikkét [KIS, AGOCS, MEYERHOFF 1999], amely a következőket állapítja meg: „Az országos ΔZ adatok alapján, négy regionális 1 km-es

ponttávolságú szelvény mentén elvégzett spektrális vizsgálat a mágneses hatók legnagyobb mélységét 6–16 km-ben (néhány helyen 25 km-ben) határozták meg, feltételezve, hogy ez már a Curie-izoterma mélysége.”

Ha a mágneses hatóként jelentkező kőzetek átlagos szuszeptibilitásával számolunk, akkor nagyon nagy mágneses tömeget, azaz nagy vastagságú összefüggő hatókat kell feltételezni, ami nem valószínű. Adódik a másik lehetséges megoldás, hogy nem a mágneses tömeg nagy, hanem a mágneses szuszeptibilitás értéke, aminek feltételezésére a mágneses fázisátalakulások során történő változások reális alapot teremtenek.

A külföldi publikációban mostanában jelent meg egy cikk a törökországi Curie-mélységekről [ATES, BILIM, BUYUKSARAC 2005], ahol török szerzők a légi mágneses anomáliák és a Curie-hőmérséklet mélységének kapcsolatát vizsgálva megállapították: „A feldolgozási eredmények jó korrelációt mutattak a mágneses adatokból és a hőáram mérésekből meghatározott Curie-mélységek között.”

Feltételezésünk szerint nem azért tudjuk a Curie-mélységet a mágneses anomáliák alapján meghatározni, mert ott megszűnik a ferromágneses anyagok mágnesezettsége, hanem azért, mert a fázisátalakulás során a ferromágneses anyag szuszeptibilitása nagyon nagy értéket vesz fel közvetlenül a Curie-hőmérséklet alatt, s ez az, ami erős anomáliát okoz. A regionális mágneses anomáliák és a Hopkinson-effektus közötti kapcsolat ötlete már 1973-ban megjelent az IAGA Kiotóban megrendezett konferenciáján, majd később publikációban is [DUNLOP 1974].

Felvetéseink ellenőrzésére elvégeztük a magyarországi mágneses anomáliák spektrális elemzését. A földmágneses adatok térképi adatrendszerén (4. ábra) elvégzett spektrális mélység-meghatározások [SPECTOR, GRANT 1970] alapján a legnagyobb hatómélység kb. 15 km-nek adódik (5. ábra).

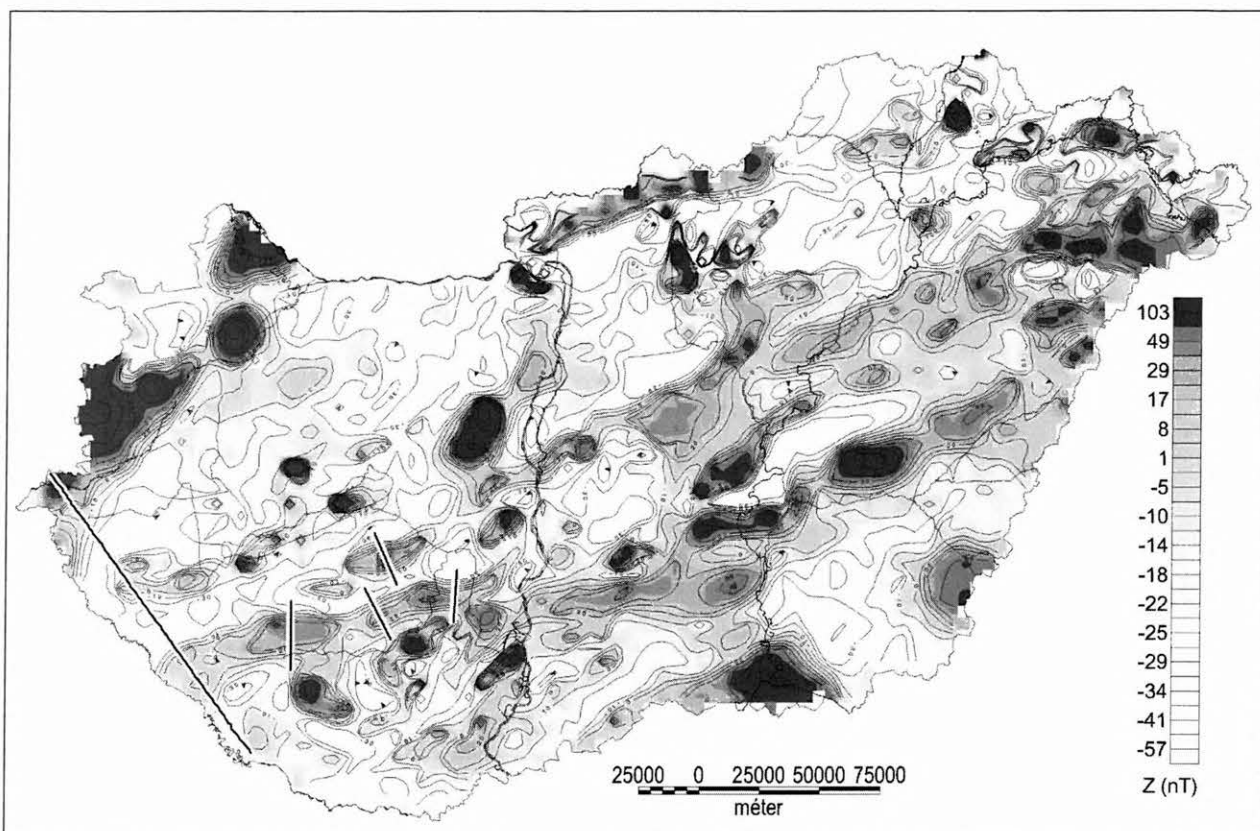
A 4. ábra mágneses térképén, az 5 km-es rácsba interpolálás miatt eltűntek a nagyfrekvenciás és nagy amplitúdójú felszínközeli hatók (pl. Börzsöny, Mátra és Tokaj-hegység), csak a nagyobb mélységű és kisebb amplitúdójú (pl. a Curie-mélységből származó) hatások maradtak meg. Jól kirajzolódik Magyarország nagyszerkezeti képe a mágneses anomáliák alapján.

Négy kisebb dél-dunántúli szelvény mágneses alapadatai alapján (ezeket a 4. ábra jelzi vonalakkal) elvégzett ellenőrző mélységmeghatározások is helytől függően 6–8 km-es legnagyobb kimutatható mélységet adtak (6. ábra), amelyek jól egyeznek a korábban [KIS, AGOCS, MEYERHOFF 1999] által elvégzett vizsgálatok eredményeivel, tehát nem zárható ki, hogy az anomáliák eredete Curie-mélységű (ekvivalens megoldások persze lehetségesek).

A legnagyobb hatómélység, azaz a Curie-mélység magyarországi viszonylatban tehát 6–16 km-es tartományban jelentkezik a spektrális vizsgálatok alapján, a földtani és geotermikus adottságoiktól függően.

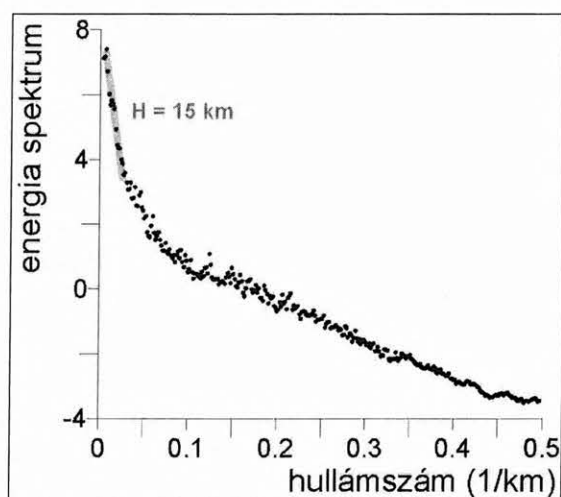
5.2. Jól vezető kéreganomáliák — mélység és eredet

Világszerte nagyon sok helyen találkozunk a középső kéregben (15–20 km) hirtelen vezetőképességnövekedéssel, amit általában nagyon vékony, rendkívül jól vezető zónák okoznak. Az alsó kéregben is számtalan rejtélyes eredetű jól vezetőt mutattak ki az MT mérések, miközben elismert tény, hogy a kontinentális (alsó)kéreg



4. ábra. Magyarország ΔZ anomáliatérképe (5 km-es rács), a szelvény menti spektrális vizsgálatok helyének feltüntetésével

Fig. 4. Magnetic ΔZ anomaly map of Hungary (grid size 5 km) with profiles of spectral depth estimations



5. ábra. Spektrális mélység-meghatározás az országos mágneses ΔZ térkép alapján

Fig. 5. Spectral depth estimation based on magnetic ΔZ map of Hungary

ellenállása a korról arányosan nő. A Föld különböző részein észlelt fajlagos ellenállás adatok alapján az alsó kéreg várhatóan néhány ezer Ωm körülinek tekinthető, míg az alsó kéreg tetejére és a középső kéregre sokkal inkább a néhány száz Ωm -es érték a jellemző. Ennek alapján feltételezhetjük, hogy normális esetben az alsó kéreg ellenállása a 100–1000 Ωm körüli, és ami ettől kisebb vagy nagyobb értékkel jelentkezik, az anomálisnak tekinthető.

Az eddigi vélemények [JONES 2000] szerint az anomáliákat okozhatja:

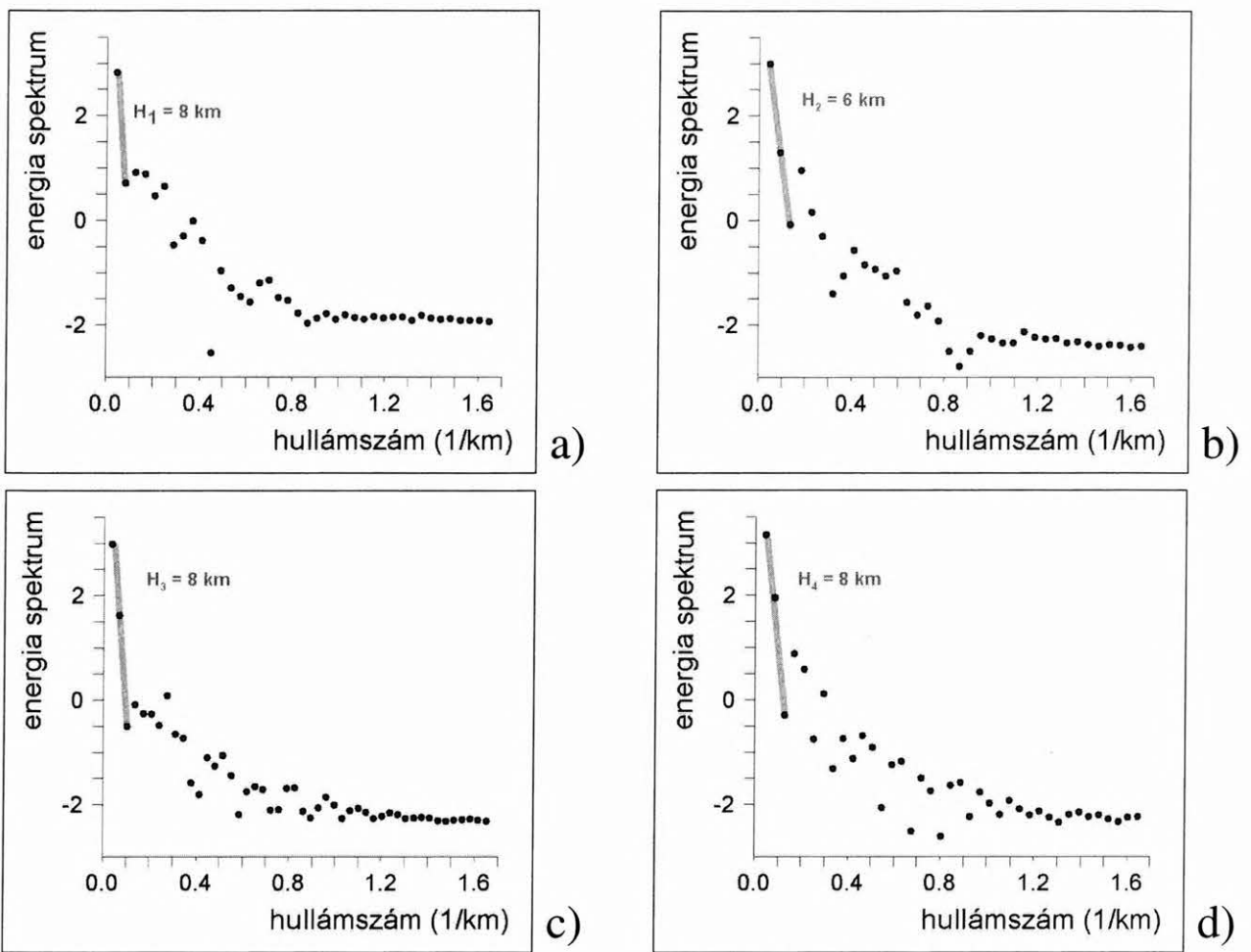
- sós fluidum;
- grafitos filmszerű bevonat;
- jól vezető ásvány;
- részleges kőzetolvadás.

A megfigyelések alapján a régi kristályos pajzsokon sincs minden tekintetben kielégítő magyarázat a 2–3 nagyságrenddel nagyobb vezetőképesség-anomáliák eredetére [JONES 1992; 2000].

Vezetőképesség-anomáliákat találunk például a Kárpátok íve mentén 10–20 km mélységben [ÁDÁM et al. 1990; BUCHA 1980], vagy a Himalája alatt is az MT mérések alapján [UNSWORTH et al. 2004], hogy csak a legérdekesebbeket említsük, ezeknek nincsen még általánosan elfogadható földtani magyarázatuk.

A elektromágneses mérések esetében a mágneses szuszceptibilitás hatásának figyelembevétele — a ferromágneses anyagok megnövekedett szuszceptibilitása a Curie-hőmérséklet elérése előtt — teljesen természetes magyarázatot adhat a kéregbeli jól vezető zónák kialakulására.

A magnetotellurikus anomáliát a komplex k hullámszám csak részben, a közegbeni csillapodásra vonatkozóan írja le. A kritikus állapotban lévő mágneses test vízszintes felületeire vonatkozó tangenciális mágneses térerősség határfeltételi egyenlet nem k , hanem k/μ , azaz σ/μ helyett σ/μ konstans voltát követeli meg. Következésképpen egészen bonyolult anomáliaképek jönnek létre. Egydimenziós közegben például a Curie-mélységben egy vékony mágne-



6. ábra. Spektrális mélység-meghatározások négy rövid szelvény spektruma alapján

Fig. 6. Spectral depth estimations along four short profiles

ses réteg a hagyományos magnetotellurikus értelmezés számára igen nagy fajlagos ellenállású és vastag rétegnek látszik. Többdimenziós ható függőleges határfelületeire ugyanakkor E-polarizációban a B indukciós vektor felületre merőleges komponensének folytonossága is felírandó, míg H-polarizációban kizárólag a H tangenciális komponensének folytonossága. Ilyen módon — a határfelületi egyenletekben a μ nem egyforma előfordulása miatt — a Curie-mélységben lévő kritikus állapotú mágneses ható H-polarizációban ellenállás-növekedést, míg E-polarizációban ellenállás-csökkenést, azaz vezetőképesség-növekedést okoz. Az egy- és többdimenziós magnetotellurikus anomáliákkal egy külön tanulmányban érdemes foglalkozni.

A CEL-7 litoszféra-kutató komplex szelvény mentén elvégzett magnetotellurikus mérések [SZARKA et al. 2004] több helyen is 8 km alatti mélységben jól vezető anomáliákat mutattak ki (7. ábra).

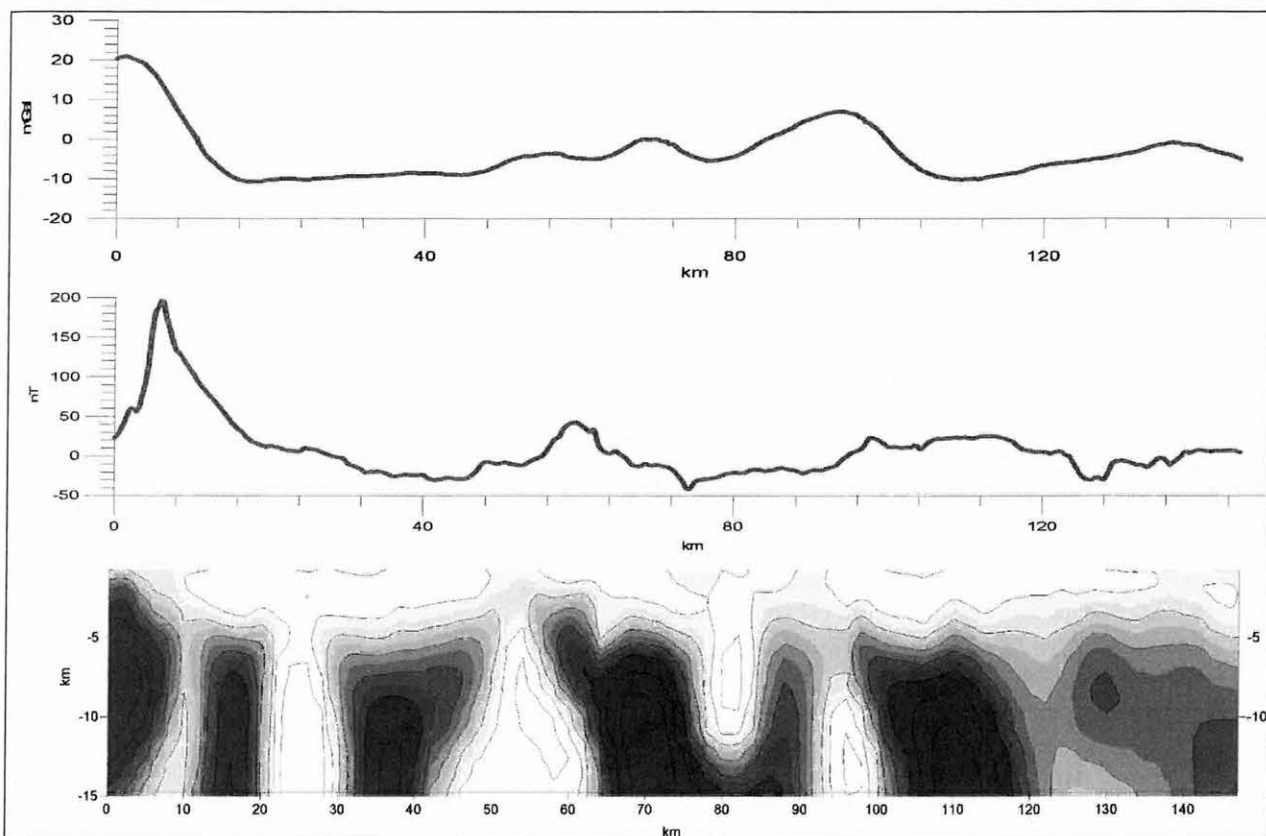
A szelvény 60. km-e környékén jelentkező jól vezető kéreganomália például a mágneses anomáliával azonos helyen jelentkezik. A mágneses anomália spektrális vizsgálata alapján a szelvény legmélyebb mágneses hatója 8 km mélységű (8. ábra).

Mágneses 2D modellezéssel teszteltük az eredményeket. A modellezés azt mutatja, hogy egy 10 km mélységben található 500-500 m keresztmetszetű, a szelvényre merőleges, 10 km hosszúságú ható az ultrabázisos kőzetek

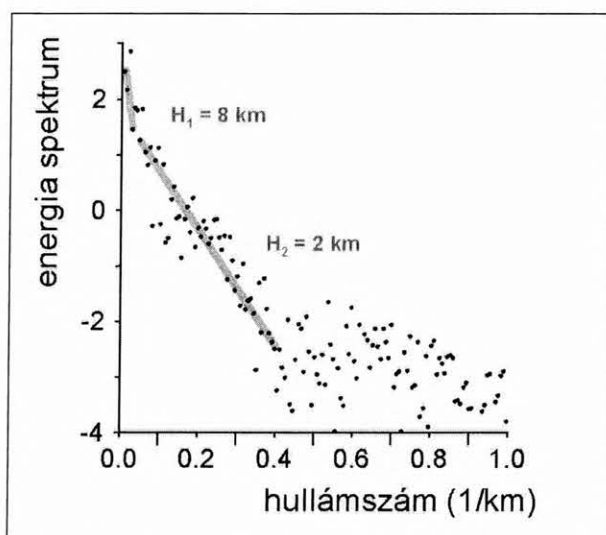
szuszeptibilitásánál kb. egy-két nagyságrenddel nagyobb szuszeptibilitással már leírja az anomáliát. A 9. ábra a Curie-mélységben elhelyezkedő kis térfogatú, de nagy mélységű mágneses hatónak — vízszintesen elnyúlt négyzetes hasábnak — a modellezett anomáliáját mutatja a CEL-7 szelvény mentén.

6. Összefoglalás

Ha a jól vezető kéreg-anomáliákat és mély mágneses hatásokat összevetjük, akkor az tapasztaljuk, hogy mindkét jellegzetesség ugyanabban a mélységtartományban jelenik meg, és mindkét jelenség rendkívülinek tekinthető. Az elektromágneses MT mérések esetében azért, mert bár vannak fizikailag jól megalapozott feltételezések, ennek ellenére nem tudjuk pontosan a jól vezető anomáliák eredetét. A másik esetben egy vonal menti mérés eredményeként egy olyan mágneses ható hatását detektáljuk, ami spektrális mélységbecslés alapján nagymélységű, ebből következően viszont az ismert mágneses szuszeptibilitásoknál jóval nagyobb szuszeptibilitású. E jelenségek egyik lehetséges új magyarázata lehet a Curie-hőmérséklet közelében megjelenő fázisátalakulás és az ehhez kapcsolódó megnövekedett mágneses szuszeptibilitás (Hopkinson-effektus).

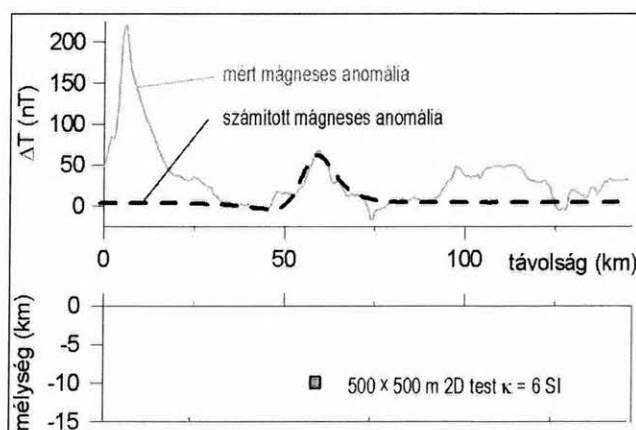


7. ábra. Gravitációs (felül), mágneses (középen) anomáliák és magnetotellurikus invertált ellenállásszelvény (alul) a CEL-7 mentén
 Fig. 7. Gravity (top), magnetic (middle) anomalies and magnetotelluric resistivity pseudosection (below) along the CEL-7 profile



8. ábra. CEL-7 szelvény mágneses spektrum analízise és a jellemző mélységek
 Fig. 8. Spectral depth estimation and the typical depths along CEL-7 profile

Ha a Curie-mélységben vulkáni vagy metamorf eredetű mágneses anyag található, akkor az ott jelentkező fázisátalakulás miatt a mágneses szuszceptibilitás egy (vagy több — nem tudjuk pontosan) nagyságrenddel megnövekedhet. Ez a megnövekedett szuszceptibilitás lehet az oka a korábban kizárólag jól vezetőknél tulajdonított kéreg-



9. ábra. Mágneses 2D modellezés a CEL-7 mentén. (A mérési adatok görbéjére a szelvény 60. km-énél jól illeszkedik egy 10 km mélységű, 500-500 m-es keresztmetszetű négyzetes hasáb modellezett mágneses anomáliája)

Fig. 9. Magnetic 2D modelling along the CEL-7 profile. (The measured magnetic anomaly curve at 60 km has a good coincidence with the calculated anomaly of a square shape, 500x500 m body in 10 km depth)

anomáliáknak, de ez okozhatja a jellegzetes sávós anomáliákat az országos mágneses anomáliatérképen, amelyek spektrális mélysége szintén Curie-mélység körüli.

