

# MAGYAR GEOFIZIKA

HUNGARIAN GEOPHYSICS

A MAGYAR  
GEOFIZIKUSOK  
EGYESÜLETÉNEK  
FOLYÓIRATA



JOURNAL OF THE  
ASSOCIATION  
OF HUNGARIAN  
GEOPHYSICISTS

Megváltozott a Szerkesztőség elérhetősége

Beszámoló az Egyesület előadóüléseiről (2017. június–november)

2017. évi EAGE hírek és BGS 2017

A magyar földrengés-katalógusok felülvizsgálata a Mecsek hegység környezetében  
kipattant szeizmikus események esetében

A 2013. évi Heves megyei földrengéssorozat helymeghatározása  
többeseményes algoritmussal

Az MIT Geofizikai Analizáló Csoportjának tevékenysége 1954 után

Egy méltatlanul elfelejtett Eötvös-rokon, Rosti Pál

A „Szeizmológia az iskolában” program elindítása Magyarországon

Agocs-ösztöndíj

Megemlékezés Klaus Lechnerről

In Memoriam:

Dr. Polcz Ivánné Mezey Mária









# MAGYAR GEOFIZIKA

## HUNGARIAN GEOPHYSICS

58. évfolyam (2017) 3. szám



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

### TARTALOM • CONTENTS

#### SZERKESZTŐSÉGI ROVAT • EDITORIAL

- 147 Megváltozott a Szerkesztőség elérhetősége (Change in address of the Editorial Board) – *Bodoky T.*

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

- 148 Beszámoló az Egyesület előadói üléseiről (2017. június–november) (Lectures by the Association in 2017) – *Kakas K.*

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

- 149 2017. évi EAGE hírek és BGS 2017 (EAGE 2017 and BGS 2017 news) – *Törös E.*

#### TANULMÁNYOK • PAPERS

- 151 A magyar földrengés-katalógusok felülvizsgálata a Mecsek hegység környezetében kipattant szeizmikus események esetében (Revision of the Hungarian earthquake catalogs for seismic events occurred in the vicinity of the Mecsek Hill) – *Kiszely M., Mónus P., Süle B., Kalocsai L., Győri E., Tóth L.*
- 162 A 2013. évi Heves megyei földrengéssorozat helymeghatározása többeseményes algoritmussal (Multiple event relocation of the 22 April 2013,  $M_L = 4.8$  Tenk (Hungary) earthquake aftershocks) – *Czecze B., Süle B., Bondár I.*

#### TUDOMÁNYTÖRTÉNET • SCIENCE HISTORY

- 175 Az MIT Geofizikai Analizáló Csoportjának tevékenysége 1954 után (The MIT Geophysical Analysis Group (GAG): 1954 and beyond) – *S. Treitel*
- 181 Egy méltatlanul elfelejtett Eötvös-rokon, Rosti Pál (Pál Rosti, an unfairly forgotten relative of Roland Eötvös) – *Szabó Z.*
- 191 A „Szeizmológia az iskolában” program elindítása Magyarországon (The „Seismology in school” project starts in Hungary) – *Kiszely M., Mónus P., Gribovszki K.*

#### HÍREK • NEWS

- 197 Agocs-ösztöndíj – 2017 – *Kis K.*
- 198 Megemlékezés Klaus Lehnertől – *Deres J.*

#### IN MEMORIAM

- 200 Dr. Polcz Ivánné Mezey Mária – *Polcz I.*



# MAGYAR GEOFIZIKA

## HUNGARIAN GEOPHYSICS

58. évfolyam (2017) 3. 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](mailto: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: [mageoftechn@gmail.com](mailto:mageoftechn@gmail.com)



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, Nádas 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](mailto:postmaster@mageof.t-online.hu)  
Honlap: [www.mageof.hu](http://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



# CÍMVÁLTOZÁS

## A Szerkesztőség e-mail címe megváltozott

Tisztelt Kollégák!

A közismert intézményi változások következtében a *Magyar Geofizika* Szerkesztőségének elektronikus címe megváltozott. Tisztelettel kérjük, hogy a jövőben minden, *a lappal kapcsolatos levelezést a következő címre küldjenek:*

**<mageofedit@gmail.com>**

*A Szerkesztőbizottság tagjainak címei:*

**Dr. Baráth István** <barathistvan36@t-online.hu>

vagy <elga0991@gmail.com>

**Dr. Bodoky Tamás** <bokra@t-online.hu>

**Dr. Galsa Attila** <gali@pangea.elte.hu>

**Kakas Kristóf** <kakas.kristof@upcmail.hu>

**Dr. Pethő Gábor** <gfpg@uni-miskolc.hu>

**Dr. Szabó Norbert Péter** <norbert.szabo.phd@gmail.com>

*A technikai szerkesztő címe:*

**Hock Gábor** <mageoftechn@gmail.com>

*A Kiadónak, vagyis a Magyar Geofizikusok Egyesületének címe változatlan:*

**<postmaster@mageof.t-online.hu>**

Jó Szerencsét!

*Szerkesztőség*



## Beszámoló az Egyesület előadóüléseiről (2017. június–november)

Majdnem évtizedes hagyománya van annak, hogy az Egyesület az adott hónap harmadik szerdáján közérdeklődésre számot tartó előadó-délutánokat szervez. Az „Új utak a földtudományokban” című előadás-sorozatot a Föld Bolygó Nemzetközi Éve (igazában triennium) befejeztével, 2009-ben indítottuk útjára. A cél olyan rendszeres alkalmak megteremtése volt, amelyeken szakemberek és nem szakemberek tárgyalnak és informálódtak egy-egy téma köré csoportosítva a társadalom égető kérdéseiről a földtudományok szemszögéből. 2014-ben „Földtudományi újdonságok”, majd a 2015–2016. évben „Földtudományi határterületek” címmel futottak az előadások, ekkor már a FöCIK (Földtudományi Civil Szervezetek Közössége) égisze alatt.

A mindvégig *Rezessy Géza* tagtársunk által szervezett eseményekről lapunkban és honlapunkban többször is beszámoltunk. Az alábbiakban a legutóbbi három előadóülés előadásait soroljuk fel (az ezt megelőző, miskolci előadóülésről *Kiss Anett* írt beszámolót a 2017/2. számban). A budapesti előadóületek pénzületi támogatást nyertek az EAGE-től (Pace program), valamint élvezték az MBFSZ (illetve az akkori MBFH és MFGI) természetbeni támogatását is.

2017. június 21.

### Budapest földrengés-veszélyeztetettsége

*Varga Péter* (MTA CSFK GGI): Régi hazai földrengések, különös tekintettel Budapestre

*Győri Erzsébet* (MTA CSFK GGI): Budapest földrengés-veszélyeztetettsége és a helyi geológia módosító hatása

*Tildy Péter* (MFGI): Budapest helyi hatás térképezése az Eurocode 8 földrengés-biztonsági szabvány alapján

*Joó Attila* (BME): Szerkezetek viselkedése földrengésre

2017. október 18.

*Kis Károly* (ELTE): A mesterséges holdak mágneses méréseinek feldolgozása és földtani értelmezése

*Lukács Tamás*, az SEG Eötvös Student Chapter elnöke: Felszíni NMR mérések modellezése és inverziója

*Braun Bence*, PhD hallgató: Egy nem-hagyományos szén-hidrogén-tároló vizsgálata klaszterezési eljárás segítségével (2017-ben ISZA nyertes előadás)

*Abordán Armand*, az EAGE Miskolci Student Chapter elnöke: Az EAGE Miskolci Hallgatói Tagozat bemutatása

2017. november 15.

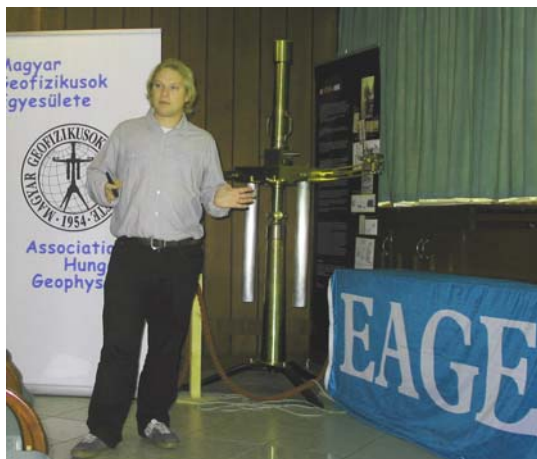
### Válogatás az ISZA-2017 ifjúsági ankét előadásaiból

*Czirok Lili* (Soproni Egyetem, Roth Gyula Doktori Iskola): A jelenlegi feszültségtér vizsgálata fészekmechanizmus-megoldások használatával a Pannon Medencében

*Czecze Barbara* (ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék), *Bondár István*, *Süle Bálint*: A 2013. április 22.-i földrengés ( $M_L = 4,8$ , Tenk) utóregéseinek hipocentrum-meghatározása hullámforma-keresztkorrelációval és double-difference módszerrel

*Kiss Zsóka*, *Szijártó Márk* (ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék): Egykutas hőcserélő szonda numerikus vizsgálata szintetikus és valós geológiai környezetben

*Kakas Kristóf*



Lukács Tamás



Kiss Zsóka, Szijártó Márk, Czece Barbara



## 2017. évi EAGE hírek és BGS 2017

### Best Local Chapter Hungary, 2017

Csupán egy szűkszavú örömhír jelent meg a *Magyar Geofizikában* az EAGE ez évi párizsi konferenciájával kapcsolatban, miszerint a Best Local Chapter 2017 díjat a magyarországi EAGE Chapter kapta, de a teljességhez hozzátartozik, hogy az idén először két díjat is kiosztottak: egy másikat az újonnan belépők között. Összesen 23 EAGE LC tevékenykedik szerte a világban, ebből a franciaországi Pau volt a legjobb az utóbbi években belépő 5-6 LC között. Akinek van kedve szörfözni az EAGE LC honlapján (<https://lc-eage.org/>), láthatja, hogy többek között Angolában, a Szahalin szigeteken és természetesen Kínában is található az EAGE kinyújtott karjaként működő chapter.

De szóljunk röviden a chapterek működéséről! A tagságot az adott évben EAGE tagsággal bíró egyének alkotják, akikről elmondható, hogy szinte mindegyikük tagja a helyi szakmai egyesületeknek, amely egyesületek általában maguk is az EAGE társult tagjai. Végül is két vége van ennek a botnak is – az egyik a helyi szakmai közösség, a másik maga az EAGE, aki teret ad ezeknek a közösségeknek az éves megjelenésre (lásd az MGE–Hungary kiállítói standot), és bevételeiből anyagilag is támogatja azokat. És hogy miért kaptuk a díjat éppen mi? Mindjárt leszögezem, nem azért, mert mi még nem kaptunk ilyet. A pályázathoz egy, az elmúlt év tevékenységét bemutató előadást kell készíteni és bemutatni azt az éves konferencián. A sok szempont közül – úgy gondolom – a legnagyobb súllyal az egyesületünk tavalyi rendezvényei estek latba, amelyek közül az ISZA és az „Emerging Geosciences” – magyar néven az „Új utak” – ráadásul mostanra már rendszeressé is vált. Nagyon jó visszhangra talált a „Merre tovább Magyar Geofizika” rendezvény, valamint az is, hogy rendszerint

tetszetős, a külföldi látogatók számára is érdekes és informatív, az egyesületünk történetét, munkáját bemutató standdal képviseltetjük magunkat a kiállítói területen. A standról azért el kell mondani, hogy a külföldiek közül egyre kevesebben keresik fel, hiszen hírünk a világban jó, de a régebbi személyes kapcsolatokat ápolók szép lassan elmaradoznak, és ezzel mi magunk is egy kicsit elfelejtődünk. Persze nem kell keseregnünk! Az aktív geofizikusok egy része ma már külföldön szerez megbecsülést magának és ezzel a magyar geofizikának is. Hogy csak néhányat említsek az egykori ELGI-ből indult, általam ismertek közül, *Németh Géza*, *Vígh Dénes* és *Németh Tamás* jól ismert és meghatározó személyiségei a „globális” geofizikának is. Ha itthon nem is, de az EAGE-n biztosan összefuthatunk velük. És természetesen a hazai látogatóknak is nagyon örülünk a standon, akiknek most Párizs sem volt messze ahhoz, hogy eljöjjenek, úgyszintén sokan látogattak meg kisebb cégek képviselőiként, továbbá fiatal szakmabeliek is.

Azután sor került szeptemberben egy Near Surface Geosciences konferenciára Malmöben, Svédországban, ahonnan személyes élményekről nem tudok beszámolni, mert ezen nem vettem részt. Általában elmondható, hogy az északi, városnézés szempontjából kevésbé vonzó helyszíneken kisebb létszámban vesznek részt ugyan, de a tudományos munka szempontjából éppen hogy érdekesebbek, mint amelyeket déli országokban rendeznek. Úgy gondolom, hogy a malmöi, a szinte szomszédos lundi és az ettől szinte csak kompjárásnyira lévő koppenhágai egyetemek nyújtották azt a háttérrel, amely a jó tudományos munkához kell, nem beszélve arról, hogy Svédországban a geotechnikai vonal is nagyon erős. Jövőre Portóban, Portugáliában rendezik meg a Near Surface találkozót.



Best Local Chapter Hungary, 2017



Best Local Chapter Pau, 2017





Németh Géza hölgyek társaságában Párizsban,  
a Gala Dinneren



Ifjú hazai látogatók a standon

### **BGS 2017, a 9. Balkán Geofizikai Konferencia, Antalya, Törökország**

Talán önálló beszámolót érdemelne meg a BGS 2017, de ezt is csak a résztvevők elmondásai alapján tudom bemu-

tatni. A BGS-előadások regisztrációi az EAGE rendszerén keresztül történnek, amelynek a működésével a mostani szervezők nagyon nem voltak megelégedve. Ennek vannak előnyei is, pl. hogy minden absztraktot megtalálhatunk az EarthDoc-on is. A rendezésről röviden elmondható, a törökök kitettek magukért. A nagy létszámú hazai közönség részvételével lezajlott konferencián all inclusive szolgáltatásként az elfogadható áron kínált regisztrációs díjban a szállás és étkezés is benne foglaltatott, ráadásul még élvezhető volt a tengerben fürödni is november elején. Sokakban felmerül a kérdés, ugyan miért van szükség az EAGE mellett erre a BGS konferenciára is? Nos, a válasz a mostani szervezők számára legalábbis eléggé kézenfekvő. A nagy nemzetközi konferenciák drágábbak, és nehezebben juthat el azokra egy helybéli, balkáni országbeli kutató, míg a szakmai kapcsolatok ápolására ezek a rendezvények is kiválóan alkalmasak, és nem feltétlenül kell mindenütt a nemzetközileg elfogadott hivatalos angol nyelvet használni. (Szerencsére az ifjúság körében egyre kevésbé merül fel ez a szempont.) A mi részvételünket illetően természetesen lehetnek mások a motivációk, de úgy gondolom, akkor járunk jó úton, ha nem adjuk fel legalább a meglévő nemzetközi kapcsolatainkat, ha már az újak kiépítésének éppen nincsenek meg a kedvező hátterei manapság. Aztán, a BGS esetén a konferenciák szervezésén túl meg kell említeni, a BGS-nek van egy időszakosan megjelenő folyóirata, amely geofizikai és geológiai témájú, angolul megírt cikkeket fogad el. Impact faktort ennél még nem tartanak számon, mégis kiváló lehetőséget nyújthat pl. ifjú geofizikusoknak, geológusoknak, hogy a kezdeti lépéseket megtegyék a publikálás terén.

\* \* \*

Végezetül, látszólag nincs nagy hírértéke annak, hogy megújult az EAGE honlapja, de azoknak, akik többre vágynak egy ilyen év végi beszámolónál, javasolom, nézzek bele a szóban forgó weboldal „Education” rovatába, ahol biztosan találunk maguknak érdekes és hasznos nézivalót. És ha már itt tartunk, itt az ideje az EAGE tagsági díj megújításának is, hogy minél többen tartozzunk a Local Chapter Hungary tagjai sorába.

*Törös Endre*



# A magyar földrengés-katalógusok felülvizsgálata a Mecsek hegység környezetében kipattant szeizmikus események esetében

KISZELY M.<sup>a</sup>, MÓNUS P.<sup>b</sup>, KALOCSAI L.<sup>c</sup>, SÜLE B.<sup>d</sup>, GYŐRI E.<sup>e</sup>, TÓTH L.<sup>f</sup>

MTA CSFK GGI Kövesligethy Radó Szeizmológiai Observatórium  
1112 Budapest, Meredek u. 18.

<sup>a</sup>E-mail: kiszely.marta@csfk.mta.hu, <sup>b</sup>E-mail: monus.peter@csfk.mta.hu, <sup>c</sup>E-mail: lillakalocsai@gmail.com,

<sup>d</sup>E-mail: sule.balint@csfk.mta.hu, <sup>e</sup>E-mail: gyori.erzsebet@csfk.mta.hu, <sup>f</sup>E-mail: laszlo.toth@csfk.mta.hu

A szeizmológiai hálózat fejlődésének köszönhetően az utóbbi években egyre több szeizmikus eseményt regisztráltunk Magyarországon. Azonban ezeknek az eseményeknek nagy része az utóbbi években bányarobbanás volt. A katalógus felülvizsgálata, vagyis az, hogy elkülönítsük a természetes eredetű földrengéseket a robbantásoktól, fontos feladat lett. E célból megvizsgáltuk a Mecsek hegység környezetében bekövetkezett szeizmikus eseményeket. Kutatásunk célja az volt, hogy megtaláljuk a legmegfelelőbb módszert a földrengések és a bányarobbanások elkülönítésére, és felülvizsgáljuk a katalógus eseményeit. Felhasználtuk a bányakapitányok jelentéseit, valamint a szeizmogramok spektrális és hullámforma-jellemzőit. Ezeket együtt figyelembe véve nagy hatékonysággal megtisztítható a katalógus a rosszul minősített eseményektől. Egy speciális térkép segítségével szemléltetjük az eredményeinket. Az elemzéseink szerint a 2004–2016 közötti katalógusokban a földrengések 16%-a bizonyult robbantásnak.

## Kiszely, M., Mónus, P., Kalocsai, L., Süle, B., Győri, E., Tóth, L.: Revision of the Hungarian earthquake catalogs for seismic events occurred in the vicinity of the Mecsek Hill

Due to the development of seismological network, increasing number of seismic events has been detected in the last years in Hungary. However, most of those shocks were quarry blasts. Therefore, the revision of the catalogue to discriminate natural seismicity from explosions became an important task. For this purpose, we studied the seismic events occurring in the surroundings of Mecsek Hills. The goal of our research was to find the best method to separate earthquakes and quarry blasts, and revising the classifications of events in the catalogues. We used the reports of mining captains and the spectral and waveform properties of seismograms. We can state that taking these into account the catalogue can be cleaned from the misclassified events with great efficiency. We demonstrate our results on a special map. According to our analysis, approximately 16% of events classified as earthquakes proved to be blasts between 2004 and 2016.

*Beérkezett:* 2017. szeptember 8.; *elfogadva:* 2017. december 13.

## Bevezetés

A földrengések és robbantások elkülönítési módszereit elsősorban a nukleáris robbantások gyakorivá válása miatt, az atomcsendegyezmények betartásának ellenőrzésére fejlesztették ki. Mivel az atomrobbantások során a gerjesztett szeizmikus jeleket különböző módszerekkel csillapítják, ezért a megfigyelő hálózatoknak is egyre érzékenyebb

kellett válniuk, és a jelenlegi műszerek észlelési hatékonyságának már a háttérzaj – a tenger hullámozása, szél által keltett talajmozgás, ipari tevékenység és a városi közlekedés zaja – szintje szab határt. A korszerű nemzeti állomáshálózatok kiépülésével a bányarobbanások és földrengések szétválasztása is időszerűvé vált, ugyanis a tévesen kategorizált szeizmikus események meghamisítják a terület térbeli és időbeli szeizmicitásáról alkotott képün-



ket, téves szeizmotektonikai értelmezésekre juttatnak, valamint módosítják a terület földrengés-vesélyeztetettségi paramétereit.

A szakirodalomban számtalan dolgozat található a kis-méretű bányarobbantások és földrengések elkülönítéséről. Ezek egy része a nappali és éjszakai események területi és időbeli eloszlását és a különböző fázisok amplitúdó arányát elemzi (Gitterman et al. 1998, Kekovaly et al. 2012, Yilmaz et al. 2013).

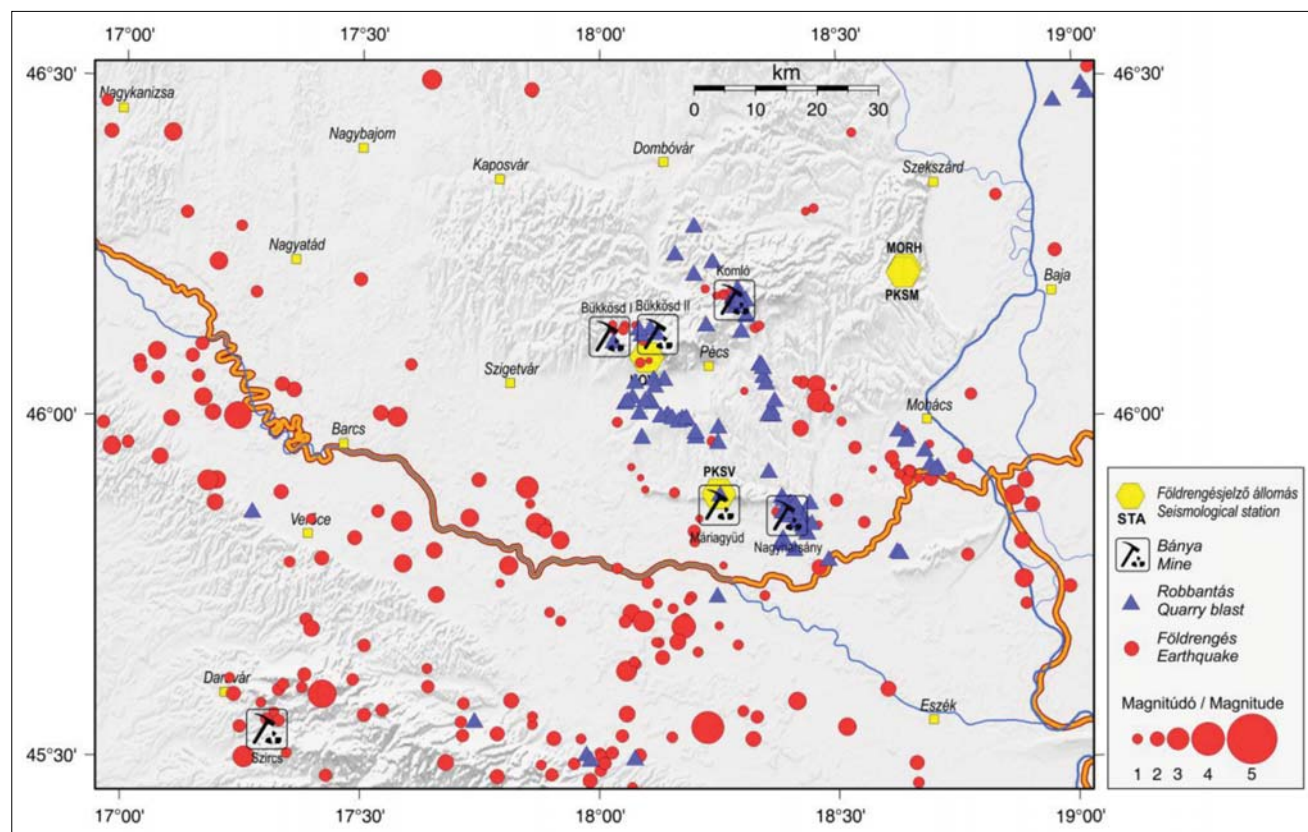
Wiemer és Baer bemutatott (Wiemer, Baer 2000) egy egyszerű módszert, amellyel a katalógusok robbantásokkal való szennyezettsége kimutatható. A nappali (a robbantásos órák) és az éjszakai események számának arányát kiszámítva és térképen ábrázolva kijelölhetők a gyanús területek. A bányarobbantásokat mindig azonos helyen és hasonló időpontban végzik (az epicentrumok a bányák közelébe esnek), a földrengések pedig különböző forrásokból erednek, és a nap bármely időpontjában kipattanhatnak. Európa területére Gulia (Gulia 2010) tesztelte e módszerrel a katalógusok időbeli homogenitását. Vizsgálata több, robbantásokkal szennyezett területre hívta fel a figyelmet. Az időpont alapján történő elkülönítés azonban csak másodrendű lehet egyes események elemzése során – hiszen földrengés bármikor kipattanhat –, de hasznos lehet egy-egy régió elemzésekor.

Más módszerek a szeizmogramok spektrumainak alacsonyfrekvenciás teljesítményét hasonlítja össze a nagy-

frekvenciás energiataralommal (Wüster 1993). Koch és Fäch Bohémia (Csehország) területén  $1 < M_L < 2,5$  közötti események gránitos kéregben terjedő longitudinális és transzverzális azaz Pg- és Lg-(Sg)-fázisait vizsgálta (Koch, Fäch 2002). Elemzésük szerint a földrengések impulzívabb Lg(Sg)-hullámokat okoztak, mint a bányarobbantások. Azt tapasztalták, hogy magasabb frekvenciákon (7–9 Hz) a robbantások jobban elváltak a földrengésektől, mint a széles sávú hullámformákban. Azonban az elkülönítés sikere állomásról állomásra változott.

A bányarobbantásokat legtöbbször a késleltetett robbantási technika (*ripple fired*) alkalmazásával hajtják végre, mert így a kőzetek töredezettségét növelik, ugyanakkor a környezet megrázottságát csökkenthetik. Mivel a késleltetett egyedi robbantások szuperpozíciója adja ki a teljes robbantás jelét, ezért azonos késleltetési idők esetén az egyes robbantások keltette hullámok közötti konstruktív interferencia révén a teljes robbantási spektrumban bizonyos frekvenciákon megnő, másokon pedig lecsökken az energia. Ezek a frekvenciák egymástól egyenlő távolságra vannak, és a robbantás spektruma „csipkézett” lesz. A spektrummoduláció matematikai hátterét Gitterman és Van Eck tanulmánya ismerteti (Gitterman, Van Eck 1993).

Wüster Németország és Csehország határán (Vogtland) kipattant  $1 < M_L < 3$  mikrorengések és kémiai robbantások elkülönítésére alkalmazta a P és S hullámok spektrumainak az elemzését (Wüster 1993). Azt találta, hogy a földren-



I. ábra

A vizsgált terület szeizmicitása a bányák és az azonosított robbantások számított helyeivel (2004–2016)

Figure 1

Seismicity of the investigated region with the locations of mines and the computed locations of identified blasts (2004–2016)



gések esetében az S hullám spektrumának maximuma magasabb frekvenciákra terjedt ki, és az 1–10 Hz közötti tartományban a teljesítménye lassabban csökkent, mint a robbantásoké. Kim és munkatársai kutatása szerint a robbantások domináns frekvenciái magasabbak (10 Hz felettiek), mint a földrengéseké. A P és S hullámok frekvencia-tartalmát azonban módosítják a geológiai sajátosságok is, így területenként változhatnak a domináns frekvenciák. A robbantásokra jellemző, hogy nagyfrekvenciás összetevőik a távolsággal gyorsan elnyelődnek (Kim et al. 1994).

Az általunk vizsgált terület az északi szélesség 45°30' – 46°30' és keleti hosszúság 17°00' – 19°00' között található, amely a Mecsek és Villányi-hegység környezetét és bányáit foglalja magában (1. ábra). A terület kiválasztását, szeizmotektonikájának pontosabb megismerését az indokolta, hogy az utóbbi években több bánya robbantásait is sikerült észlelni ezen a területen, és ezek elkülönítése a természetes eseményektől időszerűvé vált.

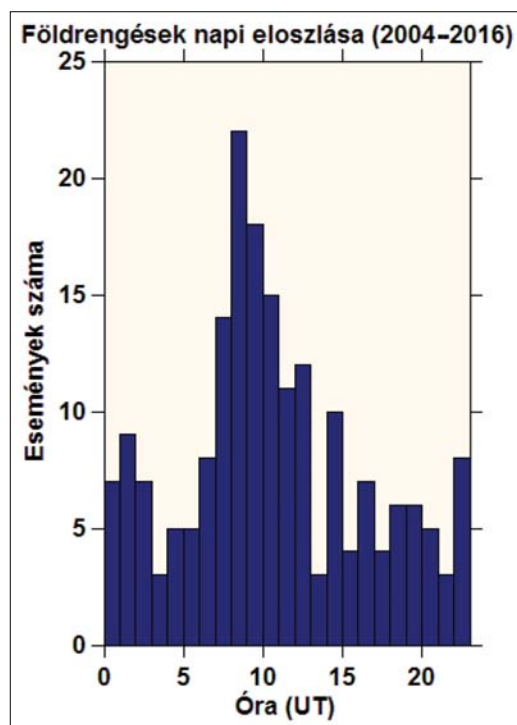
Elemzésünk szerint a bányarobbantások megfigyelt hullámformái éveken át nagyon hasonlóak maradtak. Sikerült a terület bányáira egy-egy szeizmogram-mintagyűjteményt összeállítani, amelynek alapján több, korábban földrengésnek tartott vagy vélt eseményt utólag kiszűrtünk.

A terület bányáiban alkalmazott késleltetett robbantási technika során kialakult spektrális jelek segítségével pedig további földrengésnek tekintett robbantásokat sikerült a katalógusokból kiszűrni. Vizsgálataink során a 2004 és 2016 közötti katalógusban a földrengésnek tekintett események kb. 16%-a bizonyult robbantásnak.

## Földrengés-katalógusok szennyezettsége robbantásokkal

A területen az első ismert földrengés 1528-ban Pécs városa közelében történt, azóta összesen 747 eseményt jegyeztek fel. Ebből 488-at az utóbbi 22 évben (1995 és 2016 között). A legnagyobb földrengés  $M_L = 5,5$  magnitúdójú volt, amely 1757. július 8-án pattant ki Verőce (Horvátország) térségében. A műszerek érzékenysége javulásával és a mérőállomás-hálózat bővülésével a kisebb földrengések (és feltehetően már robbantások) regisztrálásával 1995-től a legtöbb regisztrált esemény magnitúdója már 1 és 1,5 közötti.

Az 1. ábrán látható a terület földrengéseinek és robbantásainak epicentrumtérképe (az események újraosztályozása előtti állapot). Az elsődleges besorolás leginkább az esemény időpontja és a hullámformák alacsonyfrekvenciájú Rg-fázisának megjelenése alapján történt. Az ábrán feltüntettük azokat a bányákat is, amelyek robbantásai megjelennek az állomások szeizmogramjain. Az epicentrumok helyének és a mélységeknél a hibája akár több km-es is lehet. Mivel a hibák olykor összevethetők a vizsgált terület bányáinak egymástól vett távolságával, ezért az epicentrumkoordináták és mélységadatok alapján a területen nem lehet egyértelműen elkülöníteni a különböző forrású (bánya) eseményeket, térképre eső helyük inkább



2. ábra A földrengésként azonosított események napi eloszlása re-vízió előtt

Figure 2 Diurnal distribution of events identified as 'earthquake' before revision

csak tájékoztató jellegű (1. ábra: háromszöggel jelölt események). A robbantásnak jelölt események a terület bányái körül 5–10 km-es távolságra is szétszóródtak, illetve a bányák közelében földrengések epicentrumai is láthatók.

Az osztályozás jóságát a természetes eredetűnek ítélt földrengések napi eloszlása alapján teszteltük (2. ábra). A robbantásokat a nappali – munkaidő alatti – órákban végzik, míg földrengések a nap bármely szakaszában történhetnek. A 2. ábra alapján azonban a földrengéseknek jelölt események eloszlása maximumot mutat 7–12 (UTC) óra között, éppen a bányaművelés időszakában. Ennek alapján tehát valószínűsíthető, hogy a szeizmikus események osztályozása hibával terhelt, mivel a természetes eredetű földrengések időbeli eloszlása nem függ a napszaktól. Elkerülhetetlen tehát a szeizmikus események osztályozásának korrekciója.

## A terület szeizmikus mérőállomásai és az érintett bányák

A Mecsek környezetében a 2004 és 2016 közötti robbantások és földrengések szeizmikus jeleinek elemzését a területen található kővágótöttösi (KOVH), mórággyi (PKSM) és villányi (PKSV) szeizmikus állomások mérései alapján végeztük el. A mórággyi állomástól 300 m-re 2012 óta működik egy másik szeizmológiai állomás, a MORH is, amit a MTA CSFK Geodéziai és Geofizikai Intézet üze-



**1. táblázat** | A vizsgálatokban felhasznált szeizmikus állomások paraméterei  
**Table 1** | Parameters of seismic stations used in this study

Állomás kódja	Helység (Szerv.)	Szél. (° É)	Hossz. (° K)	Mag. (m)	Alapkőzet	Típus	Érzékelő
KOVH	Kővágótöttös GGI	46,088	18,099	270	Mészke	3C BB	STS-2
PKSM	Mórággy GR	46,212	18,643	135	Gránit	3C SP	CMG-40T
PKSV	Villány GR	45,888	18,252	420	Mészke	3C SP	CMG-40T

meltet, de ennek a regisztrátumait most nem használtuk fel. Az állomásokon háromkomponensű (3C), de egymástól különböző műsértípusok és érzékelők működnek: Kővágótöttösön jelenleg Streckeisen (STS-2) széles sávú (BB) szeizmométer, Mórággyon és Villányban pedig rövid periódusú (SP) Güralp (CMG-40T) szeizmométerek működnek (1. táblázat).

A kővágótöttösi szeizmométer működésének kezdete 2015 márciusa. A PKSV állomás 2012.11.09 óta működik, pár hónapig (2013.04.23.) még Lennartz műsér detektált, majd azóta CMG-40T Güralp. A PKSM állomás működése 1997-ben indult, 2010-ig STS-2, 2011–2012 között Le-3D műsérrel, és 2013.04.10-től működik itt Güralp műsér.

A vizsgált területen több működő kőbánya található. A magyarországi kőbányákban nagyfúrólyukas, ún. oszlopos sorozatrobantást (*ripple fired*) alkalmaznak. Az általában négyzethálósan elhelyezett tölteteket soronként robantják, a sorok töltetei között meghatározott, 25–50 ms-os késleltetési időket alkalmazva. Területrobantást csak véletlenszerűen, egy-egy kisebb bányarész kialakításánál végeznek. A robantólyukak átmérője 89 és 112 mm közötti, dőlésük 60° és 80°, hosszuk pedig 10 és 25 m között változik. Leggyakrabban alkalmazott robbanóanyagok az ANDO-prill (főtöltet) és az emulziós robbanóanyag (lábtöltet), az indítást DeM-S típusú villamos gyutacsokkal vagy a NONEL-rendszer elemeivel végzik (Bohus 2013). A Pécsi Bányakapitányságtól a 2015-ös és 2016-os évre megkaptuk a terület 12 bányájának robbantási időpontjait, amelyek alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy 5 bánya robbantásai érintik a katalógus eseményeit, a többi bánya robbantásait nem érzékelik az állomások. A Bükkösd I. és Bükkösd II. mészkőbánya közötti távolság csak fél km, de más-más cég az üzemeltetőjük. A 2. táblázatban ennek az 5 bányának az adatai láthatók.

