

MAGYAR GEOFIZIKA

HUNGARIAN GEOPHYSICS

A MAGYAR
GEOFIZIKUSOK
EGYESÜLETÉNEK
FOLYÓIRATA



JOURNAL OF THE
ASSOCIATION
OF HUNGARIAN
GEOPHYSICISTS

A Magyar Geofizikusok Egyesületének
2020. évi rendkívüli közgyűlése

Tisztelet az éveknek

Újjonnan alakult a Dél-dunántúli Csoport
Az SZJA 1%-ok felajánlása

Az első öt földmágneses multipólus IGRF-13 koefficiensek értékeiből számolt
paramétereinek táblázatai (1900–2020)

Nem egyenközű hálózat szerint mintavételezett mágneses anomália
pólusra redukálása inverziós Fourier-transzformációval

Mágneses spektrális szűrések utáni
adattfeldolgozás és -értelmezés

Eötvös Loránd, Milutin Milankovics, Bacsák György

Agocs-ösztöndíj, 2020
Inverziós Ankét – Második körlevél

In Memoriam:
Dr. Megyeri Mihály



MAGYAR GEOFIZIKA

HUNGARIAN GEOPHYSICS

61. évfolyam (2020) 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)

- 43 A Magyar Geofizikusok Egyesületének 2020. évi rendkívüli közgyűlése (General Assembly of AHG) – *Zelei G.*
- 47 Tisztelet az éveknél (Members of honoured ages) – *Hegybíró Zs.*
- 50 Újonnan alakult a Dél-dunántúli Csoport (Newly formed South-Transdanubian Group) – *Várhegyi A.*
- 50 Az SZJA 1%-ok felajánlása (Grant of 1% of personal income taxes) – *MGE Titkárság*

TANULMÁNY • PAPER

- 51 Az első öt földmágneses multipólus IGRF-13 koefficiensek értékeiből számolt paramétereinek táblázatai (1900–2020) (Parameters of the leading geomagnetic multipoles ($n = 1, \dots, 5$) computed from the harmonic coefficients of the IGRF-13 field model (1900–2020)) – *Márton P.*
- 66 Nem egyenközű hálózat szerint mintavételezett mágneses anomália pólusra redukálása inverziós Fourier-transzformációval (Reduction of a non-uniformly sampled magnetic anomaly to the magnetic pole by means of Inversion Fourier Transform) – *Vass P., Nuamah D.*
- 75 Mágneses spektrális szűrések utáni adatfeldolgozás és -értelmezés (Data processing and interpretation after spectral filtering of magnetic data) – *Kiss J.*

TUDOMÁNYTÖRTÉNET • SCIENCE HISTORY

- 90 Eötvös Loránd, Milutin Milankovics, Bacság György (Roland Eötvös, Milutin Milankovics, György Bacság) – *Szarka L.*

HÍREK • NEWS

- 92 Agocs-ösztöndíj, 2020 – *Kis K.*
- 93 Inverziós Ankét – Második körlevél & Frissített információ – *MGE Titkárság*

IN MEMORIAM

- 94 Dr. Megyeri Mihály – *Dallos F.*

MAGYAR GEOFIZIKA

HUNGARIAN GEOPHYSICS

61. évfolyam (2020) 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 megjelenését a Magyar Olaj- és Gázipari Nyilvánosan Működő Részvénytársaság támogatja



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: Zelei Gábor

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
print HU ISSN 0025-0120
online HU ISSN 2677-1497

A Magyar Geofizikusok Egyesületének 2020. évi rendkívüli közgyűlése

A Magyar Geofizikusok Egyesülete folyó év szeptember 4-én tartotta rendkívüli közgyűlését a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat „Art Geo Palotájának” Dísztermében (1143 Budapest, Stefánia út 14.).



A tisztelt közgyűlés

A közgyűlésen a jelenléti ív tanúsága szerint 29 tagtársunk vett részt. A Magyar Geofizikusok Egyesülete 66. közgyűlését az Egyesület elnöke, *Zelei Gábor* nyitotta meg. A Közgyűlés a Himnusz meghallgatásával kezdődött el.

Az Egyesület elnöke megállapította, hogy a 15.00 órára összehívott közgyűlés határozatképtelen volt, de a meghívóban meghirdetett második időpontban, 15.30 órakor a rendkívüli közgyűlés a jelenlévők létszámától függetlenül határozatképes. A közgyűlés ellenvetés és további javaslat nélkül egyhangúlag elfogadta az előzetesen kiadott napirendet, valamint jóváhagyta a jegyzőkönyv vezetésére *Hegedűsné Petró Erzsébetet* és a jegyzőkönyv hitelesítésére *Magyar Balázst* és *Stickel Jánost* kérjék fel.

Az elnök köszöntötte társesületünk képviselőjét, a Magyarhoni Földtani Társulat ügyvezető igazgatóját, *Krivánné Horváth Ágnest*, valamint az Egyesület jogi tagjainak, támogatóinak, segítőinek a rendkívüli közgyűlésen megjelent képviselőit.

Az elnök üdvözlő beszédében kitér arra, hogy az Egyesület sikeres esztendőzt zárt 2019-ben. Egész éves ünnepi megemlékezés zajlott báró Eötvös Loránd halálának 100. évfordulója alkalmából. Az „Eötvös 100” Koordinációs Bizottság elnökének, *Szarka László* akadémikusnak ezúton is köszönetét fejezte ki azért a sok támogatásért és segítségért, amelyet Egyesületünknek nyújtott személyesen, illetve a bizottság elnökeként is.

A rendezvénysorozat 2019 januárjában kezdődött a Magyar Tudományos Akadémián, majd márciusban az 50. Ifjú Szakemberek Ankétját tartottuk meg kicsit rendhagyó módon, nagy sikerrel. Április 8-án ismét a Magyar Tudományos Akadémián rendezték meg a központi Eötvös-ünnepséget. Április 9-én tartottuk meg az Eötvös-sír hagyományos megkoszorúzását, amelyre kormányzati képviselőket is meghívtunk. Majd ezen a napon tartottak hálaadó misét báró Eötvös Loránd tiszteletére. *Magyar Balázs* korábbi egyesületi elnök felavatta májusban Eötvös Loránd emléktábláját a balatonfüredi Eötvös Loránd nevet viselő általános iskolában. Május végén szenior klubdelutánt tartottunk idős tagtársaink számára. Június elején *Magyar Balázs* az EAGE konferencián Londonban képviselte az Egyesületet, ahol egy monumentális Eötvös-poszteren mutatta be az érdeklődőknek Eötvös Loránd munkásságát.

Augusztusban Toblachban, Ausztriában szerveztek egy „Eötvös 100” kiállítást gyönyörű fotókkal. Szeptemberben szenior kirándulást szerveztünk a Paksi Atomerőműbe. Október 17-én került sor egy emlékkonferenciára Egbben, ahol megszületett az alkalmazott geofizika, Eötvös Lorándnak köszönhetően. Ezen a konferencián több nemzetközi előadó tartott előadást a témához kapcsolódóan.

Selmecbányán az Eötvös Lorándról elnevezett turistaút kezdőpontjánál helyeztünk el emléktáblát, közösen magyar társesületeinkkel és helyi szervezetekkel.

A XII. kerületi Önkormányzat a volt Olimpia szálló helyén kialakított parkot Eötvös Loránd-parknak nevezte el az online szavazás eredményének megfelelően. Ebben annyi szerepünk volt, hogy tagjaink közül nagyon sokan adták le támogató szavazatunkat.

Sajnos a 2020-as év már nem mondható ilyen sikeresnek a COVID-19 vírus miatt. Több programot terveztünk erre az évre is, de ezek az ismert okok miatt sajnos jelenleg nem valósíthatók meg. Minden, erre az évre tervezett programot törölnünk kellett.

Az elnök felkérte a jelenlévőket, hogy egyperces néma felállással emlékezzenek meg azokról a tagtársainkról, akik az elmúlt évben itt hagytak minket:

Dr. Baksa Csaba, Hoffer Egon, Dr. Kiss Bertalan, Miklós Gergely, Nagy Zoltán, Németh Lajos, Nyitrai Tibor, Dr. Posgay Károly, Várkonyi László

A megemlékezés után *Petrovszki Judit* általános titkár röviden ismertette a 2019. év eseményeit.

Az idei évünket a koronavírus-járvány felborította, így az Egyesület elnöksége március végétől telefonos konferenciabeszélgetés keretében tartotta meg elnökségi ülését, a szavazásokat is elektronikus szavazólapokon adtuk le. A közhasznúsággal, pénzügyi beszámolóval és a közgyűléssel kapcsolatos döntésekről április 22-én szavazott az Elnökség. Ekkor kikértük *dr. Ferencz Lujza* egyesületi jogász véleményét, kértük részvételét és javaslatait a konferenciabeszélgetésben, a javaslatait elfogadtuk.

Az Egyesületre mint nonprofit szervezetre a járvány miatt született törvény (2020. LVIII. tv. 108. paragrafus alapján) több lehetőséget is biztosít. Ezek közül az Elnökség azt szavazta, hogy Elnökség a járvány miatt maga szavazhat olyan kérdésekben, amelyekhez különben a közgyűlés szavazata kellene, de a veszélyhelyzet feloldását követő 90 napon belüli közgyűlést kell összehívnia. Ennek megfelelően össze is hívta a közgyűlést.

Ismertette, hogy az Egyesület elnöksége április 22-én az elnökségi ülésen elfogadta az MGE 2019. évi pénzügyi beszámolóját és közhasznúsági jelentését, hasonlóképpen elfogadta az Elnökség a Magyar Geofizikusokért Alapítvány 2019. évi pénzügyi beszámolóját és közhasznúsági jelentését is. Ezután egyhangúlag megszavazta az Elnökség, hogy ezeket az Egyesület és az Alapítvány könyvelője beküldje az Országos Bírósági Hivatalhoz. A hivatkozott törvény lehetővé teszi ezt a verziót, azzal a feltétellel, hogy amint össze lehet hívni a közgyűlést, a közgyűlésen megjelenteknek is el kell fogadnia az Elnökség döntéseit, illetve amennyiben a tagság részéről kiegészítést kérnek, azt az egyesületünknek ezt utólag be kell nyújtania.

Egyesületünk továbbra is közhasznú. 2019-ben több rendezvényen vettünk részt, némelyiken rendezőként, némelyiken résztvevőként. Tavaly a közgyűlésen meghallgathattuk a 2019. évi ISZA egyik díjnyertes előadását. Idén sajnos a vírushelyzet miatt nem tudtuk megtartani az Ifjú Szakemberek Ankétját márciusban. Először azt gondoltuk, hogy elhalasztjuk a rendezvényt szeptember végére, de a helyzet úgy alakult, hogy az idei évben egyáltalán nem tudjuk megtartani az Ifjú Szakemberek Ankétját. Nemcsak a vírushelyzet miatt döntöttünk úgy, hogy jövőre, a hagyományos időpontban tartjuk meg az ISZA-t, hanem azért is, mert nem találtuk elfogadhatónak, hogy fél éven belül tartsunk két ugyan olyan rendezvényt, mivel kicsi az esélye annak, hogy mindkét rendezvényen megfelelő létszámú jelentkező vett volna részt, illetve megfelelő színvonalú előadások hangozhattak volna el.

További rendezvényeinkről az általános titkár fotókat mutatott be: az Eötvös-év rendezvényei, egbelli konferencia, Földtudományos Forгатag, és a Magyarhoni Földtani Társulat és a Magyar Geofizikusok Egyesületének 2019 októberében Balatonfüreden megtartott közös vándorgyűléséről is, mely nagyon sikeres rendezvény volt.

Közhasznú tevékenységeinket 2019-ben is folytattuk. Pénzügyi helyzetünk esetében jelentős eltéréseket láthatunk a tervezett és a megvalósult tételek között. Az Eötvös-év kapcsán jelentős támogatást kaptunk, ezért sokkal

nagyobb lett a 2019. évi eredményünk, mint ahogy azt terveztük.

Az elnök megköszönte *Petrovszki Judit* általános titkár beszámolóját, és felkérte *Kaszás Lászlót*, a Felügyelőbizottság elnökét, hogy tartsa meg beszámolóját.

Kaszás László ismertette, hogy a Felügyelőbizottság még áprilisban áttekintette az MGE 2019. évi pénzügyi beszámolóját, illetve a Magyar Geofizikusokért Alapítvány 2019. évi pénzügyi beszámolóját is. Megkapták a 2020. évi pénzügyi terveket is.

Az MGE pénzügyi helyzetét továbbra is stabilnak tartják. Kiadásai lényegesen alulmaradtak a bevételekhez képest, eredménye nagyon jónak bizonyult 2019-ben. Így a gazdálkodás stabilitását az Egyesület meg tudja őrizni a továbbiakban is.

Az MGE közhasznúságát meg tudta őrizni a 2019-es évben is. Alapszabálya szerint működött az Egyesület, jogszabálysértés nem történt, erre vonatkozóan jelzést senkitől nem érkezett.

A Felügyelőbizottság elfogadta az Egyesület 2019. évi beszámolóját, és ezt javasolják a közgyűlésnek is.

A Magyar Geofizikusokért Alapítvány beszámolóját is áttekintette a Felügyelőbizottság. Mindent rendben találtak a beszámolóban, bejelentés az Alapítvány működésével kapcsolatban nem érkezett. A Felügyelőbizottság a 2019. évi működésről szóló jelentést elfogadta és a közgyűlésnek is elfogadásra javasolja.

Az elnök megköszönte *Kaszás Lászlónak*, a Felügyelőbizottság elnökének a 2019. évről szóló beszámolóját és felkérte *Gombár Lászlót*, a Magyar Geofizikusokért Alapítvány kuratóriumi elnökét, hogy tartsa meg beszámolóját a 2019-es évről.

Gombár László ismertette, hogy az Alapítvány idén 30 éves, próbálják továbbra is az alapításkor eltervezett funkcióját betölteni. *Románné Hegybíró Zsuzsa* kuratóriumi tag decemberben benyújtotta a lemondását, helyét *dr. Barta Veronika* venné át, amivel az Elnökség egyetért és megszavazott. A döntést a közgyűlésnek is el kell fogadnia, reméli a jelenlévők is egyet értenek *dr. Barta Veronika* megválasztásával.

A régebben szokásos támogatások sajnos elmaradtak, így 2019-ben a MOL nem támogatta az Alapítványt. A múlt évben már csak az 1%-os támogatásokból és az Egyesület bevételeinek 10%-ából érkezett az Alapítványhoz bevétel. Rendszeresen támogatják az Ifjúsági Ankétot, így történt ez 2019-ben is. Két fiatal szakember kiutazását támogatták külföldi szakmai rendezvényre. A nyugdíjas klubdelután és a paksi kirándulás volt még tényleges kiadás. A kiadások sajnos meghaladták a bevételeket, így 500 ezer forint mínusszal zárták az évet. A közhasznúsági jelentést és az éves pénzügyi beszámolót a könyvelő elkészítette, neki is fizetett az Alapítvány. A tervezett költségek mind a bevétel, mind a kiadás oldalról átiródnak sajnos a vírushelyzet miatt. Az Alapítvány kiadása csupán 100–200 ezer forint lesz 2020-ban, bevétele pedig az Alapszabály szerint előírt egyesületi bevétel 10%-a lesz, melyet az Egyesület által igazgatózott 2019-es pozitív

vumból kap meg. Ezzel sikerül fenntartani még a továbbiakban is az Alapítvány működését. Anyagi helyzetünk mindezek ellenére stabilnak mondható, jelenleg 2,5 millió forint a tőkénk.

Az elnök megköszönte *Gombár László* beszámolóját, és felkérte a jelenlévőket, hogy egyenként szavazzanak az elhangzott beszámolókról.

Tartózkodás és ellenszavazat nélkül a megjelentek elfogadták a titkári beszámolót, a Felügyelőbizottság jelentését és mind a Magyar Geofizikusok Egyesületének, mind a Magyar Geofizikusokért Alapítványnak a 2019. évi tevékenységéről, valamint a Magyar Geofizikusokért Alapítvány kuratóriumi beszámolóját.

Az elnök felkérte *Petrovszki Judit* általános titkárt, hogy tartsa meg a 2020-as év pénzügyi tervéről szóló beszámolóját.

Petrovszki Judit tájékoztatta a közgyűlést, hogy a szokásos rendezvényeket terveztük 2020-ra is. Sajnos az ISZA nem kerül megrendezésre annak ellenére, hogy beterveztük mind a kiadási, mind a bevételi oldalon. Pozitív pénzügyi zárású évet terveztünk 2020-ra, de a fennálló veszélyhelyzet miatt még nem látjuk, hogy hogyan fogjuk zárni az évet. Ismertette a 2020. évre tervezett kiadásokat és bevételeket.

A közgyűlés tartózkodás és ellenszavazat nélkül elfogadta az Egyesület 2020. évi pénzügyi tervét. Az elnök a 2019-es évet sikeresnek és lezártnak nyilvánította.

Az elnök tájékoztatta a jelenlévőket, hogy a Jelölőbizottság elnökének, *Bauer Márton*nak kellett volna átadnia a szót, de mivel ő nem tud részt venni a közgyűlésen, így felkéri *Petrovszki Judit*ot, hogy ismertesse a Jelölőbizottság jelentését a most következő szavazással kapcsolatban.

Petrovszki Judit ismertette, hogy a Jelölőbizottság azt a feladatot kapta az Elnökségtől, hogy a Magyar Geofizikusok Egyesületének általános titkári posztjára, valamint a Magyar Geofizikusokért Alapítvány kuratóriumába egy fő jelölésre gyűjtse össze a jelöléseket.

Sikerült minden posztra jelöltet állítanunk. Az ajánlott személyek elvállalták a jelölést. Az általános titkári posztra *Bereczki László*t jelölték. A Magyar Geofizikusokért Alapítvány kuratóriumi tag posztra *dr. Barta Veronikát* jelölték. Az elnök ismertette, hogy a választás titkos szavazással történik majd a szünetben. A közgyűlés egyöntetűen elfogadta a fentiekben ismertetett jelölteket.

Az elnök tájékoztatta a jelenlévőket, hogy a Magyar Geofizikusok Egyesületének ügyrendje idejétmúlt, ezért aktualizálni kellett. Ezt a feladatot az Elnökség elvégezte, és többek között olyan kiegészítéseket tett az ügyrendbe, amelyek lehetővé teszik, hogy online módon is tarthassunk elnökségi üléseket és online módon szavazhassunk is. Ezután elküldtük a tagságunknak, hogy észrevételeket, javaslatokat tehessenek az új ügyrenddel kapcsolatban. Mivel nem jött visszajelzés a tagságtól, ezért az Elnökség támogatta az aktualizált ügyrend közgyűlés elé terjesztését. De ahhoz, hogy az aktualizált ügyrend életbe lépessen a közgyűlés jóváhagyására is szükségünk van. Kéri, hogy a jelenlévők is szavazzanak az új ügyrend elfogadásá-

ról. A közgyűlés ellenszavazat és tartózkodás nélkül elfogadta a Magyar Geofizikusok Egyesületének aktualizált ügyrendjét.

Az elnök egy másik egyesületi ügyben is kérte a közgyűlés jóváhagyását. Két területi csoport, a nagykanizsai és a mecseki csoport jelezte, hogy olyan drasztikus módon csökkent a létszámuk az utóbbi időben, ami miatt szeretnének egyesülni és a továbbiakban egy csoportként végezni tevékenységüket. Elnökségünk ezt maximálisan támogatta, de erről közgyűlési szavazás is szükséges. A közgyűlés egyhangúlag, ellenszavazat és tartózkodás nélkül elfogadta, hogy a Magyar Geofizikusok Egyesületének két területi csoportja (nagykanizsai és pécsi csoport) egyesüljön és a jövőben egy területi csoportként folytassa tevékenységét.

Az elnök bejelentette, hogy 15 perc szünet következik, amikor mindenki leadhatja szavazatát a jelöltekre.

Az elnök a szünetet követően elsőként köszöntötte *dr. Fancsik Tamást*, az MBFSZ elnökét, és megköszönte, hogy az MBFSZ Dísztermében tarthattuk közgyűlésünket.

Az elnök felkérte *Petrovszki Judit*ot, hogy ismertesse az idei kitüntetések és díjakat, amelyeket *Zelei Gábor* elnök adott át.

A geofizika területén kifejtett kiemelkedő szakmai munka elismeréseként az Egyesület Egyed László emlékérmét adományozott *dr. Zilahi-Sebess László* és *dr. Kiss János* tagtársaink részére.



Dr. Zilahi-Sebess László átveszi az Egyed László-emlékérmét



Dr. Kiss János átveszi az Egyed László-emlékérmét



Dr. Fancsik Tamás a Renner János-emlékérmét veszi át



Muhammad Nur Ali Akbar távollétében átveszik Csókás János-díját volt kollégái



Petrowszki Judit, az MGE általános titkára két cikluson át végzett kitűnő és lelkiismeretes munkájáért átveszi Zelei Gábortól, az MGE elnökétől a Renner János-emlékérmét



Fegyelmezett távolságtartás a közgyűlésen

Az Egyesületben és annak érdekében végzett kiemelkedő tevékenységért Renner János-emlékérmét kapott *dr. Fancsik Tamás* és *Petrowszki Judit* tagtársunk.

Tiszteleti tag kitüntetésben részesült *dr. Gombár László* tagtársunk a geofizikában és az Egyesület céljainak megvalósításában kifejtett rendkívüli érdemeiért.

Emléklap kitüntetést kapott *Krivánné Horváth Ágnes* a közös Vándorgyűlés megszervezésében és lebonyolításában végzett kiemelkedő munkájáért, *dr. Szarka László* az „Eötvös 100” Koordinációs Bizottság elnökeként az „Eötvös 100 emlékévk” koordinálásában kifejtett kimagasló teljesítményéért, *Szabóné Veres Éva* és *Vida Erzsébet* a Magyar Geofizikusok Egyesületében végzett áldozatos munkájukért.

A Meskó Attila-díjat *Szijártó Márk* kapta a cikkéért: *Szijártó Márk, Galsa Attila, Tóth Ádám, Mádl-Szőnyi Judit*, 2019. Numerical investigation of the combined effect of forced and free thermal convection in synthetic groundwater basins. *Journal of Hydrology*, 572, 364–379. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2019.03.003.

A Csókás János-díjat *Muhammad Nur Ali Akbar* kapta a cikkéért:

Muhammad Nur Ali Akbar, Szabó Norbert Péter, 2019. A pórusjellemzők P-hullámsebességre és jóságai tényezőre gyakorolt hatása homokkötőtarolóban. *Magyar Geofizika*, 60/1, 40–46.

Az Egyesület megköszönte a Miskolci Egyetem egyesületi összekötőjének, *Kopcsa Józsefnének* az egész éves munkáját.

Az elnök felkérésére a Szavazatszámoló Bizottság elnöke, *Török István* ismertette a szünetben lezajlott szavazás eredményét, miszerint 25 szavazócédula került az urnába, valamennyi érvényes volt.

Mindkét jelöltet, mind *Bereczki Lászlót* az általános titkári feladatra, mind *dr. Barta Veronikát* az Alapítvány kuratóriumába a közgyűlés egyhangúlag választotta meg. Az elnök gratulált a megválasztott tisztségviselőknek.

Megköszönte a jelenléteket. Kérte, hogy mindenki vigyázzon magára és egymásra. Felkérte a jelenlévőket, hogy hallgassák meg együtt a Bányászhimnuszt és ezzel a közgyűlés hivatalos részét lezárta.

Zelei Gábor

Tisztelet az éveknek

Kedves ünneplő Szeniorok!

A különleges évek ideje van. A tavalyi Eötvös-émlékév után az idei évet sajnos járvány befolyásolja. A COVID-19-vírus mindannyiunk életét megnehezíti, különösen a szenior korosztályét. Nagyon reméljük, hogy mindannyian elkerülték a bajt. Rendezvényeink száma is lecsökkent, illetve online térben valósult meg. Elmaradt az őszi szeniorkirándulás és a hozzá tartozó pogácsázás is – ezek online formáját még nem találták fel. Mindez azért sajnálatos, mert a szakmai érdekességek meghallgatása mellett nagyon fontos mindannyiunk számára a személyes találkozás is.

Most csak a türelemre és kitartásra tudjuk buzdítani Önöket, arra, hogy „Maradjanak otthon”. A nyári lazítás

bizonyára jól esett mindenkinek, talán nyaralni is sikerült, de most újra itt a bezárkózás ideje. Vegyék igénybe az elérhető külső segítséget. Ha lehet, minél kevesebbet találkozzanak a barátaikkal, rokonokkal, és használják ki az internetes kapcsolatokat.

Sajnos, a kerek születésnapokat – és a kevésbé kerekeket is – így nehéz megünnepelni, de a gyertyákat el lehet fújni a képernyőn keresztül, a süteményezést majd bepótoljuk.

Kívánjuk, hogy a nehézségek ellenére szeretetben, örömben, jó egészségben teljenek az ünnepnapok és a hétköznapiak. Bízunk benne, hogy a következő, $x + 1$ születésnapokat mindenki újra a meghitt családi körben tudja ünnepelni. Találkozunk a jövő évi szakmai rendezvényeken, kiránduláson, szeniortalálkozókon.

Hegybíró Zsuzsanna
az MGE nevében

90. születésnapját ünnepli

Czeglédi István, Dr. Morvai László, Pollhammer Manóné

85. születésnapját ünnepli

Hursán László, Karas Gyuláné, Dr. Rybach László, Nagy Zoltánné,
Sághy György, Vida Zsolt

80. születésnapját ünnepli

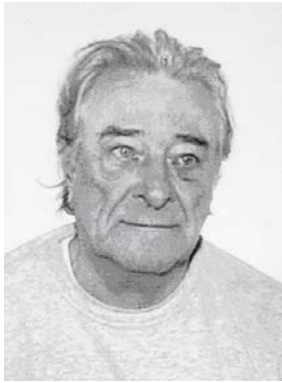
Albu István, Dr. Tarrósyné Hencz Éva, Dr. Mártonné Dr. Szalay Emőke,
Nyerges Lajos, Verő László

75. születésnapját ünnepli

Bihariné Balogh Adél, Dörnyei Piroska, Göncz Gábor, Kulcsár László,
Porosz Mihály, Dr. Szili Györgyné, Regős Ferenc, Taska Csaba,
Fejes Imréné

70. születésnapját ünnepli

Dr. Ádám József, Dr. Ferencz Lujza, Mágel Ágostné, Dr. Mentés Gyula,
Pápa Antal



Czeplédi István



Dr. Morvai László



Pollhammer Manóné



Hursán László



Nagy Zoltánné



Dr. Rybach László



Sággy György



Vida Zsolt



Albu István



Mártonné Dr. Szalay Emő



Nyerges Lajos



Dr. Tarrósyné Heinz Éva



Veró László



Bihariné Balogh Adél



Dörnyei Piroska



Porosz Mihály



Regős Ferenc



Dr. Szili Györgyné



Taska Csaba



Dr. Ádám József



Dr. Mentés Gyula

Újronnan alakult a Dél-dunántúli Csoport

A Magyar Geofizikusok Egyesületének két korábbi területi csoportja, a Zalai és a Mecseki Csoportok vezetősége egyhangú döntéssel megállapodott az alábbiakban:

A két csoport egyesül és az egyesült csoport neve: MGE Dél-dunántúli Csoport.

A vezetőség összetétele:

Elnök: Várhegyi András

Elnökhelyettes: Császár János

Titkár: Szegedi Nándor

Titkárhelyettes: Mázik Jenő

Ez az egyelőre ideiglenes állapot (a két csoport megválasztott vezetőségének megállapodásán alapul). A következő rendezvényünkön a tagság megválasztja (várhatóan jóváhagyja) a vezetőséget, előre láthatóan 2021. februárban.

Várhegyi András,
a MGE Dél-dunántúli Csoport
(egyelőre ideiglenes) elnöke

* * *

Az SZJA 1%-ok felajánlása

Kedves Tagtársunk!

Értesítés érkezett a NAV-tól, miszerint Egyesületünk az 1%-os felajánlásokból 396.415,- Ft-ot kapott. Ezúton is szeretnénk megköszönni a segítségüket és reméljük, hogy a következő években is számíthatunk az Önök támogatására!

Üdvözlettel,
MGE Titkárság

Az első öt földmágneses multipólus IGRF-13 koefficiensek értékeiből számolt paramétereinek táblázatai (1900–2020)

MÁRTON P.

ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék
H-1117 Budapest, Pázmány Péter stny. 1/C
E-mail: archeomag@caesar.elte.hu

A vonatkozó számításokat a harmonikus koefficiensek és a multipólus-paraméterek között fennálló egyenletek megoldásával végeztem el, a lehető legegyszerűbb algebrai eszközök felhasználásával. Ez az n -edik multipólusra $(2n + 1)$ ismeretlen meghatározását jelentette ($n = 1, 2, \dots, 5$). Az eredetileg a James-algoritmus alapján Winch által felírt egyenletekből multipólusonként két ismeretlen paraméter kiküszöbölése után előálló $(2n - 1)$ ismeretlenes nemlineáris egyenleteket Taylor-sorfejtéssel linearizáltam. Az utóbbiak megoldására közelítő megoldásrendszer feltételezésével iterációs algoritmust és Gauss-eliminációt alkalmaztam.

Márton, P.: Parameters of the leading geomagnetic multipoles ($n = 1, \dots, 5$) computed from the harmonic coefficients of the IGRF-13 field model (1900–2020)

The problem, as I put it, was to solve the equations between the harmonic coefficients and the $(2n + 1)$ multipole parameters for the first five geomagnetic multipoles making use of the simplest algebraic means. The equations were basically those given by Winch (1967b) after being shortened by eliminating two unknown parameters for each multipole. The ensuing $(2n - 1)$ non-linear equations were then linearized by Taylor expansion and solved in an iterative way by Gauss elimination. The results are presented in five tables in the main text and in six diagrams in Appendix 2.

Beérkezett: 2020. július 31.; elfogadva: 2020. augusztus 10.

