

MAGYAR GEOFIZIKA

HUNGARIAN GEOPHYSICS

A MAGYAR
GEOFIZIKUSOK
EGYESÜLETÉNEK
FOLYÓIRATA



JOURNAL OF THE
ASSOCIATION
OF HUNGARIAN
GEOPHYSICISTS

Búcsú Kakas Kristóftól
Eötvös Loránd halálának 100. évfordulójára

Tisztelet az éveknek

A Tihanyi-kút morfológiája ultranagy felbontású balatoni
szeizmikus mérések alapján

Grönland – história, geológia, geofizika és glaciológia

Tudománytörténeti érdekességek:
volt egyszer egy Eötvös Intézet

Földtudományos Forгатag

In Memoriam:
Kakas Kristóf



MAGYAR GEOFIZIKA

HUNGARIAN GEOPHYSICS

59. évfolyam (2018) 2. szám



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

TARTALOM • CONTENTS

SZERKESZTŐSÉGI ROVAT • EDITORIAL

- 47 Búcsú Kakas Kristóftól (Farewell from Kristóf Kakas) – *Szerkesztőség*
48 Eötvös Loránd halálának 100. évfordulójára (To the 100th anniversary of Loránd Eötvös' death) – *Verő L.*

MGE HÍREK • NEWS OF ASSOCIATION OF HUNGARIAN GEOPHYSICISTS

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

TANULMÁNYOK • PAPERS

- 53 A Tihanyi-kút morfológiája ultranagy felbontású balatoni szeizmikus mérések alapján (Morphology of the Tihany Strait based on ultrahigh resolution seismic data on Lake Balaton) – *Kiss A., Visnovitz F., Timár G., Hámori Z., Horváth F.*
65 Grönland – história, geológia, geofizika és glaciológia (Greenland – history, geology, geophysics and glaciology) – *Kiss J., Csathó B.*

TUDOMÁNYTÖRTÉNET • SCIENCE HISTORY

- 94 Tudománytörténeti érdekességek: volt egyszer egy Eötvös Intézet (Curiosities in science history: once upon a time there was an Eötvös Institute) – *Kovács B.*

HÍREK • NEWS

- 100 Földtudományos Forratag – *MGE Titkárság*

IN MEMORIAM

- 101 Kakas Kristóf – *Verő L., Rezessy G.*

MAGYAR GEOFIZIKA

HUNGARIAN GEOPHYSICS

59. évfolyam (2018) 2. szám

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

Főszerkesztő • Editor-in-Chief

DR. BODOKY TAMÁS

E-mail: mageofedit@gmail.com

Szerkesztőbizottság • Editorial Board

DR. BARÁTH ISTVÁN, DR. GALSA ATTILA, KAKAS KRISTÓF[†],

DR. PETHŐ GÁBOR, DR. SZABÓ NORBERT PÉTER

Technikai szerkesztő • Technical Editor

HOCK GÁBOR

E-mail: mageoftechn@gmail.com



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

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

Kiadja a Magyar Geofizikusok Egyesülete
A kiadásért felel: Magyar Balázs

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

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

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

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

INDEX: 26 507
HU ISSN 0025-0120

Búcsú Kakas Kristóftól

Búcsúzik a *Magyar Geofizika Szerkesztőbizottsága* Kakas Kristóftól, a munkatárstól, kedves baráttól



Kakas Kristóf (1943 – 2018)

Megrendülten tudatjuk, hogy Kakas Kristóf, Szerkesztőbizottságunk tagja, aki még ebbe a lapszámba is beledolgozott, augusztus 19-én rövid betegség után elhunyt. Kilépett térbe és időbe szorított anyagi világunkból. Dr. Komlóssy György geológus spontán soraival szeretnénk őt mi is búcsúztatni:

„Tudjuk, az élet magában hordozza a halált. Tudjuk, és mégis, amikor szembesülni kell vele, megdöbben az ember. Van olyan is, akinek halálhírét hallván ember legyen a talpán, akinek nem szöknek könnyek a szemébe. Dolgoztunk mi együtt a magyar bauxit kutatásában, meg töltöttünk Kubában is néhány hónapot. Kristóf embersége, műveltsége, egyenes, tiszta, racionális világszemlélete belőlem a tiszteletet hozta elő. És még szíve is volt! Ezen keresztül meg olyan könnyű volt leszedni a lábáról. Emlékszem rá, már hogyne emlékeznék, amikor egy kollegád becsapott, elmentél, és helyette elvégezted a munkáját, nehogy már a magyar geofizikán, vagy egy geológus kollegádon szegyen essék. Ilyen voltál. Szeretném hinni, hogy kölcsönösen még barátoknak is hittük egymást. Részemről mindenképpen igen. Jó volt embernek lenni e világban, még akkor is, ha tudjuk, hogy mérlege mily hamis is tud lenni. És mégis. Igen, vallom, jó embernek lenni e világban, de ahhoz kellett egy Kakas Kristóf is.

Hát szervusz pajtás, nyugodtan hunyhattad le szemedet. Sokat kaptunk Tőled. Nyugodj békében!”

Szerkesztőség

Eötvös Loránd halálának 100. évfordulójára

2019-ben van Eötvös Loránd halálának 100. évfordulója, és 100 éve kezdték megismerni és világszerte használni az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet nevet

2018 augusztusában böngésztem a neten. Megakadt a szemem a Thököly út nevén, mert az út különböző hosszúságú szakaszait – először a Keleti pályaudvartól a Stefánia útig, aztán a Columbus utcáig – több ezerszer végigutaztam, eleinte villamossal, majd autóbusszal. Kíváncsi voltam,

miért tartja az írás szerzője Budapest egyik legszebb, ugyanakkor leromlott állapotban lévő útjának. Elovastam az írást, és nem csalódtam: arról is szó esett, ami nekem fontos volt, az utcáról készült fényképek között ez is szerepelt, az alábbi aláírással.



Az Eötvös-féle torziós inga emlékműve a Thököly úton, az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet épületének előkertjében. Fotó: <https://www.szeretlekmagyarorszag.hu/budapest-egyik-legszebb-utcaja-lehetne-a-thokoly-ut-ha-rendbe-tennek/>

Az írás szerzője – nomen est omen – MySecretBudapest. Persze csak egykori kollégáimnak és nekem juthat eszébe, hogy igen, Budapestnek vannak titkai, úgy látszik sikerült eltitkolni azt is, hogy Eötvös Loránd Geofizikai Intézet sem ezen a néven, sem valamilyen más álnéven, már nem létezik.