A Curie-hőmérséklet körüli, fázisátalakulással jellemezhető sáv mélybeli kiterjedése nem túl nagy, néhány száz 100 m (5–15 °C körüli), mégis a fázisátalakulás okozta

hatás a mágneses anyagok eltérő Curie-hőmérséklete miatt jelentős lehet, és bizonyos geofizikai paraméterek drasztikus megváltozását okozhatják.

7. Köszönetnyilvánítás

A cikk megírásához, az elemzések elvégzéséhez felhasznált adatok az MGSZ és az ELGI országos mágneses és magnetotellurikus adatbázisaiból származnak. Kutatási eredményeink több pályázati munkához, tudományos kutatáshoz kapcsolódnak, például:

— OTKA T 037694 — „Új irányzatok a magnetotellurikában”;

— OTKA TS 408048 — „Földi elektromágnesség”;

— Erőtér-geofizikai módszertani kutatások (ELGI).

Köszönet KÁDÁR Györgynek (MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet, Budapest), ÁDÁM Antalnak (MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet, Sopron) és MÁRTONNÉ SZALAY Emőkének (Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, Budapest) a szakmai kérdésekben és a szakirodalom felkutatásában nyújtott segítségért, valamint minden kollégának, aki adatokkal, tanácsokkal közvetve vagy közvetlenül a segítségünkre volt a vizsgálatokban.

HIVATKOZÁSOK

- ÁDÁM A., STEINER T., KAIKKONEN P., MENVILLE M., TARITS P. 1990: Torzítyják-e a magnetotellurikus teret a Kárpáti elektromos inhomogenitások a Pannon-medencében? *Geophysical Transactions* **35**, 4, 287–299
- ATES A., BILIM F., BUYUKSARAC A. 2005: Curie Point Depth Investigation of Central Anatolia, Turkey. *Pure and Applied Geophysics* **162**, 357–371
- BUCHA V. 1980: Geomagnetism of the external flysch Czechoslovakian Carpathians and the possible causes of anomalous geophysical manifestations. *Studia geoph. et geod.* **24**, 227–251
- BUDÓ Á. 1979: Kísérleti fizika. Tankönyvkiadó, Budapest
- CSÓKÁS J. 1977: Geofizika I. Gravitációs és mágneses módszerek. Tankönyvkiadó, Budapest
- DUNLOP D. J. 1974: Thermal Enhancement of Magnetic Susceptibility. *J. Geophys.* **40**, 439–451
- GESZTI T. 2004: Termodinamika, fázisátalakulások. <http://galahad.elte.hu/~geszti/okt/termo7.pdf>
- GOULD H., TOBOCHNIK J. 2005: Introduction to Computer Simulation Methods: Applications to Physical Systems, Ferromagnetic phase transition. <http://www.ibiblio.org/e-notes/Perc/trans.htm>
- HOPKINSON J. 1889: Magnetic and other physical properties of iron at a high temperature. *Philos. Trans. R. Soc.* 443–465
- JONES A. G. 1992: Electrical conductivity of the continental lower crust, *In* D. M. FAMTAIN., R. J. ARCULUS, R. W. KAY (Eds): *Continental lower crust*. Elsevier, 81–143
- JONES A. G. 2000: MTNet — Discussion Forum: Continental Lower Crustal Conductivity. <http://www.cg.nrcan.gc.ca/mtnet/fora/clc/clc.html>
- JUST J. 2004: Modification of magnetic properties in granite during hydrothermal alteration (EPS-1 borehole, Upper Rhine Graben). *Disszertáció*. Ruprecht-Karls Egyetem, Heidelberg
- KAGANOV M. I., CURKERNYIK V. M. 1982: *Priroda magnyetizma*, Nauka, Moszkva
- KIS K. I., AGOCS W. B., MEYERHOFF A. A. 1999: Magnetic sources from vertical magnetic anomalies. *Geophysical Transactions* **42**, 3–4, 133–158
- KISS J., SZARKA L., PRÁCSER E. 2005: Second-order magnetic phase transition in the Earth. *Geophysical Research Letters* (submitted)
- KITTEL C. 1981: Bevezetés a szilárdtest-fizikába. Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- KONTNY A., DE WALL H. 2000: The use of low and high k(T)-curves for the characterization of magneto-minerological changes during metamorphism. *Phys. Chem. Earth* **25**, 421–429
- KONTNY A., DE WALL H., SHARP T. G., PÓSFALAI M. 2000: Mineralogy and magnetic behaviour of pyrrhotite from a 260 °C section at the KTB drilling site, Germany. *American Mineralogist* **85**, 1416–1427
- KONTNY A., VAHLE C., DE WALL H. 2003: Characteristic magnetic behaviour of subareal and submarine lava units from the Hawaiian Scientific Drilling Project (HSDP-2). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* **4**, 10, 1029/2002GC0003304
- LENZ K., LINDER J., KOSUBEK E., BABERSCHKE K. 2004: SFB290 TP A2 UP I: Ferromagnetic Resonance (FMR). <http://www.physik.fu-berlin.de/~ag-baberschke/sfb290/TPA2up1.html>
- LOGACSOV A. A., ZAHAROV V. H. 1979: *Magnyitorazvedka*. Moszkva, Nyedra
- MATVEJEV B. K. 1990: *Elektrorazvedka*. Nyedra, Moszkva
- RÜDT C., BABERSCHKE K. 2004: SFB290 TP A2 UP II: ac-susceptibility in UHV. <http://www.physik.fu-berlin.de/~ag-baberschke/sfb290/TPA2up2.html>
- RYBACH L. 2005: Sekély és mély geotermikus energiaforrások — státusz és kilátások (EGS program — <http://www.eere.energy.gov/geothermal/pdfs/egs.pdf>, EGS program in Soultz, Franciaország — <http://www.soultz.net>. Az ELTE Geofizikai Tanszéke és a Magyar Geofizikusok Egyesülete Egyed László Szemináriumi előadása, Budapest, 2005. április 5.
- SPECTOR A., GRANT F. S. 1970: Statistical models for interpreting aeromagnetic data. *Geophysics* **35**, 293–302
- SZARKA L., ÁDÁM A., KISS J., MADARASI A., NOVÁK A., PRÁCSER E., VARGA G. 2004: Magnetotelluric images from SW-Hungary, completed with gravity, magnetic and seismic measurements. 17th EM Induction Workshop, Hyderabad, India
- UNSWORTH M., WENBO W., JONES A. G., LI S., BEDROSIAN P., BOOKER J., SHENG J., MING D., HANDONG T. 2004: Crustal and upper mantle structure of northern Tibet imaged with magnetotelluric data. *Journal of Geophysical Research* **109**
- ZELÉNKA T., BALÁZS E., BALOGH K., KISS J., KOZÁK M., NEMESI L., PÉCSKAY Z., PÜSPÖKI Z., RAVASZ CS., SZÉKY-FUX V., UJFALUSSY A. 2004: Buried Neogene volcanic structures in Hungary. *Acta Geologica Hungarica* **47**, 2–3, 177–219

INTERMAGNET: globális geomágneses rendszer¹

GEOMÁGNESES-AERONÓMIAI KÖZÖSSÉG²

GEOMAGNETIC-AERONOMIC GROUP: INTERMAGNET: a global geomagnetic network

A tanulmány első része a geomágneses tevékenység leírásának fejlődését ismerteti, utalva a mindenkori felhasználási lehetőségekre. Kitér az aeronómiai hálózatok szerepére is. A második rész az INTERMAGNET és más mai együttműködési szervezetek adatszolgáltatásával foglalkozik. A harmadik rész magyar kutatók (MTA GGKI és ELGI) olyan eredményeit ismerteti, amelyek geomágneses hálózati adatokon alapulnak.

1. A geomágneses hálózatok létrejötte, szerepe

A geomágnesség történetének kiemelkedő időszaka volt a 17. század eleje, sőt a tudományterület kezdetét is számlíthatjuk ettől az időtől: 1600-ban jelent meg GILBERT könyve, az első, a geomágnességgel foglalkozó könyv *A Föld mint mágnes* címmel. 1616-ban vette észre GELLIBRAND, hogy az egyik geomágneses elem, a deklináció, időben változik. Végül, de ezektől szinte függetlenül, GALILEI felfedezte a napfoltokat, amelyek később a rövidebb periódusú geomágneses változások egyik, sőt talán legfontosabb forrásának bizonyultak.

A 17. század második felében az érdeklődés lanyhult ezek iránt a jelenségek iránt. Egyrészt a harmincéves háború pusztításai általában is csökkentették a tudomány iránti érdeklődést, másrészt pedig ekkor következett be a Maunder-minimum, amikor vagy fél évszázadon át alig látszott napfolt. Ennek az időszaknak és az ugyanakkor bekövetkezett „kis jégkorszaknak” a kapcsolatát a mai napig is vizsgálják.

1719-ben rendkívül erős sarki fény jelent meg Európa nagy része felett, óriási riadalmat okozva. Nem tudjuk pontosan, mikor és hogyan vetődött fel a sarki fény és a geomágneses változások közötti kapcsolat lehetősége. Viszont az 1730-as években a svéd CELSIUS és angol kol-légája egyidejű geomágneses méréseket végzett Uppsala és Greenwich között — ez tekinthető az első geomágneses hálózatnak. Percenként olvasták le a mágnesű helyzetét, hiszen más regisztrálási lehetőség nem volt. Ennek tudható be, hogy Greenwichben a vihar sokkal nagyobbak látszott, mint Uppsalában, mert a déltájban adódott legnagyobb kitérés idején a svéd észlelő elment ebédelni. Ennek ellené-re ez a mérés mutatta meg, hogy nem elszigetelt, helyi jelenségről van szó. Emellett CELSIUS már a vihar és a sarki fény kapcsolatára is gondolt méréseik nyomán.

Érdemes megemlíteni a selmecbányai születésű HELL Miksát, aki Nagyszombat és Bécs között szervezett a jezsuita rendházakban egyidejű sarkifény-megfigyeléseket azok magasságának meghatározására. A kapott érték messze felülmúlta a légkör akkor feltételezett vastagságát. Később, észak-norvégiai csillagászati célú útja alatt sok sarki fényt figyelt meg, de sajnos, mágnesűje elromolhatott a viszony-

tagságos út alatt, mert nem talált kapcsolatot a mágneses viharokkal.

Az 1800 körüli években ismét nagy volt az érdeklődés a geomágnesség iránt. Alexander von HUMBOLDT dél-amerikai expedíciója során végzett ugyan mágneses összehasonlító méréseket, de csak a mágnesű lengésidejét mérte, így megfelelő módszer híján nem tudta meghatározni a mágnesű abszolút értékét. Ezért hazatérte után megkérte barátját, GAUSS-t, alkosson erre módszert. Az eredmény az eltérítési kísérlet, a Gauss-féle főhelyzetek lettek. GAUSS érdeklődése a geomágnesség iránt vezetett a gömbfüggvények alkalmazásához is.

HUMBOLDT előtt Dél-Amerikában, Brazíliában egy SZENTMÁRTONYI nevű magyar jezsuita misszionárius végzett elsőként geomágneses méréseket.

GAUSS tevékenységének köszönhető az első geomágneses szervezet, a *Göttinger Magnetischer Verein* 1834-es megalapítása is. Ebben fiatal munkatársa, tanítványa, WEBER volt segítségére. Világszerte sok mágneses obszervatórium kapcsolódott be a mérésekbe, természetesen még mindig a mágnesű helyzetének percnkénti leolvasása útján. A siker elsősorban annak volt köszönhető, hogy az angol birodalom és a cári Oroszország is csatlakozott. A budai csillagda is részt vett a megfigyelésekben. Egyetlen, máig is felül nem múlt esetre kell hivatkoznom: 1861-ben az indiai Alibag obszervatóriumában 1600 nT-s vihart észleltek, amelyhez mérhető azóta sem tapasztaltak. Ugyanebben az időben észlelt Balfour STEWART a Na-pon fehér flert, majd rögtön mágneses változást is. A geomágneses tevékenység, a naptevékenység és a sarki fény kapcsolatát hosszú adatsorok révén mutatták ki, mert mindegyikben megjelent a 11 éves napciklus (és a Nap 27 napos körülfordulási ideje).

A Göttingeni Egyesület után a második nagy vállalkozás az 1882–83-as sarki év volt. Az Osztrák–Magyar Monarchia részeként mi is részt vettünk ebben, pontosabban a PAYER és WEYPRECHT vezette sarki expedíciónak magyar orvosa volt. A mérések a sarki területekre összpontosultak, mivel ekkor már ismert volt, hogy a sarkifény-övben sokkal nagyobbak a geomágneses változások. A viszonylag sok sarki állomás lehetővé tette a mágneses viharok és a sarki fény eloszlásának, morfológiájának alaposabb megismerését.

Mindeddig a geomágneses tevékenység iránti érdeklődés inkább tudományos kíváncsiság, mint gyakorlati jelentőségű kutatás volt. A hosszú távíróvezetékek, elsősorban a transzatlanti kábelek lefektetésével azonban megjelentek az első, bár zavarónak aligha nevezhető furcsa jelenségek, így tápfeszültség nélkül is működött a távíró geomágneses

¹ Előadta az MTA Földtudományi Osztályának közgyűlési rendezvényén 2005 májusában Verő József és Wesztergom Viktor.

² A Közösség további tagjai: az MTA GGKI-ban Bencze P., Bór J., Koppán A., Lemperger I., Márcz F., Martini D., Prodán T., Sántori G., Szendrői J., Wallner Á., Zieger B., az ELGI-ben

viharok alatt. Magyarországon FRÖLICH Izidor É–D és K–Ny (Brassó–Sopron) között mérte folyamatosan a spon-tán feszültséget.

Ebben az időben már megjelent a fotografikus regisztrálás, evvel a folyamatos mérés sokkal egyszerűbbé vált, de egyes esetekben még itt-ott alkalmazták a szemmel való leolvasást is.

Egyre gyakoribbak lettek az alkalmi összemérések. Így a holland VAN BEMMELEN a 20. század elején Batavia, a mai Dzsakarta és a Peking melletti Zi-ka-wei adatai alapján állapította meg, hogy a pulzációk nem töltött felhők mozgása, tehát meteorológiai okok miatt jönnek létre, hanem nagy területen egyszerre jelentkeznek. ANGENHEISTER München és az akkor német gyarmat Szamoa szigetén, Apiában végzett mérésekkel kimutatta, hogy az éjszakai pulzációk (P_2) a két féltekén egyszerre lépnek fel.

Az 1914–18-as világháború és az azt követő zavaros viszonyok nem kedveztek a nagy hálózatok létesítésének. Viszont volt két olyan rokon terület, amelyen éppen ekkoriban komoly fejlődés játszódott le.

A Nap extrém ultraibolya- és röntgensugárzásának a légkör felső részével való kölcsönhatása 90–150 km közötti magasságban töltött részecskéket tartalmazó tartományt, az ionoszférát hozza létre. Ebben a dinamóhatás kelti a napról napra ismétlődő napi geomágneses változást. A felső légkörben folyó áramokra már GAUSS és Balfour STEWART is gondolt. A rádióhullámok felfedezésével, illetve MARCONI 1901-es transzatlanti rádióösszeköttetésével fejlődni kezdett ez az elképzelés. Már 1902-ben KENNELLY és HEAVISIDE feltételezte az ionoszféra létét. A rádióhullámok erről a rétegről visszaverődnek. Ennek alapján 1912–14 között Lee DE FOREST és FULLER a San Franciscó-i Fedora távközlési cég keretében a visszavert hullám terjedési idejéből meghatározta az ionoszféra magasságát. Ezek a mérések nem váltak közismertté, így az ionoszféra szondázásának kezdeményezőiként BREIT és TUVE (1923), illetve APPLETON és BARMEN (1925) szerepel a köztudatban. BREIT és TUVE berendezése a harmincas években terjedt el, létrejöttek az ionoszféra-állomások. A legtöbb, mintegy 400, a Nemzetközi Geofizikai Év alatt működött egy világhálózat keretében. Magyarországon 1957-től indultak el ilyen mérések az Országos Meteorológiai Intézet keretében, ma a méréseket az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet nagycenki obszervatóriuma folytatja.

A másik ilyen rokonterület a légköri elektromosság, elsősorban a légköri elektromos potenciálgradiens mérése, amelyet akkoriban teljesen meteorológiai jelenségnek vélték. Ezen a téren az első méréseket a 18. század második felében a Mont Blanc megmászója, a francia SAUSSURE végezte. Folyamatos mérésre 1861-től Kew-ben került sor, THOMSON (Lord KELVIN) kezdeményezésére. A húszas években a Carnegie Intézet hajói végigmérték a világ óceánjait, világidőben megadott mérési időpontokat használva, s így megkapták a globális napi átlagos menetet, amelyet ma is használnak. Az extraterresztrikus hatások kimutatására később került sor. A légköri elektromos paraméterek mérése is Nagycenken folyik a hatvanas évek elejétől.

A harmincas években, a kevés eredményt hozó 1932–33-as második sarki év után több tekintetben is jelentősen átalakult a geomágneses mérések módszere és szerepe. Három irányban is szükséges volt az adatgyűjtés.

Az első terület a szekuláris változás nyomon követése. Ehhez hosszú adatsorokra van szükség, akár évszázadokra visszamenően, másrészt pedig stabilis abszolút értékre. A legrövidebb ismert szekuláris jellegű változás a jerk, 2–3 évig tart és néhány nT nagyságú — ez jelzi azonosításának nehézségét.

A második terület némileg öncélú, ezek a geomágneses obszervatóriumok évkönyveiben megjelenő órás értékek. Bár felhasználásuknak vannak lehetőségei mind a szekuláris változás, mind a geomágneses tevékenység esetében, mégis szerepük az obszervatóriumok működésének bizonyítása. Természetesen azért vannak olyan paraméterek, mint például a köráram erősségét jellemző Dst, amely viszont éppen ezekből kapható meg.

A harmadik terület a geomágneses tevékenység. Ezt a geomágneses évkönyvek részben egyes jelenségek (vihar, fler hatás, pulzációk, impulzusok) adatainak megadásával oldják meg, másrészt pedig geomágneses indexek meghatározása révén. A mai geomágneses indexek zöme éppen a harmincas években alakult ki.

Az első elterjedt napi tevékenységi indexet CHREE gondolta ki a 20. század elején. Minden részt vevő obszervatórium az egyes napok zavartságát 0, 1 és 2 indexszel jellemezte, ezeket átlagolva kaptak egy „planetáris” indexet, 0,1 pontossággal. Az egyes állomások a megadott időközön belüli maximális és minimális érték közötti különbség alapján határozzák meg az indexet. A nehézség elsősorban kis tevékenység esetén jelentkezik, mert a szabályos napi járást nem lenne szabad elvileg figyelembe venni, kiküszöbölése viszont nehéz, különösen automatizált meghatározás esetén. A német BARTELS fejlesztette tovább ezt a módszert, egyrészt 3 órára csökkentette a meghatározás időközét, részletes szabályokat adott a napi járás hatásának csökkentésére, a skálát 0–9 közé tágította, megszabva az egyes indexek határát az állomás (geomágneses) szélességtől függően. A lépték nagyjából logaritmikus lett. Az így kapott helyi K indexeket a Nemzetközi Geomágneses és Aeronómiai Asszociáció (IAGA) szervezésében gyűjtik a részt vevő obszervatóriumoktól, majd megbízásából számolják — ma Franciaországban — a „planetáris” K_p indexeket, amelyek hivatva vannak a tevékenység helyi időtől függő napi változásának és a két félteke közötti esetleges aszimmetriának a kiküszöbölésére. A K_p index 0o, 0+, 1-, 1o...8+, 9-, 9o értéket vehet fel. Belőlük közel exponenciális invertálással származnak az A_p és más hasonló indexek.

Sok kísérlet történt ezeknek az indexeknek a pontosítására, így az északi és déli féltekére MAYAUD külön indexeket javasolt és számított. A legnagyobb problémát mégis egyes obszervatóriumok áthelyezése, vagy éppen megszűnése okozza. Ezt indokolhatja a hely elektromágneses zavartságának növekedése, vagy politikai változások. Afrikában a gyarmati hatalmak létesítette obszervatóriumok szinte kivétel nélkül megszűntek. A sarkifény-övezetbeli tevékenységet leíró AE index 6, egyforma távolságra eső állomása közül az egykori szovjet állomások fenntartása csak nemzetközi segély révén sikerült (hogy a személyzet „sarki pótlékát” ki lehessen fizetni).

Érdeemes evvel kapcsolatban a magyar geomágneses obszervatóriumokról szót ejteni. A 19. század vége felé KONKOLY-THEGE ógyallai csillagvizsgálójában indultak meg és folytak az első világháború végéig a mérések. A Felvidék

visszacsatolása után újra megindult a munka, majd ezt a szlovákok folytatták a Hurbanovo nevet kapott állomáson. Az 50-es évek elején BARTA György létesített az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (ELGI) keretében Budakeszin ideiglenes, majd Tihanyban végleges obszervatóriumot (1. ábra). Eltérő programmal KÁNTÁS Károly, illetve az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézete (GGKI) 1957-ben létesített Nagycenkén egy második mérőhelyet (2. ábra). Mindkét obszervatórium ma is működik.



1. ábra. ELGI Geofizikai Obszervatórium, Tihany



2. ábra. MTA Széchenyi István Geofizikai Obszervatórium, Nagycenk

Az 1957–58-as Nemzetközi Geofizikai Év (NGÉ) során jelentősen nőtt az obszervatóriumi hálózat. Előzőleg 50-re tehető számuk, a csúcserték a NGÉ alatt 150 körül volt. Sajnos, a tényleges szám nehezen állapítható meg, mert gyakran az elvileg létező obszervatóriumból semmiféle adatot nem lehet kapni. Az NGÉ ideiglenes állomásai közül nagyon sok az északi, és mint újdonság, jó néhány a déli sarkvidéken települt. Ennek volt eredménye, hogy a sarkfény-övezetbeli geomágneses tevékenységre jellemző AE index adatsora nagymértékben tökéletesedett, s ennek segítségével tisztázni lehetett a szubviharok keletkezésének, lefolyásának több kérdését is. A negyvenes-ötvenes

években amúgy is nőtt az érdeklődés a geomágneses változások iránt. A Schlumberger cég megindította a tellurikus módszerrel végzett földtani kuta-tásokat. Madagaszkáron és Venezuelában dolgozó csoport-jaik mérési anyaga lehetővé tette egyes jelenségek nagy távolságban való azonosítását. Ennek a kutatásnak irányítója a magyar KUNETZ Géza volt. Hasonló összemérést végzett Peking és Sopron között 1955-ben ÁDÁM Antal. Ezekkel a kis hálózatokkal szét lehetett választani a globális és a helyi időtől függő hatásokat, ami elsősorban a pulzációk kutatásában jelentett előrelépést.