Bevezetés

A földmágneses tér standard modelljében (IGRF) a Föld magjához köthető mágneses tér potenciálját a

$$V = a \sum_{n=1}^N \sum_{m=0}^n \left(\frac{a}{r}\right)^{n+1} (g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \sin m\lambda) P_n^m(\cos \vartheta) \quad (1)$$

gömbi harmonikus sorral írják le, amelyben a a Föld közepe sugarát ($a = 6371200$ m), (r, ϑ, λ) tetszőleges $r \geq a$ távolságú pont gömbi koordinátáit, $P_n^m(\cos \vartheta)$ pedig a Schmidt-féle kvázinormált asszociált Legendre-függvényeket jelenti. A g_n^m és h_n^m (nT) harmonikus koefficiensek értékeit kombinált földi és – amikor vannak – műholdas mágneses mérések feldolgozásával határozzák meg, és a tér évszázados változásai miatt periodikusan frissítik. Az IGRF (Nemzetközi Földmágneses Referencia Térmodell) jelenleg a g_n^m és h_n^m koefficiensek 1900 és 2020 között felvett,

5 évenként kiszámított értékeiből áll (IGRF-13). Az (1) egyenletben az összegzés 1900 és 1945 között $N = 8$ tagra, 1945 és 2000 között $N = 10$ tagra, 2000 és 2015 között $N = 12$ tagra, míg 2020-ra $N = 13$ tagra terjedt ki. Az együtt hatók 1945 és 2015 között megjelenített értékei véglegesnek tekintendők (DGRF, azaz Definitív Földmágneses Térmodell). Az $N > 13$ együtt hatók lényegében a litoszféra felső 50 km vastagságú részének járulékáiból adódnak.

A harmonikus függvények Maxwell-féle póluselmélete szerint (Maxwell 1892) a g_n^m és h_n^m együtt hatók földmágneses multipólusok paramétereinek függvényei. Az n -edik multipólusnak $(2n + 1)$ paramétere van, amelyek a multipóluserőssége és az n db pozitív tengely irányába mutató egységvektor $(\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2, \dots, \mathbf{u}_n)$ gömbi koordinátái (ϑ_i, λ_i) , $(i = 1, 2, \dots, n)$. Maguk a függvénykapcsolatok a James (1968) által levezetett algoritmus alapján írhatók fel tetszőleges multipólusra. A James-algoritmust Winch (1967b) aktualizálta a Schmidt-féle kvázinormált harmonikusokra,

és az első öt harmonikusra vonatkozólag fel is írta a g_n^m és h_n^m együtthatókat a megfelelő multipólus-paraméterek függvényében. Ez a dolgozat szintén az első öt multipólus paramétereinek meghatározásával foglalkozik az IGRF/DGRF által lefedett 120 év hosszúságú periódusban, 24 egyenletesen elosztott időpontban (epocha).

Az IGRF 1968-as bevezetése előtt, eltekintve néhány korábbi kísérlettől, a földmágneses multipólus-paraméterek kiszámításával az elérhető régebbi sorfejtések, illetve azok kombinálásával előállított g_n^m és h_n^m együtthatókra alapozva, a következő munkák foglalkoztak.

Winch és Slaucitajs (1966a,b) 1829 és 1960 közötti 14 különböző epochára az első három multipólus paramétereit számították ki, majd Winch (1967a,b) az 1829 és 1965 közötti 15 epochára a negyedik, valamint az 1845 és 1965 közötti 10 epochára az ötödik multipólus paramétereit is meghatározta. James (1969) az általa kifejlesztett, fentiekétől különböző módszerrel (James 1968) számította ki és analizálta az első hat földmágneses multipólus paramétereit és azok 1845 és 1965 közötti évszázados változását 13 különböző időpontra vonatkozó adatokból.

A számítások módszere

A harmonikus koefficiensek kifejezései a megfelelő multipólus-paraméterek függvényében az első három multipólusra (dipólus, kvadrupólus, oktopólus) az elemekből ismertek (egyetemi tananyag az ELTE geofizikus szakán). A negyedik (szedecimupólus) és ötödik (duotrigintupólus) multipólusra történő levezetésük legkényelmesebben a fentebb hivatkozott, Winch által felírt egyenletekből helyettesítésekkel végezhető el. Ez különösen az ötödik multipólus esetén elég hosszadalmas eljárás, és a kapott egyenletek is meglehetősen terjedelmesek. Figyelemre méltó viszont, hogy a g_n^m és h_n^m együtthatókra vonatkozó egyenletek $m = n$ esetén n -től függetlenül kétféleképpen is összevonhatók, ui. – ha $g_n^{m=n}$ és $h_n^{m=n}$ nem egyszerre zérus – akkor

$$LA_n = \arctg\left(\frac{h_n^{m=n}}{g_n^{m=n}}\right), \quad (2)$$

ahol

$$LA_n = \sum_{i=1}^n \lambda_i, \quad (3)$$

továbbá

$$MPE_n = \frac{\mu_0 m_n}{4\pi a^{n+2}} = \frac{M_n}{\prod_{i=1}^n \sin \vartheta_i}, \quad (4)$$

$$\sin \vartheta_i \neq 0, (i = 1, 2, \dots, n),$$

ahol MPE_n az n -edik multipólus erőssége (nT), $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ Vs/Am, a vákuum permeabilitása, továbbá m_n az n -edik multipólus momentuma ($Am^{(n+2)}$), a a Föld sugara és

$$M_n = \sqrt{(h_n^{m=n})^2 + (g_n^{m=n})^2}, \quad (5)$$

amelyben

$$K_1^2 = 1, K_2^2 = 3, K_3^2 = 22,5, K_4^2 = 315, K_5^2 = 22,5 \times 315. \quad (6)$$

Megjegyzendő, hogy az n -edik multipólus erősségére az itt megadott MPE_n mellett az $n!MPE_n$ is használatos.

Miután LA_n és M_n ily módon ismertek, az n db ismeretlen λ -ból egy, pl. λ_n kiküszöbölhető, és az MPE_n multipólus erősség helyébe a (4) egyenlet jobb oldalát képező hányados tehető. Ezekkel a helyettesítésekkel az egyenletek és az ismeretlenek száma bármely multipólus esetén 2-vel csökken, azaz az n -edik multipólus esetén $(2n - 1)$ -re redukálódik. A fent idézett munkákban a szerzők nem éltek ezzel a lehetőséggel. Ezek után minden egyenlet jobb oldalán szorozóként megjelenik a (4) egyenlet jobb oldalát képező hányados, amely lehetővé teszi a λ_i ($i = 1, 2, \dots, 5$) változók megtartása mellett, hogy a ϑ_i ($i = 1, 2, \dots, 5$) változók helyett új változókat vezessünk be a következőképpen:

$$X = 1/\operatorname{tg} \vartheta_1, \quad Y = 1/\operatorname{tg} \vartheta_2, \quad Z = 1/\operatorname{tg} \vartheta_3, \\ KSZI = 1/\operatorname{tg} \vartheta_4, \quad ETA = 1/\operatorname{tg} \vartheta_5. \quad (7)$$

A $\vartheta_i = Ti$, $\lambda_i = Li$, ($i = 1, 2, \dots, 5$), (azaz pl. $\vartheta_2 = T2$ vagy $\lambda_4 = L4$), $LA_n = LA$, (azaz pl. $LA_3 = LA$ és $M_n = Mn$), ($n = 1, 2, \dots, 5$) jelölések mellett, az egyes multipólusokra vonatkozóan az 1. Függelékben megadott egyenletek érvényesek.

Az egyenletek megoldása

A multipólus paraméterek kiszámítása az 1. Függelékben félkövér írással feltüntetett egyenletek megoldásával történt.

Eltekintve a dipólustól, vagyis az $n > 1$ esettől kezdve többváltozós nemlineáris egyenletekkel állunk szemben, amelyek közül csak az $n = 2$ esetre van bizonyítottan helyes közvetlen analitikai megoldás (Willis 1982), ezért olyan iteratív megoldási eljárást kellett keresnünk, amely egységesen alkalmazható az itt tárgyalt multipólusokra. Az alkalmazás feltétele az egyenletek egy közelítő megoldásrendszerének megadása, amely esetünkben könnyen teljesíthető a Bevezetésben hivatkozott munkák alapján.

A közelítő megoldásrendszer felhasználásával az egyenleteket Taylor-sorfejtés útján linearizáltam, amellyel multipólusonként $(2n - 1)$ ismeretlenes inhomogén lineáris egyenletrendszert kaptam a változók javítására. A lineáris egyenletrendszerek megoldására Gauss-eliminációt alkalmaztam. A változók új értékeivel egy következő iterációt generáltam. Az eljárást addig folytattam, amíg az eredeti egyenletek bal és jobb oldalának különbségei $\leq 10^{-6}$ nagyságrendben stabilizálódtak, ami általában 5–10 iterációs lépés után bekövetkezett. A számítások 32 bites asztali számítógépen, QBASIC programmal történtek.

Az eredmények ellenőrzésére a fentebb már hivatkozott dolgozatokban (Winch, Slaucitajs 1966a,b, Winch 1967a,b)

közölt adatokat használtam fel. A triviális dipólus esettől eltekintve, saját programjaimmal kiszámoltam az ott tárgyalt epochákra és bemeneti harmonikus koefficiensekkel a kvadrupólus, az oktopólus, a szedecimupólus és a duotrigintupólus paramétereit. Két kivételtől eltekintve a kétféle módszerrel elvégzett számítás azonos eredményekre (paraméterértékekre) vezetett. Az 1922 és 1945 epochák esetében a duotrigintupólus paramétereit különbözőnek adódtak, noha az IGRF-13 adatokra épülő számítások mindkét epochára konzisztens paramétereket szolgáltatottak. Számításaim pontosságára jellemző, hogy a

fordított feladat elvégzésével meghatározott harmonikus koefficiens értékek 1 nT-n belül visszaadják a kiindulási IGRF-13 táblázati értékeket.

A következő táblázatokban a multipólusok \hat{E} -i mágneszettségű pólusainak két tizedesre kerekített paraméterértékei állnak. A D-i mágneszettségű pólusok antipodálisan helyezkednek el, kivéve az excentrikus dipólust, amelyre ezeket is feltüntettem (l. 1. táblázat). Megjegyzendő, hogy adott multipólusra a pólusok polaritását páronként megváltoztatva a tér potenciálja nem változik meg.

A multipólus ($n = 1, 2, \dots, 5$) paraméterek táblázatai

1. táblázat A földmágneses dipólus ($n=1$) paramétereit 5 évenként 1900 és 2020 között, kiegészítve a Schmidt-féle excentrikus dipólus excentricitására jellemző adataival és „pólusainak” koordinátaival. *Jelmagyarázat:* Epoch: évek; λ_1 a földmágneses dipólus \hat{E} -i mágneszettségű pólusának geocentrikus hosszúságkoordinátája; φ_1 a földmágneses dipólus \hat{E} -i mágneszettségű pólusának geocentrikus szélességkoordinátája; MPE_1 : a földmágneses dipólus erőssége. *További jelölések:* ($\lambda_0, \varphi_0, R_0$) a mágneses középpont (sensu A. Schmidt) geocentrikus koordinátái; ($\lambda(N), \varphi(N)$), ill. ($\lambda(S), \varphi(S)$) az excentrikus dipólus (sensu A. Schmidt) tengely dőléspontjainak gömbfelszíni koordinátái

Table 1 Parameters of the geomagnetic dipole ($n = 1$) between 1900 and 2020, supplemented by the relevant values of eccentricities and pole coordinates of the Schmidt eccentric dipole. *Symbols:* Epoch: (years); λ_1 : geocentric longitude of the geomagnetic S pole; φ_1 : geocentric latitude of the geomagnetic S pole; MPE_1 : strength of the geocentric dipole. *Further symbols:* ($\lambda_0, \varphi_0, R_0$): geocentric coordinates (long., lat., radius) of the magnetic centre (sensu Schmidt); $\lambda(N), \varphi(N)$, resp. $\lambda(S), \varphi(S)$: geocentric coordinates of the piercing points on the globe of the axis of the eccentric dipole

Epoch	λ_1	φ_1	MPE_1	λ_0	φ_0	R_0	$\lambda(N)$	$\varphi(N)$	$\lambda(S)$	$\varphi(S)$
	(°)	(°)	(nT)	(°)	(°)	(km)	(°)	(°)	(°)	(°)
1900	111,21	-78,61	32176,3	162,51	7,21	330,50	121,14	-76,54	283,46	80,22
1905	111,25	-78,61	32096,3	162,50	7,87	337,20	121,32	-76,48	283,52	80,25
1910	111,28	-78,59	31986,6	162,27	8,31	344,43	121,46	-76,40	283,60	80,27
1915	111,43	-78,57	31843,7	161,64	8,56	351,78	121,63	-76,30	283,70	80,33
1920	111,62	-78,56	31689,9	160,76	8,88	359,40	121,80	-76,20	283,80	80,40
1925	111,73	-78,55	31553,6	159,67	9,41	368,47	121,87	-76,09	283,91	80,50
1930	111,74	-78,53	31433,2	158,31	9,93	378,01	121,80	-75,94	284,06	80,58
1935	111,64	-78,49	31344,9	156,79	10,59	386,60	121,56	-75,80	284,20	80,67
1940	111,49	-78,47	31286,0	155,19	11,55	395,10	121,25	-75,65	284,35	80,76
1945	111,47	-78,47	31224,6	153,71	13,12	406,83	121,09	-75,52	284,48	80,90
1950	111,15	-78,47	31183,8	152,03	13,99	418,95	120,67	-75,38	284,62	81,04
1955	110,84	-78,46	31129,2	150,69	14,91	430,30	120,29	-75,25	284,75	81,15
1960	110,53	-78,51	31043,2	149,59	16,09	441,58	119,98	-75,19	284,81	81,30
1965	110,15	-78,53	30951,5	148,75	17,20	451,57	119,62	-75,13	284,87	81,40
1970	109,82	-78,59	30829,1	148,24	18,45	462,60	119,40	-75,10	284,90	81,53
1975	109,53	-78,69	30696,3	147,95	19,69	474,38	119,29	-75,11	284,89	81,68
1980	109,24	-78,81	30573,8	147,29	20,39	488,63	119,17	-75,11	284,89	81,88
1985	109,10	-78,97	30434,7	146,58	20,85	502,26	119,18	-75,15	269,95	82,15
1990	108,87	-79,14	30318,2	145,64	21,11	514,67	119,04	-75,20	268,92	82,40
1995	108,58	-79,32	30275,2	144,59	21,50	526,95	118,83	-75,26	267,77	82,68
2000	108,43	-79,54	30119,6	143,16	21,81	540,14	118,64	-75,34	266,73	83,03
2005	108,19	-79,75	30034,1	141,65	22,18	551,96	118,31	-75,42	265,70	83,36
2010	107,78	-80,01	39946,5	140,22	22,48	563,32	117,91	-75,57	264,15	83,73
2015	107,38	-80,31	29697,1	138,66	22,57	576,78	117,52	-75,72	262,24	84,14
2020	107,32	-80,59	29806,0	136,97	22,66	590,48	117,28	-75,84	260,79	84,56

Megjegyzés: A mágneses középpont paramétereit Bartels (1936) képleteinek felhasználásával számítottam ki.

Remark: The parameters of the magnetic centre were computed by the formulae given in Bartels (1936).

2. táblázat A földmágneses kvadrupólus ($n = 2$) paraméterei 5 évenként 1900 és 2020 között. *Jelmagyarázat:* Epoch: évek; $(\vartheta_1, \lambda_1), (\vartheta_2, \lambda_2)$ a kvadrupólus tengelyek dőféspontjainak (a „pólusoknak”) geocentrikus pólustávolság és hosszúság-koordinátái a gömbön; MPE_2 : a kvadrupólus erőssége

Table 2 Parameters of the geomagnetic quadrupole ($n = 2$) between 1900 and 2020. *Symbols:* Epoch: (years); $(\vartheta_1, \lambda_1), (\vartheta_2, \lambda_2)$: geocentric co-latitudes and longitudes of the poles of the geomagnetic quadrupole; MPE_2 : strength of the same

Epoch	ϑ_1	λ_1	ϑ_2	λ_2	MPE_2
	(°)	(°)	(°)	(°)	
1900	81,09	164,12	155,00	246,38	2008,7
1905	81,39	163,70	154,77	241,95	2040,4
1910	81,86	162,96	154,30	237,41	2076,2
1915	82,27	161,76	153,81	233,26	2109,7
1920	82,42	160,56	153,62	229,76	2136,6
1925	82,18	159,47	153,80	226,86	2166,1
1930	81,71	158,28	154,08	224,72	2200,0
1930	81,71	158,28	154,08	224,72	2200,0
1935	80,93	157,16	154,32	223,55	2235,5
1940	79,85	156,15	154,71	222,48	2269,0
1945	78,30	155,54	155,19	221,28	2316,7
1950	77,33	154,29	155,99	219,30	2358,3
1955	76,47	153,31	156,55	217,11	2399,1
1960	75,52	152,62	156,93	214,76	2439,5
1965	74,74	152,07	157,25	212,02	2472,7
1970	74,01	151,83	157,35	209,06	2512,6
1975	73,38	151,74	157,36	205,88	2556,3
1980	73,23	150,98	157,26	202,16	2612,9
1985	73,12	150,21	157,17	199,51	2665,9
1990	72,87	149,34	157,38	198,18	2712,2
1995	72,37	148,54	157,67	197,66	2759,5
2000	71,84	147,36	158,00	197,31	2810,1
2005	71,30	146,10	158,24	196,63	2854,9
2010	70,98	144,88	158,21	196,08	2903,6
2015	70,80	143,47	158,24	195,57	2961,0
2020	70,65	141,86	158,22	194,49	3019,9

3. táblázat A földmágneses okkupólus ($n = 3$) paraméterei 5 évenként 1900 és 2020 között. *Jelmagyarázat:* Epoch: évek; $(\vartheta_1, \lambda_1), (\vartheta_2, \lambda_2), (\vartheta_3, \lambda_3)$ az okkupólus tengelyek dőféspontjainak (a „pólusoknak”) geocentrikus pólustávolság és hosszúság koordinátái a gömbön; MPE_3 : az okkupólus erőssége

Table 3 Parameters of the geomagnetic octupole ($n = 3$) between 1900 and 2020. *Symbols:* Epoch: (years); $(\vartheta_1, \lambda_1), (\vartheta_2, \lambda_2), (\vartheta_3, \lambda_3)$: geocentric co-latitudes and longitudes of the poles of the geomagnetic octupole; MPE_3 : strength of the same

Epoch	ϑ_1	λ_1	ϑ_2	λ_2	ϑ_3	λ_3	MPE_3
	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	
1900	57,57	141,28	21,40	29,59	67,68	231,57	573,48
1905	57,82	141,44	21,60	24,28	67,54	231,37	582,83
1910	57,95	141,43	21,91	18,60	67,42	231,05	594,40
1915	58,00	141,21	22,31	13,03	67,33	230,59	608,32
1920	58,02	140,96	22,66	8,25	67,11	230,04	622,42

3. táblázat. (folyt.)

Table 3 (cont'd)

Epoch	ϑ_1	λ_1	ϑ_2	λ_2	ϑ_3	λ_3	MPE ₃
	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(nT)
1925	57,92	140,73	22,82	4,38	66,76	229,46	635,56
1930	57,69	140,45	22,78	1,00	66,38	228,92	648,39
1935	57,42	140,08	22,53	-2,20	65,93	228,40	660,59
1940	57,14	139,66	22,11	-4,81	65,44	227,84	672,12
1945	57,18	139,38	21,71	-7,78	64,71	227,71	684,78
1950	57,27	139,52	21,17	-9,57	63,93	227,11	692,31
1955	57,24	139,66	20,80	-11,37	63,42	226,33	699,27
1960	57,59	139,70	20,79	-13,37	62,63	225,25	703,29
1965	57,48	140,03	20,45	-15,43	62,11	224,49	705,78
1970	57,52	140,56	20,33	-17,03	61,27	223,31	705,84
1975	57,56	141,18	20,41	-18,35	60,55	222,13	706,95
1980	57,37	141,40	20,62	-19,73	60,35	221,50	711,81
1985	57,49	141,25	20,85	-21,79	59,75	220,82	715,93
1990	57,40	140,93	20,83	-24,60	59,04	219,97	718,68
1995	57,14	140,35	20,89	-28,63	58,31	218,92	720,50
2000	57,01	139,69	20,96	-31,87	57,77	217,67	720,06
2005	56,69	139,26	20,86	-33,69	57,45	216,46	717,00
2010	56,39	139,14	20,63	-34,76	56,83	215,34	712,87
2015	56,12	139,19	20,10	-36,35	55,80	214,35	708,32
2020	55,83	139,13	19,47	-38,65	54,90	213,58	706,62

4. táblázat A földmágneses szedecimupólus ($n = 4$) paramétereit 5 évenként 1900 és 2020 között. *Jelmagyarázat:* Epoch: évek; (ϑ_1, λ_1), (ϑ_2, λ_2), (ϑ_3, λ_3), (ϑ_4, λ_4) a szedecimupólus tengelyek dőféspontjainak (a „pólusoknak”) geocentrikus pólustávolság és hosszúság koordinátái a gömbön; MPE_{*i*}: a szedecimupólus erőssége

Table 4 Parameters of the geomagnetic sedecimupole ($n = 4$) between 1900 and 2020. Symbols: Epoch: (years); (ϑ_1, λ_1), (ϑ_2, λ_2), (ϑ_3, λ_3), (ϑ_4, λ_4): geocentric co-latitudes and longitudes of the poles of the geomagnetic sedecimupole; MPE_{*i*}: strength of the same.

Epoch	ϑ_1	λ_1	ϑ_2	λ_2	ϑ_3	λ_3	ϑ_4	λ_4	MPE ₄
	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(nT)
1900	31,55	216,25	59,24	311,19	68,82	57,53	12,35	105,79	96,5
1905	31,26	216,12	59,17	311,51	69,03	56,71	12,80	111,66	97,7
1910	30,99	216,15	59,02	311,77	69,29	55,72	13,50	117,40	98,9
1915	31,02	216,56	58,75	311,89	69,52	54,50	14,62	121,05	100,1
1920	31,48	217,40	58,43	311,75	69,64	53,09	16,04	121,78	101,2
1925	32,06	218,19	58,06	311,31	69,69	51,55	17,33	121,08	102,1
1930	32,97	219,02	57,66	310,66	69,61	50,00	18,58	119,28	102,9
1935	32,94	219,04	57,64	310,74	69,58	49,91	18,57	119,28	103,0
1940	34,81	220,55	56,99	309,59	68,94	46,57	21,03	115,28	105,5
1945	36,24	220,82	57,50	308,94	68,76	45,26	22,86	114,63	109,9
1950	36,53	220,19	57,35	308,63	68,10	44,12	23,77	112,34	110,8
1955	36,52	219,14	57,14	308,33	67,52	43,43	24,15	110,68	110,4
1960	36,23	217,53	57,17	307,44	67,44	42,68	24,38	108,88	110,3
1965	36,28	215,73	56,80	307,51	67,13	42,24	24,52	107,64	109,7

4. táblázat. (folyt.)

Table 4 (cont'd)

Epoch	ϑ_1	λ_1	ϑ_2	λ_2	ϑ_3	λ_3	ϑ_4	λ_4	MPE ₄
	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(nT)
1970	36,29	213,69	56,58	307,30	67,33	42,12	24,39	106,87	109,0
1975	36,50	211,29	56,31	307,08	67,71	42,14	24,15	106,36	108,2
1980	36,95	208,30	56,03	307,19	67,94	41,92	23,98	106,41	107,3
1985	36,95	205,16	55,41	307,10	67,88	41,62	23,38	105,91	106,0
1990	37,03	202,29	54,75	306,93	67,58	41,15	22,97	104,88	105,0
1995	37,36	200,30	54,08	306,78	67,48	40,56	23,07	104,10	104,4
2000	37,07	198,78	53,23	306,70	67,59	39,39	23,33	105,25	103,1
2005	36,65	197,45	52,34	306,57	67,75	37,92	23,96	106,19	101,9
2010	36,44	196,13	51,48	306,68	67,68	36,34	24,75	106,95	100,9
2015	36,90	194,51	50,97	306,68	67,36	34,54	26,04	106,34	100,4
2020	37,10	192,85	50,72	306,36	66,91	32,98	27,62	105,63	99,9

5. táblázat A földmágneses duotrigintupólus ($n = 5$) paramétereit 5 évenként 1900 és 2020 között. *Jelmagyarázat:* Epoch: évek; (ϑ_1, λ_1), (ϑ_2, λ_2), (ϑ_3, λ_3), (ϑ_4, λ_4), (ϑ_5, λ_5) a duotrigintupólus tengelyek dőléspontjainak (a „pólusoknak”) geocentrikus pólustávolság és hosszúság koordinátái a gömbön; MPE₅: a duotrigintupólus erőssége

Table 5 Parameters of the geomagnetic duotrigintupole ($n = 5$) between 1900 and 2020. *Symbols:* Epoch: (years); (ϑ_1, λ_1), (ϑ_2, λ_2), (ϑ_3, λ_3), (ϑ_4, λ_4), (ϑ_5, λ_5): geocentric co-latitudes and longitudes of the poles of the geomagnetic duotrigintupole; MPE₅: strength of the same

Epoch	ϑ_1	λ_1	ϑ_2	λ_2	ϑ_3	λ_3	ϑ_4	λ_4	ϑ_5	λ_5	MPE ₅
	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(nT)
1900	127,79	242,37	94,43	-28,55	143,66	29,15	176,06	113,71	136,44	172,70	8,8
1905	127,48	242,05	94,69	-27,16	142,64	26,20	173,45	102,96	135,31	173,02	8,7
1910	127,15	241,37	95,00	-25,56	140,90	23,26	170,52	98,86	133,92	173,15	8,7
1915	126,90	240,73	95,55	-23,42	138,75	20,54	167,65	97,44	132,52	172,60	8,6
1920	126,69	239,75	96,42	-21,02	136,40	18,77	165,30	96,12	131,45	171,63	8,6
1925	126,63	238,60	97,67	-18,37	134,25	17,79	163,71	95,40	131,20	170,12	8,5
1930	126,34	237,19	99,15	-15,94	132,21	17,12	162,41	94,71	131,70	168,83	8,4
1935	125,71	235,94	100,51	-13,78	130,62	16,81	161,52	93,36	132,67	167,57	8,4
1940	124,78	234,83	101,25	-11,69	129,47	16,16	161,02	91,83	133,72	166,63	8,3
1945	123,67	236,95	105,50	-6,78	127,43	11,76	159,58	89,03	134,00	164,04	8,6
1950	121,90	234,76	101,59	-4,96	128,82	11,93	160,55	87,27	134,60	164,54	8,5
1955	120,74	232,92	97,66	-3,39	130,33	10,95	161,64	86,15	134,98	164,87	8,5
1960	118,22	231,57	95,62	-4,36	131,24	10,45	161,63	83,67	137,13	166,53	8,6
1965	116,78	229,40	94,21	-4,71	131,80	8,68	160,84	85,50	139,30	168,55	8,5
1970	114,64	228,12	93,18	-4,77	131,53	7,82	161,16	82,96	140,81	169,87	8,6
1975	112,65	226,67	93,47	-4,91	130,60	6,91	160,96	78,51	142,24	171,93	8,6
1980	111,88	225,05	92,94	-2,23	128,81	4,09	160,82	77,75	141,96	172,89	8,4
1985	111,15	224,25	93,78	-2,02	126,22	3,18	160,93	76,02	142,10	174,11	8,3
1990	110,48	223,80	95,26	-1,15	124,28	1,21	161,47	72,36	142,52	174,15	8,2
1995	109,96	224,46	95,61	1,64	124,56	-4,75	160,87	66,16	142,26	171,52	8,3
2000	110,15	224,06	96,74	5,20	123,15	-10,44	161,00	67,52	143,44	170,58	8,4
2005	110,79	223,62	96,95	8,58	123,29	-15,76	160,76	71,34	145,47	169,66	8,6

5. táblázat. (folyt.)
Table 5 (cont'd)

Epoch	ϑ_1	λ_1	ϑ_2	λ_2	ϑ_3	λ_3	ϑ_4	λ_4	ϑ_5	λ_5	MPE ₅
	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(nT)
2010	110,57	223,25	96,12	9,98	124,43	-19,30	160,47	72,26	147,54	168,36	8,7
2015	110,06	223,48	95,83	10,55	125,67	-21,66	160,01	69,59	148,91	165,58	8,9
2020	109,40	224,03	95,50	10,39	126,81	-23,90	159,38	68,29	150,47	163,42	9,1

Értékelés

A földmágneses tér IGRF-13 modelljének felhasználásával meghatároztam a modellel lefedett teljes 1900–2020 periódusra az első öt földmágneses multipólus tengelyeit és erősségeit. Ezzel az IGRF-13 megfelelő részével ($n = 1, 2, \dots, 5$) azonos értékű adathalmazt nyertünk, amely szintén tükrözi a Föld magjából eredő mágneses tér legnagyobb részének változásait és komponenseinek arányát. Mind a multipólus tengelyek, mind az erősségek konzisztens adatsort képeznek és további vizsgálatokra alkalmasak.

A 2. Függelékben elhelyezett *F1–F5. ábrák* az egyes multipólusok ($n = 1, 2, \dots, 5$) szögkoordinátáinak időbeli változásait mutatják, az *F6. ábra* pedig az erősségek idődiagramjait tartalmazza. Az ábrák léptékeit úgy választottam, hogy egy-egy multipólus összes szögparamétere egyetlen diagramra kerüljön. Ezzel elegendően sima pontsorokat kaptunk, amelyek az évszázados változás trendjeit jól tükrözik. Adott multipólus meridionális (É-i vagy D-i) irányú trendje a pólustávolság-paraméterből, azimutális (K-i vagy Ny-i) irányú trendje a hosszúságparaméterből olvasható ki. A multipólusok pólusainak lassú mozgását a gömbi Föld felszínén m/év-ben szokás kifejezni (drift). A meridionális drift az $a(d\vartheta/dt)$, az azimutális drift az $a \sin \vartheta (d\lambda/dt)$ képletekkel számítható ki, ahol a a gömbi Föld sugara ($a = 6371200$ m), ϑ és λ az adott multipólus kiszemelt pólusának szögparaméterei és t (év) az idő. A konkrét számításokkal, amelyek a 3. Függelékben táblázatosan megadott egyenletek felhasználásával történhetnek, az érdeklődő olvasóra hagyatkozunk.

A fenténél nagyobb felbontásban ábrázolva, a multipólus-paraméterek az idő függvényében kisebb-nagyobb

„hullámzást” mutatnak és az $n > 2$ rendű multipólusok esetében kiugró értékek is megjelennek (l. 3–5. táblázat). A legfeltűnőbbek az IGRF/DGRF-váltás környékiek. Miután a kiugró értékek nem számítási hibából adódnak, valószínű, hogy a számításukra használt koefficiensek „zajosságából” erednek. A rátevődött hullámok analízise viszont külön tanulmányt érdemel.