A következő gondolatom már az volt, hogy 2019 két centenáriumot is jelent. Egyrészt Eötvös Loránd halálának lesz 100. évfordulója, másrészt az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet név is 100 éve született.

Sokáig 1919-et tekintettük az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet alapítási évének, mert Eötvös halála után kezdték így nevezni a tu-

dományegyetem keretei között Eötvös által vezetett csoportot, és külföldi munkáik révén világszerte is így kezdtek hivatkozni rá. A tudománytörténeti kutatások tisztázták, hogy lényegében már 1907-ben mind pénzügyi, mind szakmai szempontból létrejött a Geofizikai Intézet, csak nem nevezték annak. Tehát 2019-ben lényegében az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet keresztelésének lesz 100. évfordulója.

Az, hogy Eötvös Loránd haláláról hol kell megemlékezni, egyértelmű. A Magyar Geofizikusok Egyesülete minden évben megemlékezést tart Eötvös Loránd sírjánál, a Kerepesi úti temetőben, ez minden bizonnyal 2019-ben is így lesz.

De hol és hogyan emlékezzünk meg a keresztelőről?

Budapesten számtalan épületen lehetne emléktáblát elhelyezni azzal a felirattal, hogy „itt működött hosszabb-rövidebb ideig az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet egy részlege”. Csak jómagam a következő helyeken dolgoztam vagy jártam: a Magyar Állami Földtani Intézet mögött, a Szabó József utcában lévő épületben, távolabb, a Stefánia út másik oldalán lévő, már lebontott épületben, a Köbölkúti úti iskola pincéjében, az Andrássy úton, a Magyar utcában, a Maros utcában, valahol a Pasaréti út vége felett, a Damjanich utcában, a Viola utcában, és természetesen a Homonna utcai telepen, nem is beszélve a tihanyi obszervatóriumról vagy a Mátyás-hegyi barlangról. De ha a tervezett helyszíneknek is emléket akarnánk állítani, a Várban, sőt magán a Parlament épületén is lehetne emléktábla. Viszont a Columbus utcai épület az egyetlen, amelyet az Intézet számára terveztek és építettek, és amelyben egy helyen dolgozott az Intézet majdnem valamennyi tudományos részlege. Sőt azok, akik már akkor is az Intézetben dolgoztak, ha nem is közvetlenül, de az építkezésben is

részt vettek, a terepi csoportok munkaerővel segítették az építkezést. A még élő ELGI-sek túlnyomó többségének a Columbus utcai székházhoz van kötődése, így eléggé megalapozottnak tűnik az, hogy ezt a megemlékezést a Columbus utcában kellene megtartani. A kérdés már csak az, miképpen.

Az előzőekben többször is szerepelt az emléktábla szó. Elképzelésem az, hogy az épület Columbus utcai bejáratánál, a Majoros Hédi kerámia falí plasztikájával szemben lévő falon kellene elhelyezni a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet emléktábláját. Tisztában vagyok azzal, hogy ez nagyon sok és sokféle tennivalóval jár, sőt valószínűleg sok kiadással is. Ezért feltétlenül szükség lenne a Magyar Geofizikusok Egyesületének segítségére. Ennek honlapján vagy a Facebookon lehetne javaslatokat kérni az emléktábla szövegére, tervére, esetleg a megvalósításhoz szükséges adományok gyűjtésére is elvállalnák. A magam részéről természetesen mindenben részt veszek, amennyire korlátozott lehetőségeim megengedik.

Remélhetőleg támogatni fogják ezt az elképzelést mindazok, akik még a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézetből vagy a Magyar Földtani és Geofizika Intézetből mentek nyugdíjba, de azok is, akik esetleg ugyanabban a szobában dolgoznak sok éve, csak éppen munkaadójuk neve változott meg, ők maguk pedig tudományos munkatársból, kutatóból köztisztviselővé, sőt kormányhivatalnokká váltak. Ez korántsem jelenti azt, hogy akár az Egyesület bármely tagja vagy a társtudományok bármely képviselője nem érezhetné magáénak a nagy múltú tudományos intézet emlékének megőrzését, főleg ha még szakmai kapcsolatban is volt vele.

Jó szerencsét!

Verő László

Tisztelet az éveknek

Kedves ünneplő Szeniorok!

A *Magyar Geofizika* egyik számában immár sok éve megemlékezünk kerek születésnapot ünneplő tagtársainkról. Szaladnak az évek, s immár a rovatvezető neve is felkerült az ünneplők sorába. Ezért most különösen sok szeretettel köszöntöm Önöket, és kívánom, hogy kellemes, meleg családi–baráti körben ünnepelhessék az évfordulókat.

Kívánom, hogy jó egészségben teljenek napjaik, az évek múlása ellenére ne feledkezzenek meg régi kollégáikról,

munkatársaikról, és ha van kedvük, idejük, kísérik figyelemmel folyóiratunkban a szakma híreit, legfrissebb eredményeit. Vegyenek részt az előadásokon, szakmai programokon, nem utolsósorban a Szeniorok találkozóján és a kiránduláson.

Mindannyiuknak jó egészséget, sok örömet és vidámságot kívánunk szeretettel! Várjuk Önöket az Egyesületben amikor idejük és lehetőségük ezt megengedi.