A másik, új eredményekhez vezető terület a földrengések előrejelzése volt. Nem mintha meg lehetett volna oldani ezt a problémát, de az 1947-es pusztító ashabadi földrengés után a Szovjetunió Közép-Ázsiában több állomást létesített, s ezek munkatársai közül nőtt ki V. A. TROICKAJA, aki egyebek között felvetette a pulzációk világszerte egyidejűleg való megjelenésének ötletét. Bár ez csak részben bizonyult helyesnek, de erjedést indított el ezen a kutatási területen.

A hatvanas évektől kezdve alapos változás következett be a geomágneses kutatásokban. Megjelentek az üreszközök, ezekhez azonban részletes földi mérésekre is szükség van, mert a mesterséges holdak egyszerre jeleznek időbeli és térbeli változásokat, emiatt a csatlakozó földi állomáshálózat szerepe megnőtt. A mesterséges bolygók pedig a bolygóközi tér paramétereit adják meg, ezek alapján lehet azok felszíni hatását kimutatni. Ugyanekkor az elektromágneses zavartság fokozódása, a zavartság új formáinak megjelenése alaposan csökkentette a működő geomágneses obszervatóriumok számát: ma hivatalosan is 100-nál kevesebb létezik, ténylegesen még kevesebb.

A megfelelően nagy időfelbontású, zavarmentes regisztrátumok iránti igény szükségszerűen vezetett el egy geomágneses obszervatóriumi világhálózat kialakulásához. Ez a hálózat, az INTERMAGNET, hosszú vajúdas után az 1990-es években jött létre.

2. Az INTERMAGNET és más mai hálózatok

A mai globális geomágneses hálózat, az INTERMAGNET kialakulása a különböző geomágneses indexek, elsősorban a K_p és az AE meghatározásához használt és az illetékes nemzetközi szervezet, az IAGA által egybefogott obszervatóriumok kezdeményezésére indult meg akkor, amikor a digitális regisztrálás kezdett általánossá és így a regisztrátumok könnyen sokszorosíthatóvá válni. Az indexek meghatározására azonban az INTERMAGNET-től függetlenül megmaradt a régebbi szervezet.

A hálózatnak minél nagyobb térbeli és időbeli lefedést kellene biztosítania. A geomágneses változások spektruma rendkívül széles, millió éves periódusoktól MHz-es, sőt GHz-es frekvenciákig terjed, sőt a szűkebb értelemben vett „obszervatóriumi” adatok spektruma is több száz évtől (szekuláris változás) néhány Hz-ig (gyöngypulzációk, légköri kisülések) tart, még akkor is, ha nem soroljuk ide az olyan nagyfrekvenciás jeleket, mint a whistlerok. Természetesen egyfajta mintavételi távolsággal nem fogható át ez a spektrum, az INTERMAGNET csak a néhány perctől évekig-évtizedekig terjedő periódustartományt fogja át, más frekvenciatartományokban külön hálózatokra van szükség.

Ehhez még hozzá kell tennünk, hogy az időben visszafelé való meghosszabbításra állandó törekvések vannak, egyrészt régi magnetogramok digitalizálásával, másrészt egyéb módszerekkel, így régebben meghatározott tevékenységi indexek felhasználásával igyekeznek minél hosszabb idősorokat létrehozni. Erre vonatkozó példát be fogunk mutatni.

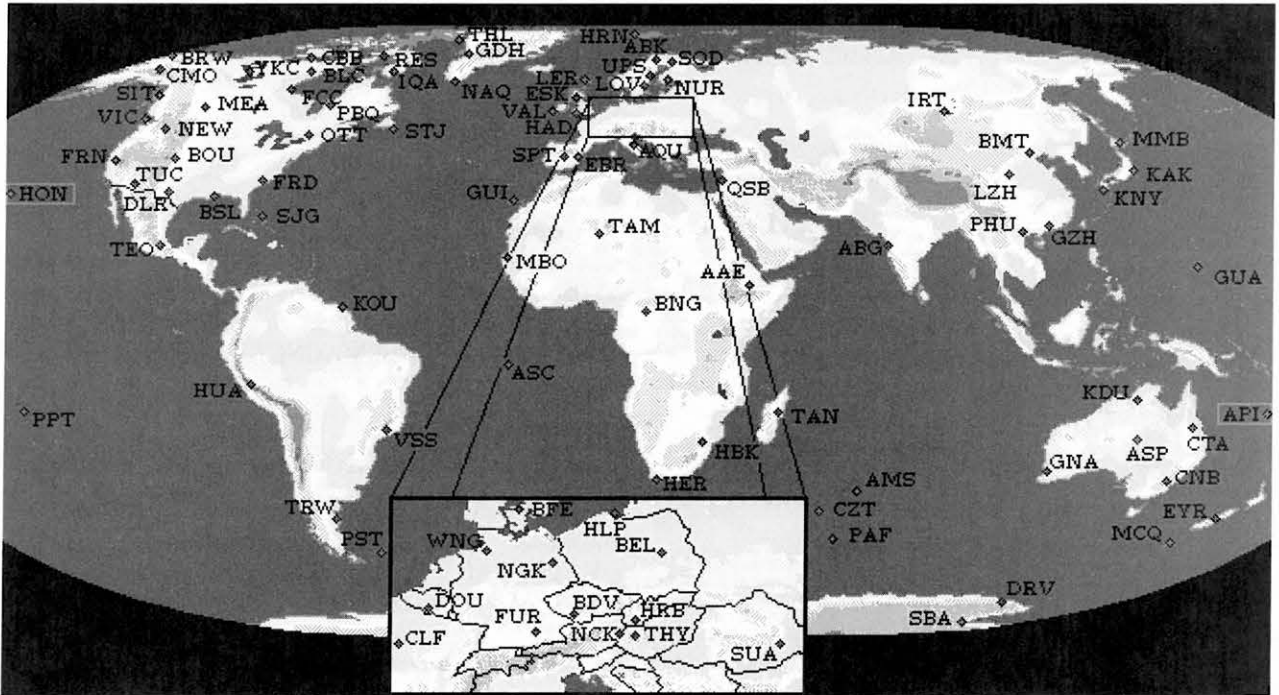
A térbeli átfogásnál más probléma van. Itt a szekuláris változás megfelelő pontosságú leírásához nem elegendő az obszervatóriumi hálózat sűrűsége, nagyobb számú szekuláris pontra van szükség az abszolút érték nagy pontosságú meghatározása mellett. Erre a célra tehát külön hálózat szükséges, amelynek biztosítania kell, hogy a geomágneses tér izovonalai ne szakadjanak meg az államhatároknál.

Az INTERMAGNET név hivatalos teljes alakja International Real-time geoMAGnetic observatory Network. A részt vevő országok állomásai közelítőleg real-time geomágneses adatokat szolgáltatnak vagy geostacionárius holdak vagy Geomagnetic Information Nodes (GINs) útján, számítógépes kapcsolattal. Európában Edinburgh és Párizs szerepel GIN-ként. Az adatok a három geomágneses komponens és a legtöbb helyen a totális tér

perces értékei, 0,1 nT pontossággal. Követelmény a bázison független műszerekkel való pontos követése. A végleges, a részt vevő intézmények által számított, tehát nem a real-time adatok 1991 óta évente CD-ROM-on is megjelennek, és ezt minden résztvevő megkapja. A CD-ROM a teljes jogú INTERMAGNET állomások mellett azoknak az állomásoknak az adatait is tartalmazza, amelyek teljesítik az INTERMAGNET kritériumait, de nincs real-time (szatellitese vagy számítógépes) kapcsolatuk egyik GIN-nel sem. 2003-ban 36 ország 89 obszervatóriumának adatai szerepelnek a CD-ROM-on (3. és 4. ábra), a 2004-es még nem jelent meg. A geomágneses adatok mellett rövid ismertetés, az obszervatóriumok listája és fontosabb adatai is megtalálhatók rajta, a példa a két magyar állomás (5. ábra) közül a nagyecenkieket (6. ábra) mutatja.

A CD-ROM-ról letölthető perces adatokból kirajzolt napjárás a legzavartabb 2002-es nap, október 4-e esetében látható a 7. ábrán. A négy állomás Nagycenk, az előzőekben már említett Apia, a braziliai Vassouras, és a közép-afrikai Bangui.

Az Operations Committee magyar tagja HEGYMEGI László (ELGI).



3. ábra. Az INTERMAGNET állomáshálózata, 2003

- | | | |
|---------------------|-----------------------|-----------------|
| ✧ Algéria | ✧ India | ✧ Nyugat-Szamoa |
| ✧ Anglia | ✧ Írország | ✧ Olaszország |
| ✧ Argentína | ✧ Japán | ✧ Oroszország |
| ✧ Ausztrália | ✧ Kanada | ✧ Peru |
| ✧ Belgium | ✧ Kína | ✧ Románia |
| ✧ Brazília | ✧ Közép-afrikai Közt. | ✧ Spanyolország |
| ✧ Cseh Köztársaság | ✧ Lengyelország | ✧ Svédország |
| ✧ Dánia | ✧ Libanon | ✧ Szenegál |
| ✧ Dél-afrikai Közt. | ✧ Madagaszkár | ✧ Szlovákia |
| ✧ Etiópia | ✧ Magyarország | ✧ Új-Zéland |
| ✧ Finnország | ✧ Mexikó | ✧ USA |
| ✧ Franciaország | ✧ Németország | ✧ Vietnam |

4. ábra. Az INTERMAGNET-ben részt vevő országok



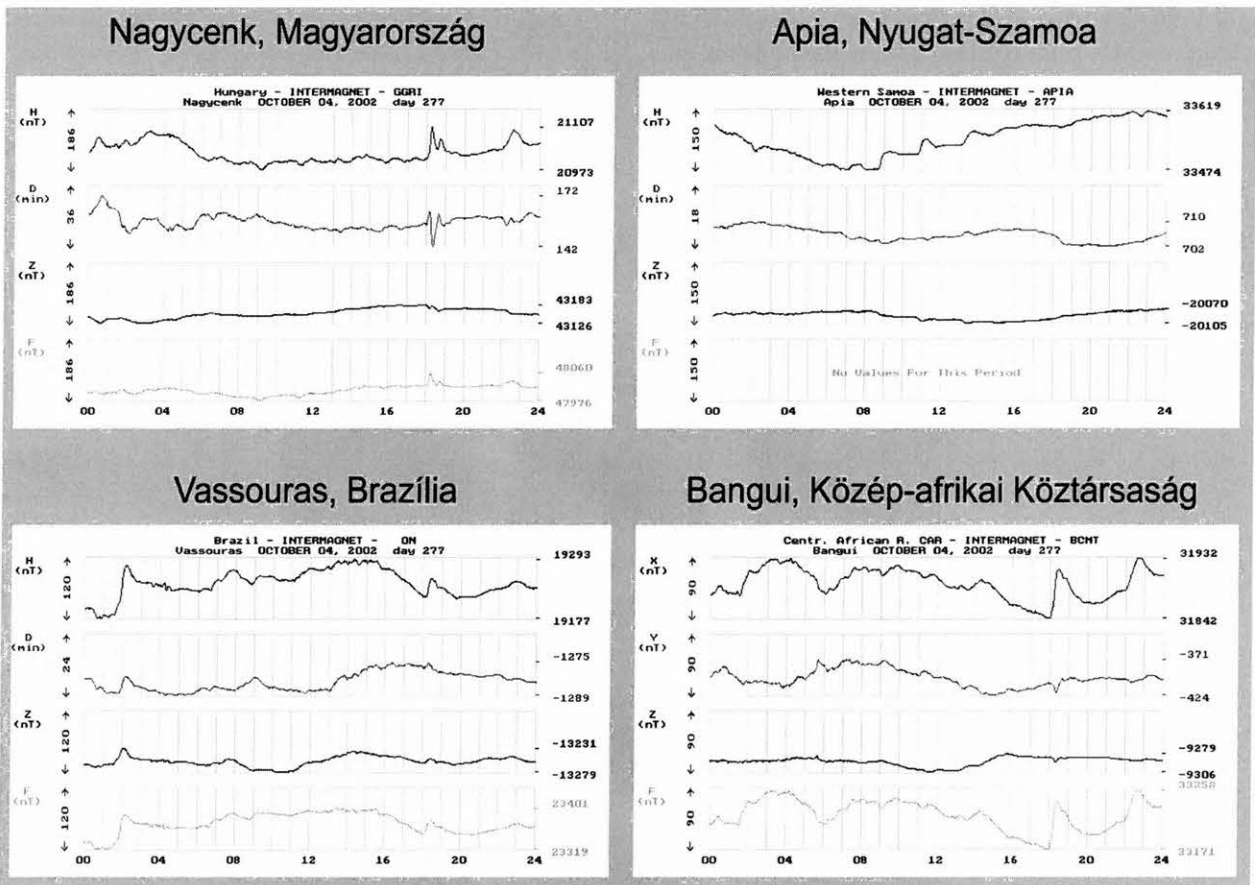
5. ábra. A magyar INTERMAGNET állomások

- STATION ID: NCK
- LOCATION: Sopron, Hungary
- ORGANIZATION: Geodetic and Geophysical Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences
- CO-LATITUDE: 42 deg 22 min
- LONGITUDE: 16 deg 43 min E
- ELEVATION: 153 m
- ABSOLUTE INSTRUMENTS: DI Fluxgate (DMI type) on Zeiss 020A theodolite, GSM 19 Overhauser proton magnetometer
- RECORDING VARIOMETER: ARGOS System from GBS
- ORIENTATION: XYZF
- DYNAMIC RANGE: +2000 nT
- RESOLUTION: 0.1 nT
- SAMPLING RATE: 5 s
- FILTER TYPE: Gaussian, INTERMAGNET Standard
- BACK-UP VARIOMETER: Torsion Photoelectric Magnetometer, Type PSM-8711
- K-NUMBERS: FMI method
- K-9 LIMIT: 350 nT
- GINS: Edinburgh, Paris
- SATELLITE: METEOSAT
- OBSERVER: ÁKOS WALLNER
- CONTACT: Viktor Wesztergom and Bertalan Zieger

6. ábra. A nagyceki obszervatórium adatai az INTERMAGNET CD-jén

A szekuláris változás követésére az INTERMAGNET viszonylag kis számú állomásával nem alkalmas. Erre most szerveződik egy, a szekuláris pontokat (repeat stations) is

magában foglaló együttműködés, a European Geomagnetic Station Network, a potsdami GFZ égisze alatt. Ez az európai szervezet 2003-ban alakult meg, 2003–04-ben koordinált ismétlődő méréseket végeztek, ezek már előzetes feldolgozáson estek át. A méréseket a jövőben 2 évenként akarják megismételni. Ebben az együttműködésben 20 európai ország vesz részt, Magyarországot az ELGI képviseli. Egyes speciális feladatokra, elsősorban a nagyobb frekvenciás (10–100 mHz-es, 10–100 s-os) változások vizsgálatára az INTERMAGNET adatai a perces mintavételi közmiatt sem alkalmasak. Ezért szerveződnek egyes feladatokra többé-kevésbé alkalmi hálózatok, így egy meridionális közép-európai láncot többször szerveztünk meg, de a CHAMP mesterséges hold adatainak értelmezéséhez is létrejött egy olasz–osztrák–magyar lánc. Ezekon kívül a tihanyi obszervatórium is több hálózatban vett részt, egyebek között amerikai együttműködésben.



A még nagyobb frekvenciák esetében a helyzet tovább nehezedik, ennek ellenére pl. a Schumann-rezonanciák (8–20 Hz) és más légköri kisülések észlelésére is léteznek kisebb-nagyobb hálózatok, pl. magyar–amerikai–izraeli–japán szervezésben. Még nagyobb, kHz-es jelek, pl. whistlerek esetében az ELTE űrkutató csoportja által időszakosan végzett dániai mérések, illetve a dél-afrikai együttműködés említhető.

3. A geomágneses hálózati adatok felhasználása

A geomágneses hálózatok kialakulásával kapcsolatban már szó esett több felhasználási területről. Először a hajózásban

használták iránymeghatározásra, majd inkább tudományos, mint gyakorlati kérdéseket vizsgáltak, így a geomágneses tevékenység morfológiáját és ennek okát, a tevékenység kapcsolatát a sarki fénnel és a naptevékenységgel. Ahogy megjelentek az egyre nagyobb (vezetékek), érzékenyebb (elektronikai eszközök) és magasabban járó (mesterséges holdak) technikai eszközök, úgy szaporodtak a geomágneses eredetű működési zavarok és nőtt az igény a megfelelő adatok és előrejelzésük iránt.

Jellemző példa az adatsor hosszúságának fontosságára a legnagyobb, közepes szélességen észlelt geomágneses vihar nagysága. A nagyceki obszervatóriumban 50 év alatt a legnagyobb vihar 6–700 nT-s volt. 2003 novemberében

az emlékezetes sarki fényt létrehozó vihar majdnem 50%-kal múlta ezt felül (900 nT). A történetileg ismert, mért legnagyobb vihar a már említett, az 1860-as években Alibagban (India) észlelt 1600 nT-s vihar volt. TSURUTAMI számításai szerint az előfordulható legnagyobb vihar 2500 nT amplitúdójú.

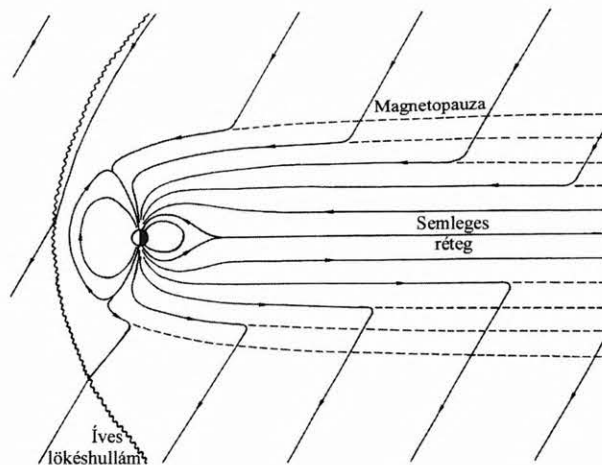
Adatokat igényel a természetes elektromágneses térrel dolgozó geofizikai-földtani kutatás, sőt, mint lehetőség iránt, az orvostudomány is érdeklődik a geomágneses adatok felől. A globális hálózatok kialakulásával a két eltérő irány, a geomágneses főtér szekuláris változása és a geomágneses tevékenység nyomon követése eléggé elkülönült.

A bemutatandó eredmények mind magyar kutatóktól származnak, létrehozásukban azonban külföldi kollégáknak is volt szerepük. Először a hosszú periódusú — szekuláris, belső eredetű változás meghatározására mutatunk be néhány példát.

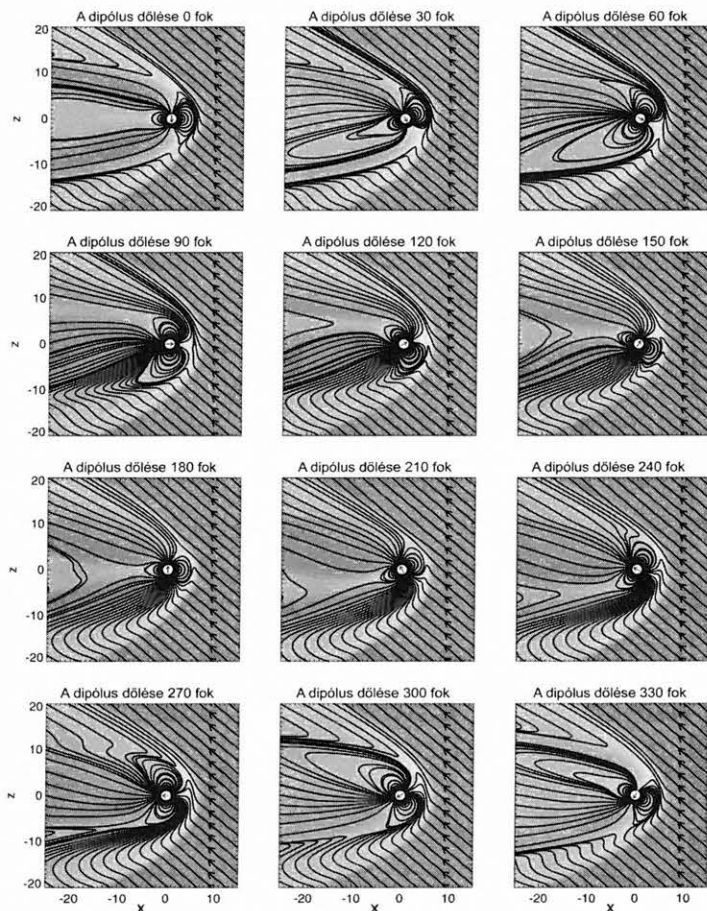
A mai geomágneses tér úgy alakítja ki a Föld magnetoszféráját, ahogyan a 8. ábra mutatja az erővonalak segítségével. Más belső tér, első közelítésben dipólus értelemszerűen más magnetoszférát hoz létre.

Nemrégiben ijesztgette a média és egy katasztrófafilm a közönséget a mágnesvér megszűnésének következményeivel. Erre az Ørsted dán mesterséges hold méréseiből levezetett télerőcsökkenés szolgáltatta az okot. A csökkenés előre jelezheti a mágnesvér polaritásváltását. Amikor a mágneses dipólus az egyenlítő síkjába fordul, akkor valóban nagyon szokatlan jelenségek lépnek fel a magnetoszférában, amelyeket a megismert morfológia alapján lehet

modellezni. Egy ilyen sorozatot mutat be a 9. ábra. A mágnesvér viselkedését a forgástengelytől egyre jobban eltérő dipólustengely esetén mutatják az egyes ábrák — igaz, a jelenleginél tízszer kisebb póluserősséggel —, végül a mágnesvér iránya ismét közeledik a forgástengelyhez, de ellentétes polaritással, tehát teljesen átfordul. Amikor a dipólus az egyenlítő síkjában van, energiabetáplálás nincs a napszélelől a magnetoszférába, mert nincs erővonal-átkötődés sem. Annyit kell ehhez tudnunk, hogy ilyen helyzet a Földön is előfordult, és más bolygókön is lehetséges.

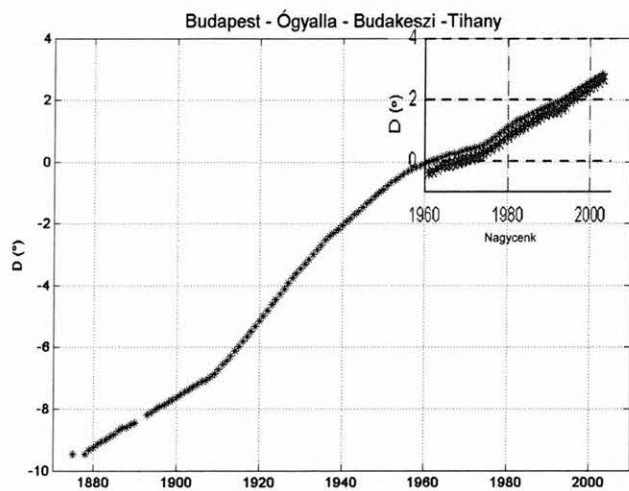


8. ábra. A magnetoszféra és a bolygóközi mágnesvér erővonalai és határfelületük

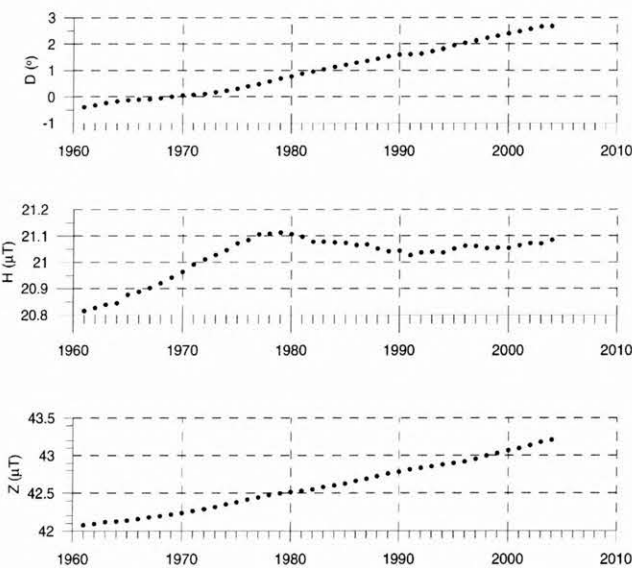


9. ábra. A magnetoszféra mágneses erővonalai különböző dőlésű dipólusok esetén

Magyarországon folyamatos adatsor a deklináció változásáról a 19. század utolsó negyede óta létezik, a többi elem adatsora rövidebb, hiányosabb. A deklináció változását bemutató 10. ábra több állomás adataiból van „összetolva”. Bár nem azonos sebességgel, de végig egy irányba mozgott a tér. Nagyon hasonló, bár kissé eltolt a szintén látható, megfelelő nagycenki görbe. A többi komponens változása (11. ábra) szabálytalanabb, a H komponensben a hatvanas évek közepén felismerhető egy jerk.



