

MAGYAR GEOFIZIKA

HUNGARIAN GEOPHYSICS

A MAGYAR
GEOFIZIKUSOK
EGYESÜLETÉNEK
FOLYÓIRATA



JOURNAL OF THE
ASSOCIATION
OF HUNGARIAN
GEOPHYSICISTS

Az MTA-200 évforduló kapcsán...

Tárczy-Hornoch Antal 125 éve született

SZJA 1%-os felajánlások

70 éve történt: Földrengés Dunaharaszti térségében

A Kárpát-medence főbb kéreg-határfelületei
a gravitáció (izosztázia elve) alapján

Multiexponenciális kőzetfizikai modell
a szeizmikus/akusztikus P- és S-hullám jósági
tényező nyomásfüggésének leírására

Agocs-ösztöndíj, 2025

„A klímaváltozási konszenzuson túl” (BCCC)
konferencia a Magyar Tudományos Akadémián –
Előrendezvény az MTA könyvtárában –
Adventi Művészeti Est

In memoriam

Verő László, Dr. Tóth Tamás János
Dr. Verő József



MAGYAR GEOFIZIKA

HUNGARIAN GEOPHYSICS

66. évfolyam (2025) 3. szám



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

TARTALOM • CONTENTS

SZERKESZŐSÉGI ROVAT • EDITORIAL

- 79 Az MTA-200 évforduló kapcsán... (In connection with the 200th anniversary of the Hungarian Academy of Sciences) – *Kiss J.*

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

- 80 Tárczy-Hornoch Antal 125 éve született (Antal Tárczy-Hornoch was born 125 years ago) – *Szarka L.*
82 SZJA 1%-os felajánlások (1% personal income tax donations) – *MGE Titkárság*
83 Meghívás a „70 éve történt: Földrengés Dunaharaszti térségében (1956. január 12.)” c. rendezvényre (It happened 70 years ago: Earthquake in the Dunaharaszti area) – *MGE Titkárság*

TANULMÁNY • PAPER

- 84 A Kárpát-medence főbb kéreg-határfelületei a gravitáció (izosztázia elve) alapján (Main crustal boundaries in the Carpathian Basin based on principle of gravity isostasy) – *Kiss J.*
94 Multiexponenciális közetfizikai modell a szeizmikus/akusztikus P- és S-hullám jósági tényező nyomásfüggésének leírására (Multi-exponential petrophysical model for describing the pressure dependence of seismic/acoustic P and S wave quality factors) – *Turai Vurom B., Dobróka M.*

HÍREK • NEWS

- 102 Agocs-ösztöndíj, 2025 – *Galsa A., Kis K.*
103 „A klímaváltozási konszenzuson túl” (BCCC) konferencia a Magyar Tudományos Akadémián – Eőrendezvény az MTA könyvtárban – Adventi Művészeti Est – *Szarka L.*
106 EAGE NSG 2026 – Conference & Exhibition 2026

IN MEMORIAM

- 108 Verő László – *Draskovits P., Bodoky T., Albu I., Czifra F., Simon A.*
109 Dr. Tóth Tamás János – *Geomega Kft.*
110 Dr. Verő József – *Magyar Geofizikusok Egyesülete*

MAGYAR GEOFIZIKA

HUNGARIAN GEOPHYSICS

66. évfolyam (2025) 3. szám

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

Főszerkesztő • Editor-in-Chief

DR. BODOKY TAMÁS

E-mail: mageofedit@gmail.com

Szerkesztőbizottság • Editorial Board

DR. GALSA ATTILA, DR. KISS JÁNOS, DR. LŐRINCZ KATALIN,

DR. NÁDASI ENDRE, DR. SZABÓ NORBERT PÉTER

Technikai szerkesztő • Technical Editor

HOCK GÁBOR

E-mail: mageoftechn@gmail.com



Lapunk e számának megjelenését a
Magyar Tudományos Akadémia
támogatja

A szerkesztőség a szakcikkeket (tanulmányokat) szaklektorálás után közli. A szaklektorok névsorát az évfolyam záró számában 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: Breitner Dániel

Szerkesztőség: 1143 Budapest, Stefánia út 14.

Telefon: (06) 30-811-8819

Titkársági e-mail: geofizikusok@gmail.com

Honlap: www.mageofegy.hu

Megjelenik évente négyszer

INDEX: 26 507

HU ISSN 2677-1497 (online)

Az MTA-200 évforduló kapcsán...

„Nekem itt szavam nincs, az Országnek Nagyja (Követek Házának tagja) nem vagyok, de birtokos vagyok, és ha feláll oly intézet, mely a magyar nyelvet kifejti, mely azzal segíti honosinknak (honfitársainknak) magyarokká neveltetését, jószágaim egy eszten-dei jövedelmét feláldozom. Érett meggondolással teszem ezt, azért célra vezethető fel-vigyzást kívánok, hogy a nemzetnek ajánlott summa haszontalanul el ne pazaroltassék.”

Gróf Széchenyi István

Pontosan kétszáz éve egy látványos gesztussal kezdődött a Magyar Tudományos Akadémia megalapítása. 1825. november 3-án az I. Ferenc által összehívott országgyűlés alsótáblai ülésén gróf Széchenyi István lovaskapitány fel-ajánlotta egyévi jövedelmét – mintegy 60 000 forintot – egy magyar tudós társaság, a későbbi Magyar Tudományos Akadémia alapításának céljára.

Ahogy a felajánlás szövegéből kiderül, gróf Széchenyi István azért ajánlotta fel, hogy létrejöjjön egy olyan intéz-mény, amely „a magyar nyelvet kifejti, amely azzal segíti honfitársainknak magyarokká neveltetését”.

Sajnos a nemzetközi megfelelés és a teljesítményértéke-lési rendszer (nemzetközi és hazai) megköveteli az angol nyelv használatát, az angol nyelvű publikálást! Ezt, azt hi-szem, mindenki tudja és elfogadja. A kutatással foglalkozó emberek viszont annyira elmélyedtek az angol nyelvű cik-kek írásában – ami tulajdonképpen dicséretes lenne, hogy magyar cikket már nem is írnak –, ami nem felel meg Szé-chenyi István szellemiségének és az MTA alapítási céljai-nak. Ez tulajdonképpen még megbocsátható lenne, de sa-jnos már nem is olvassák, nem is idézik a magyar nyelvű cikkeket (a kivételektől elnézést kérek)!

Egy cikk értéke nem abban rejlik, hogy milyen nyelven írták le, hanem abban, hogy mit tartalmaz, milyen tudomá-nyos vagy gyakorlati eredményt tesz közzé vagy, hogy mennyire használható szakmai szemmel vagy a közélet fejlődésében.

A *Magyar Geofizika* is évek óta cikchiányban szenved, ebben csak részben okolható az, hogy egyre kevesebb geo-fizikus van. Vannak olyan műhelyek, ahol éves szinten ké-szülnek kutatási jelentések, nemzetközi projektekben ve-szünk részt, konferenciákra járunk, hogy megismerjük a földtudomány (geológia, geofizika, fizika, számítástech-nika) legújabb eredményeit, de ezekről az utóbbi években nagyon keveset olvashatunk a *Magyar Geofizika* oldalain.

Szakmai előletem szerint, sokáig csak az vehetett részt tudományos konferencián, akinek volt valamilyen projekt-je és abban erre szánt költségvetése vagy valamilyen ki-emelkedő szakmai eredménye. S az volt a másik követel-mény, hogy csak az mehet, aki szóbeli előadást tart, vagy legalábbis poszterelőadást készít. Azok, akik itthon ma-radtak csak ritkán értesültek a nagyvilág dolgairól, mert nem mindig készültek szakmai beszámolók, összefoglalók ezekről az utazásokról.

Az ELGI-ben egy külföldi út után, úti beszámolót kellett írni, vagy a konferencián szerzett tapasztalatokat meg kellett osztani egy rövid cikk formájában a *Magyar Geofizika*-ban – talán vissza kéne térni ehhez a gyakorlathoz, de nem csak az SZTFH Földtani Szolgálatánál, hanem minden ha-zai geofizikát művelő szervezet esetében.

Egy jó szakdolgozat, diplomamunka vagy doktori téma rengeteg lehetőséget ad, mert a téma, az ábra és a szöveg már készen van. Egy PhD-dolgozatból saját tapasztalat alapján 3-4 értékes/érdekes cikket lehet írni.

Az éves jelentésekből pedig csak ki kell ollózni egy-egy fejezetet, s már készen is van a cikk. Ha érdekes a téma, ha jó a felvetés, akkor reakció is van, ami tovább lendítheti a kutatói munkát és a földtudományokat. Ne legyünk hát restek!

Még egy utolsó példa. Eötvös Loránd a tudománynak élt, kutatott, publikált, de munkásságát a közjó érdekében tette, így például eredményeit nem szabadalmaztatta, hogy mindenki számára elérhető, felhasználható legyen. Nap-jaink nemzetközi kiadói és publikációs tevékenysége a haszonoptimalizálás alapján történik (te fizetsz, de övék a jog és a bevétel), s nem elsősorban a közjó érdekében. Itt-hon a szakmai egyesületek esetében ilyen kényszer nincs, így a *Magyar Geofizika*-ban és a *Földtani Közönyben* sincs fizetési kötelezettség, és a cikk szerzői joga is a szerzőé marad! Éljük tehát a lehetőséggel!

Kiss János

Tárczy-Hornoch Antal 125 éve született

A HUN-REN Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet, valamint az elődintézet, az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet dolgozói és nyugdíjasai születésének 125. évfordulóján megkoszorúzták az intézetalapító Tárczy-Hornoch Antal sírját. Majd az Intézet által szervezett XIII. Geomatikai Ankét (<http://geomatika.ggki.hu/konferencia/index.php/szeminarium/program/>), amelyen számos érdekes geofizikai-földfizikai – zömmel gravitációs – előadás is elhangzott) különleges programja volt a megemlékezés, ami – úgyszintén az MTA 200-hoz kapcsolódva – kiegészült az intézet igazgatóit, valamint az intézethez, illetve elődjeihez kötődő levelező, rendes, külső és tiszteleti MTA-tagokat bemutató poszterrel is.

A megemlékezés keretében *Orbán Aladár* geodéta – a professzor úr egykori egyetemi, kutatólaboratóriumi, későbbi intézeti munkatársa – hangulatos előadást tartott, majd estefelé a konferencia résztvevői megkoszorúzták Tárczy-Hornoch mellszobrát az intézeti előkertben. A bankett meglepetése az MTA Geodéziai Kutatólaboratórium és az MTA Geofizikai Kutatólaboratórium 1955-ös megalapításának (amely részben úgyszintén Tárczy-Hornoch Antal érdeme volt) 70. évfordulójára készített születésnap tortája volt. Íme, a *Magyar Geofizika* olvasói számára néhány kép, valamint a koszorúzáson elhangzott beszéd, amelyet a szervezők (*Kovács István János* mb. intézetigazgató és *Papp Gábor*, az Ankét főszervezője) felkérésére az intézethez kötődő akadémikus, *Szarka László* tartott.



Orbán Aladár: Tárczy-Hornoch Antal pályája személyes emlékeim tükrében (Fotó: Busics György)



Szarka László Csaba koszorúzási beszéde (Fotó: Busics György)

Tisztelt Egybegyűltek!

Az előttünk álló mellszobor jelkép: a soproni, miskolci és a budapesti egyetemi szaktanszékeké, de mindenekelőtt a nagybetűs Intézeté. Mai neve: HUN-REN Földfizikai és Őrtudományi Kutatóintézet.

Erre a beszédre készülve elolvastam a professzor úrról szóló, szinte összes korábbi méltatást. Mondanivalómat a 100 éves, valamint az eddigi 125 éves évfordulós írásokból, beszélgetésekből és személyes emlékeimből állítottam össze.

A matematikai tehetséggel megáldott munkácsi gimnazistának – amint Somogyi József azt 2000-ben megírta, „Kárpátalja Csehszlovákiához való csatolása után a helyi hatóságok nem engedélyezték, hogy ... Sopronban ... folytassa felsőfokú tanulmányait”. Így került Leobenbe, ahol bányamérnöki, majd bányamérőmérnöki és műszaki doktori oklevelet szerzett. Kerek 100 éve, hogy a vetődések megoldási problémáira bányamérők számára matematikai modelleket dolgozott ki. 26 éves korában nevezték ki a soproni Magyar Királyi Bányamérnöki és Erdőmérnöki Főiskola Geodézia és Bányamérési Tanszékének rendkívüli (majd később rendes) tanszékvezető tanárává. Vetőmodellezési dolgozatát 1927-ben a Springer jelentette meg, és a soproni főiskolai tanár ezzel – amint Patvaros József megfogalmazta – „üstökösként robbant be a nemzetközi és a hazai bányászati szakirodalomba”. 28 évesen vette feleségül egy munkácsi tanárember lányát. A Hornoch családnéből apósa kérésére lett Tárczy-Hornoch.

Kutatói igényességét az egyetemi képzések fejlesztése és folyóiratalapítás is jelzi. Amint *Verő József* 2000-ben megállapította: a német nyelvű, magyarul „A Magyar Királyi József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Bányászati és Kohóipari Tanszékének jelentéseiből. Sopron, Magyarország” című folyóirat „igazolta, hogy a világhírű selmeci főiskola soproni jogutódja méltóan folytatja a régi intézmény hírnevét megalapozó magas színvonalú oktató és kutató munkát”.

Mintaadó embersége és hűsége a hazához a háború idején is megmutatkozott. 1945-ben a Szentgyörgyi-féle akadémia alapító tagja, 1946 júliusában az MTA levelező, decemberben az MTA rendes tagja lett, úgyhogy fél év leforgása alatt két akadémiai székfoglaló előadást is tartott.

1949-ben nem fogadott el egy külföldi professzori meghívást, pedig az Leoben-ből, az Alma Matertől érkezett. Helyette megindította Sopronban az önálló földmérőmérnök-, 1951-ben a geofizikus-mérnök-képzést. *Verő József* emlékezete szerint, „amikor szóba került az egyetem áthelyezésének lehetősége, 1951-ben az ezt ellenző Tárczy-Hornoch és Kántás, továbbá Vendel Miklós és Hazay István Geodéziai és Geofizikai Munkaközösséget alakított”. Tárczy-Hornoch Antal 1955-ig volt e munkaközösség vezetője, 1955-től az általa alapított MTA Geodéziai Kutatólaboratórium (valójában akadémiai kutatócsoport) vezetője lett. Kántás Károly Ausztriába távozásával a geofizikai kutatólaboratórium vezetését is átvette. Az akadémiai kutatóintézet-hálózat kialakításakor ő kezdeményezte az

MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet 1971-es megalapítását.

Teljes publikációs listája megtalálható a Magyar Tudományos Művek Tárában. A professzor úr nagysága és igényessége publikációi mellett abban is megmutatkozik, hogy 1969-ben ő volt az egyik jelölője a fizikai Nobel-díjra James Van Allen űrkutatónak, a Van Allen-sugárzási öv (az 1957–58-as Nemzetközi Geofizikai Év egyik legnagyobb felfedezése) névadójának. (Máig érthetetlen, hogy Van Allen felfedezése miért nem érdemelt Nobel-díjat.)

Német, osztrák, magyar egyetemek tiszteletbeli doktora lett; a soproni és miskolci is. A Nehézipari Műszaki Egyetem 1976. decemberi egyetemi tanácsi határozati szövege az 1977. júniusi tanévzárón – egyetemi diplomaosztómon – is elhangzott. A Harkovi Műszaki Egyetem rektora mellett – idézem – „Tárczy Hornoch Antal Kossuth- és Állami díjas akadémikust, többszörös tiszteletbeli doktort, nyugalmazott egyetemi tanárt, Vendel Miklós Kossuth-díjas akadémikust, nyugalmazott egyetemi tanárt, Verő József Kossuth-díjas akadémikust, nyugalmazott egyetemi tanárt a műszaki tudományok és az oktatás fejlesztése területén szerzett kimagasló érdemeik elismeréséül az egyetem tanácsa tiszteletbeli doktorává fogadta.” Ez azért is emlékeztető, mert mindhárom magyar díszdoktor soproni volt: Vendel Miklós a geológia, Verő József pedig a kohászat professzora, geofizikus akadémikusunk édesapja.

1977. augusztus 1-jén kezdtem dolgozni ebben a kutatóintézetben. Tárczy-Hornoch Antal nyugalmazott igazgatót gyakran láttam az intézet falai között. Volt, amikor kezét nyújtott egy-egy tudományos segédmunkatársnak. Dolgozott, rendezkedett, mesélt – leginkább intézeti hölgykoszorúval körülvéve a rendszeres heti kávézgatás közben.

A halála utáni napokban (1986 januárjában) véletlenül tanúja voltam, hogy az új igazgató, Somogyi József (az intézet egyik idején nagy halottja) mennyire felháborodott a pártbizottságból jött telefonos utasításon, hogy a mindvégig templomba (a Szent György templomba gyalogosan) járó akadémikus intézeti gyászjelentéséről távolítsák el a keresztet. „Az özvegy kérését is semmibe veszitek!” – kiabált az elvtárssal.

Tárczy-Hornoch Antalné (született: Tárczy Irén), a mindig háttérbe húzódó feleség mindössze harminc nappal élte túl a férjét. Őt a soproni református lelképásztor temette a családi sírba. Amint az intézet idején másik nagy halottjának, Ádám Antalnak az életműve is alátámasztja, minden férfiúi teljesítmény mögött ott a láthatatlan támasz, a házastársi teherátvállalás.

Ki gondolta volna, hogy a soproni tudomány többszöri (háromszori) új megalapozása egy kárpátaljai magyar házaspár nevéhez fűződik?

Tárczy-Hornoch Antal szobrának megkoszorúzásakor a Magyar Tudományos Akadémia 200 éve alatt elért összes – régi és új, a jövőt újra alapozó – hazai földtudományi teljesítmény, valamint Tárczy-Hornoch Antal szellemi kisugárzásából származó minden patrióta helytállás előtt tisztelgünk.

Szarka László



Völgyesi Lajos akadémikus az MTA X. (Földtudományok) Osztálya koszorúját helyezte el a Tárczy-Hornoch Antal mellszobránál (Fotó: SopronMédia)



A MTA Geodéziai Kutatólaboratórium és a Geofizikai Kutatólaboratórium létrejöttének 70. évfordulójára emlékező dísz torta (Fotó: Szarka László)

SZJA 1%-os felajánlások

Kedves Tagtársaink!

Ezúton köszönjük meg az **1 618 129,-** Forintot azoknak a tagtársaknak, akik a személyi jövedelemadójuk 1%-át a Magyar Geofizikusok Egyesületének ajánlották fel.

