

# MAGYAR GEOFIZIKA

HUNGARIAN GEOPHYSICS

A MAGYAR  
GEOFIZIKUSOK  
EGYESÜLETÉNEK  
FOLYÓIRATA



JOURNAL OF THE  
ASSOCIATION  
OF HUNGARIAN  
GEOPHYSICISTS

Tisztelet az éveknek  
Köszönet az SZJA 1%-okért

Az Inverziós Fourier-transzformáció néhány meglepő tulajdonsága

Geofizika és história

Eötvös gravimétere  
Az Eötvös-csúcsról és -emléktábláról,  
még egyszer röviden – képekben

Agocs-ösztöndíj, 2022

Inverzós Ankét – 2022 – Első körlevél

Meghívó – Magyarország szeizmotektonikai veszélyeztetettségi  
térképének megalkotása és elemzése

In Memoriam  
Dávid Gyula





# MAGYAR GEOFIZIKA

## HUNGARIAN GEOPHYSICS

63. évfolyam (2022) 2. szám



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

### TARTALOM • CONTENTS

#### MGE HÍREK • NEWS OF ASSOCIATION OF HUNGARIAN GEOPHYSICISTS (AHG)

83 Tisztelet az éveknél (Members of honoured ages) – *Hegybíró Zs.*

86 Köszönet az SZJA 1%-okért – *MGE Titkárság*

#### TANULMÁNY • PAPER

87 Az Inverziós Fourier-transzformáció néhány meglepő tulajdonsága (Inversion-based Fourier Transformation – several benefits) – *M. I. M. Abdelaziz, Vass P., Dobróka M.*

100 Geofizika és történelem (A negyedik dimenzió a föld- és történelemtudományokban) (Geophysics and History (The fourth dimension in the Earth and History Sciences)) – *Kiss J.*

#### TUDOMÁNYTÖRTÉNET • SCIENCE HISTORY

111 Eötvös gravimétere – *Szabó Z.*

119 Az Eötvös-csúcsról és -emléktábláról, még egyszer röviden – képekben – *Kiss J.*

#### HÍREK • NEWS

124 Agocs-ösztöndíj, 2022 – *Kis K.*

125 Inverziós Anket – 2022 – Első körlevél

125 Meghívó – Magyarország szeizmotektonikai veszélyeztetettségi térképének megalkotása és elemzése

#### IN MEMORIAM

126 Dávid Gyula – *Regős Ferenc*

# MAGYAR GEOFIZIKA

## HUNGARIAN GEOPHYSICS

63. évfolyam (2022) 2. szám

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

*Főszerkesztő • Editor-in-Chief*

DR. BODOKY TAMÁS

E-mail: mageofedit@gmail.com

*Szerkesztőbizottság • Editorial Board*

DR. BARÁTH ISTVÁN, DR. GALSA ATTILA, DR. KISS JÁNOS,

DR. PETHŐ GÁBOR, DR. SZABÓ NORBERT PÉTER

*Technikai szerkesztő • Technical Editor*

HOCK GÁBOR

E-mail: mageoftechn@gmail.com



Lapunk e számának megjelenését a  
Magyar Tudományos Akadémia  
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: Kovács Attila Csaba

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

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

Készült: Starkiss Kft., 2040 Budaörs, Kisfaludy utca 40.  
Felelős vezető: Kiss Sándor üv. igazgató

Előfizethető a Magyar Geofizikusok Egyesületénél  
(1371 Budapest, Pf. 433, Telefon/Fax: (1) 201-9815)  
egyesületi tagoknak tagdíj ellenében  
Megjelenik évente négyszer  
INDEX: 26 507  
HU ISSN 0025-0120 (print)  
HU ISSN 2677-1497 (online)

## Tisztelet az éveknek

Kedves ünneplő Szeniorok!

Szeretettel köszöntöm Önöket az Egyesület nevében abból az alkalomból, hogy ebben az évben kerek számú születésnaphoz érkeztek. Kívánom és remélem, hogy kedves családi és baráti körben tudták megünnepelni ezt a jeles eseményt.

A szeniorok klubjába való tartozásnak vannak jó és kevésbé jó oldalai is. Az utóbbiak közé tartozik az is, hogy nehéz visszalátogatni a régi munkahelyre, sőt nem biztos, hogy létezik még az a munkahely, vagy már csak az épület áll, a neve is átalakult, de a tartalma is. Ha van is egy-két ismerős, már nincs hová bekopogni, beköszönni, senki sem tudja, hogy neki mit jelentenek a régi falak, szobák és az azokhoz kötődő emlékek.

Az egyesületi szeniorok klubjának egyik célja éppen az, hogy megpróbálja megállítani ezt a lassú eltávolodást, az elszakadást a barátokká vált kollégáktól és a szakmától. Mert az Önök tevékenysége alapozta meg a mai aktív geofizikusok munkáját, az Önök eredményeire támaszkodnak az újabb kutatások, ezek adják a kiindulópontját az új el-

gondolásoknak, felfedezéseknek. Nem is beszélve arról, amikor váratlanul újra értékesé válik egy-egy nyersanyag, és a kitermeléséhez szinte csak le kell porolni a meglévő adatokat. Lehet, hogy a mostani gazdasági helyzetben éppen az Önök tudására, tapasztalataira lesz szükség. Az a tapasztalatunk, hogy ha feladat van, segítség kell, a szeniorokra mindig lehet számítani.

Több év elmúltával idén a Földtani Társulattal közösen újra lesz vándorgyűlés. Igen érdekes és aktuális témák megvitatására kerül majd sor. Mindenkit szeretettel várunk. Terveink szerint lapunkban közzétesszük az előadásokat cikk formájában – ha a szerzők vállalják a kézirat leadását.

Kívánunk mindannyiuknak további jó egészséget, sok örömet és vidámságot, nyugodalmat szép napokat. Várjuk Önöket minden összejevetelünkön, mert tudjuk, hogy szakmaszeretetük és a szívük elhozza Önöket. Vigyázzanak Magukra és szeretteikre!

Tisztelettel,

*Hegybíró Zsuzsanna*  
az MGE nevében

*95. születésnapját ünnepli*

Lakatos Sándor

*90. születésnapját ünnepli*

Dr. Laczkovics József, Dr. Majoros György, Pintér Anna, Szabó Istvánné,  
Szabó Zoltán,

*85. születésnapját ünnepli*

Dr. Andrásy László, Dr. Müller Imre, Dr. Schönviszky László, Szalay István,  
Tóth Lajosné

*80. születésnapját ünnepli*

Dr. Korvin Gábor, Dr. Pleszkáts Tibor, Pongrácz János, Simon Pál,  
Túri János István, Dr. Varga Péter

*75. születésnapját ünnepli*

Galicz Gergely, Jánvári János, Kloska Károly, Marton Tibor,  
Szongoth Gábor, Dr. Völgyesi Lajos

*70. születésnapját ünnepli*

Gili László, Henézi Ferenc, Jánváriné Kántor Ilona, Dr. Pethő Gábor,  
Dr. Prácser Ernő, Dr. Szabó Csaba, Szongothné Rónay Anikó



Dr. Laczkovics József



Dr. Majoros György



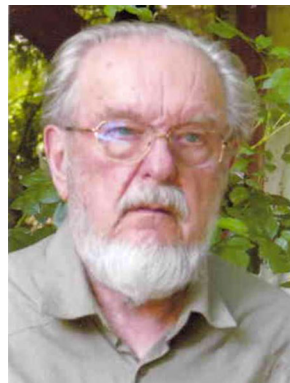
Pintér Anna



Szabó Zoltán



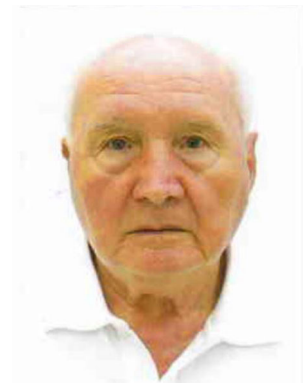
Dr. Andrásy László



Dr. Müller Imre



Dr. Schönviszky László



Szalay István



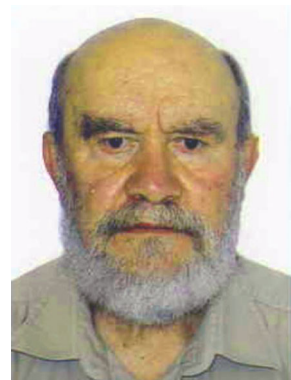
Dr. Korvin Gábor



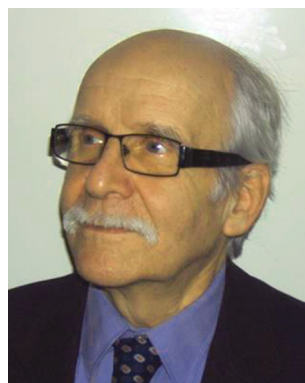
Dr. Pleszkáts Tibor



Simon Pál



Túri János István



Dr. Varga Péter



Galicz Gergely



Jánvári János



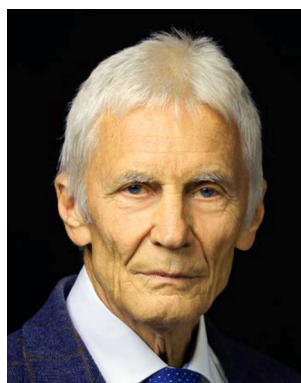
Kloska Károly



Marton Tibor



Szongoth Gábor



Dr. Völgyesi Lajos



Gili László



Jánváriné Kántor Ilona



Dr. Pethő Gábor

## Köszönet az SZJA 1%-okért

Tisztelt Tagtársaink!

Megérkezett a Nemzeti Adó- és Vámhivattól az értesítés, miszerint a 2022. évi 1%-os SZJA-felajánlásokból Egyesületünk 412039 Ft-ot kapott ebben az évben.

Köszönjük szépen a felajánlásokat, és továbbra is számítunk segítségükre, támogatásukra!

Üdvözlettel  
*MGE Titkárság*

# Az Inverziós Fourier-transzformáció néhány meglepő tulajdonsága

M. I. M. ABDELAZIZ<sup>1,2</sup>, VASS P.<sup>1</sup>, DOBRÓKA M.<sup>1,@</sup>

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

<sup>2</sup>Department of Geology, Mansoura University, 35516 Mansoura- El Gomhouria St., Egypt

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

Az időtartományban mért jelek frekvenciatartománybeli feldolgozásának alapját a Fourier-transzformáció (FT) képezi. Ennek számítógépen megvalósítható speciális esete a diszkrét Fourier-transzformáció (DFT) széles körben alkalmazott eljárás, ám az eredményeinek felhasználásakor figyelembe kell venni, hogy a mérési zajokra nagyon érzékenyen reagál. A Fourier-transzformációt inverziós feladatként értelmezve, a zajokkal szemben rezisztens viselkedést biztosító módszer állítható elő. Az eljárás alapja a komplex spektrum sorfejtéses diszkrétizációja, amelynek együtthatóit túlhatarozott inverz feladat keretében határozzuk meg. Bemutatjuk az Hermite-függvényrendszerrel diszkrétizált frekvenciaspektrum meghatározására szolgáló inverziós Fourier-transzformáció két alapvető algoritmusának a legkisebb négyzetek elve szerinti inverziós Fourier-transzformáció (LSQFT) és a Steiner-súlyokkal robusztifikált, az iteratív újrásúlyozás elve szerinti Fourier-transzformáció (IRLSFT) figyelemre méltó új tulajdonságait: a zajcsökkentő hatást, a nem egyenközűen, (vagy akár véletlenszerűen) mintavételezett, ill. hiányos adatszerkezet feldolgozására való alkalmasságot.

## M. I. M. Abdelaziz, Vass, P., Dobróka, M.: Inversion-based Fourier Transformation – several benefits

Fourier transform (FT) plays a determining role in geophysical data processing. The discrete Fourier transform (DFT) is extensively used as a computer application. The Fourier transform itself is very sensitive for the noise contaminating the measurement data. Interpreting the Fourier transform as an inverse problem a new FT method can be constructed providing sufficient resistance to noises. The essential step of the inversion-based Fourier transformation procedure is the series expansion of the complex spectrum. The expansion coefficients play the role of the unknown parameters to be determined in the framework of an overdetermined inverse problem. We present the most important features of the inversion-based Fourier transform methods: the noise reduction capability and its applicability in processing non equidistantly sampled or even incomplete datasets.

*Beérkezett:* 2022. július 22.; *elfogadva:* 2022. szeptember 12.

## 1. Bevezetés

A geofizikai adatfeldolgozás területén a Fourier-transzformáció igen fontos szerepet játszik, hiszen segítségével az idő/tér-tartományban mért jel viselkedését a frekvencia/térfrekvencia-tartományban tanulmányozhatjuk. A geofizikai mérési gyakorlatban a komplex frekvenciaspektrum meghatározására – diszkrét időtartománybeli adatsorok esetén – alkalmazott eszköz a diszkrét Fourier-transzformáció (DFT), ill. annak speciális számítógépes változata, a gyors Fourier-transzformáció (FFT). Ezek az algorit-

musok a jel spektrumát igen pontosan közelítik abban az esetben, ha a mintavételi közt és a regisztrálási tartományt megfelelően választjuk meg, ill. ha a vizsgált jelünk (mért adatszerkezet) hibáktól mentes. A mérési adataink azonban mindig valamilyen zajjal terheltek, és erre a Fourier-transzformáció (valamint annak diszkrét implementációja) igen érzékenyen reagál. Mivel a Fourier-transzformáció lineáris leképezés, az idő/tér-tartományban jelentkező zaj is közvetlenül leképeződik a frekvenciatartományba. Ennek eredményeképpen a számított frekvenciaspektrum is zajos lesz. A zaj hatásának csökkentésére a digitális

jelfeldolgozásban különböző szűrési technikák alkalmazása szokásos. A ME Geofizikai Tanszékének kutatói a sorfejtéses inverzió módszerét fejlesztették ki, amellyel a mérésből eredő zaj mértéke hatékonyan redukálható. Az eljárást számos területen alkalmazták, így pl. geoelektromos problémák megoldására (Baracza et al. 2018, Gyulai et al. 2013, Gyulai et al. 2012).

A sorfejtéses inverzió alkalmazásának egyik első eredményeként sikerült a Fourier-transzformációt túlhatározott lineáris inverz feladat megoldására visszavezetni egydimenziós esetben (Dobróka, Vass 2006). Az eljárás lényege, hogy a frekvenciaspektrumot alkalmasan megválasztott függvényrendszer szerinti sorfejtéssel közelítve, a véges tagból álló sor tagjai sorfejtési együtthatóinak, az inverz feladat ismeretlen paramétereinek a meghatározása révén juthatunk el a kívánt célhoz. A programok formájában is kifejlesztett algoritmusok a legkisebb négyzetek (LSQ) és az iteratív újraszűrés (IRLS) módszereit használták fel az inverz feladat megoldásához. Az utóbbi változat rezisztenciája a kiugró zajokkal szemben már az első tesztek során megmutatkozott. Az értelmezési tartománya miatt kedvezőnek mutató Hermite-függvények rendszere alkalmazásával kapcsolatban akkor még gondot jelentett a tagfüggvények inverz Fourier-transzformáltjainak számítása, amit numerikus integrálással kezeltünk. Később ennek a problémának a hatékonyabb megoldására találtunk analitikus formulát, amellyel azonban még nem közvetlenül lehetett számítani a kívánt integrálok értékeit. Az Hermite-polinomokat alkotó hatványfüggvények és a függvényrendszer súlyfüggvénye szorzatainak inverz Fourier-transzformáltjait tudtuk számítani közvetlenül, és rekurziós algoritmussal képeztük ezekből a tagfüggvényekre vonatkozó integrálok értékeit. Ennek az eljárásnak az alkalmazása azonban már jelentősen javított a gyorsaságon és az eredmények minőségén (Vass, Dobróka 2009a, Vass, Dobróka 2009b). Az addig elért eredmények összegzéséből készült doktori értekezés (Vass 2010) részletesen ismerteti az Hermite-függvénysor alkalmazásán alapuló módszereket (HLSQFT, HIRLSFT Cauchy-súlyozással), valamint az intervallumonként konstans függvényekre és a Dirac-féle delta-függvények sorozatára épülő inverziós Fourier-transzformációs algoritmusokat is.

Vizsgálatok tárgyát képezte a későbbiekben a HLSQFT algoritmuson alapuló módszer (Vass 2012) és a HIRLSFT algoritmus továbbfejlesztéseként kidolgozott ún. Steiner-súlyokat alkalmazó változat zajcsökkentő képessége (Szegedi, Dobróka 2012, Szegedi, Dobróka 2014a). A számítási pontosság és gyorsaság szempontjából újabb és jelentős javulást hozott a skálázott Hermite-függvények inverz Fourier-transzformáltjainak közvetlen számítására szolgáló analitikus formulák matematikai levezetése. Ennek kulcsa az Hermite-függvények speciális tulajdonságában rejlik, ugyanis ezek a függvények az inverz Fourier-transzformáció sajátfüggvényei (Dobróka et al. 2012).

Az alkalmazási lehetőségek irányába mutató fejlesztés új lendületet kapott. Kiemelhető a Hilbert-transzformált előállítás (Szegedi, Dobróka 2014b), valamint az inverziós

alapú kétdimenziós Fourier-transzformáció kifejlesztése (Szegedi 2015). Ennek két változatát vezették be a skálázott Hermite-függvényrendszer kétdimenziós kiterjesztésén alapulva. Az inverz feladat megoldásában az LSQ és az IRLS módszereket használó változatok rövidítései: 2D HLSQFT és 2D HIRLSFT. Az utóbbinak – az újra súlyozáshoz alkalmazott különböző súlyszámítási megoldások szerint – további változatai léteznek (pl. Cauchy-súlyozás, Steiner-súlyozás). Sikeresen alkalmazták a Steiner-súlyokkal működő 2D HIRLSFT algoritmust mesterségesen felvett mágneses hatóra számított mágneses anomália-pólusra redukálásában, először egyenközzel mintavételezett adatrendszerek esetében (Dobróka et al. 2017). Ezt követően a nem egyenközzel mintavételezett adatrendszereknél végzett vizsgálatok is sikeres eredményeket hoztak zajmentes és zajos viszonyok modellezése esetén egyaránt (Nuamah, Dobróka 2018, Nuamah, Dobróka 2019).

Az inverziós Fourier-transzformáció továbbfejlesztésének és alkalmazásának legújabb tudományos eredményei, a Legendre-polinomok rendszerén alapuló sorfejtés bevezetése egydimenziós és kétdimenziós esetekben (LLSQFT, LIRLSFT, 2D LLSQFT, 2D LIRLSFT), az Hermite-függvények rendszerén alapuló régebbi változat (HLSQFT) skálaparaméterének optimalizálására szolgáló algoritmus kidolgozása, valamint további sikeres vizsgálatok a HLSQFT és a HIRLSFT egy- és kétdimenziós változataival (Nuamah 2020). Az utóbbiak közül kiemelkednek a valódi mágneses anomália-térképből származó adatrendszereken végzett pólusra redukálási tesztek (Vass, Nuamah, 2021).

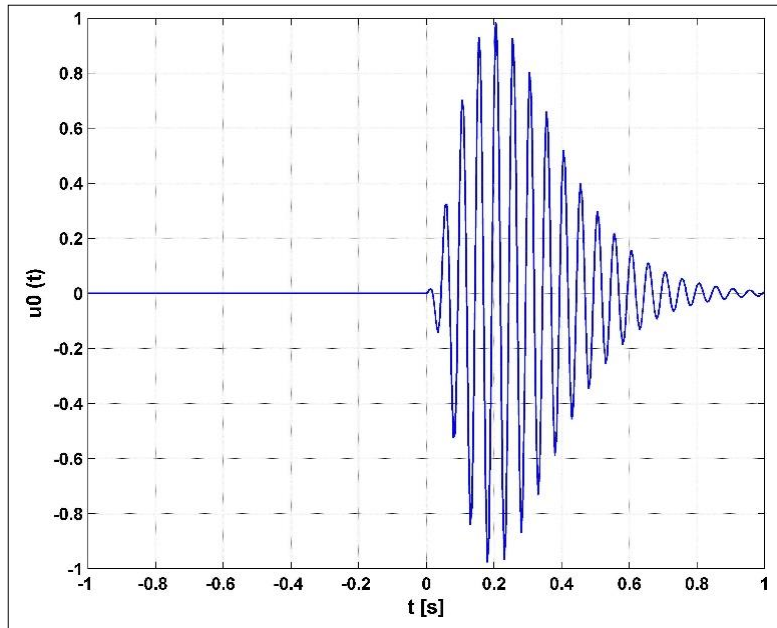
Az inverziós feladatmegoldáson alapuló Fourier-transzformációs algoritmusok (HLSQFT, HIRLSFT) jelentős zajnyomó tulajdonságot mutatnak mind 1D (Vass, Dobróka 2009b), mind 2D (Dobróka et al. 2017) esetben. A spektrum sorfejtéses diszkretizálásának köszönhetően az inverziós Fourier-transzformáció nem igényel egyenközzel mintavételt (Vass, Nuamah 2020). Ezt a tulajdonságot részleteiben tovább vizsgálta PhD-értekezésében Abdelaziz (2022), kutatásait hiányos adatrendszerekre is kiterjesztve. A jelen publikációban az inverziós Fourier-transzformáció tulajdonságait összefoglalóan mutatjuk be, így röviden megemlítjük a korábbi publikációkban már közölt eredményeket is. Ahol erre lehetőség van, ott összehasonlítjuk az új eredményeket a DFT alkalmazásával származtatott eredményekkel.

## 2. Az inverziós Fourier-transzformáció tulajdonságai egydimenziós jel esetében

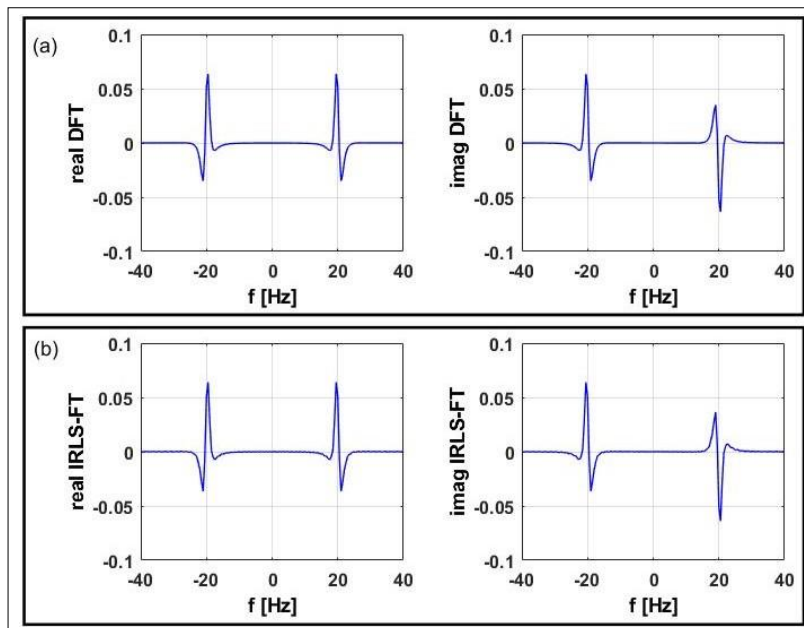
Alábbi vizsgálataink céljából egy idősort generálunk a Morlet-wavelet

$$u(t) = kt^n e^{-\lambda t} \sin(\mu t + \Phi)$$

formulája szerint. A reguláris mintavétel 0,005 másodpercenként történik a  $[-1, +1]$  intervallumon  $N = 401$  pontban (1. ábra). A jel DFT és HIRLSFT módszerekkel számított spektrumát a 2. ábra mutatja.