A tanulmány szerzője

Márton Péter

Hivatkozások

- Bartels J. (1936): The eccentric dipole approximating the Earth's magnetic field. *Terr. Mag.*, 41, 225–250.
- IGRF-13, 2019, I. URL <http://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmod/igrf.html>
- James R. W. (1968): Multipole analysis: I. Theory, and geomagnetic multipoles 1965.0. *Aust. J. Phys.*, 21, 455–464.
- James R. W. (1969): Multipole analysis: II. Geomagnetic secular variation. *Aust. J. Phys.*, 22, 481–495.
- Maxwell J. C. (1892): *Treatise on Electricity and Magnetism*. 3rd ed., Vol. 1, Ch. 9. Oxford Univ. Press
- Willis D. M. (1982): A direct analytical method of calculating the quadrupole parameters of a planetary magnetic field. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 68, 751–784.
- Winch D. E., Slaucajts L. (1966a): Geomagnetic multipoles, 1829 to 1960. *Pure Appl. Geophys.*, 63, 121–132.
- Winch D. E., Slaucajts L. (1966b): Geomagnetic multipoles, 1965. *Pure Appl. Geophys.*, 65, 95–101.
- Winch D. E. (1967a): The fourth order geomagnetic multipole: the sedecimupole. *Pure Appl. Geophys.*, 67, 112–122.
- Winch D. E. (1967b): The fifth order geomagnetic multipole: the duotrigintupole. *Pure Appl. Geophys.*, 68, 90–102.

1. FÜGGELÉK

QBASIC program részletek a multipólus paraméterek meghatározásához szükséges egyenletek (vastagon szedve) felállításáról (jelölések mint „A számítások módszere című részben”)

APPENDIX 1

Segments of QBASIC programs, eventually showing the equations (printed in bold) to be solved for the determination of the multipole parameters for the first five multipoles (for undefined notations see text)

A földmágneses dipólusra ($n = 1$):

$$\begin{aligned} G_{10} &= g_1^0 : G_{11} = g_1^1 : H_{11} = h_1^1 \\ LA &= \text{ATN}(H_{11} / G_{11}) : M_1 = \text{SQR}(G_{11}^2 + H_{11}^2) \\ G_{10} &= G_{10} / M_1 \\ X &= 1 / \text{TAN}(T_1) \\ L_1 &= LA \\ \mathbf{G_{10} = X} \end{aligned}$$

A földmágneses kvadrupólusra ($n = 2$):

$$\begin{aligned} G_{20} &= g_2^0 : G_{21} = g_2^1 : H_{21} = h_2^1 : G_{22} = g_2^2 : H_{22} = h_2^2 \\ LA &= \text{ATN}(H_{22} / G_{22}) : M_2 = \text{SQR}((G_{22}^2 + H_{22}^2) / 3) \\ G_{20} &= G_{20} / (2 * M_2) : G_{21} = G_{21} / (\text{SQR}(3) * M_2) : H_{21} = H_{21} / (\text{SQR}(3) * M_2) \\ X &= 1 / \text{TAN}(T_1) : Y = 1 / \text{TAN}(T_2) \\ L_2 &= LA - L_1 \\ \mathbf{G_{20} = X * Y - .5 * \text{COS}(2 * L_1 - LA)} \\ \mathbf{G_{21} = X * \text{COS}(LA - L_1) + Y * \text{COS}(L_1)} \\ \mathbf{H_{21} = X * \text{SIN}(LA - L_1) + Y * \text{SIN}(L_1)} \end{aligned}$$

A földmágneses oktapólusra ($n = 3$):

$$\begin{aligned} G_{30} &= g_3^0 : G_{31} = g_3^1 : H_{31} = h_3^1 : G_{32} = g_3^2 : H_{32} = h_3^2 : G_{33} = g_3^3 : H_{33} = h_3^3 \\ LA &= \text{ATN}(H_{33} / G_{33}) : M_3 = \text{SQR}(10 * (G_{33}^2 + H_{33}^2)) / 15 \\ G_{30} &= G_{30} / (6 * M_3) : G_{31} = G_{31} / (2 * \text{SQR}(6) * M_3) : H_{31} = H_{31} / (2 * \text{SQR}(6) * M_3) : G_{32} = G_{32} / (\text{SQR}(15) * M_3) : \\ &H_{32} = H_{32} / (\text{SQR}(15) * M_3) \\ X &= 1 / \text{TAN}(T_1) : Y = 1 / \text{TAN}(T_2) : Z = 1 / \text{TAN}(T_3) \\ L_3 &= LA - L_1 - L_2 \\ \mathbf{G_{30} = X * Y * Z - .5 * X * \text{COS}(2 * L_2 + L_1 - LA) - .5 * Y * \text{COS}(2 * L_1 + L_2 - LA) - .5 * Z * \text{COS}(L_1 - L_2)} \\ \mathbf{G_{31} = X * Y * \text{COS}(LA - L_1 - L_2) + X * Z * \text{COS}(L_2) + Y * Z * \text{COS}(L_1) - \text{COS}(L_1) * \text{COS}(L_2) * \text{COS}(LA - L_1 - L_2) + .25 * \text{COS}(LA)} \\ \mathbf{H_{31} = X * Y * \text{SIN}(LA - L_1 - L_2) + X * Z * \text{SIN}(L_2) + Y * Z * \text{SIN}(L_1) - \text{SIN}(L_1) * \text{SIN}(L_2) * \text{SIN}(LA - L_1 - L_2) - .25 * \text{SIN}(LA)} \\ \mathbf{G_{32} = X * \text{COS}(LA - L_1) + Y * \text{COS}(LA - L_2) + Z * \text{COS}(L_1 + L_2)} \\ \mathbf{H_{32} = X * \text{SIN}(LA - L_1) + Y * \text{SIN}(LA - L_2) + Z * \text{SIN}(L_1 + L_2)} \end{aligned}$$

A földmágneses szedecimupólusra ($n = 4$):

$$\begin{aligned} G_{40} &= g_4^0 : G_{41} = g_4^1 : H_{41} = h_4^1 : G_{42} = g_4^2 : H_{42} = h_4^2 : G_{43} = g_4^3 : H_{43} = h_4^3 \\ G_{44} &= g_4^4 : H_{44} = h_4^4 \\ LA &= \text{ATN}(H_{44} / G_{44}) : M_4 = \text{SQR}((G_{44}^2 + H_{44}^2) / 315) \\ G_{40} &= G_{40} / (12 * M_4) : G_{41} = G_{41} / (\text{SQR}(90) * M_4) : H_{41} = H_{41} / (\text{SQR}(90) * M_4) \\ G_{42} &= G_{42} / (\text{SQR}(180) * M_4) : H_{42} = H_{42} / (\text{SQR}(180) * M_4) : G_{43} = G_{43} / (M_4 * \text{SQR}(315 / 2)) : H_{43} = H_{43} / (M_4 * \text{SQR}(315 / 2)) : \\ X &= 1 / \text{TAN}(T_1) : Y = 1 / \text{TAN}(T_2) : Z = 1 / \text{TAN}(T_3) : \text{KSZI} = 1 / \text{TAN}(T_4) \\ L_4 &= LA - L_1 - L_2 - L_3 \\ \mathbf{G_{40} = 2 * X * Y * Z * \text{KSZI} - X * \text{KSZI} * \text{COS}(L_2 - L_3) - Y * \text{KSZI} * \text{COS}(L_1 - L_3) - Z * \text{KSZI} * \text{COS}(L_1 - L_2) - X * Y * \text{COS}(L_3 - L_4) - X * Z * \text{COS}(L_2 - L_4) - Y * Z * \text{COS}(L_1 - L_4) + \text{COS}(L_1) * \text{COS}(L_2) * \text{COS}(L_3) * \text{COS}(L_4) + \text{SIN}(L_1) * \text{SIN}(L_2) * \text{SIN}(L_3) * \text{SIN}(L_4) - .25 * \text{COS}(LA)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 G41 &= 2 * X * Y * Z - X * \cos(L2 - L3) - Y * \cos(L1 - L3) - Z * \cos(L1 - L2)) * \cos(L4) - .5 * X * \cos(L2 + L3 - L4) \\
 &- .5 * Y * \cos(L1 + L3 - L4) - .5 * Z * \cos(L1 + L2 - L4) + 2 * X * Y * KSZI * \cos(L3) + 2 * X * Z * KSZI * \cos(L2) + \\
 &2 * Y * Z * KSZI * \cos(L1) - 2 * KSZI * \cos(L1) * \cos(L2) * \cos(L3) + .5 * KSZI * \cos(L1 + L2 + L3) \\
 H41 &= 2 * X * Y * Z - X * \cos(L2 - L3) - Y * \cos(L1 - L3) - Z * \cos(L1 - L2)) * \sin(L4) - .5 * X * \sin(L2 + L3 - L4) - .5 \\
 &* Y * \sin(L1 + L3 - L4) - .5 * Z * \sin(L1 + L2 - L4) + 2 * X * Y * KSZI * \sin(L3) + 2 * X * Z * KSZI * \sin(L2) + 2 * Y * \\
 &Z * KSZI * \sin(L1) - 2 * KSZI * \sin(L1) * \sin(L2) * \sin(L3) - .5 * KSZI * \sin(L1 + L2 + L3) \\
 G42 &= X * Y * \cos(L3 + L4) + X * Z * \cos(L2 + L4) + Y * Z * \cos(L1 + L4) - \cos(L1) * \cos(L2) * \cos(L3) * \\
 &\cos(L4) + \sin(L1) * \sin(L2) * \sin(L3) * \sin(L4) + X * KSZI * \cos(L2 + L3) + Y * KSZI * \cos(L1 + L3) + Z * KSZI \\
 &* \cos(L1 + L2) \\
 H42 &= X * Y * \sin(L3 + L4) + X * Z * \sin(L2 + L4) + Y * Z * \sin(L1 + L4) - \sin(L1) * \sin(L2) * \sin(L3) * \cos(L4) \\
 &- \cos(L1) * \cos(L2) * \cos(L3) * \sin(L4) - .5 * \sin(L1 + L2 + L3 - L4) + X * KSZI * \sin(L2 + L3) + Y * KSZI * \\
 &\sin(L1 + L3) + Z * KSZI * \sin(L1 + L2) \\
 G43 &= X * \cos(LA - L1) + Y * \cos(LA - L2) + Z * \cos(LA - L3) + KSZI * \cos(L1 + L2 + L3) \\
 H43 &= X * \sin(LA - L1) + Y * \sin(LA - L2) + Z * \sin(LA - L3) + KSZI * \sin(L1 + L2 + L3)
 \end{aligned}$$

A földmágneses duotrigintupólusra ($n = 5$):

$$\begin{aligned}
 G50 &= g_5^0 : G51 = g_5^1 : H51 = h_5^1 : G52 = g_5^2 : H52 = h_5^2 : G53 = g_5^3 : H53 = h_5^3 \\
 G54 &= g_5^4 : H54 = h_5^4 : G55 = g_5^5 : H55 = h_5^5 \\
 LA &= \text{ATN}(H55 / G55) : M5 = \text{SQR}(G55^2 + H55^2) / (.5 * \text{SQR}(315 * 90)) \\
 G50 &= G50 / (30 * M5) : G51 = G51 / (2 * M5 * \text{SQR}(540)) : H51 = H51 / (2 * M5 * \text{SQR}(540)) \\
 G52 &= G52 / (\text{SQR}(945) * M5) : H52 = H52 / (\text{SQR}(945) * M5) : G53 = G53 / (2 * M5 * \text{SQR}(630)) : H53 = H53 / (2 * M5 \\
 &* \text{SQR}(630)) : G54 = G54 / (3 * M5 * \text{SQR}(315)) : H54 = H54 / (3 * M5 * \text{SQR}(315)) \\
 X &= 1 / \text{TAN}(T1) : Y = 1 / \text{TAN}(T2) : Z = 1 / \text{TAN}(T3) : KSZI = 1 / \text{TAN}(T4) : ETA = 1 / \text{TAN}(T5) \\
 L5 &= LA - L1 - L2 - L3 - L4 \\
 A501 &= -2 * X * Y * Z * \cos(L4 - L5) + X * Y * \cos(L2 - L3) * \cos(L4 - L5) + Y * \cos(L1 - L3) * \cos(L4 - L5) + Z * \\
 &\cos(L1 - L2) * \cos(L4 - L5) + .5 * X * \cos(L2 + L3 - L4 - L5) + .5 * Y * \cos(L1 + L3 - L4 - L5) + .5 * Z * \cos(L1 + \\
 &L2 - L4 - L5) - 2 * X * Y * KSZI * \cos(L3 - L5) - 2 * X * Z * KSZI * \cos(L2 - L5) - 2 * Y * Z * KSZI * \cos(L1 - L5) \\
 A502 &= 2 * KSZI * (\cos(L1) * \cos(L2) * \cos(L3) * \cos(L5) + \sin(L1) * \sin(L2) * \sin(L3) * \sin(L5)) - .5 * KSZI * \\
 &\cos(L1 + L2 + L3 + L5) + 4 * X * Y * Z * KSZI * ETA - 2 * X * KSZI * ETA * \cos(L2 - L3) - 2 * Y * KSZI * ETA * \cos(L1 \\
 &- L3) - 2 * Z * KSZI * ETA * \cos(L1 - L2) \\
 A503 &= -2 * X * Y * ETA * \cos(L3 - L4) - 2 * X * Z * ETA * \cos(L2 - L4) - 2 * Y * Z * ETA * \cos(L1 - L4) + 2 * ETA * \\
 &(\sin(L1) * \sin(L2) * \sin(L3) * \sin(L4) + \cos(L1) * \cos(L2) * \cos(L3) * \cos(L4)) - .5 * ETA * \cos(L1 + L2 + L3 \\
 &+ L4) \\
 G50 &= A501 + A502 + A503 \\
 A511 &= -.5 * X * Y * \cos(L3 + L4 - L5) - .5 * X * Z * \cos(L2 + L4 - L5) - .5 * Y * Z * \cos(L1 + L4 - L5) - .5 * X * KSZI * \\
 &\cos(L2 + L3 - L5) - .5 * Y * KSZI * \cos(L1 + L3 - L5) - .5 * Z * KSZI * \cos(L1 + L2 - L5) + .5 * (\cos(L1) * \cos(L2) \\
 &* \cos(L3) * \cos(L4 - L5) - \sin(L1) * \sin(L2) * \sin(L3) * \sin(L4 - L5)) \\
 A512 &= .25 * \sin(L1 + L2 + L3 - L4) * \sin(L5) + \cos(L5) * (2 * X * Y * Z * KSZI - X * KSZI * \cos(L2 - L3) - Y * KSZI \\
 &* \cos(L1 - L3) - Z * KSZI * \cos(L1 - L2) - X * Y * \cos(L3 - L4) - X * Z * \cos(L2 - L4) - Y * Z * \cos(L1 - L4) + \sin(L1) \\
 &* \sin(L2) * \sin(L3) * \sin(L4) + \cos(L1) * \cos(L2) * \cos(L3) * \cos(L4)) \\
 A513 &= -.25 * \cos(L1 + L2 + L3 + L4) * \cos(L5) + \cos(L4) * (2 * X * Y * Z * ETA - X * ETA * \cos(L2 - L3) - Y * ETA \\
 &* \cos(L1 - L3) - Z * ETA * \cos(L1 - L2)) - .5 * X * ETA * \cos(L2 + L3 - L4) - .5 * Y * ETA * \cos(L1 + L3 - L4) - .5 * Z \\
 &* ETA * \cos(L1 + L2 - L4) \\
 A514 &= 2 * X * Y * KSZI * ETA * \cos(L3) + 2 * X * Z * KSZI * ETA * \cos(L2) + 2 * Y * Z * KSZI * ETA * \cos(L1) - 2 * \\
 &KSZI * ETA * \cos(L1) * \cos(L2) * \cos(L3) + .5 * KSZI * ETA * \cos(L1 + L2 + L3) \\
 G51 &= A511 + A512 + A513 + A514 \\
 B511 &= -.5 * X * Y * \sin(L3 + L4 - L5) - .5 * X * Z * \sin(L2 + L4 - L5) - .5 * Y * Z * \sin(L1 + L4 - L5) - .5 * X * KSZI * \\
 &\sin(L2 + L3 - L5) - .5 * Y * KSZI * \sin(L1 + L3 - L5) - .5 * Z * KSZI * \sin(L1 + L2 - L5) + .5 * (\cos(L1) * \cos(L2) * \\
 &\cos(L3) * \sin(L4 - L5) + \sin(L1) * \sin(L2) * \sin(L3) * \cos(L4 - L5)) + .25 * \sin(L1 + L2 + L3 - L4) * \cos(L5) \\
 B512 &= \sin(L5) * (2 * X * Y * Z * KSZI - X * KSZI * \cos(L2 - L3) - Y * KSZI * \cos(L1 - L3) - Z * KSZI * \cos(L1 - L2) \\
 &- X * Y * \cos(L3 - L4) - X * Z * \cos(L2 - L4) - Y * Z * \cos(L1 - L4) + \sin(L1) * \sin(L2) * \sin(L3) * \sin(L4) + \\
 &\cos(L1) * \cos(L2) * \cos(L3) * \cos(L4) - .25 * \cos(L1 + L2 + L3 + L4)) \\
 B513 &= \sin(L4) * (2 * X * Y * Z * ETA - X * ETA * \cos(L2 - L3) - Y * ETA * \cos(L1 - L3) - Z * ETA * \cos(L1 - L2)) - .5 \\
 &* X * ETA * \sin(L2 + L3 - L4) - .5 * Y * ETA * \sin(L1 + L3 - L4) - .5 * Z * ETA * \sin(L1 + L2 - L4) \\
 B514 &= 2 * X * Y * KSZI * ETA * \sin(L3) + 2 * X * Z * KSZI * ETA * \sin(L2) + 2 * Y * Z * KSZI * ETA * \sin(L1) - 2 * \\
 &KSZI * ETA * \sin(L1) * \sin(L2) * \sin(L3) - .5 * KSZI * ETA * \sin(L1 + L2 + L3)
 \end{aligned}$$

$$\mathbf{H51 = B511 + B512 + B513 + B514}$$

$$A521 = (2 * X * Y * Z - X * \cos(L2 - L3) - Y * \cos(L1 - L3) - Z * \cos(L1 - L2)) * \cos(L4 + L5) - .5 * X * \cos(L2 + L3 - L4 + L5) - .5 * Y * \cos(L1 + L3 - L4 + L5) - .5 * Z * \cos(L1 + L2 - L4 + L5) - .5 * X * \cos(L2 + L3 + L4 + L5) - .5 * Y * \cos(L1 + L3 + L4 + L5) - .5 * Z * \cos(L1 + L2 + L4 + L5)$$

$$A522 = 2 * X * Y * \text{KSZI} * \cos(L3 + L5) + 2 * X * Z * \text{KSZI} * \cos(L2 + L5) + 2 * Y * Z * \text{KSZI} * \cos(L1 + L5) + 2 * \text{KSZI} * (\sin(L1) * \sin(L2) * \sin(L3) * \sin(L5) - \cos(L1) * \cos(L2) * \cos(L3) * \cos(L5))$$

$$A523 = 2 * X * Y * \text{ETA} * \cos(L3 + L4) + 2 * X * Z * \text{ETA} * \cos(L2 + L4) + 2 * Y * Z * \text{ETA} * \cos(L1 + L4) + 2 * X * \text{KSZI} * \text{ETA} * \cos(L2 + L3)$$

$$A524 = 2 * Y * \text{KSZI} * \text{ETA} * \cos(L1 + L3) + 2 * Z * \text{KSZI} * \text{ETA} * \cos(L1 + L2) - 2 * \text{ETA} * (\cos(L1) * \cos(L2) * \cos(L3) * \cos(L4) - \sin(L1) * \sin(L2) * \sin(L3) * \sin(L4))$$

$$\mathbf{G52 = A521 + A522 + A523 + A524}$$

$$B521 = (2 * X * Y * Z - X * \cos(L2 - L3) - Y * \cos(L1 - L3) - Z * \cos(L1 - L2)) * \sin(L4 + L5) - .5 * X * \sin(L2 + L3 - L4 + L5) - .5 * Y * \sin(L1 + L3 - L4 + L5) - .5 * Z * \sin(L1 + L2 - L4 + L5) - .5 * X * \sin(L2 + L3 + L4 - L5) - .5 * Y * \sin(L1 + L3 + L4 - L5) - .5 * Z * \sin(L1 + L2 + L4 - L5) - \text{KSZI} * \sin(L1 + L2 + L3 - L5)$$

$$B522 = 2 * X * Y * \text{KSZI} * \sin(L3 + L5) + 2 * X * Z * \text{KSZI} * \sin(L2 + L5) + 2 * Y * Z * \text{KSZI} * \sin(L1 + L5) - 2 * \text{KSZI} * (\sin(L1) * \sin(L2) * \sin(L3) * \cos(L5) + \cos(L1) * \cos(L2) * \cos(L3) * \sin(L5))$$

$$B523 = 2 * X * Y * \text{ETA} * \sin(L3 + L4) + 2 * X * Z * \text{ETA} * \sin(L2 + L4) + 2 * Y * Z * \text{ETA} * \sin(L1 + L4) + 2 * X * \text{KSZI} * \text{ETA} * \sin(L2 + L3) + 2 * Y * \text{KSZI} * \text{ETA} * \sin(L1 + L3) + 2 * Z * \text{KSZI} * \text{ETA} * \sin(L1 + L2) - 2 * \text{ETA} * (\cos(L1) * \cos(L2) * \cos(L3) * \sin(L4) + \sin(L1) * \sin(L2) * \sin(L3) * \cos(L4)) - \text{ETA} * \sin(L1 + L2 + L3 - L4)$$

$$\mathbf{H52 = B521 + B522 + B523}$$

$$A531 = X * Y * \cos(L3 + L4 + L5) + X * Z * \cos(L2 + L4 + L5) + Y * Z * \cos(L1 + L4 + L5) + X * \text{KSZI} * \cos(L2 + L3 + L5) + Y * \text{KSZI} * \cos(L1 + L3 + L5) + Z * \text{KSZI} * \cos(L1 + L2 + L5) - \cos(L1) * \cos(L2) * \cos(L3) * \cos(L4 + L5) + \sin(L1) * \sin(L2) * \sin(L3) * \sin(L4 + L5)$$

$$A532 = .5 * \sin(L5) * \sin(L1 + L2 + L3 - L4) - .25 * \cos(L1 + L2 + L3 + L4 - L5) + X * \text{ETA} * \cos(L2 + L3 + L4) + Y * \text{ETA} * \cos(L1 + L3 + L4) + Z * \text{ETA} * \cos(L1 + L2 + L4) + \text{KSZI} * \text{ETA} * \cos(L1 + L2 + L3)$$

$$\mathbf{G53 = A531 + A532}$$

$$B531 = X * Y * \sin(L3 + L4 + L5) + X * Z * \sin(L2 + L4 + L5) + Y * Z * \sin(L1 + L4 + L5) + X * \text{KSZI} * \sin(L2 + L3 + L5) + Y * \text{KSZI} * \sin(L1 + L3 + L5) + Z * \text{KSZI} * \sin(L1 + L2 + L5) - \cos(L1) * \cos(L2) * \cos(L3) * \sin(L4 + L5) - \sin(L1) * \sin(L2) * \sin(L3) * \cos(L4 + L5)$$

$$B532 = -.5 * \cos(L5) * \sin(L1 + L2 + L3 - L4) - .25 * \sin(L1 + L2 + L3 + L4 - L5) + X * \text{ETA} * \sin(L2 + L3 + L4) + Y * \text{ETA} * \sin(L1 + L3 + L4) + Z * \text{ETA} * \sin(L1 + L2 + L4) + \text{KSZI} * \text{ETA} * \sin(L1 + L2 + L3)$$

$$\mathbf{H53 = B531 + B532}$$

$$\mathbf{G54 = X * \cos(LA - L1) + Y * \cos(LA - L2) + Z * \cos(LA - L3) + \text{KSZI} * \cos(LA - L4) + \text{ETA} * \cos(L1 + L2 + L3 + L4)}$$

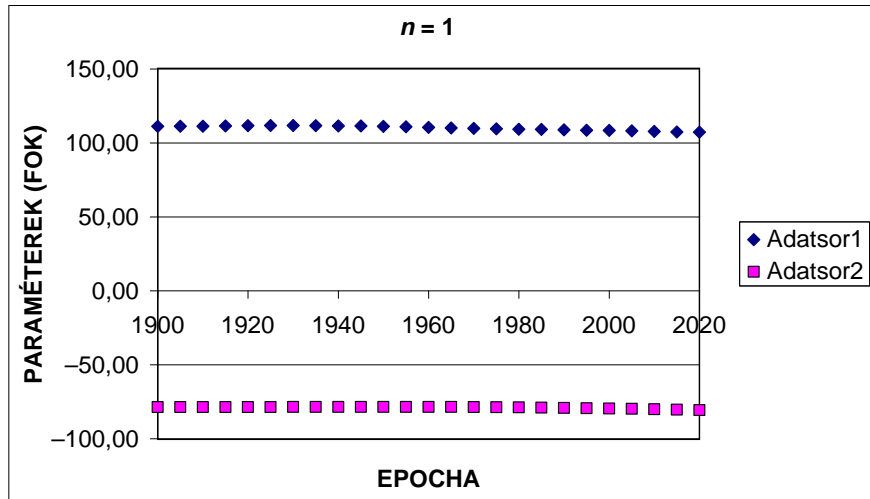
$$\mathbf{H54 = X * \sin(LA - L1) + Y * \sin(LA - L2) + Z * \sin(LA - L3) + \text{KSZI} * \sin(LA - L4) + \text{ETA} * \sin(L1 + L2 + L3 + L4)}$$

2. FÜGGELÉK

Szemléltető diagramok az első öt földmágneses multipólus ($n = 1, 2, \dots, 5$) paramétereinek időbeli változásáról 1900 és 2020 között

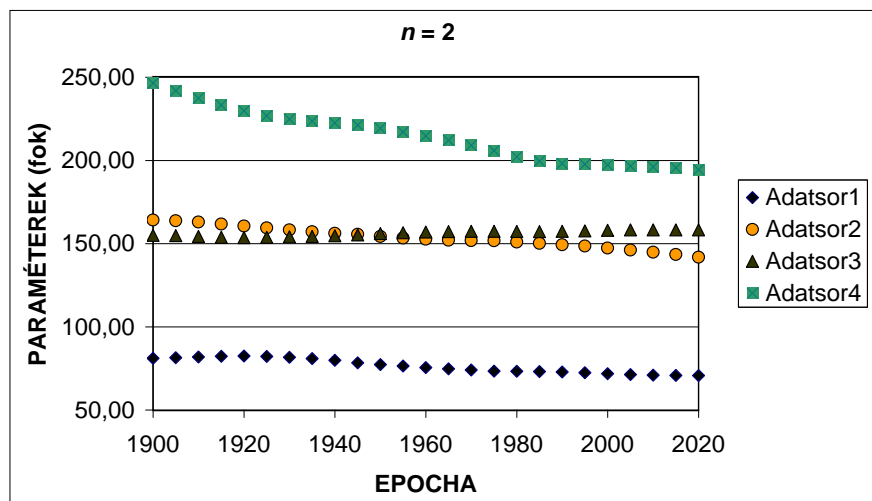
APPENDIX 2

Six diagrams illustrating the evolution (time variation) of the parameters of the first five geomagnetic multipoles between the epochs 1900 and 2020



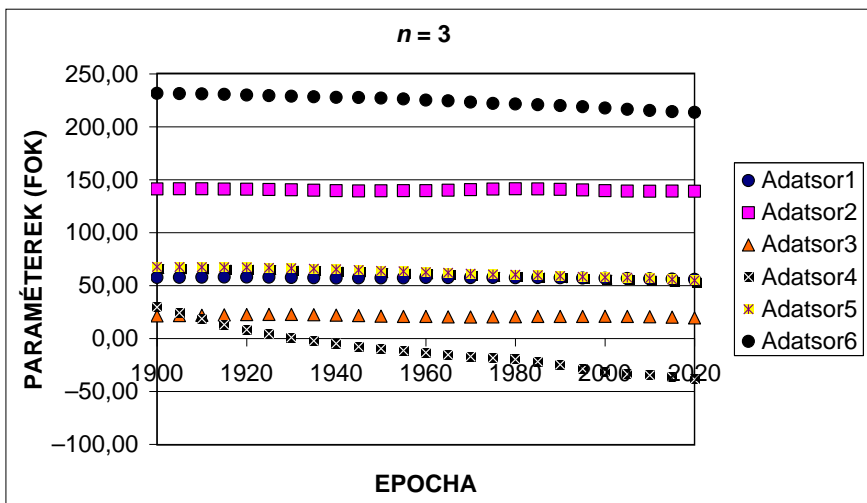
F1. ábra | A földmágneses déli pólus ($\lambda_1 = \text{Adatsor1}$ és $\varphi_1 = \text{Adatsor2}$) koordinátáinak idődiagramja

Figure F1 | Longitude and latitude ($\lambda_1 = \text{Adatsor1}$, $\varphi_1 = \text{Adatsor2}$) coordinates of the geomagnetic S pole



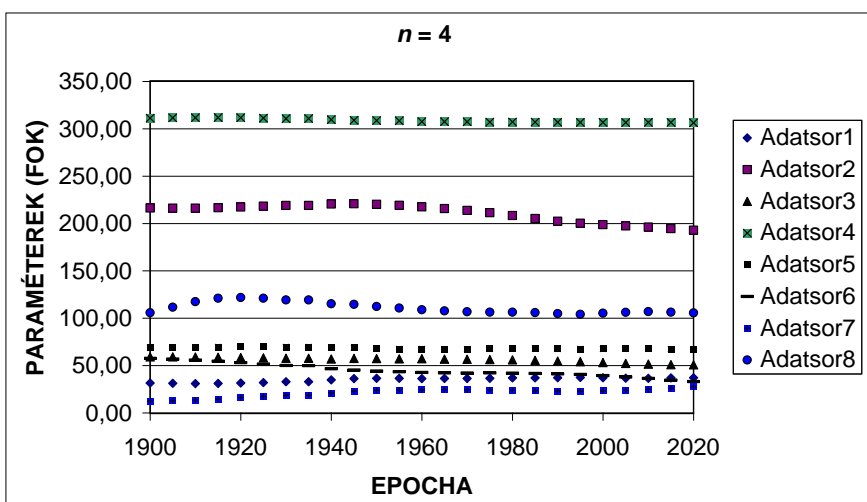
F2. ábra | A földmágneses kvadrupólus ($\vartheta_1 = \text{Adatsor1}$, $\lambda_1 = \text{Adatsor2}$, $\vartheta_2 = \text{Adatsor3}$, $\lambda_2 = \text{Adatsor4}$) koordinátáinak idődiagramja

Figure F2 | Co-latitude and longitude ($\vartheta_1 = \text{Adatsor1}$, $\lambda_1 = \text{Adatsor2}$, $\vartheta_2 = \text{Adatsor3}$, $\lambda_2 = \text{Adatsor4}$) coordinates of the geomagnetic quadrupole