Tagtársaink támogatására a továbbiakban is számítunk!

Köszönettel,

MGE Titkárság

Meghívás

a „70 éve történt: Földrengés Dunaharaszti térségében (1956. január 12.)” c. rendezvényre

Tisztelt Tagtársunk!

Tagtársaink figyelmébe szeretnénk ajánlani a Kövesligethy Radó Szeizmológiai Obszervatórium szervezésében megrendezésre kerülő „70 éve történt: földrengés Dunaharaszti térségében (1956. január 12.)” című rendezvényt.

A rendezvény célja, hogy méltó módon megemlékezzenek az 1956-os dunaharaszti földrengésről, és szakmai szempontból bemutassák annak történeti, tudományos és társadalmi vonatkozásait.

Időpont: 2026. január 12. (hétfő) 16:30

Helyszín: Budapest, Meredek u. 18.

Online részvétel: Zoom (a csatlakozási linket a regisztrációt követően küldik meg)

A programban a Kövesligethy Radó Szeizmológiai Obszervatórium munkatársai tartanak előadásokat, majd lehetőség nyílik a budapesti szeizmológiai állomás megtekintésére is. A részvétel személyesen és online formában is lehetséges, így bízunk benne, hogy az Egyesület tagjai közül minél többen csatlakozni tudnak.

A rendezvényen való részvétel ingyenes, de a személyes részvétel a helyek korlátozott száma miatt előzetes regisztrációhoz kötött.

Regisztrációs link: <https://forms.gle/CsFfz5pPxnuZDG3M9>

MGE Titkárság

A Kárpát-medence főbb kéreg-határfelületei a gravitáció (izosztázia elve) alapján

Kiss J.

Szabályzott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága (SZTFH), Földtani Igazgatóság,
1123 Budapest, Alkotás utca 50.
E-mail: janos.kiss@sztfh.hu

Korábbi években foglalkoztunk az izosztázia jelenségével, majd ezekből kiindulva elkészítettük az izosztázia alapján Magyarország Moho-mélységtérképét. A másik határfelület, a Conrad-határfelület meghatározása már nagyobb kihívást jelentett, mert ez nem jelenik meg mindenhol, nem olyan egyértelmű az azonosítása, és csak a kontinentális kéreg jellemzője. Ez a határfelület – azaz a felső kéreg és az alsó kéreg közötti határfelület – a szial (Si–Al) és a szima (Si–Mg) összetételű kérget választja el egymástól. Néha ez a határátmenet éles, néha olyan vastag, hogy sokszor középső kéregként hivatkozunk rá. A Conrad-felület mélységtartományában található a vas (Fe) Curie-hőmérsékletének mélysége is, így mágneses és magnetotellurikus jelenségek is kapcsolódhatnak e felülethez.

Kalmár és szerzőtársai az Alp-Array program keretében a határokon túlnyúlva is vizsgálták a Moho- és a Conrad-felületek mélységi elhelyezkedését passzív szeizmikus mérési háló adatai alapján.

Jelen tanulmányban az izosztázia alapján vizsgálatunkat kiterjesztettük a határokon túlra, az egész Kárpát-medence területére, amit a belső üledékes medencék mélységadatai tettek lehetővé, és az adatokat összevetettük a ritkább szeizmológiai adatokból kapott eredményekkel, majd történt egy korrekció is, amelyet a korábbi szeizmikus mérésekből kapott minimális és maximális Moho-mélység alapján végeztünk.

Kiss, J.: Main crustal boundaries in the Carpathian Basin based on principle of gravity isostasy

In previous years, we studied the phenomenon of isostasy, and based on this, we created a map of Hungary's Moho depth based on isostasy. Defining the other boundary surface was more challenging because the Conrad boundary surface does not appear everywhere, is not so easy to identify, and is only a feature of the continental crust. This boundary separates the crust composed of sial {Si–Al} and sima {Si–Mg} – that is, the boundary between the upper crust and the lower crust. Sometimes this boundary is sharp, sometimes it is so thick that we often refer to it as the middle crust. The depth range of the Conrad boundary also corresponds to the depth of the Curie temperature of iron (Fe), so magnetic and magnetotelluric phenomena may also be associated with this boundary.

Kalmár and his co-authors examined the depth of the Moho and Conrad surfaces across borders as part of the Alp-Array program, based on data of passive seismic measurement networks.

In this study, we extended our isostasy-based investigations beyond national borders to cover the entire Carpathian Basin, which was made possible by depth data from internal sedimentary basins, and compared the data with results obtained from less frequent measured seismological data, and then we made a correction based on the minimum and maximum Moho depths obtained from previous seismic measurements.

Beérkezett: 2025. november 12.; elfogadva: 2025. november 28.

1. Bevezetés

A 2009 és 2010-ben megjelent cikkeken foglalkoztunk a lokális izosztázia jelenségével és kiszámoltuk, hogy az izosztázia elve alapján, Magyarország területén milyen mélységben lehet a Moho-határfelület (Kiss 2009, 2010). 2009-ben csak a domborzatból indultunk ki, de az Airy-féle izosztáziaelv (Airy 1855) ismeretében, hamar kiderült, hogy a mély üledékes medencék (üledékvastagsága, az üle-

dékek sűrűsége) is hatással vannak a Moho-mélységre, amit aztán a 2010-es cikkben részletesen tárgyaltunk.

Természetesen előkerült a Vening Meinesz-féle regionális izosztázia elve (Vening Meinesz 1931) is, ami a rugalmaslemez-modellen alapuló új, regionális izosztáziaelmélet. Ez Magyarország viszonylatában talán nem feltétlenül mérvadó, de a nagyobb Kárpát-Pannon Régió esetében már komolyabb figyelmet érdemelne. Erre irányuló törekvés a környező országok gravitációs adatfeldolgozásaiban

sem volt tapasztalható – bár a jelenségre egy korábbi cikkünkben már felhívtuk a figyelmet (Kiss 2017) – noha a mély, például Moho-inhomogenitástól származó hatások kiszűrése nélkül nehéz a Bouguer-anomália-térképet földtani értelmezésre használni.

Sajnos a Kárpát-Pannon Régió regionális izosztázia-vizsgálatára még nem vagyunk felkészülve, de a lokális izosztatikuss hatásokhoz a kiindulási adatok, domborzati magasság, a medencemélység és az üledék átlagsűrűségének meghatározása már rendelkezésre áll, így a lokális izosztázia alapján kirajzolódó Moho-inhomogenitás és a Conrad-inhomogenitás felszínét meg tudjuk határozni.

Azzal azért tisztában kell lenni egyrészt, hogy a térségben a regionális izosztázia is jelen van, másrészt az izosztázia jelensége az epirogén (lassan lezajló, hosszan tartó folyamatok) mozgásokhoz sorolható, ezzel szemben a gyors lefolyású geodinamikai mozgások az orogén mozgásokhoz tartoznak, és ezek felülírhatják az izosztatikuss mozgásokat (Kiss és Zilahi-Sebess 2018) és azok hatását.

Adódik tehát, hogy egy komplex mozgássor (regionális izosztázia, lokális izosztázia, geodinamika) eredményét egyszerre látjuk, noha azok évmilliók alatt fejlődtek és alakultak ki, így bármilyen egyoldalú megközelítés csak rész-megoldást jelenthet.

Mindezek ellenére érdemes volt a 2009–2010 évi izosztatikuss adatfeldolgozásokat kiterjeszteni a Kárpát-Pannon Régió területére is. Egy a gravitációs feldolgozásokról szóló akadémiai előadás (Kiss 2018) után Horváth Ferenc-

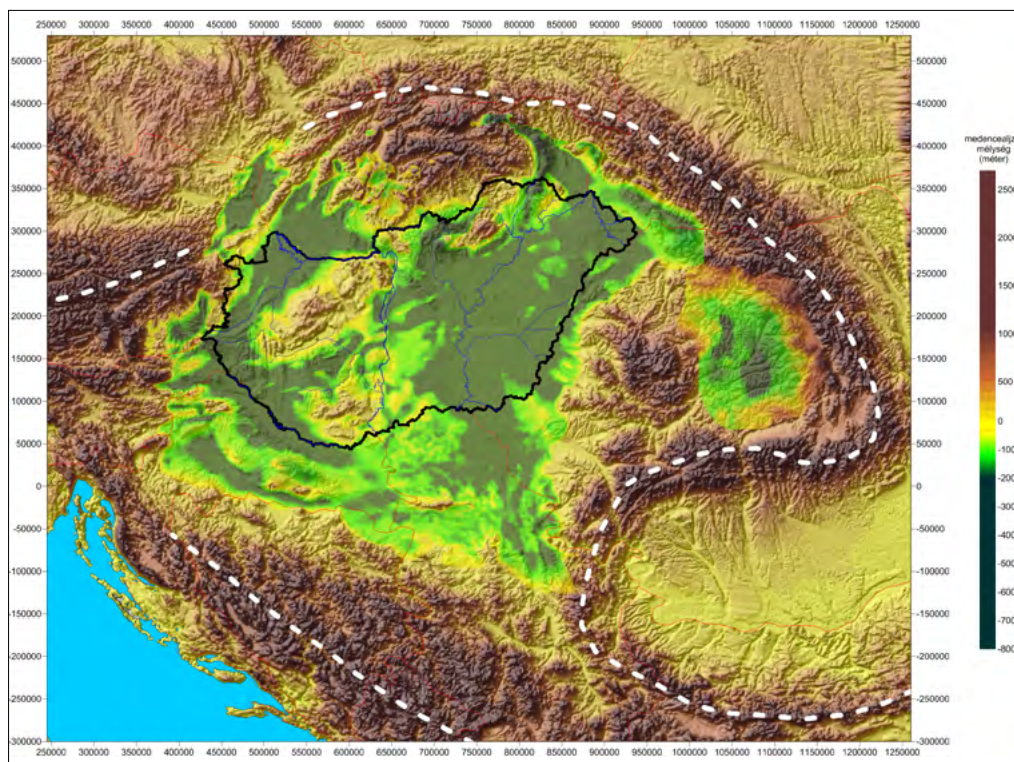
cel beszélgettünk, s ő mondta nem szó szerint idézve: „ahhoz, hogy világosabban lássunk – noha tudjuk, hogy az eredmény nem lesz igaz – ezeket az izosztatikuss vizsgálatokat ki kell terjeszteni a Kárpát-Pannon Régió területére, meghatározva az izosztatikuss elv szerinti Moho-határfelület mélységét a medence belsejében és a környező hegyvonulatok alatt is.”

2025-ben az SZTFH Földtani Szolgálat más cégekkel együttműködve elkezdte a Kárpát-Pannon Régió geotermikus modelljének kialakítását, melynek keretében minden az áramlást és hőmérsékletet befolyásoló határfelületet, a Conrad- és a Moho-inhomogenitásokat is figyelembe kellett venni. Jelen tanulmány, ehhez a geotermikus projekthez kapcsolódva készült.

2. MOHO-határfelület mélysége a Kárpát-Pannon Régióban

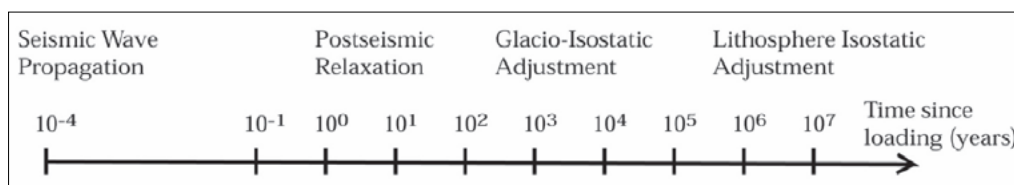
Pillanatnyi izosztatikuss egyensúlyt feltételezve, a domborzati és medencealjzat mélységadatokból (1. ábra) a Moho-felszín domborzata meghatározható.

Az izosztatikuss mozgások (epirogén mozgások) kialakulásának, lefutásának ideje ~10 millió év körüli (2. ábra), a gyors geodinamikai mozgások (orogén mozgások) ehhez képest pillanatszerűen zajlanak le, így „bármikor” felülírhatják az izosztáziát. A kiszámított Moho-felszín tehát egy idealizált felszín, amelyet a gyors geodinamikai folyamatok hatásának kizárásával határozhatunk meg. Korábbi



1. ábra A nagy sűrűségű kristályos kőzetek felszíne a Kárpát-medencében – domborzat a hegyvidéken és medencealjzat-mélység a medence belsejében (árnyékolva)

Figure 1 The surface of high-density crystalline rocks in the Carpathian Basin – relief in the mountainous region and basement depth in the interior of the basin (shaded)



2. ábra | A különböző földtani mozgások az időskálán (Thatcher & Pollitz 2010)

Figure 2 | Various geological movements on the time scale (Thatcher & Pollitz 2010)

vizsgálataink a Kelet-Kárpátok vonulata mentén (Kiss, Zilahi-Sebess 2018) bemutatta, hogy a hegység gerincvonalának legmagasabb pontja és az izosztatikus gyökérzóna legmélyebb pontja ma már 25 km-re eltávolodott egymástól – a köpeny K-i, DK-i mozgása gyorsabb, mint a kéreg „sűrűdással átadott” mozgása!

Az alkalmazott izosztatikus alapképlet (pl. Heiskanen, Veining Meinesz 1958) ennek megfelelően a következőképpen írja le a hegységek esetében az izosztatikus gyökérzóna (*root*) mélységét:

$$d = d_c + [(\sigma_c - \sigma_l)/(\sigma_m - \sigma_c)] h_t, \quad (1)$$

ahol

d – a kompenzációs mélység (*root*),

d_c – a kéreg átlagos vastagsága,

σ_c – a kéreg sűrűsége (2670 kg/m^3),

σ_l – a levegő sűrűsége ($\sim 1,3 \text{ kg/m}^3$),

σ_m – a köpeny sűrűsége (3270 kg/m^3),

h_t – a domborzat magassága ($h_t > 0$).

$$d = d_c + [(2670 - 1,3)/(3270 - 2670)] h_t,$$

$$d = d_c + 4,44783 h_t.$$

A domborzat okozta izosztatikus gyökérzóna: $\sim 4,44783 h_t$.

A mély üledékes medencék esetében köpenykiemelkedéssel (*antiroot*) kell számolni, ebben az esetben a képlet a következőképpen alakul:

$$d = d_c - [(\sigma_c - \sigma_u)/(\sigma_m - \sigma_c)] h_b, \quad (2)$$

$$d = d_c - [(2670 - \sigma_u)/600] h_b.$$

Az üledékes medence izosztatikus kemeledése:

$$\sim (2670 - \sigma_u)/600 h_b,$$

ahol

d – a kompenzációs mélység (*antiroot*),

d_c – a kéreg átlagos vastagsága,

σ_c – a kéreg sűrűsége (2670 kg/m^3),

σ_u – az üledékek sűrűsége (?),

σ_m – a köpeny sűrűsége (3270 kg/m^3),

h_b – az ismert medencemélység ($h_b < 0$).

Az (1) és (2) képlet csak a második tag előjelében különbözik – a hegységek izosztatikus gyökerei (*root*) negatív gravitációs okoznak, a mély medencék által okozott izosztatikus kiemelkedések (*antiroot*) a kéreg–köpeny határon ($\sim 25 \text{ km}$) pozitív gravitációs hatást okoznak. A (2)

képletben az üledékes medence sűrűségét elvileg vehetnénk állandónak (ez sok szempontból előnyös lenne), de valójában ez egy változó érték, amelynél figyelembe kell venni a medence mélységét és a tömörödési trendet.

a) Az üledékes medencék átlagsűrűsége

A porozitás a laza üledékek esetében a mélység növekedésével csökken (Athy 1930), aminek következtében az üledékek sűrűsége a mélységgel növekszik. Ez azt jelenti, hogy bizonyos határmélységig a mélység növekedésével, csökkenni fog a porozitás és ennek megfelelően nő a sűrűség.

Mészáros és Zilahi-Sebess (2001) mélyfúrás-geofizikai adatok alapján megállapították, hogy a magyarországi vastag üledékek esetén a sűrűség mélységfüggése a következő képlettel közelíthető:

$$\sigma = (a - b \cdot e^{-ch}) d, \quad (3)$$

$$\sigma = [2,7 - 0,8 e^{-(0,00071 \cdot h)}] \cdot 1000,$$

ahol a az üledékek maximális sűrűsége (országos szinten $a = 2,7$), b a felszínre extrapolálás paramétere (országos szinten $b = 0,80$), c a növekedés mértékének paramétere (országos szinten $c = 0,00071$), d a CGS–SI átváltás koeficiense ($d = 1000$), h a mélység (m) és σ az adott mélységre vonatkozó sűrűség (kg/m^3) értéke. Az üledékes medence okozta köpeny-kiemelkedés mértékének kiszámításakor ezt az összefüggést fogjuk felhasználni. A (3) képlet alapján a medence adott (h_b) mélységére ki tudjuk számítani a legnagyobb sűrűséget. Ennek a sűrűségnek és a felszíni sűrűségnek (1900 kg/m^3) az átlagát képezve előállíthatjuk a medence átlagos sűrűségét, amely pontról pontra változik. Mivel azonban a sűrűség–mélység összefüggés nem lineáris, ezzel valószínűleg alulbecsülnénk a medence sűrűségértékét. Célszerű tehát egy olyan, nem túl bonyolult képletet (4) alkalmazni, amely jobban figyelembe veszi a mélységfüggést. Ilyen lehet például a súlyozott átlagolás. Kiszámítva minden pontra a felszíni, a fél mélységbeli és a maximális mélység sűrűségét, majd súlyozva átlagoljuk a minimális, maximális és fél mélységbeli sűrűségértékeket, megkapjuk a keresett átlagsűrűséget:

$$\sigma = (\sigma_{\min} + 2\sigma_{\text{közép}} + \sigma_{\max})/4. \quad (4)$$

A számítás érdekessége, hogy medencék magas helyzetben, a fennsíkokon is vannak...

A domborzat alapján kiszámítjuk a kéregsűrűséggel a „root”-hatást, majd a medencékre kiszámítjuk az átlagos

medenceüledék sűrűséggel az „antroot”-hatást, amely értékével kompenzálni fogja magas helyzetű helyeken is a „root”-hatást.

b) Feldolgozási lépések:

Alapadatok:

- 1) Domborzat kivágása és EOVSz transformációja a Kárpát-Pannon Régió területére az SRTM¹ adatokból;
- 2) A Kárpát-Pannon Régió belső medencéinek mélységtérképe.