1. ábra | Egyenközűen mintavételezett zajmentes jel  
Figure 1 | Noise-free wavelet in the time domain



2. ábra | Az 1. ábrán bemutatott jel frekvenciaspektrumának valós és képzetes részei két eltérő módszerrel számítva: (a) DFT, (b) HIRLS-FT.  
Figure 2 | Real and imaginary components of the frequency spectrum for the signal shown in Fig. 1. The results are obtained by the application of two different methods: (a) DFT, (b) HIRLS-FT

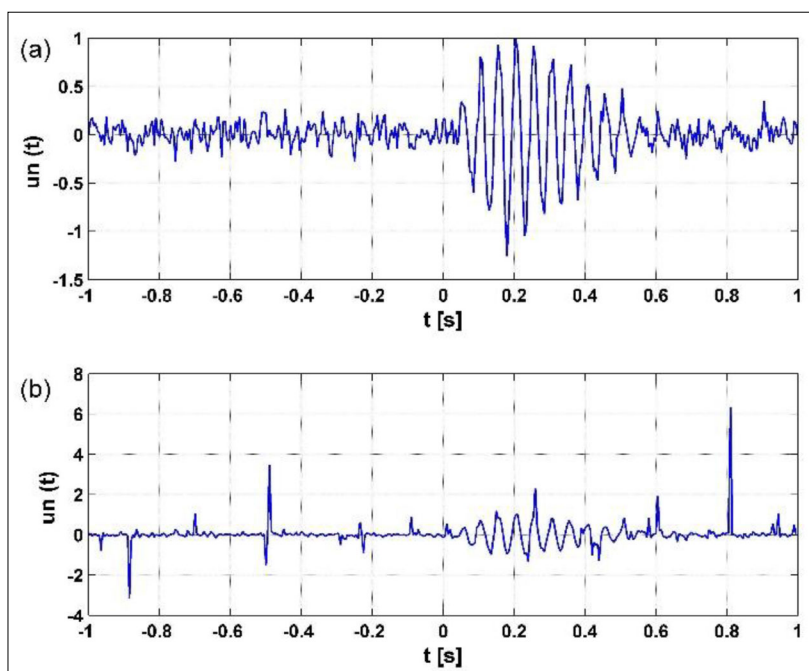
Numerikus vizsgálataink pontosságát ezekhez az alapokhoz viszonyítjuk a

$$d = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [u^{\text{alap}}(t_i) - u^{\text{vizsgált}}(t_i)]^2}$$

távolságformula alapján. A frekvenciatartományban a távolságot hasonlóan számítjuk:

$$D = \left[ \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \left( \text{Re}[U^{\text{vizsgált}}(f_i)] - \text{Re}[U^{\text{alap}}(f_i)] \right)^2 + \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \left( \text{Im}[U^{\text{vizsgált}}(f_i)] - \text{Im}[U^{\text{alap}}(f_i)] \right)^2 \right]^{1/2}$$

A zajérzékenység vizsgálatára az adatrendszert 0,01 szórással, zero várható értékű Gauss-eloszlás alapján generált



3. ábra (a) Gauss-zajjal terhelt adatrendszer, (b) Cauchy-zajjal terhelt adatrendszer

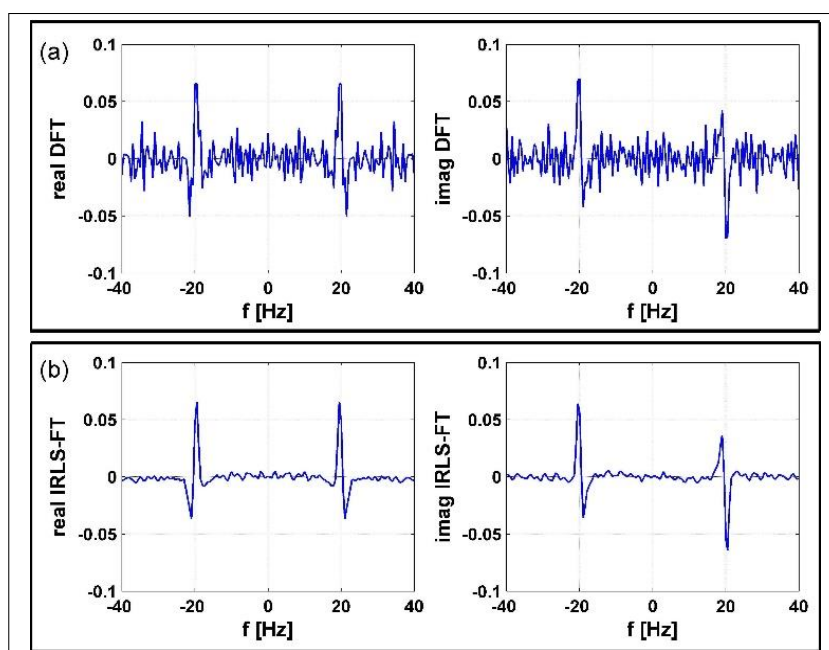
Figure 3 (a) Gaussian noise-contaminated wavelet in the time domain, (b) Cauchy noise-contaminated wavelet in the time domain

zajjal terheltük (3a ábra). Kiugró adatokat tartalmazó adatrendszer szimulálására Cauchy-eloszlást követő zajt adtunk a jelhez. Az így kapott zajos jel 3b ábrán látható.

A zajmentes adatrendszertől számított távolság a Gauss-zajjal terhelt adatrendszer esetében  $d = 0,1032$ . A kiugró adatokat tartalmazó adatrendszernél már jóval nagyobb,  $d = 0,4554$  értéket kaptunk.

### 2.1. Az inverziós Fourier-transzformáció zajérzékenysége egydimenziós esetben

Az inverziós Fourier-transzformáció egyes változatainak (HLSQFT, HIRLSFT) zajérzékenységét PhD-értekezésükben Vass (2010) és Szegedi (2015) részletesen vizsgálták, itt csupán egy példával szemléltetjük ezt a tulajdonságot.



4. ábra (a) A Cauchy-zajjal terhelt adatrendszer DFT spektruma, (b) A Cauchy-zajjal terhelt adatrendszer IRLSFT spektruma

Figure 4 (a) DFT spectrum of the Cauchy noise-contaminated signal, (b) IRLSFT spectrum of the Cauchy noise-contaminated signal

A Gauss-eloszlású zajos adatrendszer spektrumának távolságát a zajmentes jel spektrumától vizsgálva, a DFT módszer alkalmazásával  $D = 0,0041$ -es értéket kapunk, míg az IRLSFT használatával az érték  $D = 0,0027$ -re csökken. (Mivel a vizsgálatok során a spektrum diskretizációja Hermite-függvényekkel történik, a módszerek rövidített neveiben a H-betűt elhagyjuk.)

A kiugró zajjal terhelt adatrendszer spektrumának számításában a két eljárás jelentősen eltérő eredményt ad a 4. ábra tanúsága szerint. A Cauchy-eloszlású zajos adatrendszer spektrumát a DFT módszer  $D = 0,0182$ , míg az IRLSFT  $D = 0,0021$  távolsággal adja vissza a zajmentes jel spektrumához képest, azaz a Steiner-súlyokkal robusztifikált inverziós Fourier-transzformáció közel egy nagyságrenddel jobb zajelnyomást mutat a hagyományos DFT-hez viszonyítva.

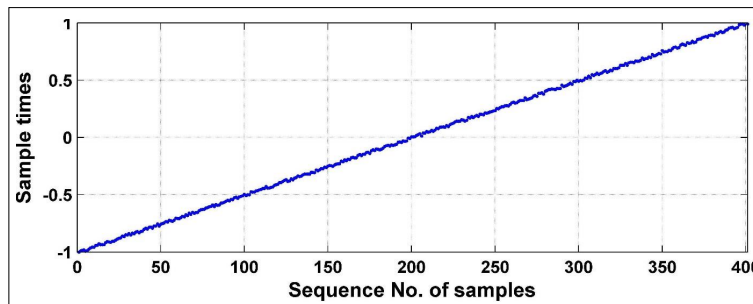
A terepi munkában gyakran előfordul, hogy egyes helyeken a mérés nem végezhető el. Ekkor egy közeli, de az egyenközű mintavételtől eltérő pontban mérünk (nem egyenközű mintavétel), vagy a mérési pontot kihagyjuk

(hiányos adatrendszer). Mindkét esetet vizsgáljuk meg az inverziós Fourier-transzformáció szempontjából!

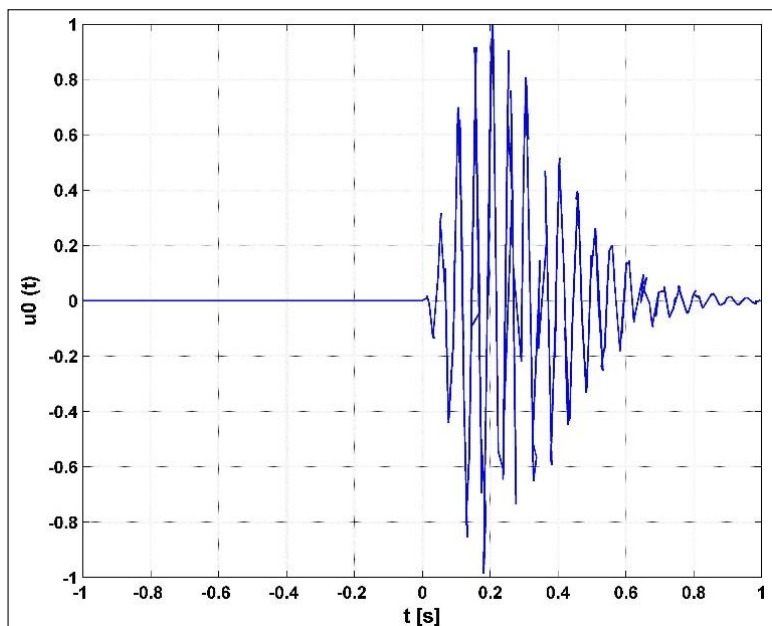
2.2. Az inverziós Fourier-transzformáció viselkedése nem egyenközűen mintavételezett egydimenziós adatrendszer esetén

Ezt a problémát Nuamah (2020) PhD-értekezésében részletesen vizsgálta, a főbb eredményeket Nuamah és Dobróka (2019) publikálta. A jelen dolgozatban csupán két példán keresztül mutatjuk be az IRLS-FT viselkedését egydimenziós (1D) adatrendszer esetén: a) az egyenközű rendszerben definiált pontoktól jobbra és balra a mintavételi közökön belül véletlenszerűen felvett mérési pontok, ill. b) teljesen véletlen (ún. random walk) mérési elrendezés esetén.

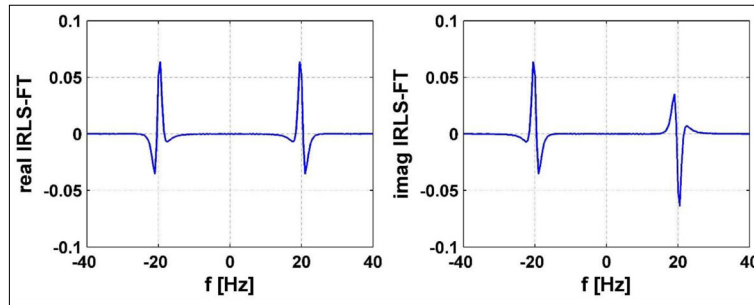
Az a) esetben a mintavételi pontok véletlen ingadozását az 5. ábra, a nem egyenközű mintavételhez tartozó zajmentes időfüggvényt a 6. ábra mutatja



5. ábra | Nem egyenközűen felvett mintavételi pontok  
Figure 5 | Plot of randomly sampled measuring points



6. ábra | Nem egyenközűen mintavételezett időfüggvény  
Figure 6 | Non-regular sampling wavelet in the time domain



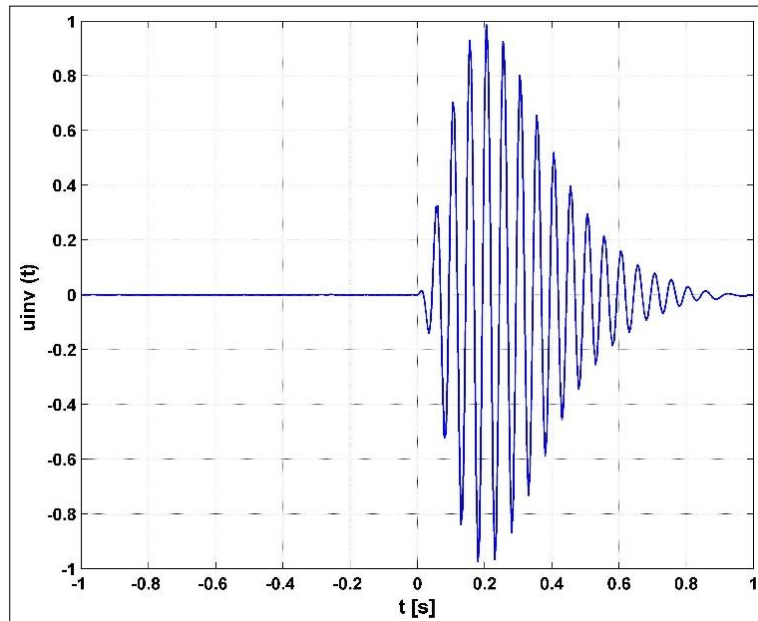
7. ábra | Nem egyenközűen mintavételezett időfüggvény IRLSFT-spektruma

Figure 7 | IRLSFT spectrum of the signal non-regularly sampled in time domain

A 6. ábrán látható idősor IRLSFT inverziós Fourier-transzformáltját számítva a sorfejtési együtthatókat állítjuk elő, melyek ismeretében a bázisfüggvényeként választott Hermite-függvények segítségével a spektrumot tetszőleges frekvencián számíthatjuk. A 7. ábra a számított spektrumot szemlélteti. Mint látható, a kép megegyezik a 2b ábrán bemutatott eredménnyel, azaz az időtartományban jelentke-

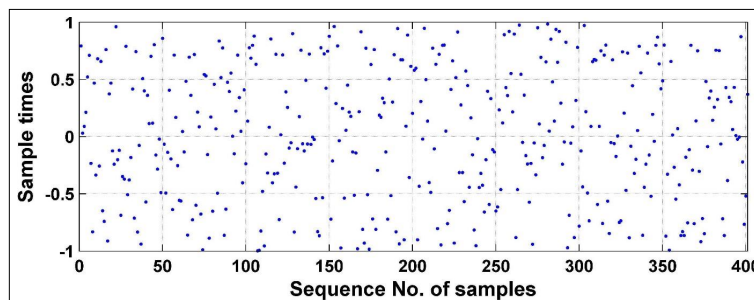
ző nem egyenközű mintavétel az eredményt érdemben nem befolyásolta a frekvenciatartományban.

A számított spektrum alapján inverz Fourier-transzformációval az időfüggvény is előállítható, amit a 8. ábrán egyenközű mintavétellel számítva mutatunk be. Az eredmény így az 1. ábrával hasonlítható össze. A két idősor között az adattávolság  $d = 0,00018$ .



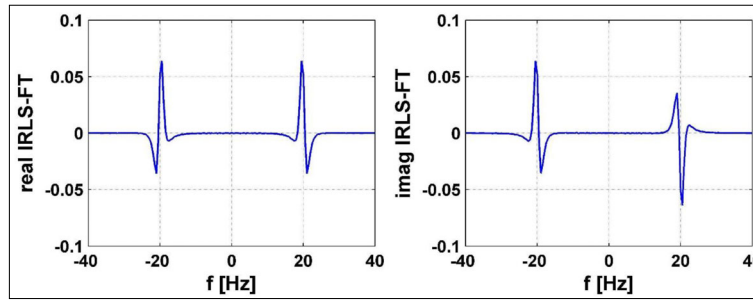
8. ábra | Az IRLSFT-vel számított spektrumból időtartományba visszatranszformált jel

Figure 8 | The wavelet signal transformed back in time domain from the spectrum computed by IRLSFT



9. ábra | A random walk mérési rendszerben felvett mintavételi pontok

Figure 9 | The randomized measuring points used for random walk wavelet generation



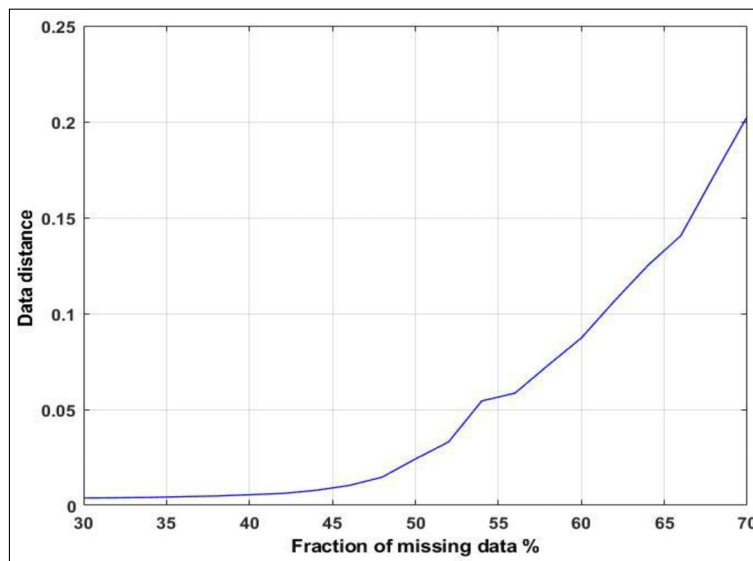
10. ábra | A random walk mérési rendszerben mintavételezett időfüggvény IRLSFT-spektruma  
 Figure 10 | IRLSFT spectrum of the randomly sampled signal

A nem egyenközű mintavételezés b) esetében minden mintavételi pontot a  $[-1, 1]$  intervallumban felvett (egyenletes eloszlású) véletlen számként állítottunk elő (random walk). A mintavételi pontokat a 9. ábra, az IRLSFT eljárással (frekvenciatartományban egyenközű) számított spektrumot a 10. ábra mutatja. A spektrum alapján inverz Fourier-transzformációval az időfüggvényt is előállíthatjuk, ennek távolsága az 1. ábrán felvett jeltől  $d = 0,00024$ .

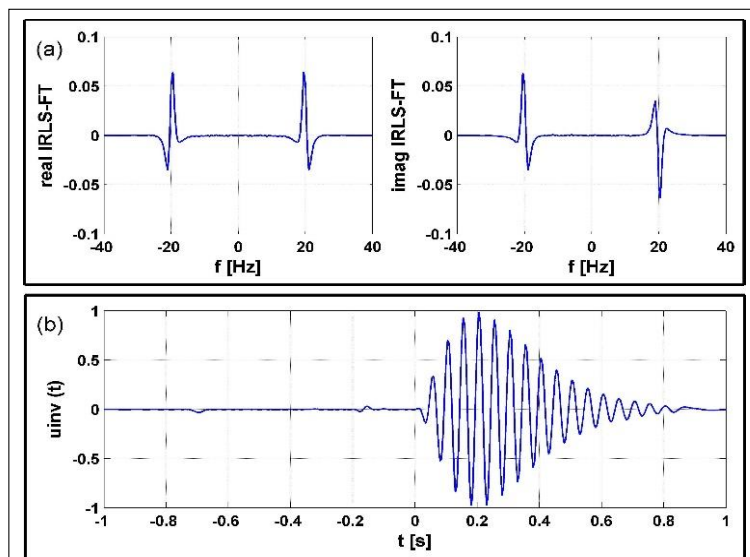
### 2.3. Az inverziós Fourier-transzformáció viselkedése hiányosan mintavételezett egydimenziós adatrendszer esetén

A terepi munkában előfordulhat, hogy egyes helyeken a mérési adat hiányzik. A hiányos adatrendszer Fourier-transzformáltjának meghatározása egyenközű és teljes adatrendszert igénylő eljárással (pl. FFT) nem lehetséges. Az alábbiakban megvizsgáljuk az inverziós alapú Fourier-transzformáció (IRLSFT) alkalmazhatóságát ilyen esetben. Elsőként tételezzük fel, hogy a hiányos adatrendszer

létező elemei egyenközű mintavételi pontokból származnak! Numerikus vizsgálataink számára az 1. ábrán bemutatott adatrendszer elemei közül véletlenszerűen kiválasztott pontokban töröljük az adatok meghatározott hányadát, majd az így előálló hiányos adatrendszeren alkalmazzuk az IRLSFT eljárást  $M = 120$  ismeretlen sorfejtési együtthatóval. A túlhatározott inverz feladat megoldásaként kapott sorfejtési együtthatók ismeretében a bázisfüggvényeként választott (120-ad rendű) Hermite-függvények segítségével a spektrumot tetszőleges frekvencián számíthatjuk. A frekvenciatartományban egyenközűen előállított spektrumon inverz Fourier-transzformációt végrehajtva megkaphatjuk az idősor elemeit a hiányzó mérési pontokban is (rekonstruáltuk a hiányzó adatokat). Ezzel egyenközűen mintavételezett teljes adatrendszert kapunk, melynek adattávolságát az eredeti (1. ábrán szereplő) idősortól meghatározhatjuk. A vizsgálatot elvégezve a hiányzó mérési adatokat különböző arányban tartalmazó adatrendszereken, a 11. ábrán látható eredményre jutunk. Az ábra tanúsága szerint 50%-os adathiányig az IRLSFT eljárás elfogadható eredményt ad



11. ábra | Az IRLSFT-vel kapott eredmények adattávolsága a bemeneti adatsorok %-os adathiányának függvényében az egyenközű mintavételből képzett adathiány esetére  
 Figure 11 | Data distance of the results obtained by the application of IRLSFT versus missing data fraction of the regularly sampled incomplete input datasets



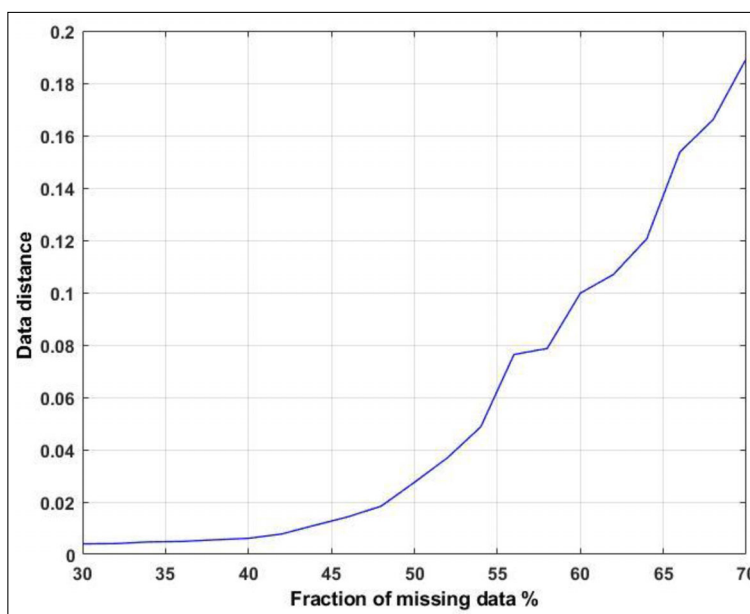
12. ábra | (a) 50%-os adathiánynál kapott IRLSFT-spektrum, (b) a rekonstruált időfüggvény  
 Figure 12 | (a) IRLSFT spectrum computed for data defect of 50%, (b) the reconstructed wavelet signal in time domain

(a távolság az egyenközűen mintavételezett hiánytalan és a rekonstruált adatrendszer között kisebb, mint 0,023). Nagyobb adathiánynál a görbe meredeken emelkedik, ennek oka, hogy az adatok számának csökkenésével az inverz feladat túlhatározottsága is csökken. Az 50%-os adathiánynál kapott spektrumot és a rekonstruált adatrendszert a 12. ábra mutatja be (a túlhatározottság mértéke:  $200/120 = 1,67$ ).

Hasonló vizsgálatot végezhetünk a 9. ábra szerinti random walk mérési elrendezésben mért adatrendszeren is. Az eredményt a 13. ábra mutatja, melyen jól látható, hogy

a hiányzó adatok inverziós Fourier-transzformációval történt rekonstrukciója csupán kis mértékben függ az eredeti (teljes) adatrendszer mintavételezésének egyenközű vagy véletlen voltától.

A terepi gyakorlatban előfordulhatnak olyan (a mintavételi távolság többszörösét kitevő méretű) objektumok (pl. tavak), amelyek területe a mérések szempontjából nem hozzáférhető. Ilyenkor az egyébként egyenletesen mintavételezett adatrendszerben kiterjedt tartományon (vonal menti mérésnél egy kiterjedt szakaszon) keletkezik adathiány.