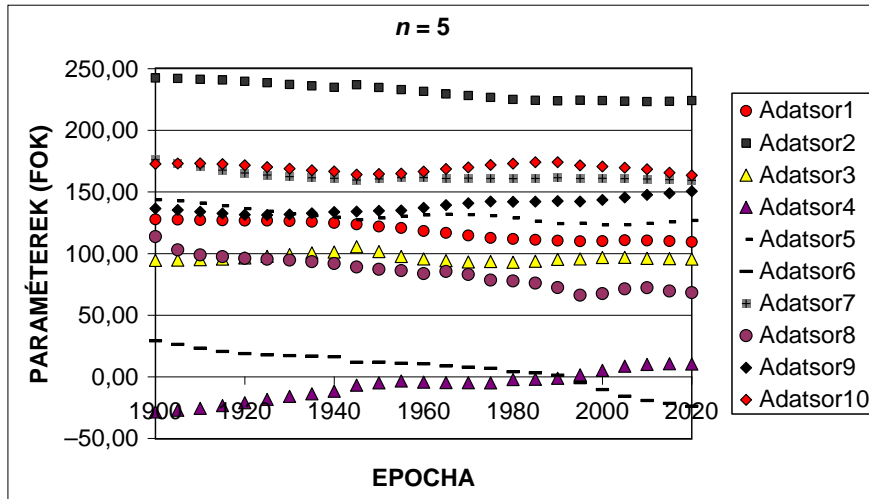
F3. ábra A földmágneses okkupólus ($\vartheta_1 = \text{Adatsor1}$, $\lambda_1 = \text{Adatsor2}$, $\vartheta_2 = \text{Adatsor3}$, $\lambda_2 = \text{Adatsor4}$, $\vartheta_3 = \text{Adatsor5}$, $\lambda_3 = \text{Adatsor6}$) koordinátáinak idődiagramja

Figure F3 Co-latitude and longitude ($\vartheta_1 = \text{Adatsor1}$, $\lambda_1 = \text{Adatsor2}$, $\vartheta_2 = \text{Adatsor3}$, $\lambda_2 = \text{Adatsor4}$, $\vartheta_3 = \text{Adatsor5}$, $\lambda_3 = \text{Adatsor6}$) coordinates of the geomagnetic octupole



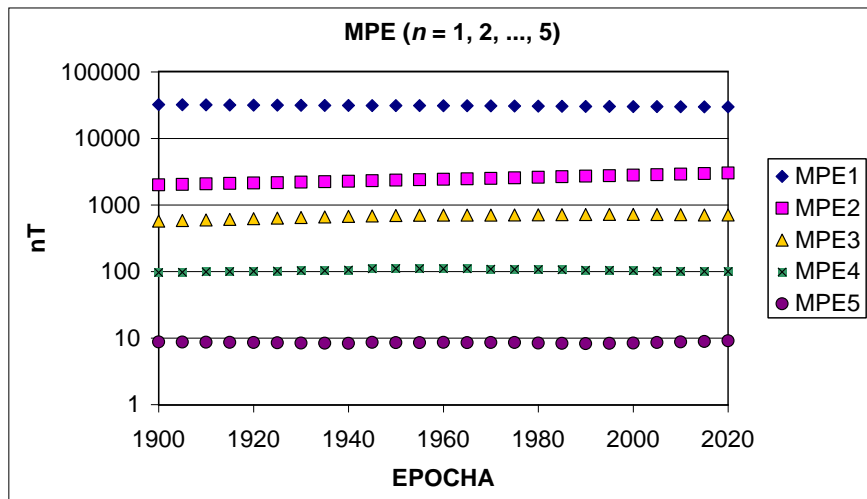
F4. ábra A földmágneses szemidecemupólus ($\vartheta_1 = \text{Adatsor1}$, $\lambda_1 = \text{Adatsor2}$, $\vartheta_2 = \text{Adatsor3}$, $\lambda_2 = \text{Adatsor4}$, $\vartheta_3 = \text{Adatsor5}$, $\lambda_3 = \text{Adatsor6}$, $\vartheta_4 = \text{Adatsor7}$, $\lambda_4 = \text{Adatsor8}$) koordinátáinak idődiagramja

Figure F4 Co-latitude and longitude ($\vartheta_1 = \text{Adatsor1}$, $\lambda_1 = \text{Adatsor2}$, $\vartheta_2 = \text{Adatsor3}$, $\lambda_2 = \text{Adatsor4}$, $\vartheta_3 = \text{Adatsor5}$, $\lambda_3 = \text{Adatsor6}$, $\vartheta_4 = \text{Adatsor7}$, $\lambda_4 = \text{Adatsor8}$) coordinates of the geomagnetic octupole



F5. ábra | A földmágneses trigintupólus ($\vartheta_1 = \text{Adatsor1}$, $\lambda_1 = \text{Adatsor2}$, $\vartheta_2 = \text{Adatsor3}$, $\lambda_2 = \text{Adatsor4}$, $\vartheta_3 = \text{Adatsor5}$, $\lambda_3 = \text{Adatsor6}$, $\vartheta_4 = \text{Adatsor7}$, $\lambda_4 = \text{Adatsor8}$, $\vartheta_5 = \text{Adatsor9}$, $\lambda_5 = \text{Adatsor10}$) koordinátáinak idődiagramja

Figure F5 | Co-latitude and longitude ($\vartheta_1 = \text{Adatsor1}$, $\lambda_1 = \text{Adatsor2}$, $\vartheta_2 = \text{Adatsor3}$, $\lambda_2 = \text{Adatsor4}$, $\vartheta_3 = \text{Adatsor5}$, $\lambda_3 = \text{Adatsor6}$, $\vartheta_4 = \text{Adatsor7}$, $\lambda_4 = \text{Adatsor8}$, $\vartheta_5 = \text{Adatsor9}$, $\lambda_5 = \text{Adatsor10}$) coordinates of the geomagnetic duotrigintupole



F6. ábra | Az első öt földmágneses multipólus erősségei (MPE). $MPE_1 = \text{MPE1}$, ..., $MPE_5 = \text{MPE5}$

Figure F6 | Multipole strengths (MPE) for each multipole ($MPE_1 = \text{MPE1}$, ..., $MPE_5 = \text{MPE5}$), ($n = 1, 2, \dots, 5$)

3. FÜGGELÉK

A multipólus paraméterek trendvonalainak egyenletei, a változók jelölései és dimenzióik

APPENDIX 3

Equations of the trendlines of the multipole parameters, notations and dimensions of variables

A multipólus-paramétereket az x változó (legfeljebb) hatodfokú polinomjaival közelítjük. $x = (1/5)(t - 1895)$, ahol $t = \text{EPOCH}$ (év); y ($^\circ$): a pólusok (ϑ_i, λ_i) gömbi koordinátái; MPE_i : a póluserősségek (nT), ($i = 1, 2, \dots, 5$). A polinomok MS Excel által kiszámított együtthatóit (és a közelítés szorosságára jellemző R^2 ún. determinációs együtthatókat) az alábbi táblázatok tartalmazzák.

Explanation to panels below:

The multipole parameters are approximated by (maximum) degree sixth polynomials of the x variable, where: $x = (1/5)(t - 1895)$, $t = \text{EPOCH}$ (years); y ($^\circ$): (ϑ_i, λ_i) spherical coordinates of the multipole poles; MPE_i : multipole strengths (nT), ($i = 1, 2, \dots, 5$). R^2 : coefficient of determination. All tabulated values were computed by MS Excel.

Dipólus ($n = 1$):

y	x^6	x^5	x^4	x^3	x^2	x	x^0	R^2
ϑ_1	7E-07	-7E-05	0,0023	-0,0368	0,2573	-0,6204	111,65	0,9982
λ_1	-9E-08	8E-06	-0,0002	0,0032	-0,0183	0,0562	-78,659	0,9997
MPE_1	-0,0004	0,0351	-1,0816	15,439	-100,26	143,51	32116	0,9994

Kvadrupólus ($n = 2$):

y	x^6	x^5	x^4	x^3	x^2	x	x^0	R^2
ϑ_1	4E-06	-0,0003	0,01	-0,13	0,6611	-0,9104	81,448	0,9993
λ_1	1E-06	-6E-05	0,0009	0,0036	-0,1626	-0,111	164,46	0,9993
ϑ_2	-3E-06	0,0002	-0,0071	0,0912	-0,4659	0,567	154,83	0,9945
λ_2	-1E-05	0,0009	-0,0225	0,2514	-0,9792	-3,2311	250,53	0,9993
MPE_2			-0,0005	0,0229	0,2012	29,327	1981,8	0,9997

Oktupólus ($n = 3$):

y	x^6	x^5	x^4	x^3	x^2	x	x^0	R^2
ϑ_1	4E-08	1E-05	-0,0008	0,0211	-0,2312	0,9543	56,758	0,9706
λ_1	2E-06	-0,0002	0,0032	-0,022	-0,0231	0,3766	140,91	0,9456
ϑ_2	2E-06	-0,0002	0,0059	-0,0815	0,4669	-0,7402	21,744	0,9935
λ_2	3E-07	3E-05	-0,0023	0,0433	-0,0914	-5,731	35,502	0,9992
ϑ_3			-9E-05	0,0055	-0,1199	0,4961	67,066	0,9987
λ_3	-3E-07	2E-05	-0,0007	0,0076	-0,052	-0,2414	231,95	0,9986
MPE_3	4E-06	-0,0005	0,0243	-0,5006	4,4086	-2,4034	572,86	0,9982

Szedecimupólus ($n = 4$):

y	x^6	x^5	x^4	x^3	x^2	x	x^0	R^2
ϑ_1	2E-07	-3E-05	0,002	-0,0517	0,5993	-2,3501	33,629	0,9693
λ_1	-6E-06	0,0004	-0,0109	0,105	-0,3311	0,3683	216,07	0,9993
ϑ_2	3E-08	2E-05	-0,0012	0,0261	-0,224	0,4971	58,928	0,9980
λ_2	1E-06	-8E-05	0,0018	-0,0143	-0,0619	0,7163	310,49	0,9940
ϑ_3	2E-06	-0,0002	0,0054	-0,0716	0,3885	-0,5945	69,102	0,9536
λ_3	5E-06	-0,0003	0,0087	-0,0959	0,4106	-1,689	58,965	0,9980
ϑ_4	-3E-06	0,0002	-0,0064	0,0682	-0,2425	1,0352	11,391	0,9949
λ_4	-1E-06	0,0001	-0,0065	0,1695	-2,3219	13,626	93,652	0,9887
MPE ₄	-8E-06	0,0006	-0,0169	0,2155	-1,2264	3,9309	93,548	0,9682

Duotrigintupólus ($n = 5$):

y	x^6	x^5	x^4	x^3	x^2	x	x^0	R^2
ϑ_1	-2E-06	7E-05	0,0004	-0,0397	0,4139	-1,6239	129,18	0,9991
λ_1	-5E-06	0,0003	-0,0089	0,1099	-0,6624	0,9633	242,06	0,9909
ϑ_2	4E-06	-0,0005	0,019	-0,3488	2,8586	-8,522	101,55	0,7887
λ_2	-1E-05	0,0008	-0,0188	0,1838	-0,6298	2,2386	-30,258	0,9953
ϑ_3	-1E-05	0,0009	-0,03	0,4712	-3,3713	7,8968	137,91	0,9781
λ_3	1E-05	-0,0009	0,0251	-0,339	2,37	-9,4781	37,126	0,9967
ϑ_4	-4E-06Y	0,0003	-0,0096	0,1325	-0,657	-1,564	178,21	0,9933
λ_4	8E-07	-0,0001	0,008	-0,1981	2,2816	-12,907	123,05	0,9783
ϑ_5	-3E-06	0,0003	-0,0096	0,1368	-0,7173	0,2002	136,78	0,9870
λ_5	7E-06	-0,0005	0,0091	-0,0468	-0,3313	2,1264	170,64	0,9584
MPE ₅	-9E-07	8E-05	-0,0023	0,0319	-0,2069	0,5009	8,385	0,9211

Nem egyenközű hálózat szerint mintavételezett mágneses anomália pólusra redukálása inverziós Fourier-transzformációval

VASS P.[@], NUAMAH D. O. B.

Miskolci Egyetem, Geofizikai Intézeti Tanszék, 3515 Miskolc-Egyetemváros

[@]E-mail: gfvassp@uni-miskolc.hu

A dipólus jellegű, lokális mágneses anomáliák térképi adatrendszereinek pólusra redukálása hatékonyan segít a felszín alatti hatók elhelyezkedésének megállapításában és a lehatárolásban. A feldolgozás műveletének szokásos végrehajtása frekvenciatartománybeli szűrés formájában történik, ami igényli az adatok kétdimenziós Fourier-transzformációját a térfrekvencia-spektrum előállításához. A végeredmény minőségét nagymértékben befolyásolja a számított spektrum minősége. A hagyományosnak tekinthető kétdimenziós diszkrét Fourier-transzformáció (2D DFT), valamint a gyors Fourier-transzformáció (2D FFT) nagyon érzékeny a mérési hibákra kívül a mérési hálózat pontjainak elhelyezkedésére és a területi adatsűrűsége is. Jelentősen javíthatjuk a számított spektrum minőségét az ún. inverziós Fourier-transzformáció (IFT) kétdimenziós változatának alkalmazásával. A cikk keretein belül igyekszünk bemutatni, hogy milyen előnyökkel járhat ennek a módszernek a felhasználása. Különböző területi adatsűrűségű, egyenközű és nem egyenközű hálózatok szerint mintavételezett adatrendszereket készítettünk a Vatta-Maklári-árok délkeleti peremén található mezőkövesdi küszöb mágneses anomália-térképe alapján. A 2D DFT algoritmust csak az egyenközű hálózatok esetében tudtuk alkalmazni, és az eredmények minősége tekintetében egyáltalán nem lehetünk elégedettek. Az inverziós feladatmegoldáson alapuló 2D HLSQFT algoritmus azonban mind az egyenközű, mind a szabálytalan hálózatok adatrendszerei esetében jól teljesített, és a területi adatsűrűség csökkenése sem okozott jelentős minőségbeli romlást.

Vass, P., Nuamah, D. O. B.: Reduction of a non-uniformly sampled magnetic anomaly to the magnetic pole by means of Inversion Fourier Transform

The reduction of magnetic map datasets representing local anomalies of dipolar nature to the magnetic north pole effectively assists the localization and delimitation of subsurface causative bodies. The procedure is usually executed in the form of frequency domain filtering, so it requires the two-dimensional Fourier transform of input data to produce the spatial frequency spectrum. The quality of final results is highly affected by the quality of computed spatial frequency spectra. The traditionally used two-dimensional Discrete Fourier Transform (2D DFT) and its fast variant, the two-dimensional Fast Fourier Transform (2D FFT) are very sensitive to not only the errors in measurement but also the areal distribution of measuring stations and the areal density of data. However, the quality of computed spectra can significantly be improved by means of the two-dimensional variant of Inversion Fourier Transform. The authors try to present in the paper how advantageous may be the application of this method. Uniformly and non-uniformly sampled data sets with different areal densities of data were generated from a magnetic anomaly map indicating the effect of Mezőkövesd threshold located in the south-east margin of Vatta-Maklár trough. The 2D DFT algorithm could only be applied to the uniformly sampled data sets, and the quality of results are not satisfying at all. On the contrary, the 2D HLSQFT algorithm based on inverse problem solution worked well for both uniformly and non-uniformly sampled data sets. Furthermore, the decrease in areal density of data did not even cause significant quality loss.

Beérkezett: 2018. november 13.; *elfogadva:* 2020. augusztus 26.

Bevezetés

Az időben és/vagy térben változó jelenségek vizsgálatára igen hasznos eszközknek bizonyult a Fourier-analízis, melynek segítségével a mért jelet frekvencia-, ill. térfrekvenciatartománybeli (azaz spektrális) viselkedése alapján is megvizsgálhatjuk. A mérési adatok mindig hibával terheltek, így a feldolgozás, ill. értelmezés módszereit abból a szempontból is vizsgálnunk kell, hogy azok milyen mértékben zajérzékenyek. A Fourier-transzformáció és annak diszkkrét változatai (pl. DFT, FFT) a bemeneti jel tartományában jelentkező hibákat is leképezik a frekvenciatartományba, emiatt zajérzékeny eljárásoknak tekinthetők. A mérési adatsorokat terhelő véletlen zaj ellen hatásosan védekezhetünk a mérési adatok számának növelésével és a geofizikai inverzió túlhatározott feladatok megoldására szolgáló eljárásainak bevonásával az adatfeldolgozási folyamatba. Ennek ismeretében adódott Dobróka Mihálynak, a Miskolci Egyetem Geofizikai és Térinformatikai Intézete korábbi intézetigazgató egyetemi tanárának az a gondolata, hogy a Fourier-transzformáció esetére az inverzió eszköztárának felhasználásával találjunk megoldást, ezáltal csökkentve annak zajérzékenységét.

Ennek 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 mint ismeretlen paramétereknek a meghatározása révén juthatunk el a kívánt célhoz. A programok formájában is kifejlesztett algoritmusok a legkisebb négyzetek (LSQ) és az iteratív újrásúlyozás (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 mutakozó Hermite-függvények rendszere alkalmazásával kapcsolatban akkor még gondot jelentett a tagfüggvények inverz Fourier-transzformáltjainak számítása, amelyet numerikus integrálással hajtottunk végre. 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, 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 Diracféle delta-függvények sorozatára épülő inverziós Fourier-transzformációs algoritmusokat is.

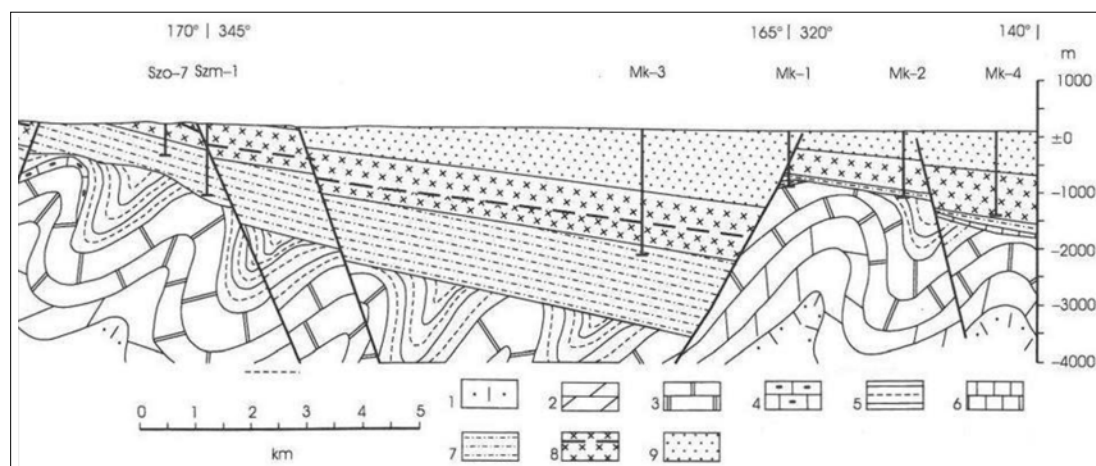
Vizsgálatok tárgyát képezte a későbbiekben a HLSQFT algoritmuson alapuló módszer (Vass 2012) és a HIRLSFT algoritmus továbbfejlesztéseként kidolgozott ún. Steiner-súlyokat alkalmazó változat zajcsökkentő képessége (Szegedi, Dobróka 2012, 2014a). A számítási pontosság és gyorsaság szempontjából újabb 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 újrásúlyozáshoz 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 mellett egyaránt (Nuamah, Dobróka 2018, 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). Utóbbiak közül talán jelentőségükben kiemelkednek a valódi mágneses anomália-térképből származó adatrendszereken végzett pólusra redukálási tesztek. Ennek eredményeit a továbbiakban mutatjuk be.

Mágneses anomália pólusra redukálása a 2D HLSQFT alkalmazásával

A vizsgálatok alapjául szolgáló mágneses anomália hazánk északkeleti részéhez, ezen belül is a Mezőkövesd környéki területhez kapcsolódik. A földtani szerkezet itt érdekesen alakul, ugyanis a Bükkalja délkeleti előterében húzódó Vatta-Maklári-árok délkeleti peremét a mezőkövesdi küszöb határolja. Az árokban az alaphegység felszíne 3000



1. ábra Földtani szelvény Szomolya és Mezőkövesd közötti szakasza (Pelikán et al. 2005 alapján). 1: alsó triász formációk, 2: Hámori Dolomit, 3: Bervai Mész, 4: Felsőtárkányi Mész, 5: jura-formációk, 6: Szépvölgyi Mész, 7: oligocén-formációk, 8: miocén tufák, 9: pannon-üledékek, Szo, Szm = Szomolya, Mk = Mezőkövesd

Figure 1 Geological cross-section between Szomolya and Mezőkövesd (based on Pelikán et al. 2005). 1: lower Triassic formations, 2: Hámor Dolomite, 3: Berva Limestone, 4: Felsőtárkányi Limestone, 5: Jurassic formations, 6: Szépvölgyi Limestone, 7: Oligocene formations, 8: Miocene tuffs, 9: Pannonian sediments, Szo, Szm = Szomolya, Mk = Mezőkövesd

méteres tengerszint alatti mélység alá süllyed, míg a küszöbnél már kiemelt helyzetben található a 800 méter körüli mélységszintjével. A küszöbön túl az Alföld irányába haladva már újra egyre mélyebb helyzetbe került a medencealjzat a vetők menti lesüllyedéseknek köszönhetően (Pelikán et al. 2005). Az alaphegységre települő paleogén-neogén rétegsor vastagságát alapvetően a medencealjzat mélységszintje határozza meg. Mindezt jól szemlélteti az

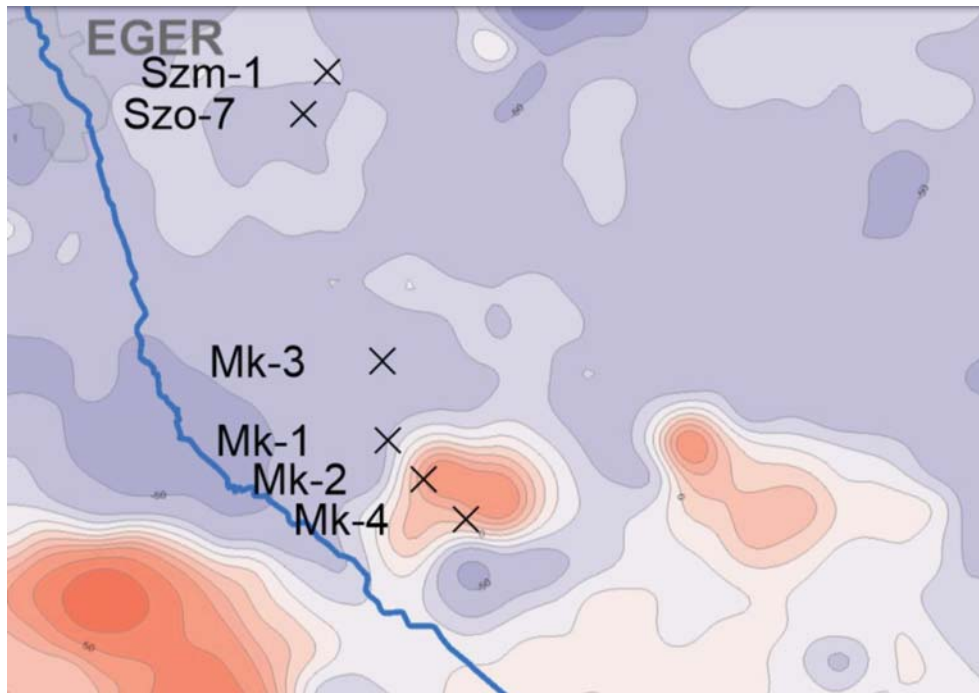
1. ábra geológiai szelvénye, melynek nyomvonala éppen az említett szerkezeti elemeken halad át.

A mezőkövesdi küszöb tömegöbletet jelent a környezetéhez képest, mivel az alaphegységnek e kiemelt részét alkotó kőzetformációk térfogatsűrűsége meghaladja azoknak a fiatalabb korú üledékes és vulkáni tufarétegeknek a térfogatsűrűségét, amelyek az oldalirányban mélyebb fekvésű medencealjzatra nagyobb vastagságban települtek.



2. ábra A Vatta-Maklári-árokhoz társuló lokális minimum, a mezőkövesdi küszöb hatását jelző lokális maximum, valamint az 1. ábra szelvényén is feltüntetett fúrások helyei a Szomolya és Mezőkövesd közötti terület Bouguer-anomália-térképén (Magyarország gravitációs Bouguer-anomália-térképének részlete alapján)

Figure 2 A local minimum associated with the Vatta-Maklár trough, a local maximum indicating the effect of Mezőkövesd threshold and the positions of boreholes marked in Fig. 1, on the Bouguer anomaly map of the area between Szomolya and Mezőkövesd (based on the portion of Bouguer Anomaly Map of Hungary)



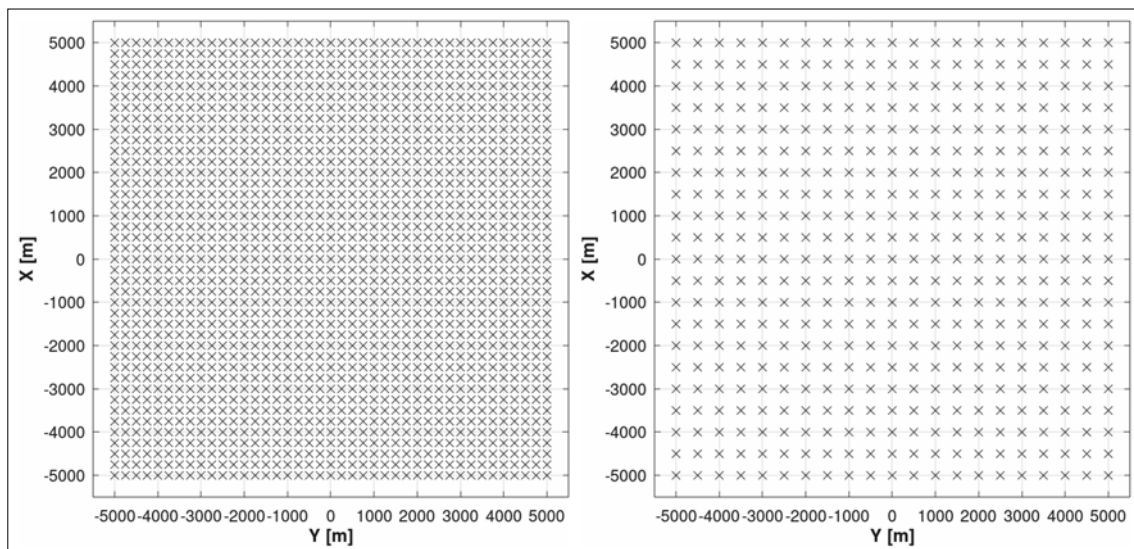
3. ábra | A mezőkövesdi küszöbhez társuló, dipól jellegű lokális anomália, valamint az 1. ábra szelvényén is feltüntetett fúrások helyei a Szomolya és Mezőkövesd közötti terület mágneses ΔZ -anomália-térképén (Magyarország mágneses ΔZ -anomália-térképének részlete alapján)

Figure 3 | A local dipolar anomaly associated with the Mezőkövesd threshold and the positions of boreholes marked in Fig. 1. on the magnetic ΔZ anomaly map of the area between Szomolya and Mezőkövesd (based on the portion of Magnetic ΔZ Anomaly Map of Hungary)

A Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat honlapján elérhető Magyarország gravitációs Bouguer-anomália-térképének részlete alapján készített 2. ábrán a tömegtöbblet hatása egyértelműen megmutatkozik egy pozitív anomáliája formájában.