10. ábra. A geomágneses tér deklinációjának szekuláris változása

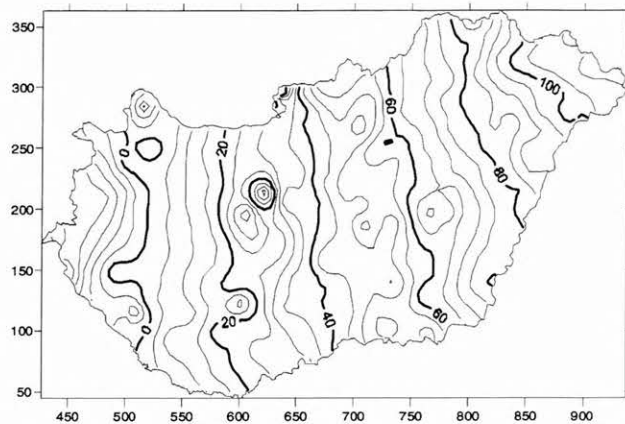


11. ábra. A három geomágneses komponens szekuláris változása, Nagyecenk

A deklináció eloszlását bemutató térkép (12. ábra) szemlélteti, miért van szükség az egész Európát befedő együttműködésre. Ugyanis az izogon-vonalak a határokon megszakadnak, csak közös feldolgozás eredményezhet sima izogonokat. Ezt a célt is szolgálja a nemrég létrehozott európai együttműködés. Annyit kell még ehhez hozzátennünk, hogy a pillanatnyi deklinációkat ábrázoló térkép a változó szekuláris tér és a nagyjából állandónak tekinthető anomáliák összege.

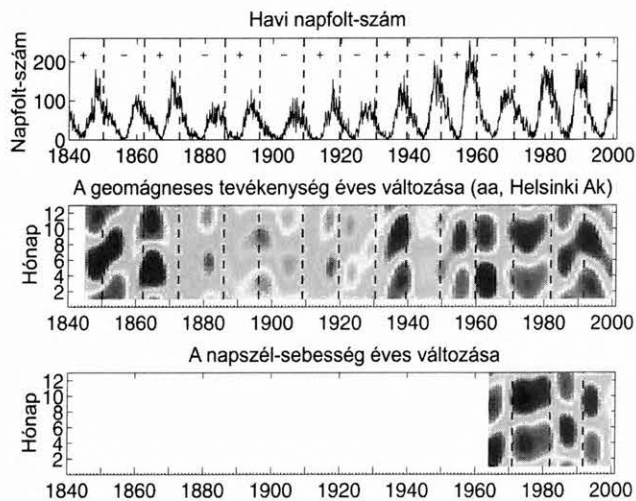
A belső eredetű, de a Föld mágneses viszonyait minden tekintetben alapvetően befolyásoló szekuláris változás mellett a külső eredetű, a napszél energiájából táplálkozó,

és rövidebb periódusú változások kutatása ma az űridőjárás, illetve űrérhajlat elnevezésű programok keretében folyik. A következőkben ismertetendő eredmények ezeknek a programoknak a keretében születtek.



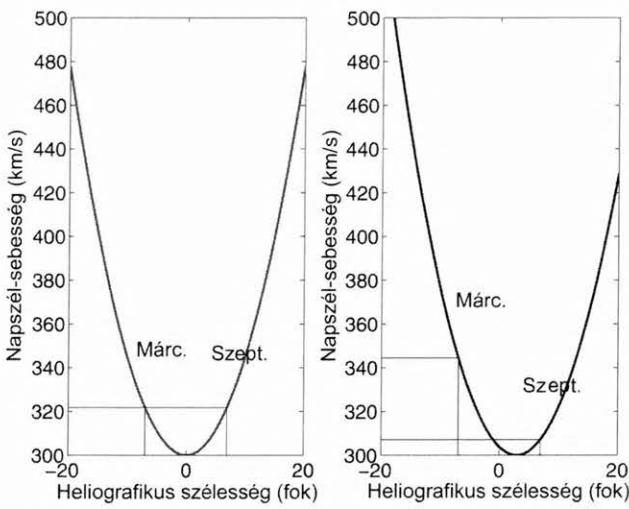
12. ábra. A deklináció izogon vonalai Magyarországon, 1966

Jellegzetes lehetőség a régi adatsorok felhasználásával elért eredményekre a geomágneses tevékenység egy éves periódusának fázisváltozása az aa, illetve a régi helsinki Ak napi indexek alapján (13. ábra). Az éves tevékenységi maximum helyzete minden naptevékenységi minimumkor márciusról szeptemberre, illetve ellentétesen ugrik. Ez a napszél sebességének a helioszferikus lepelnél ebben az időszakban meglévő mély minimumával van kapcsolatban. A minimum a 14. ábrán látható. A Nap helioszférája ekkor észak-déli aszimmetriát mutat, egyszer felfelé, a legközelebbi minimumkor lefelé (azonos mágneses polaritás irányában) tolik el, emiatt van fázisváltás. A matematikai műveletek (sávszűrés) miatt szétkenődik a hatás.



13. ábra. A napfolt-szám havi átlagai, valamint a geomágneses tevékenység és a napszél-sebesség éves hullámának fázisa

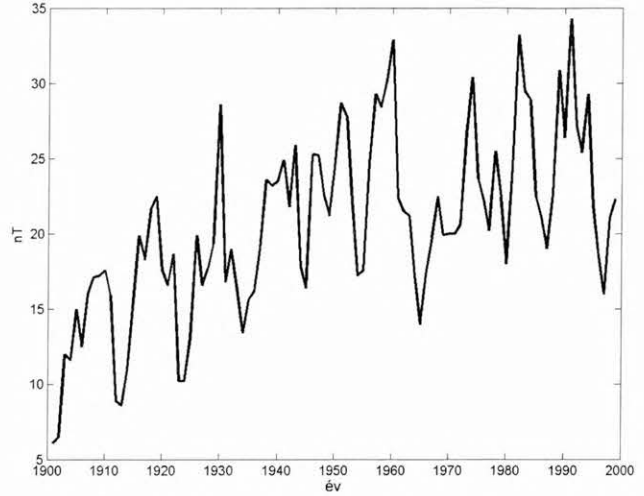
A Canberra (Ausztrália) és Hartland (Anglia) állomás adatai alapján meghatározott aa index folyamatosan nőtt az elmúlt évtizedekben (15. ábra). Ez javarészt magyarázható a naptevékenység növekedésével (ami a globális felmelegedés egyik oka lehet egyesek szerint). Ami viszont rejtélyes: bizonyos naptevékenységhez is egyre nagyobb geomágneses tevékenység tartozik. Ennek okát egyelőre nem ismerjük.



14. ábra. A napszél-sebesség függése az ekliptika síkjától való távolság függvényében szimmetrikus esetben és kissé eltolt minimum esetében

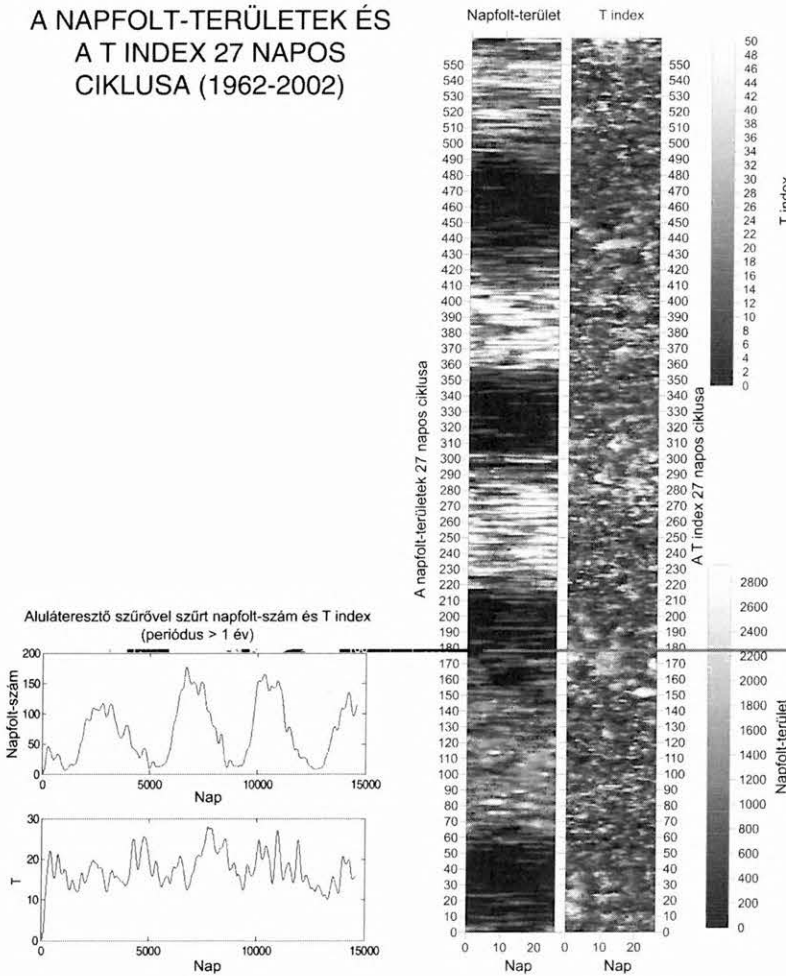
A geomágneses tevékenység (és a napfolt-terület) 27 napos, vagyis a Nap forgásidejével megegyező hosszúságú sorokba rendezett adatai segítik a geomágneses tevékenység előrejelzését. Ehhez tetszőleges index használható, a 16. ábrán a nagycenki geoelektromos index megfelelő ábrája látható. A tevékenységet szürke skála fejezi ki. Füg-

gőleges struktúrák, vagyis 27 nap elteltével visszatérő tevékenység 11 évenként, a naptevékenység csökkenő ágában jelenik meg, míg a hirtelen kezdetű, nagy geomágneses viharok a napmaximum idején fordulnak elő, és 27 nap után nem térnek vissza — ezek napkitörésekhez kötődnek. Az ilyen viharok elszigetelt pontként vagy rövid vízszintes vonalként jelennek meg.



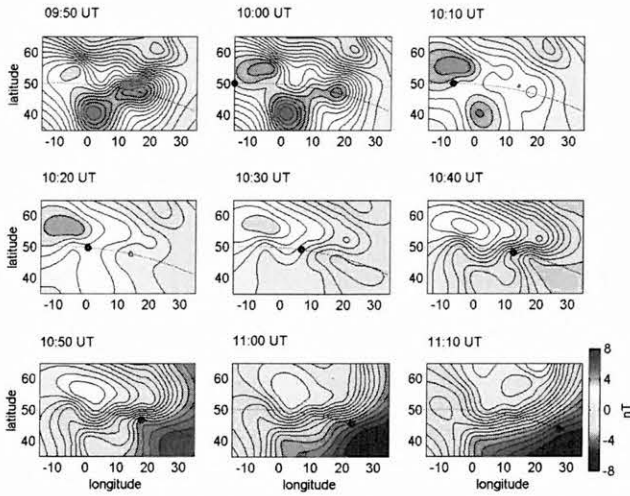
15. ábra. A geomágneses tevékenység növekedése az elmúlt században (aa index)

A NAPFOLT-TERÜLETEK ÉS A T INDEX 27 NAPOS CIKLUSA (1962-2002)



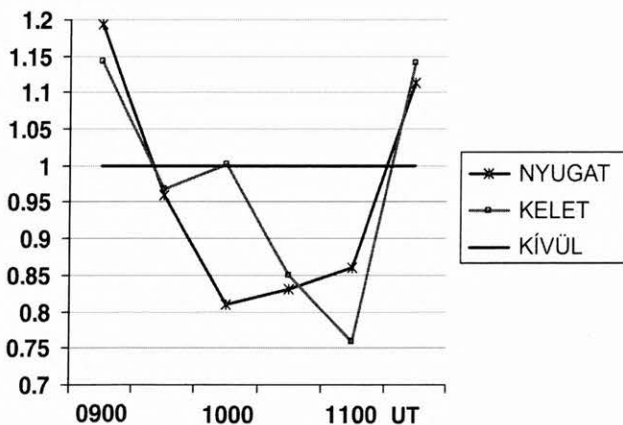
16. ábra. A napfolt-területek és a T index 27 napos ciklusa (1962–2002)

Az 1999. augusztus 11-i napfogyatkozás geomágneses hatását az ELGI vizsgálatai alapján mutatja a 17. ábráson. Az árnyék vonallal jelzett pályája mentén 10 percenként láthatók az anomália értékei. Ez az X-komponensbeli anomália hasonlóan mozdul el, mint a ponttal jelzett árnyék. A hatás meglétét nem mindenki fogadta el, komoly vita alakult ki felele.



17. ábra. Az 1999.08.11-i napfogyatkozás geomágneses hatása Európában (X)

Ugyanennek a napfogyatkozásnak a hatását a geomágneses pulzációkban is megtaláltuk. Megváltozott a polarizáció, és a holdárnyék területén mintegy felére csökkent az amplitúdó. Ezt 5 Japán, számos német, magyar és cseh állandó és ideiglenes állomás adatai alapján sikerült bizonyítani. Az állomásokat három csoportra osztottuk: az egyik az árnyékot lehetőleg kívülieké, itt az amplitúdót 1-nek vettük. Ehhez képest először a nyugati, majd az árnyék mozgásának megfelelően a keleti csoportban következett be csökkenés (18. ábra). Tudomásunk szerint ez az első eset, amikor sikerült a héjrezonanciának a magnetoszférikus részecskesűrűség csökkenése következtében való megszűnését kimutatni.



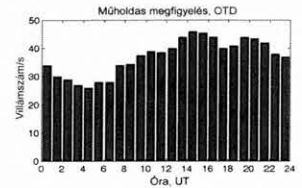
18. ábra. Az 1999.08.11-i napfogyatkozás hatása a pulzációkra. A "KÍVÜL" csoportra normált amplitúdók

Érdekes lehetőség a geomágneses pulzációk esetében a bolygóközi régióból származó hullámok azonosítása. Ezek a hullámok a bolygóközi tér földközeli részének pillanatnyi állapotát jellemzik. A több állomáson egyszerre mért jelek

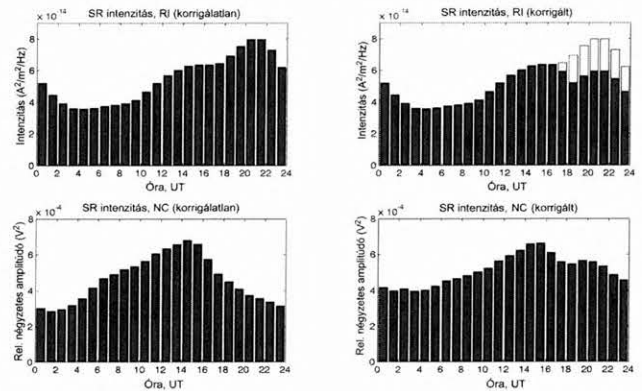
közös részének kiemelésével megkapjuk az ilyen eredetű jeleket. A nem egyező periódusú jelek viszont a Föld magnetoszférájában alakulnak ki a geomágneses erővonal— ígaz, a jelenleginél tízszer kisebb póluserősséggel — rezonancia révén.

A már említett magyar–amerikai együttműködés keretében a nagyceki és a Rhode Island-i (USA) állomáson meghatároztuk a Schumann-rezonanciák első három harmonikusának energiáját a nap különböző szakaszaiban. Az éjszaka-nappal közötti aszimmetria kiküszöbölése után kapott napi menetek nagyon hasonlóak az OTD mesterséges holdon észlelt villámok számának napi menetével (19. ábra). A nagy csúcs az afrikai zivataroktól származik, az amerikai és ázsiai zivataroknak megfelelő csúcsok lényegesen kisebbek.

Az OTD műholdról megfigyelt villámaktivitás

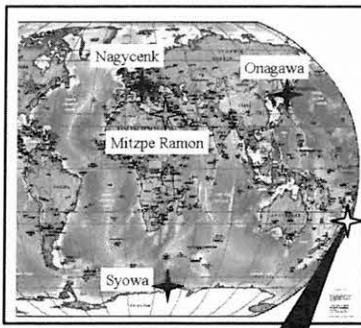


Villámaktivitás két távoli állomás (Nagyceki és Rhode Island, USA) Schumann-rezonancia mérései alapján



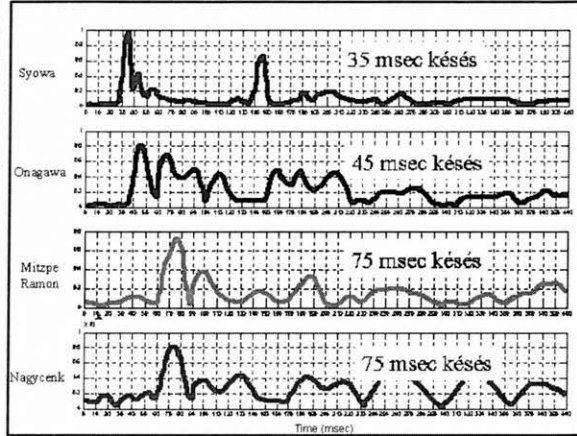
19. ábra

A Columbia űrrepülőgép STS 107-es útjára 2003. január 1. és február 1. között került sor. A legénység feladatai között felsőlégköri elektrooptikai jelenségek fényképezése is szerepelt. Hogy a jelenségekről minél több információt lehessen összegyűjteni, nemzetközi felszíni mérési kampányt szerveztek, amelyben az ELF frekvenciasávban (3–3000 Hz) észlelő mérőállomások vettek részt, közöttük a nagyceki obszervatórium is. A felsőlégköri optikai emissziók nagy intenzitású villámkisülésekhez (ELVES) köthetők, mivel megjelenésük a kisülést követő töltés-átrendező és relaxációs folyamatok eredménye. Felszíni ELF állomásokon a villámkisülés során kisugárzott nagy amplitúdójú EM hullámok észlelése lehetséges (20. ábra). A jel mágneses horizontális terének polarizációs síkja definiálja a forrás – megfigyelő irányt. Több állomásra meghatározva a forrás irányát, a kisülés földrajzi helye globális háromszögeléssel néhány száz km-es pontossággal megadható. A felszíni állomások idősorából akkor is meghatározható a forrás helye, ha felszíni fény-megfigyelés nincs, ilyen a bemutatott eset, amikor az emissziót a Csendes-óceán nyugati része felett találták meg. Mivel a magyar és az izraeli állomáson a vertikális elektromos



ELVES (Elf) a Columbia űrsiklóról fényképezve 2003. január 19. 09:05:23.940 UT

Elf-et kiváltó villámkisülés azonosított tranziens jelsorai ELF észlelőállomások horizontális mágneses idősoraiban



A horizontális mágneses tér abszolút értékének az idősoraiban az esemény bekövetkezteként és az esemény észlelésének időeltolódása a forrás-észlelő távolsággal arányos.

20. ábra

tér mérése is folyt, a kisülés helyét a Poynting-vektorral is meg lehetett határozni (kék görbék). Bár a bemutatott példák közvetlenül nem mindig kapcsos-

lódnak az INTERMAGNET-hez, a megbízható háttérrel ez és a többi, szigorúan szabályozott keretben működő állomáshálózat jelenti.

Globális szeizmológiai megfigyelések¹

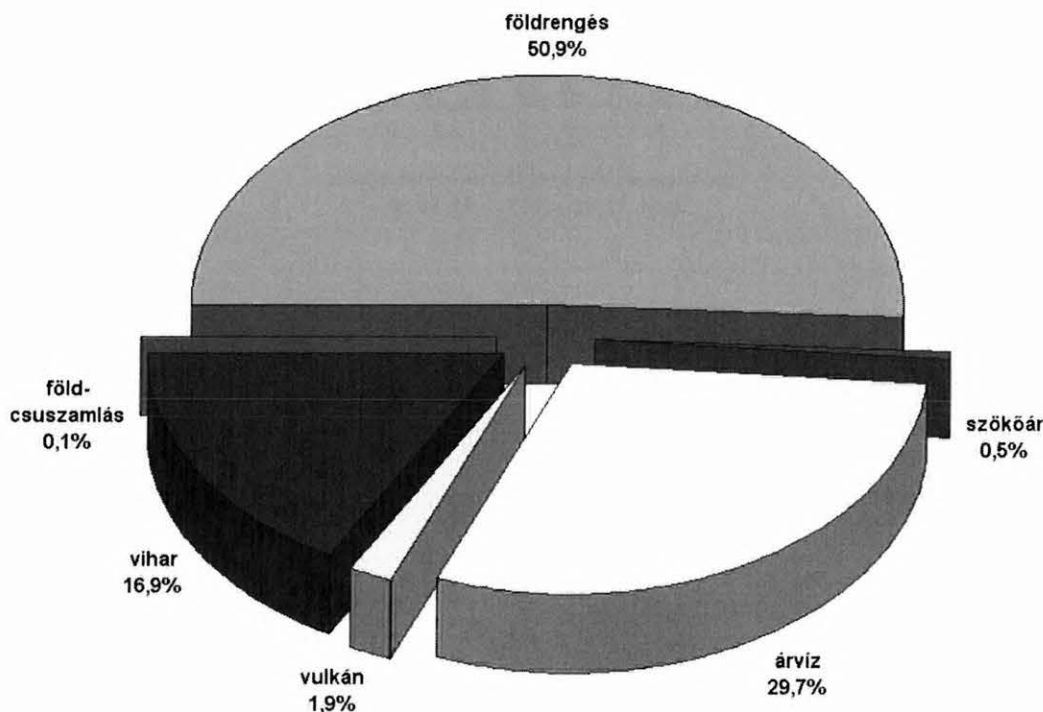
TÓTH LÁSZLÓ²

L. Tóth: Global Seismic Monitoring

Az elmúlt évszázadban több mint négy millió ember vesztette életét a Földön természetes katasztrófák során, valamivel több mint a fele földrengések következtében halt meg (1. ábra). Történt mindez abban a XX. században, mely arról híresedett, hogy az ember legyőzte a természetet. Vagy mégsem egészen?

A XXI. század kezdetén folytatódni látszik ez a folyamat. 2004. december 26-án háromszázezer áldozatot, sok-sok sebesültet követelt, és az egész térséget megrázó gaz-

dasági veszteséget okozott az Észak-Szumátra partjai közelében kipattant nagy erejű földrengés és az utána kialakuló szökőár (2. ábra). Az egész világot megmozgató szolidaritási és jótékonyossági hullámmal párhuzamosan a szakemberek és döntéshozók körében megindult a katasztrófa okainak feltárása és annak vizsgálata, hogy hogyan és mennyire lehetne a jövőben az ilyen katasztrófákat csökkenteni, vagy elkerülni. Globális katasztrófajelző rendszer tervei körvonalazódnak.