Hegybíró Zsuzsanna

90. születésnapját ünnepli

Gööz Lajos

85. születésnapját ünnepli

Aczél Etelka, Bartha Lajos, Gadó Károly, Gereben Lászlóné,
Sédy Lórándné, Szarka Rudolf, Verő József

80. születésnapját ünnepli

Baranyai Pál, Deres János, Komlóssy György, Lantos Miklós,
Szalóki István, Szeidovitz Győző

75. születésnapját ünnepli

Déry Béla, Drahos Dezső, Kardeván Péter, Kónya Albert,
Kulcsár János, Matherni Géza, Pályi András, Rezessy Géza,
Tátrallyai Mariella, Viola Balázs

70. születésnapját ünnepli

Ábele Ferenc, Beke Balázs, Dobróka Mihály, Gömböcz Lajos,
György Lajos, Gúthy Tibor, Hegybíró Zsuzsanna,
Keresztes-Nagy Tibor, Késmárky István, Kovács András,
Ormos Tamás, Satori Gabriella, Tóthné Gittinger Edit



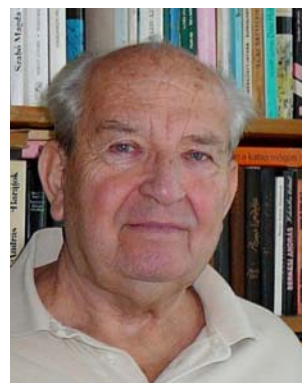
Gööz Lajos



Aczél Etelka



Bartha Lajos



Gadó Károly



Gereben Lászlóné



Sédy Lórándné



Szarka Rudolf



Verő József



Baranyai Pál



Deres János



Komlóssy György



Lantos Miklós



Szalóki István



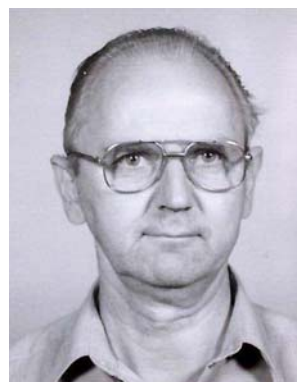
Szeidovitz Győző



Drahos Dezső



Kónya Albert



Matherni Géza



Pályi András



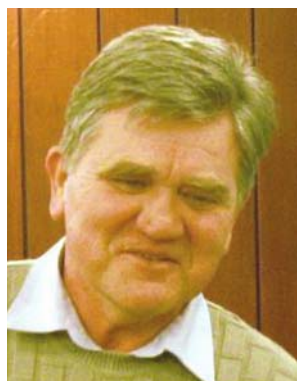
Rezessy Géza



Viola Balázs



Gömböcz Lajos



György Lajos



Gúthy Tibor



Hegybíró Zsuzsanna



Késmárky István



Ormos Tamás



Sători Gabriella



Tóthné Gittinger Edit

A Tihanyi-kút morfológiája ultranagy felbontású balatoni szeizmikus mérések alapján

KISS A.^{1,2,@}, VISNOVITZ F.¹, TIMÁR G.¹, HÁMORI Z.³, HORVÁTH F.^{1,3}

¹ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C

²MOL Nyrt., 1117 Budapest, Október huszonharmadika utca 18.

³Geomega Kft., 1093 Budapest, Zsil utca 1.

@E-mail: annakiss@caesar.elte.hu

2014 tavaszán nagy felbontású vízi szeizmikus méréseket végeztünk a Tihanyi-szoros térségében a korábbi kiterjedt mérési hálózat kiegészítéseként. A mérések vonalszerű szelvények mentén folytak, és a vonalak sűrű elhelyezkedése lehetővé tette, hogy megszerkesszük a szoros új szintvonalas mélységtérképét. A felmérés megmutatta, hogy a Tihanyi-kút legmélyebb pontja ma a félsziget déli csücske előtt, a révkikötőtől keleti irányban, mintegy 200–300 méterre helyezkedik el. Mélysége a mérés kori vízszinthez (104,7 mBf) képest közel 11 méter. A kút árka ma közel lineáris, csapása DNY–ÉK-i irányú. A szeizmikus szelvények értelmezése, valamint a kapott medertérkép korábbi térképekkel történt összevetése alapján a mederfenék morfológiájának időbeli változása volt kimutatható. A változások oka feltehetően a szorosban a tölengés (seiche) hatására kialakuló erős vízáramlás miatti erózió és üledékáthalmazás.

Kiss, A., Visnovitz, F., Timár, G., Hámori, Z., Horváth, F.: Morphology of the Tihany Strait based on ultrahigh resolution seismic data on Lake Balaton

In the spring of 2014 we carried out an ultrahigh resolution seismic survey in the Tihany Strait to complete our dense network of previous seismic surveys at Lake Balaton. The measurements were performed along NW–SE-oriented straight lines and allowing us to construct a detailed bathymetric map for the Strait. The new map shows a fairly straight local trench with a SW–NE-orientated strike. Its deepest point (the so-called “Tihany Well”) is 11 m below the actual lake level (104.7 mBf). Seismic interpretations and comparison of our results with previous bathymetric maps suggest some change in the Strait’s morphology in the last 100 years. These changes are most likely caused by the intense currents of this area that erode and redistribute underwater sediments.

Béérkezett: 2017. december 11.; *elfogadva:* 2018. augusztus 7.

Bevezetés

A vizek mélységének mérése – a batimetria – szinte egyidős a vízépítési és vízmérnöki tudományokkal. A kezdeti, nehezzel ellátott, előzetesen lemért kötelek módszerét a modern időkben a hanghullámok vízbéli terjedésén alapuló, a folyó-, illetve tófenékről érkező visszhangok időkézését mérő szonáros mélységmérés váltotta fel.

A mérési technológia e változása a Balaton mélységének kutatása, majd rendszeres térképezése esetében is nyomon követhető. A tó első mélységtérképét az 1700-as évek második felében, a Királyi Helytartótanács utasítására, a tó tervezett lecsapolásának előkészítésére mérte fel Krieger

Sámuel mérnök (Bendefy 1973). Krieger térképén a tó középső és keleti medencéjében nagyobb vízmélységű területek ismerhetők fel, melyeket a 20 láb azaz 3,33 bécsi öl (Zlinszky, Molnár 2009), vagyis kb. 6,3 méter mélységben meghúzott izobát keríti körül – ne feledjük, hogy a tó átlagos vízszintje akkor a mainál valamivel magasabban állt. A két medence mélyebb részei a térkép szerint a Tihanyi-szorosban kapcsolódnak egymáshoz. Az elkeskenyedő mélyebb sáv a Tihanyi-szoros a félszigetközélebbi oldalán metszi, és a térkép felirata „Profunditus maxima Ped 27” (Krieger 1776) egyértelművé teszi, hogy a szoros e pontját, a ma Tihanyi-kútként ismert mélyedést már akkor is a Balaton legmélyebb pontjának tartották. E pont mélysége-

ként 27 lábat adtak meg (kb. 8,5 méter). Az előbbi mind abszolút értékében, mind a kapcsolódó mélyebb zónákhoz viszonyított relatív értékében a mai adathoz képest még alacsonyabb vízmélységet jelzett.