## A hullámformák hasonlósága

Az általunk vizsgált területen a Magyar földrengés-katalógusok alapján 2004 és 2016 között összesen 310 szeizmikus eseményt ismerünk, ebből 194 eseményt jelöltek földrengésnek (63%). A vizsgált szeizmikus események epicentrum adatai az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet és a GeoRisk Kft. által kiadott bulletinekből származtak (Tóth et al. 2005–2017, Grácz et al. 2012–2016).

A Mecsekben előfordult események felülvizsgálatát első lépésben a hullámformák hasonlóságának elemzésével végeztük. A *Magyar Geofizika* hasábjain (Kiszely, Győri 2013, Kiszely et al. 2016) már foglalkoztunk a hullámforma-elemzés módszerével, és bemutattuk annak eredményeit az Északi-középhegység és Szlovákia déli részén levő bányák robbantásainak és a terület földrengéseinek elkülönítése esetében, ezért a módszer leírását itt nem ismételjük meg.

A hullámforma-korrelációs elemzést az állomások horizontális csatornáinak 40 s hosszú, 1–20 Hz közötti Butterworth-sávszűrővel szűrt szeizmogramjain végeztük el. Mivel az idők során többféle műsér működött egy-egy helyen – eltérő átviteli karakterisztikával –, ezzel a szeizmogramoknak azt a frekvencia tartományát elemeztük, ahol az alkalmazott eszközök mindegyikében lineáris volt az átvitel.

Az S hullám nagyobb amplitúdóval jelentkezik a horizontális csatornákon, ezért jobban használhatók a szeizmogramok az analízise során. A hasonlóságot két  $x$  és  $y$  hullámforma között a  $c_{xy}$  korrelációs együtthatóval jellemezhetjük. Hasonlónak tekintettünk két eseményt, ha a korrelációs együttható értéke nagyobb, mint adódott egy határértéknél, amelyet esetünkben 0,5–0,55-nek vettünk, ami egy nem túl szigorú feltétel. A korrelációs együttható mint „távolság” alapján a hullámformák rokonsági ágakba,

**2. táblázat** | A térség bányáinak adatai  
**Table 2** | The parameters of quarry in this region

Bánya neve	Szél. (° É)	Hossz. (° K)	Távolság az állomásoktól (km)		
			KOVH	PKSM	PKSV
Bükkösd I. – mészkő	46,120	18,023	6,80	49,3	31
Bükkösd II. – mészkő	46,125	18,016	6,80	48,6	32
Komló II. – andezit	46,175	18,296	7,90	27,0	32
Nagyharsány I. – mészkő	45,853	18,397	17,94	44,9	11,9
Máriagyűd I. – mészkő	45,860	18,250	25,43	48,6	0,88

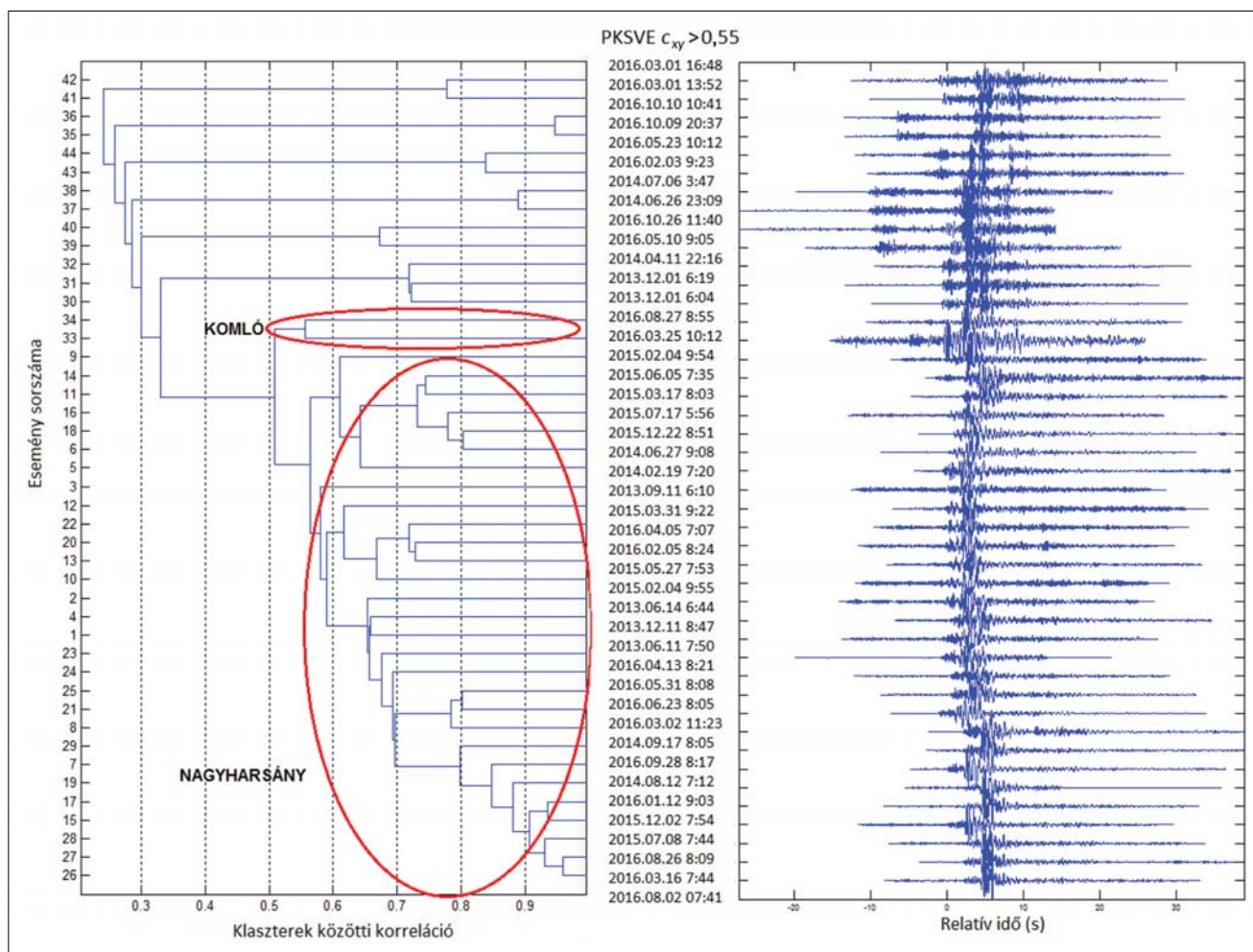


csoportokba rendezhetők, ezt az egymásra épülő megjelenítést dendrogramnak nevezik. A csoportokba rendezett események száma és a csoportok összetétele változik a kritikus korrelációs együtttható értékének változtatásával.

A 2015 és 2016 közötti időszak szeizmikus eseményeinek elemzése MSc-diplomamunka keretében történt (Kalogy 2017), és e dolgozat eredményeit terjesztettük ki a 2004–2015 közötti időszakra. A diplomamunka készítése kapcsán a Pécsi Bányakapitányságtól megkaptuk a terület bányáinak 2015 és 2016 közötti robbantási időpontjait (csak a dátumokat, pontos időpont nélkül). Ezek alapján sikerült a korábban robbantásnak jelölt szeizmikus eseményeket a megfelelő bányához kapcsolni, és 16 korábban tévesen földrengésnek vett robbantást kivenni a természetes események közül. A dolgozat során született másik fontos eredmény, hogy elő tudtuk állítani az egyes bányák robbantásaira jellemző hullámforma-adatbázist, amelynek a felhasználásával a megelőző időszakokban (2004–2015 között) keletkezett események azonosítása is lehetővé vált, és amelyet a jövőben is fel tudunk használni az elkülönítésre.

A 3. ábrán a PKSVC állomás hullámformáira kapott dendrogram látható a szeizmogramokkal, ami a hullámformák hasonlósági – „rokoni” – kapcsolatának egyfajta vizuális megjelenítése. A legnagyobb klasztert a nagyharsányi bányarobbanások alkotják, amely 2013 és 2016 között összesen 30 robbantást tartalmaz (az állomás 2012-ben kezdte meg működését). Bár ehhez az állomáshoz a máriagyüdi kőbánya működik a legközelebb ( $\approx 0,9$  km), de ennek robbantásait más állomások legtöbbször nem érzékelték, így csak 1 robbantásnak sikerült meghatározni az epicentrumát. Ezért a hullámforma korrelációba nem kerültek bele ezek a szeizmikus események.

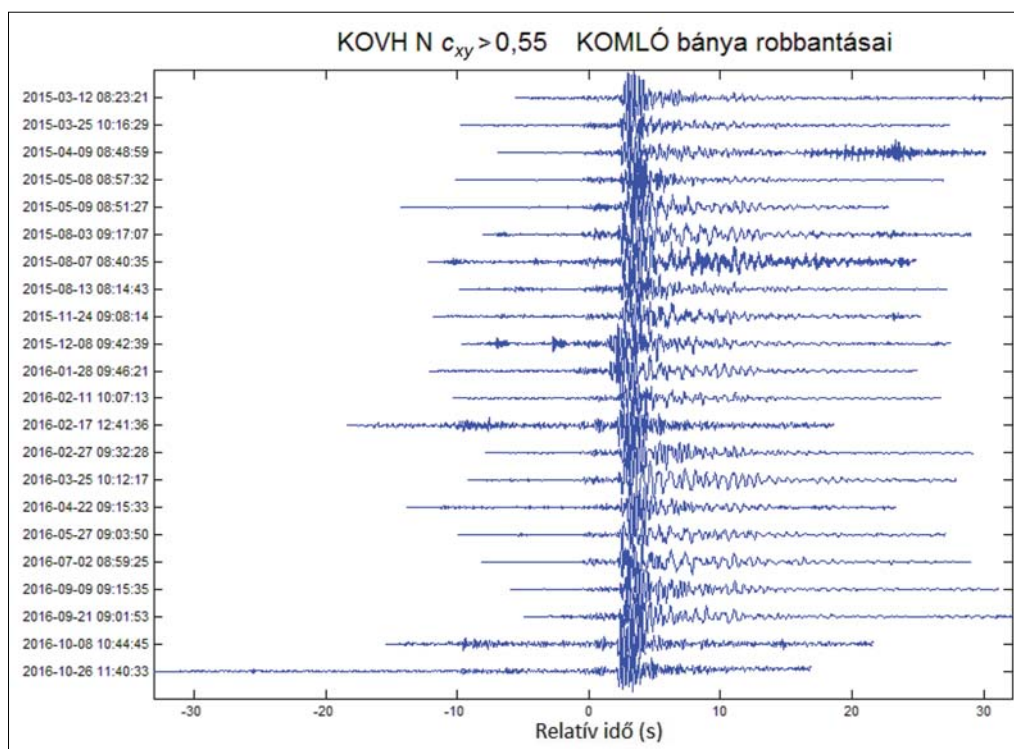
A 4. és 5. ábrán a komlói andezit kőbánya robbantásainak a KOVH és PKSM állomás felvételeiből készült klaszterei láthatók. Ez a bánya 7,9 km-re található a KOVH és 37 km-re a PKSM állomásoktól. Ezért a hullámformák a két állomáson eltérőek. Jellemző azonban a robbantások időpontja (7 és 10 óra között), valamint az alacsonyabb frekvenciartartalom, azaz a talaj hosszú periódusú hullámzása az esemény végén (*coda*). Ez a sekély fészktű szeizmikus eseményekre jellemző Rg-fázis, amely a mélyebb fészktű földrengések szeizmogramjaiból hiányzik.



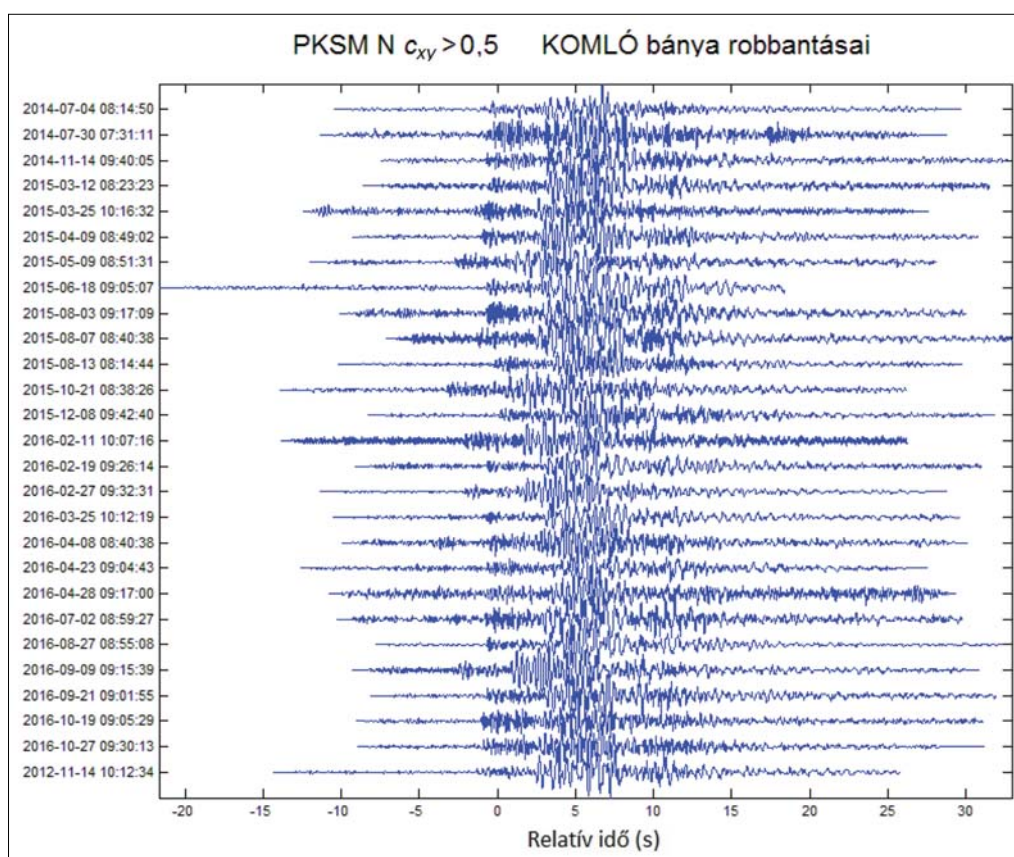
3. ábra | A PKSVC állomás szeizmogramjainak hullámforma-korrelációelemzése (dendrogram és szeizmogramok)

Figure 3 | The results of waveform correlation analysis (dendrogram and seismograms) in case of PKSVC station



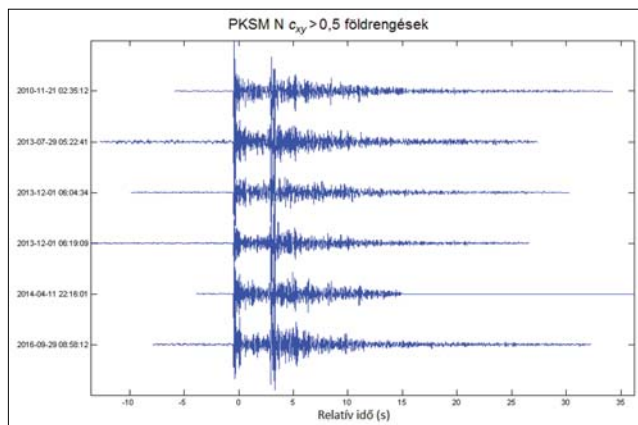


4. ábra | A KOVH állomás É–D horizontális csatornáin a  $c_{xy} > 0,55$  feltétellel a hasonló komlói bányarobbantások hullámformái  
 Figure 4 | The similar waveforms ( $c_{xy} > 0.55$ ) originated from Komló quarry on KOVH N–S horizontal channels



5. ábra | A komlói bányarobbantások hasonló ( $c_{xy} > 0,5$ ) hullámformái a PKSM állomás É–D horizontális csatornákon  
 Figure 5 | The similar waveforms ( $c_{xy} > 0.5$ ) originated from Komló quarry on PKSM N–S horizontal channels





**6. ábra** Földrengések hasonló ( $c_{xy} > 0,5$ ) hullámformái a PKSM állomás É–D horizontális csatornáin  
**Figure 6** Similar waveforms ( $c_{xy} > 0,5$ ) originated from earthquakes on PKSM N–S horizontal channels

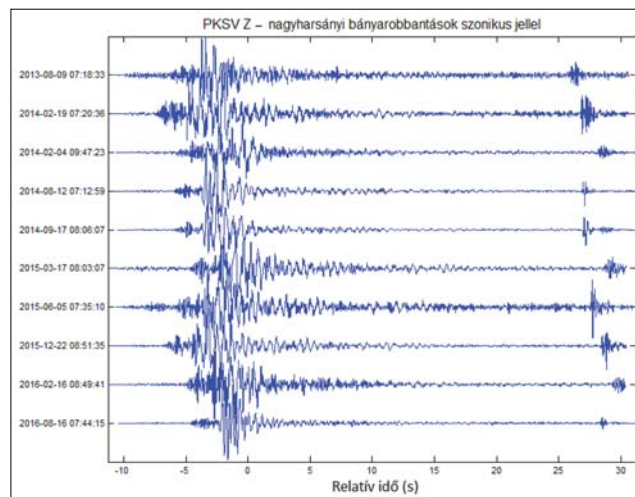
A három állomás hullámformáinak vizsgálata kiegészítette egymást, mivel voltak olyan robbantások, amelyek csak az egyik állomás klaszterébe kerültek bele. Több állomás elemzése több időt vesz igénybe, de az eredmény is teljesebb.

A robbantások rendszeres észlelése csak 2012-től kezdődött el, mivel ekkor indult el a PKSV állomás működése, javult a terület lefedettsége és már a kisebb méretű bányarobbantások is katalógusba kerülhettek.

A KOVH esetében (4. ábra) látható, hogy a 2015. és 2016. közötti évekből is a klaszterbe kerültek robbantások. Ezért akár évekre visszamenőleg is ki tudjuk szűrni a hullámformák hasonlósága segítségével a tévesen azonosított földrengéseket a bányarobbantások időpontjának visszaigazolása nélkül. Jellemző még a robbantásokra, hogy méretük  $M_L = 0,2-2,1$ , a földrengéseké pedig  $M_L = -0,1-3,9$  között változott.

Általános tapasztalat, hogy a természetes eredetű rengéseket követő utórengések is rajokat, „klaszttereket” alkotnak, és az abban levő rengések hullámformái egymáshoz nagyon hasonlóak (Massa et al. 2006, Aster, Scott 1993). A Mecsek környéki földrengések esetében is kaptunk két nagyobb (6 és 7 elemű) és több kisebb klasztert (6. ábra), valamint 2 elemű dubletteket.

A robbantásokat egy jellegzetes, szonikus eredetű hullámcsomag (hanghullám által keltett talajmozgás) is kísérheti, amelynek a regisztrálását más bányák robbantásainál is leírták (Gitterman et al. 2008, Rogers, Koper 2011). Előfordult, hogy az amplitúdójuk elérte a P hullámét, vagy akár többszörösen meg is haladta azt. Ezt a hangsebességgel terjedő szonikus hullámcsomagot figyeltük meg több nagyharsányi bányarobbantás esetében is a PKSV állomás vertikális csatornájának szeizmogramjain (7. ábra). Az állomás kb. 12 km-re helyezkedik el a bányától, ennek megfelelően 32–34 másodperces késéssel látható a szonikus jel. Az 1–2 s-os eltérés időjárási elemekkel és a bánya kiterjedésével magyarázható. 2017-ben indult el Piskéstetőn az első magyar infrahangállomás az MTA GGI gondozásában, aminek egyik várható eredmé-



**7. ábra** A PKSV állomás vertikális csatornáján néhány nagyharsányi bányarobbantás szeizmogramja a szonikus (hangsebességgel terjedő) hullámcsomaggal  
**Figure 7** Some seismograms originated from Nagyharsány quarry and registered on PKSV station vertical channel with the sonic wavepacket

nye lesz, hogy a bányarobbantásokat követő szonikus jelet nagy érzékenységgel regisztrálja, és segít elkülöníteni ezeket a természetes eredetű földrengésektől.

Sajnos nem minden robbantás került bele valamelyik klaszterbe, és a spektrumelemzésre a zajosabb felvételek nem voltak használhatóak. Ezért az elemzést elvégeztük a spektrumjellemzők felhasználásával is.

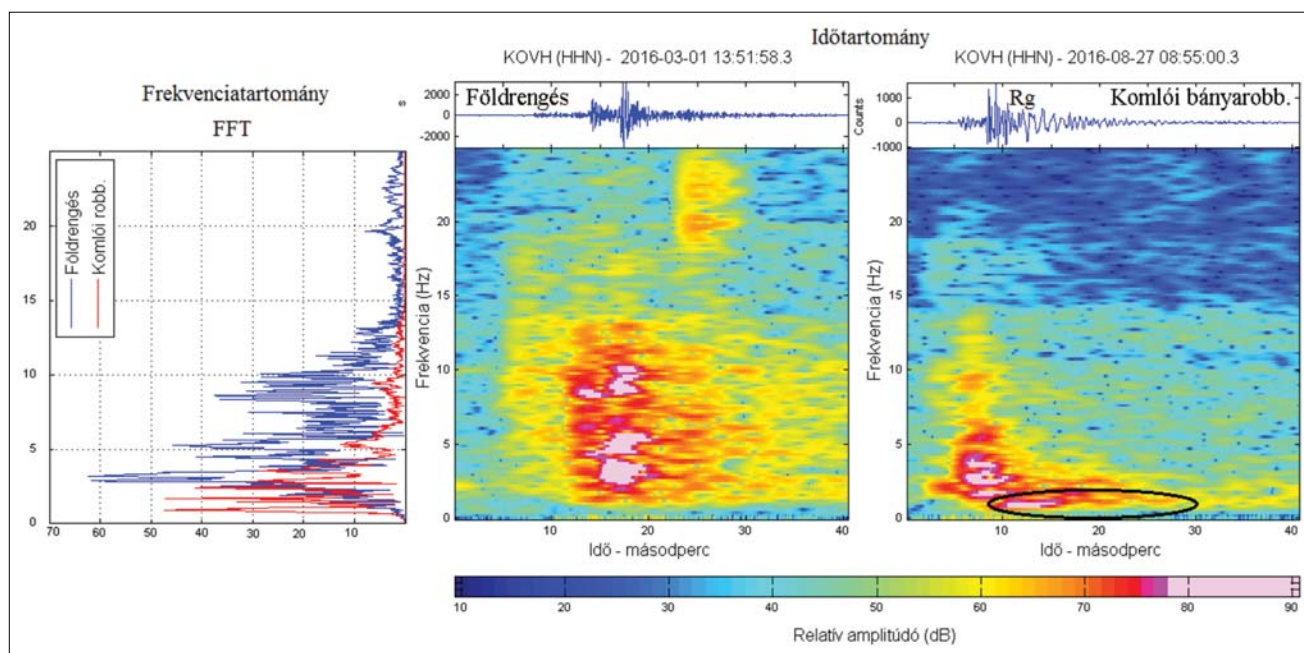
## A spektrumok elemzése

A spektrumok elemzésével a késleltetett robbantási technika ujjlenyomatát kerestük azokon az eseményeken, amelyek nem kerültek be a bányák klaszterébe. A vizsgált területen a bányák környezetében még nagyon sok földrengést tartalmaznak a katalógusok, ezek spektrumait elemezzük a továbbiakban.

A legtöbb robbantás spektrumán megfigyelhető volt a késleltetett robbantási technika miatt fellépő csipkézettesség. A teljesítményspektrum az 1–5 Hz közötti sávban jelentősen megnőtt, és a csipkézettesség is az 1–5 Hz közötti spektrumtartományra volt leginkább jellemző. Az egyes frekvenciák teljesítményének megemelkedése a nagyobb frekvenciák felé haladva újra jelentkezett, de egyre kisebb amplitúdóval (8. ábra). Néhány földrengés esetén is mutatkozott egyes frekvenciák megemelkedett teljesítménye, de a spektrum magasabb frekvenciáig terjedt ki, mint a robbantások esetében. A magasabb frekvenciák felé haladva gyorsabban csökkent a robbantások teljesítményspektruma, mint a földrengéseké. A robbantásokra jellemző alacsonyfrekvencia-tartalmú Rg-fázis is megfigyelhető a 8. ábrán.

Az egymáshoz közeli forrásból származó földrengések spektrumaira is jellemző a nagyfokú hasonlóság, ezért a bányák közelébe meghatározott eseményeknél – ha azok

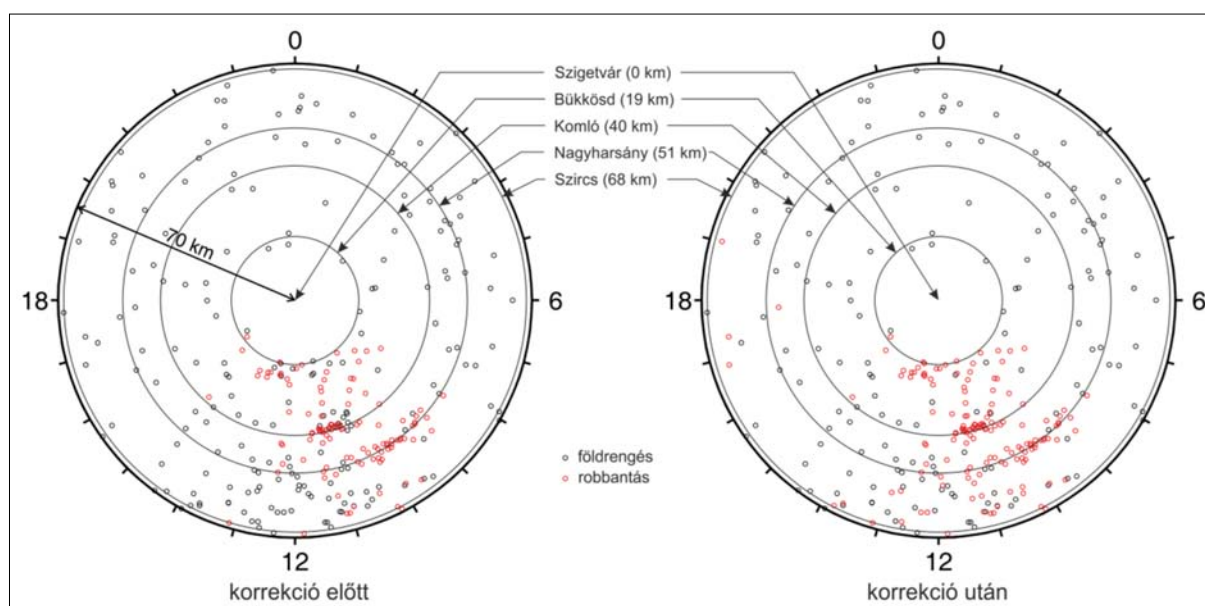




**8. ábra** A KOVH állomás horizontális csatornáján egy földrengés és egy kömlői bányarobbantás szeizmogramjai idő-frekvencia tartományban  
**Figure 8** The horizontal components of the KOVH seismograms in time–frequency domain in case of an earthquake and a quarry blast of quarry Kömlő

**3. táblázat** A különböző elemzésekben részt vett események száma  
**Table 3** The number of events used in the different pluralis

Állomás kódja	Használható szeizmogramok száma	Hasonló hullámformák száma	A spektrumokhoz felhasznált hullámformák
KOVH	108	53 (49%)	80
PKSM	254	109 (45%)	236
PKSV	100	45 (45%)	72



**9. ábra** A terület szeizmikus eseményeinek eloszlása a helyi idő és távolság szerint az osztályozás korrekciójának elvégzése előtt és után  
**Figure 9** Distance–time diagram of the seismic events before and after the correction of classification



hullámformái nem kerültek egyetlen bányához tartozó klaszterbe sem – a spektrumelemzés segít eredetük eldöntésére.

## Eredmények

A hullámforma és spektrumelemzésben részt vett szeizmikus események számát foglaltuk össze a 3. táblázatban. A jelentősen eltérő számokat az indokolja, hogy az egyes állomások különböző időpontban léptek működésbe.

Az osztályozás helyességének ellenőrzése érdekében elkészítettük a terület szeizmikus eseményeinek idő–távolság diagramját a korrekció elvégzése előtt és után (9. ábra). Az idő–távolság diagramon az egyes események helyét a kipattanási idő (helyi idő) és az epicentrumnak egy adott referenciaponttól mért távolsága adja meg. A kör alakú diagramon a középponttól mért távolság felel meg a választott referencia ponttól mért epicentrális távolságnak, a függőleges iránnyal bezárt szög pedig a kipattanási időnek (24 órás beosztás).

A földrengés-katalógusokban az események keletkezési időpontját mindig világidőben (UTC) adják meg. E vizsgálatnál azonban nem célszerű a világidő használata, mivel a bányaművelés során végrehajtott robbantások időpontját a napi munkarend szabja meg, vagyis a vizsgálatnál a helyi időt kell figyelembe venni. Esetünkben a helyi idő télen egy órával, a nyári időszámítás folyamán pedig két órával jár a világidő előtt. Ezt az időkorrekciót a diagram készítése előtt elvégeztük.

A diagram elkészítéséhez referencia pontként Szigetvár koordinátáit választottuk, egyrészt mivel ez közel van a vizsgált terület középpontjához, másrészt pedig a területre

eső bányáktól különböző távolságra esik, így a diagramon az egyes bányák eseményei várhatóan elkülönülnek. A diagram könnyebb értelmezése érdekében a diagramon feltüntettük az egyes bányák távolságait (koncentrikus körök).

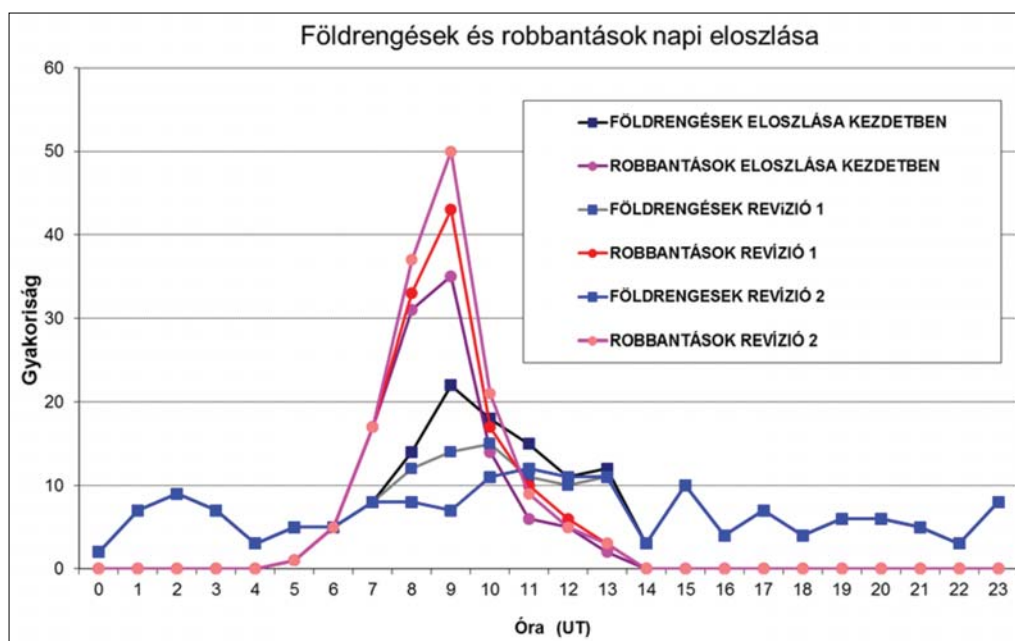
A diagramon a korrekciót megelőző állapotot vizsgálva megállapítható, hogy az események kategorizálásában durva hiba nem fedezhető fel (pl. nincsenek éjszakai robbantások), de a munkaórák időszakában feltűnő a földrengésnek minősített események dúsulása. Vagyis joggal feltételezhető, hogy ezeknek egy része valójában bányarobbanás volt.

A hullámformák és a spektrumok elemzése után ismét elkészítettük a rengések és robbantások napi eloszlását bemutató diagramot (4. táblázat, 10. ábra). A nappali, 7–10 óra közötti maximum a földrengések esetében fokozatosan csökkent.

**4. táblázat** A földrengések és robbantások számának a változása  
**Table 4** The variation of number of earthquakes and quarry blasts

Lépések	Rengés	Robbanás
Kiindulás	194 (63%)	116 (37%)
Első lépés (hullámformák hasonlósága)	175 (56%)	135 (44%)
Második lépés (+ spektrumelemzés)	153 (49%)	157 (51%)

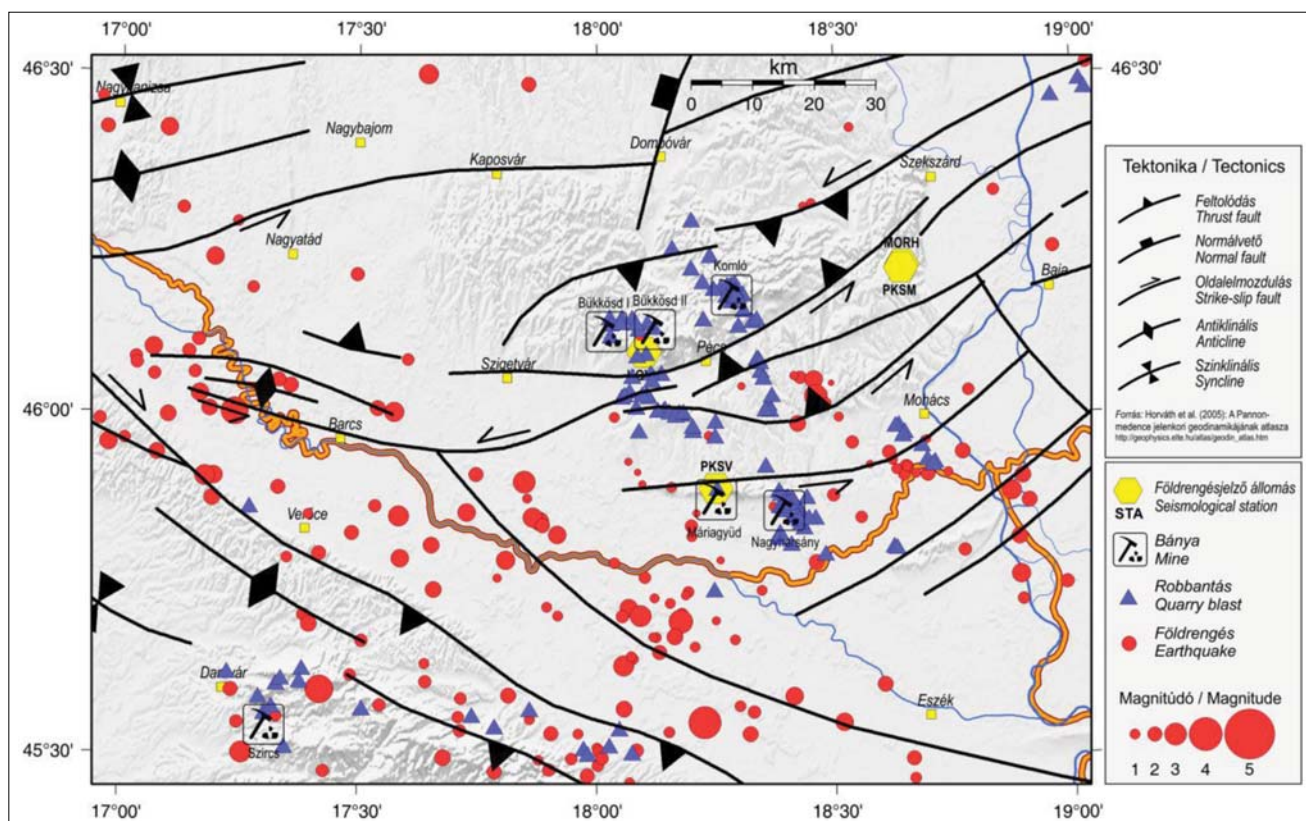
A 11. ábra a katalógus felülvizsgálata utáni szeizmicitás-térképet mutatja a neotektonikus (aktív) szerkezeti elemekkel (Horváth et al. 2005). Több  $M < 2$  rengés látható még a magyarországi bányák környezetében, és legalább



**10. ábra** A földrengések és robbantások napi eloszlásának alakulása a hullámforma hasonlósága (Revízió 1) és spektrumelemzés (Revízió 2) után

**Figure 10** The modification of diurnal distributions of earthquakes and quarry blasts after the waveform similarity (Revision 1) and spectral analyses (Revision 2)





**11. ábra** A terület szeizmikus eseményei a hullámformák és spektrumok elemzését követő javított osztályozás szerint a neotektonikus (aktív) szerkezetekkel (Horváth et al. 2005)

**Figure 11** Seismic events of the region after the waveform correlation and spectral analysis based classification and the neotectonic (active) structures (Horváth et al. 2005)

egy horvátországi bánya robbantásait (vagy azok zömét) sikerült kiszűrni. Hasznos lenne a határon túli bányák robbantásairól is listához jutni. Bár Magyarország szeizmicitását szórtnak szoktuk minősíteni, a határ mentén, ill. attól délre jelölt neotektonikus aktív szerkezeteket a 2004–2016 közötti időszak mikrorengései is kijelölik, ugyanez azonban hiányzik a Mecsektől É-ra húzódó, jelölt szerkezetek esetében.