1. ábra. Természetes katasztrófák áldozatai a XX. században (összesen kb. 4 millió)

A földrengések megfigyelése és mérése

A földrengések megfigyelése valószínűleg az emberiséggel egyidős. A II. században készítették az első ismert földrengésjelző berendezést Kínában, mely a leírások szerint már a távolabbi földrengések irányát is képes volt jelezni. A technika általános fejlődésével párhuzamosan természetesen a földrengések jelzésére szolgáló berendezések is folyamatosan fejlődtek, és egyre érzékenyebbé is váltak. A XIX. század végén, a XX. század elején megjelentek az első elektrodinamikus szeizmográfok, melyek jeleit eleinte analóg galvanométerekkel fotópapíron, később

tintaíró és hőérzékeny papíros regisztrálókkal rögzítették. Később az analóg regisztrálást felváltotta a digitális jelrögzítés, lehetővé téve rafinált szűrési és feldolgozási technikák alkalmazását. A szeizmográf szó a hétköznapi életben is az érzékenység szinonimájaként terjedt el.

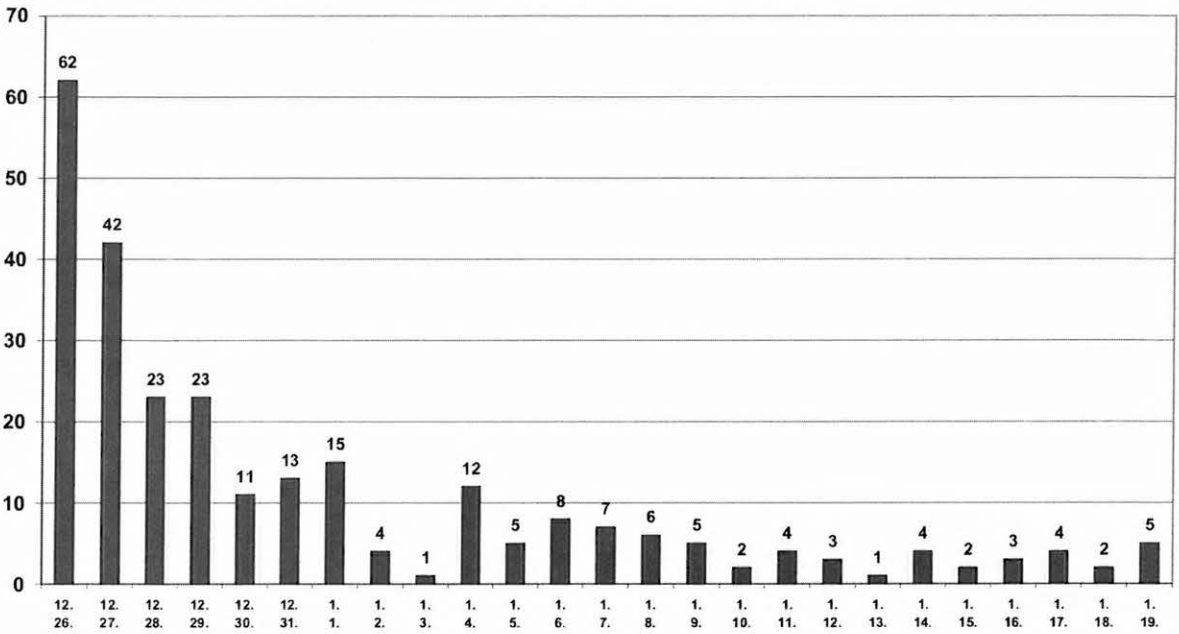
A földrengés hullám fizikai tulajdonságai

Spektrumát tekintve 0,001–100 Hz szélességű jelről van szó, melyben a közeli kis rengések jelentik a magasabb frekvenciákat, a távoli nagy földrengések felületi hullámjai pedig a nagyobb periódusú rezgéseket. A mai mérés technikában ez nem különösebben nagy sáv szélesség. A dinamikáját, a legkisebb és legnagyobb jel közötti arányt tekintve a helyzet már érdekesebb, hiszen az atomi méretek tartományában lévő 10^{-7} – 10^{-8} cm amplitúdójú talajrezgést okozó közeli mikrorengések és a nagy földrengések által elő-

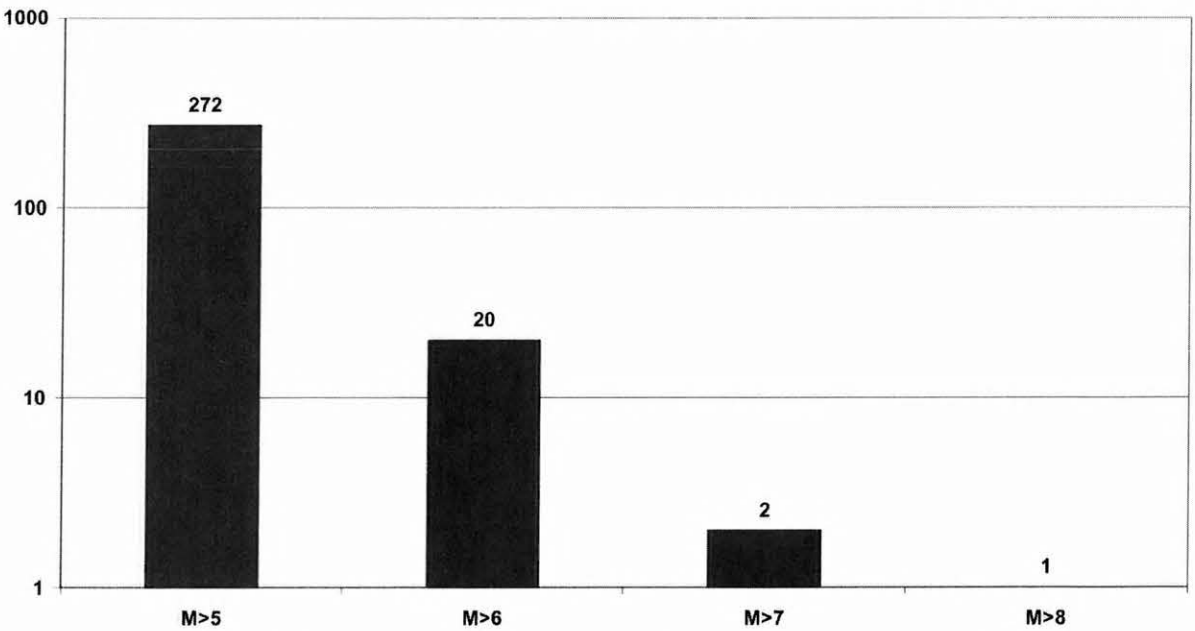
¹ 2005. május 4-én, az MTA Földtudományok Osztálya nyilvános osztályülésén elhangzott előadás

² MTA GGKI Szeizmológiai Osztály, H-1112 Budapest, Meredek u. 18.

**M>5 utóregések száma
(2004. 12. 26 - 2005. 1. 19. között)**



**Utóregések magnitúdó szerinti eloszlása
(2004. 12. 26 - 2005. 1. 19. között)**



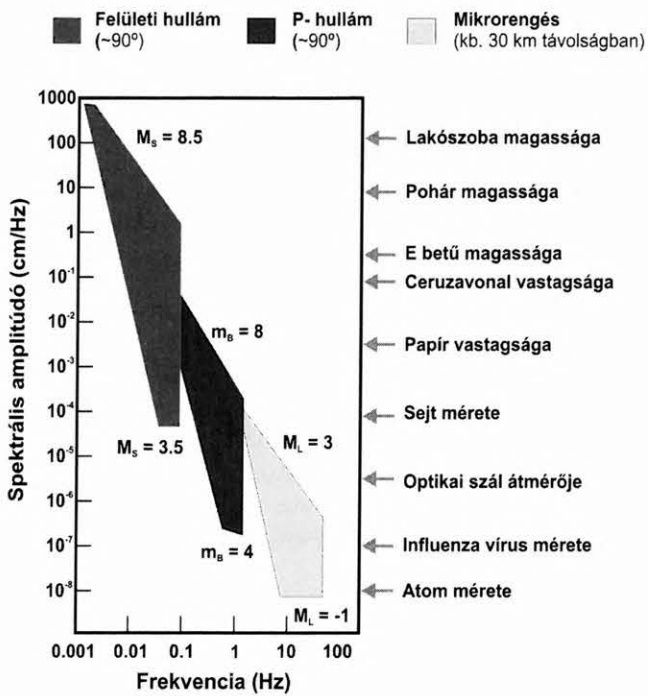
2. ábra. A 2004. december 26-i földrengés (M=9) utóregéseinek időbeli és magnitúdó szerinti eloszlása

idézett, esetenként több méteres amplitúdójú felületi hullámok között az arány 10^{10} , azaz tízmilliárdszoros. A 200 dB-t meghaladó dinamikájú jel érzékelése és regisztrálása komoly kihívás a legkorszerűbb mérés technikában is (3. ábra).

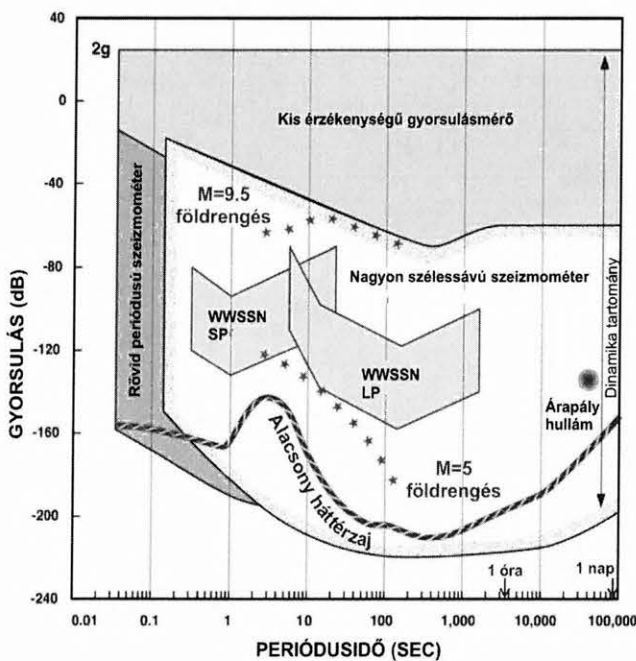
A földrengés érzékelők sáv szélessége és dinamikája

A másik oldalról közelítve: az érzékelők sáv szélességét és dinamikáját nézve látható, hogy a széles sávú szeizmográfok megjelenése előtt több (rövid és hosszú periódusú)

szeizmográfra volt szükség a közeli és a távolabbi földrengések érzékelésére. A szeizmográf érzékenységének pedig a megfigyelni kívánt jel nagyságához való beállításával lehetett kiválasztani a kívánt mérési tartományt. A mai széles sávú érzékelők már szinte a teljes mérési tartományt lefedik mind frekvenciában, mind a jel dinamikáját illetően. A digitális jelrögzítésre való áttérés pedig megoldotta a regisztrálás korai, elsősorban a dinamik tartományt illető problémáit. Egyetlen szeizmográfal mérhető ma már a közeli kis földrengés néhány 10 Hz-es rezgése és a több órás periódusidejű árapályhullám (4. ábra).



3. ábra. A földrengéshullám sáv szélessége és dinamikája



4. ábra. A szeizmográfok sáv szélessége és dinamikája

A globális szeizmológiai megfigyelések kezdete

1889. április 7-én Potsdamban Ernst von REBEUR-PASCHWITZ árapály-megfigyelésre épített horizontális ingája egy távoli (Japán) földrengést regisztrált. Ezzel bizonyosodott, amit egy ideje már többen sejtettek, hogy a földrengéshullámok a forrástól messze, a Föld távoli pontjára is eljutnak. Az 1906-os nagy San Franciscó-i földrengést már több távolabbi szeizmológiai állomás regisztrálta. 1911-ben pedig — a kecskeméti földrengés idején — már Magyarországon is több szeizmográf állomás működött.

Atomrobbantások szeizmológiai megfigyelése

Amikor 1945. július 16-án az első amerikai kísérleti atomrobbantást (Trinity, 20–22 kt) Los Alamos közelében a legnagyobb titoktartás közepette végrehajtották, a robbantás időpontját nem tudták a helyszínen rögzíteni, mert elromlott az erre szolgáló berendezés. Később kiderült, hogy a titkos kísérletet a környező szeizmológiai állomások nemhogy észlelték, hanem pontosabban tudták a robbantás időpontját, mint azok, akik a kísérletet végezték.

A föld alatti robbantások során a robbantás energiájának is jelentős része alakul rugalmas hullámmá. A forrás azonban lényegesen egyszerűbb a földrengésénél, mind időben, mind térben nagyságrenddel kisebb kiterjedésű. Gömbszimmetriája miatt az első elmozdulás mindig kompressziós, a forrástól az észlelő felé mutat. Nagyobb, elsősorban nukleáris robbantások során már olyan mértékű a rugalmas hullám kibocsátása, hogy a földrengésekhez hasonlóan a Földön bárhol mérhető. Természetesen ez nagymértékben függ a robbantási közegtől is.

Óriási lendületet adott a szeizmológia fejlődésének az a felismerés (Genf, 1958), hogy az atomrobbantások ellenőrzésének elsődleges eszköze a szeizmológiai megfigyelés. Az addig elszigetelt, speciális tudomány politikai érdeklődés tárgya lett, jelentős forrásokhoz jutott. 1959-ben EINHOWER elnök közvetlen utasítására elindult a VELA program az atomrobbantások szeizmológiai ellenőrzése elméleti alapjainak kidolgozására és gyakorlati megvalósíthatóságának vizsgálatára. Katonai célú szeizmológiai hálózatok épültek addig elképzelhetetlen anyagi ráfordításokkal. 1960-ban az amerikai DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) támogatásával megkezdődött a szeizmológiai világhálózat (WWSSN — World Wide Standard Seismograph Network) kiépítése. A 60-as évek közepére 120 szabványosított, korszerű berendezéssel felszerelt szeizmológiai állomást állítottak üzembe a világ számos országában. Előzetes szakértői egyeztetések után 1976-ban intézményesen létrehozták a Genfi Leszerelési Értekezlet égisze alatt a Szeizmológus Szakértői Csoportot (GSE), mely az Átfogó Atomcsend Egyezmény 1996-os létrejöttéig koordinálta az ez irányú szeizmológiai kutatásokat. Egyes becslések szerint a világon a földrengés megfigyelésre és földrengés kutatásra fordított összes anyagi források kb. 80%-a e téma kapcsán került a szeizmológiához.

Nemzetközi Szeizmológiai Központok

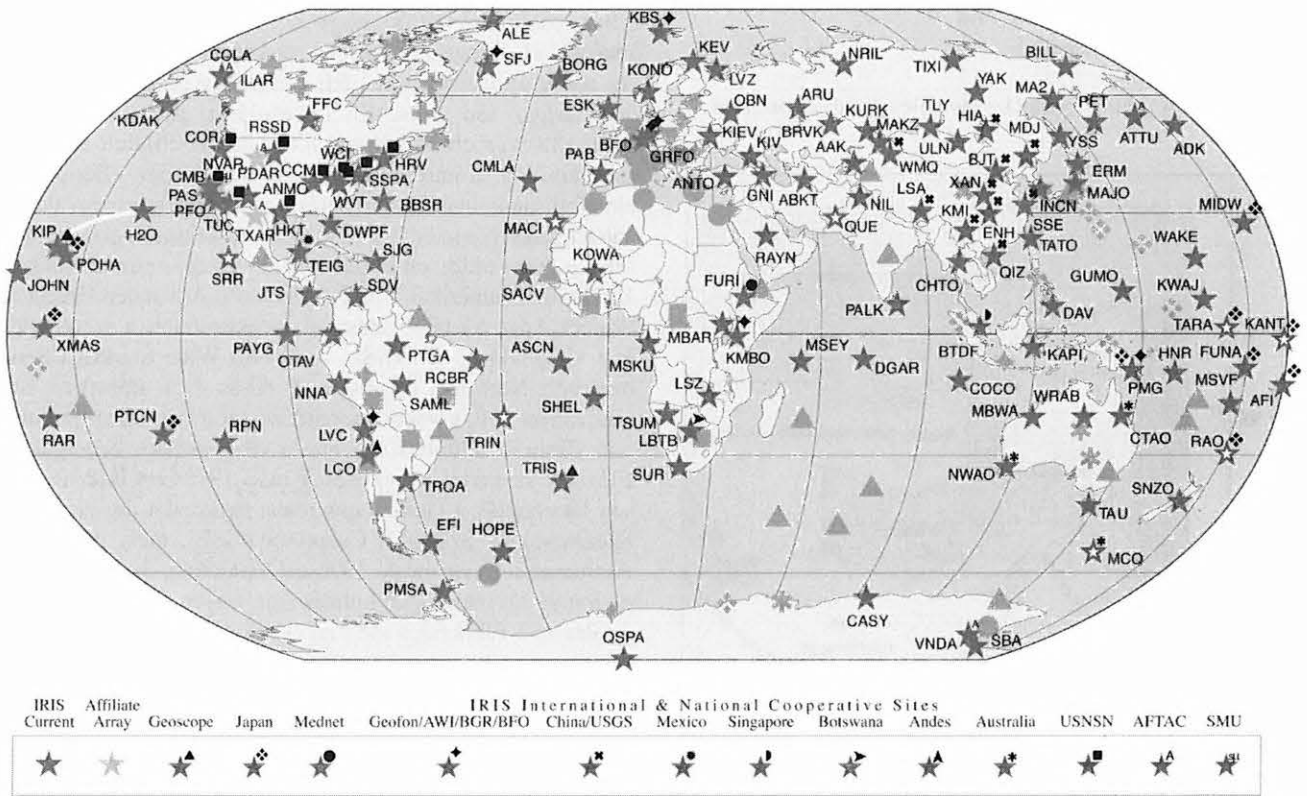
A szeizmológiai világhálózat kiépítésével párhuzamosan Nemzetközi Szeizmológiai Központot (ISC — International Seismological Centre) hoztak létre, melynek célja a globális földrengés adatok és információk összegyűjtése, értékelése és publikálása. A földrengések hipocentrumának megbízható meghatározásához ugyanis minél több szeizmológiai állomás beérkezési adataira szükség van, melyek lehetőleg minden irányból körülveszik a rengés helyét. Az 1960-as, 70-es években nagyon jelentős szerepe volt a nemzetközi adatközpontnak, hiszen az analóg regisztrálás korában az adatsere nem volt egyszerű, ráadásul az adatátviteli hálózatok is gyerekcipőben jártak (pl. telex). A világ minden tájáról több mint 3000 szeizmológiai állomás küld fázis adatokat a központba, ahol a hipocentrum adatokat újra számolják, a földrengések paramétereit pontosítják.

Mivel a globális hálózat sűrűsége inhomogén, ezért az észlelési küszöb is igen különböző az egyes földrajzi területeken. A sűrű állomáshálózattal rendelkező Európában kb. 3,5–3,8 a magnitúdó küszöb, a mérőállomásokkal rosszul lefedett óceáni területeken pedig 4,5–5,0 magnitúdó fölött látja a hálózat a földrengéseket. Az ISC földrengésbulletinjé a 90-es évek végére évente 60–70 ezer földrengés adatait tartalmazta.

Az Amerikai Egyesült Államok globális súlyának növekedésével az Amerikai Geológiai Szolgálat Földrengési Információs Központja (United States Geological Survey National Earthquake Information Center, USGS NEIC) fokozatosan nemzetközi adatközponti szerepet kezdett betölteni. A USGS-NEIC földrengés listája 1945-ben még csak 120 földrengést tartalmazott; 1998-ra ez a szám 22 000-re emelkedett. 2000-ben a NEIC 5408 aktív szeizmológiai állomás koordinátáit tartalmazta. Az észlelési képesség igen változó, jellemzően M 4,3–4,4 (de Kaliforniában M<2,7, a Csendes-óceán DK-i részén M>5,3)

A Globális Szeizmológiai Hálózat (GSN) létrejötte

Az 1960-as évek elején létrehozott World Wide Standardized Seismographic Network (WWSSN) az 1980-as évekre technikailag egyre elavultabbá vált. 1985-ben az Amerikai Geológiai Szolgálat és több amerikai egyetem létrehozott egy konzorciumot (IRIS), mely megkezdte egy korszerű, digitális, szélessávú földrengésmérő hálózat kiépítését. A költségeket az amerikai NSF fedezte. 2004-re 136 állomás működött a Déli-sarktól Szibériáig, az Amazonastól a Csendes-óceánig (5. ábra). A mérőállomásokon a pontos időt a GPS rendszer biztosítja, a legtöbb helyszínről telemetrikusan (Inmarsat, Iridium, földi és tenger alatti kábelek stb.) jut az adat a kiértékelő központba. A globális hálózat célja a földrengés megfigyelés, az atomcsend monitorozása, cunami riasztás. Az elsősorban tudományos kutatási célú hálózat minden adata korlátlanul, ingyenesen hozzáférhető bárki számára (www.iris.edu).



5. ábra. A „Globális szeizmológiai hálózat” (GSN — Global Seismographic Network) 136 állomása (2004) a Déli-sarktól Szibériáig, az Amazonastól a Csendes-óceánig

A technikai fejlődés eredményeként az ezredforduló környékére a földrengésmérő berendezések olcsók és robusztusak lettek, a legtöbb mérőállomás automatikusan, távérzékeléssel működik. Lehetővé vált, hogy akár egyetlen ország globális mérőhálózatot létesítsen, melyhez az állomásokat befogadó országoktól nagyon csekély kooperáció szükséges. Több ilyen projekt típusú globális hálózat létesült, pl. a francia GEOSCOPE, vagy a német GEOFON. Amerikai példákat is sorolhatnánk.