Részeredmények:

- 1) Az izosztatikusan eredetű gyökérzóna (*root*) hatása a domborzati térkép alapján (negatív mélységértékek a vonatkoztatási szinthez képest);
- 2) Az izosztatikusan eredetű köpenykiemelkedés hatása a medence mélységtérképe alapján (többnyire pozitív értékek a vonatkoztatási szinthez képest, kivéve a fennsíki medencéket); Az üledékoszlop átlagsűrűségének meghatározása a minimum és a tömörödési trend alapján meghatározott maximum értékek alapján (pontonként) – a térkép üresen maradt részeinek feltöltése noda helyett 0, azaz a nulla értékkel a rácsművet miatt.

¹ SRTM – Shuttle Radar Topography Mission (Űrradar-tomográfia segítségével az egész Földre létrehozott domborzati modell)

Végeredmény:

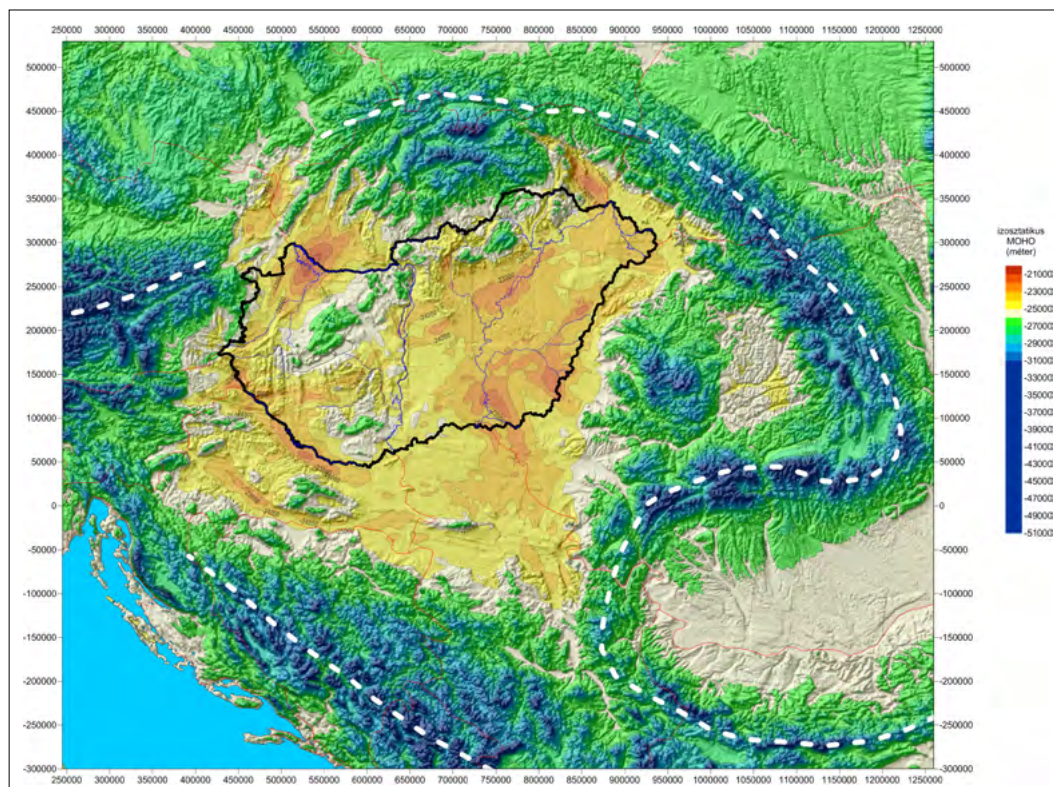
- 1) Moho szint (3. ábra) meghatározása a gyökérzónák és a köpeny-kiemelkedések alapján $Moho_{depth} = -(25000 + root - antroot)$
- 2) A szeizmikus MOHO mélységadatok alapján alap-szint és amplitúdó korrekció.

3. A CONRAD-határfelület mélysége a Kárpát-Pannon Régióban

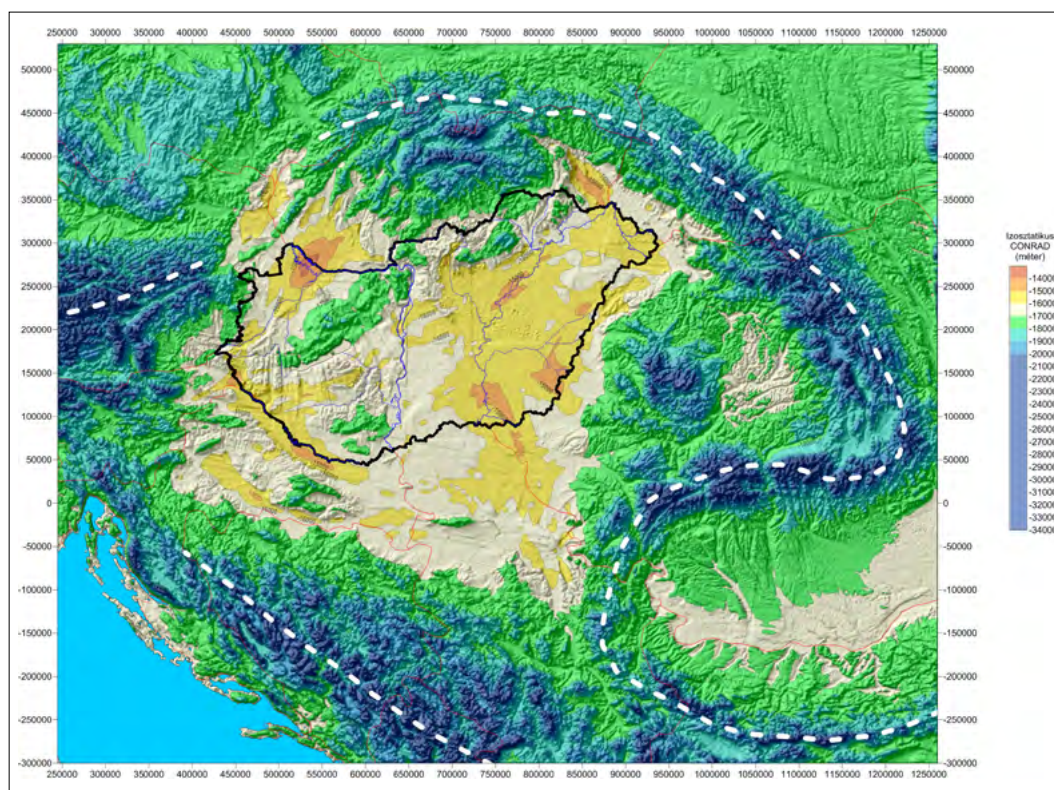
A Conrad-felület a szeizmikus reflexiók (refrakciók) szelvényeken időnként jól látszik, de egyrészt csak a kontinentális lemezekben jelentkezik, és ott sem mindenhol azonosítható, a lokális földtani, hidrogeológiai, hőmérsékleti és legfőképpen közettani kifejlődéstől függően (Kiss 2022).

A szeizmológiai (Alp-Array) mérési hálózat adataiból készült már Conrad-határfelület-térkép, de országosan 90 állomás adatait használták fel, ami elég ritka (Kalmár 2021).

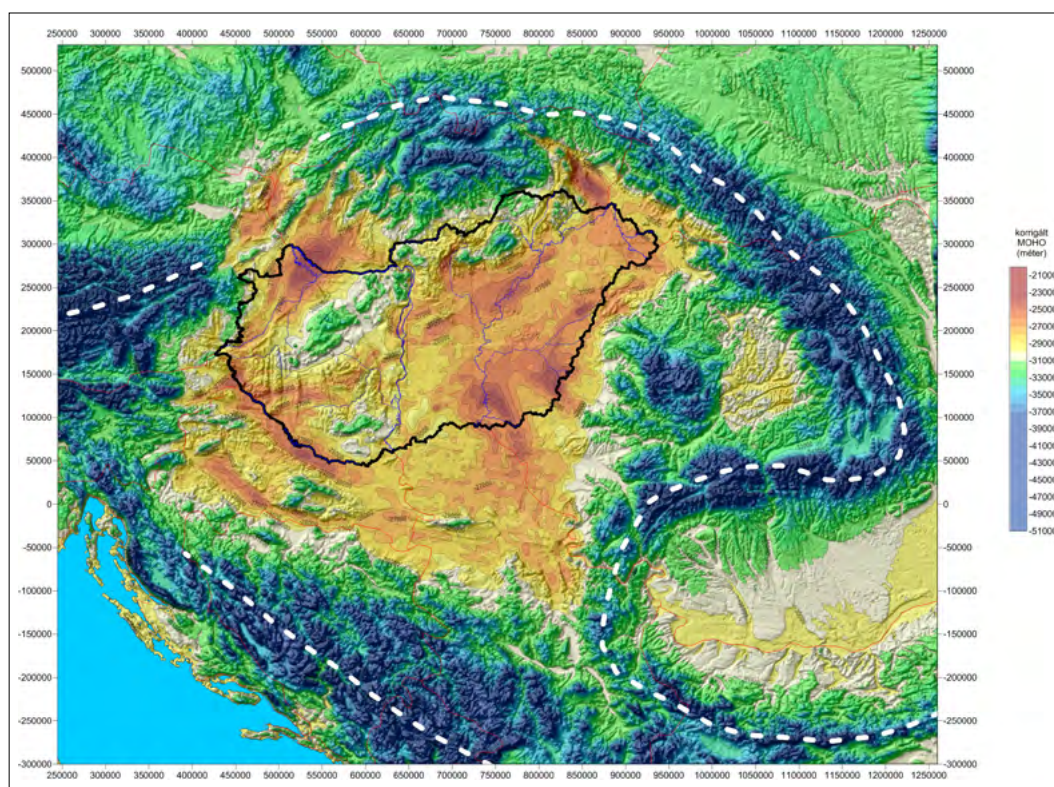
A szelvények mentén végzett gyakorlati feldolgozások alapján a Conrad-határfelület közel párhuzamos lefutású a Moho-határfelülettel – a Moho mélysége hatással van a Conrad mélységére. A Moho átlagmélysége Magyarországon 25 km, a Conrad-felületé 18 km körül van. Ebből az a következtetés vonható le, hogy a Conrad-határfelület a Moho mélységének kétharmad része, azaz a $H_{Conrad} = (2H_{Moho})/3$ képlettel jó közelítéssel megkapjuk a Conrad-határfelület mélységét (4. ábra).



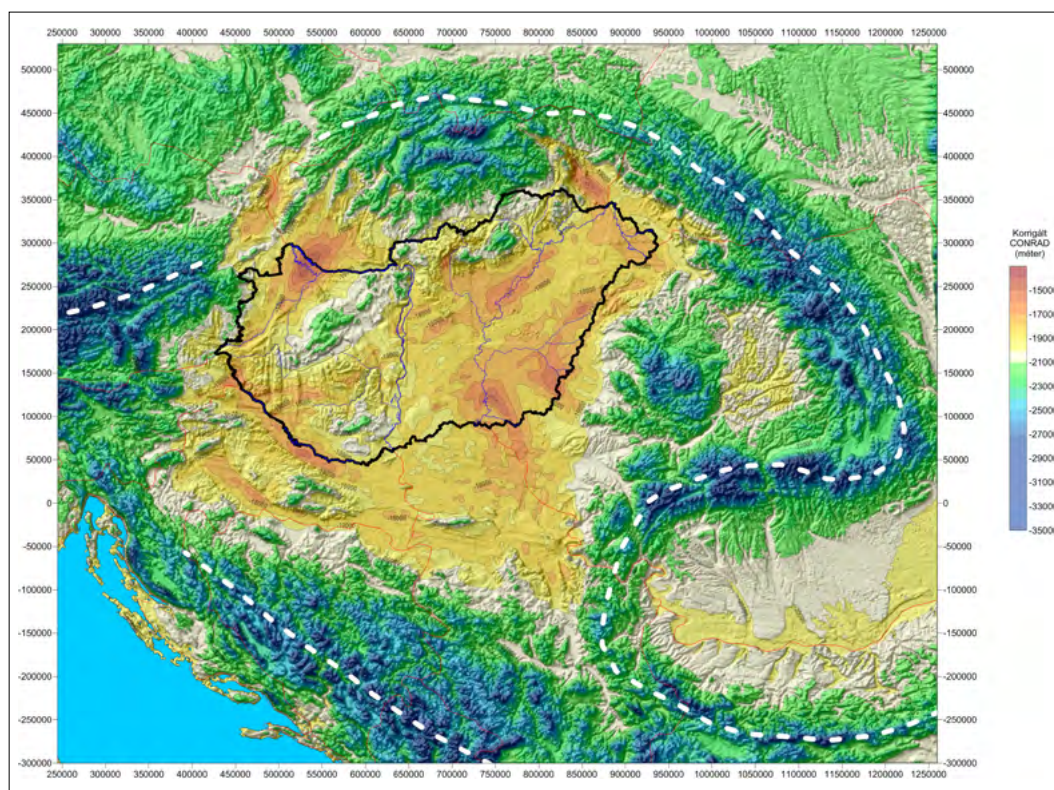
3. ábra | A Moho-határfelület mélységtérképe a Kárpát-medencében az Airy-féle izosztázia alapján
Figure 3 | Depth map of the Moho boundary in the Carpathian Basin based on Airy's isostasy



4. ábra | A Conrad-határfelület mélységtérképe a Kárpát-medencében az Airy-féle izosztázia alapján
Figure 4 | Depth map of the Conrad boundary surface in the Carpathian Basin based on Airy's isostasy



5. ábra | A szeizmikus adatok alapján korrigált Moho-határfelület mélységtérképe a Kárpát-medencében
Figure 5 | Depth map of the Moho boundary surface corrected based on seismic data in the Carpathian Basin



6. ábra | A szeizmikus adatok alapján korrigált Conrad-határfelület mélységtérképe a Kárpát-medencében
Figure 6 | Depth map of the Conrad boundary surface corrected based on seismic data in the Carpathian Basin

Ez a megközelítés nyilván csak a Kárpát-medence bel-sejében igaz, a környező hegykoszorún túl már nincsenek gyakorlati tapasztalataink, ott valószínűleg más törvényszerűségekkel kellene számolni.

A Conrad-határfelület mélységtérképét a 4. ábra mutatja. Első ránézésre ugyanolyan, mint a Moho-határfelület (3. ábra) mélységtérképe, ami nem meglepő, hiszen abból származtattuk. A különbség csak a mélységértékekben van, amit a színskála alapján azonosíthatunk.

Ha a számításból kapott Moho-felszint összevetjük a szeizmikus mérésekből kapott Moho-felszínnel (Posgay 1991), akkor kisebb mélységeket és amplitúdókat tapasztalunk. Ez kétféle dologból adódhat:

1. Az izosztatikus megfontolások során homogén és konsztans kéreg-, illetve köpenysűrűséget feltételeztünk, noha a valóságban nem az. A valódi sűrűségviszonyok megismerése irreális vállalkozásnak tűnik, így az izosztatikus kompenzációs mélységet sem tudjuk tovább pontosítani.
2. A Moho átlagos szintjének a 25 km-t választottuk, ehhez adtuk hozzá a gyökérszónak és a köpenykiemelkedések okozta változásokat. Ez azonban csak egy közelítő érték, ez az átlagérték lehet ennél kisebb, de inkább nagyobb is. Az átlagos mélység pontosítása csak a szeizmikus mérések alapján lehetséges.

Feltételezve, hogy az izosztatikus megfontolásból kapott Moho-felület (H_{I_Moho}) lefutásának tendenciái helyesek, a szeizmikus és gravitációs szintek eltérését szélsőértékek

alapján végzett korrekcióval (Kiss 2015) kaphatjuk meg a valódi Moho-mélységet (H_{V_Moho} , 5. ábra).

A korrekció mértékét a következő lineáris összefüggéssel lehetett megadni:

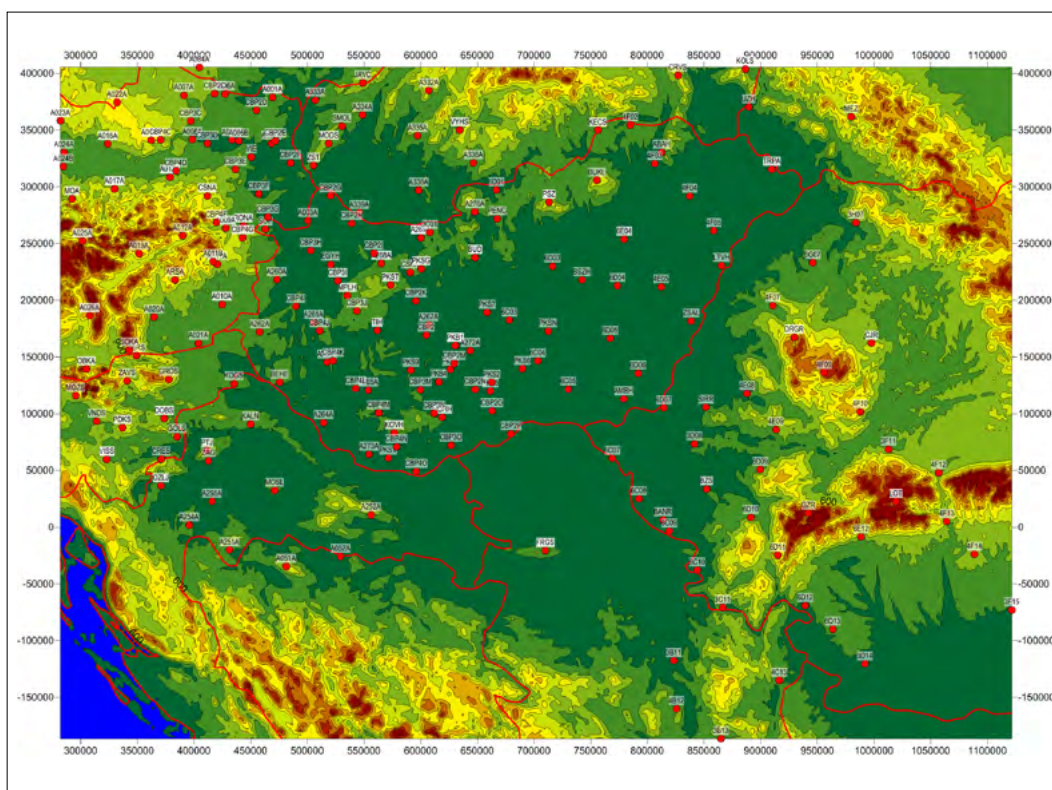
$$H_{V_Moho} = 1,77 H_{I_Moho} + 14965 \text{ (mBf)}.$$

(A Moho-mélység egy negatív szám, amelyet ha megszorozunk egy 1-nél nagyobb számmal, akkor még nagyobb negatív számot kapunk, ezt azonban a korrekció során eltoljuk pozitív irányban 14965 m-rel!)