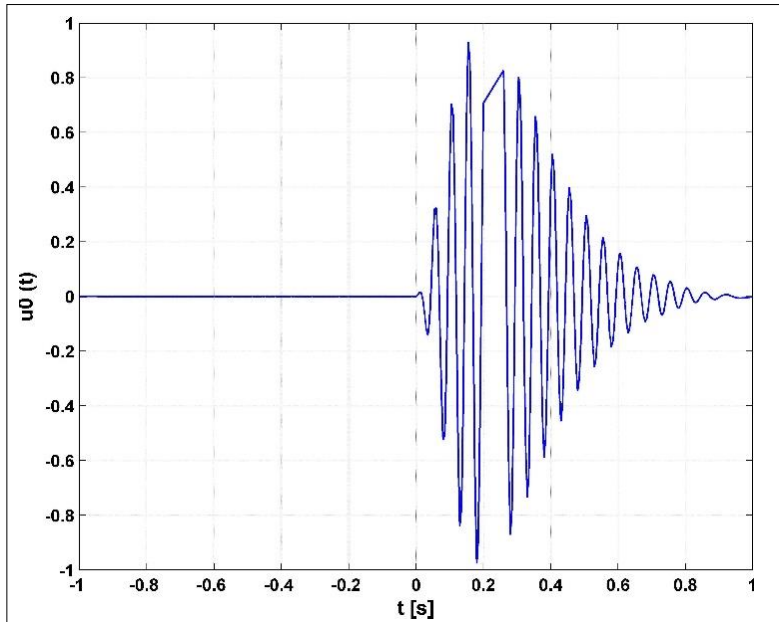


13. ábra | Az IRLSFT-vel kapott eredmények adattávolsága a bemeneti adatsorok %-os adathiányának függvényében a random walk mintavétel esetére  
 Figure 13 | Data distance of the results obtained by the application of IRLSFT versus missing data fraction of the non-regularly sampled incomplete input datasets

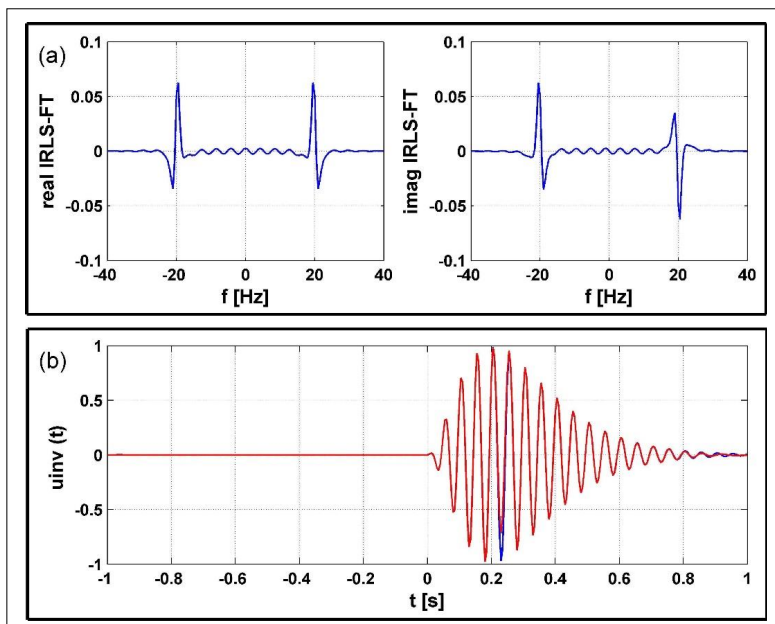
2.4. Az inverziós Fourier-transzformáció viselkedése szakaszosan hiányos egydimenziós adatrendszer esetén

A probléma vizsgálatához szükséges adatrendszert az 1. ábrán bemutatott jeltől állítottuk elő a [0,2, 0,26] intervallum adatainak törlésével (14. ábra).

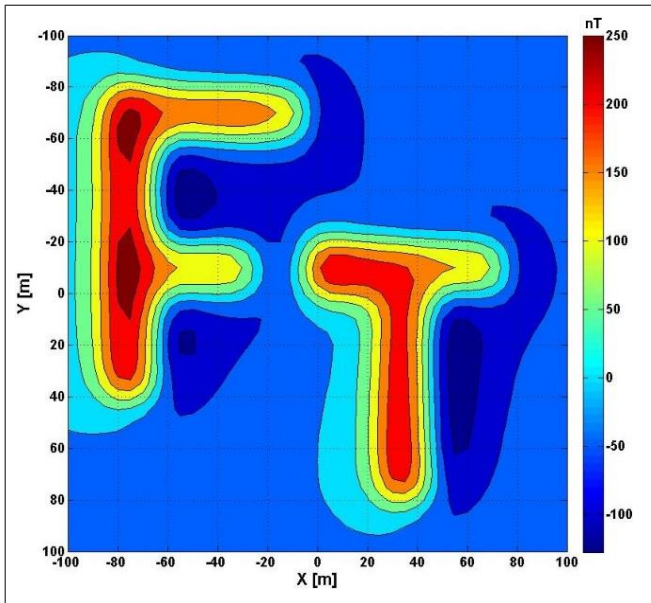
Amikor a szakaszon hiányos adatrendszeren alkalmazzuk az IRLSFT eljárást, az előző esetekhez hasonlóan a túlhatározott inverz feladat megoldásaként kapott sorfejtési együtthatók ismeretében a bázisfüggvényeként választott Hermite-függvények segítségével a spektrumot tetszőleges frekvencián számíthatjuk. A frekvenciatartományban egyenközűen előállított spektrumon (15a ábra)



14. ábra | A [0,2, 0,26] intervallumon hiányos adatrendszer  
 Figure 14 | The block-incomplete sampled wavelet with missing data in the interval [0.2, 0.26]

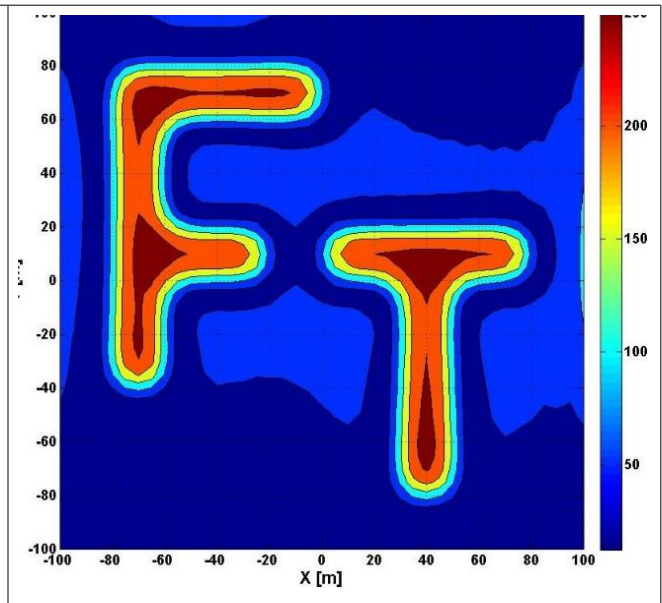


15. ábra | (a) A [0,2–0,26] intervallumon hiányos adatrendszer IRLSFT-spektruma, (b) az inverziós Fourier-transzformációval rekonstruált jel (piros szín) és a hiánytalan eredeti jel (kék szín) időtartományban  
 Figure 15 | (a) IRLSFT spectrum of the block-incomplete sampling wavelet with missing data in the interval [0.2, 0.26]. (b) The wavelet signal reconstructed by the inversion Fourier transform (red colour) and the complete original signal (blue colour) in time domain



16. ábra Egyenközűen mintavételezett 2D zajmentes mágneses adatrendszer

Figure 16 2D noise-free synthetic magnetic datasets for the regularly sampled grid

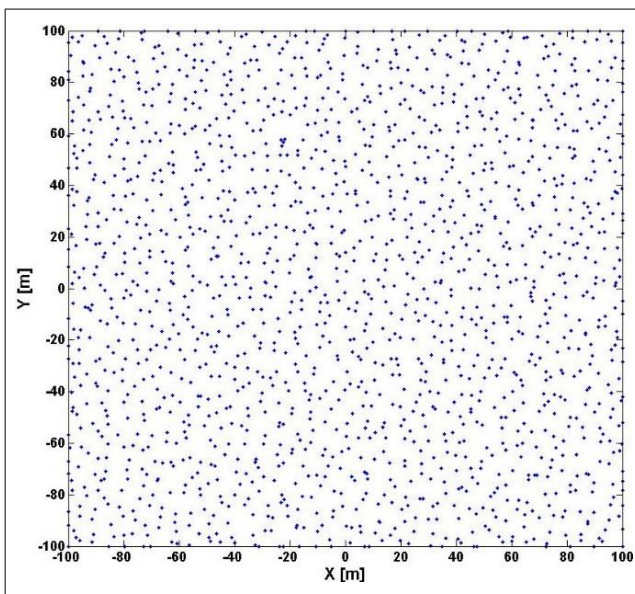


17. ábra Az egyenközűen mintavételezett 2D zajmentes mágneses adatrendszer pólusra redukálásának eredménye DFT alkalmazása esetén

Figure 17 The reduced-to-pole magnetic map of the regularly sampled noise-free magnetic data set when DFT is applied

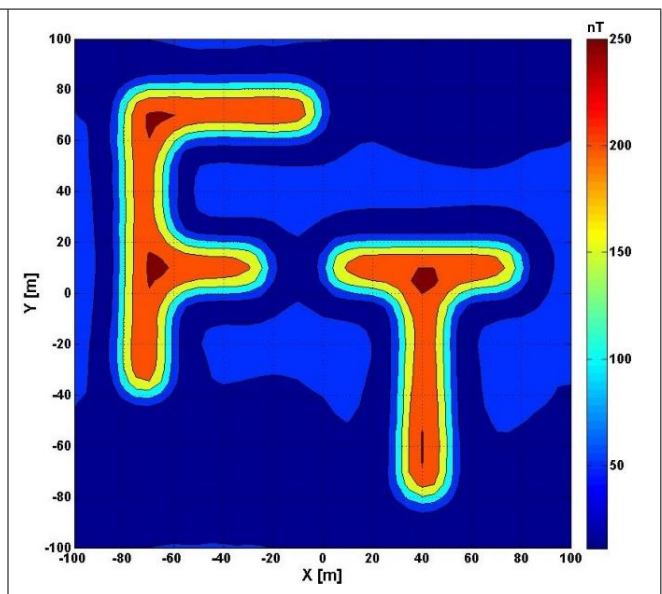
inverz Fourier-transzformációt végrehajtva megkaphatjuk az idősor elemeit a hiányzó mérési pontokban is (rekonstruáltuk a hiányzó adatokat). Ezáltal egyenközűen mintavételezett teljes adatrendszert kapunk, melyet a 15b ábrán piros színnel ( $u_{inv}(t)$ ) szemléltetünk. Az eredeti (1. ábrán szereplő) idősort kék színnel ugyancsak feltüntetve látható, hogy a rekonstruált görbe azt elfedi,

kivételt csupán a 0,25 sec környékén tapasztalunk. Az ábra tanúsága szerint az IRLSFT eljárással a szakaszon hiányos adatrendszer is sikeresen feldolgozható. További vizsgálatok azt mutatják, hogy míg a [0,2, 0,23] intervallumon hiányos adatrendszer rekonstrukciója hibátlan (a kék szín sehol sem jelentkezik), addig a [0,2, 0,3] intervallumon hiányos adatrendszer rekonstrukciója elfogad-



18. ábra Random walk mérési pontok

Figure 18 A plot of the randomly sampled magnetic measuring points



19. ábra A véletlenszerűen mintavételezett 2D zajmentes mágneses adatrendszer pólusra redukálásának eredménytérképe 2D IRLSFT alkalmazása esetén

Figure 19 The reduced-to-pole magnetic map of the randomly sampled magnetic data set when 2D IRLSFT is applied

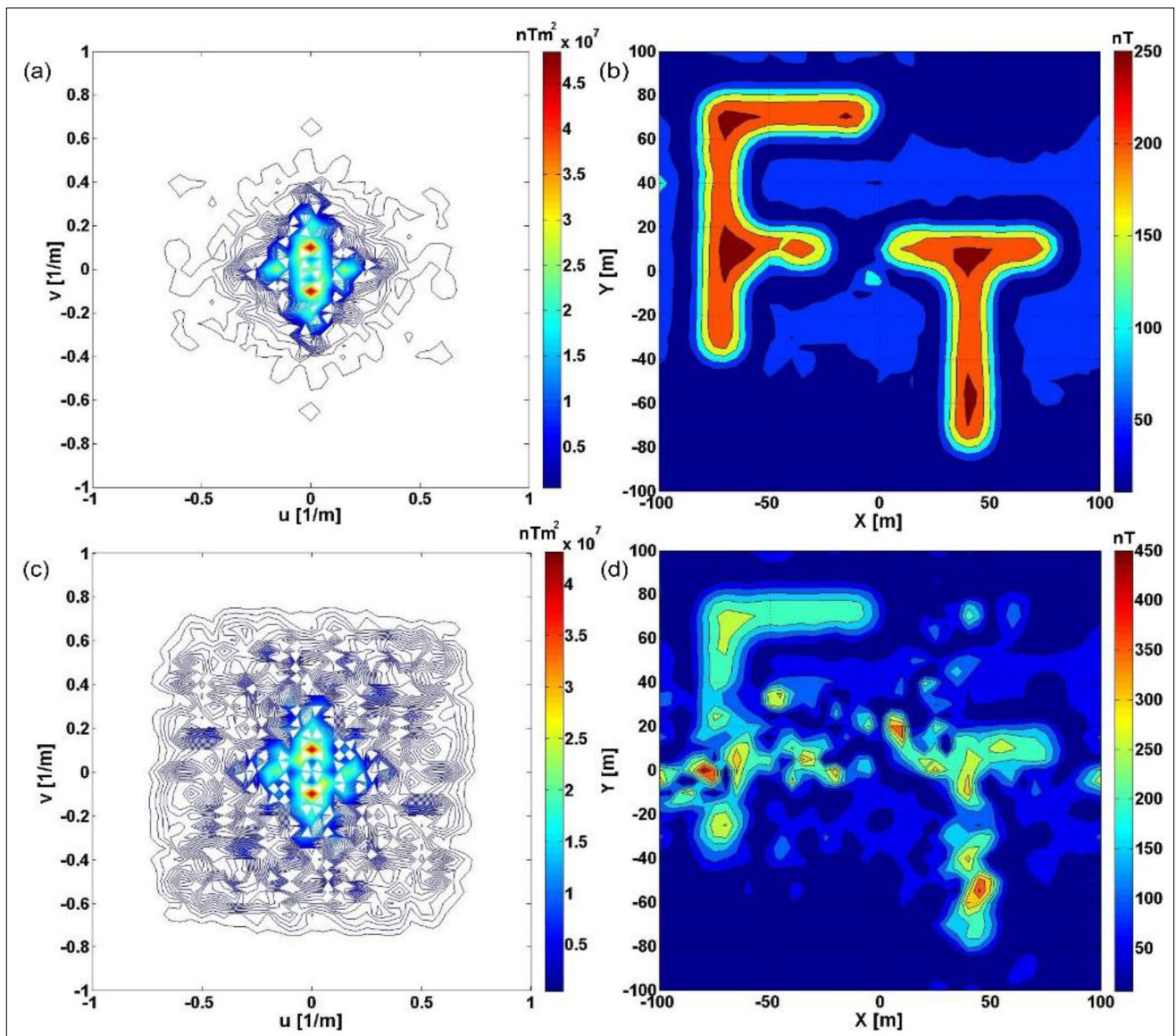
hatatlan torzításokat mutat mind a frekvencia-, mind az időtartományban.

### 3. Az inverziós Fourier-transzformáció tulajdonságai kétdimenziós esetben

A Fourier-transzformáció mint inverz feladat kétdimenziós (2D) problémára is megfogalmazható (Szegedi 2015). A 2D IRLSFT részletes algoritmusát és az eljárás zajelnyomó képességének vizsgálatát Dobróka és munkatársai (2017) közölték. A nem egyenközűen mintavételezett 2D adatrendszerek inverziós Fourier-transzformációját PhD-

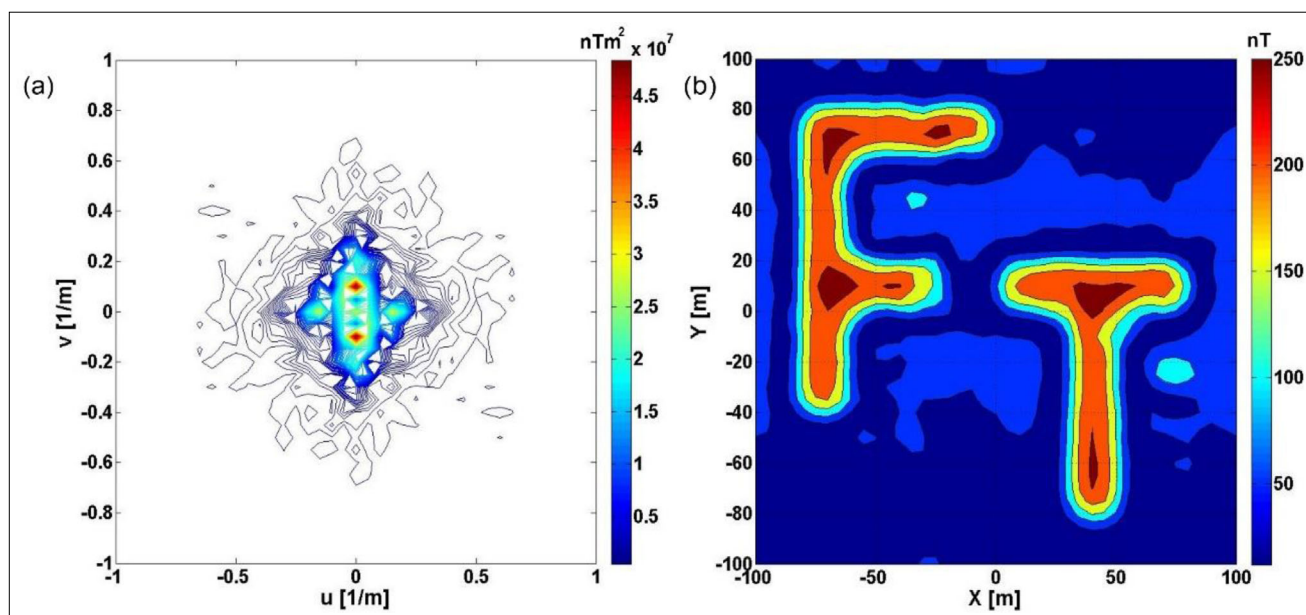
értekezésében Nuamah (2020) vizsgálta. A 2D IRLSFT eljárást nem egyenközűen mintavételezett mágneses adatok pólusra redukálásában Vass és Nuamah (2021) publikálta.

A következőkben a hiányos 2D adatrendszerek inverziós Fourier-transzformációjának néhány eredményét mutatjuk be Abdelaziz (2022) PhD-értekezésének alapján. A vizsgálathoz szintetikus adatrendszert számítunk, amely  $x$  és  $y$  irányban egyaránt  $[-100 \text{ m}, 100 \text{ m}]$  kiterjedésű mérési területen FT alakú, 200 nT intenzitású anomáliát produkáló ható, 5 m-es térközű szabályos mintavételi rendszerben előállított ( $N = 41 \times 41 = 1681$ ) adatát tartalmazza a 16. ábra szerint. Az adatrendszert DFT



20. ábra (a) 2D IRLSFT amplitúdóspektrum az egyenközűen mintavételezett bemenő adatok 50%-át elhagyva, (b) A spektrális szűrés alapján előállított pólusra redukált mágneses térkép, (c) 2D IRLSFT amplitúdóspektrum az egyenközűen mintavételezett bemenő adatok 60%-át elhagyva, (d) A spektrális szűrés alapján előállított pólusra redukált mágneses térkép

Figure 20 (a) 2D IRLSFT amplitude spectrum of the regularly sampled magnetic dataset with input data defect of 50%, (b) reduced-to-pole magnetic map coming from frequency domain filtering (c) 2D IRLSFT amplitude spectrum of the regularly sampled magnetic dataset with input data defect of 60%, (d) reduced-to-pole magnetic map coming from frequency domain filtering



21. ábra (a) 2D IRLSFT amplitúdóspektrum a random walk mintavételezéssel kapott bemenő adatok 50%-át elhagyva, (b) a spektrális szűrés alapján előállított pólusra redukált mágneses térkép

Figure 21 (a) 2D IRLSFT amplitude spectrum of the randomly sampled magnetic dataset with input data defect of 50%, (b) reduced-to-pole magnetic map coming from frequency domain filtering

alkalmazásával pólusra redukálva a 17. ábrán látható eredményt kapjuk.

A mágneses adatrendszer a 18. ábrán látható random walk elrendezésben feltételezett mérési pontokon is előállítottuk majd az  $N = 1681$  adat alapján 2D IRLSFT alkalmazásával pólusra redukálást végeztünk  $x$  és  $y$  irányban  $M_x = M_y = 25$  Hermite-függvényt választva a sorfejtéshez. (Az ismeretlenek száma  $M = 25 \times 25 = 625$ , azaz az inverz feladat erősen túlhatározott.) Az inverz probléma megoldásával a 2D spektrum számítható és a pólusra redukált térkép tetszőleges mérési elrendezésen, így egyenközűen is meghatározható. Eredményül a 19. ábrán bemutatott mágneses térképet kapjuk, amely igen közel van az egyenközű mintavétellel kapott, 17. ábrán megjelenített képhez.

A 16. ábra egyenközűen mintavételezett adataiból két hiányos adatrendszer állítunk elő az adatok 50, ill. 60%-ának elhagyásával. A 2D IRLSFT eljárással számított spektrumot és a pólusra redukált mágneses térképet a 20. ábrán láthatjuk ( $u$  és  $v$  a térfrekvenciák  $x$  és  $y$  irányban). Az eredmény alapján megállapíthatjuk, hogy 50%-os adathiány esetén az inverziós Fourier-transzformáció eredményesen alkalmazható. Az inverzióba foglalt adatok száma  $N = 825$ , az ismeretlenek száma  $M = 625$ , a probléma tehát túlhatározott ( $N/M = 1,32$ ). Az adatok 60%-át elhagyva a kapott eredmény minősége azonban már nem fogadható el. Az inverzióba foglalt adatok száma  $N = 641$ , az ismeretlenek száma  $M = 625$ , s így a probléma csak csekély mértékben túlhatározott ( $N/M = 1,02$ ).

Hiányos adatrendszer a 18. ábrán bemutatott random walk elrendezésben mért adatokból is előállíthatunk. Az adatok 50%-ának elhagyásával kapott amplitúdóspektrumot és a pólusra redukált eredményt a 21. ábrán mutatjuk be.

Mint látható, a pólusra redukált mágneses térkép igen közel van az egyenközűen mintavételezett zajmentes mágneses adatok 50%-ának elhagyásával kapott adatrendszer pólusra redukálásának eredménytérképéhez (20b ábra).

#### 4. Összefoglalás

A Fourier-transzformáció (FT) nagyon hasznos eszköznek minősül a jelfeldolgozás területén, ennek speciális eseteként kezelhető diszkrét Fourier-transzformáció (DFT) jó eredményeket ad kedvező jel/zaj viszonytal jellemezhető esetekben. Nagyon érzékenyen reagál ugyanakkor az adatokat terhelő hibák megnövekedésére. A Fourier-transzformáció inverziós feladatra történő visszavezetésével, lehetővé válik a méréseket terhelő zajok hatásának csökkentése a frekvenciaspektrum számításakor. A Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszékén kidolgozott inverziós Fourier-transzformációs eljárás középpontjában álló spektrális modell az Hermite-függvényrendszer szerinti sorfejtésen alapul, és a sorfejtési együtthatók játsszák a túlhatározott inverz feladat ismeretlenjeinek szerepét.

A legkisebb négyzetek elve szerinti inverziós Fourier-transzformáció (LSQFT) és a Steiner-súlyokkal robusztifikált (IRLSFT) zajjelnyomó tulajdonságait, ill. alkalmazhatóságát nem egyenközűen mintavételezett adatrendszerek Fourier-transzformációjában a Tanszék munkatársai sokoldalúan vizsgálták. Ezeket az eredményeket a jelen publikációban összefoglalóan ismertettük, kiegészítve a legújabb kutatások eredményeivel, amelyek a hiányosan mintavételezett adatrendszerek inverziós Fourier-transzformációjának lehetőségeire mutatnak rá. Vizsgálá-

taink eredményeit 1D és 2D adatrendszeren demonstráltuk.

## Köszönetnyilvánítás

A közleményben bemutatott kutatást az Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatta az K-135323 számú (OTKA-) projekt keretében.

## A tanulmány szerzői

Mahmoud I. M. Abdelaziz, Vass Péter, Dobróka Mihály

## Hivatkozások

Abdelaziz M. I. M. (2022): Inversion-based method development to improve the interpretation of potential field geophysical data. PhD thesis, University of Miskolc

Baracza E., Turai E., Nádasi Á., Gyulai Á. (2018): CGI inversion method presented through a field case. *Geosciences and Engineering: A Publication of the University of Miskolc*, 6/9, 40–52.