A következő rendszeres mélységmérés a tó szabályos vízrajzi mérőhálózatának kialakításához kapcsolódott az 1894. és 1895. években (Zlinszky, Molnár 2009). A mérés eredményeképp kialakuló térkép (Péché, Erdős 1898) négyzetkilométerenként átlagosan 5 mérési pont alapján készült, és a következő pár évtized balatoni mélységtérképeinek közös alapjaként szolgált. A felmérést 1929–30-ban a Földművelésügyi Minisztérium Vízrajzi Intézete megismételte (Zlinszky et al. 2010). Péché és Erdős (1898) térképe szerint a középső és a keleti medence mélyebb zónái nem állnak közvetlen kapcsolatban a Tihanyi-kúttal, attól mindkét irányban valamivel kevésbé mély zónák válsztják el.

A Balaton korszerű, szonáros mélységmérését elsőként 1955-ben, a VITUKI végezte el (Virág 1997). A legutolsó hidrológiai mederfelmérés 1975-ben történt, szintén a VITUKI kivitelezésében (Sass 1979).

Mindezek a felmérések megegyeznek abban, hogy a tó legmélyebb pontja a Tihanyi-szorosban elhelyezkedő ún. Tihanyi-kút, amely egy, a szoros irányára nagyjából merőlegesen, DNY-ÉK-i irányban elnyúló, hosszú keskeny, árokszerű mélyedés. Hidromorfológiai kialakulását a tó áramlási viszonyai (Józsa et al. 2012) okozzák.

A tó első vízi szeizmikus (szeizmoakusztikus) felmérésére 1986–87-ben került sor egy magyar–kubai együttműködés keretében, mely egyben már a tavi üledékek vastagságviszonyainak vizsgálatára is irányult (Cserny, Corrada 1989). Ezt követően 1993 óta több nagy és ultranagy felbontású vízi szeizmikus mérést végeztek a Geomega Kft. és az ELTE együttműködésében a Balatonon (Tóth et al. 2010, Balázs et al. 2013, Visnovitz et al. 2013), melyek mára egy nagy egységes adatrendszerre álltak össze. Ezen adatok alapján a mederfenék és az iszapvastagság egyaránt vizsgálható, az adatok pontossága és mintavételi sűrűsége egyedinek számít.

2014 márciusában a Geomega Kft. és az ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszéke – a már 2 évtizede folytatott balatoni szeizmikus mérésorozat részeként – kihasználva a kora tavaszi ritkább hajó- és kompforgalom adta mérési lehetőséget részletesen felmérte a Tihanyi-szoros térségét. A felmérés elsősorban a tómeder alatti üledékek és a kút alatt feltételezhető vetős szerkezet (Visnovitz et al. 2015) felderítését célozta, ugyanakkor az új szelvényezés a korábbiaknál részletesebb felbontású és nagy térbeli sűrűségű adatot szolgáltatott a szoros mélységviszonyairól is. A szeizmikus adatok alapján a tó alatti üledékeket és az üledékképződési folyamatokat vizsgáltuk, valamint megszerkesztettük a szoros új mélységtérképét. Az új térképet összevetettük korábbi (az 1892–96 közötti és 1975-ös állapotokra vonatkozó) mélységviszonyokat ábrázoló térképekkel (Lóczy 1902, Sass 1979, Zlinszky et al. 2008, Zlinszky, Molnár 2009), melyek segítségével mélységtérképünk pontosságát és a meder lehetséges időbeli változásait kívántuk felderíteni.

Az alkalmazott kutatási módszer

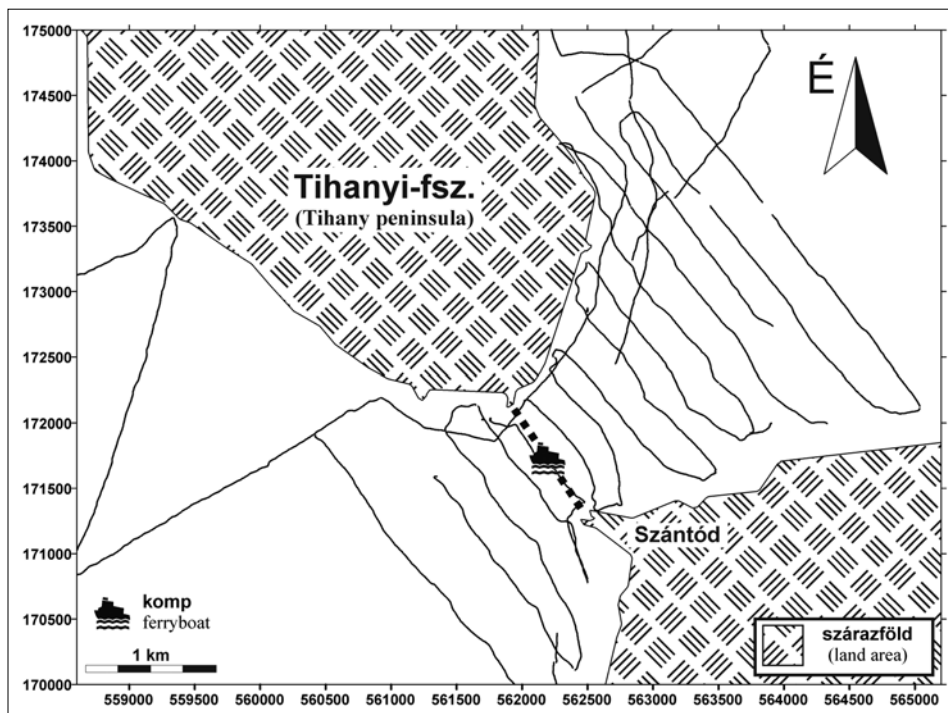
Vízi szeizmikus mérések során a víztest alatt elhelyezkedő laza és konszolidáltabb üledékek pórussait többé-kevésbé víz tölti ki, ami kiváló csatolást biztosít a hullámkeltés, illetve a hullámészlelés során. Ennek köszönhetően a víz alatti rétegek geometriája, elhelyezkedése, egymásra települési viszonyai nagy pontossággal és felbontásban kutathatók. A klasszikus szonárokkal ellentétben a vízi szeizmikus módszer tehát nemcsak a víztest mélységet (a *víznek* mint önálló rétegnek a vastagságát) képes meghatározni, de a folyómeder vagy tómedence feneké alatt elhelyezkedő geológiai rétegsor egy részét is feltárja (Tóth et al. 1997), és lehetőséget teremt a fiatal (negyedkori) üledékek szerkezetének vizsgálatára (Tóth 2004) is.

