

# MAGYAR GEOFIZIKA

HUNGARIAN GEOPHYSICS

A MAGYAR  
GEOFIZIKUSOK  
EGYESÜLETÉNEK  
FOLYÓIRATA



JOURNAL OF THE  
ASSOCIATION  
OF HUNGARIAN  
GEOPHYSICISTS

In memoriam Eötvös Loránd Geofizikai Intézet

Tisztelet az éveknek

Olajipari emléktúrán voltak szenior tagjaink

Best Local Chapter

Kőzetfizikai modellek továbbfejlesztése a szeizmikus/akusztikus sebesség és a jósági tényező nyomásfüggésének leírására

A Kárpát-medence és környezete kialakulásának egy lehetséges modellje Régi hazai földrengések, különös tekintettel Budapestre

Hosszú távú földrengés-veszélyeztetettség becslése a Detrekői-zsomboly (Kis-Kárpátok, Szlovákia) sértetlen állócseppkövének vizsgálatával

Az MIT Geofizikai Adatfeldolgozó Csoportjának tevékenysége a kezdetektől 1954-ig Magyar geológusok térképező munkája 45 évvel ezelőtt kezdődött Kuba Oriente tartományában  
Ami a második kötetből kimaradt

Geofizikusok határok nélkül – a világ távoli pontjairól érkezett hallgatóink mesélnek  
Kőolajkutató földtudományi mérnökképzés indul a Miskolci Egyetemen

In Memoriam:

Dr. Müller Pál      Jesch Aladár  
Rumpler János      Liszt Ferenc





# MAGYAR GEOFIZIKA

## HUNGARIAN GEOPHYSICS

58. évfolyam (2017) 2. szám



A MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETÉNEK FOLYÓIRATA  
JOURNAL OF THE ASSOCIATION OF HUNGARIAN GEOPHYSICISTS

### TARTALOM • CONTENTS

#### SZERKESZTŐSÉGI ROVAT • EDITORIAL

- 47 In memoriam Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (In memoriam Eötvös Loránd Geophysics Institute) – *Bodoky T., Verő L.*

#### MGE HÍREK • NEWS OF ASSOCIATION OF HUNGARIAN GEOPHYSICISTS

- 51 Tisztelet az éveknél (Members of honoured ages) – *Hegybíró Zs.*  
54 Olajipari emléktúrán voltak szenior tagjaink (Excursion of Seniors to oil-fields) – *Rezessy G.*

#### EAGE HÍREK • NEWS OF ASSOCIATION OF EUROPEAN GEOSCIENTISTS AND ENGINEERS

- 56 Best Local Chapter – *MGE Titkárság*

#### TANULMÁNYOK • PAPERS

- 57 Kőzetfizikai modellek továbbfejlesztése a szeizmikus/akusztikus sebesség és a jósági tényező nyomásfüggésének leírására (Development of rock physics models to describe the dependence of seismic/acoustic velocity and quality factor of waves on pressure) – *Kiss A., Dobróka M.*  
66 A Kárpát-medence és környezete kialakulásának egy lehetséges modellje (kaptafa után ejtőernyő) (An alternative model for the development of the Carpathian Basin and its environment) – *Kiss J.*  
76 Régi hazai földrengések, különös tekintettel Budapestre (Old Hungarian earthquakes, with particular regard to Budapest) – *Varga P.*  
88 Hosszú távú földrengés-veszélyeztetettség becslése a Detrekői-zsomboly (Kis-Kárpátok, Szlovákia) sértetlen állócseppkövének vizsgálatával (Constraints on long-term seismic hazard from vulnerable stalagmite in Plavecká priepast cave, Slovakia) – *Gribovszki K., Kovács K., Mónus P., Bokelmann G., Konecny P., Lednická M., Moseley G., Edwards R. L., Spötl C., Bednárík M., Brimich L., Tóth L., Hegyemegi E., Kegyes-Brassai Cs., Szeidovitz Gy.*

#### TUDOMÁNYTÖRTÉNET • SCIENCE HISTORY

- 104 Az MIT Geofizikai Adatfeldolgozó Csoportjának tevékenysége a kezdetektől 1954-ig (The MIT Geophysical Analysis Group from inception to 1954) – *E. A. Robinson*  
131 Magyar geológusok térképező munkája 45 évvel ezelőtt kezdődött Kuba Oriente tartományában (Mapping expedition of Hungarian geologists started 45 years ago in Oriente province, Cuba) – *Polcz I.*  
134 Ami a második kötetből kimaradt (What has been left from Volume 2) – *Verő L.*

#### HÍREK • NEWS

- 137 Geofizikusok határok nélkül – a világ távoli pontjairól érkezett hallgatóink mesélnek – *Kiss A.*  
138 Kőolajkutató földtudományi mérnökképzés indul a Miskolci Egyetemen – *Szabó N. P.*

#### IN MEMORIAM

- 140 Dr. Müller Pál – *Posgay K., Bodoky T.*  
141 Jesch Aladár – *Császár J.*  
142 Rumpler János – *Ujfalusy A.*  
143 Liszt Ferenc – *Baráth I.*

# MAGYAR GEOFIZIKA

## HUNGARIAN GEOPHYSICS

58. évfolyam (2017) 2. szám

A MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETÉNEK FOLYÓIRATA  
JOURNAL OF THE ASSOCIATION OF HUNGARIAN GEOPHYSICISTS

*Főszerkesztő • Editor-in-Chief*

DR. BODOKY TAMÁS

E-mail: mageofedit@gmail.com

*Szerkesztőbizottság • Editorial Board*

DR. BARÁTH ISTVÁN, DR. GALSA ATTILA, KAKAS KRISTÓF,

DR. PETHŐ GÁBOR, DR. SZABÓ NORBERT PÉTER

*Technikai szerkesztő • Technical Editor*

HOCK GÁBOR

E-mail: hockg@t-online.hu



Lapunk megjelenését a Magyar Olaj- és Gázipari Nyilvánosan Működő Részvénytársaság támogatja

---

A szerkesztőség a szakcikkeket (tanulmányokat) szaklektorálás után közli. A szaklektorok névsorát az évváró számban tesszük közzé. A lapban megjelenő cikkek adatainak és állításainak helyességért, ill. közölhetőségéért kizárólag a szerzők tartoznak felelősséggel.

---

Kiadja a Magyar Geofizikusok Egyesülete  
A kiadásért felel: Magyar Balázs

Készült: mondAt Kft., 2600 Vác, Nadas u. 2.  
Felelős vezető: Nagy László üv. igazgató

Szerkesztőség: 1145 Budapest, Columbus u. 17–23.  
Telefon/Fax: (1) 201-9815  
Titkársági e-mail: postmaster@mageof.t-online.hu  
Honlap: www.mageof.hu

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

Borító, tipográfia és nyomdai előkészítés:  
EP Systema Bt., Budapest

INDEX: 26 507  
HU ISSN 0025-0120

# In memoriam

## Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (1907–2017)



„A modern világban nincs erős közösség,  
nincs erős állam, ha nincs egy országban  
fejlődő tudomány és innováció...”

*Orbán Viktor, 2017*

### Eötvös Loránd életműve és emlékezete

Számos tudományág történetében találkozhatunk világ-hírű, akár Nobel-díjas magyar tudós nevével. Kevesebb azonban azoknak a tudományágaknak a száma, amelyeknek már a bölcsőjénél is ott volt egy magyar tudós. A geofizika az egyik ilyen terület. Ezt kevesen tudják, mert a geofizika nem olyan tudomány, amely a mindennapi életben is gyakran előforduló kérdésekkel foglalkozik, amilyen például a több évszázados múltra visszatekintő kémia vagy fizika. Ezekkel ellentétben a geofizika fiatal tudomány, és az átlagember szinte csak akkor hall – ugyan kimondatlanul – a geofizikáról, mikor különböző erősségű földrengésekről adnak hírt. De azt, hogy mit is jelent egy 2,6 vagy 6,4 „erősség”, talán csak néhány tucatnyi ember tudja hazánkban. Egy másik, egyszerűbb példa arra, mennyire nincs jelen a köztudatban a geofizika. Ha megkérdezik egy geofizikust vagy geodétát, hogy mi a gyorsulás fizikai egysége, azonnal mondja, hogy a gal, legfeljebb hozzáteszi, hogy a nehézségi gyorsulás egysége a gal. Ha akár egy fizikában jártas, de nem geofizikust/geodétát kérdezik, a válasz minden bizonnyal az, hogy a gyorsulásnak – éppúgy, mint a sebességnek – nincs fizikai egysége. Pedig az SI nemzetközi mértékegységrendszer bemutató táblázatban – igaz, a néhány ismertebb SI-n kívüli, de használható mértékegység között szerepel fizikai mennyiségként a gyorsulás, mértékegységének jele a gal, és neve galilei, értéke pedig  $0,01 \text{ m/s}^2$ . A gyorsulás, a nehézségi gyorsulás még viszonylag ismert fogalmak, de a szakembereken kívül hányan tudják, hogy mi is a nehézségi erőter gradiense? Pedig ennek is van mértékegysége, az eötvös, amelynek az értéke  $10^{-9} \text{ gal/cm}$ . Ez az egyetlen olyan, nemzetközileg is használt mértékegység, amely magyar tudós nevét viseli. Eötvös Loránd (1848–1919) a geofizikában olyan úttörő és alapvetően fontos szerepet játszott, mint az elektrotechnikában az olasz Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio

Volta, a francia André-Marie Ampère vagy a német Georg Simon Ohm, akikről szintén mértékegységet neveztek el, csak ezek a feszültség, áramerősség és az ellenállás fizikai mennyiségei ismertebbek, mint a nehézségi – gravitációs – erőter gradiense. Ha Eötvös Loránd életművének jelentőségét akarjuk megmutatni, akkor azt a geofizika keretein belül kell megtennünk, és nem a „népszerűbb” tudományágakkal való összehasonlításban.

Mivel érdemelte ki Eötvös Loránd ezt a nemzetközi elismerést? A Föld nehézségi erőterének, a Föld alakjának vizsgálatában elért elméleti és gyakorlati eredményeivel. A torziós inga elméletének kidolgozásával, a műszerek utólérhetetlen gondossággal való megépítésével, a tudományos céllal végzett mérések után – egyik első geofizikai műszerként – az ingamérések bevezetésével a szénhidrogén-kutatásba és a világ számos helyén, évtizedeken át elért kutatási sikerekkel. Ezt a hosszúútra sikerült mondatot a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet történetének 2003-ban megjelent első kötete több száz oldalra bővíti.

Előfordulhat, hogy egy gravitációs gradienst ábrázoló térképen nincs kiírva Eötvös neve, csupán annyi, hogy például 1 cm hány E, azaz hány Eötvös egységnek felel meg, de egy légi gravitációs mérés feldolgozási anyagában minden bizonnyal szerepel valamilyen nyelven, hogy Eötvös-hatás. Eötvös ismerte fel ugyanis, hogy a Földhöz képest mozgó járművön végzett mérés esetén figyelembe kell venni, hogy a jármű milyen sebességgel és a Föld forgásához képest milyen irányban mozog. Ő ezt hajón végzett méréseknél vette észre, és meghatározta, milyen módon kell korrigálni. Mivel a korszerű légi méréseknél a repülőgép sebessége a hajóénál akár nagyságrenddel is nagyobb lehet, így ott ez a korrekció is sokkal nagyobb.

De nem csak elméleti eredményei bizonyultak időtállóknak. 1900-ban a párizsi világkiállításon mutatta be torziós ingáját, amely nagydíjat nyert. Majdnem hatvan évvel ké-

sőbb, az 1958-as brüsszeli vilákiállításán az Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben kifejlesztett E-54 jelű torziós inga (ismertebb nevén Eötvös-inga) ismét nagydíjat nyert. Ezekben a műszerekben természetesen nem volt elektronika, jóllehet a fejlettebb típusok óraszerkezettel és fotografikus adatrögzítéssel automatikusan is működtek. Az utóbbi években kísérletek történtek arra, hogy – visszatérve Eötvös eredeti, alap kutatás jellegű elképzeléséhez – az elektronika és számítástechnika segítségével felgyorsítsák a méréseket, illetve régi méréseket használjanak fel az elméleti földalak, a geoid vizsgálatára. A graviméter ugyan az ipari geofizikában kiszorította az Eötvös-ingát, de a geodézia számára szükséges adatokat (görbület, függővonal-elhajlás) nem tudnák azzal meghatározni.

Az Eötvös-ingák szinte teljes sorozata látható a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet által létrehozott állandó emlékkiállításán, melyet 1998. szeptember 22-én nyitottak meg az Intézet székházában. Celldömölk közelében, a Ság hegyen emlékoszlop áll annak emlékére, hogy 1891-ben ott végezte Eötvös Loránd az első terepi méréseit. A celldömölki Vulkánházban pedig az inga egy továbbfejlesztett példánya is látható. Talán a világon az egyetlen műszer az Eötvös-inga, amelynek szobra is van. Az Intézet Columbus utcai székházának felavatása után nem sokkal, valószínűleg még 1970-ben állították fel az ingát imitáló, 220 cm magas krómaccél konstrukciót egy gránitmedencében. 2005-ben, a fizika évében, emléktáblával jelölték meg azt a helyet, ahol – Süss Nándor mechanikai műhelyében – az ingák készültek.

Eötvös „csak” a súlyos és tehetetlen tömeg azonosságát kívánta kísérletileg igazolni. Torziós ingájával szinte hihetetlen, 1/200 000 000 pontossággal mutatta ki, hogy a tömegvonzás független az anyagi minőségtől, azaz a súlyos és tehetetlen tömeg ilyen pontossággal azonos. Ezt a nemzetközi szakirodalom Eötvös-kísérlet néven említi. Később ez a megállapítás Einstein általános relativitáselméletének egyik legfontosabb kísérleti bizonyítéka lett. Einstein és Eötvös személyesen valószínűleg nem ismerték egymást, de egy levélváltásukat őrzi az Eötvös Loránd Emlékkiállítás, amelyből kiderül, hogy Einstein milyen nagyra becsülte Eötvöst.

Eötvös Loránd életművének jelentőségét mutatja az is, hogy az alábbi három, vele kapcsolatos dokumentumot felvették az UNESCO Világemlékezet listájára:

- Eötvös Loránd egyik alapvető művének eredeti, német nyelvű kézírata 1908-ból, amely 1909-ben elnyerte a Göttingeni Egyetem Beneke-díját (91 oldal, tulajdonos: MFGI).
- Az ingáról szóló angol nyelvű illusztrált kereskedelmi nyomtatvány (17 oldal, készült az Egyesült Államokban 1926 és 1927 között, tulajdonos: MFGI).
- Magyarországon 1928-ban nyomtatott kereskedelmi prospektus az ingáról (12 oldal, tulajdonos: MTA KIK).

A Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, valamint a Magyar Tudományos Akadémia mint a Világemlékezet listára most felkerült dokumentumok őrzői vehették át az

UNESCO főigazgatója által aláírt díszokleveleket 2016. június 7-én.

Eddig elsősorban Eötvös Loránd tudományos tevékenységéről volt szó, hiszen Eötvös mindenekelőtt természettudós volt. Van azonban tevékenységének egy másik, a nagyvilág és a történelem szemszögéből nézve valószínűleg sokkal fontosabb vetülete is. Az Eötvös-inga – Eötvös torziós ingája – megteremtette a műszeres kőolajkutatás lehetőségét, és ezzel a világban megkezdődött a „kőolajkorszak”. Lehetővé vált a kőolaj ipari méretekben történő kutatása és termelése, ami alapvetően formálta át a világot. Erre csak egy egyszerű példaként említhetjük a repülést és a rakéatechnikát, gőzgéppel ugyanis nem lehetne sem repülőgépet, sem rakétát hajtani.

Nyilván, pont a „kőolajkorszak” elindításában játszott szerepének tudható be, hogy 1988 óta az *European Association of Geoscientists and Engineers*, egy sok ezer tagot számláló, nemzetközi szakmai szervezet, melynek tagjai elsősorban az olajiparból, a nagy nemzetközi olajvállalatok alkalmazottaiból verbuválódnak, minden évben Eötvös Loránd-díjjal jutalmazza a folyóiratában, a *Geophysical Prospecting*ben az előző naptári évben megjelent legjobb szakcikket. A kitüntetett – amióta ez lehetséges – megkapja Eötvös Loránd három fontos cikkének angol fordítását tartalmazó kötetet is, amelyet a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet adott ki 1998-ban.

Úgy tűnhet tehát, hogy minden rendben van, Eötvös Loránd emlékezete halála után közel száz évvel is elevenen él, hiszen az egyetem, amelynek professzora volt, az ő nevét viseli, hasonlóképpen több civil szervezet is. Csak éppen a számára, nemzetközi kérésre létrehozott kutatóintézet nevéből tűnt el 2012-ben a nagy tudós neve.

## A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet mint Eötvös munkásságának folytatója, örököse

Hiába igyekezzünk Eötvös Loránd életművét – pontosabban annak geofizikával kapcsolatos részét – úgy bemutatni, hogy csak az ő tevékenységére szorítkozzunk, ez gyakorlatilag lehetetlen, mert az annyira összeforrt munkatársai, tanszéke, majd intézete munkájával. Eötvös Loránd nemcsak tudós volt, hanem közéleti ember is. Hogy csak két tisztségét említsük, 1889 és 1905 között ő volt a Magyar Tudományos Akadémia elnöke, 1894. június 10. és 1895. január 15. között pedig vallás- és közoktatási miniszter. Nem tisztségeinek, hanem meghatározó külföldi tudósok egy csoportjának ajánlására kapta az 1906 áprilisában megalakult Wekerle-kormány vallás- és közoktatásügyi miniszterétől, Apponyi Alberttől azt a költségvetési támogatást, amely előírta és egyben lehetővé is tette egy, az egyetemi fizika tanszéktől minden szempontból független szervezet létrehozását. Ez a szervezet a nagy tudós halálát követően magától értetődően vette fel az ő nevét, ez volt az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (ELGI).

A trianoni sokkot követően a Pénzügyminisztérium Bányakutatói Osztálya kikéri a Vallás- és Közoktatásügyi Minisztériumtól ezt az Intézetet, mert az elcsatolt bányavidekek termékeinek pótlása ekkor már létkérdés a maradványország számára. Ugyanakkor Haller István vallás- és közoktatásügyi miniszter felelős gondolkodásáról tesz tanúbizonyságot, mikor az Intézettel együtt átadja annak költségvetési fedezetét is azzal a feltétellel, hogy az ipari kutatások mellett a tudományos kutatásoknak is tovább kell folyniuk. A kor államférfijai még tudták, hogy egy nemzetet csak tudása tarthat meg.

1907-től 1993 végéig tartott a többé-kevésbé zavartalan fejlődés időszaka. Igaz, hogy közben lezajlott két világháború, történt néhány rendszerváltozás, de soha nem merült fel, hogy más néven, más szervezeti formában kellene működni Eötvös geofizikai intézetének. Ezt az időszakot részletesen ismerteti a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet történetét bemutató, 2003-ban és 2016-ban megjelent kétkötetes intézettörténet.

Ám az Apponyaiak és Hallerek kora lejárt. A szovjet megszállás évtizedeit egy, a szerzésre és látványvalóságra szakosodott új világ követte. Ebben az új világban a valós tényeken alapuló ismeretek sokszor már nemcsak szükségtelenek, hanem egyenesen irritálóak lettek. Így különösen irritálóak azok az intézmények, amelyek a valós ismeretek megszerzéséért folyó kutatás letéteményesei.

Az átalakítások 1993 végén egy durva, pénzügyileg nem indokolható és az ötvenes éveket idéző leépítéssel kezdődtek, ami elsősorban Szabó Iván gazdasági miniszter nevéhez fűződik. A korábbi, Kádár-kori struktúrát azonban lényegében nem bántották, csupán átkelesztették, a Központi Földtani Hivatal szerepét a Magyar Geológiai Szolgálat vette át.

A következő tíz évben az így megcsonkított ELGI még stabilan működött, igyekezett jól felhasználni még megmaradt szakemberei tudását, valamint korszerű eszközeit. 2004 második felében azonban ismét beindultak a különböző (többnyire személyes) érdekek alapján zajló átalakítások. A Geológiai Szolgálatot és intézeteit begyűrték a mélybányászat hazai felszámolása után gyakorlatilag feladat nélkül maradt Bányászati Hivatal alá, létrehozva így a Magyar Bányászati és Földtani Hivatalt. Ám ez a helyzet sem tartott sokáig, mindössze nyolc éven át élt ez a szervezeti forma, amelyben – ha nagyon megkurtított jog- és tevékenységgörrel is – de még létezett az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet.

2012-ben aztán összevonták az ELGI-t a Magyar Állami Földtani Intézettel és a kettőből létrehozták a Magyar Földtani és Geofizikai Intézetet (MFGI). Ennél az átalakításnál a Geofizikai Intézet nemcsak alapítójának nevét veszítette el, de a földtan jelentős létszámtöbblete miatt az új szervezeten belül már erősen másodlagos szerepkörbe szorult. Bár az intézeti jelleg még megmaradt, azonban az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet megszűnt létezni. És akkor ezen a ponton meg is állhatnánk levett kalappal és lehajtott fejjel elmondva, hogy emléke velünk él. Ám a szalámszeletelő nem állt le itt. Mindössze öt év elteltével

az MFGI is megszűnt (vegyük észre a periódusok állandóan rövidülnek, és először fordul elő, hogy egy kormány saját rendeletét változtatja meg), beolvasztották azt a Magyar Földtani és Bányászati Hivatalba, egy új kormányhivatalt állítva fel Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat néven. Az új szervezet alkalmazottai immár kormánytisztviselők, és nem kutatók többé. Most már nem beszélhetünk sem intézetről, sem geofizikáról, és Eötvös intézetének a maradéka is eltűnt.

Ha nem is napjaink, de az elmúlt majd 30 év tanulságait végiggondolva kijelenthetjük:

- Nincs az a tudományág, amely el tudná azt viselni, ha néhány évenként belenyúlnak intézményei életébe. A kutatás nem futószalagon folyó munka, amelyet akár-mikor le lehet állítani, és nem is egyéni, hanem csapatmunka, csonka csapatokkal csak csonka eredmények várhatók.
- Nincs az a tudományos kutató, aki nyugodtan, távlatokban gondolkodva tudna dolgozni az egymást egyre gyorsabban követő változások bizonytalanságában.
- Ha egy sikeres intézményt egyszer megszüntetnek, azt újraéleszteni, egy gombnyomással újraindítani lehetetlen.

Pedig gondolni kellene a jövőre is, nemcsak az intézmények, hanem a szakemberek és ezzel persze az ország jövőjére is. 2016 áprilisában a Magyar Geofizikusok Egyesülete fórumot rendezett „Merre tart a magyar geofizika?” címmel. Az Egyesület honlapján olvashatók az előadások és a hozzászólások. A jövőt elsősorban az egyetemeken oktatói, hallgatói látják, érzik. Akkor még létezett az MFGI, de az Eötvös Loránd Tudományegyetem emeritus professzora, és a Society of Exploration Geophysicists (SEG) Student Chapter képviselője a következőket mondta:

„Vérző szívvel mondom, saját gyerekeimnek is, ha egy csöpp eszük van, külföldre mennek. Magyarországon nincsen számukra hely, és áldjon vagy verjen sors keze, itt nem tudnak kiemelkedő szakmai munkát végezni.”

„A csoport tagjainak véleménye azzal kapcsolatban, hogy az MSc elvégzése után hol kezdenék karrierjüket, egyhangú: lehetőleg külföldön.”

Valamivel több mint egy évvel később, 2017-ben, mi mit mondhatnánk? Talán még egyet tehetünk. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet számára 1970-ben épített (mi, akkori munkatársai, a saját kezünkkel is építettük) székház falára, helyezzünk el egy emléktáblát:

Ebben az épületben működött az 1907-ben alapított  
**Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet**

Olyan ez a történet, mint egy Eötvös-inga „szakszerű” javítása. Az inga lelke egy hajszálvékony fémszál, amely elég finom ahhoz, hogy a nehézségi erő nagyon kis térbeli változásának hatására is elcsavarodjon. Ahhoz azonban gyenge, hogy szállítás, mozgatás közben is elbírja a ráfüggesztett rúd és tömeg súlyát. Adódik a megoldás: vastagabb, erősebb drótot kell beletenni, akkor majd bírja a

szállítást. Hogy mérésre ezzel tökéletesen alkalmatlanná válik, az meg kit érdekel.

Érdemes felidézni, mi is hangzott el 2017. július 22-én, Tusnádfürdőn, a 28. Bálványosi Nyári Szabadegyetem és Diáktábor előadásán:

„A modern világban nincs erős közösség, nincs erős állam, ha nincs egy országban fejlődő tudomány és innováció...”

Nem kérdőjelezhetjük meg a magasabb kormányzati bölcsességet. Nyilvánvaló, hogy az ország tudományának és innovációs képességének fejlődését segítette elő a két,

nagy múltú, világszerte ismert és széles nemzetközi tekintéllyel bíró kutatóintézet egybeolvasztása, majd kutatóinak kormánytisztviselővé, az intézménynek pedig kormányzati szervvé alakítása. Kívánjuk az újonnan alakult szolgálatnak, hogy sikerrel működjön közre az erős közösség és erős állam tudományának és innovációjának fejlesztésében. A britek szokása szerint kiáltjuk (igaz, hogy hajóágyúk helyett inkább csak pezsgőt durrogtatva): „Meghalt a király, éljen a király!”

*Bodoky Tamás, Verő László*



## Tisztelet az éveknek

Kedves Ünneplő Szeniorok!

A *Magyar Geofizika* egyik számában immár sok éve megemlékezünk kerek születésnapot ünneplő tagtársainkról. Idén is sok szeretettel köszöntjük Önöket, és kívánjuk, hogy kellemes, meleg családi – baráti körben ünnepelhesék az évfordulókat.

Kívánjuk, hogy jó egészségben teljenek napjaik, az évek múlása ellenére ne feledkezzenek meg régi kollégáikról, munkatársaikról, és ha van kedvük, idejük, kísérik figye-

lemmel folyóiratunkban a szakma híreit, legfrissebb eredményeit. Vegyenek részt az előadásokon, szakmai programokon, nem utolsósorban a Szeniorok találkozón, és a kiránduláson.

Mindannyiuknak jó egészséget, sok örömet és vidámságot kívánunk szeretettel!

Várjuk Önöket az egyesületben amikor idejük és lehetőségük ezt megengedi.

*Hegybíró Zsuzsanna*

### *90. születésnapját ünnepli*

Lakatos Sándor

### *85. születésnapját ünnepli*

Laczkovics József, Majoros György, Miklós Gergely, Pintér Anna, Polcz Iván, Szabó Zoltán, Szabó Istvánné, Városi Alfréd

### *80. születésnapját ünnepli*

Andrássy László, Bárány Tibor, Müller Imre, Schönviszky László, Tóth Lajosné, Szalay István

### *75. születésnapját ünnepli*

Kiss Bertalan, Pleszkáts Tibor, Simon Pál, Túri János István, Varga Péter

### *70. születésnapját ünnepli*

Galicz Gergely, Kloska Károly, Jánvári János, Marton Tibor, Matyi Sándor, Szabó György, Szongoth Gábor, Völgyesi Lajos



Lakatos Sándor



Laczkovics József



Majoros György



Miklós Gergely



Pintér Anna



Polcz Iván



Szabó Zoltán



Szabó Istvánné



Városi Alfréd



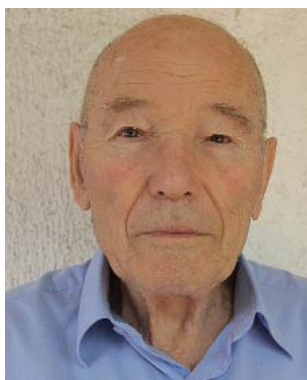
Andrassy László



Bárány Tibor



Müller Imre



Schönviszky László



Szalay István



Kiss Bertalan



Pleszkáts Tibor



Simon Pál



Túri János István



Varga Péter



Kloska Károly



Jánvári János



Marton Tibor



Szongoth Gábor



Völgyesi Lajos

## Olajipari emléktúrán voltak szenior tagjaink

Két évvel ezelőtt Egyesületünk akkori elnöke, *Horváth Zsolt* felajánlotta, hogy megszervezi számunkra a Zalai medence olajipari emlékeit bemutató túrát. *Horváth Zsolt* nemcsak megszervezte és igényesen előkészítette a szakmai kirándulást, hanem idén, 2017. szeptember 6-án végig kalauzolt bennünket. Eredeti ajánlatában szereplő kilenc emlékhely közül ötöt tudtunk megtekinteni.

33 fős bérelt buszunk reggel hét órakor indult a Stefánia útról. Nagykanizsáig Galgóczi Erzsébet *Vidravas* című regényéből hallhattunk részleteket *Daróczi Etelka* felolvasásában.

Szakmai vezetőink Nagykanizsán csatlakoztak hozzánk. Elsőnek a nagykanizsai MAORT lakótelepet néztük meg, amely – hasonlóan a nap során látott más MAORT lakótelepekhez (Lovászi, Bázakerettye) – eredeti állapotát megőrizve szolgálja a lakókat.

Peklenicába (Bányavár, Horvátország) tartva *Koncz István* geokémikus ismertette a Budafa és Lovászi mezők olajának eredetét. Üggyel-bajjal átjutva a schengeni határon megtekintettük az évszázadok óta ismert és hasznosított felszíni olajkibúvást: egy ásott kutat, amelyből vödörrel merhető ki a kőolaj, valamint a közelben folyó patak felszínét színező olajfoltokat láthattunk. A még napjainkban



Peklenica: szivárgó olaj a patak felszínén

is aktív forrásból a kőolaj a vízzel együtt szivárog a felszín közelébe és onnan a patakba.

Magyarországra visszatérve *Pogácsás György* mondta el, hogy a zalai szénhidrogén-mezők korai felfedezését az olajkibúvások ismerete mellett a földtani felépítés is segítette. Az erős szerkezeti mozgások nagy amplitúdójú antiklinálisokat hoztak létre, amelyek megfelelő pontossággal kiserkeszthetők voltak mind felszíni térképezéssel, mind felszíni geofizikai módszerekkel. Az elmondottakat a kiosztott szakmai kalauz jól szemléltette.

A hazai olajipari létesítmények közül először az 1940. december 1-jén Lovásziiban termelésbe állított L-1 kutat kerestük fel. Az elődöknek tisztelegve bányászszalagot kötöttünk az emlékmű kerítésére.



Lovászi: *Göőz Lajos* kollegánk bányászszalagot köt a Lovászi-1 jelű kút kerítésére

Budafapuszta felé tartva Pákán meglátogattuk *Öveges* professzor emlékházát. A település lakói szeretettel őrzik és ápolják a piarista tanár, a nagyszerű televíziós ismeretterjesztő emlékét. (A település határában emlékhelyként megőrzött bunkerrendszert – amelyet az ötvenes években építettek ki egy feltételezett jugoszláv támadás elhárítására – idő hiányában nem tekintettük meg.)

*Simon István* muzeológus Budafapusztán csatlakozott hozzánk. Bemutatta a B-II tankállomáson működő Magyar Olajipari Múzeum helyi kiállítását, valamint a ma már olajipari emlékhelyként számon tartott (bár csökkentett kapacitással működő) szeparátor- és tartályállomást. Meglátogattuk és bányászszalag elhelyezésével tisztelegtünk a Budafa-2 kútnál is. A Papp Simon által kútüzött és az EUROGASCO kivitelezésében mélyült kút 1937. november 21-én beindult termelésével vette kezdetét a mai Magyarország területén az ipari olajtermelés.



Budafa: *Horváth Zsolt* és *Simon István* bemutatja a B-II tankállomást

Rövid sétát tettünk Bázakerettyén. Itt is megcsodáltuk a hajdani mérnökházakat, láttunk a leszerelt és még mű-

ködő (akkor éppen nem-üzemelő) mélyszivattyús kutakat. Szakmai utunkat Bázakerettyén, Papp Simon szobrának megkoszorúzásával fejeztük be.

A harmincfős társaság zokszó nélkül viselte a közel 700 kilométeres buszozást és az otthonról hozott hideg kosztot. Megérte, mert sok látnivalóval és bőséges információval gazdagodtunk. Mindehhez gondosan összeállított „Papp Simon- emléktúra” szakmai kalauzt kaptunk. A 31 oldalas, képekkel bőven illusztrált füzetet *Horváth Zsolt*, *Németh András* és *Ferincz György*, a MOL Nyrt. dolgozói állították össze.

Hazafelé tartó utunkon néhányan énekszóval igyekeztünk útitársainkat ébren tartani.

Az útiköltséget a Magyar Geofizikusokért Alapítvány állta, a szakmai vezetést *Horváth Zsolt*, *Koncz István* és *Simon István* vállalta. Minden szenior tagtársam nevében mondjuk: Köszönjük!

*Rezessy Géza*



Bázakerettye: a 2017. évi szenior kirándulás résztvevői Papp Simon szobra körül

## Best Local Chapter

Kedves Tagtársunk!

Örömmel számolunk be arról, hogy az EAGE 2017. évi párizsi konferenciáján Egyesületünk Local Chaptere nyerte el a „Best Local Chapter 2017” díjat.

Köszönet illeti azokat a tagtársakat, akik részt vettek az Egyesület munkájában és ezzel hozzájárultak a díj elnyeréséhez.

*MGE Titkársága*



Az EAGE „Best Local Chapter 2017” díja

# Kőzetfizikai modellek továbbfejlesztése a szeizmikus/akusztikus sebesség és a jósági tényező nyomásfüggésének leírására

KISS A.<sup>1,2</sup>, DOBRÓKA M.<sup>1,2,@</sup>

<sup>1</sup>Miskolci Egyetem, Geofizikai Intézeti Tanszék, 3515 Miskolc-Egyetemváros

<sup>2</sup>MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport, 3515 Miskolc-Egyetemváros

@E-mail: dobroka@uni-miskolc.hu

A korábbi években a ME Geofizikai Tanszékén modellfejlesztést végeztünk a kőzetekben terjedő rugalmas hullámok diszperziós paraméterei (terjedési sebesség, jósági tényező) nyomásfüggésének leírására. A modellalkotás során kiindulópontként egy-egy, a szakirodalomban elfogadott fizikai kép szolgált (pl. mikrorepedések nyílása és záródása vagy pórusok térfogatának változása a nyomás hatására). A modelleket hazai szénhidrogén-kutató fúrásokból származó kőzetmintákon mért longitudinális sebességi adatokon, illetve a nemzetközi irodalomban publikált szeizmikus sebesség és jósági tényező adatrendszerain teszteltük, és számos esetben jó egyezést tapasztaltunk a mért és a kőzetfizikai modell alapján számított adatok között. Méréseink és nemzetközi szakirodalmi adatok azt mutatják, hogy a jelenség magyarázatára nem mindig elégséges egyetlen mechanizmus feltételezése. Egyes kőzetekben egyszerre több különböző fizikai folyamat is alakíthatja a sebesség vagy a jósági tényező nyomásfüggését. Ennek megfelelően indokolt korábbi modelljeink általánosítása, amelyet a jelen dolgozatban mutatunk be. Az új algoritmust a sorfejtéses inverzió kereteibe illesztve tárgyaljuk. Az új kőzetfizikai modelleket különböző nyomáson végzett akusztikus laboratóriumi mérések alapján teszteljük, az új modellparamétereket linearizált inverziós módszerrel határozzuk meg.

## Kiss, A., Dobróka, M.: Development of rock physics models to describe the dependence of seismic/acoustic velocity and quality factor of waves on pressure

In earlier papers, we reported the results of rock physical model development in the field of pressure dependence of phase velocity as well as quality factor of acoustic waves propagating in rock samples. In the model development as a starting point, we used some physical mechanisms proposed in the international literature (the closing of microcracks or pore volume by virtue of the change in the rock pressure). The rock physical models were successfully tested using longitudinal velocity data measured on core samples originated from oil drilling wells and also seismic/acoustic velocity and quality factor data sets published in the literature. On the other hand, in some cases we experienced systematic model errors suggesting a need for further developing the model. In this paper, we show the first results of our new model development. The crucial point of the development is to include more physical mechanisms responsible for the change of the propagation velocity and quality factor caused by the change in rock pressure. The new algorithm is discussed in the framework of series expansion based inversion. The new rock physical models are tested on acoustic laboratory data measured at different pressures, the new model parameters are determined by linearized inversion method. It is shown that the new models give a more accurate description of the phenomenon.

*Beérkezett:* 2017. augusztus 10.; *elfogadva:* 2017. augusztus 22.

## Bevezetés

A kőzetekben terjedő rugalmas hullámok sebessége nyomásfüggésének leírására több kvalitatív elgondolás is létezik. A nyomásfüggés jelenségét a mikrorepedések záródásával magyarázta Walsh és Brace (1964). Az általuk javasolt fizikai kép szerint a mikrorepedések felterheléskor záród-

nak, leterheléskor újra kinyílnak, ezáltal változik a kőzetváz hozzájárulása a hullámvezetéshez, ami a hullám diszperziós jellemzőinek (sebesség, jósági tényező) változását okozza. Ezt a kvalitatív képet elfogadva, Somogyi Molnár és Dobróka (2010, 2012) kvantitatív kőzetfizikai modellt vezetett be a longitudinális hullámterjedési sebesség és a jósági tényező nyomásfüggésének leírására.

Birch (1961) a kőzetnyomás hatását a terjedési jellemzőkre azzal magyarázta, hogy a nyomás növekedésével a pórusok térfogata csökken, így a hullámterjedés egyre nagyobb súllyal a nagy sebességű kőzetvázra hárul, ezért a kőzetmintán növekvő terjedési sebesség mérhető. Az erre a képre épített kőzetfizikai modell (Somogyi Molnár, Kiss, Dobróka 2015a) a longitudinális és transzverzális hullámok terjedési sebességének és jóságai tényezőjének nyomásfüggését elfogadható pontossággal írja le.

A kőzetnyomás és a hullámterjedési jellemzők kapcsolata számos további fizikai kép is felállítható (a kőzetszemcsék érintkezési felületének változása, a repedési felületek közötti súrlódás változása stb.) Ezek mindegyikére kőzetfizikai modell konstruálható. Nyilvánvalóan felmerül azonban annak lehetősége, hogy a kőzetekben az említett egyedi mechanizmusok egyidejűleg is felléphetnek. Kézenfekvő feltételezés például, hogy porózus és repedezett kőzetekben a nyomás növekedésével a mikrorepedések záródnak, és egyidejűleg a szemcsék közötti pórustér térfogata is csökken, azaz mindkét folyamat közreműködik a diszperziós jellemzők változásában. Indokolt ezért a korábbiakban – egy adott fizikai képre alapozva – felállított kvantitatív kőzetfizikai modellek továbbfejlesztése, ill. általánosítása annak érdekében, hogy két vagy több, a kőzetnyomás hatására megjelenő, a szeizmikus/akusztikus hullám terjedési jellemzőit befolyásoló belső folyamat is figyelembe vehető legyen.

## A nyomásfüggő sebesség modelljének továbbfejlesztése

A szóban forgó egyedi jelenségek közös jellemzője, hogy leírásukra egy-egy extenzív (a kiterjedéssel arányos) mennyiség vezethető be. Ilyen extenzív mennyiség a mikrorepedések száma, a pórusok (össz)térfogata, a kőzetszemcsék teljes érintkezési felülete stb. A továbbiakban tegyük fel, hogy egy adott kőzetben  $M$  számú egyedi jelenség játszik szerepet a hullámterjedés jellemzőinek a kőzetnyomástól való függésének leírásában, és rendeljünk mind-egyikükhöz egy extenzív mennyiséget! Így az  $i$ -edik belső folyamathoz tartozó (egységnyi térfogatra vonatkoztatott) extenzívet jelölje  $\Psi_i$ !

Ha a kőzetben  $d\sigma$  feszültségnövekedést hozunk létre, akkor a jellemző extenzívek  $d\Psi_i$  infinitezimális változásáról (mint korábbi modellünkben pl. a bezáruló mikrorepedések  $dN$  számáról) feltételezhetjük, hogy egyenesen arányos a  $d\sigma$  feszültségnövekménnyel. Ugyanakkor  $d\Psi_i$  egyenesen arányos  $\Psi_i$ -vel (pl. a nyitott mikrorepedések számával) is. Ezt az alapfeltevést a

$$d\Psi_i = -\lambda_i \Psi_i d\sigma \quad (1)$$

differenciálegyenlettel írhatjuk le, ahol  $\lambda_i \geq 0$  egy, az anyagra jellemző új kőzetfizikai paraméter, és a negatív előjel azt fejezi ki, hogy növekvő feszültségnél ( $d\sigma \geq 0$ ) az  $i$ -edik belső extenzív csökken (pl. a repedések zárulásával a még nyitott mikrorepedések száma csökken, a pórusok zá-

rulásával az egységnyi térfogatban foglalt pórustérfogat csökken stb.). A fenti differenciál egyenletet megoldva kapjuk:

$$\Psi_i = \Psi_{0i} \exp(-\lambda_i \sigma), \quad (2)$$

ahol  $\Psi_{0i}$  az  $i$ -edik extenzív értéke feszültségmentes állapotban ( $\sigma = 0$ ).

Egy másik alapfeltevés, hogy a kőzetnyomás  $d\sigma$  változása a hullám terjedési sebességét az egyedi folyamatokban a jellemző extenzív mennyiségek  $d\Psi_i$  változásával arányosan módosítja:

$$dv_i = -\alpha_i d\Psi_i, \quad (3)$$

ahol az  $\alpha_i$  egy arányossági tényező (anyagi minőségtől függő konstans), a negatív előjel pedig azt fejezi ki, hogy a sebesség csökkenő extenzív esetén növekszik. A (2) egyenlet alapján

$$dv_i = \alpha_i \lambda_i \Psi_{0i} \exp(-\lambda_i \sigma) d\sigma, \quad (4)$$

amivel a terjedési sebesség teljes elemi megváltozása a

$$dv = \sum_{i=1}^M dv_i = \sum_{i=1}^M \alpha_i \lambda_i \Psi_{0i} e^{-\lambda_i \sigma} d\sigma \quad (5)$$

alakot ölti. Az (5) egyenlet megoldásával a

$$v = K - \sum_{i=1}^M \alpha_i \Psi_{0i} e^{-\lambda_i \sigma} \quad (6)$$

kifejezést kapjuk, ahol  $K$  ismeretlen integrációs állandó. Terheletlen állapotban ( $\sigma = 0$ ) a kőzetben terjedő rugalmas hullám sebessége mérhető, ennek értékét jelölje  $v_0$ . A fenti egyenlet alapján ekkor

$$v_0 = K - \sum_{i=1}^M \alpha_i \Psi_{0i},$$

amiből a  $K$  integrációs konstansra

$$K = v_0 + \sum_{i=1}^M \alpha_i \Psi_{0i}$$

adódik. Bevezetve a  $\Delta v_i = \alpha_i \Psi_{0i}$  jelölést, a (6) egyenlet a

$$v = v_0 + \sum_{i=1}^M \Delta v_i (1 - e^{-\lambda_i \sigma}) \quad (7)$$

formában írható fel. A (7) egyenlet elvi összefüggést ad a terjedési sebesség és a kőzetnyomás kapcsolatára. A sebesség mint a nyomás függvénye  $v_0$ -tól

$$v_{\max} = v_0 + \sum_{i=1}^M \Delta v_i$$

értékig növekszik. Ezt figyelembe véve a (7) formula így is írható:

$$v = v_{\max} - \sum_{i=1}^M \Delta v_i e^{-\lambda_i \sigma}. \quad (8)$$

A sebesség a  $v_{\max}$  határértéket – a modell szerint – nagy nyomásértékek mellett veszi fel. Mindez természetesen csak az ún. reverzibilis modell keretében érvényes, mert a nagy feszültségeknél a kőzetben új mikrorepedések is



keletkeznek, amit azonban a jelen modell keretében nem tárgyalunk.

A bevezetett  $v_{\max}$ ,  $\Delta v$ , és  $\lambda_i$  mennyiségek a modell paraméterei, melyeket a kőzetmintákon végzett akusztikus laboratóriumi mérési adatok alapján inverziós módszerrel határozhatunk meg. Az inverzió terminológiájában (8) a direkt feladatot jelenti, amelyet az  $A = v_{\max}$  és a  $B_i = -\Delta v_i$  jelöléssel így is írhatunk:

$$v = A + \sum_{i=1}^M B_i e^{-\lambda_i \sigma},$$

vagy a  $B_0 = A$  és  $\lambda_i = 1/\tau_i$  jelölésekkel a terjedési sebesség nyomásfüggésére a

$$v(\sigma) = \sum_{i=0}^M B_i e^{-\sigma/\tau_i} \quad (9)$$

kifejezés adódik. A  $\tau_i$  anyagjellemző paraméter a sebességfüggést meghatározó  $i$ -edik fizikai folyamat karakterisztikus nyomása (feszültsége).  $M$  számú ilyen folyamat esetén a  $\tau_i$  karakterisztikus nyomások sorozatát (más geofizikai területek, mint pl. gerjesztett polarizáció mintájára) spektrumnak (nyomásspektrum) is nevezhetünk, amely (9) esetében „vonalas”. Ezt az analógiát továbbgondolva folytonos spektrum feltételezésével a hullám terjedési sebességének nyomásfüggését így írhatjuk:

$$v(\sigma) = \int_{\tau_{\min}}^{\tau_{\max}} w(\tau) e^{-\sigma/\tau} d\tau, \quad (10)$$

ahol  $w(\tau)$  a nyomásspektrum sűrűségfüggvénye.

Az inverz feladatot a (10) kifejezéssel adott válaszegyenlet esetén a sorfejtéses inverzió módszerével oldhatjuk meg. Ennek során a spektrumot megfelelően választott bázisfüggvények segítségével diszkrétizáljuk:

$$w(\tau) = \sum_{q=1}^Q B_q \Phi_q(\tau), \quad (11)$$

ahol  $\Phi_q$  a  $q$ -adik bázisfüggvény,  $B_q$  sorfejtési együttható. Mivel a bázisfüggvények ismertek, a nyomásspektrum előállítására egyszerűsödik. A  $\mathbf{B}$  sorfejtési együtthatók vektora az ismeretlen modellparaméter-vektor, a (10) egyenlet a direkt feladatot megoldó válaszegyenlet, amelyet a (11) egyenlettel kombinálva a  $k$ -adik mérés  $\sigma_k$  nyomásánál a

$$v(\sigma_k) = v_k = \sum_{q=1}^Q B_q \int_{\tau_{\min}}^{\tau_{\max}} \Phi_q(\tau) \exp(-\sigma_k/\tau) d\tau \quad (12)$$

összefüggést kapjuk. Bevezetve az

$$S_{kq} = \int_{\tau_{\min}}^{\tau_{\max}} \Phi_q(\tau) \exp(-\sigma_k/\tau) d\tau \quad (13)$$

jelölést, a számított adatokat a

$$v_k^{\text{szám}} = \sum_{q=1}^Q B_q S_{kq} \quad (14)$$

lineáris kifejezéssel állíthatjuk elő, vagy ez mátrix írásmódban:

$$\mathbf{v}^{\text{szám}} = \mathbf{S}\mathbf{B}.$$

Az inverz feladat megfogalmazásához bevezetjük a mért és számított terjedési sebességi adatok

$$\mathbf{e} = \mathbf{v}^{\text{mért}} + \mathbf{v}^{\text{szám}} \quad (15)$$

eltérésvektorát. Ha a diszkrétizációt megfelelő módon végezzük, elérhető, hogy a mérési adatok száma meghaladja a sorfejtési együtthatók számát. Ekkor az inverz feladat túlhatározott, megoldását a (15) eltérésvektor ( $L_2$ ) normájának minimalizálásával állíthatjuk elő, ami az ismert

$$\mathbf{S}^T \mathbf{S} \mathbf{B} = \mathbf{S}^T \mathbf{v}^{\text{mért}} \quad (16)$$

normálegyenlet-rendszerre vezet. Az egyenletrendszer megoldva

$$\mathbf{B} = (\mathbf{S}^T \mathbf{S})^{-1} \mathbf{S}^T \mathbf{v}^{\text{mért}} \quad (17)$$

a mérési adatok alapján előállított sorfejtési együtthatókkal a  $w(\tau)$  nyomásspektrum (11) alapján számítható.

A  $\Phi_q$  bázisfüggvények alkalmas megválasztása a feladattól függ. A Dirac-féle delta-függvények szerinti sorfejtéssel

$$w(\tau) = \sum_{q=1}^Q B_q \delta(\tau - \tau_q), \quad (18)$$

ahol  $\tau_q$  a  $q$ -adik diszkrét relaxációs mechanizmushoz tartozó karakterisztikus nyomás. A direkt feladatot megfogalmazó (10) egyenlet:

$$v_k = \sum_{q=1}^Q B_q \int_{\tau_{\min}}^{\tau_{\max}} \delta(\tau - \tau_q) \exp(-\sigma_k/\tau) d\tau, \quad (19)$$

amely a Dirac-delta integrációs tulajdonsága miatt így is írható:

$$v_k = \sum_{q=1}^Q B_q \exp(-\sigma_k/\tau_q). \quad (20)$$

Láthatjuk, hogy a sorfejtési együtthatók jelentése ebben az esetben az adott  $\tau_q$  karakterisztikus nyomáshoz tartozó spektrális amplitúdó. Ez az egyenlet az indexek átírása után a (9) kifejezést adja vissza.

## A nyomásfüggő jóság tényező modelljének továbbfejlesztése

Az általánosított sebességmodellnél követett megfontolások alapján az általánosított jóság tényező modellje is megfogalmazható. Nyilvánvaló, hogy az egyedi folyamatok kapcsán bevezetett extenzív mennyiségek változása hatással van a jóság tényező megváltozására, azaz

$$dQ_i = -\beta_i d\Psi_i, \quad (21)$$

ahol a  $\beta_i$  arányossági tényező egy új anyagjellemző. Összevetve a fenti feltételt a (2) egyenlettel

$$dQ_i = \beta_i \lambda_i \Psi_{0i} e^{-\lambda_i \sigma} d\sigma \quad (22)$$

adódik, amivel a jóság tényező teljes elemi változása a

$$dQ = \sum_{i=1}^M dQ_i = \sum_{i=1}^M \beta_i \lambda_i \Psi_{0i} e^{-\lambda_i \sigma} d\sigma \quad (23)$$

alakot ölti. Integrálás után a

$$Q = K' - \sum_{i=1}^M \beta_i \Psi_{0i} e^{-\lambda_i \sigma} \quad (24)$$

kifejezést kapjuk, ahol  $K'$  ismeretlen integrációs állandó. Terheletlen állapotban ( $\sigma = 0$ ) a kőzetben terjedő rugalmas hullám jósági tényezője mérhető, melynek értékét jelölje  $Q_0$ . A fenti egyenlet alapján ekkor

$$Q_0 = K' - \sum_{i=1}^M \beta_i \Psi_{0i},$$

amiből az integrációs konstansra

$$K' = Q_0 + \sum_{i=1}^M \beta_i \Psi_{0i}$$

adódik. Bevezetve a  $\Delta Q_i = \beta_i \Psi_{0i}$  jelölést, a (24) egyenlet a

$$Q = Q_0 + \sum_{i=1}^M \Delta Q_i (1 - e^{-\lambda_i \sigma}) \quad (25)$$

formában írható fel. Bevezetve a

$$Q_{\max} = Q_0 + \sum_{i=1}^M \Delta Q_i$$

jelölést a (25) formula így is írható:

$$Q = Q_{\max} - \sum_{i=1}^M \Delta Q_i e^{-\lambda_i \sigma}. \quad (26)$$

## Az új modellek tesztelése a laboratóriumi akusztikus sebesség és a jósági tényező adatain

Az új kőzetfizikai modell teszteléséhez kőzetmintákon mért akusztikus sebességi és abszorpciós tényezőt (ill. ezekből származtatott jósági tényezőt) leíró adatokra van szükség, melyeket részben saját méréseinkből állítottuk elő, részben pedig a nemzetközi szakirodalomban publikált mérési adatokat használtuk. A ME Geofizikai Tanszék akusztikus laboratóriumának lehetőségeit, a felhasznált mérési adatokat korábbi publikációkban ismertettük (Somogyi Molnár és Dobróka 2011, Dobróka és Somogyi Molnár 2012, Somogyi Molnár és szerzőtársai 2015b). A nemzetközi szakirodalomban kőzetmintákon mért akusztikus adatrendszer bőségesen áll rendelkezésre. Ezek közül a Yu et al. (1993), és Zimmer (2003) által publikált adatokat választottuk. A hullámsebességek mérésére a szerzők az impulzusátviteli módszert alkalmazták, a jósági tényezőt ( $Q$ ) a spektrális arány módszerét (Toksöz és szerzőtársai 1979) segítségével mérték a konstans  $Q$  modell feltételezésével.

Numerikus vizsgálatainkban a fokozatosság elvét követve a fent bevezetett modellek közül csupán az  $M = 2$  esethez tartozó, azaz két exponenciális tagot tartalmazó

$$v(\sigma) = A - B_1 e^{-\lambda_1 \sigma} - B_2 e^{-\lambda_2 \sigma} \quad (27)$$

(9) szerinti sebesség, ill. (26) szerint írható:

$$Q(\sigma) = A - B_1 e^{-\lambda_1 \sigma} - B_2 e^{-\lambda_2 \sigma} \quad (28)$$

jósági tényező válaszgyenletekkel foglalkozunk (az  $A, B, \lambda$  modellparaméterek jelölése a két válaszgyenletben azonos, számszerű értékük egy-egy adott inverziós feladatban eltérő). Ezek két exponenciálisan „lecsengő” tagot tartalmaznak  $\tau_1 = 1/\lambda_1$ , ill.  $\tau_2 = 1/\lambda_2$ , karakterisztikus nyomással, azaz két relaxációs folyamatot írnak le. Az egyszerűség kedvéért a továbbiakban a modellt Kettős Relaxációs Modellnek nevezzük (az ábrákon rövidítve: KRM, az angol ábrafeliratokban DRM (Double Relaxation Model)). Eredményeinket a korábban publikált – egy relaxációs folyamatot ( $M = 1$ ) feltételező – kőzetfizikai modellel való összehasonlításban tárgyaljuk (Somogyi Molnár, Dobróka 2011, Dobróka, Somogyi Molnár 2012, Somogyi Molnár 2013, Somogyiné és szerzőtársai 2015a), amelyet a rövidség kedvéért Egyszerű Relaxációs Modellnek (ERM, az angol ábrafeliratokban pedig SRM (Single Relaxation Model)) nevezünk. A modellegyenlet (a (9) egyenletben  $M = 1$  helyettesítéssel) ekkor a

$$v(\sigma) = v_0 + \Delta v (1 - e^{-\lambda \sigma}) = v_\infty + \Delta v e^{-\lambda \sigma} \quad (29)$$

alakot ölti, ahol  $v_\infty = v_0 + \Delta v$ . A jósági tényezőre (a (26) egyenletben  $M = 1$  helyettesítéssel) az ERM hasonló formulát ad:

$$Q(\sigma) = q_0 + \Delta q (1 - e^{-\lambda \sigma}) = q_\infty + \Delta q e^{-\lambda \sigma}, \quad (30)$$

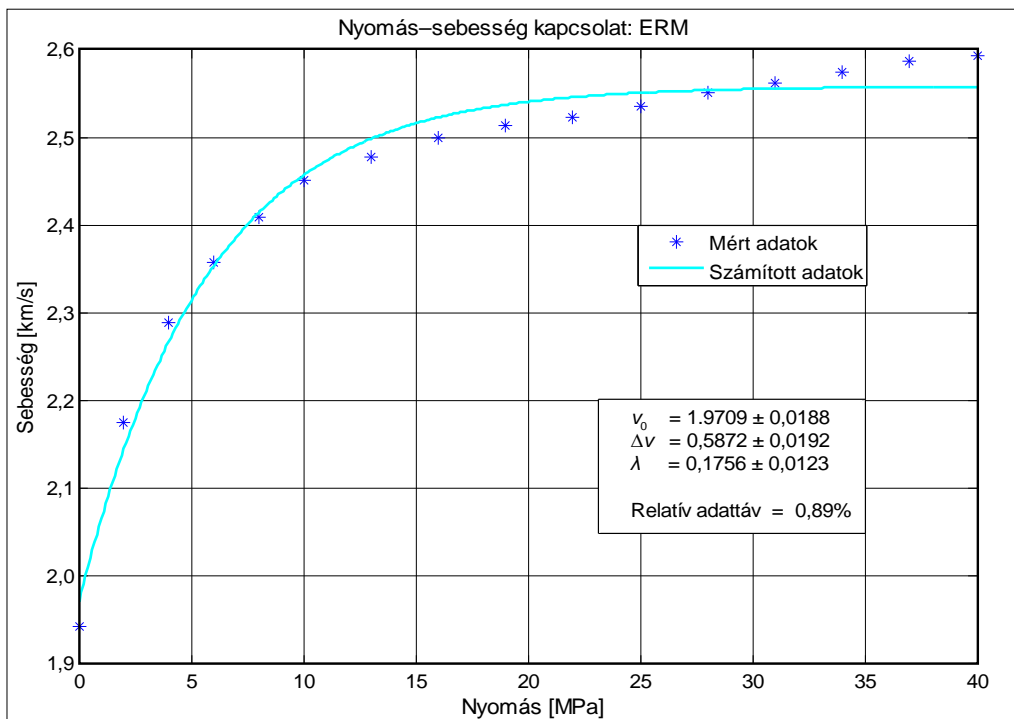
ahol  $q_\infty = q_0 + \Delta q$ .

A (27), (28) (KRM) modellegyenletek paramétereit (és hasonlóan a (29), (30) ERM paramétereit) a sebesség, ill. jósági tényező különböző nyomásértékei mellett mért adatai alapján linearizált optimalizáció alapuló geofizikai inverziós eljárással határozhatjuk meg, az eljárás az ismeretlenek becslési pontosságát is megadja (Menke 1984). A mért és számított adatok illeszkedésének jellemzésére bevezetjük a

$$D = \left[ \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \left( \frac{d_k^{\text{mért}} - d_k^{\text{számított}}}{d_k^{\text{mért}}} \right)^2 \right]^{1/2} \cdot 100 [\%] \quad (31)$$

adattávolságot, ahol  $N$  az adatok száma. Mivel a mérési adatok száma lényegesen meghaladja a modellparaméterek (inverziós ismeretlenek) számát, ezért az inverz feladat jelentősen túlhatározott.

Első vizsgálatunkat az I. jelű mintán végezzük. A száraz szénmintán kapott longitudinálshullám-terjedési sebességadatokat Yu és szerzőtársai (1993) publikációjából mérítettük. Az ERM alapján kapott eredményt az 1. ábra mutatja, amelyen (mint ahogyan további ábráinkon is) feltüntettük a modellparamétereket és azok becslési hibáját, valamint az adattávolságot. Ez utóbbi paraméter elfogadható, azonban az ábra azt sugallja, hogy a modell nem írja le pontosan a fizikai folyamatot. Az adatrendszert a KRM (27) egyenlettel adott válaszgyenletével is invertáltuk és a 2. ábrán látható eredményt kaptuk. Megállapíthatjuk, hogy a KRM lényegesen pontosabb illeszkedést hozott.

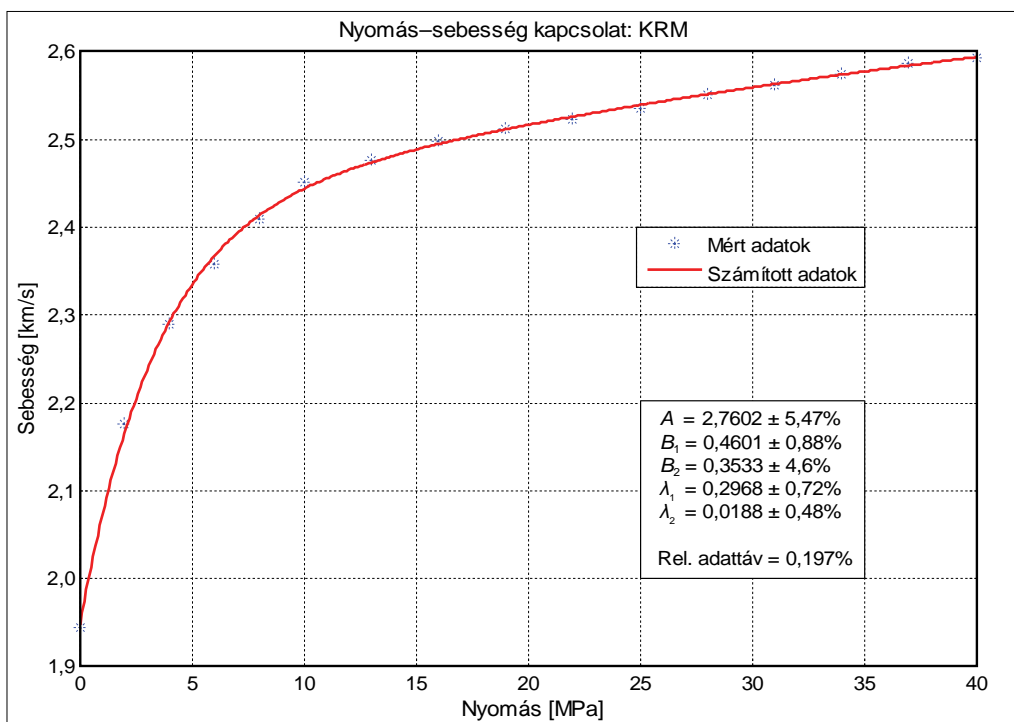


1. ábra A I. jelű (száraz szén) kőzetmintán mért longitudinális sebesség adatok alapján inverzióval meghatározott ERM paraméterek és a számított sebesség–nyomás függvény

Figure 1 The calculated SRM velocity–pressure function on rock sample I. (dry coal) and the model parameters

Regressziós szempontból az eredmény triviálisnak is mondható, hiszen (az ERM-hez képest) alkalmasan bevezetett további regressziós paraméterekkel jobb illeszkedést kell kapnunk. Eredményünk azonban egy általánosabb fi-

zikai modellen alapul, amellyel a jelenség (a nyomás hatása a terjedési sebességre) belső „dinamikáját” igyekeztünk megfogni, így a jobb illeszkedés a közelítés jóságát, a modell alkalmasságát kell jellemeznie.