Dobróka M., Vass P. (2006): Fourier Transform as a Robust Inverse Problem, *European Association of Geoscientists & Engineers, Conference Proceedings, Near Surface 2006 – 12th EAGE European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics*, Sep. 2006, cp-14-00134, ISBN: 978-90-73781-62-7, <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201402756>

Dobróka M., Szegedi H., Vass P., Turai E. (2012): Fourier transformation as inverse problem – an improved algorithm. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 47/2, 185–196, DOI: 10.1556/AGeod.47.2012.2. <http://link.springer.com/article/10.1556/AGeod.47.2012.2.7>

Dobróka M., Szegedi H., Vass P. (2017): Inversion-based Fourier transform as a new tool for noise rejection, *Fourier Transforms: Fourier Transform – High-tech Application and Current Trends*, InTech, Rijeka, Croatia, Print ISBN 978-953-51-2893-9, Online ISBN 978-953-51-2894-6, <http://dx.doi.org/10.5772/62751>

Gyulai Á., Baracza M. K., Tolnai É. (2013): The application of joint inversion in geophysical exploration. *International Journal of Geosciences*, 4/2, 283–289.

Gyulai Á., Turai E., Baracza K. (2012): A CGI inverzió eredményének elemzése egy terepi példán. *Magyar Geofizika*, 53/4, 264–274.

Nuamah D. O. B., Dobróka M. (2018): Reduction to pole of non-equidistantly measured magnetic data using an inversion-based Fourier transformation algorithm. *Geoscience and Engineering Journal*, 6/9, 32–39. HU ISSN 2063-6997

Nuamah D. O. B., Dobróka M. (2019): Inversion-based Fourier transformation used in processing non-equidistantly measured magnetic data. *Acta Geod. Geophys.*, 54, 411–424. <https://doi.org/10.1007/s40328-019-00266-4>

Nuamah D. O. B. (2020): Inversion-based Fourier transform algorithm used in processing non-equidistantly measured magnetic data. PhD thesis, University of Miskolc

Szegedi H., Dobróka M. (2012): Robusztus Fourier-transzformáció Steiner-súlyok alkalmazásával. *Magyar Geofizika*, 53/1, 21–28, ISSN 0025-0120.

Szegedi H., Dobróka M. (2014a): On the use of Steiner's weights in inversion-based Fourier transformation – robustification of a previously published algorithm. *Acta Geodaetica et Geophysica*, 49/1, 95–104, Print ISSN 2213-5812, Online ISSN 2213-5820, DOI: 10.1007/s40328-014-0041-0, <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs40328-014-0041-0>

Szegedi H., Dobróka M. (2014b): Hilbert-transzformált előállítás inverziós alapú robusztus Fourier transzformációval. *Magyar Geofizika*, 55/1, 21–29.

Szegedi H. (2015): Inverziós módszerfejlesztés a Fourier-transzformált zajérzékenységének csökkentésére. PhD-értekezés, Miskolci Egyetem

Vass P., Dobróka M. (2009a): Robust Fourier Transform Algorithm Using Inversion Tools, *European Association of Geoscientists & Engineers, Conference Proceedings, Near Surface 2009 – 15th EAGE European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics*, Sep. 2009, cp-134-00053, ISBN: 978-90-73781-72-6, <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20147040>

Vass P., Dobróka M. (2009b): Sorfejtéses inverzió I. Fourier-transzformáció mint inverz feladat. *Magyar Geofizika*, 50/4, 141–152, ISSN 0025-0120.

Vass P. (2010): A Fourier-transzformáció mint inverz feladat. PhD-értekezés, Miskolci Egyetem

Vass P. (2012): Random-noise reduction capability of the Hermite polynomial based least squares Fourier transform method, *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica* 47/3, 328–343, DOI: 10.1556/AGeod.47.2012.3.4, <https://link.springer.com/article/10.1556/AGeod.47.2012.3.4>

Vass P., Nuamah D. O. B. (2020): Nem egyenközű hálózat szerint mintavételezett mágneses anomália pólusra redukálása Inverziós Fourier-transzformációval. *Magyar Geofizika*, 61/2, 66–74.

# Geofizika és história (A negyedik dimenzió a föld- és történelemtudományokban)

KISS J.

Szabályzott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága (SZTFH), Földtani Igazgatóság,  
1051 Budapest, Sas utca 20–22.  
E-mail: janos.kiss@sztfh.hu

A negyedik dimenzióval, az időfaktorral foglalkozunk ebben a tanulmányban. Idővel változik minden, például a Föld arculata, a Föld mágneses tere, de a Földön élő emberiség élete is. A Föld fejlődésének, az élővilág alkalmazkodásának és a fizikai törvényszerűségeknek, kölcsönhatásoknak eredménye a változás. Ebben a változó világban keresünk fogódzkodókat („időszögeket”), tér-idő (idő-tér), valamint esemény-idő (idő-esemény) összefüggéseket a földtudományokban és a történelemtudományokban – mert felrémlik ennek kapcsán, hogy analógiák lehetnek ezekben a tudományágakban.

A mágneses tér változásai időben és térben csak egy egységes viszonyítási rendszerben értelmezhetőek. Történelmi források időrendisége a fennmaradt krónikák adatai alapján kaotikusnak tűnik egészen addig, amíg azok viszonyítási rendszerét nem sikerül azonosítani és sorrendbe állítani. A mágneses erőter és az írott magyar történelem adatainak felhasználásával vizsgáljuk a lehetséges törvényszerűségeket és analógiákat – a probléma adott, mi a megoldásokat keressük!

## Kiss, J.: Geophysics and History (The fourth dimension in the Earth and History Sciences)

The fourth dimension, the time factor, is addressed in this study. Over time, everything changes, for example, the face of the Earth, the magnetic field of the Earth, but also the life of humanity on Earth. Change is the result of the Earth's evolution, the adaptation of living things and the laws of physics and interactions. In this changing world, we look for grips ('time angles'), space-time (time-space) and event-time (time-event) relationships in the earth sciences and history – because it occurs to us that analogies can be drawn in these disciplines.

The variations of the magnetic field in time (normal field) and space (anomalous field) can only be interpreted in a single frame of reference. The chronology of historical sources seems chaotic on the basis of the surviving chronicle data, until their frame of reference can be identified and ordered. Using data from the magnetic field and written Hungarian history, we investigate the possible regularities and analogies – the problem is given, we are looking for solutions!

*Beérkezett: 2022. augusztus 15.; elfogadva: 2022. szeptember 23.*

## Bevezetés

A klasszikus geológia (földtudomány) a Föld kutatásával foglalkozik, a földtani képződmények (mint például kémiailag elemek, ásványok, kőzetek, növényi és állati maradványok, kőzetek és lenyomatok) kézzel tapintható, szemmel látható vagy egyéb érzékszervekkel érzékelhető tulajdonságai alapján. Az emberi ismeretek és vizsgálati lehetőségek bővülésével más módszerek is bekerültek a

földtan kutatási eszköztárába, ilyen például a geofizika és a geokémia, hogy csak a két legfontosabbat említsük. Ezek a tudományokban korábban felhalmozódott ismeretanyagot felhasználva fizikai, illetve kémiai paramétereket, jellegzetességeket vizsgálnak különböző, az emberiség által kifejlesztett új, mondhatnánk „mesterséges” módszerekkel és eszközökkel a földtani képződmények és folyamatok beazonosítása céljából. Ezekben a vizsgálatokban a háromdimenziós térparaméterek, valamint a szerteágazó

fizikai, kémiai tulajdonságok mellett megjelenik a negyedik dimenzió, az idő is. Az idő, amely sorrendbe állítja az ásványokat, a különböző kifejlődésű kőzeteket, fejlődés-tani sorrendbe növény- és állatmaradványokat, földtani folyamatokat, megmutatja azok kifejlődésének menetét, s ezzel képes a bolygónk életének történetét bemutatni, rekonstruálni utólag megírva a Föld krónikáját. Az idő múlása, a földtani folyamatok mellett a geofizikai erőtereket is módosítja, hiszen a természetben csak egy állandó dolog van, a változás.

A klasszikus história (történelemtudomány) a Föld életének egy szűkebb időintervallumával, az emberiség történelmével foglalkozik. Ezen belül a régészek az emberi érzékszervek által végzett megfigyelésekre alapozva kutatják a régmúlt tárgyait (emberi leleteket, eszközöket, épületmaradványokat, történelmi emlékeket stb.), vizsgálva az analógiákat és a kapcsolatokat a fellelt történelmi leletek között. A történelemtudomány is értelem-szerűen tovább szakosodott. Az emberi leleteket az antropológia vizsgálja. Az írásos tárgyi leletekkel, az emberiség kommunikációs képességével, a sokféle nyelvi emlék, illetve az emberiség által beszélt mai nyelvek összevetésével, tanulmányozásával a nyelvészet foglalkozik. A történészek a régészeti tárgyak és írásos emlékek kor szerinti rangsorolásával az emberiség történetének folyamatait próbálják rekonstruálni, és itt is fontos tényezőként jelenik meg az időfaktor. A fizikának és a kémiának a szerepe tudásunknak köszönhetően egyre erősebben jelen van a történelemtudományokban is, amelyek segítenek például az időrendiség pontosabb meghatározásában, bár az emberiség történelmében már vannak írott ősi krónikák is.

Az emberi szervezet felépítését és működését kutató orvostudomány legújabb vívmányai lehetővé teszik az archeogenetikai vizsgálatokat, amelyek képesek a gének vizsgálata révén követni (apai: Y-kromoszómai, vagy anyai: mitokondriumi ágon) az emberek származását a klasszikus történelemtudományi eljárásoknál nagyságrendekkel nagyobb időintervallumokban.

A geológusok és a történészek tehát tulajdonképpen hasonló jellegű kutatásokat végeznek, csak más-más (idő) dimenziókban. A geológiában a szakemberek jelképes „aranyzóg”-ekkel jelzik a földtani kormeghatározás szempontjából kulcsfontosságú lelőhelyeket. Az emberi történelemnek is vannak ilyen „aranyzóg”-ei, ezek elsősorban a több forrásból megerősített események, amelyek jó viszonyítási alapot jelentenek más események datálásakor.

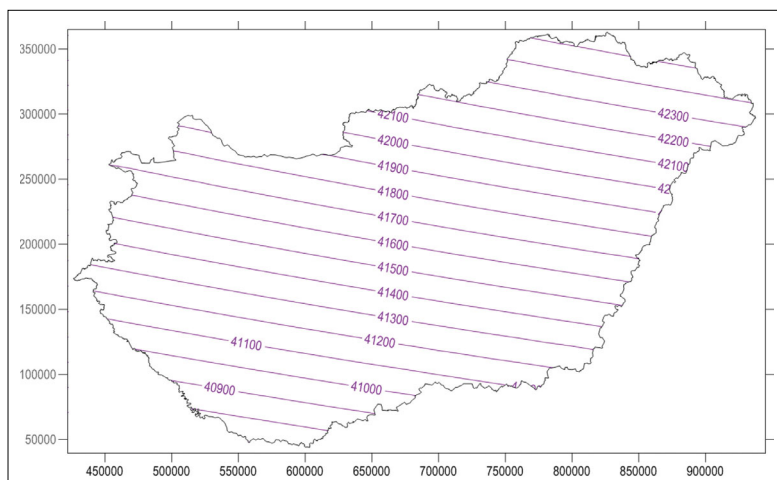
A Föld erőterei sem függetlenek az időfaktortól, adódik tehát, hogy a geofizikában is meg kell küzdenünk ezzel a problémával.

Érdeemes megnézni, hogy milyen analógiák vannak a tudományágak között, esetünkben a geofizika és a régészet viszonylatában. Ebben a cikkben csak egy példát villantunk fel, most éppen az idő szerepét vizsgálva, de biztosak lehetünk benne, hogy más analógiák is lehetnek.

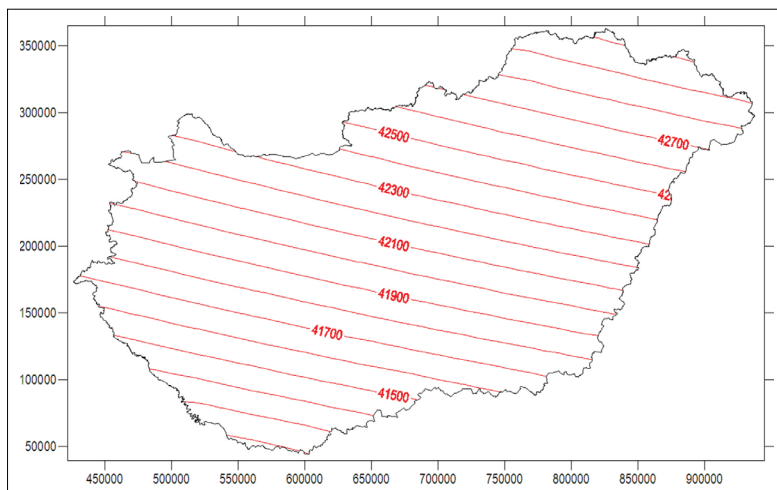
### 1) Kronológia a geofizikában (A földi geomágneses erőter változása)

A Föld (mint égitest) naprendszerbeli helyzetének (pl. a Naptól való távolságának), saját tengely körüli forgásának és belső folyamatainak köszönhetően változtatja a mágneses erőterét. A földtani (geofizikai) kutatások során a mágneses mérésekből a Föld globális mágneses terét (amelyet szakmai berkekben mágneses normáltérnek hívunk) ki kell kompenzálni azért, hogy csak a földkérget felépítő ásványok, kőzetek anomális mágneses hatását kapjuk meg, mert ez vizsgálataink célja.

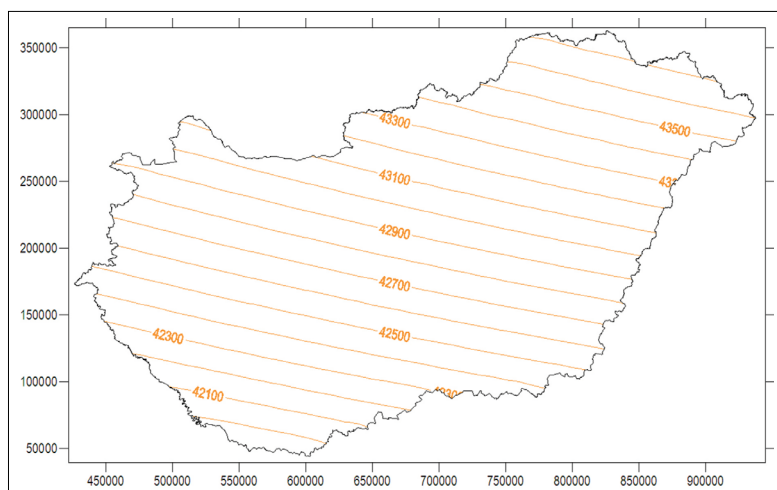
Mivel ez a tér folyamatosan, emberi léptékekkel mérve is változik, obszervatóriumi<sup>1)</sup> (globális) és úgynevezett területi (lokális) alaphálózati mérésekkel a változást nyomon tudjuk követni, és a változás mértékét analitikus módon függvényekkel le tudjuk írni. Úgy is mondhatnánk, hogy a mágneses tér időtől függő változásait – feltételezve azok folyamatosságát<sup>2)</sup> – különböző időpontokban végzett egyedi mérésekkel, illetve az azokból meghatározott törvényszerűségekkel, nem túl hosszú időintervallumon belül kisebb-nagyobb hibával meg tudjuk adni.



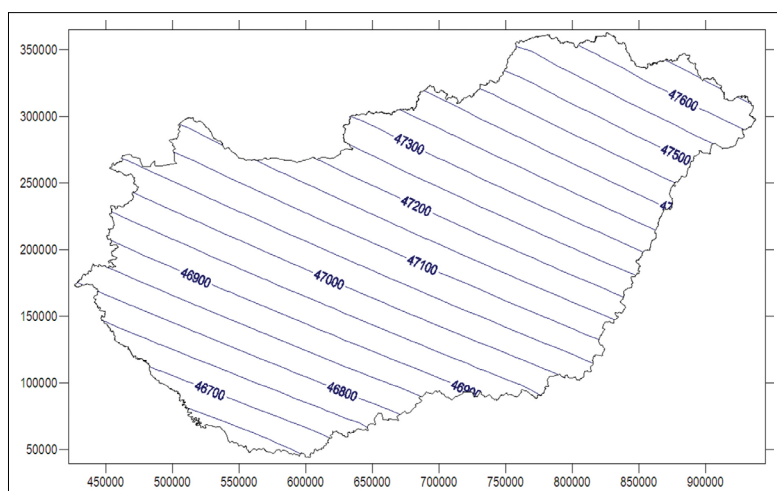
1. ábra | Függőleges mágneses komponens ( $Z_0$ ) normál tere 1950-re (Barta 1952)  
Figure 1 | Vertical magnetic component normal field ( $Z_0$ ) value for 1950 (Barta 1952)



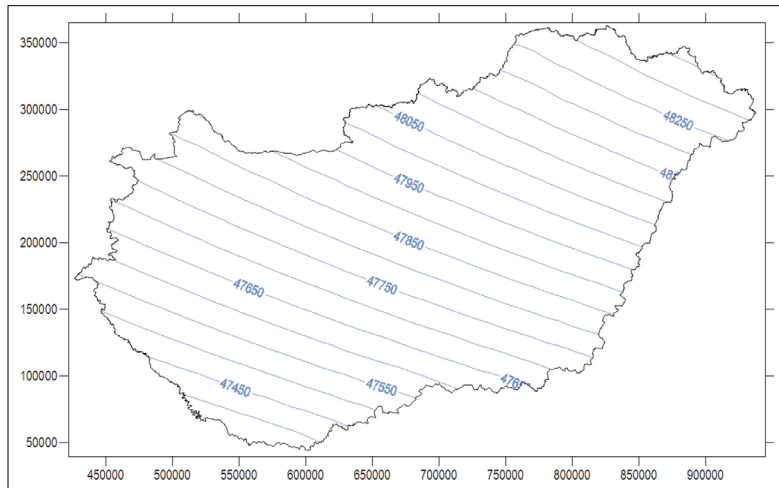
**2. ábra** | Függőleges mágneses komponens ( $Z_0$ ) normál tere 1965-re (Acél, Stomfai 1968)  
**Figure 2** | Vertical magnetic component normal field ( $Z_0$ ) value for 1965 (Acél, Stomfai 1968)



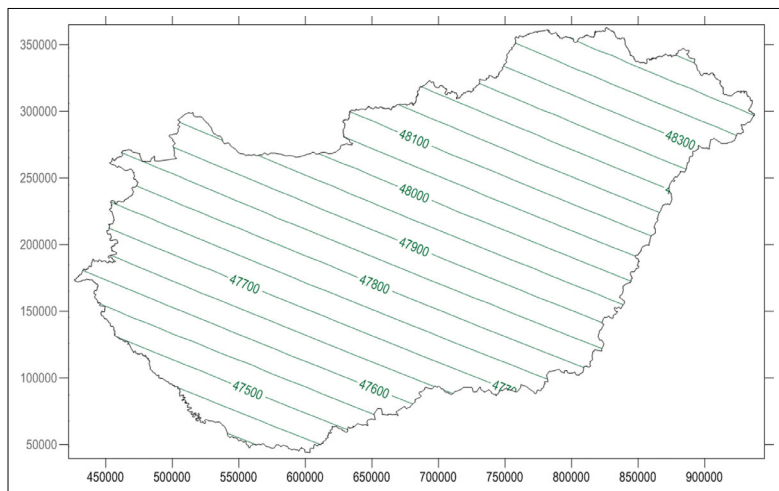
**3. ábra** | Függőleges mágneses komponens ( $Z_0$ ) normál tere 1995-re (Kovács, Körmendi 1999)  
**Figure 3** | Vertical magnetic component normal field ( $Z_0$ ) value for 1995 (Kovács, Körmendi 1999)



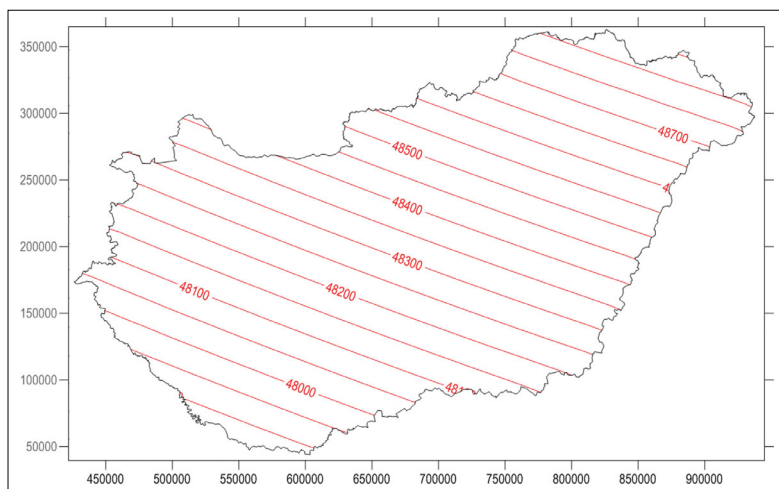
**4. ábra** | Mágneses totáltér komponens ( $T_0$ ) normál tere 1965-re (Aczél, Stomfai 1968)  
**Figure 4** | Total magnetic component normal field ( $T_0$ ) value for 1965 (Aczél, Stomfai 1968)



**5. ábra** | Mágneses totáltér komponens ( $T_0$ ) normál tere 1995-re (Kovács, Körmendi 1997)  
**Figure 5** | Total magnetic component normal field ( $T_0$ ) value for 1995 (Kovács, Körmendi 1997)



**6. ábra** | Mágneses totáltér komponens ( $T_0$ ) normál tere 1995-re (IGRF alapján)  
**Figure 6** | Total magnetic component normal field ( $T_0$ ) value for 1995 (based on IGRF)



**7. ábra** | Mágneses totáltér komponens ( $T_0$ ) normál tere 2010-re (Kovács et al. 2012)  
**Figure 7** | Total magnetic component normal field ( $T_0$ ) value for 2010 (Kovács et al. 2012)

A kvantált mérési adatokból analitikus függvények segítségével tér-idő összefüggéseket határozhatunk meg, amelyek megadják az ország területén az adott időpontban a  $Z$ - vagy  $T$ -komponens normáltérértékét (1–7. ábra). Miután ezt az időben változó normáltérértéket a mérések idejére pontosan ki tudjuk számolni a Föld bármely pontjára (IGRF<sup>3</sup>), lehetőségünk adódik, hogy a kérget felépítő kőzetek anomális hatását (amelyet a méréskor állandónak tekintünk) függetlenül a mágneses tér globális változásaitól meghatározzuk. A terepi mérési adatokból kivonjuk az adott időponthoz és koordináta-hoz tartozó földi normáltérteret, és megkapjuk a földtani képződményektől származó mágneses anomália-teret. Ez azt jelenti, hogy eltérő időpontban végzett anomáliameghatározások között nem lesz, vagy csak minimális lesz az eltérés. Nem lesznek ugrások, lépcsők és eltérő trendek a különböző idejű mérések összesítéséből kapott anomália-térképen, a térkép egységes képet fog mutatni. Nem fogjuk látni éles váltásként a különböző idejű mérések területének határait, hanem egy egységes felületet, plasztikusan változó mágneses anomáliát fogunk kapni.

#### Különböző idejű mérési kampányok adatai

A geomágneses obszervatóriumi „egyedi” mérések már a XVIII–XIX. században elindultak például Hell Miksa (1768), Meteorológiai és Földdelejtességi Magyar Királyi Központi Intézet (1870) vagy Konkoly Thege Miklós (1899) (ld. Szabó 1983, Kovács et al. 2012).