## Összefoglalás

Megvizsgáltuk a Mecsek hegység környezetében 2004 és 2016 között meghatározott 310 szeizmikus eseményt, amelynek eredetileg a 63%-át minősítették földrengésnek (194 földrengés, 116 robbantás). Azonban a természetes eredetűnek minősített rengések napi eloszlása egy délelőtti maximumot mutatott, ami a hibás osztályozásra utalt.

A Pécsi Bányakapitányság közreműködésével megkaptuk a 2015 és 2016 közötti robbantási időpontokat. Ennek segítségével sikerült a vizsgált területen 5 bányát azonosítani, amelyek robbantásai rendszeresen belekerültek a katalógusokba.

Tapasztalataink szerint a robbantások hullámformái éveken át nagyon hasonlóak maradnak, erre alapozva hullámforma korrelációs vizsgálattal tanulmányoztuk a 2004 utáni eseményeket, és 19 tévesen földrengésnek vett rob-

bantást szűrtünk ki. A PKSM, PKSV és KOVH állomásokon regisztrált különböző bányákból származó robbantások szeizmogramjai segítségével előállítottunk egy-egy tipikus hullámforma-gyűjteményt a bányákhoz, amelyeknek a segítségével a jövőbeli robbantások kiszűrése várhatóan egyre sikeresebb.

A késleltetett robbantási technikának a spektrumokon megjelenő bélyege alapján további 13 eseményt kellett átcsoportosítani. Az elemzés után 52%-ra csökkent a földrengések aránya.

Több állomás adatait használva és a hullámforma- és spektrumelemzéseket együtt alkalmazva egyre több robbantást sikerült kiszűrni. Vizsgálataink szerint a 2004 és 2016 közötti katalógusok összes eseményének 10%-a (32 esemény) volt tévesen földrengésnek jelölt robbantás (162 földrengés, 148 robbantás).

## Köszönetnyilvánítás

Szeretnénk megköszönni a GeoRisk Földrengés Mérnöki Irodának, hogy a PKSM és PKSV állomások hullámformáit a korrelációs vizsgálatokban felhasználhattuk.

## A tanulmány szerzői

Kiszely Márta, Mónus Péter, Kalocsai Lilla, Süle Bálint, Győri Erzsébet, Tóth László



# Hivatkozások

- Aster R. C., Scott J. (1993): Comprehensive characterization of waveform similarity in microearthquakes data set. *BSSA*, 83, 1307–1314
- Bohus G. (2013): Robbantástechnika. A Magyar Robbantástechnikai Egyesület tájékoztatója, 2013, 33. szám
- Gitterman Y., Van Eck T. (1993): High-fs-spectra of regional phases from earthquakes and chemical explosions. *BSSA*, 83/4, 1799–1812
- Gitterman Y., Pinsky V., Shapira A. (1998): Spectral classification methods in monitoring small events by the Israel seismic network. *Journal of Seismology*, 2/3, 237–256
- Gráczer Z., Czifra T., Kiszely M., Mónus P., Zsíros T. (2012): Magyar Nemzeti Szeizmológiai Bulletin 2011, Kövesligethy Radó Szeizmológiai Obszervatórium, MTA CSFK GGI, Budapest, 357.
- Gráczer Z. (szerk.), Czanik Cs., Czifra T., Győri E., Kiszely M., Mónus P., Süle B., Szanyi Gy., Tóth L., Varga P., Wesztergom V., Wéber Z., Zsíros T. (2013): Magyar Nemzeti Szeizmológiai Bulletin 2012, Kövesligethy Radó Szeizmológiai Obszervatórium, MTA CSFK GGI, Budapest, 260.
- Gráczer Z. (szerk.), Czanik Cs., Czifra T., Győri E., Kiszely M., Mónus P., Süle B., Szanyi Gy., Tóth L., Varga P., Wesztergom V., Wéber Z., Zsíros T. (2014): Magyar Nemzeti Szeizmológiai Bulletin 2013, Kövesligethy Radó Szeizmológiai Obszervatórium, MTA CSFK GGI Budapest, 466.
- Gráczer Z. (szerk.), Bondár I., Czanik Cs., Czifra T., Győri E., Kiszely M., Mónus P., Süle B., Szanyi Gy., Tóth L., Varga P., Wesztergom V., Wéber Z., Zsíros T. (2015): Magyar Nemzeti Szeizmológiai Bulletin 2014, Kövesligethy Radó Szeizmológiai Obszervatórium, MTA CSFK GGI Budapest, 563.
- Gulia L. (2010): Detection of quarry and mine blasts contamination in European regional catalogue. *Nat. Hazards*, 53, 229–249. DOI: 10.1007/s11069-009-9426-8
- 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. (2005): A Pannon-medence jelenkori geodinamikájának atlasza: Euro-konform térképsorozat és magyarázó. OTKA T034928 sz. projekt, zárójelentés. ELTE FFI Geofizikai Tsz., Budapest, 38 o. (<http://geophysics.elte.hu/atlas/10.htm>)
- Kalocsai L. (2017): A földrengések és robbantások elemzése a KOVH és MORH szeizmológiai állomások adatainak felhasználásával (MSc-szakdolgozat, ELTE)
- Kekovali K., Kalafat D., Deniz P. (2012): Spectral discrimination between mining blasts and natural earthquakes: Application to vicinity of Tunbilek mining area, western Turkey. *International Journal of Physical Sciences*, 7/35, 5339–5352
- Kim S. G., Simpson D. W., Richard P. G. (1994): High-frequency spectra of regional phases from earthquakes and chemical explosions. *BSSA*, 84, 1365–1386
- Kiszely M., Győri E. (2013): Az Észak-középhegységben és Szlovákia déli területein kipattant földrengések és robbantások összehasonlító elemzése, *Magyar Geofizika*, 54/4, 185–203
- Kiszely M., Mónus P., Tóth L., Győri E. (2016): Érsekvadkert, Iliny és Heves területén 2013 és 2015 között kipattant földrengések klaszterelemzése. *Magyar Geofizika*, 57/1, 45–46
- Koch K., Fáh D. (2002): Identification of earthquakes and explosions using amplitude ratios: The Voghtland area revisited. *Pure Appl. Geophys.*, 159, 735–757
- Massa M., Eva E., Spallarossa D., Eva C. (2006): Detection of earthquake clusters on the basis of waveform similarity: An application in the Monferrato region (Piedmont, Italy). *Journal of Seismology*, 10/1, 1–22
- Rogers J. D., Koper K. D. (2011): Some Practical Applications of Forensic Seismology. (PDF letöltve: 2016.06.25)
- Tóth L., Mónus P., Zsíros T., Kiszely M., Czifra T. (2005): Magyarországi Földrengések Évkönyve – 2004, GeoRisk – MTA GGKI, Budapest, 94 o.
- Tóth L., Mónus P., Zsíros T., Kiszely M., Czifra T. (2006): Magyarországi Földrengések Évkönyve – 2005, GeoRisk – MTA GGKI, Budapest, 80 o.
- Tóth L., Mónus P., Zsíros T., Bus Z., Kiszely M., Czifra T. (2007): Magyarországi Földrengések Évkönyve – 2006, GeoRisk – MTA GGKI, Budapest, 80 o.
- Tóth L., Mónus P., Zsíros T., Bus Z., Kiszely M., Czifra T. (2008): Magyarországi Földrengések Évkönyve – 2007, GeoRisk – MTA GGKI, Budapest, 76 o.
- Tóth L., Mónus P., Zsíros T., Bus Z., Kiszely M., Czifra T. (2009): Magyarországi Földrengések Évkönyve – 2008, GeoRisk – MTA GGKI, Budapest, 98 o.
- Tóth L., Mónus P., Zsíros T., Bus Z., Kiszely M., Czifra T. (2010): Magyarországi Földrengések Évkönyve – 2009, GeoRisk – MTA GGKI, Budapest, 92 o.
- Tóth L., Mónus P., Zsíros T., Bus Z., Kiszely M., Czifra T. (2011): Magyarországi Földrengések Évkönyve – 2010, GeoRisk – MTA GGKI, Budapest, 140 o.
- Tóth L., Mónus P., Zsíros T., Kiszely M., Czifra T. (2012): Magyarországi Földrengések Évkönyve – 2011, GeoRisk, Budapest, 158 o.
- Tóth L., Mónus P., Zsíros T., Kiszely M., Czifra T. (2013): Magyarországi Földrengések Évkönyve – 2012, GeoRisk, Budapest, 88 o.
- Tóth L., Mónus P., Kiszely M. (2014): Magyarországi Földrengések Évkönyve – 2013, GeoRisk, Budapest, 136 o.
- Tóth L., Mónus P., Kiszely M. (2015): Magyarországi Földrengések Évkönyve – 2014, GeoRisk, Budapest, 140 o.
- Tóth L., Mónus P., Kiszely M. (2016): Magyarországi Földrengések Évkönyve – 2015, GeoRisk, Budapest, 132 o.
- Tóth L., Mónus P., Kiszely M. (2017): Magyarországi Földrengések Évkönyve – 2016, GeoRisk, Budapest, 126 o.
- Wiemer S., Baer M. (2000): Mapping and removing quarry blasts events from seismicity catalogs. *BSSA*, 90/2, 525–530
- Wüster J. (1993): Discrimination of chemical explosions and earthquakes in Central Europe – a case study. *BSSA*, 83/4, 1182–1212
- Yilmaz S., Bayrak Y., Cinar H. (2013): Discrimination of earthquakes and quarry blasts in the eastern Black Sea region of Turkey. *J. Seismology* 17/2, 721–734



# A 2013. évi Heves megyei földrengéssorozat helymeghatározása többeseményes algoritmussal

CZECZE B.<sup>1,@</sup>, SÜLE B.<sup>2</sup>, BONDÁR I.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Eötvös Loránd Tudományegyetem, Geofizikai és Űrtudományi Tanszék,  
1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C

<sup>2</sup>Magyar Tudományos Akadémia, Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont,  
Geodéziai és Geofizikai Intézet, Kövesligethy Radó Szeizmológiai Observatórium,  
1112 Budapest, Meredek u. 18.

@E-mail: czece.barbara@gmail.com

2013. április 22-én Heves megye területén, Tenk közelében kipattant egy 4,8-as lokális magnitúdójú földrengés. A két kisebb előrengés ( $M_L = 3,6; 2,5$ ) utáni főrengést további 27 utórengés követte 0,7 és 2,9 közötti magnitúdóval. A rutinszerűen meghatározott hipocentrumok paraméterei gyakran nagy hibával terhelt eredményeket szolgáltatnak, ezért a régió szeizmotektonikájának jobb megismerése érdekében relatív helymeghatározó algoritmus segítségével ismételtén kiszámítottuk a hipocentrumok paramétereit, valamint növeltük a felhasznált adatbázis minőségét. A Magyar Nemzeti Szeizmológiai Bulletinben (HNSB) szereplő beérkezési időket újra kimértük az eredeti hullámformákból, ezzel növelve az adatok megbízhatóságát és pontosságát. Hullámforma-korrelációs eljárást alkalmaztunk a differenciális időadatok kinyerése érdekében. A kettős differencia (*double-difference*) többeseményes helymeghatározó módszert különböző bemeneti adatokkal alkalmaztuk annak érdekében, hogy láthatóvá váljon a megismételt fáziskimérések, kezdeti hipocentrumok, különböző sebességmodellek jelentősége a végső megoldásban. Az új hipocentrumokra vetősíkok illesztve jó egyezést kaptunk a főrengés egyik fészekmechanizmus megoldásával. Az eredmények minden bemutatott lépéssel javultak, összehasonlítva a rutinszerűen meghatározott hipocentrumokkal. Az eredmények megmutatják, hogy a többeseményes algoritmus alkalmazása jelentősen növeli a szeizmicitásról alkotott képet kis utórengéssorozat esetén is.

## Czece, B., Süle, B., Bondár, I.: Multiple event relocation of the 22 April 2013, $M_L = 4.8$ Tenk (Hungary) earthquake aftershocks

The Tenk (Hungary) earthquake ( $M_L = 4.8$ ) occurred on 22 April 2013. The mainshock was preceded by two minor foreshocks ( $M_L = 3.6, 2.5$ ) and was followed by 27 aftershocks with magnitudes between  $M_L = 0.7$ – $2.9$ . The routinely determined locations (single-event location method) often suffer from high uncertainty and location bias. Thus, these parameters are rarely capable to reveal the seismotectonic behavior of a region. We reduced the location errors by multiple-event relocation methods, and improved the quality of the dataset. The routinely picked arrival times in the Hungarian National Seismological Bulletin (HNSB) were manually repicked to increase the consistency and accuracy of the P and S arrivals. Waveform cross-correlation was used to obtain differential times. We applied the double-difference method with different datasets to investigate the influence of repicked P and S arrival times, initial hypocenters and different velocity models on the relocation process. The best fitting plane to the new hypocenters shows a good agreement with the focal mechanism solutions. The results improved after each step, compared to the original, routinely determined locations. The results show that the multiple event location procedure significantly enhances the picture of seismicity even in this earthquake sequence.

Beérkezett: 2017. szeptember 4.; elfogadva: 2017. december 5.

## 1. Bevezetés

A gyakorlati szeizmológia egyik legfontosabb feladata a földrengések helyének nagy pontosságú meghatározása. Mivel a földrengések előrejelzése nem lehetséges, az egyes régiók veszélyeztetettségére a szeizmológusok becslése-

ket, illetve kockázatszámításokat készítenek, amihez elengedhetetlen a múltbéli rengések pontos helyének ismerete, melyek kirajzolják a terület alatt húzódó törésvonalakat, szeizmoaktív vetőket. A földrengések hipocentrum-paramétereinek segítségével körvonalazódnak a tektonikus lemezhatárok és aktív vetősíkok, ezek mozgásának vizs-



gálatában, az aktív vetők felkutatásában a hipocentrum-koordináták nélkülözhetetlenek. A szeizmikus események helyének meghatározására több módszer áll a rendelkezésünkre. A gyakorlatban a meghatározás közvetlenül a földrengés kipattanása után az adott szeizmikus eseményre vonatkozólag történik, mely általában olyan nagymértékű hibával terhelt, hogy nem vagy csak nagyon ritkán teszi lehetővé a régió szeizmotektonikájának megismerését. A helymeghatározás hibája jelentősen csökkenthető a különböző többeseményes algoritmust használó módszerek segítségével, vagyis nem egy, hanem több múltbeli esemény paramétereinek egyidejű meghatározásával. Az egyik ilyen a jelen cikkben bemutatott legkorszerűbb módszer a kettős differencia (*double-difference*) algoritmus (Waldhauser, Ellsworth 2000).

## 2. Helymeghatározási probléma

A földrengés helymeghatározásának témakörét részletesen Bondár és mtsai (2014) írják le, ezért itt csak a helymeghatározási probléma rövid összefoglalását adjuk. Egy földrengés hipocentruma magában foglalja a szeizmikus esemény földrajzi hosszúságát, szélességét, mélységét, valamint a kipattanás idejét ( $x, y, z, \tau$ ). Az egyes szeizmológiai állomásokon az általunk mért fázisbeérkezési idők, valamint a jósolt beérkezési idők különbsége a reziduál ( $d_i$ , ahol  $i = 1, \dots, N$  és  $N$  a mért beérkezési idők száma). A hipocentrum és az állomás közötti menetidő kiszámítása különböző globális vagy lokális sebességmodellek segítségével történik. A helymeghatározási probléma alatt azt értjük, hogy meg kell találni az esemény helyét, mélységét és idejét úgy, hogy az minden állomáson minimalizálja a reziduálokat. A menetidő az esemény pontos helyének nemlineáris függvénye, így a földrengés helyének meghatározása egy nemlineáris inverziós probléma.

Geiger (1910, 1912) feltételezésével élve, ha van egy kezdeti becslés a földrengés hipocentrumára, és ez elegendően közel van a valódi hipocentrumhoz, akkor a reziduálok Taylor-sorba fejthetők, majd az elsőrendűnél magasabb rendű tagok elhanyagolhatók. Ezzel a közelítéssel a helymeghatározási probléma lineárisra vezethető vissza és ekvivalens a kettős differencia algoritmussal:

$$d_i = \frac{\partial t_i}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial t_i}{\partial y} \Delta y + \frac{\partial t_i}{\partial z} \Delta z + \Delta \tau_i, \quad (1)$$

ahol  $t$  a hullámfázis menetideje, az  $x, y, z$  koordináták szerinti parciális deriváltak a lassúság- (*slowness*) vektor komponensei (a sebesség reciproka),  $\tau$  pedig az esemény kezdeti kipattanási idejére vonatkozó becslés. Az (1) egyenletet különböző szeizmikus eseményekre és mérésekre felírva kapunk egy  $N$  egyenlethől álló lineáris egyenletrendszert  $M$  ismeretlennel ( $M$  a modellparaméterek száma, amely  $\leq 4$ ). Mivel mindvégig feltesszük, hogy a kezdeti hipocentrum eléggé közel van a valódi hipocentrumhoz, az ilyen linearizált helymeghatározó algoritmusok érzékenyek a becsült kezdeti hipocentrumokra. Ahhoz, hogy elő-

álljon a méréseket kielégítő legvalószínűbb megoldás, a likelihood függvényt kell maximalizálni. Független, normális eloszlású adatot feltételezve ez ekvivalens a

$$\mathbf{W}\mathbf{G}\mathbf{m} = \mathbf{W}\mathbf{d} \quad (2)$$

mátrixegyenlet megoldásával, ahol  $\mathbf{G}$  a modellparaméterek szerinti parciális deriváltakat tartalmazó  $N \times M$ -es designmátrix,  $\mathbf{m}$  a modellvektor,  $\mathbf{d}$  a menetidő-reziduálok vektora,  $\mathbf{W}$  pedig diagonális súlymátrix, mely az adatok bizonytalanságát tartalmazó kovarianciamátrixból áll elő.

## 3. Hibaforrások

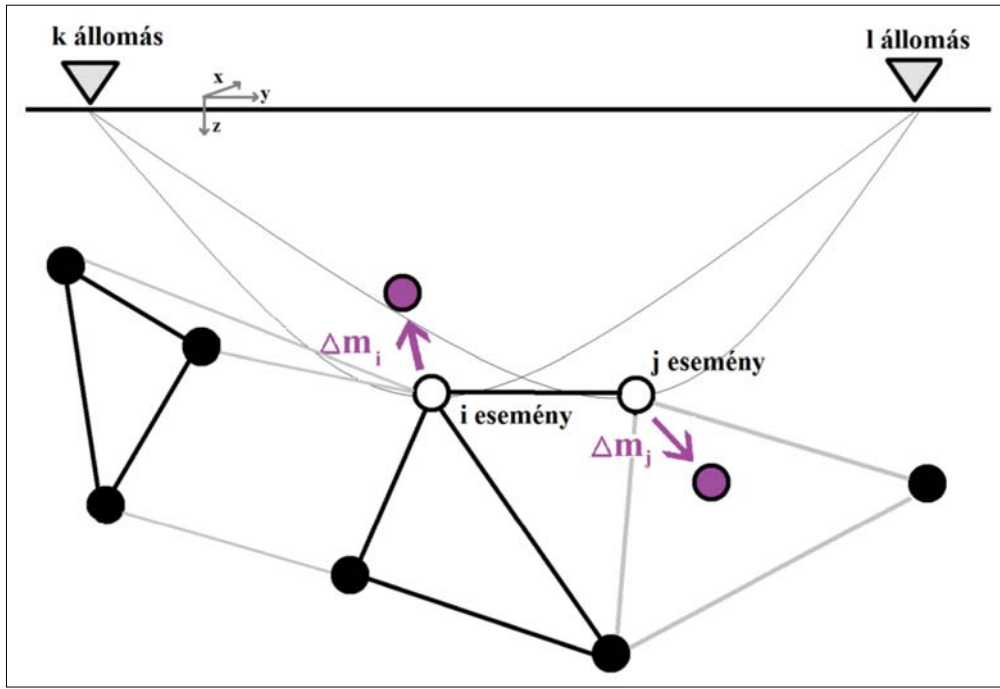
A helymeghatározás során a felmerülő hibák jelentős része a mérési hibákból, illetve a használt modell hibáiból ered, az ezekből fakadó bizonytalanságokat az adat-kovarianciamátrix írja le. A mérési hiba alatt az egyes fázisok beérkezési idejének kimérési hibáját értjük, melyet általában normális eloszlású, zero átlagú folyamatként jellemeznek (Billings et al. 1994, Pavlis 1986). A valóságban ez sokkal bonyolultabb, mivel a kimérés pontosságánál a jel-zaj arány a kritikus, vagyis minél kisebb a szeizmikus esemény, annál nagyobb hibával terhelt a kimérés pontossága, így az egyben a magnitúdó függvénye is (Kværna 1996). Felmerülhetnek fázismeghatározási hibák is, amikor komplexebb hullámforma esetén nem egyértelmű, hogy melyik fázis első beérkezése látható a szeizmogramon. A helymeghatározás során használt modellek a gyorsaság érdekében szinte mindig 1D-s modellek, melyek bonyolultabb tektonika esetén nem elég pontosak: bizonyos hullámutak mentén szisztematikus hibával terhelt eredményt adnak, mivel nem modellezhető kielégítően a sebességstruktúra (Bondár, McLaughlin 2009b). A hibáknak csak jóval kisebb hányada származik a Taylor-sorfejtés magasabb rendű tagjainak elhagyásából.

## 4. A többeseményes helymeghatározás, kettős differencia algoritmus

A többeseményes helymeghatározáson egy szeizmikus események klaszter egyidejű analízisét értjük, vagyis egy teljes utóregés-sorozat együttes helymeghatározását. A relatív meghatározás fő feltevése, hogy amennyiben két földrengés hipocentrumainak távolsága kicsi az állomások távolságához képest, a hullámutak hasonlóak, kivéve a forrás régióját. Így a menetidő-különbség összefügg az események térbeli távolságával.

A kettős differencia algoritmus egy olyan relatív földrengés-helymeghatározó módszer, amelyben a helymeghatározás elvégzéséhez mind az abszolút menetidőmérések, mind a hullámformák keresztkorrelációjából származó P és S hullám differenciális menetidőadatai alkalmazhatók együttesen, és önállóan is. A módszer a hullámformakeresztkorrelációval meghatározott differenciális időket, valamint a katalógusadatokból számított egyes fázisok





**1. ábra** A kettős differencia módszer szemléltetése 2 állomás (k és l), és két, körrel jelölt esemény (i és j) segítségével. A fekete gömbök az abszolút kezdeti hipocentrumok, melyek a szomszédos eseményekhez kapcsolódnak a katalógusadattal (fekete vonal) vagy kereszt-korrelációval (szürke vonal). Az állomások és az események közötti hullámutakat vékony vonallal jelöltük. A lila nyilak az i és j eseményből számított relokációs-vektort mutatják

**Figure 1** Illustration of the double-difference earthquake relocation algorithm with 2 stations (k and l), and 2 events (i and j). The black balls represent initial hypocenters that are linked to neighboring events by cross-correlation (grey lines) or catalog (black lines) data. Ray paths from the sources to the stations are indicated with thin lines. Purple arrows indicate the relocation vector for events i and j

beérkezési idői közötti különbségeket kombinálja úgy, hogy minden eseménypárra minimalizálja a reziduálokat (*double-difference*), ezzel pontosítva a hipocentrumok közötti vektorkülönbségeket. A módszer előnye ebből következően épp az, hogy nincs szükség a kipattanási hely és az állomás közötti hullámútra, sem állomáskorrekciók használatára. A módszer a korreláló események közötti távolságot a differenciális idők pontosságával, a nem korreláló események közöttit pedig az abszolút menetidők pontosságával határozza meg.

A kettős differencia algoritmus *i* és *j* esemény között konstans lassúságvektor feltételezése mellett:

$$dt_k^{ij} = (t_k^i - t_k^j)^{\text{mért}} - (t_k^i - t_k^j)^{\text{jóslt}}, \quad (3)$$

ahol *k* az állomás futóindexe (1. ábra). Az egymáshoz közel levő események esetében feltételezhetjük, hogy konstans, azonban ha nő a távolság a hipocentrumok között, pontosabb eredményt kapunk, ha minden eseménynél a valódi lassúságvektort és kipattanási időt alkalmazzuk. Ekkor a következő egyenletrendszert kapjuk:

$$dt_k^{ij} = \frac{\partial t_k^i}{\partial x_i} \Delta x_i + \frac{\partial t_k^i}{\partial y_i} \Delta y_i + \frac{\partial t_k^i}{\partial z_i} \Delta z_i + \Delta \tau_i - \frac{\partial t_k^j}{\partial x_j} \Delta x_j - \frac{\partial t_k^j}{\partial y_j} \Delta y_j - \frac{\partial t_k^j}{\partial z_j} \Delta z_j - \Delta \tau_j. \quad (4)$$

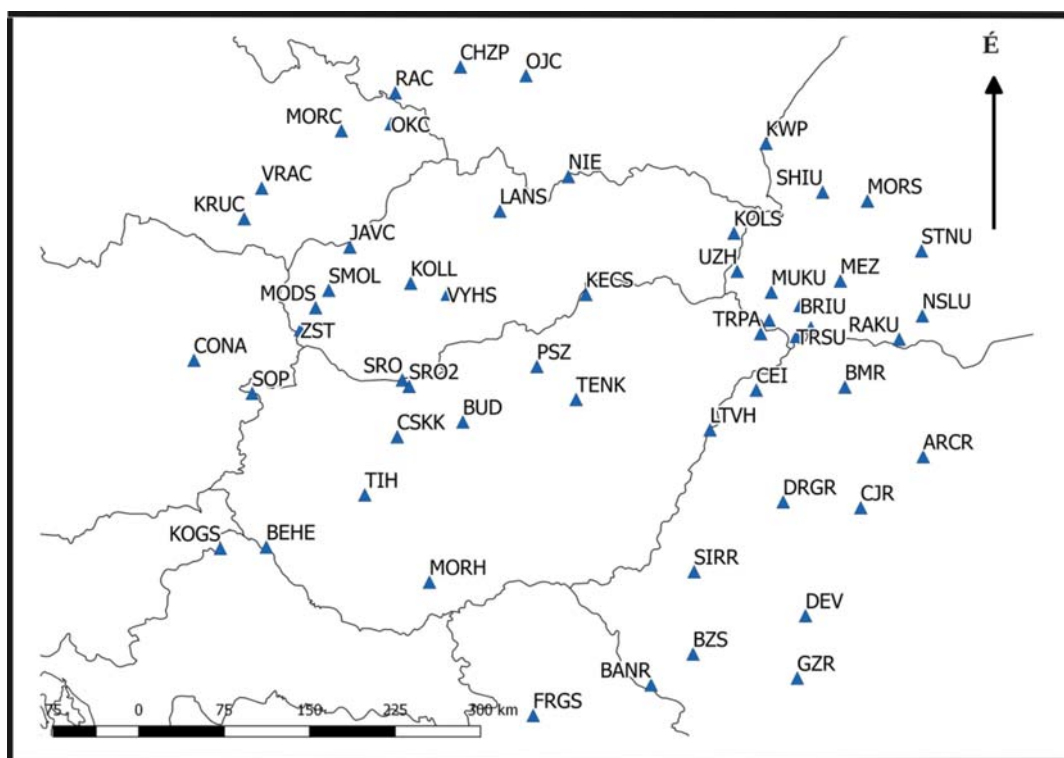
Ez az egyenlet minden szeizmikus eseménypárra és állomásra létrehoz egy lineáris egyenletrendszert ugyanabban a formában, mint a (2) egyenlet, de ekkor a *G* mátrix már  $M \times 4N$  dimenziójú (*M* a kettős differencia-mérések száma, *N* az események száma), és tartalmazza a parciális deriváltakat. A *d* vektorban a kettős differencia-értékek szerepelnek, *m* a  $4N$  hosszúságú vektor, amely a meghatározandó hipocentrum paramétereiben számolt változásokat tartalmazza, *W* pedig a diagonális súlymátrix.

## 5. A vizsgált eseménysorozat, szeizmikus állomások

A relokálzációban felhasznált földrengések 2013. 02. 16. és 2013. 08. 07. között, Heves megye területén pattantak ki. Két kisebb előrengés ( $M_L = 3,6; 2,5$ ) után a főrengés 2013. április 22-én 22:28 (UTC) perckor pattant ki Tenken 4,8 lokális magnitúdóval, mely a lakosság által is jól érezhető, kisebb károkat okozó, hazai viszonylatban jelentősnek számító földrengés volt. Később további 27 utórengés követte 0,7 és 2,9 közötti magnitúdóval.

Ekkor az MTA CSFK GGI Kövesligethy Radó Szeizmológiai Observatórium (KRSZO) által üzemeltetett Nemzeti Szeizmológiai Hálózatot (2. ábra) több széles sávú, valamint egy rövid periódusú állomás alkotta. A főrengés után több hónapig működött egy ideiglenes állomás Tenken, az utórengések vizsgálatánál az itt rögzített adatokat is fel-





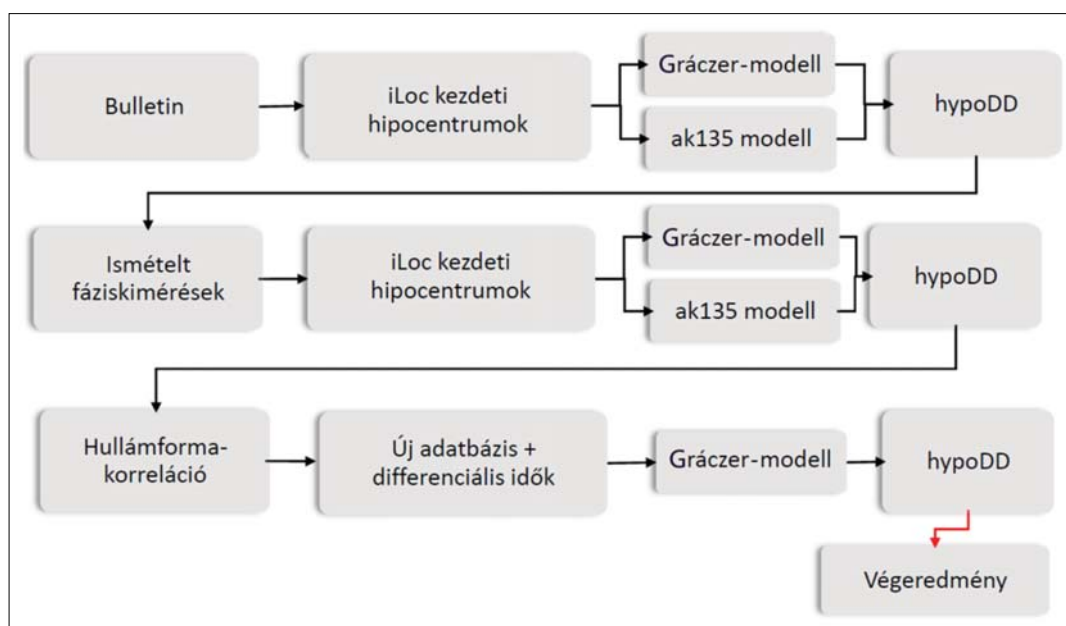
2. ábra A Magyar Nemzeti Szeizmológiai Hálózat állomásai 2013-ban, valamint a dolgozatban bemutatott földrengés-sorozatot észlelő, környező országokhoz tartozó szeizmológiai állomások

Figure 2 The Hungarian National Seismological Network in 2013, and the stations in neighbouring countries which detected the earthquakes

használtuk. A magyar állomásokon túl a közeli országok (Románia, Szlovákia, Csehország, Ukrajna, Lengyelország, Szerbia és Ausztria) regisztrátumait is felhasználtuk.

A hipocentrumok legpontosabb meghatározása érdekében számos próbafuttatásra, több sebességmodell hasz-

nálatára, valamint különböző adatfeldolgozási lépés beiktatására volt szükség. Az esettanulmányban felvázolt és bemutatott relokalizáció folyamatábrája (3. ábra) összefoglalja a stabil megoldás eléréséhez vezető utat, melyeket a továbbiakban részletezünk.



3. ábra A bemutatott esettanulmány folyamatábrája

Figure 3 Flowchart of the presented case study



## 6. Kezdeti hipocentrumok előállítása, az iLoc abszolút helymeghatározó algoritmus

A többeseményes helymeghatározáshoz szükségesek az abszolút kezdeti hipocentrumok koordinátái, melyeket iLoc algoritmussal hoztunk létre. Az iLoc abszolút helymeghatározó algoritmus az ISC lokátor (Bondár, Storchak 2011) továbbfejlesztett változata. Az iLoc az iterációs linearizált inverziót úgy hajtja végre, hogy egy kezdeti becslést alkalmaz az adatok kovarianciamátrixára (Bondár, McLaughlin 2009b), figyelembe véve a korrelált hibákat. A menetidőbecslések korrelált hibáinak figyelmen kívül hagyása a helymeghatározás hibáinak (hibaellipszis) alulbecsléséhez vezet, és a helymeghatározás szisztematikus torzítását (*location bias*) eredményezheti. Jelenleg az ISC lokátor és az iLoc az egyedüli két olyan algoritmus, amely figyelembe veszi a menetidőbecslések korrelált hibáit. A fáziskimérés hibáira vonatkozó becslés a ground truth alapesemények (vagyis olyan szeizmikus események, robbantások, melyek helye, kipattanási ideje nagy pontossággal ismert) reziduáljainak eloszlásából ered (Bondár, McLaughlin 2009a). A kezdeti hipocentrumokat különböző sebességmodellekkel állítottuk elő annak érdekében, hogy megtaláljuk a legjobban használható megoldást, és egyértelműen látható legyen a különböző sebességmodellekkel számított kezdeti hipocentrumok hatása a relokáció végeredményére. Két 1D-s sebességmodellt alkalmaztunk, a lokális Gráczér-féle (Gráczér, Wéber 2012), valamint a globális ak135 (Kennett et al. 1995) modellt, melyek eltérő rétegvastagságokhoz eltérő hullámterjedési sebességeket feltételeznek. A munkafolyamat első fázisában a Magyar Nemzeti Szeizmológiai Bulletin (HNSB, Gráczér et al. 2014) adatait használtuk fel a kezdeti hipocentrumok létrehozásánál. Összesen 30 szeizmikus esemény állt a rendelkezésünkre. Az iLoc abszolút helymeghatározó algoritmus elvetette azokat az eseményeket, melyeket csak két állomás regisztrált, mivel a rendelkezésre álló fázisok száma nem volt elegendő a megbízható helymeghatározáshoz, így 12 esemény maradt a többeseményes meghatározáshoz.