A felszíni vizek adta kedvező fizikai adottságokat kihasználva a Balatonon 1986 óta folynak tavi szeizmikus kutatások (Cserny, Corrada 1989, Sacchi et al. 1998, Bada et al. 2010, Tóth et al. 2010, Balázs et al. 2013, Visnovitz et al. 2013, 2015b). E mérések egy része a közvetlenül a mederfenék alatti, kb. 20 méteres térrész ultranagy felbontású (deciméteres) leképezésére, míg másik részük a geológiai rétegsor valamivel kisebb felbontású (néhány méteres), de néhány száz méter mélységig történő rekonstrukciójára irányul. A méréseket helyenként az iszapban megjelenő, nagyrészt biogén forrásból származó gáz nehezíti (Visnovitz et al. 2015a). A méréseket egy mérőhajó által vontatott jelforrás, és „vízi geofon-”, hidrofonsorozat segítségével végezzük, aminek eredményeként a hajó haladási irányának megfelelő szelvényeket kapunk. A sekély mélységű, ultranagy felbontású kutatásokhoz az évek során az IKB-Seistec™ katamarán mérőműszert használtuk, mely fix merüléssel és jól definiált mérési geometriával rendelkezik (Simpkin, Davis 1993). Ennek köszönhetően a szeizmikus szelvényeket kiértékelve a vízmélység az (1) összefüggés alapján közelítőleg:

$$h = z - b - v(TWT/2), \quad (1)$$

ahol z a referenciaszint (balti tengerszint) viszonyított aktuális vízszint, b a jelforrás merülési mélysége ($\sim 0,45$ m), TWT a szeizmikus szelvényről leolvasható hullám beérkezési/kétutas futási idő, v pedig a leképező hullámok terjedési sebessége a vízben (1450 ± 50 m/s). A z vízállás a síófoki vízmérce „0” szintjének Balti feletti magassága (103,41 mBf) és az aktuális vízállás összegeként kapjuk meg. Az utóbbi a 2014-es felmérés idején 129 cm volt.

A korábbi szeizmikus mérési kampányok alapján a Tihanyi-szorosról még viszonylag kevés adat állt rendelkezésre. Ennek elsődleges oka, hogy a méréseknek alkalmazkodniuk kellett a balatoni hajó-, és így a kompforgalomhoz is. 2014 tavaszán azonban, még a sűrű kompforgalom beindulása előtt lehetőségünk nyílt egy motorcsónakkal elvégezhető gyors mérésre, amelynek során a Tihanyi-szoros és a félsziget környékét az 1. ábrán bemutatott sűrű hálóban sikerült felmérni. A szoros területén a szeizmikus szelvények a tó tengelyére merőlegesen, közel ÉNY–DK irányban lettek felvéve, a szelvények közötti távolság átlagosan



1. ábra | A Tihanyi-szorosban 2014 tavaszán végzett vízi szeizmikus szelvények helyszínrajza. A szántódi komp nyomvonalát pontozott vonal jelöli
Figure 1 | Location map of seismic profiles measured in the Tihanyi Strait in 2014. Dotted line indicates the route of the ferryboat between Szántód and Tihany peninsula

200–300 m volt. A szelvények összekapcsolására a kút területén egy DNY–ÉK szelvény szolgált.

Az IKB-SeistecTM műszerrel a vízi mérések során másodpercenként kb. 4–6 lövés történik (Tóth et al. 2010). A 2014-ben a mintavételi frekvencia 6 lövés/s volt, a hajó sebessége pedig 1,6 m/s körül adódott, vagyis a felvett szelvények mentén nagyjából 0,25–0,4 m-enként kaptunk vízmélységi adatokat. A mérések a sűrű mintavételből adódóan meglehetősen jó felbontással mutatják a Tihanyi-szoros mélységviszonyait, beleértve a Balaton legmélyebb részének, a Tihanyi-kútnak a morfológiáját is. A szeizmikus méréseknek köszönhetően helyenként lehetőségünk nyílt a kút alatt található üledékek vizsgálatára is, mely alapján a kútban zajló üledékképződési folyamatokra lehetett következtetni.

A mederfelmérés eredményei

Szeizmikus megfigyelések a Tihanyi-szoros területén

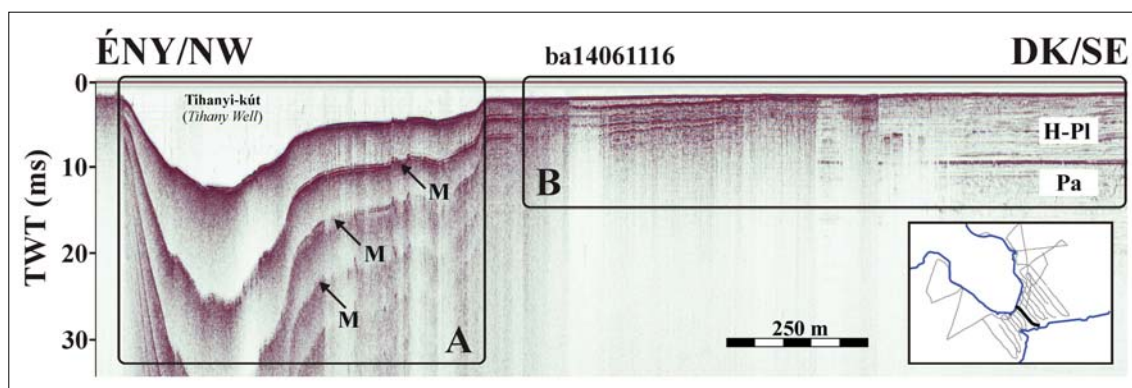
A 2. ábrán a Tihanyi-szoros szeizmikus képe látható egy ÉNY–DK-i lefutású keresztzelvényen. A szelvény ÉNY-i végén találjuk a Tihanyi-kutat (2/A ábra), míg a DK-i oldalon a déli part felőli sekély vizű zóna (2/B ábra), a „Szántód előtti turzasháromszög” (Cholnoky 1936) jelenik meg. A szelvényen a mederfenék helyét az első erős szeizmikus reflexió jelöli ki, amely alatt általában már csak a vízfelszín és az „akusztikusan kemény” mederfenék között ide-oda ve-

rődő hullámok képezte ún. többszörösök, valamint mérés-technikai zajok láthatók.