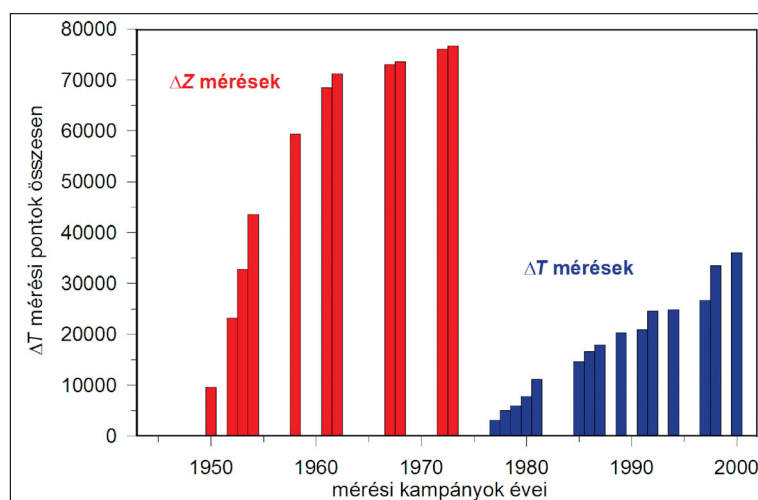
A földtani kutatás céljából végzett területi mérésekből az 1950-es évi geomágneses adatok állnak rendelkezésre az ország területéről. (Valószínűleg voltak régebbi adatok is, de azok nem maradtak meg.) A mérési adatok száma az idővel arányosan növekszik, ezt mutatja a 8. ábra. Mérés-technikai okok miatt kezdetben, az 50-es évektől a vertikális mágneses térkomponens ( $Z$ ) relatív nagyságát mértük optikai-mechanikai magnetométerrel. A 70-es évektől kezdve a pontosabb protonprecessziós magnetométerrel

már a teljes mágneses vektor ( $T$ ) amplitúdóját mérjük. A geomágneses mérésekkel a 60-as évekre már országos fedettséget értünk el. A további mágneses  $Z$  és  $T$  mérések már részletező vagy sűrítő mérések voltak.

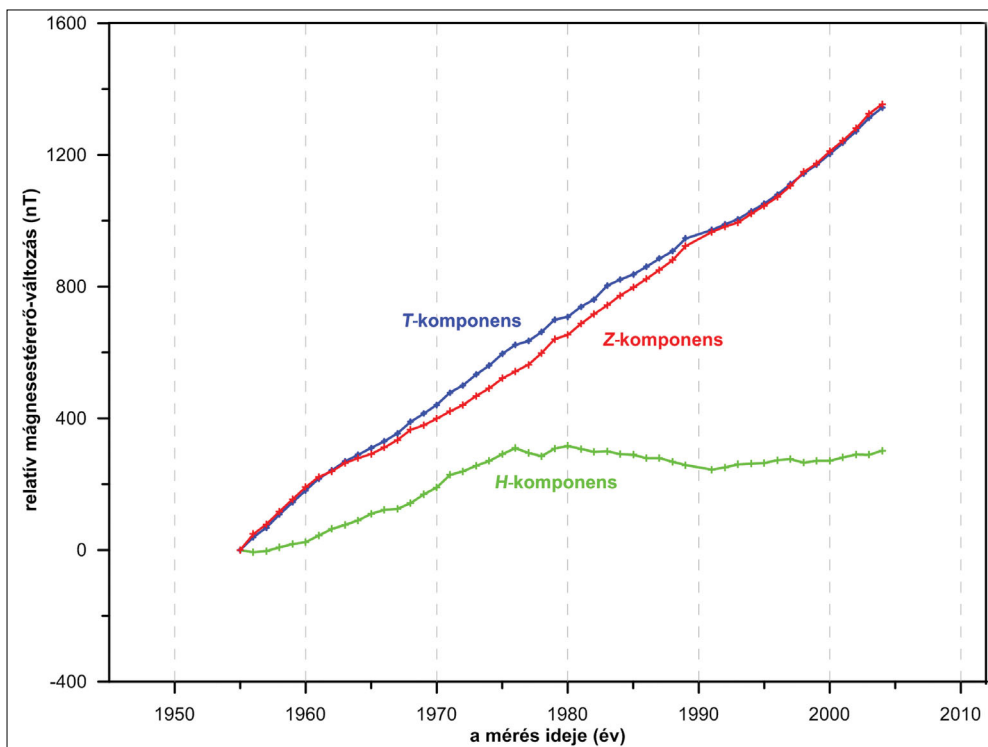
A Föld mágneses tere azonban az idő múlásával már ebben a rövid 50–60 évben is változott. A 9. ábra alapján ennek mértéke  $\sim 1200$ – $1400$  nT nagyságrendű a  $Z$  és  $T$  mágneses komponensek esetében. Az érték nagyságának megítéléséhez jelezzük, hogy a földtani kutatásban a 10 nT nagyságú változások már karakterisztikus, értelmezhető változásnak számítanak. Így képet kaphatunk arról, hogy mekkora változást jelent az ugyanazon a ponton elvégzett mérés 1955-ben és 2000-ben. Talán a mérési kampányok idősorából (8. ábra) és a normáltér változásából (9. ábra) már látszik, hogy valós problémát jelent a különböző idejű geomágneses mérési adatok egységesítése, amellyel világszerte foglalkoznak a szakértők, például a Föld egységes mágneses anomália-térképének összeállításakor.

*A meglévő ismeretek alapján a földtani célból gyűjtött geomágneses adatokra megállapítható:*

1. A mágneses adatok alapvetően három csoportra bonthatók:  $H$ ,  $Z$  és  $T$  mérések. A mérések között eltérés van, a vízszintes ( $H$ ) és a függőleges ( $Z$ ) mágneses térkomponens mérése relatív (már a méréskor a földi mágneses tér alapszintjét, a normáltérteret durván kikompenzáljuk, így az anomális komponens  $\pm 2000$  nT között változik), míg a teljes ( $T$ ) térerő amplitúdójának mérése abszolút, értéke 40 000–50 000 nT közötti, és a normáltér-korrektió utólagosan, számítással történik.
2. A mérési adatok előfeldolgozása nem volt egységes az idők során. Egyrészt konstans értékű kompenzációk történtek (kis területen ez elfogadható volt), másrészt a DNy–ÉK irányú trend szerinti változó nagyságú normáltér-kompenzáció (amely egy pontosabb korrekció) nagy területek esetén már nem nélkülözhető.



8. ábra | Geomágneses mérések Magyarországon  
Figure 8 | Geomagnetic measurements in Hungary

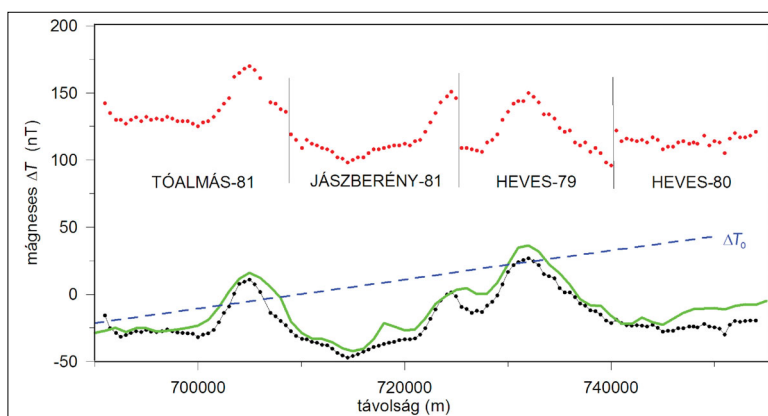


9. ábra | A mágneses térkomponensek ( $H, Z, T$ ) relatív időbeli változása 1955 évhez viszonyítva (szekuláris mérések)  
 Figure 9 | Relative temporal variation of magnetic field components ( $H, Z, T$ ) with respect to 1955 (secular measurements)

3. Az archív adatoknál sok esetben azt tapasztaltuk, hogy a mérési adat valamilyen formában megőrződött, de nem készült (vagy ha készült is, elveszett) dokumentáció az előfeldolgozásról, így azok eltérő alapszint- és normáltér-korrekciókkal állnak rendelkezésre (például azért, mert különböző cégek eltérő szabvány szerint mértek vagy számoltak). Ezeket az adatokat az adatbázis kialakításakor utólag egységesíteni, szabványosítani kellett.
4. Az adatok térben és időben is változnak.

Mivel már viszonylag korán, 1966-ban elkészült az országos  $\Delta Z$  mágneses anomália-térkép, így a sűrűbben felmért részterületek illesztéséhez megvolt az alapszint. Az új mérési adatok és az országos térkép összevetéséből lehetett következtetni arra, hogy milyen előfeldolgozás történt, vagy hogy mit kell tenni az egységesítés érdekében.

A 10. ábra egy mintaadatsort mutat be. Több mérési kampány (Tóalmás 1981, Jászberény 1981, Heves 1979 és Heves 1980) kigyűjtött  $\Delta T$  mérési adatai (piros pontok)



10. ábra | Több mérési kampány (Tóalmás 1981, Jászberény 1981, Heves 1979 és Heves 1980) kigyűjtött  $\Delta T$  mérési adatai (piros pontok) egy nyomvonal mentén (fent). Fekete választóvonalak mutatják a mérési terület határait. Fekete pont és vonal az egységesítés utáni adatrendszert ábrázolja (lent), amely mellett az országos  $\Delta Z$  rendszerből transzformált  $\Delta T$  adatokat (zöld vonal) és a normáltérváltozásnak ( $\Delta T_0$ ) megfelelő trendet (szaggatott vonal) is feltüntettük

Figure 10 |  $\Delta T$  measurements (red dots) collected from several measurement campaigns (Tóalmás 1981, Jászberény 1981, Heves 1979 and Heves 1980) along a single trace (top). Black dividing lines show the boundaries of the measurement area. Black dots and lines represent the post-consolidation data system (bottom), next to which the  $\Delta T$  data transformed from the national  $\Delta Z$  system (green line) and the trend corresponding to the change in the normalized space ( $\Delta T_0$ ) (dashed line) are also shown

**I. táblázat** Az Euráziában használt és feltételezett időszámítások listája [mai (A.D.) és a bizáncinak megfelelő kezdőévekkel]. (Forrás: az interneten elérhető információk, például Hahn István, Szekeres Sándor írásai, JGYPK–SZE jegyzete)

**Table 1** List of time periods used and assumed in Eurasia [with present day (A.D.) and Byzantine corresponding years]. (Source: information available on the internet, e.g. writings of István Hahn, Sándor Szekeres, JGYPK–SZE notes)

No.	Időszámítás	Krisztus	Byzantiumi	No.	Időszámítás	Krisztus	Byzantiumi
1	<i>Byzantiumi</i>	-5509	0	16	<i>Alexandroszi (Nagy Sándor)</i>	-323	5186
2	<i>Alexandriai</i>	-5493	16	17	<i>Szeleukida</i>	-311	5198
3	<i>Ómacedon</i>	-5205	304	18	<i>Arszakida (pártus)</i>	-247	5262
4	<i>Egyiptomi</i>	-4236	1273	19	<i>Saka Kanishka (kusán)</i>	-78	5431
5	<i>Zsidó</i>	-3761	1748	20	<i>Saka Vikrama</i>	-57	5452
6	<i>Óindiai</i>	-3102	2407	21	<i>Julián (Julius Caesar)</i>	-44	5465
7	<i>Örmény</i>	-2496	3013	22	<i>Pireneusi</i>	-38	5471
8	<i>Ókínai</i>	-2397	3112	23	<i>Jézus (A.D.)</i>	0	5509
9	<i>Mezopotámiai</i>	-2325	3184	24	<i>Etióp</i>	8	5517
10	<i>Ógörög</i>	-1184	4325	25	<i>Indiai Sakadt</i>	78	5587
11	<i>Görög</i>	-776	4733	26	<i>Diocletianusi</i>	284	5793
12	<i>Római</i>	-753	4756	27	<i>Kopt</i>	284	5793
13	<i>Babiloni</i>	-749	4760	28	<i>Bizánci</i>	312	5821
14	<i>Buddhista</i>	-544	4965	29	<i>Örmény</i>	552	6061
15	<i>Fillipposzi (makedón)</i>	-335	5174	30	<i>Iszlám</i>	622	6131

egy nyomvonal mentén. A forrásadatok relatív mérési adatként álltak rendelkezésre. A területek találkozási pontjain ugrások azonosíthatók, tehát az előfeldolgozás eltérő volt, noha a mérések azonos (egymás utáni, 3 éves) időintervallumban készültek. A nyers adatok (piros pontok) és a normáltérgörbe (szaggatott vonal) összevetése alapján látszik, hogy valamilyen normáltér-korrekción történt (nem azonosítható az értékek szisztematikus növekedése).

Az adatok alapszintjében korrekciókat kellett végezni, hogy egységes, folyamatos anomáliagörbét (fekete pont és vonal) kapjunk. Ezt a görbét összevetettük a  $\Delta Z$  mérésekből transzformált  $\Delta T$ -értékekkel (zöld görbe). A különbség egyrészt az eltérő és nem egyforma sűrűségű mérési pontokból (eltérő mintavételi sűrűség), másrészt a remanens mágnesezettség ismeretlenségéből adódik, és törvényszerű. (A  $\Delta Z$ - $\Delta T$  transzformáció során csak az indukált mágnesezettségi paramétereket használtuk.)

A geofizikai mérések a XX. században kezdődtek, így ezek az adatok nem túl régiek (viszonylag sok adatról van szó), de a korrekciós eljárások az analógia miatt talán segítségünkre lesznek a történelmi adatok elemzése, rendezése során.

## 2) Történelmi események kronológiája

Történelmi kronológiai vizsgálatok legfontosabb forrásai a fennmaradt ősgeszták és őskronikák. Ezekben a krónikások leírták a legfontosabb eseményeket és esetenként azok időpontját. A feljegyzések azonban a világ különböző pontjain nem egyszerre és nem identikusan (azaz hasonló megközelítést alkalmazva és adott helyen megismételve

vagy folytatva) történtek. A leírt események egy adott forrásműben következetesnek tűnhetnek, valójában azonban a korábbi évtizedek vagy évszázadok krónikás adatait is felhasználták, beépítették azokat – átszámítva vagy átszámítás nélkül. Akár rendben is lehetne mindez, de az eurázsiai területen körülbelül 20–30 időszámítást ismerünk (1. táblázat). Mivel a legősibb krónikai források már nincsenek meg, így nem tudjuk, hogy az időszámítások mennyire voltak általánosak, mennyire ismerték azokat, illetve hogy a krónikákban milyen mértékben maradtak fenn feljegyzések a különböző időszámításokból.

Minden egyes forrásmű egy adott korban és adott helyen készült. A más korban és más területen az alkalmazott időszámítási rendszerek valószínűleg eltérőek lesznek. Belép tehát még egy ismeretlen faktor, a vonatkoztatási idő. A krónikások által korábbi forrásművekből átvett események ismeretlen időszámítása és eltérő koradatai kerülnek egymás mellé az adott pillanat időszámításával, egyfajta káoszt okozva a krónikák időrendiségében. Az ősi írásművekben ugyanis nem jegyezték fel, hogy milyen időszámítási rendszert használtak (sokszor azt sem tudták a régi idők krónikásai, hogy létezik másik időszámítás is). Ezt mi a XXI. században a gyors információáramlás miatt sokkal jobban látjuk, mint ők az adott kor technikai, „informatikai” színvonalán. Fel kell tételeznünk, hogy minden krónikás tudásának legjavát adva készítette el a dokumentációt, és az abban szereplő évszámok valóságok, csak esetleg más időszámítási rendszerbe tartoznak. Ez viszont komoly fejtörést okozhat.

Az eddig elmondottakat szemlélteti a 2. táblázat, amelyben kezdetben egy Mohács környéki alappont geomágneses idősorát (1), majd történelmi események idősorát ad-

**2. táblázat** A geomágneses erőtér változását 1) és az eltérő történelmi koradatokat szemléltető táblázat 2)–3). (A táblázatban megadtunk egy geomágneses mérési adatsort Mohács város területén, ebből az adatsorból került meghatározásra az 1950, 1965 és 1995-ös évekre a normáltér értéke)  
**Table 2** Table illustrating changes in geomagnetic field (1) and historical data 2)–3). (The table shows a geomagnetic data series in the area of the city of Mohács, from this data series the normalized field values for the years 1950, 1965 and 1995 were determined)

Adattípus	Kezdő adat	Köztes adatok	Utolsó adat
<b>1) MÁGNESES ERŐTÉR</b> <i>A változást az erőtérben fizikai törvényszerűségek okozzák!</i>			
<i>Forrás</i> (normál tér képlet)	Barta Gy. (1952)	Aczél E., Stomfai R. (1968)	Kovács P., Körmendi A. (1999)
Vonatkoztatási idő	1950	1965	1995
Mérés helye	<b>Mohács</b>		
Z-komponens	40879.15948	41353.30394	42095.50986
Eltérés	0	474.14446	1216.35038
<b>2) TÖRTÉNELMI ÉVSZÁM</b> <i>A változást az évszámokban az időszámítási rendszer megváltozása okozza!</i>			
<i>Forrás</i> (öskronika)	<b>Anonymus (1063,1200<sup>5)</sup>): Gesta Hungarorum</b>	<b>Kézai Simon (1284): Magyar Krónika</b>	<b>Kálti Márk (1358): Képes Krónika</b>
Vélt vonatkoztatási idő <sup>6)</sup> (első évszám alapján)	~Szkíta (korai Saka) időszámítás	Alexandroszi időszámítás	Mai Krisztus utáni időszámítás
Mérés helye	<b>Kárpát–medence</b>		
Esemény	A hunok megindulása Szkítiából		
Általánosan elfogadott idő	373	373	373
Krónikában megadott idő	451	700	373
Eltérés	-78	-327	0
<b>3) TÖRTÉNELMI ÉVSZÁM</b> <i>A változást az eltérő időszámítási rendszerek alkalmazása okozza</i>			
<i>Forrás</i> (öskronika)	<b>Anonymus (1063, 1200): Gesta Hungarorum</b>		
Esemény	A hunok megindulása	Álmos születése	Magyarok honfoglalása
Általánosan elfogadott idő	373	819	896
Krónikában megadott idő	451	820	903
Eltérés	-78	-1	-7
<i>Forrás</i> (öskronika)	<b>Kézai Simon (1284): Magyar Krónika</b>		
Esemény	A hunok megindulása	Magyarok honfoglalása	Szent István születése
Általánosan elfogadott idő	373	896	975
Krónikában megadott idő	700	872	967
Eltérés	-327	24	8
<i>Forrás</i> (öskronika)	<b>Kálti Márk (1358): Képes Krónika</b>		
Esemény	A hunok megindulása	Attila halála	Magyarok honfoglalása
Általánosan elfogadott idő	373	453	896
Krónikában megadott idő	373	445	677
Eltérés	0	8	219

juk meg először egyetlen esemény évszámát három különböző krónika alapján (2), majd három krónikában külön-külön vizsgáljuk a különböző események évszámait összevetve a napjainkban elfogadott évszámokkal (3).

Az idő kereke egyenletesen forog – ha úgy tetszik –, monoton növekedést mutat. A geomágneses erőtér folyamatos változásokat mutat, így a különböző időpontokban mért mágneses adatokat vonallal összekötve megkapjuk az 1950–1995 időtartományban a mágneses tér változásának menetét (9. ábra vagy 2. táblázat felső része), amely egy szűk intervallumban, például a Z- és a T-komponens ese-

tében lineáris, esetleg négyzetes vagy köbös összefüggéssel leírható. A két paraméter alapján a harmadik H-komponens kiszámítható.

A krónikákban leírt évszámokat kezeljük most független paraméterként, de ez a paraméter kevésbé követi a valós idő monoton változását. Ugyanaz az esemény eltérő évszámokkal, kaotikusan jelenik meg, noha elvileg ugyanarról a paraméterről (idő–idő) van szó, tehát még szorosabbnak kellene lennie a korrelációnak. Ha szisztematikus lenne az eltérés, akkor azt mondhatnánk, hogy másik kezdőpontú idősíkon mozgunk. Ha eltérő, de lineárisan vál-

tozó lenne az eltérés, akkor azt mondhatnánk például, hogy nem napévekben, hanem holdévekben történik az időszámítás<sup>4)</sup> (geomágneses adatok szempontjából ez azt jelenti, hogy nemcsak a  $\Delta Z$ -, hanem a  $\Delta Z$ - és a  $\Delta T$ -adatokat próbáljuk együtt összevetni). Sajnos a változás kaotikusnak tűnik, azaz több időszámítás adata jelenik meg rendszertelenül.

A krónikákban tapasztalt rendellenességek magyarázata az emberi tényezőben rejlik: többféle időszámítás (vonatkoztatási szint) alkalmazása egyszerre, de azok feltüntetése nélkül. Ennek oka az, hogy a történelem nagy uralkodói és birodalmi gyakran új időszámítási rendszereket vezettek be, a meglévőket, akarva-akaratlanul figyelmen kívül hagyva. A krónikákban ránk hagyott időrendi „káosz”-ban kéne tehát megtalálni visszamenőlegesen a rendezési elvet, ami nem egy egyszerű vállalkozás.

### *A krónikák fennmaradt időadatai alapján a következők állapíthatók meg:*

1. Az adatok több csoportra bonthatók, a mától minél távolabbi időpontban készültek, annál biztosabb, hogy eltérő és egymástól esetleg különböző – idővel változó és helytől függő – időszámítást alkalmaztak.
2. Az időszámítás alapegysége szintén eltérő lehet (pl. holdév, illetve napév) és az átszámításokról nincs információ (bizonyos jelek arra utalnak, hogy ilyesmivel nem is bajlódtak).
3. Az alkalmazott időszámítás egy krónikán belül is megváltozhatott, a váltás ideje nincs dokumentálva, azaz ismeretlen.
4. Csak a közös események eltérő időpontjai alapján lehet valamilyen szinten rendezni az évszámokat és egy relatív időbeli távolságot meghatározni az események között. Feltételezhető, hogy napjaink elfogadott történelmi évszámai is így születtek az A.D. 500–1500-as átmeneti időszakra vonatkozóan.
5. A feladat azért nehéz, mert a dokumentálások során az események voltak a fontosak, esetleg az, hogy kinek az uralkodása alatt történt mindaz, de nem az évszámokban megadott pontos időpont, ergo nagyon kevés időadat van a krónikákban, és még kevesebb, amely ugyanazt az eseményt jelzi több krónikában egyszerre.

A táblázat alapján látszik, hogy a három legfontosabb őskrónikánk eltérő időszámítási adatból indul. Szkítiából (a Don folyótól) a hunok megindulása nyugatra Anonymus szerint 451-ben, Kézai szerint 700-ban, míg Kálti szerint 373-ban történt. Ugyanarról az eseményről beszélünk, és háromféle évszámot találunk. A valódi idősíkon ez az esemény egy konkrét történelmi pillanatban történt, de vajon melyik lehet ebből a háromból?

Ma az A.D., azaz a Krisztus utáni (Kr.u.) időszámítási rendszert<sup>7)</sup> használjuk, és a hivatkozott Kálti Márk Képes Krónikában (készült 1358-ban) ezt az időszámítást látjuk visszaköszönni már a legrégebbi történések adataiban is.

A legmeglepőbb a Kálti Márk Képes Krónika évszámaiban az, hogy a ma is használatos koradatokat adja meg a hunokkal kapcsolatban, ugyanakkor a legfiatalabb eseményre, a honfoglalásra, egy teljesen más adatot. Lehet, hogy nem az Árpád-féle honfoglalás,<sup>8)</sup> hanem talán a késő avar (korai magyar) bejövetelek évszámát mutatja. A 677-es évszámot nem tudjuk hozzárendelni más ismert időszámítási rendszerhez (11. ábra), csak akkor, ha az avarok bejöveteleként kezeljük. Itt tehát nem a koradat az eltérő, hanem a kiindulási esemény, a késő avar (kora magyar) bejövetelek VII. században és a honfoglalásnak hívott, Árpádhoz kapcsolható (késő)magyar bejövetelek IX. században.