## 7. HypoDD-relokalizáció folyamata

A hypoDD-vel (Waldhauser 2001) végzett relokalizáció kétlépcsős folyamat. Az első lépés magában foglalja a fázisadatok analízisét, létrehozva a földrengéspárok menetidő-különbségét, majd a második lépés a kettős differencia egyenletrendszer megoldása. A fázisadatok analízise során közös állomáson mért menetidőkkel rendelkező eseménypárokat hoztunk létre a hypoDD kiegészítő alkalmazásával, mely ideális esetben egy egész hálózatot hoz létre a fázisadatokból. Az előállt adatrendszert befolyásolják az általunk megszabott kritériumok, melyek a földrengéssorozat sajátosságaitól függenek, így az eseménypárok és az állomások közötti maximálisan megengedett távolság (400 km), az eseménypárok közötti maxi-

mális távolság (20 km), minimális számú mérések száma (1). Mivel a túl szigorúan meghatározott korlátok további szeizmikus események elvesztését jelentik, a cél pedig a lehető legnagyobb adatbázis megtartása volt, a túl gyenge korlátok pedig rontják a relokalizáció eredményét, ezért számos próbafuttatást végezve határoztuk meg a végső paramétereket. Elégséges számú fázispár fontos feltétel a stabil megoldáshoz, de emellett függ az állomások térbeli elhelyezkedésétől is. Így 46 összekapcsolt eseménypárt hoztunk létre, melyek között az átlagos távolság 11,79 km. 343 P és 276 S fázispárt használtunk fel. Az adatbázisból a kiugró értékeket (12%) eltávolítottuk.

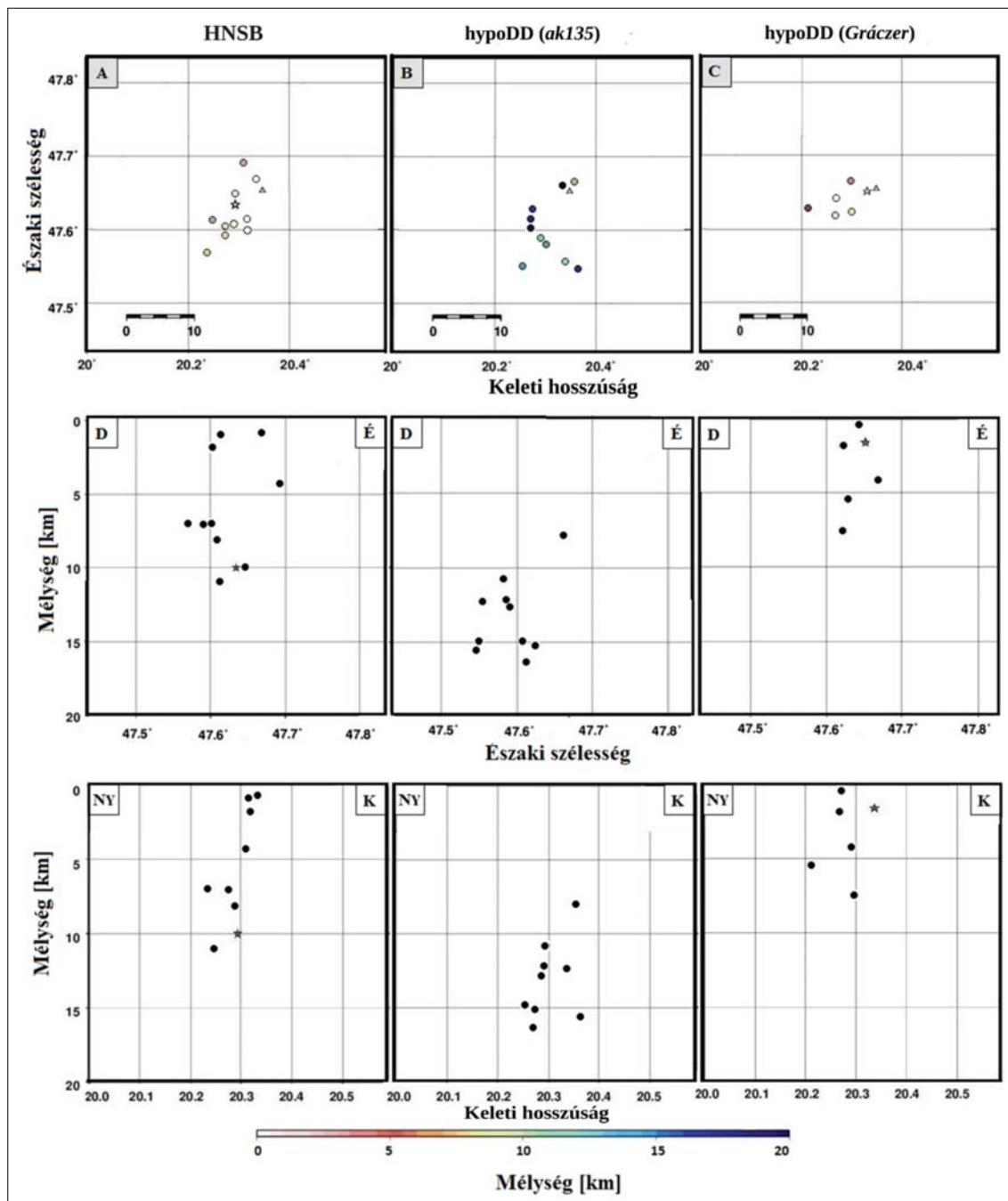
Második lépés az iterációk során használt megkötések meghatározása volt. A helymeghatározás során minden esetben felhasználtuk a P és S beérkezéseket egyaránt. A hypoDD minden esetben az egydimenziós, síkrétegzett Gráczér-féle sebességmodellt (Gráczér, Wéber 2012) használva határozta meg az új koordinátákat. A program iteratíván oldja meg a kettős differencia-egyenleteket úgy, hogy minden egyes iteráció után a hipocentrumok helyei és a parciális deriváltak megváltoznak, majd az új értékekkel számol tovább. Az egyenleteket a legkisebb négyzetek módszerén alapuló LSQR algoritmussal (Paige, Saunders 1982) oldottuk meg. Ehhez szükséges a csillapítási faktor meghatározása, mely a modellt módosító vektort csillapítja, ha az instabillá válik, vagy túl nagy lesz a változás a hipocentrum paramétereiben. Az iterációk előrehaladtával eltérő súlyozást és újrasúlyozást alkalmaztunk az adatok megbízhatóságától függően, valamint fokozatosan bevezettünk reziduál- (6–3 s), illetve távolságkorlátot (15–9 km) is. Először, amíg a megoldás stabilná nem vált, egy kezdeti súlyozást alkalmaztunk, majd minden iterációt az újrasúlyozott adattal hajtottunk végre, miközben a kezdeti súlyok módosultak a reziduálok és az események közötti távolság függvényében. Így súlyoztuk azoknak a méréseknek az adatait, amikor nagy a reziduál vagy a távolság. Az iterációk addig folytatódtak, amíg a reziduálok értéke el nem ért egy küszöböt, vagy a megoldások közötti különbség elegendően kicsi nem lett. Az S fázisbeérkezések minden esetben kisebb kezdeti súlyt (0,5) kaptak, mint a P beérkezések (1,0), mivel jóval nagyobb a kimérés bizonytalansága.

## 8. A hypoDD-eredmények összevetése a Magyar Nemzeti Szeizmológiai Bulletin (HNSB) adataival

### 8.1. Az ak135 sebességmodellel számított iLoc abszolút kezdeti hipocentrumokkal végzett relokalizáció eredménye

Az elsőként előállt eredménynél (4. ábra, B oszlop) összehasonlítási alap nélkül nehezen vontunk le következtetést, de az jelzésértékű, hogy a csillaggal jelölt főrengést olyan





4. ábra Hipocentrumok térképi nézetei (felső sor), D–É mélységsszelvényei (középső sor), NY–K mélységsszelvényei (alsó sor). A) Kövesligethy Radó Szeizmológiai Observatóriumban rutinszerűen meghatározott hipocentrumok, B) az ak135 1D-s sebességmodellel számított abszolút hipocentrumok hypoDD-megoldásai, C) a Gráczer-féle 1D-s sebességmodellel számított abszolút hipocentrumok hypoDD-megoldásai. A szín-skála a fészekmélységeket, a csillag a főrengést jelöli

**Figure 4** Hypocentres in map view (upper row), S–N sections (middle row), W–E sections (bottom row). A) Routinely determined hypocentres by Kövesligethy Radó Seismological Observatory B) hypoDD solutions (the initial hypocentres were calculated with the ak135 1D velocity model) C) hypoDD solutions (the initial hypocentres were calculated with the Gráczer velocity model). Hypocenters are colored according to focal depth, the mainshock is indicated with a black star

távolra relokálizálta a globális ak135 sebességmodell felhasználása után, hogy nincs rajta sem a mélységsszelvényeken, sem a térképi nézeten. A hipocentrumok semmiféle összefüggést nem mutatnak, térben szétszórtabban helyezkednek el, mint az eredeti, rutinszerűen meghatározott koordináták (4. ábra, A oszlop).

## 8.2. A Gráczer-féle sebességmodellel számított iLoc abszolút kezdeti hipocentrumokkal végzett relokalizáció eredménye

A térképi nézeten (4. ábra, C oszlop) az epicentrumok eloszlásánál megfigyelhető, hogy az új koordináták térbeli

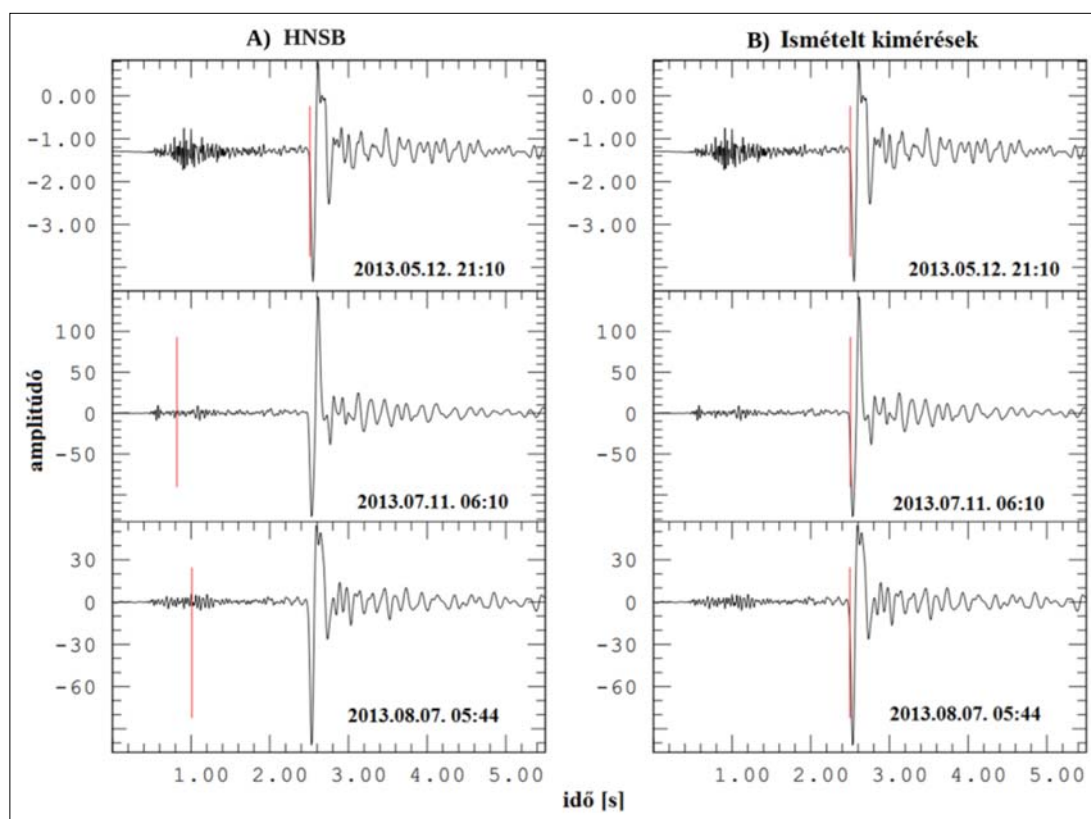


eloszlása kissé megváltozott az eredeti HNSB-beli hipocentrumokhoz képest (4. ábra, A oszlop), valamint jelentős a változás a mélységszelvényeken is. Míg az eredeti HNSB hipocentrumok 1–12 km mélységben helyezkednek el, a relokalizált hipocentrumok 1–8 km között oszlanak el. Bár nagy a változás a paraméterekben, az így kapott eredmény közel sem kielégítő.

## 9. A felhasznált adatbázis minőségének javítása

Feltételeztük, hogy a szeizmikus fázisok első beérkezésének ismételt kimérése pontosabb adatokat szolgáltat, mint az eredetileg rutinszerűen kimért adatok a Magyar Nemzeti Szeizmológiai Bulletinben (HNSB). Az állomásokra beérkező első szeizmikus fázis a primer hullám (P), alacsony zajszinttel rendelkező jel esetén tisztán látható. Ezeket követik az S fázisbeérkezések, melyet nagyobb amplitúdó jellemez. A fázisbeérkezések kimérése általában nem triviális feladat, a szeizmikus regisztrátumok mindig zajjal terheltek. A zaj forrása lehet természetes eredetű (pl. szél, tengerhullámzás), vagy emberi tevékenység által okozott kultúrjaj, valamint műszerzaj is, mely normál esetben jóval a szeizmikus zajszint alatt van. Az 5A. ábrán például jól látható a tenki szeizmológiai állomásra beérkező jelek esetén az S fázisok inkonzisztens

kimérése. Mivel az utórengés közvetlenül az ideiglenes tenki szeizmológiai állomás alatt/közelében volt, a csatornán látszó nagy amplitúdójú jel identifikációs problémát okozott. Ennek ellenőrzése céljából az új mérésekből számított menetidőket összehasonlítottuk a Gráczer-féle modell segítségével jósolt menetidőkkel, melyek jól korreláltak, így a jel nagy valószínűséggel valóban az első S fázis beérkezése (5B. ábra). Emellett előfordultak olyan fázisok, melyek kimérésére korábban nem került sor. Az adatbázis minőségének javítása érdekében mind a 30 eseménynél az összes elérhető állomásra beérkezett jelen ismételt kimértük az első beérkezéseket. Általában  $M > 2$  magnitúdójú földrengések 0.1–10 Hz, míg  $M < 2$  magnitúdó esetén 10–1000 Hz közötti frekvenciát generálnak (Havskov, Ottemöller 2009). Minden esetben a Seisgram2K programba épített Butterworth-filtert alkalmaztuk, a vágási frekvenciát pedig az állomástól mért távolság befolyásolta. Az alsó vágási frekvencia 0,5–1 Hz közé esett, a felső vágási frekvencia pedig 5 Hz volt. Olyan csatorna esetén, amelynél a frekvenciaszűrés sem hozott könnyebben elemezhető hullámformát, nem jelöltünk ki első beérkezést, mert a bizonytalan adat rontja a relokalizáció eredményét. Ezzel létrehoztunk egy teljesen új adatbázist, és a korábban bemutatott sebességmodellek segítségével újra előállítottuk az iLoc kezdeti hipocentrumokat, majd elvégeztük a többeseményes helymeghatározást.



5. ábra | Példa fázisidentifikációs problémára: A) a Kövesligethy Radó Szeizmológiai Observatóriumban rutinszerűen kijelölt első S fázisbeérkezések, B) az ismételt fáziskimérések eredménye ugyanazon hullámformákon

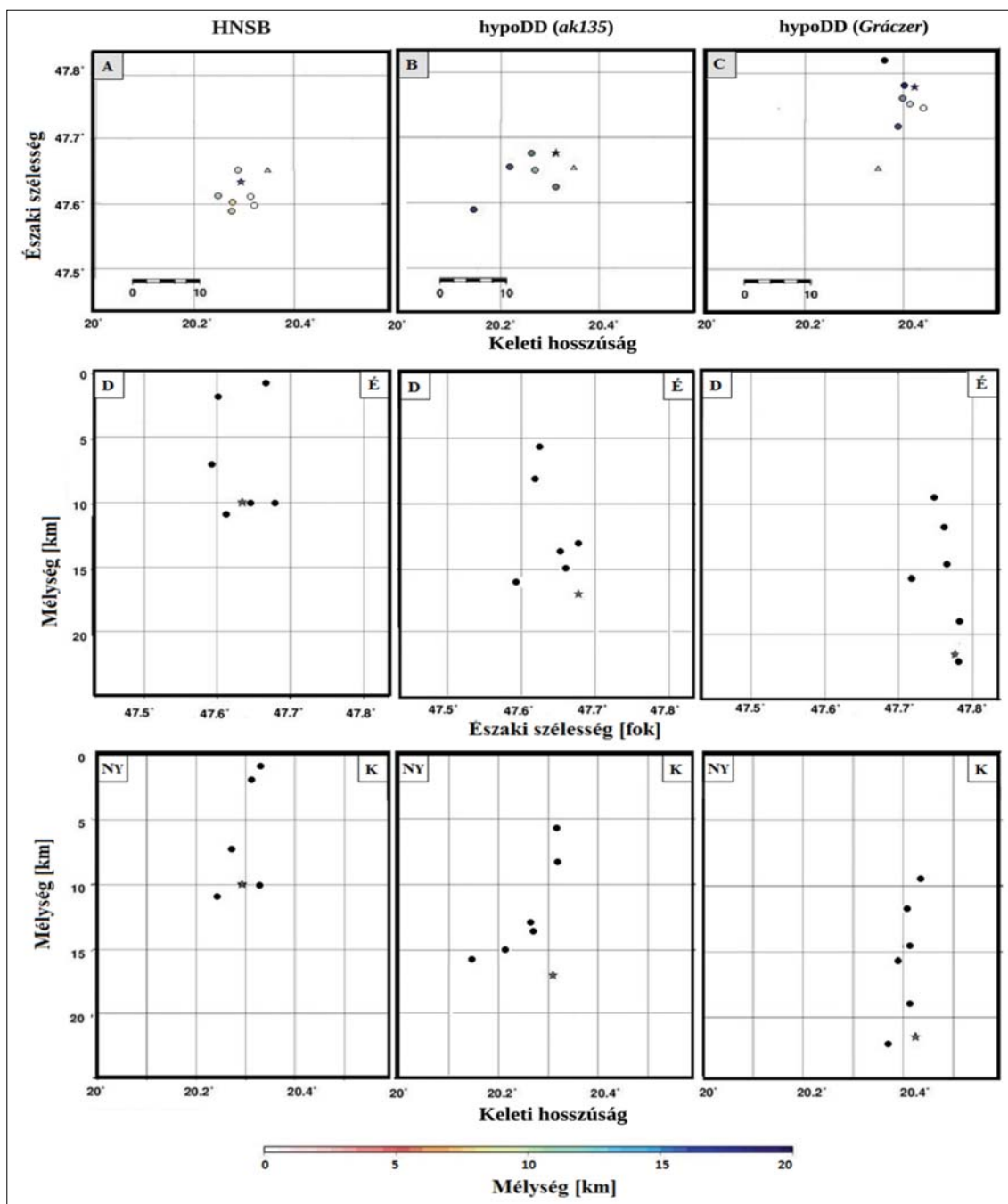
Figure 5 | Example for phase identification problem: A) inconsistent S phase arrival times (HNSB), B) repicked phase arrival times



## 10. HypoDD-eredmények a javított adatbázis felhasználásával

10.1. Az ak135 sebességmodellel számított iLoc abszolút kezdeti hipocentrumokkal végzett relokalizáció eredménye

A térképi nézetben (6. ábra, B oszlop) az epicentrumok az eredeti, HNSB epicentrumokhoz képest (6. ábra, A oszlop) egymástól távolabban helyezkednek el. Bár a főrengés az adatbázis javítása következtében ismét látható a szelvényeken, az egyik esemény jóval távolabbra került az eseménysorozat többi tagjához képest, valamint a fészekmély-



6. ábra Hipocentrumok térképi nézetei (felső sor), D–É mélység-szelvényei (középső sor), NY–K mélység-szelvényei (alsó sor) ismételt fáziskimérések után. A) Kövesligethy Radó Szeizmológiai Obszervatóriumban rutinszerűen meghatározott hipocentrumok B) ak135 1D-s sebességmodellel számított abszolút hipocentrumok hypoDD-megoldásai, C) a Gráczer-féle 1D-s sebességmodellel számított abszolút hipocentrumok hypoDD-megoldásai. A színskála a fészekmélységeket, a csillag a főrengést jelöli

Figure 6 Hypocenters in map view (upper row), S–N sections (middle row), W–E sections (bottom row) after repicking phase arrival times. A) Routinely determined hypocentres by Kövesligethy Radó Seismological Observatory B) hypoDD solutions (the initial hypocentres were calculated with ak135 1D velocity model) C) hypoDD solutions (the initial hypocentres were calculated with the Gráczer velocity model). Hypocenters are colored according to focal depth, the mainshock is indicated by a black star



sége is kiugró a többi földrengéshez viszonyítva. Az eredetileg 1–12 km-es mélységben található események mélységbeli eloszlása 5–18 km-re nőtt. Ennél az eredménynél már biztosan kijelenthető, hogy nagyobb hibával terhelt eredmény érhető el a globális sebességmodell felhasználásával, mint a kiindulási hipocentrum-paraméterek. Kijelenthető, hogy az ak135 globális sebességmodell nem használható eredményesen lokális eseménysorozat esetén. Ennek fő oka, hogy az 35 km-es kéregvastagságot feltételez, míg a régió kéregvastagsága 25–30 km. A továbbiakban teljesen elvetettük a globális sebességmodellt, és kizárólag a Grácz-féle sebességmodellt alkalmaztuk a számítások során.

### 10.2. A Grácz-féle sebességmodellel számított iLoc abszolút kezdeti hipocentrumokkal végzett relokalizáció eredménye

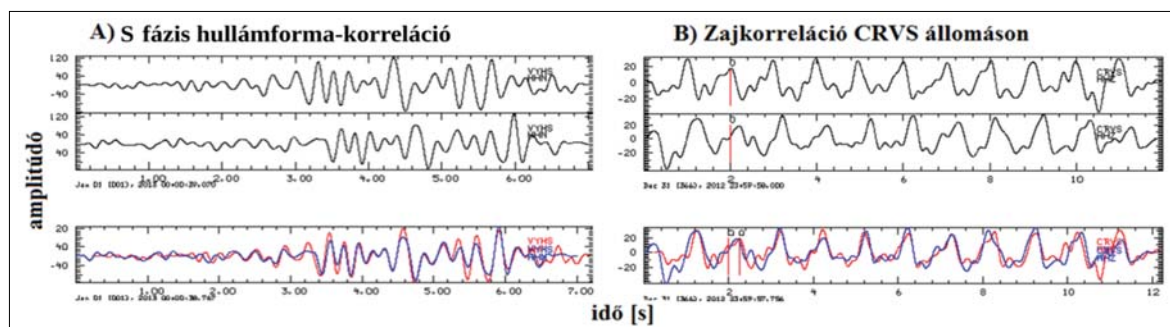
Az epicentrumok koordinátái a térképi nézeten (6. ábra, C oszlop) jelentősen megváltoztak, kivétel nélkül északabbra kerültek, valamint egy-egy eseményt leszámítva koncentráltabban helyezkednek el. A rendelkezésre álló események számából adódóan a hipocentrumok ritkák, az észrevehető, hogy a mélységek eloszlása megváltozott, az új hipocentrumok összefüggőbben, rendezettebben helyezkednek el, összehasonlítva az eredeti HNSB hipocentrumokkal.

## 11. Hullámforma-korreláció

Mivel sem a fázisok ismételt kimérése, sem a különböző sebességmodellek használata nem eredményezett jelentősen jobb megoldást, a felhasznált adatbázis minőségének további javítását kíséreltük meg. Feltételezhető, hogy két földrengés hasonló hullámformát eredményez azonos szeizmológiai állomáson, amennyiben azonos a fészek-mechanizmusuk és a hipocentrumaik elegendően közel vannak egymáshoz, vagyis hasonló hullámúton érkeznek be a fázisok. A szeizmogramok hullámforma-keresztkorrelációjával az utóregések pontosabb P és S fázis beér-

kezéseit pontosítottuk, ezzel növelve az adatrendszer minőségét, a helymeghatározás megbízhatóságát. Ez a lépés főleg akkor fontos, amikor az első P és S fázis beérkezései bizonytalanok vagy hiányosak. Egyaránt végeztünk P és S korrelációkat, vagyis a szeizmogramok vertikális és északi horizontális komponenseit korreláltattuk egymással, minden állomásra, eseménypáronként. A keresztkorreláció elvégzése előtt a fáziskimérésnél használthoz hasonló szűrést alkalmaztuk. Az alsó vágási frekvencia 0,6–0,8 Hz közötti, a felső pedig 4–6 Hz az esemény és az állomás közötti távolságtól függően. Meghatároztuk a jósolt beérkezési idők előtt és után a korreláció időablakát minden eseménypár és minden állomás esetén. A vertikális komponens korrelációjánál használt időablak meghatározásánál ügyeltünk arra, hogy az ne érintse az S fázis beérkezésének idejét, mert ez hibás korrelációt eredményezhet. Közele állomás esetén (pl. Tenk) a P és S fázisok kevesebb mint 2 másodperccel követték egymást, így kisebb időablak megadása volt szükséges, míg távolabbi állomásnál (pl. BUD) ez 15 másodperc is lehet, így az időablak szélesebbre állítása szükséges. Távoli állomás esetén nem csak a P és S fázis menetidejének különbsége nő, a hullámúton menti heterogenitások következtében nagyobb távolságok esetén a jósolt beérkezési idő bizonytalansága is nagyobb lesz, így jóval szélesebb intervallumot szabtuk meg. A pontosság érdekében azonos állomáson, de eltérő műszer által rögzített jeleket is szeparáltuk, és külön végeztük el a korrelációt. Minden elvégzett korreláció után előállt a páronkénti korrelációs koefficiens, melynek értéke 1, ha a két hullámforma teljesen azonos, 0, ha egyáltalán nem korrelál, és –1, ha tökéletesen antikorrelál. Mivel csak jól korreláló (7A. ábra), ezáltal megbízható adatok kinyerése volt a cél, minden olyan esetet, amikor a korrelációs koefficiens kisebb volt, mint 0,6, elvetettünk, és nem használtuk fel a relokalizáció során. Számos esetben a korrelációs koefficiens az általunk választott küszöbérték alatt volt, így néhány állomásról nem nyertünk ki differenciális időadatot.

A megbízhatóság érdekében ellenőriztük az összes korrelációt, mivel sok esetben zajkorreláció (7B. ábra) eredményezett jó koefficiens, így a bizonytalan eredményeket



7 ábra A) Az S fázis hullámforma-korrelációja, ahol a korrelációs koefficiens nagyobb, mint 0.6. B) Tipikus zajkorreláció, melyet manuálisan eltávolítottunk az adathalmazból

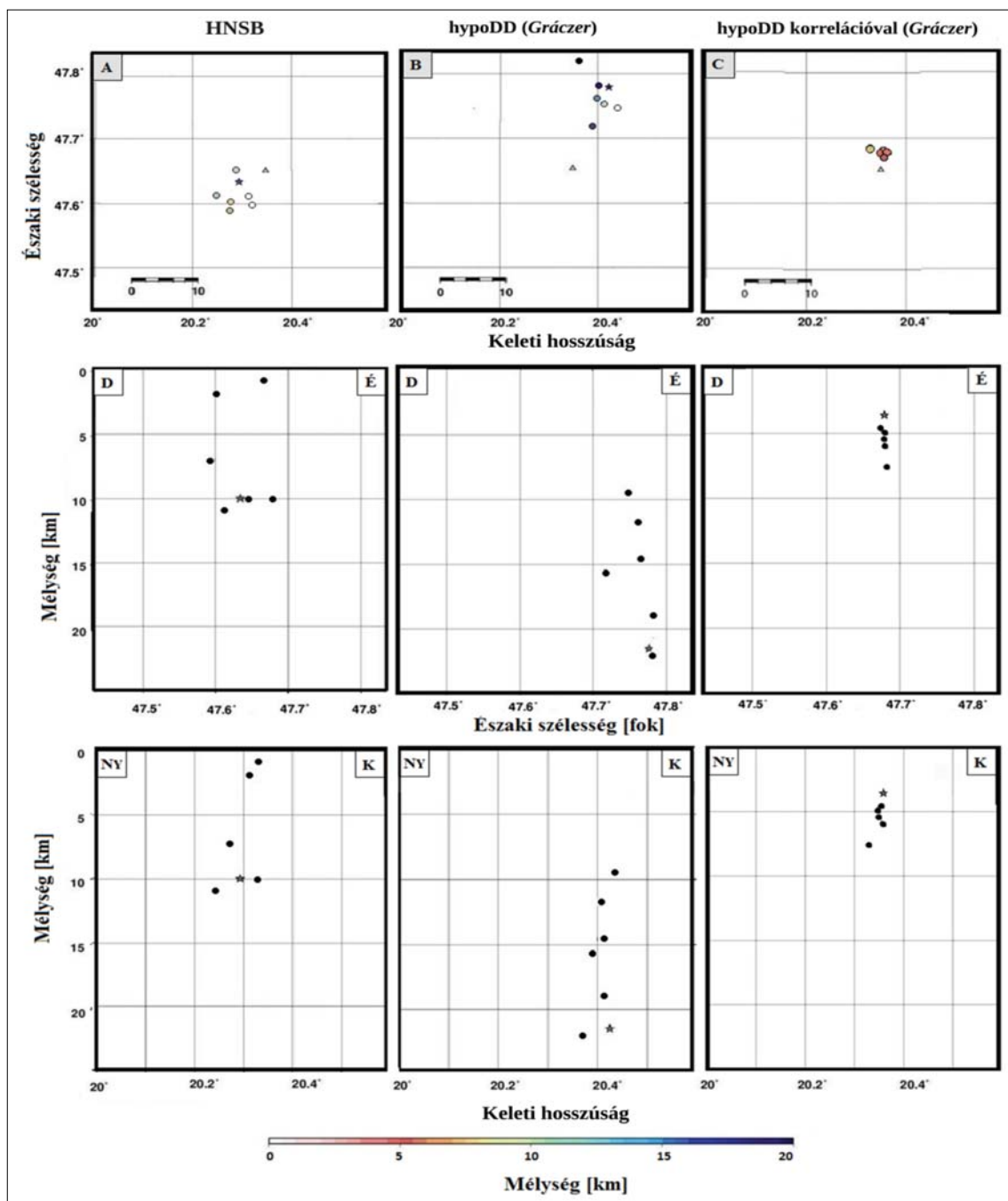
Figure 7 A) S wave cross-correlation where the correlation coefficient is above 0.6. B) Example: characteristic noise correlation. These correlations were manually removed from the dataset



eltávolítottuk az adathalmazból. Ennek következtében a kezdetben 1280 db 0,6-os koeficiensnél nagyobb korrelációból 940 db maradt, amelyet felhasználtunk a megoldáshoz. Az így kapott differenciális időket hozzáadtuk a hypoDD bemeneti adatrendszerhez, ezzel elérve a legmagasabb minőségű adatbázist.

## 12. Relokalizáció végeredménye

A keresztkorrelációból származó differenciális idők elsődleges súlya a korrelációs koeficiensük. A kombinált adatrendszeren 25 iterációt hajtottunk végre, melyek két nagy csoportra bonthatók. Az első 10 iterációnál az ismételt fázis-



**8. ábra** | Hipocentrumok térképi nézetei (felső sor), D–É mélységszelvényei (középső sor), NY–K mélységszelvényei (alsó sor) ismételt fáziskimérések, valamint hullámforma-korreláció után. A) Kövesligethy Radó Szeizmológiai Observatóriumban rutinszerűen meghatározott hipocentrumok, B) a Gráczer-féle 1D-s sebességmodellel számított abszolút hipocentrumok hypoDD-megoldásai, C) a Gráczer-féle 1D-s sebességmodellel számított abszolút hipocentrumok hypoDD-megoldásai a differenciális időikkel. A színskála a fészekmélységeket, a csillag a főrengést jelöli

**Figure 8** | Hypocentres in map view (upper row), S–N sections (middle row), W–E sections (bottom row) after repicking phase arrival times, and waveform cross-correlation. A) Routinely determined hypocentres by Kövesligethy Radó Seismological Observatory, B) hypoDD solutions (the initial hypocentres were calculated with the Gráczer 1D velocity model), C) hypoDD solutions (the initial hypocentres were calculated with the Gráczer velocity model) with differential times. Hypocenters are colored according to focal depth, the mainshock is indicated with a black star



**1. táblázat** A hypoDD-megoldások átlagos  $2\sigma$  hibái (95%-os konfidenciaszint)  
**Table 1** Mean  $2\sigma$  errors of the hypoDD solutions (95% confidence level)

	HNSB (Gráczer) (km)	Megismételt kimérések (Gráczer) (km)	Hullámforma-korrelációval (km)
$x$	49,4296	12,0161	0,2406
$y$	51,874 0	19,8953	0,3798
$z$	61,8297	13,6286	0,3233

kimérésekkel létrehozott adatrendszer kap nagyobb szerepet, mivel nincs minden állomásra differenciális időadat, így az összes adat felhasználása érdekében azok a kimérések dominálnak, amelyek esetén a P és S fázisbeérkezések rendre 1,0 és 0,5 súlyt kaptak ellentétben a differenciális időkkal, melyekhez 0,01 súlyt rendeltünk. A 10–25. iterációnál a súlyok megfordultak, és a keresztkorrelációval létrehozott adatrendszer van nagyobb súllyal figyelembe véve. Mivel feltételezhetjük, hogy a keresztkorrelált S beérkezések pontosabbak, mint a manuális kimérések, ezért ez már nem csak 0,5-ös súlyt kap, hanem 1,0 súlyt, remélve, hogy tovább pontosítja az eddigi eredményeket.