A Tihanyi-kút területén is a mederfenék-reflexió többszöröződése jellemző (2/A ábra). Ennek okai az „akusztikusan kemény” mederfenék mellett az üledékekben jelenlévő gázbuborékok. A gáz jelenléte jelentősen lecsökkenti a szaturált réteg hullámterjedési sebességét és sűrűségét is, emiatt a mederfenék közvetlen közelébe eső réteg felszíne szinte teljesen visszaveri a szeizmikus hullámokat megátalva az iszap és a mélyebben fekvő rétegek szeizmikus leképezését (Visnovitz et al. 2015a). A kúttól délre a tómeder fokozatosan sekélyebbé válik, és a szoros déli részén a gáz mennyisége az iszapban nagymértékben lecsökken (2/B ábra). Ezen a területen láthatóvá válnak a holocén – felső pleisztocén tavi üledékek (H-PI), és az azok alatti, enyhén D–DK felé dőlő idősebb kőzetrétegek (pannoniai emelet (Pa), Horváth et al. 2010) is. A tavi üledékek bázisa egy markáns diszkordanciafelületként jelentkezik.

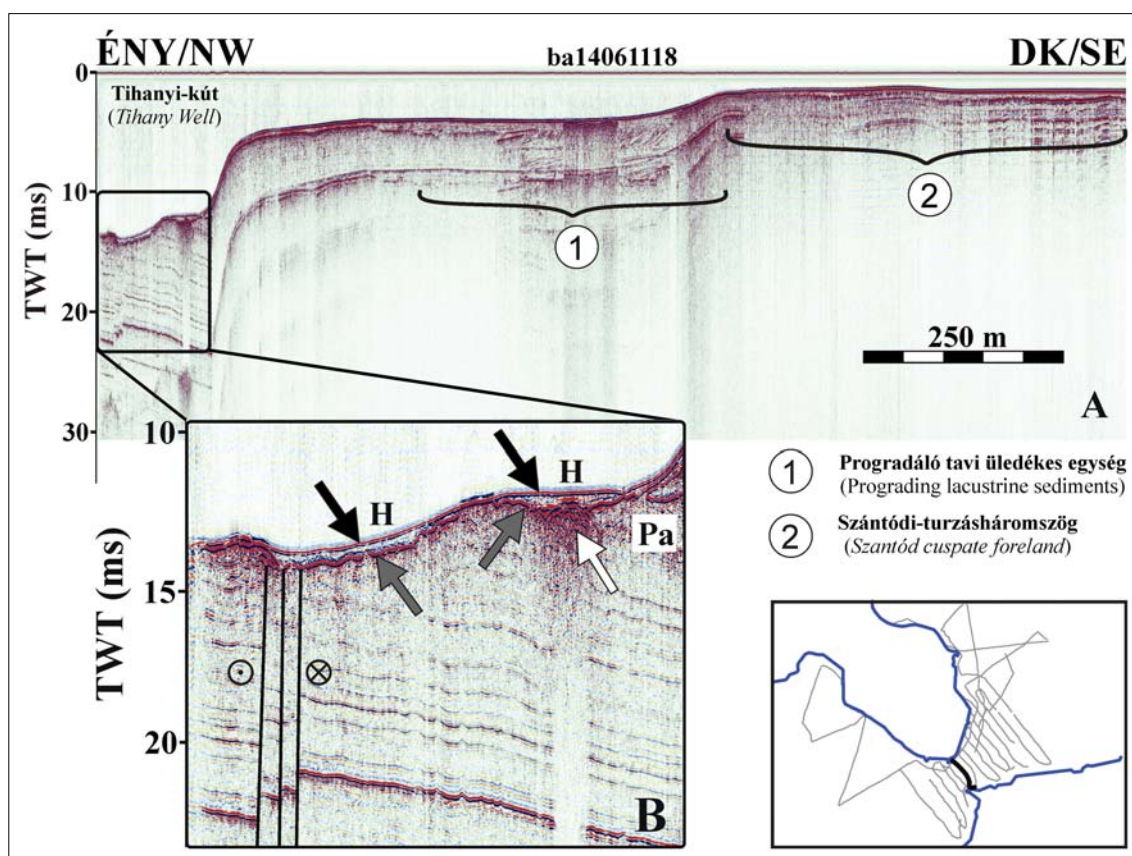
A 2. ábrán a kút keresztmetszete közel U alakú, jellegét tekintve erősen hasonlít a meanderező folyók medrének profiljához. Az árok pereme az É-i oldalon meredekebb, a D-i oldalon pedig lankásabb, és fokozatosan, esetenként lépcsőzetesen megy át a Szántód előtti magasabb térszínbe. A kút peremeinek látszólag nagy dőlésszöge azonban csak a szeizmikus szelvények erőteljes túlmagasításából adódik. A mederfenékhez tartozó legnagyobb lejtőszögek a valóságban mindössze 5–10°-osak.