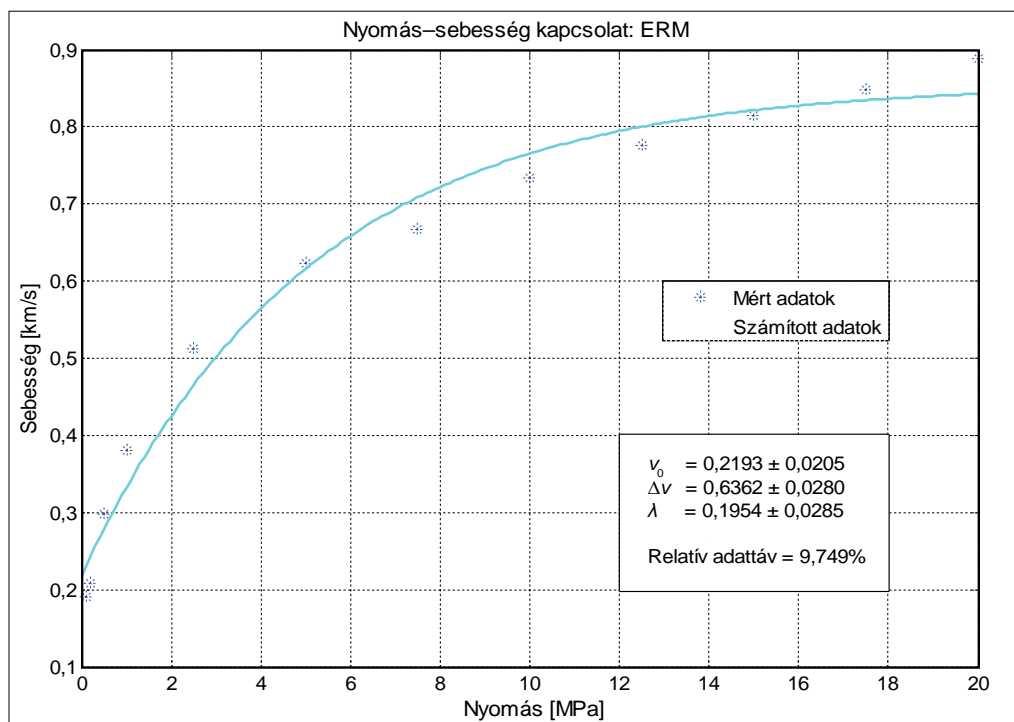


2. ábra A I. jelű kőzetmintán mért longitudinális sebességi adatok alapján inverzióval meghatározott KRM paraméterek és a számított sebesség–nyomás függvény

Figure 2 The calculated DRM velocity–pressure function on rock sample I. and the model parameters

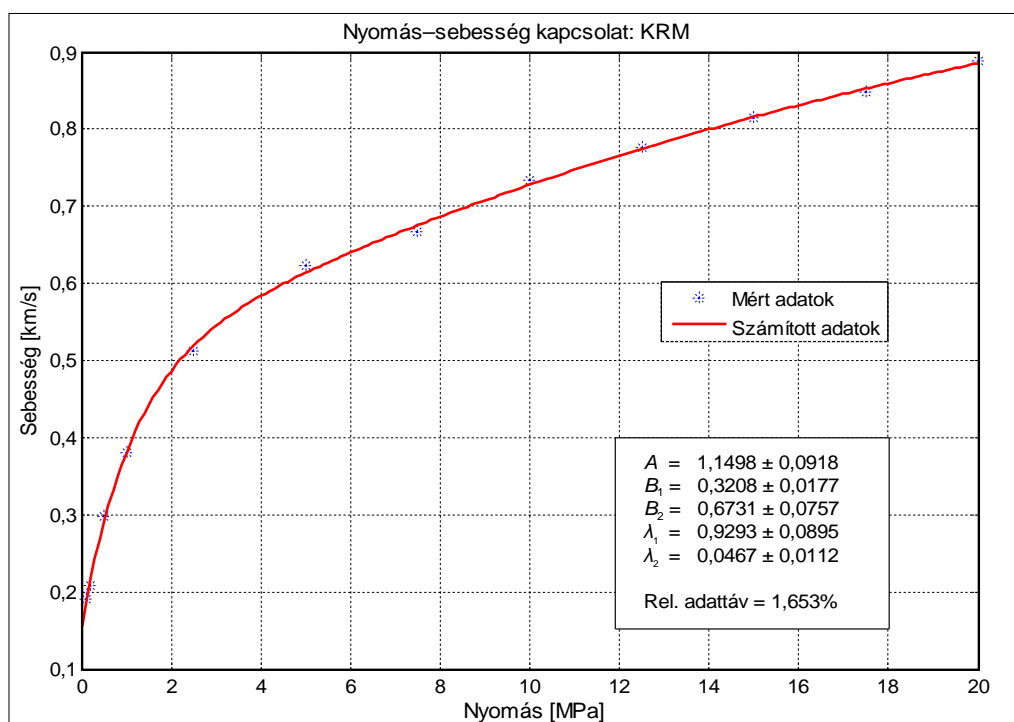
A két ábra koherens eredményt mutat. Az ERM-ben  $v_{\infty} = v_0 + \Delta v = 2,56$ , ami közel van a KRM  $v_{\infty} = A = 2,76$  paraméteréhez. Az ERM  $\lambda$  relaxációs paraméteréhez

$\tau = 1/\lambda = 5,69$  MPa karakterisztikus nyomás tartozik. A KRM első relaxációs paramétere ettől kisebb ( $\tau_1 = 1/\lambda_1 = 3,37$  MPa) karakterisztikus nyomásnak felel



3. ábra A II. jelű (Gulf of Mexico homokkő) mintán mért transzverzális sebességi adatok alapján inverzióval meghatározott ERM paraméterek és a számított sebesség–nyomás függvény

Figure 3 The calculated SRM velocity–pressure function on rock sample II. (Gulf of Mexico sandstone) and the model parameters



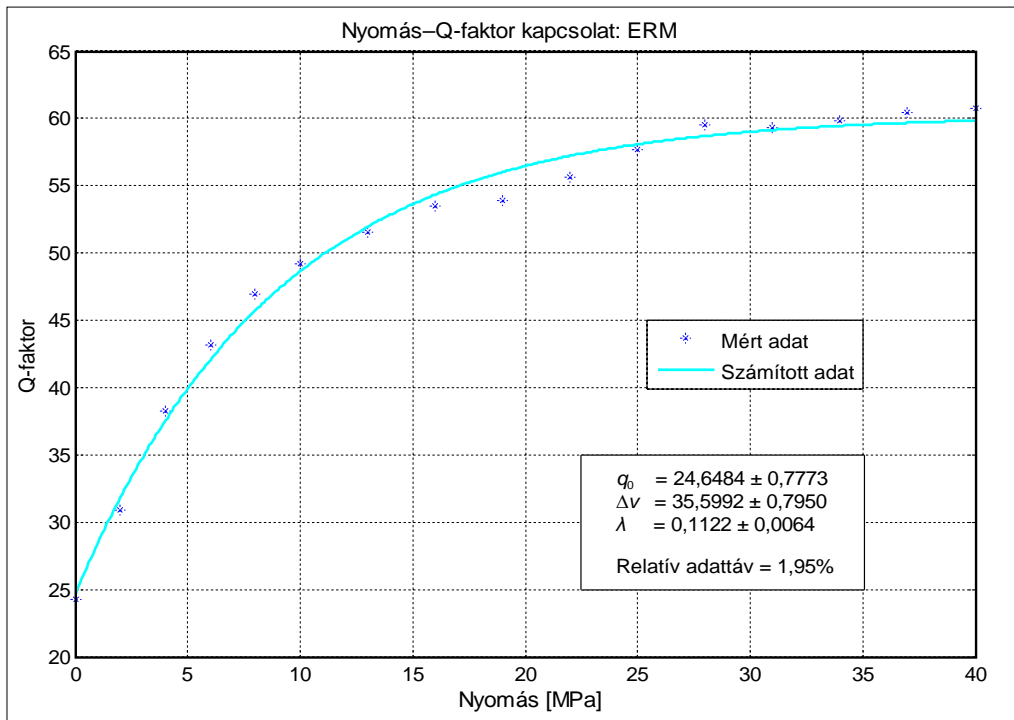
4. ábra A II. jelű kőzetmintán mért transzverzális sebességi adatok alapján inverzióval meghatározott KRM paraméterek és a számított sebesség–nyomás függvény

Figure 4 The calculated DRM velocity–pressure function on rock sample II. and the model parameters

meg, a második relaxációs paraméter azonban igen nagy ( $\tau_2 = 1/\lambda_2 = 53,19$  MPa) karakterisztikus nyomást jelent. Az eredmény alapján megállapíthatjuk, hogy a kőzetmintában egyidejűleg két különböző mechaniz-

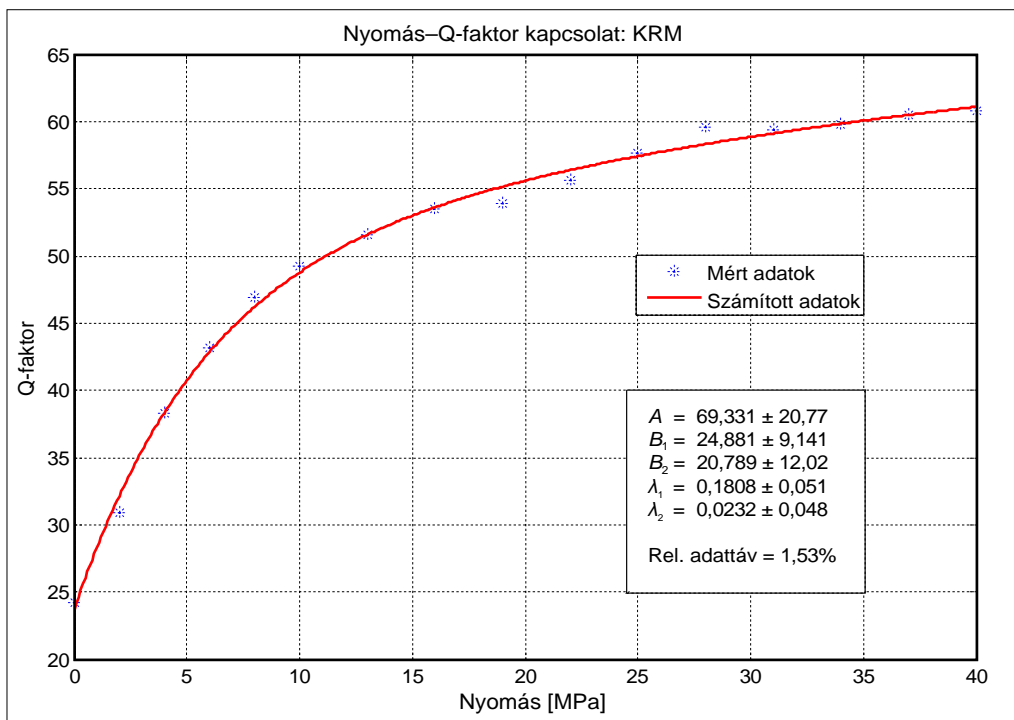
mus működik, befolyásolva a sebesség nyomásfüggését.

Következő vizsgálatunkat transzverzális hullámokra vonatkozó adatokon (II. jelű homokkő mintán) végeztük.



5. ábra A III. jelű kőzetmintán mért jósági tényező adatai alapján inverzióval meghatározott ERM paraméterek és a számított jósági tényező–nyomás függvény

Figure 5 The calculated SRM quality factor–pressure function on rock sample III. and the model parameters



6. ábra A III. jelű kőzetmintán mért jósági tényező adatai alapján inverzióval meghatározott KRM paraméterek és a számított jósági tényező–nyomás függvény

Figure 6 The calculated DRM quality factor–pressure function on rock sample III. and the model parameters

A terjedési sebességeket Zimmer (2003) értekezéséből merítettük (Gulf of Mexico adatsor). Az ERM alapján kapott eredményt a 3. ábra mutatja, amelyen a modellparamétereket és azok becslési hibáját láthatjuk. Az adattávolság 9,75%, ami viszonylag nagy érték. Ennek okaként gondolhatunk arra, hogy a transzverzális beérkezések meghatározása a gyakorlatban mindig nehezebb, mint a longitudinális első beérkezések kijelölése. A 4. ábrán látható KRM-re kapott eredményt tekintve azonban beláthatjuk, hogy a nagy adattávolság oka inkább a modell hibája, vagyis az egy relaxációs folyamat feltételezése (ERM) nem elegendő, a valódi folyamatok leírásában pontosabb közelítést ad a KRM. Ezt a számított görbe és a mérési adatok kvalitatív szemrevételezése mellett pontosan mutatja az adattávolság lényegesen kisebb (1,65%) értéke is.

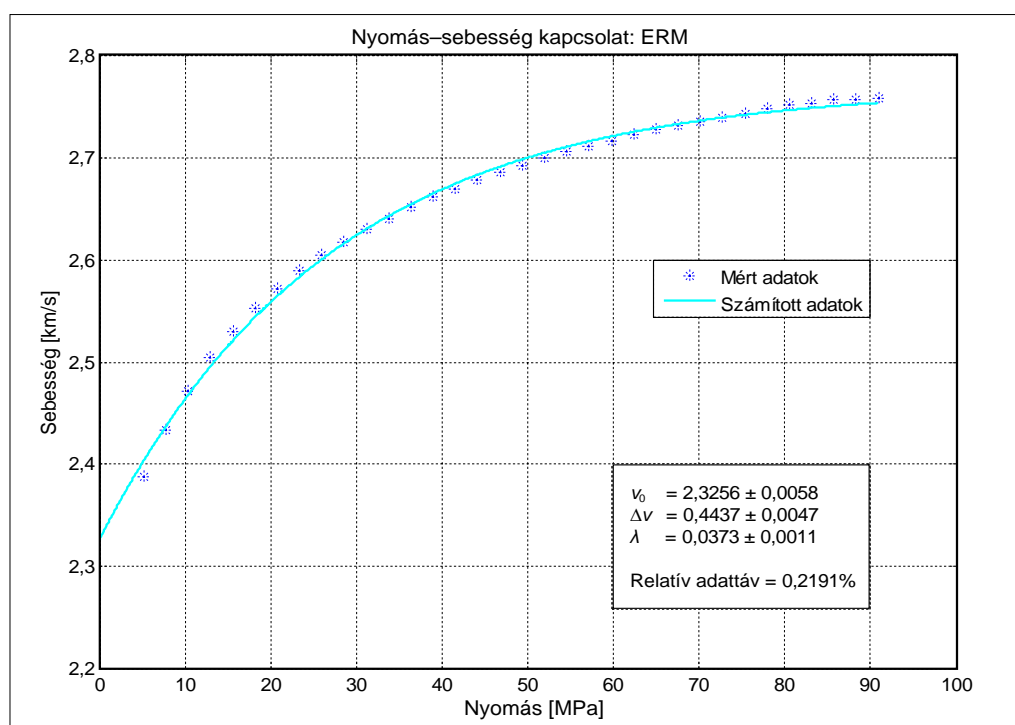
Az 5. és 6. ábrán a jóságitényező-adatokat leíró kőzetfizikai modellt teszteljük. Az erre szolgáló III. adatrendszer Yu és szerzőtársai (1993) publikációjából választottuk (nedves szénminta). Az 5. ábra az ERM eredményt mutatja 1.95% adattávolsággal. Ehhez képest a KRM nem hoz jelentős javulást ( $D = 1,53\%$ ), azonban a mért és a modell alapján számított adatok szubjektív összevetése ismét azt sugallja, hogy a jósági tényező nyomásfüggését meghatározó folyamatok „belső dinamikáját” a KRM jobban közelíti. A két eredmény koherens: a KRM alapján  $q_0 = A - B_1 - B_2 = 23,66$ , ami közel van az 5. ábrán látható  $q_0 = 24,65$  értékhez. A kettős modell alapján kapott két karakterisztikus nyomás  $\tau_1 = 5,53$  (MPa), ill.  $\tau_2 = 43,10$  (MPa) egyike kisebb, mint az ERM által adott  $\tau = 8,91$  (MPa), a másik pedig lényegesen nagyobb. A két jelentő-

sen eltérő  $\tau_1$  és  $\tau_2$  ismét a KRM alkalmazásának indokolt-ságát támasztja alá.

A fenti irodalmi adatok viszonylag kisszámú (10 körüli) nyomásértéken végzett mérésekből származtak. Ezért végeztetül egy homokkő mintán (IV. minta) a ME Geofizikai Tanszéken mért adatrendszeren végzett tesztelés eredményét mutatjuk be. A longitudinális sebességi adatokat a Tanszék nagy pontosságú akusztikus berendezésén mértük 35 különböző nyomásérték mellett. Az ERM alapján kapott eredményt a 7. ábra mutatja. Látható az adatrendszer pontossága, amelyet az igen kis adattávolság ( $D = 0,219$ ) is mutat. A KRM alkalmazásával ez az adattávolság csaknem egy nagyságrenddel csökken (8. ábra), ami indokolja az új modell alkalmazását. Az igényes mérési adatrendszer (nagyszámú, pontosan mért adat) további relaxációs mechanizmusok bevonásának lehetőségét veti fel a (9) általános egyenlet alapján. Ez későbbi vizsgálatok tárgyát képezheti.

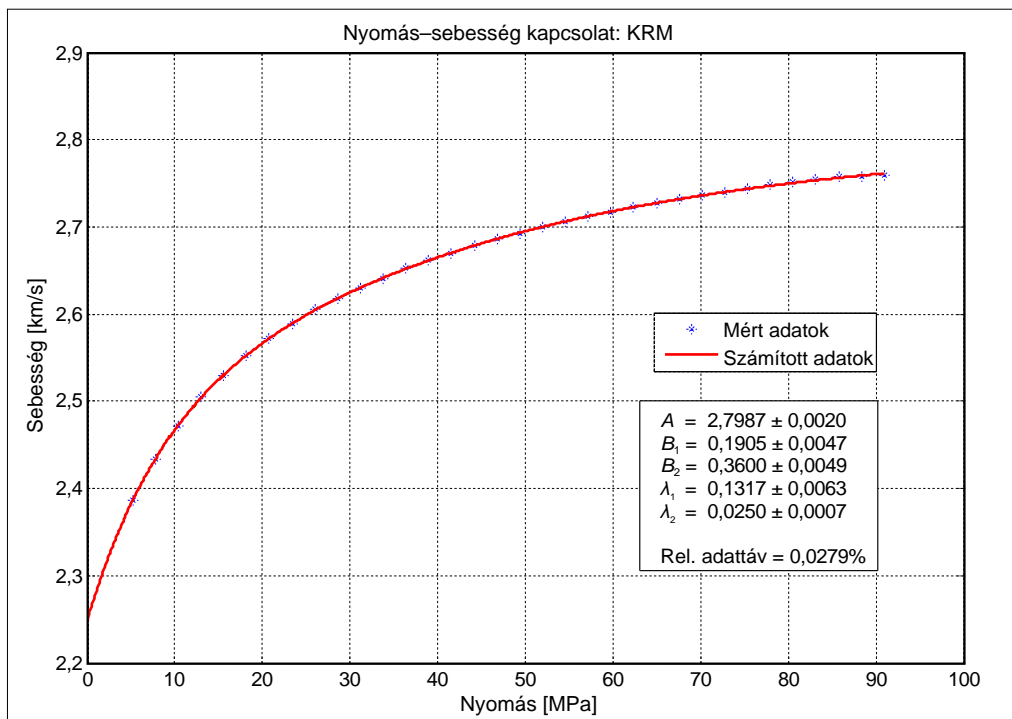
## Összefoglalás

A dolgozatban a ME Geofizikai Tanszéken korábban (az akusztikus hullám terjedési sebességének, ill. jósági tényezőjének nyomásfüggésének magyarázatára) kidolgozott analitikus kőzetfizikai modellt továbbfejlesztését mutattuk be. Az eredeti modellek a nyomásfüggés magyarázatánál egy jellemző mechanizmust (pl. mikrorepedések záródását vagy a pórustérfogat változását) tételeztek fel. A továbbfejlesztés keretében két vagy több mechanizmus egyidejű



7. ábra A IV. jelű kőzetmintán mért longitudinális sebességi adatok alapján inverzióval meghatározott ERM paraméterek és a számított sebesség–nyomás függvény

Figure 7 The calculated SRM velocity–pressure function on rock sample IV. and the model parameters



8. ábra A IV. jelű kőzetmintán mért longitudinális sebességi adatok alapján inverzióval meghatározott KRM paraméterek és a számított sebesség–nyomás függvény

Figure 8 The calculated DRM velocity–pressure function on rock sample IV. and the model parameters

működését is megengedjük. Ennek megfelelően több exponenciális tag lép be a modellegyenletbe. Az új modellt két különböző mechanizmus feltételezésével vizsgáltuk részletesen (Kettős Relaxációs Modell) irodalmi és saját mérési adatrendszerek felhasználásával. A sebesség- és jóságítényező-vizsgálatok egyaránt arra vezettek, hogy a kettős relaxációs modell jobb adattérbeli egyezést szolgáltat.

### Köszönetnyilvánítás

A kutatást a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal – NKFIH, K 109441 nyilvántartási számú kutatási projektje támogatta.

### A tanulmány szerzői

Kiss Anett, Dobróka Mihály

### Hivatkozások

Birch F. (1961): The velocity of compression waves in rocks to 10 kilobars, Part 2. *Journal of Geophysical Research* 66, 2199–2224  
 Dobróka M., Somogyi Molnár J. (2012): New petrophysical model describing the pressure dependence of seismic velocity. *Acta Geophysica* 60, 371–383  
 Menke W. (1984): *Geophysical data analysis – Discrete inverse theory*. Academic Press, Inc., London Ltd.

Molnar J., Dobróka M. (2010): A new petrophysical model for describing the pressure-dependent acoustic velocity in rocks. *Near Surface 2010, Extended Abstracts*, B16  
 Somogyiné Molnár J., Dobróka M. (2011): A szeizmikus/akusztikus sebesség és a jóság tényező kőzetnyomástól való függését leíró kőzetfizikai modellek. *Magyar Geofizika* 52/3, 128–134  
 Somogyiné Molnár J. (2013): *Rugalmas hullámok terjedési jellemzőinek nyomásfüggése – új kőzetfizikai modellek*. Doktori (PhD) értekezés, Miskolc  
 Somogyiné Molnár J., Kiss A., Dobróka M. (2015a): Petrophysical models to describe the pressure dependence of acoustic wave propagation characteristics. *Acta Geodaetica et Geophysica* 50/3, 339–352  
 Somogyi Molnár J., Kiss A., Dobróka M., Szűcs I. (2015b): An automatic test system to measure acoustic velocities: proof for the applicability of a new rock physical model. *Geosciences and Engineering – A Publication of the University of Miskolc* 4/6, 22–35  
 Toksöz M. N., Johnston D. H., Timur A. (1979): Attenuation of seismic waves in dry and saturated rocks, I. Laboratory measurements. *Geophysics* 44/4, 681–690  
 Walsh J. B., Brace W. F. (1964): A fracture criterion for brittle anisotropic rock. *Journal of Geophysical Research* 69, 3449–3456  
 Yu G., Vozoff K., Durney D. W. (1993): The influence of confining pressure and water saturation on dynamic elastic properties of some Permian coals. *Geophysics* 58/1, 30–38  
 Zimmer M. (2003): *Seismic velocities in unconsolidated sands: Measurements of pressure, sorting, and compaction effects*. PhD dissertation, Stanford University.

# A Kárpát-medence és környezete kialakulásának egy lehetséges modellje (kaptafa<sup>1)</sup> után ejtőernyő)

KISS J.

Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (MBFSZ), 1143 Budapest, Stefánia út 14.  
E-mail: kiss.janos@mbfsz.gov.hu

Geofizikus szemmel vizsgálva próbáljuk megérteni a Kárpát-Pannon régió kialakulását és az azt meghatározó tényezőket, folyamatokat. Ez nem egy egyszerű feladat, egyfajta időutazás. Minél messzebb akarunk visszamenni az időben, annál kevesebb megbízható információ áll rendelkezésre.

A Kárpát-Pannon régió valamikor a kréta időszak után alakult ki. Erről a kréta utáni időről vannak konkrét földtani-morfológiai információink, és rendelkezésre állnak napjaink különféle geofizikai mérési adatai. A „földtani jelenségek – geodinamikai folyamatok – mérési adatok” együttesét kell tehát logikailag összerakni és a köztük lévő kapcsolatot megfejteni az aktualizmus elve alapján. Választ adni a „hol”, „mi” és „miért” kérdésekre.

## Kiss, J.: An alternative model for the development of the Carpathian Basin and its environment

We are going to try to understand the development of Carpathian-Pannonian region and its determining factors from point of view of geophysicists. It is not a simple task; this is a kind of time travel. The farther we want to go back in time the less reliable information we have.

The Carpathian-Pannonian region has formed and developed after the Cretaceous period. We have certain geomorphologic and geological information about the post-Cretaceous period of that area and we have different kind of geophysical measurements in the region. We have to put reasonably together a set of geological phenomena, geodynamical movements and geophysical data and to find the connection between them using the theory of actualism to answer the questions of “where”, “what” and “why”.

*Beérkezett:* 2017. május 10.; *elfogadva:* 2017. szeptember 8.

## Bevezetés

Sokan és szerteágazóan vizsgálták a Kárpát-Pannon régió fejlődését, lehetséges fejlődéstörténetét, és általában minden szakember a saját szakterülete felől közelítette meg a kérdést. Valószínűleg a legtöbb megközelítés a célhoz, a valós fejlődési modellhez visz közelebb minket (feltételezhetően a megoldások a cél felé konvergálnak), de a háttérinformációk részletes ismerete hiányában egyik-másik elképzelést, feltételezést nehéz elfogadni és beépíteni egy „új” modellbe.

A hidrogeológia világszerte ismert professzora Tóth József<sup>2)</sup> jellemezte a saját, felszín alatti áramlási rendszereket vizsgáló megközelítését valahogy így:

„Mindig először egy egyszerű modelltől kell kiindulni, és azt bővíteni, kiegészíteni a rendelkezésre álló háttér adatokkal. Amíg az egyszerű modell nincs meg, s amíg annak működését nem értjük, addig szinte semmit sem tudunk, és nincs is értelme bonyolultabb rendszerekkel kísérletezni.”

Munkássága és eddigi eredményei őt igazolták! Keresük az egyszerű modellt, de kialakításakor tanulni kell a korábbi munkákból, eredményekből és a hibákból is.

Erről az oldalról közelít meg a kérdést azt találjuk, hogy a tudományokban sok olyan zseniális ötlet és sejtés született évek során, amit nehéz megmagyarázni és ez elgondolkodtató! Honnan jöttek rá, mi alapján értették meg azt, ami ma már nyilvánvaló, de korábban – a megfelelő



adatok hiányában – nem volt egyértelmű. Az adatok, amelyek ezt számunkra ma egyértelművé teszik, akkor még nem is léteztek.

Szentgyörgyi Albert egy idézete adja meg talán a legpontosabban a választ, miszerint: „Felfedezni valamit annyit tesz, mint látni, amit mindenki lát, és közben arra gondolni, amire még senki.”

Nyilvánvaló, hogy háttér-információk tömkelegének ismerete, feldolgozása alapján érezték meg vagy értették meg a kutatók a jelenségeket, noha bebizonyítani igazukat életük során nem mindig adatott meg. Több ilyen esetet is ismerünk a tudománytörténetben.

Érdeemes tehát olvasgatni a régi, archív szakirodalmat is, mert néha igazi gyöngyszemekre lelhetünk. A geofizikában ilyen például Szénás György *Geofizikai teleptan* című könyve (Szénás 1958). Sok olyan dolgot, ráérzést, elképzelést ír le, amit ma már nagyon jól értünk, de az ő korában kevesen értettek. E tanulmány gondolatait is ő motiválta kb. 60 évvel ezelőtti írásával.

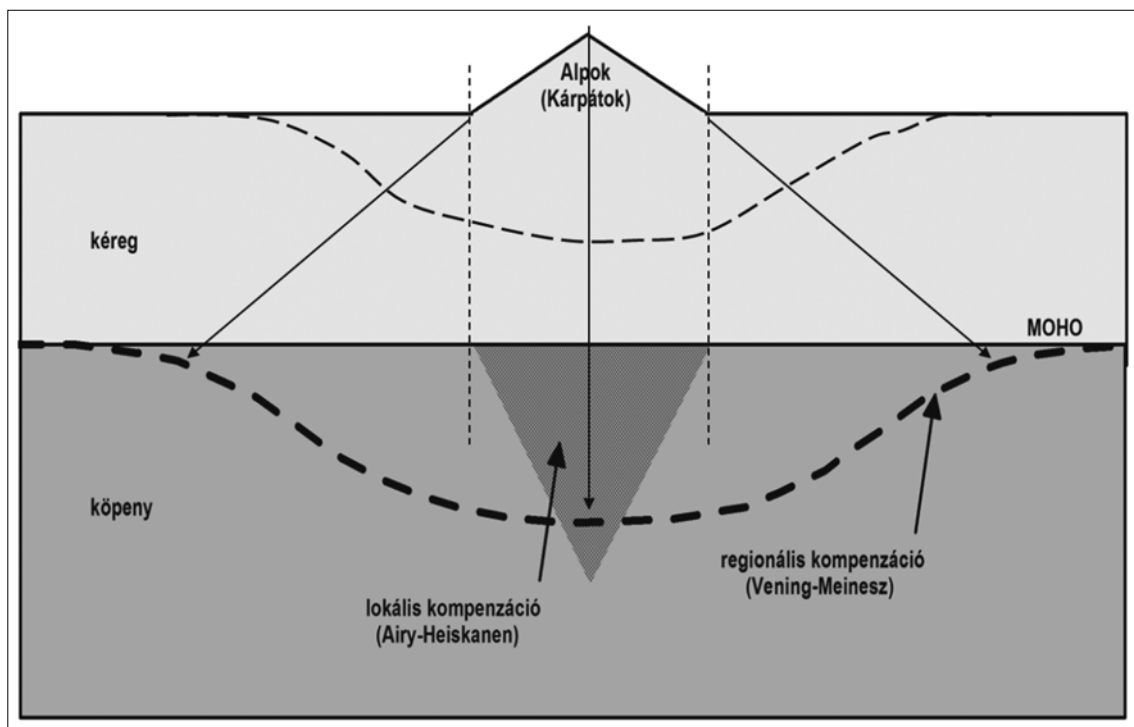
### A Kárpát-Pannon régió geodinamikai modellje

A Kárpát-Pannon régió kialakulásának megértéséhez, a folyamatokat szét kell választani az alábbi részfázisokra, egyszerűbb folyamatokra.

1. Kezdeti kompressziós orogén mozgások (lemeztektonika):
  - a) Szubdukció – az óceáni lemez (pl. Magura) megszűnéséhez kapcsolódó folyamatok,
  - b) Kollízió – kontinentális lemezek ütközése (alpi orogén mozgások), az Alpok és a Kárpátok felgyűrődése.
2. Kompressziós orogén utáni epirogén mozgások (izosztázia):
  - a) Kezdeti izosztatikus válaszok a hegységképződésre – lokális Airy–Heiskanen-féle izosztázia: izosztatikus gyökérszónák kialakulása,
  - b) A környező hegyek izosztatikus gyökérének hatása a belső medencére – regionális Vening Meinesz-féle izosztázia: kéregbehajlás, hegykoszorún belüli süllyedés.

### Kezdeti kompressziós orogén mozgások – lemeztektonika

Az 1. fázist a korábbi tanulmányokból (Balla 1984, 1987, 1988, Horváth 1993, 2007, Fodor, Csontos 1998, Fodor et al. 1999, Bada et al. 1999, Csontos, Vörös 2004, Horváth et al. 2004, Fodor et al. 2005, Seghedi et al. 2005, Kovács, Szabó 2008) viszonylag jól ismerjük, bár a részletekben vannak eltérések a különböző szerzők elképzelésében.



**I. ábra** A lokális és a regionális izosztatikus kompenzáció szemléltetése. Lokális kompenzáció csak a hegy alatti területre terjed ki, a regionális kompenzáció – a litoszférolemez behajlása miatt – sokkal nagyobb területre kiterjed, és előtéri süllyedések kialakulása sem zárható ki

**Figure 1** Illustration of the local and regional isostatic compensation. Roots of local compensation are located just under the mountains, while the roots of regional compensation are extended over the mountain area because of the bending of lithosphere plates

Ennek leglényegesebb eleme az, hogy az Afrikai-lemez É-i mozgásának hatására az Adriai-mikrolemez nekiütközik az Európai-lemeznek (szubdukció, kollízió) és kialakul az Alpok.

A hegységképződés bizonyos fázisában a feszültségek levezetése az Alpok vonalában már nem lehetséges, így ÉK–K-i irányú kilökődés történik. Ez a kilökődő egység a Pannon-mikrolemez, amely az adriai eredetű ALCAPA és az európai eredetű TISIA és DACIA egységekből áll.

A geodinamikai jelenségeket, a recens feszültségeteret (Bada et al. 1999, Grenczy 2005) vagy a vulkanizmus korát vizsgálva (Balogh, Pécskay 2001, Pécskay et al. 2006, Pospišil et al. 2012) megállapíthatjuk, hogy a Pannon-mikrolemezek mozgása idővel az irányában is megváltozott, a kezdeti É–ÉK után K–DK irányúvá vált (Kiss 2014). Ezt Szanyi Gyöngyvér (2017) doktori dolgozatában – az S-hullám csoportsebességek irányizotrópia vizsgálatai alapján – a felső kéregre, az alsó kéregre és köpenyre meghatározott maximum sebességirányok alapján, közvetett módon<sup>3)</sup> igazolta.

A Pannon-mikrolemeznek az Európai-lemezzel való ütközésekor szubdukció és kollízió alakul ki, amelynek nyomai többé-kevésbé megtalálhatóak ma is, ez a lemezmozgás létrehozza a Kárpátok hegykoszorújának 300 szögfoknál nagyobb ívét, amelynek a közepén található a Kárpát-medence.

Amikor az Alpok térségében az 1. fázis befejeződik és elkezdődik a 2. fázis, akkor kezdődik csak el a Kárpátok térségében az 1. fázis.

## Kompressziós orogén utáni epirogén mozgások – izosztázia

Az Alpok térségében a 2. fázis elején kialakul az Alpok izosztatikus gyökérvonala (lokális, plasztikus izosztázia). A lemeztektonikai mozgások legfőbb meghajtóereje a köpenyáramlás. A Kárpát-Pannon régió esetében is fontos szerepe lehet a köpenyáramlásnak (Royden et al. 1983, Kovács et al. 2011, 2012). Ha feltételezzük, hogy az Adriai-lemezt is a konvekciós köpenyáramlás mozgatja, akkor az Alpok izosztatikus gyökérvonala (a kéreg kivastagodása) olyan gátat képez, amely útját állja a köpenyáramlásnak, megváltoztatva annak irányát. A kezdetben közel É–D irányú köpenyáramlás az Alpok gyökérvonala miatt oldalsó irányokba terelődik el, pl. ÉK-i irányba. Valószínűleg ennek a mechanizmusnak köszönhető a Pannon-mikrolemez kilökődése.

A kilökődő mikrolemez, azonban ütközik a vastag Európai-táblával (bohémiai masszívum), aminek eredménye szubdukció és kollízió, és felgyűrődik a Ny-Kárpátok vonulata. Mivel a kilökődés iránya alapvetően ÉK–K-i, ezért É-on nem jellemző a szubdukcióra utaló vulkanizmus (kivéve talán a Szlovák-érchegységet). A konverziós mozgások miatt felgyűrődik a Ny-Kárpátok vonulata, ami alatt a kialakuló gyökérvonala tovább tereli a köpenyáramlást, ennek iránya egyre inkább K-i lesz.

A TESZ (TransEuropean Suture Zone) vonalánál ugyanaz a jelenség ismétlődik meg, azaz ütközés, szubdukció, kollízió és gyökérvonala kialakulása. Mivel a Magura óceáni lemez felemésztődéséért a TESZ vonala mentén ez a folyamat a felelős, a szubdukciós eredetű andezites vulkanizmus, a K-Kárpátok belső peremén szinte összefüggően megtalálható.

Kiemelkedik a K-Kárpátok vonulata, és elkezdődik a 2. fázisra jellemző lokális izosztatikus modell kialakulása, azaz a hegyvonulat alatt egyre erőteljesebb izosztatikus gyökérvonala fejlődik ki az egyensúlyi helyzet megteremtéséért. Ez a gyökérvonala megint megtereli a köpenyáramlást, amely elfordul abba a DK-i irányba, ahol napjaink legaktívabb földrengésfészke, a Vrancea-zóna található.

Lemezek, mikrolemezek összetett mozgásáról van szó, amelyet számtalan járulékos földtani jelenség kísér, de a kialakulás szempontjából talán ezek a legfontosabbak. Eddig nem esett még szó a regionális izosztáziáról!

## Regionális izosztázia

Vening Meinesz (1931) tengeri gravitációs mérések feldolgozása és értelmezése során jött rá a regionális izosztázia jelenségére. Ennek lényege, hogy a tengeri vulkáni szigetek esetén az izosztatikus gyökérvonala (gravitációs minimumok) sokkal tágabb környezetben jelentkeznek (azaz regionálisan), mint ahogyan azt a lokális izosztatikus modellekben leírjuk. Ennek oka az, hogy az óceáni kéreg képlékeny alakváltozásra kevésbé alkalmas, viszont a terhelést mégis csak fel kell vennie. Vening Meinesz szerint a tengerszint fölé emelkedő vulkáni szigetek nehézségi terhelését az óceáni litoszféra mint rugalmas lemez veszi fel, azaz a terhelés helyén a litoszférolemez behajlik. A behajló lemezrész mérete jóval meghaladja a vulkanikus sziget méretét, így egy regionális gravitációs minimum alakul ki. A formája alapján nem lokális izosztatikus gyökérvonala hasonlít, hanem egy nagy súly hatására rugalmasan viselkedő lemez behajlására, ez tulajdonképpen a regionális, elasztikus izosztatikus modell.

A Kárpát-Pannon régióban a regionális izosztázia szintén jelen van, de másképpen jelentkezik (noha a lényeg ugyanaz). A Kárpát-medencét szinte minden oldalról tengerszint fölé emelkedő hegyvonulatok veszik körül. Ezek a magas hegyek súlyukkal megterhelik a litoszférolemezt, egyrészt lokális gyökérvonala jelennek meg a kollízió során összegyűrt kőzetanyagból, másrészt az elasztikus lemez a regionális izosztáziának megfelelően szintén meghajlik. Mivel a hegyek szinte minden oldalról körülvesszik a Kárpát-medencét, ezért a litoszférolemez behajlása – amely a hegyek tágabb környezetéhez kötődik – a medence zárt belső részében összeadódik. A medence belseje kap egy, a külső környezetből származó terhelést. A jelenséget leginkább az „ejtőernyő modell” segítségével érthetjük meg.

### Az „ejtőernyő-dinamika”

A repülőből kiugró ember az ejtőernyő megtartó erejét kihasználva tud biztonságosan földet érni. A kiugró ember a kötélzet révén terheli meg az ejtőernyőt. Az ejtőernyő a nagy felületének visszatartó erejével<sup>4)</sup> védi meg az embert a szabadeséstől (2. ábra, bal oldali rész).

*Ebben a rendszerben hat a levegőben lévő ember súlyából származó nehézségi erő és az ejtőernyő megtartó ereje, amit felületének a közegbe (levegőbe) kapaszkodásával ér el, miközben az ejtőernyős összességében szép lassan süllyed.*

Földtanra átültetve, a Kárpát-medencei modell a következő. A környező hegyek adják a terhelést (mindegyik nagy hegycsúcs egy-egy terhelési pont, a kötélzet egy-egy darabja). Az ejtőernyő vitorlázatát a litoszféalemez adja, amelynek a peremén jelentkezik a hegyek terhelése, kialakul az ejtőernyő-effektus. A peremeken, a tengerszintből kiemelkedő hegyek terhelése nyomja lefelé az egész litoszféalemezt. Ennek a mozgásnak a litoszféalemez részben ellenáll, elasztikusan meghajlik. A széleken a hegyek növekedése (terhelése) miatt lesüllyed, középen a közegellenállás miatt felboltozódik. A terhelés a széleken jelentkezik – a medencében nincs ilyen terhelés –, és kialakul az ejtőernyő-effektus. Egy felfelé domboruló kupolaernyő alakul ki a Kárpát-medencei litoszféalemezből (2. ábra, jobb oldali rész).

*Ebben a rendszerben hat a levegőben lévő hegytömegek súlyából származó nehézségi erő és a litoszféalemez megtartó ereje, amit felületének a közegbe (köpenybe) kapaszkodásával ér el, miközben a medence összességében szép lassan süllyed.*

A kollízió miatt a kőzetlemez felgyűrődik, a hegyek tömege a széleken folyamatosan nő, emelkednek a hegyvidéki részek. Mivel nő a terhelés az izosztázia miatt, egyre nagyobb gyökérszónák alakulnak ki a kéreg anyagából, azaz

a Moho szintje egyre mélyebbre kerül. A terhelés nyomja lefelé a litoszféalemezt, és a zárt geometria miatt az egész régiót, többek közt a medence közepét (noha ott nincs plusz tömeg).

A medence a regionális terhelés miatt süllyed, ezért folyamatosan vastagodik a mechanikusan lerakódó, laza üledék, amelynek a sűrűsége a kéreg átlagsűrűségénél jóval kisebb. Ez viszont köpenykiemelkedéseket generál a medencében – az izosztatikus egyensúly elérése miatt –, merthogy a medencében nincs plusz tömeg és a lerakódó, kis sűrűségű laza üledék tömeghiányt okoz.

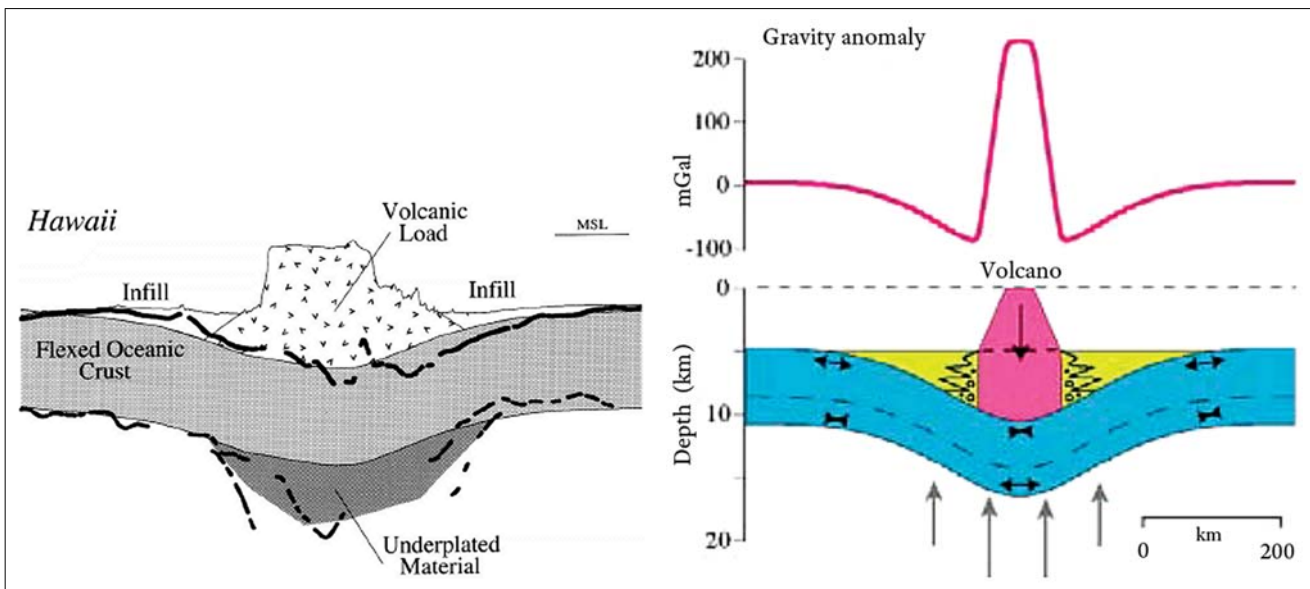
Az aktív köpenyáramlás (köpenykiemelkedés) miatt a kéreg alulról is kopik, vékonyodik (Szénás 1964). A medence vékonyodó szilárd kérge alatt nő a hőenergia és feltehetően a nyomás is, a normál állapotokhoz képest.

Ennek a folyamatnak a továbbgondolását az olvasóra bízunk – a Wilson-ciklushoz (Wilson 1963) jutunk...

### Kupolaszerkezet a gravitáció alapján

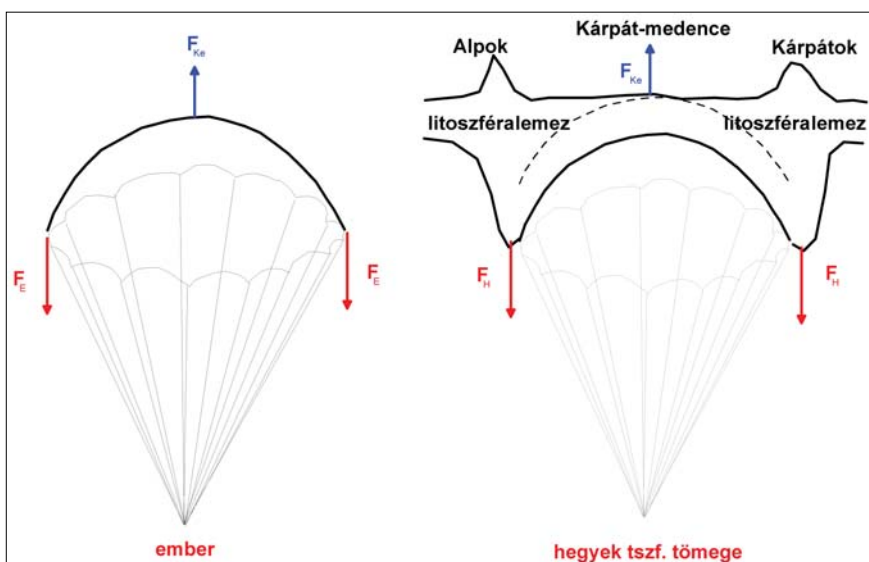
A gravitációs Bouguer-anomáliatérkép regionális értelemben a Moho felületét (a földköpeny felszínét) írja le, ez valószínűleg korrelál a litoszféra alsó határfelületével, amely a szilárd és a képlékeny anyagállapotok határfelülete, azaz a litoszféra lemez alja. Ha a régió Bouguer-anomáliatérképét vizsgáljuk (3. ábra), akkor a hegykoszorún belüli gravitációs tér regionális összetevője meg fogja mutatni nekünk ezt a felületet.

A 8×8 km felbontású Bouguer-anomáliatérkép adataiból, a medenceterületre harmadrendű approximációval előállított regionális összetevő egy kupolafelület, tehát viszonylag egyszerű módon meghatározhattuk – mérési adatok alapján is – a földtani értelemben vett kupolaernyőt (3–5. ábra). 2009-ben az izosztáziáról szóló *Magyar Geo-*



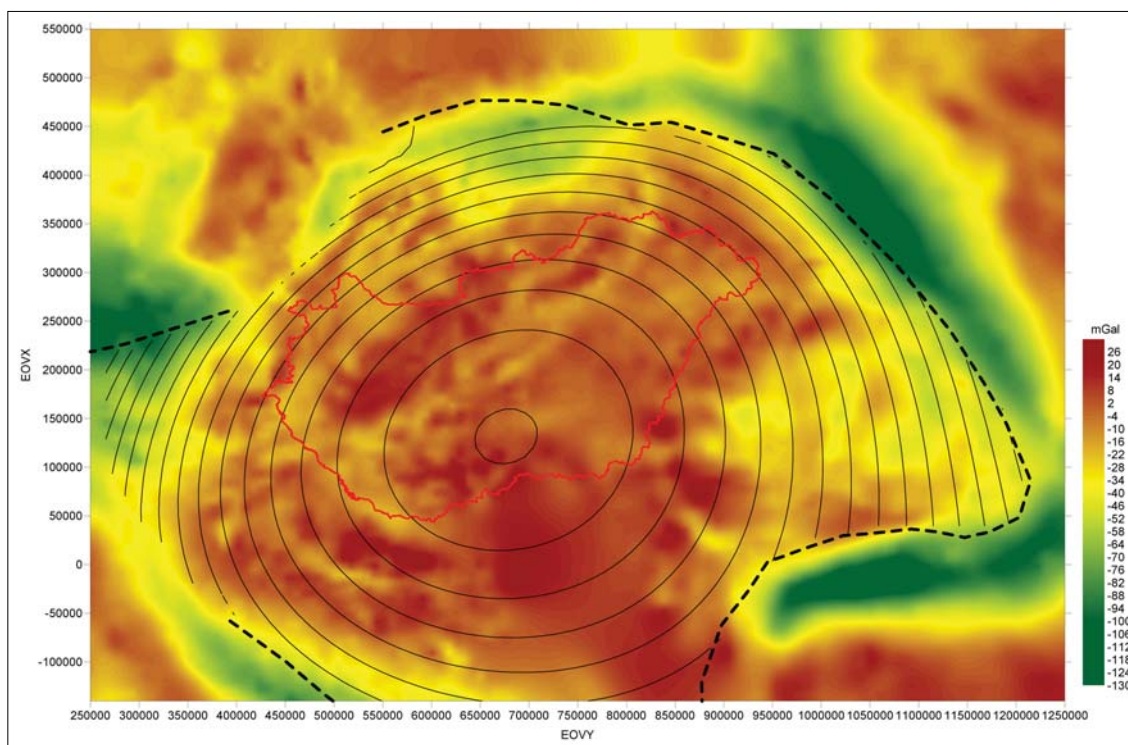
2. ábra Vening Meinesz regionális izosztatikus modellje. Hawaii vulkán valós mérés alapján (balra) és modellezéskor (jobbra)

Figure 2 Regional isostatic Vening Meinesz model based on real data of a Hawaii volcano (on the left) and computed on a model (on the right)



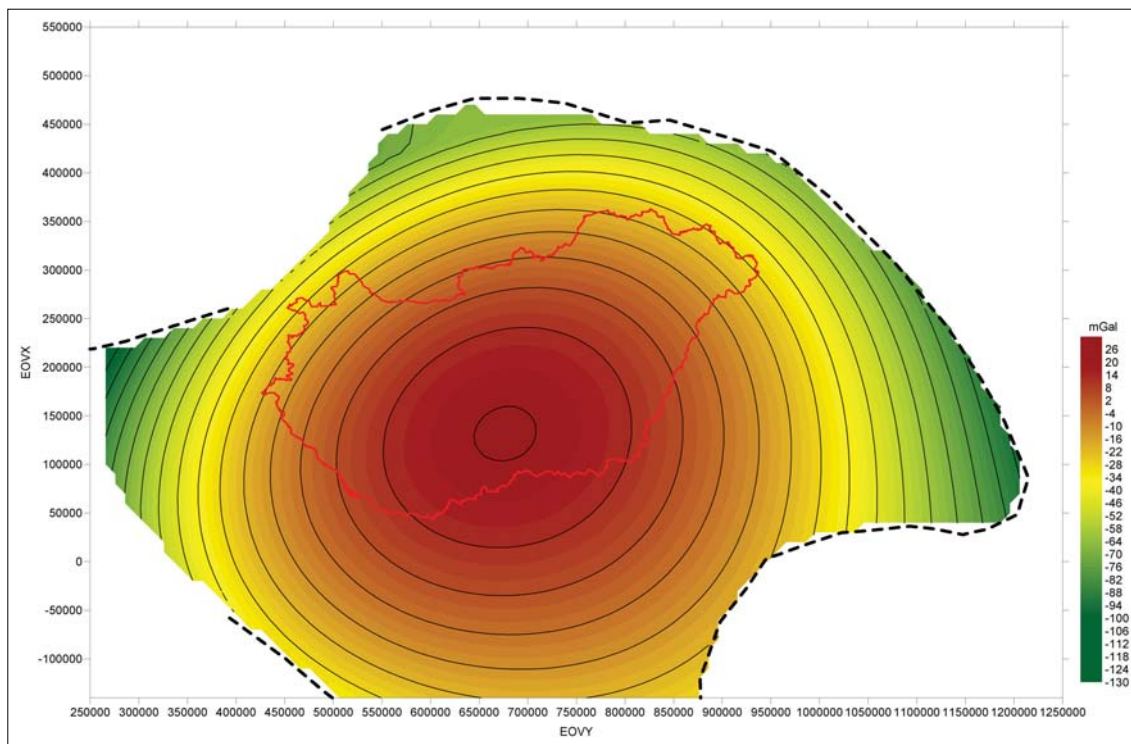
**3. ábra** Ejtőernyő-dinamika és annak a Kárpát-medencére vonatkozó modellje. Az ejtőernyő esetében a kupola úgy van méretezve, hogy az ember súlyából ( $F_E$ ) és közegellenállás megtartó erejéből ( $F_{Kc}$ ) adódóan a rendszer szép lassan süllyedjen (a közegellenállás nem állandó, nagysága a kupolafelülettől és a sebesség-négyzetétől függ). A hegyek többletsúlya a kivastagodó kéregnek köszönhetően előbb-utóbb elvileg egyensúlyba kerül, de amíg nincs egyensúly, addig süllyed. A Kárpát-medencei kéreg alulról nézve kupolaszerű alakzatot vesz fel, ami a környező hegyek többlet súlyát ( $F_H$ ), mint ejtőernyő veszi fel, s tartja meg ( $F_{Kc}$ ) a köpeny anyagú közegen. Kialakul a regionális izosztázia jelensége. Az  $F_H$  és  $F_{Kc}$  aránya határozza meg, hogy a rendszer süllyedni vagy emelkedni fog. Amíg a kompresszió tart, a hegyek emelkednek, addig a Kárpát-medence a regionális izosztatikus kiegyenlítődés miatt süllyedni fog

**Figure 3** Dynamics of the parachute and the parachute model for Carpathian Basin. The parachute is planned so that the body's weight ( $F_E$ ) and the sustaining force of drag ( $F_{Kc}$ ) let the system to sink slowly. The extra weight of the mountains ( $F_H$ ) duly the thickening of the crust theoretically gets sooner or later into balance, but before it is reached it sinks. The crust of Carpathian Basin take a parachute cupola form, and this canopy holds ( $F_{Kc}$ ) the weight of the mountains on the surface of the mantle. This is how the phenomenon of regional isostasy forms. The proportion of  $F_H$  and  $F_{Kc}$  determines the strengths whether the system sinks or rises. As long as the compression is lifting the mountains up the Carpathian Basin is going to sink because of the regional isostasy



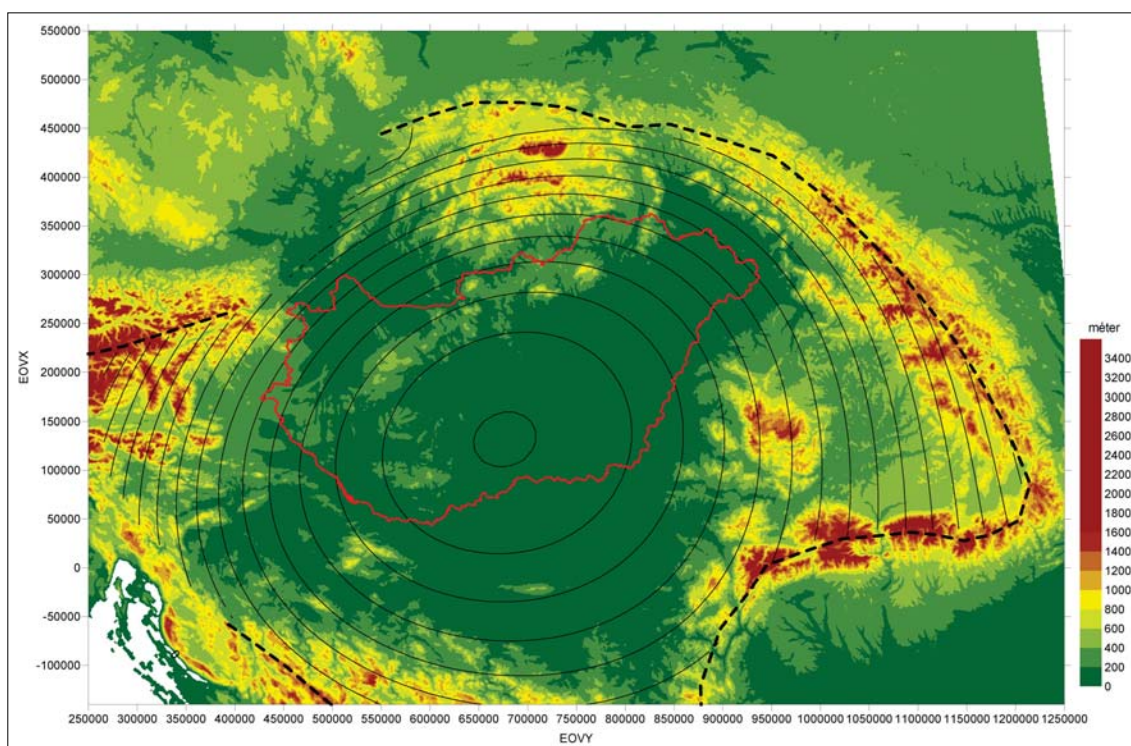
**4. ábra** A Kárpát-Pannon régió gravitációs Bouguer-anomáliatérképe (színekkel) és a térképi adatok harmadrendű approximációjából kapott kupolafelület (izovonalakkal). Szaggatott vonal jelzi a hegykoszorú vonalát

**Figure 4** Bouguer anomaly map of Carpathian-Pannonian region (by colours) and the 3rd order approximation of the data, the so-called "canopy" (by isolines). Dashed line indicates the range of mountains



5. ábra | A hegykoszorú belsejére meghatározott harmadrendű approximációs felület  
 Figure 5 | The 3rd order approximation of the Bouguer data between the mountain chains

*fizikában* közölt cikkben, térképileg előállítottuk és a négy főirány mentén szemléltettük már ezt a regionális hatást | (Kiss 2009). A 4. ábra alapján azonban mindenki elképzelheti, hogyan is nézhet ki ez a felületet.



6. ábra | A harmadrendű approximációs felület (izovalakkal) a domborzati térképen (színekkel)  
 Figure 6 | The 3rd order approximation surface (by isolines) on the topography map (by colours)

## Kupolaszerkezet és a bazaltvulkanizmus

Harangi Szabolcs és szerzőtársai 2015-ben tették közzé geodinamikai elképzelésüket a bazalt vulkanizmus eredetéről (Harangit et al. 2015), amelyben a köpenyáramlás régióban betöltött szerepe is megjelenik (6. ábra). Ezek alapján: „A vastag kőzetburok (litoszféra) alól az asztenoszféra kőzetanyaga áramlik lassan felfelé a peremterületek mentén, az elvékonyodott kőzetburokkal rendelkező medence alá. A változatos összetételű kőzetanyag olvadáspontja csökken a feláramlás (nyomáscsökkenés) következtében, ezért részlegesen megolvad, ami bazaltvulkáni működéshez vezet.”

Az Alpok és a K-Kárpátok között húzódó szelvényen (hasonlóan a 2. ábra nyomvonalához) a Kárpát-medence alatt egy köpenyboltozatot és köpenyfeláramlást jeleznek. A kupolaszerkezetet a geofizikai mérések alapján feltételezik. Arra nincs utalás, hogy miért van feláramlás, miért vékony a kéreg és miért alakul ki a boltozat. Az MTA honlapján is megjelent a tanulmány rövid összefoglalója (MTA 2015), amelyből kiemeltünk néhány mondatot:

„A tanulmányban ismertetett új modell arra alapoz, hogy a bazaltos magmaképződés elsődleges oka az asztenoszféra (földköpeny felső, folyékony magmából álló része) kőzetanyagának felfelé való mozgása. Ezzel a kőzetanyag olvadáspontja csökken, és a fennálló hőmérséklet alá kerülhet, ami olvadáshoz vezet. A kulcs tehát megtalálni azt a mechanizmust, ami a földköpeny áramlást előidézi.

Ha térképen megnézzük, hol helyezkednek el bazaltvulkáni területeink, akkor meglepődve tapasztaljuk, hogy nem ott, ahol várnánk, azaz nem a medence középső részén, hanem a széleken, ahol a litoszféra vastagsága hirtelen változik: a környező vastag kőzetburok a medence felé hirtelen elvékonyodik. De miért éppen ott vannak a bazaltvulkánok? Erre a Pannon-medence kialakulásának története adhat választ. Mintegy 12–18 millió évvel ezelőtt a

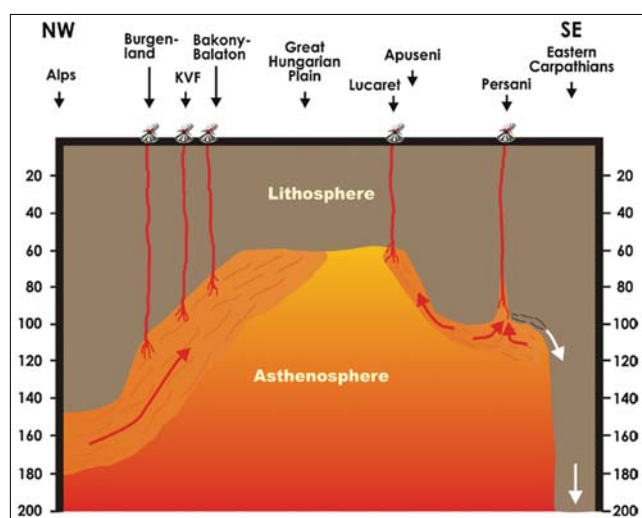
térségünk alatti kőzetburok és földkéreg jelentősen elvékonyodott. Amíg a környező területek alatt 120–200 kilométer vastag litoszféra található, addig a medence területe alatt mindössze 60–80 kilométer a vastagsága. A tanulmány szerzői szerint ennek egyik következménye, hogy a környező területek alól az asztenoszféra anyaga az elvékonyodott térség alá áramlik. A nyugati és északi peremeken a feláramlás majdnem függőleges, ami a magmaképződés egyik legfontosabb kritériuma.”

A lemezeket a köpenyáramlás mozgatja. Az ebben a cikkben felvázolt modell a köpenyáramlás eredetére nem ad újabb magyarázatot (eddig ismereteink alapján az ok a konvekciós hőáramlás), de a köpenyáramlást vízszintesen és függőlegesen megterelő okokra igen. Ez az ok pedig, a hegységek alatt kialakult izosztatikus gyökérszóna, amely értelemszerűen a litoszférát is vastagítja, ezzel a képlékeny köpenyanyag áramlását vízszintes és függőleges irányokban részben megtereli, illetve a köpenybe benyomuló tömeg (gyökérszóna) részben generálja is az áramlást. A Kárpát-medence szigorúan véve csak NyDNY-i irányból nyitott, a hegységek izosztatikus gyökérszónái majdnem teljesen körbezárják a Kárpát-medencét. A köpenyáramlás iránya a medence belseje felé mutat, ugyanakkor az áramlást minden oldalról „gátak” terelik, törvényszerű tehát – ebben a majdnem zárt rendszerben – a felfelé és lefelé irányuló áramlások kialakulása. Ebből a lefelé irányuló áramlás végső helye a Vrancea-zóna (DK-en), a felfelé áramlás pedig, mindenhol a „gátfal” mentén, ott ahol a litoszféra hirtelen kivékonyodik. Nyilván itt lesz az első kellően „gyenge” hely, ahol a bazalt a felszínre kerülhet.

Ha a hegységek alatt vastag kéreg (és litoszféra) alakul ki, akkor hozzá képest a medence alatt relatívan vékony kéreg (és litoszféra) lesz. A hegységek súlyából adódó többletterhelés azonban az egész régióra hatással van, amit a litoszféra lemez behajlással is kompenzál (regionális izosztázia), s ezért a rendszer részeként a medence is süllyedni fog. Ha a medence üledékekkel való feltöltődése nem tudja követni a süllyedést, akkor az egész térszín süllyedni fog. A lerakódó üledék sűrűsége kisebb, mint a kéreg átlagsűrűsége, így az izosztatikus egyensúly eléréséhez a nagy sűrűségű köpenyanyag alapszintjének megemelkedése szükséges (köpenydiapír), ez biztosítja a kompenzációt. A köpenykiemelkedése, a litoszféra meghajlása magyarázatul szolgál a medence szintű extenzióra.

A modellben feltételezzük, hogy a Pannon-mikrolemez viszonylag merev és a konverziós erők csak kisebb deformációkat (hullámzásokat) okoznak a medence belsejében (litoszféra gyűrődés jelensége, ld. Cloething et al. 1999, 2013).

A medence kialakulása után a geodinamikai mozgások „araszoló hernyóra” emlékeztető módon lokális kompressziós (szinklinális) és extenziós (antiklinális) zónákat alakítanak ki a litoszférában, merőlegesen a kompressziós irányokra. Ennek következtében a mély törések a kompressziós zónában felfelé elzáródnak, az extenziós zónában felfelé kinyílnak, megteremtve ezzel is a magma felfelé áramlásának egy lehetséges útvonalát.



7. ábra Új modell a Pannon-medence bazalt vulkanizmusának eredetéről (Harangi et al. 2015)

Figure 7 New model for the triggering of melt generation beneath the Pannonian Basin (Harangi et al. 2015)

A szinklinális és antiklinális zónák a kompresszió hatására eltérő előjelű függőleges mozgást is végezhetnek a medence belsejében.

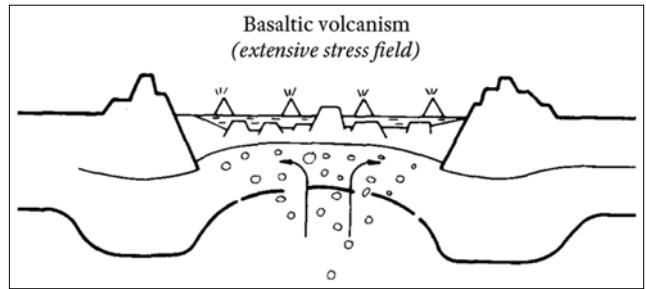
### Összefoglalás

Ismereteink arról, hogy a Kárpát-medencére a vastag üledékes összlet, a vékony kéreg, a süllyedő tendencia, a köpenydiapír és a magas geotermikus gradiens a jellemző, nem új keletűek.

Ezeket a részleteket mutatja Stegena Lajos és szerzőtársainak 1975-ben megjelent cikke és egy abból kiemelt szelvényvázlat (8. ábra), amelyet a szerzők akár ehhez a cikkhez is készíthettek volna. A cikk absztraktjának utolsó megállapítása nagyjából összhangban van jelen cikk mondanivalójával: „Continental-type thin crust, thinned out by the subcrustal erosion of the mantle diapir. The primary cause of the basin formation is the isostatic sinking of the thinned out crust”. (A köpenydiapír okozta erózió hatására a kontinentális kéreg alulról vékonyodik. A medence képződmények kialakulásának oka pedig, az elvékonyodott kéreg izosztatikus süllyedése.)

A „melyik volt előbb” problémája – a süllyedés vagy a vékonyodás – azonban itt is és a későbbi publikációk (Stegena, Horváth 1978) során is előkerül, amelyre eddig nem volt megbízható válasz. Ha vékonyodik a kéreg miért kellene süllyednie is?

A kéreg azért süllyed, mert a hegységek okozta terhelést a régió a regionális izosztázia elvének megfelelően elasztikusan veszi fel, azaz behajlik a litoszféralemez. A belső zárt medence esetén ez egyben a medence süllyedését is előidézti, amit korábban nem ismertek fel. A süllyedés miatt a medence kis sűrűségű, laza üledékekkel töltődik fel,

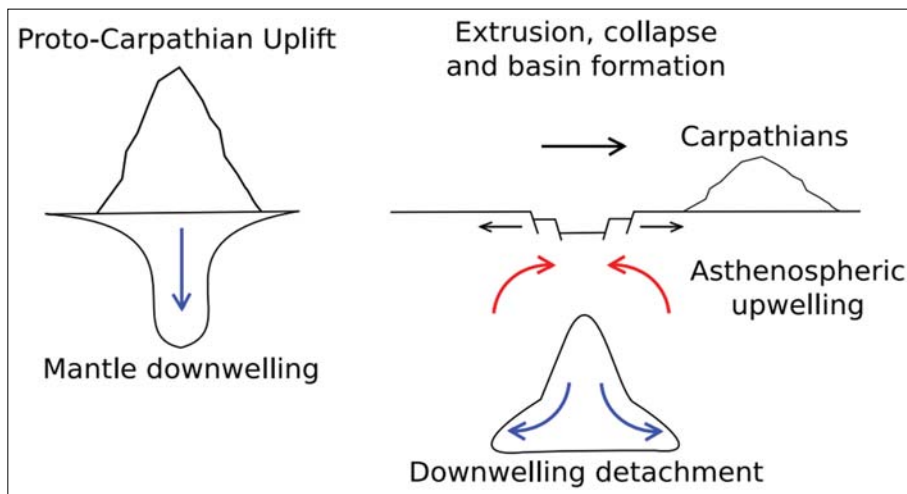


**8. ábra** Egy több mint 40 éve készült szelvényvázlat a Kárpát-medencéről (Stegena et al. 1975). Látszanak a lokális izosztázia jellemző gyökérezónák a hegyek alatt, a süllyedő belső medence, ami a laza üledékekkel történő feltöltődésből ismerhető fel és az izosztatikus egyensúly miatt megjelenő köpenydiapír (ami a bazaltvulkanizmus bázisos alapanyagát eredményezi), azaz kirajzolódik az ejtőernyőmodell. Mindezek együttesen, a felszínen egy extenziós feszültségtér jellegzetességeit mutatják

**Figure 8** Model of Carpathian Basin made by Stegena et al. (1975) more than 40 years ago. It can be seen the roots of local isostasy, the downwelling basin which characterised by sediment upfilling, and the mantle diapir, as the source of basalt volcanism. All these together result in an extensional basin system. This is the schema of the parachute model

amit az izosztatikus egyensúly miatt lokálisan kompenzálni kell. Ez a kompenzáció csak egy nagy sűrűségű anyag felemelkedésével képzelhető el (amire csak a köpenyanyag képes). A köpenyanyag kisebb nyomású szintre emelkedésének azonban következménye van. A kváziszilárd köpenyanyag nyomáscsökkenés hatására olvadékalapotba kerül, ami beolvaszthatja a környezetét (a kéreg eróziója alulról) és az olvadékananyag a felszínre is felemelkedhet (bazaltvulkanizmus).