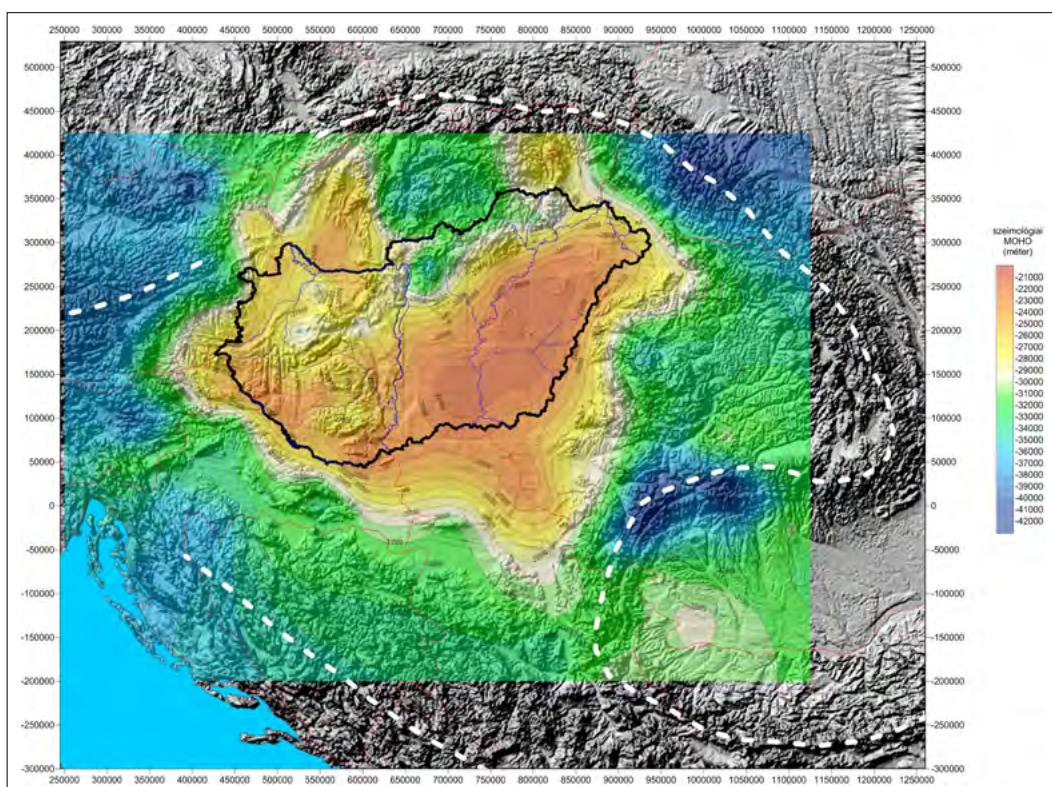
Mivel megbízható szeizmikus mélységek csak a Kárpát-medence belsejében állnak rendelkezésre, így a korrekció is csak maximum a vízválasztóig érvényes, a Kárpátokon kívül már más törvényszerűségek lehetnek!

4. A határfelületek mélysége a passzív szeizmikus mérések alapján

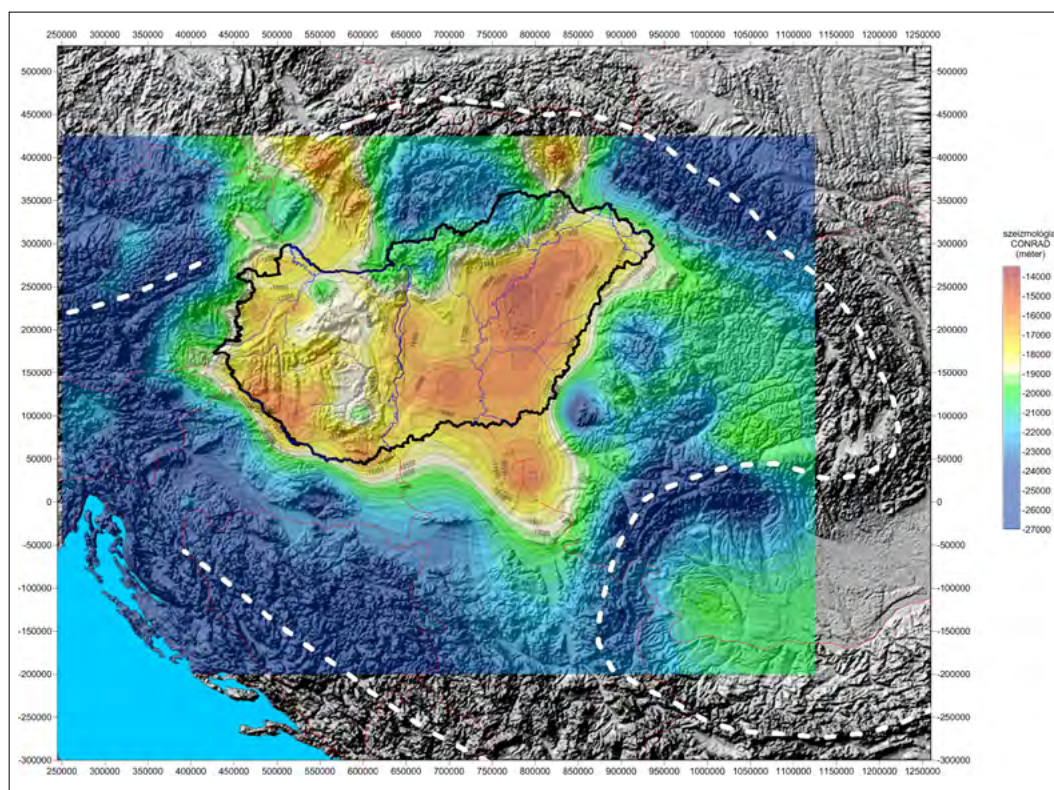
Az Alp-Array program keretében Közép-Európa 257 szeizmológiai állomásának (7. ábra) vevőfüggvény-analízise alapján a Kárpát-Pannon Régió területére is meghatározták a Conrad- és Moho-határfelületek mélységét (Kalmár 2021, Kalmár et al. 2021). A mérési pontok sűrűsége sokkal kevesebb (7. ábra), mint a gravitációs szempontú, az izosztázia alapján – domborzati és medence mélység-adatokat felhasználásával – készült felület, de mivel más módszerrel, más eljárásból született, így érdekes összevetni az eredményeket.



7. ábra | Szeizmológiai, passzív szeizmikus mérési hálózat a Kárpát-medencében és közvetlen környezetében a domborzati térképen megjelenítve
Figure 7 | Seismological, passive seismic measurement network in the Carpathian Basin and its immediate surroundings, shown on a topographic map



8. ábra | A szeizmológiai adatok alapján a Moho-határfelület mélységtérképe a Kárpát-Pannon Régióban
Figure 8 | Depth map of the Moho boundary in the Carpathian-Pannonian Region based on seismological data



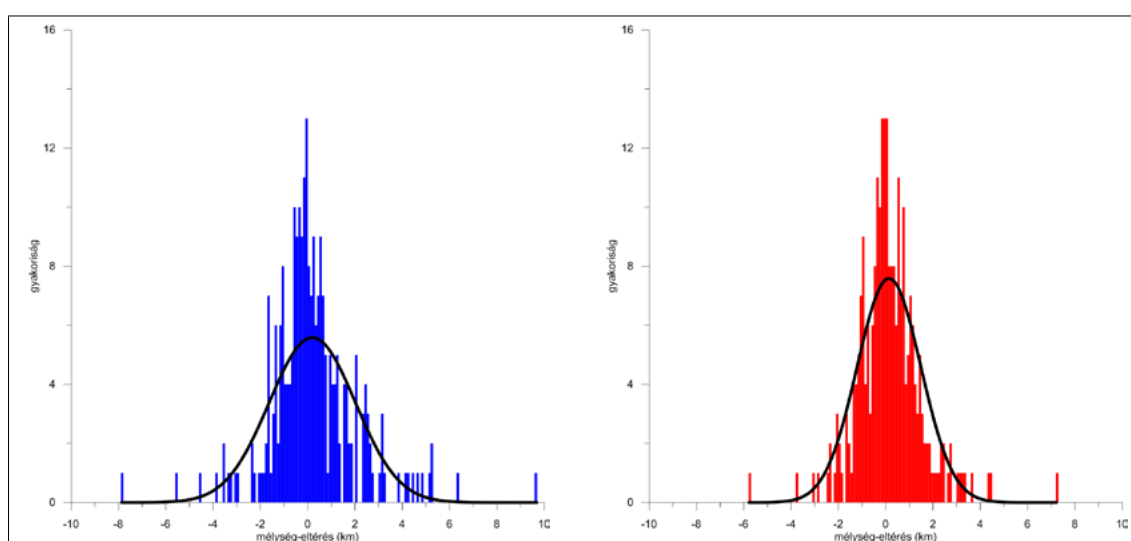
9. ábra | A szeizmológiai adatok alapján korrigált Conrad-határfelület mélységtérképe a Kárpát-medencében
Figure 9 | Depth map of the Conrad boundary surface in the Carpathian-Pannonian Region based on seismological data

A doktori dolgozatban (Kalmár 2021) és a publikációban (Kalmár et al. 2021) szereplő felületek (gridek) nem álltak rendelkezésünkre, így a táblázatosan megadott adatok alapján készítettük el és jelenítettük meg a felületeket.

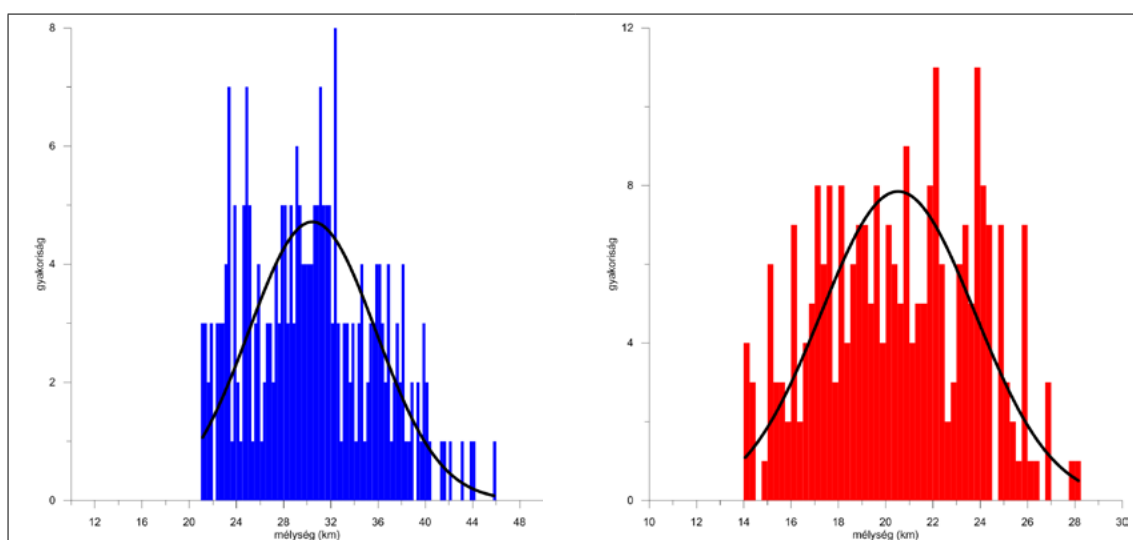
A Moho-határfelület (8. ábra) menete – a ritkább adatrendszer miatt – robusztusan, de hasonló a gravitációs megfontolásból, az izosztázia alapján kiszámított felülethez. A térképet a mérési háló alapján körbe kellene vágni,

de akkor nagyon lecsökkenne a hasznos terület, ezért ezt nem tettük meg, viszont a passzív szeizmológiai mérőhálózat (Alp-Array) pontjait feltüntettük a domborzati térképen (7. ábra), így az adatok területi elterjedése és megbízhatósága ellenőrizhető.

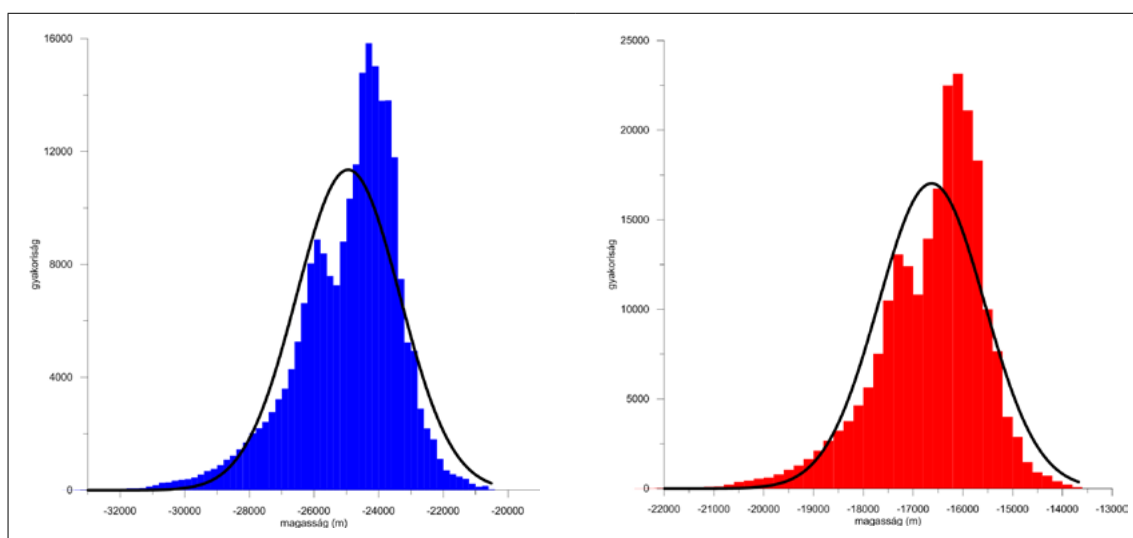
A 9. ábra a szeizmológiai adatokból meghatározott Conrad-határfelületet mutatja. A szeizmológiai Moho- és Conrad-határfelület lefutása nagyon hasonló, így az izo-



10. ábra | Az izosztázia és a szeizmológia alapján meghatározott Moho- és Conrad-határfelületek mélységbeli eltéréseinek hisztogramjai ($\delta = H_1 - H_s$)
Figure 10 | Histograms of depth differences between the Moho and Conrad boundaries determined based on isostasy and seismology ($\delta = H_1 - H_s$)



11. ábra A szeizmológia alapján a Moho- és a Conrad-határfelület átlagmélysége a hisztogram alapján
Figure 11 Based on seismology, the average depth of the Moho and Conrad boundaries according to the histogram



12. ábra Az izosztázia alapján Moho- és Conrad-határfelület átlagmélysége

Figure 12 Average depth of Moho and Conrad boundaries based on isostasy

sztázia alapján meghatározott Conrad-szint szintén elfogadhatónak tűnik, azaz a feltételezés, hogy a Conrad-szint robusztusan követi a Moho-szint mélységváltozásait, a szeizmológia adatai is alátámasztják.

Meghatároztuk a szeizmológiai állomásokra a két határfelület mélységének eltérését, a gyakorisági hisztogramot (10. ábra). A Moho-szintek eltérése ± 2 km körüli, a hisztogram módusa $-0,5$ km-en található (Gauss-görbe szerint 0 km).

A Conrad-szintek eltérése szintén $\pm 2,5$ km, kicsit szélesebb a hisztogram törzse, de a módus itt kicsit közelebb van a nullához, értéke inkább $-0,25$ km (Gauss-görbe szerint 0 km). Természetesen vannak kiugró értékek is, de azokkal külön most nem foglalkozunk.

A szeizmológiai mélységadatok hisztogramja alapján a Moho- és a Conrad-felületek közepmélysége is meghatározható (11. ábra). A Moho átlagmélysége a Gauss-görbe alapján 30 km, a Conrad átlagmélysége a Gauss-görbe alapján 20 km körül van. A hisztogram módusa nem egyértelműen rajzolódik ki – nagyon szórnak az értékek, így az illesztett görbe maximumértékét használtuk.

Az izosztázia alapján a Moho-határfelület mélységének hisztogramja kettős csúccsal jelentkezik, amelyet a Conrad-határfelület is átörököl. A maximumérték azonban kijelölhető – a Moho 25 km-es átlagmélységű (korrigált érték 31 km), a Conrad 16 km körüli átlagértékkel jelentkezik (korrigált 21 km). Az illesztett Gauss-görbe alapján meghatározható maximumhely mindkét esetben valamivel nagyobb mélységet adna.

5. Összegzés

A földkéregbeli és a kéreg–köpeny határfelületek több szempontból is érdekesek.

Földtani szempontból ezek a felületek ásványtani fázisátalakulások, amelyek mentén a közegnek kristálytani, kémiai, és fizikai tulajdonságai megváltozhatnak – lásd Conrad-felület mélységében bekövetkező változások mint kristályszerkezeti átalakulások, mágneses fázisátalakulás (mágneses doménszerkezet szétesése a Curie-hőmérsékleten). Vagy ilyenek a Moho-határfelületen bekövetkező változások, amelyek a közegben a hullámterjedési sebességének megváltozását idézik elő. Éppen ezeknek a változásoknak köszönhető, hogy ezeket a nagy mélységben elhelyezkedő határfelületeket felszíni geofizikai mérésekkel megismerhettük és azonosíthatjuk.

Ezek a határfelületek geotermikus és vízföldtani szempontból is fontosak, egyrészt a Föld belső hőeloszlásának ezek szintén határfelületei, amelyek megmutatják, hogy milyen mélyen van a „kályha”, azaz hogyan változik a geotermikus gradiens egy adott területen belül, és hogy a kiegyenlítődés miatt ebből milyen lokális/regionális fluidumáramlások várhatók.

E határfelületek mélységi elhelyezkedése alapján következtethetünk kéregszerkezeti, geodinamikai mozgásokra, mint például a lemeztektonika, szubdukció, kollízió, köpenydiapír, hotspotok és magmás benyomulások.

Sajnos e jelenségek nem mindegyike fordul elő a Kárpát-medencében, de ami jelen van, annak hatásai, a medence belsejében, közvetett formában megjelenhetnek.

Nyilvánvaló, hogy a lassú izosztatikus mozgásokat a gyors geodinamikai folyamatok felülírhatják és felül is írják, így a kiszámított felületek is csak „mankóként” használhatók az aktív alpi orogén zónában található Kárpát-medence esetében.