A Tihanyi-szorosban a tó más részeihez képest szűkebb keresztmetszeten áramlik a Balaton vize, így a hidrodina-



2. ábra Szeizmikus szelvény a Tihanyi-szoroson keresztül (vertikális torzítás 1:20). A = a Tihanyi-kút, B = a Szántód előtti sekély vizű zóna (turzás): É-i részén az iszapgázok árnyékolják a tavi üledékek leképezését, míg a D-i felében a holocén – felső pleisztocén (H-Pl), és az idősebb pannóniai (Pa) üledékek képét is láthatjuk. M = mederfenék-többszörös

Figure 2 Seismic profile across the Tihany Strait (VE = 1:20). A = Tihany Well, B = shallow water zone in front of Szántód village: to the North mapping of lacustrine sediments was not possible due to gas saturation of the mud while to the South Holocene to Upper Pleistocene (H-Pl) and older Pannonian strata (Pa) are well imaged in seismic profiles, M = multiples



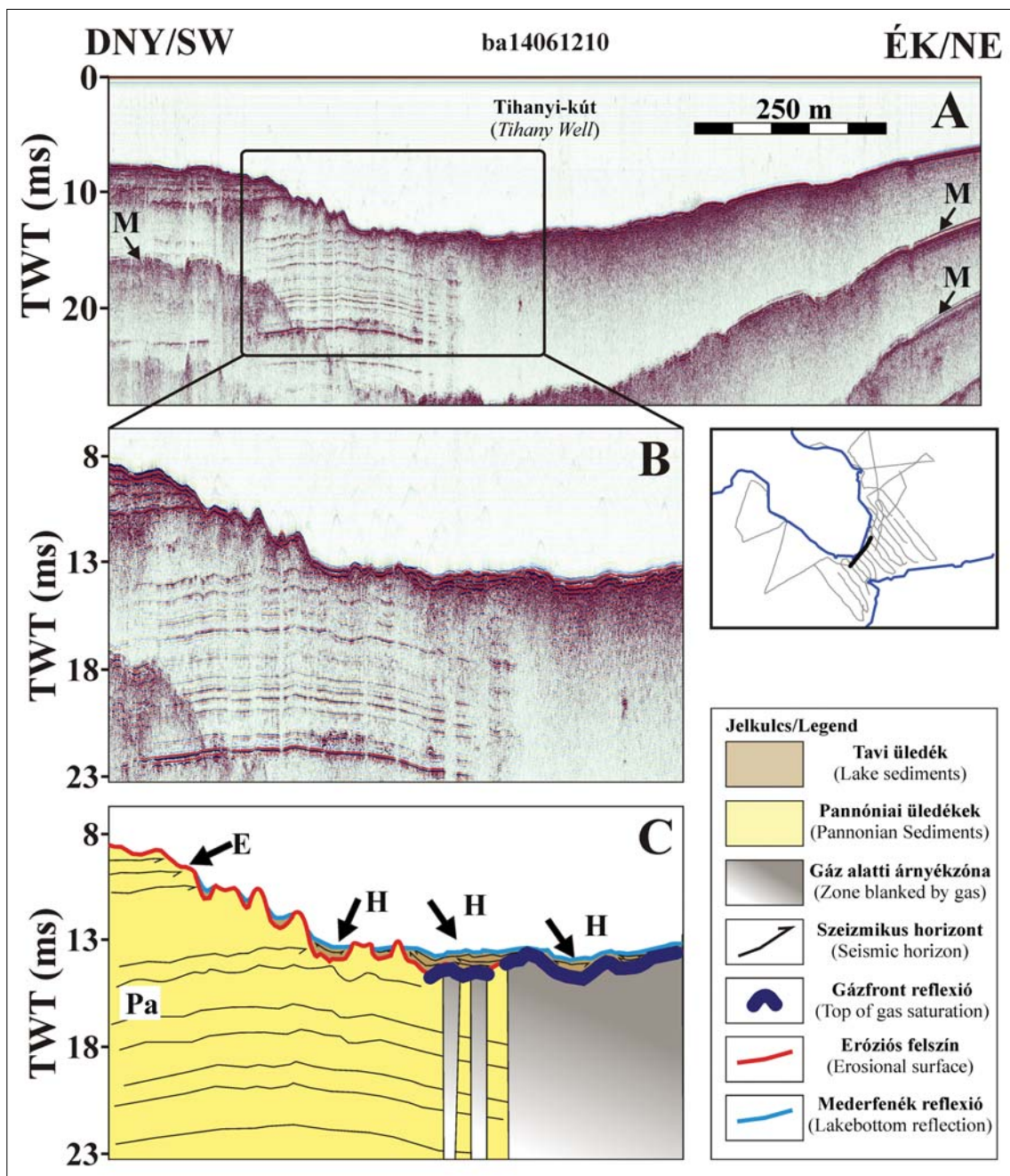
3. ábra Szeizmikus szelvény a rév útvonalának közelében (A, vertikális torzítás 1:20), amelyen a kis gáztartalom következtében az árok tengelyében (B) láthatóvá válnak az erodált pannóniai rétegek (Pa). A szürke nyilak pannóniai rétegek felszínét, a fekete nyilak a kútban lerakódott recens tavi üledékeket (H) jelölik. A fehér nyíl gázfelhalmozódás helyét mutatja. A pannóniai összletben vetők ismerhetők fel 1–2 m-es vertikális elvetéssel, amelyek a balatoni eltolódási zóna (Visnovitz et al. 2015b) részét képezik. Az ① és ② jelek a szelvény jobb oldalán különböző tavi üledékes környezeteket mutatnak

Figure 3 Seismic profile close to the ferryboat route (A, VE = 1:20) showing the eroded Pannonian strata (Pa) in the area of the Tihany Well (B) that are visible due to low gas saturation of the sediments. Gray arrows mark the eroded top of the Pannonian strata, with local accumulations of recent mud (H). White arrow indicates the location of shallow gas saturation. Note the faults with 1 to 2 meters vertical offset in Pannonian sediments, which are manifestation of the regional strike-slip system (Visnovitz et al. 2015b). Different lacustrine deposition environments are indicated by ① and ② on the right side of the profile

mika törvényeiből adódóan a szorosban nagyobb áramlási sebességek alakulnak ki (Cholnoky 1936, Krámer, Józsa 2013). A legjelentősebb vízmozgás a Balaton hosszanti víz-lengéséből (*seiche*) származik, amelynek periódusideje 6–24 óra, átlagos amplitúdója 5–25 cm. Ennek eredményeként a Tihanyi-szorosban maximálisan 2 m/s sebességű áramlás is létrejöhet. Ez az áramlási sebesség a tófené-

ken akár 40 méter/hónap iszapmozgást is okozhat (Karászi, 1981).