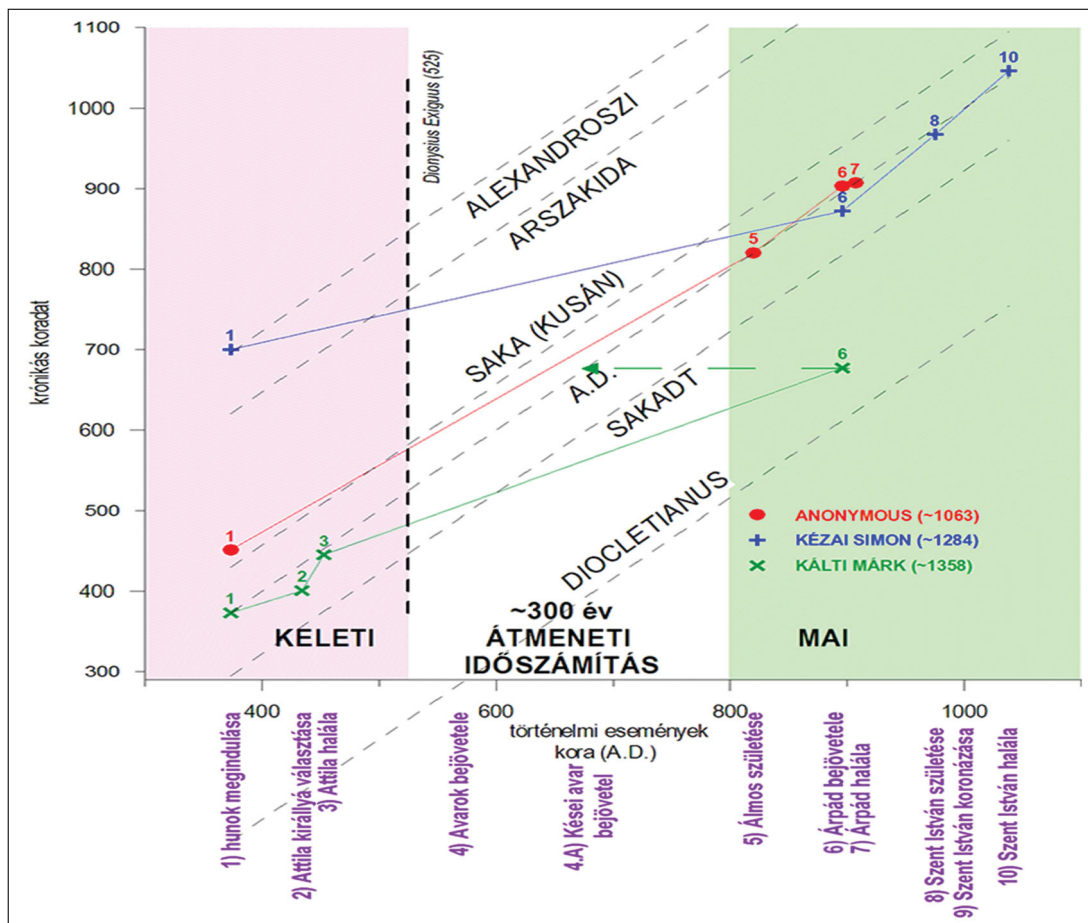
Anonymus a Gesta Hungarorumot 1063 körül írhatta, de mivel csak egy 1200-as másolat áll rendelkezésre, így nem tudjuk, hogy mennyit változtattak rajta utólag. Ha a hunok Szkítiából történt megindulására elfogadjuk a 373-at, akkor Anonymus 451-es évszáma a kusán (Saka Kanishka) időszámításnak felel meg, ahhoz van a legközelebb a –78 év.<sup>9)</sup> Tehát Anonymus Gesztája a valószínűleg korai keleti szkíta, kusán időszámítást használta az első eseménynél.

Kézai Simon Magyar Krónikája (készült 1284-ben) a hunok megindulására a 700-as évszámot adja meg. Összevetve a 373-mal, az eltérés alapján (700 – 373 = 327) ez kisebb hibával Nagy Sándor halálának évszámát adja, azaz ismét egy lehetséges keleti időszámítást azonosítottunk, de nem a szkíta, hanem az alexandroszi (görög-perzsa, Nagy Sándor halála utáni) időszámítást lehet azonosítani a legkorábbi bejegyzésekre.

Nincsenek információk, hogy az 1. táblázat lehetséges időszámításai mennyire voltak elterjedtek Euráziában, milyen mértékben használták azokat az egyes országokban és időszakokban, így természetesen csak feltételezéssel élhetünk azok beazonosításakor. Mivel az európai államok és királyságok kialakulása előtt jelentős kelet–nyugat irányú népvándorlás zajlott (szkíták, szarmaták, hunok, avarok, magyarok, besenyők, kunok és mongolok) a keleti időszámítások jelenléte törvényszerűen jelen lehetett, főleg Kelet-Közép-Európa területén.

Az általunk használt időszámítást a „sánta szkíta”, Dionysius Exiguus nevű krími szerzetes a római szentszék megbízására 525 körül alakítja ki, de csak évszázadokkal később válik általánosan elfogadottá Európában, így az 1000–1200-as években a keleti időszámításokkal együtt akár párhuzamosan is használhatták eleink. Ezekről nincsenek írásos emlékeink, de akkoriban az írás csak kevesek kiváltsága volt, és írott emlékek a vándorló népeknél – ha voltak is – nem maradtak meg. A magyarsággal kapcsolatban talán az ősi rovásírásos emlékekből meríthetnénk, de a pogány vallás mellett annak szimbólumát, a rovásírást sem tűrték meg az új vallás gyakorlói, így alig maradtak fenn ilyen olvasható rovásírásos emlékek.

Ezekből a példákból az látszik, hogy a krónikás adatok alapvetően valóságok, de hiányosak, mivel nincsen dokumentálva, hogy mely időszámítási rendszert kell használni az egyes évszámok esetében, illetve utólagosan történt-e módosítás azokban.



**11. ábra** Történelmi események (sorszámmal) krónikás adatainak összevetése a mai időszámítással. [A krónikákban jelzett adatok (az összetartozók színes vonallal összekötve) és az időszámítások (alexandroszi, Arszakida, Kusán, a mai, valamint az indiai Sakadt és a diocletianusi) monoton menete szaggatott vonallal jelezve. Ezek vannak a mai időszámításhoz közel, így ezek jöhetnek szóba, amikor eltérő évszámokkal találkozunk. Valamikor 500 és 800 között történt az átállás a K-i típusú időszámításokról a Ny-i, azaz a mai (A.D.) időszámításra, ebben az időszakban párhuzamosan több időszámítás is jelen lehetett, és az újak a régiekkel keveredhettek!]

**Figure 11** Comparing historical events (with serial numbers) with today's time. [Dates indicated in chronicles (connected by a coloured line) and the monotonic progression of chronologies (Alexander, Arscid, Kushan, modern, Indian Sakadt and Diocletian) indicated by a dashed line. These are close to the present day calendar, so they may come into play when different years are encountered. Sometime between 500 and 800, there was a change from Eastern to Western, i.e. today's (A.D.) time. In this period, several time calculations could have been present in parallel and the new ones could have mixed with the old ones!]

A krónikás adatok alapján (11. ábra) az látszik, hogy a krónikáink egy ideig a korai történelmi eseményekre vonatkozólag valamelyik keleti időszámítást használták. Van egy körülbelül 300 év (A.D. 500 és A.D. 800 között), amikor a K-Ny-i időszámítások közötti átállás miatt „megzavarodott” a történelmi események dokumentálása (kitalált, ismétlődő történelmi események, párhuzamos történelmi személyek, régi és új időszámítás egyidejű használata). Ebbe az időszakba sorolható Kálti Márk (1358) krónikája is, amelyik már a korai eseményekre is a modern, azaz mai időszámítás szerinti évszámokat adja meg.

Ezekkel a problémákkal az akadémiai kutatásokon túl a német Heribert Illig (2002), valamint itthon Pap Gábor (2003) és Tóth Gyula (2013) is részletesen foglalkoztak más-más megközelítéssel, keresve a forrásadatokat és a lehetséges magyarázatokat.<sup>10)</sup>

Azt állapíthatjuk meg, hogy szisztematikus eltérések vannak az események datálásában. A kevés adat miatt a

történelmi események esetén analitikus összefüggést nem lehet pontosan megállapítani. Egy krónikán belül az időszámítási ugrás idejét is csak durván, nagy hibával lehet megbecsülni.

### Összefoglalás

Különböző időpontok geofizikai mérési adatait (különböző időpontban készült krónikák feljegyzéseit) vetettük össze azért, hogy a földkéreg állandónak tekinthető hatását (a történések abszolút időpontját) meghatározzuk. Az adatokra azonban nemcsak az időfüggés, hanem a helyfüggés is meghatározó. Helytől és időtől függően változik a mágneses normáltér értéke és változik az időszámítás viszonyítási rendszere.

Elemzéseink rámutatnak, hogy a földtudományokban és a történelemtudományban is komoly kihívást jelent a

hely- és az időfaktor, azaz a különböző időben mért és eltérő helyeken feljegyzett adatok egységesítése. Ha megfelelő mennyiségű adatunk (hely, idő, paraméter) van – például geofizikai mérések esetén –, akkor a probléma megoldható, és minél több adatunk van, annál pontosabban végezhető el a feladat, mivel ez általában túlhatározott, tekintve, hogy több az adat, mint az ismeretlenek száma.

Történelmi események esetén sok, többféle helyről és forrásból származó koradatra volna szükség ahhoz, hogy a pontos vonatkoztatási (időszámítási) rendszert feltárhassuk, és általuk pontosítsuk vagy meghatározzuk az abszolút időpontokat (a feladat alulhatározott, mert több az ismeretlen, mint az adat).

Most csak a legősibb magyar krónikáink évszámbejegyzéseit használtuk fel, de a vizsgálódás kiterjeszhető más forrásművekre, krónikákra is, amivel növelhető a forrásadatok száma, és közelebb kerülhetünk a különböző helyen és idősíkból lejegyzett forrásadatok egységesítéséhez.

Tulajdonképpen mindkét feladat hasonló vizsgálatok és elemzések elvégzését igényli, és megfelelő mennyiségű forrásadat összegyűjtése esetén a történelmi események időbeli datálása a geofizikai mérési adatokhoz hasonló módon megoldható. A kérdés csak az, hogy találunk-e elegendő történelmi forrásadatot a krónikákban ennek a feladatnak a megoldásához?

## A tanulmány szerzője

Kiss János

## Jegyzet

- <sup>1)</sup> Manapság a normáltér-meghatározások már műholdmérések alapján történnek, melyek során a lokális rendellenességeknek kisebb a hatásuk, és a mérés egy adott műszerrel, teljesen identikus körülmények között történik. A globális tér meghatározásához az obszervatóriumi méréseket, többnyire az éves átlagokat azért még mindig használják. Sőt, az obszervatóriumi méréseket alkalmazzák a műholdas mérések kalibrációjára.
- <sup>2)</sup> Olyan természeti jelenségről van szó, amely folyamatosan zajlik, ezért a megfigyelésekből kapott adatokra ez a megközelítés alkalmazható.
- <sup>3)</sup> IGRF – International Geomagnetic Reference Field
- <sup>4)</sup> Egy holdév 354, egy napév 365 nappól áll.
- <sup>5)</sup> Anonymus gesztájának 1200. évi másolata maradt fent, amelyben módosíthatták az éveket az eredeti 1063-as változathoz képest.
- <sup>6)</sup> Vonatkoztatási idő: a történelmi esemény ma elfogadott koradata alapján kikövetkeztetett időszámítási rendszer megadása.
- <sup>7)</sup> Az „aera vulgaris” nevű időszámítási rendszert, amelyben a keltezt az „Anno Domini” vagy „Ab incarnatione Domini”

szavakkal kezdik, 525-ben állította fel Dionysius Exiguus (kb. 470 – kb. 544), de használata csak évszázadokkal később vált általánossá Európában.

- <sup>8)</sup> Kálta Márk a magyarok első (hun) bejövételét a 373-as évré datálja, és a 677-es év már a második (avar) bejövétel volt, az utolsóról, Árpád magyarjainak bejövételéről, a 896-os honfoglalásról nem tett említést.
- <sup>9)</sup> Kanishka a Kushan dinasztia császára volt, katonai, politikai és szellemi eredményeiről ismert. Kanishka i.e. 78-ban lépett trónra, és ezt a dátumot használták a kusán naptári korszak kezdeteként.
- <sup>10)</sup> Viszonylag kevés információ található az időszámítási (naptári) rendszerekről, ami az ilyen jellegű akadémiai kutatások publicisztikájának hiányából adódhat, esetleg érdektelenségével magyarázható, pedig ez a történelem tartóoszlopa – ha úgy tetszik –, a történelemtudományok „aranyzóga”.

## Hivatkozások

- Anonymus (1063, 1200): *Gesta Hungarorum*
- Aczél E., Stomfai R. 1968: Az 1964–65. évi magyarországi földmágneses alaphálózat-mérés. *Geofizikai Közlemények*, 17/3.
- Barta Gy. (1952): Jelentés az országos mágneses mérés feldolgozásának eredményeiről. Kézirat, ELGI adattár
- Haáz I., Komáromy I. (1966): Magyarország földmágneses térképe, a függőleges térerősség ( $\Delta Z$ ) anomáliái. 500000-es nyomtatott térkép, ELGI-kiadvány
- Hahn I. (1983): *Naptári rendszerek és időszámítás*. Gondolat Kiadó, p. 128.
- Heribert Illig (2002): *Kitalált középkor, a történelem legnagyobb időhamisítása*. Allprint Kiadó
- JGYPK–SZE (Juhász Gyula Pedagógusképző Kar – Szegedi Egyetem) Dr. Almási Tibor, Dr. Kőfalvi Tamás (2013): *A történelem segédtudományai*. [https://www.jgypk.hu/mentorhalo/tananyag/A\\_trtnelem\\_segdtudomnyai/](https://www.jgypk.hu/mentorhalo/tananyag/A_trtnelem_segdtudomnyai/)
- Kálta Márk (1358): *Képes Krónika*
- Kézai Simon (1284): *Magyar Krónika*
- Kovács P., Csontos A., Heilig B., Hegymegi L., Merényi L., Vadász G., Koppán A. (2012): Földmágnesség: A Tihanyi Geofizikai Obszervatórium. *Magyar Geofizika*, 53/3, 191–203.
- Kovács P., Csontos A., Heilig B., Koppán A. (2012): Hungarian repeat station survey, 2010. *Annals of Geophysics*, 55/6, 1113–1119. DOI: 10.4401/ag-5450
- Kovács P., Körmendi A. (1999): Geomágneses alaphálózat-mérés Magyarországon, 1994–95 folyamán, valamint a tér szekuláris változása 1950 és 1995 között. *Geofizikai Közlemények*, 42/3–4, 107–132.
- Pap G. (2003): *Mag hó alatt – télutón (tanulmánykötet)*. Gyomai Kner Nyomda, p. 592.
- Szabó Z. (1983): A mágneses deklináció változásai Magyarországon, 1850–1980. *Geodézia és Kartográfia* 35/6, 436–442.
- Szekeres S. (2009): *Eltévedt időszámítás*. Főnix Könyvműhely, p. 222.
- Tóth Gy. (2013): *Kitalált középkoron túl, Szkítiától Maghrebig*. Hatodik Elem Kiadó, p. 354.

# Eötvös Loránd gravimétere

SZABÓ Z.

Eötvös Loránd nevének hallatán mindenkinek világhírűvé vált torziós ingája jut az eszébe. Pedig Eötvös, akinek ekkorra már volt tapasztalata a terepi mérések nehézségeiről, szeretett volna egy kisméretű, könnyen szállítható és kezelhető gravimétert alkotni. Galilei szabadesési kísérleteinek csakúgy, mint a fizikai inga lengésidejének mérése pontosságát az időmérés pontossága határozta meg. Eötvös ugyan szerkesztett egy zseniális eszközt az inga lengésideje mérési pontosságának növelésére (forgómérleg), de a saját maga elé állított követelményeket nem tudta elérni. A modern graviméterek a rugós mérleg elvén alapulnak, de ennek megfelelő pontosságú megvalósításával szemben ugyancsak áthághatatlanak tűnő technikai akadályok merültek fel. Feltehetően A. Schmidt által 1900-ban publikált trifiláris graviméterének leírását olvasva jutott el Eötvös a bifiláris graviméter ötletéhez, hiszen ekkor már a torziós ingával elérte a szögelfordulás megfelelő mérési pontosságát. A kísérleti eredmények azonban nem igazolták elvárásait, ezért a témát elvetette és nem publikálta kísérleteit. Az Eötvös-hagyatékban fennmaradt eszközök és jegyzőkönyvek alapján próbáltuk meg rekonstruálni Eötvös graviméterének történetét, melyhez szorosan hozzátartozik W. Schweydar 12 évvel későbbi bifiláris graviméterének története, aki nagy valószínűséggel Eötvös ötletét próbálta megvalósítani speciális laboratóriumi körülmények között, de ugyancsak sikertelenül. Schweydar levelezésben állt Eötvössel, torziósinga-kísérleteihez Eötvöstől kért és kapott – az inga lelkét jelentő – torziós szálat. A Schweydar által módosított ingán alapultak a későbbiekben gyártott ASKANIA-ingák, melyek a 20-as, 30-as években a budapesti Süss gyárban készített ingák legfőbb vetélytársai lettek a világpiacon.

## Szabó, Z.: The gravimeter of Loránd Eötvös

Anybody, hearing the name of Loránd Eötvös, would think of his world-famous torsion balance. But Eötvös, who had already long experience in field work, wanted to construct a small, easy-to-handle gravimeter, as well. The sensitivity of all former attempts in measuring Earth's gravity, like Galilei's free fall or all later experiments with the physical pendulum were limited by the accuracy of time measurement of their time. Although Eötvös, had already constructed a congenial tool for increasing the accuracy of swing-time measurements, the rotating balance, he could not reach the accuracy requirements, he prescribed for himself. Modern gravimeters are based on the principle of spring balances, but again the accuracy requirements seemed unreachable in the technical possibilities of his time. We may suppose that reading in A. Schmidt's publication (1900) the description of his trifilar gravimeter provided the idea of a bifilar gravimeter for Eötvös, in which he could use the same solution of high-accuracy deflection measurement used in torsion balances. Experiments with the bifilar gravimeter, however, did not meet his expectations, therefore he left the whole idea and did not publish his experiments.

The experimental tool and the observational records remaining in Eötvös's inheritance, enabled us to reconstruct the history of Eötvös's gravimeter. W. Schweydar's bifilar gravimeter, constructed 12 years later for special laboratory conditions, was most probably based on Eötvös' idea, and similarly ended without success. Schweydar and Eötvös were in continuous correspondence: Schweydar asked and received torsion wires for his torsion balance experiments from Eötvös. In his publication in 1914, Schweydar described the theory of the bifilar gravimeter, referring to A. Schmidt's trifilar gravimeter. The torsion balances produced by the German ASKANIA, Co. in the 1920s and 30s were based on Schweydar's balance and were the only rivals on the world market to Eötvös' balances produced in the Budapest-based Süss factory.

After World War II the need for producing gravimeters emerged in the Eastern bloc as modern American and Canadian gravimeters were on the EMBARGO list. Development started in the Soviet Union, but the resulting tool was unusable because of its high sensitivity to temperature variations. This fiasco gave the idea to the researchers of ELGI's torsion balance laboratory to try to revive Eötvös' bifilar gravimeter. All attempts only proved that Eötvös was right in his decision in leaving the idea without publishing anything about his gravimeter.

## A gravitációs mérés története

A Föld felszínén lévő testekre két erő hat: egyrészt a Föld tömege által kifejtett tömegvonzás, másrészt a Föld forgómozgása következtében fellépő centrifugális erő. E kettő eredője alakítja ki a Föld nehézségi (gravitációs) erőterét, amely a térerősséggel, más néven a nehézségi gyorsulással jellemezhető. Ennek értéke legkisebb az Egyenlítőn és leg-

nagyobb a pólusokon. E két érték közötti különbség azonban alig haladja meg a teljes érték 0,5%-át.

Azt, hogy a nehézségi gyorsulás a Föld felszínén változik, Jean Richer francia kutató fedezte fel 1672-ben. Csillagászati méréseket végzett az Egyenlítő-közeli Francia Guayanában, és azt tapasztalta, hogy a Párizsban pontosan járó ingaórája naponta 2,5 percet késik. Azt tudták, hogy az inga lengésideje a lengő hosszától és a nehézségi gyorsulás

nagyságától függ. Tekintettel arra, hogy az inga hossza nem változott, arra a következtetésre jutott, hogy az ingára ható nehézségi gyorsulásnak kellett megváltoznia. A nehézségi gyorsulás meghatározása tehát visszavezethető az inga lengésidejének mérésére, azaz időmérésre.

Pierre Bouguer, ugyancsak francia tudós, a Föld alakját meghatározó fokmérések során 1735–43 között Peruban végezte az első nehézségi gyorsulás-méréseket. Ettől kezdve, egészen az 1930-as évekig különböző ingákat használtak a nehézségi gyorsulás meghatározására. Az is kiderült, hogy sokkal pontosabb eredményeket lehet elérni, ha nem törekszenek a nehézségi gyorsulás abszolút értékének meghatározására, hanem megelégszenek két pont közötti különbségének mérésével. Erre a célra szolgáltak az ún. relatív ingák, amelyeknél a lengésidek különbségéből határozták meg két pont között a nehézségi gyorsulás változását.

Áttörést hozott a gravitációs kutatásokban Eötvös Loránd tevékenysége, aki 1891-ben olyan torziós ingát fejlesztett ki, amellyel a gyorsulás nagyságát nem, de annak horizontális irányú változását a mai napig elegendő pontossággal meg tudta határozni.

Egy másik mérési lehetőségre Sir John Herschel angol kutató hívta fel a figyelmet 1833-ban. Ennek lényege: egy rugóra függesztett tömeg, amelynek súlya a nehézségi gyorsulás értékétől függ. A rugó megnyúlása, ill. a tömeg elmozdulása arányos lesz a nehézségi gyorsulással. Az ezen elven alapuló eszköz a modern graviméterek őse, amely konstrukciós okokból csak az 1930-as években érte el, ill. haladta meg az ingamérések pontosságát.

A fentiekől teljesen eltérő elven működő „graviméterrel” mért O. Hecker az 1900-as évek elején a világtengereken. A mérés elvét az oslói Mohn publikálta 1899-ben, a megvalósítás azonban Hecker érdeme. A művelet abból állt, hogy egymás mellett használtak egy forráspontmérő készüléket és egy higanybarométert, és összehasonlították a légkör valódi nyomását – amelyet a nem zárt gőz hőmérséklete jelzett – a barométeroszlop magassága által jelzett nyomással.

A higanyos barométerben a higanytömeg egy bizonyos magasságba emelkedik a légköri nyomás kiegyenlítése érdekében, és ez a magasság a légkör azonos abszolút nyomása mellett a barometrikus oszlopban lévő higanytömeg súlyának megfelelően nagyobb vagy kisebb. És mivel a higanytömeg súlya a gravitációtól függ, egy adott helyen meghatározott kapcsolatnak kell fennállnia a higanybarométer magassága és a víz forráspontja között. Ez az összefüggés megváltozik, ha egy másik helyre megyünk, ahol a  $g$  értéke változik.

A módszer gyakorlati alkalmazhatósága attól függ, hogy a műszeres leolvasások mennyire pontosan figyelhetők meg egy tengeren lévő hajó fedélzetén. Egy jó barométerrel a légnomásértékek a mm 50-ed részétől a mm 20-ad részéig terjedő pontossággal meghatározható. Ahhoz, hogy a hőmérővel olyan pontos értéket kapjunk, amely megfelel annak, amellyel a barométer leolvasható, a hőmérőnek a forráspont hőmérsékletét a század mm-es pontossággal kell megadnia. 760 mm-es barometrikus magasság-



1. ábra | Az O. Hecker által használt „graviméter”  
Figure 1 | The „gravimeter” used by O. Hecker

nál 1 tized mm 0,0037 fok hőmérsékletnek vagy 1 század mm 0,00037 foknak felel meg; 650 mm-es barometrikus magasságnál pedig 1 tized mm 0,005 egy fok hőmérsékletnek, egy század mm pedig 0,0005 foknak felel meg. Ezért ahhoz, hogy a valódi légköri nyomást a mm huszadrészének pontosságával kapjuk meg, a forráspont-hőmérőnek a hőmérsékletet 0,002 fok pontossággal kell megadnia.

O. Hecker, aki egész életét a nehézségi erő mérésének szentelte, az óceánokon mozgó hajókon végzett méréseinek feldolgozása során nem vette figyelembe a Föld forgásának hatását. Hecker 1910. évi dolgozatát olvasva Eötvös felfigyelt erre a hiányosságra, és felhívta rá a szerző figyelmét, aki azonban kételkedett Eötvös igazában, és vele szemben a problémát más kiváló fizikusok elé terjesztette, majd külön költséges expedíciót szervezett a kérdés eldöntésére. Ennek az epizódnak köszönhető az Eötvös-hatás felfedezése.

Terepen használható és 0,1 mgal vagy annál pontosabb gravimétereket elsősorban az USA-ban és Németországban kezdtek el gyártani az 1930-s évek második felében. A II. Világháború után, mivel a kőolaj és földgáz stratégiai nyersanyag, a felkutatásukat lehetővé tevő graviméterek kiviteli tilalom – embargó – alá estek. A volt szocialista tábor országai közül a Szovjetunióban foglalkoztak graviméterek kifejlesztésével az 50-es években, de ezek az eszközök elsősorban nagyfokú hőérzékenységük miatt nem tudtak megfelelő pontosságot garantálni. Ezért merült fel az ötlet, hogy Magyarország kezdjen el ismét Eötvös-ingákat gyártani, ami 1956–65 között meg is történt.