Egy másik forrásműben, Dando 2010-es doktori dolgozatában, amely a Kárpát-Pannon régió szeizmikus szer-



**9. ábra** A vázlat a Pannon-medence kialakulását mutatja. *Balra*: A Kárpátok kiemelkedése, amely a Kelet-Alpok folytatásának tekinthető, generálja a litoszféra kivastagodását. *Jobbra*: A mélybe került litoszféra leszakadásának eredményeként forró asztenoszféra anyag áramlik fel. A feláramlás K-i irányú kilökődéshez és a Kárpáti orogén zóna beszakadásához, azaz a Pannon-medence extenziójához vezet (Dando 2010)

**Figure 9** A draft showing the development of the Pannonian Basin. *Left*: uplift of the Carpathian Mountains, they can be regarded as a continuation of the Eastern Alps, and the development of a lithospheric downwelling. *Right*: Detachment of the lithospheric downwelling result in hot asthenospheric upwelling. Upwelling accompanied by an eastward extrusion and orogenic collapse of the Carpathians, led to extension in the Pannonian (Dando 2010)

kezetét vizsgálja, felismer bizonyos sajátságokat, például a hegységek és a gyökérvonalak kapcsolatát (9. ábra, bal oldala), de nem veszi észre, hogy a köpenykiemelkedés és a köpenyáramlás a gyökérvonal jelenlétével vagy hiányával van kapcsolatban (9. ábra, jobb oldala).

Az ábra jobb oldala szerint: „A Kárpátok kiemelkedése, amely a Kelet-Alpok folytatásának tekinthető generálja a litoszféra kivastagodását.” Ez a kivastagodás az izosztatikus gyökérvonal megjelenésével van kapcsolatban.

Az ábra bal oldala szerint: „A mélybe került litoszféra leszakadásának eredményeként forró asztenoszféra anyag áramlik fel. A feláramlás okozza a K-i irányú kilökődést, ami a Kárpáti orogén zóna beszakadásához, azaz a Pannon-medence extenziójához vezet.” Az egész Kárpát-medence területét egy őshegységnek tekintik, amelynek mély gyökérvonalja leszakad, és ez generálja a forró köpenyáramlásokon keresztül a Pannon-szegmens K-i irányú kilökődését, majd beszakadását (medenceképződést) és a Pannon-medence extenzióját, ha jól értjük.

Felmerül ezzel kapcsolatban néhány kérdés. Vajon mitől szakad le, és miért süllyed le a nagyobb nyomású asztenoszféra a rideg, kis sűrűségű litoszférayag? Talán az egész hegység elsüllyed? Ha igen, akkor miért van mégis ott a Kárpátok az ábra jobb oldalán? Akkor mi süllyedt le, csak a gyökérvonal? Ha igen, akkor miért vannak még most is izosztatikus gyökérvonalra utaló gravitációs minimumok a hegyvonulatok mentén?

A Kárpát-medence jellegzetességeinek magyarázatát a tanulmányban felvázolt egyszerű ejtőernyőmodell megadja, továbbá érthetővé teszi a részleteiben már feltárt fejlődéstörténetet és az azt kísérő földtani jelenségek jelentős részét. A felvázolt fejlődési modell egyszerű, könnyen érthető, és a változások okai, menete logikailag jobban nyomon követhető.

Az orogén és epirogén mozgások küzdelmének időrendisége (mikor melyik dominál), csak vázlatosan ismert, de ettől még a modell igaz lehet. Az orogén mozgások, majd az epirogén mozgások (amelyek nagy valószínűséggel az izosztatikus egyensúly céljából történnek) folyamatosan jelen vannak. Az izosztázia is léptékfüggő, kezdetben csak a lokális (plasztikus) izosztázia jelei ismerhetők fel, de idővel megfelelő körülmények között mindez regionális (elasztikus) izosztázia formájában is megjelenik. Ennek talán iskolapéldája lehet – ha már óceánjaink nincsenek – a Kárpát-medence és környezete.

## Utóirat

A cikk megírása után végiggondolva az izosztázia jelenségét, a folyamatok sorrendjében kisebb ellentmondás mutatkozik. A gyors geodinamikai változásokra (terhelésekre), a litoszféralemeznek is gyorsan kell reagálni, de nem tudjuk, hogy melyik típusú izosztázia jelenik meg. Lehet, hogy előbb van az elasztikus lemezbehajlás és utána a plasztikus gyökérvonal kialakulása. Az sem zárható ki, hogy egyszerre jelentkeznek a lokális és a regionális izosztázia.

Az elasztikus, regionális izosztázia a Hawaii szigeteken napjainkban is működő bazaltvulkanizmussal kapcsolatban írták le. Ez fiatal jelenség. Ezzel szemben egy nagy orogén zónának (hegységrendszernek) az izosztatikus gyökere már többször tízmillió éves is lehet, ami egy idősebb jelenség. Az orogén vonulatok nagy gyökérvonalai különböző (plasztikus, gyűrődéses, tektonikus) folyamatokon keresztül alakulhatnak ki, amely folyamatokhoz valószínűleg több idő kell.

Az izosztázia szó a görög „ίσος” (iszosz: egyenlő) és „στάσις” (sztaszisz: megállás, beállítás) szavakból származik, amelyet magyarul egyensúlynak lehet lefordítani. Persze egy adott egyensúlyi helyzet földtörténeti szempontból nem nevezhető tartósnak, mert minden folyamatosan változik.

## A tanulmány szerzője

Kiss János

## Jegyzetek

- <sup>1)</sup>A „kaptafa modell”-t Prinz Gyula (1926) földrajzi tanulmányában írta le: „Az Alpok kelet felé kiszélesedik ... az egész redőzet szétnyílik, olló alakú szétágazik. Az északi ág átmege a Kárpátokba, a déli a Dinaridákba, s így a kettő közrefogja a Tisia tömböt. A Tisia tömb így beékelődik az Alpok közé ...” Ez tehát a „kaptafa modell”, amelyben először megfogalmazta a közbenső tömeg – amit Prinz Tisiának nevez – merevségét és idegenségét az alpi orogén zónában.
- <sup>2)</sup>A soproni egyetem hallgatója volt, aki az 56-os események után elhagyva az országot a hollandiai Utrechtben szerzi meg a geofizikus diplomáját, majd a kanadai Albertában vált a hidrogeológia ismert szaktekintélyévé – néhány évig itthon, az ELTE hidrogeológia szakirányán hallhattuk színvonalas előadásait a felszín alatti vizek áramlási rendszeréről.
- <sup>3)</sup>A csoportsebességek anizotrópiáját – a legnagyobb sebességű tengelyirányok mélységtől függő változását – mutatta ki a Pannon-medence területén, ami 10–30 s periódusidejű intervalumban 27–49°-os irányváltást jelent. A felszíntől minél mélyebbre megyünk, annál képlékenyebb a közeg (rideg-képlékeny átmenet). Így a geodinamikai folyamatok nyoma, amelyet a konvekciós áramlás generál először a köpenyben jelenik meg, majd a kevésbé képlékeny alsó kéregben és végül a rideg felső kéregben. Az áramlásnak a felszínhez közelebbi és mélybeli megnyilvánulásai között fáziskésés van, ezt látjuk a tengelyirányok változásából. Változik a mélybeli köpenyáramlás iránya, aminek hatása késéssel jelenik meg az alsó, illetve a felső kéregben.
- <sup>4)</sup>A közegellenállás, ld. <http://www.vilaglex.hu/Fizika/Html/Kozegell.htm>

## Hivatkozások

- Balla Z. (1984): The Carpathian loop and the Pannonian Basin: A kinematic analysis. *Geophysical Transactions* 30/4, 313–353
- Balla Z. (1987): Tertiary Paleomagnetic data for the Carpatho-Pannonian region in the light of Miocene rotation kinematics. *Tectonophysics* 139/1–2, 67–98
- Balla Z. (1988): On the origin of the structural pattern of Hungary. *Acta Geologica Hungarica* 31, 53–63



- Bada G., Horváth F., Fejes I., Gerner P. (1999): Review of the present-day geodynamics of the Pannonian Basin: progress and problems. *Journal of Geodynamics* 27, 501–527
- Balogh K., Pécskay Z. (2001): K/Ar and Ar/Ar geochronological studies in the Pannonian-Carpathians-Dinarides (PANCARDI) region. *Acta Geologica Hungarica* 44/2, 281–299
- Cloetingh S., Burov E., Poliakov A. (1999): Lithosphere folding: primary response to compression? (from central Asia to Paris Basin). *Tectonics* 18, 1064–1083
- Cloetingh S., Burov E., Francois T. (2013): Thermo-mechanical controls on intra-plate deformation and the role of plume-folding interactions in continental topography. *Gondwana Research*, 24/3–4, 815, doi: 10.1016/j.gr.2012.11.012, ISSN: 1342937X 2013
- Csontos L., Vörös A. (2004): Mesozoic plate tectonic reconstruction of the Carpathian region. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 210, 1–56
- Dando B. D. E. (2010): Seismological structure of the Carpathian-Pannonian region of central Europe. PhD dissertation, The University of Leeds
- Fodor L., Csontos L. (1998): Magyarországi szerkezetföldtani kutatások és ezek legújabb eredményei. *Földtani Közlöny* 128/1, 123–143
- Fodor L., Csontos L., Bada G., Györfi I., Benkovics L. (1999): Tertiary tectonic evolution of the Pannonian Basin system and neighbouring orogens: a new synthesis of paleostress data. In: Durand B., Jolivet L., Horváth F., Séranne M. (eds): *The Mediterranean Basins: Tertiary extension within the Alpine Orogen*. Geol. Soc. London, Spec. Publ., pp. 1–156
- Fodor L., Bada G., Csillag G., Horváth E., Ruzsiczai-Rüdiger Zs., Palotás K., Síkhegyi F. (2005): New data on neotectonic structures and morphotectonics of the western and central Pannonian Basin. In: Fodor L., Brezsnaynszky K. (eds): *Proceedings of the workshop on „Application of GPS in plate tectonics, in research on fossil energy resources and in earthquake hazard assessment”*. Occasional Papers of the Geological Institute of Hungary 204, 35–44
- Grenczy Gy. (2005): Crustal motions from space geodesy: a review from EPN, CEGRN, and HGRN data. *Occasional Papers of the Geological Institute of Hungary* 204, 31–34
- Harangi Sz., Jankovics M. É., Sági T., Kiss B., Lukács R., Soós I. (2015): Origin and geodynamic relationships of the Late Miocene to Quaternary alkaline basalt volcanism in the Pannonian Basin, eastern–central Europe. *International Journal of Earth Sciences (Geol Rundsch)* 104, 2007–2032, doi: 10.1007/s00531-014-1105-7
- Horváth F. (1993): Towards a mechanical model for the Pannonian Basin. *Tectonophysics* 226, 333–358
- Horváth F. (2007): A Pannon-medence geodinamikája: eszméletörténeti tanulmány és geofizikai szintézis. Akadémiai doktori értekezés, MTA, Budapest, 238 p.
- Horváth F., Bada G., Windhoffer G., Csontos L., Dövényi P., Fodor L., Grenczy Gy., Síkhegyi F., Szafián P., Székely B., Timár G., Tóth L., Tóth T. (2004): A Pannon-medence jelenkori geodinamikájának atlasza, Euro-konform térképsorozat és magyarázó. [http://geophysics.elte.hu/atlas/geodin\\_atlas.htm](http://geophysics.elte.hu/atlas/geodin_atlas.htm)
- Kiss J. (2009): Regionális gravitációs anomáliák, izosztikus hatások Magyarországon. *Magyar Geofizika* 50/4, 153–171
- Kiss J. (2014): Lemeztektonika, vulkanizmus és a Kárpát-Pannon régió geomágneses anomáliatérképe. *Magyar Geofizika* 55/2, 51–81
- Kovács I. J., Falus Gy., Graham S., Hidas K., Szabó Cs., Flower M., Hegedűs E., Posgay K., Zilahi-Sebess L., Fancsik T. (2011): Asztenoszféra-áramlás, mint a tercier kilökődés és extenzió hajtóereje? *Magyar Geofizika* 52/2, 79–87
- Kovács I. J., Falus Gy., Graham S., Hidas K., Szabó Cs., Flower M., Hegedűs E., Posgay K., Zilahi-Sebess L., Fancsik T. (2012): Seismic anisotropy and deformation patterns in upper mantle xenoliths from the central Carpathian–Pannonian region: Asthenospheric flow as a driving force for Cenozoic extension and extrusion? *Tectonophysics* 514–517, 168–179
- Kovács I. J., Szabó Cs. (2008): Middle Miocene volcanism in the vicinity of the Middle Hungarian zone: Evidence for an inherited enriched mantle source. *Journal of Geodynamics* 45, 1–17
- MTA (2015): [http://mta.hu/tudomany\\_hirei/uj-modell-a-karpat-pannon-terseg-bazaltjainak-keletkezesere-105880](http://mta.hu/tudomany_hirei/uj-modell-a-karpat-pannon-terseg-bazaltjainak-keletkezesere-105880)
- Pécskay Z., Lexa J., Szakács A., Seghedi I., Balogh K., Konecny J., Zelenka T., Kovacs M., Póka T., Fülöp A., Márton E., Panaiotu C., Cvetkovic V. (2006): Geochronology of Neogene magmatism in the Carpathian arc and intra-Carpathian area. *Geologica Carpathica* 57/6, 511–530
- Pospišil L., Hefty J., Hipmanov L. (2012): Risk and geodynamically active areas of the carpathian lithosphere on the base of geodetical and geophysical data. *Acta Geod. Geoph. Hung.* 47/3, 287–309, DOI: 10.1556/AGeod.47.2012.3.2
- Prinz Gy. (1926): Magyarország földrajza. I. kötet: Magyarország földjének származása, szerkezete és alakja. Danubia könyvkiadó, Pécs, 202 p.
- Royden L., Horváth F., Rumpler J. (1983): Evolution of the Pannonian Basin System: 1. *Tectonics*. *Tectonics* 2/1, 63–90, doi: 10.1029/TC002i001p00063
- Seghedi I., Downes H., Harangi Sz., Mason P. R. D., Pécskay Z. (2005): Geochemical response of magmas to Neogene–Quaternary continental collision in the Carpathian–Pannonian region: A review. *Tectonophysics* 410, 485–499
- Stegena L., Géczy B., Horváth F. (1975): Late Cenozoic Evolution of the Pannonian Basin. *Tectonophysics* 26, 71–90
- Stegena L., Horváth F. (1978): Kritikus tethysi és pannon tektonika. *Földtani Közlöny* 108, 149–157
- Szanyi Gy. (2017): A Pannon-medence S-hullám-sebességterének vizsgálata. PhD értekezés, ELTE, Földtudományi Doktori Iskola
- Szénás Gy. (1958): *Geofizikai teleptan*. Akadémiai Kiadó, p. 272.
- Szénás Gy. (1964): Néhány megjegyzés a magyarországi földkéregről. *Geofizikai Közlemények* 13/3, 301–303
- Vening Meinesz, F.A., (1931): Une nouvelle methode pour la reduction isostatique regionale de l'intensite de la pesanteur. *Bull. Geod.* 29, 33–51
- Wilson J. T. (1963): Evidence from Islands on the Spreading of Ocean Floors. *Nature* 197, 536–538, doi:10.1038/197536a0

# Régi hazai földrengések, különös tekintettel Budapestre

VARGA P.

MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Geodéziai és Geofizikai Intézet,  
Kövesligethy Radó Szeizmológiai Observatórium, 1112 Budapest, Meredek u. 18.  
E-mail: varga@seismology.hu

Jelen írás első része a Pannon medencében a XV. század végéig kipattant magyarországi földrengések vagy földrengésnek vélt események egy részével foglalkozik. Egyrészt azok a földrengések kerülnek ismertetésre melyek időpontja és epicentruma ismert, másrészt azok a szeizmológiai vagy annak vélt események, melyekhez történelmi események köthetők. A dolgozat második részének tárgya a Budán, Pesten és Budapesten történt földrengések, vagy olyan események, melyeket egyes források földrengésnek vélnek, mások meg nem.

## Varga, P.: Old Hungarian earthquakes, with particular regard to Budapest

The first part of the present paper deals with a part of earthquakes or alleged seismic events which took place before the 15th century in Hungary. On the one hand, those earthquakes will be discussed which have known date and epicentre. On the other hand, seismological or alleged earthquake events which can be connected to historical events also will be discussed. The subject of second part of the present study is earthquakes or events of Buda, Pest and Budapest which may be possibly an earthquake.

*Beérkezett:* 2017. július 4.; *elfogadva:* 2017. augusztus 14.

## Bevezetés

A régmúlt földrengéseire vonatkozó ismereteink hiányosak. Még csak reményünk sem lehet arra – pedig nagyon fontos volna –, hogy a szeizmikus események időbeli eloszlását az elmúlt évszázadok során megismerjük. Az emberek által érezhető földrengések teljességét csak a Magyar Földrengési Bizottság megalakulása (1881) óta ismerjük, az épületekben kárt okozó rengések egészét pedig hozzávetőleg csak a XVIII. század közepétől. Ha abból indulunk ki, hogy átlagosan minden második évben fordul elő nálunk kisebb-nagyobb kárt okozó földrengés, akkor a magyar államiság 1100 éve alatt 550 ilyen eseménnyel kell számolnunk. Ezzel szemben az 1000-tól 1750-ig terjedő időszakból az egész Kárpát-medencéből jóval kevesebb mint 200, jelentős részben alig értelmezhető eseményt ismerünk, és ezek közül csak 70–80 esik Magyarország mai területére. Tehát a múlt szeizmológiai eseményeinek többsé-

géről nincs is tudomásunk. Az ismert események csak különálló részletei a teljes szeizmicitásnak, szórvány adatok, fel-felvillanó fények, melyek nem világítják meg a teljes történetet. Mégis fontosak számunkra, mert ha az esemény helye és időpontja ismert, elmondható, hogy annak epicentrális területén van olyan tektonikai szerkezet, mely képes volt és esetleg képes lehet a jövőben is jelentős földrengést generálni. Azonban a helyzet az, hogy a XVI. század elejéig összesen öt olyan földrengésről tudunk a Kárpát-medenc területén, melyek fészkeinek földrajzi helyzete ismert: Savaria (455), Selmezbánya (1441), Zólyomlipcse (1443), Temesvár (1443) és Szeged (1444). A többi, tizenöt-nél kevesebb, eseményről csak annyit tudunk, hogy a történelmi Magyarországon is érezték, esetleg ott is pattantak ki. Ezek közül is kettőről tudjuk, hogy nem magyarországiak, fészük Ausztriában volt (1201: Katschberg M6.1, epicentrális intenzitás IX; 1348: Friaul M6.8, epicentrális intenzitás 10).

## A Pannon medencének a XV. század végéig történt szeizmológiai vonatkozású eseményeiről

### *Savaria, 455*

A földrengéssel kapcsolatos legfontosabb adat a *Ravennai Évkönyvekből* (*Annales Ravennates*) származik. Az annales (évkönyvek) a késő antikvitásban megjelenő és az első évezredben virágzó műfaj. Legfontosabb eleme az idő: az eseményeket évszerinti csoportosításban közli, általában lakonikus megfogalmazásban.

A késő római *Annales Ravennates* kezdetei arra az időre nyúlnak vissza amikor Honorius császár (395-423) Ravennába helyezte át a Nyugat-római Birodalom fővárosát, mely jól védhető, szinte bevehetetlen város volt. A birodalom 476-ban bekövetkezett megszűnése után az itáliai germán utódállamok idején is megmaradt a város fontos központi jellege. Ebben az akkori viszonyok között nyugodtnak számító környezetben készült az *Annales*, és írása folytatódott 476 után is. A savariai földrengés mellett további hét, 408 és 502 között kipattant földrengésről tudósít. Az V. századból származó kézirat egy XI. században készült másolat formájában maradt ránk, melyet a Merseburg városában a Káptalani Könyvtárban (Dombibliothek) őriznek. A korabeli annalesek stílusának megfelelően csak a legfontosabbnak tartott adatokat (úm. hely és időpont) és esetleg (a mai olvasó számára nem egyértelműen értelmezhető) károkról tesz még említést. Az *Annales* szövegét Bischoff és Koehler adták ki (1939). A savariai földrengésről az *Annales*ben a következő rövid bejegyzés található: „Valentinianus és Anthemius konzulsága idején Savariát elpusztította egy földrengés szeptember 7-én, pénteken”.

A konzulok jegyzékéből megállapítható, hogy 455-ben Flavius Placidius Valentinianus (korábban nyugat-római császár, 425–455) és Procopius Anthemius (később 467 és 472 között nyugat-római császár) voltak a konzulok. A fentiek alapján egyértelmű: a földrengés Savariában 455-ben volt. Megjegyzendő, hogy a többi hét földrengés – miként az évkönyvekben szereplő összes történés – esetében is az évet nem számával, hanem az az évi konzulok nevével jelöli az *Annales Ravennates*.

A Ravennában írt *Annalest* – mint szeizmológiai adatok forrását – Guidoboni és Ebel (2009) történeti földrengésekkel foglalkozó könyvükben megbízhatónak találták. A savariai földrengés bekerült Alexandre történész a Nyugat-Európában kipattant középkori földrengéseket értékelő munkájába is (1990). Alexandre szerint a földrengés időpontja nem szeptember 7, amint az az *Annales Ravennates*ben szerepel, mert az szerdai napra esett 455-ben, hanem szeptember 9.

A savariai földrengésről említést tesz Johannes Cuspinianus (1473–1529) osztrák humanista, diplomata és történész, aki a földrengés kipattanásának napját (szeptember 7.) nyilvánvalóan – közvetlenül vagy közvetve – az *Annales Ravennates*ből veszi át, azaz 455-re kellett gondolnia. Carolus Sigonius (1524–1584) a Nyugat-római

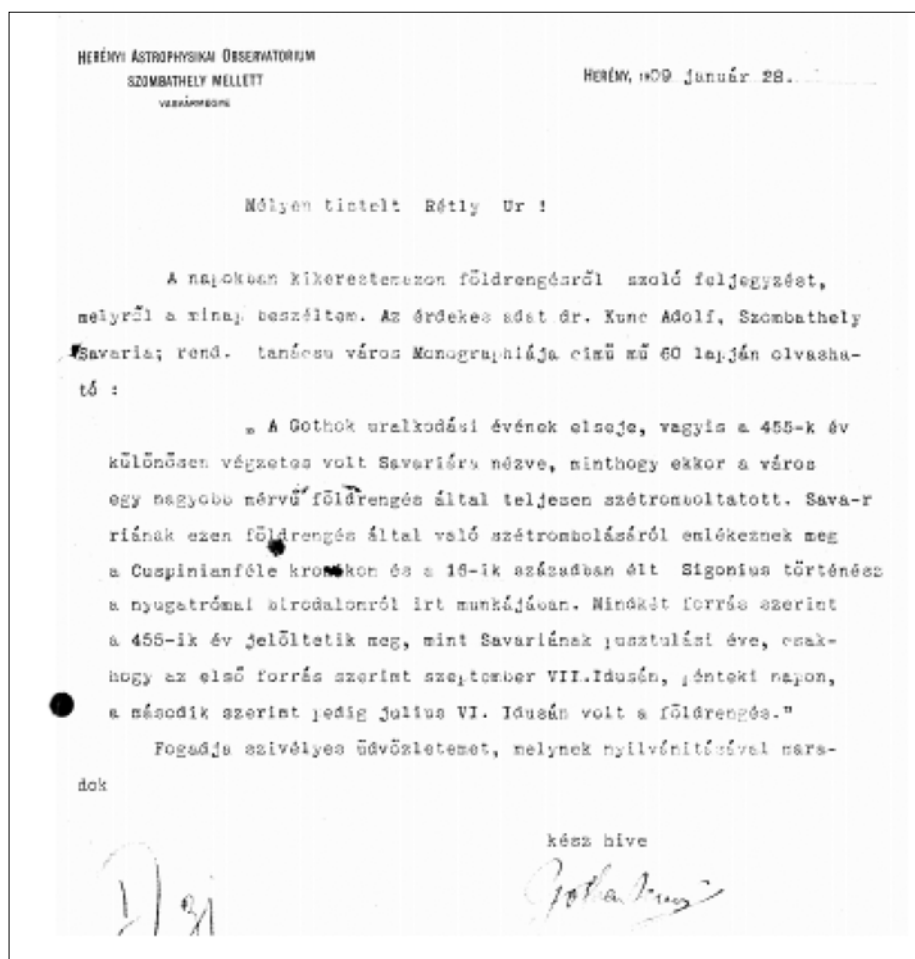
Birodalom bukásával is foglalkozó munkájában (Carolus 1575) több földrengésre vonatkozó adat szerepel. Itt 455. július 10. szerepel a savariai földrengés kipattannának dátumaként.

A savariai földrengésről szóló tudósítások egy másik csoportja annak időpontját a gótok uralmának első évével hozzák kapcsolatba. Attila 453-ban bekövetkezett halála után Avitus nyugat-római császár (uralkodott 455–456) kísérletet tett Pannonia visszafoglalására. A római hadsereg 455 őszen jelent meg a provinciában. A római tervek azonban keresztülhúzták a keleti gótok, akik a Balaton mellett szétverték a római haderő jelentős részét, majd elfoglalták az ellátási központjukként működő fenékpusztai Valcum erődöt, és 455 végére a térség már teljesen uralmuk alá került (Bodrossy 2013). Ennek alapján a gótok uralmának kezdete lényegében 455-re tehető.

A rengéssel foglalkozó írások közül sokban található utalás Szent Severinus, „Noricum apostola” életútjának a Savariát sújtó csapás időpontjával időben egybeeső részével. Az utalások szövege a legtöbb esetben megegyező (vagy nagyon hasonló): „Még csak néhány napja élt a városban, amikor az Asturis pusztulása miatt tartott háromnapos ájtatosság utolsó estéjén szokatlan heveségű földrengés rázta meg a helységet, olyan erejű, hogy a falak között tanyázó rugi katonaság körében pánik tört ki. Félelmükben kitódultak a városkapun, és azt híván, ellenség tört rájuk, a sötétben még egymást is kaszabolták”. Az idézett szövegből nem derül ki, melyik évről és melyik városról van szó. Thomson könyve (1982) támpontot jelent ebben a vonatkozásban. A könyv szerint Severinus Asturisból (Zwentendorf) Comagenisbe (Tulln an der Donau) ment valamikor 454 nyara és 455 vége között. Nem zárható ki – írja Thomson –, hogy a földrengés, mely oly nagy riadalmat keltett Comagenisben és a helyőrség pusztulását (vereséget?) eredményezte, az a „szeptember közepe előtt hét nappal és Severinus megérkezését követően pattant ki, a



Asturis, Comagenis és Savaria földrajzi helyzete



Gothard Jenő levele Réthly Antalnak (1909. január 28.) a savariai földrengésről

savariai volt”. A Szombathely és Tulln an der Donau közötti távolság hozzávetőleg 130 km. Ha a 455. évi földrengés epicentruma valóban Savariában vagy annak közvetlen közelében volt, annak igen erősnek kellett lennie, mert csak így magyarázható a rugi katonaság között kitört pánik. Ismerünk eseteket, mikor egy földrengés nagy távolságban pánikot okozott. Talán illusztrációként megemlíthető, hogy az 1763. június 28-i komáromi földrengés (M6.5) (Varga és mtsai 2001) „...Sopronban is érezte a hatását. A reggeli órákban riasztotta meg a lakosságot heves földrengések sorozata: a tűztoronyban magától megkondult a harang, s a fennszorult toronyőrök jajveszékésbe törtek ki, mert az épület ide-oda himbálódzott ... a Fertő tengerként háborgott.” – írja Csatskai Endre (1923). A fentiek alapján feltételezhető: a 455. évi savariai földrengésnek a magnitúdója talán hasonló volt, mint az 1763. évi komáromié.

A Szombathely történetével foglalkozó XVIII., XIX. századi és XX. század eleji magyar írásokban a savariai földrengés éveként 455-öt adják meg (Schönvizner 1791, Fényes 1851, Hunfalvy 1860, Molnár 1872, Kuncz 1880, Balics 1901). Hasonlóan 455 szerepel a későbbi, a kor történetével foglalkozó német nyelvű szakirodalomban is (Lotter 1968, Anders 2010). Ezzel szemben a „Magyarország története. Előzmények és magyar történet 1242-ig”

I. kötetében (Akadémiai Kiadó 1987) 456. szeptember 7-i dátum található. Ugyancsak 456-ös évszám van a Magyar Nagylexikon „Szombathely” címszavában is (Magyar Nagylexikon Kiadó, 16. kötet, 2003). Abban azonban az eltérő időpontokat elfogadó források egyetértenek, hogy a Savariát romba döntő földrengés végzetes katasztrófa volt Pannónia római lakossága és élete számára. A provincia akkor legnagyobb városa, kormányzati és egyházi központja szűnt meg létezni.

A földrengés mint a legrégebbi ismert hazai szeizmikus esemény hírét Gothard Jenő csillagász 1909 elején Réthly Antalhoz írt levele juttatta el a magyar szeizmológusokhoz, és ennek köszönhetően lett az első esemény Réthly Antal földrengés-katalógusában (Réthly 1952).

#### 1021 vagy 1022?

Mielőtt erről a kora XI. századi földrengésről esne szó, megjegyzendő, hogy Perrey (1846), az első modern értelemben vett globális földrengés katalógusok szerzője említ egy, az 518. évre és térségünkre vonatkozó földrengés-adatot is. Ez az esemény, mely a Réthly-féle katalógusban (Réthly 1952) a második, lehetséges, hogy nem Magyarország területén pusztított. Ebben az évben ugyanis – paleoszeizmológiai adatok alapján is jól dokumentálható –



A Képes Krónika Szent István életével foglalkozó részénél kinyitva

földregés pusztított Moesiában, a mai Makedónia területén, mely nagy károkat okozott Scupi (ma Skopje) és Ohrid városokban.

Réthly katalógusában szerepel egy földregés 1022. május 12-i dátummal. Az esemény leírása a *Képes Krónikában* található: „Az Úr 1022. évében sok helyen sok nagy tűzvész támadt; és hatalmas földregés is volt május Idusát megelőző negyednapon, a nap tizedik órájában, áldozócsütörtök utáni pénteken; július Kalendaeja előtti tizedik napon mintha két nap látszott volna az égen”. (*Képes Krónika* faksimile kiadása, 1987). Kristó Gyula 232. számú jegyzetében megállapítja, hogy a *Képes Krónikában* szereplő tudósítást annak szerzője az *Annales Altahensesből* (magyarosabban az *Altaichi Évkönyvekből*) vette át, „ám az ott 1020. és 1021. esztendő alatt szereplő híreket egyetlen év – 1022 – alá vonta”. A földregésről más németországi évkönyvek is tudósítanak (*Annales Hildesheimenses*: hatalmas földregés volt Bajorországban május 12-én, pénteken a nap 10. órájában; *Annales Sangallenses Miores*: mindenütt megrendült a föld; *Annales Ratisponenses*: földregés május 13-án (téves dátum). Az eredeti tudósítás a *Hildesheimi Évkönyvekből* származik. Ezt más évkönyvek is átvették. Köztük az *Altaichi Évkönyvek* is. Májusz Elemér (1966) szerint a XI. században keletkezett öslegesza használta először az *Altaichi Évkönyvekben* található tudósítást. Az öschrónikás a szöveg átírásakor hibát követett el. Az öslegesza 1022. évre vonatkozó híradása a forrásban az 1021. év alatt szerepel. Az írónak – írja Májusz Elemér – mintha közömbös volna, hogy a leírt esemény melyik évben (és hol, tehetjük hozzá) történt. „Az író felvett egy a tárgyához egyáltalán nem tartozó eseményt munkájába. Tehát nem lehetett magas színvonalú munka, sem szerkezetében, sem stílusá-

ban, de valószínűleg felfogásában sem.” A téves dátumozás mellett – véleményem szerint – legalább olyan érdekes, miért került be egy Bajorországot sújtó természeti csapás a magyar történelem eseményeit tárgyaló munkába? Elképzelhetőnek tűnik, hogy a *Képes Krónika* készítői által felhasznált eredeti forrás esetleg még a XI. században keletkezhetett, mert egy földregés emléke – ha azt írásban nem rögzítik – nem marad meg néhány évtizednél hosszabb ideig a köztudatban.



Szent Kálmán skót zarándok ereklyetartó hermája Székesfehérvárról, 12. század (Tarczai 1994)

István király uralkodása idejére keltezhető egy másik kérdéses, szeizmológiához kapcsolható esemény. „1028 körül történt, hogy Poppo trieri érsek és Adalbert osztrák határgrof testvére, szentföldi útjából, Szent István udvaránál vendégként mulatott” – írja Rosty Kálmán 1906-ban. Szent István vendége nagyon elégedett lehetett a vendéglátással, mert felajánlotta, hogy teljesít mindent, amit csak kívánna tőle. István király kérésére az osztrák örgróf, aki Poppo testvére volt, hozzájárult ahhoz, hogy Szent Kálmán ereklyéi Melkből Székesfehérvárra kerüljenek. De alig hozták el a magyarok a nagy ajándékot, írja Zolnay László (1978), országukat aszály és járványok kezdték kínozni. Ezek, meg a hozzájuk társuló földrengés és tűzvészek arra kényszerítették a magyarokat, hogy Szent Kálmán ereklyéit a Melki Apátságnak visszaszolgáltassák, ahol azokat a mai napig őrzik.

#### 1040 körül

Szentiványi Mártonra hivatkozva (1702) Grossinger (1783) úgy fogalmaz, hogy „A keresztény időszámítás szerinti 1040. évben, vagy körülbelül abban az évben, amikor Szent István, az magyarok királya meghalt, földrengés rázta meg Magyarországot és a hozzá tartozó területeket” (Grossinger, Győr 1783). Egy korabeli lengyel forrás szerint „Polonia, Hungaria et Bohemia anno 1044 est concussa” („Lengyelország, Magyarország és Csehország 1044-ben megrázott”). Láska szerint ez az 1044. évi esemény identikus a Grossingernél szereplő 1040. évi eseménnyel (Láska 1902). Ez a magyar állam létrejöttét követő első, az országgal összefüggésbe hozható esemény, mely egy későbbi forrásban, Heltai Gáspár *Magyar Krónikájában* is megtalálható (Heltai 1575): Szent István „halálának utána nagy csudák és veszedelmek lőnek, mert sok városok megégének, földindulások is lőnek”.

#### 1092

„...Magyarországon számos csodás esemény történt, mint ahogyan ezt nekünk említették: egy hegy a Dunába omlott, és ezért a folyó, mely folyómedrét kénytelen lett megváltoztatni, jelentősen pusztította a szomszédos területeket; ugyanakkor nagy tó keletkezett egy azelőtt száraz helyen, valamint egy másik tóban hirtelen egy hegy emelkedett ki. A Tisza folyó három napon át vérvörös színű volt, de ugyanitt egy hihetetlen földrengés is volt, melynek erőssége olyan volt, hogy az emberek nem tudtak állva maradni; az embereket hasonlóképpen egy igen erős dübörgés is rémítette, mely a föld felszínére jött, és amely, úgy érezték, hogy ugyan azon az úton vissza is tért a földbe.”

Ez a korabeli szöveg Konstanzi Bernold „Chronicon Pars Scafnusensis” munkájából származik, melyben a szerző a földrengést mint magyarországi eseményt rögzítette a rá jellemző tömör formában. Mint az investitúraharcban a pápaság oldalán álló személy úgy látja, hogy a földrengés IV. Henrik császár ellen megnyilvánuló és a magyarokat figyelmeztető, isteni akaratot tükröz. Hasonlóan magyar

eseményként említi ezt a földrengést az augsburgi *Annales Augustani*, mely a 973 és 1104 évek között történt eseményekről tudósít. Ennek az eseménynek időpontját Grossinger János értekezésében (1783) tévesen 1100-re teszi.

#### 1441, Selmecebánya

A Selmecebányát sújtó földrengésről Grossinger (1783) tudósítása: „1441-ben az ősi, magas dombon épült Semnitiumot elhagyták, miután egy váratlan földrengés feldúlta a hegyen épült lakóhelyeket, és a domboldalban építettek újjá”. A Grossinger által felhasznált forrás: Koller (1734).

#### 1443, Zólyomlipcse és Temesvár

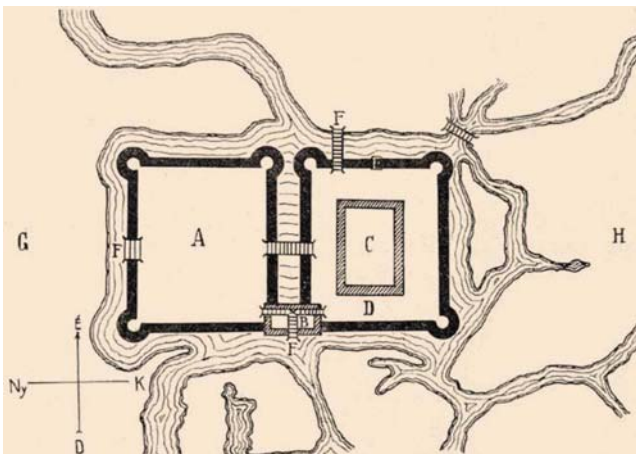
Ebben az évben két jelentős földrengés volt Magyarországon. Az egyik feltételezhető epicentruma Zólyomlipcse térségében volt. A rengésről több forrás is tudósít. Ezekből megállapítható, hogy a rengést nagy területen érezték, és központja Felső-Magyarország volt. „Ugyancsak 1443 pünkösöd előtti szerdán, azaz június 5-én Magyarországon nagy földindulás volt, úgyhogy sziklákon épült várak s a városok és mezővárosok templomai összeomlottak, így név szerint a privigyei vidék vára (Bajmóc), a privigyei templom, a libeti (ti. a lipcsei) vár Zólyomban. Ez utóbbi teljesen összedőlt, egy boltnak kivételével, s több mint 30 ember a romok alá temettetett (Hunfalvy 1859). Jeitteles Henrik pedig így ír (Jeitteles 1860): „Pünkösöd előtti szerdán jelentékeny földrengés volt Felső-Magyarországon, Lengyelországban, Morvában és Csehországban. Sok várost és falut elpusztított. Templomok és kastélyok is rombadőltek. Privigye mellett Bajmóc, és Zólyom vmben Lipcse szenvedtek nagyon. ... Ez a földrengés ugyancsak elpusztította a régi Selmecebányát”. Tekintettel arra, hogy a rengés igen nagy területen volt érezhető, sőt az epicentrumtól nagy távolságokban is okozott károkat (lásd például Láska 1902) erőssége valószínűleg nagyon nagy volt.

Ugyanezen a napon, 1443. június 5-én erős földrengés fejtette ki hatását Temesvár környékén is. Szentkirályi



Zólyomlipcse vára

(1914) ír erről: „Így érte a várakat 1443-ban egy irtóztató elemi csapás, mely a törökök betörésének félelmével párosulva, nemcsak hazánkat tölté be siralommal, de az egész európai kontinenst is megremegteté. Szt.-Bonifác napján, azaz június 5-én, rettentő földindulás rengette meg Magyarország egész területét. Ilyen földindulás még nem volt Magyarországon sem azelőtt, sem azután”. Katona (valószínűleg Katona Mihály (1764–1822) földrajztudósról van szó – a szerző megjegyzése) följegyezte róla, hogy ledönté a várakat, házakat és összezúzta a hegységeket. Dlugoss (pontosabban Jan Długosz vagy latinosan Johannes Dlugossius, 1415–1480) lengyel történétíró is megemlékezik a borzasztó eseményről. „Június 5-én – úgymond – általános és olyan erős földrengés volt, hogy a tornyok és épületek falai összeroskadtak és az összes házak, bármily tömörök és szilárdak voltak, a hatalmas lökésektől felfordultak. Legerősebb volt a földindulás Magyarországon, a hol akkor némely várak is összedőltek. Akkor dőlt össze Váradon Szent-László híres székesegyháza is. A tőlünk nagyon távol eső korból nem maradt ugyan följegyzés a károkról, melyeket ez a földrengés Temesvárott okozott, de alighanem



Károly Róbert vára. A – kifalazott vár, B – Örtony, C – Károly Róbert várkastélya a belső udvarral, D – A várkastély külső udvara, E – A várkastély bástyakerítése, F – Vonóhidak, G – A váralja, a későbbi nagy Nagy-Palánk, H – A későbbi Kis-Palánk



A Hunyady kastély jelenkori homlokzata

ez volt oka az Anjou-vár és a várpalota megroppanásának, a mit csak erre az időre lehet tennünk.”

1441-ben Hunyadi Jánost temesi főispánnak nevezik ki. Az 1443-as nagy földrengés után Hunyadi újjáépíti Temesvárt (1444–1446 között), és Károly Róbert várkastélya helyén megépül a Hunyadi kastély, középkori formájában.

### Szeged, 1444

A szegedi földrengésről Teleki József (1790–1855) történetíró és jogász, az MTA első elnöke (Teleki 1852) így ír: „Ezen esetek visszaemlékezettek az istenfélő és vallásos, balítéletektől nem ment kedélyeket azon földringásra, mely Szeged környékét sz. Domokos és így a szegedi fegyverszünet megtörése napjának estvéjén megrázta, nem csak egyes épületeket, hanem egész helységeket özvevombolt; azon vfzárakra, melyek útjokat több izben gátiák, és mind ezt az ütközet kimenetelére igen rosztólant tekintek”. Teleki forrásai: Dlugossius (1711), Cuspianus (1553) és Hammer (1827).

Reizner János (1847–1904) jogász, régész, történész, a Somogyi Könyvtár és a szegedi városi múzeum vezetője a földrengésről (1899): „Az esküszegés híre azonban mindenkire leverőleg hatott és isten ujját, büntetését látták abban, hogy még ugyanezen, nap estéjén Szegedet és környékét oly hatalmas földindulás rengette meg, hogy nemcsak egyes épületek, hanem egész helységek is romba dőltek”.

## Buda, Pest és Budapest földrengései

### Buda, 1384

Eberhard Windecke (~1380, Mainz – 1440/1441) kereskedő és krónikás Zsigmond 1437. december 9-én bekövetkezett halála után nem sokkal kaphatott felkérést a birodalmi fejedelmektől és uraktól, hogy a király kíséretében és udvarában eltöltött hosszú évek eseményeit foglalja össze, és állítson emléket a megboldogult uralkodó cselekedeteinek és korának. Művében (Windecke 2008) olvasható a



Zsigmond császár és király Windeckével



A Nagyboldogasszony templom a XV. században (Részlet a *Nürnbergi Krónika* vagy más néven *Schedel kódex* Budát ábrázoló képéből)

következő: „...a jelről, amely Budán, a Boldogasszony-templomban történt, ahol leomlott a templomtorony, mi alatt sok ember bent volt és egyetlen ember sem halt meg. Jegyezd meg és tudd meg egyéb iratok alapján, mi történt Magyarországon az Úr születése utáni 1384-ik évben Exurge vasárnapján (1384. február 13.). Egy pap éppen az első miséjét mondta Budán a Boldogasszony plébániatemplomban, amikor leomlott a templomtorony és sok nép volt a templomban, és úgy esett, hogy senki sem halt meg”.

A torony összeomlása azért különös esemény és talán földrengéssel is kapcsolatba hozható, mert 1384-ben a templom már több mint száz éve elkészült. Építése 1255-ben kezdődött és teljes kiépítése 1269-ig megtörtént. Nagy Lajos uralkodása idején (1370 körül) az oldalhajók boltozatát a főhajó magasságáig felemelték, és az így keletkezett magas falfelületeken gazdag kőrácsozatú, hatalmas ablakokat helyeztek el. De a torony maga akkor változatlan maradt (Némethy 1876).

### Buda, 1541

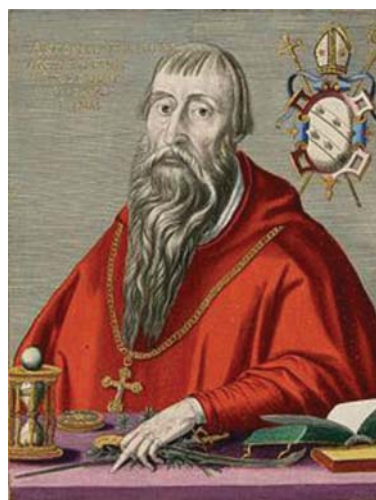
Bornemisza Péter (1535–1584) evangélikus lelkész és író, Balassi Bálint nevelője egy, nyolc nappal Buda török kézre kerülése előtti, 1541. augusztus 21-i, eseményről tudósít (1584): „...Mi időnkben Buda veszedelme előtt a Nap anynyira elvesztette fényét, hogy délbe az czillagok látszanak és oly földindulás lett, hogy az polczról az fazekak le hullanak, és az tornyok is romlanak ott is Budán és Pesten az én házamba”.

A földrengés megtörténtét igazolja, hogy feltehetőleg Bornemisza Péter saját emléke kötődik az eseményhez, és az a tény, hogy 1541. augusztus 21-én Budán tényleg volt részleges napfogyatkozás (Kaposvári 2005).

### Buda, 1561

Erről az eseményről csak egy forrás áll rendelkezésünkre: Verancsics Antal (1504–1573) egri püspök Ferdinánd királyhoz 1561. március elején írt levele. „Nagyon erős éjjeli

földrengési övbe záratott be Buda. Pest, ... Esztergom, Vác, Cegléd, Kecskemét, Ráckeve és Székesfehérvár, megrázott és súlyosan sanyargatott. És jóllehet ez az eset nem sok emberben tett kárt, mégis számos ház úgy Budán, mint Pesten összeomlott és a budai pincék lesüllyedtek és romokkal borítottak be...”. (Verancsics 1868). Réthly Antal kutatásai alapján a földrengés 1561. február 12. és március 1. között pattant ki, és a megrázott terület nagysága a Verancsics levélben szereplő helységnevek alapján 22 000 km<sup>2</sup> (Réthly 1952). Mivel az épületkárok – Verancsics tudósítása alapján – csak az akkor kis területre kiterjedő Budán és Pesten jelentkeztek, a rengés magnitúdója valószínűleg nem haladta meg az 1956. január 12-i Dunaharaszti térségében kipattantét (M5.6), magnitúdója feltételezhetően M5.0 körüli lehetett. Azt a feltételezést, hogy az 1561. évi rengés talán kisebb volt az 1956. évinél, alátámasztani látszik az is, hogy Verancsics Antal az 1504 és 1566 közötti eseményeket éves bontásban feldolgozó művében (Verancsics 1981) az 1561. év címszó alatt számos kisebb-nagyobb fontosságú hazai történelmet dolgoz fel, de az abban az évben történt eseményt nem említi meg.



Verancsics Antal (1504–1573) bíboros, esztergomi érsek

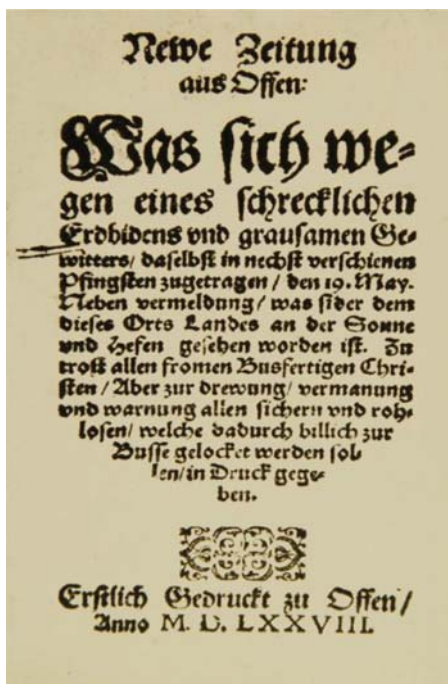
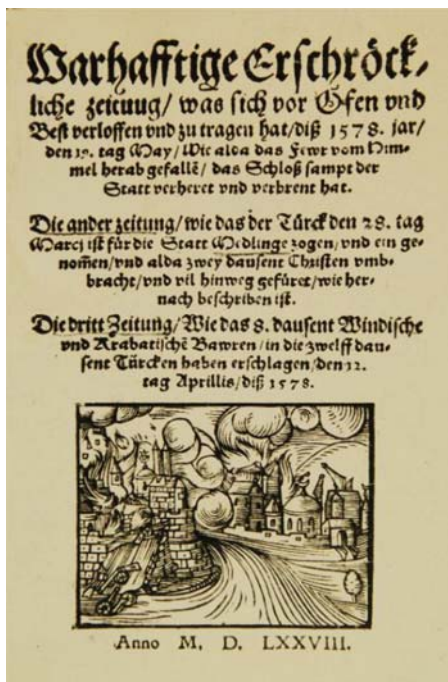


1561. évi földrengés által megrázott terület. (Réthly Antal, 1952 után)



Buda, 1578

Trautenau (Trutnov) jegyzőjétől, Hüttel Simontól (1530–1601), a következő olvasható Zolnay László könyvében (1978): „Pünkösd hétfőjén (azaz május 19-én) éjjel 10 óra körül az égen borzalmas dörgés és villámlás volt ... majd földrengés is volt.... A vad tűz és villám Budán a várkastélyba csapott”. Az eseményről a korabeli német röplapok is tudósítanak (az itt közölt két XVI. századi nyomtatvány képét Réthly Antal a Magyar Mezőgazdasági Múzeum és Könyvtár archívumában őrzött hagyatékában találtam).

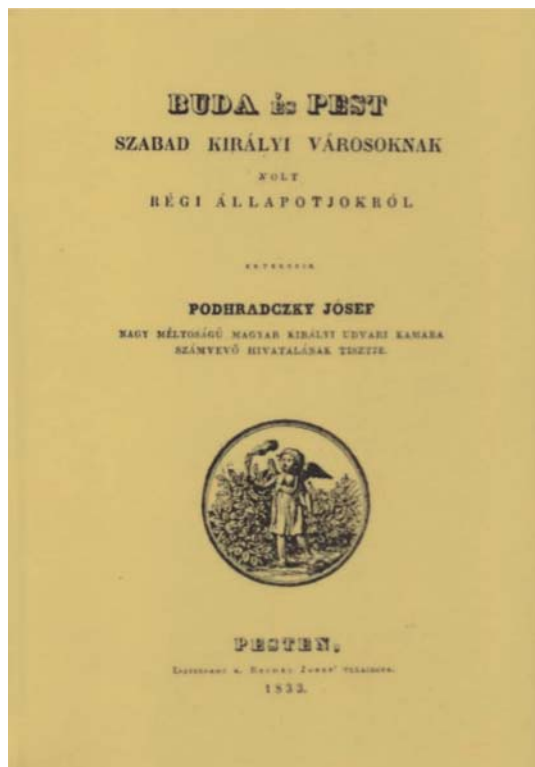


Az 1578. évi eseményről tudósító, az újság szerepét betöltő, német röplapok

A második röplap budai nyomtatásra utaló „Erstlich Gedruckt zu Offen” sora nyilvánvalóan hamisítvány. Budán ekkor egyáltalán nem volt nyomda. Eckler Péter, az OSZK kutatója, tájékoztatása szerint a *Neue Zeitung* Magdeburgban, Wilhelm Roß műhelyében jelent meg. A röplapot Ecsedy Judit nyomdászattörténész könyvében említi (Ecsedy 1996).

Radéczy István (?–1586) egri püspök (aki 1573 szeptemberétől Verancsics Antal esztergomi érseket követte a királyi helytartói hivatalban) Rudolf királynak írt (1572) levelében az áll, hogy „...Pünkösd másnapján este 10 óra tájt borzasztó villámlástól és dörgésektől kísérve óriási földindulás volt Budán ... írják, hogy 5000 ember pusztult el Istennek e borzasztó bosszúja következtében s a budai pasa másnap sűrű könnyek közt nagy jajgatással siratta meg ezt a nagy csapást...”. Ennél is részletesebb leírást közöl erről az eseményről Szamosközy István (1570–1612) (Szamosközy 1880). Az ő feljegyzéséből (melyet nyilvánvalóan mások emlékezéseiből állított össze) kiderül, hogy az áldozatok száma nem ismert, és beszámolójában nem említi, hogy földindulás történt volna ezen a napon. Kizárólag arról ír, hogy villámcsapás érte a budai várat, és a katasztrófát az ezt követő robbanás okozta. A tragédiát sirató budai pasa Szokoli Musztafa, a Rudas fürdő építetője és a Király fürdő építésének a befejezője, a pesti keresztény papot tette felelősé tragédiáért. De ez a vád nem segített rajta, mert III. Murád szultán selyemzsinórt küldött neki és szeptember 30-án ezzel végezték ki.

Sajnálatos, hogy mind ez idáig nem sikerült erről és a korábbi, 1561. évi eseményről török irattárakban adatokat gyűjteni.



Podhradczky József könyvének címlapja (1833)

*Buda, 1641*

Podhradczky József (1795–1870) Buda és Pest történetével foglalkozó könyvében (1833) idézi bizonyos Dallos Albert 1641-ben írt leveléből: „Buda táján igen nagy földrengés volt, s az Buday Bástyának egy darabja el is szelvedet.”

*1642–1955, Buda, Pest és Budapest*

A XVIII. század harmadik negyedéig nem tudunk földrengésről, mely Budát vagy Pestet érintette. 1788. november 22-én Budán (és Eszéken (?)) több föld alatti lökést észleltek. 1814. május 10-én (Móron is érezhető) károkat nem okozó földrengés volt, majd hasonló volt május 14-én is. 1817. május 28-án jegyezték fel a következő, károkat nem okozó gyenge földrengést. 1826. február 1-jén földrengést éreztek Buda várában, amely a Gellért-hegyi csillagdában már nem volt megfigyelhető. Teljesen hasonló volt a helyzet az 1826. szeptember 14-i rengés esetében is. Ugyanezen év október 1-jén is éreztek Pesten egy gyenge rengést. 1838 márciusában Pesten a „Duna nagyszabású tél végi árvizekor néhányan Pesten földrengést véltek észrevenni”. 1870. június 30-án több forrás egy kb. három másodpercig tartó gyenge földrengésről számol be, melyet elsősorban a város nyugati részében éreztek. Több percig tartó földrengést figyeltek meg a sváb-hegyi villákban 1879. május 25-én. A faliorák maguktól zengeni

*1956, Dunaharaszti*

1956. január 12-én, csütörtökön 6 óra 46 perckor Budapest déli határának közvetlen közelében, M5.6 magnitúdójú, pusztító erejű, a XX. század legnagyobb károkat okozó magyarországi földrengése rázta meg Dunaharaszti és környékét. A földrengés következtében ketten vesztették életüket, és 38 ember sérült meg.

A felszíni megfigyelések alapján a földrengés epicentrális intenzitása  $I_0 = VIII$  volt. Ugyanez az érték adódik a műszeres megfigyelésekből meghatározott magnitúdóértékből 10 km fészekmélység feltételezése esetében is. A földrengést kétszáznál több utórengés követte főleg 1956 folyamán, melyek magnitúdója átlagosan M2 volt. A földrengést követő félévben negyven – a lakosság által is érzett – M3 és M4 közötti utórengést figyeltek meg Dunaharaszti térségében.

Az MTI aznapi gyorsjelentése szerint „a rengés Budapest déli területein és Pest megye több településén, különösen Dunaharaszti, a lakóházak jelentős része kisebb-nagyobb sérülést szenvedett, 80 ház lakhatatlanná vált”. Mint hamarosan kiderült, a károk sokkal jelentősebbek voltak. Dunaharaszti Helméczy és mtsai (2000) tudósítása szerint 3500 építményből 3144 sérült meg. Elsősorban a régebbi, vályogtéglából épített vagy kellően meg nem erősített épületek sérültek meg. A földrengést követő időszakban 2236 épület helyreállítására került sor, 463 házat teljes egészében kellett újjáépíteni.



Különböző épülettípusok sérülései Dunaharasztiiban

kezdték, edények csörömpöltek, és vakolat hullott a falakról. A lakók mind kifutottak a szabadba. Hasonló hatásokat váltott ki, de rövidebb ideig tartott az 1880. május 4-i rengés ismét csak a város nyugati részén. Ezt követően hosszabb szünet után az 1932 és 1942 közötti időben csak három gyenge, alig érezhető rengés volt a főváros területén (mindhárom becsült epicentrális intenzitása  $I_0 = 2$ ): 1923. április 21., 1924. június 25., 1942. május 28. A negyvenes évek második felében két kisebb, épületkárokat is okozó földrengés pattant ki ( $I_0 = 4,0$ ): 1947. december 11-én és 1948. március 28-án (Réthly 1952).



A károsultak ideiglenes vagonlakásai (Dunaharaszti)



A taksonyi templombelső a földrengés után

A keletkezett károk rendezése érdekében kormánybizottság alakult, mely a községvezetéssel összefogva szervezte a károsultak elhelyezését, ellátását. Sok száz károsultat kellett ideiglenesen középületekben elhelyezni, 250 fő került vagonlakásokba.

Ugyancsak nagy károk keletkeztek Taksonyban, Szigetszentmiklóson, Budapesten (elsősorban a főváros déli részén, Soroksáron) ahonnan 667 kárbejelentés történt.

Budapest térsége az 1956. január 12-i földrengés óta napjainkig, azaz 2017 közepéig aktív. Ez az aktivitás hatvannál több, 0,2 és 4,0 magnitúdó-értékhatárok közötti, földrengés formájában nyilvánult meg. A táblázat a térségben (Dunaharaszti mint középpont köré rajzolt 30 km sugarú körön belül) kipattant rengéseket tartalmazza 1957 és 2015

között. 1966 és 1995 között 5 földrengés volt a térségben, míg 1996 és 2015 időszakban 35, különösen eseménydúsak voltak az 1996–2000, illetve a 2011–2015 időszakok (14, illetve 11 esemény). Ez a földrengésszám-növekedés minden bizonnyal elsősorban a szeizmológiai állomások számának 2002-től megindult intenzív növekedésével, illetve az állomásokon működő műszerek magasabb érzékenységeivel hozható kapcsolatba.

### Távoli rengések hatása Budapest térségében

A térség szeizmológiai veszélyeztetettségét érintik a viszonylag távolabbi keletkezett földrengések is. Így például károkat okozott Budán és Pesten a nevezetes 1763. június 28-i komáromi földrengés. Buda város Polgármestere, Bírája és Tanácsa emlékiratában július 24-én, tehát majdnem egy hónappal később arról ír, hogy a földrengés minden házat megrázott, azonban a „könyörületes Isten mindazonáltal a pusztulástól és a jelentékeny kártól kegyesen megőrizte és megvédelte ezt a várost”. A jelentés tíz egynéhány épületkárról tesz említést: elsősorban repedések keletkeztek, vakolatdarabok hullottak le, boltívek sérültek, cserepek, kövek estek a házakból az utcára. A ferencesek templomának tornyáról leesett a kereszt. „A földrengés, mely június 28-án volt, reggel fél hat után az Úr 1763. esztendejében, ereje ... a fölöttem álló keresztet levetette...” szöveg volt olvasható a budai 1734-ben épült Ferences templom falának egykori emléktábláján. A jezsuitákénak

Dunaharaszti térségében 1957 és 2015 között kipattant földrengések

Hely	Év	Hó	Nap	M	Hely	Év	Hó	Nap	M
Dunaharaszti	1957	5	23	2	Budakeszi	1998	6	28	0,5
Dunaharaszti	1957	5	23	4	Budakeszi	1998	6	28	1,4
Dunaharaszti	1958	7	28	4	Budaörs	1998	9	21	1
Dunaharaszti	1958	9	7	2,9	Etyek	1998	9	29	0,8
Budapest	1958	9	19	3,4	Budaörs	1998	11	25	0,2
Dunaharaszti	1959	3	16	2	Etyek	1999	4	28	0,7
Budapest	1960	2	1	2	Törökbálint	1999	10	13	1,8
Dunaharaszti	1965	7	23	2,6	Sóskút	1999	10	13	1,3
Dunaharaszti	1966	7	5	2,6	Halásztelek	1999	10	13	0,9
Budakeszi	1983	1	28	1,2	Halásztelek	1999	10	13	1
Budakeszi	1983	1	29	3,8	Etyek	2000	4	4	1
Budapest	1994	6	5	0	Törökbálint	2000	6	13	1,9
Budapest	1994	6	5	0	Törökbálint	2006	6	13	1,6
Budapest	1994	6	5	2,2	Etyek	2000	7	28	0,7
Budaörs	1995	5	4	2,4	Ócsa	2000	9	18	2,3
Szigethalom	1997	7	29	1,4	Budapest	2000	10	7	2,5
Dunaharaszti	1996	10	21	2,5	Tök	2000	11	23	1,1
Szomor	1997	10	11	1,1	Máriaalom	2001	2	16	0,8
Zsámbék	1997	12	19	1,4	Pilisszentkereszt	2001	5	0,4	1
Budakeszi	1998	5	8	2	Dág	2002	3	28	1

Hely	Év	Hó	Nap	M
Budakeszi	2002	3	28	1,2
Szomor	2005	5	26	1,1
Gyömrő	2006	12	31	3,6
Nagytarcsa	2007	1	3	1,2
Gyúró	2007	6	5	0
Etyek	2008	2	14	0,9
Bicske	2009	8	13	0,6
Diósd	2010	8	31	2,3
Törökbálint	2010	9	1	2,3
Taksony	2010	9	25	2
Isaszeg	2011	3	12	1,7
Bicske	2012	9	27	2,1
Dunaharaszti	2013	8	20	1,9
Herceghalom	2014	6	5	1,3
Tárnok	2014	9	2	1
Budakeszi	2014	11	30	0,9
Telki	2015	3	24	1,6
Herceghalom	2015	4	1	1,6
Tököl	2015	5	19	0
Herceghalom	2015	9	6	2,2
Bicske	2015	11	19	2,6

falában repedések keletkeztek. A Mátyás-templom boltívéből nagy vakolatdarabok hullottak le, az újlaki templom pedig annyira megrongálódott – írja egy másik forrás –, hogy összeomlás fenyegette. A Tabánban működő és a Sáros fürdő (ma Gellért) forrásainak vízhozama jelentősen megnövekedett, és ez a hozamnövekedés a memorandum írásának időpontjáig, azaz közel egy hónapig megmaradt. A Duna szintje a mai Batthyány tértől délre egy szakaszon jelentősen megnövekedett, mintha – írja a *Memorandum* – ki akarna önteni. Figyelemre méltó épületkárok keletkeztek az 1783. április 22-i és az 1806. szeptember 22-i komáromi földrengések hatására. Az előbbi alkalmával egy épület összedőlése során négy ember meghalt. Nagy riadalmat, de viszonylag kis épületkárokat okoztak az 1868. évi jászberényi és az 1911. évi kecskeméti földrengések.

*A régmúlt földrengéseinek megismerése támpontot szolgáltat a történelem eseményeinek értelmezéséhez is. Aligha lehet például kétséges, hogy Attila támadása Bizánc ellen az ottani 447. január 27-i földrengéssel van kapcsolatban, hiszen e szeizmológiai esemény következtében súlyosan sérültek a Kelet-római Birodalom fővárosának védművei (a városfalak leomlottak, a bástyák romokban heverték). Ugyanakkor a régmúlt szeizmológiai eseményei a földrengésveszélyeztetettség mértékének meghatározásában is szerepet játszanak. A csak töredékesen ismert, századokkal korábbi, földrengések – ha epicentrumuk helye és a rengés éve ismert – azt jelzik, sokszor olyan helyeken, ahol a későbbi időkben már nem tudunk erős rengésekről, kell lenniük veszélyt hordozó*

*földtani szerkezetek. A régi események szeizmológiai eseményeinek értékeléséhez feltétlenül szükséges a rengések időpontjában keletkezett források megismerése és értékelése.*

### Köszönetnyilvánítás

Szerző köszönetét fejezi ki Madas Edit irodalomtörténésznek (Országos Széchényi Könyvtár) tanácsaiért és a kézirat átnézéséért.