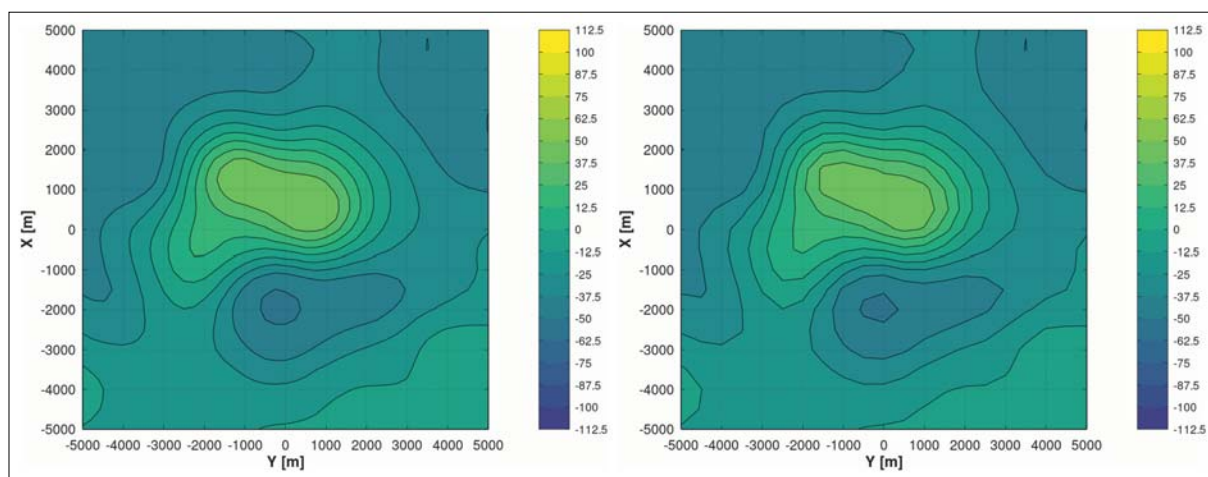
A szerkezetet ábrázoló geológiai szelvényen (1. ábra) látható, hogy jelentős vastagságú miocén tufa fedí az idő-

sebb képződményeket. A szerkezet közelében és a felett mélyített fúrások közül, az Mk-4 jelű fúrás rétegsoradatai álltak rendelkezésünkre. Eszerint sötétszürke, andezit-tufaként azonosított miocén korú kőzetet harántoltak a forgatóasztal szintjétől számított 440 és 1496 méter közötti mélységzakaszon, és elérték az oligocén korú üledékes réteget is. A forgatóasztal tengerszint feletti magassága



4. ábra | A digitalizált mágneses anomália-térképből előállított adatrendszerek egyenközü hálózati pontjai a 250 m-es (balra) és az 500 m-es (jobbra) mintavételi közökkel

Figure 4 | The equidistant grids of data points generated from the digitized magnetic ΔZ anomaly map with sampling intervals of 250 m (left) and 500 m (right)



5. ábra A helyi mágneses anomália egyenközű hálózatok alapján készült izovonalas térképei a 12,5 nT intervallumokra osztott szín-skálákkal (balra a 250 m-es, jobbra pedig az 500 m mintavételi közű változat)

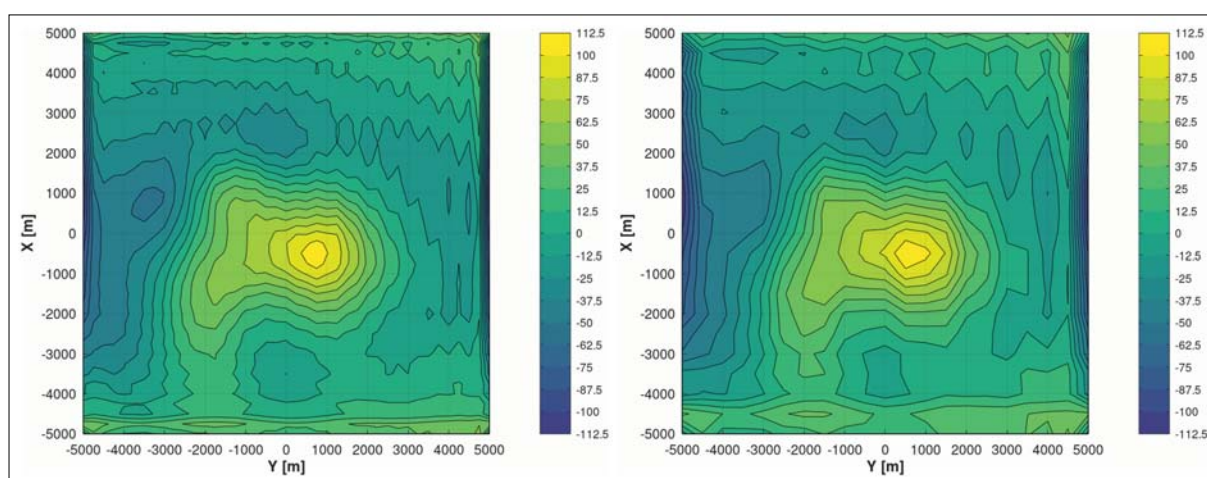
Figure 5 Contour maps of the local magnetic anomaly based on the equidistant grids with colour scales graduated in intervals of 12.5 nT (sampling intervals of 250 m on the left and 500 m on the right)

111,77 m volt. A bükkaljai piroklasztikumösszletet alkotó három, képződési korszakok szerint is elkülönülő formáció közül, valószínűleg a Tari Dácittufát írták le andezitufaként. A másik két riolittufa formációhoz képest ennek színe sötétebb, valamint nagyobb átlagos titán- és vastartalom jellemzi. (Pelikán et al. 2005). A piroklasztikus kőzetben jelenlévő ferromágneses ásványok (pl. ilmenit) miatt helyi mágneses anomália is társul a szerkezethez. A Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat honlapján elérhető Magyarország mágneses ΔZ -anomáliáit ábrázoló térképének részletéből készült 3. ábrán az anomália dipólus jellege jól látható.

A számítógépi adatfeldolgozásra is alkalmas mágneses adatrendszerek előállításának első lépésében a raszteres térképrészlet izodinamgörbéinek rendszerét digitalizáltuk az anomália elegendően nagy környezetében. Az így kapott adatok alapján az anomáliát lefedő 10×10 km nagy-

ságú, négyzet alakú területet egyenközű hálózatok szerint mintavételeztük a krigelés módszerének alkalmazásával. A 250 és 500 méteres mintavételi közök választásával egy finomabb és egy durvább területi felbontású adatrendszert állítottunk elő. Ezek vonatkozási pontjainak hálózatát, valamint a hozzájuk tartozó adatokból készített izovonalas anomália-térképeket a 4. és 5. ábra mutatja be.

Először a diszkrét Fourier-transzformáció kétdimenziós változatát (2D DFT) alkalmaztuk az anomália térfrekvencia-spektrumának előállításához. A számított térfrekvencia-spektrumot a pólusra redukálás átviteli függvényével (Kis 2009) szűrtük, majd kétdimenziós inverz diszkrét Fourier-transzformáció (2D IDFT) segítségével jutottunk el a pólusra redukált anomália-térképhez. Általános esetben a pólusra redukálás műveletének sikeres elvégzéséhez szükség van a ható indukált és remanens mágnesezettségéből származó mágneses terek inklinációinak és dekli-



6. ábra A pólusra redukált mágneses anomália izovonalas térképei a két egyenközű hálózatra vonatkozóan a 2D DFT felhasználása esetén (balra a 250 m-es, jobbra pedig az 500 m mintavételiközű változat)

Figure 6 Contour maps representing the reduction of magnetic anomaly to the magnetic pole executed on regular grids by using 2D DFT (sampling intervals of 250 m on the left and 500 m on the right)

nációinak ismeretére. Ezek a paraméterértékek sajnos nem álltak rendelkezésünkre. A probléma megoldása érdekében a remanens és indukált mágneses terekre ugyanazokat az inklináció- és deklinációértékeket alkalmaztuk. Meghatározásuk egy pontszerű mágneses dipól analitikus formulával számítható mágneses terével végzett kísérletezés segítségével történt. A deklináció és inklináció értékeit úgy választottuk meg, hogy a pontszerű mágneses dipólus mágneses anomáliájának orientációja a lehető legjobban egyezzen a valódi szerkezet mágneses anomáliájával. Ennek a kvalitatív technikának az alkalmazásával meghatározott inklináció értéke -47° -nak, a deklináció pedig -10° -nak adódott.

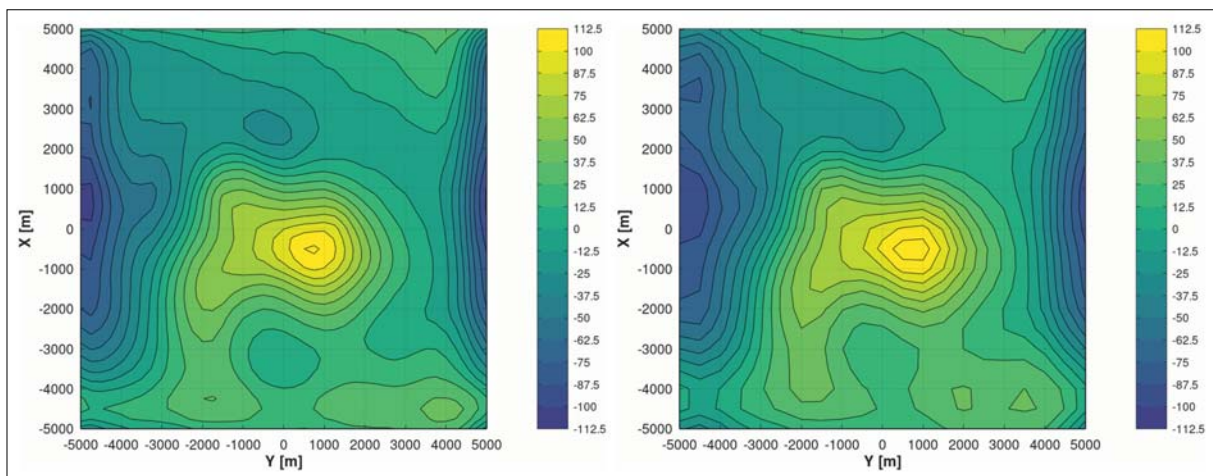
A pólusra redukálás eredményeit mutatja be a 6. ábra a két eltérő mintavételezéssel készült adatrendszer esetén. Az ábra kvalitatív elemzése alapján elmondható, hogy a fentiekben ismertetett eljárás sikeres volt – hiszen a kiindulási anomália mágneses dipól jellege helyett már monopól jellegű anomália-térképekhez jutottunk –, ám az eredmények minőségét tekintve nem lehetünk elégedettek. Az izovonalak sokszöges lefutása arra utal, hogy a hagyományosnak tekinthető 2D DFT algoritmus számítógépi alkalmazása járulékos hibával terheli meg a feldolgozási eljárást. Ez a kedvezőtlen hatás a nagyobb mintavételi közlel készült, azaz rosszabb felbontású adatrendszer esetében erőteljesebben jelentkezik.

Ezután azt vizsgáltuk meg, hogy ugyanazon bemenő adatrendszerek esetében hogyan változik az eredmény, ha a szűrés eljárás során a 2D HLSQFT algoritmus segítségével számítjuk ki a térfrekvencia-spektrumot. A spektrumot természetesen az előző vizsgálat során használt átviteli függvénnyel szűrtük meg, majd a 2D IDFT algoritmus alkalmazásával számítottuk a szűrt spektrumból a pólusra redukált térképi adatrendszert. Az eredményeket a 7. ábra mutatja be a két eltérő felbontású esetre. Az ábra gyors szemrevételezése és összehasonlítása az előzővel is elegendő ahhoz, hogy megállapítsuk 2D HLSQFT algoritmus

alkalmazásának köszönhető minőségi javulást. A spektrumszámítás eredményeképpen fellépő hiba (nevezhetjük zajnak is ezt az előnytelen jelösszetevőt) tehát jelentős mértékben csökkenthető az Hermite-függvények rendszere szerinti sorfejtés előnyét kihasználó speciális algoritmus alkalmazásával.

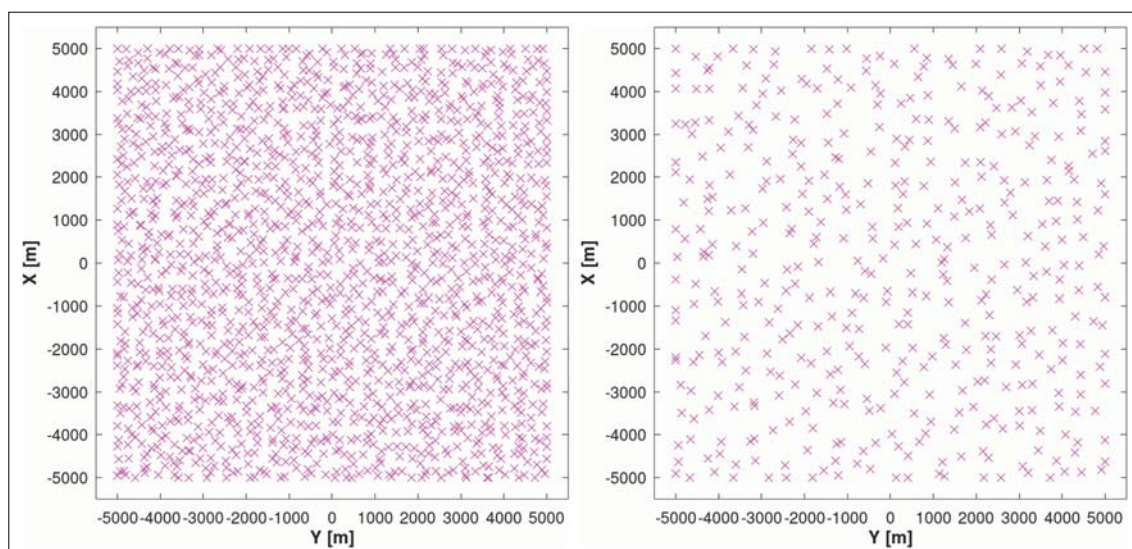
Még nagyobb előnye mutatkozik meg azonban ennek az algoritmusnak olyankor, amikor a bementi adatrendszer vonatkozási rendszerében értelmezett pontok nem egyenközű mintavétel szerint helyezkednek el. Ilyen esetben a 2D DFT algoritmus közvetlenül nem, csak egy kétdimenziós interpolációs művelet előzetes végrehajtása után alkalmazható, amelynek a segítségével egyenközűvé tesszük az adatrendszert. Az interpoláció azonban számítási hiba forrását is jelenti, amelyhez a 2D DFT hibája is hozzáadódik. Emiatt a 6. ábrán már bemutatott eredményekénél jobb minőségre semmiképpen sem számíthatunk. A DFT algoritmusnak létezik ugyan nem egyenközű mintavételezett adatsorokra alkalmazható változata, amelyet NUDFT (Non-uniform Discrete Fourier Transform) rövidítéssel is szoktak azonosítani, de ezzel még egydimenziós esetben is rosszabb eredményhez jutunk, mint az interpoláció után végrehajtott DFT alkalmazása esetében. Emiatt semmi okunk nem lehet annak feltételezésére, hogy az NUDFT algoritmus kétdimenziós kiterjesztése minőségi megoldást fog eredményezni a frekvenciatartománybeli szűrések területén.

A HLSQFT alkalmazásának azonban egyáltalán nem feltétele az egyenközű mintavételezés sem egy-, sem kétdimenziós esetben. Természetesen a lokális felbontás túlzott lecsökkenése, azaz a mintavételi köz túlzott megritkulása, az adatrendszer más részeinek átlagosan jobb felbontásához képest minőségi romláshoz vezet a szűrés végeredményét tekintve. A homogénnek tekinthető területi adatsűrűség, vagy másképpen fogalmazva az adatpontok nagyjából egyenletes megoszlása, azonban nagyon kedvező alapot jelent a jó minőségű eredmények biztosításá-



7. ábra | A pólusra redukált mágneses anomália izovonalas térképei a két egyenközű hálózatra vonatkozóan a 2D HLSQFT felhasználása esetén (balra a 250 m-es, jobbra pedig az 500 m mintavételi közlel változat)

Figure 7 | Contour maps representing the reduction of the magnetic anomaly to the magnetic pole executed on regular grids by using 2D HLSQFT (sampling intervals of 250 m on the left and 500 m on the right)



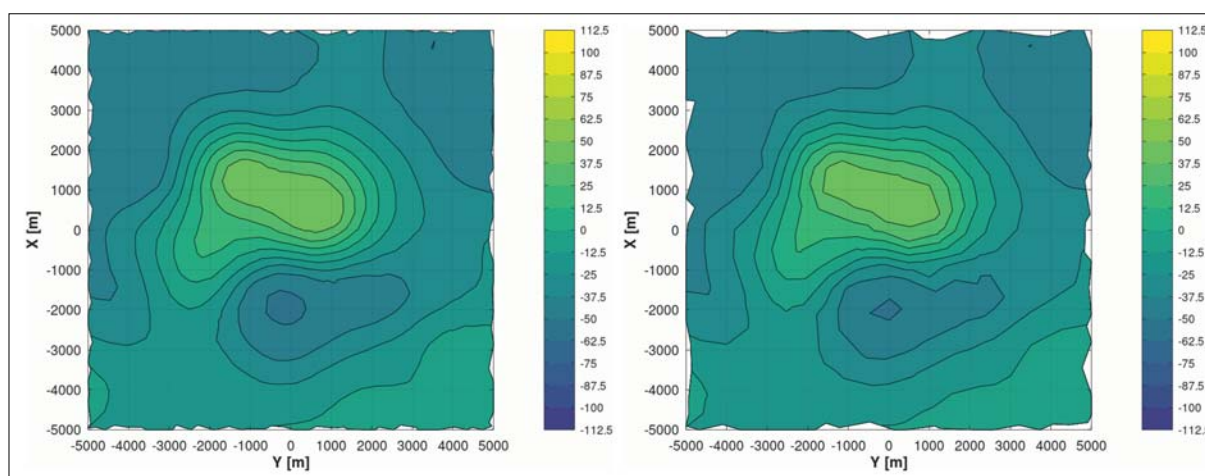
8. ábra | Az egyenközű hálózatokból lezármaztatott szabálytalan hálózatok pontjai

Figure 8 | Points of the irregular grids derived from the regular grids

hoz. Ennek bizonyítása érdekében végeztük el az alábbi vizsgálatot.

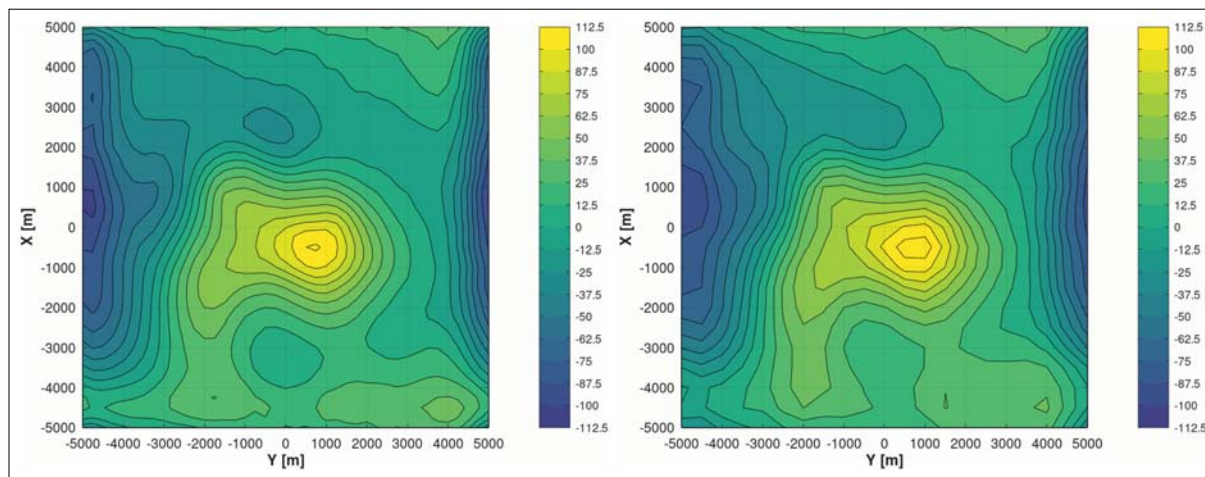
A 4. ábrán bemutatott egyenközű hálózatokat eltorzítottuk véletlen számokkal biztosított, különböző mértékű eltolásokkal mindkét vetületi koordinát tengely irányában. Az ilyen módon előállított szabálytalan hálózatokat a 8. ábra mutatja be. Az adatpontok számai tehát nem változtak az egyenközű hálózatokhoz képest, csak a pontok elhelyezkedése vált szabálytalanná. A mágneses anomália értékeit interpolációval határoztuk meg a módosult hálózati pontokra vonatkozóan. A szabálytalan hálózatokra interpolált értékekből készített izovonalas térképek a 9. ábrán láthatók. Ha ezeket a térképeket összehasonlítjuk az egyenközű hálózatok adatrendszerével készített anomália-térképekkel, akkor némi romlást tapasztalhatunk, ami természetes következménye az interpolációnak.

A korábban már említett eljárásnak megfelelően először számítottuk a szabálytalan hálózaton mintavételezett mágneses anomália térfrekvencia-spektrumát a 2D HLSQFT algoritmust implementáló programmal, majd ezt szoroztuk a pólusra redukálás átviteli függvényével. Az ilyen módon szűrt spektrumot a 2D IDFT-vel számítottuk vissza a térképi vonatkozási rendszer tartományába. A pólusra redukált izovonalas térképek a 10. ábrán tanulmányozhatók. Összehasonlítva ezeket az egyenközű mintavételezett hálózatokon végzett pólusra redukálás eredményeivel (7. ábra) azt tapasztaljuk, hogy nincs jelentős minőségi romlás. A 2D HLSQFT alkalmazása tehát mind az egyenközű, mind a nem egyenközű hálózatok esetében kiváló minőségű eredményt képes adni.



9. ábra | A helyi mágneses anomália szabálytalan hálózatok alapján készült izovonalas térképei a 12,5 nT intervalumokra osztott színskálákkal

Figure 9 | Contour maps of the local magnetic anomaly based on the irregular grids with colour scales graduated in intervals of 12.5 nT



10. ábra A pólusra redukált mágneses anomália izovonalas térképei a két szabálytalan hálózatra vonatkozóan a 2D HLSQFT felhasználása esetén

Figure 10 Contour maps representing the reduction of the magnetic anomaly to the magnetic pole executed on irregular grids by using 2D HLSQFT

Összefoglalás

A vizsgálatok során arra kerestünk választ, hogy milyen előnyökkel járhat a pólusra redukálás eredményeire nézve az inverziós alapon működő 2D HLSQFT eljárás alkalmazása a térfrekvencia-spektrum számításában. Megállapítható, hogy míg a 2D DFT algoritmust közvetlenül csak az egyenközű hálózatok esetében lehet alkalmazni, a 2D HLSQFT használatának nincs ilyen korlátja. Az eredmények vizuális kiértékelése egyértelműen bizonyítja, hogy a 2D DFT sokkal nagyobb mértékű minőségromlást eredményez, mint a 2D HLSQFT, és a területi adatsűrűség csökkenése ezt a hatást még inkább növeli. Ezek a megállapítások természetesen a 2D FFT algoritmusra is igazak, hiszen a gyors Fourier-transzformáció csak gyorsítani képes az adatfeldolgozás műveletét az eredmény minőségének javítása nélkül. Kijelenthető továbbá, hogy a 2D HLSQFT mind az egyenközű, mind a szabálytalan hálózatok adatrendszerei esetében jól teljesített, és a területi adatsűrűség csökkenése sem okozott jelentős minőségi romlást az eredményekben. A kedvező eredmények lelkesítőleg hatnak abban az irányban, hogy további vizsgálatokkal és fejlesztésekkel bizonyítsuk a módszer alkalmazásában rejlő minőségi előnyöket, és bővítsük a gyakorlati alkalmazhatóság körét.

Köszönetnyilvánítás

A kutatómunka a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karának GINOP-2.3.2-15-2016-00031 jelű „Innovatív megoldások a felszín alatti vízkészletek fenntartható hasznosítása érdekében” című projektjének részeként – a Széchenyi 2020 program keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Strukturális és Beruházási Alapok társfinanszírozásával valósult meg.

A tanulmány szerzői

Vass Péter, Nuamah Daniel Oduru Boatey

Hivatkozások

- Dobróka M., Szegedi H., Vass P. (2017): Inversion-based Fourier transform as a new tool for noise rejection. In: *Fourier Transforms – 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>
- 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.47.2012.2.7, <http://https://akjournals.com/view/journals/074/47/2/article-p185.xml>
- Dobróka M., Vass P. (2006): Fourier transform as a robust inverse problem. In: *European Association of Geoscientists & Engineers, Conference Proceedings, Near Surface 2006 – 12th EAGE European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics*, Sept. 2006, cp-14-00134, ISBN: 978-90-73781-62-7, <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201402756>
- Kis K. (2009): *Magnetic methods of applied geophysics*, Eötvös Univ. Press, ISBN 978-963-284-057-4
- Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, Magyarország gravitációs Bouguer-anomália-térképe. https://map.mbfisz.gov.hu/gravitacios_anomalia/
- Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, Magyarország mágneses anomáliatérképe: https://map.mbfisz.gov.hu/magneses_anomalia/
- Nuamah D. O. B. (2020): Inversion-based Fourier transform algorithm used in processing non-equidistantly measured magnetic data. PhD Thesis, University of Miskolc
- 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>
- Pelikán P., Less Gy., Kovács S., Pentelényi L., Sásdi L. (2005): A Bükk hegység földtana. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, ISBN 963 671 253 0
- Szegedi H. (2015): Inverziós módszerfejlesztés a Fourier-transzformált zajérzékenységének csökkentésére. PhD-értekezés, Miskolci Egyetem
- 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/s40328-014-0041-0>
- Szegedi H., Dobróka M. (2014b): Hilbert-transzformált előállítás inverziós alapú robusztus Fourier-transzformációval. *Magyar Geofizika*, 55/1, 21–29.
- 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., Dobróka M. (2009a): Robust Fourier transform algorithm using inversion tools. In: European Association of Geoscientists & Engineers, Conference Proceedings, Near Surface 2009 – 15th EAGE European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Sept. 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.

Mágneses spektrális szűrések utáni adatfeldolgozás és -értelmezés

Kiss J.

Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (MBFSZ),
1145 Budapest, Columbus u. 17–23.
E-mail: kiss.janos@mbfsz.gov.hu

A módszerfejlesztések legfontosabb célja, hogy képesek legyünk a geofizikai adatokból a legtöbb hasznosítható (földtani) információt kinyerni, azaz az adott fizikai paraméterrel rendelkező test (földtani képződmény) térbeli (x, y, z) lehatárolását, illetve fizikai paramétereinek a meghatározását elvégezni. A legtöbb geofizikai módszer nem abszolút, hanem relatív mérési adatokat eredményez, azaz a változást mutatja be valamihez képest. Ilyen esetekben a fizikai paraméter pontos meghatározása háttérbe kerül, és a térbeli helyzet meghatározására és a relatív paraméter meghatározására hagyatkozunk. Arra például, hogy 1 km-es mélységtartományban az ország területén hol kell mágneses hatóra (bázisos összetételű földtani képződményre) számítani?

A spektrális szűrésekkel különböző mélységű hatások analitikus szétválasztására nyílik lehetőség. A különböző mélységekre szűrt adatokból relatív mélységmetszetet szerkeszthetünk (Kiss, Vértesy 2020), ami vertikális síkban ad képet a mágneses ható helyzetéről, ez viszont sokszor fontos háttérinformáció lehet, pl. mélyfúrások telepítésekor vagy földtani szelvény szerkesztésekor.

A cikkben ezekre mutatunk be országosan és lokálisan is példát.

Kiss, J.: Data processing and interpretation after spectral filtering of magnetic data

The most important goal of the methodological development is to be able to extract most of the usable (geological) information from the geophysical data, i.e. to define the spatial location (x, y, z) of the body (contour of the geological formation) of given physical parameters and to determine its real physical parameters. Most geophysical methods do not result absolute field values rather relatively measured values, i.e., they show the changes relative to some others. In such cases, the exact determination of the physical parameter is in the background and we rely on the spatial position and the relative parameter determination. For example, where should we expect magnetic bodies (geological formations with a basic composition) in depth range of 1 km in the country?

Spectral filtering allows the analytical separation of effects of different depths. From the data filtered for different depths, we can construct a relative depth section (Kiss, Vértesy 2020) that gives a picture in a vertical plane of the position of the magnetic causative bodies, which in turn can often play the role of important background information, e.g. when to install deep wells or edit a geological section.

In this article, we present examples of these cases on a country-side scale as well as locally.

Beérkezett: 2020. augusztus 18.; *elfogadva:* 2020. szeptember 21.

Előzmények

Magyarország területéről rendelkezünk országos fedettséget adó geofizikai térképekkel. Ilyen például a földmágneses ΔZ anomália-térkép, amelynek első verziója 1966-ban készült el (Haáz, Komáromy 1966), majd a digitális adatbázis feltöltése után, 2006-ban készült egy újabb módosított változat is (Kiss, Gulyás 2006). A térképek alapja az 50-es évek óta szinte folyamatosan végzett földi mágneses terepi felmérés. Az adatok részben utak mentén

kvázihálózattal, részben célzott kutatási területek sűrű, szabályos hálózattal felméréséből álltak rendelkezésre. A mérési pontok nominális távolsága 1500 m volt országos szinten és a nem összefüggő kisebb részterületeken, többnyire szabályos hálózattal méréseknél 50–500 m közötti. Ez a mérési adatrendszer folyamatosan bővülve, egységesítve 2000 óta digitálisan is rendelkezésünkre áll (Kiss 2018).

Módszertani szempontból érdemes megemlíteni az SEG 75 éves évfordulójára készült, talán legteljesebb mágneses összefoglaló tanulmányt (Nabighian et al. 2005), amely a

módszer történetét, az alkalmazott feldolgozási technikákat és a fejlesztésben szereplő legfontosabb cikkeket (szakembereket) mutatja be egyszerre. Ezen eljárások, feldolgozások többsége hazai szakmai publikációkban – a *Magyar Geofizika* oldalain különböző cikkeken – meg is jelentek az elmúlt évtizedekben (pl. Kiss 2009, Kiss 2013).

A mágneses adatokat napi szinten használjuk földtani feladatok megoldására, komplex módon a többi földtani, geofizikai adattal. Módszertani kutatások is történtek a mágnesség jelenségének vizsgálatára (pl. Kiss et al. 2011), a regionális értelmezések során (pl. Kiss 2016, Kiss et al. 2017a) vagy lokális földtani problémák vizsgálatára (pl. Kiss et al. 2017b, Kiss, Prácser 2016). Vizsgáltuk azt is, hogy az anomáliák spektrális törvényszerűségeit hogyan tudjuk felhasználni a mindennapi térképi és szelvény menti adatfeldolgozásokban (pl. Kiss 2013, Kiss, Prácser 2016, Kiss, Vértesy 2020). Ezt a sorozatot folytatva készült a következő cikk, amely a mágneses adatok spektrális szűrésén keresztül a felszínközeli mágneses hatók kimutatására mutat be egy országos térképet és egy részterületi esettanulmányt.

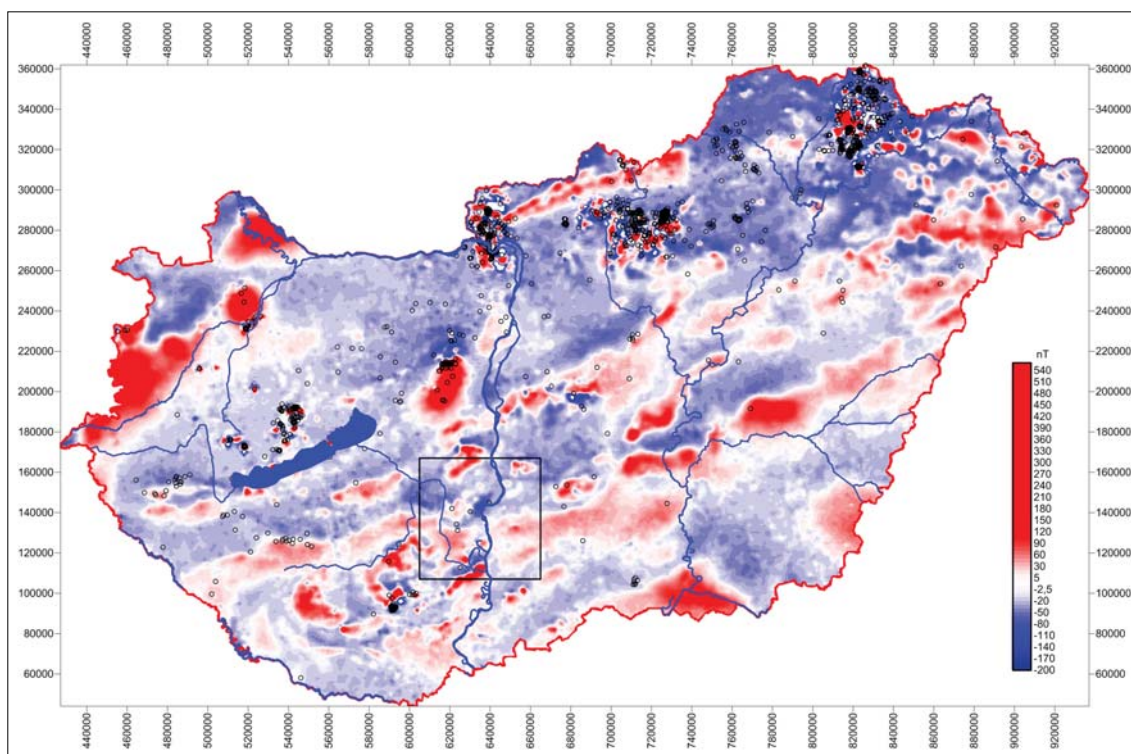
Alapfeldolgozás az országos adatokon

Korábbi cikkben és előadásban (Kiss 2015, Kiss et al. 2015) bemutattuk, hogy a mágnesesanomália-térkép alapján a mélyfúrásokból pontszerűen ismert bázisos, elsősorban

magmás képződmények térbeli kiterjesztését, összekapcsolását, illetve lehatárolását direkt módon nem lehet elvégezni. Az anomáliák és a képződmények helyzete nem mutat egyértelmű, szoros kapcsolatot (1. ábra). Ez azért meglepő, mert a mágneses anomáliák a távolságtól fordított arányosan, köbösen függenek, azaz minél messzebb van a ható a felszíntől (a mérő szenzortól), annál gyengébb lesz a hatása. Így tehát elvileg a felszínközeli testek hatásának kellene legerősebben jelentkeznie a mágneses-anomália-térben. A gyakorlat azonban rációfolt erre az elképzelésre, mivel az anomális hatást a fizikai és a geometriai paraméterek együttesen határozzák meg. Ezek a paraméterek a mágnesszettség (indukált + remanens¹⁾), a közzertérfogat (méret), a forma és a távolság (vagy mélység), de ezek közül úgy tűnik, hogy a térfogati tényezőnek a hatása talán a legjelentősebb (Kiss, Vértesy 2020).