**1. táblázat** | A gravitáció mérésének fejlődésmenete  
**Table 1** | Development of gravity measurement techniques

1589	Galileo Galilei	Szabadesés, ingamozgás
1657	Christiaan Huygens	Centrifugális erő, ingaóra
1672	Jean Richer	Észleli a gravitáció térbeli változását
1686	Isaac Newton	fejére esik az alma (I. és II. axioma)
1735–1743	Pierre Bouguer	Az első $g$ -mérés ingával Peruban
1818	H. Kater	Reverziós (fizikai) inga
1833	John Herschel	A rugós mérleg alkalmazása
1859	W. Siemens	Leírja a barometrikus graviméter elvét
1862	F. M. Perrot	Leírja a szögelforduláson alapuló mérést
1866	von Wüllerstorff-Urbair	Agmehatározásahiganyosésaneroïdbaroméradatainakösszevetéséből
1879	R. Sterneck	Kifejleszti első relatív ingáját ( $\pm 22$ mGal)
1891	Eötvös Loránd	Kifejleszti első torziós ingáját
1898–1904	Kühnen és Furtwängler	Potsdami reverziós ingamérései ( $\pm 3$ mGal), az eredmény 14 mGal-lal nagyobb a ténylegesnél
1899	Mohn	Az aneroïd barométert forráspon-t-mérővel helyettesíti
1900	R. Threlfall, J. Pollock	Megvalósítják Perrot ötletét
1900	A Schmidt	Kidolgozta a trifiláris graviméter elvét
1901	Eötvös Loránd	Bifiláris gravimétere
1903	O. Hecker	Tengeri mérései ( $\pm 30$ mGal)
1914	W. Schweydar	Bifiláris gravimétere
1923	F. A. Vening Meinesz	Tengeri ingamérései

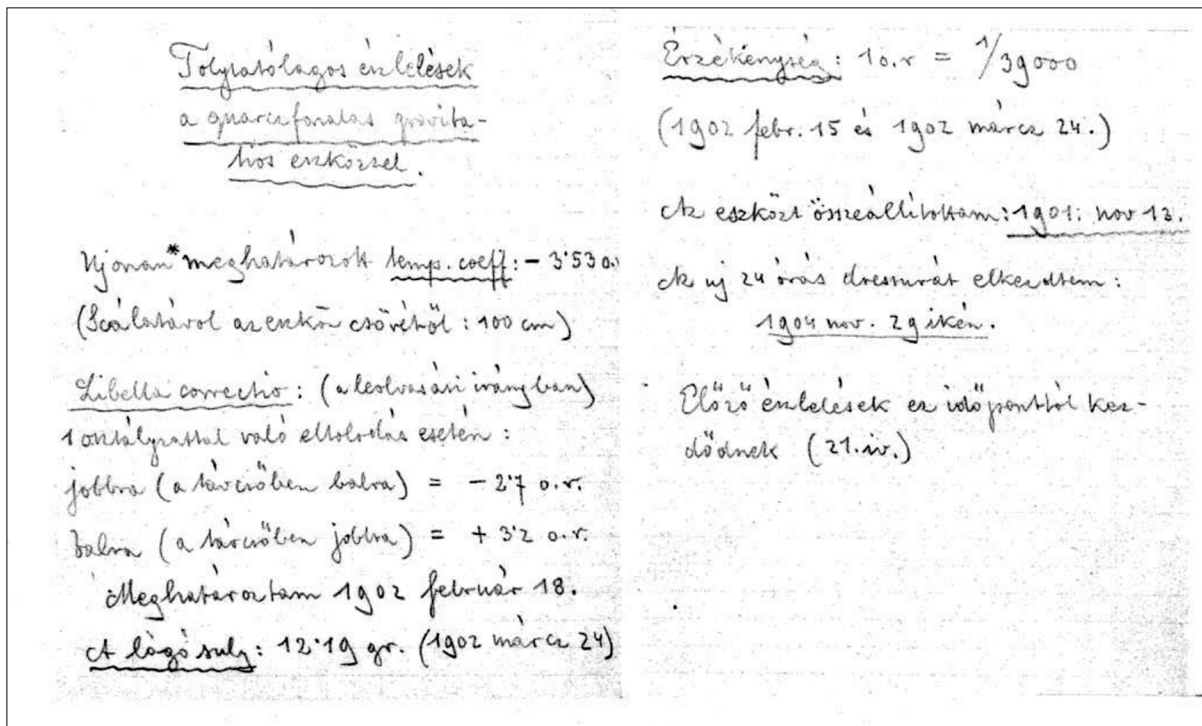
## Eötvös gravimétere

Kevesen tudják, hogy maga Eötvös ingáinak kifejlesztésével párhuzamosan graviméter-fejlesztéssel is foglalkozott. Az 1901-ben készült műszer jó állapotban fennmaradt, de ezzel kapcsolatban Eötvös semmit sem publikált. Az egyetlen írásos emlék a Pekár által 1941-ben publikált, alább idézett közlemény, melyben népszerű módon ismerteti a műszer működési elvét:

„Eötvös a torziós drótok mestere, már régen foglalkozott e kérdéssel és ú.n. bifiláris gravimétert szerkesztett. Már az 1890-es években kísérletezett ily fajta műszerekkel, amelyekben hosszú platina drótokat használt. Hogy a külön-külön megcsavart két drót össze ne gomolyodjék, azokra, 5–10 cm-es távolságokban kis fémpálcikákat forrasztott úgy, hogy a kettős drót kötélhágcsóhoz hasonlított. Később 1901-ben egy egész kis kompendiózus eszközt szerkesztett, amelyben két 23 cm hosszú quarcfonálon egy 12 gr-os üres hengeres tömeg lóg. A fonalakat többször megcsavarva, a henger megemelődik és elfordul. A nehézség változásakor a henger súlya  $s$  így elfordulási szöge is megváltozik, amit egyrészt a hengerre, másrészt az eszközházra erősített tükrök segítségével olvasunk le. Nagy nehézséget okozott a kellő quarcfonalak készítése, for-

rasztása és azok rugalmas utóhatása. Az eszköznek különböző állomásokon való felállításakor különösen kényes az ugyanolyan vertikális helyzet pontos betartása, ami az eredményeket nagymértékben befolyásolja. Az 5 éven át tartó hosszadalmas kísérleteket professzorom megbízásából én végeztem. A rugalmas utóhatás miatt csakis oly módon nyerhettem használható adatokat, ha az eszközt a célszerűen megválasztott arretált és arretálatlan időközökre betreñiroztam. Ily módon e műszerrel az Egyetemi Fizikai Intézet és a Svábhegy közötti nehézségváltozást pontosan meghatározhattam. Minthogy e bifiláris graviméter érzékenysége nem egészen kielégítő, Eötvös azt egyáltalán nem publikálta.”

E rövid ismertetésből kiderül, hogy Eötvös már az 1890-es években kísérletezett graviméter szerkesztésével. Fennmaradt a „bifiláris graviméter” érzékelője: a két, 23 cm hosszú, kvarcfonálra függesztett, 12 g súlyú hengeres tömeg. A fonalakat megcsavarva a henger megemelődik és elfordul. A nehézségi erő változásakor a henger súlya, és ezáltal elfordulási szöge is megváltozik. A szögelfordulást a hengerre és a műszerházra erősített tükrökre vetített skála egyidejű távcsöves leolvasása révén határozta meg. Pekár értékelése szerint a graviméter nem egészen

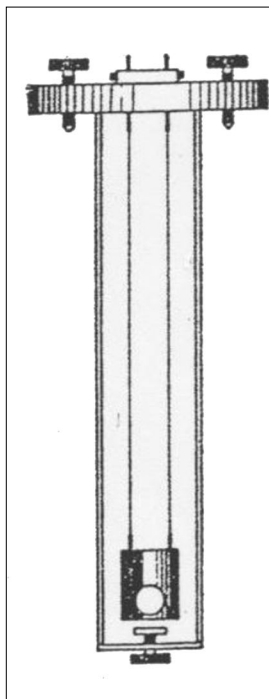


2. ábra | Egy oldal Pekár Dezső észlelési naplójából (1902)  
 Figure 2 | One page of D. Pekár's observational records (1902)

kielégítő érzékenysége miatt Eötvös ezt a munkáját publikálásra nem tartotta érdemesnek.

A fenti ismertetés mellett viszont a hagyatékban megtaláltunk egy észlelési naplót, melyben Pekár feljegyezte a

műszerrel végzett észlelések adatait, melyekből kiderül, hogy a műszer 1901. november 13-án került mérésre kész állapotba. A gravimétert egy 0,02 g súlyú tömegnek a hengerre való ráhelyezésével hitelesítették, és ennek alapján a



3. ábra | Az Eötvös által tervezett bifiláris graviméter  
 Figure 3 | Draft of Eötvös' bifilar gravimeter

4. ábra | A megépített kísérleti műszer a laboratóriumban  
 Figure 4 | Laboratory version of the gravimeter

5. ábra | Terepi mérésre szánt kivitel  
 Figure 5 | The version for field measurements

műszer érzékenységére 30 mGal/osztásrészt kaptak. A műszer hőérzékenységét is megvizsgálták és az 100 mGal/°C értéknek adódott.

A jegyzőkönyv tartalmazza azokat az észlelési adatokat is, melyeket az egyetemi Fizikai Intézet és a Svábhegy közötti mérések során kaptak. A svábhegyi mérések pontos helyszínéről a jegyzőkönyvben sajnos nem történik említés. Szerencsére a két helyszín magasságkülönbsége viszont szerepel a naplóban, így jó közelítéssel meg tudtuk határozni a két mérési pont közötti nehézségi erő különbségét, melynek alapján a műszer érzékenységére 17,7 mGal/osztásrész értéket kaptunk. Ez az érték ellentmond a Pekár által közölt hitelesítési adatnak. A jelentős eltérés a műszer érzékenységének nonlinearitásából fakadhat.

### Schweydar gravimétere

Hasonló, bár nem teljesen azonos elven működő gravimétert 12 évvel Eötvös után Schweydar német kutató készített, aki a műszerét nem terepi mérésre szánta, hanem a Hold gravitációs hatásának kimutatására. Ennek következtében műszerének mérete három és félszerese volt Eötvösének, és nagyfokú hőérzékenysége miatt graviméterét egy, a föld felszíne alatt 25 m mélyen elhelyezkedő laborban helyezte el. Mivel Eötvös feljegyzései nem maradtak fenn, a műszer elvét Schweydar cikke alapján tudjuk csak ismertetni, aki viszont A. Schmidtre hivatkozik:

„Hogy ezeket a rendkívül kicsiny értékeket megfigyelés útján meghatározzuk, az A. Schmidt által ismertetett gra-

vimétert választottam, amely a Trifilárgraviméter elnevezést kapta. A műszer elvét Schmidt részletesen ismertette (1900). Én a műszert bifiláris graviméterként használtam, elméletét Schmidt idézett írására támaszkodva ismertetem.

Egy kb. 140 cm magas és 12 cm átmérőjű üveg hengerben egy  $P$  súly kétféleképpen van felfüggesztve. Nagyobb részét egy 0,6 mm vastag acélrugó hordozza, amelyet sok csavarással gondosan megkeményítve (megezdve) állítottak elő. A rugót egy  $T$  torziófejjel függesztik fel. A súly kisebb részét két egyenlő hosszúságú szál tartja, amelyek az üveghenger két egymással szemben fekvő  $A$  pontjához és a súlyhoz vannak erősítve. A súly egy higannyal feltöltött üvegcséből áll, amely egy rövid sárgaréz csőbe van függesztve. A cső felett egy könnyű, 6 cm átmérőjű, kör alakú tárcsa van erősítve, amelynek peremén két átellenes pontjában két  $B$  hurokhoz vannak a szálak erősítve. A súly 377 g és a rugót kb. 80 cm-re nyújtja meg. Megcsavaratlan rugó esetén az  $AB$  szálak beállnak a függőleges síkba, amely a tárcsa  $C$  középpontján megy át. Ha a  $T$  torziófej révén a rugót egy  $\alpha$  szöggel elcsavarjuk, elcsavarodik a tárcsa a súllyal egy horizontális  $\varphi$  szöggel. Ez annál kisebb  $\alpha$ -nál, minél kisebb a  $D$  torziós modulus, amely egyenlő az egysegnyi szöggel elcsavart rugó által a felfüggesztett tehernek átadott szöggel. A szálak kicsavarodnak az eredeti függőleges síkból és ferdén állnak egymáshoz képest. Egyensúly áll be a rugó által létrehozott torziós nyomaték  $D(\alpha - \varphi)$ , és a bifiláris torziós nyomaték  $X$  között, amely a súlynak, a szálak által hordozott, kisebb részétől származik.

Legyen az  $A$  pont távolsága a műszer tengelyétől  $a$ , a  $B$  ponté pedig  $b$ , az  $AA'$  szálfelfüggesztés tárcsa fölötti függőleges magassága  $h$ , és minden  $B$  pontban a szál feszültsége által hordozott súlyrészesedés:  $p/2$ . A szálfeszültség horizontális komponensei a  $BA'$  irányban az  $X$  torziós nyomatéokra a következő értéket adják:

$$X = P(a/h) \sin \varphi. \tag{1}$$

Elegendő hosszú szálak és lágy rugó alkalmazása esetén  $p$  és  $h$  – amelyek  $\varphi$ -tól függnék – közelítőleg konstansnak tekinthetők. Egyensúlyban

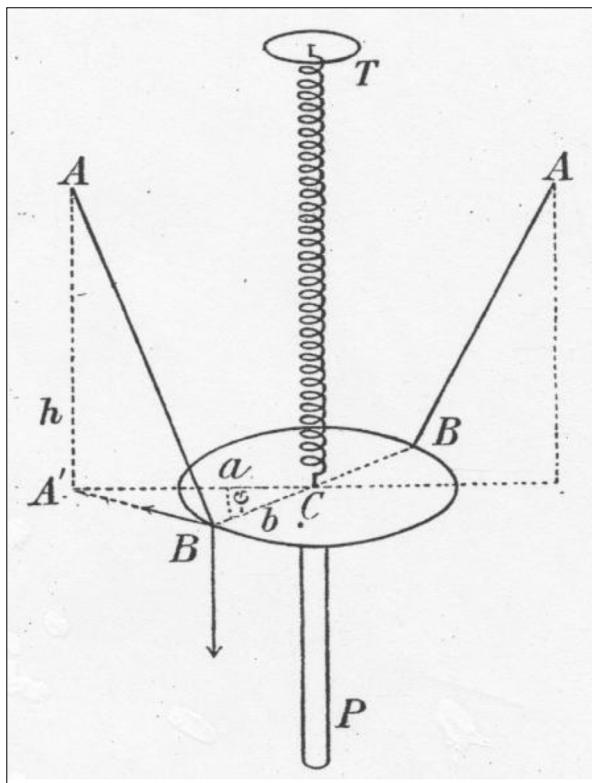
$$D(\alpha - \varphi) = P(ab/h) \sin \varphi. \tag{2}$$

A készülék egy nagyon érdekes jelenséget mutat.  $\varphi$  90°-nál kisebb értékeire közel stabil egyensúlyi helyzetben van. Ha növeljük  $\varphi$ -t a torziós fej csavarásával, elérünk egy állást, melynél a súly hirtelen 180°-kal átfordul, ezáltal a szálak a drótra rácsavarodnak és elszakadhatnak. A készüléknek ebben az állásban labilis az egyensúlyi helyzete.

A  $P$  súly minden változása – amíg a rugó feszültsége csak kis változásoknak van alávetve – úgy nyilvánul meg, mint a súlyarány ( $p$ ) változása. (2)-ből következik, hogy ez szögkitéréssel kapcsolódik össze. A  $g$  nehézségi gyorsulás minden zavara a  $P$  súly arányos változását feltételezi, így áll elő egy graviméter. Minden vertikális gyorsulást jelez, ezért szeizmométerként is használható.

(2)-ből következik:

$$d\varphi = \frac{ab \sin \varphi}{Dh + pab \cos \varphi} dp. \tag{3}$$



6. ábra | A bifiláris graviméter elve  
Figure 6 | Sketch for explaining the theory of the bifilar gravimeter

Látható, hogy az érzékenység különböző  $\varphi$  értékekre különböző. A fent említett labilis egyensúlyi helyzetben  $\cos \varphi = Dh/pab$  lesz. E helyzet közelében a készülék  $p$  minden kis változására (és ezzel együtt  $g$ -ére is) rendkívül érzékeny. Mivel hogy

$$\frac{dp}{P} = \frac{dg}{g},$$

$$dg = -\frac{g}{P} \frac{Dh + pab \cos \varphi}{ab \sin \varphi} d\varphi. \quad (4)$$

Eltételezve a labilis egyensúlyi helyzethez szükséges közelítéseként, nagy érzékenység eléréséhez  $D$  és  $p$  kicsi,  $P$  nagy és  $h$  nem túl nagy kell hogy legyen  $a$ -hoz és  $b$ -hez képest. Ez utóbbi feltétel teljesítésénél a (3) és (4) formulában a  $dh/d\varphi$ -től függő tag nem hanyagolható el. Másrészt a drót kímélésére való tekintettel  $h$  nem lehet túl kicsi  $a$ -hoz és  $b$ -hez képest.

A készülék beállítását a legnagyobb érzékenységre  $a$  növelése által, elővigyázatosan, a torziófej finom mozgásával kell végrehajtani, nehogy a kritikus helyzetet elérjük és a szálak összegabalyodjanak. A készülék érzékenységét úgy ellenőrizhetjük, hogy egy kis súlyt helyezünk a  $C$  tárcsára, és megmérjük a szögkitérést.

Fotografikus regisztrálás esetén a  $P$  súlyra egy kis tükröt erősítünk.

A készülék rendkívül érzékeny a hőmérséklet változására. Mindaddig nem vált lehetővé a Hold nehézségi erőre mért hatásának mérése, megfelelő érzékenység ellenére: az egyensúlyi helyzet túl nagy ingadozásokat mutatott. Ez azért volt, mert a hőmérséklet változott, és az oldalszálak selyemből voltak. Ezenkívül a forgalom is erősen zavarta a mérést.

Én a szálakat mesterségesen öregített, 0,04 mm vastag platina-iridium drótokkal helyettesítettem, és a készüléket egy 25 m mélyen elhelyezkedő kamrában állítottam fel, amit az obszervatórium 42 m mély kút csöve mellé építettek. Itt a hőmérséklet egész évben csak kb. 0,2°-ot változik. A Hold által okozott periodikus nehézségi erő változás megfigyelése szempontjából nagyobb fontosságú, hogy a napi hőmérséklet ingadozása a megfigyelési térben tökéletesen 0. Ezt vártuk a kútkamrában. Hogy erről meggyőzzem magam, a készülékbe a rugó köré egy Bourdon-csővet építettem be, amelynek mozgását a graviméterével együtt regisztráltuk. Jóllehet a napi hőmérséklet-ingadozás kevesebb volt, mint 0,001°, a Bourdon-cső tükre teljesen egyenes görbét adott.

Továbbá megmutatkozott, hogy a kút közelében alkalomadtán közlekedő teherkocsi okozta rázkódások 25 m mélységben teljesen csillapítva vannak.

A graviméter tükrének mozgását az ismert módon fotografikusan regisztráltuk. A távolság a tükör és a lámpa rése és a regisztráló készülék hengere között 320 cm. Az üveghenger oldalán egy fix tükröt lencsével erősítettünk fel, amely szolgáltatta a hengeren a nem mozgó fénypontot és ezzel a bázisvonalat a mozgó fénypont görbéje ordinátájának méréséhez. A torziót a torziófejen úgy választot-

tuk meg, hogy a  $P$  súly növelése esetén a görbe ordinátája növekedjen. Az érzékenység vizsgálatát úgy végeztük, hogy 0,0138 g-ot felraktunk a 376,99 g-ot kitevő  $P$  súly tárcsájára. A  $\varphi$  szöveget a torziófej beállításával úgy választottuk meg, hogy a készülék a labilis egyensúlyi helyzet közelében legyen. A kis súly felrakásával a fénypont a hengeren kb. 43 mm-t mozdult el. Ennélfogva egy 1 mm-es ordinátaváltozás megfelel  $0,84 \times 10^{-6}$  értéknek  $dp/P$ , vagy  $dg/g$ -ben. Mivel az érzékenység változik a  $\varphi$  szöggel, az az ordináta függvénye; változását a henger szélességére határozzuk meg. 10 mm távolság esetén a bázisvonalától  $0,836 \times 10^{-6}$  lesz, ezzel szemben 12 mm esetén  $0,920 \times 10^{-6}$  lesz. Ezekkel a konstansokkal meg kell szorozni az ordináta mm-ben mért értékeit. 1914 januárja óta sikerült az érzékenységet megduplázni.

A regisztráló berendezést az óra ingájának meghosszabbításával sikerült úgy beállítani, hogy csak 4 naponként kell kiszolgálni. Ennek megvan az az előnye is, hogy nem kell túl gyakran zavaró hatásnak kitenni a gravimétert. Ha belép valaki a kamrába, olyan hőmérséklet-növekedés áll be, ami több óráig befolyásolja a készüléket.

A megfigyeléseket 1913. január 12-én 0.5 h-kor kezdtük (szerdán, középeurópai idő szerint). A nullpont olyan konstansnak bizonyult, hogy csak kéthónaponként vagy még ritkábban vált szükségessé a korrigálása. A nagyon szabályos, mindig súlynövekedés irányába mutató nullpontmenet arra vezethető vissza, hogy a kamrában lévő igen nagy páratartalmú levegőben a súlyt egy vékony nedvességréteg vonta be. Hogy ezt a jelenséget gyengítsük, a graviméter nyitott üveghengere alá egy edényben kénsavat helyeztünk el, amelyet hat hetente cserélnünk kellett.

Tekintettel arra, hogy nagyon kis értékekkel dolgozunk, a légnyomásváltozásokra is figyelemmel kell lennünk, és a graviméter mozgásának óránként leolvasott ordinátaértékeit légüres térre kell redukálnunk. Ebből a célból a Királyi Meteorológiai Obszervatórium barátián rendelkezésemre bocsátotta az óránkénti barográf-leolvasásokat.

A súly által kiszorított levegő  $30 \text{ cm}^3$ . Mivel  $1 \text{ cm}^3$  levegő kb. 0,001293 g, a légnyomás 10 mm-rel való növekedése 0,00051 g felhajtásnövekedést eredményez. Ez megfelel  $1,35 \times 10^{-6}$  csökkenésnek a  $dp/p$ -ben és kb. 1 mm ordinátaváltozásnak.

Hogy belépésemkor a kamrába megvédjem a készüléket a hősugartól, egy sztaniolpapírral beragasztott lelváson dobozt állítottam fel körülötte, amelyet később egy hasonló második doboz vett körül. Ettől kezdve mutatkoztak olyan mozgások a műszerkitérésekben, amelyek – ahogy később rájöttem – a külső légnyomással párhuzamosan, de a felhajtóerővel ellentétesen változtak. Ezek a zavarok valószínűleg visszavezethetők a védődobozok, és ezzel együtt a műszer rugójának adiabatikus felmelegedésére, mivel mindegyikről feltételezhető egy kis hőkapacitás, és a kamra termikusan nagyon jól le volt zárva. Az is lehet, hogy az ok a légnyomásváltozásokban megnyilvánuló légáramlásokban keresendő. A graviméter-

feljegyzésekben gyakran jelentkeznek 8–12 vagy több perces hullámok, amit korábban A. von Schmidt titkos tanácsos úr is megfigyelt egy rövid közleménye szerint. Dr. Martens úr volt olyan szíves, ezeket a zavarokat egy nagyon érzékeny légnyomásmérő regisztrátumával összehasonlítani. Ebből egy tökéletes egyezés adódott az adott időszak légnyomásváltozásaival, éspedig a felhajtóerővel ellentétes értelemben.

Ezeket a zavarokat a műszer légmentes lezárásával lehet kiküszöbölni. Figyelemmel a megnevezett zavarokra le kellett mondanunk arról, hogy az alig egy évet átfogó megfigyelési anyagból az egynapos nehézségi változást levezzük. Ezzel szemben fennmaradt az a kilátás, hogy a fél-napos,  $M_2$ -nek megfelelő tagot megtaláljuk.”