### A tanulmány szerzője

Varga Péter

### Hivatkozások

- Alexandre P. (1990): Les séismes en Europe occidentale de 394 à 1259; Nouveau catalogue critique. Observatoire Royal de Belgique, Série Geophysique, Bruxelles
- Anders F. (2010): Flavius Ricimer: Macht und Ohnmacht des weströmischen Heermeisters in der zweiten Hälfte des 5. Jahrhunderts. Peter Lang Internationaler Verlag der Wissenschaften
- Balics L. (1901): A kereszténység története hazánk mai területén a magyarok betelepüléséig, Budapest
- Bischoff B., Koehler W. (1939): Eine illustrierte Ausgabe der spaetantiken Ravennater Annalen. In: Medieval Studies in memory of A. Kingsley Porter, ed. W. R. W. Koehler, Cambridge Mass., Harvard University Press, 1, pp. 125–138.
- Bodrossy L. (2013): A Balaton regénye, a Balaton- és a Bakonyvidék kultúrtörténeti fejlődése. Adamo Books
- Bornemisza Péter (1584): Prédikatioc, egész esztendő által minden vasárnapra rendeltetett Evangeliomból. Detrekoe
- Carolus Sigonius (1575): Historiarum de Regno Italiae. Libri Quindecim, Francoforti ad Moenvm: Ex officina Typographica And. Wecheli
- Csatkai Endre (1923): Sopron Vármegye XXVI. évfolyam, 1923. szeptember 4.
- Cuspius J. (1553): Austria, sive Commentarius de rebus Austriae. Edited by Kaspar Brusch in 1553 with critical notes
- Dlugossius J. (1711): Historiae Polonicae. Libri xii, készült: 1455–80; első publikálás: 1711–12.
- Ecsedy J. (1996): Titkos nyomdahelyű régi magyar könyvek 1539–1800. Birda Antikvárium kiadása, Budapest
- Fényes E. (1851): Magyarország geographiai szótára, Pest
- Grossinger J. (1783): Dissertatio de terrae motibus Regni Hungariae. Győr, 1783.
- Guidoboni E., Ebel J. E. (2009): Earthquakes and tsunamis in the past; A guide to techniques in historical seismology. Cambridge University Press
- Hammer J. (1827): Geschichte des osmanischen Reiches. Pest 1827–33, 10 Bände
- Helméczy K., Helméczy M., Surányi J. (2000): Dunaharaszti története, III. Dunaharaszti Múzeumi Füzetek 4.
- Heltai Gáspár (1575): Chronica az magyaroknak dolgairól. mek.oszk.hu/06400/06417/html/heltaiga0070001.html
- Hunfalvy J. (1859): Az 1858 januárius 15-én történt földrengés. Királyi Magyar Természettudományi Társulat Évkönyvei IV., 1858–1859, Pest
- Hunfalvy J. (1860): Magyarország és Erdély. Első szakasz. Magyarország, II. kötet, Darmstadt

- Kaposvári Z. (2005): Magyarországról látható napfogyatkozások 896 után. Csillagászati Hírportál; csillagaszat.hu
- Képes Krónika* faksimile kiadása (1987): fordította Bellus Ibolya, jegyzetekkel ellátta Kristó Gyula, Budapest
- Koller J., (1734): *Cerographia Hungariae, seu Notitia de Insignibus, et Sigillis Regni Mariano-Apostolici, a Quodam Sacerdote Societatis Jesu Compendio data*. Nagyszombat
- Kuncz A. (1880): Szombathely. Savaria rendezett tanácsú város monográfiája, Szombathely
- Jeitteles H. (1860): Vesuch einer Geschichte der Erdbeben in den Karpathen und Sudeten Laendern bis zu Ende des Achtzehnten Jahrhunderts. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft XII, 287–349
- Láska W. (1902): Die Erdbeben Polens. Mitteilungen der Erdbeben – Commission, Neue Folge, VIII.
- Lotter F. (1968): Zur Rolle der Donausueben in der Völkerwanderungszeit. Mitteilungen des Instituts für Österreichische Geschichtsforschung 76/3–4, 275–298
- Májusz Elemér (1966): Krónikaproblémák. Századok 10/4–5, 713–762
- Molnár J. (1872): A hévízek Buda környékén. Matematikai és Természettudományi Közlemények VII, 3.
- Némethy Lajos (1876): Nagyboldogasszonyról nevezett budapestvári főtemplom története. Esztergom
- Perrey A. (1846): Mémoires sur les tremblements de terre dans le bassin du Danube. Annales des sciences Phys. et Natur, Lyon
- Podhradczky József (1833): Buda és Pest szabad királyi városok volt régi állapotáról. Pesten
- Reizner János (1899): Szeged története. IV. kötet, oklevél, név- és tárgymutató. Kiadja Szeged szabad királyi város közönsége, 1899–1900.
- Réthly A. (1952): A Kárpát medencék földrengései (455–1918). Akadémiai Kiadó, Budapest
- Rosty Kálmán (1906): Magyar szentek legendái. Szent István Társulat (elektronikus formában: <http://www.ppek.hu>, Pázmány Péter Elektronikus Könyvtár, PPEK)
- Schönvitzner S. (1791): *Antiquitatum et historiae Sabariensis ab origine ad presens tempus*. Pestini
- Szamosközy I. (1880): Szamosközy István történeti maradványai 1566–1603. / az erdélyi fejedelmek birtokában volt eredeti példányról kiadta Szilágyi Sándor, 4. k. Vegyes följegyzések, M. Tud. Akadémia Könyvkiadó-Hivatala
- Szentiványi Márton (1702): *Curiosiora et Selectiora Variarum Scientiarum Miscellanea*. In tres partes divisa... Tyrnaviae, III. Decades Pars. I.
- Szentkirályi J. (1914): Temesvár története; Borovszky Samu: Magyarország vármegyéi és városai
- Tarczai Gy. (1994): *Az Árpádház szentjei*. Szent István Társulat, Budapest (é. n. 1930). Magyar Könyvklub, Budapest
- Teleki J. (1852): Hunyadiak kora Magyarországon, Pesten, Emich és Eisenfels könyvnyomdája
- Thomson E. A. (1982): Romans and barbarians; the decline of the Western Empire. The University of Wisconsin Press
- Varga P., Szeidovitz Gy., Gutdeutsch R. (2001): Isoleismal map and tectonical position of the Komárom earthquake of 1763. *Acta Geodetica et Geophysica* 36/1, 97–108
- Verancsics A. (1868): Verancsics Antal összes művei. VIII. kötet. Monumenta Hungariae Historica XIX, Pest
- Verancsics A. (1981): Memoria Rerum; A Magyarországon legutóbbi László király fiának, legutóbbi Lajos királynak születése óta esett dolgok emlékezete. Verancsics Évkönyv, Magyar Helikon
- Windecke E. (2008): Emlékirat Zsigmond királyról és koráról. História Alapítvány
- Zolnay László (1978): Kincses Magyarország; Középkori művelődésünk történetéből. Magvető Kiadó

# Hosszú távú földrengés-veszélyeztetettség becslése a Detrekői-zsomboly (Kis-Kárpátok, Szlovákia) sértetlen állócseppkövének vizsgálatával

GRIBOVSZKI K.<sup>1,2,@</sup>, KOVÁCS K.<sup>1</sup>, MÓNUS P.<sup>1</sup>, BOKELMANN G.<sup>2</sup>, KONECNY P.<sup>3,4</sup>,  
LEDNICKÁ M.<sup>3</sup>, MOSELEY G.<sup>5</sup>, EDWARDS R. L.<sup>5</sup>, SPÖTL C.<sup>6</sup>, BEDNÁRIK M.<sup>7</sup>, BRIMICH L.<sup>7</sup>,  
TÓTH L.<sup>1</sup>, HEGYMEGI E.<sup>8</sup>, KEGYES-BRASSAI CS.<sup>9</sup>, SZEIDOVITZ GY.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Magyar Tudományos Akadémia, Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Geodéziai és Geofizikai Intézet,  
Sopron, Csatkai Endre u. 6, 9400, Hungary

<sup>2</sup>Department of Meteorology and Geophysics, Faculty of Earth Sciences, Geography and Astronomy,  
University of Vienna, Vienna, Austria

<sup>3</sup>Institute of Geonics, Academy of Sciences of the Czech Republic, Ostrava-Poruba, Czech Republic

<sup>4</sup>Planetarium Ostrava, Faculty of Mining and Geology, VSB-Technical University of Ostrava,  
Ostrava, Czech Republic

<sup>5</sup>Department of Earth Sciences, University of Minnesota, Minneapolis, USA

<sup>6</sup>Institute of Geology, University of Innsbruck, Innsbruck, Austria

<sup>7</sup>Geophysical Institute, Slovak Academy of Sciences, Bratislava, Slovak Republic

<sup>8</sup>Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, Budapest, Hungary

<sup>9</sup>PIUS Építészeti, Mérnöki és Számítástechnikai Kft., Győr, Hungary

@E-mail: kgribovs@ggki.hu

Az elmúlt évek során volt szerencsénk felkutatni egy kb. 4 m magas, nyúlánk és sértetlen állócseppkővet a Kis-Kárpátok Detrekői-zsomboly nevű barlangjában. A cseppkő a barlang felszínhez közeli termében található, így jó eséllyel alkalmas lehet a környező területek földrengés-veszélyeztetettségének megállapítására nemcsak napjainkra vonatkozólag, hanem a cseppkő növekedése során, azaz időben visszafelé haladva is. A földrengések méretére vonatkozó, cseppkövek vizsgálatával nyerhető effajta hosszú távú információk igen fontosak lehetnek, tekintve, hogy Közép-Európában a földrengés-katalógusok mindössze az elmúlt 1-2 ezer év rengéseiről tartalmaznak információkat.

Vizsgálati módszerünk megegyezett a korábbi években már alkalmazottal (Szeidovitz et al. 2008), mely magában foglalja a barlangbeli *in situ* méréseket, a mechanikai laborvizsgálatokat és a kormeghatározást, majd pedig mindezek eredményéből az elméleti számításokkal meghatározott kritikus horizontális talajgyorsulás-értékek megállapítását időben visszafelé több ezer évre vonatkozólag.

A vizsgált cseppkövünk segítségével meghatározott, a horizontális talajgyorsulásra vonatkozó időben változó felső határértéket egy ábrában foglaltuk össze. Eredményeinket, melyek felső határértéket jelentenek az elmúlt néhány ezer év során keletkezett rengések keltette talajgyorsulás-értékeknek, összevethetjük a barlang környezetében kipattant vagy feltételezett nagyobb rengések hatásával is (1906, Jókó; i.sz. ~340, Carnuntum). Az eredményábránkon látható, hogy például a jókói rengés idején a horizontális talajmozgás nem lehetett nagyobb 1,02 m/s<sup>2</sup>-nél, a feltételezett carnuntumbeli rengés idején pedig 1,34 m/s<sup>2</sup>-nél.

Vizsgálataink eredményeit nem szabad figyelmen kívül hagyni a Detrekői-zsomboly környezetében lévő szerkezetek szeizmikus potenciáljának számításánál, úgymint a Bécsi-medencében lévő Lassee vagy Markgrafneusiedler törésvonalak. Tanulmányunknak különös jelentősége van a két közeli nagyváros, Bécs és Pozsony földrengés-veszélyeztetettségének megállapításában is.

**Gribovszki, K., Kovács, K., Mónus, P., Bokelmann, G., Konecny, P., Lednická, M., Moseley, G., Edwards, R. L., Spötl, C., Bednárik, M., Brimich, L., Hegymegi, E., Tóth, L., Kegyes-Brassai, Cs., Szeidovitz, Gy.: Constraints on long-term seismic hazard from vulnerable stalagmite in Plavecká priepasť cave, Slovakia**

A specially shaped (candlestick shape, high, slim and more or less cylindrical), intact and vulnerable stalagmite (IVSTM) in the Plavecká priepasť cave has been examined. This IVSTM is suitable for estimating the upper limit for horizontal peak ground acceleration (HPGA) generated by prehistoric and paleoearthquakes. These long-term information about size of

earthquakes can be important taking into account that historical earthquake catalogues are only 1-2 thousand years long in Central Europe.

The method of our investigation is:

- the density, Young's modulus and tensile failure stress of broken stalagmite samples (lying at the same hall of the Plavecká priepast' cave, as the stalagmite we investigated) have been measured in mechanical laboratory;
- the height and the diameters of the IVSTM have been determined in situ, and its vibration was measured in the cave as well;
- theoretical calculations, based on *in situ* measurements, produce the value of horizontal ground acceleration resulting in failure, as well as the theoretical natural frequency and harmonic oscillations of the IVSTM;
- core samples were taken from a column dripstone standing in the same hall as the investigated stalagmite to obtain the age of the stalagmite, by Multi Collector – Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry analysis (MC-ICP MS).

The HPGA values as a function of time going backward into the past determined from the stalagmite we investigated were presented on a figure. The figure shows that for example at the time of Jókő event the HPGA value could not be higher than  $1.02 \text{ m/s}^2$ , and at the time of the assumed Carnuntum event (~340 A.D.) it could not be higher than  $1.34 \text{ m/s}^2$ .

This technique can yield important new constraints on seismic hazard as well, as geological structures close to Plavecka priepast' cave did not generate strong paleoearthquakes in the last few thousand years, which would have produced horizontal ground acceleration larger than the upper acceleration threshold that we determine from the IVSTM.

These results have to be taken into account, when calculating the seismic potential of faults near to the Plavecka priepast' cave as well as faults in Vienna basin (Markgrafneusiedler and Lasse faults). A particular importance of this study results from the seismic hazard of two close-by capitals Vienna and Bratislava.

*Beérkezett:* 2017. május 28.; *elfogadva:* 2017. szeptember 10.

## 1. Bevezetés

A földrengésveszély meghatározása a kis gyakoriságok ( $<10^{-4}/\text{év}$ ) tartományában nem könnyű feladat, hiszen hiányzik az ehhez szükséges hosszú időtávra vonatkozó visszamenőleges szeizmicitási információ. Ennek oka, hogy a műszeresen rögzített szeizmicitás mindössze kb. 100 évre visszamenőleg áll a rendelkezésünkre, és a történeti földrengés-katalógus feljegyzései is mindössze néhány 100 évre visszamenőleg tekinthetőek teljesnek.

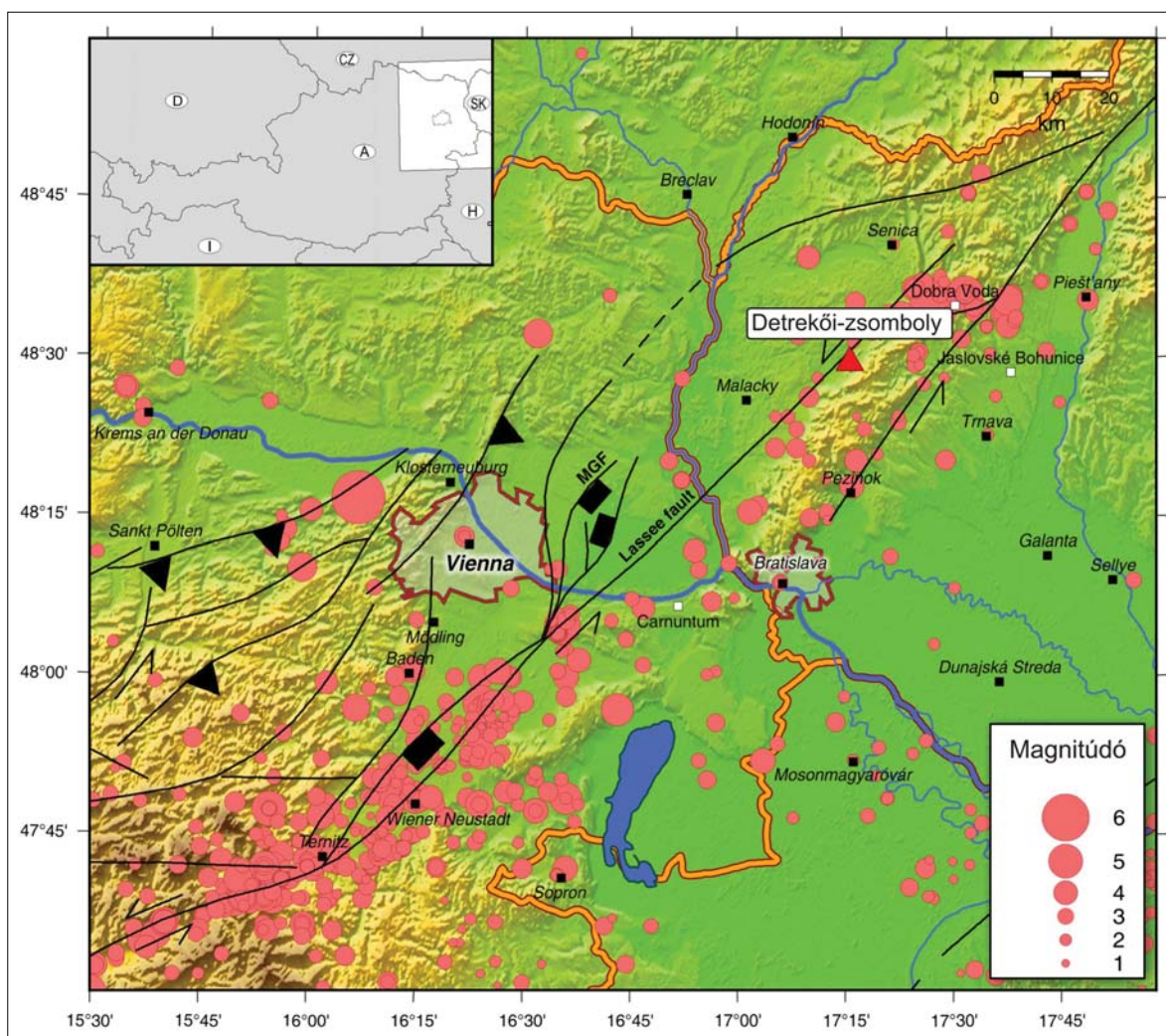
Mindezekből kifolyólag a szükséges információt (a jelenlegi katalógusoknál hosszabb időtávra visszamenőleg érvényes) paleorengésekre utaló árulkodó nyomok felkutatásából, vagy éppen ellenkezőleg nagy erejű rengések hiányára utaló jelekből nyerhetjük. Kutatásainkban mi ezzel az utóbbi esettel foglalkozunk, mégpedig olyan formában, hogy sértetlen állócseppköveket vizsgálunk.

Léteznek korábbi tanulmányok, amelyekben sértetlen állócseppköveket vizsgáltunk paleorengések nyomainak felkutatására a közép-európai régióban (Szeidovitz et al. 2005, 2008, 2008a, Paskaleva et al. 2006, 2008, Gribovszki et al. 2008, 2013, 2013a). A magyar, bolgár és szlovák cseppkővizsgálatok során számos gyertyaszál alakú, sértetlen, alacsony sajátfrekvenciával rendelkező állócseppkővet sikerült azonosítanunk és részletesen tanulmányoznunk. A cseppkövek paramétereire alapján kiszámítottuk a „kritikus” horizontális talajgyorsulás értékét. Ezek az eredmé-

nyek új és a korábbiaknál szigorúbb (alacsonyabb) horizontális talajgyorsulásra vonatkozó értékeket eredményeztek az észak-magyarországi területen. Ezek a vizsgálatok hatással vannak a közép-európai régió földrengés-veszélyeztetettségi értékelésére ugyanúgy, mint a környező régiókéra egyaránt.

Az elmúlt évek során azonosítottunk néhány különösen érzékeny állócseppkővet a Kis-Kárpátokban (Szlovákiában, Pozsonytól 30 km-re északra, Plavecka priepast', azaz Detrekői-zsomboly, *1. ábra*) és a Sattelbergben (Ausztriában, Gráctól 15 km-re keletre, Katerloch Höhle, Gribovszki et al. 2016).

Jelen cikkben bemutatott kutatás a Detrekői-zsomboly legsérülékenyebb állócseppkővet vizsgálja. Vizsgálataink azt mutatják, hogy ez az állócseppkő jelenlegi formájában még alacsony horizontális gyorsulásnál is eltörne (a kiszámított kritikus horizontális gyorsulásérték  $<0,33 \text{ m/s}^2$  a barlangban és  $<0,99 \text{ m/s}^2$  a felszínen). Kimutattuk, hogy ez az alacsony érték teljesen összhangban áll a barlang közelében (20 km-en belül) kipattant jókői rengésnek (Dobra Voda, 1906. január 10.) a barlang környezetére megállapított intenzitásával. A cseppkő méretét megbecsülve az elmúlt 500 évre vonatkozólag, majd abból kiszámítva a kritikus horizontális talajgyorsulás értékét megállapítható, hogy a kapott gyorsulási szint jó egyezést mutat a Detrekői-zsomboly területére a SHARE Model által megadott talajgyorsulási csúcstérték (PGA) tartomá-



**1. ábra** A vizsgált barlang, a Detrekői-zsomboly (Plavecká priepast) elhelyezkedése a Kis-Kárpátokban, Szlovákiában (piros háromszög) és az ismert, aktív törésvonalak (fekete vonalak: Horváth et al. 2004, MGF a Markgrafneusiedler törésvonalat, a Lassees fault pedig a Lassees törésvonalat jelöli), továbbá az ábrán láthatóak a történelmi és a műszeres földrengések epicentrumai (piros körök: Zsíros 2000, Tóth et al. 1996–2014). A fekete vonalakon található különböző jelek a törésvonalak típusára utalnak. A fekete háromszög feltolódást, a fekete négyzetet pedig oldaleltolódást jelöl. A két amorf alakú piros vonallal körbehatárolt terület Bécs (Vienna) és Pozsony (Bratislava) fővárosokat szemlélteti. A bal felső sarokban lévő átnézeti térkép az ábrán szereplő terület pozícióját mutatja annak tágabb környezetében. A fekete négyzetek a környező nagyvárosokat mutatják, míg a fehér négyzetek a környéken található fontosabb objektumokat szemléltetik

**Figure 1** Location of the Plavecká priepast' cave (red triangle) in the Little Carpathians of Slovakia, near the Vienna Basin Transfer Fault System, two faults of which are the MGF (Markgrafneusiedler) and Lassees fault, as well as active faults (Horváth et al., 2004) and seismicity of the area (red circles: Zsíros 2000, Tóth et al. 1996–2014). The black lines show the major faults of the area (black triangle – thrust fault, black rectangle – normal fault, black lines with arrow – strike slip fault). The two amorphous areas are the two nearby capitals Vienna and Bratislava. The general map, situated at the top left hand side of the figure, shows the position of the area of Fig. 1 in Austria and Slovakia. Black squares represent the large towns, white squares represent location of objects, that can be important at the point of view of seismic hazard

nyának ( $1 \text{ m/s}^2 < \text{PGA} < 1,5 \text{ m/s}^2$ ) legalacsonyabb részével. (A SHARE Model értékeit probabilisztikus földrengésveszélyeztetettség-számítási módszerrel határozták meg 475 éves visszatérési időt figyelembe véve, azaz 50 év alatt 10% valószínűséggel keletkezik olyan földrengés, amely által keltett talajgyorsulás meghaladja az adott értéket, ld. Danciu et al. 2013, Giardini et al. 2013). Valamint ez az érték alacsonyabb, mint a Tóth et al. (2006) által a zsomboly környezetére megállapított PGA tartomány értékeinél ( $1,60 \text{ m/s}^2 - 1,65 \text{ m/s}^2$ ) szintén 475 évre vonatkozóan.

## 2. A vizsgálat módszere, helyszíne és tárgya

Kutatásunk tárgyai a sértetlen, de sérülékeny, gyertyaszál alakú állócseppkövek. Alapfeltételezésünk az, hogy ezek a speciális alakú cseppkövek túléltek „életük” (fejlődésük és létük) során az összes addig keletkezett földrengést, ebből következőleg ezek a cseppkövek alkalmasak arra, hogy segítségükkel felső becslést adhassunk a környezetükben előfordult földrengések által keltett maximális horizontális talajmozgás mértékére vonatkozólag akár több ezer évre visszamenőlegesen is. Jelen kutatómunka végső



célja, hogy a korábbi vizsgálatok során meghatározott (PSHA-számítások stb.) kritikus horizontális talajgyorsulás-értékeket verifikálja, illetve a szeizmotektonikai forrásmodellek  $M_{\max}$  értékeinek meghatározásához segítséget nyújtson.

Ezek a sérülékeny, állócseppkövekkel kapcsolatos új megfigyelések számos fontos alkalmazási lehetőséget rejtenek magukban. Többek között lehetőséget adnak arra, hogy például a vizsgált barlang környezetében pontosítsuk a korábbi földrengés-veszélyeztetettség eredményeinket. Mi éppen ebből a célból vizsgáljuk a sérülékeny cseppköveket, mégpedig oly módon, hogy segítségükkel a történelmi földrengések előtt kipattant paleorengések nyomait vagy kizáró okait kutathassuk. Az elmúlt évtizedekben a földrengések és a cseppkövek növekedése, dőlése és törése közötti kapcsolatot számos esetben vizsgálták már minket megelőzően (Forti, Postpischl 1984, 1988, Delaby 2001, Cadornin et al. 2001, Lacave et al. 2000, 2004, Kagan et al. 2005, Becker et al. 2006, Bednárik 2009). Ezek a kutatások az általunk használt módszertől eltérő módon látható, létező jeleket kutattak (mi, ezekkel ellentétben, éppen a jelek hiányából következtetünk nagy rengések be nem következére a vizsgált területen).

Kutatásunk legelső és egyben kardinális pontja, hogy felleljük azokat a sértetlen, de sérülékeny, állócseppköveket, amelyek a paleoszeizmológiai kutatómunkánk céljaira megfelelőek. A vizsgálati céljainkra alkalmas állócseppkövek fontos paramétere a nagy magasság-átmérő arány ( $H/D \geq 50$ ) és az, hogy ezeknek cseppköveknek az alakja többé-kevésbé hengeres legyen. Az ilyen alakú cseppkövek speciális neve a gyertyaszál alakú, állócseppkő (candlestick type stalagmite). Tapasztalataink szerint az ilyen típusú cseppkövek már a horizontális talajgyorsulás alacsony értékeinél is eltörnének. Ebből következőleg megfelelő jelzőeszközei lehetnek annak, hogy egy bizonyos nagyságú paleorengésnél nagyobb nem keletkezhetett egy adott területen. Az általunk alkalmazott technika során megmérjük a barlangban talált, törött cseppkövek geomechanikai paramétereit (sűrűség, Young-modulus, törőszilárdság). Ezek felhasználásával és a helyszínen, a barlangban mért méretadatok alapján elméleti számításokkal meghatározzuk azt a kritikus talajgyorsulás-értéket, amelynek hatására a cseppkő már eltört volna. Továbbá geofizikai módszerekkel megmérjük a helyszínen a cseppkő sajátfrekvenciáját, és összehasonlítjuk azt a geomechanikai paraméterekből kiszámított elméleti értékkel. A módszer része a helyszínen vett magminták kormeghatározása is, melynek segítségével információt nyerhetünk a cseppkő koráról és növekedési sebességéről is. A kormeghatározást korszerű és költséges MC-ICP MS módszerrel végezzük. A cseppkő növekedési sebességének ismeretében időben több ezer évre visszamenőleg is meghatározhatjuk a cseppkő alakját, és ennek segítségével különböző időtávra visszamenőleg a horizontális talajgyorsulásra különböző kritikus értékeket állapíthatunk meg. Ezek a különböző időtávra visszamenőleges számítások akár nagy segítségünkre lehetnek abban is, hogy a barlang környezetében korábban

feltételezett nagy erejű rengések kipattanásának feltételezését esetleg meg is cáfolhassuk.

Jelen cikkben bemutatjuk a Detrekői-zsombolyban található sértetlen, de sérülékeny, gyertyaszál alakú állócseppkő (IVSTM) részletes vizsgálatát a „kritikus” horizontális talajgyorsulás értékének megállapítása céljából a cseppkő korának figyelembe vételével a múltban visszafelé haladva. A vizsgált IVSTM alkalmas álló cseppkövek segítségével végzett földrengés-veszélyeztetettség kutatására, mivel az hengeres alakú, és rendelkezik a szükséges nagyságú magasság/átmérő aránnyal.

### 2.1. A barlang mint vizsgálati helyszín leírása

A vizsgált IVSTM a Detrekői-zsombolyban (szlovák nevén Plavecká priepast') található. A Detrekői-zsomboly a Kis-Kárpátokban, Szlovákia nyugati részén helyezkedik el, közel a Bécsi-medencéhez és Bécs és Pozsony fővárosokhoz (1. ábra). A Kis-Kárpátok középső részének nyugati peremén található karszterület a Detrekői-karszt. A barlang a Detrekői-karsztnak pontosan az alatt a kiemelkedése alatt foglal helyet, melynek csúcsán a XIII. században épített Detrekő vára áll. A barlang humán hatástól való elzártságának bizonyítása és így természeti kincseinek magas szintű megőrzöttsége szempontjából fontos megemlíteni, hogy a vár építésének idején bevett gyakorlattal ellentétben a várnak nem létezik menekülési útvonala a barlang felé. A barlang bejárata a várhegy nyugati felén található, Detrekőváralja (Plavecké Pohradie) településhez közel. A barlang Triász mészkőben fejlődött ki, amely dolomitrétegeket is tartalmaz.

A 30 m mély, vertikális szakadékon keresztül megközelelhető barlang, turisták által nem látogatható (7b. ábra). A vizsgált állócseppkő a barlangnak a „Cseppkő terem” elnevezésű részén található (7a. ábra), amely a barlang déli terme. Ez a terem kb. 400 db nyúlánk, gyertyaszál alakú cseppkövet vagy cseppkőoszlopot tartalmaz. Ezeknek az állócseppköveknek az átlagos magassága kb. 1,5–2,5 m, az átlagos átmérőjük pedig maximum 10 cm. Két álló cseppkő 3 m-nél valamivel magasabb, és van egy legalább 4 m magas nyúlánk, álló cseppkő is a barlangban (2. ábra).

A barlang teljes hossza mindössze 335 m, a szélessége pedig 15–20 m (7a. ábra). A vertikális kiterjedése 70 m (7b. ábra). A barlangról és a cseppkőképződményekről szóló további részletes leírások megtalálhatóak Butás (2005) és Šmída (2010) cikkeiben.

### 2.2. A vizsgálat tárgya, a sérülékeny, de sértetlen állócseppkő

Korábbi tapasztalataink alapján a mi vizsgálati céljainkra olyan hengeres felépítésű, álló cseppkövek alkalmasak, amelyek magasság-átmérő aránya legalább 20. A sajátfrekvenciája ezeknek a cseppköveknek elegendően alacsony ahhoz, hogy az a közeli rengések frekvenciatartományába essen (amely 20 Hz alatti) (Lacave et al. 2000, 2004).



**2. ábra** | A vizsgált sérülékeny állócseppkő a Cseppkő teremben, a cseppkő magasságának mérése során  
**Figure 2** | Measuring the height of the stalagmite we investigated (IVSTM) in the rear of Chamber of dripstones

A vizsgált cseppkövek alacsony sajátfrekvenciájának azért van jelentősége, mert ha a cseppkő sajátfrekvenciája a közeli rengések frekvenciatartományába esik, akkor a cseppkő a rezonancia hatására, az általunk jelenleg csak a statikus esetre kiszámított kritikus horizontális gyorsulásértéknél kisebb gyorsulásra is már eltörne. Továbbá, minél nagyobb a magasság-átmérő arány, annál alacsonyabb horizontális talajgyorsulásra fog statikus esetben eltörni az álló cseppkő.

A vizsgálatra alkalmas cseppkő kiválasztásánál a másik fontos tényező az, hogy a cseppkövet tartalmazó barlangterem sekély mélységben helyezkedjen el, mivel a földrengéshullámok a mélység növekedésével lecsillapodnak (Becker et al. 2006). A vizsgált cseppkövünk a barlang „Cseppkő terem” elnevezésű részén található (7a. ábra), amely a barlang déli terme. Ez a déli terem nem mélyebben, mint 175 m-re található a Detrekői-várdomb tetejétől.

A vizsgált cseppkő legalább 4 m magas (2. ábra), átlagos átmérője kb. 8 cm, és a 30 m mély vertikális szakadék aljától (amely fölött a barlang bejárata található) kb. 40–50 m-re áll. A sajátfrekvencia meghatározásához a cseppkő vibrációját az *in situ* vizsgálatok során rögzítettük, és megmértük a cseppkő pontos méreteit is (2. ábra, 1. táblázat).

Mivel a kormeghatározáshoz szükséges magminta-vétel során félő volt, hogy a sérülékeny állócseppkő eltörik, ezért a magmintákat egy, a vizsgált cseppkövel azonos barlangteremben álló, de már oszloppá összenőtt cseppkőből vettük 2 különböző magasságban és több különböző mélységben (5. ábra).

### 3. Roncsolásmentes *in situ* mérések

Mivel a helyben végzett mérések a sértetlen állócseppkövek esetében kizárólag roncsolásmentes mérések lehetnek (Szlovákia teljes területén is természetvédelmi oltalom alatt állnak a cseppkövek ugyanúgy, mint hazánkban), ezért az *in situ* vizsgálatainkban kizárólag a sajátfrekvencia és a cseppkövek méretének meghatározására szorítkozhattunk.

A sajátfrekvencia méréséhez egy speciális, alacsony frekvenciájú geofont használtunk (LF-24 típusút), amelyet a cseppkő oldalára erősítettünk. Ennek a típusnak van beépített előerősítője. A geofon sajátfrekvenciája 1 Hz. Az érzékelő által mért jelek rögzítésére Reftek 130S-01 adatgyűjtőt használtunk (24 bites, AD konverterrel). Egy spe-

**1. táblázat.** A roncsolásmentes *in situ* mérés eredményei (méretek, sajátfrekvencia)

ID	Magasság (m)	Átmérő (cm)	H/D	mért $f_0$ (Hz)	mért $f_1$ (Hz)	mért $f_2$ (Hz)
IVSTM	$\geq 4$	átlag: 8 (10,5–6)	50	3	14,5; 16	36; 41

ciális rögzítőeszközt készítettünk az érzékelő cseppköre történő felszereléséhez azért, hogy biztosítsuk a tökéletes mechanikai csatolást a cseppkő és a geofon között, továbbá hogy helyesen tudjuk beállítani a geofon horizontális pozícióját. A geofon rögzítése után a vizsgált sérülékeny, állócseppkövet egy gyenge ütessel gerjesztettük. Az oszcilláció spektrális teljesítménysűrűsége azt mutatja (3. ábra), hogy a cseppkő sajátfrekvenciája ( $f_0$ ) körülbelül 3 Hz, és az első felharmónikusok oszcillációi 14,5 és 16 Hz körül vannak (a sajátfrekvencia-mérésnek kb. 0,2 Hz a hibája). Ezek az értékek mind 20 Hz alattiak, azaz azok beleesnek a közelben kipattant közepes erejű földrengések frekvenciatartományába. Ez azt jelenti, hogy ez az állócseppkő beazonosítható egy közeli földrengés kipattanásakor.

A mi elméleti számításunk, amely az egytengelyű tartók elméletén (cantilever beam theory) alapul, nem veszi figyelembe a rezonanciát, ami azt jelenti, hogy a valóságban az IVSTM eltörhetne az általunk kiszámított horizontális gyorsulásnál kisebb értéken is. Tehát a becslésünk konzervatív becslésnek tekinthető.

Ahogy a 3. ábra és az 1. táblázat mutatja az első felharmónikusoktól kezdődően a harmonikus oszcilláció kettéválik, ennek oka az lehet, hogy a vizsgált cseppkő nem teljesen tengelyszimmetrikus.

#### 4. Az elméleti számítások és a geomechanikai és rugalmasságtani laboratóriumi mérések eredményei

Abban az esetben, ha az állócseppkő ideális alakú (hengeres, azaz állandó a keresztmetszeti átmérője) a következő egyszerű egyenlet – amely az egytengelyű tartók elméletén alapul – használható ahhoz, hogy kiszámítsuk a cseppkő sajátfrekvenciáját és a törését okozó horizontális talajgyorsulását (Cadorin et al. 2001, Lacave et al. 2000, Szeidovitz et al. 2008a). Az állócseppkő sajátfrekvenciája:

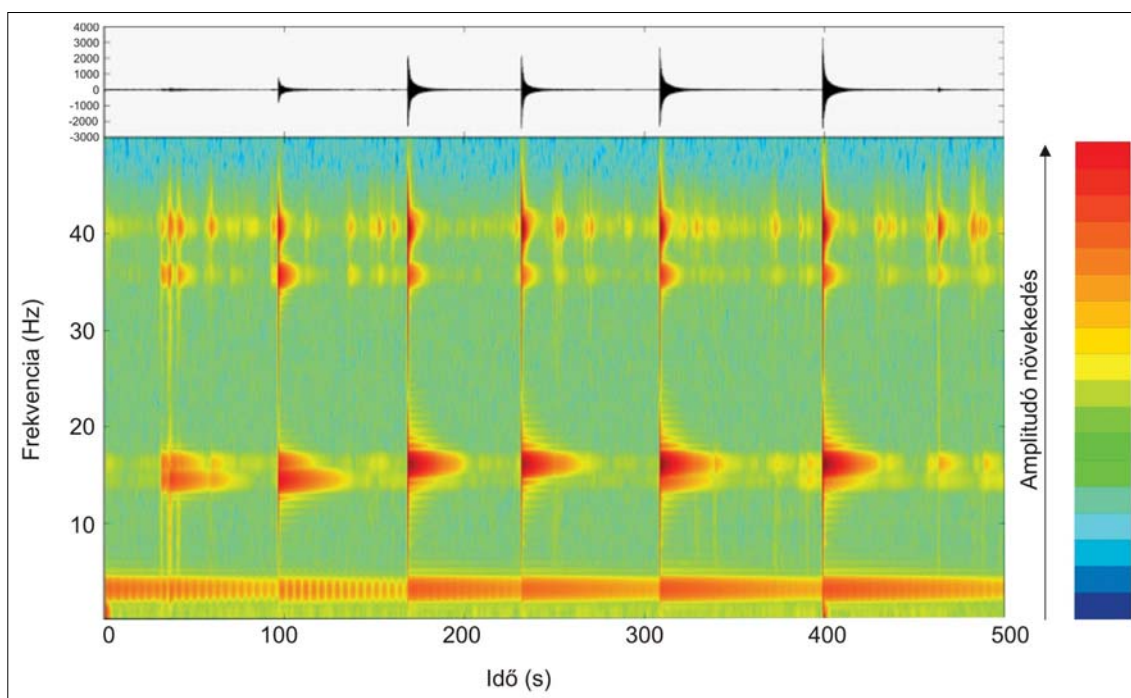
$$f_0 \approx (1/\pi) [3,1 ED^2/16 \rho H^4]^{1/2}. \quad (1)$$

A horizontális talajgyorsulás, amely a cseppkő törését okozná, kifejezhető, mint:

$$a_g = (D\sigma_u)/(4\rho H^2), \quad (2)$$

ahol  $D$  a cseppkő átlagos átmérője,  $H$  a cseppkő magassága,  $\rho$  a cseppkő sűrűsége,  $E$  a rugalmassági Young-modulusa és  $\sigma_u$  a törőszilárdsága.

Az egytengelyű tartó harmonikus oszcillációja a Bernoulli–Euler-egyenlet szerint (Kong et al. 2008):



3. ábra A vizsgált sérülékeny állócseppkő oszcillációja és spektrálisteljesítménysűrűsége a gerjesztett cseppkő vibrációjának idő-során ábrázolva. A spektrogramhoz tartozó, a teljesítménysűrűség mértékét ábrázoló színskála az ábra jobb oldalán található

Figure 3 Vibration and power spectral density of the studied IVSTM along the recorded signal of the excited IVSTM. The colour scale bar belongs to the spectrogram is at the right side of the figure

2. táblázat. A mechanikai laboratóriumi teszt eredményei

	sűrűség, $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	ultrahang, $V_p$ (km/s)	ultrahang, $V_s$ (km/s)	dinamikus Young-modulus, $E$ (MPa)	szakítószilárdság, $\sigma_u$ (MPa)
Detrekői-zsomboly	1 940,5 ± 6,4	4,40 ± 0,18	2,10 ± 0,16	25 181,0 ± 3 915,3	0,51 ± 0,13

$$f_i = (\omega_i/2\pi) = [(s_i L)^2/2\pi] \cdot [EI/\rho A H^4]^{1/2}, \quad (3)$$

ahol  $I$  a keresztmetszet második nyomatéka,  $A$  a keresztmetszet területe, és  $\omega_i$  a körfrekvencia. Az utóbbi képletben  $s_i L$  a következő értékekkel helyettesíthető:

$$s_i L = 1,875, 4,694, 7,855, 10,996, 14,137, \quad i = 1, 2, 3, 4, 5.$$

Hengeres alaknál  $I = (\pi/64)D^4$ , és így a (3) egyenlet a következőképpen változik meg (Kong et al. 2008):

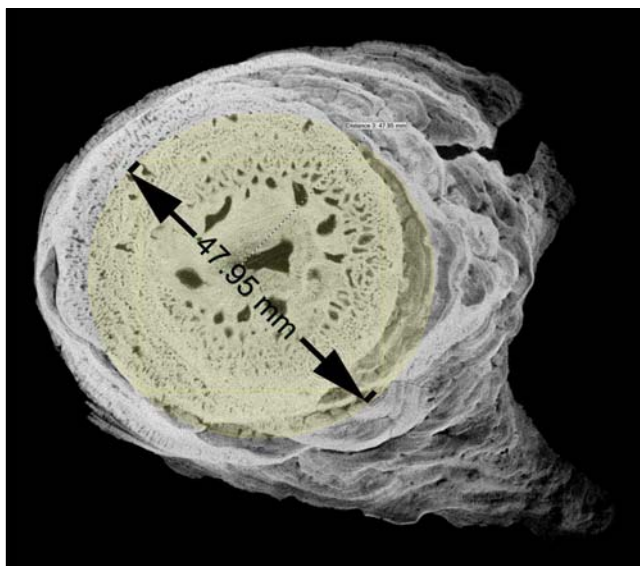
$$f_i = \alpha_i [ED^2/16\rho H^4]^{1/2}, \quad (4)$$

ahol  $\alpha_i = (s_i L)^2/2\pi$ , és így  $\alpha_0 = 0,559$ ;  $\alpha_1 = 3,507$ ;  $\alpha_2 = 9,820$ ;  $\alpha_3 = 19,244$ ;  $\alpha_4 = 31,808$ .

A sűrűség értéke, az ultrahangos  $V_p$ ,  $V_s$  és a törőszilárdsági értékek mind mechanikai laboratóriumi méréseken alapulnak (2. táblázat). A törőszilárdságot egyszerű laboratóriumi szakítószilárdsági teszttel határoztuk meg.

A dinamikus Young-modulust az ultrahanggal meghatározott  $V_p$  és  $V_s$  értékekből számítottuk ki (Nováková et al. 2011, Konecny et al. 2015). A méréseket a Cseh Tudományos Akadémia Geonikai Intézetének (Institute of Geonics) mechanikai laboratóriumában végeztük el. Az eredményeket a 2. táblázat tartalmazza.

Az eredményeink azt mutatják, hogy a Detrekői-zsombolyból származó eltört cseppkődarabokon mért törő-



**4. ábra** Computertomográfias kép egy letört álló cseppkőről a Detrekői-zsombolyból. Kamil Soucek felvétele. (A sárgával jelölt terület a méretmeghatározáshoz volt szükséges)

**Figure 4** Tomographic image of a fallen stalagmite from the Plavecká přepašť cave (by courtesy of Kamil Soucek). The region marked in yellow served to estimate physical dimensions

szilárdsági értékek ( $\sigma_u = 0,51$  MPa) sokkal alacsonyabbak, mint a Baradla-barlang Olimposz terméből származó mintákon mért értékek ( $\sigma_u = 1,62$  MPa), és a Domica-barlang Ördöglik terméből származó minták esetén mért értékek ( $\sigma_u = 2,75$  MPa) (Szeidovitz et al. 2008, Gribovszki et al. 2013a). Ezek a törőszilárdsági értékek azonban nagyon közel vannak a minimumértékhez (0,4 MPa), amelyet korábban a Hotton-barlangból (Belgium) származó törött mintákon mértek (Cadorin et al. 2001) statikus hajlítószilárdsági teszttel.

A Detrekői-zsombolyból származó törött cseppkövek tomográfias képei (4. ábra) adhatnak magyarázatot az alacsony szakítószilárdsági értékekre. Ezeken a felvételeken a törött cseppkövek keresztmetszetén rengeteg lyuk (zárvány) látható a cseppkövek belsejében, és ez azt jelenti, hogy a cseppkövek belső szerkezete nem homogén. Ezek a belső lyukak csökkentik a cseppkő anyagának a szakítószilárdságát, valamint a lyukak miatt a cseppkő kevésbé ellenálló a horizontális dinamikus hatásokkal szemben.

A dinamikus Young-modulus értéke (25,2 GPa) nagyobb, mint amit meghatároztunk a Baradla-barlang Olimposz terméből származó minták esetén ( $E = 20,8$  GPa) és közel azonos a Domica-barlang Ördöglik terméből származó mintáknál megállapított értékkel ( $E = 23,6$  GPa).

A 3. táblázat majdnem azonos az 1. táblázattal, azonban kiegészítettük az elméleti sajátfrekvenciaértékkel ( $f_0$ ) és a törést okozó horizontális talajgyorsulás elméleti értékével ( $a_g$ ). Ezek az értékek elméleti számítások eredményei, amelyeket az (1) és (2) egyenletek alapján számítottunk. Az elméleti számításokban a laboratóriumi tesztek eredményeit és a cseppkő méretadatait használtuk fel.

A számított sajátfrekvencia-érték majdnem azonos a mért értékkel. A különbség azzal magyarázható, hogy számításainkban elhanyagolásokkal és általánosításokkal élünk. A cseppkő valós alakja például nem teljesen hengeres, és az anyaga sem teljesen homogén, valamint a fizikai paramétereit is azoknak mechanikai teszteknek az eredményeiből nyertük, amely teszteket más (törött) cseppköveken hajtottunk végre.

A törést okozó horizontális talajgyorsulás eredménye  $0,33 \text{ m/s}^2$  statikus esetben. Ennek számításánál nem vettük figyelembe a rezonancia jelenséget, amely a sztalagmitban ébredhet a közeli földrengések hatására az alacsony frekvenciákon.

Az elméleti számítások segítségével meghatározott harmonikus oszcillációértékeket és azok összehasonlítását a mért értékekkel Gribovszki et al. (2017) publikációja tartalmazza.

**3. táblázat.** Az 1. táblázat kiegészítve a természetes frekvenciával és a törést okozó horizontális talajgyorsulás eredményével az elméleti számítások alapján

A mechanikai laboratóriumi teszt eredményei	Magasság (m)	Átmérő (cm)	$M/\bar{A}$	mért $f_0$ (Hz)	elméleti $f_0$ (Hz)	elméleti $a_g$ ( $\text{m/s}^2$ )
IVSTM	>4	átlag: 8 (10,5–6)	50	3	2,5	0,33

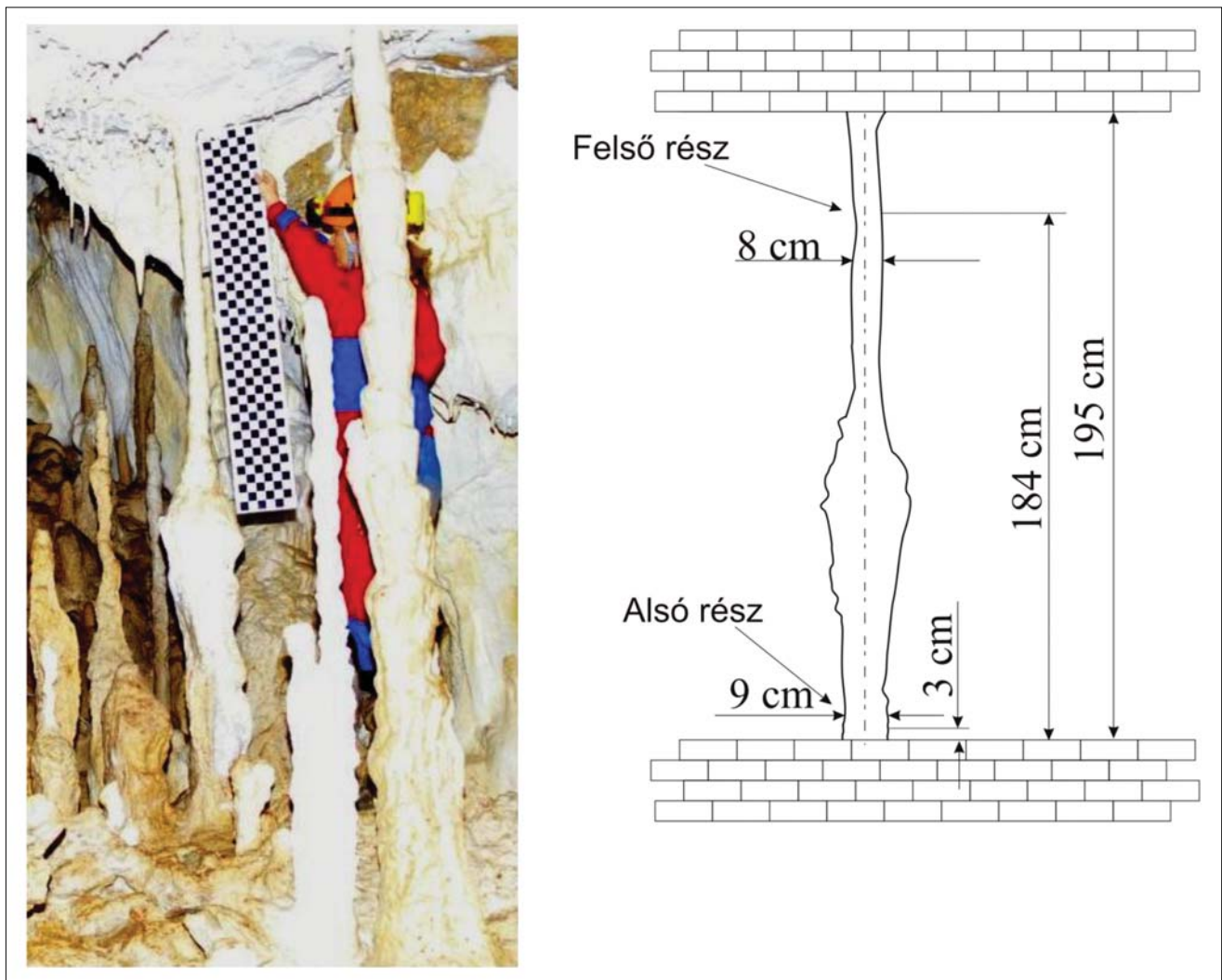
### 5. Cseppkövek kormeghatározása

A cseppkövek kiválóan megőrzik a régmúlt klímáját és környezetét (Fairchild, Baker 2012), mivel hosszú idők folyamán többé-kevésbé folytonosan növekszenek. Egyik legfontosabb tulajdonságuk, hogy koruk pontosan meghatározható uránsoros kormeghatározással. A cseppköveket különösen is a legjobb archívumoknak tekintik a szabályos belső növekedési struktúrájuk miatt.

Még vitatott, hogy vajon a földrengésekhez kapcsolódó deformációk szintén megállapíthatóak-e az állócseppkövekből (Forti 2001, Becker et al. 2006). Az állócseppkö geometriája függ a lecsöpögő víztől (kiválás és kémiai összetétel) és a cseppkö tetejének a mennyezettől mért távolságától. A cseppkö minden rétege tárolószerepet játszik a saját növekedési történetében. A cseppkö tengelyének bármely irányváltozása vagy az egyenestől történő eltérése, hatással van a növekedési mintára. Ezek az eltolódások

kapcsolódhatnak egy földrengés okozta felszínátalakuláshoz, de lehetnek egy másféle folyamat eredményei is, mint például a lecsöpögés helyének megváltozása a mennyezen vagy az üledékes aljzat, amelyre a cseppkö ráépült, lecsüllyedése vagy elmozdulása.

A Detrekői-zsombolyban az *in situ* kormeghatározáshoz a magmintáinkat egy 195 cm magas oszlop-cseppköből vettük (5. ábra). A részletesen vizsgált IVSTM (legalább 4 m magas sztalmagmit) korszerkezetét egyelőre nem tudtuk megállapítani, mivel a cseppkö nagyon törékeny, és félő volt, hogy a magminta vétele közben eltörik. A törékeny cseppkövet helyettesítendő egy oszlop-cseppkövet (sztalmagmit) választottunk (ez a már említett 1,95 m magas *in situ* oszlop-cseppkö), amely a cseppkö-barlangnak az általunk részletesen vizsgált cseppkövével azonos termében áll. A kormeghatározáshoz a cseppkö aljáról (3 cm) és 1,84 m magasságából vettünk mintákat (5. ábra).



**5. ábra** | Az 1,95 m magas *in situ* cseppköoszlop (sztalmagmit), amelyet kormeghatározásra használtuk (balra) és a fotó a barlang terméről az oszlop elhelyezkedésével. (Az oszlop-cseppkö alsó és felső részén van a fúrt minta elhelyezkedése 0,03 és 1,84 m magasságban)

**Figure 5** | The 1,95 m *in situ* dripstone column used for age determination. ‘Felső rész’ and ‘Alsó rész’ refer to the positions of the core samples, along the vertical axis of the dripstone, at heights of 0.03 and 1.84 m on the dripstone

Az urán- és tóriumkoncentráció, izotóparány- és koradatok (alapkor = 1950 K.u.) a Minnesotai Egyetemen kerültek meghatározásra egy többdetektoros induktív csatlósú plazma-tömegspektrometriai eljárás (MC-ICP MS, Thermo Fisher Neptune), és a Shen et al. (2012) és Cheng et al. (2013) által leírt protokollok felhasználásával.

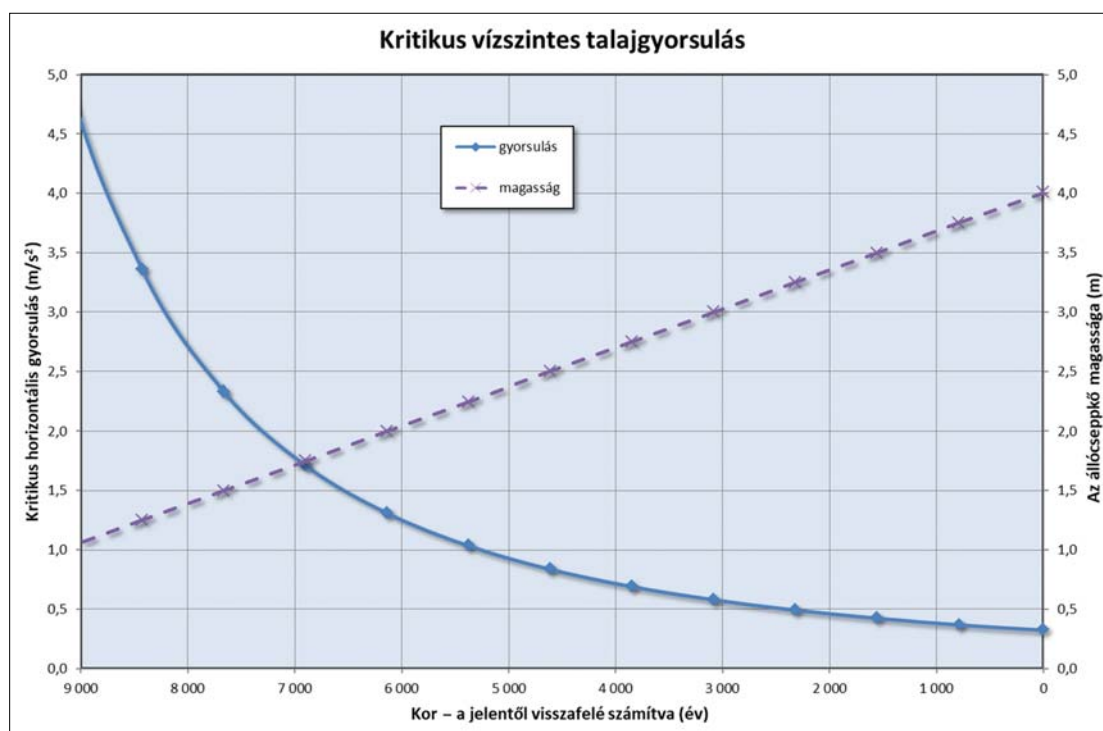
A kormeghatározási eredmény azt mutatja, hogy az oszlopcseppkő kialakulása (kiválása) a korai Holocénben elkezdődött, körülbelül 10,5 ezer évvel ezelőtt, a sztalmát teteje pedig (1,84 m-nél) körülbelül 5 ezer éves. A cseppkő növekedési sebessége körülbelül 1 mm / 3 év, ami sokkal gyorsabb, mint az előzőekben meghatározott más szlovák és magyar barlangokból származó cseppkővek növekedési sebessége (Baradla és Domica: 1 mm / 16 év és 1 mm / 53 év, Szeidovitz et al. 2008, Gribovszki et al. 2013a).

Később a Detrekői-zsombolyból származó további magminták tanulmányozására is sor került, melyek eredményei megtalálhatók Gribovszki et al. (2017) cikkében.

## 6. A növekvő cseppkő alakjának változása az időben visszafelé haladva

A kormeghatározási eredményekre alapozva, a múltban visszafelé haladva egy egyszerűsített cseppkőnövekedési

modellt a következőképpen lehet megkonstruálni. Tudjuk, hogy a cseppkő jelenleg is növekszik, mivel a felülete nedves. Emellett még feltételezünk a növekedési rátának egy állandó értékét. A növekedési ráta állandó értékét a cseppkő vertikális tengelye mentén vett magminták korának különbségéből és a 2 magminta távolsága alapján egyszerű hányadosképzéssel állapítottuk meg. (Az itt publikált kutatómunka esetében még csak a cseppkőoszlopból vett kormeghatározási magminták eredményeivel rendelkezünk, tehát azokat vettük figyelembe.) Dreybrodt és Romanov (2008) és Kaufmann (2003) tanulmányaiból ismert, hogy a gyertyaszál alakú cseppkővek a horizontális metszeteik szempontjából nézve többé-kevésbé állandó átmérővel növekednek. Mindezeket a tényeket és feltételezéseket figyelembe véve, lineáris növekedési függvényt feltételezve kiszámítottuk a cseppkő magasságát a múltba visszamenőlegesen (6. ábra). A cseppkő alakját pedig – a magasság ismeretén túl – úgy kaptuk meg, hogy a horizontális metszetben állandó átmérőt feltételeztünk. Amennyiben ismerjük a cseppkő alakját visszamenőlegesen a múltban, akkor kiszámíthatjuk a cseppkő alakjához tartozó kritikus horizontális talajgyorsulás értékét (CHGA) is (ugyanazzal a (2) képlettel, amellyel azt a jelenre vonatkozólag kiszámítottuk), amely értékek szintén a múlt 1-1 időpontjához köthetőek (6. ábra és a 8. ábra „barlangban” görbéje).



**6. ábra** A cseppkő feltételezett magassága visszamenőleg a múltban (lila kereszt) és a cseppkő segítségével megállapított kritikus horizontális gyorsulás értéke (CHGA) (kék gyémánt) a múltba visszamenőlegesen kiszámítva, a cseppkő változó magasságát figyelembe véve. A CHGA-értékek csökkennek a cseppkő magasságának növekedésével, azaz a jelenhez közelítve egyre sérülékenyebbé válik a cseppkő (a vízszintes tengelyen az évek csökkennek a jelen felé közeledve – a 0 év a jelent szimbolizálja – a függőleges tengelyen pedig a cseppkő aktuális magasságát és a kritikus horizontális talajgyorsulás értékét olvashatjuk le)

**Figure 6** The assumed height of the stalagmite we investigated (purple cross) and the critical horizontal ground acceleration (CHGA) provided by its height (blue diamond) as a linear function of time going back into the past calculated by the results of the age dating. The curve shows that the CHGA decreases due to the increasing stalagmite height

Példaképpen bemutatva az 500 évvel ezelőtti alakot és az ahhoz kapcsolódó kritikus horizontális gyorsulás értékét a számítás a következő. A növekedési ráta alapján (1 mm / 3 év) 500 évvel ezelőtt a cseppkő magassága kb. 3,83 m lehetett. Ehhez a magassághoz pedig kb. 0,36 m/s<sup>2</sup> kritikus horizontális gyorsulás-érték számítható ki. Tehát ennyi a kritikus horizontális talajgyorsulásnak az az értéke, amely már eltörte volna a cseppkövünket 500 évvel ezelőtt.

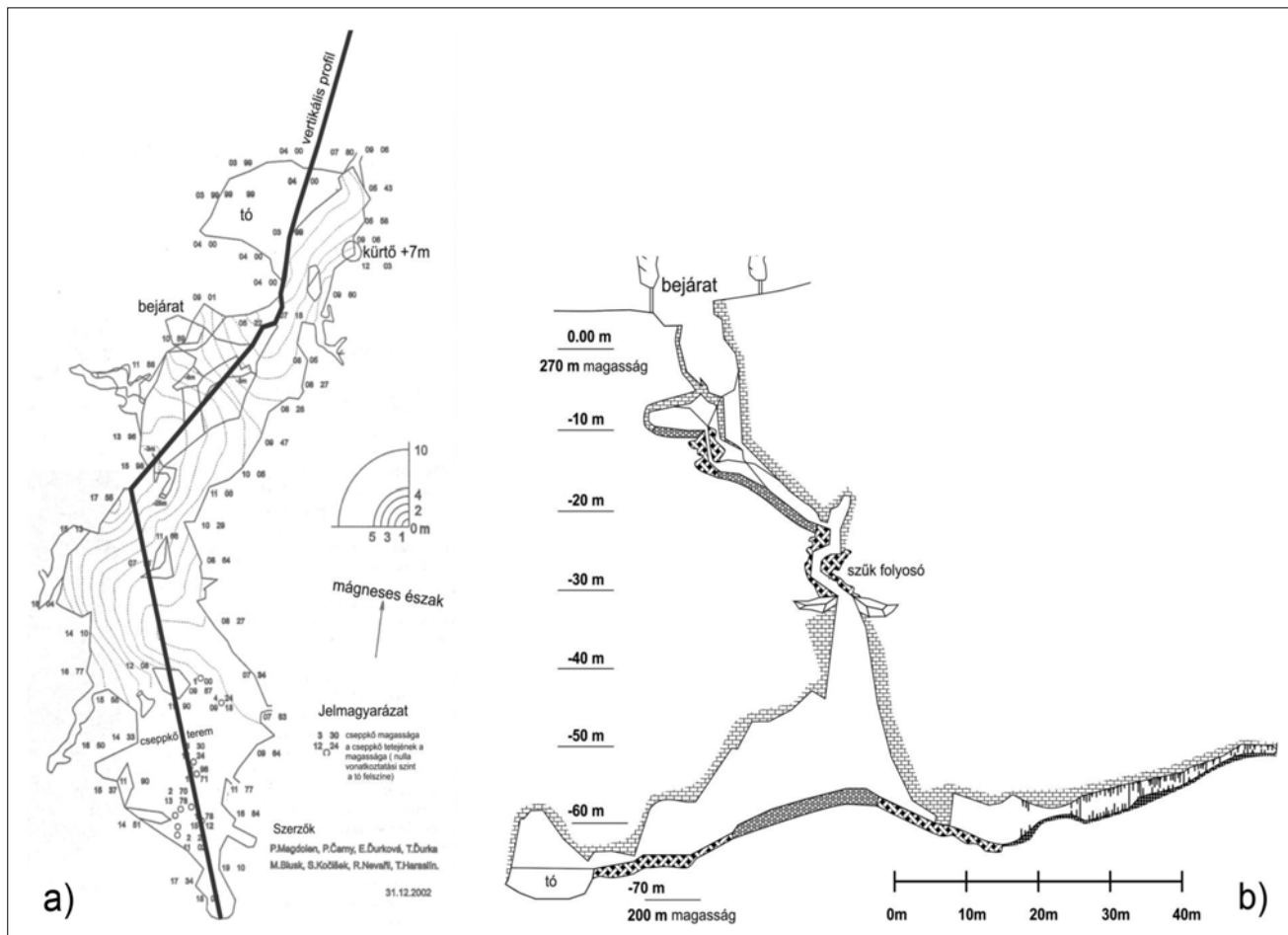
A cseppkő növekedési rátájára alapozva teljes bizonyossággal nem állíthatjuk a 6. és a 8. ábra helyességét, mivel a feltételezéseink bizonytalansággal terhelték, hiszen nem tudhatjuk biztosan, hogy a cseppkő növekedése a vertikális tengely mentén (másképpen fogalmazva, a különböző korokban) állandó volt-e, továbbá – mint már említettük – a cseppkő korának adatai sem a részletesen megvizsgált állócseppkőből, hanem egy azzal azonos teremben lévő oszlopból származnak. (E tanulmány befejezése után elkészült későbbi kormeghatározási vizsgálatok (Gribovszki et al. 2017) igazolták a vizsgált IVSTM korának és növekedési rátájának egyezését az oszlop-cseppkőével.)

### 7. A földrengéshullámok mélység szerinti csillapodása

A cseppkövek földrengések hatására történő esetleges megsérülésének vizsgálatánál feltétlenül figyelembe kell venni azt a tényt, hogy a mélység növekedésével a szeizmikus hullámok nagymértékben csillapodnak (Becker et al. 2006). Ezért vizsgálatainknál ismernünk kell a barlang mélységét, ahol a vizsgált cseppköveink találhatóak.

Ha ismerjük a barlang bejáratának pontos koordinátáit, és rendelkezünk a barlang pontosan tájékozott függőleges metszetével és alaprajzával, akkor meg tudjuk állapítani a kőzet vastagságát a barlang felett, amennyiben a barlangot tartalmazó hegynék is ismerjük a 3D-s (térbeli) alakját.

A mi esetünkben ismert, hogy a Detrekői-zsomboly 60–70 m mélységre van a barlang felszíni bejáratától. A barlang bejárata pedig a várdomb (Detrekő várának a várdombja) meredeken emelkedő oldalán található. Ebből következőleg még pluszban a barlangterem fölött, ahol a vizsgált cseppkövünk található, legalább 10–15 méterrel több mészkő lehet, mint ami a vertikális barlangmetszeten látható (mivel a barlangterem a bejáratától déli irányban van,



7. ábra | A Detrekői-zsomboly térképei (Butás, 2003), a) alaprajz (a vastag törött vonal a metszet elhelyezkedését mutatja az alaprajzon) b) keresztmetszet

Figure 7 | Maps of Plavecká priepasť cave (Butás, 2003), a) plan view, the broken line shows the trace of the vertical profile, b) vertical section

míg a várdomb legmagasabb pontja ettől az iránytól eltérő, hiszen az a bejáratától keleti irányban található).

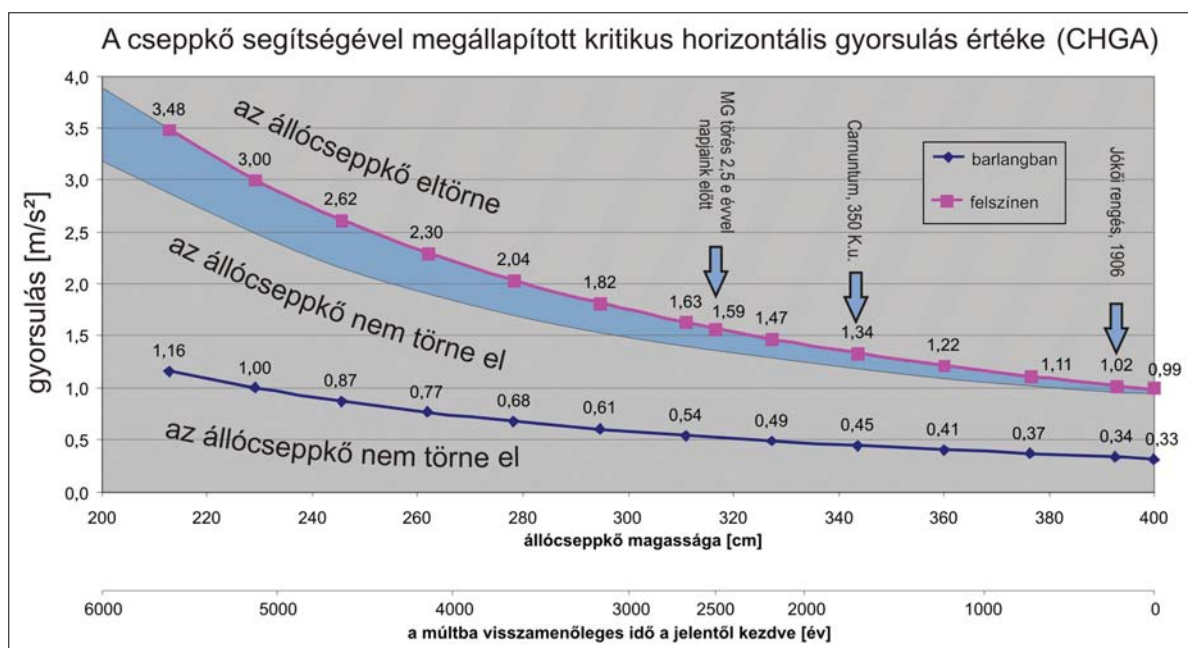
A hullámok mélység szerinti csillapodása szempontjából a legrosszabb forgatókönyv az, ha a Detrekői várdomb legmagasabb magasságát (380 m) vesszük figyelembe. (A várdomb legmagasabb pontja horizontálisan 150–200 m-re van a Detrekői-zsombolytól keleti irányban.) A barlang bejárata és a várdomb legmagasabb pontja között  $380 - 270 = 110$  m a magasságkülönbség. Ha figyelembe vesszük a barlang mélységét is (kb. 60–65 m) akkor a legrosszabb forgatókönyv szerint azt mondhatjuk, hogy kb.  $175 (= 110 + 65)$  m mészkőréteg van a vizsgált barlang fölött.