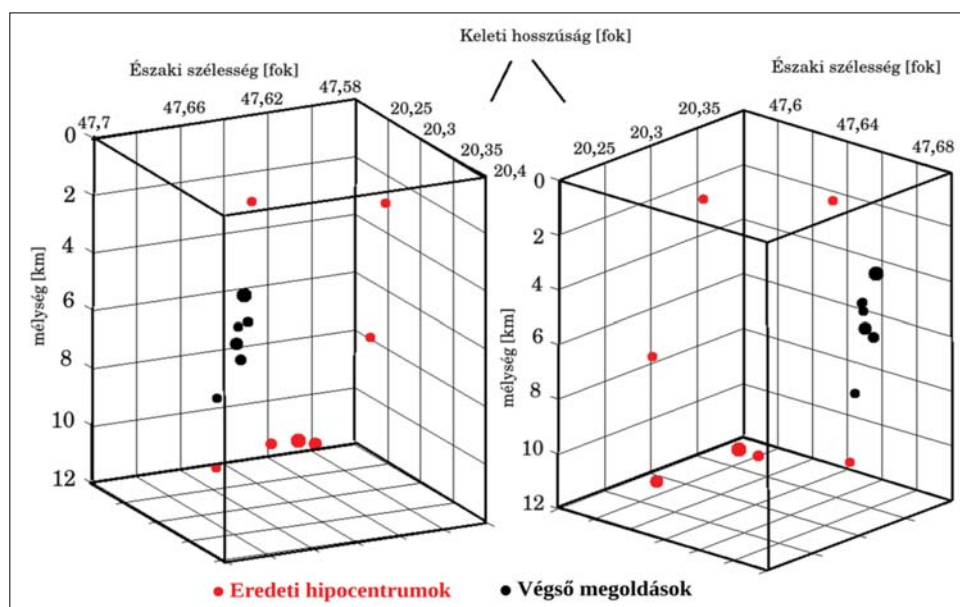
A végső megoldás térképi nézete a 8. ábra C oszlopában látható. A földrengések –várákozásainknak megfelelően – kis térrészre koncentrálnak, az epicentrumok a 47,674–47,681 szélességi fokok között helyezkednek el. Egyetlen eseményt leszámítva a hypoDD egy csoportba lokalizálta a földrengéseket. Az események elrendeződése a D–É, NY–K szelvényeken már egyszerű hypoDD-futtatásnál is sokat javult, a mélységbeli eloszlás viszont jelentősen megváltozott a korreláció után. A hipocentrumok 10–23 km-es mélységek helyett 3–8 km között oszlanak el. A végső megoldásban a csillaggal jelölt főrengés a legké-

lyebb esemény a sorozatban. A hypoDD keresztkorreláció nélküli eredményével (8B. ábra) összehasonlítva látható a keresztkorreláció elvégzésének fontossága, a pontosított adatok jelentősége a relokalizáció folyamatában. A többeseményes helymeghatározás során a végeredményben szereplő szeizmikus események száma 12-ről 7-re csökkent. Ez főleg annak köszönhető, hogy amikor az egyes iterációk során a földrengések új hipocentrum-koordinátái a felszín felé kerülnek, a program nem rögzíti egy felszíni pontra, hanem elveti azokat az adathalmazból, és a maradék eseményekkel számol tovább.

Az eltérő adathalmazok felhasználásával az egyenletrendszer megoldásaiból származó formális hibák nagyságát az 1. táblázat tartalmazza. A végső megoldás esetén a fázisok megismételt kimérésének, valamint a hullámforma-korrelációs eljárásnak köszönhetően (kimérési hibák eliminálása) az egyenletrendszer megoldásából származó hiba mértéke szignifikánsan csökkent a kezdeti értékekhez képest.

### 13. Következtetések

Sikeresen elvégeztük a bemutatott földrengéssorozat hipocentrumainak meghatározását a kettős differencia al-



**9 ábra** Összehasonlító 3D-s ábrázolása az eredeti, rutinszerűen meghatározott hipocentrumoknak (piros), valamint a többeseményes helymeghatározás végső megoldásai (fekete). A gömbök térfogata arányos a magnitúdó nagyságával  
**Figure 9** Comparative 3D view of the final solutions. The red balls represent the original hypocenters, while the black balls the selected and the relocated ones. The volume of the balls is proportional to their magnitude



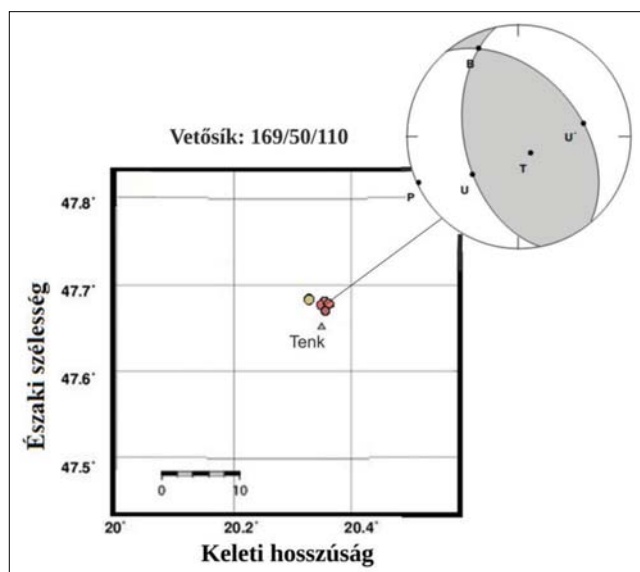
2. táblázat | A főrengés különböző fészekmechanizmus-megoldásai (Wéber 2015, ISC Bulletin 2014)  
Table 2 | Focal mechanism solutions of the mainshock (Source: Wéber 2015, ISC Bulletin 2014)

Dátum	Idő	Csapásirány (°) (0–360°)	Dőlés (°) (0–90°)	Csúszásirány (°)	Forrás
2013.04.22	22:28:46	319/169	44/50	68/110	Wéber Zoltán, KRSZO
		304/142	62/29	81/107	USGS NEIC
		331/126	44/49	72/107	MED_RCMT
		142	53	84	HNSB

goritmussal. Az eredmények minden bemutatott lépéssel javultak, összehasonlítva az eredeti, rutinszerűen meghatározott hipocentrumokkal. Számos hasonló esettanulmány, tudományos cikk található (pl. Békési et al. 2017), azonban ezek főleg jóval több eseményből álló vagy nagyobb magnitúdóval rendelkező földrengéssorozatokat mutatnak be, kedvezőbb geometriával elhelyezkedő szeizmológiai állomásokkal. Az általunk használt földrengéssorozat 30 eseményből áll, melyből az iLoc abszolút helymeghatározó algoritmus futtatása után mindössze 12 esemény maradt, de látható, hogy a módszer ekkor is eredményesen használható a lehető legjobb adatminőség biztosítása esetén. Egyértelmű javulást értünk el a hipocentrumok paramétereiben, a hiba mértékét csökkentettük (9. ábra).

Az eredmények továbbá megmutatják, hogy:

- a globális ak135 modell nagy hibával terhelt megoldást eredményez a régióra nem illeszkedő sebességstruktúra következtében,
- a fáziskimérések ellenőrzése szükséges lépés az adatok előkészítésénél, az adatok pontosítása láthatóan nagy hatással van a relokáció végeredményére,



10 ábra | A végeredmény segítségével valószínűsített fészekmechanizmus-megoldás

Figure 10 | The probable valid focal mechanism solution based on our locations

- a hullámforma-korrelációs eljárás következtében a bizonytalan vagy kimérés nélkül hagyott S fázis beérkezési javultak, ezáltal az eredmény megbízhatósága nőtt.

A bemutatott eseménysorozat tenki főrengésének fészekmechanizmus-megoldására több eredmény is született, melyeket a 2. táblázat mutat be.

A 2. táblázatban szereplő csapásirány/dőlés/csúszásirány (*strike/dip/rake*) értékpárok két síkot közölnek. A momentumtenzor-megoldások esetén nem dönthető el, hogy melyik a vetősík és a segédsík, erre csak a jelenlegihez hasonló utórengés tanulmányokból következtethetünk, ezáltal lehetőséget kapva a recens feszültségviszonyok jobb tanulmányozására, a tektonikus kéregmozgások természetének megismerésére.

A végeredményünkben szereplő hipocentrum-paraméterekre legkisebb négyzetes illesztéssel a legjobban illeszkedő sík dőlésszöge (*dip*) 58°, míg a csapásiránya (*strike*) 223°. Az általunk kapott dőlésszög, valamint csapásirány Wéber Zoltán megoldásától tér el legkevésbé. A dőlésszögbeli eltérés 8°, csapásirány esetén 54°, az utóbbi hibája viszont a hipocentrumok térbeli tömörülésének következtében meglehetősen nagy. Ezzel az eredménnyel valószínűsíthetjük, hogy a 169° csapásirányszöggel (*strike*), 50° dőlésszöggel (*dip*), 110° csúszásirányszöggel (*rake*) jellemzett sík az elmozdulás vetősíkja (10. ábra).

## Köszönetnyilvánítás

Az esettanulmányhoz szükséges adatokat, támogatást, megfelelő szoftverkörnyezetet az MTA CSFK GGI Kövesligethy Radó Szeizmológiai Observatórium biztosította. Köszönettel és hálával tartozunk Galsa Attilának és Timár Gábornak alapos lektori tevékenységükért, számos észrevétellel, javaslattal és pontosítással járultak hozzá a kézirat színvonalának emeléséhez.

## A tanulmány szerzői

Czece Barbara, Süle Bálint, Bondár István

## Hivatkozások

Békési E., Süle B., Lenkey L., Lenkey-Bogér Á., Bondár I. (2017): Double-difference relocation of the 29 January 2011  $M_L$  4.5 Oroszlány earthquake and its aftershocks and its relevance to the rheology of the lithosphere and geothermal prospectivity.



- Acta Geod. Geophys., 52, 229–242, doi: 10.1007/s40328-017-0195-7
- Billings S. D., Sambridge M. S., Kennett B. L. N. (1994): Error in hypocenter location: picking, model, and magnitude dependence. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 84, 1978–1990
- Bondár I., McLaughlin K. (2009a): A new ground truth data set for seismic studies. *Seismological Research Letters*, 80/3, 465–472
- Bondár I., McLaughlin K. (2009b): Seismic location bias and uncertainty in the presence of correlated and non-Gaussian travel-time errors. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 99/1, 172–193
- Bondár I., Myers S. C., Engdahl E. R. (2014): Earthquake location. In: *Springer Encyclopedia of Earthquake Engineering*, Beer M., Kougoumtzoglou I. A., Patelli E., Au I. S. K. (eds.). Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, doi:10.1007/978-3-642-36197-5\_184-1
- Bondár I., Storchak D. (2011): Improved location procedures at the International Seismological Centre. *Geophysical Journal International*, 186/3, 1220–1244
- Geiger L. (1910): Herbsetimmung bei Erdbeben aus den Ankunftszeiten. *K. Gessell. Wiss. Goett.* 4, 331–349
- Geiger L. (1912): Probability method for the determination of earthquake epicenters from the arrival time only. *Bull. St. Louis Univ.* 8, 60–71
- Gráczér Z. (szerk.), Czifra T., Győri E., Kiszely M., Mónus P., Süle B., Szanyi Gy., Tóth L., Varga P., Wesztérgom V., Wéber Z., Zsíros T. (2014): *Magyar Nemzeti Szeizmológiai Bulletin 2013*, Kövesligethy Radó Szeizmológiai Observatórium, MTA CSFK GGI, Budapest, 466 pp.
- Gráczér Z., Wéber Z. (2012): One-dimensional P-wave velocity model for the territory of Hungary from local earthquake data. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 47/3, 344–357
- Havskov J., Ottemöller L. (2009): *Processing earthquake data*. Universitetet i Bergen, p. 67
- International Seismological Centre, On-line Bulletin, <http://www.isc.ac.uk>, Internatl. Seismol. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2014
- Kennett B., Engdahl E., Buland R. (1995): Constraints on seismic velocities in the Earth from traveltimes. *Geophysical Journal International*, 122/1, 108–124
- Kværna T. (1996): Time shifts of phase onsets caused by SNR variations. *NORSAR Sci. Rep.* 2-95/96, 143–152
- Paige C. C., Saunders M. A. (1982): LSQR: An algorithm for sparse linear equations and sparse least squares. *ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS)*, 8/1, 43–71
- Pavlis G. L. (1986): Appraising earthquake hypocenter location errors: a complete, practical approach for single-event locations. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 76, 1699–1717
- Waldhauser F. (2001): hypoDD – A program to compute double-difference hypocenter locations. *Usgs Open-file Report*
- Waldhauser F., Ellsworth W. L. (2000): A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the northern Hayward fault, California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 90/6, 1353–1368
- Wéber Z. (2015): Probabilistic waveform inversion for 22 earthquake moment tensors in Hungary: new constraints on the tectonic stress pattern inside the Pannonian basin. *Geophysical Journal International*, 204/1, (1 January 2016), 236–249



# Az MIT Geofizikai Analizáló Csoportjának tevékenysége 1954 után\*

TREITEL, S.



Az MIT Geofizikai Analizáló Csoportja (GAG) alapozta meg az ún. „digitális forradalmat” a szeizmikus kutatásban. Enders Robinson ebben a számban követi nyomon a GAG történetét a kezdetektől 1954-ig; a történet itt folytatódik a GAG fejlődésének következő szakaszával, egészen a csoport működésének 1957-i befejezéséig. De ez még csak a kezdet volt – az új digitális technológia az 1960-as és 70-es években világszerte elterjedt az olajiparban és annak kiszolgáló ágazatában, lehetővé téve egyre kifinomultabb szeizmikus adatfeldolgozó eljárások kifejlesztésére, amelyek véglegesen átrajzolták a geofizikai kutatás térképét.

## Treitel, S.: The MIT Geophysical Analysis Group (GAG): 1954 and beyond

The MIT Geophysical Analysis Group (GAG) laid the groundwork for the so-called “digital revolution” in exploration seismology. Enders Robinson traces in this issue GAG’s history from its earliest days till 1954; here, the story continues with GAG’s subsequent evolution until its end in 1957. But that was just the beginning during the 1960s and 1970s, the new digital technology spread throughout the oil and service industries worldwide, making it possible to develop progressively more sophisticated seismic processing and imaging algorithms that permanently changed the landscape of geophysical exploration.

## Bevezetés

Tudományos továbbképzésem az MIT Geológiai és Geofizikai Tanszékén kezdtem 1953 szeptemberében. Az ősz folyamán demonstrátori állást kínáltak fel az ásványtani laboratóriumban, és 1954-ben a tavaszi szemeszter kezdetén beléptem a GAG szervezetébe. Jól hangzana, ha azt állítanám, hogy már addig is szenvedélyes érdeklődést tápláltam a geofizikai idősor-analízis iránt, azonban mi sem állna távolabb az igazságtól. Egyszerűen oda igyekeztem, ahol

kisegítőként alkalmazhattak. Mielőtt a GAG rendes tagja lettem volna, tanácsadóm arra ösztökölt, hogy végezzek el egy bevezető tanfolyamot az idősor-analízis témájában, amelynek Enders Robinson volt az előadója. Szerencsére úgy történt, hogy Enders a szemesztert éppen az ásványtani laboratórium előadás-sorozatába jegyezte be, ahol én voltam a demonstrátor. John Burg (később a maximum entrópiaspektrum által vált híressé) is tagja volt az osztálynak. Mindketten dícséretes erőfeszítéseket tettünk, hogy ébren maradjunk, bár ez nem mindig sikerült.

\* Az alábbi cikket eredetileg a *Geophysics* közölte 2005-ben: *Geophysics* 70(4), 2005. július, 31JA–35JA, doi: 10.1190/1.1993707. Tudománytörténeti jelentősége miatt adjuk közre most magyarul is Kovács Béla fordításában. A *Magyar Geofizika* szerkesztősége 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 2005; pp. 31JA–35JA, doi: 10.1190/1.1993707. 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.



Amint beléptem a GAG-ba, rögtön Steve Simpson szárnyai alá kerültem, aki átvette az igazgatói hatáskört miután Enders megkapta PhD-fokozatát 1954 tavaszán. Steve tanított meg az MIT Whirlwind számítógépének programozására, és első feladatomban egy sor algoritmus kódolása volt, amelyeket az MIT statisztikusa, J. G. Bryan dolgozott ki annak a feltevésnek az igazolására, hogy egy idősor stationárius. Akkoriban a Whirlwind memóriája (vagy „mágnesgyűrűs tárolója”, ahogy nevezték) 1024 16 szavas címezhető memóriarekeszt tartalmazott, ezt később növelték a bőségesnek mondható 4096 ilyen tárhelyre. Szerencsére az Enders által a Robinson-cikkben (2005) említett algebrai fordítóprogram akkor már használatban volt. Még így is fényévekre voltunk attól, ami ma természetesnek számít. Mivel a Whirlwind a U.S. légierő légvédelmének kezelésében volt, a katonai személyzetnek természetesen elsődleges hozzáférése volt a géphez, a polgári felhasználók részére pedig az éjszakai műszak állt rendelkezésre. Még az is szerencsének számított, ha valaki naponta egyszer hozzájutott a géphez. Napok telhettek el egy közös kódhiba felfedezéséig. Másrészről viszont a Barta-épület, amelyben a Whirlwindet elhelyezték az MIT néhány légkondicionált épületének egyike volt; a bostoni forró nyári hónapok alatt a működésképtelen programokkal járó elkeseredést elviselhetőbbé tette a légkondicionálás komfortja.

A szponzorok által biztosított szeizmogramok természetesen papírregisztrátumok voltak, és kézi úton végzett digitalizálást igényeltek, ami aprólékos, terhes és fárasztó munka volt. Valamilyen megfontolásból mintavételi időköznek 2,5 ms-ot választottak; vonalzó és nagyító használatával a digitalizálást még valahogy el lehetett viselni.

A GAG az MIT legendás 20-as épületének (1. ábra) 20E 222-es termében nyert elhelyezést. Az „ideiglenes” kaszárnyaszerű épület, amelyet 1943-ban, a 2. világháború alatt húztak fel, sok hírességnek vagy hamarosan híressé váló lakójának otthona volt. Norbert Wiener alkalmi látogatóként tűnt fel néha a sivár folyosókon. Korábbi tanítványának és sokáig munkatársának, Y. W. Leenek itt volt az irodája, ahogy a matematikus Manuel Carillonak is. Ők a nyeregpontri integrálás módszerével foglalkoztak. Az MIT elektronikai kutatólaboratóriuma és akusztikai laboratóriuma néhány lépésre volt tőlünk, így gyakran beszélgettem az ottani rendes és végzett hallgatókkal, hogy megtudjam, mivel foglalkoznak. Az épület elhanyagolt állapotban volt, gyakori meghibásodásokkal. Egy alkalommal Steve Simpson a GAG helyiségeinek kifestését határozta el, és kik értettek volna jobban az ecsetekhez, mint mi, végzett hallgatók – az olcsó munkaerő, amely kéznél volt.

Ami az anyagiakat illeti, pénzügyi helyzetünk annyira szűkös volt, hogy egy időben mi hallgatók valamennyien csupán egyetlen frakkinget és nyakkendőt mondhattunk magunkénak, ezt vettük fel, ha valakinek meghallgatásra kellett mennie állásügyben. Enders elmondta nekem, hogy az 1960-as években a Vela-Uniform projekt (lásd alább) idején végig ugyanazt a kirojtosodott inget és nyakkendőt használtuk. A GAG 11 jelentést állított össze működésének egész ideje alatt, viszont takarékoskodás miatt a hallgatók válogatták össze a lapokat, amelyeket egy nagy asztalon adtak körbe, amíg a jelentések másolatai összeálltak.

Fennállásának ideje alatt 18 végzett hallgató volt a GAG alkalmazásában. Közülük azonban csak hárman folytattuk a munkát a geofizikai idősorokkal, miután elhagytuk az



1. ábra. Az MIT 20-as épülete, közvetlenül az 1998-as lebontása előtt

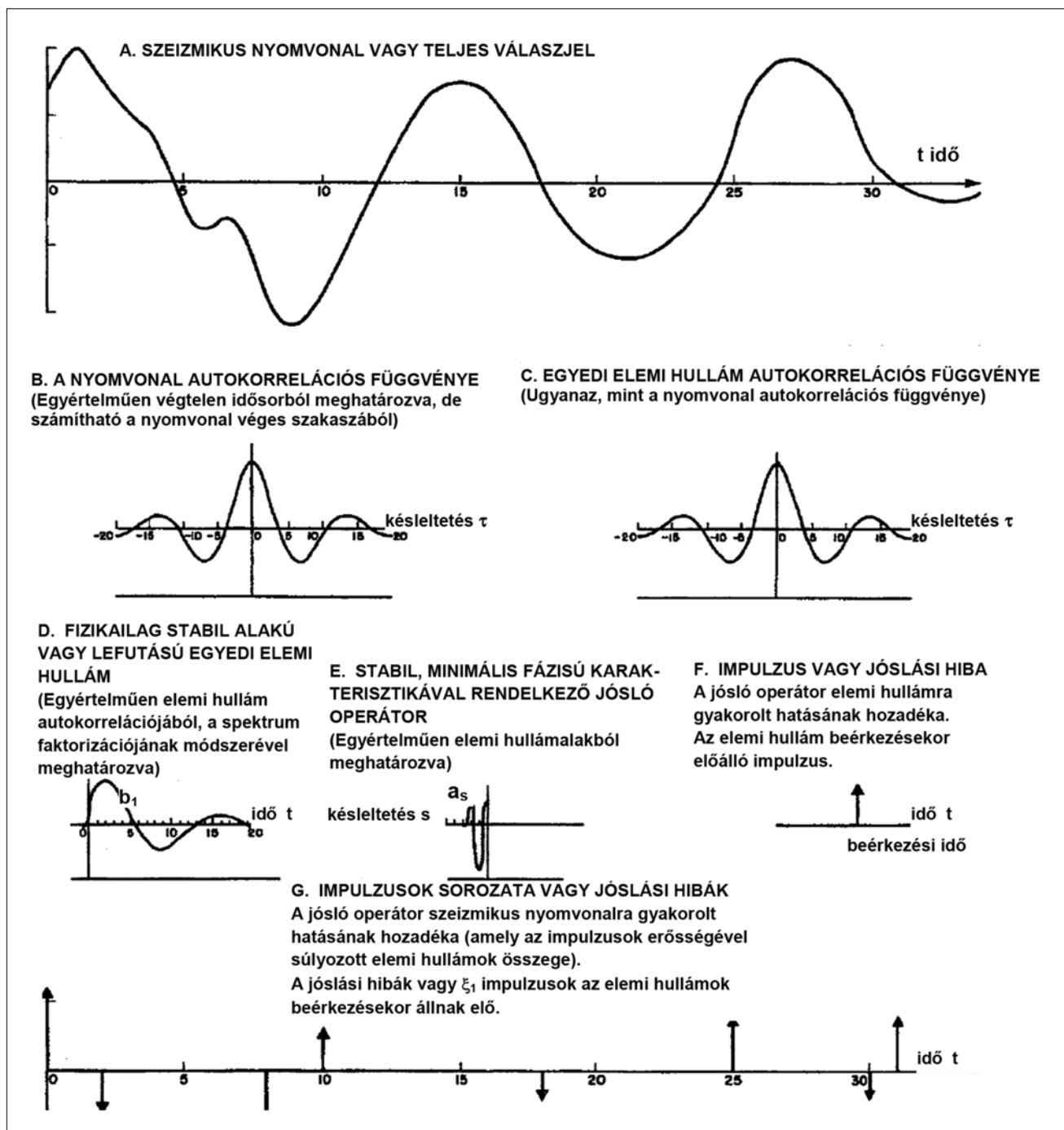


MIT-t: Mark Smith, Enders Robinson és jómagam. Freeman Gilbert, aki velünk volt 1953-tól 1957-ig, és később a geofizikai inverzió elméletének megalapozásával szerzett magának hírnevet, szintén a GAG-nál kezdte pályafutását. Mark Smith 1954-ben a Geophysical Services Inc.-hoz (GSI) távozott, és elősegítette a GSI átállítását a digitális szeizmika rendszerére. Milo Backus is az MIT végzett hallgatója volt, és szintén kulcsszerepe volt ebben a folyamatban, miután 1956-ban belépett a GSI-hoz. Amikor már nem volt a GAG tagja, gyakori „vendégként”

látogatott el a 20-as épületbe, és tájékozódott dolgaink felől.

## A GAG szakmai öröksége

Ma általánosan elfogadott vélemény, hogy a GAG indította el a digitális forradalmat a szeizmikus kutatásban. A GAG erőfeszítései valóban a digitális jelfeldolgozás legkorábbi sikeres alkalmazásai között voltak. Enders cikke (Robinson 2005) a GAG serdülőkori nehézségeinek hű képét



2. ábra. Szeizmikus nyomvonal elemzése jósló operátorral. Enders Robinson PhD-disszertációjának 13. ábrája. A dolgozat után nyomása 1967-ben jelent meg a Geophysicsben



mutatja be. A GAG 1954 július 12-én jutott a csúcra, amikor megjelent 7. jelentése az „Idősorok prediktív dekompozíciója és ennek alkalmazásai a szeizmikus kutatásban” címmel. Ez teljes terjedelmében tartalmazta Enders PhD-disszertációját, amelyet a Geológiai és Geofizikai Tanszékhez nyújtott be. Amit Enders elvégzett, azt összegezve a disszertáció kivonatának első bekezdéséből kiemelt alábbi idézet fejezi ki: „Ez a dolgozat értelmező módon mutatja be a nem folytonos stacionárius idősorok Cramér, Doob, Khintchine, Kolmogorov, Wiener, Wold, Yule és mások által kidolgozott elméletének kezelését. Fő témakörének tárgya a stacionárius idősorok prediktív dekompozícióját magában foglaló koncepció kidolgozása, az alkalmazások szempontjainak figyelembe vételével. Hermann Wold prediktív dekompozíciós tétele azt állítja, hogy egy stacionárius idősor (abszolút folytonos spektrumeloszlással) a folyó idővel beérkező számos egymást átfedő elemi hullám vagy impulzus összeadásának képződménye. Ezek az elemi hullámok ugyanazt a stabilis egyedi lefutást és jelformát mutatják; az elemi hullámok beérkezési ideje és erőssége véletlenszerű, nincs összefüggés közöttük”. A szeizmikus idősoroknak vagy nyomvonalaknak ez a modellje az iparágban ekkor már teljesen elfogadott volt. Azóta csak annyi változás történt, hogy „prediktív dekompozíció” helyett „prediktív dekonvolúció” mondunk. Ez a disszertáció sok későbbi fejlemény alapját képezte; kiválóan megírt tartalmasságát ugyanolyan helytálló, mint amilyen 50 évvel ezelőtt volt. A 2. ábra a *Geophysics* 1967. júniusi számából (Robinson 1967) kiemelt kép, ebben a számban található Enders disszertációjának megismételt közlése. Az ábra felvázolja a prediktív dekonvolúció alapjait, ahogyan azokat ma ismerjük.

A GAG hátralevő három éve alatt jelentős kutatómunka folyt lineáris legkisebb négyzetes egysatosítás és többsatosítás operátorok szerkesztésére zaj jelenlétében. Ebben az időben végeztük el a stabil inverz szűrők kidolgozásának alapozó munkáit, továbbá tisztáztuk a digitális szűrő fizikai megvalósíthatósága és annak stabilitása közötti kapcsolatot. Nagy figyelmet fordítottunk a szeizmikus zaj különböző fajtáinak tulajdonságaira, keletkezésére és kezelésére. A véletlenszerű és a koherens zaj közötti alapvető különbségek jobb megértése vezetett a többszörösök elnyomására szolgáló legkisebb négyzetes szűrők kezdeti kidolgozásához.

1957 elejére a projekt kezdett kifulladásra. Mint akinek utólag könnyű okosnak lenni, megállapíthatom, hogy alighanem túlságosan nagy figyelmet fordítottunk az idősoranalízis rejtettebb statisztikai jellegzetességeire, ahelyett, hogy a valóságos szeizmogramokkal foglalkoztunk volna. Ugyanakkor csak néhány szponzoráló vállalat személyi állományában voltak olyanok, akik megértették a GAG szakmai kezdeményezéseit, így az iparág részéről érkező égetően szükséges útmutatás hiányzott. A GAG-nál senki sem rendelkezett jelentős ipari tapasztalattal. Néhány szponzor ekkor már visszalépett, és 1957 júniusára a GAG megszűnt. Érdemes megemlíteni, hogy ez a lecke nem volt hatástalan iparágunk későbbi társulásaira: a GAG túlélői megszív-

lelik azok útmutatásait, akik megtanulták, hogy az újító tudományban mennyire fontos a tényleges adatokhoz való ragaszkodás és minden hasznosítható eredmény kiaknázása.

## A GAG utóélete: az MIT Vela-Uniform projektje

Legjobb tudomásom szerint négy év telt el a GAG megszűnése és a digitális szeizmikus jelfeldolgozás iránti érdeklődés újjáéledése között. Steve Simpson 1961-ben – akkor még az MIT tantestületének kezdő tanáraként – a U.S. Légierőtől a Vela-Uniform projekt révén anyagi támogatáshoz jutott, ami lehetővé tette számára, hogy új kutatási programot indítson a föld alatti kísérleti atomrobbantások kimutatására szolgáló technológia új igényként felmerült kifejlesztésére. Miközben az új projektben a hangsúly eltolódott az atomfegyver-ellenőrzés felé, a Simpson által szorgalmazott eljárások egyenes folytatásai voltak a GAG idejében végzett munkának. Tény, hogy az induló projekt a 20-as épületben talált otthonra ugyanabban a 20-E-222-es szobában, amely a korábbihoz képest még siralmasabb állapotban volt. A projekt négy évig tartott, és 1965-ben fejeződött be. Enders, aki abban az időben a Wisconsin Egyetemen tanított, a projektben tanácsadóként jutott szerephez. Az új megoldások kidolgozására irányuló munka az egy- és többsatosítás sztochasztikus rendszerekhez és az atomrobbantások kimutatására szolgáló szeizmikus észlelési elrendezésekhez kapcsolódott. Számítógépes szempontból két igen jelentős áttörés következett be ezekben az években. Enders és Ralph Wiggins az egysatosítás Wiener-Levinson-algoritmust kiterjesztette a többsatosítás esetre, Steve Simpson pedig kidolgozott egy Wiener-Levinson-típusú eljárást, amely a fokozatosan késleltetett kívánt kimenetekhez az optimális szűrők számításának nagy hatékonyságú módját biztosította (ezt nevezték „oldalról” közelítésnek).

A Vela-Uniform projektben részt vevő végzett hallgatók névsora tartalmaz néhány nevet, amelyek a „ki kicsoda a geofizikában” is szerepelnek: Jon Clearbout, a Stanford Exploration Project (SEP) alapítója; Ralph Wiggins, aki most az értékpapír-üzletágban dolgozik New Yorkban; Carl Wunsch, jelenleg az oceanográfia professzora az MIT-nél; és Jim Galbraith, aki kivételes karriert futott be a Mobilnál.

## A GAG utóélete: Enders Robinson és Sven Treitel együttműködése

Miután 1958 júniusában az MIT-től megkaptam a PhD-fokozatomat, a geofizikai kutatásban kaptam állást a kubai Havannában, a Chevron vállalatnál. Minthogy a GAG 1957-ben megszűnt, és egy disszertációval, amely az idősorokkal foglalkozott, nem lehetett mit kezdeni, munkámat illetően a veszteséges közegben való hullámterjedésnél kötöttem ki. Mindjárt 1959 elején Fidel Castro jutott uralomra, és a U.S. olajvállalatokat hamarosan nemkívánatos-



nak nyilvánították. Egy évvel később beléptem a Pan American Petroleum vállalat (később Amoco néven vált ismertté) tulsai kutatási központjába. A geofizikai kutatás igazgatója akkor az a Dan Silverman volt, aki a GAG teljes ideje alatt a Tanácsadó Bizottságot vezette. Miután kilátástalan harcot folytattam a rétegzett közeg egyenámra adott válaszával, arra emlékeztettem Dant, hogy a GAG tevékenységéből sok minden maradt hátra befejezetlenül, és ebben óriási lehetőségek vannak egy olajvállalat számára. Mivel a tudományos életben egyesek elszigetelődhetnek (én ugyan nem tartozom közéjük), rávettem Dant, hogy hívja meg Enderst félállású tanácsadónak. Enders ekkor Svédországban, az Uppsalai Egyetemen tartózkodott, és még évtizedekre voltunk az e-mailtől. Miután Enders néhány látogatást tett Tulsában, belekezdünk egy közös projektbe azzal a céllal, hogy a korábbi GAG eredményeket adaptáljuk egy olajvállalat igényeihez, és kidolgozzunk egy Fortran-alapú szoftvert a jelfeldolgozás elméletének könnyű megvalósítására. Ennek során orvosolni tudtunk egy olyan fogyatékoságot, amely a GAG jelentésekben mutatkozott: írásmódjuk gyakran érthetetlen volt az alkalmazott geofizikusok számára. A terv az volt, hogy belső használatra szánt jelentéssorozat készül eléggé alapszinten, amely önképzés eszközeként használható fel. Elképzelésünk nagyon sikeresnek bizonyult. Néhány éven belül több jelentésünk megjelent a *Geophysics*-ben és más, jelfeldolgozásra orientált folyóiratokban. Ugyanakkor kidolgoztuk a kísérő szoftvert is, főként a jól dokumentált Fortran szubrutinok formájában. Idővel ezek a programok képezték az Amoco korai szeizmikus feldolgozórendszerének alapját. Úgy tudom (személyes értesülés Paul Glutowskytól, 2005), hogy ezek a prehisztórikus szubrutinok nyomokban még mindig fellelhetők a BP jelenlegi programrendszerében.

Együttműködésünk első fázisa mintegy 3 évig tartott (1962–1965). Közös kutatómunkánk második időszaka 1974-től az 1980-as évek közepéig foglalt le minket. Kapcsolattartásunk kizárólag légipostai levélváltásokra korlátozódott. Egymás kézzel írott leveleinek vétele közötti egyhetes időközök még előnyt is jelentettek, mivel ez a késés lehetőséget adott a válaszadás előtti gondolkodásra. Ez a kényelem a késedelem nélküli kommunikáció mai korában nem mindig adatik meg. Emlékszem arra is, hogy városunk közhivatalának egyik könyvelője felhívott azzal, hogy ő úgy látja, a vállalatnak nem kellene légipostára költenie levelezésünk lebonyolításához; ehelyett a felszíni posta eszközeként a Svédországba közlekedő hajójáratot ajánlotta. Meggyőztem őt, hogy most az egyszer indokolt a költségek csökkentése.

Ebben az időszakban Dan Silvermann és utódja, Sam Martner lelkes támogatásában részesültünk. Nem kellett foglalkoznunk merev rendszabályokkal, a projektértékelés és ellenőrzés előírásaival vagy kőbe vésett célkitűzésekkel. Megbízatásunk a jelfeldolgozás hosszú távú kutatására és erőfeszítéseink eredményének felmérésére szólt. A mai eredménycentrikus iparosodott világban csaknem elképzelhetetlen, hogy valaki ragaszkodni tudjon saját elképzeléseihez, bárhová is vezessenek azok.

Első közös cikkünket „A digitális szűrés alapjai” címmel 1962-ben a *Geophysics*-hez nyújtottuk be, és elutasították. A folyóirat szerkesztője, F. A. van Melle („Van”) úgy találta, hogy cikkünk a szakavatottaknak túl egyszerű, a kevés gyakorlattal rendelkezőknek pedig túl bonyolult. Miután véleményt cseréltünk Vannal, meggyőztük őt, hogy munkánk valójában mindkét igényt kielégíti. Közlésére 1964-ben került sor, és a következő évben elnyerte a SEG Legjobb Cikké díját. Ez volt a kezdete Vannel ápolt sokéves barátságunknak is.