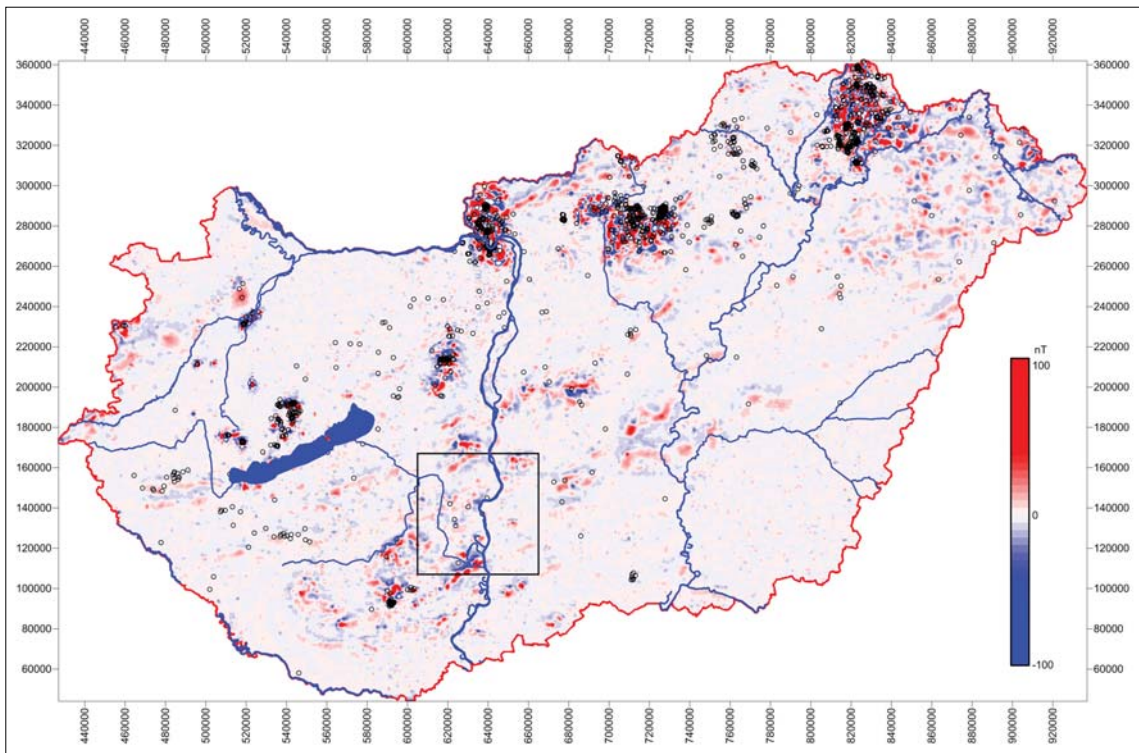
A mélyfúrásokban harántolt, lokális, kis térfogatú mágneses testek időnként azonosíthatatlanok az anomália-térképen, miközben a térképen hosszan nyomon követhető anomáliapázták eredete viszont földtani szempontból többnyire ismeretlen (példa az értelmezésre: Kiss et al. 2017a), ami azt jelzi, hogy a térfogati hatás domináns lehet az anomália kialakulásában és azok azonosíthatóságában.

Látszott azonban az is, hogy spektrális szűréssel, azaz a mágneses anomáliák mélységi szelektálásával/fókuszálásával a térfrekvencia alapján elkülöníthetők/kiszűrhetők azok a hatások, amelyeket a felszínközeli fúrásokban is



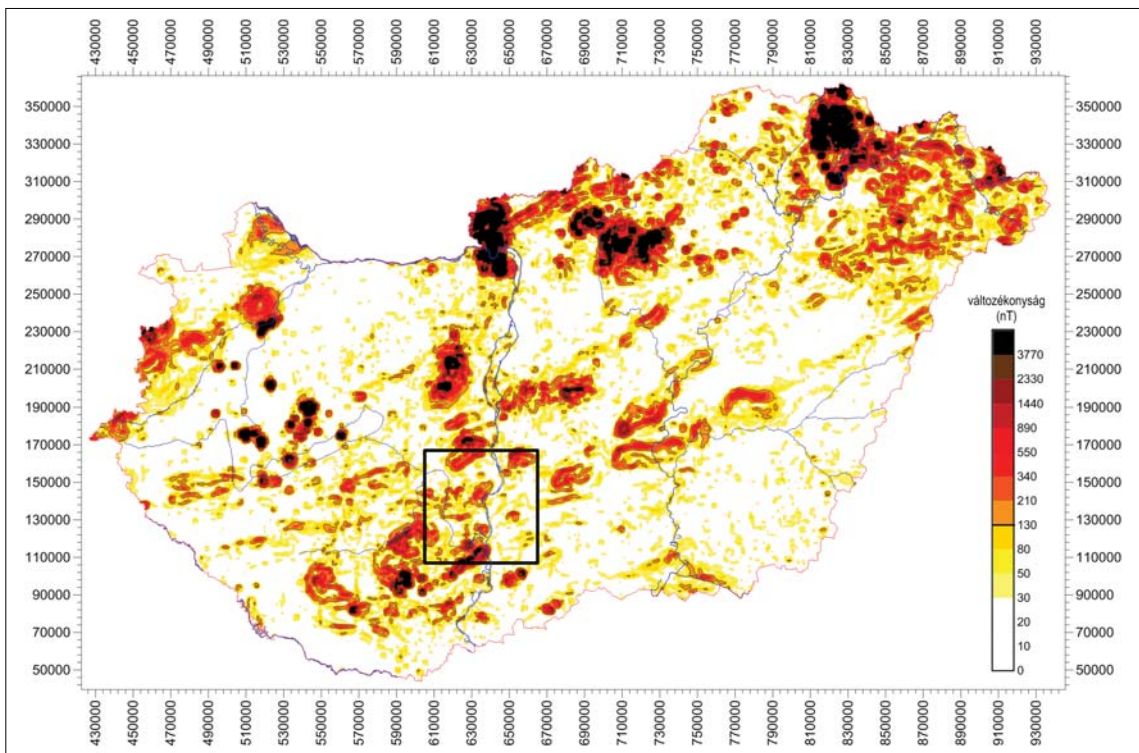
1. ábra Földi mágneses ΔZ adatokból transzformált²⁾ ΔT anomália-térkép bázisos magmás lávaképződményeket harántoló fúrásokkal (a paksi mintaterületet fekete kontúr jelzi)

Figure 1 ΔT anomaly map transformed from field magnetic ΔZ data with boreholes crossing basic igneous lava formations (black contour indicates the Paks study area)



2. ábra | Spektrálanalízis alapján szűrt mágneses ΔT anomália-térkép – a felső 1 km-es tartomány hatása (a paksi mintaterületet fekete kontúr jelzi)

Figure 2 | Filtered magnetic ΔT anomaly map based on spectral analysis – effect of the upper 1 km depth range (black contour indicates the Paks study area)



3. ábra | Az anomális mágneses tér változékonysága Magyarország területén a földi mérések alapján, azaz a bázisos földtani képződmények elterjedésének területi lehatárolása (a paksi mintaterületet fekete kontúr jelzi)

Figure 3 | Variation of the magnetic anomaly field of Hungary based on field measurements, territorial delimitation of the distribution of basic geological formations (black contour indicates the Paks study area)

harántolt, bázisos képződmények okoznak (Kiss 2013). Nyilvánvalóan le kellett fejteni a mélybeli hatásokat az anomáliatérrel azért, hogy a felszínközeli (felső 1 km) összletnek a mágneses hatását azonosíthassuk (2. ábra). Mindezt úgy kellett elvégeznünk, hogy a lehetséges települési mélységet is meghatározzuk, amit az ekvivalens hatók spektrális mélységbecslése tett lehetővé. Az eredményként kapott, rengeteg lokális, nagyon változó (mozaik)anomália elsőre értelmezhetetlennek tűnt, látszott, hogy ez még mindig nem elegendő a hatók beazonosításához, és még kell valami az azonosításhoz...

A hatók pontosabb területi lehatárolásához a dipóltér leegyszerűsítése és értelmezhetőbbé tétele volt szükséges. Egy olyan feldolgozási lépés kellett, amellyel a mágneszettségi vektor és a test térbeli helyzetéből adódó változó, plusz-mínusz anomáliát egy stabil, egyértelmű anomáliává alakíthatjuk. Ezt először a Nyírség alatti eltemetett vulkanitok kimutatására alkalmaztuk (Kiss et al. 2019), majd e tapasztalatok, valamint néhány mintaterület vizsgálati eredménye után (lásd később), az egész országra kiterjesztettük.

A szüretlen mágneses anomáliák változékonysági térképét³⁾ mutatja a 3. ábra. A térkép nagyszerűsége abban rejlik, hogy közvetlenül mutatja a több évtizeden keresztül Magyarország területén leírt mágneses adatok alapján érzékelhető mágneses (bázisos összetételű) földtani képződmények területi elhelyezkedését.

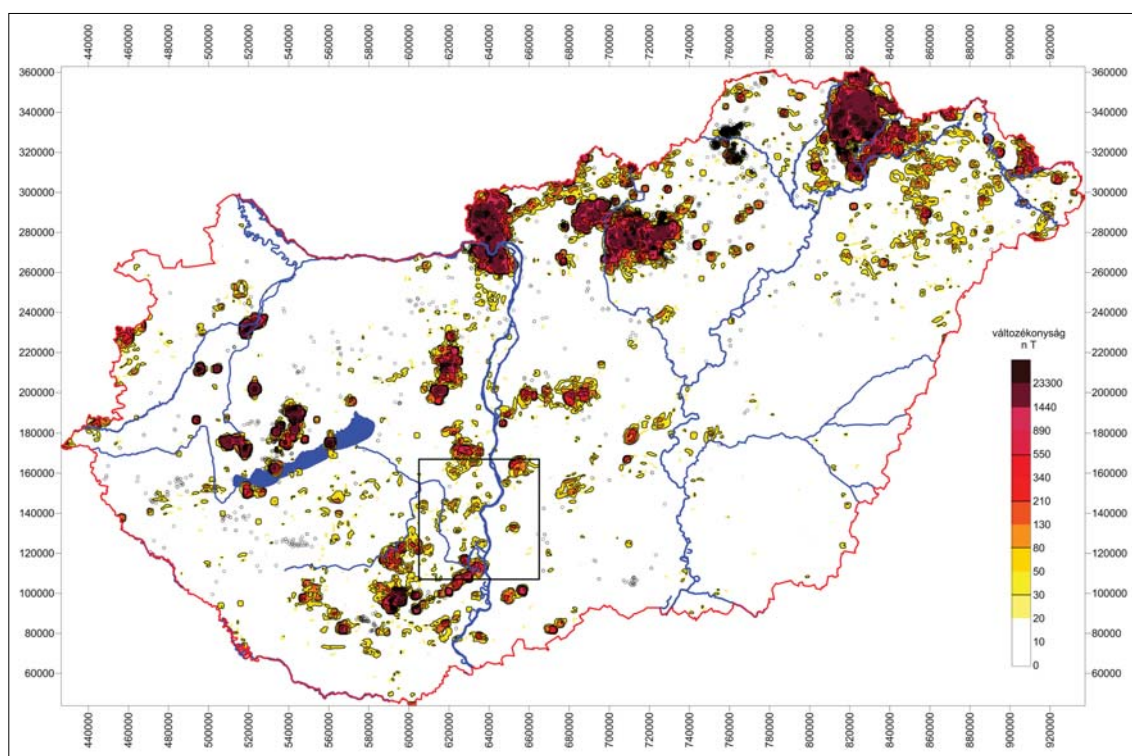
Ez a térkép az összes hatót jelzi, a spektrálisan szűrt térkép viszont csak adott mélységtartományok hatását mutatja.

A felszínközeli (max. 1 km-es mélységű) hatók erős mágnesezettsége miatt a spektrálisan szűrt anomáliák amplitúdója még jelentős (2. ábra), mivel az üledék és a mágneses földtani képződmények mágnesezettsége között több nagyságrend eltérés is lehet. A pozitív és negatív anomáliapárok miatt azonban az eredeti térképen bonyolult, nehezen értelmezhető a szűrt, nagyfrekvenciás mágneses anomália-tér.

A 4. ábra mutatja a spektrális szűrt térképnek a változékonyságát, azaz ahol a szűrt térképen nincs változás, ott a változékonysági térkép alapértéken (nulla körül) van, ahol pedig változás van, azaz mágneses ható van az adott mélységtartományban, ott a térkép értéke nullától eltérő. Eltűnnek a 2. ábra jellegzetes pozitív-negatív anomáliapárjai, a térkép (4. ábra) letisztult, és könnyebben felhasználhatóvá és értelmezhetővé válik.

Ha a spektrálisan szűrt legfelső mélységszint változékonysági térképét vizsgáljuk a bázisos magmás lávaképződményeket harántoló fúrásokkal, akkor sokkal tisztább, érthetőbb képet kapunk (4. ábra). Országos léptékben a kis térfogatú, bázisos magmás kőzetet harántoló fúrások azonban még mindig bezavarnak az összképbe, ezért érdemes egy konkrét részterületet megvizsgálni.

Tulajdonképpen megjelent már egy dolgozat, amely a nyírségi részterület ilyen jellegű mágneses feldolgozási



4. ábra A felszíni 1 km-es mélységtartomány mágneses változékonysági térképe a bázisos magmás lávaképződményeket harántoló fúrásokkal (a paksi mintaterületet fekete kontúr jelzi)

Figure 4 Variation of magnetic anomaly field of the 1 km depth range with boreholes crossing basic igneous lava formations (black contour indicates the Paks study area)

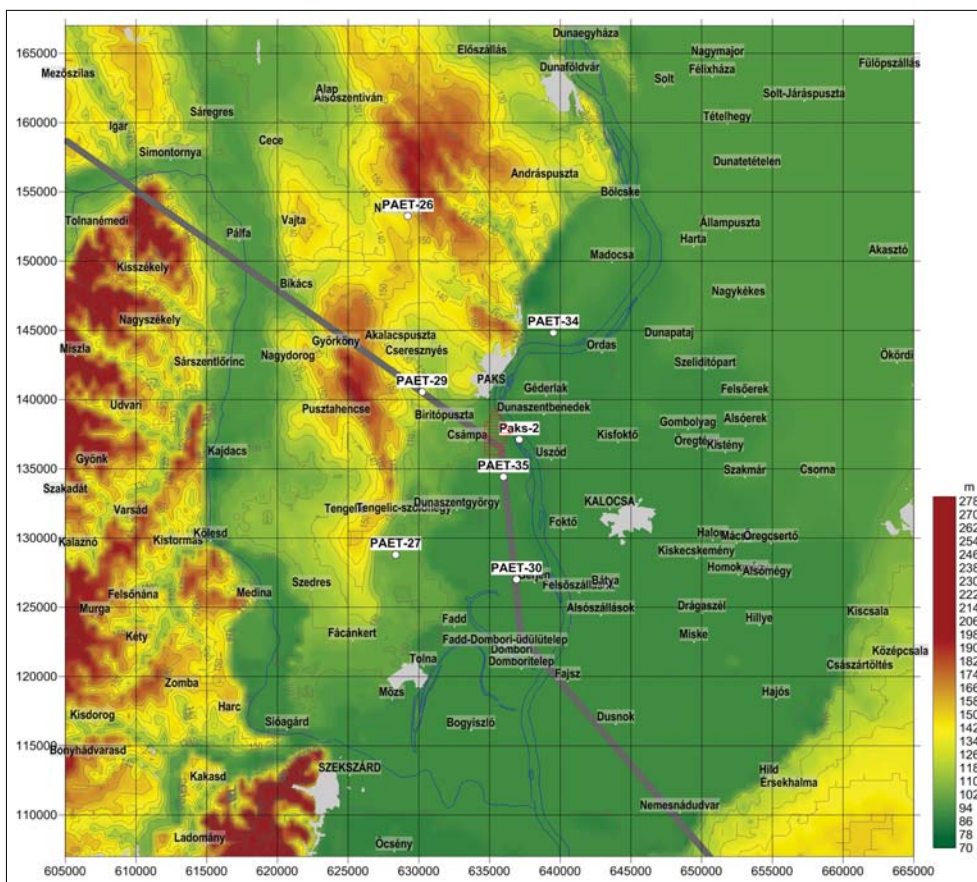
eredményeit mutatta be (Kiss et al. 2019). Érdekes azonban más, kutatási szempontból érdekes vagy perspektivikus részterületeken is kipróbálni az eljárást, mint pl. Paks környéke.

Paksi mintaterület

Paks területén több kutatási és mérési kampány volt. Először az atomerőmű elhelyezése céljából végzett kutatások (~60-as években), majd a kis és közepes aktivitású atomerőműi hulladékot lerakóhelyének kutatásakor (1996-tól), legutoljára a Paks-II program keretében, ami az atomerőmű bővítése céljából történt (2015-től).

Az 5. ábra Paksnak a környezetét mutatja, ahol az atomerőmű-beruházás miatt a közelmúltban szerteágazó földtani kutatás folyt. A munkának része volt a PAET jelű mélyfúrások lemélyítése, majd földtani szelvény szerkesztése (lásd később).

A fúrások egy részében 700 m körüli mélységben andezit harántoltak, a PAET-29 fúrás (1. táblázat) 729,58 m-től a talpig (1220,42 m vastagságban), a PAET-34 fúrás (2. táblázat) 699,55 m-től 1224,9 m-ig (525,35 m vastagságban). Egy korábbi fúrás (Paks-2, 3. táblázat) alapján már ismert volt, hogy 1100 m mélységben miocén andezit is jelen van. A mi szempontunkból vizsgálva ez azért érdekes, mert Magyarországon a miocén andezit az egyik leg szélesebb körben elterjedt mágneses ható.



5. ábra Paks és környéke a domborzati térképen az 500 m-nél mélyebb mélyfúrásokkal és a szerkesztett földtani szelvény (lásd később) nyomvonalával

Figure 5 Paks and its surroundings on the topographic map with deep wells (deeper than 500 m) and the path line of the geological section (see below)

I. táblázat A PAET-29 fúrás egyszerűsített rétegsora (formációk)

Table 1 Simplified sequence in PAET-29 borehole (by formations)

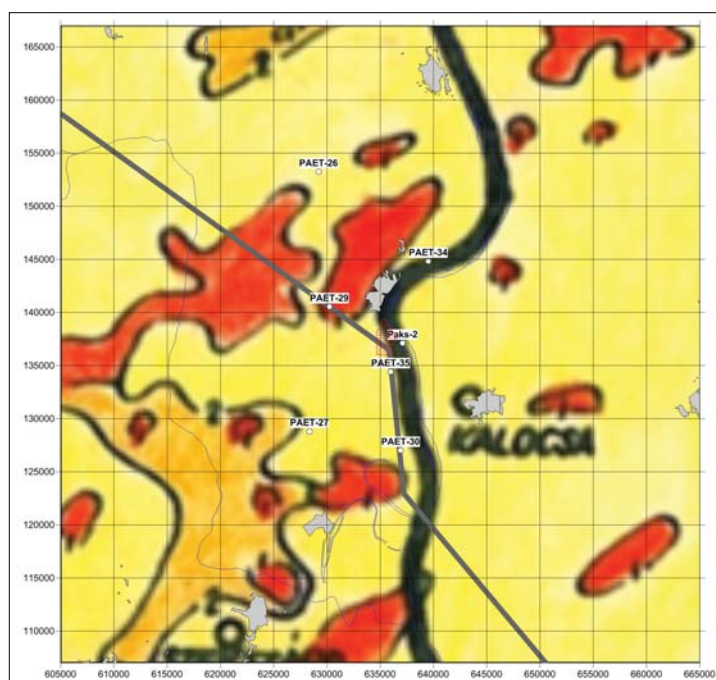
	Mélységtől	Mélységig	Formációk	masl_től	masl_ig	Vastag
PAET-29	0,00	611,30	teljes szelvényű	133,19	-478,11	611,30
	611,30	635,85	Tinnyei	-478,11	-502,66	24,55
	635,85	723,60	Lajta	-502,66	-590,41	87,75
	723,6	729,58	Mecseki Andezit tufa	-590,41	-596,39	5,98
	729,58	1950,00	Mecseki Andezit	-596,39	-1816,81	1220,42

2. táblázat | A PAET-34 fúrás egyszerűsített rétegsora (formációk)
Table 2 | Simplified sequence in PAET-34 borehole (by formations)

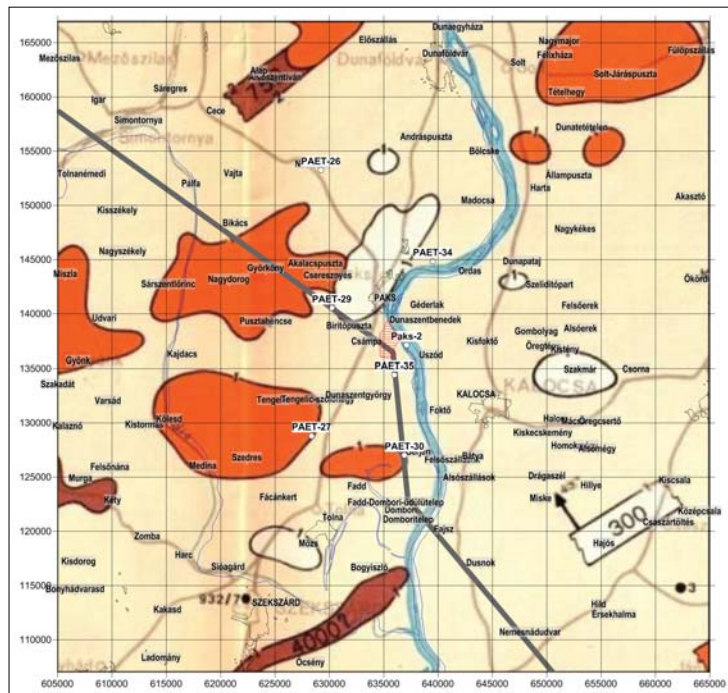
	Mélységtől	Mélységig	Formációk	masl_től	masl_ig	Vastag
PAET-34	0,00	690,30	teljes szelvényű	133,19	-557,11	690,30
	690,30	699,55	Lajta	-557,11	-566,36	9,25
	699,55	1224,90	Mecseki Andezit	-566,36	-1091,71	525,35
	1224,90	1498,40	Szászvári	-1091,71	-1365,21	273,5
	1498,40	1499,20	Gyulakeszi	-1365,21	-1366,01	0,80
	1499,20	1526,20	Szászvári	-1366,01	-1393,01	27,00
	1526,20	1546,17	Gyulakeszi	-1393,01	-1412,98	19,97
	1546,17	1785,70	Szászvári	-1412,98	-1652,51	239,53
	1785,70	1832,46	Gyulakeszi	-1652,51	-1699,27	46,76
	1832,46	1832,95	breccsa	-1699,27	-1699,76	0,49
	1832,95	1867,80	Variszkuszi metamorfit	-1699,76	-1734,61	34,85

3. táblázat | A Paks-2 fúrás egyszerűsített rétegsora (litológia)
Table 2 | Simplified sequence in Paks-2 borehole (by lithology)

	Mélységtől	Mélységig	Litológia	masl_től	masl_ig	Vastag
Paks-2	0,0	27,3	homok/kavics/agyag/	150,0	122,7	27,3
	27,3	525,6	agyagmárga/aleurit/homok/	122,7	-375,6	498,3
	525,6	628,4	agyagmárga/mészmárga/	-375,6	-478,4	102,8
	628,4	655,1	agyagmárga/agyag/homokkő/mészke/riolittufa/	-478,4	-505,1	26,7
	655,1	718,5	agyagmárga/márga/agyag/homokkő/	-505,1	-568,5	63,4
	718,5	1089,0	agyagmárga/márga/homokkő/riolittufa/ mészke/dolomit/barnaköszén/riolittufa/tufit/	-568,5	-939,0	370,5
	1089,0	1593,0	tufit/aleurit/aleurolit/dácitandezit/agyagmárga/	-939,0	-1443,0	504,0



6. ábra | Mágneses hatók helyzete és becslt mélysége a paksi területre (piros színezés: 1 km-es becslt mélység, narancssárga színezés: 2 km-es becslt mélység, Posgay 1966a, részlet)
Figure 6 | Position and estimated depth of magnetic formations on the Paks area (area filled with red: estimated depth 1 km, area filled with orange: estimated depth 2 km (Posgay 1966a))



7. ábra | Mágneses hatók helyzete és becsült mélysége a paksi területre (Posgay 1966b). Jelmagyarázatot lásd a 8. ábrán!
 Figure 7 | Position and estimated depth of magnetic formations on the Paks area (Posgay 1966b). The legend is shown in Figure 8



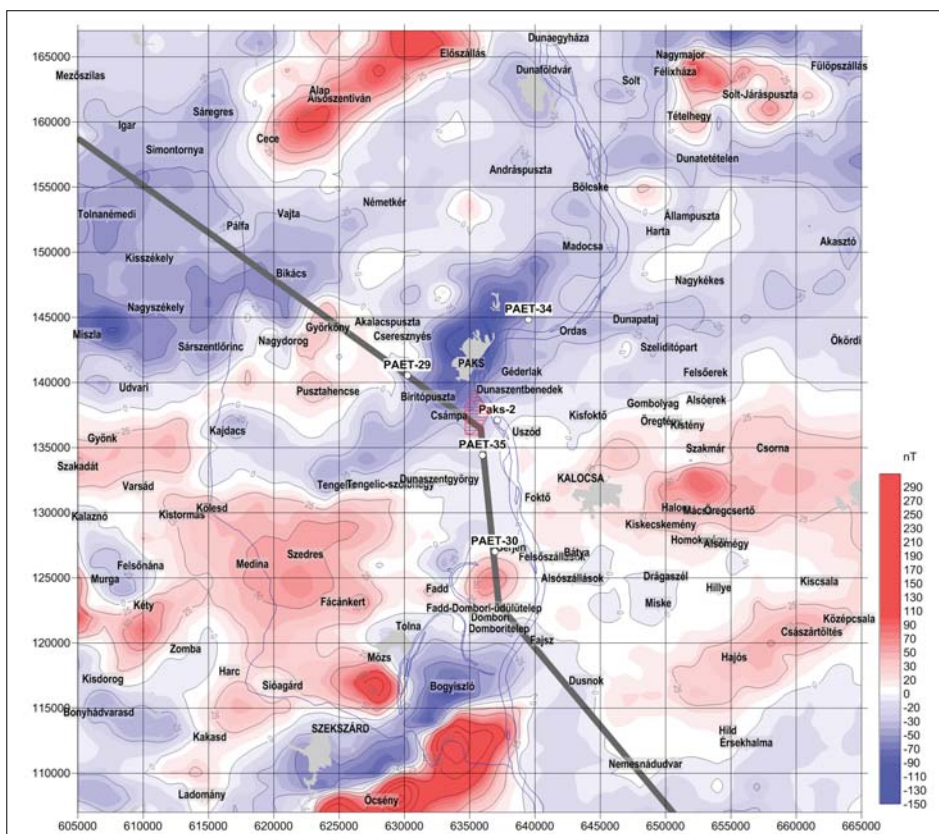
8. ábra | Az M = 1:500 000-es méretarányú „Magyarország földmágneses hatóinak áttekintő térképe” című nyomtatott térkép jelmagyarázata
 Figure 8 | Legend of the M = 1: 500 000 scale map “Overview of the Magnetic Causative Bodies of Hungary”

Természetesen a területről voltak archív mágneses adatok, amelyeket fel tudunk használni a fúrások környezetének vizsgálatokor (a friss mágneses mérési adatokhoz nem jutottunk hozzá). A mágneses adatok feldolgozásának is történelme van immár.