Mindezekből következően a Detrekői-zsomboly esetén a barlang felszínétől számított mélysége biztosan nem több, mint 175 m. A barlang mélységének megállapításánál nemcsak a barlang vertikális metszetét (7b. ábra) vettük figyelembe (lásd, előző bekezdések), hanem a barlang elhelyezkedését is a hegyben.

Amennyiben ismerjük a barlang mélységét, akkor a következő lépés a rengéshullámok mélység szerinti csillapodásának megállapítása a szakirodalomban megtalálható mérési eredmények alapján, mivel jelenleg nem áll módunkban a csillapodás *in situ* mérése. Az elsődleges szakirodalom, amelyet a mélység szerinti csillapodás megállapítására felhasználtunk az Shimizu et al. (1996) munkája volt. A szerzők 7 szeizmográfot telepítettek a Kamaishi bánya négy különböző mélységében. Ezek közül az egyiket a felszínhez

közel helyezték el, a maradék 6 műszer közül egy másikat pedig közvetlenül ez alatt a műszer alatt, 140 m mélységben. Ezek a műszerek 211 földrengést regisztráltak a 20–120 km epicentrális távolságban. Az említett cikk egyik ábrája a regisztrátumok maximális amplitúdóinak arányait mutatja be a különböző hullámkomponensek szerint. A mérések alapján az említett, 2 egymás alatt elhelyezkedő szeizmográf esetén a földrengéshullámok amplitúdói negyed- vagy fele részükre csillapodtak le 140 m mélységben a felszíni értékekhez képest. Természetesen ez a mérési eredmény csak egy átlagos csillapodási tendenciát mutat. A csillapodási értékek megállapításához felhasználtuk még Hu and Xie (2004) és Iwasaki et al. (1977) munkáit is, amelyekben a csillapodás értékére alapközetben és azonos mélységben enyhébb mértékű csillapodási értékeket jegyeztek fel, mint Shimizu és szerzőtársai (1996). Ezekben a tanulmányokban a felszíni hullámamplitúdók átlagosan kétharmadukra vagy fele értékükre csökkentek 150 m-es mélységben.

Mindezekből következően a barlangban megállapított kritikus horizontális gyorsulás értékeit 2,5–3-szorosukra növeltük abból a célból, hogy megállapítsuk, mekkora kritikus horizontális talajgyorsulásra van szükségünk a felszínen ahhoz, hogy az a talajgyorsulás a mélységgel lecsökkenve a barlangban eltörje a sérülékeny álló cseppkövünket. A felszínen és a barlangban szükséges kritikus horizontális talajgyorsulás értékeit a múltba visszamenőlegesen is a 8. ábrán mutatjuk be.



**8. ábra** A sértetlen, de sérülékeny 4 m magas Detrekői-zsombolyban álló, gyertyaszál alakú cseppkő részletes vizsgálatával megkonstruált küszöbértékek a kritikus horizontális talajgyorsulásra vonatkozóan. A két görbe a felszíni (piros) és a barlangbéli (kék) kritikus értékeket mutatja. A horizontális skála a cseppkő múltbeli magasságait és a múltba visszamenőleges időt jelöli. A 0 idő a jelent jelzi. A kék sáv a mélységi csillapodás bizonytalanságát mutatja. A vertikális tengelyen a gyorsulásértékek mérhetőek le. A piros görbe feletti terület reprezentálja azokat a gyorsulásértékeket, amelyeknek hatására a cseppkő már biztosan eltört volna. 100, 1500 és 2500 éveknél olyan valós és feltételezett földrengéseményeket jelöltünk, melyek a Detrekői-zsomboly környezetében pattantak ki

**Figure 8** Constraint on critical horizontal ground acceleration (CHGA) at the surface and in the cave provided by the height of IVSTM (as a linear function of the time going back into the past) and provided by the depth of the cave. The arrows show the assumed and real moderate size or large earthquakes occurred in the past (the uncertainty of the 3× multiplied curve – the critical horizontal ground acceleration at the surface – is the difference between the 2.5× multiplied curve and the 3× multiplied curve, blue territory)



A 8. ábráról leolvasható, hogy kb. 500 évvel ezelőtt  $1,10 \text{ m/s}^2$  felszíni kritikus horizontális talajgyorsulás (amely a mélyben, azaz a barlangban kb.  $0,36 \text{ m/s}^2$  értékre lecsökken) törte volna el a sérülékeny álló cseppkövünket, de mivel a cseppkö jelenleg is sértetlenül ott áll a Detrekői-zsombolyban, így ekkora gyorsulásértéket a barlang környezetében kipattanó közepes erejű rengések nem okozhattak az elmúlt 500 évben. Ez a  $1,10 \text{ m/s}^2$  érték egy felső küszöbszámnak tekinthető az elmúlt 500 évre vonatkozólag. A görbéről az is leolvasható, hogy a jókői rengés idején a horizontális talajmozgás a felszínen nem lehetett nagyobb  $1,02 \text{ m/s}^2$ -nél, a feltételezett carnuntumbeli rengés idején pedig  $1,34 \text{ m/s}^2$ -nél.

## 8. A jókői földrengés (Dobra Voda földrengés, 1906. január 9., 23:05 GMT)

A Detrekői-zsomboly tágabb környezetében (60–70 km) feltételezik a közepes és nagy paleo- (a Bécsi-medence normál vetőíhez – VBTF system – kapcsolódó földrengések, Hintersberger and Decker 2013, 2014) és a pre-historikus rengések (mint pl. a valamikori Carnuntum, római légió lakóhelyének környékén időszámításunk előtt, nem előbb, mint K.u. 340 idején feltételezhetően keletkezett rengés, Decker et al. 2006) kipattanását. Ezeknek a rengéseknek a vizsgált sztalagmitra gyakorolt hatása egy nagyobb összehasonlító, a körülményeket (pl. helyi viszonyok, távolság szerinti csillapodás – GMPE) részletesebben figyelembe vevő vizsgálatot kívánna meg, amely meghaladja jelen cikkünk terjedelmét. Jelen cikkben csak a jókői földrengésnek (1906. január 09., GMT) a vizsgált cseppköre gyakorolt hatásait követjük nyomon, mivel céljainknak ez felel meg legjobban (jól és részletesen dokumentált, a vizsgált területen nagynak számító esemény) a Detrekői-zsomboly közvetlen környezetében.

1906. január 10-én (helyi idő szerint) egy 5,7-es erősségű (magnitúdójú) földrengés pattant ki a Detrekői-zsombolytól körülbelül 20 km-re ÉK-re. A rengés epicentruma Jókón volt (ma Dobra Voda). 1906. január 16-án, tehát 6 nappal később egy újabb közepes erősségű rengés pattant ki, amelynek magnitúdója 5,3 volt. A második rengés kevésbé volt romboló hatású, mint az első. Ez a két ismert történelmi rengés volt a két legnagyobb, amely jelenlegi ismereteink szerint a barlang környezetében valaha kipattanott. A 9. ábrán látható az első rengés történelmi izoszeisztatérképének a központi részlete (Réthly 1907). Ez a térkép a történelmi Forel–Mercalli-skála felhasználásával ábrázolja a károk mértékét.

A rengés epicentrális intenzitása ( $I_0 =$ ) IX° volt a Forel–Mercalli-skála szerint (Réthly 1907). Zsíros (2005) újraértékelte a földrengés hatását, de már az EMS-98-as skálán. Zsíros (2005) az újraértékeléshez minden, a földrengésről rendelkezésre álló információt felhasznált. Ő  $I_0 =$  VIII° értéket állapított meg (az EMS-98-as skálán). A földrengés hatásának makroszeizmikus módszerrel történt becslési

eredményét (makroszeizmikus intenzitásérték,  $I_n$ ) a Detrekői-zsomboly környezetében két településen is lejegyezték, Detrekőn és Széleskúton (9. ábra). (Megjegyzendő, hogy Detrekő Detrekőszentpéter néven, Széleskút pedig Pozsonyszéleskút néven szerepel Réthly éves beszámolójában (Réthly 1907).) Réthly (1907) szerint az érzékelt intenzitás Detrekőn  $I_n =$  IX°, Széleskúton pedig  $I_n =$  VII° volt a Forel–Mercalli-skálán.

Réthly (1907) feljegyezte, hogy: „A VIII°-as erősségű terület 1620 km<sup>2</sup>, tehát négyszerte nagyobb, mint az epicentrumot körülvevő főrengési terület, mely közepén keresztben helyezkedik el, és nyugaton igen közel érnek egymáshoz az izoszeiszták ami a földrengés erejének ez irányban történt gyorsabb csökkenésére mutat.” Néhány mondatnál később, pedig ezt írja: „Nyugot felé a VII° és IX° erősségek között nem lehetett a VIII° erősségű az izoszeisztát pontosan elhelyezni, mert a *Kiskárpátok* ezen lejtőjén, ahol legerősebb volt a pusztítás igen rohamosan csökkent a rengés erőssége.”

Míndezekből arra lehet következtetni, hogy a földrengés károkozó hatásának gyors csökkenése talán a hegyvonulat által befolyásolt heterogén felszín alatti szerkezettel vagy a topográfia kellette esetleges szóródással van összefüggésben.

Az általunk vizsgált barlang, a Detrekői-zsomboly, emiatt fontos itt megjegyeznünk, hogy a Detrekői-zsomboly DNY-ra van a jókői rengés hipocentrumától, és a Kis-Kárpátok vonulata a jókői rengés hipocentruma és a Detrekői-zsomboly között helyezkedik el.

Zsíros (2005) újraértékelte az EMS-98-as skálán a Réthly által korábban megállapított intenzitásértékeket. Detrekőre  $I_n =$  VII°-et, Széleskútra pedig  $I_n =$  V° intenzitásértéket becsült. (Detrekőszentpéter körülbelül 6,5 km-re ÉK-re, Pozsonyszéleskút pedig 3 km-re DNY-ra található a barlangtól.)

Figyelembe véve Zsíros (2005) eredményét és a barlang elhelyezkedését Detrekő és Széleskút települések között a Detrekői-zsomboly területére vonatkozólag, a VI°-os intenzitás valószínűbb, mint a VII°-es intenzitás (az EMS-98-as skálán). Az így becsült EMS-98 intenzitásérték (VI°) összhangban van a jelen kutatásunk eredményeivel, amely a Detrekői-zsomboly egy állócseppkövével foglalkozik. Kutatásunk egyik eredménye, hogy abban az időben (1906-ban) a kritikus horizontális talajgyorsulás nem haladhatta meg a  $0,34 \text{ m/s}^2$  értéket a barlangban. A felszíni kritikus horizontális gyorsulás értékének kiszámításához ezt az értéket meg kell szoroznunk 2,5-tel vagy 3-mal, amiből 0,85 és  $1,02 \text{ m/s}^2$  értékek adódnak (8. ábra). A felszínmozgás csúcserkéi 0,25 és  $0,50 \text{ m/s}^2$  értékek közé esnek Bisztricsány (1974) szerint VI° intenzitás esetében az MSK skálán. Grünthal és szerzőtársai (1998) megállították, hogy „a legtöbb esetben nem ütközik nehézségbe az MSK-értékek és EMS értékek konvertálása MSK = EMS rendszerbe”. Ez azt jelenti, hogy az állócseppkövünk nem törhetett el a jókői rengés hatására (mivel  $0,5 < 0,85$ ). (A most felvázolt gondolkodás során levezetett eredményt – nevezetesen, hogy a vizsgált barlang környezetében nem kelet-

kezhetett a cseppkő eltöréséhez szükséges horizontális talajmozgásnál nagyobb érték – tovább erősíti az az ismeret is, hogy a makroszeizmikus izoszeizmatérképeket a lakosság által észlelt talajmozgási tapasztalatok alapján rajzolták meg. Továbbá mivel a lakosság ezen a területen a völgyekben lakik, így csak a völgyekben lévő üledék gyorsulásnövelő hatásával felerősített talajmozgást tudták érzékelni (míg a barlangban lévő vizsgált cseppkövünk üledékmentes szilárd kőzetre vonatkozólag „méri” a talajgyorsulásokat), azaz a makroszeizmikus intenzitástérképek által megállapítható gyorsulásoknál biztosan kisebbek keletkeztek a barlang közvetlen környezetében, a barlang fölött található sziklás kőzetréteg felszíni részén.)

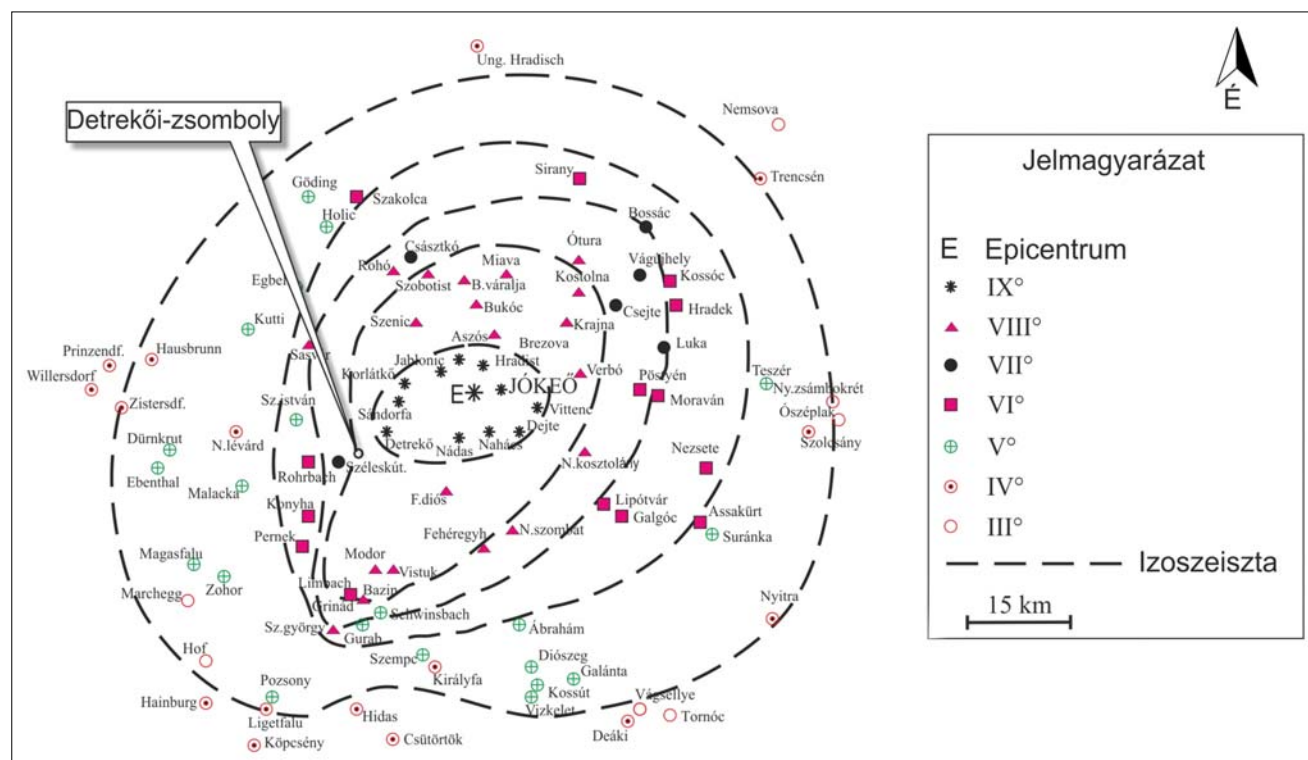
A jókői rengés izoszeizmatérképeinek tanulmányozásakor észrevehetjük, hogy a jókői rengés hatása VI–VII° lehetett az EMS-98 skálán azon a területen, ahol napjainkban a bohunicei atomerómű áll. Az atomerómű, amely ma a valamikori Apátszentmihály községben található, Felsődiósd és Kosztolány községek között helyezkedik el (a korábbi elnevezést használva, lásd a 9. ábrát, ma ezeknek a községeknek a neve Horné Orešany és Velké Kostolany). Az atomerómű 17 km-re van az epicentrumtól. A jókői rengés hatása  $\Delta$  (= VIII°) volt a Forel–Mercalli-skálán mindkét községben. Az EMS-98 skála szerinti intenzitások, amelyet Zsíros (2005) újraértékelte,  $I_n$  = VI–VII° volt mindkét község (Felsődiósd és Kosztolány) esetén. Ez azt

jelenti, hogy az atomerómű építési helyszínén annak idején a jókői rengés romboló hatása nagyobb lehetett, mint a Detrekői-zsomboly területén.

## 9. Következtetések

A Detrekői-zsombolyban álló, speciális alakú (gyertyaszál formájú, azaz magas, nyúlánk, nagy magasság-átmérő aránnyal rendelkező és hengeres alakú), sértetlen, de sérülékeny állócseppkővet vizsgáltunk (IVSTM) abból a célból, hogy a történelmi földrengés-katalógus előtti időkből származó rengések által keltett horizontális talajgyorsulás értékeire vonatkozólag felső határértéket tudjunk megállapítani. A gyertyaszál alakú cseppkövek akár több ezer éven keresztül is túlélték a fejlődésük során keletkezett rengések hatásait, ami nem jelent mást mint, hogy a horizontális talajgyorsulás nem haladhatott meg egy bizonyos kritikus értéket az idő alatt (hiszen máskülönben a cseppkő eltört volna) ameddig fejlődtek.

A mi mostani első eredményünk a szlovákiai Kis-Kárpátokban található barlang (Detrekői-zsomboly) egyetlen sértetlen, de sérülékeny cseppkövének (IVSTM) részletes tanulmányozása alapján született (kivéve, hogy a kor meghatározási eredmények nem abból a cseppkőből, hanem egy oszlopcseppkőből valók).



**9. ábra** A helyi idő szerint 1906. január 10-én kipattant jókői rengés izoszeizmatérképeinek központi része. Az intenzitásértékek Forel–Merkalli-skála szerint értendőek (Réthly 1907). A térképre bejelöltük a Detrekői-zsomboly elhelyezkedését is. Az ábra jobb oldalán az izoszeizmatérképen szereplő szimbólumok intenzitásskála szerinti értékeit ábrázoltuk Réthly (1907) alapján

**Figure 9** Central part of historical isoseismal map of the Dobra Voda (Jókő) earthquake which occurred on 10 January 1906, 00:05 (local time) on the Forel–Mercalli scale (Réthly 1907) and the location of Plavecka priepast cave. At the right hand side there are the original legend of the map, and its English translation

A barlangban, az *in situ* mérések során megállapítottuk az IVSTM méreteit és regisztráltuk a cseppkő rezgését. A helyszínen regisztrált rezgést később elemeztük, és megállapítottuk a cseppkő sajátfrekvenciáját és a sajátfrekvenciája felharmónikusait.

A barlangban gyűjtött törött cseppkődarabok töréssűrűségét, sűrűségét és rugamassági paramétereit geomechanikai laboratóriumban határoztuk meg.

Egy egyszerű mechanikai modell felhasználásával, továbbá a cseppkő méretadatai és a geomechanikai vizsgálatok eredményei alapján kiszámítottuk a cseppkő elméleti sajátfrekvenciáját, annak felharmónikusait és a cseppkő törését okozó horizontális talajgyorsulást.

Kimutattuk, hogy a helyszíni, barlangi sajátfrekvenciáméréseink eredményei (2,3 Hz) összhangban vannak az elméleti számításainkkal (3 Hz).

Az egyszerű statikus törési esetet vizsgáló eredményeink, melyek a laboratóriumi geomechanikai és rugalmassági mérések és a helyszíni méretvizsgálatokon alapulnak, azt mutatják, hogy ez az állócseppkő jelenlegi formájában még alacsony horizontális gyorsulás esetén is eltörne (a kiszámított kritikus horizontális gyorsulás értéke  $<0,33 \text{ m/s}^2$  a barlangban és  $<0,99 \text{ m/s}^2$  a felszínen). A számításaink eredményezte alacsony talajgyorsulás-értéket még akár egy gyenge közepes méretű rengés is okozhat. Figyelembe véve, hogy a számított sajátfrekvencia-érték majdnem azonos a mért értékkel, ezért a számított törést okozó horizontális talajgyorsulást is megbízhatónak tekinthetjük.

MC-ICP MS kormeghatározási módszerrel megállapítottuk egy, a vizsgált cseppkővel azonos cseppkőteremben álló cseppkőoszlop korát és növekedési sebességét. A cseppkőoszlopból 2 különböző magasságban vettünk magmintákat. A kormeghatározási eredmények szerint a cseppkő a növekedését kb. 10,5 ezer évvel ezelőtt kezdte el, a növekedési sebessége pedig átlagosan  $1 \text{ mm} / 3 \text{ év}$  körüli, ami meglehetősen gyors cseppkőnövekedésnek tekinthető.

A Detrekői-zsomboly legalább 4 m magas sértetlen állócseppkövének (IVSTM) segítségével kritikus horizontális talajgyorsulásra vonatkozó értékeket (CHGA) tudunk megállapítani időben visszafelé akár több ezer évre vonatkozóan is. Abban az esetben, ha megfelelően pontos, a helyi adottságokat jól tükröző GMPE-összefüggést tudnánk alkotni a Bécsi-medencében terjedő hullámok távolság szerinti csillapodására, akkor az IVSTM-et fel tudnánk használni feltételezett több ezer évvel ezelőtt kipattant rengések megerősítésére vagy cáfolatára (ilyenek pl. a Carnuntumi rengés, nem előbb, mint K.u. 340 vagy a VBTF system törésvonalain kipattant paleorengések) is.

Az általunk most bemutatott technika fontos megszorításokat tud adni a barlang környezetének szeizmikus veszélyeztetettségére vonatkozólag, hiszen a közelben lévő törésvonalakon az elmúlt néhány ezer évben nem generálódhattak olyan nagy paleorengések, amelyek az IVSTM vizsgálatának eredményeképpen megállapított kritikus horizontális talajgyorsulás értékeinél nagyobbakat produkáltak volna.

Az 1906-os jókői föregés hatásával összehasonlítottuk az IVSTM szolgáltatta kritikus horizontális talajgyorsulás értékét. Megmutattuk, hogy az IVSTM szolgáltatta kritikus horizontális talajgyorsulás értéke – amely meglehetősen alacsony érték – összhangban áll a barlang környezetében kipattant jókői rengésnek a barlang környezetére megállapított intenzitásával.

Igaz, hogy a cikkben megállapított, a horizontális talajgyorsulásra vonatkozó határértékek térben tekintve csak pontszerű információt szolgáltatnak, de ennek ellenére ezek az új információk értékesek, hiszen olyan régmúlt korok földrengés-tevékenységéről adnak felvilágosítást, amelyekről a rendelkezésre álló katalógusokból nincsenek ismereteink. Az itt közölt új eredmények igen fontosak, amikor a Detrekői-zsomboly közelében elhelyezkedő törésvonalak (Mur-Mürz–Bécsi-medence–Zilina-vonal) vagy a Bécsi-medencebeli normál vetők szeizmikus potenciálját szeretnénk megállapítani. Tanulmányunknak különösen nagy jelentősége lehet a két közeli főváros, Bécs és Pozsony földrengés-veszélyeztetettségének megállapítása során is.

### Köszönetnyilvánítás

A Detrekői-zsombolyban végzett terepi méréseinket egyrészt az Osztrák Kutatási Cserealap (Österreichischer Austauschdienst, No. ICM-2012-00497), másrészt a Bécsi Tudományegyetem Meteorológiai és Geofizikai Tanszéke finanszírozta.

Nagy köszönettel tartozunk mindazoknak a barlangászoknak, akik a terepi méréseinkben segédkeztek. Ők név szerint a következő személyek voltak: Kovács Ferenc (magyar barlangász túravezető), Stanik Pavel (Szlovák Barlangászati Felügyelet), Magdolen Peter, Velsmid Marek (ők ketten a helyi barlangászati szervezettől voltak).

Néhány ábra elkészítéséhez a GMT (Wessel and Smith, 1998), és az OBSPY programokat (Beyreuther et al. 2010) használtuk.

Köszönjük Zsíros Tibornak, hogy megosztotta velük tapasztalatait a jókői föregést illetően! Ez a dolgozat nem jöhetett volna létre a Jerg Zoltán által összegyűjtött barlangászati szakirodalom és annak szlovák nyelvből történő lefordítása nélkül, amelyet szintén ő végzett el.

### A tanulmány szerzői

Gribovszki Katalin, Kovács Károly, Mónus Péter, Bokelmann Götz, Konecny Pavel, Lednická Marketa, Moseley Gina, Edwards R. Lawrence, Spötl Cristoph, Bednárík Martin, Brimich Ladislav, Tóth László, Hegymegi Erika, Kegyes-Brassai Csaba, Szeidovitz Győző

### Hivatkozások

Becker A., Davenport C. A., Eichenberger U., Gilli E., Jeannin P.-Y., Lacave C. (2006): Speleoseismology: a critical perspective. *J Seismol.* 10, 371–388  
 Bednárík M. (2009): Seismometric portrayal of calcite tubular stalactites. PhD theses. Geophysical Institute, Slovak Academy of Sciences, 146 p.

- Beyreuther M., Barsch R., Krischer L., Megies T., Behr Y., Waserermann J. (2010): ObsPy: A Python Toolbox for Seismology. *SRL* 81/3, 530–533, DOI: 10.1785/gssrl.81.3.530
- Bisztricsány E. (1974): *Mérnökseizmológia*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 216 p.
- Butáš J. (2003): Plavecká priepast' PP-2. *Spravodaj Slovenskej speleologickej spoločnosti*. Bulletin of Slovak Speleological Society 34/1, 35–38 (in Slovak)
- Butáš J. (2005): Plavecká Abyss PP-2. Bulletin of Slovak Speleological Society, special edition, Proceedings of 14th Speleological Congress UIS in Greece, pp. 48–50
- Cadorin J., Jongmans D., Plumier A., Camelbeeck T., Delaby S., Quinif Y. (2001): Modelling of speleothems failure in the Hottentot cave (Belgium). Is the failure earthquake induced? *Netherlands Journal of Geosciences* 80/3–4, 315–321
- Cheng H., Edwards R. L., Shen C.-C., Polyak V. J., Asmerom Y., Woodhead J., Hellstrom J., Wang Y. J., Kong X. G., Spötl C., Wang X. F., Alexander E. C. (2013): Improvements in Th-230 dating, Th-230 and U-234 half-life values, and U-Th isotopic measurements by multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry. *Earth Planet. Sci. Lett.* 371, 82–91
- Danciu L., Woessner J., Giardini D., SHARE Consortium (2013): A community-based probabilistic seismic hazard model for the European region. Proceedings of the Vienna Congress on Recent Advanced in Earthquake Engineering and Structural Dynamics & 13. D-A-CH Tagung, Vienna, No. 496
- Decker K., Gangl G., Kandler M. (2006): The earthquake of Carnuntum in the fourth century A.D. – archaeological results, seismologic scenario and seismotectonic implications for the Vienna Basin fault, Austria. *J. Seismology* 10, 479–495
- Delaby S. (2001): Paleoseismic investigations in Belgian caves. *Netherlands J. Geosci.* 80/3–4, 323–332
- Dreybrodt W., Romanov D. (2008): Regular stalagmites: Theory behind their shape. *Acta Carsologica* 37/2–3, 175–184
- Fairchild J., Baker A. (2012): *Speleothem Science: From Process to Past Environments*. Wiley-Blackwell, 416 p.
- Forti P. (2001): Biogenic speleothems: An overview. *International Journal of Speleology* 30A/1, 39–56
- Forti P., Postpischl D. (1984): Seismotectonic and paleoseismic analyses using karst sediments. *Marine Geology* 55, 145–161
- Forti P., Postpischl D. (1988): Seismotectonics and radiometric dating of karst sediments. Proceedings of Hist Seismicity of Central-eastern Mediterranean Region, ENEA, Roma, pp. 312–322
- Giardini D., Woessner J., Danciu L., Valensise G., Grünthal G., Cotton F., Akkar S., Basili R., Stucchi M., Rovida A., Stromeyer D., Arvidsson R., Meletti F., Musson R., Sesetyan R. K., Demircioglu M. B., Crowley H., Pinho R., Pitilakis K., Douglas J., Fonseca J., Erdik M., Campos-Costa A., Glavatic B., Makropoulos K., Lindholm C., Cameelbeeck T. (2013): Seismic Hazard Harmonization in Europe (SHARE): Online Data Resource, doi: 10.12686/SED-00000001-SHARE.
- Gribovszki K., Paskaleva L., Kostov K., Varga P., Nikolov G. (2008): Estimating an upper limit on prehistoric peak ground acceleration using the parameters of intact speleothems in caves in southwestern Bulgaria. In: Zaicenco A., Craifaleanu I., Paskaleva I. (eds), *Harmonization of Seismic Hazard in Vrancea Zone with Special Emphasis on Seismic risk Reduction (NATO Science for Peace and Security, Series C: Environmental Security)* Dordrecht: Springer Verlag, 347 p. (ISBN: 978-1-4020-9241-1), pp. 287–308
- Gribovszki K., Bokelmann G., Szeidovitz Gy., Varga P., Paskaleva I., Brimich L., Kovacs K. (2013): Comprehensive investigation of intact, vulnerable stalagmites to estimate an upper limit on prehistoric ground acceleration. Proceedings of the Vienna Congress on Recent Advanced in Earthquake Engineering and Structural Dynamics & 13. D-A-CH Tagung, Vienna, No. 445
- Gribovszki K., Kovács K., Mónus P., Chuan-Chou Shen, Török Á., Brimich L. (2013a): Estimation of an upper limit on prehistoric peak ground acceleration using the parameters of intact stalagmites and the mechanical properties of broken stalagmites in Domica cave, Slovakia. *Slovensky kras. Acta Carsologica Slovaca* 51/1, 5–14
- Gribovszki K., Bokelmann G., Mónus P., Kovács K., Kalmár J. (2016): Constraints on Long-Term Seismic Hazard From Vulnerable Stalagmites for the surroundings of Katerloch cave, Austria. EGU General Assembly, Geophysical Research Abstracts, 18, EGU2016-9267
- Gribovszki K., Kovács K., Mónus P., Bokelmann G., Konecny P., Lednická M., Moseley G., Spötl C., Edwards R. L., Bednárík M., Brimich L., Tóth L. (2017): Estimating the upper limit of prehistoric peak ground acceleration using an in-situ, intact and vulnerable stalagmite from Plavecká priepast' cave (Detrekői-zsomboly), Little Carpathians, Slovakia – first results. *Journal of Seismology* 21/5, 1111–1130, DOI: 10.1007/s10950-017-9655-3
- Grünthal G. (ed.) (1998): *European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98)*. Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie 15, Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Luxembourg, 99 p.
- Hintersberger E., Decker K., Lomax J., Fiebig M., Lüthgens C. (2013): Fault linkage model of strike-slip and normal faults in the Vienna Basin based on paleoseismological constraints. EGU General Assembly, Geophysical Research Abstracts, 15, EGU2013-12755
- Hintersberger E., Decker K. (2014): A seismic gap at the central Vienna Basin Transfer Fault (Vienna Basin, Austria)? EGU General Assembly, Geophysical Research Abstracts, 16, EGU2014-14737
- Horváth F., Bada G., Windhoffer G., Csontos L., Dövényi P., Fodor L., Grenerczy Gy., Síkhegyi F., Szafián P., Székely B., Timár G., Tóth L., Tóth T. (2004): *Atlas of the present-day geodynamics of the Pannonian Basin: Euroconform maps with explanatory text*
- Hu J., Xie L. (2004): Variation of earthquake ground motion with depth. *Acta Seismologica Sinica* 18/1, 72–81
- Iwasaki T., Wakabayashi S., Tatsuoka F. (1977): Characteristics of underground seismic motions at four sites around Tokyo Bay. In: Lew H. S. (ed.), *Wind and seismic effects*, Proceedings of the Eighth Joint Panel Conference of the U. S. – Japan Cooperative Program in Natural Resources, Nat. Bur. Stand. (U.S.), Spec. Publ. 477, U.S. Government Printing Office, Washington, III-41 – III-56.
- Kagan E. J., Agnon A., Bar-Matthews M., Ayalon A. (2005): Dating large infrequent earthquakes by damaged cave deposits. *Geology* 33, 261–264
- Kaufmann G. (2003): Stalagmite growth and palaeo-climate: the numerical perspective. *EPSL* 214, 251–266
- Konecny P., Lednická M., Soucek K., Stas L., Kubina L., Gribovszki K. (2015): Determination of dynamic Young's modulus of vulnerable speleothems. *Acta Montanistica Slovaca* 20/2, 156–163 (ISSN 13351788)
- Kong S., Zhou S., Nie Z., Wang K. (2008): The size-dependent natural frequency of Bernoulli–Euler micro-beams. *International Journal of Engineering Science* 46/5, 427–437

- Lacave C., Levret A., Koller M. (2000): Measurements of natural frequencies and damping of speleothems. Proc. of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New-Zealand, No. 2118.
- Lacave C., Koller M. G., Egozcue J. J. (2004): What can be concluded about seismic history from broken and unbroken speleothems? Journal of Earthquake Engineering 8/3, 431–455
- Nováková L., Sosna K., Broz M., Najser J., Novak P. (2011): Geomechanical parameters of the podlesi granites and their relationship to seismic velocities. Acta Geodyn. Geomater. 8/163, 353–369
- Paskaleva I., Szeidovitz G., Kostov K., Koleva G., Nikolov G., Gribovszki K., Czifra T. (2006): Calculating the peak ground horizontal acceleration generated by paleoearthquakes from failure tensile stress of speleothems. Proc. of International Conference on Civil Engineering Design and Construction, Varna, Bulgaria, pp. 281–286
- Paskaleva I., Gribovszki K., Kostov K., Varga P., Nikolov G. (2008): Peak ground acceleration assessment using the parameters of intact speleothems in caves situated in NW and SW Bulgaria. Proc. of International Conference on Civil Engineering Design and Construction, Varna, Bulgaria, pp. 249–264
- Réthly A (1907): Az 1906. évi magyarországi földrengések (Earthquakes occurred in Hungary in 1906, in Hungarian), Országos Meteorológiai és Földmágnességi Intézet, Budapest, 204 p.
- Shen C.-C., Wu C.-C., Cheng H., Edwards R. L., Hsieh Y.-T., Gallet S., Chang C.-C., Li T.-Y., Lam D. D., Kano A., Hori M., Spötl C. (2012): High-precision and high-resolution carbonate  $^{230}\text{Th}$  dating by MC-ICP-MS with SEM protocols. Geochim. Cosmochim. Acta 99, 71–86
- Shimizu I., Osawa H., Seo T., Yasuike S., Sasaki S. (1996): Earthquake-related ground motion and groundwater pressure change at the Kamaishi Mine. Engineering Geology 43, 107–118
- Šmída B. (2010): Geomorfológia a genéza Plaveckého krasu ako modelového územia tzv. kontaktného krasu Západných Karpát s nižšou energiou reliéfortvorby. (Geomorphology and formation of Detrekő karst) Dizertačná práca, Katedra fyzickej geografie a geoekológie, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislave, 220 p. (in Slovak)
- Szeidovitz Gy., Leél-Őssy S., Surányi G., Czifra T., Gribovszki K. (2005): Paleorengések által gerjesztett maximális horizontális gyorsulásamplitúdók számítása cseppkövek törőszilárdságának ismeretében. Magyar Geofizika 46, 91–101
- Szeidovitz Gy., Paskaleva I., Gribovszki K., Kostov K., Surányi G., Varga Z., Nikolov G. (2008): Estimation of an upper limit on prehistoric peak ground acceleration using the parameters of intact speleothems in caves situated at the western part of Balkan Mountain Range. Acta Geod. Geoph. Hung. 43, 249–266
- Szeidovitz Gy., Surányi G., Gribovszki K., Bus Z., Leél-Őssy S., Varga Z. (2008a): Estimation of an upper limit on prehistoric peak ground acceleration using the parameters of intact speleothems in Hungarian caves. Journal of Seismology 12, 21–33
- Tóth L., Mónus P., Zsíros T., Bondár I., Bus Z., Kosztyu Z., Kiszely M., Wéber Z., Czifra T. (1996–2014): Hungarian Earthquake Bulletin, 1995–2014. MTA GGKI és Georisk Kft., Budapest
- Zsíros T. (2000): The seismicity and earthquake hazard of the Pannonian basin: Hungarian Earthquake Catalog (456–1995, in Hungarian), MTA GGKI Szeizmológiai Observatórium, 482 p.
- Zsíros T. (2005): Seismicity of the Western-Carpathians. Acta Geod. Geophys. Hung. 40/3–4, 455–467

# Az MIT Geofizikai Adatfeldolgozó Csoportjának tevékenysége a kezdetektől 1954-ig\*

ROBINSON, E. A.

8 Dorothy Lucey Drive, Newburyport, Massachusetts 01950, USA

A digitális jelfeldolgozás kezdeti időszaka az 1950-tól 1954-ig terjedő évekre tehető. Enders A. Robinson 1951-ben állt elő az ökonometrikus modell felhasználásával kidolgozott dekonvolúciós módszerrel, amelyet 32 szeizmikus csatornán ellenőrzött. Szakmai tanácsadói Norbert Wiener, George Wadsworth, Paul Samuelson és Robert Solow professzorok voltak. Munkájára alapozva az MIT (Massachusetts Institute of Technology) elnöki hivatala 1952-ben a Geológiai és Geofizikai Tanszéken belül létrehozta és szponzorálta a Geofizikai Adatfeldolgozó Csoportot (Geophysical Analysis Group, GAG). A GAG szervezetét a digitális adatfeldolgozás kutatási területén dolgozó végzett hallgatók alkották. 1953-ban olajipari és geofizikai vállalatokból álló társulás vállalta magára a szponzorálást. A GAG eleinte az MIT Whirlwind számítógépét használta. A társulás megnövekedett számítási igényének kielégítése céljából 1953-ban a Raytheon iparvállalat számítógépes részlegének közreműködését vették igénybe. A Raytheon szakembereinek sorában kulcsszerepet játszott Richard Clippinger, Bernard Dimsdale és Joseph H. Levin, akik korábban ott voltak a világ első elektronikus digitális számítógépénél, az ENIAC-nál. Az ENIAC eredeti felépítésében nem használt memóriában tárolt programokat, mint a modern számítógépek, ehelyett a programozást az alkatrészek áthuzalozásával végezték minden új feladat teljesítéséhez. 1948-ban Clippinger feladata volt az ENIAC átalakítása a világ első tárolt programú számítógépévé. Az átalakításban Neumann János professzor tanácsadóként vett részt a Felsőfokú Tanulmányok Intézete részéről.

A Raytheon a GAG munkájához 1953-ban a brit Ferranti Mark 1-es számítógépet alkalmazta (ez kereskedelmi változata volt a Manchester Mark 1-es számítógépnek, amelyben Alan Turing játszott kulcsszerepet). Ezt a gépet a Torontói Egyetemen helyezték üzembe a Szent Lőrinc hajóút tervezésének támogatásához. A Raytheon bosszantották a számítógép gyakori leállásai, de ennek ellenére többszáz szeizmikus dekonvolúciót végeztek el az 1953 nyarán megtartott GAG-találkozóra. A társulás elégedett volt a geofizikai eredményekkel, kedvét szegte azonban a digitális technológia akkori állapotának megbízhatatlansága. Emiatt utasították a GAG-ot, hogy keressen analóg megoldásokat a dekonvolúció elvégzésére. A GAG viszont úgy találta, hogy az analóg módszerek mindegyike – de különösen az áramkörökkel megvalósított frekvenciaszűrés – elvégezhető digitális jelfeldolgozással. Tény, hogy a digitális eljárás nagyobb pontosságot szolgáltatott, mint az analóg módszer. Az 1954-es tavaszi GAG-találkozón a GAG indítványozta minden analóg eljárás elvetését, helyette a digitális jelfeldolgozás alkalmazását javasolta. A Raytheon jelen volt a találkozáson és felajánlotta a digitális jelfeldolgozáshoz szükséges minden építőelem rendelkezésre bocsátását vagy megépítését, a bemenettől a kimenetig terjedően. Az analóg–digitális átalakítás ekkor még nem volt alkalmazásban. Erre a lépésre az 1960-as évek elején került sor, és az alkalmazott geofizika azzal tűnt ki, hogy a tudományok sorában elsőként hajtotta végre a teljes digitális forradalmat. A digitális feldolgozás a Föld belsejének szeizmikus leképezéseit olyan bámulusok tökéletességével nyújtja, ami a Hubble-teleszkóp által készített csillagképekhez hasonló. (Egyébként a dekonvolúció elsőként a geofizikában alkalmazott digitális módszere tette lehetővé a Hubble-teleszkóp lencséinek digitális korrigálását.)

## Robinson, E. A.: The MIT Geophysical Analysis Group from inception to 1954

The beginning of digital signal processing took place in the years 1950 to 1954. Using an econometric model, E. A. Robinson in 1951 came up with the method of deconvolution, which he tested on 32 seismic traces. Norbert Wiener, George Wadsworth, Paul Samuelson, and Robert Solow were his advisors. On the basis of this work, the MIT president's office in

\* Az alábbi cikket eredetileg a *Geophysics* közölte 2005-ben: *Geophysics* 70(4), 2005 július–augusztus, 7JA–30JA, doi: 10.1190/1.2000287. Tudománytörténeti jelentősége miatt adjuk közre most magyarul is Kovács Béla fordításában. A *Magyar Geofizika* szerkesztőségének köszönetét fejezi ki a *Geophysics* szerkesztőségének a cikk magyarul történő közlésének engedélyezésért.

This paper was published first in English in the journal *Geophysics*, Vol. 70, No. 4, July–August 2005; pp. 7JA–30JA, doi: 10.1190/1.2000287. It is now published in Hungarian as well because of its importance in the history of geophysics. The editors of *Magyar Geofizika (Hungarian Geophysics)* thank very much the permission given by *Geophysics* for the publication of the Hungarian version translated by Béla Kovács.

1952 set up and sponsored the Geophysical Analysis Group (GAG) in the Department of Geology and Geophysics. GAG was made up of graduate students doing research in digital signal processing. In 1953, a consortium of oil and geophysical companies took over the sponsorship. At first, GAG used the MIT Whirlwind digital computer. In order to do the larger amount of computing required by the consortium, the Computer Service Section of Raytheon Manufacturing Company was enlisted in 1953. The Raytheon people who played key roles were Richard Clippinger, Bernard Dimsdale, and Joseph H. Levin, all of whom had worked on ENIAC, the world's first electronic digital computer. As originally built, ENIAC did not use programs stored in memory as does a modern computer; instead, the programming was done by rewiring the physical components for each new problem. In 1948, Clippinger was responsible for converting ENIAC into the world's first operational stored-program computer. ENIAC had 20 accumulators but no other random access memory (RAM). The programs were stored in the function tables, which acted as programmable read-only memory (PROM).

For GAG work in 1953, Raytheon used the British Ferranti Mark 1 computer (which was the commercial version of the Manchester Mark 1 computer, for which Alan Turing played a key role). This computer was installed at the University of Toronto to help in the design of the St. Lawrence Seaway. Raytheon was plagued by frequent breakdowns of the computer but still produced several hundred seismic deconvolutions for the summer GAG meeting in 1953. The consortium was pleased with the geophysical results but was disheartened by the unreliability of the current state of digital technology. As a result, GAG was directed to find analog ways to do deconvolution. Instead, GAG found that all of the analog methods, and in particular, electric frequency filtering, could be done by digital signal processing. In fact, the digital way provided greater accuracy than the analog way. At the spring meeting in 1954, GAG proposed that all analog processing be thrown out and replaced by digital signal processing. Raytheon was at the meeting and offered to obtain or build all the elements required for digital signal processing, from input to output. The conversion to digital was not done at the time. However, that step did happen in the early 1960s, and exploration geophysics has the distinction of being the first science to experience a total digital revolution. Digital processing today provides seismic images of the interior of the Earth so startling that they compare to images of the stars made by the Hubble telescope. (In fact, the digital method of deconvolution first developed in geophysics made possible the digital correction of the lens of the Hubble telescope.)

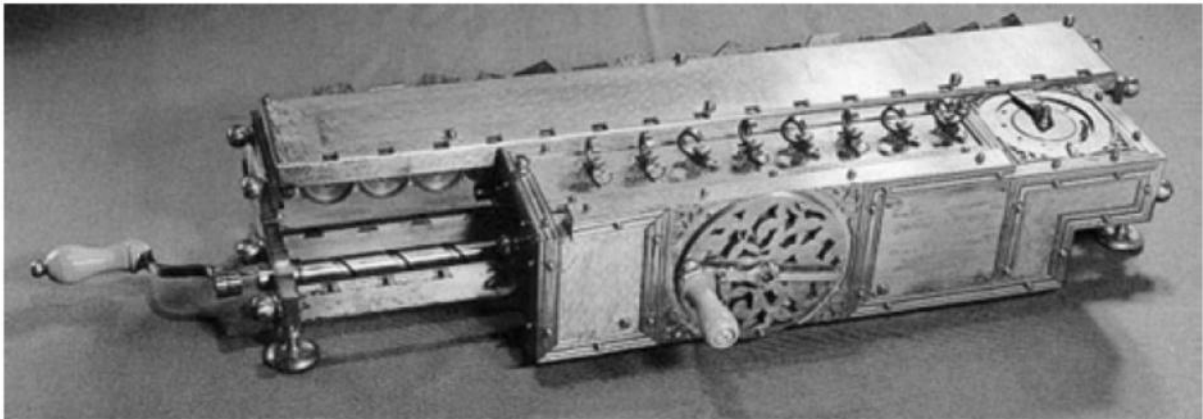
## Bevezetés

Ha az ember új munkahelyre kerül, nehezebbnek tűnik az érvényesülés, mint visszatéréskor. Amikor először tesszük meg az utat, feladatot teljesítünk. Úgy érezzük, hogy ilyenkor lassabban telik az idő, míg visszafelé a már ismert útvonalat járjuk be, és ekkor gyorsabbnak látszik az idő múlása. Idővel változnak az emberek, az érdekek, a körülmények és a prioritások. Ez a történet 50 évre nyúlik vissza, és visszazánézzé úgy tűnik, hogy gyorsan zajlott le és könnyű volt. A valóságban azonban sokáig tartott, és nem is volt olyan könnyű. Senki ne gondolja, hogy a dolgok 1950-ben nagyjából olyanok voltak, mint manapság. A számítógép akkor közelebb állt Pascal, Leibniz, de Colmar és Babbage gépeihez, mint egy mai számítógéphez. A számítógépek 1950 óta többet változtak, mint az 1950 előtti évszázadokban összesen. Gyermekekoromban volt egy elektroncsöves rádiónk, tekintélyes méretű készülék, 90 cm magas, 60 cm széles, 30 cm mély. Engem azonban a kristálydetektoros készülék bűvölt el, amely egy kicsi és könnyű rádióvevő volt. Kristálydetektorát a massachusettsi Amesburyben élő G. W. Pickard alkotta meg, aki 1906. november 20-án szabadalmaztatta a szilícium alkalmazását a detektorokban. Az elektronikában ma a szilícium helyettesíti az elektroncsöveket. Egy 30 grammos számítógépchip a csövek millióit vagy inkább milliárdjait, de lehet, hogy billióit helyettesíti, egy számítógépbe 50 évvel ezelőtt több tonnányi anyagot építettek be. Bizony sok minden másképpen volt akkor. A különbség mértéke nehezen érzékelhető. A fűszerüzletben nem voltak kódleolvasók. Ezek híján a kiszol-

gáló barna papírzacskóra írta fel és adta össze a tételek árait, vagy úgy adta össze a számokat, hogy le sem írta azokat. A középiskola az 1930-as években közelebb állt a száz év előtti iskolákhoz, mint a mai általános iskolákhoz. Az embereknek nem számítógépük, hanem ceruzájuk és tolluk volt. Persze a lúdtoll akkor már nem volt használatban, a fából készült tollszárakban fém tollhegy volt. A tollhegyet néhány szó leírása után tintába mártották, és jaj volt a gyerekeknek, ha pacát ejtett a papíron.

Az MIT-be 1946-ban iratkoztam be. Egyik tanárunk felvette a kérdést az osztálynak: „Ez a Massachusettsi Technológiai Intézet. De mi a technológia?” Válasz nem érkezett. A tanár válaszolt: „Önök fognak technológiát kifejleszteni.” Minden hallgatónak döntenie kellett egy fő tantárgy mellett. Én a matematikát választottam. A matematikát választóknak sok-sok matematikai tanfolyamot kellett elvégezniük, így jól ismertük a matematikatanárokat és ők is minket. D. J. Struik geometriát és matematikatörténetet adott elő. Sok története volt. Beszélt nekünk Blaise Pascalról (1623–1662) és találmányáról, egy mechanikus számológépről. Pascal 19 éves korában, 1642-ben kezdett hozzá a kidolgozásához, és három évvel később már működő gépe volt. A gép tudása a meglehetősen nehezen végezhető összeadásra és a még nehezebben végrehajtható kivonásra korlátozódott.

A szorzás és az osztás képességével a gép nem rendelkezett. Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1769) a számítások mestere volt, de ő is megszerkesztette azt a lépcsős számológépet, amely szintén végzett összeadást és kivonást, de már tudott szorozni és osztani, a gyökvonást pedig lépcsőzetes



1. ábra. Leibniz lépcsős számolója (1674) – számolás új módon

összeadások sorozatával végezte el. Charles Xavier de Colmar (1785–1870) készítette el az első, gyakorlatban is bevált számológépet. Gépe a Leibniz által is alkalmazott lépcsős fogaskerék elvén alapult. Az első szabadalmat erre az eszközre 1820 novemberében jegyezték be. A gép módosultai még 1900 után is gyártásban voltak, és egészen az 1940-es évekig használták őket.

Charles Babbage (1791–1871) 1822-ben kezdett hozzá differenciagépének kidolgozásához. A gép matematikai táblázatok automatikus kiszámítására szolgált. A differenciagép még csak részben készült el, amikor Babbage hozzálátott egy még fejlettebb számológép, az analitikai gép elkészítéséhez. Ez univerzális számológép volt, amely a számítások bármely olyan sorozatát elvégezte, amelyet algoritmusmal le lehetett írni. Alkalmanként megkérdezték Babbagetől: „Ha rossz számokat táplál a gépbe, akkor is jó eredményeket kap?” Az analitikus gép nem a differenciagép koncepciójának logikus továbbfejlesztése volt, hanem egy alapvetően más elképzelés. Ebben már benne volt a modern elektronikus számítógép valamennyi fő alkotórészének és funkciójának megsejtése. Az analitikus gép működését lyukkártyák vezérelték. A kártyákat nem kellett egymás után, változatlan sorrendben betölteni, hanem a kártyasorozatok szükség esetén újra felhasználhatók voltak (ez a programciklus megfelelője), vagy a számítás eredményétől függően feltételes vezérlésátadásra kerülhetett sor. Az analitikus gép sohasem készült el. Ada Byron Lovelace – a legnagyobb brit költő, Lord Byron lánya – tehetséges zenész, nyelvész és matematikus volt. Ő az alábbi szavakkal jellemezte az analitikus gépet: „Az analitikus gép algebrai mintákat sző éppúgy, mint ahogy a Jacquard-féle szövőgép virágokat és leveleket”.

## A differenciálanalizátor

Az elsőéves hallgatók fizikaórái a nagy kupola alatti tágas előadóteremben voltak. A szomszédos teremben tartották a differenciálanalizátort. Gyakran mentem el előtte, de a nehéz tölgyfaajtó mindig csukva volt. Egy alkalommal próbálkoztam az ajtóval, de be volt zárva. A gép jelenlétének tudata szinte megbabonázott. Akkoriban ez volt a legfejlettebb

és legismertebb analóg számítógép. A differenciálanalizátort Vannevar Bush kezdte építeni 1930-ban az MIT-nél. Később létrehozta annak tökéletesített változatait. A differenciálanalizátor numerikus integrálóberendezés volt. Egyszerűen kifejezve: a differenciálanalizátor az adott görbe alatti területet határozta meg. A bonyolult felépítésű analizátor ormótlan, nehézkes, nagy tömegű eszköz volt. Az MIT-nél elhelyezett utolsó változata 100 tonnát nyomott. Mechanikai építőelemein (integrátorok, nyomatóknövelők, hajtószíjak, tengelyek és fogaskerék-áttelemek) kívül tartalmazott 2000 elektroncsövet, több ezer relét, 150 motort és mintegy 320 km vezetékot. Tengelymozgás szolgált a változók megjelenítésére, áttelemek szolgáltak a szorzás és osztás, differenciálművek pedig az összeadás és kivonás elvégzésére. Az integrálás műveletéhez a gép kör alakú forgó lemezen sugárirányban mozgó, éles karimájú forgó tárcsát alkalmazott. A sokszorozáshoz a differenciálanalizátor nyomatóknövelőt használt, amely úgy működött, mint a hajócsörlök. Minthogy az analizátor mechanikai mozgások és távolságok mérésén alapult, egy automatikus logarléc képzetét keltette.

De milyen feladatok megoldására használták a differenciálanalizátort? Ennek megvilágításához vissza kell mennünk az első világháborúhoz. Amikor a németek elsütötték a vonatra szerelt új ágyújukat, a lövedék csaknem kétszer messzebbre ment, mint ahogy számították. Ennek az volt az oka, hogy nem vették figyelembe a lövedék surlódásának a röppálya nagy magasságain bekövetkező jelentős csökkenését. Ettől kezdve vált fontossá pontos löelemtáblázatok kiszámítása. Marylandben, az Egyesült Államok hadianyag-ellátó részlegénél, az aberdeeni Proving Ground Ballisztikai Kutató Laboratóriumaiban (Ballistic Research Laboratories, BRL) ballisztikai röppályaszámításokat végeztek. Norbert Wiener professzor Aberdeenben még az első világháború idején működött közre a ballisztikai táblázatok számításában. Ezek a számítások a lehetséges harctéri viszonyok mindenre kiterjedő matematikai modellezésére irányultak, figyelembe véve a lövedék tömegét, alakját és indító töltetét. Az adatokból lőtáblázatokat állítottak össze, amelyeket a tüzérek felhasználtak a célzáshoz. Az 1930-as évek elején a Pennsylvanai Egyetem Villamos-



mérnöki Karának Moore Intézete kapcsolatot teremtett a BRL-el. 1934-ben a Moore Intézetben és a BRL-nél az MIT-vel és Vannevar Bushsal szoros együttműködésben megépítettek egy-egy differenciálanalizátort. A második világháború alatt ezt a két analizátort – az MIT gépével együtt – használták a lőtáblázatok számításához. A gépek tvékenységét a háború alatt teljesen lefoglalták a ballisztikai számítások. Ezenkívül többszáz fiatal nőt alkalmaztak ugyanerre a feladatra, elektromos meghajtású asztali számológépek felhasználásával. A ballisztika a számítástechnika központi kérdésévé vált, e területen az MIT a számítástechnikát szilárdan a kezében tartotta, köszönhetően Bush differenciálanalizátorának. Az MIT kulcsszerepét nem lehetett megkérdőjelezni.

## Az ENIAC

Vagy mégis megingatható volt az MIT pozíciója? A Moore Intézet mérnökei úgy gondolták, hogy igen. A háború alatt elhatározták, hogy megterveznek egy olyan számítógépet, amely képes gyorsabban végrehajtani a numerikus integrálást, mint a differenciálanalizátor. A tervezett gép elektronikus lesz, vagyis elektronikus numerikus integráló (ENI). Később valaki bővítette az elnevezést, hogy legyen még általánosabb, és ezért kiegészítették az „és számítógép” (and computer) szavakkal. A gép tehát az elektronikus numerikus integráló és számítógép (Electronic Numeric Integrator And Computer) nevet kapta. Ennek rövidítése az ENIAC. Amikor 1946-ban elkészült, a Moore Intézetből átszállították az Aberdeen Proving Groundba a BRL-hez. Aberdeenben Joseph H. Levin volt a számítógépes ágazat vezetője. Ebben a minőségében feladatkörébe tartozott a részleg differenciálanalizátora is. Helyettesítheti-e az ENIAC a differenciálanalizátort? Levin harcolt az igazáért. Megírta emlékezetes dolgozatát (Levin, 1948), amely a differenciálanalizátort a legmagasabb rangra emelte.

Az ENIAC digitális, de nem tárolt programú számítógép volt. A gépet az alkatrészek tömkelege alkotta. A jeleket a komponensek között vezetéseken továbbították, amelyeket kézzel dugaszoltak. Egy matematikai feladat megoldásához az ENIAC komponenseiből speciális célú számítógépet kellett összeállítani, főleg huzalozással.

Bernard Dimsdale a 2. világháborúban letöltött katonai szolgálata után Aberdeenben vállalt állást 1947 elején. Első munkanapján kiosztottak neki egy nemlineáris differenciálegyenletet és huzalozási rajzok kötegét, melynek vastagsága kitett vagy másfél araszt. Dimsdale-t úgy ismerték, mint aki állandóan számol. Dimsdale is harcolt a jó ügyért. Heteket töltött az ENIAC-on huzalcsatlakozások készítésével és kapcsolók százainak beállításával. Csatlakoztatott bemeneti és kimeneti terminálokat, hogy digitális gyűjtősíneket alakítson ki a numerikus adatok átvitele számára. Az egységeket úgy kellett beállítani, hogy felismerhető legyen, mikor vannak működésben és mely feladatcsoport végrehajtása van folyamatban. Útmutatások nem álltak rendelkezésre, így mindez komoly feladatot jelentett számára. Az áramellátás bekapcsolásakor az elektronszövek

sokasága ment tönkre. Az ENIAC nem rendelkezett tápfeszültség-szabályozó eszközzel. Csöveket kellett újra és újra cserélni. További heteket töltött az áthuzalozással. Nem volt egy öröm. Az ENIAC szeszélyes, nyugtalan gép volt. Dimsdale mindenkit, aki a gép körül volt, óvatosságra és kíméletes bánásmódra intett. Még idejében vette észre, hogy egy sor csatlakozás nincs beforrasztva, amely a komponensek összekötéséhez szükséges. A kimenet lyukkártya volt, és annak csicsergéséből meg tudta állapítani, hogyan mentek a dolgok. Úgy találta, hogy a gép csak a késő éjszakai órákban hatékony, amikor a környéken a villanyvilágítást kikapcsolják. Csak a Dimsdalehez hasonló maximalistáknak voltak esélyeik. Több nekifutás után végül sikerült üzembe helyezni a gépet. Ez valóságos csodának tűnt. A gép néhány perc alatt megadta a szükséges válaszokat a konkrét matematikai feladatra. A következő matematikai feladathoz egy teljesen új, nulláról induló összeállítást kellett kialakítani. Nyilvánvaló volt, hogy az ENIAC ebben a kivételében egy szent tehén.

Levin az analóg differenciálanalizátort használta, Dimsdale pedig a digitális ENIAC-kal dolgozott. Ők voltak a nagyágyúk. Analóg vagy digitális, ez volt a kérdés. Richard F. Clippinger, az aberdeeni matematikai részleg vezetője lépett közbe. 1947-ben belekezdett az ENIAC tárolt programú géppé alakításához. Aberdeeni villamosmérnökökkel a gépet végleges fix konfigurációvá szereltette össze. Az átalakítás néhány hónapig tartott. Clippinger lényegében az eredeti gép alkatrész készletét vette igénybe, és ezekből az alkatrészekből épített tárolt programú számítógépet. Neumann János évente négy napig az aberdeeni Proving Ground tanácsadója volt. Clippinger és Dimsdale találkoztak vele ezeken a napokon, és beavatták őt azokba a módosításokba, amelyeket az ENIAC-on végrehajtottak. Clippinger 1948 nyarára sikeresen alakította át az ENIAC-ot a világ első tárolt programú, programnyelven számítógépévé (Clippinger 1948). A programokat függvény táblázatokról táplálták a számítógépbe (a kapcsolóvezérlésű ellenállásmátrixok blokkjai eredetileg a bemenő adatok tárolására szolgáltak). Az új eljárás kiválóan működött, de egyesek vissza akartak térni az eredeti módszerhez. Azt állították, hogy az ENIAC legalább hat-szor gyorsabb volt a régi eljárás alkalmazásával. Dimsdale azonban besegített. Elismerlte, hogy ez igaz, de nincs jelentősége. A régi módszernél hónapokra volt szükség az ENIAC konfigurálására, majd néhány percre a számítások elvégzéséhez. Az új módszernél néhány napot igényel a kód megírása és néhány órát a számítások elvégzése. A gépet pedig nem kell többé minden egyes feladathoz áthuzalozni. Ehelyett az egyes feladatokhoz kódot lehet beírni az új programozási nyelven. Éveken át állították, hogy ezt a látványos előrelépést Neumann János tette meg. Neumannnak tanácsadói szerepe volt ebben a vívmányban. Az elgondolás eredetileg Clippingertől származott. Az IEEE Számítástechnikai Egyesülete a Számítástechnika Úttörője díjat adományozza annak, aki kimagasló eredményekkel gazdagította az elektronikus számítógépek területén alkalmazott koncepciókat és fejlesztéseket, amennyiben ezek nyilvánvalóan előmozdították a számítástechnika fejlődé-

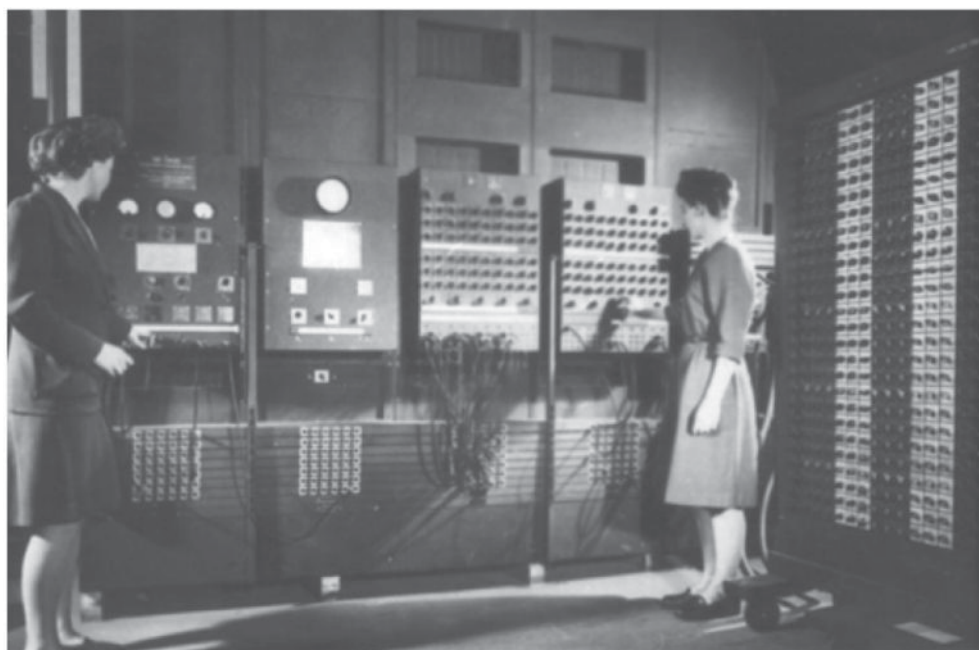


2. ábra. Aberdeen Proving Ground, 1949 augusztus. A szerző megüli a német V1-es rakétát, amely végül a műholdas kommunikációhoz vezetett

sét. A közreműködés eredményeinek 15 éve vagy annál régebben kell mutatkoznia. Clippinger 1996-ban nyerte el a Számítástechnika Úttörője díjat az ENIAC tárolt programú számítógéppé alakításában végzett munkájáért. A dokumentum végül tiszta helyzetet teremtett.

Az MIT hallgatói tanulmányaik első két évében kötelesek voltak részt venni tartalékos tiszti kiképzésben, hacsak nem voltak háborús veteránok. A második két képzési év választható volt, de én maradtam a hadtáp-tisztképző alakulatánál. A hadtáp gondoskodott a hadsereg lőfegyverrel, lőszerrel és járművekkel való ellátásáról és azok karbantar-

tásáról. Engem tartalékos tiszti-képző táborba 1949 nyarán a Marylandi Aberdeenbe rendelték a Proving Groundhoz. Egy szombati nap reggelén az érdeklődők számára csoportos ENIAC-túrát szerveztek. Ekkor találkoztam először Jim Stewarddal, aki az ENIAC-on dolgozott. Az ENIAC 30 részegységből állt, mindegyik részegység magassága 2,5 m, mélysége 90 cm volt, változó szélességük pedig 60 cm-től 180 cm-ig terjedt. Egymás mellé U alakban állítva, hosszúságuk mintegy 27 m-t tett ki a terem 3 oldala mentén. A gép 18 000 elektroncsövet, 70 000 ellenállást és 6000 kapcsolót tartalmazott, fogyasztása 140 kWatt volt. Az ENIAC-nak



3. ábra. Aberdeen Proving Ground: Az ENIAC, a tárolt programú számításokhoz vezető találmány

volt ciklusképző egysége, 20 akkumulátora, indítóegysége, gyors működésű szorzó, kombinált osztó és négyzetgyök-egysége, továbbá voltak függvénytáblázatai, valamint bemeneti és kimeneti egyégei. A függvénytáblázatok 3 panelel foglaltak helyet. Az adatokat és az utasításokat tárcsás kapcsolókkal lehetett bevinni, kézi úton. Ezek a kapcsolók választották ki a számjegyeket és az előjeleket egy független változó 104 értékének mindegyikéhez, amelyeket az egyes táblázatok tároltak. A függvénytáblázatokon kívül más módon is el lehetett látni információval (adatokkal és utasításokkal) a gépet. A szükséges számokat be lehetett vinni a kártyaolvasóba helyezett lyukkártyával vagy az állandók transzmitterén elhelyezett kapcsolók segítségével is. Jim Stewarddal 1962-ben találkoztam ismét, amikor ő az Amoco számítástechnikai laboratóriumának vezetője volt Tulsában.