Virtuális szeizmológiai hálózatok

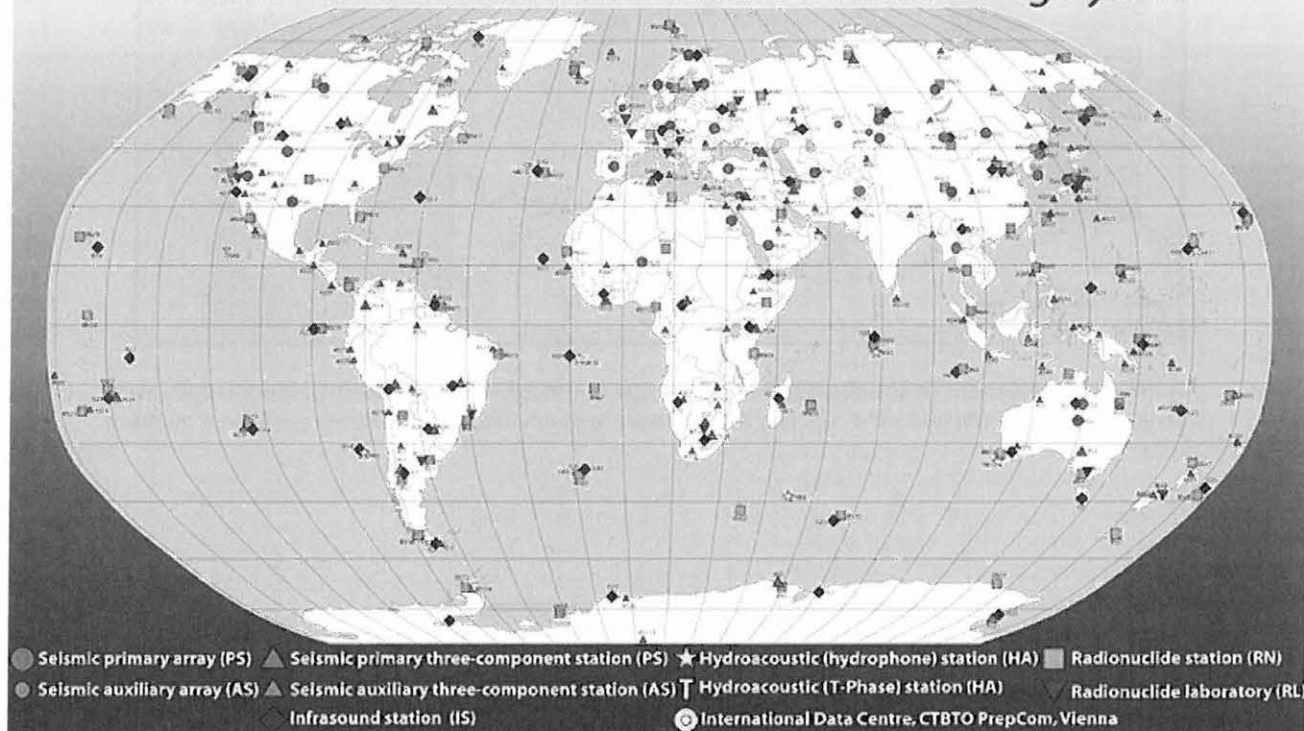
A kommunikációs lehetőségek fejlődése egyre több nyitott szeizmológiai mérőállomást eredményezett. A korlátlan adathozzáférés mellett a felhasználó számára már nem is igazán fontos, hogy fizikailag ki létesítette, és ki üzemelteti az állomást. Lehetővé vált egy egészen új megközelítés, az ún. virtuális szeizmológiai hálózat létrehozása. Ez tulajdonképpen egy olyan adatközpont, mely az interneten elérhető nyilvános mérési adatokat összegyűjti és gyors eseménylistát készít. Jó példája ennek a svájci RedPuma.

Az Átfogó Atomcsend Egyezmény (CTBT) ellenőrző rendszer

Miután 1996-ban aláírták az Átfogó Atomcsend Egyezményt — bár életbe ez még a mai napig sem lépett — létrehozták az egyezmény ellenőrzését végző szervezetet (CTBTO) is és megkezdődött egy új globális ellenőrző rendszer kiépítése. Az elsődleges megfigyelési módszer természetesen a szeizmológiai monitorozás, melyet 170 jól megtervezett szeizmológiai mérőállomás biztosít. 50 online állomás alapján az adatközpont jelzi a szeizmikus

eseményeket, legyenek azok természetes földrengések vagy mesterséges robbantások, majd további 120 mérőállomás adatai biztosítják a hipocentrum pontos meghatározását. További mérőrendszerek (hidroakusztikai állomások, infrahang mérőállomások és légköri radioaktív részecskéket elemző laboratóriumok) globális hálózata segít az atomcsend ellenőrzésében óceánokban és a légkörben. Jelenleg ez a hálózat nem nyilvános, csak az arra feljogosított nemzeti hatóságok férhetnek hozzá és használhatják az adatait (6. ábra).

Preparatory Commission for the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty (CTBTO) Facilities of the CTBT International Monitoring System



6. ábra. Az Átfogó Atomcsend Egyezményt ellenőrző hálózat (IMS)

A Föld jelentős részét óceán borítja, ahol nem is olyan egyszerű a szeizmológiai mérőállomások kialakítása és a mérési adatokhoz való hozzáférés biztosítása. Adatátviteli kábelek létesítése még a partközeli sekélyebb részekben is óriási beruházási költségeket igényel. Egyre gyakrabban fordul elő, hogy telefontársaságok már nem használt tenger alatti kábeleket tudományos célú tenger alatti mérések céljára ajánlanak fel.

A katonai szeizmológiai hálózatokról elsősorban azt tudjuk, hogy régóta léteznek, adataik azonban ritkán kerülnek ki a civil, tudományos felhasználási körbe.

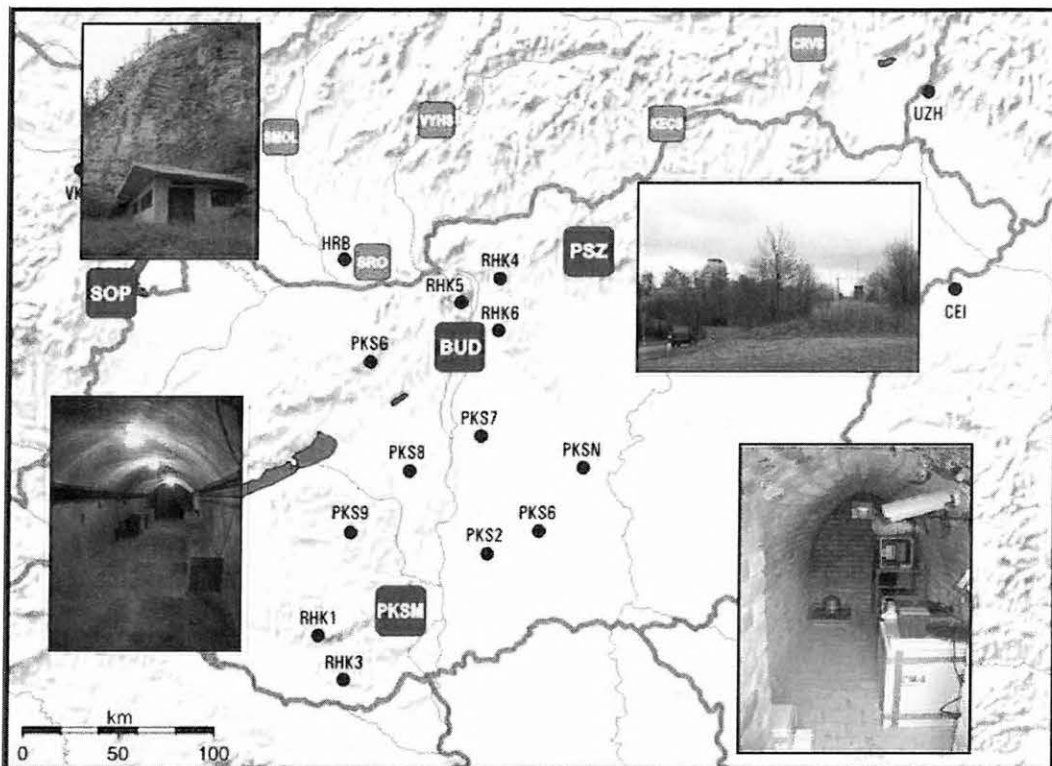
Összefoglalás

Röviden összefoglalva az eddigieket megállapíthatjuk, hogy a földrengések megfigyelése nagyon régi, a globális szeizmológiai megfigyelés pedig viszonylag új területe a természeti jelenségek megismerésének. A méréstechnika, a távérzékelés és a számítástechnika legújabb eredményeit

alkalmazva mára alig van a Földnek olyan zuga, ahol 3–3½ magnitúdójú szeizmikus esemény — legyen az természetes földrengés vagy robbantás — a globális szeizmológiai megfigyelések számára észrevétlen marad. Ilyen méretű esemény átlagosan naponta több száz fordul elő.

A kommunikáció és a számítástechnika dinamikus fejlődése eredményeként napjainkban kb. félezer közel valós időben elérhető nyilvános szeizmológiai állomás van világszerte. A nyilvános mérőállomások összes száma pedig meghaladja a hétezeret, bár ezek eloszlása korántsem egyenletes és nem is optimális (7. ábra).

A fizikai vagy akár virtuális hálózatok adatközpontjai a földrengés kipattanását követően néhány perc múlva már előzetes információt adnak a rengés hipocentrumának adatairól. A klasszikus „globális”, „regionális” és „lokális” kategóriák és szemlélet megszűnőben van. Mindenki annyi és olyan szeizmológiai adatot gyűjt, dolgoz fel és értelmez, amely és amennyi számára érdekes, és amelyet kapacitása (a projekt pénztárcája!) lehetővé tesz.



7. ábra. Földrengésmérő állomások Magyarországon: 2004-ben 16 mérőállomás működött, melyből négy volt nyilvánosan on-line elérhető, a többi vagy helyben regisztrált, vagy az adatközpont telefonon gyűjtötte az adatokat

EGU GENERAL ASSEMBLY 2006

Helye és ideje: Bécs, Ausztria, 2006. április 2–7.

A rövid összefoglaló (abstract) benyújtásának határideje: 2006. január 13.

Az elő-regisztrálás határideje: 2006. március 10.

A tanulmány, amely eredetileg az MTA Földtudományok (X.) Osztálya számára egy bizottsági elnöki beszámoló részeként készült, az MTA Geofizikai Tudományos Bizottság feladatait és működését — benne a geofizika helyzetét — történeti összefüggéseiben tekinti át.

Bevezetés

Egy akadémiai beszámolóra (Sopron, 2005. március 8.) történő felkészülés időszakában szembesültem azzal, hogy (1) igen keveset tudunk az akadémiai bizottságok kialakulásáról, korábbi működéséről; (2) az elmúlt másfél évtizedben végbement sok-sok változás újra időszerűvé tette a geofizika mint tudományág helyzetének áttekintését. Mindemellett kétszer három éves bizottsági elnöki működésem során számos alkalommal tapasztaltam, hogy a földtudomány más ágainak jeles művelői hajlamosak figyelmen kívül hagyni a geofizikusok által legkézenfekvőbbnek tartott definíciókat. (Földrajzosok például előszeretettel beszélnek a földi gravitációs és mágneses tér „földrajzáról”).

A tanulmány ezért — az elmondott beszámolóhoz hasonlóan — a geofizika nemzetközi és hazai definíciójával indul (másoknak és önmagunknak is szánva), majd az akadémiai bizottság történetét felvázolva tekintem át a várható jövőbeni feladatokat. A levéltári kutatások eredményeit függelékben is összefoglaltam.

Mi a geofizika?

A „What is geophysics?” internetes keresésre a Google kereső 153 független találatot jelez, ezek között több tucatnyi eredeti, igen eltérő szemléletű definíció is olvasható. A legteljesebb megközelítés talán Robert E. Sheriff's „Encyclopedic Dictionary of Exploration Geophysics”-ből származik, mert önmagában tartalmazza a geofizika alapvetően kétfajta megközelítését: egy hétköznapiabb elsőt és egy általánosabb másodikat.

- (1) *A geofizika a Föld kvantitatív fizikai módszerekkel történő vizsgálata, elsősorban szeizmikus reflexióval és refrakcióval, gravitációs, mágneses, elektromos, elektromágneses és radioaktív módszerekkel.*
- (2) *Fizikai törvények alkalmazása a Föld vizsgálatára, úgymint (a) szeizmológia (földrengések és rugalmas hullámok); (b) geotermika (a Föld melege, hőáram, vulkanológia, forró források); (c) hidrológia (felszín alatti és felszíni vizek, esetenként gleccserek); (d) fizikai óceánográfia; (e) meteorológia; (f) gravitáció és geodézia (a Föld gravitációs tere, valamint a Föld mérete és alakja); (g) légköri elektromosság és földi mágnesség (benne az ionoszféra, a Van Allen-övek, földi áramok stb.); (h) tektonofizika (a Föld geológiai folyamatai); valamint (i) ásványnyersanyag-kutató geofizika (azaz bizonyos fizikai módszerek: szeizmika, gravitáció, mágnesség, elektromosság, elektromágnesség, radioaktivitás alkalmazása valamilyen ásványkincs: olaj, gáz, ásványok, víz stb. gazdaságos kitermelhetősége céljából) és mérnökgeofizika.*

Esetenként a geokronológiát (a földtörténeti kormeghatározást) is a geofizikához sorolják.

A (c), (d) és (e) pontok, valamint a (g) egy részének kihagyásával a szilárd Föld geofizikájának definíciója áll elő.

E definíció eredeti angol változatát és a geofizika néhány további meghatározását az 1. függelék tartalmazza. Az eltérő szemléleteket elsősorban két eltérő lépték: egy ún. „általános” (globális megközelítés) és egy ún. „alkalmazott” (regionális vagy lokális megközelítés) magyarázza. Ennek megfelelően a geofizika két nagy csoportja az alábbi: (1) *általános geofizika*, amely a bevezetőben felsorolt témakörök (röviden: a Föld és a határoló kozmikus tér szerkezetének és folyamatainak a fizikai vizsgálata) mellett újabban a Nap–Föld fizikára, sőt az űrkutatás előrehaladtával más égitestek szerkezeti vizsgálatára is kiterjed, (2) *alkalmazott geofizika*, amely a nyersanyagkutató és mérnök-geofizika mellett sok más területet (pl. környezetvédelem) is érint.

A környezet-geofizika vagy környezeti geofizika definíciója az 1990-es évektől kezdve bontakozott ki. Kezdetben kifejezetten a bioszférával közvetlenül érintkező geoszféra vizsgálatára (az ember ΔE -nyi környezetére) korlátozódott (tehát az alkalmazott geofizikához kötődött), de manapság — a globális környezeti problémák előtérbe kerülésével — az általános geofizikában is egyre nagyobb szerepet játszik.

Az általános geofizika tisztán alaptudományi diszciplína („research”, amennyiben fő hajtóereje a valóság megismerésének vágya). Az alkalmazott geofizika elsődleges hajtóereje a gazdasági-társadalmi szükséglet, ami kezdetben nyersanyagkutató jelentett („exploration”), de ma már a környezetvédelem, az építőmérnöki tevékenység, a régészet, sőt helyenként a mezőgazdaság is alkalmazza. Standardizált módszereinek alkalmazása magas színvonalú mérnöki tevékenység körébe tartozik, de a felszín alatti térség kimeríthetetlen változatosságának egyre részletesebb megismerése tudományos előrehaladás nélkül nem lehetséges.

Az általános és alkalmazott geofizika mint tudományág határai nem csupán elmosódtak a többi tudományág (pl. természetföldrajz, geodézia, meteorológia) felé, hanem tér- és időfüggők is: a fizikai óceánográfia nálunk nem számít a geofizika részének, másutt viszont a geofizika központi részét képezheti, és régebben senki sem beszélt a Mars „geofizikájáról”.

Ha kategorizálni kell: a geofizika nem a fizika, hanem a földtudomány része: elsősorban a Föld nevű természetes laboratóriumban és annak műszeresen elérhető tágabb környezetében előforduló fizikai jelenségek kifürkészője. A geofizika közvetett úton: különböző fizikai leképeződések-ből következtet a kézzelfogható valóságra: a felszín alatti térség geológiai felépítésére, valamint nagy mélységekben, illetve magasságokban lejátszódó folyamatokra. (Annak ismeretében, hogy a *geológia* kifejezést a *teológia* ihlette [azaz a geológia az „ég” tudományával szemben a „föld” tudománya], akár azt is mondhatnánk, hogy a mai geofizika *általános geofizika* része nem csupán *geofizika*, hanem „*teofizika*” is egyben.)

Az MTA Geofizikai Tudományos Bizottság geofizika-definíciója: a geofizikus köztestületi tagok által művelt tudományos témák összessége. Geofizika az, amit tagjaink (1999-ben 44 fő, 2005-ben közel hatvan fő) és az ő bel- és külföldi munkatársaik geofizikának tartanak.

A geofizikus MTA-köztestületi tagok jelenlegi tudományos témaköreit (a saját magukról az MTA számára megküldött adatok alapján) a 2. függelék foglalja össze.

Visszatekintés az MTA Geofizikai Tudományos Bizottság 56 évére

Az MTA Alapszabályának 24. paragrafusa szerint a tudományos bizottság ellátja az Akadémia feladataiból a tudományra háruló teendőket, elvégzi mindazt a tevékenységet, amellyel a tudományos osztály megbízza. E paragrafusok a bizottságok feladatát részletesen felsorolják. 1825-ös megalakulása óta maga az Akadémia is számos változáson esett át (igen tanulságos elolvasni történetét a www.mta.hu/index.php?id=423 címen). Az akadémiai bizottságok tehát nem autonóm szerveződések, hanem a tudományos osztályok eszközei. A Geofizikai Tudományos Bizottság a Földtudományok Osztálya irányításával, valamint tudományági önszerveződésünket tekintve a Magyar Geofizikusok Egyesületével (MGE) együttműködve végezte és végzi jelenleg is a munkáját.

Az MTA Geofizikai Tudományos Bizottság története 1949-ig nyúlik vissza (előtte — 1930-tól — az IUGG nemzeti bizottsága jelentette Magyarországon a geofizikai tudományág szervezeti keretét). Az MTA kebelében a geofizikusok kezdetben az ún. *Geodéziai és Geofizikai Főbizottságban* és annak három albizottságában működtek. A *Magyar Geofizikusok Egyesülete* 1954-ben jött létre, és végig jellemző volt a két szerveződés független, de egymást kiegészítő együttműködése: a szakmai-közéleti tevékenység terepe az egyesület volt, a szakmai-tudományos irányítás pedig a főbizottság által történt. Az *MTA Műszaki Osztály Közleményei*, a *Magyar Tudomány* és az *Akadémiai Közöny* elérhető régi számai, a bizottság korábbi tisztségviselői által megőrzött anyagok, de mindenekelőtt az *Akadémiai Levéltár* dokumentumai számos tudománytörténeti érdekességet tartalmaznak.

1949-től az akadémiai bizottságok — így földtudományiak is (1965-ig, a Föld- és Bányászati Tudományok Osztálya néven megalakuló X. Osztály létrejöttéig a Műszaki Tudományok Osztály keretein belül) is akarva-akaratlanul, kényszerből vagy örömmel, az új központosított berendezkedést szolgálták. A bizottság tevékenysége kiterjedt a kutatóhelyek szigorú beszámoltatására, a kandidátusi és doktori minősítésekre, az egyetemi tanári kinevezésekre, sőt — még a 60-as években is — a külföldi tanulmányutakról írott újtjelentések értékelésére. A hatalom mindenről tudni akart (az «osztálytitkári» és «szaktitkári» rendszeren keresztül működő osztályirányítás majdhogynem a mindenható hatóság szerepét játszotta a bizottsággal). A bizottság pedig — a mindenkori játékszabályok kulturált betartásával — a lehető legtöbbet igyekezett kiharozni a tudományág, a szakma számára. Az akadémiai bizottságokban ugyanolyan hivatástudattal, szakmaszeretettel folyt a munka, mint amilyenek azt az egyesület történetéből megismerhettük.

Az MTA Geofizikai Tudományos Bizottság tisztségviselőinek listáját 1949-től napjainkig a 3. függelék tartalmazza. Az 1949–61 közötti időszakot a szinte folyamatos változás jellemezte; a feltételek 1961-től a nyolcvanas évek második feléig nemigen változtak, de attól kezdve újabb folyamatos, de ellentmondásos változás figyelhető meg.

1949–1961

Az ún. Geodéziai és Geofizikai Főbizottság elnöke 1949–1954 között TÁRCZY-HORNOCH Antal (az 1949-es változások után az egyedüli akadémikus a geodézia és a geofizika terén) volt. A főbizottságon belül három geofizikai albizottság (később szakbizottság) működött:

1. Geofizikai Albizottság (később Alkalmazott geofizikai Szakbizottság), elnök: Renner János;
2. Szeizmológiai Albizottság (később Szeizmológia és a Föld belső fizikája Szakbizottság), elnök: Scheffer Viktor;
3. Földmágnességi Albizottság (később Földmágnességi és Geoelektromos Szakbizottság), elnök: Kántás Károly.

1954 nyarán megalakult az önálló Geofizikai Főbizottság, elnöke: Kántás Károly, majd 1957 áprilisában (az eltávolítottakat kiegészítő) új bizottság jött létre TÁRCZY-HORNOCH Antal elnökletével.

1954-ből egy páratlanul érdekes 20 oldalas kézirat-dokumentum: „A geodézia-geofizika szakterületének műszaki és tudományos helyzete” (amelynek valószínű összeállítója, illetőleg összeállíttatója TÁRCZY-HORNOCH Antal) nyújt értékes és átfogó helyzetképet.

Néhány pillanatkép a Geofizikai Bizottság 1949–61 közötti jegyzőkönyveiből:

- 1949–1956: Minden hónap negyedik péntekjén ült össze a főbizottság, az albizottságok pedig csütörtökön.
- 1957/58: A Nemzetközi Geofizikai Év hazai koordinálását elnökként TÁRCZY-HORNOCH Antal, titkárként EGYED László végezte.
- 1958: Újjászervezték az 1949 óta nem működő IUGG Nemzeti Bizottságot.
- 1957/58: Az 1957-ben elkezdődött akadémiai ciklus első éve után újjászervezik a bizottságot. (Pl. „SCHEFFER Viktor politikai alkalmasságát meg kell vizsgálni”; az „új és fejlődőképes erők” iránti elvárás a jegyzőkönyvbe is bekerült).

A hatvanas évek elejétől a nyolcvanas évek végéig

Az 1961-gyel kezdődő akadémiai ciklus már a konszolidált kádári időszak idejére esett. Az ekkor megalakult bizottság tagjai: EGYED László elnök (immár az MTA levelező tagjaként), SCHEFFER Viktor alelnök, CSÓKÁS János titkár, BARTA György, BENKŐ Ferenc, BESE Vilmos, DOMBAI Tibor, GÁLFI János, GROHOLY Tivadar, HAÁZ István Béla, HONFI Ferenc, KERTAI György, OSZLACZKY Szilárd, RENNER János, RÉTHLY Antal, RYBÁR István, SEBESTÉN Károly, SIMON Béla, STEGENA Lajos, TATÁR János, TÁRCZY-HORNOCH Antal, VÖRÖS János.

Az időszak elejére kialakult peremfeltételek negyedszázadon át lényegében változatlanok voltak. A magyar geofizika a politikai-gazdasági berendeződéshez ötletességgel, találékonysággal, a Kelet és a Nyugat közötti „híd-szerep” megfelelő eljátszásával megfelelően idomult. Az a realista feltételezés, miszerint a külső körülmények hosszú

ideig („150 évre”) ugyanilyenek maradnak, elmélyült szakmai kérdések felé fordította a figyelmet. A nehézségek ellenére az idősebbek nosztalgiával gondolnak erre a stabilnak jellemezhető időszakra, amely persze nem volt olyan homogén, mint amilyenek első pillantásra látszik: az alkalmazott geofizika helyzetében a hazai bányászattal kapcsolatos intézkedések és az olajár-változások jelentős hullámzásokat okoztak. Az általános geofizika Magyarországon akkortájt — gazdasági érdektelenség okán — meglehetősen háttérbe szorult. (Nem csupán Magyarországon: a műholdas mérések első sikerein felbuzdulva a földi geofizikai obszervatóriumok létjogosultságát világszerte megkérdőjelezték.)

A Geofizikai Tudományos Bizottságban ez idő tájt tárgyalt néhány téma:

- 1971: a földtudomány válsága
- 1973–1974: „nincs kandidátus utánpótlás”; nem minősítettek is bekerültek a bizottságba
- 1975: földtudományi bemutató a BNV-n
- 1977: helyzetkép, amelyben a nemzetközi kapcsolatokat az általános geofizikában a KAPG és INTERKOZMOSZ, valamint IGP, IUGG, COSPAR, az alkalmazott geofizikai kapcsolatokat a szocialista együttműködések jellemzik, de a nyugati orientációs törekvés is felbukkan
- 1985: Automatizált szeizmológia hálózat megteremtése. „Geofizika a régészetben”
- 1986: Helyzetkép a geofizikáról (közzétéve az Akadémiai Közlöny 1986. július 30-i számában).