Az izosztázia alapján kapott eredmények összevetése litoszférakutató szeizmikus mérési eredményekkel (PGT, CELEBRATION, PANCAKE stb.) azonban felhívják a figyelmet például mélybeli köpenyáramlásokra (Kiss, Zilahy-Sebes 2018), vagy regionális köpenydiapírhoz kapcsolódó magmás jelenségekre (Kiss et al. 2017), mint például az intrúziók, szubvulkáni testek és hasadékvulkánok, amelyek ezeket a határfelületeket helyileg módosíthatják.

A tanulmány szerzője

Kiss János

Hivatkozások

- Airy G. B. (1855): On the computation of the effect of the attraction of mountain masses as disturbing the apparent astronomical latitude of stations in geodetic surveys. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 145, 101–104.
- Athy L. F., (1930): Compaction and oil migration. *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, 14, 25–35.
- Heiskanen, Veining Meinesz (1958): *The Earth and its gravity field*. McGraw-Hill Series in the Geological Sciences, New York, p. 136
- Kalmár D. (2021): Crustal structure determination in the wider region of the Pannonian Basin from P receiver function analysis. Doktori (PhD-) értekezés, ELTE, Földtudományi Doktori Iskola, Budapest.
- Kalmár D., Hetényi Gy., Balázs A., Bondár I. (2021): Crustal thinning from orogen to back-arc basin: The structure of the Pannonian Basin region revealed by P-to-S-converted seismic waves. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 126/7, Paper: e2020JB021309, 24.
- Kiss J. (2009): Regionális gravitációs anomáliák, izosztatikus hatások Magyarországon. *Magyar Geofizika*, 50/4, 153–171.
- Kiss J. (2010): Mély medencék izosztatikus hatása. *Magyar Geofizika*, 51/3, 1–13.
- Kiss J. (2017): A Kárpát-medence és környezete kialakulásának egy lehetséges modellje (kaptafa után ejtőernyő). *Magyar Geofizika*, 58/2, 66–75.
- Kiss J. (2018): Mit látunk a gravitáció alapján? MTA X. osztály előadóülése, Dinamikus litoszféra, Budapest, 2018. 05. 16.
- Kiss J. (2022): A Conrad-határfelület a Pannon-medencében (magyarországi adatok). *Magyar Geofizika*, 63/4, 190–207.
- Kiss J., Gúthy T., Zilahy-Sebes L. (2015): A Mohorovičić-határfelület magyarországi kutatása – módszerek, mérések, eredmények. *Magyar Geofizika*, 56/3, 152–178.
- Kiss J., Vértessy L., Fancsik T., Kovács A. Cs., Madarasi A., Gulyás Á. (2017): Tisia, a geofizika adatok tükrében és a litoszférakutató szelvények szeizmikusan nagy sebességű zónáinak értelmezése. *Magyar Geofizika*, 58/4, 209–229.
- Kiss J., Zilahy-Sebes L. (2018): Geodinamika a Kárpát-Pannon régióban. *Magyar Geofizika*, 59/4, 180–196.
- Mészáros F., Zilahy-Sebes L. (2001): Compaction of the sediments with great thickness in the Pannonian Basin. *Geophysical Transactions*, 44/1, 21–48.
- Posgay K., Albu I., Mayerkova M., Nakladalova Z., Ibrmajer I., Blizkovsky M., Aric K., Gutdeutsch R. (1991): Contour map of the Mohorovičić discontinuity beneath Central-Europe. *Geophysical Transactions*, 36/1, 7–13.
- Vening Meinesz F. A. (1931): Une nouvelle methode pour la reduction isostatique regionale de l'intensite de la pesanteur. *Bulletin Géod.*, 29, 33–51.

Multiexponenciális kőzetfizikai modell a szeizmikus/akusztikus P- és S-hullám jósági tényező nyomásfüggésének leírására

TURAI VUROM B., DOBRÓKA M.[@]

Miskolci Egyetem, Geofizikai Intézeti Tanszék, Miskolc-Egyetemváros

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

Annak feltételezésére alapozva, hogy a kőzetanyagokban a P- és S-hullámok minőségi tényezőjének nyomásfüggését befolyásoló különféle belső mechanizmusok egyidejűleg is jelen lehetnek, új kvantitatív kőzetfizikai modelleket mutatunk be. Minden mechanizmust egy extenzív mennyiséggel (például a mikrorepedések száma, a pórustérfogat stb.) jellemzünk, amelynek nyomásfüggése exponenciális alakú. Az egyedi mechanizmusok számától függően kettős, hármas, illetve általánosan multi exponenciális modelleket vezettünk be, és megadtuk a jósági tényező nyomásfüggését leíró direkt modellezési összefüggéseket.

A kőzetfizikai modellek paramétereit inverziós eljárásokkal határozzuk meg laboratóriumban mért P- és S-hullám jósági tényező adatok felhasználásával. Azt találtuk, hogy a hagyományos legkisebb négyzetek módszere (LSQ) nem ad elfogadható eredményt abban az esetben, amikor három vagy több egyedi mechanizmus egyidejű jelenlétével kell számolni. Emiatt egy speciális nyomásspektrum-inverziós módszert dolgoztunk ki, amely pontos és stabil eredményt ad még akkor is, ha több tucat egyedi mechanizmust veszünk figyelembe.

Turai Vurom, B., Dobróka, M.: Multi-exponential petrophysical model for describing the pressure dependence of seismic/acoustic P and S wave quality factors

Based on the assumption that a variety of internal mechanisms influencing the pressure dependence of the P and S wave quality factor can simultaneously exist in the rock materials, new quantitative rock physical models are presented. Each mechanism is described by an extensive quantity (such as the number of microcracks, pore-volume, etc.) that exhibits an exponential form in its pressure dependence. Depending on the number of individual mechanisms, we introduced the Double-, Triple-, or even Multi-Exponential Models and provided the forward modeling formulae governing the pressure dependence of the quality factor.

The model parameters of the rock physical models are determined in inversion procedures using laboratory-measured P and S wave quality factor data. It was found that the common LSQ method can not give acceptable results in the case of three or more individual mechanisms that are simultaneously present. Because of this reason, a special pressure spectrum inversion method was developed, which gives accurate and stable results even in cases where tens of individual mechanisms are taken into account.

Beérkezett: 2025. november 23.; *elfogadva:* 2025. december 27.

1. Bevezetés

A szeizmikus/akusztikus P- és S-hullámok diszperziós jellemzőinek (sebesség és Q tényező) nyomásfüggése évtizedek óta intenzíven kutatott jelenség (Wyllie et al. 1958, Winkler 1985, Lucet, Zinsner 1992, Sengun et al. 2011, Ji et al. 2017, Prasad, Manghnani 1997). Toksöz és munkatársai (1979) száraz, vízzel, sóoldattal, metánnal telített, illetve fagyasztott mintákon vizsgálták a P- és

S-hullámok nyomás alatti terjedését és csillapítását. Megállapították, hogy a csillapítás nagyobb volt vízzel és sóoldattal telített minták esetében, mint metánnal telített vagy száraz mintákban, továbbá a csillapítás a nyomás növekedésével csökkent. E jelenség okát Johnston et al. (1979), Yu et al. (1993) és Best (1997) szerint a mikrorepedések nyomás hatására történő záródása magyarázza. A pórusok záródását is feltételezték a jelenség értelmezésére (Birch 1960).

A diszperziós jellemzők és a nyomás közötti nemlineáris kapcsolat leírására leggyakrabban exponenciális függvényeket alkalmaznak (Yu et al. 1993, Wang et al. 2005, Singh et al. 2006). Saul és Lumley (2013) kettős exponenciális közelítést használtak a porozitás nyomásfüggésének leírására konszolidálatlan homokminták esetében.

A póruszáródás mechanizmusára alapozva Dobróka és Somogyi-Molnár (2012) egyszeres exponenciális kőzetfizikai modellt vezettek be a hullámterjedés diszperziós jellemzőinek nyomás által vezérelt változásának magyarázatára. A modellt különböző kőzetmintákban alkalmazták a P- és S-hullámok minőségi tényezőjének nyomásfüggésére. Kézenfekvő feltételezés, hogy a pórusok vagy mikro-repedések záródása mellett további belső mechanizmusok is egyidejűleg jelen lehetnek a kőzetmintákban. Emiatt szükséges a fent említett egyszeres exponenciális modell általánosítása multiexponenciális modellekre.

2. A multiexponenciális kőzetfizikai modell

A Multiexponenciális Modellt (MEM) úgy definiáljuk, hogy feltételezzük: M számú, egymástól különböző belső mechanizmus egyidejűleg befolyásolja a jósági tényező nyomásfüggését. Az egyes mechanizmusokhoz egy-egy extenzív Ψ_i mennyiség tartozik. Feltesszük, hogy egy $d\sigma$ infinitezimális nyomásnövekedés az extenzív $d\Psi_i$ mennyiség változását olyan módon hozza létre, amely arányos az adott Ψ_i extenzív mennyiséggel és a $d\sigma$ nyomásváltozással:

$$d\Psi_i = -\lambda_i \Psi_i d\sigma \quad (i = 1, \dots, M), \quad (1)$$

ahol λ_i anyagállandó. Az egyenlet megoldásából adódik:

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

ahol Ψ_{0i} az i -edik extenzív mennyiség értéke feszültségmentes állapotban ($\sigma = 0$). Az extenzív mennyiség megváltozása a jósági tényező megváltozását eredményezi. Ismét linearitást feltételezünk az infinitezimális változások között:

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

illetve (1) és (2) felhasználásával:

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

Minden $i = 1, \dots, M$ mechanizmus hozzájárul a jósági tényező változásához, ezért a (4) szerinti infinitezimális változások összege:

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

Integrálás után:

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

ahol K integrálási konstans. Feszültségmentes állapotban a hullám jósági tényezője Q_0 , ezért

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

alapján adódik:

$$Q = Q_0 + \sum_{i=1}^M \Delta Q_i [1 - \exp(-\lambda_i \sigma)], \quad (7)$$

ahol a $\Delta Q_i = \alpha_i \Psi_{0i}$ jelölést használtuk. Növekvő nyomás mellett a jósági tényező a Q_0 értékről

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

a határérték felé tart. Ezzel a kapcsolattal (7) így is felírható:

$$Q = Q_m - \sum_{i=1}^M \Delta Q_i \exp(-\lambda_i \sigma), \quad (8)$$

vagy a $\sigma_{ci} = 1/\lambda_i$ karakterisztikus nyomások bevezetésével:

$$Q(\sigma) = Q_m - \sum_{i=1}^M \Delta Q_i \exp(-\sigma/\sigma_{ci}). \quad (9)$$

A (9) egyenlet adja a Multiexponenciális Modell (MEM) nyomásfüggő minőségi tényezőjét, és egyben a direkt modellezési képlet az inverziós eljárásokban. A modell paraméterei az

$$\mathbf{m} = (Q_m, \Delta Q_1, \dots, \Delta Q_M, \sigma_{c1}, \dots, \sigma_{cM})$$

vektorban gyűjthetők össze; ezek az inverzió ismeretlenjei. A modell speciális esetei:

– *Egyszeres Exponenciális Modell* (SEM):

$$Q_{SEM} = Q_m - \Delta Q \exp(-\sigma/\sigma_c), \quad (10)$$

– *Kettős Exponenciális Modell* (DEM):

$$Q_{DEM} = Q_m - \Delta Q_1 \exp(-\sigma/\sigma_{c1}) - \Delta Q_2 \exp(-\sigma/\sigma_{c2}), \quad (11)$$

– *Hármas Exponenciális Modell* (TEM):

$$Q_{TEM} = Q_{DEM} - \Delta Q_3 \exp(-\sigma/\sigma_{c3}) \quad (12)$$

és így tovább.

A (9) egyenlet a Multiexponenciális kőzetfizikai Modell (MEM) keresett összefüggése, amely a nyomásfüggő szeizmikus/akusztikus Q faktort adja. A $Q_m, \Delta Q_i, \sigma_{ci}$ ($i = 1, \dots, M$) mennyiségek a modell paraméterei, melyek laboratóriumban mért jósági tényező adatok ismeretében inverziós eljárással meghatározhatók. Az inverziós elmélet terminológiájával élve: a (9) egyenlet a direkt probléma megoldását adja. Látható, hogy a (9) használata az inverz problémát jelentősen nemlineárisá teszi. Ez a belső mechanizmusok számának növekedésével egyre súlyosabb instabilitási problémákhoz vezet. Ezért szükségessé vált egy speciális algoritmus a *Nyomásspektrum Inverziós Módszer* (PSIM) kifejlesztése a MEM inverz problémájának megoldására. A nyomással exponenciálisan változó modellek (SRM, DEM, TEM és MEM) lehetséges inverziós módszereit a *Függelék* tárgyalja.

3. Laboratóriumi adatok

A minőségi tényező modelljét az irodalomban közölt mérési adatokon teszteltük. Közzétettek adatsorokat Berea homokkőre (Toksöz et al., 1979), Rotbach homokkőre

(Lucet és Zinszner, 1992) és szénmintákra (Yu et al., 1979). A jósági tényezők meghatározásához a spektrális arányok technikáját (Toksöz et al., 1979) alkalmazták. A méréseket változó nyomás mellett végezték. Jelen vizsgálatainkban a Yu et al. (1993) által felső-permi fekete szénmintákon nedves és száraz állapotban mért jósági tényező adatokat használjuk a kifejlesztett közetfizikai modellek tesztelésére.

4. Inverziós eredmények

Inverziós példáinkban a speciális *Nyomásspektrum Inverziós Módszert* (PSIM) alkalmazzuk a *Multiexponenciális Modell* (MEM) paramétereinek becslésére. A *csillapított legkisebb négyzetek módszerét* (DLSQ) az *Egyszeres Exponenciális Modell* (SRM) paramétereinek meghatározására használjuk. Ennél a modellnél a direkt probléma a (10) egyenletben szerepel, a modellparaméter-vektor $\mathbf{m} = (\Delta Q, \sigma_c, Q_m)$. Definiáltuk a *Kettős Exponenciális Modellt* (DEM), ahol az ismeretlen paraméterek $\mathbf{m} = (\Delta Q_1, \Delta Q_2, \sigma_{c1}, \sigma_{c2}, Q_m)$, valamint a *Hármas Exponenciális Modellt* (TEM), ahol $\mathbf{m} = (\Delta Q_1, \Delta Q_2, \Delta Q_3, \sigma_{c1}, \sigma_{c2}, \sigma_{c3}, Q_m)$. A DEM vagy TEM direkt egyenleteivel megfogalmazott DLSQ inverziók erősen nemlineárisak; a belső mechanizmusok számának (M) növekedésével súlyos egyértelműségi és stabilitási (pontossági) problémák jelentkeznek. Emiatt összehasonlítjuk az eredményeket a PSIM módszerrel (lásd Függelék), ahol az ismeretlen modellparaméter-vektor $\mathbf{m} = (\Delta Q_1, \dots, \Delta Q_M, Q_m)$.

A közetfizikai modellek érvényességének vizsgálatához egytengelyű terhelés alatt mért P- és S-hullám minőségi tényező adatokat használtunk (Toksöz et al. 1979, Yu et al. 1979). A modellparamétereket a PSIM módszerrel becsültük a MEM direkt képletét alkalmazva.

Első vizsgálatunkban száraz szénmintán mért S-hullám jósági tényező (Q) adatokat használtunk (Yu et al. 1979). Az adatok $N = 15$ nyomásponton készültek a $[0, 40]$ MPa

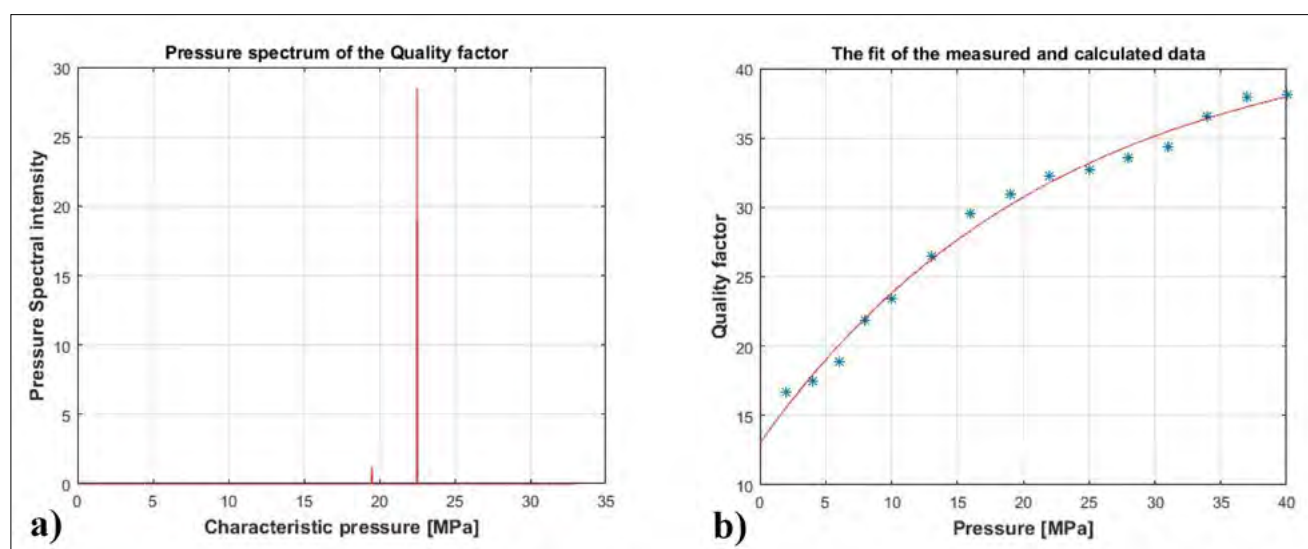
tartományban. Kiindulásként a DLSQ eljárást alkalmaztuk a SEM direkt modellel. A becsült paraméterek és becslési hibáik az 1. táblázatban láthatók. Az átlagos relatív becslési hiba 7,38%, a korrelációs mátrix offdiagonális elemeinek RMS értéke $S = 0,901$ (Menke 1981).

1. táblázat | A DLSQ inverzió eredménye a SEM modell alkalmazásával

Table 1	The result of DLSQ inversion using SEM model		
	Paraméter	Becslési hiba	Relatív becslési hiba (%)
ΔQ	29,91	1,37	4,56
σ_c	22,35	2,95	13,19
Q_m	42,95	1,74	4,04

A kettős exponenciális modell (DEM) alkalmazásakor a DLSQ inverzió erősen korrelált paramétereket, és elfogadhatatlan becslési hibákat ad, ezért a DEM és a bonyolultabb modellek nem alkalmazhatók megbízhatóan hagyományos DLSQ inverzióban.