Először matematikából szereztem oklevelet 1950 június 8-án, bachelor fokozattal. Ekkor kaptam tartalékos tiszti hadnagyi rendfokozatomat is. Önként jelentkeztem a hadseregbe tényleges szolgálatra, és az aberdeeni Proving Ground hadianyag-ellátási oktatási intézményéhez osztottak be. Úgy volt, hogy a tanfolyam kitölti a nyarat, és utána Koreába küldenek minket. Újra Aberdeenben, többet akartam megtudni az ENIAC-ról. Az ENIAC körüli dolgok természetesen titkosak voltak, de én megismerkedtem egy programozóval, aki egyike volt azoknak a matematikai végzettséggel rendelkező, nagyszerű fiatal nőknek, akiket

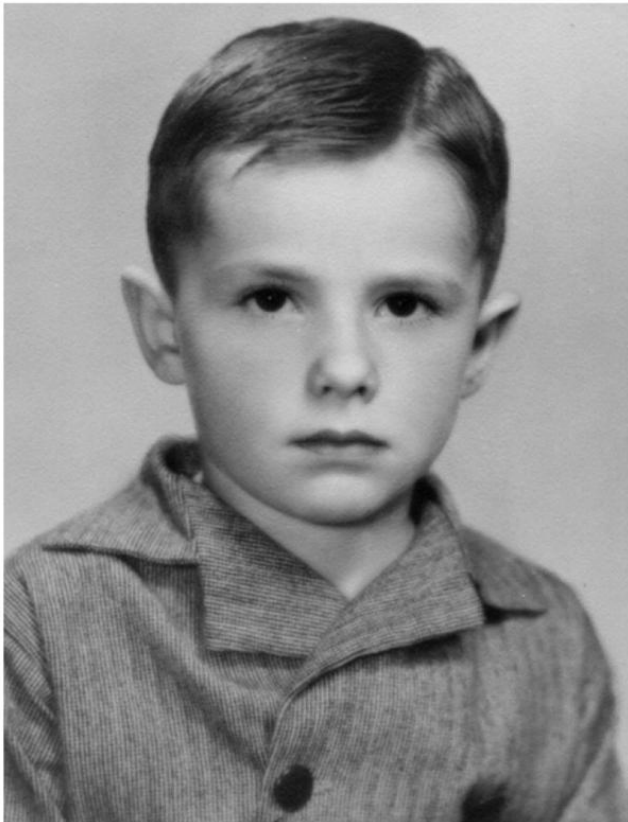
a hadsereg az ENIAC programozására szemelt ki. A számára hozzáférhető dokumentációk nem voltak titkosak, ezek régimódi, kormányzati kiadású kézikönyvek voltak, főleg kapcsolási rajzokat tartalmaztak. A dokumentumok eléggé riasztóak voltak. Tettem néhány hősies kísérletet megfejtésükre, de ő mindig sietett lebeszélni erről. Így első próbálkozásom a programozással nem végződött szerencsésen.

A modern számítógépek története az ENIAC-kal kezdődik. Tudományos feladatok megoldására egészen 1952-ig az ENIAC volt a legfontosabb számítógép a világon. Az ENIAC bejegyzett működési ideje 1946-tól 1955-ig terjedő élettartamában összesen 80 233 óra volt. A ballisztikán kívül az ENIAC-ot felhasználták még a tudományos tevékenység más területein is, beleértve az atomenergiái számításokat, időjárás-előrejelzést, szélcsatornás tervezéseket, a kozmikus sugárzás tanulmányozását, gyújtási folyamatok vizsgálatát és pszeudovéletlen-szám generálását. Az ENIAC arról híres, hogy több számítást végzett, mint amennyit létrehozása előtt az egész emberiség összesen. Ebbe bele kell érteni azokat az összeadásokat és kivonásokat is, amelyeket az iskolás gyerekek végeztek el a történelem folyamán. Én is közéjük tartoztam.

#### Az MIT-nél 1950 ősztől 1951 tavaszáig

Amikor 1950 szeptemberében végeztem a hadtápiscolán, nem Koreába küldtek, hanem a massachusettsi Watertown Arsenal gyorsan bevethető tartalékos egységéhez osztottak be. Ezt a tartalékos egységet a hadsereg 24 órás előzetes értesítéssel mozgósíthatta és bárhová rendelhette.

Visszatérve Massachusettsbe ellátogattam az MIT matematikai tanszékére. A tanszék vezetője, W. T. Martin professzor megörült nekem, és felfogadott negyedéves tanársegédi és negyedéves kutatói segédmunkatársi állásra. Így elkezdhettem egyetemi továbbképzésemet. Tanársegédként számítási eljárásokat tanítottam egy évfolyamnak. A matematikai tanszék egyik pompás irodáján osztoztam Chester H. Gordonnal, aki az „Összenomthatatlan áramlásban fellépő alagútfalhatás a vékony szárnymetszetek nem egyenletes kétdimenziós mozgására” című PhD-disszertációján dolgozott. Ha kérdezték tőle, hogyan halad a munkával, azt válaszolta: „A dolgokhoz idő kell”. Kutatói segédmunkatársként George Wadsworth és Norbert Wiener professzorok beosztottjaként az idősoros módszerek szeizmikus kutatáshoz való alkalmazásán dolgoztam. Wadsworth professzor szakterülete az időjárás-előrejelzés volt, ez irányú érdeklődése visszanyúlik a 2. világháború idején kifejtett sikeres tevékenységére. Wadsworth professzor 1933-ban védte meg disszertációját a parciális differenciálegyenletek rendszereinek és az algebrai pfannianok geometriájának tárgykörében, később azonban érdeklődése a matematikai statisztika szakterülete felé irányult. (Johann Friedrich Pfaff 1786-ban doktorált Göttingenben. Annak idején Carl Friedrich Gauss és August Möbius disszertációjának tanácsadója volt.) Szinte legendaként ismert, hogyan került kapcsolatba Wadsworth a geofizikával. Az 1940-es évek végén Wadsworth a közös gépkocsi-



4. ábra. A kisiskolás Enders Robinson, 1935. május 31. A számolás ekkor még a régi módon zajlott

használatban partnere volt többek között Patrick M. Hurley geológia professzornak is. Ők mindannyian Lexingtonban laktak, és naponta jártak be az MIT-be. Több alkalommal együtt utaztak Robert R. Schrockkal, aki szintén a geológia tanára volt, és első kézből értesült arról a széles körben kibontakozó eszmecszeréről, amely az oktatás és a tudományos kutatás általános kérdéseiről szólt. Egy alkalommal Wadsworth és Hurley között szóba került a matematika alkalmazása a geológiában. Ahogy mondják, Wadsworth kissé felbosszantotta Hurleyt, szemére vetve, hogy szerinte nem elég az a matematika, amelyet a geológiában felhasználnak. Wadsworthnak nagy gyakorlata volt az időjárás idősoradatainak vizsgálatában, amelyeket úgy jellemezett, hogy „növekednek és csökkennek”. Hurley megjegyezte, hogy a szeizmikus nyomvonalak szintén növekednek és csökkennek, és a geofizikusoknak ugyancsak oda kell figyelniük, hogy kihámozzák a reflexiókat a felvételekből. Egyik közös gépkocsit használva Wadsworth kitérőt tett Hurley irodájánál, aki előhúzott egy *Geophysics* számot, amelyben hullámvonalas szeizmikus felvételek képei voltak. „Hadd vigyem magammal” mondta Wadsworth – „eljuttatom Joe Bryannak, hogy nézze meg”. Bryan nemrég doktorált a Harvardon statisztikai méréselméletből, és Wadsworthal együtt időjárás-előrejelzésen dolgoztak a US légierői számára. Megkeresték a Magnolia olajvállalatot, amely nyolc szeizmikus felvételt bocsátott rendelkezésükre. Amikor ezeket megmutatták nekem, Bryan megkönynyebbült sóhajjal nyújtotta át nekem a nyolc felvételt. Wadsworth professzor azt mondta, hogy keressem meg a reflexiókat matematikai úton, és javasolta a parciális differenciálegyenletek alkalmazását. Összes ismeretem a geofizikai kutatásról az „Arany ott van, ahol megkeresed” című filmből származott, amelyet még gyerekként láttam. Néhány bányabeli jelenettől eltekintve többre nem emlékeztem a filmből, kivéve azt, hogy a főszerepet a csodaszép színésznő, Olivia de Havilland játszotta. Utána még évekig foglalkoztatott az „Arany ott van, ahol megkeresed” metafora. Az arany, amely felé törekszik az ember, csalóka cél. Most először mentem a geológiai könyvtárba, ahol minden, geológiára vonatkozó könyv és folyóirat, rengeteg térkép és rajz állt rendelkezésre. Megtaláltam a *Geophysicset*, és elmerülten tanulmányoztam a folyóirat régebbi számait. Az *Alkalmazott Geofizikában* (Jakosky 1950) olvastam: „A reflexiók szeizmogram értékelésében a legfontosabb feladat a reflexiók felismerése a felvételen”.

Norbert Wiener professzor a szeizmikus kutatást is figyelemmel kísérte. Érdeklődésének homlokterében állt az elmélet gyakorlati alkalmazása. A matematika tanszéken senki sem akart vele ebédelni, mivel „megállás nélkül csak beszélt és beszélt”. Én ezzel nem törődtem, figyeltem. A tavaszi szemesztereken Wiener professzor rendszerint Mexikóba távozott, és engem helytakarékossági megfontolásból az irodájába költöztettek. Egyedül voltam Wiener könyveivel és emlékeztetőivel. Bár a matematika tanszéken voltam, a mesterfokozatot először a közgazdasági tanszéken kívántam megszerezni Paul A. Samuelson és Robert Solow professzorok irányítása alatt. Később mindketten

Nobel-díjasok lettek. Mialatt Samuelson a tavaszi szemeszteren felsőfokú továbbképző tanfolyamot tartott a gazdasági analízis tárgyköréből, én matematikai modellt dolgoztam ki a gazdasági innovációk Schumpeter-elméletéhez. Egyenletekké alakítottam át Schumpeter verbális elemzését. Wiener munkásságáról szerzett ismereteimet a klasszikus idősor-analízissel együtt alkalmaztam. A feladat a gazdaság idősoraiban rejtőző innovációk megtalálása volt. A kritikus pontot annak felismerése jelentette, hogy egy innováció első megjelenése – legyen az például egy új műszaki megoldás – nem jelezhető előre. Ily módon első megjelenésekor minden innováció meghatározott és mérhető jóslási hibát hoz létre. Ezen az alapon a gazdasági innovációk időzítése megállapítható a gazdasági idősorokból az alábbiak szerint. Az adott idősorhoz ki kell számítani a jóslás operátorát. Ezután az jóslás operátorának alkalmazásával meg kell kapni a jóslott értékeket. Az analízis tárgyát azonban nem a jóslott értékek képezik. Helyettük a jóslási hibákra van szükség. Ezek a jóslási hibák képviselik az óhajtott gazdasági innovációkat. Működhet-e ugyanez az idősoros módszer a geofizikai kutatásban? Tervem az volt, hogy a digitalizált szeizmikus nyomvonalakat gazdasági idősorokként kezeljem. Ezután végrehajtom a jóslási hiba szűrését. A modern terminológiában ezt az eljárást dekonvolúciónak nevezik. A jóslási hibásor a dekonvolált idősor.

### Az MIT-nél 1951 nyarán és őszén

Korábban Wadsworth az asztali számítógépek használatához értő jelentős létszámú személyzettel rendelkezett. Az eredeti állományból azonban csak Virginia Woodward maradt meg. Wadsworth professzor 1951 nyarán megkönyörült rajtam, és megengedte, hogy néhány hétig igénybe vegyem Virginia szaktudását. Ekkoriban tényleges szolgálatban voltam a hadseregnél, a légvédelmi tűzérségnél a 2. világháború alatt használt lövegkönyveken dolgoztam. A háborúban alkalmazott nagy kaliberű ágyúk mindegyikének volt lövegkönyve, amelybe feljegyezték a löveg minden egyes tüzelését a hozzá tartozó megjegyzésekkel együtt. Három kijelölt személy kíséretében – mindhárman 2. világháborús veteránok voltak – a nappali órákat a Watertown Arsenal föld alatti helyiségeiben töltöttem, ahol a feljegyzéseket tartották. Ezeknek az ütegeknek a tűzvezetése képezte azt a kutatási területet, amelyre Wiener munkája az előrejelzéshez kapcsolódóan irányult. Én most ennek az ellenkezőjével foglalkoztam, nevezetesen a szeizmikus analízishez alkalmazott jóslási hiba elméletével. Miután este a Watertownnál végeztem, még egyenruhában az öreg 1910-es villamossal (trolival) átmentem az MIT-be, ahol megkezdtem a munkát. Így mindkét munkahelyen úgymond sötétben dolgoztam. Éjszaka összeállítottam az elvégzendő számításokat, és Ginnynek hagytam őket reggeli átvételre. Ő megbízhatóan teljesítette feladatát amíg én az Arsenalnál voltam, és az eredményeket otthagya nekem aznap éjszakai átvételre. Ginny néhány napig dolgozott a Marchant asztali számológépen normálegyenletek felállításán és meg-

oldásán. Ezt követően rendelkezésekre álltak számításai, a jóslási hibák. Egy éjszaka grafikusán ábrázoltam az jóslási hibákat (a dekonvolvált nyomvonalakat). A reflexiók mint markáns hüvelykujjak magasodtak ki. A dekonvolúció működött! 1951 augusztusa volt.

Részt vettem a Wadsworth professzornál tartott megbeszélésen, és néhány héten keresztül találkozhattam is vele. A dekonvolúciós eredmények ellenére a szeizmikus analízisről ő átirányított az időjárás-előrejelzéshez. Hurley professzor azonban el volt ragadtatva, miután bemutatták neki az eredményeket. 1951-ben, az őszi szemeszteren abba kellett hagynom a szeizmikus kutatást, s ehelyett meteorológiai mérési feladaton dolgoztam, amely a széntüzelés által okozott londoni levegőszennyezés jellemzőinek meghatározására irányult, ugyanis a kiugró mértékű szennyezések egészségkárosodáshoz vezettek, akár még halált is okozhattak. Ma tiszta a londoni levegő, mivel szén helyett az Északi-tenger földgázát használják fel. A nagy északi-tengeri olaj- és földgáz-feltárásokat részben a dekonvolúció tette lehetővé.

Hurley professzor 1951 őszen bemutatatta nekem Howard Briscoe geofizikus hallgatót. Briscoe terepi ember volt, a sátrazás és a síelés megszállottja. Értett a Whirlwind kódolásához is. Beszélt nekem a Whirlwindről. A háború végén az MIT azt tervezte, hogy a világ számítástechnikai központjaként megőrizze vezető pozícióját. A differenciálanalizátor köré az analóg gépek teljes, új választékának kiépítését irányozták elő. Az elképzelés azonban meglepően gyorsan meghiúsult. De mi volt ennek az oka? Az ENIAC és a belőle származó digitális számítógépek sokasága: az EDVAC, ORDIVAC, UNIVAC, a Felsőfokú Tanulmányok Intézeté-

nek JOHNIAC gépe, a MANIAC, ILLIAC, SILLIAC, EDSAC, Manchester Mark I., és a Whirlwind, amely éppen az MIT-nél tűnik fel. Ennek azonban története van. A kormányzat a differenciálanalizátorra gondolva 1943-ban megbízást adott az MIT-nek egy repülésgyakorló szimulátor építésére. Jay W. Forrester volt a projekt igazgatója, helyettese pedig Robert Everett, aki később a MITRE céget alapította. Egy valós idejű szimulátornál lényeges a működési sebesség. A tervezett analóg szimulátor kézenfekvően a Whirlwind (szélvihar) nevet kapta. Kiderült azonban, hogy egy analóg szimulátor túl lassú ahhoz, hogy kiszámítsa a pilóta cselekedeteire adott válaszokat. Forrester végső elkéseredésében 1945 novemberében elment, hogy megnézze az ENIAC-ot. Ennek eredményeként lett a Whirlwindből digitális számítógép.

Feleltető fizikatanárom 1946–47-ben George E. Valley professzor volt. Az előadásokon rengeteg volt a hallgató, a feleltető osztályokban viszont kevesen voltak. Jól emlékszem, hogy Valley professzor bonyolult fizikai problémák megoldására igyekezett megtanítani minket, amelyeket házi feladatként adott fel. Tény az, hogy az MIT döntően problémamegoldásra tanított. Volt néhány előadás a világegyetem szépségeiről. Ezekre a Harvardra kellett menni. Az MIT sugárzási laboratóriumában – a 20-as épületben – Valley professzor fejlesztette ki azt az irányított radart, amely stratégiai szerepet játszott a 2. világháborúban. Ő a háború után a radartechnikát felhasználva az USA légvédelmén dolgozott. A Whirlwindnél 1950-ben tett látogatása alkalmával ébredt rá, hogy a megoldás a számítógépek és a kommunikáció összeházasításában rejlik. Ez az elgondolás volt a csíra, amely Internetté nőtte ki magát. Az US légi-



5. ábra. Az MIT Barta-épülete: „És szélvihart aratnak”

erő átvette a Whirlwind finanszírozását, és a gép 1951-re teljesen működőképesé vált. A Whirlwind prototípusa és próbapadja volt a SAGE néven ismert új rendszernek, amely majd a légitámadások elleni számítógépes elektronikus védelmet fogja nyújtani. Az MIT kampusza mögötti Barta-épület volt a Whirlwind projekt otthona. Az épület telefonos kapcsolat kötötte össze a radarállomásokkal. A számítógép mintegy 230 m<sup>2</sup> területet foglalt el a második szinten. Az MIT digitális számítógép-laboratóriuma, a programozó és karbantartó személyzet irodáival együtt az első szinten kapott helyet. A Whirlwind egycímű számítógép volt. A gép 4500 elektroncsövet és 14 800 diódát tartalmazott. Mivel a rövid szavak segítettek elő a valós idejű működést, a Whirlwind 16 bites szó szerkezetet használt a tudományos számítások felszereltségéhez tartozó hosszabb formátumok helyett. Kezdetben a gyors működésű tár (RAM) 1024 szavas elektrosztatikus memória volt. Néhány éven belül az elektrosztatikus memóriát megnövelt kapacitású, mágnesgyűrűs tároló váltotta fel.

A kezdeti 20 000 összedadás/s összedási idő később 50 000 összedadás/s-ra (0,05 ms/összedadás) nőtt. A tápegységeket az épület alagsorában helyezték el, a mennyezetet a rendszer hűtése céljából légkondicionálóval fedték be. Az épület energiaellátása 150 kW volt. J. H. Laning és N. Zierlel 1953-ban a Whirlwinden valósította meg az első algebrai fordító rendszert, amely indexes változókat, függvényelhívásokat és kifejezésfordítást alkalmazott. Ez volt az első, minden korszerű tulajdonsággal rendelkező felismerhető fordító, mégsem vitték át soha egyetlen más számítógéphez sem. Az IBM figyelt fel a Whirlwind fordítóra a későbbi FORTRAN fejlesztéseihez. A Whirlwind valós idejű számítógépként egy kommunikációs hálózat központi magjánál volt elhelyezve.

A Whirlwind megelőzte az összes többi számítógépet, amelyek az ENIAC-ból nőttek ki. A tárolt programú ENIAC volt az a találmány, amely megteremtette a számítástechnikát mint a számítás és a programozás egyesítését. A Whirlwind pedig az a találmány volt, amely megteremtette a kibernetikát mint a kommunikáció és a számítástechnika egyesítését.

Az MIT visszaszerezte vezető szerepét, amely azonban most a kommunikáció és a számítástechnika terén érvényesült. A Whirlwind projekt kontinentális méretű légvédelmi rendszerré fejlődött, amely költségeit és méretét tekintve felülmúlta a Manhattan-tervet. A rendszer a Semi-Automatic Ground Environment (félautomatikus földi környezet) nevet kapta. Az IBM építette meg a számítógépet, a Burroughs fejlesztette ki a kommunikációt, a Western Electric alakította ki az irányítóközpont beton épületeit, és az MIT (majd 1958 után az MIT által megszervezett nonprofit cég, a MITRE) végezte a rendszerösszeállítást. Amikorra a rendszer 1963-ban hadrendbe állt, a 23 irányítóközpontot és 3 harcálláspontot nagy távolságú telefonvonalak kötötték össze, és több mint 100 együttműködő légvédelmi egység állt rádiókapcsolatban egymással. A SAGE éltető ereje a Whirlwind II. (AN/FSQ-7) számítógépóriás volt. Az irányítóközpontok mindegyike két

Whirlwind II. számítógéppel volt ellátva: az egyik gép élesben működött, a másik készletkénti üzemmódban, a megbízhatóság növelése céljából. A SAGE a rendszerintegrálást korábban elképzelhetetlen mértékben követelte meg. A Whirlwind II. az addig megírt legnagyobb, 500 000 kódsoros számítógépprogramot futtatta. A SAGE digitalizált radaradatokat, vezetékes és föld-levegő összeköttetést létesítő nagy távolságú adatátvitelt alkalmazott, továbbá jellemzői közé tartozott az interaktív kijelzőterminálok tömeges használata. A program automatizálta az adatok áramlását, feldolgozását, megjelenítését, és vezérlőinformációval látta el a fegyverrendszereket. A kommunikáció Burroughstól származó eszközei tették lehetővé, hogy a központok mindegyike kapcsolatot létesíthessen az összes többi központtal, megteremtve ezzel az első nagy kiterjedésű számítógépes hálózatot. A SAGE az 1950-es években köteles volt gondoskodni több mint 10 000 programozó kiképzéséről, akik közül sokan később az Advanced Research Projects Agency-nél (ARPA) (felső szintű kutatási projektek ügynöksége) dolgoztak. A SAGE úttörője volt annak a technológiának, amelyet ma az internetes adatkezelés támogatására használnak fel; példa erre a modem, az egér fényceruza formájában, a többfeladatos működés, tömbfeldolgozás, számítógépes oktatás és az interaktív számítógépes grafika. Amikor ezt a technikát átvitték az ARPA-hoz, eredményként létrejött az ARPANET. Az Internet az ARPANET-ből nőtt ki. Az utolsó Whirlwind számítógépeket 1983-ban állították le, ezzel a Whirlwind rekordot állított fel a számítógépek működési élettartamának tekintetében. Tágabb értelemben a Whirlwind sohasem áll le; technológiája működteti az Internetet. Ahogy Hóseás (8:7) mondja: „Mert szelet vetnek és vihart aratnak”.

A Whirlwind első lépés volt a máig teljesületlen vízió megvalósulása felé, amelyet Wiener professzor vázolt fel „Kibernetika avagy szabályozás és kommunikáció az állatvilágban és a gépben” (Wiener 1948) című könyvében. A könyv a 3. fejezetben „Idősorok, információ és kommunikáció” cím alatt tartalmazza azt a matematikát, amelyet Howard Briscoe-val együtt kezdtünk programozni a Whirlwinden 1951-ben, az őszi szemeszter idején. Akkor én 21 éves voltam, Briscoe 19 vagy 20. A digitális számítógép-laboratóriumban kevesen voltak sokkal idősebbek. Professzort soha nem láttam belépni oda. Közben Hurley professzor égett a vágytól, hogy kiaknázza a dekonvolúcióval elért eredményeket. Elkészítettem egy dokumentumot, amelynek kivonatában ez olvasható: „Az MIT-nél 1951 nyarán elvégzett vizsgálatnak az volt a célja, hogy választ kapjunk az idősorokként kezelt szeizmikus felvételek viselkedésére vonatkozó néhány konkrét kérdésére. Az adatokat 8 szeizmikus felvétel szolgáltatta, mindegyikük egyetlen lövéstől származott, és 4 nyomvonalat tartalmazott, amelyeket 4 geofonkimenet állított elő. A geofonok vonal mentén voltak elhelyezve, a robbantópont ennek középpontjában volt. Az adatokat a Magnolia Petroleum Co. bocsátotta rendelkezésünkre. Válaszra várt a következő kérdés: meghatározható-e a felvételen előforduló mélyreflexiók helyei tisztán statisztikai úton, a rendszer dinamikájában ezeken

a helyeken jelentkező változás megfigyelésével. A kérdésre kísérletként adott válasz – kizárólag a fent említett felvételek vizsgálata alapján – így hangzik: az adatokhoz lineáris operátorokat kellett szerkeszteni. Ezután az operátorok felhasználásával meg kellett jósolni azt az időtartamot, amely alatt a reflexió bekövetkezett. A jóslási hibák mindig határozott növekedést mutattak ebben az időtartamban, míg az ezt követő időintervallumban közelítően előző értéküket vették fel. Néhány felvételen kimaradtak azok a mélyreflexiók, amelyek a legtöbb szeizmogramon előfordultak, de ennek ellenére ezekben az esetekben a jóslás hibái ugyanolyan felugrást mutattak. Ez a megoldás a kijelölési feladat új megközelítését vezeti be arra az esetre, amikor a rendszerbe mély rétegből származó reflexió következtében többletenergia kerül. A mellékelt diagram mutatja a jóslási hibákat a reflexió előtt, a reflexió alatt, közvetlenül a reflexió után és egy új reflexió kezdetén.”

Hurley professzor 1951. november 1-én az általam összeállított dokumentumot elküldte a dallasi Magnolia Petroleum Company-nak. A Magnolia volt a Socony Vacuum Oil Company termelőágazata, később Mobil Oil-nak neveztek. D. H. Clewel, a terepi kutatások laboratóriumának igazgatóhelyettese november 29-én válaszolt Hurley professzor levelére. A válaszban ez állt: „November 1-i levelét köröztettük a laboratóriumokban, és az ön által bemutatott eredmények határozott érdeklődést váltottak ki. A küldött diagram egyetlen nyomvonala kiváló jel/zaj viszonyt mutat, a görbék sorozata pedig, amely a hagyományos reflexiós terítés geofonjeleiből származik, nagyon ígéretesnek tűnik. Nincs igazán jó véleményünk a mechanikus műveletekről, amelyek szükségesek a geofonjelek jóslásához és a jóslott és mért jelek közötti különbség kijelzéséhez. Hacsak nem lehet ennek gyors elvégzését gépesíteni, a módszer aligha alkalmazható az iparszerűen végzett kutatásokhoz. Feltételezhető-e, hogy van esély a műveletek gépesítésére a gyors alkalmazáshoz?” Én tudtam a választ Clewell kérdésére. Digitális számítógépen gépesíthetők a műveletek a gyors alkalmazáshoz. Kitűztem a feladatokat. Első feladatomban volt a dekonvolúció működőképessé tétele a Whirlwind felhasználásával megteremtett munkavégzési bázison. Ennek teljesülése esetén második feladatomban annak bemutatása volt, hogy a dekonvolúció a szeizmikus felvételek készletén is működik. Ha ez sikerült, harmadik feladatként geofizikai modellt kell készítenem a dekonvolúció igazolására.

### A GAG 1951 telén és 1952 tavaszán

Hurley professzornak 1951 őszén sikerült elérnie 13000 \$-os emelést az MIT elnöki hivatalánál a kibővített szeizmikus projekt első fázisához szükséges költségek fedezésére. Én 1952 januárjában megkaptam a közgazdasági mesterfokozatot, majd ezt követően áthelyeztek a Geológiai és Geofizikai Tanszékre tudományos munkatársi kinevezéssel. A GAG hivatalosan 1952 februárjában alakult meg. Stephen Simpson és Briscoe is csatlakozott a GAG-hoz. Simpson végzett geofizikus-hallgató volt, alapidromáját

fizikából kapta a Yale egyetemen. Briscoe-val együtt változatlanul a Whirlwind-kódokon dolgoztunk. Sajnos Briscoe-nak nyári táborba kellett mennie az ROTC-hez, mielőtt a dekonvolúció kódját befejeztük volna. Azt én fejeztem be, de a kód nem működött. Dühöngve ellenőriztem le az egészet. Ebben az időben még mindent 8-as számrendszerben írtunk, gépi nyelven. A kézzel megírt programot átadtuk két gépirónak, ők begépelték a programot papírszalagra bináris alakban. Ezután következett a papírszalagok összehasonlítása. Ha a szalagok egyeztek, feltételezhető volt, hogy a gépelés hibátlan. A szalag a számítógép kezelőjére maradt, aki gondoskodott a futtatásáról, amikor idő jutott rá, a katonai igények és a karbantartás szünetében. Az elektroncsöves számítógépek karbantartása naponta mintegy 8 órát vett igénybe jó napokon. A gép jó állapotában ez egyetlen futtatást eredményezett. Kérésre a gépkezelő kinyomtatta a tartalmat (8-as számrendszerben), amikor programhiba lépett fel. Mivel ezeket a tárkiirításokat nagyon nehezen lehetett értelmezni, jobbnak találtam, hogy maga a program írjon ki menet közben numerikus jelzőket, amelyek hozzávetőlegesen mutatják azt a helyet, ahol a program törést szenvedett. Végül két hét után találtam meg az okot, amely miatt a dekonvolúciós program nem működött. A sikertelenséget egy apró folt okozta, amely magán a kódlapon volt. Ezt a foltot mindkét gépiró tévesen vesszőnek nézte, és így egy oda nem tartozó vesszőt ütöttek be a papírszalagra. A javítás után a dekonvolúciós kód hibátlanul működött. 1952. július 4-én elmondtam testvéremnek ezeket a bonyadalmakat, mire ő megjegyezte: „Számítógépek sohasem fognak működni”. Testvérem balsejtelmei ellenére a program működött, és egyre több szeizmikus nyomvonalat dekonvolvált. Ez éppen jól jött az augusztusi találkozóra.

### A nyári találkozó 1952-ben

Az MIT ipari kapcsolattartó részlege 1952. augusztus 6-án rendezte azt a találkozót, amely a „Szeizmogramok Általánosított Harmonikus Analízisének Konferenciája” nevet viselte. Minden addig elért eredmény bemutatásra került. A alábbi két beszámolót vitaták meg: „Szeizmikus felvételek autokorrelációs és keresztkorrelációs elemzésének eredményei” és „Ismertető a lineáris operátorok szeizmológiai alkalmazásáról”. A résztvevők a következők voltak: L. Y. Faust (Amerada), H. F. Dunlap (Atlantic), R. B. Bowman és W. W. Garvin (California Research), R. R. Thompson (Carter), R. M. Bradley (Cities Service), W. E. N. Doty és J. M. Crawford (Continental), T. J. O’Donnell és W. C. Dean (Gulf), D. H. Gardner (Humble), Dr. W. J. Yost (Magnolia), R. G. Piety (Phillips), R. Vajk (Standard Oil Company, New Jersey), D. Silverman (Stanolind), W. Evans (Sun), H. J. Jones és D. B. Dubbert (Texas Instruments Company), E. Eisner (The Texas Company), C. A. Swartz és F. B. Coker (United Geophysical) és R. R. Shrock, P. M. Hurley, G. P. Wadsworth, Norman A. Haskell és E. A. Robinson (MIT). A meghívott vendégek a jelentősebb geofizikai és a Shell kivételével a jelentősebb olajipari

vállalatok vezető geofizikusai voltak. A kellemes és sikeres találkozón kiváló és hírneves geofizikusok vettek részt, tele ötletekkel és lelkesedéssel. Ezek a geofizikusok a tudósok különleges fajtájához tartoztak, árasztották magukból a feladatvállalásra való ösztönzés légkörét, amely az MIT-t is általánosan jellemezte. Emlékszem a felvetésre, amely arra vonatkozott, hogy a szeizmikában alkalmazható-e a radar-technikában használt vezérelt jel. A válasz nemleges volt, a Conoco azonban alapvetően másképp gondolta. A „Conoco Geophysics: Az első száz év” című kiadványának (1975. november) „John Crawford és Bill Doty a VIBROSEIS fel-találói” fejezetében olvasható: „W. E. N. (Bill) Doty 1952. augusztus 6-án részt vett a Massachusetts Technológiai Intézet által rendezett »Szeizmogramok harmonikus analízise« elnevezésű szimpóziumon. Bill azzal a szilárd meggyőződéssel jött el a találkozóról, hogy az ott ismertetett információelméleti technika előnyösen alkalmazható a szeizmi-kus kutatáshoz. Visszatérve Ponca Citybe azonnal kifejtette álláspontját John Crawfordnak. John egyetértett Bill-lel, és ketten együtt nekiláttak, hogy előteremtsék azokat a gya-korlatban is felhasználható eszközöket, amelyekkel a keresztkorrelációt alkalmazni lehet a szeizmikus jelekhez. Az első áttörést augusztus 18-án a Johntól származó javaslat hozta, ez volt a »sweep« jel, amely átvitele alatt folyamatosan, egy irányban változtatja frekvenciáját, így a kívánt, nem ismétlődő, hosszú időtartamú jelet szolgáltatja. A kibocsátott és beérkező jelek keresztkorrelációja nyújtja a szeizmikus rendszer alapvető kellékét, vagyis a kibocsátás és a vétel közötti terjedési időt.”

A találkozó második felének témaköre a lineáris operátorok (a dekonvolúció megnevezésére még a régi terminológiát használták) szeizmológiai alkalmazása volt. Nagy volt az érdeklődés, és a vállalatok egyhangúan úgy vélekedtek, hogy ezt a kutatást szponzorálni kellene az MIT-nél. A GAG-ra vonatkozó további tervek 1952 őszén készültek el, az MIT részéről Hurley professzor, az olajipari és geofizikai vállalatok részéről pedig Daniel Silverman (Stanolind) irányításával. A két előterjesztést az 1952. augusztusi találko-zón vitatták meg, majd sokszorosították és szétküldték a vállalatoknak mint 1. és 2. számú MIT-GAG-jelentést. Pártfogók megszerzése ügyében Hurley professzor járt el. 1952. október 9-én találkoztam vele irodájában. Elővette azokat a feljegyzéseket, amelyek nemrégiben készültek a texasi Dallasban tett látogatása alkalmával, ahol a Magnolia Petroleum Companyval és a Geophysical Service Inc.-nal tárgyalt. Elmondta, hogy Dallasban azzal a véleménnyel találkoztott, miszerint a GAG-nak alapos részletességgel meg kellene vizsgálnia egy felvételt. A paraméterek kölcsönös viszonyának tanulmányozására lenne szükség az optimális paraméterértékek meghatározása céljából. Ezenfelül vizsgálni kellene a robbantólyuk változóinak (töltetnagyság, a fúrólyuk és a robbantás helyi jellemzői) hatását. A Floridából származó felvételek szintén vitára adtak alkalmat. A kérdés az volt, hogy a szellem- és többszörös reflexiók ezeken a felvételeken valóságos fizikai jelenségek, vagy a nagyon keskeny sávú szűrőrendszerek alkalmazásának tulajdoníthatók. Mérlegelés tárgyát képezte még, hogy ér-

demes-e összehasonlítni a Floridában és a Perzsa-öbölben készült felvételek hibaeloszlási görbéit. Tárgyaltak a Magnolia Petroleum Company akusztikussebesség-szelvényezőjéről is. Ez az eszköz meghatározta a közetréteg-sebességeket a fúrólyuk teljes hosszában. Hurley profesz-szor megemlítette, hogy a Magnolia a reflexiókat összefü-gésbe hozza a sebesség- és sűrűségváltozással.

## A Raytheon 1952 őszén

1952 őszén nyilvánvalóvá vált, hogy a GAG-nak a szeizmi-kus adatfeldolgozáshoz szüksége lesz valamennyi gépidőre a Whirlwinden. Heti 5 órát kértem, de csak heti 1 órát engedélyeztek. A GAG gyakorlatilag még ennyi időt sem ka-pott. Ennek az volt az oka, hogy még folyt a Whirlwind hardveres tökéletesítése, így a gép sokszor napokig nem működött. Ekkoriban csak a Whirlwind memóriájának karbantartási ideje 4 óra, a memóriahibák közötti átlagos idő pedig 2 óra volt. Más megoldás után néztünk, és megtaláltuk a Raytheon-t. A massachusettsi Walthomban műkö-dő Raytheon Manufacturing Company nemrég hozta létre számítógépes szolgáltató részlegét. A részleg vezetője Richard F. Clippinger volt. Munkatársai a barátai voltak, Bernard Dimsdale és Joseph H. Levin. Mielőtt belépett a Raytheonhoz, Clippinger felelős vezető volt az ENIAC, EDVAC és ORDVAC számítógépeknél Aberdeenben; Dimsdale a numerikus analízis felelőse volt szintén Aberdeenben, Levin pedig az USA Szabványügyi Hivatalá-nak SEAC számítógépénél volt felelős vezető. Ötven év után már elmondhatom, hogy Clippinger volt a környörte-len hajcsár, Dimsdale az igazi maximalista és Levin a ked-ves, szeretetet sugárzó ember. Mindhárman kiváló mate-matikuskok voltak, élvezet és megtiszteltetés volt velük dolgozni. A GAG és a Raytheon első találkozására 1952. október 17-én került sor. A GAG főleg többszörös de-konvolúciót végzett. Több csatorna esetén a normál egyen-let megoldásához mátrixinvertálást kellett alkalmazni, mi-vel ebben az időben a Levinson-rekurzió csak az egyszator-nás esetre volt ismert. A Whirlwind kis regiszterkapacitása (16 bit) megnehezítette a pontos mátrixinvertálást még kétszeres pontosságú aritmetika mellett is. Hacsak nem voltak „jól fészültek” az adatok, a számítások túlcso rdulás okozhattak, és az invertálás meghíúsulhatott. A GAG első-sorban abban volt érdekelt, hogy a Raytheon végezze a mátrixok képzését és invertálását, amit „fél esetnek” ne-veztek. A Raytheon nagyobb szóhosszúságú számítógépet használna, amely könnyíthetne a túlcso rdulás problémá-ján. A GAG úgy gondolta, hogy a Whirlwind hatékonyan tudná kezelni a fennmaradó számításokat (a jóslási hibák kiszámítását). A Raytheon késznek mutatkozott a munka nagyobb részének elvégzésére, és a GAG beleegyezett, hogy a Raytheon költségvetést nyújtson be két esetre, egyet a „fél eset”, egy másikat pedig a „teljes eset” számítá-saira. Úgy látszott, hogy a Raytheon törekvései találkoznak a mi kutatási célkitűzéseinkkel. A kutatás a szeizmo-gramanalízis dekonvolúciós módszerének igazolását vagy elvetését célozta. Ha a módszer eredményesnek bizonyul,



úgy a Raytheon lehet abban a helyzetben, hogy dekonvolúciós szolgáltatásokat nyújtson, mivel szaktudását egyenesen az olajipar számára tudja hasznosítani. Ezenkívül a Raytheon jártas abban a feladatkörben, amely különleges célú számítástechnikai eszközök kialakítására irányul.

A Raytheon 1952. október 28-án benyújtott egy költségvetést. Ebben az állt, hogy 1000 teljes eset (mindegyik két nyomvonalas) ára 12 400 \$ lenne, vagy esetenként 12,40 \$. Ezek az árak annyira alacsonyok voltak, hogy egy hónappal később (1952. november 25-én) az MIT átutalt 1000 \$-t a Raytheonnak a szükséges kódolási vizsgálatok megkezdéséhez. A megrendelésben ez olvasható: „Számítási szolgáltatások, amelyek kódolási vizsgálatokra és szeizmogram-elemző program előzetes kódjára terjednek ki. A folyamatábrát és az előzetes kódot legkésőbb 1953. jan. 1-én kell átadni. A végösszeg nem haladhatja meg az 1000 \$-t. Az eladó a Raytheon Manufacturing Company. T. R. Porter műszaki kereskedelmi igazgató.” A Raytheon 1952. december 23-án átadta a folyamatábrát és az előzetes kódot. Még birtokomban vannak ezek az iratok, amelyeket Clippinger kézzel írt, és 1952. december 17, 18, 19-i dátumozással, továbbá RFC névjellel látott el.

Valójában a Raytheon túllépte az 1000 \$-os árat, miután biztosítékai voltak, hogy szerződést köthet röviddel a szponzoráló olajvállalatokkal megtartott tervtárgyalás után. A Raytheon viszont biztosított minket, hogy a kód megfelelően működni fog, amint készek leszünk az adatok átadására, várhatóan 1953. február első hetében. A lebonyolítás módjára vonatkozó megállapodás szerint az „esetek” továbbítása a Raytheon számára kis adagokban történik, és a Raytheon az egyes esetek feldolgozására mintegy két hetet fordít. Ez fontos szempont volt. A kutatómunkában egy módszer tesztelésére szolgáló próbákat a korábbi próbák tapasztalatainak ismeretében kell megtervezni. Ha a próbák sorozata esetén mindet egyszerre kell megtervezni, az egyes próbák eredményeit találgatva, elkerülhetetlen lesz az eredménytelenség és a felesleges kiadás.

Az olajipari és geofizikai vállalatok 1953 februárjában társulást hoztak létre, és a GAG-ot ők szponzorálták. A szponzoráló vállalatok egy vagy két képviselőjének részvételével Tanácsadó Bizottságot hoztak létre. A képviselők részben geofizikai módszerkutatásban, részben geofizikai munkálatokban vettek részt. A GAG és a Tanácsadó Bizottság között évente két találkozó megtartását irányoztuk elő, a téli találkozóra a Délnyugaton, a nyárirra az MIT-nél kerülhetett sor. Közreműködésemmel négy ilyen találkozót tartottunk: Dallasban 1953. január 30-án, az MIT-nél 1953. augusztus 12–13-án, Tulsában 1954. március 29–30-án és újra az MIT-nél, 1954. szeptember 14-én. Egy-egy találkozó befejezése után többé-kevésbé egyedül kellett ellátnom a GAG irányítását a következő találkozóig. Ez azt eredményezte, hogy az összes hallgató megtanulta a számítógépek használatát. Első feladataim egyike volt Stephen Simpson oktatása a számítógép programozására. Eleinte kissé vonakodott, majd hirtelen megszállta a számítógépmánia, így később az MIT egyik legkiválóbb programozója és a számítógépek legfőbb szószólója lett.

## Az additív modell és az analóg feldolgozás

A reflexiós szeizmika a visszaverődés elvét használja fel. A dinamit felrobbantása forrásimpulzust bocsát ki, amely lefelé terjed a föld belsejében, ahol a felszín alatti rétegekről visszaverődik. A felszínen elhelyezett szeizmométerek felfogják a visszavert impulzusokat. Abban az időben az impulzusok teljes úthosszának (a forrástól a visszaverő rétegekig és onnan vissza a szeizmométerekig) megtételéhez szükséges időtartam megfigyelésének eszköze a szeizmométer-kimenetek mozgó fotografikus papírszalagon történő regisztrálása volt. A papíron minden egyes nyomvonal a hozzá tartozó szeizmométer lövésre adott válaszáat rögzítette. A forrástól származó energián kívül a szeizmométer felfog nem a forrástól származó energiát is. Ez az energia tartalmazhat például szélzajt és autópálya-forgalom által okozott zajt. Az ilyen külső eredetű energia azonban általában alacsony szintre korlátozódik. Többnyire annyira kicsiny, hogy nincs jelentősége a szeizmikus nyomvonalon. Így gyakorlatilag a teljes energia a robbantásnak tulajdonítható.

Ideális esetben a nyomvonal egyedül a reflexiós impulzusok sorozatát tartalmazza. A kívánt reflexiókon kívül azonban a szeizmométerek felvesznek egy sor más energiát is, amelyek nem kívánatosak. Ezek közé tartoznak olyan zavaró tényezők, mint a műszer saját folyamatai, direkt hullámok, felületi hullámok, refraktált hullámok, diffrakciós hullámok, transzverzális hullámok, hosszan tartó rétegrezgések, szellemreflexiók, többszörös reflexiók és reverberációk. Abban az időben a nemkívánatos energiának ezt az összetett megjelenési formáját interferenciának vagy zajnak nevezték. A szeizmikus nyomvonalra alkalmazott modell volt az additív modell. Ebben a modellben a nyomvonal a jel és a zaj összege; itt a jel a reflexiós impulzusok sorozata, a zaj pedig az interferencia. A jel volt kívánatos, és a zaj volt zavarkeltő. Jó felvételek alacsony zajszint (interferencia) mellett készültek. Ilyenkor a kiértékelők felismerhették a jelet (a reflexiók sorozatát) a nyomvonalakon. Magas zajszint esetén rossz felvételek készültek. Ekkor a kiértékelők számára gondot okozott a jel (a reflexiók sorozata) észlelése a nyomvonalon. A problémát az interferencia zűrzavarában elrejtett valóságos reflexiók felismerése jelentette. Más szavakkal, a probléma a jelnek (reflexióknak) a zajtól (interferenciától) való elválasztása volt. Sajnos néhány, geológiai tekintetben ígéretes kutatási terület olyan felvételeket szolgáltatott, amelyeken jó, ha néhány reflexiót lehetett vizuálisan észlelni. Azokat a szeizmogramokat, amelyeket csak nagyfokú bizonytalansággal, vagy egyáltalán nem lehetett értelmezni, értéktelen (vagy interferenciás) felvételeknek nevezték.

A feladat tehát a jel és a zaj szétválasztása volt. Ennek megoldására akkoriban a frekvenciaszűrés alkalmazásával törekedtek. Minden hullámformának van frekvenciaspektruma. A spektrum két összetevőből áll, az amplitúdó- és a fázisspektrumból. A fázisspektrumot a legtöbb elemzésben nem használták fel. Példaként vegyük azt az esetet, amelyben a zaj amplitúdóspektrumának csúcса 18 Hz-nél,

jelspektrumának csúcsa pedig 26 Hz-nél van. A 26 Hz középfrekvenciájú szűrő átengedi a jel domináns frekvenciáit és elnyomja a domináns zajfrekvenciákat. Így a sávszűrő kimenete gondoskodik a hasznos jel megőrzéséről és a zaj eltüntetéséről. Az ily módon történő frekvenciaszűrést elektromos analóg szűrők alkalmazásával valósították meg. A jel kiemelésére más módszereket is felhasználtak. Ezek közül a keverés volt a legfontosabb. Keverésnek hívták azt a műveletet, amely két vagy több szomszédos csatorna összegzésével képez egyetlen kimenő csatornát. Egy csatornát önmagában zérus keverésnek, két csatorna összegét kétcsatornás keverésnek neveztek, a szűkítő függvényvel súlyozott keverés neve pedig fokozatos keverés volt. A szűrést és a keverést eredetileg a terepen, a szeizmikus hullámok rögzítésével egyidejűleg végezték el. Az 1950-es évek elején néhány olajvállalat rendelkezett sokcsatornás felvívó- és lejátszóberendezéssel a rossz minőségű felvételeket szolgáltató területeken dolgozó szeizmikus csoportok megsegítésére. Ez az alkalmazás a szeizmikus energiát széles frekvenciasávban rögzítette. Ezután a felvételek elemzés céljából a laboratóriumba kerültek, ahol kedvezőbbek voltak a feltételek kísérletezésre, mint a terepen. A zaj elnyomására és a jel kiemelésére a széles sávú felvételeket különböző analóg szűrőkön bocsátották át, ezek lehetnek felülatéresztő, alulátéresztő és sávszűrők. Ez a megoldás jelentette az analóg feldolgozás bevezetését a szeizmikus kutatásba.

### A téli találkozó 1953-ban

A GAG és a Tanácsadó Bizottság téli találkozója 1953. január 30-án került sor Dallasban. A találkozó előestéjén Hurley professzorral vacsoráztam. Ő azt mondta, hogy az olajvállalatok elsősorban az olaj megtalálásában érdekeltek. Munkájuk mintegy 95 százalékában a meglévő technikákat alkalmazzák. Florida azonban kivételnek számít. A jövőt tekintve a fejlődés iránt elkötelezett vállalatok tudatában vannak annak, hogy nagyobb hatékonyságú módszerekre lenne szükség. Ez indokolja az érdekeltségüket a GAG-ban. A kőolaj felhasználása, a készletek kiaknázása és feltárása exponenciálisan növekszik. Az olajvállalatok tevékenységét a pénzforrások, de főleg a képzett munkaerő hiánya nehezíti. Egy felkészült paleontológus nagyobb mértékben járulhat hozzá a termelés növeléséhez, mint egy képzett elméleti fizikus. A pénzhiány követeli meg azt is, hogy a képzett munkaerő kevesebb tudást igénylő munkákat végezzen, például egy geológusnak személyére szabott szűk feladatköröket kell kijelölni. Számos ígéretes módszert sohasem próbáltak ki, ilyen volt például a nyomelemek meghatározása spektroszkóp alkalmazásával. Sok esetben a paleontológiát egyáltalán nem használják ki a szakemberek hiánya miatt. Különösen érvényes ez a mikropaleontológiára, amelynek alkalmazására és a besorolások elvégzésére minden területen szükség van. Texas térségében a geológusok és geofizikusok többsége a helyi főiskolákból kerül ki, és csak alapidplomával rendelkezik. Doktori fokozatok ritkán fordulnak elő; a Magnolia

kutatói állományában hárman rendelkeznek PhD-fokozattal, és a vállalatok között ez a legtöbb. Így a geológusok és a geofizikusok elméleti ismeretei korlátozottak. Az új PhD-fokozattal rendelkezőket nagyon megbecsülik, bár bizonyos gyakorlati képzésben még részesülniük kell. Ezeket mondta el a beszélgetés során, majd áttért az áfonya analógiára. Felidézte az áfonyaszüretéről szóló mondatot, feltehetően a kőolajra vonatkoztatva. Ennek az a lényege, hogy a legkényelmesebb szüretelő, aki megmarad egy bokornál, több gyümölcsöt gyűjt be, mint a fűrgén mozgó, bokorról bokorra szaladó. Azok a vállalatok, mint például a Gulf és a Magnolia, amelyek több figyelmet fordítottak a kutatásra, nem tárnak fel kőolajat olyan ütemben, mint mások, akik ragaszkodnak a hagyományos módszerekhez. Azzal fejezte be, hogy egy új fúrás helyének kiválasztása ésszerű döntésnek számít, mivel sok a reményteljes terület. Sok fúrást kell lemélyíteni csupán a geológia alapján a szeizmikus csoportok hiánya miatt. Üledékes medencékben számítani lehet kőolajra, és ez nem kivételes dolog. Ilyen térségben a kőolajat adó próbafúrás esélye 1 a 18-hoz; geológiai és geofizikai támogatással nagyobb az esély.

A találkozó mindjárt másnap reggel kezdődött. Bemondtuk a taxisofőrnek a címet: Magnoliaház, Akard and Commerce Streets. A sofőr elmondta nekünk, hogy tegnap volt egy New-York-i pasasa, aki azzal hengegett, hogy New Yorkban milyen gyorsan készülnek el csodálatos új épületek. Mivel a sofőr bevaló texasi volt, a Magnoliaház mellett hajtott el a New-York-ival, aki megkérdezte, mi ez a csodás épület? Különb, mint bármelyik, ami nekünk New-Yorkban van. A taxisofőr ezt válaszolta: „nem is tudom, ez a múlt héten még nem volt itt”. Talán azért emlékszem erre a történetre, mivel Dallas nagy hatással volt rám. Texas varázslatos volt.

A Tanácsadó Bizottság által 1953. január 30-án megtartott dallasi találkozón a Bizottság elnöke Daniel Silverman volt, aki ezt a pozíciót a GAG működésének teljes ideje alatt megtartotta. A találkozó résztvevői a következők voltak: L. Y. Faust (Amerada Petroleum Co.), H. F. Dunlap (Atlantic Refining Co.), N. A. Riley (California Research Corporation), R. R. Thomson (Carter Oil Co.), Richard Bradley (Cities Service Oil Co.), J. M. Crawford (Continental Oil Co.), L. F. Peters (Gulf Research and Development Co.), P. E. Haggerty (Texas Instruments Co.), W. Jacques Yost (Magnolia Petroleum Co.), R. G. Piety (Phillips Petroleum Co.), D. Silverman (Stanolind Oil and Gas Co.), A. C. Winterhalter (Sun Oil Co.), B. D. Lee (The Texas Company), P. M. Hurley és E. A. Robinson (MIT). Nem volt ott a találkozón O. H. Gardner (Humble Oil and Refining Co.), C. A. Swartz (United Geophysical Co.), és Henry Salvatori (Western Geophysical Co.). Megállapodtak az egynapos rendezvény napirendjében. Ennek két témaköre volt: a predikciós elmélet kutatásának műszaki kérdései és az MIT-nél futó programhoz kapcsolódó adminisztratív feladatok. Hurley professzor ismertette az addig elért eredményeket azzal a szándékkal, hogy azokból kiindulva felvázolja a közeljövőben folytatható kutatómun-

ka különböző irányait. Az eredmények azt mutatták, hogy a dekonvolúció (a jóslási hiba szűrése) detektálta a szemmel látható reflexiókat, továbbá kimutatott néhány vizuálisan nem észlelhető reflexiót is. A szűrési művelet végrehajtására azonban viszonylag jó felvételeken került sor. A feladat tehát a dekonvolúció nehezebben értelmezhető felvételeken való tesztelése volt.

A legnagyobb prioritású vizsgálati mód kijelölésére vonatkozólag két elképzelés született. Az egyik szerint a jóslási hibák görbéit (dekonvolált nyomvonalak) össze kell hasonlítani a szeizmogramok értelmezésének más módszereivel. A másik elképzelés szerint a vizsgált területről nyert érdemleges geológiai, geofizikai és melyfúrás adatokat fel kell használni a jóslási hibák görbéinek kiértékelésében. Míg eleinte úgy látszott, hogy a többség az első megközelítést részesíti előnyben, később abban állapodtak meg, hogy az adatok álljanak rendelkezésre olyan formában, amely lehetővé teszi az utóbbi megközelítés követését, ha ez a csoportok bármelyike számára kívánatosnak látszik. Végül megegyeztek, hogy az MIT-projekthez biztosítják mindazokat a fontos adatokat, amelyek a vizsgált szeizmogramokat szolgáltató területre vonatkoznak. Abban is megállapodás született, hogy a vizsgálatok kezdetben meglehetősen egyszerű geológiai szelvényről kapott szeizmogramokon alapuljanak. A megállapodás 2. pontja szerint az első néhány vizsgált szeizmogramnak reprodukálható felvételekből kell származnia abból a célból, hogy legalább három különböző szűrésű és/vagy keverésű garnitúra álljon rendelkezésre ugyanabból az eredeti adatkészletről. Részleteiben a következőkre volt szükség: i) 12 csatornás kiindulási felvétel a 20–120 Hz-es frekvenciasávban, amely tökéletes visszajátszás ezen a sávon belül; ii) ugyanez a felvétel keskeny sávú alacsony frekvenciás szűrőn történő átbocsátás után; iii) mint az előző, de magasabb frekvenciás szűrővel; és iv) a legjobb szűrés és/vagy keverés, amelynek elérésére az adatokat szolgáltató csoport képes volt.

Elfogadták, hogy a kezdeti teszteléshez kijelölt területeknek tartalmazniuk kell legalább öt robbantópontot egy szelvényen, amelyen a felvétel minősége nem változik meg észrevehetően az egymást követő lövések során. Ezután készítenek néhány szeizmogramot egyetlen robbantólukból, változó mélységgel és töltetnagysággal. Mindezeket a követelményeket összegezték. A Texas Company, a Continental és a Magnolia megígérte, hogy törekedni fog a kívánt szeizmogramok és azokkal együtt az elérhető geológiai adatok megszerzésére a vállalatvezetésük hozzájárulásával kijelölt szelvényen, és a megszerzett anyagot eljuttatja az MIT-hez Hurley professzor részére. Ebből a három garnitúrából legalább egynek a vizsgálatáról az MIT részletes jelentést állít össze 1953 júniusára. A fenti anyagokon kívül a csoport más típusú összeállításokat is fontolóra vett. Elhatározták, hogy a szponzorok közül néhányan bonyolultabb anyagokat is szolgáltathatnak. A Stanolind, Atlantic és Cities Service vállalta, hogy törekedni fog további vizsgálatok céljára engedélyezett felvételek megszerzésére. Más vállalatok is tanulmányozni fogják adatállományukat, és

kapcsolatba lépnek Hurley professzossal, ha megfelelő felvételeik lesznek. Bemutattam azt a számítási sémát, amelynek alkalmazását az MIT tervezte, beleértve a Raytheon feladatát képező „operátoros” megoldásokat és a jóslási hiba Whirlwiden futó feldolgozását is. A GAG eleinte szeizmogramonként tíz eset munkába vételét tervezte. Mivel a becslött teljesítőképesség havi 60 eset volt, ez havonta hat szeizmogram analízisére volt elegendő.

A végrehajtásra váró feladat eléggé világos volt. Először is a GAG a Raytheonral együtt kifejlesztett egy digitális feldolgozórendszert, amely alkalmas az esetek nagy tömegének kezelésére, majd a rendszert felhasználja a reflexiók kimutatására az átadott felvételeken. A célkitűzést tekintve teljes volt az egyetértés, és a Tanácsadó Bizottság minden tagja egy nyelven beszélt. A GAG célja az volt, hogy igazolja a dekonvolúció mint szeizmikus feldolgozási művelet alkalmasságát. Az eredményeket a GAG soron következő jelentéseiben kellett közzétenni, a szeizmológiához alkalmazott digitális jelfeldolgozás elméleti tárgyalásával együtt. A Bizottság egyetértésével találkozott, hogy a Raytheon végezze a számításokat és a GAG-re maradjanak a kísérleti munkafolyamatok részletei. A GAG-projekt költségvetését illetően nem merült fel a változtatás igénye. A Tanácsadó Bizottság négy hónapot adott a GAG-nak a feladata teljesítésére. A munkáról szóló jelentést a GAG 1953. június elejére készíti el. A jelentést valamennyi részt vevő vállalat megkapja tanulmányozás céljából. A Texas Companytól B. D. Lee 1953. február 3-án ezt írja Hurley professzornak: „igyekszünk még ma elkészíteni az ön által kért felvételeket, és azonnal továbbítjuk azokat, mielőtt kikerültek az előhívóból”. A következő napon 18 szeizmogramot küldött (amelyeket 12.1-től 12.18-ig terjedő számozással láttunk el), ezek mindegyike két csatornát tartalmazott. Még egy további szeizmikus felvételt is küldött (ez a 12.0 számot kapta).

## A GAG 1953 telén

1953 februárjában tudományos segédmunkatársként Mark Smith és William Walsh lépett be a GAG állományába. Barbara Halpern titkárnői, Irene Calnan pedig műszaki aszisztens beosztásba került. Simpson PhD-disszertációjának befejezésén dolgozott, így csak korlátozottan állt rendelkezésre. Elkezdtem Smith és Walsh betanítását számítógép-programozásra. A Raytheonra és rám maradt a szeizmikus adatfeldolgozás. A GAG új helyiségekbe költözött a 20-as épületben, amely egy faépítmény volt, a háború alatt itt fejlesztette az MIT Sugárzási Laboratóriuma a radart. Ablakaink egy sivár udvarra néztek, ahol néhány leszerelt radarberendezést láthattunk. Az egyik iroda ajtaja használhatatlan volt. Még egy jó csavarhúzó sem találtunk. Mark Smith (később a Texas Instruments elnökhelyettese) aztán mégis helyretette az ajtót. Így emlékezett: „A GAG-nál pusztán kézzel intéztük a dolgokat”.

Brit tudósok mindjárt a 2. világháború kezdetén kifejlesztették a mikrohullámú radart az ellenséges repülőek felderítéséhez. Ők azonban nem voltak képesek hibátlanul,

illetve nagy tömegben előállítani a magnetroncsövet, amely a radar működésének alapvető eszköze. Az MIT Sugárzási Laboratóriumának ösztönzésére találkozóra került sor vezető brit tudósok és a Raytheon között. A Raytheon nemcsak a gyártási folyamat egyszerűsítésére állt elő radikális változtatásokkal, hanem a radar működésének tökéletesítésére is voltak elképzelései. Ennek hatására az angolok a Sugárzási Laboratórium közvetítésével a „kis” Raytheont egy szerény szerződéshez juttatták, amely a magnetronok szállítására vonatkozott. Ugyanakkor a Western Electric nevű „óriás” tekintélyes szerződéshez jutott. A háború végéig a Raytheon állította elő a magnetronok teljes mennyiségének 85%-át, messze maga mögött hagyva a Western Electricet, RCA-t, GE-t és más nagyvállalatokat. A háború alatt a Raytheon kifejlesztette azt a SG hajóradart, amely a tengeren fölényben volt a repülőgépekre telepített radarokkal szemben. A Raytheon fedezte fel 1945-ben a mikrohullámú sütést, és 1947-ben a Raytheon mutatta be a világ első mikrohullámú sütőjét. A Raytheon a haditengerészeti kutatások minisztériuma részére megépítette a Hurricane számítógépet, és 1948-ban elsőként foglalkozott repülő célpont elérésére képes lövedék-távírányító rendszer kifejlesztésével. Az első sorozatban gyártott tranzisztort, a CK 703-as túérintkezős típust a Raytheon bocsátotta ki 1947-ben, majd ezt követte a közfogyasztás számára forgalmazott első tranzisztor, a CK 722-es germánium rétegtranzisztor. A Texas Instruments 1954-ben hozta ki a sorozatban gyártott első tranzisztoros rádiót. Válaszként a Raytheon a következő évben saját verziójával, a 8TP-4 típusú tranzisztoros rádióval jelent meg. A tranzisztorok teljes mértékben forradalmasították a számítógépeket és az elektronikus technológiát.

A GAG 1953. február 2-án találkozott a Raytheon képviselőivel. Néhány nap múlva a Raytheon megküldte munkáinak számláit, amelyek a programozásra, kiolvasásra, számításokra, operátor-együtthatók szolgáltatására, és a GAG által rendelkezésükre bocsátott szeizmikus felvételekhez tartozó jóslási hibagörbék (dekonvolvált nyomvonalak) végső ábrázolására vonatkozó tételeket tartalmazták. A programozás és az analízis ára 2800 \$, egy fél eset számításának (havi 50 fél eset számítását feltételezve) ára 5,7 \$, egy teljes eseté (havi 200 teljes eset számítását feltételezve) pedig 15,00 \$ volt. A számítások mindegyikét a jóslási távolság két értékének alkalmazásával kellett elvégezni. Mivel azonban havi 250 eset számításának elvégzésére nem volt lehetőség, a Raytheonnal február 3-án sikerült egyességre jutni, mely szerint a GAG 2800 \$-t fizet a programozásért és az analízisért, továbbá megrendeli 320 teljes eset számítását 16,50 \$-os egységáron azzal a feltétellel, hogy a fél esetek számítása arányosítható. Ilyenformán a szerződés összegszerűen 8080 \$-t tett ki, ami a 2800 \$-os és az 5280 \$-os tételekből adódott. A szerződés tartalmazta a rugalmas kezelés kitételét, ez lehetőséget teremtett a menet közbeni változtatásokra. A kitétel a Raytheon kívánsága volt azon az alapon, hogy nem tett még szert kellő jártasságra a számításoknak ebben a típusában. A 320 eset havi 60 esettel számolva mintegy 5 hónapnyi munkát

jelentett, ez kitölthette a februártól júniusig terjedő időszakot.

A Raytheon úgy döntött, hogy a GAG számításaihoz a Torontói Egyetem számítógépét alkalmazza. A torontói gép neve FERUT (FERranti at University of Toronto) volt. A Raytheon alapos vizsgálódás után választotta ki a projekthez ezt a gépet, az általános célú számításokhoz rendelkezésre álló néhány ipari kategóriájú elektronikus digitális számítógép közül. A FERUT bináris számrendszerben működött. A gép két azonos méretű blokkból állt, ezek befoglaló méretei: 490 cm hosszúság, 240 cm magasság, 120 cm mélység és a kezelőpult. Energiafogyasztás: 27 kW. A gép 4000 elektroncsövet és 15 000 ellenállást tartalmazott. Szorzási ideje 2,2 ms volt (vagyis 450 szorzás/s) összeadási ideje pedig 1,2 ms (vagyis 833 összeadás/s). A bemenet perforált telexszalag volt, a kiolvasás fotoelektromos úton történt, max. 200 karakter/s-os beviteli sebességgel. A kimenet is perforált telexszalag volt 10 karakter/s-os nyomtatási sebességgel vagy telexgépes direkt nyomtatással 6 karakter/s-os sebességgel. A gép rendelkezett nagy sebességű elektrosztatikus tárolóval (RAM), amelynek 256 szó (egy szó 40 bináris számjegyből, vagyis kb. 12,1 decimális számjegyből állt). Mágnesdobos memóriája 16 000 szó tárolására volt alkalmas.

A szeizmogramok analizálására használt Ferranti számítógép néhány előnyös tulajdonságaként a kielégítő bemeneti sebesség, kiváló számítási sebesség és nagy dobmémória említhető. Az ilyen típusú számítógépeknél tapasztalható hátrányt az elektrosztatikus memóriájának (RAM) kis kapacitása jelentette. Egy komolyabb számításához, például egy analízis elvégzéséhez, igen sok utasításra (mintegy ezerre) és az adatok óriási tömegére volt szükség. Beolvasás előtt mindezeket az információkat a mágnesdob tárolta, majd onnan át kellett vinni azokat az elektrosztatikus memóriára sok egymást követő, viszonylag kis blokkokban való felhasználáshoz. Ez a megoldás a kódolás nehézsége miatti kellemetlen következményként hibákhoz vezethetett, amelyek behatárolását és kijavítását el kellett végezni a feladat futtatása előtt. A gép használatának másik korlátja – amelynek kiküszöbölésére a nem túl távoli jövőben számítani lehetett – az alacsony kimeneti sebesség volt. Az ennek nyomán jelentkező idővesztés csökkenthető volt azáltal, hogy a gép a nyomtatás ideje alatt is végezhetett számításokat, adott esetben azonban más kódolási szempontok korlátozhatták ennek alkalmazását.