A sokat emlegetett digitális forradalom lendületet adott a geofizikai kutatásoknak az 1960-as évek elején és közepén. Ekkor számos jelentős olajvállalat és a szeizmikus kutatások néhány vezető vállalata lépett sorompóba. Közben sok mindent nem tártak a nyilvánosság elé, mindamellett kulcsfontosságú cikkek jelentek meg a *Geophysics*-ben, amelyek szerzői között említést érdemel John Sherwood a Chevrontól (Sherwood és Trorey, 1965), Bob Rice a Marathontól (Rice, 1962), Manus Foster, Bob Sengsbush és Bob Watson a Mobiltól (Foster et al., 1964), továbbá Norm Neidell és Turhan Tanel a Gulf R&D-től (Neidell és Taner, 1971). A szeizmikus kutatóvállalatok közül a GSI és anyavállalata, a Texas Instruments megépítette a Texas Instruments Automatic Computer (TIAC) néven ismertté vált számítógépet. Ez a 15 000 tranzisztort tartalmazó gép volt az első, amelyet kimondottan szeizmikus kutatások céljára alakítottak ki. Kifejlesztéséhez két nagy olajvállalat (a Mobil és a Texaco) is támogatást nyújtott. Viszonyképpen ezeknek a vállalatoknak két évre szóló kizárólagos használati joguk volt a TIAC által biztosított technológiához (Bob Graebner személyes közlése, 2005). Mark Smith, aki korábban a GAG-nál volt, megalakított egy jelfeldolgozó kutató-fejlesztő csoportot, amelyet aztán az MIT-n végzett Milo Bachus vezetett. Ez a csoport gondoskodott a TIAC szoftverének kifejlesztéséről. Bob Graebner véleménye szerint nem vitatható, hogy a GAG nagy hatással volt ezekre a törekvésekre. A GAG veteránjain kívül nagyjából ugyanebben az időben mások is jeleskedtek ezen a felfutó területen. Közöttük említhető Carl Savit, a Western Geophysicaltől, aki elindította szervezetét a digitális geofizikához vezető úton, és ugyanezt tette Tury Taner és Fulton Koeler is a Seiscomnál.

1964-ben Endersszel együtt azt javasoltuk az SEG ügyvezető bizottságának, hogy közöljék le a *Geophysics*-ben a GAG-jelentések szerkesztett és rövidített változatát. A javaslatunkat elfogadták. A bizottság még külön megbízta Edward A. (Ted) Flinnt, (megh. 1989-ben), az 1967. júniusi szám szerkesztésével, amelyet teljes egészében a GAG anyagaiból szándékoztak összeállítani, mivel úgy gondolták, hogy azok még mindig fontosak a kutatók közössége számára. Az összeállítás teljes terjedelmben tartalmazta Enders PhD-disszertációját (Robinson, 1967) és még két cikket, amelyek a jel-zaj viszony és a beérkezési időkülönbségek átlagolásának kérdéseivel foglalkoznak (Simpson, 1967; Simpson et al., 1967), előfutáraiként annak, amit ma „szeizmikus hasonlóság” néven ismerünk. A kiadványban helyet kapott még J. G. Bryan cikke „Statisztikai vizs-



gálatok idősor stacionaritásának megállapítására” címmel (Bryan, 1967), és tartalmazott két függelék is, amelyek közül az egyik a GAG személyi állományának tagjait sorolja fel, a másik pedig a GAG működésének ideje alatt kibocsátott 11 jelentés címeit és tartalomjegyzékeit ismerteti.

Az 1960-as évek végén Endersszel tucatnyi cikket publikáltunk a *Geophysics*-ben és más folyóiratokban, majd úgy határoztunk, hogy munkáinkat megküldjük az MIT nyomdájának, a geofizikai jelanalízist tárgyaló kötet összeállításának kezdeményezése céljából. Az MIT Geológiai és Geofizikai Tanszékének elnöke azonban közölte a nyomdával, hogy meglátása szerint nincs kereslet egy ilyen kiadvány iránt. Ebben a helyzetben Bob Geyer, aki ekkoriban a Seismograph Service Corp.-nál (SSC) volt alkalmazásban, rávette a cég reklámrészlegét összegyűjtött cikkeink közzétételére „Robinson–Treitel szöveggyűjtemény” címmel. Ez a reprintkötet több kiadást ért meg 1969 és 1973 között, és az SSC ingyenesen terjesztette. Több ezer példány talált gazdára ilyen módon. Az 1970-es évek végén az MIT Villamosmérnöki Tanszékéről A. V. Oppenheim arra bízott minket, hogy forduljunk könyvkiadási javaslattal egy általa szerkesztett Prentice-Hall sorozatban való megjelenéshez. Ennek eredményeként jelent meg 1980-ban közös kötetünk, a *Geofizikai Jelanalízis* (Robinson és Treitel, 1980) és később e könyv utánnomása az SEG kiadásában (Robinson és Treitel, 1980).

Az 1970-es évek elején bontakozott ki az ipar által szponzorált egyetemi társulások „aranykora”. A legsikeresebbek egyike volt a Stanford Exploration Project (SEP), amelyet Jon Claerbout indított el 1973-ban. Az MIT-nél Nafi Toksöz alapította meg az Earth Resources Laboratory (ERL) konzorciumot 1973-ban. Ez a két csoport a mai napig töretlenül folytatja tevékenységét, mint ahogy számosan mások is, az Egyesült Államokban, Kanadában és Európában. Túlzás nélkül állítható, hogy ezek a később alakult tudományos konzorciumok annak a működési módnak a nyomdokába léptek, amelyet először a GAG alapítói alkalmaztak több mint fél évszázaddal ezelőtt.

## Záró megjegyzések

Az MIT keretében működő GAG ösztönözte iparágunkban azt a kutatási koncepciót, amelynek lényeges elemei a mai napig éreztetik hatásukat. Erről tanúskodik a jelentős számú innovatív tudományos konzorcium folyamatos mű-

ködése. A GAG korán felismerhetővé tette számunkra, hogy mit érhetünk el az egyetemi tantestület előrelátó tagjai és az új irányzatokat készségesen és fenntartás nélkül befogadó hallgatók összefogásával. Abban az időben, amikor a legtöbb olajvállalatnál és szolgáltató cégnél háttérbe szorult a kutatás-fejlesztés, a tudományos konzorciumoktól kellett várnunk az új lelőhelyek egyre nehezebbé váló feltárásához szükséges eljárások biztosítását.

## A cikk szerzője

Treitel, Sven

## Hivatkozások

- Bryan J. G. (1967): Statisztikai vizsgálatok idősor stacionaritásának megállapítására. *Geophysics*, 32, 499–511
- Foster M. R., Sengbush R. L., Watson R. J. (1964): Optimum-közei szűrőrendszer tervezése többcsatornás szeizmikus adatfeldolgozáshoz. *Geophysical Prospecting*, 12, 173–191
- Neidell N. S., Taner M. T. (1971): Hasonlósági és más koherencia vizsgálatok több csatorna adatainak felhasználásával. *Geophysics*, 36, 482–497
- Rice R. B. (1962): Inverz konvolúciós szűrők. *Geophysics*, 27, 4–18 (javítások: *Geophysics*, 28, 114)
- Robinson E. A. (1967): Idősorok prediktív dekompozíciója, és ennek alkalmazása a szeizmikus kutatásban. *Geophysics*, 32, 418–484
- Robinson E. A. (2005): Az MIT Adatfeldolgozó Csoportjának tevékenysége a kezdetektől 1954-ig. *Geophysics*, 70, 7JA–30JA
- Robinson E. A., Treitel S. (1964): A digitális szűrés alapjai. *Geophysics*, 29, 395–404
- Robinson E. A., Treitel S. (1980): Geofizikai jelanalízis. Prentice-Hall Inc.
- Robinson E. A., Treitel S. (2000): Geofizikai jelanalízis. SEG
- Sherwood J. W. C., Trorey A. W. (1965): Minimumfázis és az akusztikus síkhullám átvitelének vele összefüggő jellemzői vízszintes rétegzettségű, csillapító hatású átbocsátó közeg esetén. *Geophysics*, 30, 191–197
- Simpson Jr. S. M. (1967): Időben változó jel-zaj viszonyra és jelerősségre végzett számítások. *Geophysics*, 30, 485–493
- Simpson Jr. S. M., Fink D., Treitel S. (1967): A beérkezési időkülönbségek átlagolásának tapasztalatai. *Geophysics*, 32, 494–498



# Egy méltatlanul elfelejtett Eötvös-rokon, Rosti Pál

SZABÓ Z.

E-mail: geo.szabozoltan@gmail.com

**Szabó, Z.: Pál Rosti, an unfairly forgotten relative of Roland Eötvös**

Régóta izgat, hogyan lehetséges, hogy valaki minden családi hagyomány és társadalmi elvárás ellenére a természettudományok olyan fanatikus kutatójává váljék, mint Eötvös Loránd. Utóbbi időkben egyre több emberi jellemzőről derül ki a genetikusan meghatározottság. Az Eötvös-ösök több generáción keresztül a császári és királyi adminisztrációban jeleskedtek és semmilyen különösebb érdeklődést nem mutattak a természettudományok iránt, nem beszélve a Lorándra jellemző kalandvágyról és turistáskodásról. Anyai ágon kutakodva viszont rábukkantam anyai nagybátyjára, Rosti Pálra, akinek nem szokványos életútja alapján feltételezhető, hogy a természet-

tudományokra és a kalandokra érzékenyítő géneket hordozott (1. ábra).

Rosti Pál Békés megyei, nemzeti liberális beállítottságú nemesi család sarja, a családnak Csabacsüd környékén voltak földbirtokai. Apja, Rosty Albert Békés megyei főjegyző, majd alispán a közteherviselés programjának szellemében lemondott nemesi adómentességéről és korát megelőzve jobbjágyaival örökváltsági szerződést kötött. Nagypapja, szintén Rosty Pál és annak féltestvére, Rosty János belekeveredett a Martinovics-féle összeesküvésbe. A nagypapát felmentették, testvérét azonban 3 év börtönre ítélték.

A fiatal, alig 18 éves, ifjú Rosti Pál 1848 novemberében belépett és vitézül harcolt a Károlyi-huszárezredben. Valószínűleg ekkoriban mondott le nevének nemesi „y” végződéséről. A szabadságharc bukása után a várható megtorlás elől sógora, Trefort Ágoston segítségével Münchenbe menekült, ahol beiratkozott az egyetem természettudományi karára, hogy vegytant tanuljon. Egyetemi tanulmányait kisebb megszakításokkal 4 év alatt fejezte be, majd hazatérve a pesti egyetemen folytat további földrajzi és néprajzi tanulmányokat. Ekkor már tudatosan készül későbbi, abban az időben egzotikusnak számító utazására. A felkészülés részeként 1854 végén Párizsba utazik, hogy fotografiai ismereteket szerezzen eljövendő úti élményeinek megörökítése céljából. A műtermekben divatos kollódiumos nedveslemez-eljárással szemben a természetben könnyebben alkalmazható viaszolt papírnegatív eljárást sajátította el, melynek során a papírnegatívot előre el lehetett készíteni, és az előhívást sem kellett azonnal elvégezni. Az eljárás hátránya azonban, hogy hosszú, a fényviszonyoktól függően akár tíz-tizenöt perces expozíciót igényelt, ezért aztán Rosti felvételein nincsenek mozgásban levő tárgyak és alakok. Fotografiai tanulmányai közben fél évet utazgat Angliában, majd 1856 augusztusában az Egyesült Államokba utazik, ahol többek között meglátogatta a Niagara-



1. ábra. Rosti Pál (1830–1874)



vízesést is. Az Államokból 1857 januárjában nagyrészt Alexander von Humboldt 1799–1804 között bejárt útvonalát követve Havannába utazik, majd Venezuela közbeiktatásával Mexikóba, ahol sok egyéb kalandja mellett megmászta a Popocatepetl 5452 m magas csúcsát, sőt egy éjszakát is eltöltött a vulkán 1500 m átmérőjű kráterében. Két esztendei utazgatás után tért vissza Európába, nevezetesen fotográfiai ismereteinek forrásához Párizsba.

Több hónapos párizsi tartózkodása alatt utazási élményeiről – legújabb ismereteink szerint – öt gyakorlatilag azonos fényképalbumot állított össze. 1858. november 1-jén Berlinbe utazott, hogy albumának első példányát átadja a porosz királyi udvarban, a 90 éve ellenére teljes szellemi frissességben élő világhírű természettudós, Alexander von Humboldt bárónak. Rosti ugyanis még úti felkészülése során meglátogatta az idős tudóst, aki számos tapasztalatokkal és ajánlólevelekkel látta el, melyek igencsak hasznosnak bizonyultak utazása során. Természetes volt tehát, hogy bekötött fényképgyűjteményének első példányát neki vitte ajándékba. Humboldt érzelmekkel eltelve szemlélte a felvételeket. A felidézett élményekért és az albumért cserébe az idős tudós átadott Rostinak egy színezett képet, amely őt a dolgozósobájában ülve ábrázolja. A képet az alábbi dedikációval látta el: *Az érdemdús művészetbarátnak, az irányomban oly meleg jóakarattal viseltető magyar utazónak, Rosti Pálnak, bensőséges köszönettel ajánlja a beteg Alexander Humboldt 1858. november 1-én, Berlinben.*

Rosti – hazatérte után – albumának második példányát a Magyar Nemzeti Múzeumnak ajándékozta. A múzeum igazgatójának, Kubinyi Ágostonnak címzett kísérőlevelében az alábbiakat írta: *...több évi utazásomból hazámba visszatérve kötelességemnek tartom annak eredményét amennyire tőlem telik hasznossá tenni, ... Midőn ezen fényképi gyűjteményemet a nemzeti múzeumnak, mint oly intézetnek nyújtom át, mely a tudomány minden ágának terjesztésére alapított, s a közönségnek nyitva áll: azon reménnyel kecsegtetem magam, hogy ezen óhajításomnak a legcélyszerűbben feleltem meg. Jelenleg azon kéréssel fordulok igazgató úrhoz, hogy ezen fényképi gyűjteményemet, mint őszinte szívből tett honfias ajánlatomat a magyar nemzeti múzeum számára elfogadni kegyeskedjék. A Nemzeti Múzeumnak ajándékozott albumát a Nemzeti Casinóban is bemutatta, melyről a Vasárnapi Újság is beszámolt.*

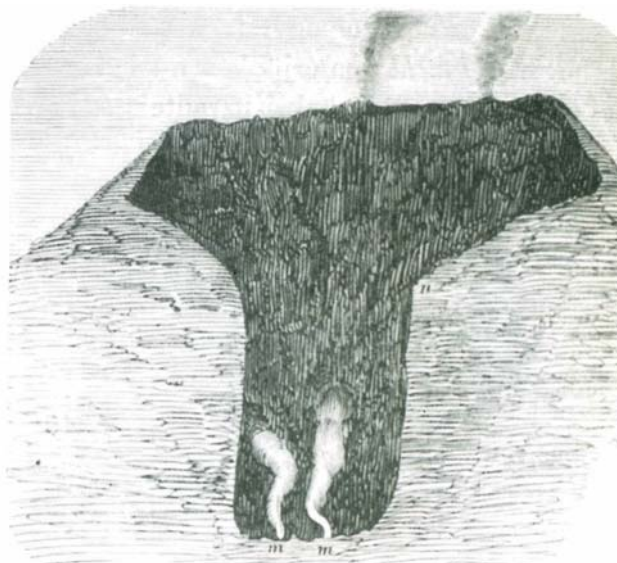
Egy-egy további albumot nővéreinek, Rosty Ilonának, Rosty Annának, illetve Rosty Ágnesnek, Eötvös Loránd édesanyjának ajándékozott. Az album lapozgatása és nagybátyjának élvezetes stílusban előadott beszámolója a meglátogatott országokban átélt kalandjairól és az ott uralkodó társadalmi viszonyokról minden bizonnyal megragadta az akkor 10 év körüli gyermek Loránd fantáziáját. Ezek az élmények az anyai ágon örökölt gének mellett döntő szerepet játszhattak a gyermek természet iránti érdeklődésének és fiatal felnőtt korában megnyilvánuló kalandvágyának kialakulásában.

Rosti a Magyarhoni Földtani Társulat 1859. február 28-án tartott szakülésén is beszámolt céljairól és utazásáról:

*1854-ik év december havában hazámat elhagytam, hogy messze földekre vándoroljak. Föladatomná tettem s kötelességemnek tartám utazásomat – amennyire tőlem kitelik – hazám hasznára fordítani. El nem mulaszték egy alkalmat sem, hogy a magyarnak nevét, országa hol- s miképp létét ne híreszteljem, el nem mulaszték egy alkalmat sem, hogy oly tapasztalásokat, s ismereteket szerezzek, melyek egykor hazámnak s honfitársaimnak hasznára váljanak. E célból tanultam meg Párizsban a fényképészetet (photographiát) és a módot, azt utazás közben használni, mert meg voltam győződve, hogy a földismeret terjesztésére hathatós eszköz alig létezik, mint ha a különböző éghajlatok s vidékek hív rajzai által az egyes tájak, valamint az ezekben található városok, építmények, romok, növényzetek, stb. különös jellemről helyes nézeteket terjesztenek. Vándorlásaim fő feladatának tekintém tehát az ily képeknek fényképészet útján való előállítását.*

Bár könyvét a szélesebb olvasóközönségnek szánta, szakmai megjegyzéseit a *Toldaléknak* nevezett függelékben közli, pl. Mexikó bányászatáról. Az előadóülésen beszámolt egyik legizgalmasabb kalandjáról, a Popocatepetl megmászásáról is, ahogyan könyvében írja:

*Tizenegy óra lehetett, midőn elhagytuk a ranchot az indus bányászok s a felügyelők szerencsekívánatai között. Csakhamar átléptük a növényzet határát, mely itt rögtön megszakad. Az erdőn s gyepen túl, vulkáni homok-buczkák, mely repedések és hasadások, vörös porfir-sziklákkal véget vetnek – látszólag legalább – a szerves életnek. A vulkáni hamu fekete s igen finom, a járás benne igen terhes és fárasztó ... Egy óra volt, midőn a hó határára értünk. ... ottjártamkor, télnék idején a hó felső rétege már több hetes, sőt hónapos; délben, midőn a nap szinte függélyesen ejti rá sugarait, főlészén kissé megolvad, hanem délutáni 2-3 óra tájban már újra fagyni kezd, úgy hogy az egész orom ilyenkor nem többé hó, hanem fölötté síkos, meredek, jégkúpot képez. Az indusok, mint macskák, másznak fel rajta, de*



2. ábra



nekem, ki a jég hátán nem nagy hős vagyok, ez nem kis bajomba került. A jegen s havon tett első lépésem következménye az volt, hogy végig estem, mi a szegény légsúlymérő s hőmérő életébe került....

Öt óra volt, midőn a töbör szélére értünk. Ez első pillanatra meglepően nagyszerű, szinte borzalmat gerjesztő látvány. ... Alakja nem kerekded, hanem tojásdad, nagyobb tengelye kelet-nyugati, kisebb tengelye pedig észak-déli irányú. ... A töbörbe érve, úgy találtam, hogy falai nem összehajlók, hanem szétválók, úgy hogy a nyílás tágul, nem pedig szűkül s a hatalmas sziklatömegek tetőzet gyanánt csüngnek felette. ... A töbör felső karimája az indusok állítása szerint 10 000 láb s megkerülésére egy napi idő kell. ... Több helyt a töbör szélső karimáján sziklarepedésekből vízgőz tódul ki, de aránylag kis mennyiségben, csekély fesszerővel s minden zaj nélkül. (2. ábra) ... A meredek sziklafalak miatt a töbör fenekére lehetetlen másképp jutni, mint kötéllal leereszkedve. ... A leeresztett kötéll hossza 300 láb, az indusok ehhez kötözve, ereszkednek alá, nagy bottal kezökben, hogy a himbálózó kötélen a falhoz ne ütdjenek. A töbör feneké egyenetlen ... helyenkint meleg, mint a mérsékletlen fűtött kemence; a vulkáni hamu, homok s kénvirágok között szétszórva vagy egy egymásra halmozottan oszlopokat, gúlákat képezve kisebb-nagyobb szikladarabok hevernek; ezek tetején és zugaiban hó s befagyott pocsolylák láthatók. Kerek nyílásokból – melyek átmérője 1/4-1 láb – kénecs-savval vegyült vízgőz tódul ki nagy erővel s olyféle zúgással, mint midőn az érkező gőzös sokáig fogva tartott s dologra szorított gőzét szabadon ereszt. Más nyílásokból s repedésekből tiszta kén-gőz vagy kénkövengáz özőlik. Termőkén minden hasadéokban találkozok, főleg az említett kén-gőz források körül. Az indusok e termő-kénnel áthatott szikladarabokat (nagyreszt porfir-conglomerátokat) fészítő vasakkal lehasogatják, bőrszakokban a malacatéval<sup>1</sup> felhúzzák, aztán hátukon a töbör karimájáig czipelik s onnan a hó hátán lecsúsztatják. E helyről aztán a „rancho de Assuffre”-ba hordják a ként, a hol beolvasztják. E munka egyébiránt a Popocatepetl töbörében csak időszakonként, 4-5 hónapig tartó, azután ismét várni kell, míg új kénrétegek képződnek.

Az éjszakát a bányászok tanyáján töltötte, amelyet a töbör felső részén, a föléje hajló sziklák védelmében alakítottak ki. A nagy magasság miatt nagyon bágyadtnak és levertnek érezte magát, egy hóból készített csésze tea után felöltöttem téli ruhámat, vastag plaidemet a földre, azaz a sziklára terítettem, fejem alá kődarabot gördítettem rá pedig összehajtott kendőmet vánkossal, s így szivarra gyújtva egy darabig egészen jól éreztem magamat. ... Soha éj oly hosszúnak nem rémlett, soha a hajnalt sóvárgóbban nem vártam! de a ragyogó csillagok fejem fölött a sötétkék, tiszta ég boltozatján nem akartak mozogni, mintha csak oda lettek volna szögezve! Ha néhány perczre el is szunynyadtam, a szédülés, a rémes álmok csakhamar újra felriasztottak. De másrészt a lég páratlan tisztasága, az eddig nem láttam fényben s nagyságban ragyogó csillagok tűn-

döklése, elszigeteltségem itt oly messze a földtől, a felhők felett s mintegy a léghen, a nagy csend, melyet csak olykor-olykor szakított félbe a leomló s a töbör mélyébe zuhanó szikladarabok<sup>2</sup> robaja, vagy a nagy erővel kitóduló gőz zúgása: mindez szinte elfeledteté velem éji szállásom kellemetlenségeit s veszélyeit s egész életemre eltörölhetetlen emléket hagyott hátra lelkemben.

Rosti fotói különleges alkotások, miként fotográfusi pályafutása sem mindennapos. Jól választott, amikor Párizsba ment, hogy ott elsajátítsa a fényírás tudományát: majd egy évszázadig Párizs volt a fényképezés központja, innen indult világhódító útjára Daguerre találmánya. Hevesy Iván, *A magyar fotóművészet története* c. munkájában így vélekedik Rostiról: jó tanítót választhatott Párizsban, de benne is jó képességek lakoztak. Úti képei, valamennyi az 1850-es évek második feléből, a fototechnika világviszonylatban is legmagasabb színvonalát árulják el ... Tájképei csodálatosan levegősek ... mondhatnánk úgy is: Rosti Pál első megvalósítója volt a plein air fényképezésnek.

A szakirodalom a legelső magyar fotóamatőrök között tartja számon. Képeinek megformáltsága, technikai kivitelezése – a fényképezés feltalálása után alig 17 évvel – azt mutatja, hogy művészi és technikai értelemben korának legjobbjai közé tartozott. Nagyon tudatosan tanult meg fényképezni azért, hogy természettudományos, földrajzi megfigyeléseit, leírásait képekkel illusztrálja, hogy azok a hazai közönség okulását szolgálják. Sajnos sem utazása előtről, sem későbből nem készített soha többé képet.

Rosti Pál fényképei több szempontból is unikális érték-ként szolgálnak a magyar fotótörténet számára. Sem Mexikóban, sem Venezuelában, sem Kubában nem készítettek Rosti előtt olyan tudományos célú, leíró jellegű tájfotókat, melyekből teljességgel hiányzott az üzleti érdek vagy a műkedvelő művészi szándék. A fotók készítését mostoha viszonyok, szélsőséges meteorológiai körülmények nehezítették, no meg az, hogy hihetetlenül nagy, 35×42 cm-es negatív méretű fényképezőgépet kellett hurcolnia, felállítania, kezelnie. A fényképek mérete nem egységes. Ebből arra következtethetünk, hogy a jelenlegi képméreteknél nagyobbak voltak az eredeti papírnegatívok, s az azokról készült azonos méretű kontakt másolatok. Ezeket az albumba kerülésük előtt, feltehetően kompozíciós vagy egyéb okokból egyenként vágták meg. Abban is biztosak lehetünk, hogy az ismert kópiákat egy időben és egy kéz készítette.

Elfogultság nélkül állíthatjuk: Rosti eredeti fotográfiái meghozták a világhírt neki és a korai magyar fényképezésnek egyaránt, ha képei megfelelő hírveréssel, jól előkészítve megjelenének kiállítótermek falain, fotótörténeti albumokban, önálló kiadványokban.

Miután az albumok elkészültek, Rosti szorgalmasan dolgozott megfigyelései, élményei nyomtatásban történő

<sup>1</sup> Hengerkerek emelőszerkezet

<sup>2</sup> „A töbör széléről folytonosan nagy kövek, egész sziklák válnak le, s ezer meg ezer darabra zúzóda, nagy robajjal zuhanak le a mélységbe. Ezek miatt nem lehet a töbörben meghálni, hol nem volna oly hideg, és sok bányásznak okozták már halálát e lezuhanó szirtek.”



megjelenítésén. A legfontosabb probléma azonban még megoldásra várt: az eredeti fotókból könyvnyomtatáshoz felhasználható illusztrációkat kellett készíteni, mivel a korabeli nyomdatechnika még nem volt képes tónusos képet nyomtatni. Ezért a szerzőnek keresnie kellett egy litográfust, aki – nagy munkával – az eredeti fotók alapján átrajzolja köre az általa látottakat. Több grafikust, litográfust is kipróbált, végül Klette (Keleti) Gusztáv mellett döntött, akit korábban ismert, mint az ifjú Eötvös Loránd házitáncosját. Klette munkához látott: a fényképek alapján szabad kézzel átrajzolta a litográfiai köre a kép legfőbb elemeit, majd Rosti szóbeli instrukciói alapján embereket, állatokat rajzolt a képekbe, az előterekbe staffázsfigurákat, belógó faágakat tett, s a képek arányait úgy módosította, hogy a lényegesnek ítélt részletek nagyobb figyelmet kaphassanak.

Az album végül Klette (Keleti) Gusztáv és egy-két más litográfus képes illusztrációival egyetemben *Úti emlékezetek Amerikából* címmel 1861-ben nyomtatásban is megjelent: *Nővéremnek Bárány Eötvös Józsefné született Rosti Ágnesnek testvéri szeretettel ajánlva*. Könyvének előszavában a következőket írja: *Európától az „Alma” nevű francia csavargózósön Havre de Grace kikötőjében 1856. aug. 4-dikén elbúcsúzván, amerikai utazásomat az észak-amerikai államokkal kezdém meg, hol mindössze hét hónapot töltöttem. De miután ott nem annyira a természet szépsége köti le figyelmünket, mint inkább az európaiaktól egészen eltérő társadalmi viszonyok, politikai intézmények s fejlemények gerjesztik érdekünket, ez utóbbiak taglalgatására pedig aránylag rövid ott-mulatómat elégségesnek nem tartottam: czélszerűbbnek véltem hallgatni inkább, semmint hogy elhamarkodott ítéletekre, egyoldalú felfogásra, vagy másoktól elsajátított nézetekre építve, tán hibás, ferde fogalmak, hiányos tudósítások szószólója legyek. (Ajánlom mai újságírók figyelmébe!)*

*Úti emlékezeteim leírását eszerint csak Észak-Amerika déliebb részeivel kezdem. Korántsem élek azon képzelődésben, hogy munkám a kellő mértéket megüsse: tollat fogtam mégis, hogy hazai irodalmunknak e szakmában hiányát, csekély tehetségem szerint, némiképen fedezni segítsen. Tudományos tárgyalásokkal, vagy mélyebb bűvárkodásokkal, melyek czélszerűebben szakkönyvekben foglalnak helyet, szíves olvasóimat nem fárasztom – legfőleg egyes jegyzetekben s a toldalékban terjeszkedtem e tételre; másrészt nem is bocsátkoztam hajmeresztő kalandok, vagy más eféle epizódok leírásába, mert óvakodtam az elbeszélő utazót regényhőssé alakítani. Minden törekvésem abban összpontosult, hogy azon benyomásokat, melyeket rám vidékek, növényzetek, emberek s ezek társas viszonyai s a t. gyakoroltak, minél elevenebb s természet-hívebb színekkel lefesthessem s ily úton honfitársaimnak a tapasztaltakról lehető legtisztább fogalmakat a valóságnak híven megfelelő képeket s tudósításokat nyújthassak.*

Célkültetésének megfelelően sikerült megfigyeléseiről és kalandjairól egy érdekfeszítően érdekes kötetet összeállítania. A bőség zavarával küszködve tudunk csak válogatni az érdekesebbnél érdekesebb részletek között, hogy



Templom-járat Habanában.

3. ábra

bemutassuk az alig 30 éves szerző páratlanul éleslátású megfigyeléseit. Álljon itt elsőként egy havannai vasárnap leírása:

*A vasárnap a külföldinek legérdekesebb nap mert idegen-szerű jelenetekkel s eredeti képekkel bővelkedik. ... A templomjárás 6–9 óráig tart; a szegényebbek, vagy közelebb lakók gyalog jönnek, az asszonyokat mindig egy kis szerezcseny vagy szerezcsenyő nyomon követi, felgöngyölt szőnyeggel s kis székekkel hóna alatt; az előkelő hölgyek volanteban (hintóban) jönnek, többnyire fekete selyembe öltözködve, de hajadon fővel s gazdag fekete csipkefátyollal (3. ábra). A tágas templomokban nincsenek padok, mint nálunk, se székek, mint Franciaországban. Először is tehát a kis szerezcseny jó be s kis szőnyegét a földre teríti, utána az asszony valamennyi gyermekével s letérdel, a mise bizonyos részeinél azonban egész kényelemmel le is ül, szőnyegét egyébiránt el nem hagyja. Ez valóban festői egy jelenet, főleg, minthogy e helyen minden rang- és fajkülönbség megszűnik, az előkelő hölgy gazdag csipkéivel, a kis mulattnő egyszerű, könnyű (mindig kivágott) nyári öltönyében, fején többnyire veres vagy fehér kendővel, a szerezcseny rabszolganő, úrnője ócska ruháiban (de ma legalább tisztán), kinek hol tetszik, kinek hol éppen hely jut, minden rend és osztályozás nélkül, összevissza térdelnek vagy ülnek a földön. A nők szinte kizárólag a templom közepét foglalják el, a férfiak köröskörül állnak, vagy térdelnek s tisztességesen, ájtatosan kísérik az isteni-tiszteletet. De a mise végével, a fiatalabbak legalább, az ajtók elé helyezkednek leány-szemlére, s megvallom, hogy ilyenkor nem egy bájos*



szem csillogását, s a volanteba szálltakor nem egy csinos lábacskát volt alkalmam láthatni. ... az orgona szólal meg, de nem zeng ám templomi hymnusokat vagy ájtatos praeludiumokat, hanem a legismertebb olaszoperák magán- vagy kardalait, polonaiseket s ezek feletti változatokat stb.

A mise után a férfiak számára legfőbb attrakció a kakasviadal: *Érdekes egy látvány, nem annyira a kakasok, mint a nézők miatt, kik a harc folyamát példátlan szenvedéllyel kísérik, arczuk eltorzul, szemök kidüled s vad tűzzel villog, egész testük remeg, - mindenki ordít, hadonáz s dörömböl. ... A belépti díj 2-4 réal, de mindenki hozhat vívó kakast, s ekkor nem fizet. Míg a választmány s a bíróság a kakasokat megméri mert - különös megegyezés kivételével - a küzdőknek súlyra és sarkantyújuk nagyságára nézve egyenlőknek kell lenni, míg a kakasok sarkantyúit késsel meghegyezik, gazdáik mint a bolondok futkosnak fel s alá a vívőkörben s fogadásokat ajánlanak a nézőknek. ... A fogadási összeg olykor tetemes, 1 dollártól egész 1 unciáig. ... Láttam egyszer, hogy ily szenvedélytől felbőszített ember 10 unciát, tehát majdnem 350 frtot ajánlott vívó kakasára és szinte kétségbeesett, hogy senkisem akarta elfogadni. ... Egyébiránt a kakasviadal nem csupán a köznép szenvedélye. főrangú urak is részt vesznek benne. A riñaderóban minden rangkülönbség megszűnt s az aristokratia legbüszkébb tagja tartózkodás nélkül fogad és társalog a nép legaljával - hanem a riñadero köréből kiérve, vége az ismeretségnek.*

Kubából némi Karib-tengeri kalandozás után Venezuelába utazott egy rendszeresen közlekedő brit gőzös fedélzetén. A nyári hőség elől menekülve Caracas magas fekvése enyhébb klímával kecsegtetett. Venezuelai kalandjai közül két képpárt szeretnénk bemutatni. Ez jó alkalom arra, hogy felhívjuk a figyelmet az eredeti fénykép, és az arról készült művészi metszet közötti különbségre: hogyan lesz az egyszerű tájképből romantikus alkotás. A távoli, fekete mészkőből felépített hegyekben (4. ábra) két barlangot szeretett volna felkeresni, a szélesebb sziklafalból nyíló cseppkőbarlangot és a hegyesebb sziklafalban magasan

megbúvó kvarc „kristályüregét”. Ez utóbbi különösen izgatta, mert ilyet még nem látott, és kísérői szerint „tündéries”. Sok kérésbe, rábeszélésbe és buzdításba került, míg néhány helybeli urat rábírhattam, hogy más nap velem a barlangot meglátogassák. Gyönyörű hajnalra virradtunk május 12-dikén. A sziklák tövéén egyúttal tájképet is akartam készíteni ... Szerencsétlenségemre borulni kezdett és az egész társaság vitatkozáshoz fogott, ... Azt állították, hogy esős időben fel nem juthatni a barlanghoz, miután az út meredek és síkos... Nagy nehezen rábeszélte a társaságot, hogy útnak induljanak természetesen lóháton. A falun kívül egy folyón kellett átkelniük. A Morros tövéhez érve azonban, ahol fényképezni akart, nagy zápor kerekedett, szó sem lehetett fényképezésről. Társaitól elszakadva egy kunyhóban meghúzódva várta az eső végét. Ahogy az eső enyhült, szamarát hajtójával és felszerelésével hátrahagyva lóra ült, hogy visszatérjen a faluba. Mire a Guarico folyóhoz értem, ez még egyszer akkorára dagadott, mint mikor átjöttem rajta s a megáradt folyam sebesen rohant ... kiváltképp veszélyesek a fatörzsek, melyeket a rohanó ár nagy sebességgel ragad tova. A parthoz érve tehát kissé fontolóra vettem a dolgot, de nem látam fatörzseket, ... nekimentem a folyamnak. Lovam, mely csak nagy unszólásra s kemény velebánás után fogadta szavamat, hasig gázolt a vízben s minden jól ment, mígnem a túlsó parthoz már közel, tán gödörbe lépve, egyszerre alászülyedt, úgy hogy csak feje látszott ki, magam pedig mellig merültem. A ló kapálózni kezdett, s én attól tartva, hogy eldől, s magával ránt s befulladás, tanácsosnak tartottam magára hagyni. Úszni kezdtem tehát ... eleinte szinte jól esett a fürdő s örültem a kalandnak, de midőn úszómesterségem legnagyobb erőfeszitésem daczára sem közelíthettem meg a partot, sőt ellenkezőleg mindig mélyebb s mélyebbre sodortattam, komolynak kezdtem találni magam is a tréfát, annál inkább, mert erőm már-már lankadozott, s egy pár itczét megittam már Guarico vizéből. De lelkem jelenlétét nem veszítettem s ez megmentett. ... Mintegy 50 ölnyi távolságban megpillantottam egy fát a víz medrében, ...