A PSIM alkalmazásakor túlhatározott problémát definiálunk $M = 11$ spektrális vonallal, amelyek 3 MPa-os intervallumok közepén helyezkednek el a teljes karakterisztikus nyomástartományon belül: $[0, 33]$ MPa. Kezdő modellként minden spektrális amplitúdó 10 volt. 50 PSIM iteráció után az 1a. ábrán látható S-hullám karakterisztikus nyomásspektrumot kaptunk. Látható, hogy csak 2 spektrális vonal maradt (a 0,1-nél kisebb amplitúdókat elhanyagoltuk). A mért adatok és a becsült modellen számított értékek illeszkedését az 1b. ábra mutatja. (A nagy nyomásokon vett határérték, amelyhez a minőségi tényező tart, $Q_m = 42,9$.) A karakterisztikus nyomások és a spektrális amplitúdók (becslési hibáikkal) a 2. táblázatban szerepelnek. Az adattérben elfogadható eredményt kaptunk: $D = 3,10\%$. A modelltérben a relatív becslési hiba nagyságrenddel eltér a két spektrális vonal



1. ábra | a) Karakterisztikus nyomásspektrum ($0 \leq \sigma_c \leq 33$). b) A mért és számított adatok egyezése

Figure 1 | a) The characteristic pressure spectrum ($0 \leq \sigma_c \leq 33$). b) The fit of measurements and predictions

esetén. A modellkorrelációs mátrix átlagos szórása $S = 0,867$.

2. táblázat Transzverzális hullám adatokon kapott PSIM inverziós eredmény ($M = 14$, száraz minta)
Table 2 The PSIM inversion result of S wave quality factor data ($M = 14$, dry sample)

Karakterisztikus nyomás	Spektrális amplitúdó	Becslési hiba	Rel. becslési hiba (%)
19,5	1,24	5,26	424,2
22,5	28,54	5,61	19,6

A stabilitás bemutatására az inverziót eltérő parametrikációval megismételtük: a karakterisztikus nyomásokat a $[0, 39]$ MPa tartományba tettük, és a spektrális vonalak száma $M = 13$ (ismét 3 MPa-os intervallumok közepeiben). A kezdő modell azonos volt. A részletek a 3. táblázatban láthatók; az amplitúdók és hibáik gyakorlatilag meg egyeznek a korábbi eredménnyel.

3. táblázat Transzverzális hullám adatokon kapott PSIM inverziós eredmény ($M = 13$, száraz minta)
Table 3 The PSIM inversion result of S wave quality factor data ($M = 13$, dry sample)

Karakterisztikus nyomás	Spektrális amplitúdó	Becslési hiba	Rel. becslési hiba (%)
19,5	1,37	6,19	451,
22,5	28,36	6,69	21,8

A PSIM és DLSQ eredmények összevetése jelentős konzisztenciát mutat. A DLSQ által adott egyetlen „spektrális vonal” a PSIM megközelítésben két komponensre bomlik. A $\sigma_c = 22,35$ (MPa) a 2. táblázatban közel esik a 3. táblázatban szereplő két karakterisztikus nyomás súlyozott átlagához (a súlyok a relatív becslési hiba reciprocai), amely

(22,37 MPa). A két spektrális amplitúdó hasonló súlyozással számított átlaga 27,14; ez (a becslési hibaintervallumokat figyelembe véve) összhangban van a 2. táblázatbeli értékkel.

A következő vizsgálatunkban Yu et al. (1979) nedves szénmintán a $[0, 40]$ (MPa) nyomástartományban $N = 15$ ponton mért P-hullám Q adatait használtuk. A DLSQ inverzióval (előremodellezésre a SEM-et használva) kapott becslült paramétereket és azok hibáit a 4. táblázat mutatja. Az átlagos relatív becslési hiba 3,73%, a relatív adattávolság $D = 2,074\%$. A korrelációs mátrix elfogadható: $S = 0,549$.

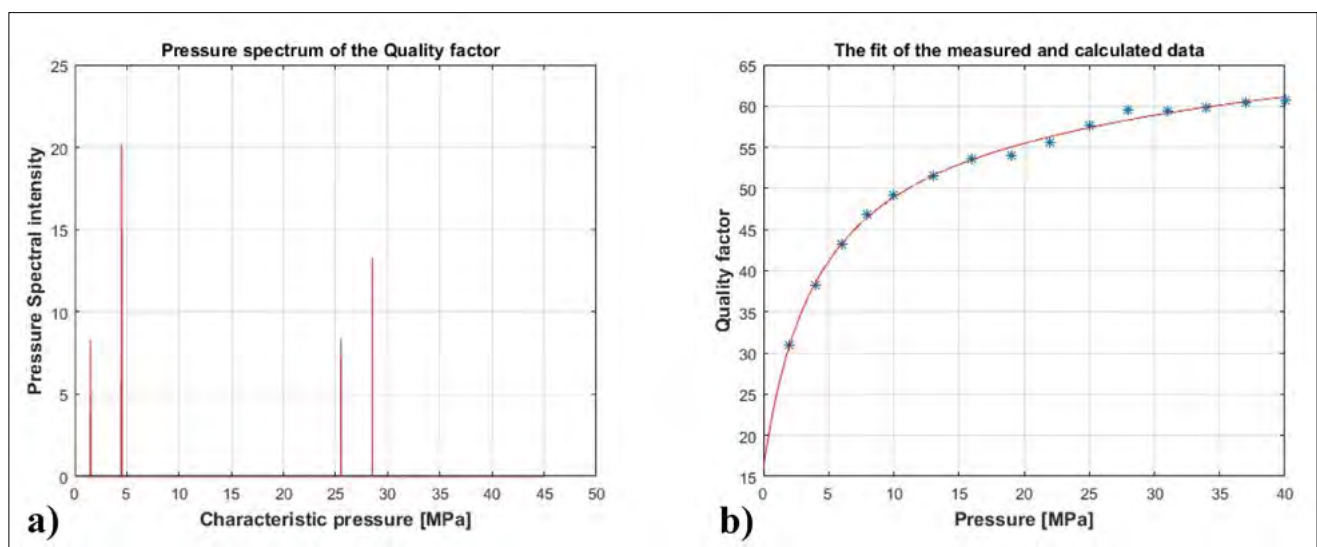
4. táblázat Nedves kőzetminta adatainak DLSQ inverziója SEM modell egyenlettel
Table 4 DLSQ inversion using SEM (wet sample)

	Paraméter	Becslési hiba	Rel. becslési hiba (%)
ΔQ	34,90	1,17	3,35
σ_c	9,31	0,73	7,84

DEM-et feltételezve a DLSQ inverzió a 5. táblázatban szereplő paramétereket és hibákat adja. A relatív adattávolság $D = 0,860\%$, az átlagos relatív becslési hiba 16,7%. A korreláció $S = 0,807$.

5. táblázat Nedves kőzetminta adatainak DLSQ inverziója DEM modell egyenlettel
Table 5 DLSQ inversion using DEM (wet sample)

	Paraméter	Becslési hiba	Rel. becslési hiba (%)
ΔQ_1	23,03	3,15	13,7
ΔQ_2	23,66	2,41	10,2
σ_{c1}	3,17	0,90	28,4
σ_{c2}	20,94	7,62	36,2
Q_m	64,57	2,42	3,75



2. ábra a) Karakterisztikus nyomásspektrum ($0 \leq \sigma_c \leq 45$). b) A mért és számított adatok egyezése

Figure 2 a) The characteristic pressure spectrum ($0 \leq \sigma_c \leq 45$). b) The fit of measurements and predictions

A SEM-hez viszonyítva a DEM jobb illeszkedést ad az adattérben, de nagyobb hibákat és korrelációt a modellterben. Ez a tendencia TEM esetén tovább romlik: az átlagos becslési hiba 7712%, a paraméterek erősen korreláltak ($S = 0,974$). Ezek az eredmények azt mutatják, hogy a három vagy több mechanizmust tartalmazó modellek paraméterei nem határozhatók meg megbízhatóan a hagyományos DLSQ módszerrel. Ennek megoldására alkalmaztuk a MEM-hez kidolgozott PSIM eljárást.

A PSIM alkalmazásakor először marginálisan túlhatározott problémát definiálunk $M = 14$ spektrális vonallal, 3 MPa-os intervallumok közepeiben, a $[0, 42]$ MPa tartományban. Kezdő modell: amplitúdók = 10, 50 iteráció után a 2a. ábrán látható P-hullám Q spektrum adódott; csak 4 spektrális vonal maradt (a 0,1 alattiakat elhagytuk). A mért és számított adatok illeszkedése a 2b. ábrán látható. (A nagy nyomáson vett határérték $Q_m = 66,14$.) A karakterisztikus nyomások és amplitúdók a 6. táblázatban láthatók. Az adattérben és modellterben elfogadható eredményt kaptunk: $D = 0,898\%$, átlagos relatív hiba 76,5%, $S = 0,799$.

6. táblázat Nedves kőzetminta P-hullám jósági tényező adatainak PSIM inverziója MEM modell egyenlettel ($M = 14$)
Table 6 The PSIM inversion result of P wave quality factor data ($M = 14$, wet sample)

Karakterisztikus nyomás	Spektrális amplitúdó	Becslési hiba	Rel. becslési hiba (%)
1,5	8,31	5,61	67,5
4,5	20,17	3,11	15,5
25,5	8,35	11,09	133,9
28,5	12,81	11,31	88,2

A stabilitás vizsgálatához a PSIM inverziót más parametrizációval megismételtük: karakterisztikus nyomások $[0, 36]$ MPa, $M = 12$. A kezdő modell azonos. A részletek a 7. táblázatban; az amplitúdók és hibáik közel azonosak.

7. táblázat Nedves kőzetminta P-hullám jósági tényező adatainak PSIM inverziója MEM modell egyenlettel ($M = 12$)
Table 7 The PSIM inversion result of P-wave quality factor data ($M = 12$, wet sample)

Karakterisztikus nyomás (MPa)	Spektrális amplitúdó	Becslési hiba	Rel. becslési hiba (%)
1,5	8,31	5,61	67,5
4,5	20,16	3,11	15,4
25,5	8,15	10,90	133,9
28,5	13,11	10,99	83,8

A PSIM és DLSQ összevetés alapján az eredmények konzisztensnek tekinthetők. A DLSQ (DEM-mel) által adott két „spektrális vonal” a PSIM-ben két-két komponensre bomlik. A $\sigma_{c1} = 3,17$ közel esik a 6. táblázat első két karakterisztikus nyomásának (3,0 MPa) átlagához. A 6. táblázat első két amplitúdójának összege 28,47, ami (hiba-

intervallumon belül) egyezik az 5. táblázatbeli $\Delta Q_1 = 23,03$ értékkel. Hasonlóan, $\sigma_{c2} = 20,94$ a (hibán belül) egyezik a 6. táblázat utolsó két karakterisztikus nyomásának (27,0 MPa) átlagával, és az utolsó két amplitúdó összege (21,16) is összhangban van az 5. táblázatbeli $\Delta Q_2 = 23,66$ értékkel.

5. Következtetések

Bemutattunk egy új kvantitatív modellt az akusztikus P- és S-hullámok jósági tényezőjének nyomásfüggésére. A javasolt analitikus modell azon az elképzelésen alapul, hogy a nyomásfüggést befolyásoló különféle belső mechanizmusok egyidejűleg lehetnek jelen a kőzetben; mindegyikhez tartozik egy karakterisztikus nyomás, amely mentén a mechanizmus hat, és amelyen „lefut”. Petrofizikai modellünkben a jósági tényező nyomás érzékenységeit (λ_i) és ezek reciprokaként a $\sigma_i = 1/\lambda_i$ karakterisztikus nyomásokat vezettük be, mint a minőséget meghatározó új, mechanizmusonként értelmezett anyagállandókat. Egy adott (például i -edik) belső mechanizmushoz tartozó jósági tényező változás ugyanabban a formában írható le, mint a fizikában exponenciális folyamatként tárgyalt mennyiségek (töltés, hőmérséklet, mágneses térerősség stb.) – azzal a különbséggel, hogy az idő szerepét itt a nyomás veszi át. Ezzel az analógiával a (P- és S-hullám) jósági tényező nyomás növekedésével történő exponenciális csökkenését feszültségdominált exponenciális folyamatnak tekintettük; a mögöttes fizikai folyamatot (például mikrorepedések záródása) a σ_c karakterisztikus nyomás jellemzi. Az egyedi mechanizmusok számától függően bevezettük a kettős, hármas, illetve általános többexponenciális modelleket (SRM, DEM, TEM, ..., MEM), és megadtuk a jósági tényező nyomásfüggését leíró direkt modellezési képleteket.

A javasolt közetfizikai modellt laboratóriumi sebességadatokon teszteltük. A mért adatokat inverziós technikával dolgoztuk fel. Az inverzió pontosságát adattávolsággal és paraméterbecslési hibával jellemeztük. A DEM és TEM modellek esetén csillapított legkisebb négyzetek módszerét alkalmaztuk. Azt találtuk, hogy a DEM-alapú inverzió stabil és kellően pontos. Ezzel szemben a nyomásfüggő sebességmodellben figyelembe vett mechanizmusok számának növelésével az inverzió pontossága gyorsan romlik, ami elfogadhatatlan becslési hibához és erősen korrelált modellparaméterekhez vezet. Emiatt egy új, sorfejtésen alapuló inverziós algoritmust fejlesztettünk ki, amelyben a MEM direkt képletében szereplő ismeretlen ΔQ_i mennyiségeket a karakterisztikus nyomásspektrum spektrális vonalaiként értelmeztük. A spektrális amplitúdók (mint a sorfejtés együtthatói) számát úgy választottuk meg, hogy az inverzió túlhatározott maradjon.

Laboratóriumi adatokon végzett test vizsgálatok során azt találtuk, hogy a Nyomásspektrum Inverziós Módszer (PSIM) pontos és stabil eredményt ad még akkor is, ha több tucat ismeretlen (figyelembe vett egyedi mechanizmus) szerepel. Az eredményeket összevetettük a DEM és TEM esetén a DLSQ-val kapottakkal, és konzisztenciát találtunk: a DLSQ által adott egyes spektrális amplitúdók

a PSIM-ben egy vagy két vonalra „felbontva” jelennek meg, és a felbontott amplitúdók összege közel esik a DLSQ (DEM/TEM) által adott egyetlen értékhez. A PSIM eljárást mind P-, mind S-hullám Q -faktor-adatokra alkalmaztuk.

FÜGGELÉK

A Nyomásspektrum Inverziós Módszer (PSIM)

A direkt probléma jelentős nemlinearitása miatt a linearizált inverzió pontossága és stabilitása az ismeretlenek számának növelésével gyorsan romlik. Ezért hatékonyabb inverziós algoritmust kell definiálni a MEM használatakor (ha $M \geq 3$). Ehhez ki kell zárunk az inverzió ismeretlenjei közül az exponenciális függvényekben megjelenő modellparamétereket mint a nemlinearitás fő okait és a MEM direkt modellezését spektrális problémaként kell felfogni, ahol a jósági tényező a karakterisztikus nyomás spektrumaként adódik.

Kiindulásul írjuk fel a (9) egyenletet a k -adik mért nyomáspontra:

$$\Delta Q(\sigma_k) = \sum_{i=1}^M \Delta Q_i \exp(-\sigma_k / \sigma_{ci}),$$

ahol $\Delta Q(\sigma_k) = Q_m - Q(\sigma_k)$. Folytonos spektrum általános esetében feltételezhetjük a karakterisztikus nyomás (új jelöléssel τ) folytonos eloszlását és ezzel:

$$\Delta Q(\sigma_k) = \int_{\tau_{\min}}^{\tau_{\max}} w(\tau) e^{-\sigma_k / \tau} d\tau. \quad (F1)$$

ahol $w(\tau)$ a karakterisztikus nyomás spektrálsűrűségfüggvénye. A sorfejtésen alapuló inverziós eljárás (Dobróka, Völgyesi 2008, Dobróka et al. 2012a, Dobróka et al. 2012b) szerint:

$$w(\tau) = \sum_{p=1}^P B_p \Phi_p(\tau), \quad (F2)$$

ahol B_p a sorfejtési együtthatók, $\Phi_p(\tau)$, ($p = 1, \dots, Q$) pedig a megfelelően megválasztott bázisfüggvények, Q a sorfejtési együtthatók száma. (F1) és (F2) összevonásával:

$$\Delta Q(\sigma_k) = \Delta Q_k = \sum_{p=1}^P B_p \int_{\tau_{\min}}^{\tau_{\max}} \Phi_p(\tau) \exp\left(-\frac{\sigma_k}{\tau}\right) d\tau. \quad (F3)$$

Bevezetve a

$$G_{k,p} = \int_{\tau_{\min}}^{\tau_{\max}} \Phi_p(\tau) \exp\left(-\frac{\sigma_k}{\tau}\right) d\tau \quad (F4)$$

jelölést, a k -adik számított adat:

$$\Delta Q_k^{(c)} = \sum_{p=1}^P B_p G_{kp},$$

illetve vektoralakban:

$$\Delta \mathbf{Q}^{(c)} = \mathbb{G} \mathbf{B}. \quad (F5)$$

Látható, hogy a mátrixelemek numerikusan számíthatók, és szerepet kapnak a Jacobi-mátrix meghatározásában. A mért és a számított adatok különbsége:

$$\mathbf{e} = \Delta \mathbf{Q}^{(m)} - \Delta \mathbf{Q}^{(c)} = \Delta \mathbf{Q}^{(m)} - \mathbb{G} \mathbf{B} \quad (F6)$$

lineáris az együtthatókban, melyek az inverziós eljárás ismeretlenjei. Az eltérésvektor euklideszi normájának minimalizálásával a normálegyenlet:

$$\mathbb{G}^T \mathbb{G} \mathbf{B} = \mathbb{G}^T \mathbf{Q}^{(c)} \quad (F7)$$

adódik, amelynek megoldása:

$$\mathbf{B} = (\mathbb{G}^T \mathbb{G})^{-1} \mathbb{G}^T \Delta \mathbf{Q}^{(m)}. \quad (F8)$$

Ekkor az (F22) szerinti folytonos spektrálsűrűség bármely τ pontban kiszámítható, vagyis a spektrum *lineáris inverzióval* meghatározható.