A nyolcvanas évek második felétől napjainkig

A technikai fejlődés következtében a világ egyre inkább gyorsuló ütemben kezdett változni, s egyszer csak szétfeszítette a világpolitikai berendezkedést. A magyarországi gazdasági és politikai rendszerváltozás máig ható és ma is folytatódó gyökeres változásokhoz vezetett a geofizikában is. Az egyéni kezdeményezések (kezdetben egyrésről az AKA, illetve az OTKA, amelyekben a nem vezető, fiatal kutatók először irányíthattak tudományos projekteket, másrésről a munkahelyi gmk.-kal induló, majd különféle kft.-kben és rt.-kben kiteljesedő gazdasági vállalkozások) egyre nagyobb szerepet játszottak. Ugyanakkor az állam egyre inkább kezdett kihúzódni a földtudományi kutatások, a geofizikán belül különösen az alkalmazott geofizikai kutatások támogatásából. Magyarország tervszerű, céltudatos geofizikai felmérését az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet a kilencvenes évek elején kénytelen volt abbahagyni.

Az intézményhálózat néhány év alatt átszerveződött, és a geofizikai kutatóintézetek: az ELGI és az MTA GGKI kutatói létszáma mára az 1975-ös létszám felére esett vissza. Az egykori állami kőolajvállalatból, az OKGT-ből 50% külföldi befektetői tulajdonban, 15% hazai magánbefektetői tulajdonban és mindössze 12% magyar állami tulajdonban (továbbá 9% ÖMV, 8% Slovintegra-Slovbena, valamint 6% egyéb tulajdonban) lévő MOL Rt. lett. A MOL két leányvállalatában (GES és Geoinform) van geofizikai kutatási tevékenység. A hajdani MÉV-ből Mecsekérc Környezetvédelmi Rt., a valamikori pécsi szénbányászati tröszt geofizikai kutatási részlegéből Geopárd Kft. lett. A két 54 éves tanszék (ELTE és ME) és az akadémiai kutatócsoportok létszámhelyzete ideális sosem volt.

(Az összeállítás írásakor folyik a felsőoktatás gyökeres és kétséges átalakítása, és újabb leépítés-rémképek uralják a híreket.) A kilencvenes évek közepén az akadémiai kutatóintézeteket is utolérte a „modernizáció”-nak és „stabilizáció”-nak nevezett restrikció (amely 2005-ben újra reális fenyegetéssé vált).

Az átalakulások lezajlásával egyre általánosabban a „nyugati” mércét kezdték alkalmazni a magyar geofizikára. A piac és a tudománymetria egyaránt bebizonyította, hogy a magyar geofizika állja a versenyt az EU-országokkal történő összehasonlításban.

Néhány bizottsági pillanatkép a nyolcvanas évek végétől:

- 1987: Az ELTE Geofizikai Tanszéken létrejött az akadémiai kutatócsoport. Új geofizikus-képzési tervek merültek fel, és először fogalmazódott meg, hogy „gyakran szükséges nem szorosan profilba vágó szerződéses munkák vállalása a kutatás megtartása érdekében”.
- Új — elabortált — folyóiratterv: Földtudományi Közlemények (a X. Osztály kezdeményezése volt).
- 1988: felbukkan a Paksi Atomerőmű földrengésveszélyeztetettsége; a könyvkiadásban a bizottság „nehézményezi az elkészült kéziratok hosszú átfutási idejét”.
- 1989: Megszűnt a MÉV-nél az uránkutatás támogatása, a bizottság „foglalkozott azokkal a kibogozhatatlannak látszó tényezőkkel, amelyek az uránbányászat nagyfokú ráfizetését eredményezték”. Bős-Nagymaros és Paks földrengés-veszélyeztetettsége (levél a Nature 1989. május 11-i számában). Ekkor merült fel a geofizikának a környezetvédelemben való bekapcsolódása.
- 1991: A bizottság tárgyalja az ELGI átalakulását. (Az átalakítás éve 1993 lett.) A Geofizikai Tudományos Bizottság közös ülést tartott a Geodéziai Tudományos Bizottsággal. A VEAB munkabizottságaival együtt Sopronban volt egy rendezvény „A környezettudomány geodéziai és geofizikai vonatkozásai” címmel. Geofizikai mérések (ELGI) szovjet laktanyák környékén.
- 1992: Vita az impakt faktorról. Immár a környezetvédelem problémái kerültek előtérbe a CH-kutatás helyett.
- 1993, 1998, 2002: Geofizikai OTKA projektek seregszemléi (Közös szervezés az MGE Tudományos és Oktatási Bizottságával; a legközelebbi valószínűleg 2006-ban lesz esedékes). Az MGE Magyar Geofizika-különszámokat szentel ezeknek az összejöveteleknek.
- 1997: Az EAGE egyik kitüntetése EÖTVÖS Loránd nevével viseli (VERŐ László kezdeményezéseként).
- 1998: Az MTA GGKI az FKK-ba tagozódott. Létszámcsökkenés az ELTE MTA-kutatócsoportnál; Miskolcon nem alakulhatott MTA-kutatócsoport.
- 1999: A geofizikai tudományos bizottság rendezvénye: „Eredmények a magnetotellurikában, az aeronómiában és a geomágnességben” (Sopron).
- 2000: Rátértünk az elektronikus leveles kapcsolat-tartásra és WEB-oldalt készítettünk.
- 2001: 50 éves az ELTE Geofizikai Tanszék, a Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszéke és Kántás-ünnepség volt Sopronban is.
- 2001: Korreferátum „Az EU-hoz való csatlakozásunk földtudományi problémái” című rendezvényen „A magyar geofizika — európai mércével” címmel.

- 2001. november 9: A bizottság MGE-vel közös konferenciája „A geofizika szerepe a hatékony környezetvédelemben” címmel.
- 2004: Felkészülés a PlanetEarth („Bolygónk a Föld”) programra, amelynek jelmondata: „Földtudományok a társadalomért”.
- 2005. október 28: Bizottsági rendezvény: a PhD fokozatot szerzett geofizikusok bemutatkozása „PhD eredmények a magyar geofizikában” címmel.

Hazai és nemzetközi körkép

A 21. századi alkalmazott geofizika jellemzője az, hogy igen rövid idő alatt nagy mennyiségű és igen pontos adatot: új minőséget jelentő, valódi többdimenziós adatrendszerrel szolgáltat. A sablonos megközelítések mellett és helyett új eljárások is felbukkannak a geofizikában, és ez különösképp a környezettudomány és környezetvédelem szempontjából bír jelentőséggel. A másik jellemző a multidiszciplináris megközelítés, és ebben a geofizika nem önállóan, hanem más diszciplínákkal együtt, azokat kiegészítve (legtöbbször azokat kiszolgálva) jelenítődik meg. Ma már nem csupán „jobb” eredményeket lehet megbecsülni az egyes módszerek korlátait. A modellezési és inverziós eljárások állandó javítása, a különböző módszerek együttes inverziójában történt előrelépések jelzik, hogy ki tudjuk használni a növekedett technikai lehetőségeket.

Az általános geofizikát a globális környezeti problémák világszerte előtérbe helyezték. Geofizikai ismeretünk a Földről (terepi és obszervatóriumi mérések révén a Föld belsejéről, a legkülönbözőbb mérettartományokról, műholdas és obszervatóriumi megfigyeléseknek köszönhetően a Föld körüli térségről) hatalmas mértékben nő. Egy-egy földi esemény (földrengés, cunami, napkitörés vagy pólusváltás) időnként ráirányítja a közérdeklődést is az általános geofizika egyes ágaira (elsősorban a szeizmológiára vagy a geomágnességre). Prognosztizálható az általános geofizika iránti társadalmi érdeklődés további növekedése, amelynek — sajnos — globális földi környezetünk átalakulása (romlása) jelenti az alapját. A geofizikának (azaz a geofizikusoknak) a jelenleginél nagyobb szerepet kell vállalni a környezeti problémák kutatásában, az ezzel kapcsolatos döntéshozatalban, valamint a tudományos ismeret-terjesztésben.

A magyar geofizikusok 1949-től tisztségeket töltenek be különféle szakmai-tudományos nemzetközi szervezetekben. A nemzetközi publikációs teljesítmény megfelelő: az általános geofizikában (különösen a globális éghajlatváltozással kapcsolatos területeken) megnyíltak, az alkalmazott geofizikában inkább szűkültek a lehetőségek, de magyar geofizikusok cikkei — egyelőre — elegendő számban jelennek meg. A geofizika igen kicsiny tudományág, ezért az elvárható impakt-faktorok — különösen az alkalmazott geofizikában — alacsonyak. További problémát jelent, hogy a hazai folyóiratok (Acta Geod. Geoph. Hung., Geophysical Transactions, valamint az egyetemi közlemények) nem tudtak bekerülni az SCI-adatbázisba. A magyar nyelvű Magyar Geofizika (a Magyar Geofizikusok Egyesületének lapja) a társadalmi-szakmai élet fóruma lett.

A magyar geofizika hazai tudományos helyzetét jól mutatja többek között, hogy geofizikusokat érintő doktori képzés Magyarországon három helyen: az ELTE Földtudományi Doktori Iskola, a ME Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskola és a NYME Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola keretein belül folyik. Együtt jelentősen megugrott a külföldön doktoráló magyar fiatalok száma: a magyar fiatalok sikeresen helytállnak, és — egyelőre elfogadható arányban — idehaza folytatják kutatómunkájukat. Az abszolút létszámnövekedés ellenére azonban a geofizikában — néhány más, akár földtudományi tudományághoz képest — relatíve csökken a PhD-val rendelkező geofizikusok aránya. Az MTA doktorok száma kifejezetten kevés, és évről évre mind kevesebben pályáznak OTKA-projektekre.

Geofizikusok a legutóbbi években két OTKA tudományos iskolai projektet is indítottak, de 2004-ben — a források erőteljes szűkítése miatt — geofizikai tudományos iskolai OTKA-projekt már nem került a nyertesek közé, és a tematikus pályázatoknál is súlyos veszteségeket szenvedett a geofizika.

Az egyetemi képzésben a geofizikus, geofizikus-mérnök mellett megjelent a geoinformatikus, környezetmérnök és környezetkutató képzés is. Az ún. „bolognai” rendszerű, „lineáris” képzés (BSc+MSc+PhD) felgyorsított bevezetése sokunkban ébreszt kétségeket.

Az általános és középiskolai oktatásban csak a természetföldrajz keretei között jelenik meg a geofizika (és általában a földtudomány), és ez nem jó, mert messze ható hatásai vannak (a geofizika — és az összes földtudomány — kárára). A tudományos népszerűsítés terén is elégedetlenek vagyunk a geofizika megjelenésével.

A hazai nyersanyagkutatás visszaszorult, az olajkutatás súlypontja külföldre helyeződött. A helyére lépett környezetvédelem sokkal szélesebb bázisú, de általában vékonyabb pénzforrást jelent (persze vannak kivételek, főként radioaktív-ügyben). E téren igen számos üzleti vállalkozás indult be és bontakozott ki, részben állami intézmények holdudvarában. A hazai geofizikai intézmények tevékenységét a 4. függelék foglalja össze.

A geofizika a környezetvédelem számára — ahol konkrét intézkedésre (pl. kármentesítésre) van szükség — egzakt, de közvetett paramétereket nyújt. Önmagában nem ad megoldást, „csak” a megoldás fizikai alapját adja. (A mai „siker”-orientációjú világban manapság sok esetben mintha nem annyira — a geofizika által is kínált — egzakt természettudományi megközelítésre, hanem ún. menedzser-szemléletre (véleményem szerint — az EU 6. keretprogram geológus alelnöke szóhasználatát idézve — „üres szóforgatásra”) lenne igény. A „környezettudomány” megjelenése új helyzetet teremtett, de gondot jelent még a fogalmának tisztázatlansága is. Világjelenség — többek között az európai pályázatoknál is felfigyeltek arra —, hogy az eddigi környezeti projektek elég tekintélyes részében „hangzatos lözungokkal dobálózó ügyeskedők elhalászták a pénzt az igényes, de semmi biztos haszonnal nem kecsegtető kutatók elől, és koptatják a környezet tudományi — ezen belül a földtudományi — kutatások hitelét.”)

Az újabb pályázati kiírások — a geofizika szemszögéből nézve — meglehetősen bürokratikusak, ellentmondásosak, követhetetlenek, a követelmények szinte kielégíthetetlenek. A pályázatok írása és a jelentéstétel egyre elviselhetetlen-

nebb leterheltséget jelent. Összességében rendkívül gyorsan romló körülmények jellemzik a mostani időszakot: a kutatóhelyek hazai támogatása beszűkült, és ez akadályává vált a nemzetközi projektekbe való bekapcsolódásnak. A nemzetközi együttműködési lehetőség ugyanakkor — elsősorban néhány „divatos” (azaz EU-bürokraták által felkapott) területen ugrásszerűen megnőtt. A Nemzetközi Geofizikai Év (IGY, 1957) 50. évfordulójához (2007=IGY+50) közeledve különösebb rá szervezés nélkül is elmondható, hogy a földtudományi kutatások a világban meg fogják haladni az ötven évvel ezelőttiüket. A munkacsoportok kialakulása éppen napjainkban történik, és ezért is igen sajnálatos a hazai áldatlan, a magyar kutatókat behozhatatlanul hátrányos helyzetbe hozó állapot.

A hazai kutatástámogatás 2002-re kiépült hármas pillére, azaz (a) a tudományos felismeréseket eredményező tiszta alapkutatás támogatása, (b) az innovatív termékeket létrehozó alkalmazott kutatás támogatása, (c) az alap- és/vagy alkalmazott kutatáson alapuló, konkrét társadalmi célkitűzést megfogalmazó nagyprojektek támogatása [NKFP]) mára felborult. A tudományos kutatás feltételei ma (2005-ben) rohamosan rosszabbodnak.

A kutatástámogatás hazai (és nemzetközi) ellentmondásossága ellenére a magyar geofizika szakmai-tudományos színvonala (annak tudományos és mérnöki tevékenysége egyaránt) — az alkalmazott és általános geofizikában, illetőleg a környezet-geofizikában is — feltehetően még mindig az EU-átlag fölött van.

Az MTA Geofizikai Tudományos Bizottság jövőbeni szerepe

Az MTA megalakulása (1825) óta (de a geofizikai bizottság 1949-es megalakulása óta is) a társadalmi feltételek többször módosultak, sőt gyökeresen megváltoztak. Egy valami nem változott: az MTA a magyar tudományban mindenkor (jól-rosszul, az adott külső feltételek által befolyásoltan) az érték kiválasztására igyekezett törekedni. (Jelenleg ez elsősorban az MTA doktori fokozaton és az MTA tagságon keresztül érvényesül.) Adminisztratív, tudományirányító szerepe 1990-ben végérvényesen megszűnt: „tudományos köztestület”, azaz — legalábbis elvileg — a tudományos közélet testülete lett.

Következésképpen az MTA Geofizikai Tudományos Bizottság szerepe is hasonló: a geofizika területén a tudományos érték kiválasztása, az értékek felmutatása, a tudományos produktumok elősegítése. Ebből következnek az MTA Geofizikai Tudományos Bizottság jövőbeni feladatainak súlypontjai, mindenekelőtt az MTA által kirótt tudományági koordinációs és szervezési feladatok elvégzése, illetőleg a tudományág képviselője az MTA-n. Emellett — az ötven évvel ezelőtti szakmai irányítás helyett — egyre inkább szükséges lenne a geofizika mint tudományág társadalmi gondozása. Ide tartozik a tudományág evolúciójának nyomon követése, nemzetközi kitekintés, együttműködés a kapcsolódó tudományágakkal; a tehetséges fiatalok bevonása (bevezetése) a hazai tudományos közéletbe (a jövőbeni köztestületi tagok: mai PhD-hallgatók tájékoztatására nagyobb gondot kell fordítani). Tudományágunk területén részt kell vennünk a nemzeti kulturális örökség ápolásában, valamint a geofizika társadalmi megítélésének folyamatos fejlesztésében.

Az MTA Geofizikai Tudományos Bizottságnak tehát — a „kötelező” feladatok ellátása mellett a geofizikát tudományos eredményekkel gazdagító „köz” testületének, azaz hazai geofizikai köztestületnek kell lennie.

Első számú kulcskérdésnek ítélem a fiatalok bevonását. A fiatal nemzedék igen céltudatos, de a nemzetközi elvárásokhoz való alkalmazkodás könyörtelen kényszere csak az egyéni előrehaladást segíti elő, a magyar geofizikusok összefogását nem. Emiatt még az is előfordulhat, hogy — geofizika ugyan lesz, de — nem lesz magyar geofizika! A fiatalok bevonása a hazai tudományos közéletbe egészen egyszerűen a magyar geofizika mint tudományág folyamatosságának megőrzését szolgálja.

A magyar geofizika kezdeteit (5. függelék), az MTA tagjainak eredményeit és névsorát (6. függelék) végigtekintve, veszteségeink (7. függelék) ellenére is látható: van mire büszkének lenni és van kikre példaképként tekinteni.

Társadalmi működését a bizottságnak továbbra is a Magyar Geofizikusok Egyesületével együttműködésben, sőt annak keretein belül érdemes kifejtenie, nem pedig attól függetlenül. Az egyesület hagyományosan kialakult és gazdag, sokrétű szakmai közéletét a Geofizikai Tudományos Bizottságnak minél több, kifejezetten tudományos értékekkel kell gazdagítania. (Az MGE Tudományos Bizottsága lehetne például teljesen azonos az MTA Geofizikai Tudományos Bizottságával: a meglévő párhuzamosság megszüntetése, illetőleg az azonosság kimondása véleményem szerint mind az MTA-nak, mind az MGE-nek hasznára válna. Ezzel az aprónak tűnő módosítással — véleményem szerint — nem történne más, mint a „tudományos köz” javát szolgáló igazodás a megalakulás, 1949 óta megváltozott viszonyokhoz és követelményekhez.)

Néhány ciklusban — itt nem részletezett — albizottságokban is folyt munka (volt „műszerügyi”, „mélyfúrási geofizikai”, „felszín alatti térség”, „környezetgeofizikai” albizottság stb., mikor melyik tűnt indokoltnak). 1993-tól efféle albizottságok nincsenek, de a 2005-ben kezdődő új akadémiai ciklusban kézenfekvőnek tartanám egy alkalmazott geofizikai és egy általános geofizikai albizottság felállítását.

Köszönetnyilvánítás

Az anyaggyűjtésben segítettek: NÉMETH Erzsébet (MTA GGKI könyvtár), HAY Diana (MTA levéltár), PETHÖNÉ ÁSVÁNY Bea (MTA X. Osztály), FLEISCHHACKER Imréné (MTA GGKI), továbbá ÁDÁM Antal, TAKÁCS Ernő, VERŐ József, MESKÓ Attila, MOLNÁR Károly, az MTA Geofizikai Tudományos Bizottság korábbi tisztségviselői. POSGAY Károly, ORMOS Tamás, GYULAI Ákos, BODOKY Tamás, WESZTERGOM Viktor, BARÁTH István észrevételei és javaslatai beépültek a szövegbe. DRASKOVITS Pál, MÁRTONNÉ SZALAI Emő, VARGA Mihály, ZIEGER Bertalan a szóbeli változathoz ábrákat küldött. Az MTA X. Osztályának 2005. március 8-i soproni ülésének résztvevői közül többek (PANTÓ György osztályelnök, ÁDÁM József, BÍRÓ Péter és SZEIDOVITZ Győző) észrevételei beépültek a jelenlegi változatba.

FÜGGELÉKEK

1. függelék: Néhány további geofizika-definíció

Az amerikai *National Science Foundation* a természet- és műszaki tudományokat 11 területre osztja és az ún. *Geotudományok* ezek egyikét képezik. Az NSF szerint a geotudományokat 3 alterületre osztják:

- légkörtudományok,
- óceántudományok,
- földtudományok.

A földtudomány részei:

- 1) Geológia és paleontológia,
- 2) Geofizika,
- 3) Hidrológiai tudományok,
- 4) Közettan és geokémia,
- 5) Tektonika.

A Geofizika tehát a földtudományok része, amely az ún. Geotudományok egyik területe.

PANTÓ György, ÁDÁM József, MÉSZÁROS Ernő: Földtudomány (Tudománypolitika Magyarországon II. A diszciplínák művelése, 2002, sorozatszerkesztő: GLATZ Ferenc): „A geofizika tudományok a Föld és környezetének anyagi összetételét, szerkezetét, az azokat befolyásoló anyag- és energiaáramlásokat, a fizikai erőtereket és jelenségeket, a Föld dinamikáját, valamint a Föld és más égitestek kölcsönhatását a fizika módszereivel, fizikai mennyiségek mérésével, az értelmezésben a fizika és a földtan eredményeinek, valamint a korszerű számítástechnika módszereinek felhasználásával kutatja.”

Egy szellemes — és a szilárd-Föld geofizikára tökéletes — megközelítés az ELTE Geofizikai Tanszék 50 éves születésnapján honlapján található. Eszerint „a geofizika egyesíti magában a fizika szabadságát (*rigour of physics*) és a geológia szadosságát (*vigour of geology*)”.