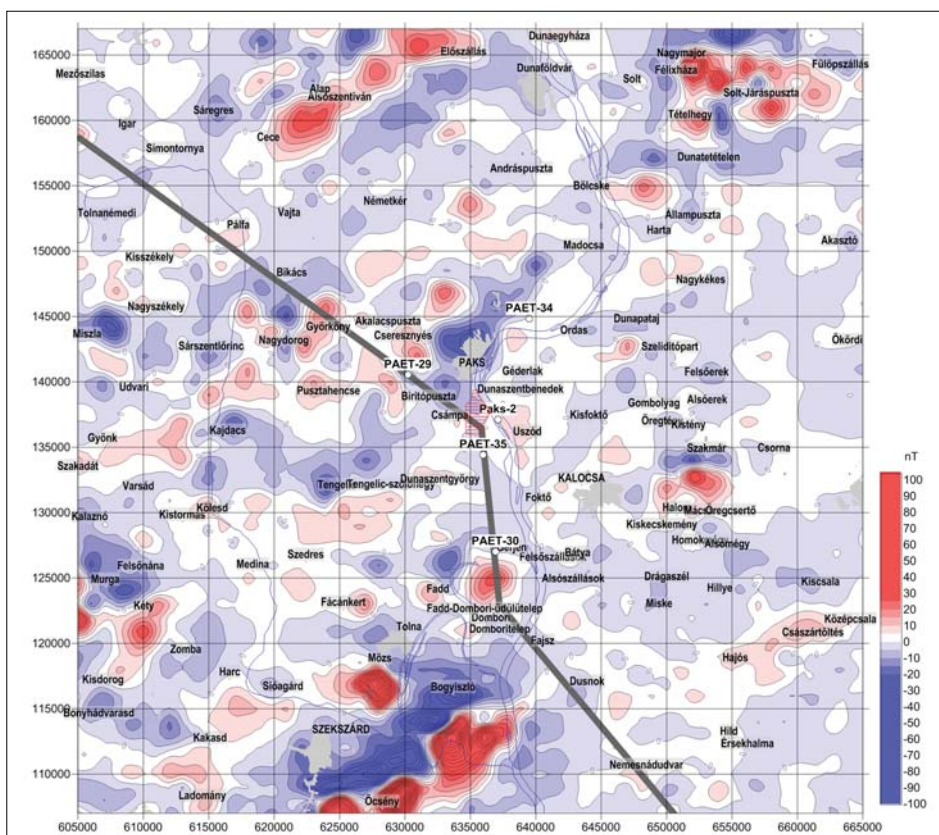
A mágneses mérések adatai alapján az első országos értelmezési eredményeket Posgay Károly publikálta 1962-ben (Posgay 1962). Ebben a cikkben az analóg feldolgozás elméleti alapjait ismerteti, és országos áttekintést ad a hatók becsült mélységéről és várható korbesorolásukról. Ebben a publikációban Paks közvetlen környezetének negatív anomáliájával még nem foglalkozik. Az eredményeket tovább finomítja, amelyek aztán megjelennek 1966-ban a kandidátusi értekezésében (1966a), a *Geophysical Transactions*-ban (1967), amelynek melléklete volt az országos, M = 1:500 000-es méretarányú „Magyarország földmágneses hatóinak áttekintő térképe” című nyomtatott térkép is (1966b).

Posgay Károly 1966-ban a Paks ÉNy-i peremén található, szerinte 1 km-es mélységben lévő mágneses hatót a kiértékelései alapján területileg lehatárolta és miocén korúnak sorolta be. A 6. és 7. ábra mutatja az országos térképen elvégzett hatókijelölés Paks területére kivágott részleteit.

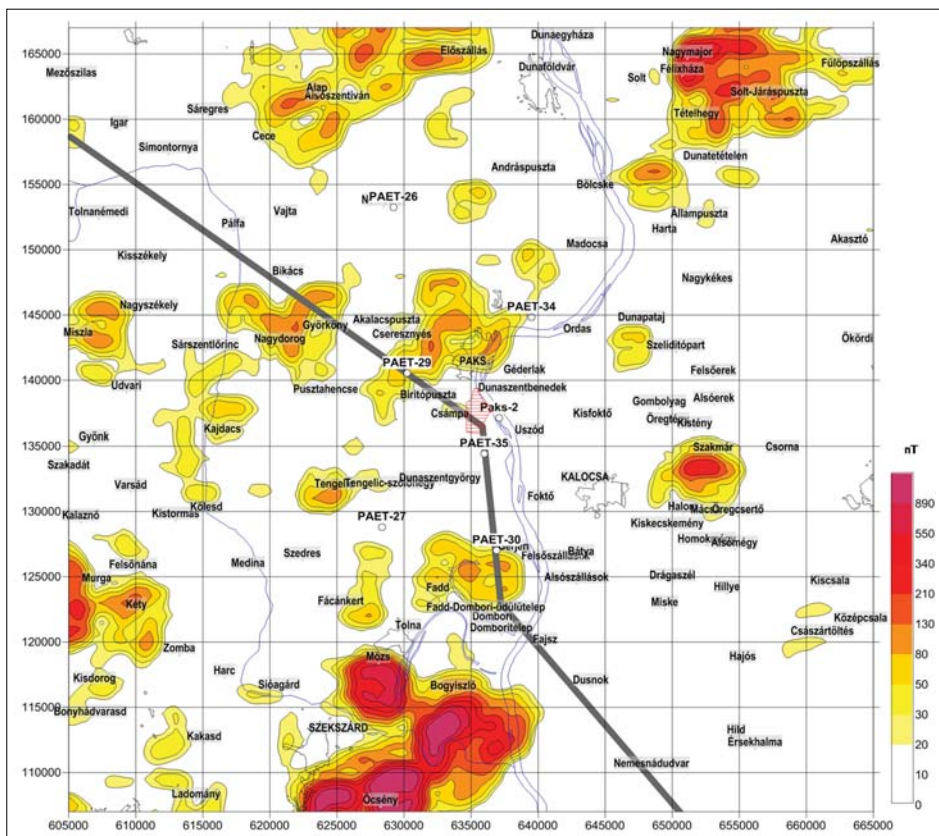
Az országos mágneses adatbázis adatai alapján digitálisan elkészíthetjük a terület mágneses anomália-térképét, a mérésnek megfelelő felbontásban. Az anomália-térképen (9. ábra) látszik, hogy a nulla körüli alapszintből három jelentősebb anomália rajzolódik ki, D-en a Szekszárd–Bogyiszló minimumvonal és a hozzá tartozó délebbi maximumvonal (valamint egy lokális maximummal északon), a Tengelic–Paks–Madocsa minimumzóna és a harmadik, a Cece–Előszállás maximumvonalat a terület É-i részén. Ezek a területek a mágneses anomáliák alapján számolhatunk mágneses hatóval. Az anomáliák formája a közép-magyarországi zónának megfelelő.



9. ábra ΔZ adatokból transzformált mágneses ΔT anomália-térkép
 Figure 9 Magnetic ΔT anomaly map transformed from ΔZ data



10. ábra Szűrt mágneses ΔT anomália-térkép (a felső 1 km-es mélység mágneses hatása, részlet az országos adatrendszerből)
 Figure 10 Filtered magnetic ΔT anomaly map (magnetic effect of the upper 1 km depth, fragment from the country-side data)



11. ábra | 1 km mélységben a mágneses hatók területi lehatárolása a spektrálisan szűrt mágneses adatok változékonysági térképe alapján
 Figure 11 | Spatial delimitation of magnetic bodies at a depth of 1 km based on the variation of spectral filtered magnetic data

Ezúttal bennünket elsősorban a paksi területre érdekel. A maximumpár nélküli minimumzóna azt jelzi, hogy remanens mágnesezettségű hatóval van dolgunk (ezt valószínűleg Posgay Károly is felismerte 1966-ban). Az anomália rajzolta, a közép-magyarországi zónának megfelelően elnyújtott minimum szerkezethez kapcsolódó eltemetett mágneses hatót jelez. A mágneses ható pontos mélységét az alaptérkép alapján csak becsülni lehet. A két mélyfúrás a minimumzóna peremi részein található hasonló helyzetben.

Elvégezve a mágneses adatok spektrális szűrését (Kiss 2013), a térfrekvencia alapján leválogattuk a felső 1 km mélységből származó mágneses hatásokat (10. ábra).

A Szekszárd–Bogyiszló anomáliavonulat most is azonosítható, a legerősebb mágneses hatás a térképen. A Tengelic–Paks–Madocsa minimumzóna szétesett több kisebb méretű nagyfrekvenciás anomáliára (a mélybeli hatás jelentős része eltűnt), a Cece–Előszállás maximumvonulat szintén feldarabolódott, de még mindig dominánsan jelen van. Megjelent több kisebb anomáliazóna, mint például Ny-on a Kéty–Kisdorog–Felsőnána térségben, Kalocsától K-re Szakmár alatt, valamint Solt-Járáspuszta tágabb környezetében ÉK-en.

Paktól Ny-ra, egészen Sárszentlőrincig több kisebb-nagyobb, az alapszintből kiemelkedő minimum- és maximumanomália azonosítható, de a legnagyobb anomália továbbra is Paks alatt, illetve mellett, a Ny-i oldalon azonosítható. A PAET-29 fúrás a plusz-mínuszos anomáliák

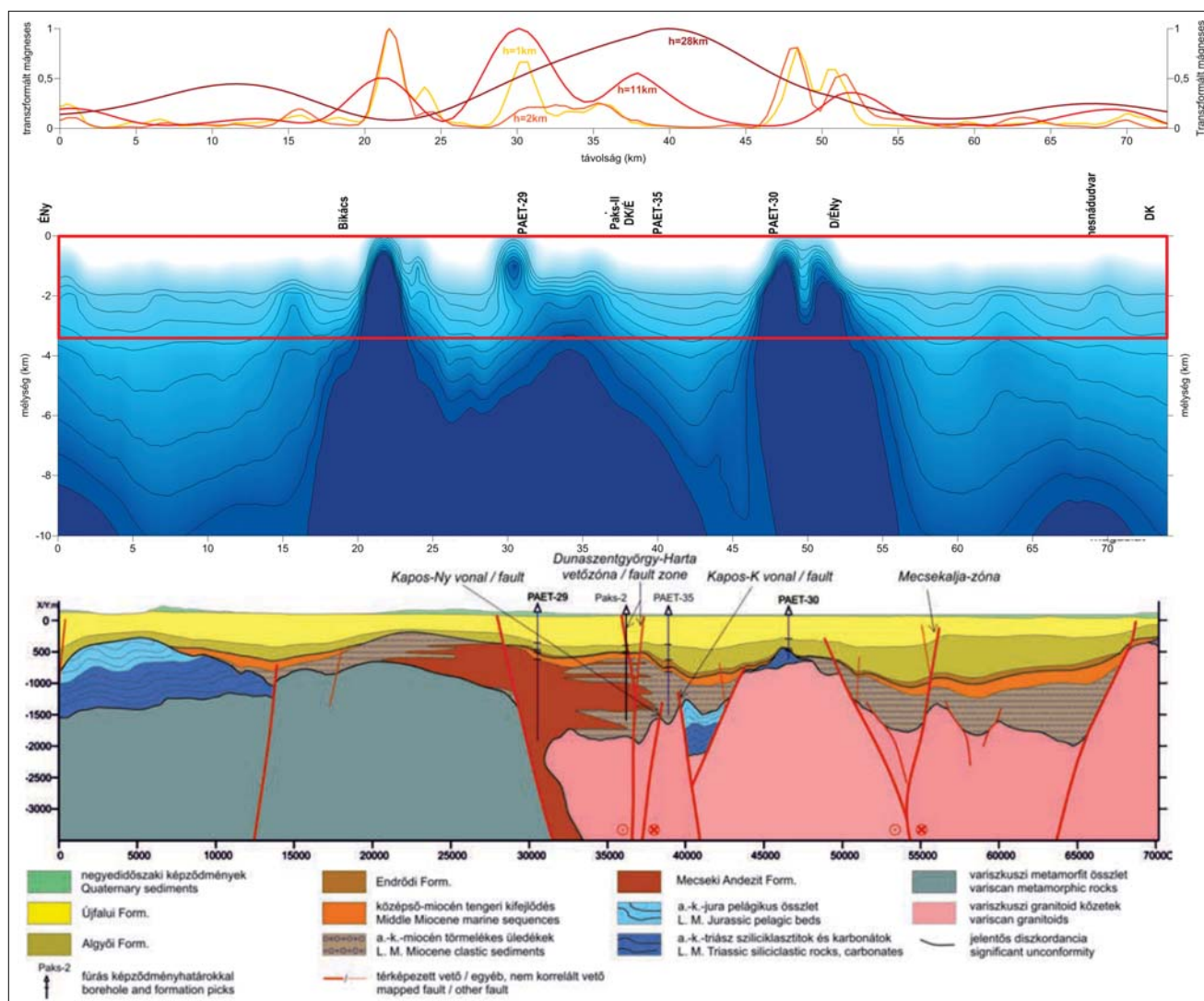
között található, a PAET-34 fúrás közvetlen környezete már anomáliamentes részre esik.

A térkép még a gyakorlottabb kiértékelő számára is bonyolultnak tűnik – nehéz állást foglalni, hogy hol vannak-e a mozaikanomáliák alatt a lehetséges mágneses hatók és azoknak mekkora a kiterjedése!

A 11. ábra mutatja a szűrt mágneses anomália-térképből kiszámított változékonysági térképet. A térképen csak a 20-nál nagyobb értékek vannak megjelenítve. A 11. ábra térképe letisztulva mutatja az eltemetett mágneses hatók legvalószínűbb helyzetét. A térkép szinkulcsa (érzékenysége) önkényesen megválasztott, de a látvány jól mutatja a PAET-fúrásokban harántolt andezitek vastagságviszonyát. Látszik, hogy a feláramlás egy DNy–ÉK-i irányított zóna (szerkezet) mentén valószínűsíthető, és annak központi része a 2–7 km-re, ÉK-re található a PAET-29 fúrástól.

A földtani szelvény nyomvonalában is érdemes megnézni a spektrális szűrésekből (12. ábra, felül) elkészíthető relatív mágnesezettségi mélységmetszetet (12. ábra, közepén). A mágnesezettségi metszet elkészítésének módját előző publikációnk (Kiss, Vértesy 2020) mutatta be.

A 12. ábrán azt látjuk, hogy 1 km-es mélységtartományban nem a PAET-29 mélyfúrás környékén van a legnagyobb a mágneses ható. Bikáctól D-re, 22 vkm-nél, illetve közvetlenül a PAET-30 fúrás mellett D-en is erősebb, nagyobb mágneses ható látszik, amelyek a földtani



12. ábra Mágneses hatók mélységi lehatárolása. Szűrt, normált mágneses változékonysági görbék (4 mélységre) a földtani szelvény nyomvonalában (felül), a görbék alapján megszerkesztett relatív mágnesezettségi mélységmetszet (középen) és a korábban készült földtani szelvény (alul). A földtani szelvény csak a felső 3500 m-re készült el, ezt a tartományt a mélységmetszeten piros kerettel kiemeltük

Figure 12 Depth determination of the magnetic formations along the geological section. Filtered, normalized magnetic variability curves (for 4 depths) along the profile of the geological section (top), the relative magnetization depth section constructed based on the curves (middle), and the geological section made earlier (bottom). The geological section was completed only for the upper 3500 m, which is highlighted with a red frame on the depth section

szelvényen (12. ábra, alul) nem jelennek meg. Az is látszik, hogy a felvett szelvény nyomvonala nem a legnagyobb amplitúdójú mágneses anomálián megy keresztül, ahogyan a PAET-29 sem ott lett lemélyítve.

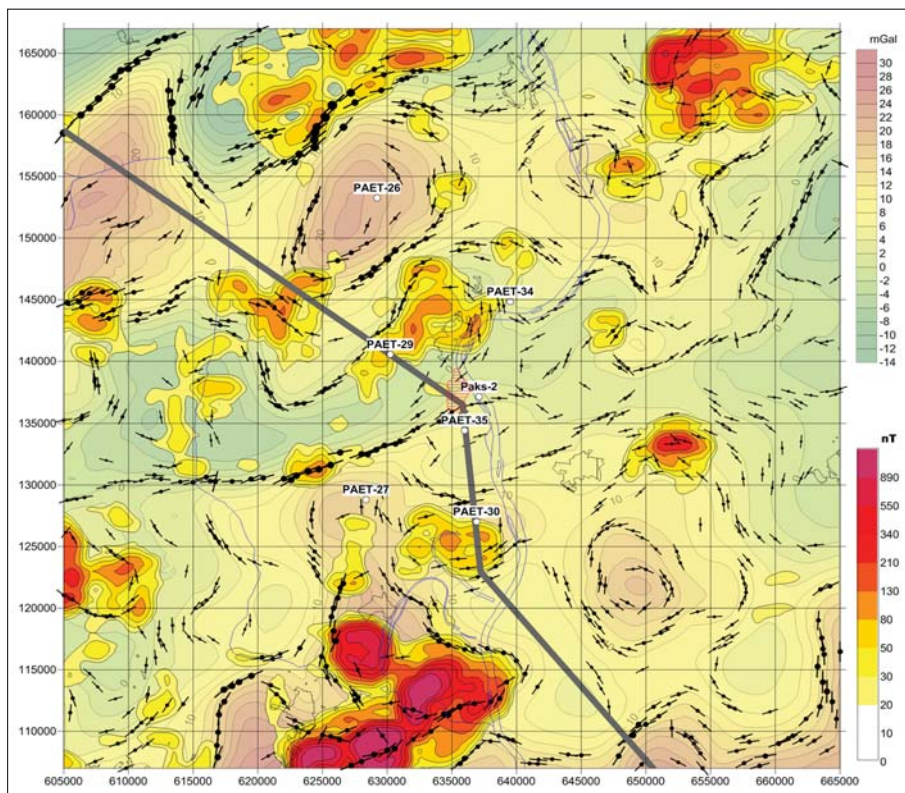
A mágneses hatók az 1 km-es spektrális tartományban már megjelennek, ami azt jelenti, hogy felső peremük mélysége 1 km-nél kisebb mélységben található. A mágneses adatok felmértése (1500 m-es nominális ponttávolság) miatt ennél pontosabb mélységmeghatározás nem lehetséges. A mágneses ható mágnesezettségi paramétereit nem ismerve a kétdimenziós modellezés is bizonytalan eredményeket adna (paleomágneses vizsgálatokról, mágnesezettségi paramétereikről nincs tudomásunk).

Az andezit test és a szerkezet kapcsolatának vizsgálatakor érdemes a gravitációs adatokat is elővenni. Az

izosztatikusan korrigált (Moho-hatástól mentes) Bouguer-anomália-térképet és a gravitációs hatóperemek egyértelműen jelzik az andezit kapcsolatát a tektonikával, illetve a tektonikai árokkal (13. ábra).

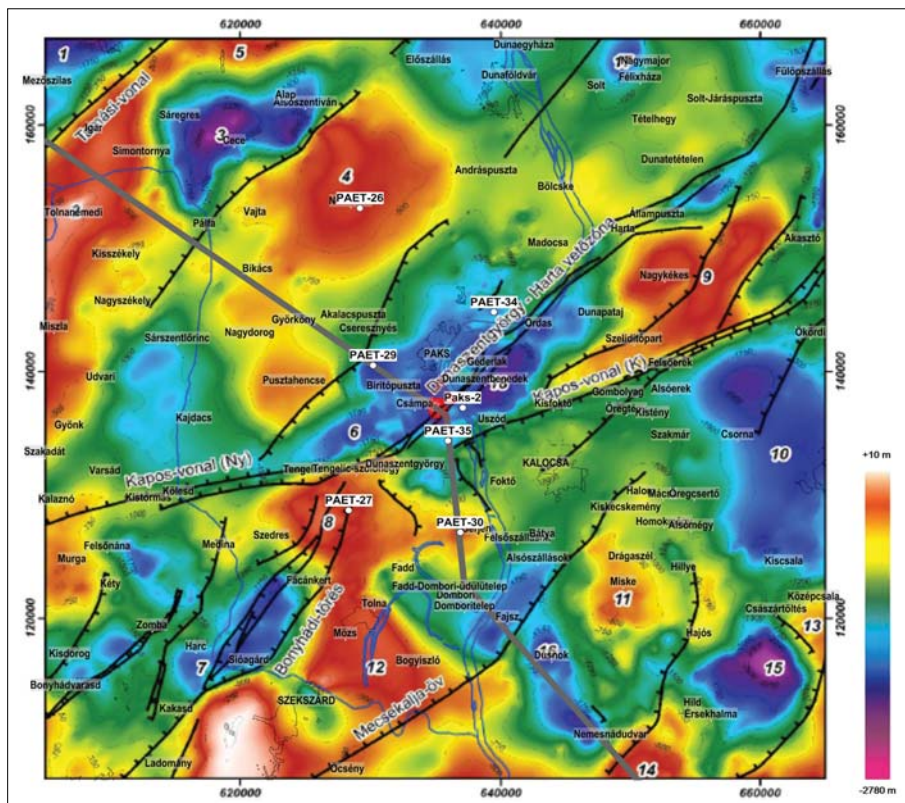
Míndez a paksi munkák során megszerkesztett pre-kainozoos aljzattető térképén is azonosítható (15. ábra). A tektonikai vonalak lefutása és a gravitációs hatóperemek összességében jó egyezést mutatnak, részleteiben azonban vannak eltérések, például a telephely környezetében is.

A Dunaszentgyörgy-Harta Vetőzóna ÉK-i irányból egyenesen nem folytatható a Kapos-vonalig, mert a gravitációs hatóperemek alapján szétnyílik a vetőzóna! ÉK-ról a vető a Duna vonalát követve éri el Ordast, majd azt elhagyva két irány valószínűsíthető. Az egyik, követve a Duna kanyarodását, azaz egy K-Ny-i eltolódás után



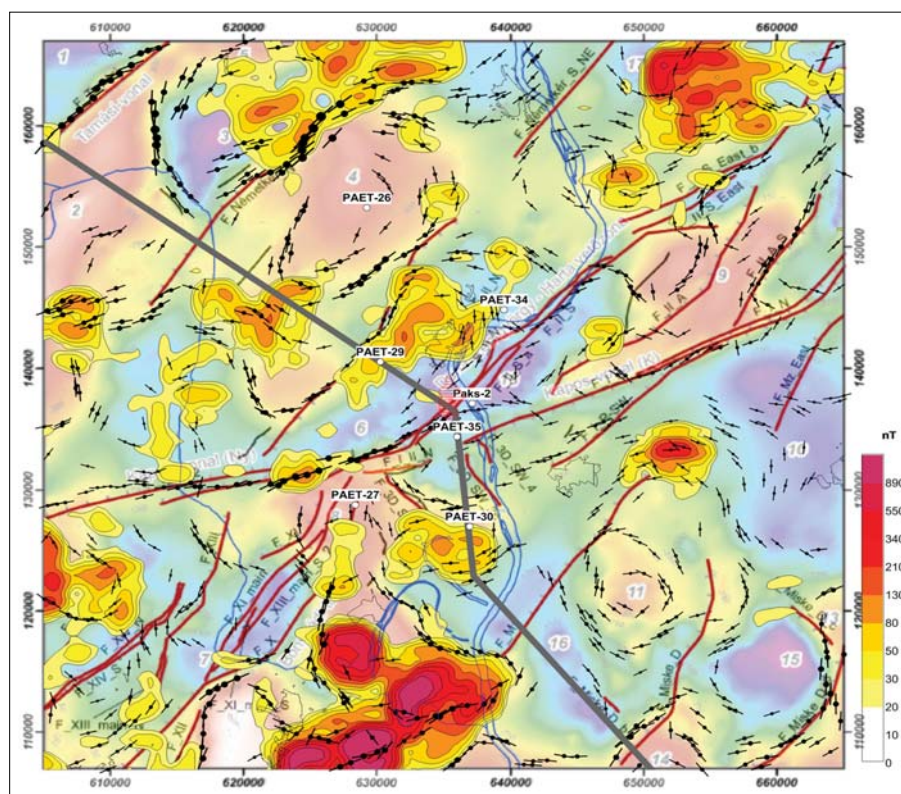
13. ábra A mágneses változékonysági térkép (felső 1 km hatása) és a Bouguer-anomália-térkép a gravitációs hatóperemekkel, a hatóperemeknél az amplitúdó (szimbólumnagyság) mellett megadtuk a szerkezetek/határfelületek csapásirányát vonalakkal

Figure 13 Variation of magnetic anomaly field (upper 1 km effect) and the Bouguer anomaly map with edge detections, in the case of the edges, in addition to the amplitude (symbol size), the strike direction of the structures/interfaces was given by lines



14. ábra Paks tágabb környezetének aljzatmorfológiai elemei és vetőrendszere (Horváth et al. 2019)

Figure 14 Basement morphology and fault system in the environment of Paks (Horváth et al. 2019)



15. ábra A prekainozoos aljzatmorfológiai elemek és vetőrendszerek (mint háttér, halványan) és a gravitációs hatóperemek, valamint a bázisos vulkanitok elhelyezkedése a felső 1 km-es mélységtartományban

Figure 15 Pre-Cenozoic basement morphology and fault system (as a background) with gravity edge detections as well as basic volcanites in the upper 1 km depth range based on magnetic data

Paks település DK-i peremén fut tovább, majd Paksot és a Duna medrét elhagyva az eredeti irányítottságának megfelelően Csámpa felé éri el a Kapos-vonalat. A másik irány egyszerűbb, egyenesebb, ekkor Ordastól Uszód felé folytatódva éri el a Kapos-vonalat.

A viszonylag ritka gravitációs adatok alapján ez a két szerkezet É-ről, illetve D-ről kerüli a paksi telephelyet, és nem azon megy keresztül, amint azt a 14. ábra értelmezett vetőrendszere mutatja. A 15. ábra együtt mutatja a hatóperemeket és az értelmezett vetők nyomvonalát.

A gravitáció általában mélyebb szerkezeteket jelez, mint amit a szeizmikus mérésekből értelmezzünk és Paks környékének gravitációs felmérése sem eléggé részletes, így a kapott hatóperemek is egy regionálisabb szerkezeti képet mutatnak, amelyeket országos vizsgálatok alapján már korábban is láttunk (Kiss 2006). Az andezittest Paks környezetében a sűrűségviszonyokat is megbolygathatja, ami a hatóperem lefutását is nyilvánvalóan befolyásolja.

Összefoglalás

A mágneses anomália-térkép elvileg jelzi a mágneses hatókat vagy legalábbis a mágneses tér azon változásait, amelyeket a földtani képződmények (bázisos magmatitok és metamorfitek) okoznak. Ahol vannak ilyen változások, ott van valamilyen bázisos földtani képződmény, ugyan-

akkor ahol nincsenek anomáliák, ott egyértelműen kijelenteni azt, hogy nincsenek mágneses hatók, nem lehet, mert vízszintes, lemezszerű testek ilyen helyeken is előfordulhatnak.

Már többször közzétettük (Kiss 2009, Kiss et al. 2015), hogy a nagy kiterjedésű lemezszerűen elterülő mágneses testeket gyakorlatilag csak a peremeken jelentkező anomáliák jelzik, az ilyen testek közepe felett, még szerencsés esetben is csak alapszint-emelkedés vagy -csökkenés látszik. A magmás kőzetek esetében sokszor az összetételből adódóan nincs is mágneses hatás (savanyú magmatitok vagy másodlagos hatásokra átalakult bázisos magmatitok).

A spektrális mélységszeleltetés (adott mélységtartományok hatásának vizsgálata) és a változékonyság együttes alkalmazása alapján ki tudjuk mutatni, hogy hol vannak nagy valószínűséggel mágneses hatók, amint azt a paksi fúrások környezetében fentebb bemutattuk.

Korábban – már 1966-ban analóg módon – a mágneses anomáliák vizsgálata alapján (Posgay 1966a,b) vagy az országos digitális adatfeldolgozásokkal a mágnesestér-gradienst ábrázoló térképen, illetve annak vertikális integrálján (Kiss 2013), de a pszeudogravitációs térkép horizontális gradiensen (Kiss 2015) a paksi anomáliák rosszabb felbontásban (mivel országos térképek), de egyértelműen azonosíthatóak voltak. Az új paksi PAET-fúrások fel is tárták nekünk az anomáliák okozóit, de azok várható ki-

terjedése nem derült ki, amelynek a meghatározására a jelen cikk mágneses adatfeldolgozásai alapján lehetőség nyílik.

Az országos 1,5 km mintavételi sűrűségű anomália-térkép felbontása nem a legjobb, légi mágneses mérések nem fedik le a területet, a nagyobb sűrűségű paksi mágneses mérési anyag zárólva van, számunkra nem elérhető, pedig az valószínűleg még pontosabban határolná le a 700 m mélységben elhelyezkedő andezitek horizontális kiterjedését.

Készült egy tanulmány is a paksi mérésekről és feldolgozásokról (Horváth et al. 2019), amelyre a cikkben hivatkoztunk is, de a mért mágneses adatrendszer és annak feldolgozása ott nem jelenik meg.

A 2D szeizmikával sűrűn felmért területek esetében a gravitációs anomália-térkép megadhatja a harmadik dimenziót, a térbeli kapcsolatot. A 3D szezmika mellett pedig, független adatrendszerként ellenőrzésre jól használható a gravitációs adatrendszer. A paksi területen kvázihálózatú gravitációs mérések állnak rendelkezésre: utak mentén, 500 m-enként mérve, közte több kilométeres adathiányos területekkel. Tehát az egyik legolcsóbb kutatási módszerrel, a gravitációval nincs optimálisan lefedve a terület, miközben rengeteg pénzt elköltöttünk a földtani kutatásokra.

Ez a dolgozat jelzi, hogy az új feldolgozási eljárások (lásd Kiss 2013, Kiss 2015, Kiss, Vértesy 2020) segítségével tudunk új információkat szerezni még a régi archív geofizikai mérési adatokból is. Cikkünkben bemutattuk ezeknek az új feldolgozási eljárásoknak a gyakorlati alkalmazását az országos adatrendszeren, majd a paksi terület térképi adatain, illetve egy korábban megszerkesztett paksi földtani szelvény mentén.

Mágneses térképi feldolgozásaink alapján megadtuk a felszínközeli (1 km-nél kisebb mélységben jelentkező) mágneses képződmények (andezitek, bazaltok) várható földrajzi lehatárolását (x, y) és a kiválasztott földtani szelvény mentén azok várható szelvény menti elhelyezkedését (x, y, z).

A rendelkezésünkre álló adatrendszer ennél pontosabb lehatárolást nem tesz lehetővé.

A tanulmány szerzője

Kiss János

Jegyzetek

- ¹⁾ Az 1. Függelékben bemutatjuk néhány ásvány és kőzet Königsberger-hányadosát (Q), azaz a rimanens és indukált mágneszettség közötti arányt ($Q = J_r/J_i$).
- ²⁾ A transzformációnál az egységesített ΔZ adatokat, $63,5^\circ$ inklinációs és 3° deklinációs értéket használtunk.
- ³⁾ A változékonyságot az adatok statisztikai vizsgálata alapján a „szórás” paraméterrel jellemezhetjük. Ennek megfelelően a szórás egy adott terület- vagy szelvényegységre vonatkozó statisztikai paraméter, amelyet egy mozgóablakos szűrési eljárással lehet meghatározni. Az ablak nagysága az adatrendszer sűrűségétől, a vizsgálat céljától és a feldolgozást végző szak-

embertől függ. Ahol a mágneses tér legnagyobb változásai vannak, ott a szórás maximális értéket vesz fel. A mágneses hatók ezeken a helyeken a legvalószínűbbek.