A $\Phi_p(\tau)$ bázisfüggvények megválasztása a feladattól függ. Túlhatalozottság érdekében az ismeretlenek száma kisebb legyen, mint a mért adatoké: $Q < N$. Egy lehetséges bázis a cellánként állandó függvények halmaza:

$$\Phi_p(\tau) = \begin{cases} 1/2\Delta, & \text{ha } |\tau - \tau_p| \leq \Delta, \\ 0, & \text{különben,} \end{cases} \quad (F9)$$

ahol Δ a τ_p pont körüli intervallum félhossza. Ebben az esetben a $[0, 2P\Delta]$ tartományon ortonormált függvényrendszer definiálunk. A Jacobi-mátrix elemei:

$$G_{k,p} = \frac{1}{2\Delta} \int_{\tau_p - \Delta}^{\tau_p + \Delta} \exp\left(-\frac{\sigma_k}{\tau}\right) d\tau. \quad (F10)$$

A vonalspektrum leírására fontos másik bázisválasztás:

$$\Phi_p(\tau) = \delta(\tau - \tau_p), \quad (F11)$$

ahol a Dirac-függvény helyen lokalizált. Ekkor a Jacobi-mátrix:

$$G_{k,p} = \int_{\tau_{\min}}^{\tau_{\max}} \delta(\tau - \tau_p) \exp\left(-\frac{\sigma_k}{\tau}\right) d\tau = \exp\left(-\frac{\sigma_k}{\tau_p}\right) \quad (F12)$$

és (F23) alakja:

$$\Delta Q(\sigma_k) = \sum_{p=1}^P B_p \exp\left(-\frac{\sigma_k}{\tau_p}\right). \quad (F13)$$

Ez megmutatja, hogy a B_p együtthatók a τ_p helyen lévő spektrális vonal amplitúdói. Figyelembe véve, hogy

$$\Delta Q(\sigma) = Q_m - Q(\sigma),$$

(F13) alapján:

$$Q(\sigma_k) = Q_m - \sum_{p=1}^P B_p \exp\left(-\frac{\sigma_k}{\tau_p}\right), \quad (F14)$$

ami megegyezik a (9) egyenlettel:

$$Q(\sigma) = Q_m - \sum_{i=1}^M \Delta Q_i \exp\left(-\frac{\sigma}{\sigma_{ci}}\right). \quad (F15)$$

Így a MEM direkt képletének ΔQ_i ismeretlenjei spektrális amplitúdókként értelmezhetők, amelyek a $\tau_i = \sigma_{ci}$ helyeken lokalizáltak. Ebben a megközelítésben a sorfejtési együtthatók P száma megegyezik a nyomásfüggést

meghatározó mechanizmusok M számával, $P = M$. A Q_m figyelembevételével az ismeretlenek száma $M + 1$. A direkt formula lineáris minden ismeretlenjében, ezért új Jacobi-mátrix definiálható úgy, hogy:

$$Q^{(c)}(\sigma_k) = \sum_{i=1}^{Q+1} B_i J_{k,i}, \quad (F16)$$

ahol

$$J_{k,i} = \begin{cases} -\exp(-\sigma_k / \tau_i), & \text{ha } i \leq P, \\ 1 & \text{különben,} \end{cases} \quad (F17)$$

($k = 1, \dots, N$). Ekkor az első P ismeretlen sorfejtési egyútt-ható, az utolsó pedig $B_{P+1} = Q_m$. Az új direkt formula a számított adatokat

$$Q^{(c)} = \mathbb{J}B \quad (F18)$$

adja, amely alapján a mért-számított különbség:

$$e = Q^{(c)} - \mathbb{J}B \quad (F19)$$

lineáris minden ismeretlenben. Az e elérésvektor euklidieszi normáját minimalizálva a Gauss-féle LSQ normál-egyenlet:

$$\mathbb{J}^T \mathbb{J}B = \mathbb{J}^T Q^{(m)}, \quad (F20)$$

amelynek megoldása:

$$B = (\mathbb{J}^T \mathbb{J})^{-1} \mathbb{J}^T Q^{(m)}, \quad (F21)$$

és tartalmazza a ΔQ_i ($i = 1, \dots, P$) spektrális amplitúdókat, valamint a Q_m határértéket. Az inverzió minősége jellemezhető a relatív adattávolsággal:

$$D = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \left(\frac{d_k^{(m)} - d_k^{(c)}}{d_k^{(c)}} \right)^2} \cdot 100 \text{ (}\%), \quad (F22)$$

és a modell-kovarianciamátrixszal:

$$\text{cov}^{(m)} = G^{-g} \text{cov}^{(d)} (G^{-g})^T, \quad (F23)$$

ahol $\text{cov}^{(d)}$ az adatok kovarianciamátrixa és

$$G^{-g} = (\mathbb{J}^T \mathbb{J})^{-1} \mathbb{J}^T \quad (F24)$$

az általánosított inverz (Menke 1984). Az i -edik modell-paraméter becslési hibája:

$$\text{est_err}_i^{(m)} = \sqrt{\text{cov}_{ii}^{(m)}}. \quad (F25)$$

A modell-korrelációmátrix

$$\text{corr}_{ij}^{(m)} = \frac{\text{cov}_{ij}^{(m)}}{\sqrt{\text{cov}_{ii}^{(m)} \text{cov}_{jj}^{(m)}}}, \quad (F26)$$

és annak átlagos szórása

$$S = \sqrt{\frac{1}{J(J-1)} \sum_{i=1}^J \sum_{j=1}^J \left(\text{corr}_{ij}^{(m)} - \delta_{ij} \right)^2}. \quad (F27)$$

A fenti Nyomásspektrum Inverziós Módszer lineáris eljárás lehetővé teszi a spektrális vonalak számának meghatározását olyan esetekben is, mikor az ismeretlenek száma több mint egy nagyságrenddel meghaladja nagyobbra, mint a standard linearizált, de nemlineáris LSQ vagy DLSQ algoritmusban szereplő ismeretlenek számát.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott ADVANCED-152958 azonosítószámú projekt keretében valósult meg.

A tanulmány szerzői

Turainé Vurom Brigitta, Dobróka Mihály

Hivatkozások

- Best A. I. (1997): The effect of pressure on ultrasonic velocity and attenuation in near-surface sedimentary rocks. *Geophys. Prosp.*, 45, 345–364.
- Birch F. (1960): The velocity of compression waves in rocks to 10 kilobars, Part 1. *J. Geophys. Res.*, 65, 1083–1102.
- Brace W. F., Walsh J. B. (1964): A fracture criterion for brittle anisotropic rock. *J. Geophys. Res.*, 69, 3449–3456.
- Darot M., Reuschlé T. (2000): Acoustic wave velocity and permeability evolution during pressure cycles on a thermally cracked granite. *Int. J. of Rock Mech. Min. Sci.*, 37, 1019–1026.
- Dobróka M., Völgyesi L. (2008): Inversion reconstruction of gravity potential based on gravity gradients. *Math. Geosci.*, 40, 299–311. DOI: 10.1007/s11004-007-9139-z
- Dobróka M., Somogyi-Molnár J. (2012): New petrophysical model describing the pressure dependence of seismic velocity. *Acta Geophys.*, 60(2), 371–383. DOI: 10.2478/s11600-011-0079-0
- Dobróka M., Szegedi H., Vass P., Turai E. (2012a): Fourier transformation as an inverse problem – An improved algorithm. *Acta Geod. Geoph. Hung.*, 47(2), 185–196. DOI: 10.1556/AGeod.47.2012.2.7
- Dobróka M., Szabó N. P., Turai E. (2012b): Internal inversion of borehole data for petrophysical characterization of complex reservoirs. *Acta Geod. Geoph. Hung.*, 47(2), 172–184. DOI: 10.1556/AGeod.47.2012.2.6
- He T., Schmitt D. R. (2006): Velocity measurements of conglomerates and pressure sensitivity analysis of AVA response. SEG/ New Orleans 2006 Annual Meeting.
- Ji S. C., Wang Q., Xia B. (2003): *Handbook of Seismic Properties of Minerals, Rocks, Ores*. Polytechnic International Press, Montreal, Canada. DOI: 10.1016/j.tecto
- Ji S., Wang Q., Marcotte D., Salisbury M. H., Xu Z. (2007): P-wave velocities, anisotropy and hysteresis in ultrahigh-pressure metamorphic rocks as a function of confining pressure. *J. Geophys. Res.*, 112, B09204. DOI: 10.1029/2006JB004867
- Ji S., Shao T., Michibayashi K., Long C., Wang Q., Kondo Y., Zhao W., Wang H., Salisbury M. H. (2013): A new calibration of seismic velocities, anisotropy, fabrics and elastic moduli of amphibole-rich rocks. *J. Geophys. Res.*, 118, 4699–4728, DOI: 10.1002/jgrb.50352
- Jones L. A., Wang H. F. (1981): Ultrasonic velocities in Cretaceous shales from the Williston Basin. *Geophys.* 46(3), 288–297. DOI: 10.1190/1.1441199
- Khazanehdari J., McCann C. (2005): Acoustic and petrophysical relationships in low-shale sandstone reservoir rocks. *Geophys. Prosp.* 53, 447–461. DOI: 10.1111/j.1365-2478.2005.00460.x
- Menke W. (1984): *Geophysical Data Analysis – Discrete Inverse Theory*. Academic Press, Inc., London Ltd.

- Nur A., Simmons G. (1969): The effect of saturation on velocity in low porosity rocks. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 7, 183–193.
- Prasad M. (2002): Acoustic measurements in unconsolidated sands at low effective pressure and overpressure detection. *Geophysics*, 67(2), 405–412.
- Prasad M., Meissner R. (1992): Attenuation mechanisms in sands: Laboratory versus theoretical (Biot) data. *Geophys. J. Int.*, 110, 710–719. DOI: 10.1190/1.1443284
- Saul M. J., Lumley D. E. (2013): A new velocity–pressure–compaction model for uncemented sediments. *Geophys. J. Int.*, 193, 905–913. DOI: 10.1093/gji/ggt005
- Sengun N., Altindag R., Demirdag S., Yavuz H. (2011): P-wave velocity and Schmidt rebound hardness value of rocks under uniaxial compressional loading. *Int. J. Rock. Mech. Min. Sci.*, 48, 693–696.
- Scholz C. H., Kranz R. (1974): Notes on dilatancy recovery. *J. Geophys. Res.*, 79(14), 2132–2135. DOI: 10.1029/JB079i014p02132
- Singh R., Rai C., Sondergeld C. (2006): Pressure dependence of elastic wave velocities in sandstones. SEG/New Orleans 2006 Annual Meeting.
- Somogyiné Molnár J., Kiss A., Dobróka M. (2014): Petrophysical models to describe the pressure dependence of acoustic wave propagation characteristics. *Acta Geod. Geophys.*, 50(3), 339–352.
- Stacey T. R. (1976): Seismic assessment of rock masses. In: *Symp. on Exploration for Rock Engineering*, Johannesburg, 2, 113–117.
- Toksöz M. N., Johnston D. H., Timur A. (1979): Attenuation of seismic waves in dry and saturated rocks, I. Laboratory measurements. *Geophysics*, 44(4), 681–690.
- Wyllie M. R. J., Gregory A. R., Gardner G. H. F. (1958): An experimental investigation of factors affecting elastic wave velocities in porous media. *Geophysics*, 23(3), 459–493.
- Yu G., Vozoff K., Durney D. W. (1993): The influence of confining pressure and water saturation on dynamic elastic properties of some Permian coals. *Geophysics*, 58(1), 30–38.
- Wepfer W. W., Christensen N. I. (1991): A seismic velocity–confining pressure relation, with applications. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 28(5), 451–456. DOI: 10.1016/0148-9062(91)90083-X
- Wang Q., Ji S. C., Salisbury M. H., Xia M. B., Pan B., Xu Z. Q. (2005): Shear wave properties and Poisson's ratios of ultrahigh-pressure metamorphic rocks from the Dabie-Sulu orogenic belt: Implications for the crustal composition. *J. Geophys. Res.*, 110, B08208. DOI: 10.1029/2004JB003435

Agocs-ösztöndíj, 2025

A díjat alapító, dr. William B. Agocs professzor szándéka szerint az Eötvös Loránd Tudományegyetem geofizika szakán megvédett, kiemelkedő színvonalú MSc-diplomamunkákat, illetve PhD-értekezéseket lehet jutalmazni. Az Agocs-díj kuratóriuma, amely a korábbi díjazottakból áll, titkos szavazással egy MSc-diplomamunkát és két doktori értekezést talált jutalmazásra érdemesnek 2025-ben.

A díjazott MSc-diplomamunka

Tóthi Tamara: Források és geotermikus potenciál összefüggései a Budai Termálkarszton. Témavezetők: *dr. Szijártó Márk* (ELTE), *Mádlné dr. Szőnyi Judit* (ELTE).

A díjazott PhD-értekezések

Dr. Czece Barbara: A Kárpát-medence szeizmicitásának analízise többeseményes helymeghatározó algoritmusokkal. Témavezető: *dr. Bondár István* (HUN-REN, Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont).

Dr. Berényi Kitti Alexandra: Az űridőjárás folyamatok hatása a magnetoszféra és ionoszféra állapotára – A 24. napciklus maximum időszakának vizsgálata. Témavezető: *dr. Kis Árpád* (HUN-REN, Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet).

A díjakat *dr. Darázs Lénárd* akadémikus, az ELTE rektora nyújtotta át a díjazottoknak ünnepélyes körülmények között a rektori tanácssteremben 2025. szeptember 16-án.

Galsa Attila, Kis Károly



Az Agocs-ösztöndíj átadása 2025. szeptember 16-án (balról): *Tóthi Tamara*, *Czece Barbara* és *Darázs Lénárd*, az ELTE rektora

„A klímaváltozási konszenzuson túl” (BCCC) konferencia a Magyar Tudományos Akadémián

A 2025. májusi MTA-közgyűlésen az MTA elnöke (*Tamás Freund* r. t.) kinyilvánította, hogy az MTA hajlandó egy olyan klíma-energia nemzetközi konferencia megszervezésére, amelyen a pro és kontra nézeteket képviselő kutatók szembesíthetik érveiket. A mainstream ellenállás miatt a „Beyond the Climate Change Consensus” (BCCC) c. konferencián csak az egyik oldal képviseltette magát. Az elnök fél napra korlátozta a konferencia időtartamát, és mindössze két külföldi főelőadót engedélyezett: *Demetris Koutsoyiannis* professzort Görögországból, az éghajlatról és *Samuel Furfari* professzort Belgiumból, az energiáról. Az MTA Nagytermében 2025. december 8-án délután lezajlott konferencián *Náray-Szabó Gábor* r. t. elnökölt. A három előadás (*Szarka*, *Koutsoyiannis*, *Furfari*) után öt szóbeli hozzászólás hangzott el. Négyen (*dr. Javier Vinós*, *dr. Kovács István János*, *Báder László* és *Huszár Csaba*) eredeti eredményeket mutattak be, míg egy kutató (*prof. Embey-Isztin Antal*) a konszenzus mellett érvelt. A résztvevők száma körülbelül hatvan volt. A három előadást, az öt hozzászólást, valamint a viszontválasz-szakaszt összesen kilenc videofelvétel örökíti meg.

Hétfő délelőtt a Batthyány Professzorok Batthyány Köre Energia Munkacsoportja az MTA Könyvtár és Információs Központ Kistermében egy összekötő előrendezvényt szervezett. Előadók: *Javier Vinós* (Spanyolország) és *Marcel Crok* (Hollandia). Vinós „A klímarejtély megoldása” (Solving the climate puzzle) című könyvéről

beszélt (amely magyar nyelven is megjelenik), míg a Clintel (Klímaintelligencia Alapítvány) igazgatója összefoglalót adott a Clintel tevékenységéről. Miután a Clintel korábbi elnöke, Guus Berkhout professzor lerakta a Clintel alapjait, a 2025. december 4. óta Václav Klaus professzor által vezetett és immár világméretű hálózattal rendelkező Clintel aktív időszakra számít.

Este a BCCC-nap külföldi vendégei élvezhették az Akadémia Klub által szervezett művészeti estet, amelyen koncert (a nyíregyházi *Cantemus* és a *Pro Musica* kórusok), zománcművészeti kiállítás (*Vdovkina Anastasia*), borkóstolás (*Luka Enikő*, Sopron) mellett élvezetes személyes beszélgetésekre is sor került.

E beszámolóban az Olvasó fényképeket, valamint linkeket talál a Magyar Tudományos Akadémián megrendezett BCCC-konferencia és a könyvtári előrendezvény összesen tizenegy videofelvételéhez és tíz prezentációs fájljához, valamint betekintést nyerhet a 2025. december 8-ai Adventi Művészeti Est hangulatába is.

Áldott karácsonyi ünnepeket és sikeres („klímaintelligenciával teli”) új évet kívánok!

Budapest–Sopron, 2025. december 19.

Szarka László Csaba r. t.,
Professzorok Batthyány Köre Energia Munkacsoport
(PBK EM), Clintel Magyarország

[BCCC Program](#) [Clintel Report](#) [Climath Report](#)

(Hamarosan megjelenik a BCCC kiadványa)



Szarka László: Mi a klímatudomány?

[PDF](#) [PDF-HUN](#) [VIDEO](#)



Demetris Koutsoyiannis: H₂O, CO₂, klímaváltozás

[PDF](#) [PDF-HUN](#) [VIDEO](#)



Samuel Furfari: Az EU félrevezető dekarbonizációja és annak geopolitikai következményei (b-j: Samuel Furfari, Gábor Náray-Szabó)

[PDF](#) [PDF-HUN](#) [VIDEO](#)



Samuel Furfari, Marcel Crok, Demetris Koutsoyiannis, Javier Vinós, Szarka László a Milutin Milankovics-emléktábla előtt az MTA könyvtár olvasótermében

Elhangzott hozzászólások

Vinós, J.: Sugárzási vs. termodinamikai klímaváltozás.

[PDF](#) [VIDEO](#)

Embey-Isztin A.: A tudományos konszenzus terén a modern klímatudomány eltér az összes tudományos szakterülettől.

[PDF](#) [VIDEO](#)

Kovács I. J.: Geológiai CO₂-emisszió.

[PDF](#) [VIDEO](#)

Báder L.: Felszíni energiamérleg: az általános rendszerelméleten és a klímamérleg-diagramon alapuló gyorsértékelés.

[PDF](#) [VIDEO](#)

Huszár Cs.: CO₂ és fotonok, CH₄ és légköri vízgőz, növényi pirolízis.

[PDF](#) [VIDEO](#)

Viszontválaszok és zárszó

Szarka L., Koutsoyiannis D., Furfari S., Náray-Szabó G.