### Eötvös graviméterének utóélete

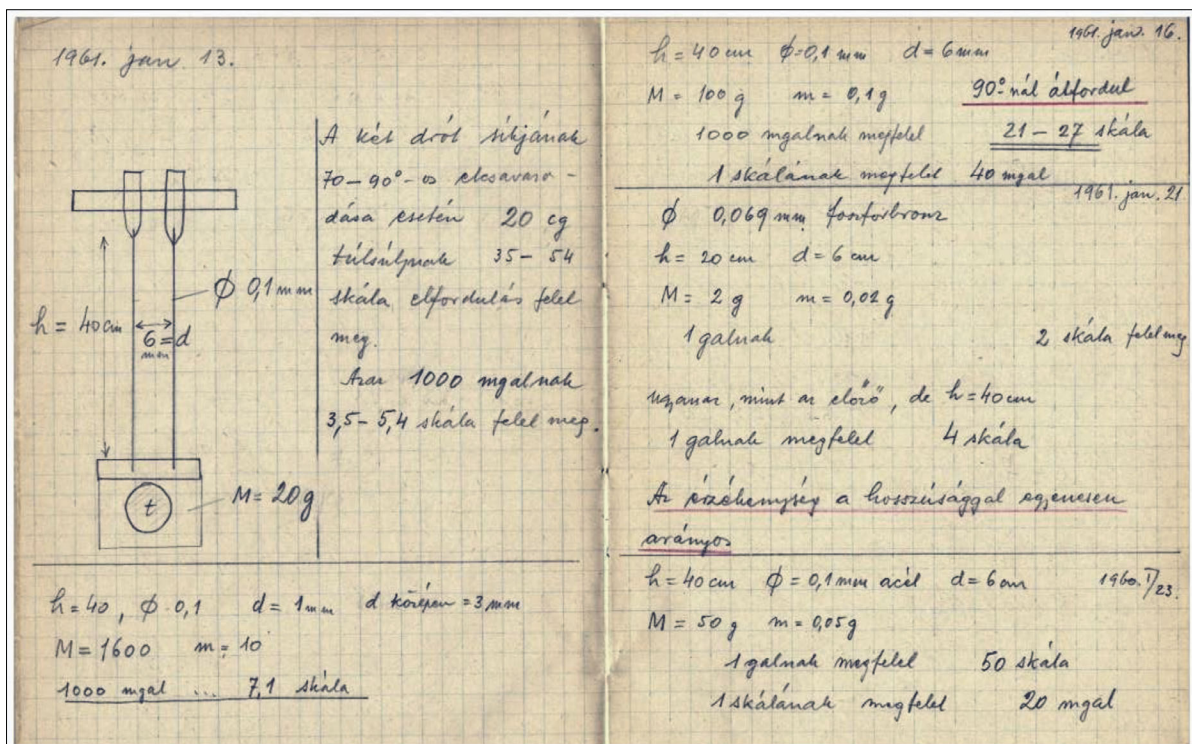
Visszatérve Eötvös graviméterének tudomány- és technikatörténeti értékelésére, érdekes módon a graviméter elkészítését nem a torziós ingákat készítő Süss Nándor-féle tanműhelytől rendelték, hanem Zier Károly aranykoszorus mérlegkészítő mestertől. Az 1901-ben készült műszer jó állapotban maradt fenn, de ezzel kapcsolatban Eötvös semmit sem publikált. Az egyetlen írásos emlék a Pekár Dezső által 1941-ben publikált néhány soros közleménye, melyben népszerű módon ismerteti a műszer működési elvét. E rövid ismertetésből kiderül, hogy Eötvös már az 1890-es években kísérletezett graviméter szerkesztésével. A fennmaradt bifiláris graviméter érzékelője a két, 23 cm hosszú, kvarcfonálra függesztett, 12 g súlyú hengeres tö-

meg. A fonalakat megcsavarva a henger megemelődik és elfordul. A nehézségi erő változásakor a henger súlya és ezáltal elfordulási szöge is megváltozik. A szögelfordulást a hengerre és a műszerházra erősített tükrökre vetített skála egyidejű távcsöves leolvasása révén határozta meg. Pekár szerint a graviméter nem egészen kielégítő érzékenysége miatt Eötvös ezt a munkáját nem tartotta publikálásra érdemesnek.

A fenti ismertetés mellett viszont a hagyatékban megtaláltunk egy észlelési naplót, melyben Pekár feljegyezte a műszerrel végzett észlelések adatait, melyekből kiderül, hogy a műszer 1901. november 13-án került mérésre kész állapotba. A gravimétert egy 0,02 g súlyú tömegnek a hengerre való ráhelyezésével hitelesítették, és ennek alapján a műszer érzékenysége 30 mGal/oszt.részt kaptak. A műszer hőérzékenységét is megvizsgálták, és arra 100 mGal/°C értéket kaptak.

A jegyzőkönyv tartalmazza azokat az észlelési adatokat is, melyeket az egyetemi Fizikai Intézet és a Svábhegy közötti mérések során kaptak. A svábhegyi mérések helyszínéről a jegyzőkönyvben nem történik említés. Szerencsére a két helyszín magasságkülönbsége szerepel a naplóban, így jó közelítéssel meg tudtuk határozni a két mérési pont közötti nehézségi erő különbséget. Az észlelési adatokat felhasználva a műszer érzékenysége 17,7 mGal/oszt.rész értéket kaptunk. Ez az érték ellentmond a Pekár által közölt hitelesítési adatnak. A jelentős eltérés a műszer érzékenységének nonlinearitásából fakadhat.

Összefoglalóul megállapíthatjuk, hogy Eötvös korát megelőzve épített egy kisméretű, terepi mérésre szánt gra-



7. ábra Két oldal Banai Gyula észlelési naplójából (1961)

Figure 7 Two pages from Gy. Banai's observational records (1961)

**2. táblázat** Eötvös és Schweydar graviméterének összehasonlítása  
**Table 2** Comparison of Eötvös' and Schweydar's gravimeters

	Eötvös-féle (1901)	Schweydar-féle (1913)
Magasság	30 cm	140 cm
Érzékelő tömege	12, 19 g	376,99 g
Hitelesítő tömeg	0,02 g	0,0138 g
Skálatávolság	100 cm	320 cm
Kitérés	53,78 o.r.	43 mm
0,01 g hitelesítő tömegre eső kitérés	26,89 o.r.	31,2 mm
100 cm-es skálatávolságra eső kitérés	26,89 o.r.	9,7 mm
Skálaszorzó	29,94 mGal/o.r.	0,84 mGal/o.r.
100 cm-es skálatávolságra eső skálaszorzó	29,94 mGal/o.r.	2,69 mGal/o.r.
Hőmérsékleti koefficiens	-3,53 o.r./°C	?

vimétert, mely nagyfokú hőérzékenysége és érzékenysége labilitása miatt nem váltotta be a hozzáfűzött reményeket. Érzékenysége meg sem közelítette torziós ingáiét, így érthető és egyben bölcs döntés volt részéről, hogy néhány évi kísérletezés után felhagyott a további próbálkozásokkal. Az viszont sajnálatos, hogy a bifiláris graviméterrel kapcsolatos eredményeit csalódottsága miatt nem publikálta, ezáltal a nemzetközi tudományos világ hivatalosan nem értesülhetett graviméteréről.

A keleti blokkban a Szovjetunióban foglalkoztak graviméter-fejlesztéssel és -gyártással, de ezek a műszerek nagyon érzékenyek voltak a hőmérséklet-változásokra. Ezért mi csak hőmérőnek becéztük őket. Ekkor merült fel az ötlet, hogy az Eötvös-inga laboratórium munkatársai vegyék elő Eötvös bifiláris graviméterét, hogy megállapítsák, hogy az eötvösi kísérlet óta eltelt közel hatvan év műszaki fejlődése nem tette-e lehetővé graviméterének továbbfejlesztését. A laboratórium munkatársai az alább közölt jegyzőkönyvben számoltak be vizsgálataik eredményéről, melyben megerősítették, Eötvösnek igaza volt, mikor megállapította, hogy bifiláris elven nem lehet használható gravimétert építeni. Ennek következtében neve nem is szerepel a graviméter-fejlesztéssel foglalkozó szakirodalomban.

A dolgozatban ismertetett eszköz az Eötvös Loránd-Emlékgyűjteményben (Bp. XIV. Columbus u. 17–23.) megtekinthető.

#### A cikk szerzője

Szabó Zoltán

#### Irodalomjegyzék

- Eötvös L. (1900): A nehézség és a mágneses erő sívfelületeinek és változásainak meghatározásáról. *Mathematikai és Fizikai lapok*, IX. 361–385.
- Hecker O. (1910): Bestimmung der Schwerkraft auf dem Bestimmung der Schwerkraft auf dem Schwarzen Meere und an dessen Küste sowie neue Ausgleichung der Schwerkraftmessungen auf dem Atlantischen, Indischen und Grossen Ozean. *Veröff. d. Zentralb. d. internat. Erdmessung*, 20.
- Pekár D. (1941): Báró Eötvös Loránd. A torziós inga 50 éves jubileumára. *Kis Akadémia*, Budapest, 340 p.
- Selényi P. (ed.) (1953): Roland Eötvös *Gesammelte Arbeiten*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 385 p.
- Schmidt A. (1900): Gerlands Beiträge zur Geophysik B. 4. p. 109.
- Schweydar W. (1914): A Hold által keltett nehézségi erő intenzitás-változásának megfigyelése. *Sitzungsberichte der Königl. Preussischen Akademie der Wissenschaften*, B. I.

## Az Eötvös-csúcsról és -emléktábláról, még egyszer röviden – képekben

KISS J.



Ennek az újabb cikknek a megírására két dolog miatt határoztam el magamat:

– Egyrészt az első cikkem (Kiss 2019) következményeként hozzáférhetővé vált számomra Balog György<sup>†</sup> és Csathó Beáta (kollégáim, hegymászótársaim, barátaim) VHS videofelvétele, amelyet az Eötvös-emléktábla elhelyezésekor készítettek, dokumentálva azt (erről ugyan tudtam, de 30 év távlatából már nem számoltam vele).

– Másrészt, a *National Geographic* 2022. áprilisi számának fedőlapján Eötvös Loránd lányai – Ilona és Rolanda – látszanak egy 1901. évi fotón, az egyik hegyi túrájukon, a Dolomitokban (ezt a fotót én is felhasználtam első cikkemben). A fedőlap képe persze nem véletlen, hiszen kapcsolódva a képhez (vagy fordítva) megjelent egy írás is Páhy Annától „A csúcson, akkor és most – 120 év után az Eötvös lányok nyomában” címmel gazdagon illusztrálva az Eötvös-archívum diáival és Szilágyi Lenke fotóival. A korhű ruhákban végzett csúcsmászásról készül egy dokumentumfilm is a hegymászóknak köszönhetően.

A cikk olvasásakor előjöttek az emlékek és a gondolat, hogy valamilyen emlékezzünk meg ezekről az időkről, az emléktábla felállításának eseményéről. 1990-et írtunk akkor, amikor az Eötvös-emléktáblát felhelyeztük a Forcella Della Neve hágóban az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet munkatársaiként és mint a természet kutatói, a hegyek szerelmesei (név szerint: Csathó Beáta, Gulyás Ágnes, Balog György<sup>†</sup> és Kiss János). Az Eötvös-emlékév tiszteletére az MTE szintén emléktáblát készített és helyezett el, közvetlenül a csúcssziklába.



Az első kép a Misurina-tavat és a Cadin-csoportot mutatja, azt a hegycsoportot, ahol az Eötvös-csúcs is található. Ez a kezdőpont az Eötvös-túrahoz



A második kép út felfelé a Rifugio Fonda Savio menedékháztól a Forcella Della Neve hágó felé, illetve az Eötvös-csúcs felé



A harmadik kép egy remek fotó a Tre Cime di Lavaredo hegycsoportról, a Cadin-csoport felől fényképezve, négy túrázó árnyékképével, akár mi is lehetnénk



A hágóban a „sherpák” terheikkel. Előkészület a Forcella Della Neve hágóban, megszabadulunk terhektől, előkerül a fűró, kalapács, véső, ragasztó+víz, falitiplik, emléktábla, fényképező és videofelvevő (Csathó Beáta, Gulyás Ágnes, Balog György) (fotó: Kiss János)



a)



b)



c)



d)



e)



f)



g)



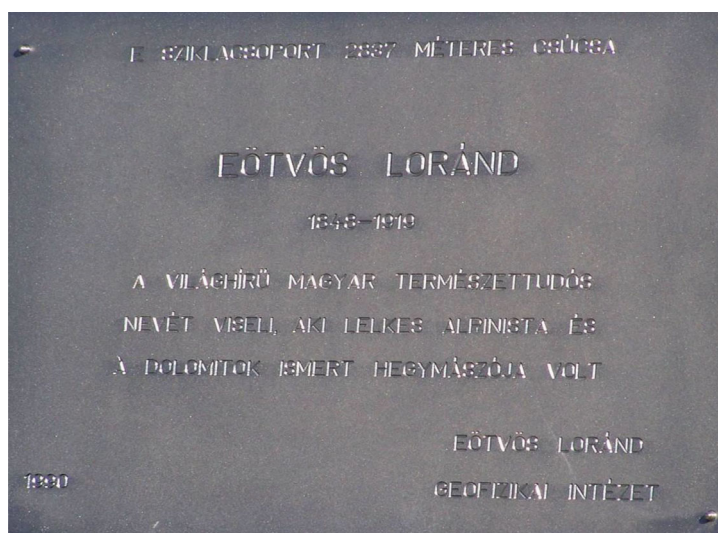
h)

A tábla felerősítésének fázisai (videofelvételből kivágott képkockák (Csathó Beáta) – sajnos a videofelvétel a többszöri átmásolás miatt nem tökéletes):

- a) Helykijelölés és pontozás a fúráshoz,
- b) Rögzítő tiplik helyeinek kifúrása a sziklába,
- c) A tiplik felerősítése és a ragasztó felkenése a táblára,
- d) Menet a falhoz tiplivel, ragasztóval és táblával,
- e) A tábla behelyezése a falba, a furatokba,
- f) Rögzítés első fázisa,
- g) Rögzítés második fázisa,
- h) Rögzítés véglegesítése.



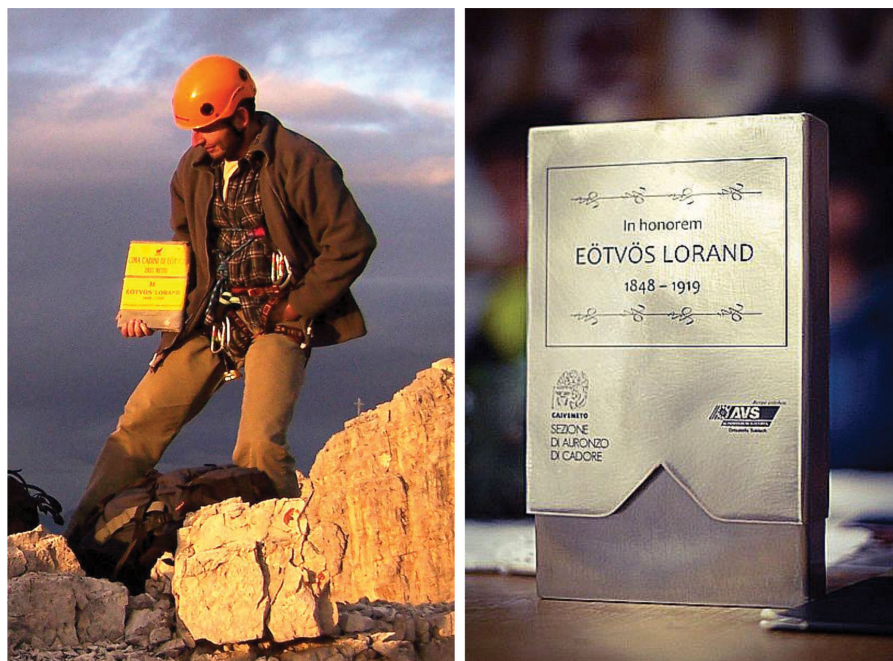
A négy nyelvű (olasz, angol, német, magyar) tábla felhelyezve a sziklafalra



Az emléktábla szövege magyarul



A végleges csúcstábla elhelyezése 2019-ben az Eötvös-csúcson, a mellékcúcs sziklájába (Vörös László)  
(fotó: Elscholtz Gábor)



A régi csúcskönyv-doboz és az ajándék 2019. évi új csúcskönyv-doboz, amelyet az Eötvös-emlékév tiszteletére az AVS Section Toblach és a CAI Auronzo olasz turistaklubok készítettek az Eötvös-100 tiszteletére

### A cikk szerzője

Kiss János

### Hivatkozás

Kiss J. (2019): Eötvös Loránd – emléktúrák. Fényképes beszámoló. Magyar Geofizika, 60/4, 168–177.

## Agocs-ösztöndíj, 2022

A díjat alapító, dr. William B. Agocs professzor szándéka szerint az Eötvös Loránd Tudományegyetem geofizika szakán megvédett, kiemelkedő színvonalú MSc-, illetve PhD-dolgozatot lehet jutalmazni. Az Agocs-díj kuratóriuma, amely a korábbi díjazottakból áll, titkos szavazással három két PhD- és egy MSc-dolgozatot talált jutalmazásra érdemesnek 2022-ben.

### A díjazott PhD-dolgozatok

*Kalmár Dániel:* Crustal structure deformation in the wilder region of the Pannonian Basin from P receiver function analysis. Témavezető: *dr. Bondár István DSc.*

*Szijártó Márk:* A felszín alatti vízáramlás- és transzform-folyamatok medenceléptékű numerikus vizsgálata. Témavezetők: *dr. Galsa Atilla* egyetemi adjunktus és *Mádlné dr. Szőnyi Judit* egyetemi docens.

### A díjazott MSc-dolgozat

*Molnár Bence:* Sztochasztikus közegmodellek szerepe a felszín alatti vízáramlás és hőtranszportfolyamatok szintetikus modelljeiben. Témavezető: *dr. Galsa Atilla* egyetemi adjunktus.

\* \* \*

*Dr. Borhy László* akadémikus, egyetemi tanár, az Eötvös Loránd Tudományegyetem rektora adta át az Agocs-ösztöndíjat ünnepélyes körülmények között a rektori tanácssteremben. Az ösztöndíj átadására 2022. szeptember 14-én került sor.

*Kis Károly*



Az ösztöndíj átadásakor készült fénykép (balról-jobbra) *Szijártó Márk* (PhD), *Borhy László* akadémikus, az ELTE rektora, *Kalmár Dániel* (PhD), *Molnár Bence* (MSc)

# INVERZIÓS ANKÉT – 2022

## Első körlevél

A Magyar Geofizikusok Egyesületének *Észak-magyarországi Csoportja*, az MTA Miskolci Területi Bizottságának *Földtudományi Munkabizottsága*, ill. *Geoinformatikai és Térinformatikai Munkabizottsága* 2022. november 14-én és 15-én **Inverziós Ankétot** rendez. A konferencián a geofizikai inverziós kutatások eredményeinek bemutatására 20 perces előadások keretében van lehetőség.

**Az Inverziós Ankét kezdete:** 2022. november 14. 10:00 óra

**Helye:** az MTA Miskolci Területi Bizottság székháza, Miskolc, Erzsébet tér 3.

**Az előadások bejelentésének határideje:** 2022. október 10.

Az előadás nélküli részvételi szándékot kérjük legkésőbb **2022. november 7-ig** bejelenteni:  
*E-mail:* Abordán Armand <gfaa@uni-miskolc.hu>, *Tel.:* 06-46-565-064.

A konferencia részletes programját a *Második körlevélben* tesszük közzé.

Miskolc, 2022. június 21.

Tisztelettel:  
*Az Inverziós Ankét rendezői*

## M E G H Í V Ó

### Magyarország szeizmotektonikai veszélyeztetettségi térképének megalkotása és elemzése

Tisztelt Tagtársak, Érdeklődők!

A Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal Nemzeti Kiválósági Programja által támogatott „Magyarország szeizmotektonikai veszélyeztetettségi térképének megalkotása és elemzése” című kutatási projekt záróeseményét

**2022. november 17-én, csütörtökön, 11 órától**

rendezzük a Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet soproni székházában (Sopron, Csatka E. u. 6–8.)

Az eseményen bemutatjuk a Pannon-medence és környékének szeizmicitását, feszültség- és deformációs jellemzőit és a litoszféra szerkezetét feltáró kutatásaink legújabb eredményeit, valamint Magyarország legfrissebb adatokon alapuló új neotektonikai térképét.

Az előadóülés részletes programját és a gyakorlati tudnivalókat egy későbbi körlevélben tesszük majd közzé.

A zárórendezvényen minden érdeklődőt szeretettel várunk.

*A projekt kutatóközössége*  
<http://nkp.epss.hu/>

# Dávid Gyula

## 1946 – 2022

Szomorú szívvel tudatjuk, hogy tagtársunk, Dávid Gyula életének 77. évében hosszú, súlyos betegség után 2022. augusztus 26-án elhunyt.

\*\*\*

Közös kollégánk soraiból vett idézettel kezdem megemlékezésem:

„Gyuszi volt az egyik leginkább szeretetreméltó ember, akit ismertem!”

És egy idézete, az „Öreg firma dala” c. ének két sora:

*Megismerte őt, megszerettük őt,  
Megszeretve őt, megismertük őt.*

Egy év különbséggel kezdtük geofizikus pályafutásunkat, és lényegében végig ugyanazon a munkahelyen dolgoztunk, ennek jelentős részében közvetlen munkatársként.

Sohasem szeretett rivaldafényben lenni, nem akart kitűnni, de megbízhatóbb, szorgalmasabb, precízebb munkát végző kollégával ritkán találkoztam.

Nemcsak kiváló munkatárs, hanem jó barátunk is volt. Jelenlétével jelentősen hozzájárult a kiváló kollektíva kialakulásához. Értékes tagja volt eléggé heterogén, de mégis összetartó csapatunknak.

Geológus technikusként érettségizett, majd 1970-ben szerzett diplomát Miskolcon, a Bányamérnöki Karon geofizikus mérnökként.

A Geofizikai Kutató Vállalatnál (ill. jogelődeinél) kezdett el dolgozni, és a gyakornoki idő letelte után rögtön nagy felelősséggel járó feladattal, terepi kutatócsoport vezetésével bízták meg. E munkakörben szinte végig a legnagyobb kihívásokkal járó zalai kutatási területeken folytatta munkáját.

Ennek az időszaknak utolsó fázisában, egy évig a cég Irakban mérést végző csoportjában dolgozott csoportvezető-helyettes kiértékelőként.

Terepi pályafutásának befejezése után 1980-tól a szeizmikus értelmezés területére került. Az általa rendkívüli

precizitással különböző kutatási területekről készített zároljelentésekre akár etalonként is lehetett tekinteni.

A Geofizikai Kutató Vállalattól (a későbbi GES Kft.), átszervezés révén került át a MOL NyRt.-be, ahol ezt a munkát folytatta. Később újabb feladatokat, kihívásokat keresve került a terepi mérések tervezését és operatív irányítását végző csapatba.

Nyugdíjba vonulásáig itt volt barátunk és munkatársunk.

Mindennapjainkat 2001-ben rossz hír zavarta meg: szívinfarktust kapott.

Hála a gyors orvosi beavatkozásnak, a bypassműtétnek felépült, és az orvosi utasításokat a rá jellemző pontossággal maradéktalanul betartva, a rehabilitáció után nyugdíjba vonulásáig teljes értékű munkát tudott végezni.

Szorgalmas, megbízható munkáját értékelve többször kapott kitüntetések, melyek közül a legértékesebb talán a 2009-ben kapott „Életpálya Díj”.

2011-ben, 65 évesen ment nyugdíjba. Lényegében tehát egész pályafutását egy cégnél töltötte, mert első munkahelye az OKGT (a MOL Nyrt. jogelődje) egyik leányvállalata volt. Napjainkban ez már ritkaságnak számít, de mindenképpen bizonyítja Gyuszi hivatástudatát és szakmai elkötelezettségét.

Nyugdíjas éveit több, egyenként is súlyos betegség nehezítette, keserítette, de ezt óriási önfegyelmével, türelemmel viselte.

Betegsége ellenére a kapcsolata régi kollégáival, barátaival még sokáig nem szűnt meg, közös emlékeinket baráti vacsorákon elevenítettük fel.

Megdöbbenéssel értesültünk, hogy augusztusban 76 évesen elhunyt.

Gyuszit felesége, gyermekei, unokái és barátai gyászolják.

Emlékét megőrizzük!

*Regős Ferenc*



Dávid Gyula  
1946 – 2022



# Eötvös Loránd gravimétere – 1901



Eötvös Loránd 1901-ben elkészült és kipróbált gravimétere az egykori Eötvös Loránd Geofizikai Intézet által berendezett báró Eötvös Loránd Emlékiállításon  
(A graviméter az üvegtároló közepén látható)

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)