Hivatkozások

- Clark D. A. (1983): Magnetic properties of pyrrhotite applications to geology and geophysics. MSc Thesis, University of Sydney, 256 pp.
- Clark D. A. (1997): Magnetic petrophysics and magnetic petrology: aids to geological interpretation of magnetic surveys. AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, 17/2, 83–103.
- Haáz I., Komáromy I. (1966): Magyarország földmágneses térképe, a függőleges térerősség anomáliái. 500000-es nyomtatott térkép. ELGI kiadvány
- Horváth F., Koroknai B., Tóth T., Wórum G., Konrád Gy., Kádi Z., Kudó I., Hámori Z., Filipcski P., Németh V., Szántó É., Biró A., Koroknai Zs., Földvári K., Kovács G. (2019): A „Kaposvonat” középső szakaszának szerkezeti-mélyföldtani viszonyai és neotektonikai jellegei a legújabb geofizikai vizsgálatok tükrében. Földtani Közöny, 149/4, 327–350.
- Kiss J. (2006): Magyarország gravitációs lineamenstérképe – első eredmények. Magyar Geofizika, 47/2, 1001–1010.
- Kiss J. (2009): Gravitációs és mágneses feldolgozások és modellezések a földtani környezet megismerése céljából. Doktori (PhD) értekezés, NyME Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola, Sopron
- Kiss J. (2013): Magyarországi geomágneses adatok és feldolgozások: spektrálanalízis és térképi feldolgozások. Magyar Geofizika, 54/2, 89–114.
- Kiss J. (2015): A Pannon-medence geomágneses anomáliái és a mélyfúrással feltárt bázisos földtani képződmények kapcsolata. Magyar Geofizika, 56/1, 21–42.
- Kiss J. (2016): A gravitációs és mágneses anomáliák átfogó értelmezése a Kárpát-Pannon-régióban. Földtani Közöny, 146/3, 275–298.
- Kiss J. (2018): Gravitációs, mágneses és légi geofizikai adatbázisok. Magyar Geofizika, 59/3, 129–148.
- Kiss J., Gulyás Á. (2006): Magyarország mágneses ΔZ anomália-térképe, M = 1:500 000-es nyomtatott térkép. ELGI-kiadvány
- Kiss J., Prácsér E. (2016): Szelvény mentén végzett adatfeldolgozási eljárások – hatókijelölés, frekvenciaszűrés és mélységfókuszálás – alkalmazása a CEL08 vonalon. Magyar Geofizika, 57/2, 69–87.
- Kiss J., Vértesy L. (2020): Potenciáltér-anomáliák paraméterfüggősége és spektrális mélységmetszetek. Magyar Geofizika, 61/1, 8–18.
- Kiss J., Vértesy L., Gulyás Á., Kovács A. Cs., Fancsik T. (2015): Bázisos földtani képződmények és a mágneses anomáliák, MGE Vándorgyűlés, Budapest
- Kiss J., Vértesy L., Fancsik T., Kovács A. Cs., Madarasi A., Gulyás Á. (2017a): Tisia, a geofizika adatok tükrében és a litoszférakutatató szelvények szeizmikusan nagy sebességű zónáinak értelmezése. Magyar Geofizika, 58/4, 209–229.
- Kiss J., Vértesy L., Gulyás Á. (2017b): Földmágneses esettanulmányok a Balaton-felvidékről, a Duna–Tisza közéről és a Tokaji-hegység területéről. Magyar Geofizika, 57/4, 126–151.
- Kiss J., Vértesy L., Zilahi-Sebess L., Takács E., Gulyás Á. (2019): A Nyírség geofizikai kutatása. Magyar Geofizika, 60/3, 103–130.

Kiss J., Zilahi-Sebess L., Szarka L. (2011): A mágnesség jelensége és a Hopkinson-effektus. *Magyar Geofizika*, 52/3, 151–169.

Nabighian M. N., Grauch V. J. S., Hansen R. O., LaFehr T. R., Li Y., Peirce J. W., Phillips J. D., Ruder M. E. (2005): The historical development of the magnetic method in exploration. *Geophysics*, 70/6, 33–61. DOI: 10.1190/1.2133784

Posgay K. (1962): A magyarországi mágneses hatók áttekintő térképe és értelmezése. *Geofizikai Közlemények*, 11/1–4, 77–99.

Posgay K., (1966a): A magyarországi földmágneses hatók áttekintő vizsgálata. Kandidátusi értekezés

Posgay K. (1966b): A magyarországi földmágneses hatók áttekintő térképe, M = 1:500 000. Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet kiadványa

Posgay K. (1967): A comprehensive survey of geomagnetic masses in Hungary. *Geophysical Transactions*, 16/4, 1–118.

1. Függelék

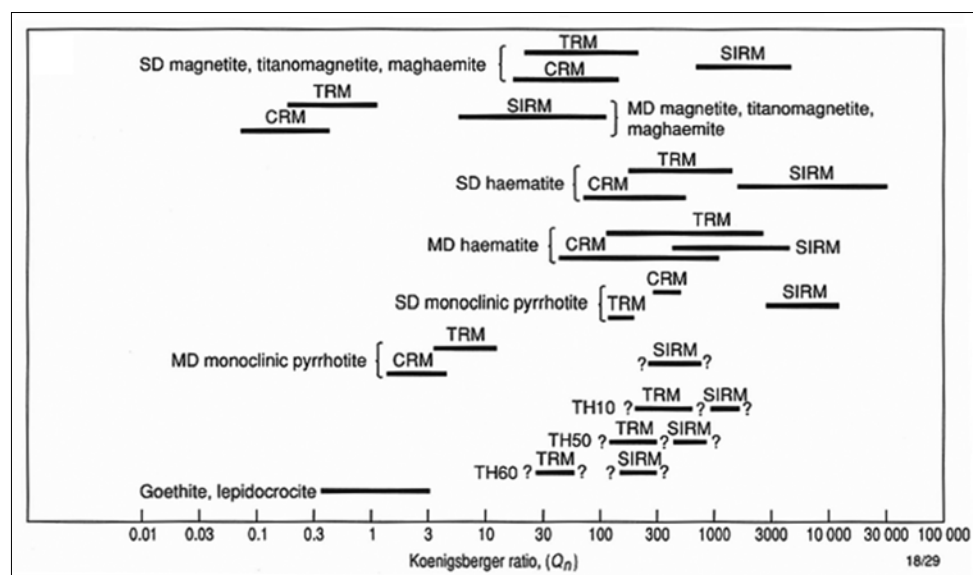
Remanens mágnesezettség mértéke – Königsberger-arányok

Clark (1983, 1997) publikációiban találtak ezeket az összefoglaló táblázatokat, amelyek nagy valószínűséggel általánosíthatók az egész Földre.

A 16. ábra a mágneses ásványok Königsberger-arányait mutatja. Látszik, hogy a TRM, azaz termális és a SIRM, azaz telített izotermikus remanens mágnesezettség esetén a legnagyobbak a Q értékei, akár 10 000-es értéket is elérhetnek. Érdekesség továbbá, hogy tulajdonságai alapján a magnetitet tartjuk a leginkább mágneses ásványnak, mégis a remanens mágnesezettség vizsgálatakor a pirrotin és a hematit tűnik a legerősebben mágnesezettnek.

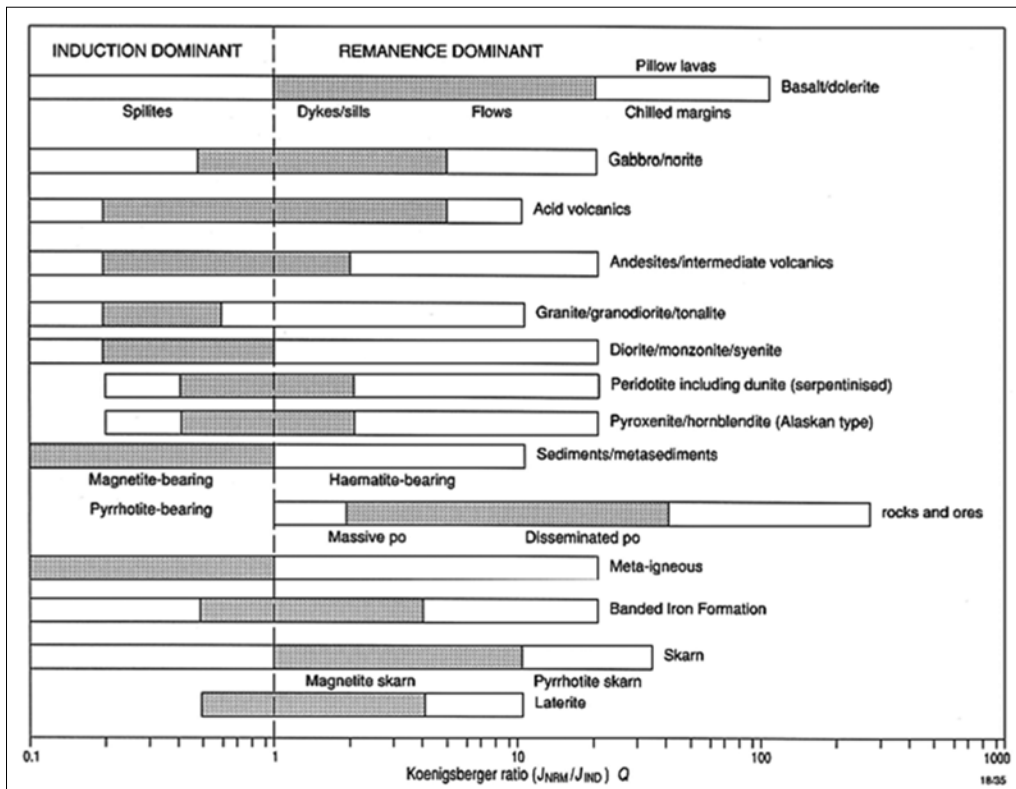
Itt persze felmerül a kérdés, hogy ezeknek az ásványoknak mekkora az alap mágneses szuszceptibilitása, ha nagyon kicsi, akkor annak az ezerszerese sem lesz túl nagy érték!

A 17. ábra a mágneses kőzetek Königsberger-arányait mutatja. Érdekes megfigyelni, hogy a középértékek alapján a gránitra, a granodioritra, a diorit, a monzonitra, a metavulkanitokra és a magnetit tartalmú üledékekre (azaz a plutóni, a metamorf és az üledékesre) az indukált mágnesezettség, ugyanakkor a bazaltra, a doleritre, azaz kiömlési kőzetekre, valamint a pirrotintartalmú és szkarnos kőzetekre, ércekre a remanens mágnesezettség a jellemző.



16. ábra Königsberger-arány a főbb mágneses ásványok esetén (Clark 1997) (CRM = kémiai remanens mágnesezettség, TRM = termoremanens mágnesezettség, SIRM = telített izotermikus remanens mágnesezettség, SD = egydomén, MD = multidomén)

Figure 16 Königsberger ratio for major magnetic minerals (Clark 1997) (CRM = chemical remnant magnetisation, TRM = thermoremanant magnetisation, SIRM = saturation isothermal remnant magnetisation, SD = single domain, MD = multi domain)



17. ábra Königsberger-arány a főbb mágneses kőzetek esetén (Clark 1997)

Figure 17 Koenigsberger ratio for major magnetic rocks (Clark 1997)

Eötvös Loránd, Milutin Milankovics, Bacsák György

SZARKA L.

Az Eötvös Loránd-émlékév (www.eotvos100.hu) alkalmából a Szerb Tudományos Akadémia által rendezett Eötvös-émlékülés (Újvidék, 2019. október 30.) meghívott előadójaként (egyben 2017-ben Milutin Milankovics budapesti emléktábla-avatásának szervezőjeként) Milutin Milankovics-műveket kaptam ajándékba [1, 2]. A szerb Milankovics 1914-ben a Monarchia foglya lett, de internáltként közel négy gondtalan évet tölthetett Budapesten, az MTA könyvtárában. A szerencsés körülményeknek köszönhetően úttörő tudományos munka született az éghajlatváltozások csillagászati okainak matematikai értelmezése révén. A könyv első változata [1] 1920. augusztus 7-én jelent meg. Milutin Milankovics munkáját később Bacsák György (Pozsony, 1870. június 5. – Fonyód, 1970. március 4.) fejlesztette tovább. Milankovics a javított változatban [2] ugyan három helyen is köszönetet mond Bacsák Györgynek, de Bacsák munkássága a nagyvilág számára lényegében ismeretlen maradt. Pedig az eredmények igen csak időszerűek. A hármas (100, 150, 50) évforduló alkalmából a Milankovics–Bacsák-elméletről és a mai fejleményekről a *Természet Világa* 2020. augusztusi számában részletes írás jelenik meg [3].

Az „Eötvös 100” emlékév egyik legnagyobb eredményének az eredeti Eötvös Loránd-publikációk elektronikus közzétételét (a korábbi mulasztások pótlását) tartom. Bacsák György írásainak nagyobbik része ugyan elérhető interneten, viszont az itt-ott fellelhető publikációs listák igen csak hiányosnak bizonyultak. Úgy gondolom, hogy a Milankovics–Bacsák-évfordulókról való méltó megemlékezést, egyúttal az éghajlatváltozások megértésében való előrehaladásunkat a legjobban az szolgálja, ha megismerkedünk Bacsák munkáival, gondolkodásával. A Függelékben Bacsák György frissen összesített publikációs jegyzéke szerepel.

A Milankovics–Bacsák-elméletet csak a hetvenes évek második felétől kezdték elismerni (zavartalan mélytengeri üledéksoroknak és azok pontos kormeghatározásának köszönhetően). Bacsák precízebb volt Milankovicsnál. Ha az ő értelmezése nagyobb figyelmet kap, a félreértések egy része talán megelőzhető lett volna. A félreértelmességek ma is mindennaposak: a Milankovics–(Bacsák) elméletben sokan a természeti eredetű éghajlatváltozások *lassúságát* látják igazolni.

Ami pedig okafogyott érvelés. A számítástechnika fejlődésének – és Milankovics-Bacsák szellemi örököseinek

– köszönhetően bizonyosságot nyert, hogy a földpálya elemeinek rövid periódusidejű (évszázados, évtizedes, néhány éves, sőt akár egy éven belüli) változásai is vannak, egyértelmű besugárzásváltozások (*Short Term Orbital Forcing, STOF*) következményekkel [4]. A Bacsák-féle gondolatmenetnek megfelelő földrajzi szélességi besugárzási gradiensben (*Latitudinal Insolation Gradient, LIG*) gazdag időbeli változások jelentkeznek [5]. A LIG képeiben tehát bizonyítottan létezik egy örök klímamódosító hajtóerő, természetesen egyéb (kevésbé tisztázott) hatótényezők mellett.

A Milankovics–Bacsák-elmülethez bevezető olvasmányként (a geológiai-geofizikai alapokhoz való visszatérés szükségességét érezve, és több félremagyarázó-elhallgató cikk helyett) mindenekelőtt egy 1955-ből származó tanulmányt [6] ajánlok, amely lényegében a Milankovics–Bacsák-elmélet kísérleti alátámasztásának tekinthető. Figyelemre méltók a múlt századi méltató cikkek [7–10] is.

Sopron, 2020. július 4.

A cikk szerzője

Szarka László

Hivatkozások

- [1] Milankovitch M. (1920): Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire. Gauthiers-Villars, Paris. *Németül*: Mathematische Theorie der durch Sonnenstrahlung Wärmephänomene, Bulletin des travaux de l'Académie des Sciences de Zagreb. (*Cím magyarul*: A napsugárzás által okozott hőtani jelenségek matematikai elmélete.)
- [2] Milankovitch M. (1941): Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem. Académie royale serbe. Éditions spéciales; 132 [vielm. 133]: XX, 633, Belgrad. *Angol kiadások*: Canon of Insolation and the Ice-Age Problem, Israel Program for Scientific Translations, trans., US Department of Commerce and NSF (1969) és Zavod za Udžbenike i Nastavna Sredstva, Beograd, 1998. (*Cím magyarul*: A Föld napfénybesugárzásának kánonja és a jégkorszak-probléma.)

- [3] Szarka L. (2020): Titokfejtők. Milutin Milankovics- és Bacsák György-évfordulók, mai tanulságok. Természet Világa, 2020. augusztus (megjelenőben)
- [4] Cionco R. G., Soon W. W.-H. (2017): Short-term orbital forcing: A quasi-review and a reappraisal of realistic boundary conditions for climate modeling. *Earth-Science Reviews*, 166, 206–222. <https://arxiv.org/pdf/1612.08380.pdf> (*Cím magyarul*: Rövid távú orbitális erőhatás: az klíma-modellezés reális határfeltételeinek közelítő áttekintése és újraértékelése.)
- [5] Cionco R. G., Soon W. W.-H., Quaranta N. E. (2020): On the calculation of latitudinal insolation gradients throughout the Holocene. *Advances in Space Research* 66, 3, 720–742. (*Cím magyarul*: A szélességi besugárzási gradiensek kiszámításáról a holocén teljes időtartományában.)
- [6] Kriván P. (1955): A közép-európai pleisztocén éghajlati tagolódása. A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve. Vol. XLIII (3). Franciául: La division climatologique du pleistocene en Europe centrale. http://epa.oszk.hu/03200/03274/00089/pdf/EPA03274_mafi_evkonyv_1955_03.pdf
- [7] Somogyi S. (1970): A 100 éves Bacsák György tudományos érdemei. *Élet és Tudomány*, 1970.
- [8] Verrasztó Z. (1972): Jégkorszak után – Jégkorszak előtt? *Élet és Tudomány*, 27/7, 1255–1259. https://www.epa.hu/02900/02930/00173/pdf/EPA02930_elet_es_tudomany_1972_27.pdf
- [9] Kriván P. (1981): Bacsák György (1870–1970). *Természet Világa*, 112/8, 373–374.
- [10] Kaszap A. (1995): Bacsák György (Pozsony, 1870. jún. 15. – Fonyód-Bélatelep, 1970. márc. 4.). Évfordulóink a műszaki és természettudományokban, *MTESZ*, 109–110. http://real-eod.mtak.hu/6692/1/Evforduloink_1995.pdf

Függelék: Bacsák György összegyűjtött publikációs jegyzéke

- Bacsák Gy (1939): Die Strahlungstheorie ... Budapest. Válasz Pencknek 1938. évi kirohanására. (*Forrás*: Bacsák 1955)
- Bacsák Gy (1940). Die Strahlungstheorie und die absolute Chronologie des Diluvium. Vörösberény Nyomda, Budapest, 30 p.
- Bacsák Gy (1940): Az interglaciális korszakok értelmezése. (Zur Erklärung der Interglazialzeiten). *Az Időjárás*, 16 (I. rész: 1–2. szám, pp. 8–16. *Németül*: pp. 43–50, II. rész: 3–4. szám, pp. 62–69. *Németül*: pp. 98–101, III. rész: 5–6. szám, pp. 105–108, *Németül*: pp. 143–145. http://real-j.mtak.hu/9123/1/Idojaras_1940.pdf
- Bacsák Gy (1940): A diluvium utolsó szakaszának kronológiája. *Barlangvilág* 10/3–4, 31–43. http://www.termeszetvedelem.hu/_user/browser/File/barlangkutat%C3%A1si%20jelent%C3%A9sek/1940/barlangvilag_1940_3_4.pdf
- Bacsák Gy (1941): Kalt und Warm. Válasz Klute támadására Milankovics ellen. Budapest. Francia nyelven megjelent a »Scientia« 1941. évjáratában.
- Bacsák Gy (1942): A Milankovitch-elmélet ellen emelt kifogásokról. *Csillagászati Lapok*, 5, (3), pp. 117–125, http://real-j.mtak.hu/6790/1/MTA_CsillagaszatiLap_05_01-04.pdf
- Bacsák Gy (1942): A skandináv eljegesedés hatása a periglaciális övön. *Országos Meteorológiai és Földmágnassági Központi Intézet* 13, pp 86. *Németül*: Die Wirkung der skandinavischen Vereisung auf die Periglazialzone. Institut f. Meteorologie und Erdmagnetismus. Neue Serie 13. Budapest. 86 p.
- Bacsák Gy (1943): Összefüggések a Föld változó pályaelemeiben. (Zusammenhänge zwischen den sakularveränderlichen Elementen der Erdbahn). *Csillagászati Lapok*, 6/4, 113–120. (magyarul, német összefoglalóval)
- Bacsák Gy (1944): Az utolsó 600.000 év földtörténete. A M. Kir. Földtani Intézet 1943. évi jelentésének függeléke. Beszámoló a M. Kir. Földtani Intézet vitauléseinek munkálatairól, VI. évfolyam, 5, Budapest. http://epa.oszk.hu/03600/03638/00027/pdf/EPA03638_mafi_beszamolo_1944_05.pdf
- Bacsák Gy (1954): A Milankovic-elmélet védelme. Kézirat, Budapest (Kriván P (1955) hivatkozási listájában)
- Bacsák Gy (1955): A pliocén és a pleisztocén az égi mechanika megvilágításában. *Földtani Közlöny* 85, 70–105. <http://docplayer.hu/117972690-A-pliocen-es-a-pleisztocen-az-egi-mechanika-megvilagitasaban.html>. Eredeti kézirat: http://real-d.mtak.hu/1245/1/Bacs%C3%A1k_Plioc%C3%A9n.pdf
- Bacsák Gy (1955): Pliozän- und Pleistozänzeitalter im Licht der Himmelsmechanik. *Acta Geologica, Acad. Sci. Hung.*, 3/4, 305–346. http://real-j.mtak.hu/2973/1/ActaGeologica_03.pdf
- Bacsák Gy. (1961): Überblick über das Klima der Äquatorialzone. *Acta Technica* 37 (3), Series Geodaetica et Geophysica, 375–402.
- Bacsák Gy (1963): Die Ursache des bevorzugten Quadranten und ihr Zusammenhang mit den quartären Eiszeiten. *Acta Technica* 42, 435–461.

Agocs-ösztöndíj, 2020

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 két MSc-dolgozatot talált jutalmazásra érdemesnek 2020-ban.

A díjazott MSc-dolgozatok

Rubóczki Tibor: A magnetotellurikus mérési módszer leképezési tulajdonságai. A dolgozat témavezetői: *dr. Wessztergom Viktor*, *dr. Novák Attila* és *dr. Galsa Attila*.

Szabó Dávid: Array laterolog numerikus vizsgálata. A dolgozat témavezetője: *dr. Galsa Attila*.

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 2020. szeptember 14-én került sor.

A résztvevők az egyetemi utasításnak megfelelően viseltek maszkot.

Kis Károly



Az ösztöndíj átadásakor készült fénykép (balról-jobbra) *Rubóczki Tibor*, *dr. Borhy László* akadémikus, egyetemi tanár, az Eötvös Loránd Tudományegyetem rektora és *Szabó Dávid*

Inverziós Ankét

Második körlevél

A Magyar Geofizikusok Egyesületének *Észak-magyarországi Csoportja*, az *MTA Miskolci Területi Bizottságának Földtudományi Munkabizottsága*, ill. *Geoinformatikai és Térinformatikai Munkabizottsága* által 2020. május 25-ére és 26-ára Miskolcon tervezett Inverziós Ankét a kialakult járványügyi helyzet miatt elmaradt.

A konferenciát új időpontban, *2020. november 2-án és 3-án* tartjuk. Abban az esetben, ha a körülmények szükségessé teszik, online (az ingyenesen hozzáférhető Goto Meeting rendszeren keresztül) rendezzük meg az eseményt.

A konferencián a hazai geofizikai inverziós kutatások eredményeinek bemutatására *20 perces előadások* keretében van lehetőség. A rendezvény keretében megemlékezünk Steiner Ferenc professzor halálának 10 éves év-

fordulójáról, ami lehetőséget ad geostatistikai tárgyú előadások megtartására is.

Az Inverziós Ankét kezdete:

2020. november 2. 10.00 h

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

Az előadások bejelentésének határideje 2020. október 5. Az előadás nélküli részvételi szándékot kérjük legkésőbb október 26-áig bejelenteni (E-mail: *Abordán Armand* <gfaa@uni-miskolc.hu>, Tel.: +36-46-361936).

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

Miskolc, 2020. augusztus 27.

Az Inverziós Ankét rendezői

Frissített információ

A Magyar Geofizikusok Egyesületének *Észak-magyarországi Csoportja*, az *MTA Miskolci Területi Bizottságának Földtudományi Munkabizottsága*, ill. *Geoinformatikai és Térinformatikai Munkabizottsága* által Miskolcon tervezett **Inverziós Ankét konferenciát a kialakult járványügyi helyzet miatt online tartjuk**. A konferencián a hazai geofizikai inverziós kutatások eredményeinek bemutatására 20 perces előadások keretében van lehetőség.

A rendezvény keretében megemlékezünk Steiner Ferenc professzor halálának 10 éves évfordulójáról, mely lehetőséget ad geostatistikai tárgyú előadások megtartására is.

Az Inverziós Ankét kezdete:

2020. november 2. 10.00 h

Elérhetőség: GotoMeeting (a regisztrált résztvevők számára később elküldjük a linket)

Az előadások bejelentésének új határideje **2020. október 12.** (E-mail: *Abordán Armand* <gfaa@uni-miskolc.hu>, Tel.: +36-46-361936).

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

Miskolc, 2020. szeptember 28.

Az Inverziós Ankét rendezői

Dr. Megyeri Mihály

1939 – 2020

Dr. Megyeri Mihály okleveles olajmérnök, kandidátus, szakmánk egyik nagytekintélyű művelője életének 81. évében távozott körünkből.

Megyeri Mihály 1939. május 15-én született Mátészalkán. 1953-ban a nagykanizsai Kőolajbányászati és Mélyfűróipari Technikumban kezdte meg középiskolai tanulmányait. Azóta megszakítás nélkül kapcsolódik a magyar szénhidrogén-bányászathoz és lakóhelyéhez, Nagykanizsához.

A miskolci Nehézipari Egyetem Bányamérnöki Karán szerzett olajmérnöki diplomát 1962-ben. Aranyoklevelét 2012-ben vehette át.

A nyári szünetekben a Dunántúli Olajipari Vállalatoknál munkavégzés során szerzett tapasztalatai segítettek abban, hogy az egyetemi tanulmányai végére áttekintése legyen mind a fűrészi, mind az olaj- és gáztermelési műveletekről. Ezek ismeretében választotta a kútvizsgálatot mint élethivatást, ami mellett mindvégig kitartott.

Első munkahelye az OKGT Tudományos Kutatási és Fejlesztési Főosztályán (TKFF), majd különböző átszervezések révén került az olajipar más szervezeti egységeihez (OGIL, KFV, MOL-GKE, GEOINFORM Kft.). Munkája során, 1962–2000 között mintegy 7000 fűrészi kútvizsgálatát irányította, részt vett a termálvízkutatásban és a vízveszélyes szilárdásvány-bányák hidrodinamikai méréseiben is.



Dr. Megyeri Mihály
1939 – 2020

Tagja volt a Romániával és Horvátországgal közösen kutatott és művelt kőolaj- és földgáztelepek munkálatait irányító szakértő bizottságoknak. Az olaj- és gázkutatás diagnosztikai vizsgálatának elismert szaktekintélye volt. Nyugdíjasként is e szakterületén dolgozott, mert számára a munkája egyben a hobbi is volt.

Részben társszerzőkkel megjelent publikációi száma 86. 13 találmányra 28 szabadalmat kaptak. A Society of Petroleum Engineers (SPE) gondozásában 9 tanulmánya jelent meg.

Kiemelkedő szakmai és tudományos tevékenységéért kapott elismerései között szerepel a 2005. évi MOL Tudományos Díj.

Az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesületnek 1963 óta volt tagja, ennek számos rendezvényén tartott előadást. A Kanizsai Olajos Szeniorok Hagyományápoló Körnek lelkes tagja volt. Mihály évtizedek óta tagja volt a Magyar Geofizikusok Egyesületének is, a Zala Megyei Csoport munkájában aktí-

van részt vett. Gazdag életpályájáról 2004-ben tanulmányt készített, amely a Magyar Olaj- és Gázipari Múzeum archívumában található meg.

A szeretett édesapát, nagyapát, dédpapát szeptember 25-én kísérték utolsó útjára Nagykanizsán. Szakértelme és bölcs derűje hiányozni fog az Őt ismerőknek, akik emléket tisztelettel megőrzik.

Dallos Ferencné

Rendezvénynaptár

2020. október		
okt. 21–22.	Microseismicity – a tool for reservoir characterization (by Prof. Serge A. Shapiro) https://eage.eventsair.com/iosc-eet-on-microseismicity---a-tool-for-reservoir-characterization-by-prof-serge-a-shapiro/	ONLINE
2020. november		
nov. 9.	Fractured Geothermal Reservoirs: Characterising Fractures with Limited Datasets	ONLINE
nov. 10–13.	XIV. International Scientific Conference „Monitoring of Geological Processes and the Ecological Condition of the Environment”	Kiev, Ukrajna
nov. 16–18.	First Geoscience and Engineering in Energy Transmission Conference	Strasbourg, Franciaország
nov. 16–19.	Saint Petersburg 2020: Geosciences: Converting Knowledge into Resources	Szentpétervár, Oroszország
nov. 20–22.	EAGE/AAPG Shale Gas Symposium	Mnanama, Bahrain
2020. december		
dec. 6–7.	Third EAGE Workshop on Pore Pressure Prediction Eight EAGE Workshop on Passive Seismic	Amszterdam, Hollandia
dec. 6–10.	23rd World Petroleum Congress – Exploring Innovative Energy Solutions	Houston, Texas, USA
dec. 7–11.	AGU Fall Meeting	San Francisco, California, USA
dec. 7–11.	Near-Surface Geoscience Conference & Exhibition 2020	Amszterdam, Hollandia
dec. 8.	Third Young Professional Summit	Amszterdam, Hollandia
dec. 8–11.	82nd EAGE Annual Conference and Exhibition	Amszterdam, Hollandia
2021. március		
márc. ?	Ifjú Szakemberek Ankétja (ISZA)	Zalakaros
márc. 1–3.	EAGE Geo Tech 2021 First EAGE Geophysical Monitoring Technology Conference and Exhibition	Hága, Hollandia/ Online
márc. 14–18.	SAGEEP 2021	Denver, Colorado, USA
márc. 23–25.	International Petroleum Technology Conference	Kuala Lumpur, Malajzia
2021. április		
ápr. 25–30.	EGU General Assembly 2021	Bécs, Ausztria

További részletek, referenciák az MGE (www.mageof.hu), illetve az EAGE (www.eage.org), a SEG (www.seg.org), a SPWLA (www.spwla.org) és az EGU (www.egu.eu) honlapjairól érhetők el. Szerkesztőség

2007 Mongólia: tranziens mérések



Csoportkép a mérések résztvevőiről (b-j): Pém József, Kiss János és Detzky Gergely, az ELGI kutatói mongol segítőikkel



Kiss János és Pém József
mérés közben

MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE

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

E-mail: postmaster@mageof.t-online.hu; Honlap: www.mageof.hu