[VIDEO](#)

Csak írásban érkezett hozzászólások

Sánta R., Garbai L.: A légköri CO₂-koncentráció dinamikus egyensúlyának vizsgálata. *Air Qual. Atmos. Health*, <https://doi.org/10.1007/s11869-025-01783-8>

Soon W.: A klímaváltozás tudománya: A légköri CO₂ és a Nap szerepének összehasonlítása és szembeállítás. <https://www.ceres-science.com/>

Scafetta N.: A „realisztikus” globális felmelegedési előrejelzések hatásai és kockázatai a 21. századra. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2023.101774>

Zharkova V.: 1. Globális felmelegedés 2. A Nagy Napminimum és a Kis Jégkorszak. <https://solargsm.com>

MEGJEGYZÉSRE SZÁNT ÜZENETEK

Demetris Koutsoyiannis:

A bizonyítékok szerint

- Az emberi CO₂, mint klímaszabályozó gomb empirikusan tarthatatlan, ha megfelelően figyelembe vesszük:
 - 1) természetes CO₂-fluxusokat (~25× nagyobbak);
 - 2) a H₂O hatását (vízgőz + felhők, ~20× nagyobb);
 - 3) az éghajlati rendszer hatalmas összetettségét, beleértve a bioszféra szerepét is.
- Az éghajlati modellek – amikben felcserélik az ok-okozati összefüggéseket – ellentmondanak a megfigyeléseknek.
- Komplex rendszerekben az adatok az uralkodók – és az adatok megcáfolták a mainstream klímaelméletet.
- Az emisszióközpontú paradigma egy politikai projekt volt, amelyben a tudományt arra kötelezték, hogy ehhez tekintélyt biztosítson.
- A „klímatudomány” tehát nem csupán korrupt tudomány – hanem egy célirányosan felépített, a tudomány laborköpenyét viselő eszközrendszer, ami rég felhagyott a tudomány módszereivel.

- A kutatók feladata a hibás elméletek elsüllyesztése, a tudomány újbóli elszakítása a politikától – nem pedig a bolygó megmentőjének szerepében való tetszelgés.

Javier Vinós:

Két, eltérő „üvegházhatással” rendelkező régió között szállított hő mennyiségének megváltoztatása megváltoztatja a kimenő energiakibocsátást, az energiatartalmat és az éghajlatot.

Samuel Furfari:

Energianövekedés, nem átmenet: az előrehaladás alapját továbbra is a fosszilis tüzelőanyagok jelentik.

Szarka László Csaba:

„A konszenzusépítés” a tudomány módszerein kívül esik.

Gróf Széchenyi István, a Magyar Tudományos Akadémia alapítója:

Tiszta fogalmakat terjeszteni, zavartakat pedig salakjaikból lehetőleg kitisztítani... (A magyar Academia körül, 1842)

Előrendezvény az MTA könyvtárában



Az előrendezvény résztvevői az MTA KIK kistermében



Javier Vinós: Termodinamikai vs. sugárzási klímaváltozás

[PDF](#) [PDF-HUN](#) [VIDEO](#)



Marcel Crok: Clintel-hírek

[PDF](#) [PDF-HUN](#) [VIDEO](#)

Adventi Művészeti Est



Marcel Crok, Wim Röst, Javier Vinós
(háttérben: Szabó Dénes karnagy)



A Pro Musica Leánykar az MTA Dísztermében
[Beszámoló](#) és [fotók](#) az Adventi Művészeti Estről

EAGE NSG 2026

(European Association of Geoscientists and Engineers – Near Surface Geoscience Conference & Exhibition 2026)

Dear Friends,

In order your visit in Greece and participation in EAGE NSG 2026 to be as better as it can be, there will be a field trip organized by HGU to its friends/colleagues with the lowest cost as it was organized in parallel with EAGE NSG 2014 in Athens to Santorini Island.

I send you the first information in the case you are interested and in the near future its final cost.

Best regards

George

* * *

PS1. Consider the case of EAGE PACE support in the case you have presentations in EAGE NSG 2026.

PS2. Also consider the case of group registration with lower EAGE fee

Dr. George Apostolopoulos
Professor in Applied Geophysics
Director of the Laboratory

National Technical University of Athens
School of Mining and Metallurgical Engineering
Section of Mining Engineering
Laboratory of Hydrocarbon's Exploitation & Applied Geophysics
Zographou Campus, GR-15780 Athens, GREECE
Tel.: +30 210 772 2195
Fax: +30 210 7722203
e-mail: gapo@metal.ntua.gr

Verő László

1940 – 2025

Verő László, akit még üdvözlünk szeptemberben *Magyar Geofizika* „Tisztelet az éveknek” rovatában, életének 85. évében, szeptember 24-én Pilisvörösváron elhunyt.

Verő László, az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (ELGI) volt megbízott igazgatója, majd tudományos igazgatóhelyettese, évtizedeken át kollegánk és jó barátunk volt.

1940-ben született Sopronban a neves kohászprofesszor és akadémikus, Verő József három fiából a középsőként. Iskoláinak elvégzése után az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karának geofizikusképzésére vették fel, ahol évfolyamtársa és barátja lett többek között Meskó Attilának, a Magyar Tudományos Akadémia későbbi főtítkárának is.

Az egyetemi évek alatt a kis évfolyam, összesen 7 hallgató, egy jó baráti társasággá kovácsolódott össze. Laci gyakran járta a főváros környéki hegyeket, vagy a Börzsönyt Meskó Attilával és Bodoky Tamással hármasban. Szeretett kirándulni, sőt egy télen megépítették, laboratóriumi mérőpárjával, Tamással együtt egy balatoni vitorlášhajó 1:8-as kicsinyítésű modellét is, majd aztán a következő nyári gyakorlaton, amelyet a tihanyi obszervatóriumban töltöttek, a Balatonon is kipróbáltak.

1964-ben okleveles geofizikusként diplomáját jeles eredménnyel védte meg – és talán nem érdektelen, hogy bár elsősorban geoelektromos szakemberként ismertük, de szakdolgozata gravitációs tárgyú volt.

Az egyetem elvégzése után az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet lett első és egyetlen munkahelye. Mint az Intézetbe belépő fiatal geofizikusok általában, ő is terepre került, munkáját az Abony környéki geoelektromos kutatások terepi észlelőjeként kezdte. Itt a terepi csoportnál ismerkedett meg későbbi feleségével, Emesével, akivel két gyermekük született.

Terepi észlelőitől kutatási témavezetőig számos munkakörben dolgozott, három évtized alatt végig járta a teljes intézeti ranglétrát: gyakornok – tudományos segédmunkatárs – tudományos munkatárs – csoportvezető – laboratóriumvezető – tudományos főmunkatárs – osztályvezető – főosztályvezető – igazgatóhelyettes és megbízott igazgatói munkakörökben tevékenykedett. Az Intézet képviselőjeként Irakban (1975), majd ösztöndíjjal Kanadában (1980), a Torontói Egyetemen is eltöltött egy-egy évet.

1990-ben a Geoelektromos és Gravitációs Főosztály vezetője lett, ami egyben igazgató helyettesi rangot is jelentett, 1994 első felében négy hónapon át, az Intézet megbízott igazgatója volt, majd 2003-ig, nyugdíjba vonulásáig az Intézet tudományos igazgatóhelyettesi tisztét töltötte be.

Sokféle területen elért eredményei közül a legfontosabbakat felsorolva a következőket emelhetjük ki: földtudományi szempontból fontos volt az Alföld mélyszerkezetében számos új részlet feltárása, mint például a Makói-árok 5000 m-t meghaladó mélységének meghatározása, jelentős volt a közepes mélységek geoelektromos kutatásához szükséges műszerek megteremtése, a gerjesztett polarizációs módszer bevezetése és fejlesztése, mint például a Mátrában végzett mérések földtani értelmezésének megalapozása. Más, a nevéhez fűződő területen jelentős volt a Marquardt-algoritmus használatba vétele, a műszerelexport fel-futtatása, és az intézeti minőségbiztosítási rendszer bevezetése is.

Magas színvonalú előadásokat tarott hazai és nemzetközi rendezvényeken, valamint szakcikkek hosszú sorát publikálta. Egy geofizikus technikus tankönyv egyik szerzője volt, oktatott a Budapesti Műszaki Egyetemen és a Miskolci Egyetemen, számos alkalommal volt konzulense végzős hallgatóknak. Publikációi főleg hazai folyóiratokban, könyvekben jelentek meg, de társszerzője egy, az Egyesült Államokban és egy Németországban kiadott könyv egy-egy fejezetének is. Számos kollégájának segítette fordítással munkájuk publikálását, valamint lefordított gimnáziumi tankönyvet és gazdaságtudományi könyvet is.

Kimagasló angol nyelvtudására Draskovits Pál így emlékszik vissza:

„Ezt a nyelvet itthon sajátította el, nem is akármilyen szinten. A már említett kanadai ösztöndíj kapcsán a jelentkezése után behívták a kanadai nagykövetségre, hogy felmérjék, nyelvtudása megfelelő szintű-e ahhoz, hogy egy éves ösztöndíjas kutatása eredményes legyen. Laci a meghallgatás legelején mondta, hogy nincs állami nyelvvizsgálója. A kanadaiak erre azt válaszolták, hogy őket nem a nyelvvizsga-bizonyítvány érdekli, hanem a nyelvtudás. Nem tudom, mennyi beszélgetés után a nyelvismeretét megfelelőnek találták. Az egy éves kanadai tartózkodása alatt ez természetesen csak tovább tökéletesedett.

Később, a nyolcvanas évek elején már kezdett nevéssé válni, hogy magas szintű nyelvtudása van, nyelvviz-



Verő László
1940 – 2025

gája viszont nincs, ezért az ELGI beíratta egy intenzív angol nyelvtanfolyamra (velem együtt, ezért azt hiszem, az alábbiakat csak én mondhatom el). Az intenzív nyelvtanfolyam másfél hónapig tartott (ezalatt mentesültünk az intézeti munkavégzés alól): délelőttönként 5 óra nyelvtanulás, nyelvtan, magnóhallgatás, beszélgetés, újságok fordítása stb., délután pedig a kapott házi feladatok elvégzése. A nyelviskola javára írandó, hogy a beadott munkáinkat egy-két nap múlva kijavítva visszakaptuk. Az első napokban a tanárnő mindenkiel beszélgetett egy kicsit, hogy felmérje az egyes »diákok« nyelvtudásának szintjét és a motivációt, hogy miért is jelentkeztek a tanfolyamra. Körülbelül az első héten megkérdezte tőle a tanárnő: maga minek jár ide? Következő héten ezt még azzal fokozta, hogy felsóhajtott: ha nekem egyszer olyan kiejtésem lenne, mint magának!

A nyelvvizsgát persze sikeresen (és azt hiszem, könnyed ujjgyakorlatként) tette le. Én is, persze százalékosan Lacitól jóval elmaradva. Néhányszor, amikor angol nyelvű előadásra készültem vagy angol nyelven írtam valamilyen cikket, megkértem, hogy nézze át a szövegemet, és amit kell, javítsa ki. Ezt néha azonnal megtette, néha pedig azzal élcelődött, hogy »ugyan minek, hiszen azonos szintű nyelvvizsgánk van«. Persze, a javítást mindig elvégezte.”

A Magyar Geofizikusok Egyesületének (MGE) 1964 óta tagja. Amikor 1990-ben az egyesületi alapszabály megújítása során bevezették a hároméves alelnök-elnök-alelnöki ciklust, őt választották az első alelnöknek, és így ő volt az első, aki egy teljes ciklust végig szolgált. Elnöki ciklusa után még két hároméves ciklusban látta el az általános titkári feladatokat. Megalakulása óta résztvevője, majd vezetője is volt a határon túli magyar földtudományi szakemberek bevonásával szakmai találkozókat szervező HUNGEO-nak. A nyolcvanas években az olyan nagy nemzetközi szakmai szervezetekbe is belépett, mint az European Association

of Exploration Geophysicists (EAEG) és a Society of Exploration Geophysicists (SEG). Az EAEG majd ennek átalakulása után a Euroean Association of Geoscientists and Engineers (EAGE) vezetésében két cikluson (6 év) át képviselte a közép-európai régiót, mint a szakmai programokért felelős vezetőségi tag. Nagy érdeme, hogy ez alatt elérte, hogy az egyik szakmai kitüntetést Eötvös Lorándról nevezzék el. Hivatali ideje alatt kapcsolatainak felhasználásával önzetlenül segítette munkatársainak a nemzetközi fórumokon előadásokkal, cikkekkel történő megjelenését.

Pályája során a következő elismerésekben részesült:

- A „Kiváló Ifjú Mérnök” műszerfejlesztő tevékenységéért
- A Központi Földtani Hivatal (KFH) „Elnöki dicséret”-e a földtani kutatásokban való részvételéért
- A KFH „Földtani Kutatás Kiváló Dolgozója” kitüntetés földtani eredményeiért
- Az EAGE „Record of Appreciation” az EAGE-ben végzett munkájáért
- Az ELGI „Pro Geophysica”-emlékérem
- Az MGE „Renner János”-emlékérem egyesületi tevékenységéért
- MTESZ-emlékérem
- MTESZ-díj

Verő Laciban a kiváló szakember mellett jóakarátú, gerinces embert, vezetői allűrök nélküli vezetőt, a szakmán kívül is széles tájékozottsággal bíró nagyon kedves kollégát és barátot veszítettünk. Hiányát még sokáig érezni fogjuk.

Kedves Laci nyugodjál békében!

*Draskovits Pál, Bodoky Tamás
és volt évfolyamtársai,
Albu István, Czifra Ferenc és Simon András*

Dr. Tóth Tamás János

1969 – 2025

Mély fájdalommal búcsúzunk dr. Tóth Tamástól, a magyar és nemzetközi geofizikai közösség kiemelkedő és elismert alakjától, egyetemi oktatótól, a Geomega Kft. egykori ügyvezető igazgatójától.

Tamás 1969-ben született Sárváron. Geofizikai tanulmányait az ELTE-n és a londoni Imperial College-ben végezte kutató-geofizikus szakirányon, melyet követően PhD-fokozatot szerzett a folyóvízi szeizmikus mérések témakörben. A geofizikai tudásának átadása, illetve a geofizikai tudományos utánpótlás biztosítása kiemelkedően fontos volt számára, hosszú éveken át az ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszékén oktatóként is tevékenykedett. Számos szakdolgozat és doktori disszertáció témavezetése fűződik a nevéhez, államvizsga- és doktori védések gyakori bizottsági tagja. Hazai és nemzetközi publikációs listája egyértelműen tükrözi elkötelezettségét a tudományos kiválóság iránt.

Tamás élete azonban a Geomega Kft volt, melynek múltjától és sikereitől neve elválaszthatatlan: a cég alapítása óta volt a cég motorja és stratégiai vezetője. Több mint három évtizedes szakmai pályája során számos nagy felbontású szeizmikus és szénhidrogén-kutatási projekt sikeres lebonyolítása fűződik a nevéhez Magyarországon és Európa több országában. Elévülhetetlen érdemeket szerzett a Balaton mederüledékeinek és a mélyebb geológiai képződmények nagy felbontású vízi szeizmikus feltérképezésében, a GeoWaters nemzetközi projekt keretében pedig kiemelkedő szerepet játszott nyugat-európai folyók (Rajna, Maas) meder- és szennyezőiszap-felmérésben. Jelentős tapasztalatra tett szert hazai és külföldi szénhidrogén-kutatási és -kitermelési projektek teljes ciklusának vezetésében és menedzselésében, a kutatási engedélyek megszerzésétől a termelőlétesítmények megvalósításán át a kereskedelmi szerződéseikig. Munkásságát a 2D és 3D szeizmikus mérések tervezésében, kivitelezésében és feldolgozásában szerzett széles körű jártasság, a közel 20 fős szakembergárda munkájának koordinációja és műszerfejlesztések jellemezték. Nevéhez fűződik az ún. LandStreamer vontatható szárazföldi szeizmikus mérőeszköz kifejlesztése, amelyet a



Dr. Tóth Tamás János
1969 – 2025

Geomega azóta is számos – köztük nemzetgazdaságilag is kiemelt – projekt során használt sikeresen. A magyar bányászat területén elért eredményeit és munkásságát a Szent Borbála Éremmel ismerték el.

Tamás eltökélt geofizikus volt a szó legnemesebb értelmében: mindig az igazságot és a szakmai igazságot kereste és képviselte, legyen szó atomerőmű vagy autópálya építésről. Talán kevesen tudják, hogy a budapesti 4-es metró Duna alatti szakaszába az utolsó pillanatban betervezett kanyarulat az ő nevéhez fűződik, melyet kitartóan képviselt, és mellyel az alagút végül elkerülte az Ínség-szikla meder alatti dolomit tömbjét és ezzel egy potenciális tragédiát.

A geofizikus pálya mellett Tamás szenvedélyes tájkerékpáros és sikeres tájfutó is volt: ifjúsági válogatottként az 1988-as belgiumi junior EB váltójában csapatával 3. helyezést ért el. A tájfutás iránti elkötelezettsége később is megmaradt, tájfutó

csapatát jelentősen támogatta anyagilag, öt gyermekét is bevezette ebbe a sportba. A sportág hazai elterjesztésében, közösségi életének szervezésében betegsége alatt is aktívan részt vett.

Súlyos betegséggel folytatott kitartó küzdelme után 2025. november 29-én családja körében békésen hunyt el. Dr. Tóth Tamás távozásával a hazai geofizikai közösség olyasvalakit veszített el, aki tudományos, szakmai és emberi kvalitásával is példa volt sokak számára. Nemcsak kimagasló szakmai eredményei – a Geomega tevékenysége, a szeizmikus kutatás és feldolgozás során megszerzett tapasztalatai és eredményei, valamint a geofizikai tudományos utánpótlás magas színvonalú biztosítása – miatt őrizzük emlékezetünkben, hanem mint olyan embert is, aki sportolóként, közösség-szervezőként, mentorként és családapaként is példa értékűen helytállt.

Szívünkben őrizzük szakmai elhivatottságát, emberi tartását és azt a lendületet, amellyel mindig az új kihívásokat kereste. Hálás köszönettel tartozunk mindazért, amit tanított, alkotott és megteremtett.

Nyugodjon békében!

Geomega Kft.

Dr. Verő József 1933 – 2025



Dr. Verő József
1933 – 2025

Szomorú szívvel tudatjuk, hogy életének 93. évében, 2025. december 17-én elhunyt tagtársunk, dr. Verő József Széchenyi-díjas geofizikus, egyetemi tanár, a Magyar Tudományos Akadémia rendes tagja és Sopron város díszpolgára.

Emlékét szívünkben megőrizzük!

Magyar Geofizikusok Egyesülete

Dr. Steiner Ferenc (1932–2010) 1954-től a soproni, majd 1959-től a miskolci Geofizikai Tanszék munkatársa, 1977-től egyetemi tanár. A gravitáció, geomágnesség, radiometria, geotermia és a modern optimalizációs módszerek területén ért el kimagasló eredményeket