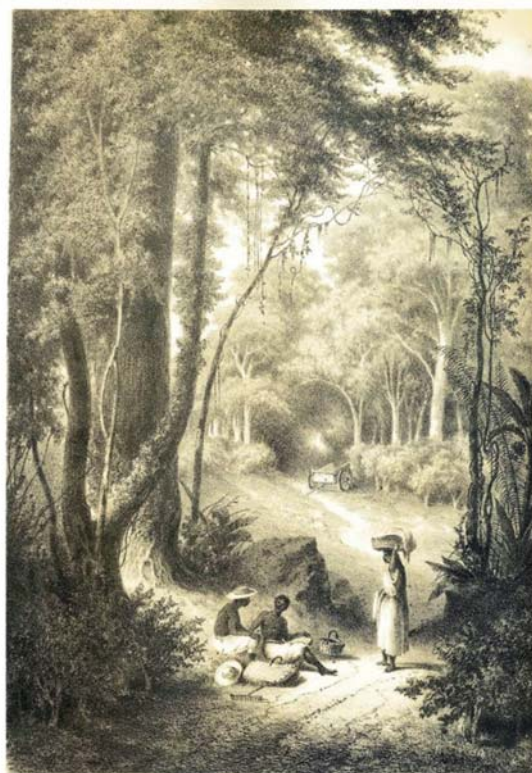
SAN JUAN DE LOS MORROS.

4. ábra





*„Példája egy kávé ültetvénynek [Salinas]”*



**KÁVÉ - ÜLTETVÉNY**  
az országban.

5. ábra

e fába vettem most reményemet, minden erőmet összeszedtem, hogy elérjem. ... Lovam, melyet a víz még erősebben elsodort volt, a másik partra vergődött s most egy ideig farkas-szemet néztünk egymással, míg az új erőre kapván, az alacsony parton odább állt. A végül is szerencsésen végződött kaland miatt csak másnap, távolból tudta megörökíteni los Morros szikláit.

Venezuelában készített másik fényképe egy kávéültetvényt ábrázol (5. ábra). Mindenütt, amerre járt, érdeklődésének homlokterében állt a helyi gazdaság megfigyelése és leírása. Már Kubában megemlíti a kávé, Venezuelában egy Magyarországról elszármazott ültetvényes gazdaságában összehasonlíthatta a különböző művelési módszereket. Itt például banán közé ültetik a kávécserejéket, így a gyorsan növekvő banán árnyékot biztosít a fiatal cserejéknek. A fényképen látható kávécserejék előtti „üres” térség, valójában fiatal kávéültetvény, amely elfogadhatatlan a festőművész számára, ezért romantikus staffázst varázsolt az előtérbe.

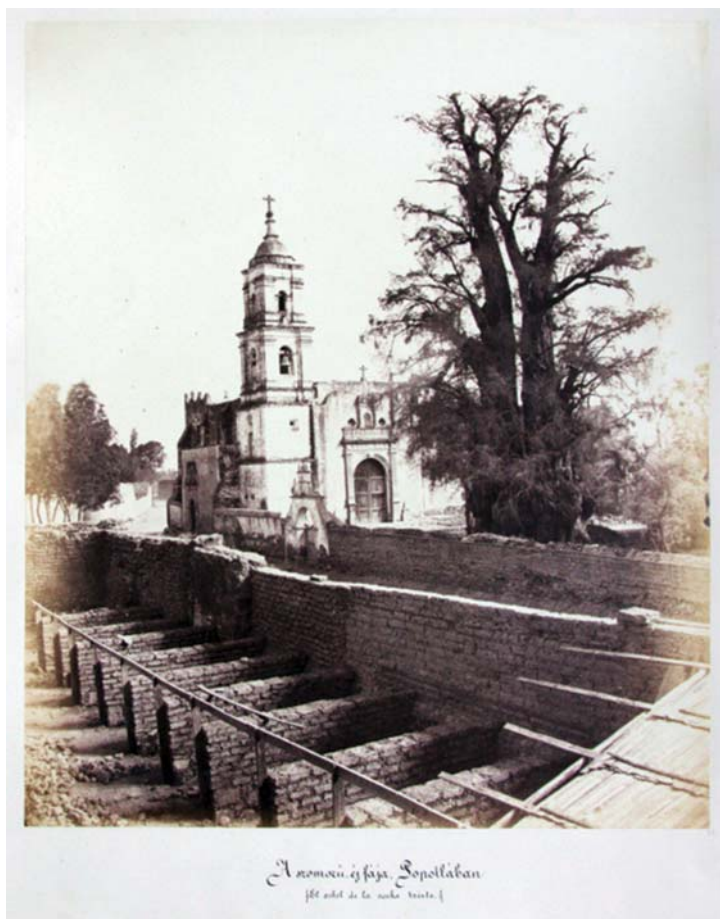
Útjának következő állomása Mexikó. Megérkezésének leírása költői: *Mire július 28-án reggel a fődözetre mentem, szárazföld volt előttem, mely félhold-alakban terült el a lát-határon. Északi részén a messze köd s felhők homályában roppant hegytömeg kékellett s fölötte Orizaba vulkán hó-takarta csúcsa fényes csillagként tündökölt a fölkelő nap első sugaraiban.*

A Mexikóba érkezőt sok minden emlékezteti Cortez idejére. Többek között a „szomorú éj fájának” legendája:

A fővárostól nyugatnak esik Popotla indus falucska: igénytelen temploma előtt egy ős fa áll, azon czédrusok egyike ... melyhez ... történelmi emlékek is kapcsolódnak. Cortez, t. i. mielőtt még Tenochtitlant végkép elfoglalta s a mexicóiakat teljesen legyőzte volna, látván elleneinek nagy erejét, saját hadainak lankadtságát s az élelmiszerek hiányát, tanácsosnak tartotta, hogy a fővárosból kivonúljon s e szándoka végrehajtására 1522. júl. 1-je éjjel választotta. Azon reménye, hogy ellenei észre nem veszik, meghiusult: ébren voltak azok, megrohanták s hátráló seregeiben nagy pusztítást tettek. Cortez, ki az éj homályában mindent veszve gondolt, Popotlába menekült, s ott, mint a történet mondja, kőre ült „egy vén fa mögé”, egész éjen át szomorkodva ügye bukásán s keserű könyeket ejtve elesett vagy elveszetteknek hitt bajtársaiért. Ezen Mexico történetében oly nevezetes éjt Cortez s a történetírók a „szomorú éjnek”, „la noche triste” nevezték, a fát pedig, melynek tövében ez éjszakát töltötte, maiglan a „szomorú éj fájának” nevezik ... E fa pedig a hagyomány szerint azon czédrus, mely a popotlai templom előtt látható. Mindent elkövettem, hogy ezen érdekes fának fényrajzát készíthessem, s ez sok fáradság után sikerült is (6. ábra).

A leírásból szimpátia érződik a „conquistadorok” iránt. Ebből arra következtethetünk, hogy a 19. század közepe táján még mindig élt az a felfogás, hogy az Azték birodalomban a sátán uralkodott. A conquistadorok állítása szerint a főtemplomban 136 000 emberáldozat koponyáját találták meg. Leírásában utal Juan de Torquemada ferences szerzetes kizárólag spanyol nyelven megjelent 17. századi





**"A SZONKONÚ ÉS ÉÁJA" FOTOTLÁBAN.**

## 6. ábra

leírására, amikor a következőket írja: *A mi már magát Mexico városát illeti, ez a hatalmas Aztec birodalom fővárosának Tenochtitlan-nak romjain épült. A régi épületeknek, fájdalom, még maradványai sem láthatók. A conquistadorok lerombolván a hír szerint hajdanta oly szép várost s elfoglalván az országot, haboztak, valjon fölépítsék-e a régi várost,*



**7. ábra**

vagy más helyet válasszanak az újonnan szerzett birodalom központjául. Végre elhatározá Cortez, hogy az új város ugyanott emelkedjék, a hol a régi állott: „mert – úgymond – minekutána ezen város az indusok idejében ura volt a szomszéd s egyéb városoknak; jogos, hogy a keresztények idején is az legyen; s minekutána a mi Urunk Istenünk ezen városban megbotránkozott az áldozatok s más egyéb bálványozások okából; legyen ugyan-e hely szolgálva is, hogy az ő szent neve dicsértessék s magasztaltassék itt inkább, mint földünk más részein”.

A Cortez idejében felépített városból a 19. századra már nem sok épület maradt fenn eredeti formájában. Az egyik, a legenda szerint legalább is, Cortez háza (7. ábra). Egy másik, a főtéren álló katedrális, melyet Cortez parancsára kezdtek el építeni, majd folyamatosan épült egészen 1667-ben történt felszenteléséig. Legrégibb része a lerombolt azték templom helyén, nagyrészt annak maradványaiból épült „sagrario”. Ennek a reneszánsz stílusú, arabeszkekkel és faragványokkal díszített déli kapuja a székesegyház legszebb része. A kapu „fényrajzát” a 8. ábrán mutatjuk be.

A nagyváros legfőbb problémája a lakosság ivóvízellátása volt: *Mexiconak nincsenek kútjai, mert a néhány lányira a föld színe alatt felbuggyanó víz sós, nem iható; az ivóvizet tehát messziről kell hozni. Tenochtitlannak már az aztecok idejében voltak vízvezetékei...*, melyek égetett agyagcsövekben vezették a vizet a környező hegyekből. Ezek elpusz-





8. ábra

tultak, de a spanyolok némelyiket helyreállították például azt, amelyik a beleni kútból 90 lábnyi magas íveken nyugvó, 10826 lábnyi hosszú nyílt csatornán hozza a vizet a városba. Ennek kútfeje az 1731-ben felépített Salto del

aqua, Rosti idejében az egyik legfontosabb látnivaló. A Salto del agua, kivált reggel s este kitűnő hely a mexicói nép tanulmányozására. A fő személy ott a vízfordó, aquador, ki majdnem akónyi cserép korszokban s bödönökben a vizet széthordja a házakhoz. A aquador nemcsak a vizet hozza a házakhoz, de egyúttal az egész családnak megbizottja, a cseléd-ségnek barátja. A házi asszony tőle kér tanácsot, ha új cselédet akar fogadni; a kisasszonyok az ő kezére vagy fülére bízzák bizonyos levélkéik válaszait, melyeket ő nagy ügyességgel juttatott volt a szép senorita kezéhez: a szakácsné tőle tudja meg a legújabb eseményeket – mert az aquador mindenütt megfordul s mindent tud; egy darab sült vagy egy csésze csokoládé mindenkor is készen várja őt a konyhában. Az aquadort már öltönyéről is megismerhetni: bőrkötő, bőrgallér s bőrsapka. ... A nagyobb vízedényeket a hátukon hordják, erős, széles szíjjal homlokukra kötve, onnan egyensúlyozásként szíjon kisebb korsó lóg le..., mint ez a mellékelt ábránkon látható (9. ábra).

A nyomtatásban megjelent könyv, a hazatérte után tartott előadások és tudományos cikkek, valamint a *Hazánk s a Külföld* című folyóiratban megjelent tanulmányok meghozták Rostinak a megérdemelt elismerést: a Tudományos Akadémia Történelmi osztálya 1861-ben levelező tagjának választotta, és mint geográfus, néprajztudós és fotográfus került be a magyar tudománytörténetbe.

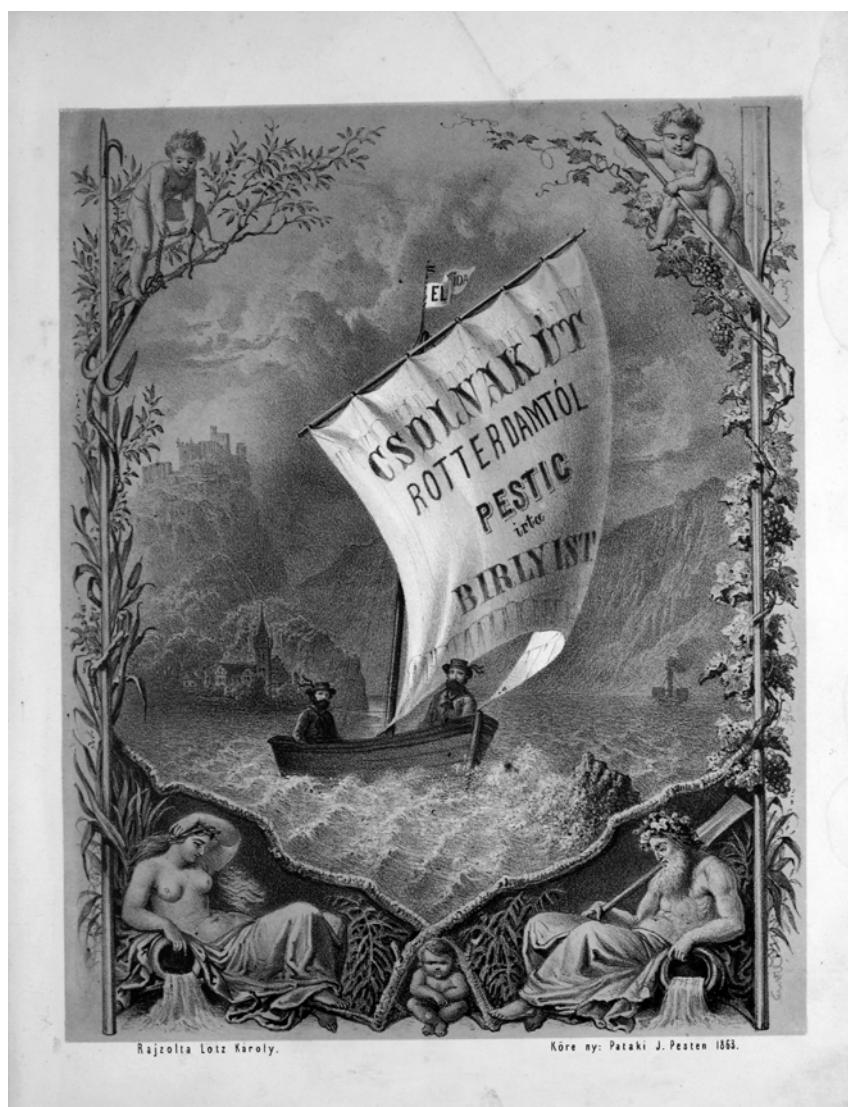
Rosti mindig nagy figyelmet fordított fizikai állapotának karbantartására. Ennek jó példája a Budapesti Hajósegyet megalapításával kapcsolatos tevékenysége. Európa kevés városa dicsekedhet akkora folyóval, mint a Duna, de fővárosunk közönsége nem ismeri, vagy nélkülözi azon élvezetet, melyet szép vízen, regényes tájak közt a ladikázás



9. ábra







10. ábra

nyújt s ifjúságunk a sportnak egy nemével, mely főleg Angliában oly nagy pártolásra talál, az evezéssel és vitorlázással még nem foglalkozik. – írja egy 1861-ben megjelent cikkében. Ezért báró Vécsey Józseffel, gróf Széchenyi Bélával, gróf Károlyi Gyulával közösen elhatározzák, hogy a Széchenyi István által egyszer már létrehozott, de megszűnt hajósegyletet újfent megpróbálják megalapítani és működtetni. A Budapesti Hajósegylet 1861. április 20-án tartott alakuló közgyűlésén Rostit megválasztották az egylet tollvivő pénztárnokának. Induláskor mindössze három ladikjuk volt. Rosti nem érte be a szép és veszély nélküli hajókázással. Rokonával, barátjával, hajósegyletbeli társával, Birly Istvánnal olyan vállalkozásba fogott, melyet még senki előttük nem teljesített. Egy Angliában vásárolt, Ellidának nevezett, kétevezős csónakot vásárolt, melyhez vitorla is tartozott. Rotterdamból indulva a Rajnán, majd a Majnán, a Lajos-csatornán és a Dunán Pestig eveztek. A sokszor emberfeletti kitartást igénylő kalandokon, az út során érintett helyeken végigkalauzolja az olvasót a Birly István által írt és illusztrált szép kötet, mely *Csolnak út*

*Rotterdamtól Pestig* címen *Barátomnak és utitársamnak, Rosti Pálnak* a kedélyesen együtt töltött jó és rossz napok emlékéül ajánlással 1863-ban jelent meg (10. ábra).

Rosti Pál nem kevésbé vonzódott a muzsikához, mint apja, Erkel Ferenc pártfogója. Kiválóan zongorázott, harmonikázott és fuvalázott. Széles körű tudással rendelkezett a zeneelmélet terén, igazi műértő volt. *Beethovennek alig volt nálunk lelkesültebb bámulója és alaposabb értője, mint ő* – írta a Vasárnapi Újság 1874-ben. Még a szülői házból ismerte Liszt Ferencet, akinek nagy rajongója volt. 1855-ben vált szorosabbá kapcsolatuk, mikor Rosti felkereste a zeneeköltőt Weimarban. Liszt így írt erről a találkozásról közös barátjuknak: *egy rokonuk, Rosti Pál úr néhány napot töltött Weimarban, és igen kellemes benyomást tett rám. Több ajánlólevelet adtam neki Párisba. Ettől kezdve Rostit Liszt mellett találjuk minden magyarországi látogatásakor. Egyik szervezője azoknak a koncerteknek, melyek az akkor már világszerte ismert és elismert művészt visszavezetik Magyarországra. Nővérével, Rosty Ágnessel, Treforttal, Horváth Boldizsárral együtt talán ő tette a legtöbbet azért, hogy Lisztet kinevezzék a Zeneakadémia élére. Már 1869-ben felvetette Liszt hazahívását Andrássy Gyulának és Deák Ferencnek, de 1870. október 4-i Szekszárdról írt*

levelében, melyet kultuszminiszter sógorának, Eötvös Józsefnek címzett, már konkrét javaslatokkal állt elő: *Liszt itt van, se Rómába, se Weimarba nem mehet, nem akar menni, soha kedvezőbb perc nem mutatkozott őt állandóan megnyerni. ... Jól tudom, hogy te Liszt compositioit nem tartod jeleseknek, ... de tudom azt is, hogy Liszt nagy szellemét ismered, azt teljesen méltányolni tudod és belátod ama nagy behatást, melyet egy szellemdús férfiú mindig körére gyakorol. ... Hogy eszerint meg vagy győződve arról a haszonról és előnyről, mely Pestre, az országra háramlana, ha ott Liszt székelne! Egy ember, mint Liszt képes városunkat művészi tekintetben is hírre hozni. ... S alakulna egy pesti iskola, mint alakult volt egy weimari iskola. ... Arról tehát, hogy Liszt jelenléte itt mily előnyös volna, hiszen te is meg vagy győződve, szintúgy, mint én és barátai, kik most az összes sajtóban e kérdést pengetik... Egyszerűen, mint a felállítandó Országos Conservatorium főigazgatója. ... Már most jól tudom, hogy neked ehhez direct befolyásod nincs, nem lévén a Conservatorium a te reszortodban. Kérésem azért csak az, hogy az eszmét szintén felkarolni és a minisz-*



tériumban támogatni szíveskedjél. Ha te akarod, akkor lesz belőle valami, ha ellene vagy, vagy ha nem pártolod, akkor hiába minden törekvésünk, s mi elveszíténénk Lisztet, ki folyvást és büszkén vallja magát magyarnak, kit örömmel fogadna be bármely nemzet, ország.

Liszt mellett Richard Wagnerhez is személyes barátság fűzte. Wagner először 1863. július 23–28. között járt Magyarországon. A Nemzeti Színházban két hangversenyen mutattak be részleteket műveiből. Július 24-én délután a Pest-budai Csónakda Wagner tiszteletére majálist rendezett a Margit-szigeten. Csónakokon keltek át, és a tölgyek alatt annak rendje-módja szerint folyt a vigalom. Késő este, a lakoma végeztével vihar tört ki. Wagner Rostinak, a mulatság rendezőjének a csónakjába szállt, a nevezetes Ellidába, mellyel megtette az utat Rotterdamtól Pestig. Útitársuk volt még Bethlen Pálné grófnő és Zichy József gróf is, a későbbi fiumei kormányzó. Halljuk a szemtanút, gróf Bethlen Ödönt: *Az orkán vadul korbácsolta a Duna hullámait. Táncolva ugrált a habokon az Ellida, melyet a grófnő a szél ellen kormányzott, míg kalapját Wagner fogta, nehogy a szél elkapja. Egyszer csak – meglehetősen közel a parthoz – a vihar a csónakot az ott állomásozó tutajok felé hajtotta. Rosti halálosan kimerülve felkiált: elvesztünk! De Wagnert nem hagyta el a lélekjelenléte. A grófnő láttára mély részvét fogta el. Míg a két evezős (Rosti és Zichy) legnagyobb erőfeszítéssel igyekezett eltávolodni a tutajoktól, Wagner keresztezve társai tervét, megragadta a legközelebbi tutaj cövekét. A csónak így visszanyerte egyensúlyát, a zeneköltő pedig gyorsan átemelte a grófnőt a tutajra, hova maga is átugrott, társaira bízva az Ellida megmentését. A tutajokon át a partra jutottak, a mai Országház táján és zuhogó záporban, hosszas gyaloglás után beérek a városba. ... Wagner többet nem mutatott aztán kedvet a szigeti romok közt való ábrándozásra.*

1865-től, egészségi okokból, visszavonultan élt a Dunapentele melletti birtokán, Pálhalmán. De itt is tevékeny életet élt, elvonultsága nem jelentett elszigeteltséget. Tartotta a kapcsolatot Liszttel, Wagnerrel, gyakran ment rokonaival Karlsbadba, és több cikket is írt a fővárosi lapokba. A székesfehérvári püspökmegye anyakönyvének 1874. december 7-i bejegyzése szerint: *Barkóczy Rosti Pál úr,*

*nőtlen, rk. közbirtokos nemes, dunapentelei lakos, 44 éves, a halál oka: vízkór, a gyónás szentsége nélkül hunyt el.*

A méltatlanul elfeledett Rosti Pál egész életében a fiatal-korában felállított ars poeticáját követte, miszerint: *A gyászos tizenkét évi időszakban, mely a szerencsétlen kimenetelű 1849-i eseményeket nyomon követi, kedves hazánkban minden nemzeti törekvés ... a bilincsekbe vert irodalom, a tudomány, a művészet volt azon egyedüli tér, melyen szeretett hazánkhoz való ragaszkodásunkat bizonyíthattuk, azon egyedülálló eszköz, melynek rendületlen fejlesztésével remélhettük, hogy a magyar nemzet gyarapodását ... sőt létét biztosítani fogjuk. E szomorú korszakban tehát minden magyarnak szent kötelezettségévé vált, megfeszített s ernyedetlen erővel e terek egyikén a haza javára működni.*

### A cikk szerzője

Szabó Zoltán

### Felhasznált irodalom

- Birly István (1863): Csónak-út Rotterdamtól Pestig. Pest, Landerer és Heckenast, 107 p.
- Hevesy István (1958): A magyar fotóművészet története. Budapest, Bibliotheca 244 p.
- Kincses Károly (1992): Rosti Pál 1830–1874. Kincses Károly tanulmánya az úti emlékezetek Amerikából hasonmás kiadásához. Budapest, Magyar Fotográfiai Múzeum & Balassi kiadó, 69 p.
- Papp Júlia (2008): Az ötödik album. Rosti Pál (1830–1874) Fényképi Gyűjteményének újabb példánya. Fotóművészet, LI. 2. pp. 118–127
- Rosti Pál (1858): Fényképi gyűjtemény melyet Havannában, Orinoco vidékén és Mexicóban tett utazása alatt készített Rosti Pál 1857–1858
- Rosti Pál (1861): Úti emlékezetek Amerikából. Pest, 1861. Kiadja Heckenast Gusztáv 200 p.
- Rosty Pál (1863): Úti vázlatok. In: Magyarhoni Földtani Társulat munkálatai, II. kötet (szerk. Szabó József), pp. 160–185
- Szabó Z. (2015): Eötvös Loránd a reneszánsz lelkiületű tudós. Magyar Geofizika, 56/4, 209–220



# A „Szeizmológia az iskolában” program elindítása Magyarországon

KISZELY M.<sup>@</sup>, MÓNUS P.<sup>&</sup>, GRIBOVSZKI K.<sup>#</sup>

MTA CSFK GGI Kövesligethy Radó Szeizmológiai Obszervatórium,  
1112 Budapest, Meredek u. 18.

<sup>@</sup>E-mail: kiszely.marta@csfk.mta.hu; <sup>&</sup>E-mail: monus.peter@csfk.mta.hu;

<sup>#</sup>E-mail: katalin.gribovszki@csfk.mta.hu

Minden évben lelkes gimnáziumi csoportok jelentkeznek a Kövesligethy Radó Szeizmológiai Obszervatóriumba, hogy ismeretterjesztő előadást hallgathassanak meg a földrengésekről. A szeizmológia az iskolában programnak Európa-szerte és Amerikában valamint Ausztráliában is már kialakult módszertana van. A földrajz- és fizikatanárok nagy örömmel számolnak be arról, hogy mennyire más lesz a gyerekek kapcsolata a tananyaggal, egy-egy tudománnyal, ha modelleket, kísérleteket látnak, és maguk végezhetik el a méréseket. E cikkben bemutatjuk az első lépéseket, amivel a szeizmológiai ismeretek oktatását szeretnénk elősegíteni közép- és általános iskolások és tanáraik számára.

## Kiszely, M., Mónus, P., Gribovszki, K.: The „Seismology in school” project starts in Hungary

Every year, eager high school groups appear at Kövesligethy Radó Seismological Observatory to be able to attend lectures about the earthquakes. The seismology at the schools teaching methodology is already established in Europe and across other continents as well. The geography and physics teachers are very pleased to report that how different will be the children's relationship to the curriculum, to a discipline when they see themselves models, experiments and themselves can perform the measurements. We present in this article the first steps to help primary and secondary school students and their teachers in seismological skills training.

## Bevezetés

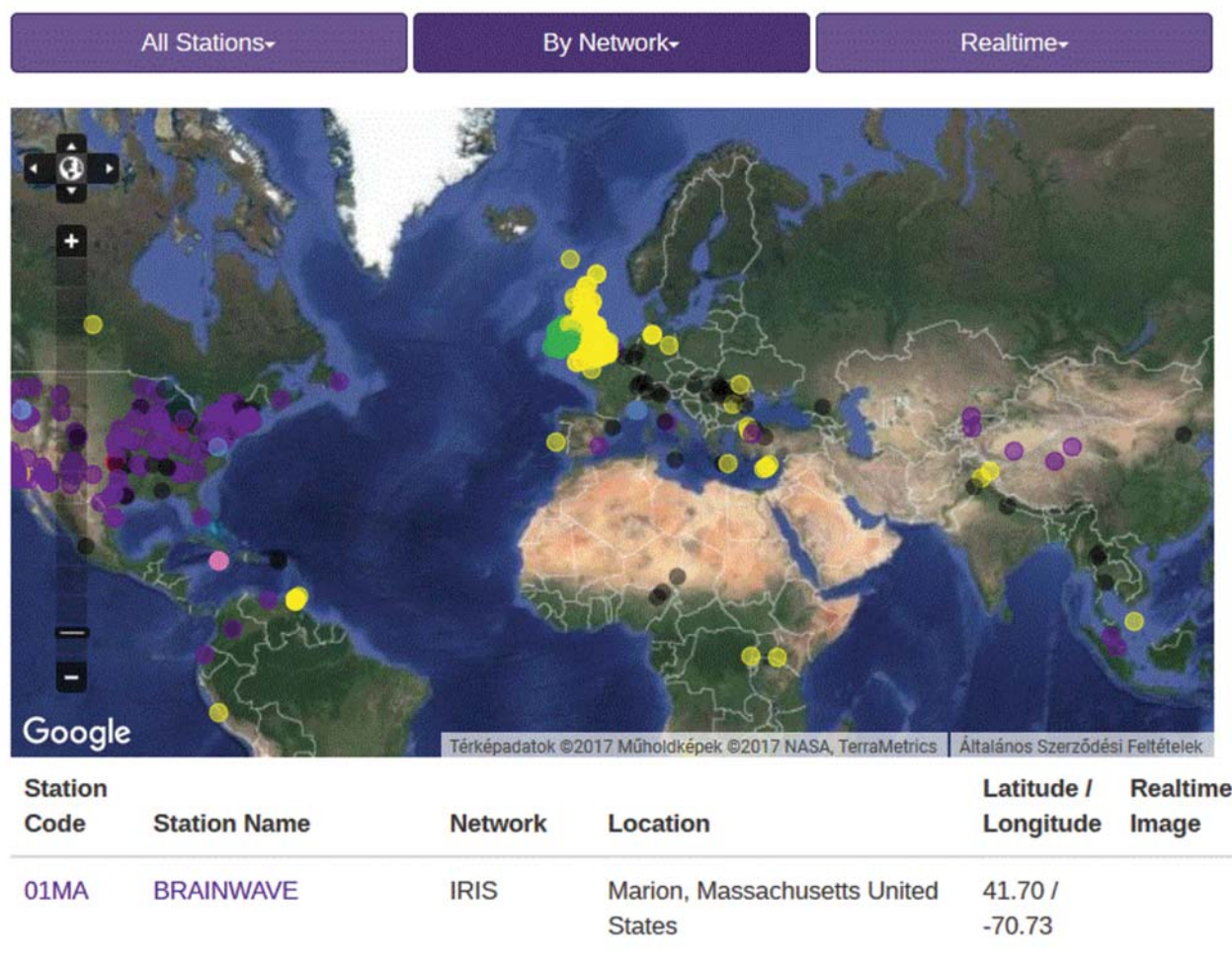
A tudományos ismeretterjesztés egy új távlatát szeretnénk elindítani a földtudományokat érintő tantárgyakban Magyarországon. E program során kihasználjuk az internet adta lehetőségeket, és a program részleteit és szakmai ismereteinket egy honlap segítségével osztjuk meg a gyerekekkel és tanáraikkal.

A kísérleti programok tapasztalata szerint a tanulók egyre elkötelezettebbek lesznek, és sokkal többet tanulnak egy-egy témakörből, ha látják, hogyan tükröződik a tanult tananyag a valóságban, a saját életükben. A földrengések megfigyelése saját iskolai műszerrel „azta!” élményt nyújt a diákoknak, és felkeltik a lelkesedésüket. Európában a „Szeizmológia az iskolában” oktatási program 1995-re nyúlik vissza, amikor az első erőfeszítések történtek abban az ügyben, hogy oktatási céllal iskolai szeizmográfot állítsanak fel osztálytermekben (Bobbio, Zollo 2009, Bobbio et al. 2011). Nagyon sikeres tapasztalatok voltak az USA-

ban is a Princeton Earth Physics Program (PEPP) keretében. Európában pedig az Educational Seismological Project (EDUSEIS) négy különböző európai ország részvételével indult el: Franciaországban, Olaszországban, és Portugáliában. Németország esetében pedig tudományos múzeumok és kutatóintézetek fogtak össze az érintett középiskolákkal. „A szeizmológia az iskolában” program 2011-ben Európában már 484 állomással fut és nemrég tovább bővült svájci iskolákkal, továbbá az első lépések megtörténtek Görögországban és Portugáliában is (Solirano 2011). Norvégiában SEIS-SCHOOL néven 2000-ben indult 6 állomással a program. Az 1. ábra mutatja „A szeizmológia az iskolában” programban részt vevő iskolák elhelyezkedését (<http://geoserver.iris.edu/stations/register>). A különböző színek más-más hálózatot jelölnek. Látványos a hiány Közép-Európában! Romániában 2012 és 2016 között egy 4 évig tartott a program sikeresen 15 középiskola részvételével (Tataru et al. 2016). Jó lenne egy hasonló elindítani Magyarországon is!



## Stations



**1. ábra** A „Szeizmológia az iskolában” programban részt vevő iskolák elhelyezkedése  
**Figure 1** The location of participating schools in the “Seismology in school” project

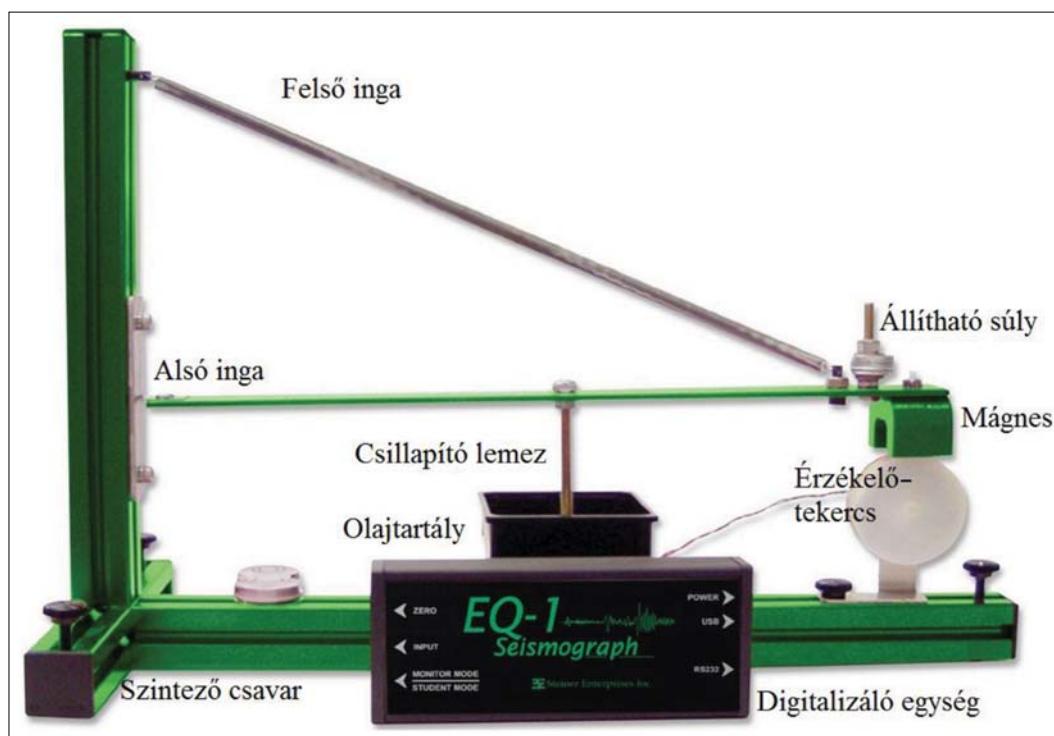
A programban nagy szerephez jutott a webes kapcsolattartás az iskolák között. Interneten elérhető oktatóanyagokat is kaptak a pedagógusok (Bulaenko, Husebye 2003), és útmutatást egy nagyon olcsó, házilag összerakható szeizmométer összeállításához. Interneten, angol nyelven bőséges segédanyag is elérhető, ezeket pótoljuk most a magyar nyelvű anyaggal. A magyarországi terveket mutatjuk be az alábbiakban, amely egy *suliszeizmográf*-al, egy *honlappal* és *jegyzettel* indul.