### 1953 tavasza és Toronto

A GAG 1953. február 17-én megküldte a Raytheonnak az 1. számú munkafeladatot. A feladat tartalmazta 60 fél eset számításait, amelyek mindegyikét két jóslási távolság alkalmazásával kellett elvégezni. A 60 fél eset közül 35 a 10.9-es felvétel (Magnolia) számításaira, 10 fél eset a 7.5-ös felvétel (Atlantic), 15 pedig a 12.0-ás felvétel (Texas Instruments) számításaira vonatkozott. A jóslások és a hibagörbék számítása a Whirlwind számítógépen történt. Clippinger 1953. március 3-án telefonon közölte velem, hogy a

Raytheon néhány eset számítását 3 héten belül, az 1. számú feladat többi esetét pedig 5 héten belül teljesíti. A GAG 1953. március 9-én megküldte a Raytheonnak a 2. számú feladatot, amely a Texas Company 18 felvételét (12.1-től 12.18-ig terjedő számozással) érintette. Az eredmények ezt követően vártak magukra. Március 16-án felhívtam a Raytheon-t, és beszéltem Levinnel. Ő azt mondta, hogy a torontói gép az elmúlt héten végig működésképtelen volt. A Raytheon akkor még a mátrixos megoldáshoz szükséges kód ellenőrzését végezte, míg Levin a hibagörbe kódjának megírásán dolgozott. Clippinger 1953. március 20-án egy telefonbeszélgetésben ismerte be, hogy alábecsülte az esetek számunkra történő visszajuttatásához szükséges időt. Azt mondta, hogy gép- és kódhibák miatt nem működnek a programkódok, de állította, hogy május 15-ig a 320 esetet maradéktalanul feldolgozzák. Egy  $9 \times 9$ -es mátrixos megoldás számítását elvégezték kézi úton. Ez 42 órát vett igénybe, így több számítást nem végeznek ilyen módon. Most készen álltak felvételeink kiolvasására. Legfontosabb számítástechnikai feladatunkat a Raytheon vállalta magára, és a felső vezetés érdekelt volt a feladat sikeres teljesítésében. Ekkor nem volt okunk aggodalomra.

Március 25-én beszéltem Wadsworth professzorral. Azt javasolta, hogy a Tanácsadó Bizottságnál esedékes találkozót halasszuk el júniusról szeptemberre, én pedig írok egy elméleti cikket, amelyet júniusban elküldhetünk az olajvállalatoknak. Ez a tudományos cikk tartalmazná a differenciálegyenletek elméletének numerikus példákkal alátámasztott tárgyalását és még valami más munkát is ebben a témakörben. Wadsworth professzor javasolt még egy találkozót is, ahol megbeszelnénk a PhD-tézisek tárgykörének kérdését. Általános irányelv alapján kellene eldönteni, hogy a félállású tudományos segédmunkatársak milyen kutatómunkát végezzenek.

Egy április 1-i találkozón a Raytheon közölte, hogy még további két hétre van szükség az adatok feldolgozásához, így az 1. és a 2. számítási munkafeladat teljesítésének reálisan becsülhető határideje május 1. Találkozóm volt Levinnel április 13-án. Ő elmondta, hogy két nappal korábban találkozott Clippingerrel Torontóban. Clippinger tájékoztatta, hogy nála jól mennek a dolgok. A kódok jelentős részét kijavították, és a következő héten szándékában áll visszatérni Massachusettsbe. Levin a hét végén felment Torontóba. Nem találta súlyosnak a helyzetet. A hibák a kódolásban jelentkeztek. A gép napi 24 órát dolgozott, és hetenként kb. 50 óra hasznos idő állt rendelkezésünkre, elmentben a korábbi heti 4–6 órával. Torontóban a fő feladat a Szent Lőrinc hajóút építése volt. Ez a beruházási program minden héten 3 teljes nap gépidőt foglalt le, és a fennmaradó részt osztották el a többi feladatra, közöttük a miénkre is.

Április 27-én telefonon beszéltem Clippingerrel, ő akkor már visszajött Torontóból. Azt mondta, hogy a dolgok nem úgy mennek, mint ahogy a Raytheon szeretné. Most hívta őt Levin Torontóból. A feladatban 20 szubrutin van, ebből 8 működik, 6 másik közel áll a működéshez, és van 4, amelyeken Levin dolgozik. Megkérdeztem, hogy a vektor-

szorzatok kódja működik-e. Clippinger azt válaszolta, hogy működik, és Levin arra törekszik, hogy az inverz mátrixokból megkapja az operátor-együtthatókat. Megmondtam neki, ha Levin ezt a részt működőképessé tudja tenni, a többi mi elvégezhetjük a Whirlwinden. Hozzátettem még, ha a helyzet reménytelennek látszik, a tanácsadó bizottsági találkozót elhalaszthatjuk szeptemberre. A találkozó tervezett ideje június közepe volt. Clippinger erre azt válaszolta, hogy május 15-re a Raytheonnak biztos képe lesz a dolgok állásáról, nem kell tervbe vennünk a találkozó elhalasztását. Jó esély van arra, hogy az anyaghoz június 1-re hozzájutunk. Ő éjt nappallá téve dolgozik, és visszamegy Torontóba 10 napra, másnap utazik.

Május 8-án a Raytheon-tól Porter hívott fel, és a kanadai telefonhívásra hivatkozva közölte, hogy a Raytheon előző éjszaka gépidőhöz jutott, és két héten belül lehet számítani a megoldásokra. A Raytheon-t 1953 tavaszán kellemetlenül érintette, hogy nem kapott elegendő gépidőt, főként a FERUT gyakori leállásai miatt. Itt kell megemlíteni, hogy mindkét számítógép, a Whirlwind és a Ferranti is új állapotú volt, és még tesztelés alatt állt. Ez volt a valaha végzett első digitális jelfeldolgozás, a végrehajtás teljes folyamata új volt még a kiforrott, sokat próbált számítógépek számára is. Ezek a gépek akkor még nem rendelkeztek lebegőpontos aritmetikával, így mindig felmerült a túlcordulás problémája, hacsak előzőleg nem skálázták gondosan az adatokat. Wadsworth professzort rémálmok gyötörték. Hurley professzornak ezt írta: „Kedves Pat, az éjszaka közepén felriadok, és aggódom az óriási költségek miatt, amelyek terhelni fognak minket a Raytheon-nál végzett idej és jövő évi számításokért. Éjszakai nyugalmam érdekében kérlek, végezz ellenőrzést és bizonyosodjál meg arról, hogy van-e pénzügyi fedezetünk ennek a tehernek az elviselésére, és nem költünk-e túl sokat az alkalmazottakra”. Ennek az lett az eredménye, hogy Torontóba kellett mennem.

Így aztán az éjszakai vonattal Clippinger és Levin társaságában Torontóba utaztam. Az ósdi, 1890-es évjáratú vasúti kocsik belsejét mindössze a menyezetről függő két lámpa világította meg. Az árnyékok táncot jártak, ahogy a lámpák előre-hátra himbálóztak, miközben a pöfögő gőzmozdony belefúrta magát a sötétségbe és az ismeretlenségbe. Clippinger kezdte a beszélgetést. Lebilincselő volt számomra. Alan Turingről beszélt. Turing, ez a ragyogó és eredeti elme 1934-ben publikálta „A kiszámítható számokról” című tanulmányát. Ebben az elméleti munkájában lefektette a számítógép elvi alapjait. A matematikusként ismert Turing jártas volt a filozófiától kezdve a pszichológián át a fizikáig, kémiáig és biológiáig terjedően a tudományok teljes spektrumában. Össze tudta kapcsolni a magas szintű gondolkodást a gépesítés és a kísérletezés kézzel fogható gyakorlatával.

Clippinger elmondta, hogy 1948-ban a brit kormányzat kidolgoztatta a Small-Scale Experimental Machine (Kisméretű Kísérleti Gép) nevű számítógépet, amely bár egyszerű formában, de tartalmazta a tárolt programú számítógép csíráját. Az angliai Manchesteri Egyetemen rövid idő

alatt kifejlesztették a Mark I.-et, ezt a jóval nagyobb teljesítőképességű, használhatóbb gépet, elsősorban tudományos kutatások céljára. Turing 1948-ban került a Manchesteri Egyetemre, és 1949 nyarán fontos szerepe volt a Mark I. papírszalagos készülékkel való ellátásában. A brit kormányzat a Ferranti céget bízta meg a Mark I. gyártásával. Ez volt az első, kereskedelmi forgalomban kapható számítógép. Első példányát 1951-ben helyezték üzembe, a második Ferranti Mark I.-et (FERUT) pedig a Torontói Egyetem vásárolta meg a Szent Lőrinc folyami hajóút tervezési munkáihoz.

Utazás közben dolgoztunk. Clippinger tájékoztatást adott nekem a FERUT kódolásáról. Azt mondta, hogy főleg Turingnak tulajdonítható a 32-es alapú számrendszer használatának bevezetése. Bármely komolyabb programozás elvégzéséhez meg kellett tanulnom az alapszám 32 számjegyének alábbi megfelelési táblázatát, a számjegyek numerikus megfelelőjét és a megfelelés bináris ábrázolását. A számok bináris alakjának és 32-es alapú alakjának leírásakor a legkisebb helyértékű számjegy a bal oldalon volt. Ez a konvenció a mérnökök kényelmét szolgálta.

Clippinger elmagyarázta, hogy az alábbi 40 számjegyes bináris szám: 01010 00011 10011 01100 00110 10100 00011 00110 tömörebben is leírható 8 számjegyes, 32-es alapú számként: ROBINSON. Azt is elmondta, hogy egy 20 bites utasítást négy karakterként, egy tárcímet pedig 2 karakterként írnak le. Tudatta velem, hogy az 5 csatornás lyukszalag közvetlenül olvasható, és a kijelzőcsövön megjelenő információt könnyen ki lehet olvasni, ami különösen az utasítások esetében fontos. Ezek 20 bites sorként, négy 5 bites csoportot alkotva kerülnek fel a kijelzőcsőre, és az 5 bites csoportok mindegyike megfelel egy 32-es alapú karakternek. Clippinger számára mindez pofonegyszerű volt.

Munkához kellett látni. A dolgok komolyra fordultak. Egy szubrutint ellenőriztem, amely nem működött kielégítően. Fagyos kezeimben tartottam a lapokat. Valameddig eljutottam, aztán elvesztettem a fonalat. A programozás a 32-es alapú rendszerben elavultnak tűnt. Az egyszerű és hatékony Whirlwind-féle nyelvhez voltam szokva. A vasúti kocsik ide-oda rázkódtak és előre-hátra imbolygott. Úgy éreztem magam, mint Robinson Daniel Defoe regényében:

0	00000	/	8	00010	$1/2$	16	00001	T	24	00011	O
1	10000	E	9	10010	D	17	10001	Z	25	10011	B
2	01000	@	10	01010	R	18	01001	L	26	01011	G
3	11000	A	11	11010	J	19	11001	W	27	11011	"
4	00100	:	12	00110	N	20	00101	H	28	00111	M
5	10100	S	13	10110	F	21	10101	Y	29	10111	X
6	01100	I	14	01110	C	22	01101	P	30	01111	V
7	11100	U	15	11110	K	23	11101	Q	31	11111	£

„Nem tudtuk hol vagyunk, milyen vidékre érkeztünk, szigetre vagy szárazföldre, lakott vagy lakatlan területre”. Clippinger és Levin ott ültek a gyenge fénynél és szorgalmasan dolgoztak a programokon. Végül Levin bátorítására otthagyhattam őket a munkájukkal, és besurrantam a hálókocsiba. Alighogy elaludtam, felébresztett két kanadai rendőr. A vonat a kanadai határon volt, be kellett mutatnom az útlevelemet. Torontóba érkezve épphogy lenyeltük a reggelinket, máris mentünk a számítógéphez. A gép egy öreg, lestrapált egyetemi épületben volt elhelyezve. A bútorzat hiányos volt, de találtam magamnak egy kis asztalt, amelynél dolgozhattam. Elhatároztam, hogy működésbe hozom a szubrutint. Egész nap és még éjszaka is dolgoztunk. Éjjeltájban ők lefuttatták azokat a számítógépes programkódokat, amelyeket Dimsdale még Massachusettsbe való visszatérésekor írt meg. Dimsdale kódjai első próbálkozásra működtek, alighanem először fordult elő, hogy ez a csoda megtörtént ezen a rejtélyes gépen. Futtattuk a javításaimmal módosított szubrutint is, de az nem működött. Néhány óra alatt további módosításokat végeztem rajta. Újra lefuttattuk. Most sem működött. Clippinger

azt mondta, ha négy óránként eszünk valamit, nem lesz szükségünk alvásra. Én nem hittem ebben. Egy csaknem egész éjszaka működő büfében étkezhattunk, és az étel ízletes volt. Újabb próbálkozás során az én kódomban továbbra sem működött. De ahogy Ralph Walde Emersonról tudjuk: „A nehéz percek a tudomány számára hasznosak. A jó tanuló nem szalasztja el ezeket az alkalmakat”. Másnap reggel (legalábbis számomra) szerencsés dolog történt. Az egyetem közölte, hogy a számítógépet a nap folyamán egy ideig nem lehet használni. Nagyon megörültem a híreknek, alig vártam, hogy ágyba kerüljek. Átmentünk a kopott szobába, amelyet közösen foglaltunk egy öreg, kétszintes faház emeletén. A padlók nyikorogtak a lépteink alatt. Elég kezdetleges fajtája volt ez a „szoba reggelivel” szállásnak, mint-hogy reggelit nem kaptunk. Szerencsémre, nekem a szoba benyílójában volt a fekhelyem, egy kemény, hepehupás priccs. Már esteledett, de Clippinger ült az ágyon, és átnézte az addig kapott számítógépes eredményeket. Én megszakításokkal tudtam aludni. Hamarosan ideje volt visszamenni ahhoz a rémes számítógéphez és azokhoz az ördögi kódokhoz, amelyeket Alan Turing agyalt ki. Leültem az

asztalomhoz és dolgozni kezdtem a szubrutinon. A jóleső néhány órai alvás magamhoz térített. Clippinger kihasználta minden másodpercet, tudomást sem véve az idő múlásáról. Levin kijelölte a tennivalókat. Munkához kellett látni. Tettem két sikertelen kísérletet. Másnap hajnali 2 órakor kaptam még egy lehetőséget a gépen. A szubrutin akkor már működött. Halálosan fáradt voltam. Levin a segítségemre sietett, elvezetett egy hideg padhoz, amelyet az öreg épület valamelyik sötét zugában felejtettek, és erre lefeküdhettem. Nyomban mélyen elaludtam. Alvásomat csak számítógépes álmaim zavarták meg, amelyekben a számítógépek a szeizmikus hullámok tengerén lebegtek. A hullámok átváltoztak elemi hullámokká, ezek pedig teljesen kitöltötték a kaotikus tengert.

A becsörtető Clippinger ébresztett fel. Az első fények a hajnal közeledtét jelezték. Clippinger nagy hangon újságot, hogy az összes program működik. Félig aludtam, amikor kimentem és megnéztem a konzolon villogó fényeket. Clippinger és Levin könnyen tudták olvasni ezeket. Én képtelen voltam rá. Számomra a Turing által kigondolt 32-es számrendszerű kimenet még mindig értelmezhetetlen volt. Várom kellett, amíg a számokat kinyomtatták. Clippinger és Levin lefuttatott egy jó nagy adag GAG-adatsort. Az esetek egymás után oldódtak meg. Én alig vártam, hogy a Bostonba induló vonaton legyek.

### Találkozó 1953 nyarán

A GAG 1953. július 1-én találkozót tartott a Raytheonon az MIT-nél. A Raytheon bejelentette, hogy teljesítették 56 fél eset és 17 teljes eset kiszámítását. Clippinger kiszámolta a Raytheonon az addig felmerült költségeket. Ezek az alábbiak voltak:

Az analízis, kódolás és a számítógépen végzett ellenőrzések költségei	26 130 \$
A számítógép bérleti díja	
a.) Ellenőrzés	2 640 \$
b.) 56 fél eset és 17 teljes eset előállítása	2 970 \$
Adminisztratív költségek	9 750 \$
Felvételek kiolvasása	3 900 \$
Grafikus ábrázolás	1 170 \$
Utazási költségek	3 000 \$
Kellékek	1 000 \$
Összesen	50 560 \$

nak megállapítása szerint kétségkívül a Raytheon nyújtott az ipar számára elsőként üzleti alapú digitális jelfeldolgozó szolgáltatást. Soha azelőtt nem alkalmaztak számítógépeket nagy tömegű digitális adatfeldolgozására. Addig a számítógépeket egyenletek megoldására használták, amelyekben kevés volt a tényleges adat. Maga a Ferranti gép korlátozó tényező volt. Szerkezetének kialakítása nem felelt meg digitális adatfeldolgozásra, ezt a feladatot a Raytheon oldotta meg. A Ferranti gép nagy szóhosszúságánál, kis se-

A felhasznált teljes gépidő 70%-a nem volt hasznos, ezt nem számolták fel. Amikor a gép egy hétre leállt, Dimsdale, Clippinger és Levin, továbbá két vagy három kiegészítő női alkalmazott erre az időre kiesett a munkából. Szintén a holtidő miatt a kódolást hármuk között kellett felosztani. Ez rontotta a munka hatékonyságát, mivel nem tudtak egymás munkájáról, amikor egyikük Kanadában dolgozott, a többiek pedig Massachusettsben voltak.

A professzorok úgy vélték, hogy a pénzeszközöket jobban lehetne felhasználni a megszokott tudományos kutatás céljára. Schrock professzor később így emlékezett: „Nem volt meglepő, hogy a nagy sebességű számítógépek jövőjét illetően bizonytalanság uralkodott; még tapasztalt tudósok és mérnökök sem tudták, mit hoz a jövő.” Rendbe kellett tennem az egész zilált pénzügyi helyzetet az 1953. augusztus 12–13-ra tervezett Tanácsadó Bizottsági találkozó előtt. Találkoztam T. R. Porterrel, a Raytheon műszaki értékesítési igazgatójával. A GAG-nek további igényei voltak, amelyek nem szerepeltek az eredeti szerződésben. Porter ezt írja az augusztus 5-én nekem küldött levelében: „Hivatkozással megbeszélésünkre és egyeztetésünkre, amelyet a jelenleg érvényben levő szerződés tárgyában, a szeizmikus elemző programhoz kapcsolódó számítási szolgáltatások költségeire vonatkozólag folytattunk, a mostani helyzet megoldására az alábbi ajánlatot tesszük”. A megoldás egy új, 9180 \$-os szerződéses ár volt, a korábbi 8080 \$-os ár helyett. Az 1100 \$-os növekmény annak a többletmunkának az ára volt, amelynek elvégzését a Raytheononól kértük. Porter így fejezte be levelét: „Közben folytatjuk a munkát, feltételezve, hogy a fentiek elfogadhatóak lesznek az önök számára”.

A Raytheon kidolgozott egy kifogástalanul működő dekonvolúciós rendszert. Az IEEE Történeli Központjára

bességénél és lassú kimeneténél fogva alkalmas volt a dekonvolúciós operátor (fél eset) kiszámítására, ugyanakkor alkalmatlan volt a dekonvolúció végrehajtására (a teljes eset fennmaradó része). Más részről viszont a Whirlwind kis szóhosszúsága, gyors működése és nagy sebességű kimenete nem tette lehetővé a dekonvolúciós operátor kiszámítását, a dekonvolúció elvégzésére azonban alkalmas volt. Mindkét gép esetén a RAM kis kapacitása (a Ferrantinál 256 szó, a Whirlwindnél 1024 szó) volt jellemző.

A Raytheon közlése szerint 24 emberhónap ráfordítást igényelt a szeizmikus dekonvolúció programozása és a kódok ellenőrzése a Ferranti számítógépen. Egy éve Howard Briscoe-val ketten teljesítettünk egy minden bizonnyal elég bonyolult programozási feladatot a Whirlwind számítógépen. Amikor ennek 1951-ben Briscoe-val nekifogtunk, még csak a meglehetősen primitív gépi nyelv létezett, és nekünk kellett megírunk saját kétszeres pontosságú kódjainkat. Munkánk a maga nemében hatással volt arra az irányvonalra, amelyet a Digitális Számítástechnikai Laboratórium a Whirlwind fejlesztésében követett, hogy alkalmassá tegye a gépet nagy tömegű légvédelmi adat kezelésére. A Tanácsadó Bizottsághoz 1953. július 8-án benyújtottuk az „Esettanulmány a Henderson megyei szeizmikus felvételtől, 1. rész” című 3. számú MIT-GAG-jelentést. Ez a jelentés a Magnolia Petroleum Co. 10.9-es számú felvételének számítási eredményeit tartalmazta. A felvételhez a GAG még az 1953. január 30-i Tanácsadó Bizottsági találkozó előtt jutott hozzá, és elvégezte ennek digitalizálását. Az 1. számú munkafeladatban a Raytheon a felvételhez kapcsolódó 35 fél esetet kapta meg. Minthogy minden fél esethez a jóslási távolság két értéke tartozott, ez összesen 70 dekonvolúciós operátort jelentett. Az operátor-együtthetők első 28 készletét a Raytheon május 26-án küldte meg a GAG-nak, és további készleteket küldött még június 16-án. Az operátor-együtthetők megkapott készleteihez a GAG a Whirlwind számítógépen kiszámította a jóslási hibagörbéket. A jelentés ezeket tartalmazta. A jelentésben nem szerepelhettek azok a jóslási hibagörbék, amelyekhez az operátor-együtthetők a Raytheon június 16. után küldte meg, mivel nem állt rendelkezésünkre elegendő hasznos idő a Whirlwind gépen. A felvétel a texasi Henderson megyében készült, ahol mintegy 4,5 m laza Carrizo homokra ligniteres Wilcox homokos agyag települ. A Magnolia a laza homok miatt tekintette ezt nehéz területnek. A 10.9-es felvétel interferenciás volt, így nem mutatott jól felismerhető reflexiókat. Ennek ellenére a Magnolia a legfelső nyomvonalon bejelölt öt beérkezési időt. Bejelölésük alapját egy más lövési eljárás alkalmazása képezte, amely mutatta a reflexiókat. A dekonvolúció könnyűszerrel választotta ki az összes reflexiót, amelyek a 10.9-es felvételen voltak.

A Tanácsadó Bizottsághoz 1953. július 21-én benyújtottuk „A Texas Company szeizmikus szelvényéhez alkalmazott lineáris operátorok vizsgálata, 1. rész” című 4. MIT-GAG-jelentést. A jelentés azokat a számítási eredményeket tartalmazta, amelyek a Texas Company által a GAG részére 1953 februárjában megküldött, 12.0-tól 12.18-ig terjedő számozással ellátott felvételekre vonatkoztak. Kiegészítő információként szerepelt egy sebességszelvényezés, amelyet a C11X robbantóponttól csapásirányban 2700 m-re eső fúrásán végeztek, és egy elektromos fúrólukszelvény, amely a C11X-től északkeletre, mintegy 90 m-re eső fúrásán készült. Ezeket az interferenciás felvételeket a „csengetések” uralták, következésképpen az autokorrelációk is tele voltak csengetéssel. Az autokorrelációs együtthetők ezzel együtt járó magas értékei megnehezítették a mátrixinvertálásokat. Ez a komplikáció okozta, hogy a Raytheonnak

szerveniednie kellett, és újra kellett programoznia egy sokkal pontosabb és költségesebb mátrixinvertálást. Tavasszal erre a kényszerű, költségnövelő időráfordításra nem számítottunk, de még így is képesek voltunk lefuttatni 30 dekonvolúciót a 10 szeizmikus felvétel mindegyikén. Más szavakkal, összesen 300 dekonvolúciót futtattunk le. Minden egyes digitalizált és minden egyes dekonvolváltnyomvonal kb. 600 pontot tartalmazott, ami 1,5 s-os szeizmikus időtartamot jelentett 2,5 ms-os mintavételezés mellett. A 300 dekonvolváltnyomvonalon  $300 \times 600$  vagyis 180 000 pontot kellett kézi úton felrakni. A munka időben való elvégzéséhez egyszerűsítésre volt szükség. A felrakott érték a dekonvolváltnyomvonal egyik jellemző szeizmikus tulajdonsága volt, nem pedig maga a nyomvonal. A jellemző tulajdonság minden egyes értéke 10 egymást követő értéken alapult. Csak a tulajdonság minden tizedik pontjának kiszámítását és felrakását végeztük el, mivel a teljes érték tartomány felrakása tízszer annyi munkát igényelt volna. A dekonvolúciós eredmények jónak látszottak. A dekonvolúció kiküszöbölte a csengetést és a reflexiók konzisztens sorozatát nyújtotta.

1953. augusztus 4-én küldtük el a Tanácsadó Bizottság részére „A szeizmikus analízisben alkalmazott lineáris operátorok elmélete és gyakorlata” című 4. MIT-GAG-jelentést, amely a GAG 1953 januárjától végzett kutatómunkáját ismertette. A jelentés 7. fejezetét „Szeizmogramot analizáló program gépi megoldásának vizsgálata” címmel a Raytheon Manufacturing Co. Számítógépes Szolgáltató Részlege részéről R. F. Clippinger és J. H. Levin állította össze. A fejezet először az árcsökkenés rövid távú kilátásainak kérdéséről tárgyalta. „Előre látható, hogy az előállítás költségei lényegesen csökkenni fognak. A szalagok elkészítésének irodai költségei (meglehetősen bonyolult eljárást igényel a hibázás lehetőségének kizárását célzó különös gondosság) csökkentek az alkalmazottak gyakorlottságának növekedésével, és ebben még további előrelépés várható. A munkabéreköltségek csökkenésén kívül számos lehetőség kínálkozik, hogy az egy esetre számított gépidő csökkenthető legyen. Jelenleg 5 perc gépidőre van szükség a fél esethez és 15 perc a teljes esethez. A tényleges számítások azonban csak az idő viszonylag kis részét veszik igénybe. A teljes esethez például 5 perc számítási és 10 perc nyomtatási idő szükséges. Ezen a helyzeten a nem túl távoli jövőben változtatni lehet párhuzamosan alkalmazott nagy sebességű nyomtatók munkába állításával. Ez a megoldás a jelenleginek 25%-ára fogja csökkenteni a nyomtatás idejét. Egy teljes eset kimeneti nyomtatásának költsége most kb. 18 \$. A jelenlegi bérleti díjszabás mellett ez várhatóan legfeljebb 4,5 \$ lesz, tehát a várható csökkenés legalább 13,5 \$. A FERUT-on végzett feladatmegoldás költségeinek mérséklésére több lehetőség is kínálkozik a program átalakításával. A program módosítható például úgy, hogy a számítógép behúzza a nyomvonalaknak megfelelő mesterszalagokat, és az egyes esetekhez rövid felügyelő szalagról hívja be a paramétereket és az azonosításhoz szükséges többi információt. Ezután kerül sor a nyomvonalak megfelelő csoportjainak kiválasztására és a számítá-



sok elvégzésére. Az összes szükséges számítás elvégzése után hívható be a nyomvonalak új sorozata. Az átalakításnak ez a típusa feleslegessé teszi külön adatbemeneti szalag készítését az egyes esetekhez. Ez csak egyike a kódolás egyszerűsítését célzó megoldásoknak, amelyek a költségek csökkentését eredményezhetik.”

A 7. fejezet ezután a hosszabb távon megvalósítható tökéletesítések kilátásait tárgyalja. „A távolabbi jövőt illetően a probléma megoldására érdemes lenne komolyan megfontolni egy olyan számítógép alkalmazását, amely mágnesszalagos bemenettel és digitálisról analógra való átalakításra képes kimeneti eszközzel rendelkezik. Ismeretes, hogy szeizmikus felvételeket esetenként már készítenek mágnesszalagra. Foglalkoznak már olyan készüléktípussal, amely lehetővé tenné a felvételek közvetlen betáplálását a számítógépbe, és a gép programozását a betáplált felvételek analizálására. A kimenetet digitálisról analóg formára lehet átalakítani, és regisztráló tollak rajzolhatják a hiba görbéket (a dekonvolváltnyomvonalakat). Jó okunk van feltételezni, hogy egy ilyen irányú fejlesztési program eredményeként az árak egy teljes esetre számítva 20 \$ alatt lesznek.” A 8. fejezet annak a nyolc eredeti Magnolia-felvételnek (új számozásuk 10.1–10.8) a Whirlwind számítógépen végzett újrafeldolgozását ismertette, amelynek dekonvolúciója kézi úton készült el 1951 nyarán. A bemutatott anyag a dekonvolváltnyomvonalak teljes sorozatát tartalmazta, és a dekonvolúció kifogástalan működését bizonyította.

A GAG és a Tanácsadó Bizottság esedékes nyári találkozójára 1953. augusztus 12–13-án került sor az MIT-nél. A találkozó résztvevőinek névsora: L. Y. Faust (Amerada), H. F. Dunlap (Atlantic), R. B. Bowman és W. W. Garvin (California Research), R. R. Thompson (Carter), R. M. Bradley (Cities Service), J. M. Crawford és W. E. N. Doty (Continental), T. J. O'Donnell és W. C. Dean (Gulf), D. H. Gardner (Humble), W. J. Yost (Magnolia), R. G. Piety (Phillips), R. Vajk (Standard Oil Company, New Jersey), D. Silverman (Stanolind), W. T. Evans (Sun), H. J. Jones és D. B. Dubbert (Texas Instruments), E. Eisner (The Texas Company), C. A. Swartz és F. B. Coker (United Geophysical), R. R. Shrock, P. M. Hurley, G. P. Wadsworth, N. A. Haskell, E. A. Robinson, S. M. Simpson és M. K. Smith (MIT) és R. F. Clippinger, B. Dimsdale és J. H. Levin (Raytheon). A GAG bemutatta a számítógépes eredményeket és az elméleti munkaanyagot. A legnagyobb figyelem az interferenciás (csengetéses) felvételek a 4. GAG-jelentésben benyújtott dekonvolúciójára irányult.

Az 1953. január 30-i téli találkozó azt a benyomást tette rám, hogy a számítások elvégzése zökkenőmentes lesz a Whirlwind számítógépen szerzett tapasztalataink birtokában. A Whirlwindhez a légierő mindig a legkiválóbb minőségű alkatrészeket, így a legjobb elektroncsöveket használta fel annak ellenére, hogy ezek sokkal drágábbak voltak. A Whirlwind projekt a gép üzemeltetéséhez tekintélyes költségvetési előiránnyal rendelkezett. A Whirlwind karbantartó személyzete mindig elfoglalta magát valamivel.



6. ábra. Babel tornya (id. Peter Brueghel, 1563): „Mert szelet vetettek.”

Ehhez képest a FERUT elhagyatottnak tűnt. Ezen az 1953. augusztus 12–13-i találkozón nem rejtettük véka alá, hogy a gépleállások szinte kizárólag a FERUT-nál jelentkeztek. A vállalatok képviselői joggal kifogásolták ezt. Maga a számítási teljesítmény azonban elismerésre méltó volt. Ezeknek a felvételeknek jó részén egyáltalán nem voltak bejelölhető reflexiók. A vizsgálatok azt mutatták, hogy a dekonvolúció eltávolította a többszörösöket, és a reflexiók összefüggő sorozatát szolgáltatta. Ez a megállapítás volt a fordulópont. A Bizottság első alkalommal bocsátkozott élénk és szenvedélyes vitába. Egyszerre mindenki így vagy úgy a maga ügyének tekintette ezt a kockázatos vállalkozást. Senkinek sem tetszett a dekonvolvált nyomvonalak ábrázolási módja. Ez a szegényes bemutatás szemet szúrt mindenkinek. A nyomvonalak és a dekonvolvált nyomvonalak számjegyes értékei háttéranyagként szolgáltak, de ennek a számtömegnek a puszta látványa is ijesztő volt. A figyelem az eredmények megjelenítésének módjára irányult. Ez nagy vitát váltott ki. A Bizottság javaslata a GAG számára az volt, hogy mindig a dekonvolvált nyomvonalat kell felrakni és sohasem a jellemző tulajdonságot. Az eredmények felrakásához egyéges léptéket kell alkalmazni, és a nyomvonalakat egyetlen nagyméretű lapon kell csoportosítani a tanulmányozás megkönnyítése céljából. Javaslattal tettek egy automatikus grafikus megjelenítő kidolgozására. A GAG megemlítette, hogy oszcilloszkóp-képernyő felhasználását tervezik a Whirlwindnél, a szöveg és a rajzolat valós idejű megjelenítéséhez.

„És mondá az Úr: Íme e nép egy, s az egésznek egy a nyelve, és munkájának ez a kezdete; és bizony semmi sem gátolja, hogy véghez ne vigyenek mindent, amit elgondolnak magukban. Nosza szálljunk alá, és zavarjuk ott össze nyelvüket, hogy meg ne értsék egymás beszédét. És elszéleszté őket onnan az Úr az egész földnek színére; és megszűnének építeni a várost (Genesis 11)”. A geofizikusok nem képeztek homogén csoportot, és ez érvényes volt a Bizottság tagjaira is. Voltak közöttük terepi geofizikusok és módszerkutató geofizikusok. Képzettségüket szerezhették a geofizikában, geológiában, fizikában vagy villamosmérnöki szakterületen, illetve az üzleti élet területén is.

A Tanácsadó Bizottság az 1953. január 30-i dallasi találkozón úgy határozott, hogy a GAG az esetek nagy számán végezze el a dekonvolúció tesztelését. Más szavakkal, a GAG vizsgálja meg a dekonvolúció mint szeizmikus feldolgozó módszer elfogadhatóságát. Ebben a célkitűzésben általános volt az egyetértés, mindannyian ugyanazt mondták. Most azonban, három hónappal később, a célkitűzést illetően már különböztek a vélemények. Mindenkinek saját személyes tapasztalatával kellett összeegyeztetnie az új, digitális gondolkodásmódot. Az eredmény a legkülönbözőbb tudományterületek előtérbe helyezése lett, az elméleti fizikától a számítási táblázatokig terjedően. Korábban a Bizottság egységes volt, és mindenki egy nyelven beszélt; hozzáláttak a dekonvolúció megvalósításához, és semmi sem tudta ettől visszatartani őket. Most azonban beszédük összezavarodott, és nem értettek szót egymással. Eltévelyedtek, és felhagytak a dekonvolúció

művelésével. Úgy gondoltam, hogy ez a felderítetlen területre való tévelyedés még hasznos és izgalmas is lehet. A geofizika megértéséhez a tudomány különböző nyelveinek ismeretére van szükség. Az elméleti viták széleskörűek voltak. Kérdések merültek fel a lineáris operátorok tulajdonságait és ezeknek a tulajdonságoknak a hagyományos szűrőelmélettel való kapcsolatukat illetően. A vállalatok képviselői azt akarták, hogy a GAG vizsgálja meg magának a zajnak a statisztikus jellegét, ahogy az a szeizmikus felvételen megjelenik. Beszéltek a szeizmikus hullám energiavesztéséről és arról, hogy azt a viszkoelasztikus csillapítás okozza-e, vagy a földben mutatkozó inhomogenitások eloszlásából eredő szóródás. A vitatott kérdések terítékén sok téma szerepelt, kezdve attól, hogy milyen a szeizmikus energia viselkedése egy több szórás-pontot tartalmazó, bonyolult felépítésű földben, egészen a termodinamika entrópia fogalmáig. Szóba került még, hogy kapcsolatba hozható-e ezekkel az elképzelésekkel egy más területen folyó kutatás, amely a ködön át szóródó fényimpulzusok vizsgálatával foglalkozik. Javasolták, hogy a GAG hozzon létre fizikai modellt, amelyben a hullámok különféle visszaverőkről és szóráspontról reflektálódnak. Így zajlottak az elméleti viták.

Elméleti sikon vita tárgya volt a dekonvolúciós operátor és a korrelációs függvény közötti kapcsolat kérdése. Javasolták, hogy a dekonvolúciós operátorok kiszámítását előzze meg az adott felvétel korrelációs függvényeinek vizsgálata. A meglévő számítógépes programok nem szolgáltatták a teljes korrelációs függvényt, pedig csak azok együtthatói kerültek felhasználásra a dekonvolúciós operátor kiszámításában. A korrelációs együtthatók és a teljes korrelációs függvény közötti kapcsolat további vizsgálatára van szükség. A Bizottság azt kívánta, hogy a GAG kezdje el a dekonvolúciós operátorok szűrőkarakterisztikáinak kiszámítását a Whirlwinden. Szóba került a Carter Oil Company Fourier-analizátora. Javasolták, hogy a GAG határozzon meg a dekonvolúciós operátorokkal egyenértékű elektromos analóg szűrőket. A dekonvolúció elektromos szűrőkkel való elvégzésének módját kívánták kidolgoztatni. Ennek birtokában a szeizmikus felvételek analóg szűrésére meglévő berendezést lehetne alkalmazni. Ezt illetően két álláspontot vitattak meg. Az egyik szerint az átlagos operátort kell kiszámítani egy teljes felvételhez. Erre célra egy kijelölt felvétel vagy a felvételek sorának felhasználását javasolták. A témát tárgyaló tanulmányban össze lehetne hasonlítani az átlagos operátor kiszámításának különféle módszereit. A másik elképzelés szerint az átlagos operátort többféle nyomvonalra kell alkalmazni. Célkitűzés lehet elektromos frekvenciaszűrőkkel megvalósítható időtartományú dekonvolúciós operátorok készletének összeállítása. A Bizottság tagjai közül többeknek egyértelmű volt az állásfoglalása. Szerették a dekonvolúciót, de nem digitálisan. Örömlének, ha a GAG találna egyenértékű analóg eljárást a dekonvolúcióra.

Érdeklődést keltettek azok az eredmények, amelyeket nemrég publikált a *Geophysics* 1953. júliusi számában Frank és Doty a Continentáltól. A cikk egy gyenge felvételeket

produkáló terület interferenciás regisztrátumának vizsgálatát ismerteti. Az additív modellnek megfelelően mesterséges impulzussorozatot szuperponálnak az interferenciás felvétel szakaszaira. Más szavakkal, az új nyomvonalak mindegyikét az interferenciás nyomvonal és a szuperponált impulzusok összege képezi. A hozzáadott impulzusok képviselik a jelet, az eredeti interferenciás felvétel pedig a zajnak felel meg. A zaj elnyomására Frank és Doty a frekvenciaszűrés új módszerét dolgozta ki, amely a jel–zaj viszonyon alapult. Azt állították, hogy „az eredményekben mutatkozó különbség sok esetben annyira meglepő, hogy a kiértékelő vonakodik a javított eredmények tényleges adatként való elfogadásától”. A cikk meggyőző példát mutatott be az elektromos frekvenciaszűrőket alkalmazó analóg szeizmikus adatfeldolgozásra. Mindenki úgy látta, hogy a frekvenciaszűrés jelenti a megoldást. Vita folyt az additív modell használatáról. Ez volt a széles körben elfogadott egyetlen modell, amelyet alkalmaztak. A vállalatok képviselői azt kívánták, hogy vegyék elő az interferenciás felvételeket, és mesterségesen vigyenek be fiktív reflexiós jeleket. Végül arra jutottak, hogy vagy Bill Doty bocsátja rendelkezésre Continental felvételeinek egy sorozatát, vagy a Magnoliától kérnek hasonló felvételeket. Mivel az Atlantic interferenciás felvételei számításra kész állapotban voltak, célszerű volt ezeken elkezdni a munkát a hozzáadott mesterséges reflexiós impulzusokkal. Ezután kerülhetne sor a Continentaltól vagy a Magnoliától származó második felvételesorozat vizsgálatára. Számomra a valóságos reflexiók az interferenciás felvételekben rejtőztek, akkor pedig mi szükség van szuperponált mesterséges reflexiókra?

A Raytheon képviselői vitára bocsátották a számításait. Hangsúlyozták, hogy a hatalmas számítógép-terhelés döntően az adatkezelésre és a korrelációs műveletekre irányult, nem pedig az egyidejű egyenletek megoldására. A Raytheon közölte azt is, hogy az érdekelt vállalatok részére most a kifejlesztett dekonvolúciós programokat tudják szolgáltatásként nyújtani. Megemlítették, hogy a mágneszalagra rögzített adatok közvetlenül beolvashatók a számítógépbe. Bérelhetnek vagy építhetnek jobb gépet a számítások elvégzéséhez. Grafikus megjelenítésre szolgáló készülék közvetlenül csatlakoztatható a számítógéphez. Többen rámutattak a munka egészének melléktermékeiként jelentkező számítógépes megoldások fontosságára. A Raytheon célja az volt, hogy számítógépes adatfeldolgozást adjon el az olajvállalatoknak. A vállalatok azonban az adott helyzetben sem egyénileg, sem összességükben nem voltak hajlandók beszállni egy ilyen kockázatos vállalkozásba.

Wadsworth professzor a vita során említést tett azokról a nehézségekről, amelyekre akkor lehet számítani, amikor az operátor-együtthatók túl nagyokká válnak. Hangsúlyozta még a különféle kiválasztott tényezők közötti határozott korrelációt, és kifejtette, hogyan okoz ez bizonyos fokú meghatározatlanságot az operátorokban. Végezetül nagy vonásokban felvázolt egy sokkal szélesebb problémakört, amely a predikciós munkafeladat és a szeizmikus hullámterjedésre vonatkozó teljes peremérték-feladat megoldása

közötti kapcsolatot érintette. A találkozó különböző ülés-szakjain számos jó elgondolás született. Az utolsó ülészsza-  
kon összefoglaltam a további munkára vonatkozó javaslatokat. Ezt a listát a magyarázó megjegyzésekkel együtt valamennyi részt vevő vállalat részére elküldtem. A vállalatok visszajuttatták a lista másolatát a felsorolt tételek általuk megállapított fontossági sorrendjére vonatkozó javaslatukkal együtt. Összegezve, az olajipari és geofizikai vállalatok elégedettek voltak a dekonvolúciós eredményekkel, kedvüket szegte azonban a digitális technika akkori állapotára jellemző megbízhatatlanság. Egyetértettek abban, hogy a GAG-nak analóg megoldást kell találnia a dekonvolúcióra.

### Treitel, és visszatérés a józan észhez

Nem volt mód az 1953. augusztus 12–13-i találkozón megvitattott projektek mindegyikének végrehajtására, mint ahogy azt a Bizottság tagjai közül többen kívánták. A találkozó után beszámolót készítettem mindazokról a tárgypontokról és kérdésekről, amelyek a viták során felmerültek. A beszámoló további feladatokat és javaslatokat is tartalmazott. Az összeállítást tanulmányozásra és véleményezésre elküldtem a Tanácsadó Bizottságnak azzal a kitételrel, hogy szívesen látnám a tárgypontok prioritására vonatkozó javaslatokat. Először az Atlantic és a Magnolia válaszolt. A Magnoliának küldött válaszomban a következők olvashatók: „Köszönöm 1953. október 7-i levelüket. Megjegyzéseik segítőkészségről tanúskodnak, és elősegítik további munkánk megtervezését. Egyetértünk önökkel abban, hogy a prioritásokat meghatározó célkitűzéseink túl ambiciózusak, figyelembe véve a decemberig rendelkezésre álló időt, de a munkánkat igyekszünk úgy mederben tartani, hogy jelentős eredményeket tudjunk felmutatni. Már belefogtunk abba a munkába, amely az I-A szekció tételeire és az I-B szekció 10. tételére vonatkozik. Észrevételeket önökön kívül csak egy vállalattól kaptunk. Ez a vállalat a II-B szekció 1. tételében szereplő munka elvégzését szorgalmazza. Úgy látjuk, hogy önök nagyon megértik azokat a problémákat, amelyek megoldásán fáradozunk. Ezt mutatják számunkra rendkívül értékes észrevételeik.”

A II-B szekció 1. tétele a következő volt: „Gyenge reflexiók kiválasztása irányított kísérletben. Ebben a feladatban az értéktelen felvétel minden egyes nyomvonalára szabályozott elemi hullám szuperponálódik, és lineáris operátorokat kell választani az így előállított mesterséges reflexiók kimutatására. A jel–zaj arányokat és jel–zaj frekvenciakülönbségeket lehet gondosan beszabályozni olyan módon, hogy össze lehessen hasonlítani az eredményeket más eljárásokkal. Mivel ez a megoldás Doty és Frank (Continental) szűrési eljárását használja fel, kézenfekvő ugyanazoknak a felvételeknek és jeleknek a felhasználása, mint amelyek dolgozatukban szerepelnek. Ez mentesíti az MIT munkacsoportját a feladat teljesítéséhez szükséges frekvencia- és amplitúdóanalízis elvégzésétől, a kísérlet pedig végrehajtható a meglévő gépi számítóeszközökkel. Az MIT munkacsoportja ezt a kísérletet elvégezheti az Atlantic Refining Companytól kapott értéktelen felvételeken. Ebben az eset-

ben a reflexiókat számjegyesen lehetne bevinni, és szükség lenne a frekvenciakarakterisztika vizsgálatára. A csoport ugyan nem rendelkezik még a spektrum gépi kiszámításának eszközeivel, tervei között azonban szerepelnek a feladat mielőbbi teljesítéséhez szükséges digitális számítógépes programok.”

Elkészültünk a Whirlwinden futtatható frekvenciaanalizáló programok kódolásával, és a programok rendkívül hasznosnak bizonyultak.

Thomas Edison mondta: „Legnagyobb gyarlóságunk a meghátrálás. A sikerhez vezető legbiztosabb út: újra és újra próbálkozni”. Dekonvolúciós programunk működött. Megpróbáljuk még egyszer meggyőzni a vállalatokat a dekonvolúció gyakorlati hasznosságáról. Ha sikerrel járunk, a dekonvolúció nem tudományos kuriózum lesz, hanem az olajkutatásban elterjedten alkalmazott produktum. Elhatároztam, hogy nem egészítem ki mesterséges reflexiókkal az Atlantic csengetéses felvételeit, ahogy ezt a Tanácsadó Bizottság kívánta, hanem dekonvolválom azokat eredeti állapotukban.

A Raytheon már alig várta, hogy lejárvon a szerződés. Rávettem Mark Smitht, hogy válasszon ki néhány dekonvolúciós esetet ezekhez a felvételekhez. Kézírási feljegyzései között olvasható: „A 7.7, 7.8 és 7.9-es felvételek esetében operátorok és operátorintervallumok kiválasztása indokolt. A 7.7-nél két operátorintervallumot kell választani, mivel a felvétel zajos, vagyis nincsenek szemmel látható reflexiók. A 7.8 és 7.9-es felvételeknél mindegyikhez egyet kell választani. Az oszcillációk átlagos időtartama azt mutatja, hogy 8 késleltető lehet a jó választás a jósolt nyomvonalaknál, és a maximális keresztkorrelációhoz a szomszédos nyomvonalakat kellett kiválasztani. Legyen a Raytheon is elégedett a kiválasztással.”

A GAG négy új tudományos segédmunkatársat vett fel 1953 szeptemberében. Név szerint David Bowkert, Robert Bowmant, Freeman Gilbertet és May Turynt. Később, 1954 februárjában Sven Treitel is belépett. A GAG az új munkatársak számára képzési programot állított össze. A program tartalmazott rendszeres megbeszéléseket és vitaüléseket az új tagok részvételével, továbbá tanfolyamot, amely az idősorok statisztikáját geofizikai alkalmazásokkal szemléltetve tárgyalta. Ezen a tanfolyamon Sven Treitel is részt vett. Tudásával és előrelátásával teljesen új korszakot nyitott a GAG történetében. Nagy szükség volt arra az együttérzésre és józan ítélőképességre, amely szimpatikus személyiségét jellemezte. A GAG új tagjai digitális projekteknél kaptak feladatokat. Freeman Gilbert feladatuként a digitális frekvenciaszűrést jelöltem ki, amelyet a mesterséges jelekkel kiegészített Continental-felvételeken kellett végrehajtania. Robert Bowman az Atlantic gyenge minőségű csengetéses felvételeinek dekonvolválását kapta feladatuként.

### Tavaszi találkozó 1954-ben

A GAG 1954. március 10-én tette közzé a 6. jelentését „A szeizmikus analízisben alkalmazott lineáris operátorok to-

vábbi vizsgálata” címmel. Ez a jelentés az 1953 augusztusától végzett munkát ismertette. A GAG és a Tanácsadó Bizottság 1953. március 29–30-án megtartott találkozásának színhelye a Stanolind Tulsában működő kutatási központja volt. A résztvevők a következők voltak: W. T. Born, A. Wolf és K. S. Cressman (Amerada), H. F. Dunlap (Atlantic), W. W. Garvin (California Research), R. R. Thompson és G. M. Webster (Carter), E. W. Johnson és R. M. Bradley (Cities Service), J. M. Crawford, C. J. Clark és W. E. N. Doty (Continental), T. J. O'Donnell és W. C. Dean (Gulf), W. J. Yost (Magnolia), R. G. Piety, R. B. Rice és S. E. Elliott (Phillips), H. F. Sagoci (Standard Oil Company of Texas), D. Silverman, J. D. Eisler és L. P. Goetz (Stanolind), A. J. Siegert (a Stanolind tanácsadója a Felsőfokú Tanulmányok Intézetétől), A. C. Winterhalter, W. T. Evans és W. F. Brown, Jr. (Sun), H. J. Jones, R. J. Graebner és E. J. Stulken (Texas Instruments), B. D. Lee és E. Eisner (The Texas Company), C. A. Swartz (United Geophysical), P. M. Hurley, E. A. Robinson, S. M. Simpson és M. K. Smith (MIT), valamint R. F. Clippinger és J. H. Levin (Raytheon).

A vállalatok képviselői új felvetések sokaságával jelentkeztek. A GAG a 6. jelentésében bemutatta a digitális jelfeldolgozás előnyeit, nem kevesebbet bizonyítva, mint azt, hogy a digitális szűrő ugyanazt teljesíti, mint az analóg elektromos szűrő, ráadásul nagyobb pontossággal. A bemutatott jelentést Howard Briscoe készítette, aki nem vett részt a találkozón. Jelentése áttekintést nyújtott az akkor rendelkezésre álló számítástechnikai és adatkezelő eszközökről. Clippinger és Levin eljött Tulsába, hogy nyomós érvekkel még egyszer kísérletet tegyenek a vállalatok képviselőinek meggyőzésére a dekonvolúció üzleti alapú használatba vételéről. Szétosztották az „Elektronikus digitális számítógépek felhasználása a szeizmogramok analízisében” című jelentést, amelynek szerzői R. F. Clippinger, B. Dimsdale és J. H. Levin voltak. Munkájuk ismertette azt a szerepkört, amelyet a Raytheon töltött be a GAG tevékenységéhez kapcsolódó programozási, kódolási és számítási feladatok teljesítésében. A jelentés leszögezte, hogy a Raytheon számítástechnikai szolgálata kész elvégezni a dekonvolúciót a kőolajipar számára, és tartalmazta a szolgáltatás árait. A Raytheon kész volt arra is, hogy a szeizmikus munkákhoz beszerezze vagy megépítse a legalkalmasabb számítógépeket. Különösen javasolta az új IBM 701-es számítógép alkalmazását, és ajánlotta a szeizmikus adatok mágnesszalagos bevitelét a számítógépbe. A Raytheon újra megpróbálta, hogy szeizmikus adatfeldolgozást adjon el az olajvállalatoknak. A vállalatok azonban még nem voltak készek erre.

A találkozón a GAG bemutatta a digitális szeizmikus adatfeldolgozás eredményeit is, amelyek a GAG 6. jelentésében szerepeltek. Mark Smith beszámolt munkájáról, amely a lineáris operátorok szűrőkarakterisztikájára, az optimális lineáris operátor vagy szűrő meghatározásának módszereire és összetett szeizmométer-csoportok irányítási tulajdonságaira vonatkozott. A távol levő Freeman Gilbert munkájának bemutatására is sor került. Ő a Continental anyagának vizsgálatát végezte el, ami meggyőző

eredményeket hozott. Jelentése a digitális szűrésnek azzal az esetével foglalkozott, amikor a zaj és a jel amplitúdóspektruma külön-külön ismert. A jelentés kimutatta, hogy a digitális szűrés jobb eredményeket szolgáltatott, mint az analóg elektromos szűrés. Doty később hozzáfűzte, hogy a digitális szűrés nem igazán használható, mivel a szeizmikus jelet nem képes sokkal hatásosabban elválasztani a zajtól, mint az analóg elektromos szűrés. Ennek ellenére a GAG álláspontjának megerősítése, miszerint a számítógépen működő digitális szűrők elvégzik ugyanazt, mint az analóg elektromos szűrők, már önmagában áttörésnek számított. A villamosmérnökök és a geofizikusok közül sokan még évekig nem fogadták el ezt a véleményt. Amikor a GAG kiszámította az alulvágó, felülvágó és sávszűrőkhöz szükséges időtartománybeli operátorok táblázatát, csak kevesen hitték el, hogy az időtartománybeli operátorok egyáltalán képesek frekvenciaszűrésre. Wadsworth professzor mutatott rá később, hogy figyelemre méltó eredményeket ért el a GAG, amikor minden korábbi megközelítésnél részletesebben és szakszerűbben tárta fel a lineáris operátorok és a szűrőelmélet közötti kapcsolatot. Távollétében Robert Bowman munkája is bemutatásra került. A Whirlwind számítógép és a Raytheon szolgáltatásainak felhasználásával kiválóan végezte el az Atlantic Refining Company csengetéses interferenciás szeizmogramjainak dekonvolválását. Azt írta, hogy „a lineáris operátorok alkalmazása után a szeizmogram minden látható reflexiója kétséget kizáróan megmarad; vagyis a hibagörbében megjelenő csúcsok mutatják azokat az időközöket, ahol reflektált energia van jelen. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy az ilyen típusú szeizmogramokhoz lineáris operátorok képezhetők a reflektált energiának a nem reflektált energiától való elválasztásához. Az eredmények a szeizmogramon mutatkozó reflexiókban nyilvánulnak meg, ezen kívül pedig a statisztikai szabályszerűség meghatározott fokát is mutatják. Bizakodásra ad okot az a tény, hogy az elemző munkában alkalmazott operátorok olyan jól teljesítettek, a legjobb esetben is csak csiszolatlanul mondható számítástechnika fogyatékosai mellett. Ha például az egyes operátorokban több késleltető felhasználására került sor, és az információ kettőnél több nyomvonalról származott, értelemszerűen nagyobb selektivitásra lehetett számítani”. A dekonvolúció kiküszöbölte a reverberációkat. Ezek értéktelen szeizmogramok voltak, amelyeket a GAG a Dunloptól kapott. A Dunlop határozottan állította, hogy a dekonvolúció sikeres alkalmazása ezeknél a csengetéses szeizmogramokon példaként szolgál annak hasznosságára. Cecil Green (1980) ezt írta: „Ken Burg a GSI (Geophysical Service Inc.) kutatási igazgatójaként nagyon hamar felismerte a kibontakozó számítógépes forradalomban rejlő lehetőségeket. Látjuk, amint az 1950-es években nagyon okosan adaptálja az újonnan elfogadott statisztikai kommunikációs elméletet a reflexiós szeizmikához, amihez hathatós segítséget nyújtanak az MIT-n geofizikából frissen PhD-fokozatot szerzett Mark Smith, Milo Backus, Lawrence Strickland, Freeman Gilbert és Robert Bowman. Ennek a különleges csa-

patnak nagy szerepe volt abban, hogy a szeizmikus kutatás átállt a digitális technológiára az 1960-as évek elején.

Az analóg szeizmikus feldolgozáshoz a szeizmikus információt reprodukálható formában rögzítették a terepen, majd a felvett anyagot a laboratóriumba vitték, ahol szűrőkészletek és más eszközök álltak rendelkezésre. Néhány vállalatnak még Fourier-analizátora is volt, amely lehetett mechanikus vagy elektronikus. Emlékszünk, hogy eredeti formájában az ENIAC az alkatrészek tárháza volt. Dimsdale kapott egy differenciálegyenletet és egy halom huzalozási diagramot, majd megmondták neki, hogy végezze el a számításokat. A geofizikai laboratóriumban a geofizikusnak átadták a szeizmikus szelvényt, kapott egy halom szűrődiagramot és megmondták neki, hogy végezze el a hasznos jelek kiemelését. Időbe telt, amíg a geofizikus végzett az analóg berendezés beállításával, hogy a legjobb eredményeket kapja a kiemelésben. Amikor ezzel elkészült, a tényleges végrehajtás csupán percekig tartott. A beállítások azonban csak ehhez az egyedi szelvényhez voltak megfelelőek. A következő szelvényhez teljesen új beállításra volt szükség. Az olajvállalatok, legalábbis néhányan közülük, azt kívánták, hogy a GAG keresse meg a dekonvolúció analóg megfelelőjét frekvenciaszűrőként értelmezve. Ennek birtokában a dekonvolúció új képességként egészíthette volna ki analóg feldolgozó eszköztárukat. Még ennek megvalósulása esetén is megmaradt volna mindaz a sok próbálkozás és kinszenvedés, amely az analóg berendezés beállításával együtt járt.

Mindig örültem a Tanácsadó Bizottság találkozóinak. Ez a találkozó is kellemes és izgalmas volt. A résztvevők lelkesek voltak, tele új elképzelésekkel, amelyek között gyakorlati értékűek és a fantázia világába tartozók egyaránt előfordultak. Nagy hatással volt rám Tulsa és a Stanolind kutatási központja., mint ahogy emlékezetes volt Dallas és a Magnolia is egy évvel korábban. Megragadott a geofizikai kutatás perspektívája és szépsége. Az MIT-nél 1953. augusztus 12–13-án megtartott nyári találkozón a GAG azt a megbízást kapta, hogy találjon analóg módszereket a dekonvolúcióra. Ha a GAG úgy jött volna el erre a találkozóra, hogy kijelenti, találtunk analóg frekvenciaszűrő-készletet, amely elvégzi a dekonvolúciót, az olajvállalatok bizonyára elégedettek lettek volna. Ehelyett azt mondtuk, hogy megtaláltuk azokat az időtartományú digitális szűrőket, amelyek mindazt teljesíthetik, amire az analóg szűrők képesek. Még egy lépéssel tovább is mentünk, mivel kijelentettük, hogy az összes analóg feldolgozási mód megvalósítható digitális jelfeldolgozással, és digitális úton nagyobb pontosság érhető el, mint analóg eljárásokkal. Valójában azt indítványoztuk, hogy az olajvállalatok mind együttesen hagyjanak fel az analóg adatfeldolgozással és térjenek át a digitálisra. Clippinger azt mondta, hogy a Raytheon kész rendelkezésre bocsátani vagy megépíteni mindazokat az alkotóelemeket, a bemenettől a kimenetig terjedően, amelyek a digitális adatfeldolgozáshoz szükségesek. Akárcsak Frankenstein Mary Shelley könyvében, Clippinger is létrehozott egy monstrumot a hadsereg számára az adott alkatrészek készletéből. Ez volt az átépített

ENIAC, az első üzemképes tárolt programú digitális számítógép. Mary Shelley ezzel a mondattal indítja történetét: „Örömmel fogod hallani, hogy semmilyen kellemetlenség nem akadályozta vállalkozásom megkezdését, amely iránt oly rossz előérzeteid voltak”. Most, 1954-ben Tulsában Clippinger kinyilvánította készségét egy monstrum megépítésére geofizikai kutatások céljára. Ez lett volna az első üzemképes digitális szeizmikus számítógép. Az olajipari és geofizikai vállalatok képviselői azonban ekkor nem voltak hajlandók belefogni a digitális szeizmikus adatfeldolgozásba. Ellenérzéseket tápláltak, mivel a digitális szeizmikus adatfeldolgozás területére való kirándulás új erőfeszítést igényelt, és tetemes költségekkel járt volna, ezenfelül még sikertelenséggel is végződhetett a meglévő számítógépek megbízhatatlansága miatt. Ezzel szemben én hittem a digitális adatfeldolgozásban. Egy olajvállalat laboratóriumának összes analóg berendezését kiválthatta egyetlen nagy sebességű, tárolt programú digitális számítógép. Ezután a dekonvolúció és minden más (korrekciók, erősítésszabályozás, beállítások, keverés, szűrés, korreláció, spektrumanalízis stb.) elvégezhető ennek az egy számítógépnek a programozásával. A digitális szeizmikus adatfeldolgozás azonban nem kapott zöld utat, legalábbis 1954-ben nem.

Lev Tolsztoj írta: „Nincs nagyobb erő, mint ez a két harcos: a türelem és az idő”. A számítógépek gyermekkorukat élték. Tisztában voltam vele, hogy a rendelkezésre álló gépek nem teljesen alkalmasak geofizikai adatfeldolgozásra. Azonban 1946-tól kezdődően mostanáig, vagyis 1954-ig a számítógépek megszakítás nélküli tökéletesítésének voltunk tanúi, és ez a fejlődés minden évben gyorsult. Az olajkutatás fontos dolog. Türelemmel és az idő múlásával az olajipari és a geofizikai vállalatok végre fogják hajtani a váltást a digitális feldolgozásra. Ez akkor következhet be, amikor a nehezen megtalálható olaj iránti megnövekedett igény elfogadhatóvá teszi azt a ráfordítást, amely az értelmetlen szeizmogramok értékelhető adatokká alakításához szükséges. Időközben megnyílt előttem az alkalmazott geofizikához vezető út. Miután megszereztem a PhD-fokozatot, munkámat olajvállalatnál kívántam folytatni.

### Az 1954-es nyári találkozó

Az a körülmény, hogy nem sikerült meggyőzni az olajvállalatokat a digitális szeizmikus adatfeldolgozás előnyeiről, kételyeket támasztott az MIT-nél. Tekintélyes professzorok és a vezetőség ferde szemmel néztek mindenre, ami digitális. Sokat köszönhetek Sven Treitelnek, aki segítségemre sietett.

A tanfolyam folytatására buzdított, nem pedig mellékvágányok labirintusába való letérésre. A digitális adatfeldolgozás matematikáját a geofizika nyelvén kellett kifejezni. Minden erőmet harmadik célkitűzésemre, a dekonvolúciót igazoló geofizikai modell megalkotására fordítottam. Tudtam, hogy az idő sürgeti PhD-disszertációm befejezését, amelybe már sok munkát fektettem. A GAG tagjai új kezdeményezéseket indítottak el, miközben én szorgalmasan

dolgoztam a disszertáción (Robinson 1954), amely az MIT 7. jelentéseként is megjelent 1954. július 12-én „Idősorok prediktív dekompozíciója és ennek alkalmazásai a szeizmikus kutatásban” címmel. Matematikában az idősor-analízist illetően egyesítettem Wold (1938) és Kolmogorov (1941) munkáit Wiener (1949) ezen a területen végzett munkájával. Wold statisztikus és közgazdász volt. Tevékenységével akkor ismerkedtem meg, amikor a Közgazdasági Tanszéken végeztem tanulmányaimat. Prediktív dekompozíciós tétele egzisztenciátétel, amely kifejeződik bármely szabályos és szinguláris összetevőből álló stacionárius idősorban. A szinguláris összetevőre példaként egy tiszta szinuszhullám hozható fel. A szinguláris összetevő teljességgel előre jelezhető. A szabályos összetevő, amely csak részben jelezhető előre, mozgóátlag formájában jelenik meg. Disszertációmban a dekonvolúció tapasztalati ismeretéből indultam ki. Bemutattam, hogy a szabályos összetevő sok egymást átfedő elemi hullám összegződésének tekinthető. Ezek az elemi hullámok mind ugyanazzal a stabilis minimumfázisú jelképpel rendelkeznek. Az ilyen típusú elemi hullámok beérkezési ideje és erőssége véletlenszerű, és nincs korreláció közöttük. Az eredmény a konvolúciós modell:

$$\text{nyomvonal} = \text{zaj} * \text{jel},$$

ahol a csillag a konvolúció szimbóluma, a zaj a reflexióképesség (a reflexiók együtthatók sorozata), a determinisztikus jel pedig az elemi hullám. Az elemi hullám testesíti meg azokat a dinamikus módosításokat, amelyeket a műszerezés és a föld belsejének mechanizmusa idéz elő a reflexiók impulzuson. Példaként említhető egy reverberációs elemi hullám. Ez a modell minden bizonnyal egyszerűsítés. A konvolúciós modellből kiindulva levezettem, hogyan működik a dekonvolúciós operátor. Az derült ki, hogy a dekonvolúciós operátort az elemi hullám inverzének kell tekinteni. A dekonvolúciós operátor lehet például a reverberációs elemi hullám inverze. A dekonvolúciós operátor a normál egyenletek megoldásaként adódik. Ezután azt kellett bemutatnom, hogy az így kiszámított dekonvolúciós operátor valóban az inverz elemi hullám. A dekonvolúciós operátor képezi a zajt (a reflektivitást). Végezetül, mindezekhez alkalmaznom kellett Kolmogorov és Wiener időbeli és spektrális analízisét. A minimumfázis koncepció csak folytonos időre volt kidolgozva. Én ezt az egészet kidolgoztam diszkrét időre: így a Z-transzformáció, az egységkör, a polinomfaktorizáció alkalmazását. Ez mind illeszkedett egymáshoz. Fontos körülmény, hogy az elemi hullám és a reflektivitás a szeizmika elméletének világában maradt. Most már numerikusan lehetett ezeket számítani a szeizmikus csatorna jeléből. Analóg módon erre nem lett volna lehetőség; a digitálisra volt szükség.

Az olajipari és geofizikai vállalatok elégedettek voltak a fejlesztésükben megvalósított analóg szeizmikus adatfeldolgozással, amely a frekvenciaszűrést alkalmazta. Az analóg feldolgozás az additív modellen alapult. A reverberáló szeizmikus felvételek kezelésére 1953 tavaszán és nyarán végzett dekonvolúciós munka fontos feladatnak számított.

Az additív modell valahogy nem volt jó a szeizmikus nyomvonalhoz. Helyette a konvolúciós modellt igényelte a szeizmikus nyomvonal. A reflektivitás mindenütt más és más, ezért véletlenszerű zajnak tekinthető. A reverberáció mindenhol ugyanazzal a matematikai struktúrával rendelkezik, ezért determinisztikus jelnek tekinthető. Tekintsük a következő példát: egy hajórajt köd vagy füst takar el. Vegyük először a ködtakaró esetét! A köd és a hajók nincsenek fizikai kapcsolatban egymással. A hajók raját nevezzük jelnek, a köd legyen a zaj! Amit látunk, az a jel és a zaj összege. Ez az additív modell. Szükségünk van egy eszközre, amely csökkenti a ködöt (a zajt) és kiemeli a jelet (a hajókat). Ez a megoldás a frekvenciszűrés. A másik esetben feltételezzük, hogy füst borítja be a hajókat. Mindegyik hajó füstfüggönnyel bocsát ki, amely csóvában áramlik ki a hajó farából. A füst és a hajó fizikai kapcsolatban vannak egymással. A hajók helyéről nincs információ, így zajnak tekintjük ezeket. Pontosan tudjuk azonban, hogyan működik a füstfüggöny, így a füstfüggönnyel tekintjük jelnek. Amit látunk, az a jel és a zaj konvolúciója. Szükségünk van egy eszközre, amely megszünteti a hajó által kibocsátott füstfüggönnyel. Ilyen eszköz a dekonvolúciós operátor. Az additív modellben a nyomvonal a jel és a zaj összege, nyomvonal = jel + zaj, ahol a jel a visszaverő-képesség, a zaj pedig az interferencia. A zaj és a jel nincs kapcsolatban egymással. A konvolúciós modellben a szeizmikus nyomvonal a véletlenszerű erősségű és beérkezési idejű elemi hullámok additív összege. A nyomvonal a zaj és a jel konvolúciója, vagyis nyomvonal = zaj \* jel, ahol a \* a konvolúció szimbóluma, a zaj a visszaverő-képesség, a jel pedig az elemi hullám. A zaj és a jel kapcsolatban van egymással; minden egyes elemi hullám egy reflexió együtthatóhoz kapcsolódik. A konvolúciós modell a feje tetejére állította a szeizmika világát. Az összeadásból konvolúció, a zajból jel, az analóg feldolgozásból digitális feldolgozás lett.