2. függelék: Az MTA geofizikus köztisztületi tagjai által művelt tudományos témacsoportok (2005 júniusában)

— *Földfizika 1: a Föld körüli térség fizikája*

- Nap-Föld fizika
- Űridőjárás és űrklíma:
 - hosszú távú változások a bolygóközi térben
 - a geomágneses tér napfizikai jelenségekkel összefüggő változásainak vizsgálata
- A természetes elektromágneses tér obszervatóriumi megfigyelése
- Geomágneses pulzáció
- Ionoszféra
- A semleges felső légkör és az ionoszféra közötti kölcsönhatás kutatása
- Az alsó ionoszféra jelenségeinek kutatása
- Légköri elektromos elemek összefüggéseinek feltárása
- Rádióhullámok ionoszférikus és transzionoszférikus terjedésének kutatása
- Schumann-rezonancia
- Turbulencia tanulmányozása az alsó termoszférában ionoszféra paraméterek segítségével (beleértve egyéb irregularitásokat is)
- Mesterséges holdak mágneses méréseinek feldolgozása és értelmezés

— *Földfizika 2: A Föld belseje*

- A kéreg és a felsőköpeny szeizmikus sebesség-eloszlásának és szerkezetének meghatározása
- A litoszférában lévő szeizmikus felületek kialakulásának tanulmányozása
- Föld- és paleomágnesség
- Földrengéskockázat
- Földrengés-kutatás hullámforma inverzióval
- Geodinamika
- Kőzetfeszültség mérése, modellezése
- Lokális és regionális földrengések fészekmechanizmusának meghatározása hullámforma inverzióval
- Magnetotellurika
- Magnetotellurikus mélyszerkezet-kutatás, geomágneses szondázás
- Mesterséges holdak mágneses méréseinek feldolgozása és értelmezése
- Paleomágnesség
- Mesterséges holdak mágneses méréseinek feldolgozása és értelmezése

— *Geológia*

- Lemeztektonika
- Litoszféra kutatás
- Tektonika
- Paleomágnesség tektonikai alkalmazásai
- Szerkezetföldtan
- Szerkezeti geológia
- Regionális geológia
- Medenceanalízis
- Neotektonika
- Neotektonika és szeizmotektonika
- A Kárpát-medence nagyszerkezetének pontosítása szeizmikus eredmények alapján
- A Kárpát-medencében és környékén a *P*-hullámok terjedési sebességviszonyainak nemzetközi szeizmikus mérésekkel történő vizsgálata
- A Pannon-medence kialakulása és fejlődése
- A Pannon-medence szerkezetének kutatása tomografikus módszerekkel

— *Klasszikus felszíni geofizika 1: gravitáció, mágnesség, radiometria, geotermika*

- Gravitációs és földmágneses mérések feldolgozása és értelmezése
- Gravitációs modellezés
- Geotermika
- Radiometria

— *Klasszikus felszíni geofizika 2: Elektromágnesség*

- Felszíni geoelektromos módszerek
- Felszínközeli geológiai szerkezetek kutatása geoelektromos módszerekkel
- Egyenáramú geofizika, egyenáramú geoelektromos módszerfejlesztés
- Geoelektromos módszerfejlesztés
- Elektromágneses frekvenciaszondázás
- Elektromágneses geofizikai kutatómódszerek
- Mesterséges forrásokat használó frekvenciatarománybeli elektromágneses módszerek numerikus modellezésének fejlesztése
- Indukált polarizáció

- Rádiófrekvenciás inhomogenitás-kutatás
- Határfelületek meghatározásának problematikája különböző geofizikai módszerekkel
- *Klasszikus felszíni geofizika 3: Szeizmika*
 - A szeizmoakusztikus emissziók vizsgálatán alapuló ipari biztonsági módszerek alkalmazása
 - Akusztikus hullámkép-analízis
 - Az abszorpciós tomográfia földtudományi alkalmazása
 - Az észlelési távolságtól függő reflexiók amplitúdók elemzése
 - Mélyszeizmikus szondázás
 - Robbantási munkák mélyfúrásokban
 - Rugalmas hullámok terjedésének modellezése
 - Szeizmikus értelmezés
 - Szeizmikus feldolgozás és értelmezés
 - Szeizmikus kutatómódszer, tomográfia
 - Szeizmikus leképezések a fűrólyukak átvilágításakor
 - Szeizmikus mérések módszertana
 - Szeizmikus migrációs sebesség analízis
 - Szeizmikus többszörös hullámok csillapítása
 - Szekvencia sztratigráfia
 - Szeizmikus értelmezés
 - Vertikális szeizmikus szelvényezés
 - Szénhidrogénkutatás
- *Felszín alatti geofizika*
 - Mélyfúrási geofizika
 - Indukciós karotázs
 - Karotázs (mélyfúrási geofizika) értelmezés, karotázs kútdiagnosztika
 - Elektromos mérések fűrólyukban
 - Szeizmikus és mélyfúrási geofizikai adatok integrált feldolgozása
- *Matematika és informatika (Adatfeldolgozás, inverzió)*
 - Geofizika és numerikus modellezés
 - Geofizika és számítástechnika
 - Geofizikai adatfeldolgozás
 - Geofizikai inverzió: elmélet és gyakorlat
 - Szeizmikus és elektromos inverzió
 - Együttes inverzió
 - Geoinformatika
 - Inverziós módszerfejlesztés
 - Jelanalízis
 - Metaadatbázisok
 - Távérzékelés
 - Térinformatika
- Mérnökgeofizika*
 - Geoelektromos módszerek környezet- és mérnökgeofizikai alkalmazásai
 - Mérnökgeofizikai szondázások
 - Mérnökseizmikus módszerek
 - Üregkutatás geoelektromos és szeizmikus módszerekkel
 - A modális szerkezetdiagnosztika alkalmazása a földrengés-állósági feladatok megoldásában
- *Környezetgeofizika*
 - A mágneses ásványok és a keletkezési környezet kapcsolatának kutatása
- Geoelektromos módszerek környezet- és mérnökgeofizikai alkalmazásai
- Geofizika környezetvédelmi alkalmazása
- Geofizikai módszerek alkalmazása a környezeti állapotfelmérésben
- Globális éghajlat
- Klímaváltozások vizsgálata
- Környezetfizika
- Környezeti kármentesítés
- Környezetvizsgálati célú elektromágneses módszer- és műszerfejlesztések
- Nukleáris környezetvédelem
- Radioaktív hulladék-elhelyezés
- Radon monitoring
- Természetes radioaktivitás
- Vasásványok és környezetszennyezés kapcsolatának kutatása
- Földradar
- Az IP adatok TAU-transzformációját felhasználó környezetgeofizikai célú módszer fejlesztése
- *Egyéb*
 - Agrogeofizikai kutatások
 - Archeomágnesség
 - Folyódinamika
 - Történelmi földrengések
 - Szénhidrogénkutatás
 - Minőségellenőrzés, -biztosítás és -irányítás a geofizikában
 - Minőségellenőrzött geofizikai módszerek

3. függelék: Az MTA Geofizikai Tudományos Bizottság tisztségviselői

<i>Időszak</i>	<i>Elnök</i>	<i>Titkár</i>
1949-1952	Tárczy-Hornoch Antal (Geod.-Geof. Főbiz.)	szaktitkár
1952-1954	Tárczy-Hornoch Antal (Geod.-Geof. Főbiz.)	szaktitkár
1954-1955	Kántás Károly (Geofizikai Főbiz.)	szaktitkár
1955-1958	Kántás Károly, majd 1957-től Tárczy-Hornoch Antal	Tatár János szaktitkár
1958-1961	Tárczy-Hornoch Antal	Tatár János szaktitkár
1961-1964	Egyed László (Scheffer Viktor alelnök)	Csókas János
1964-1967	Barta György	Szénás György
1967-1970	Barta György	Ádám Antal
1970-1973	Barta György	Ádám Antal
1973-1976	Ádám Antal	Szemerédy Pál
1976-1979	Barlai Zoltán (Molnár Károly alelnök), majd 1 év után Molnár Károly elnök	Verő József
1979-1982	Meskó Attila (Molnár Károly alelnök)	Verő József
1982-1985	Meskó Attila (Molnár Károly alelnök)	Verő József
1985-1990	Meskó Attila (Molnár Károly alelnök)	Verő József

1990-1993	Meskó Attila	Verő József
1993-1996	Takács Ernő	Horváth Ferenc
1996-1999	Takács Ernő	Szarka László
1999-2002	Szarka László	Gyulai Ákos
2002-2005	Szarka László	Gyulai Ákos
2005-2008	Új elnök	új titkár

4. függelék: Geofizikai jellegű hazai intézmények

1. Egyetemi, akadémiai, állami kutatóhelyek

- MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet (<http://www.ggki.hu>) soproni Geofizikai Főosztálya, budapesti Szeizmológiai Főosztálya (<http://www.seismology.hu>), valamint — jórészt személyi átfedésekkel — a Nyugat-Magyarországi Egyetem MTA GGKI soproni telephelyére kihelyezett Földtudományi Intézet
- ME Geofizikai Tanszék (<http://www.uni-miskolc.hu/~geofiz/tort.html>)
- ELTE Geofizikai Tanszék (<http://pangea.elte.hu/bev.html>) és az akadémiai kutatócsoportok:
 - ELTE Geofizikai Tanszék Úrkutató Csoport (<http://sas2.elte.hu/hun1.html>)
 - MTA-ELTE Geoinformatikai és Űrtudományi Kutatócsoport
 - ELTE Geofizikai Tanszék MTA Geofizikai és Környezetfizikai Kutatócsoport
- Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (www.elgi.hu)

2. Nagyobb vállalkozások

- MOL Rt. és leányvállalatai:
 - Geofizikai Szolgáltató Vállalat (GES) (http://www.ges.hu/h_frame.htm)
 - GEOINFORM Mélyfúrás Információ Szolgáltató Kft. (www.geoinform.hu)
- ELGOSCAR 2000 Környezettechnológiai és Vízgazdálkodási Kft.
- Geolog Kft. (www.geolog.hu)
- Geomega Földtani és Környezetvédelmi Kutató Szolgáltató Kft. (www.geomega.gu)
- Geopard Kft. (www.geopard.hu)
- Georisk Földrengéskutató Intézet (www.georisk.hu)

- GEOPORT Kft.
- KBFI-Triász Kft. (<http://www.kbfi-triasz.hu/>)
- Mecsekérc Környezetvédelmi Rt. (www.mecsekerc.hu)

3. Magyarországi internetes környezetvédelmi nyilvántartásban szereplő, geofizikai tevékenységet (is) feltüntető hazai cégek

- AQUAPROFIT Rt. (Nagykanizsa), ATLAS IN-NOGLOBE Kft. (Budapest), BGT Hungaria Kft. (Budapest), Biokör Kft. (Budapest), Blautech Kft. (Veszprém), Élő Bolygó Kft. (Budaörs), GEO-FABER Rt. (Pécs), Geohidroterv Kft. (Budapest), Geoservice Kft. (Miskolc), Golder Associates Hungary Kft. (Budapest), Megaterra Kft. (Budapest), Mélyépterv Kultúrmérnöki Kft. (Budapest), Naturaqua Kft. (Budapest), Nord-Pannon Kft. (Ajka), Terratest Kft. (Veszprém), W & M Kft. (Budapest).

5. függelék: A magyar geofizika kezdetei

A magyar geofizika kezdetei (mind az általános, mind az alkalmazott geofizika terén) a magyar nemzeti kulturális örökség részeit képezik. Az általános geofizika a nagy elődök közé sorolja többek között HELL Miksa csillagászt (1720–1792); KITAIBEL Pált (és TOMTSÁNYI Ádámot), akik a 1810-es móri földrengés után a világon először készítettek izoszeiszta-térképet. KÖVESLIGETHY Radó (1862–1938) a magyar földrengéskutatás megteremtője volt. EÖTVÖS Loránd nyolc tanítványa közül többen is az általános geofizika terén alkottak nagyot. A nagy elődök körébe tartozik FÉNYI Gyula is (1845–1927, aki — soproni szülőházán elhelyezett emléktábla szerint — „e házban látta meg a napvilágot, melynek világhírű kutatója lett”), valamint KONKOLY-THEGE Miklós (1842–1916) az ógyallai obszervatóriumalapító földbirtokos. Arról is jó tudunk, hogy a horvát MOHOROVICIC (a kéreg-köpeny diszkontinuitás felfedezője) a magyar királyi földrengésszolgálat zágrábi állomásvezetője volt, és hogy MILANKOVICS az I. Világháború idején szerb hadifogolyként az MTA könyvtárában dolgozott (dolgozhatta) ki asztronómiai elméletét.

Az alkalmazott geofizika kezdetét a világon mindenütt EÖTVÖS Loránd szénhidrogén-kutatási célú ingaméréseihez kötik.

6. függelék: Az MTA geofizikus (vagy geofizikusnak tekinthető) tagjai

Név	Bibl.	Lev. tag	Rendes tag	Tevékenység
Schenzl Guidó	1823-1890	1867	1876	Meteorológus, orsz. mágneses mérések
Xántus (Xantus) János	1825-1994	1859		Mágneses mérések Mexikóban
Konkoly-Thege Miklós	1842-1916	1876	1884	Ógyallai obszervatórium-alapító
Fényi Gyula	1845-1927	1916		Napkitörések
Eötvös Loránd báró	1848-1919	1873	1883	Kapillaritás, gravitáció, mágnesség, archeomágnesség, az MTA elnöke
Fröhlich Izidor	1853-1931	1880	1891	Földi áramok
Gothard Jenő	1857-1909	1890		A herényi asztronómiai obszervatórium alapítója
Bodola Lajos	1859-1936	1905		Geodéta, részt vett Eötvös Ság-hegyi méréseiben

Kövesligethy Radó	1862-1934	1895	1909	A Magyar Földrengés Számoló Intézet megalapítója, fészekmélység-meghatározás
Tangl Károly	1869-1940	1908	1920	Gravitáció, mágnesség, kozmikus sugárzás
Steiner Lajos	1871-1944	1917		Geomágneses öblök vektordiagramja
PeKár Dezső	1873-1953	1922		Eötvös munkatársa, geofizikai expedíciókat szervezett, 1949-ben visszaminősítették. MTA-tagsága 1989. május 9-én visszaállítva
Böckh Hugó	1874-1931	1915		Az Eötvös-inga alkalmazója a kőolajkutatásban
Fekete Jenő	1880-1943	1941		Eötvös munkatársa, az USA-ban végzett ingaméréseket
Papp Simon	1886-1970	1945		A dunántúli olajmezők felfedezője, ártatlanul bebörtönözték, 1949-ben tagsága megszünt. MTA-tagsága 1989. május 6-án visszaállítva
Rybár István	1886-1971	1918	1931	Eötvös munkatársa, torziós szálak 1949-ben kandidátussá visszaminősítették. MTA-tagsága 1989. május 9-én visszaállítva
Tárczy-Hornoch Antal	1900-1986	1946	1946	Kiegyenlítő számítások, már a 30-as években oktatott geofizikát
Kántás Károly	1912-1991	1955		Tellurika. 1958. október 19-én kizárták. MTA-tagsága 2000. május 9-én visszaállítva
Egyed László	1914-1970	1960	1970	A Föld-tágulás elméletének kidolgozója
Barta György	1915-1992	1970	1982	A tihanyi geomágneses obszervatórium alapítója
Ádám Antal	1929-	1990	1993	Magnetotellurika
Meskó Attila	1940-	1990	1995	Gravitáció, szeizmikus adatfeldolgozás, környezetfizika
Verő József	1933-	1995	2001	Geomágneses pulzációk
Márton Péter	1934-	2001		Paleomágnesség, archeomágnesség

Forrás: VERŐ József „Geofizikusok a Magyar Tudományos Akadémián és az MTA Széchenyi István Geofizikai Obszervatóriuma”.

7. függelék: Veszteségeink

A befejezett életművet hátrahagyók elmenetele mellett különösen fájdalmas az ígéretesen nagy egyéniségek, mint CSEREPES László DSc. (1950–2002) és TARCSAI György (1943–1998) pályájukat derékba törő elhunyt, de maga EGYED László is csak 57 éves volt 1970-ben bekövetkezett halálakor. Hasonló veszteséggel ért fel KÁNTÁS Károly 1956-os eltávozása és azt követő kizárása a magyar tudományos életből (mint ahogyan a fiatalok 1956-os szétszóródása is), de a meteorológus szakmai pályafutástól méltánytalanul megfosztott Tóth Gézáról (1901–1995) sem feledkezhetünk meg, akit az ELTE Geofizikai Tanszéke fogadott be. (<http://pangea.elte.hu/jubileum/tothgeza.htm>). Természetellenes volt az is, hogy az MTA újjáalakulása-kor, 1949-ben többeket (RYBÁR István, PEKÁR Dezső) kizárták a tagok közül, illetve az arra érdemesek közül

sokan nem lehettek tagok. (PEKÁR Dezsőt például levelező tagból kandidátusnak (!) minősítették vissza, majd 1958-ban az özvegy számára a sírköavatáshoz az MTA kiutalt 3000 Ft-ot.) A történelem vihara — többek — például az délvidéki KUNETZ Géza számára nem tette lehetővé, hogy magyar geofizikusként érjen el sikereket; ő az épp létrejött Jugoszláviából idővel egyenesen a francia geofizika nagyjai közé küzdötte magát.

A legnagyobb veszteséget a magyar geofizika — ugyanúgy, mint a magyar tudományos élet egésze — azzal szenvedte el, hogy a tudományos értékrendben a tudományon kívüli szempontok érvényesítése miatt olyan torzulások keletkeztek — elsősorban 1949–1990 között —, amelyeket a mai napig sem sikerült véglegesen kiheverni.

Szarka László

HÍREK, BESZÁMOLÓK

EMLÉKTÁBLA-AVATÁS

Szeptember végén kedves meghívót hozott a posta az Eötvös Loránd Geofizikai Intézetbe: Budapest Hegyvidék XII. kerületi Önkormányzata Eötvös Loránd emléktáblájának avató ünnepségére hívott. Az avatás helye a MOM parkban lévő Süss Nándor sétány (a MOM bevásárló központból a MOM parkra nézve, a jobb oldali utolsó ház), ideje 2005. szeptember 28-án volt.

Köszöntőt mondott dr. MITNYÁN György, a kerület polgármestere, akinek személyes elismerésünket is kifejeztük, hiszen az emléktábla felállításával kapcsolatos összes költséget az önkormányzat vállalta magára.



Az avatóbeszédet NAGY Károly akadémikus tartotta, aki rövid ünnepi beszédében pontos, őszinte képet vázolt fel a világhírű természettudósról, EÖTVÖS Lorándról, kiemelve az embert (kapcsolata édesapjával), a tudóst (világhírű ingái), a közéleti személyiséget (16 éven át a Magyar Tudományos Akadémia elnöke).

Mindezeket a gondolatokat átéléssel, hévvel úgy adta elő, mint aki nemcsak érti és tiszteli fizika intézetbeli nagy elődjét, de GALILEI és NEWTON méltó utódjaként említette a klasszikus fizika legnagyobb magyarországi tekintélyét.

Az emléktábla leleplezését követte a koszorúzás. Az emléktáblán felsorolt intézmények vezetői (dr. MITNYÁN György, KLINGHAMMER István akadémikus, PATKÓS András akadémikus és dr. FANCSIK Tamás igazgató) helyezték el a tisztelet és megemlékezés koszorúit. A jelenlévők úgy érezték, hogy e szeptember végén nemcsak a völgyben nyílnak még a kerti virágok, hanem szívükben is emelkedett érzés, elégedett-

ség uralkodott. Ezzel a gondolattal és érzéssel hajtottak fejet a „fizika fejedelme”, EÖTVÖS Loránd emléktáblája előtt.



Köszönet illeti a XII. kerületi horvát önkormányzat vezetőjét, SKRAPITS Lajost és az Eötvös-kutató PLÓSZ Katalint, akiknek kezdeményező tevékenységét siker koronázta.

Ajánlom és tiszta szívvel mondom: érdemes elmenni a MOM parkba, sétálni egy kicsit és rátalálni az emléktáblára. A Süss Nándor sétány számunkra, geofizikusok számára felértékelődött, fontosabb lett, mint eddig, hiszen a két nagy alkotó ismét együtt található annak a valamikori üzemnek a helyén, ahol a világhírű ingák készültek.

Baráth István

Fotó: Pattantyús-Á. Miklós

ELKÉSETT MEGEMLÉKEZÉS

Bengt E. Sjögren (1925–2001)

Bengt Erik SJÖGREN svéd geofizikus elhunytáról meglehetősen késéssel értesültünk. A sekélyrefrakciós kutatásokkal foglalkozó hazai szeizmikusok előtt neve

jól ismert, elsősorban 1984-ben megjelent kiváló szakkönyve, a Shallow Refraction Seismics (Chapman & Hall, London, New York) és a Geophysical

Prospectingben 1979–2000 között megjelent értékes szakcikkei nyomán.

Bengt Erik SJÖGREN 1925-ben a svédországi Scara-ban születet. A Svéd Királyi Műszaki Egyetemen szerezte meg a Master of Technology fokozatot és mérnök-geofizikai, ezen belül elsősorban szeizmikus kutatásokban szerzett gyakorlatot. Szerteágazó kutatói tevékenysége az alábbi országokra terjedt ki: Svédország, Norvégia, Dánia, Németország, Franciaország, India, Zaire, Tanzánia, Líbia, Kenya, Grönland, Libéria, Chile, Szaúd-Arábia.

Szeizmikát tanított Indiában (1965–66, 1979, 1982), a svédországi Lulea egyetemén, továbbá Bergenben és Trondheimben (Norvégia). Az ABEM AB és a LKB Prospecting svéd vállalatoknál külföldi tanulóknak tartott szakelőadásokat, hasonló tevékenységet 1992-ben Szíriában is folytatott.

SJÖGREN szakirányú tevékenysége elsősorban a vízi és atomerőművek tervezéséhez végzett előkutatásokban volt jelentős, de kiterjedten foglalkozott autópályák, hegyi és víz alatti alagutak, tengeri csatornák, hidak, bányák létesítésé-

vel összefüggő geofizikai előkészítő feladatok megoldásával is. Mondhatni, hogy a mérnöki létesítménytervezés minden ágában elsősorban sekélyszeizmikus kutatásai voltak elismerten sikeresek. Szakmai életrajza három oldalon írja le legjelentősebb tevékenységeinek állomásait.

Utolsó szakcikke a Geophysical Prospectingben 2000-ben jelent meg. Egészségi állapota ekkor már megrendült. Järfälla-i lakásából élete utolsó hónapjaiban is telefonon és írásban állandó aktív tanácsadói kapcsolatban volt kollégáival, különösen a sekélyszeizmikus feladatokkal kapcsolatban.

Szerteágazó tevékenysége, kutatási eredményei és valamennyiünk számára nagyon hasznos publikációs hagyatéka megérdemli, hogy tisztelettel emlékezzünk rá. A megemlékezés összeállítójaként ezúton is köszönöm Ole Christian PEDERSEN norvég geofizikus adatközlő szíves segítségét, aki SJÖGREN munkatársa és közeli jó barátja volt.

Polcz Iván

TÁMOGASSA A MAGYAR GEOFIZIKUSOKÉRT ALAPÍTVÁNYT!

A Magyar Geofizikusok Egyesülete 1990-ben létrehozott alapítványát még abban az évben bejegyezte a Fővárosi Bíróság. 1999-ben ugyanez a bíróság közhasznúvá minősítette. Ezért támogatóink adókedvezményekben részesülhetnek, illetve felajánlhatják személyi jövedelemadójuk 1%-át is az Alapítvány céljaira.

Az Alapítvány célja (az Alapító Okirat szerint):

- 1) Tudományos tevékenység, kutatás keretében közhasznú tevékenységként geofizikával összefüggő szakcikknek szerzőinek jutalmazása és szakmai rendezvények szervezése.*
- 2) Nevelés, oktatás, képességfejlesztés, ismeretterjesztés keretében közhasznú tevékenységként fiatal geofizikusok műszaki-tudományos ismeretei bővítésének, továbbképzésének szakmai támogatása, első előadók díjazása, a geofizikával összefüggő kulturális, ismeretterjesztő rendezvények, tanulmányi kirándulások szervezése.*
- 3) Szociális tevékenység, családsegítés, idős korúak gondozása, közhasznú tevékenység keretében szociális jellegű támogatás nyújtása a geofizika területén tevékenykedők részére eseti, meghatározott összegű juttatás formájában.*

Az 1990-ben 300 000 Ft-os törzstőkével alakult szervezet 2004 végéig mintegy 30 millió Ft támogatást tudott nyújtani elsősorban a szociálisan rászorulóknak, másodsorban ösztöndíjjal támogatta a külföldi konferenciákon előadást tartó, vagy külföldi tanulmányutat elnyerő 36 éven aluli kutatókat. Ezek mellett biztosítottuk az „év tudományos cikkei” szerzőinek jutalmazását, rendszeresen hozzájárultunk az Ifjúsági Ankét rendezéséhez és támogattuk a nagysikerű tudományos igényű nyugdíjas kirándulásokat, valamint a geofizikai tankönyvkiadást. A személyi jövedelemadó 1%-ából befolyó összegeket pedig maradéktalanul — a Magyar Geofizikusok Egyesületével közösen — az egyre jelentősebb Ifjúsági Ankét támogatására fordítjuk.

Bevételeink 1997-ig növekedtek, majd néhány évi stagnálás után az első veszteséges évünk a 2000. év volt. Azóta az évi mintegy 3 M Ft-nyi kiadás mellett 1 M Ft-nyi veszteséggel zárunk. 2005. január 1-én alapítványunk összes pénzeszköze kereken 10,773 M Ft volt.

Az adakozni kívánók bővebb felvilágosítást a Magyar Geofizikusok Egyesülete titkárságán Bellér Évától kaphatnak, telefon: 06 1 20 19 815.

HU ISSN 0025—0120

Főszerkesztő: dr. Bodoky Tamás

Szerkesztő: Tóth Lajos. Tel.: (1) 252 4999/142, e-mail: tothl@elgi.hu

Szerkesztőbizottság: dr. Aczél Etelka, dr. Ferenczy László, Hegybíró Zsuzsanna, Kakas Kristóf,
dr. Ormos Tamás, dr. Szarka László, Verő László

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

Telefon: (1) 201 9815