### A programhoz szükséges felszerelés

A program lelke a *suliszeizmográf* (2. ábra). Egy professzionális szeizmológiai hálózat tervezésekor több szempontot is figyelembe kell venni: a kívánt érzékenységet, az érzékelő frekvencia tartományát, a tárolandó adat mennyiségét, valamint az internetkapcsolat tulajdonságait. Az

energiaellátás és az időjel pontossága is fontos tényező. Az oktatáshoz kapcsolódó programok azonban általában csak szűkös anyagi keretekkel rendelkeznek, és nincs is szükség kényes, nagy érzékenységre, kivált egy olyan zajos helyen, mint egy iskola. Több cég is gyárt ezért „félprofesszionális” szeizmográfot, hogy a piacát bővítse. Néhány program esetében, mint például Angliában, a szeizmológia az iskolában kezdeményezés célja nemcsak annyi volt, hogy „telepítsd a műszert és megfigyeld a földrengéseket”, hanem hogy egyes diákokban nagyfokú érdeklődést ébresszenek a szeizmológiai iránt, és kezelni tudják az iskola saját műszerét. Ezt figyelembe véve egy olcsó és egyszerű szeizmométert terveztek és forgalmaznak a MUTE cég által. Több mint 400 szeizmométert adtak már el (Solirano 2011). Az ugyanolyan típusú eszköz az egész hálózatban leegyszerűsíti a kapcsolatot az állomások között, és egy közös adatbázis létrehozását is meg-



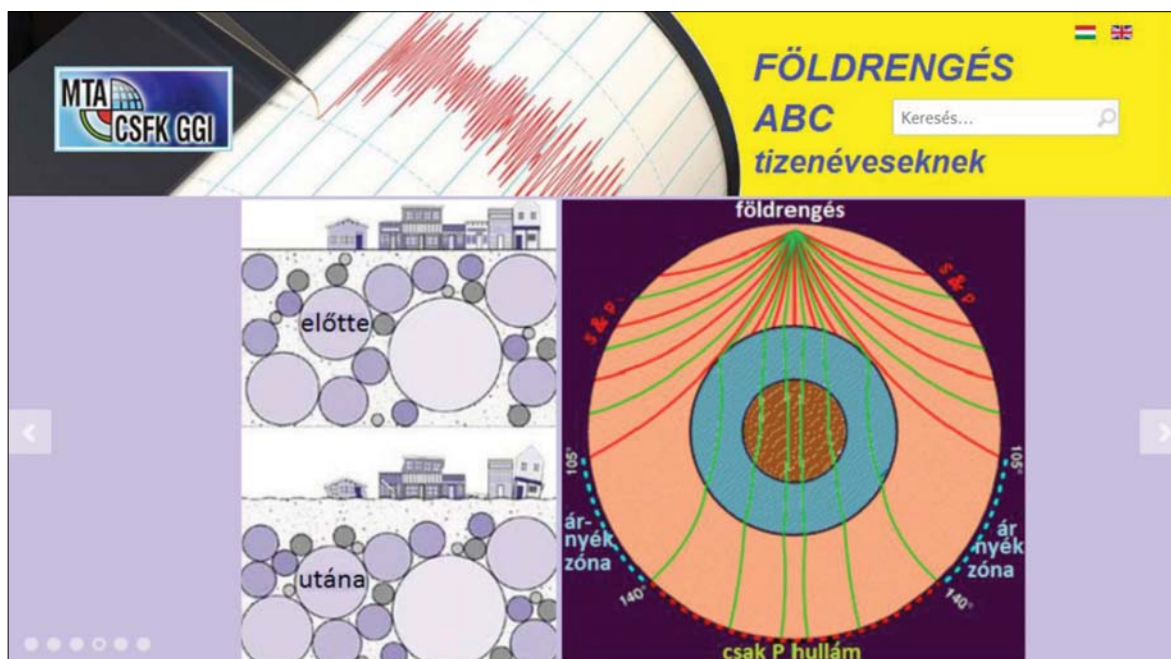


2. ábra | Az EQ-1 vertikális suliszeizmográf  
Figure 2 | The EQ-1 Vertical school seismometer

könnyíti. Néhány más esetben egy-egy iskola külön vásárolt vagy épített saját műszert. Ez a megközelítés elsősorban hatékonyságát bizonyítja a részt vevő iskolák számának növekedésében, de hosszabb távon az a tapasztalat, hogy több gond keletkezik, amikor megpróbálnak összerakni

egy adatbázist, vagy közös gyakorlati feladatokat terveznek.

Az általunk megvásárolt EQ-1 típusú suliszeizmográf képes regisztrálni egy legalább  $M = 3,5$  földrengést 150 km-en belül, és a Földön bárhol kipattant  $M > 6,5$



3. ábra | A „Szeizmológia az iskolában” honlap főoldala  
Figure 3 | The main page of website “Seismology in school”



## Főmenü

Szeizmológia az iskolában

Kapcsolat

Megközelítés

Mi a földrengés?

Földrengések a mítoszokban

Földrengés keletkezik!

Vetők legfontosabb típusai

Miről árulkodnak a földrengések?

Gutenberg-Richter törvény

Szeizmométerek

Leggyakrabban hol pattannak ki földrengések?

A szeizmikus hullámok szemléltetése

A honlapról

Források, linkek

Köszönetnyilvánítás

Képgaléria

Felhasználónév

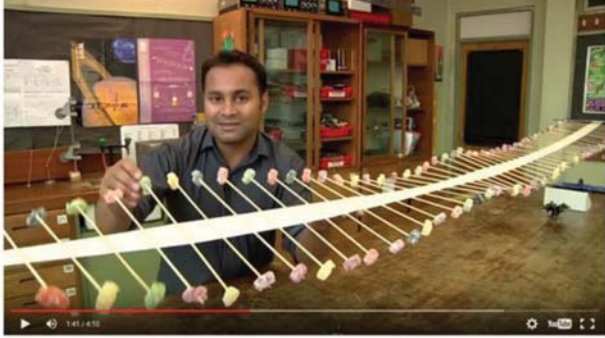
Felhasználónév

Ön itt van: Főlap

## A szeizmikus hullámok szemléltetése

A hullámgép segítségével egyszerűen nagyon látványos bemutatót tudunk készíteni: [wave machine](#)

How to build your own Wave Machine physics demo



Legalább 5 m hosszú ragasztó szalagra 5 cm-ként egyenletesen hurkapálcikát ragasszunk fel keresztben. Kb. a fele távolságig rakjunk gumimacikat a hurkapálca két szélére. Igyekezzünk jól kifeszíteni a szalagot a demonstrációhoz. Mehet a kísérlet!

A hullámgép segítségével a rengéshullámok következő tulajdonságát tudjuk szemléltetni:

4. ábra A „Szeizmológia az iskolában” honlap menüpontjai

Figure 4 The menu items of “Seismology in school”

erősségű rengést.  $M > 6$  földrengés évente átlag 140 pattan ki, ami akár heti 2-3 megfigyelhető eseményt is jelent a diákok számára, egy közeli  $M > 3$  esemény pedig érintheti őket, mert akár érezhették is. A talajmozgást a tekercsben indukálódott elektromos áram jelzi, amelynek a jele egy erősítő és digitalizáló egységen keresztül jut el a számítógép

géphez. A számítógép monitorán valós időben jelenik meg a talajmozgás!

Interneten lehet regisztrálni a *Suliszeizmográf* hálózatra (<http://geoserver.iris.edu/user/register>), és akkor a mi műszerünk adatait is látják más iskolák, illetve mi is elérhetjük a többi iskola műszereinek szeizmogramjait.



5. ábra Diákok aktív részvételével könnyebb a tanulás

Figure 5 With active participation of students the learning is easier



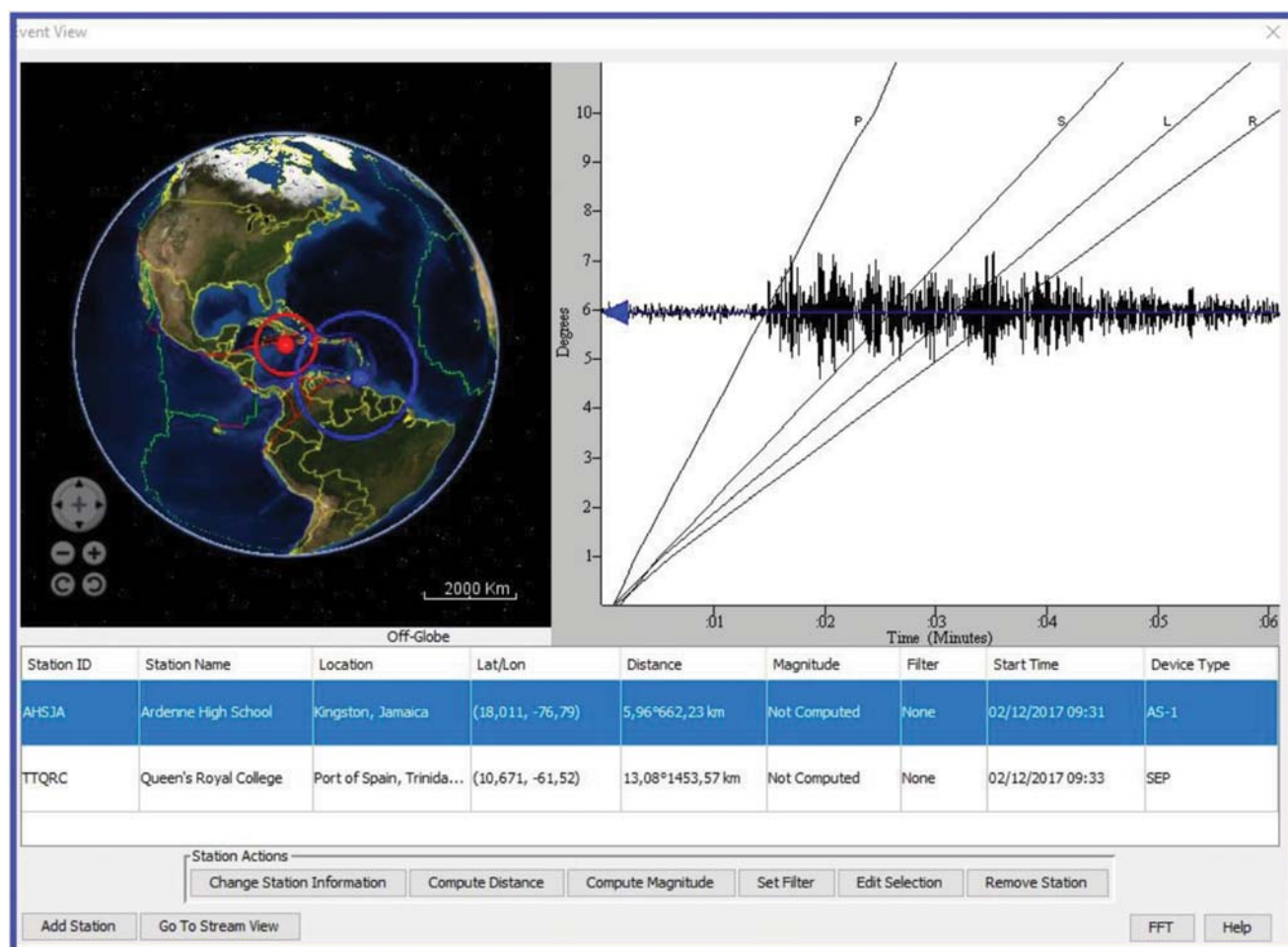
## A „Földrengés ABC tizenéveseknek” honlap

Azt tapasztaltuk, hogy angol nyelven kis- és középiskolásoknak rendkívül színes és ötletesen magyarázó, ismeretterjesztő anyag található, de a tanárok nem ismerik ezeket, vagy nem tudnak jól angolul. Ezért készítettünk egy honlapot, amely a [www.seismology.hu](http://www.seismology.hu) oldalról érhető el az „ISMERETTERJESZTÉS/Suli-szeizmológia” menüpont alatt található (3. ábra). Ez a honlap a középiskolások és tanáraik számára a szeizmológia alapjait és az iskolai használatra kifejlesztett „Suliszeizmográf/School seismograph” működését, valamint az ezekhez kapcsolódó szemléltető videókat és ismereteket tartalmazza. A honlapot folyamatosan bővítjük és csiszoljuk. Nagy hangsúlyt helyeztünk az egyszerű demonstrációk bemutatására, és más internetről letölthető látványos illusztrációk, linkek bemutatására. A honlap a földrengésekhez kapcsolódó mítoszok legendák bemutatásával kezdődik, majd a vetők típusait, a Föld belső szerkezetét, a földrengések kipattanásának körülményeit szemlélteti (4. ábra). A „Milyenek a rengéshullámok” menüpont alatt néhány gyakorlati tipp is látható, amelyet mi magunk is elkészíthetünk a szeizmikus hullá-

mok szemléltetésére. A gyerekeket is bevonhatjuk a demonstrációba, és ők lesznek 1-1 köztrészecske, amelyet megráz a földrengés. A diákok nagyon élvezik, és egy életre megtanulják a P és S hullámok alapvető tulajdonságait e modellezés során (5. ábra). A Gutenberg–Richter-törvény magyarázata is a látványra épül „spagetti rengés” címmel. Mostanában a Richter-féle magnitúdó mellett a momentum magnitúdót is használják, ennek szemléletes bemutatása is megtalálható a honlapon.

A suliszeizmográf adatainak a kezeléséhez is segítséget ad a honlap. Az ingyen letölthető *Amaseis* és *jAmaSeis* programot fejlesztették ki ezekhez a műszerekhez, amely angol nyelvű menüpontokat tartalmaz, és részletes útmutatás is elérhető a szeizmogramok értelmezéséhez (6. ábra). A honlapon magyar nyelvű ismertetés is megtalálható e feldolgozóprogramokról.

Első lépés a földrengés felismerése a napi felvételen, plotfájlon. Máshogy néz ki egy közeli és egy távolabbi rengés szeizmogramja. Fel kell ezen ismerni és ki kell jelölni az első P (Primer) – és ha látható – a második jelentős fázist, az S (Secunder) beérkezéseket. Ekkor egy ablakban a menetidőgörbékben odatozhatjuk a szeizmogramunkat, ahol



6. ábra | A *jAmaSeis* kiértékelő program használata látványos és könnyen elsajátítható

Figure 6 | Using of *jAmaSeis* evaluation is spectacular and easy to learn



az a legjobban illeszkedik a P és beérkezési időkülönbségéhez. Közben a földgömbön megjelenik a mi állomásunk, valamint a P és S beérkezési ideje alapján becsült epicentrális távolság, azaz egy kör az állomás körül. Ha találunk egy másik iskolát, ahol működik még suliszeizmográf, már két kört kapunk, amelyek metszete alapján pontosíthatjuk a földrengés helyét.

Lehet szűrni az adatokat, amivel a zajosabb háttérből jobban kiemelhetjük a földrengés vagy az S hullám jeleit, és megtapasztalják a diákok egyéb zajforrások, mint pl. vihar, közlekedés hatását.

## Tapasztalatok

Eddig két székesfehérvári középiskolába, a Lánczos Kornél és a Tóparti Gimnáziumba jutott el a suliszeizmográf, ahol a diákok és tanáraik pár hónapig megfigyelhették a földrengéseket. Mivel a szeizmográf a tanítási idő alatt jelezte az iskolai élet „minden rezdülését”, valamint a városi forgalom egy részét is, ezért inkább az éjszakai és az őszi szünet alatti eseményekre koncentráltak a diákok. Gondot jelentett a greenwichi idő használata és a távolabbi földrengések beérkezési idejének a megbecsülése. Egy saját szeizmométer építéséhez is kedvet kaptak a Lánczos Kornél Gimnáziumban. Hiányzott azonban egy olyan segédanyag, amelyet a honlap most pótol, és elkészült egy magyar nyelvű jegyzet is a programban részt kívánni vevők iskolák számára.

E cikk egyben toborzás és figyelemfelkeltés is! Távlati lehetőség, hogy a Mars-kutatásba is bekapcsolódhat az iskola a MarsQuake program keretében! A diákok izgalmas kérdésekre kutathatják a válaszokat. Milyen anyagból van a Mars magja? Miért nem láthatók tektonikai lemezek a Marson? Első kézből láthatják a NASA InSight Mars-expedíció legújabb, a Földre visszaküldött képeit és meteorbecsapódásokat kereshetnek. Meteorbecsapódás szimulációját tervezhetik a programban résztvevők, az osztályban különböző „cseppek”-kel. 2018 májusában tervek szerint 2 szeizmométert raknak ki a Mars felszínére, várhatóan 2019-től a földöntúli marsi rengések jeleit is megnézhetik a gyerekek az IRIS honlapról szabadon letöltve.

## Köszönetnyilvánítás

Hálás köszönetem mindazoknak, akik a „Szeizmológia az iskolában” honlap létrejöttét segítették tanácsaikkal, hozzászólásaikkal, hibák észrevételével vagy akár csak biztatásukkal. Köszönet illeti Győri Erzsébetet az ötlet támogatásáért, Maróti Tamást a honlap szerkesztési problémáiban nyújtott segítségéért. Köszönet illeti a GGI CSFK főigazgatóját, dr. Szarka Lászlót a főigazgatói keretből történt anyagi támogatásért, amelynek a segítségével az első suliszeizmográfot beszereztük.

## A cikk szerzői

Kiszely Márta, Mónus Péter, Gribovszki Katalin

## Hivatkozások

- Solirano S. (2011): Current School Seismology Activities in Europe, Orfeus Report: [ftp://www.orfeus-eu.org/pub/NERA/Deliverables/NERA\\_D8.1.pdf](ftp://www.orfeus-eu.org/pub/NERA/Deliverables/NERA_D8.1.pdf)
- Bobbio A. MSC Newsletter, 24, 22–23
- Bobbio A., Zollo A., Festa G., Mosca P. (2010): Seismology at school: from the experience of the EduSeis project to a new approach in teaching and learning the earthquake risk, European Seismological Commission, 32nd General Assembly, Sept. 6–10, 2010, Montpellier, France
- Bulaenko M. E., Husebye E. S. (2003): Electronic learning modules for high school students in seismology. Seismological Research Letters, 74, 570–577
- Tataru D., Zaharia B., Grecu B., Tubu S., Brisani N., Georgescu E. S. (2016): Seismology in Romanian schools: education, outreach, monitoring and research. Romanian Reports in Physics, 68/4, 1589–1602

## Internetes források

- Nemzetközi „Szeizmológia az iskolában” honlap: <http://geoserver.iris.edu/stations/view/SIE>
- MarsQuake program ismertetése: <http://www.bgs.ac.uk/discoveringGeology/hazards/earthquakes/marsQuake/home.html>
- IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology): <https://www.iris.edu/hq/#>



## Agocs-díj 2017

A díjat alapító Dr. William B. Agocs professzor szándéka szerint az Eötvös Loránd Tudományegyetem geofizika szakán megvédett, kiemelkedő színvonalú MSc-, illetve PhD-dolgozatokat lehet jutalmazni. Az Agocs-díj kurató-

riuma, amely a korábbi díjazottakból áll, titkos szavazással két PhD- és két MSc-dolgozatot talált jutalmazásra érdemesnek 2017-ben. A díjazott dolgozatok:

*Dr. Szanyi Gyöngyvér:* „A Pannon-medence S-hullám sebességterének vizsgálata” című PhD-dolgozatáért, témavezető: *dr. Győri Erzsébet* tudományos főmunkatárs

*Dr. Toronyi Bence:* „Geoid modellezése, inverziós módszerrel történő gravitációs hatószámítás alapján” című PhD-dolgozatáért, témavezető: *dr. Kis Károly* ny. egyetemi docens

*Kalmár Dániel:* „Receiver function számítások az AlpArray szeizmológiai állomások adatainak felhasználásával” című MSc-dolgozatáért, témavezetői: *dr. Bondár István* tudományos tanácsadó és *dr. Lenkey László* egyetemi docens

*Szijártó Márk:* „Topográfiai és hőmérsékleti különbségek együttes hatása által vezérelt felszín alatti vízáramlás numerikus modellezése szintetikus egységmedencében” című MSc-dolgozatáért, témavezetői: *dr. Galsa Atilla* egyetemi adjunktus és *Mádlné dr. Szőnyi Judit* egyetemi docens

*Dr. Borhy László* egyetemi tanár, az ELTE rektora távollétében az Agocs-díjat 2017-ben *dr. Szalay Péter* egyetemi tanár, az ELTE tudományos rektorhelyettese adta át ünnepélyes körülmények között a rektori tanácssteremben, 2017. szeptem-

ber 14-én. A díjátadáson jelen voltak: *Dr. Jánosi Imre* egyetemi tanár a Természettudományi Kar stratégiai és fejlesztési dékánhelyettese, a kuratórium tagjai és a díjazottak által meghívott vendégek.

*Kis Károly*



Dr. Szanyi Gyöngyvér átveszi a díjat dr. Szalay Péter egyetemi tanártól, az Eötvös Loránd Tudományegyetem tud. rektorhelyettesétől



Dr. Toronyi Bence átveszi a díjat dr. Szalay Péter egyetemi tanártól, az Eötvös Loránd Tudományegyetem tud. rektorhelyettesétől



Kalmár Dániel átveszi a díjat dr. Szalay Péter egyetemi tanártól, az Eötvös Loránd Tudományegyetem tud. rektorhelyettesétől



Szijártó Márk átveszi a díjat dr. Szalay Péter egyetemi tanártól, az Eötvös Loránd Tudományegyetem tud. rektorhelyettesétől



## Megemlékezés Klaus Lehnertől, a kollégáról és barátról



Dr. Klaus Lehnert (1930–2017)

Idén júliusban, életének 87. évében Gommernben (NSZK) elhunyt *dr. Klaus Lehnert* okleveles geofizikus, akit derékba tört karrierje dacára is kiváló szakemberként tiszteltek, és én 50 éve barátként szerettem.

Halle/Saale városában született, itt is érettségizett, és bár gyermekkorától soha nem élt itt tartósan, ezt a helyet mindig otthonaként emlegette.

A szülői ház légkörének és saját meggyőződésének megfelelően a gimnázium utolsó évében belépett a szabadelvű demokrata pártba (Liberal-Demokratische Partei, majd Liberal-Demokratische Partei Deutschlands), mely lépése egész pályafutására kihatott.

Mivel édesapja vegyipari gépészmérnök volt, a középiskola elvégzése után a vegyiparban helyezkedett el azzal a szándékkal, hogy vegyészmérnöki egyetemi tanulmányokat folytasson. Hidrogeológus keresztapja tanácsára azonban mégis a geofizikát választotta, és felkereste dr. Lauterbach professzort, aki abban az időben a lipcsei egyetemen

az alkalmazott geofizika egyetemi oktatását és a nyersanyagkutatásban rendkívül hiányzó szakemberek képzését szorgalmazta. Így került gyakornokként az NDK földtani szolgálatához, ahol néhány hónapig egy szeizmikus terepi csoportban dolgozott.

Ez követően mint munkahelye ösztöndíjasa végezte egyetemi tanulmányait, és az oklevél kézhez vétele után ismét visszatért a refrakciós szeizmikához. 1957 szeptemberében azonban az akkor gyermekcipőben járó mélyfúrás-geofizikához kéri magát, ahol Gommernben előbb csoportvezetőként, majd geofizikusként dolgozott. A nyersanyagban szegény országban erőltetett földtani kutatás folyt, amellyel sem a szakemberek képzettsége, sem a műszerezettség nem tudott lépést tartani. A szakismereti hiányok enyhítése érdekében 1959-ben az NDK olajipari vezetőinek kérésére érkezett a részleghez Barlai Zoltán, aki mint kiváló szaktekinetly és kiemelkedő pedagógia érzékkel rendelkező specialista néhány hetes angol nyelvű tanfolyamot tartott, amelynek színvonaláról és hasznosságáról Lehnert haláláig írásban és szóban is többször megemlékezett. Itt kell megjegyezni, hogy Klaus Lehnert oroszul is jól beszélt, és közvetlenül tárgyalt a hozzájuk kirendelt szovjet szakértőkkel, akik 1969-ig voltak náluk szolgálatban.

A hiánypótló és elsősorban az ellenállásmérésekkel foglalkozó előadás-sorozattal egy időben autodidakta módon elsajátította, alkalmazta, majd egy, Klaus Rothe szerzőtársával együtt írott kötetben részletesen leírta az akkor ismert karotázsmódszereket. 1962-ben megjelent könyvükben (Akademie Verlag, Berlin, 284 oldal, 330 irodalmi hivatkozás) a szakirodalomban ritka precizitással, a fizikai és geológiai alapok pontos leírásával a mélyfúrás-geofizikai német nyelvű alpmunkáját bocsátották a tudomány és az iparág (nyugati és keleti) szakembereinek rendelkezésére, amelynek hatása – főleg német nyelvterületen – mind a ma napig érezhető. (Mi akkor még az erősen reklámozó amerikai könyvekből tanultunk.)

1959-ben megnősült, felesége Margret, egy evangélikus lelkész lánya, akivel 49 évig élt boldog házasságban. Pártválasztása mellett az így létrejött „klerikális kötődése” további terhet jelentett élete során. A házasságból két fiuk született, akiket e szülői háttér miatt csak szilikátipari (téglaagyártás) szakközépiskolába vettek fel, és továbbtanulásuk elé is legyőzhetetlen akadályokat görgettek.

A kutatási területekhez alkalmazkodva Lehnert és geofizikus társai jelentős munkát fektettek a nagy ellenállású (>100  $\Omega$ , zechstein és rotliegende) összeletek megismerésére, erre különleges, a számukra hozzáférhető mérési



módszerekre támaszkodó programot és interpretációs eljárást fejlesztettek ki. A mérési elvből eredően ezeknek a rétegsoroknak a feldolgozására a laterolog eljárás lenne a legalkalmasabb, azonban a magyar gyártmányú mérőberendezést sokszori próbálkozás és jelentős erőfeszítés ellenére sem tudták üzembe állítani.

1967-ben a lipcsei egyetemen doktorált (Dr. rer. nat.).

Meggyőződéses liberális demokrataként, megtűrt kis pártjában aktívan dolgozott. Hosszú időn át vezette a gommerni pártszervezetet, 1964–1968 között Magdeburg megyei, majd 1970–1974 között Gommernben városi képviselő volt.

Ebben az időben a munka szervezeti feltételei állandóan módosultak, de Lehnert különféle vezető beosztásokban 1974-ig a mélyfúrás-geofizikai munkák tényleges vezetője volt. A 12 év során a szénhidrogén-, majd a szénkutatási céllal is végzett mérések 5 különböző céghez tartoztak, elszenvedve az ezzel járó sok adminisztratív és egyéb többletmunkát. A hatodik változás előtt beadvánnyal fordult az NDK Államtanácsa elnökéhez, feltárva ebben az átszervezések negatív következményeit és segítséget kérve megfelelő munkafeltételek megteremtéséhez. Bár érvei részben meghallgatásra találtak, ezt követően sok nyílt és leplezett, sőt alattomos támadás érte, helyzete az általa is felépített vállalatban ellehetetlenült, ezért az olaj- és gázipari kutatóintézetbe (FIEE, Gommern, a magyar OGIL-nak megfelelő intézmény) kéri magát.

Kiemelendő, hogy a kutatóintézetben a legnagyobb NDK-beli gázmező (Salzwedel, a kitermelt mennyiség 1989-ig 178 milliárd m<sup>3</sup>) leművelésének geofizikai módszerekkel történő ellenőrzése során figyelt fel a termelő-kutakban fellépő recens gamma-anomáliákra, melyekre sokoldalú és iparilag alkalmazható magyarázatot adott.

Jelen megemlékezésnek nem célja Lehnert szakmai tevékenységének részletes bemutatása, csak megemlítem, hogy számos, köztük több alapvető szakcikket írt, folyamatosan adott elő az akkor számára elérhető fórumokon, három ízben volt meghívott vendégként előadó az MGE előadó- és vitarendezvényein.

Különlegesen érdekesek az egyes geológiai összletek egységes értelmezésére kiadott főgeofizikusi előírásai, amelyeket nagy gonddal készített elő, majd munkatársaival részletesen átbeszélve elrendelte azok kötelező alkalmazását. Bár az NDK-ban nagy volt az „éberség”, és szinte minden anyag minősített volt – pl. bizalmas, csak belső használatra, elzárandó, titkos, szigorúan titkos, stb. –, a 70-es évek elején 3 hónapos kinti munkám során volt alkalmam ilyeneket látni. Rövid tartalmuk: földtani, kutatástechnikai feladatok, az összlet (geo-)fizikai jellemzői, az ezek megismerésére használható szelvényezési eljárások, az értelmezés lépései, meghatározandó paraméterek.

Említésre érdemes, de kevésbé ismert, mert abban az időben NDK-beli kollégáink nem beszélhettek róla, hogy 1963–1985 között 47 db 4000 m-nél mélyebb fúrást mélyítettek le (köztük 3 db több mint 7000 m, a legmélyebb pedig 8008 m mély volt) és mértek be eredményesen. Az évente több ezer barnaszénkutató fúrás mérési és értelmezési munkái is jelentős terhet jelentettek a karotázsszolgálatnak.

A szakmai életből mind inkább kiszorítva egyre több időt fordított rajzolói tehetsége fejlesztésére és alkalmazására. Több helyi történeti kiadványt illusztrált, emléklapetteket tervezett, vezető szerepet játszott számos regionális műszaki és történeti műemlék felkutatásában, konzerválásában és renoválásában.

Nyugdíjazása után két volt geofizikus kollégájával összefogva megírták (ill. összeállították) szorosabban vett szakterületük történetét (Chronik der Bohrlochmessungen im Osten Deutschlands). E témája ellenére nagyon olvasmányos könyvecskében különösen érdekes az utolsó fejezet, amely az 1990-ben bekövetkező szemléleti és szervezeti változásokat tárgyalja.

Dr. Klaus Lehnerttel haláláig szoros szakmai és privát kapcsolat kötött össze. Rendszeres találkozásaink különböző rendezvényeken, majd családi összejöveteleink, gyermekeink cserelátogatásai és az utolsó években élénk levél- és e-mailváltás hirtelen és fájdalmas véget ért.

Kedves Klaus, nyugodj békében!

*Dr. Deres János*



## Dr. Polcz Ivánné Mezey Mária, a Magyar Geofizikusok Egyesületének alapító tagja 1929 – 2017

Mezey Mária, a Magyar Geofizikusok Egyesületének alapító tagja 1929. június 29-én született Budapesten tisztviselő édesapja családjának második gyermekeként. Családjukban később még egy fiú- és egy lánytestvére született. Középiskolai tanulmányait a budapesti Erzsébet Nőiskola gimnáziumban végezte. Négy évvel idősebb bátyját 1945 elején szovjet katonák ismeretlen okból meggyilkolták, ez a megrázó esemény Mária és családjuk életén kitörölhetetlen nyomot hagyott. Érettségi után a Pázmány Péter Tudomány Egyetem német-francia szakán tanult, 1950-ben diplomázott. Az akkori hazai belpolitikai helyzet miatt nyelvtanári képesítését nem használhatta, mert az orosz nyelv tanítása vált kötelezővé a nyugati nyelvek helyett. 1951-ben jelentkezett a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet geofizikus középkáderképző tanfolyamára, ahová több, vegyes képesítésű társával együtt vették fel. Ennek sikeres befejeztével 1952 tavaszán az egyik szeizmikus mérőcsoport tagjaként több éven át vett részt terepi munkában. Ebben a munkakörében ismerkedett meg Polcz Iván szeizmikus terepi észlelővel, akivel 1958-ban házasságot kötöttek. A házasságban lánynevét megtartotta.



Dr. Polcz Ivánné Mezey Mária  
1929 – 2017

Első gyermekük születése után az Intézet központjában dolgozott tovább. Időközben férjével együtt mindketten beiratkoztak a Miskolci Nehézipari Egyetem geofizikusképző levelező szakára, ahol két évet végzett el, férje 1963-ban diplomázott. Házasságukból három gyermek született. 1974 májusától családjuk 1978 augusztusáig Kubában, Havannában éltek, ahol férje geofizikai kutatási tanácsadóként dolgozott. Az Intézetből 1985-ben ment nyugdíjba. Élete további részét kitöltötte az unokák születésével növekvő családi nagymamái hivatás. Gyermekei családját és tizenegy unokáját amíg csak egészségi állapota lehetővé tette, odaadó nagy szeretettel látogatta, gondozta, tanította.

Munkatársai kedves, szeretettel teli színes egyéniségére mindig emlékezni fognak. Hogy milyen őszinte szeretet vette körül, azt a Kanadából, Limából, Spanyolországból, Franciaországból és Angliából küldött részvételek is fényesen bizonyítják.

Mária, nagyon hiányzol, nyugodj Isten szeretetében, megérdemelt békében!

*Polcz Iván*



# Rendezvéynaptár

2018. február		
febr. 12–15.	DGG Spring Meeting (dgg2018.dgg-tagung.de)	Leoben, Ausztria
2018. március		
márc. 1–2.	GeoTherm – geotermális kongresszus és kiállítás (www.geotherm-germany.com)	Offenburg, Németország
márc. 26–29.	7. EAGE Workshop on Passive Seismic 2018 (events.eage.org)	Krakkó, Lengyelország
2018. április		
ápr. 6–7.	ISZA 2018	Hotel Silver, Hajdúszoboszló
ápr. 8–13.	EGU közgyűlés, 2018 (www.egu2018.eu)	Bécs, Ausztria
ápr. 18–19.	DGMK tavaszi konferencia (www.dgmk.de)	Celle, Németország
2018. május		
máj. 14–16.	Geoinformatics 2018 (www.eage.org)	Kiev, Ukrajna
2018. június		
jún. 2–6.	SPWLA 59th Annual Logging Symposium (www.spwla2018.com)	London, United Kingdom
jún. 11–14.	80. EAGE kongresszus és műszerkiállítás (www.eage.org)	Koppenhága, Dánia
jún. 18–21.	17. International Conference on GPR (www.gpr2018.hsr.org)	Rapperswil, Svájc
2018. szeptember		
szept. 9–13.	Near Surface Geoscience 2018 (www.nearsurfacegeoscience2018.org)	Porto, Portugália

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

Kakas Kristóf



## A szeizmika kezdetei Magyarországon, 1939



1. ábra.  
Robbantás.



2. ábra.  
Robbantólyuk fúrása kézi erővel.



3. ábra.  
A műszerkocsi.



4. ábra.  
Felvevőkészülékek, előerősítők és kábeldobok.



5. ábra.  
Műszerkezelő.



6. ábra.  
Oszcillográf és nagy erősítők.  
Előhívóberendezés.

A Magyar Királyi báró Eötvös Loránd Geofizikai Intézet egy jelentéséből

MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE

1145 Budapest, Columbus u. 17-23.; Tel./Fax: (1) 201-9815

E-mail: [postmaster@mageof.t-online.hu](mailto:postmaster@mageof.t-online.hu); Honlap: [www.mageof.hu](http://www.mageof.hu)