Mielőtt megkaphattam volna PhD-fokozatomat, tanulmányi kötelezettségként részt vettem az MIT geológiai egyetemi nyári táborán Új-Skóciában. Ez kitöltötte a nyár jó részét. Ezután tényleges katonai szolgálati időt kellett letöltenem a hadseregnél. A tanácsadó bizottsági találkozót az MIT-nél tartották 1954. szeptember 14-én. Ez volt az utolsó találkozó, amelyen részt vettem. A résztvevők a következők voltak: H. F. Dunlap (Atlantic Refining Co.), L. Y. Faust és W. T. Born (Amerada Petroleum Co.), J. J. Roark (Carter Oil Company), R. M. Bradley (Cities Service Oil Co.), C. J. Clark, J. M. Crawford és W. E. N. Doty (Continental Oil Co.), M. K. Smith (Geophysical Service Inc.), W. C. Dean, T. J. O'Donnell (Gulf Research & Development Co.), M. R. MacPhail és W. M. Rush, Jr. (Humble Oil & Refining Co.), J. E. White (Magnolia Petroleum Co.), S. E. Elliott és R. G. Piety (Phillips Petroleum Co.), R. Runge és D. Silverman (Stanolind Oil & Gas Co.), W. F. Brown, Jr. (Sun Oil Company), H. J. Jones (Texas Instruments Corp.), R. A. Peterson (United Geophysical Co.), R. L. Wentworth (MIT Industrial Liaison Office), R. R. Shrock, P. M. Hurley, G. P. Wadsworth, J. G. Bryan, E. A. Robinson, S. M. Simpson, Robert Bowman, D. R. Grine, D. E. Bowker, K. Vozoff, T. S.

Neves és M. Lopez- Linares (MIT). A rendezvényen bemutatam disszertációm eredményeit (a szeizmikus konvolúciós modellen alapuló dekonvolúció). H. F. Dunlop, a Tanácsadó Bizottság képviselője ezt írta: „A jelenlévő szponzorok körében osztatlan volt az egyetértés, hogy az előterjesztett munka reményt keltő, és nagyon elégedettek voltak azzal, ami megvalósult”. A GAG teljesítette az 1951. november 29-i Clewell-levél után megfogalmazott három feladatot. Megteremtette a dekonvolúcióhoz szükséges digitális számítógépes eszköztárat (1), szeizmogramok sorozatán bizonyította a dekonvolúció hatékonyságát (2), és kidolgozta a konvolúciós modellt a dekonvolúció igazolására (3). A GAG sínen volt. Én munkába álltam a Gulf Oil Company szeizmikus csoportjánál a texasi Lamesában, ahol kezdtem megtanulni, hogy „olaj ott van, ahol megkeresed”.

Disszertációm egy példányát 1954. október 7-én elküldtem a svédországi Uppsalába Herman Wold professzornak. Ő volt az idősorok analízisének egyik legkorábbi művelője. Válaszát 1954. október 18-án küldte el lamesái címemre. Ebben a következőket írta: „Mindenekelőtt gratulálni szeretnék önnek a tételéhez és néhány érdekes eredményt felmutató kiváló munkájához, amelyet egyaránt megkülönböztet a tárgyalás alaposága és a kifejtés világossága. Képzelteti, mennyire örülök, hogy újra láthatom prediktív dekompozíciós tételtem ilyen ragyogó feltűnését a továbbfejlesztés fényében. Meghatódva tapasztalom, hogy ön milyen lelkiismeretes gondossággal tett utalást a tételtem megfogalmazott, akkor újdonságnak számító következtetések prioritására. Kedves öntől, hogy bírálatot és észrevételeket kér tőlem, továbbá felajánlja észrevételeim továbbítását azok részére, akik megkapják értekezését. Igazából szinte semmit sem kell kritizálnom. Prediktív dekompozícióm elsősorban egzisztenciátételként töltötte be szerepét, miután a hangsúly a szabályos és szinguláris összetevő megkülönböztetésén és a korábbi megközelítéseknek a stacionárius folyamat speciális eseteiként való értelmezésén volt. Tisztában voltam azzal, hogy szoros kapcsolat van a dekompozíció és a spektrumfüggvény tulajdonságai között, azonban ebbe a problémába nem bocsátkoztam, egyszerűen azért, mert nem voltam mestere a spektrumelmélet általános módszereinek. Értekezésének 6. fejezetében ismertetett alkalmazások nagyon hatásosak. Remélem, hogy kapcsolatunknak lesz folytatása, ezért nagyon szeretném, ha válaszolna fenti észrevételeimre. A továbbiakat illetően remélem, majd egyszer személyesen is megismerhetem. Van erre lehetőség, ha a közeljövőben átjönne Európába. Ebben az esetben emlékezzen rá, hogy van egy barátja Uppsalában”. Ez a levél kezdete volt egy életre szóló barátságunk Wald professzornal.

„Ha belelész az idő vetésébe, és megmondod, mely mag kezd növekedni és melyik vész el, csak szólj nekem” (Shakespeare). A digitális számítógépek nagy lépésekkel haladtak előre. Miután megjelentek a tranzisztorizált gépek, mint például az IBM 7090-es és a Control Data 1604-es, a számítógép-technológia és alkalmazásai újra teret nyertek. Jack Kilby (Texas Instruments) 1959-ben szabadal-

maztatta az első integrált áramkört (IC). Robert Noyce (Fairchild) 1961-ben már kereskedelmi mennyiségben adott el IC chipet. A digitális szeizmikus adatfeldolgozásra való áttérés az 1960-as évek elején elkezdődött, és az alkalmazott geofizika volt az első tudományág, amelyben lezajlott a digitális forradalom. Az olajipari és a geofizikai vállalatok általánosan alkalmazni kezdték a dekonvolúciót és a digitális szeizmikus adatfeldolgozás más módszereit a szeizmikus felvételeken. Az olajkutatás számára most már megnyitottak azokat a tartományokat, amelyek csupán értéktelen szeizmogramokat szolgáltatottak. Ide tartoztak a nagy tengeri lelőhelyek, ezek szeizmogramjait jellemzően a vízréteg reverberációi borították be. A Raytheon vállalat a Seismograph Service Company közreműködésével, továbbá Dale Stone, Bob Geyer és mások munkáján keresztül az őt megillető helyet foglalta el a szeizmikus adatfeldolgozás vezetőjeként. A digitális szeizmikus adatfeldolgozás iránti lelkesedés megszakítás nélkül tart mind a mai napig. A geofizikai kutatásban bekövetkezett változások hasonlóak azokhoz, mint amelyeket a csillagászatban a távcső feltalálása indított el. Az alkalmazott geofizika izgalmas történetét egészen a kezdetektől részletekbe menően ismerteti Lawyer, Bates és Rice (2001) kiváló munkája. A GAG igazgatását 1954-től Stephen Simpson látta el nagy hozzáértéssel. Simpson a digitális számítógépek mestereként állandóan új és új megoldásokkal gazdagította a geofizikát. A hallgatók dolgait különösen a szíven viselte. Éjszakákat töltött tanulmányai és kutatómunkájuk segítségével. Akárcsak Tedd Madden, ő is intézménnyé vált az MIT geofizikájában. Sven Treitel tagja volt a GAG-nak egészen 1957-ig, a GAG megszűnéséig.

A következő cikkben Sven Treitel ismerteti a GAG történetének 1954-től kezdődő időszakát. Ő egyike azoknak, akik tagként és még a GAG megszűnése után is éltető erőket jelentettek. Treitel újraélesztette a GAG célkitűzéseit, és mi ketten, másokkal együtt éveken át ápoltuk a GAG hagyományait.

## Befejezés

A kőolajkutatásban alkalmazott reflexiós szeizmika sikeressége a föld belsejéről alkotott képek pontosságától függött. A pontos képek előállítását a digitális adatfeldolgozás tette lehetővé. Ebben a cikkben szerepelnek azok nevei, akik közvetlenül részesei voltak a digitális szeizmikus adatfeldolgozás kezdeti kifejlesztésének. Néhányan a háttérben nyújtottak jelentős segítséget és adtak ösztönzést. Említésre méltó Milton B. Dobrin és Norman Ricker az olajipar részéről, továbbá John Tukey, Claude E. Shannon és H. W. Bode a Bell Laboratóriumtól, az MIT-től pedig David Duran és John Nash professzorok. A legjelentősebb az a támogatás volt, amelyet az Alkalmazott

Geofizikusok Egyesületétől (SEG) kaptunk abban az időben.

## Köszönetnyilvánítás

Nagyra becsülöm Sven Treitel segítségét, amelyet ehhez a vállalkozásomhoz nyújtott. Köszönetet kívánok mondani Jerry Schusternek, a *Geophysics* szerkesztőjének lelkes támogatásáért és értékes meglátásaiért. Ő képviseli azokat a keményen dolgozó geofizikusokat, akik képességükkel és előrelátásukkal mindig új és elismerést kiváltó magasságokba juttatják a geofizikát. Külön szeretnék köszönetet mondani Jerry tehetséges és művelt feleségének, Susannak, aki nagy gondossággal fésülte át a kéziratot, és tette meg fontos kiigazításait. Hálás vagyok az útmutatásokért Dean Clarknak a *The Leading Edge* szerkesztőjének. Köszönettel tartozom még a *The Leading Edge*-től Dolores Proubastának és Sylvie Dale-nek. Szeretnék köszönetet mondani Judy Wallnak (SEG) kedvességéért, szakértelméért és azért a segítségért, amelyet a modern publikálás útvesztőjében való eligazodáshoz nyújtott.

## A cikk szerzője

Robinson, Enders A.

## Hivatkozások

- Clippinger R. F. (1948): Az ENIAC-hoz alkalmazott logikai kódrendszer. Aberdeen BRL 673. sz. jelentés
- Frank H. R., Doty W. E. N. (1953): Jel-zaj viszony javítás szűrővel és keveréssel. *Geophysics* 18, 587–604
- Green C. (1980): Kenneth E. Burg életrajza. SEG virtuális múzeum, seg.org
- Jakosky J. J. (1950): Alkalmazott geofizika. Trija Publishing Co.
- Kolmogorov A. (1941): Véletlen stacionárius sorrendek interpolálása és extrapolálása. *SzSzSzR Tudományos Akadémia Közleményei, Matematikai Sorozat* 5, 3–14
- Lawyer L. C., Bates C. C., Rice R. B. (2001): A geofizika kultúrtörténete. SEG
- Levin J. H. (1948): Parciális differenciálegyenlet közelítő megoldása a differenciálanalizátoron. *Matematikai táblázatok és más számítási segédletek*, 5. kötet, 23. szám
- Robinson E. A. (1954): Idősorok prediktív dekompozíciója és ennek alkalmazásai a szeizmikus kutatásban: MIT PhD-disszertáció
- Wiener N. (1948): Kibernetika, avagy szabályozás és kommunikáció az állatvilágban és a gépben. John Wiley.
- Wiener N. (1949): A stacionárius idősorok extrapolációja, interpolációja és simítása és ezek műszaki alkalmazásai. John Wiley
- Wold H. (1938): Tanulmány a stacionárius idősorok analiziséről. Almqvist és Wiksells



# Magyar geológusok térképező munkája 45 évvel ezelőtt kezdődött Kuba Oriente tartományában

POLCZ I.

E-mail: ipolcz@t-online.hu

## Polcz, I.: Mapping expedition of Hungarian geologists started 45 years ago in Oriente province, Cuba

Geological mapping of 1:250.000 scale started 45 years ago in Cuba by Hungarian geologists. Recognition of existing geophysical data found in local archives rendered valuable help for the expedition.

A Magyarhoni Földtani Társulatban folyó év január 17-én dr. Brezsnýánszky Károly, a MÁFI volt igazgatója vetített-képes előadásban emlékezett vissza az 1972–76 időszakban Kuba Oriente tartományában végzett 1:250.000 méretarányú térképezési expedíciós munkájukra. A rendkívül érdekes előadás meghallgatása arra ösztönzött, hogy a magyar geológusok által végzett feladatról és az ehhez kapcsolódó geofizikai tárgyú adattári munkámról folyóiratunkban megemlékezzem.

A magyar és kubai állam közötti földtani kapcsolat 1960 után fokozatosan jött létre. A forradalom győzelme (1959. január 1.) után kubai részről az első magas szintű látogató Magyarországon Ernesto Che Gevara ipari miniszter volt 1960-ban, ő kezdeményezte magyar földtani szakértők kubai részvételét a földtani alap kutatásokban és intézményeik fejlesztése terén. 1961-ben Kubában létrehozták az Instituto Cubano de Recursos Minerales (ICRM) intézetet. Az ICRM adatszolgáltató bázisaként 1962-ben létrejött a Fondo Geológico Nacional nevű intézmény a Tudományos Akadémiával azonos épületben Havanna központjában a Capitolio-ban).<sup>1</sup> A Fondo szervezésében és bővítésében magyar szakember, dr. Szabéniy Lajos a MÁFI geológusa és később kiérkező társai elévülhetetlen érdemeket szereztek. Nagyon fontos feladat hárult a műszaki levéltárra (Archivo Técnico), melyben rengeteg földtani adatot, térképeket, jelentést, kéziratos dokumentumot gyűjtöttek össze rendezetlen, ömlesztett állapotban. Ezek nagy részét a pánikszzerűen menekülő amerikai és más országbeli ipari és bányászati vállalatok hagyták hátra. Ezek az értékes dokumentumok gondos és szakszerű rendezésre, minősítésre

<sup>1</sup> Ez az impozáns épület a washingtoni Capitolium kicsinyített mása.

vártak. Az ICRM megszűnte után létrehozták<sup>2</sup> a Dirección General de Geología y Geofísica nevű Földtani Főigazgatóságot,<sup>3</sup> vezetője Oscar Lopez Rivera volt. A Fondo Geológico is szervezetenként is hozzátartozott. A Fondo elsőrangú feladata volt a folyamatban levő országos bányászati tevékenység ellenőrzése, a kitermelés nyilvántartása, ásványvagyon-mérleg készítése. A hivatalban a 60-as évek második felétől 1984-ig magyar bányamérnökök, geológusok, 1974-től geofizikussal is kiegészülve dolgoztak.

Oriente Kuba legnagyobb kiterjedésű délkeleti tartománya. A területre vonatkozó földtani térképező feladat a kubai és magyar állam Tudományos Akadémiáinak kétoldalú tárgyalásai alapján fogalmazódott meg és jött létre. 1968-ban Szádeczky-Kardoss Elemér akadémikus és Fülöp József, a MÁFI igazgatója, kubai résztől Antonio Nuñez Jimenez akadémiai elnök írta alá a megállapodást, miszerint a térképezés magyar földtani szakértők részvételével indul meg kubai geológusokkal közös együttműködésben.

A térképező földtani expedíció magyar tagjai – dr. Nagy Elemér, Brezsnýánszky Károly, dr. Radócz Gyula, Korpás László és Jakus Péter – 1972-ben utaztak ki családjakkal, majd később, két év múlva Gyarmati Pál és családja, aki Korpás Lászlót váltotta.

A kiutazott szakemberek terepi munkájuk megkezdése előtt gondosan elkezdték a Fondo Geológico levéltárában

<sup>2</sup> A kubai kollegák „Kacaj hivatal”-nak is nevezték, mert a kezdőbetűk kiolvasása: de-he-he-he.

<sup>3</sup> A hivatali életet gyakori személyi változások jellemezték, sokszor teljesen érthetetlen módon, a vezetői székbe ültetett soha sem tudhatta, mikor kerül más beosztásba, esetleg teljesen más iparági tevékenység körébe. A Fondo egyik igen rátermett vezetőjét is másfél évi eredményes működés után egy növényipari vállalat vezetőjévé nevezték ki.



A térképezés magyar geológusai, Brezsnýánszky Károly, Radócz Gyula, Nagy Elemér, Korpás Iászló, Jakus Péter

Hungarian geologists in the expedition

fellelhető, térképező munkájuk részére nagyon fontos földtani adatok tanulmányozását. A levéltári kutatás közben nyilvánvalóvá vált, hogy a jórészen rendezetlen, földtani vonatkozású adaton kívül nagyszámú, hasonlóan rendezetlen állapotú, spanyol, angol és francia nyelvű geofizikai adat (jelentések, gravitációs, mágneses szeizmikus térképek, vázlatok stb.) is fellelhető, amelyek megismerése a térképezés szempontjából fontos lehet. Az expedíció ekkor határozta el, hogy a geofizikai adatok felkutatására, összegyűjtésére és minősítésére a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézettől kéri nyelvtudással rendelkező geofizikus kiküldést. Ez a kérelem alapozta meg 1973. májusi kiutazásomat Havannába. Dr. Góczán Ferenc (MÁFI) paleontológussal utaztunk együtt, és a Capri, később a Vedado szállóban helyeztek el minket. A kubai Földtani Intézet a Rancho Boyeros városrészben volt, a José Martí repülőtér közelében, nem sokkal később pedig átköltözött a központi fekvésű Palacio Aldama impozáns épületébe. Feladatomban természetesen elsősorban a levéltárhoz és a Földtani Intézethez kötött. Jellemzően a kubai túlbürokratizált viszonyokra majd egy hónap is eltelt, mikor az első jelentést kézhez kaphattam. Ennyi időre volt szükség, hogy a látogatási és betekintési engedélyeket munkámhoz megkapjam. A várakozási időt spanyol nyelvtanulással és a helyi földrajzi viszonyok megismerésével töltöttem ki. Mindebben nagy segítséget nyújtottak kubai kollegák, úgymint a köztisztviselőként álló dr. Guillermo Franco, az igen sokoldalú polihisztor paleontológus és José Oro geológus technikus. Sikerült a kubai Akadémia Geofizikai Intézetét is meglátogatnom, ott azonban csak obszervatóriumi megfigyelésekkel foglalkoztak. Az Egyetem (CUJAI) Geofizika Tanszékén sem találtam feladatomban kapcsolható információkat.



Az előtérben Dr. Guillermo Franco paleontológus és Polcz Iván magyar geofizikus, a háttérben a kubai Földtani Intézet geológus technikusai

In the foreground: Dr. Guillermo Franco Cuban paleontologist and Iván Polcz, Hungarian geophysicist. In the background: Cuban geologist technicians

A levéltárban fellelhető jelentések némelyike időnként nem várt meglepetéssel szolgált. Az 1940–1950-es években az üledékes medencék területén, elsősorban az orienteai Cauto-medencében amerikai vállalatok végeztek gravitációs és szeizmikus reflexiós méréseket. Itt talákoztam a *Geophysics* nevű geofizikai szakirodalmából jól ismert híres nevekkkel, mint az amerikai gravitációs szakértő D. S. Skeels, a szeizmikusok között C. H. Savitt, S. Treitel és a holland F. A. Van Melle. Nagyon értékes adat volt az amerikai R. C. Coffin által szerkesztett légi mágneses mérések fennmaradt térképe.

A forradalom győzelme után a kubaiak szovjet segítséggel végeztek szénhidrogén-kutatást szeizmikus módszerrel. Ezek egy része fotoregisztrációs analóg mérés volt, később áttértek mágneses regisztrálású terepi eszközök alkalmazására, és a központi feldolgozó centrumban időszelvényeket készítettek. Sekélytengeri mérésekkel is próbálkoztak jobbra igen primitív eszközökkel, beázott kábelekkel és szeizmométerekkel küszködve nagyon gyenge eredménnyel.

Számos szovjet szakértő dolgozott Kubában, általában két éves megbízással valamilyen feladatkörben. Ha az illető nem tudta befejezni feladatát, a munka befejezetlenül maradt, és gyakran előfordult, hogy senki sem folytatta azt tovább. A szovjet szakértők mozgása korlátozott volt, csak csoportosan mozdíthatók tolmács kíséretében. Velünk teljes ellentétben, akiket szabad mozgásunkban nem korlátoztak, a zárt területek kivételével bárhová elmehettünk.

A magyar térképezőcsoport kubai kollegákkal együtt a tropikus magas pára és nagy hőség miatt az enyhébb időszak hónapjaiban végezte a terepi munkát. A levéltárban dolgozva gyakran gondoltam rájuk, sokszor nehéz mindennapjaikra, a könnyebb-nehezebb terepi viszonyokra,



Oriente tartomány térképe

Map of province Oriente

helyszíni nehézségekre. Nagyon megörültem, amikor októberben Brezsnjanszky Karcsi kiegészítő kőzetminták gyűjtésére és más feladatokkal megbízva egy hétre gépkocsival Orientébe utazott, és én is vele utazhattam. Így közvetlenül láttam működési területük egy részét: Gibara, Holguín, Las Tunas vidéke, a Cauto folyó medencéje, Baracoa, Bayamo, Manzanillo, Guacanayabo-öböl, csodálatos tájak. Nem hiába kiáltott fel Kolumbusz Kristóf amikor 1492. október 28-án a kubai partot is elérte Baracoa vidékén: „Ez a föld a legszebb, amelyet emberi szem valaha is látott!” Igaza volt. Utunk közben meglátogattuk az egyik Állami Gazdaság telephelyét, ahol korábban a térképezőcsoport ideiglenes szállása volt. Szomorú szívvel láttuk a kiterjedt narancsliget állapotát a fák alatt nagy tömegben szétrohadó narancsokkal. Kérdésünkre, hogy miért nem szedik össze és küldik fel a fővárosba, ahol nincs megoldva a gyümölcs ellátás, miért hagyják itt tönkremenni? Az volt a válasz, hogy nincs gépkocsi, nem tehetnek semmit, a vonat nagyon messze van, ők is nagyon sajnálják. Szerencsére Karcsi számított a lehetőségre, és a magunkkal hozott néhány zsákot alaposan megtöltöttük és felhoztuk Havannába a családok részére. Nevetséges, hogy ehhez is rendőrségi engedélyre volt szükség.

November közepére sikeresen befejeztem adatgyűjtő munkámat. Az elkészült jelentést az Intézet Tudományos Tanácsa (Consejo Técnico) előtti megvitatásra bemutattam. Munkámat értékelve a jelentést elfogadták. Ezután feladatomat befejezve november végén visszatértem Budapestre.

#### A cikk szerzője

Polcz Iván

#### Hivatkozások

- Csilling L. (1986): Veinte años de colaboración geológica cubano-húngara, 86/317 – Vízügyi Dokumentációs Szolgálató Leányvállalat, Budapest
- Iturralde Vincent M. A. (1988): Naturaleza Geológica de Cuba. Editorial Científico-Técnica, La Habana
- Nagy E., Brezsnjanszky K. (1982): El mapa geológico de la provincia de Oriente a escala 1:250.000 y su texto explicativo, Budapest, MÁFI háziyomda, M.Sz.: 97/82

# Ami a második kötetből kimaradt

VERŐ L.

E-mail: mselaci@t-online.hu

Irak nevével ugyan néhányszor találkozhatunk a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (ELGI) 1964 utáni történetét bemutató második kötetben, de csak geoelektromos és mélyfúrású geofizikai műszerek eladásával kapcsolatban. Sem maguk a műszerek nincsenek megnevezve, sem arról nem esik szó, hogy ezek nem egyszerű műszerszállítások voltak, mindegyikhez kapcsolódott hosszabb-rövidebb betanítás. Az pedig teljesen kimaradt a történetből, hogy ugyanaz az intézmény később szeizmikus műszert és geoelektromos programokkal számítógépet is vásárolt.

Az akkori követelményeknek megfelelően 1974-ben a NIKEX Külkereskedelmi Vállalat kötött szerződést az iraki Ministry of Agriculture and Agrarian Reform bagdadi székhelyű, Ground Water Development Administration (GWDA) nevű intézményével az ELGI nevében. A szerződés értelmében az ELGI két, utólag légkondicionált, orosz UAZ terepjáróba épített K-500 mélyfúrású geofizikai berendezést és egy GE-27 felszíni ellenállásmérő műszert, 1600 méteres AB távolságig való gradiens szondázásokhoz szükséges tartozékokkal szállított a GWDA-nak. Mind a mélyfúrású, mind a felszíni műszerekhez egy éves, Irakban történő betanítási program is tartozott. Ennek megfelelően Márfföldi Gábor villamosmérnök, Pintér József szaktechnikus, Szunyogh Ferenc villamosmérnök, illetve Verő László geofizikus utazott Irakba.

Más szerződések révén ebben az időben a GWDA-nál szakértő volt még Hoffer Egon geofizikus az ELGI-ből és Marton Gyula geológus, aki korábban a Magyar Állami Földtani Intézetben dolgozott.

Az egyik K-500 berendezés Bagdadban maradt – az ország déli részében mélyített vízkutató fúrásokban végeztek méréseket ezzel –, a másik pedig Moszulból az ország északi felében látott el hasonló feladatot Szunyogh Ferencsel. A geoelektromos műszer is Bagdadban maradt, innen kiindulva végeztünk terepi méréseket. Az iraki fél mind a mélyfúrású, mind a felszíni műszer kezelésének megtanulására, illetve a mérési adatok feldolgozására, kiértékelésére és értelmezésére két-két fiatal, BSc-fokozattal rendelkező geofizikust vagy geológust jelölt ki. Mivel latin betűkkel leírva csak a felszíni módszer megtanulására kijelöltek nevet láttam, így csupán ezt a két nevet tudom leírni: Suad Al-Saigh geofizikus – nevéből számunkra nem derül ki,

hogy ő egy hölgy – és Vartan Vartanjan geológus, az ő neve viszont elárulja, hogy örmény származású.

Részletesen csak a felszíni geofizikai programról tudok beszámolni feljegyzéseim alapján. Három hosszabb – Rutba, Szulajmanija, Mandali – és két rövidebb – H-3, Harir – ideig tartó terepi mérést végeztünk vízkutatói céllal. Ezzel párhuzamosan folyt a továbbképzés, ennek anyagát egy 130 oldalas jegyzetben foglaltam össze. Hogy mindebből mit sikerült Al-Saigh-nak és Vartanjannak elsajátítani, azt az osztályvezetőjük által kiállított „bizonyítvány” árulja el.

Valamennyi műszer kifogástalanul működött az egy év alatt, ami figyelembe véve az időjárást – 50 °C feletti hőmérséklet terepen – és a nem mindig ideális raktározást, szállítást, kezelést, nem lebecsülendő teljesítmény. A GE-27 műszer is kapott „bizonyítványt” az év végén.

A tervezett programtól eltérően Márfföldi Gábor még 1975-ben hazautazott, helyette Viola Balázs geofizikus érkezett. A karotázsberendezések szerződésben vállalt garanciális szervizének ellátására áprilisban Hincz Károly gépkocsiszerelő és Kozsa Gábor szaktechnikus érkezett. Ez az egyéves program 1976 júniusában fejeződött be.

Sajnos, a folytatásról már nincsenek feljegyzéseim, így még az időpontokban sem vagyok biztos. 1976 vagy 1977 őszén iraki szakemberek érkeztek mélyfúrású és felszíni geofizikai továbbképzésre Magyarországra, az ELGI-be. Ismeretlen ok miatt Vartan Vartanjan helyett valaki mást küldtek. Ebben már nem vettem részt, de Suad Al-Saigh egy megjegyzése sokat elárul nem csak a szakmai programról. Valószínűleg először jártak Európában, és többet akartak látni, így hát elmentek Bukarestbe. Visszatérésük után mondta Al-Saigh, hogy nagyobb örömmel tértek vissza Bukarestből Budapestre, mint amilyen örömmel fognak visszatérni Budapestről Bagdadba.

A következő évben újabb szerződés keretében két, a gerjesztett polarizáció mérésére is alkalmas DIAPIR műszert és geoelektromos programokkal egy Hewlett-Packard 9845 asztali számítógépet szállítottunk. Újabb felszíni geofizikai módszerrel, a szeizmikával kívánta bővíteni a GWDA a repertoárját, ezért vásároltak egy ESS-01-24 mérnökszeizmikus berendezést. Nagyjából egy hónapnyi idő alatt Simon Pál, a DIAPIR és Gili László, az ESS-01-24 konstruktőre adta át a műszereket, majd Kónya Albert tartott szeizmikus betanítást. A számítógép és a programok

( بسم الله الرحمن الرحيم )  
وزارة الزراعة والاصلاح الزراعي  
المؤسسة العامة للحفر والمحطات الزراعية  
مصلحة استثمار المياه الجوفية  
القسم :  
هاتف : ٨٥١٢١ بدالة ٣ خطوط  
العنوان البرقي ( ارتوازية )  
س . ب ( ٢٢٢١ )  
الرقم :  
التاريخ : / /



TO WHOM IT MAY CONCERN

This is to certify that Mr. László VERÓ served Ground Water Development Administration (Ministry of Agriculture and Agrarian Reform, Government of Iraq) for a period of one year as an expert in surface geoelectrical geophysical methods connected with ground water investigations in Iraq. He effectually performed the training of the Iraqi staff for operation of the equipment GE-27, and gave lectures on the basic principles of the resistivity method. He carried out field measurements together with the Iraqi staff and at the end of training period the Iraqi operator was able to work alone on the field.

During his stay with this organisation he has always been found very co-operative and his pleasing manners were liked by all his colleagues. I wish him all the success for bright and happy future.

Baghdad, 1<sup>st</sup> of June, 1976.

  
Eng. Haik K. Sarkis

Head of the Geological Division  
Ground Water Development  
Administration  
Government of Iraq

Ezt a „bizonyítványt” állította ki számomra Haik K. Sarkis, a GWDA Geológiai Osztályának vezetője. Ez azonban inkább Suad Al-Saigh és Vartan Vartanjan bizonyítványa<sup>1)</sup>

átadása Csörgei József geofizikus feladata volt. A GWDA új helyre költözött, Bagdad külvárosába, a palesztin negyedbe. Ismét találkoztam Al-Saigh-gal és Vartanjjal, és a GE-27 – raktárban – még működőképes volt.

Már ez alatt az idő alatt kiéleződött a konfliktus Iránnal. Előfordult, hogy munka helyett tüntetés volt a program, a főbb épületek bejáratához nagy betonkockákat raktak, aztán 1980-ban kitört a háború. Tudomásom szerint az utol-

<sup>1)</sup> Ez azt igazolja, hogy Veró László úr egy éves időszakon át szolgált a Ground Water Development Administrationnál (Mezőgazdasági és Agrárreform Minisztérium, Irak Kormánya) mint a felszíni geoelektromos geofizikai módszerek szakértője a felszín alatti vízkutatásban, Irakban. Hatékonyan végrehajtotta az iraki személyzet betanítását a GE-27 műszer működtetésére, és előadásokat tartott az ellenállás módszer alapelveiről. Az iraki személyzetrel együtt terepi méréseket végzett, és a betanítási időszak végén az iraki észlelő egyedül is képes volt dolgozni a terepen.

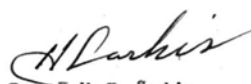
Az ennél a szervezetnél való tartózkodása alatt mindig nagyon együttműködőnek találtuk, és kedves modorát minden kollégája szerette. Kívánom neki, hogy jövője fényesre és boldogra sikerüljön.

Bagdad, 1976. június 1.

Haik K. Sarkis mérnök  
a Geológiai Osztály vezetője  
Ground Water Development  
Administration  
Irak Kormánya

At the end of the guarantee period the transmitter and the compensator are in good working order.

Baghdad, 6<sup>th</sup> of June, 1976.



Eng. Haik K. Sarkis

Head of the Geological Division  
Ground Water Development  
Administration

A GE-27 műszer „bizonyítványa”<sup>2)</sup>

só kapcsolat az volt, amikor 1979 őszén az iraki követség alkalmazottai lakásomon kerestek fel, én azonban akkor Kanadában voltam. Így a jól induló magyar részvétel az iraki vízkutatásban a kedvezőtlené vált körülmények miatt megszűnt.

Álljon itt végül a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet azon szakembereinek a névsora, akik a 70-es évek második felében részt vettek az iraki munkákban, és összesítve jóval több, mint öt évet töltöttek ott.

Csörgei József  
Gili László  
Hoffer Egon  
Kónya Albert  
Márföldi Gábor

Pintér József  
Simon Pál  
Szunyogh Ferenc  
Veró László  
Viola Balázs

A cikk szerzője

Veró László

### Bagdad 1978-ban



<sup>2)</sup> A garanciális idő végén az átalakító és a kompenzátor jó működési állapotban van.

Bagdad, 1976. június 6.

Haik K. Sarkis mérnök  
a Geológiai Osztály vezetője  
Ground Water Development Administration

# Geofizikusok határok nélkül – a világ távoli pontjairól érkezett hallgatóink mesélnek

## Előadói ülés a Miskolci Egyetemen

Az „Új utak a földtudományokban”, majd a „Földtudományi határterületek” előadás-sorozat folytatásaként az Egyesület idén is előadás-sorozatot hirdetett. Ennek keretén belül az MGE Észak-Magyarországi Csoporttal, az EAGE Miskolci Hallgatói Tagozattal, a Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszékével közös szervezésben 2017. május 17-én a Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszéke adott otthont az idei második előadói délutánnak. A rendezvény nemcsak az új helyszín miatt számított különlegességnek, hanem témájában is. Ezenkívül az Egyesület új kezdeményezés-ként video- és hangfelvételt is készített az eseményről, melyet később a Tagság rendelkezésére kíván bocsátani, így akik személyesen nem tudtak részt venni az előadásokon, az interneten megtekinthetik ezeket.

Az előadói délutánt *Magyar Balázs*, az Egyesület elnöke nyitotta meg, majd e sorok szerzője mutatta be az „EAGE Student Chapter”-t. A Miskolci Egyetemen 2012-ben egy csapat lelkes geofizikushallgató alapította meg hazánk egyetlen EAGE Hallgatói Tagozatát, melynek célja, hogy az egyetemi tananyagot túlmutató ismereteket előadások, terepgyakorlatok, versenyek, kurzusok formájában közelebb hozza a hallgatókhoz. Minden föld- és mérnöki tudományok iránt érdeklődő hallgatót szeretettel várnak a tagságba. A csatlakozással olyan előnyök járnak, mint például ingyenes tagság, hozzáférés a szakirodalomhoz, oktatási portálhoz, kedvezményes részvételi díjak az EAGE rendezvényein.

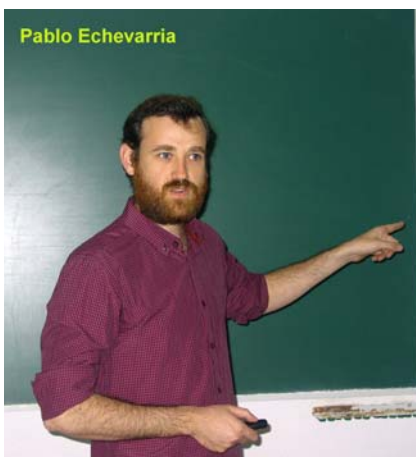
Ezután következtek a rendezvény főszereplői, a külföldi hallgatók. A 2016/17-es tanévben a *Stipendium Hungari-*

*cum* program keretében, szó szerint a világ minden tájáról érkeztek hallgatók a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karára, hogy mesterszakos és PhD-tanulmányokat kezdjenek. Felkérésünket elfogadva közülük négyen mutatkoztak be. Meséltek országukról földtani, kulturális, gazdasági és egyéb érdekes szempontból. Elsőként *Daniel O. B. Nuamah*, I. éves geofizikus PhD-hallgató Ghánáról tartott előadást. A rendkívül színes bemutató során az országról átfogó ismereteket kaptak a jelenlévők. Őt követték az I. éves mesterszakos hallgatók. *Pablo Echevarria* tagadhatatlan latinos temperamentumával avatta be a hallgatót az argentin futballrajongó életérzésbe. Természetesen az előadásból az ország földtana sem maradhatott ki, melyről kihangsúlyozta, hogy sokkal bonyolultabb egy egyszerű szubdukciós zónánál. Következő előadásunkban ismét a tengeren túlra utaztunk, de most Algériába. *Aouatef Soltani* felhívta a hallgatók figyelmét az országa sokszínűségére, természeti és építészeti csodáira. Mindenképpen érdemes egyszer oda ellátogatni! A délutánt *Mauricio Galván García Luna* zárta, aki Mexikóból érkezett, így természetesen nem maradhatott ki a mexikói bulizás és a tequila sem. Utóbbiról kiderült, hogy Európában nem túl autentikusan fogyasztjuk. Aki részt vett az előadói délutánon, már tudja a titkot!

A szervezők nevében ezúton is újra megköszönöm az előadóknak, hogy elfogadták a felkérésünket és megismerhettük őket közelebbről. Bízom benne, hogy a későbbiekben is sok hasonlóan színes és színvonalas előadást fogunk hallani.

*Kiss Anett*

MGE Ifjúsági Bizottság



# Kőolajkutató földtudományi mérnökképzés indul a Miskolci Egyetemen

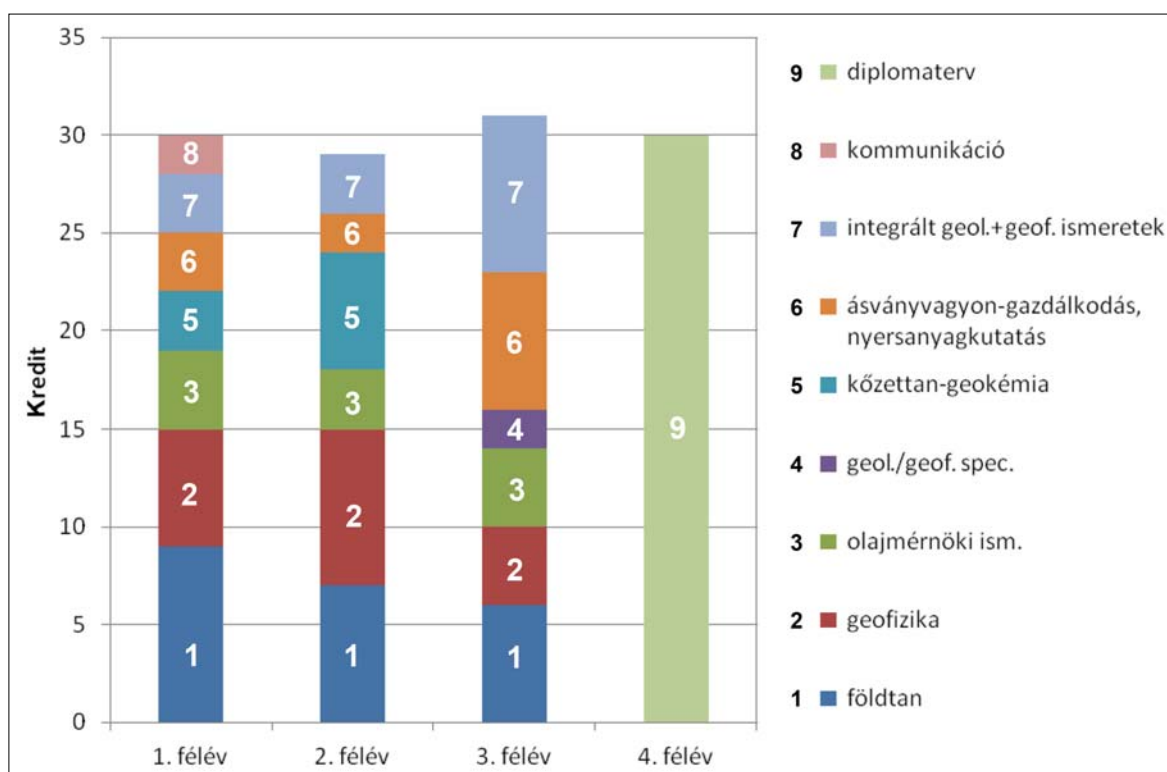
A Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kara 2017 szeptemberében indítja az újonnan akkreditált szénhidrogén-kutató földtudományi mérnök (MS in Petroleum Geoenvironment) mesterprogramot. Az új, angol nyelvű mesterszak egységes, szakirány nélküli (az ipari igényeknek megfelelően „integrált”) szak, melynek célja, hogy a hallgató a szénhidrogén-nyersanyagkutatás területén mind a földtani, mind a geofizikai, valamint a termelési rezervoárterületeken alapos képzést kapjon. A teljes idejű (nappali) képzésben részt vevő első évfolyam 17 fő magyar és külföldi hallgatóból áll, akik képzését a Miskolci Egyetem oktatói a MOL Nyrt. szakembereinek közreműködésével végzik.

A hazai olajipari vállalat és a Miskolci Egyetem együttműködése évtizedekre nyúlik vissza, amely a szak beindításával tovább erősödik. A MOL Nyrt. szerint a kutatás és termelés területén a szakember-utánpótlásában – a már futó olaj- és gázmérnöki mesterprogramok mellett – az új szak hiánypótló szerepet tölt be. A szakon diplomát szerzett szakemberek olyan plusz földtudományi-mérnöki tudással rendelkeznek majd, amely lehetővé teszi, hogy részt

vegyenek új szénhidrogén-lelőhelyek felfedezésében, piaci megszerzésében és mezőfejlesztésében, valamint a megszerzett oklevelük nemzetközi szinten is versenyképes legyen. A MOL Nyrt. jelenleg több országban is folytat kutatási, termelési tevékenységet, ahol az üzleti partnerei részéről is számottevő kereslet várható a képzés iránt.

A jelentkezők a képzésre szakirányú alapszakos (BSc) diplomával (min. 80 kredittel kell rendelkezniük a korábbi tanulmányaik során szerzett természettudományos, gazdasági és humán, valamint szakmai ismeretekből) és legalább középfokú angol nyelvvizsgával léphetnek be. A külföldi hallgatók részvételét a *Stipendium Hungaricum* ösztöndíj program is támogatja, mely a hallgató szülőhazája és a magyar kormány közös megállapodásán alapul. Sikeres pályázat esetén a hallgatónak nem kell tandíjat fizetnie, és emellett havonta ösztöndíjat és egyéb szociális juttatást is kap.

A négy féléves szénhidrogén-kutató földtudományi mérnökök képzése keretében alapozó (szerkezeti és üledékföldtan, alkalmazott geofizika, kőzetfizika, alkalmazott kőzettan), szakmai (fúrásgeológia, medencemodellezés,



A kőolajkutató földtudományi mérnökképzés témái, ütemezése és a megszerzendő kreditpontok a Miskolci Egyetemen



szeizmikus kutatás, karotázsértelmezés, geostatisztika, fúrásstechnológia, olajkémia és hidrogeológia) és differenciált szakmai ismereteket adó tantárgyakat (mezőbeli szeizmikus módszerek és értelmezés, folyadékmechanika- és transzportmodellezés, kőzetmag-elemzés, készletbecslés, kőolaj-gazdaságtan, rezervoargeológia és -modellezés, kutatási és termelési projekt tervezése) kell a hallgatóknak teljesíteni. A mellékelt ábra azt szemlélteti, hogy az egyes szakterületekből hány kreditet kap a hallgató. Látszik, hogy földtani és geofizikai ismeretek aránya nagyjából azonos, ezeket egészítik ki a geológiai-geofizikai tervezéshez, kiértékeléshez legszükségesebb olajmérnöki ismeretek. A tanterv kialakításánál fontos szempont volt az, hogy minden félévben kerüljön sor olyan tárgyak oktatására, amelyek az addig megszerzett kompetenciákat integrálva fejlesztik. Az első félévben ilyen tárgy a „Wellsite geology”, második félévben a „Core analysis”, harmadik félévben a 8 kredites (Imperial Barrel Award típusú) integrált projekt feladat. A képzési programhoz nyári szakmai gyakorlat

keretében hozzátartozik két alkalmazott olajipari földtudományi gyakorlat is.

A záróvizsgára bocsátáshoz 120 kredit szükséges, ahol a jelölteknek a diplomamunkájuk mellett három téma-területből kell beszámolniuk: integrált geofizikai és geológiai kutatómódszerek, kutatási projektek megvalósítása, valamint a mérnöki tevékenység és a földtudományok integrált alkalmazása. Azoknak a kiemelt képességű hallgatóknak a számára, akik a tudományos kutatás területén szeretnék kamatoztatni a kurzus során megszerzett tudásukat, lehetőségük nyílik, hogy egyetemi doktori (PhD-) képzésbe kapcsolódjanak be, mely a Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskola keretében működik a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karán.

A szénhidrogén-kutató földtudományi mérnöki mesterprogramról bővebben az alábbi weboldalon tájékozódhatnak az érdeklődők: [http://mfk.uni-miskolc.hu/?page\\_id=4424](http://mfk.uni-miskolc.hu/?page_id=4424).

*Szabó Norbert Péter*  
Miskolci Egyetem, Geofizikai Tanszék

## Dr. Müller Pál

### 1932 – 2017

A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (ELGI) egykori legendás igazgatója, dr. Müller Pál, 1932. május 7-én született a Salgótarján közelében levő Baglyasalján. Elemibe Baglyasalján, középiskolába Salgótarjánban, egyetemre, geofizikus mérnöki szakra pedig a Szovjetunióban, Leningrádban járt, ahol 1955-ben kitüntetéssel szerezte meg diplomáját. Hazatérte után először az ELGI-hez került, de itt és a katonaságnál is csak rövid ideig volt: 1955 végén a Pécsi Uránbánya Vállalatnál helyezkedett el, ahol először Bakonyán dolgozott üzemi geofizikusként, majd a Vállalat főgeofizikusának nevezték ki. 1959-től 1960-ig ugyancsak a Szovjetunióban, Dnyepetrovzszkban, a Bányászati Akadémián volt aspiráns, és itt szerezte a földtani (geofizikai) tudományok kandidátusa minősítését.

1965. január 1-jén bízták meg a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet vezetésével. Igazgatósága alatt az ELGI hazai és külföldi nyersanyag-kutatásai, módszer- és műszerfejlesztései, tudományos kutatásai, földtani-geofizikai intézményekkel, továbbá műszerfejlesztő és -gyártó vállalatokkal folytatott együttműködése, hazai és nemzetközi kapcsolatai és elismertsége, gazdasági teljesítménye, létszáma, elhelyezése és felszereltsége gyorsan és töretlenül fejlődött.

Öt évtized távlatából visszatekintve Müller Pál gazdasági vezetőként sokszor messze a saját kora előtt járt. Évekre voltunk még az „új gazdasági mechanizmus” hivatalos és később – sajnos – félúton elakadt reformtörekvéseitől, amikor Intézetében bevezette a határozottan teljesítményelvű, szigorú beszámoltatásokhoz kötött munka- és jutalmazási rendszert, és még senki sem hallott a ma már egyetemeken oktatott „mátrixrendszerű” szervezeti felépítésről, amikor az Intézet szakmai tevékenységében megvalósította a vertikális, intézeti hierarchia mellett működő horizontális, szervezeti egységeken átnyúló kutatási téma-rendszert. Mindkét újítása nagyon jól működött. Tevékenysége mögött sok küzdelem volt, mert a kor szellemének megfelelően sokan nem tudták elfogadni az ELGI így kialakuló sokrétű és pragmatikus tevékenységét.

Müller Pál sokoldalú külföldi kapcsolatrendszert alakított ki. Bátran nyitott nyugati irányban is. Kapcsolatait az Intézet érdekében mindig kitűnően tudta kamatoztatni.

Reális helyzetfelismerésének köszönhetően 1970-ben felépült az ELGI központi épülete. Ez koncentrált elhelyezést és egy számítóközpont megvalósítását, valamint annak speciális továbbfejlesztését is lehetővé tette, ami az intézeti munka színvonalának gyors javulására döntő hatással volt.

Visszatekintve fontosnak látszik az a piacorientált felismerés is, hogy a geofizika a terepi és műszerkutatási eredményeket rugalmasan hasznosító kisszériás műszergyártást is igényel. Impozáns volt az a térkép, amely mutatta, hogy a nyolcvanas évekre az ELGI a kontinensek többségére, igen sok országba szállított geofizikai berendezéseket. Ez is hozzájárult ahhoz, hogy az ELGI kutatói több országban végeztek nyersanyagkutatást és szakértői tevékenységet.

Müller Pál és a magyar geofizika elismertségét bizonyítja az is, hogy 1985-ben a főleg a nagy nyugati olajvállalatok ku-

tatatóit összefogó *European Association of Exploration Geophysicists* (EAEG) szimpóziumát Molnár Károllyal, az OKGT Geofizikai Kutatási Üzemének igazgatójával együtt Budapesten szervezhatték meg. A nagy rendezvény rendkívül sikeres volt, az résztvevők még egy évtized múlva is emlegették.

A nyolcvanas évek végén, tulajdonképpen pályája csúcán, azonban egészsége hirtelen megromlott, és 1990-ben egyre súlyosbodó betegsége nyugalomba kényszerítette.

Müller Pál szerette szakmáját, szerette Intézetét és szerette munkatársait is, az igazgatói szigor mögött mindig ott volt a segítőkész kolléga, az ember is. Beosztottai körében nagyon népszerű volt. Talán ennek is köszönhetően az ő nevéhez fűződik és az ő igazgatóságának idejére esik a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet ma már megismételhetetlen és messze tűnt fénykora.

Nyugdíjas éveiben is, amíg egészségi állapota engedte, kapcsolatban maradt mind szakmájával, mind volt Intézetével. Halálával a magyar geofizika egy olyan kiemelkedő személyisége távozott közülünk, akire még sokáig fogunk emlékezni.

Kedves Pali, nyugodj békében!

*Posgay Károly, Bodoky Tamás*



Dr. Müller Pál  
1932 – 2017

# Jesch Aladár

## 1922 – 2017

Jesch Aladár 1922. január 18-án született, ahogy említeni szokta, Budán. A piarista gimnáziumi érettségit követően – mivel a családban hagyománya volt a gépész szakmának – tanulmányait a Budapesti Műszaki Egyetem gépészmérnöki karán folytatta. Az első szakmai gyakorlat alkalmával 1943 nyarán érkezett a MAORT bázakerettyei üzemébe, hogy aztán végérvényesen itt ragadjon Zalában, az olajiparban, a mélyfúrás geofizikában vagy, ahogy erre felelő mondják, a karotázsban.

1945 szeptemberétől a MAORT beszerzési osztályán dolgozott mint szigorló gépészmérnök. Érvényes diplomához a háborús viszonyok miatt csak később, 1947-ben juthatott. Drezdában, ahová az egyetemet kitelepítették, és ahol a nevezetes bombázást is átélte, már 1944-ben szerzett – mint később kiderült érvénytelen – oklevelet. Így lehetséges, hogy 1947-ben a párizsi főiskolai világbajnokságon az aranyérmes kosárlabda csapat tagja lehetett, igaz csak szabadsága terhére.

Nagykanizsára 1950 márciusában érkezett a fúrás üzem Schlumberger-csoportjához, Kántás Károly közreműködésével. Ez volt az a pont, amely későbbi szakmai életútját meghatározta, szorosan kapcsolódva a szelvényezéshez és a mélyfúrás-geofizikai műszerfejlesztéshez. Ali bácsi az évek folyamán gépészmérnöki végzettsége mellett geofizikussá képezte magát. Hogy ez mennyire jól sikerült, jelzi felkért egyetemi oktatói tevékenysége, a geofizika terén született számos jegyzete és megtartott előadásai. Nagy szerepe volt a Schlumberger-műszerek utánpótlásának megszűnését követően a Geofizikai Mérőműszerek Gyárának létrejöttében Budapesten, ahol a francia műszerekkel majdnem megegyező, regisztráló művet és mérőkocsit gyártottak, amelyeket később exportáltak is. 1955-ben



Jesch Aladár  
1922 – 2017

és 1956-ban Kínába is eljutott, ahol a magyar fejlesztésű szelvényező berendezések kezelésére oktatta az ottani szakembereket. Egészen nyugdíjba vonulásáig műszer- és technológiafejlesztéssel foglalkozott, előbb mint osztályvezető, később mint tanácsadó. 41 év szolgálati idő után 1985-ben vonult nyugdíjba, de sem közéleti, sem szakmai tevékenysége nem lankadt. A rendszerváltáskor egy cikluson keresztül önkormányzati képviselő volt Nagykanizsán. Közéleti munkájának elismeréseként 2017 áprilisában a város díszpolgári címet adományozott neki.

A szakmai egyesületi életben hosszú éveken át tartó aktív szerepet töltött be. A Magyar Geofizikusok Egyesülete Nagykanizsai Csoportjának alapító tagja és első elnöke 1959-ben. Később, több ciklusban is elnök és titkár, Egyesületi munkájának elismeréseként 1974-ben Emléklapot, 1991-ben Renner János-emlékérmet, majd 1997-ben MTESZ Emlékermet kapott. Tiszteleti taggá 1980-ban választották.

Embersége, kivételes humorérzéke, széles körű műveltsége nagyszerű társasági emberré tette, élmény volt vele társalogni. Aktivitása, vitalitása, amelyet az utolsó időkig megőrzött, mindannyiunk számára példamutató lehet. Halálával egy nagy ívű, irigylésre méltó életpálya zárult le.

Szeretett felesége közelmúltbeli halálát nehezen viselte, ezt a fájdalmat három fiúgyermek, hét unokája és dédunokái sem tudták már enyhíteni. A magyar olajipar egyik utolsó doyenje távozik vele. Búcsúzóul az Ő szavait idézem: „Nem panaszkodom, sose a pénz mozgatott. Számomra a tökéletes boldogságot az jelentette, hogy azt csinálhattam, amit szerettem – s kicsit talán értettem is hozzá...”

Isten veled Ali bátyánk!

*Császár János*

# Rumpler János

## 1933 – 2017

A magyar geofizikusok nagy családja ismét elvesztette egyik tagját, Rumpler János geofizikus kollégánkat, barátunkat. Felesége kívánsága szerint nem volt nyilvános temetése, búcsúztatására rokoni körben került sor a balatonalmádi Szent Imre templomban a római katolikus szertartás szerinti gyászmise keretében. A szertartáson a Balatonon tartózkodók közül évfolyamtársa, Szabó Zoltán és felesége, Kilényi Éva, valamint Ujfalusy Antal vettek részt. A távollevők miatt rendhagyó módon itt közlöm a templom plébánosának, az elhunytat jól ismerő Szabó Jánosnak kiemelkedő búcsúztatóját.

„Reményik Sándor költő éles elevenség-gel fogalmazza meg egyik költeményében azt, amit ebben az órában átélünk. A költemény címe:

### Mi mindig búcsúzunk!

Mondom néktek: mi mindig búcsúzunk!  
 Az éjtől reggel; a nappaltól este.  
 A színektől, ha a szürke por belepte.  
 A csöndtől, amikor hang zavarta fel.  
 A hangtól, amikor csendben halkul el.  
 Minden szótól, amit kimond a szánk,  
 Minden mosolytól, mely sugárzott ránk.  
 Minden sebtől, mely belénk mélyedett.  
 Az álmaintól, mik már nem teljesülnek.  
 A lángjainktól, mik lassan kihűlnek.  
 A tűnő tájtól, mit vonatról láttunk,  
 A kemény rögtől, min megállt a lábunk...  
 S szereteinktől, kiknek ravatalánál állunk.  
 Mi mindig búcsúzunk!

E különös, érthetetlen és egyben kikerülhetetlen »diaktikában« zajlik életünk. Jövünk, és aztán megyünk... Jövünk, születünk... jönnek, születnek az új nemzedékek; és a régiek egyszer csak mennek... s a régiekkel egyszer csak megyünk mindahányan. Kikerülhetetlen története a létezésnek, amelybe vagy beleroppanunk, vagy belenyugszunk. A választás egyértelmű... de csak egy kis távolságra ettől az órától... *igen megnyugszunk!* Egy bölcs igazság segítségünkre lehet: »Ember, gondold meg, hogy amikor születél mindenki mosolygott, csak te sírtál. Élj úgy, hogy amikor elmész ebből a világból mindenki sírjon csak te mosolyogjál!« »Fönről, az Ég magasából, az örökkévalóságból, ahol a Teremtő Atya Szíve lángol: jöjj gyermekem, itt van a te helyed; sehol máshol!«



Rumpler János  
1933 – 2017

Testvérünk, Rumpler János 1933. július 22-én született a közeli Várpalotán. Korán árván maradt, de rendkívüli akarateréjének köszönhetően – a szükséges szülői támogatás nélkül is – képes volt jelesre érettségizni, ill. 1955-ben az ELTE Élet- és Földtudomány Karán jeles eredménnyel végezni mint okleveles geofizikus. Nem sokkal ezután, 60 évvel ezelőtt, 1957-ben kötött házasságot szíve választottjával, Varga Veronikával. Veronika nem csak hűséges feleségként, hanem »igazi őrangyalként« állt mellette, mindvégig biztosítva a nyugodt háttérrel az alkotó munkához.

János bátyánk tudós geofizikusként és magas szintű angol-német nyelvtudással fölvértve gyakran utazott külföldre, távoli országokban is kutatva a föld mélyének kincseit. Veronikával kötött házassága során bőven kijutott mindkettejüknek a szépből és jóból éppúgy, mint a bánatból és szomorúságból. Életük legnagyobb bánata akkor érte őket, amikor egyetlen

fiúk János 1977-ben, 18 évesen meghalt. Igazából sosem tudták ezt a nagy veszteséget feldolgozni, amely azonban végül egy igen tiszteletreméltó döntéshez segítette őket: nemrégiben úgy rendelkeztek, hogy vagyoniuk legnagyobb részét gyermekeket gyógyító, ápoló intézményeknek hagyják örökül.

Testvérünk egészségi állapota igazából az utóbbi években kezdett el romlani. A lassú elgyengülést követően nemrégiben kórházba került. Eközben részesült a bűnbocsánat szentségében is. Végül teste és szíve egészen elfáradt, és június 7-én, örökre megpihent. Elment, de talán helyesebb azt mondani: előre ment, a hit hídján a szeretet erejével a túlsó partra. S nekünk most az a dolgunk, hogy elengedjük őt. Miközben őt megértő és egymást átölelő szeretettel imává formáljuk magunkban Ady Endre halhatatlan vers sorait:

Mikor elhagytak, mikor a lelkem roskadozva vittem,  
 csöndesen, váratlanul átölelt az Isten.  
 Nem harsonaszóval, hanem jött néma igaz öleléssel;  
 nem jött szép tüzes nappalon, de háborús éjjel.  
 És megvakultak hiú szemeim és meghalt ifjúságom,  
 de Őt a Fényest, a Nagyszerűt mindörökre látom.

Örök nyugalomra a budapesti Magyar Szentek Temploma urnatemetőjébe helyezték el hamvait.”

Rumpler János barátunk az ELTE Élet- és Földtudományi karán, az Egyed László által alapított geofizikus szak első

végzős évfolyamával végzett 1955-ben. Még élő évfolyamtársai, az Egyesületünkben ismert Aczél Etelka, Pintér Anna, Szabó Zoltán. Első munkahelye az OKGT Geofizikai Kutató Vállalata volt. Idővel a Geofizikai Osztály vezetője, 1984-től a Szeizmikus Kiértékelési Osztály vezetője, majd nyugdíjazásáig a MOL Rt. Geofizikai Osztályának vezetője lett. Mind egyetemi társai, mind kollégái körében segítőkész embernek ismerték. Szorgalma, képességei német és angol nyelvtudása alkalmassá tették nagyobb geofizikai feladatok megoldására, maradandó értékek létrehozására itthon és külföldön egyaránt. Szakmai tevékenységének főbb állomásai:

- 1960-ban Kínában egy kínai szeizmikus kutató csoport kiértékelési és értelmezési munkáit irányította 6 hónapig.
- 1961–63: a német és a magyar állam között létrejött szerződés alapján az NDK geofizikai kutatásaiban 3 német szeizmikus csoportnál 4-4 magyar szakember vett részt. A magyar geofizikusok között ott volt Rumpler János is mint szakmai irányító.
- 1976-ban a magyar geofizikusok számára az USA-ban, Hustonban Vibroseiz tanfolyamot tartottak, melyen részt vett Rumpler János is. A magyarországi szeizmikus kutatásoknál ő vezette be az USA-ból vásárolt vibroseiz berendezések használatát, a mérések értelmezését.

- 1978–81 között a Geofizikai Kutató Vállalattól 38 ember dolgozott Irakban. A szerződés megkötésében, a szakmai irányításban többszöri iraki jelenléttel vett részt Rumpler János.
- Az USA-ból vásárolt vibrátorokkal 1991-ben Tunéziában szeizmikus méréseket végeztek a GKV és az OKGT, később a MOL közötti szerződés alapján. A szerződés megkötésében a GKV részéről Rumpler János vett részt.
- Meg kell még említeni, hogy a Világbank finanszírozásában a 80-as években a GKV és a USGS között létrejött megállapodás alapján több geofizikus kölcsönösen dolgozott az USA-ban és Magyarországon. Ebben is részt vett Rumpler János.
- Nyugdíjasként Balatonalmádiba költözött, de 1998-ig a MOL keretében mint szerződéses szakértő tevékenykedett. Később több magyar és külföldi vállalatnál is dolgozott mint szaktanácsadó.

Nemcsak gazdag munkásságán keresztül emlékezünk rá, de egyénisége, emberszeretete is mély nyomot hagyott mindannyiunkban. Emlékét megőrizzük!

Budapest–Balatonalmádi, 2017. augusztus

*Ujfalusy Antal*

## Liszt Ferenc 1922 – 2017

1922-ben született Budapesten. Itt érettségizett a Berzsenyi Dániel Gimnáziumban, és itt járt a Műegyetem Villamosmérnöki Karára.

Az Eötvös Loránd Geofizikai Intézetbe 1952-ben került, de előtte a Magyar Siemens Műveknél, a KÁLIT Elektrotechnikai Vállalatnál, az Elektrotechnikai KSz.-nél, és a Radioaktív Mérőműszerek KSz.-nél dolgozott különböző beosztásokban.

Az ELGI-be Renner János igazgató vette fel, s feladata a radioaktív mérések (felszíni és mélyfúrás-geofizikai) műszeres hátterének biztosítása, a szükséges eszközök (felszíni egységek, szondák) kifejlesztése lett. A feladat nehézségét mutatja, hogy abban az időben az érzékelőt (GM-csővet) még külföldről sem lehetett beszerezni. Feladatát sikerrel oldotta meg.

Eredményes kutató-fejlesztő munkája a mélyfúrás-geofizikai radioaktív műszer-család létrehozásában teljesedett ki. A kifejlesztett radioaktív szondák (természetes gamma, gamma-gamma, neutron-neutron) különböző külső átmérővel készültek, hőtűrésük is változatos volt attól függően, hogy szilárd, hasznos ásvány, víz vagy a kőolaj kutatásában használták azokat.

Feri az intézeti, egyszersmind a magyar mélyfúrás-geofizikai radioaktív műszercsalád fejlesztésének egész ELGI-s élete alatt meghatározó, vezető szakembere volt.

Sokoldalú munkásságát szabadalmak is bizonyítják.

Az általa és kollégái közreműködésével kifejlesztett radioaktív műszerek sok éven át szolgálták nemcsak a hazai nyersanyagkutatást, hanem más országokét is, hiszen az ELGI a világ több mint 26 országába exportálta azokat.

Munkáját több kitüntetéssel ismerték el, többek között a Pro Geophysica éremmel.

Erős akaratú, céltudatos, munkájában maximalista ember volt. Végigdolgozta életét. Nyugdíjba vonulása után kertjét ápolta. Életvidám, jó humorú, energikus, ügyes kezű, igazi ezermester volt. Élete utolsó éveiben súlyos betegséggel küzdött, amely végül legyőzte Őt.

2017. július 27-én örökre lehunyta szemét. A kelenföldi Szent Gellért Plébániatemplomban augusztus 18-án helyezték örök nyugalomra.

Kedves Feri, nyugodj békében! Emléked megőrizzük.

*Dr. Baráth István*



Liszt Ferenc  
1922 – 2017

## Rendezvénynaptár

2017. október		
okt. 15–18.	AAPG/SEG nemzetközi konferencia és kiállítás ( <a href="http://london2017.iceevent.org">london2017.iceevent.org</a> )	London, Anglia
okt. 18. 14.00 h	Többek között Kiss Károly előadása (lásd a honlapon) (az MGE előadóiülés-sorozatának keretében)	MBFSZ konferenciaterem (Budapest, Columbus u.)
okt. 26–29.	XIX. Székelyföldi Geológus Találkozó ( <a href="http://www.mft.hu">www.mft.hu</a> )	Borszék
2017. november		
nov. 5–9.	9. Balkán Geofizikai Kongresszus ( <a href="http://www.bgs2017.org">www.bgs2017.org</a> )	Xanadu Resort, Antalya, Törökország
nov. 15. 14.00 h	Válogatás a 2017. évi ISZA előadásából (lásd a honlapon) (az MGE előadóiülés-sorozatának keretében)	MBFSZ konferenciaterem (Budapest, Columbus u.)
2018. március		
márc. 1–2.	GeoTherm – geotermális kongresszus és kiállítás ( <a href="http://www.geotherm-germany.com">www.geotherm-germany.com</a> )	Offenburg, Németország
márc. 26–29.	7. EAGE Workshop on Passive Seismic 2018 ( <a href="http://events.eage.org">events.eage.org</a> )	Krakkó, Lengyelország
2018. június		
jún. 2–6.	SPWLA 59th Annual Logging Symposium ( <a href="http://www.spwla2018.com">www.spwla2018.com</a> )	London, United Kingdom
jún. 11–14.	80. EAGE kongresszus és műszerkiállítás ( <a href="http://www.eage.org">www.eage.org</a> )	Koppenhága, Dánia
jún. 18–21.	17. International Conference on GPR ( <a href="http://www.gpr2018.hsr.org">www.gpr2018.hsr.org</a> )	Rapperswil, Svájc

*További részletek, referenciák a honlapról ([www.mageof.hu](http://www.mageof.hu)) érhetők el.*

*Kakas Kristóf*



# 1968

## Szeizmikus mérések a Hortobágyon



A magyar SZM 24+6 műszer, észlelő Czabarka András, jobbról Zboray Mercedes adminisztrátor és Greutter Antal geofizikus



Érdeklődő a műszerkocsinál



A csoportvezető: Bodoky Tamás