A 3/A ábrán megfigyelhető, hogy a Balaton aljzata a 2. ábrán látható szelvényhez hasonló lefutású, vagyis a kút mélyedése után DK felé megjelenik egy padka, majd a déli part felé közeledve a meder egyre sekélyebbé válik. A szelvény igazi érdekessége az, hogy ezen a helyen a tó alatti



4. ábra A Tihanyi-kút hossz tengelyével közel párhuzamos szeizmikus szelvény (A, vertikális torzítás 1:20), amely a kút csapásának irányában mutatja az erodált pannóniai rétegeket (Pa). A szelvény DNY-i végén (B, C) a pannóniai rétegek eróziós felszíne alkotja az árok fenekét (E), amelyre több helyen vékonyan holocén iszap (H) települ. A szelvény ÉK-i oldalán az „akusztikusan kemény” mederfenék többszöröződése (M) látszik

Figure 4 Longitudinal profile sub-parallel with the long axis of the Tihany Well (A, VE = 1:20) showing the eroded Pannonian strata (Pa). At the SW end the profile (B, C) the lake bottom is represented by eroded Pannonian sediments (E) that are covered by a thin layer of Holocene mud (H) at some places. The NE flank of the trench multiples (M) of the strongly reflective lake bottom can be seen

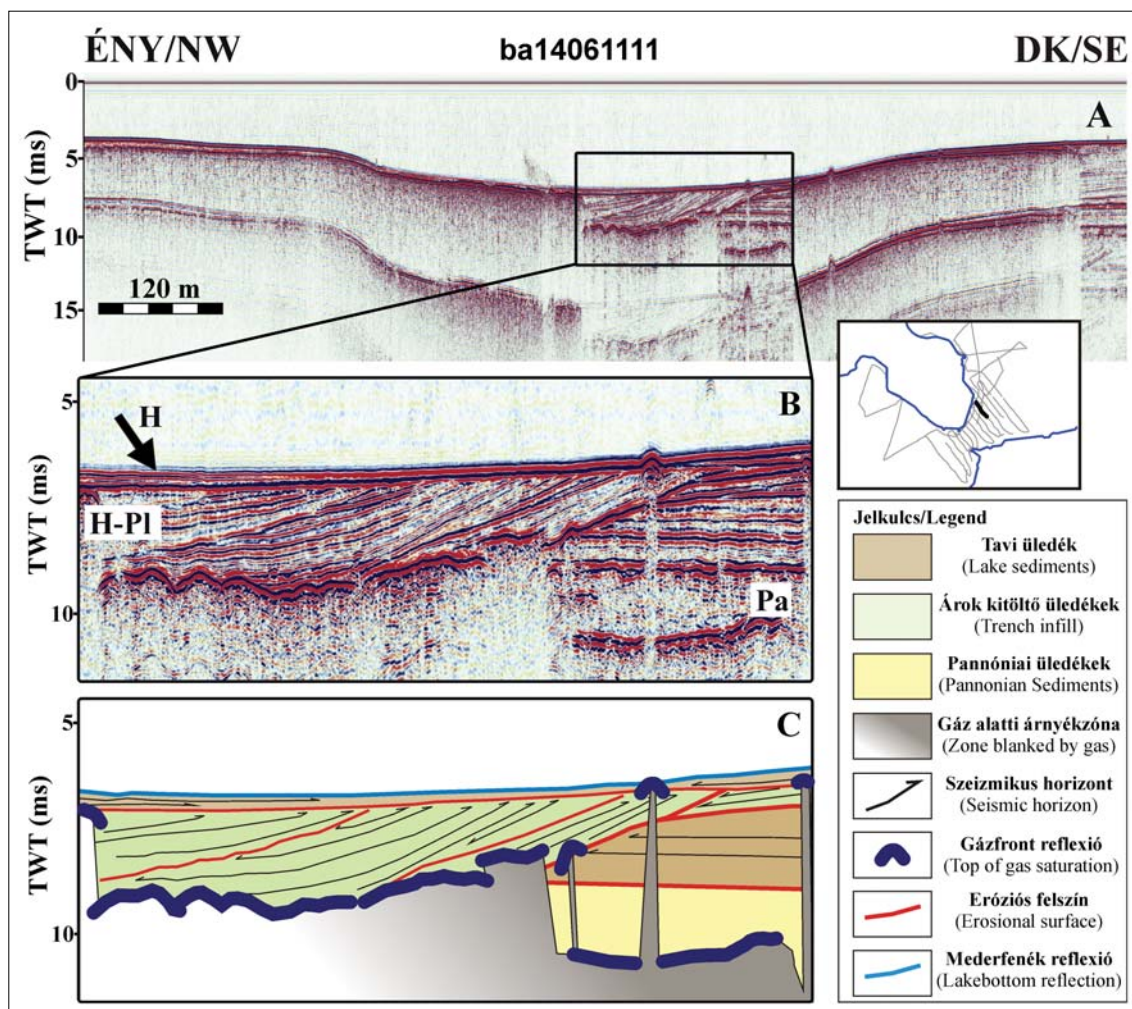
üledékek gáztartalma annyira kicsi, hogy a mederfenék alatti rétegek is szépen leképezhetők voltak. Itt a Balatonra jellemző 3–5 m vastag, közel vízszintesen települő tavi mészszip (Cserny 2002) hiányzik.

A mederfenék alatti rétegeket vizsgálva egy néhány vetőből álló keskeny vetőzónát sikerült kimutatni, nagyjából 180–200 cm-es vertikális elmozdulásokkal (3/B ábra). Ezek a vetők jól illeszkednek a Balaton alatt kimutatott balos nyírozónához (Bada et al. 2010, Visnovitz et al. 2015b), ezúton a törésrendszer kút alatti szakaszát mutatják. A vetők a kút középső részén jelentkeznek és láthatóan annak alakjára nincsenek hatással. Maga a kút tehát nem szerkezeti árok, hanem egy víz alatti erózióval létrejött mélyedés.

A kút DNY-i részén a mederfenéket közvetlenül a pannóniai üledékek alkotják, amely ma is zajló eróziós folyamatokra utal (4. ábra). A pannóniai rétegek erodált felszínének gödreiben holocén üledékek lerakódása (H) jelentkezik kb. 20–100 cm-es, változó vastagságban. Hasonló jelenséget mutat a 3/B ábra is, ahol szürke nyíllal jelöltük a

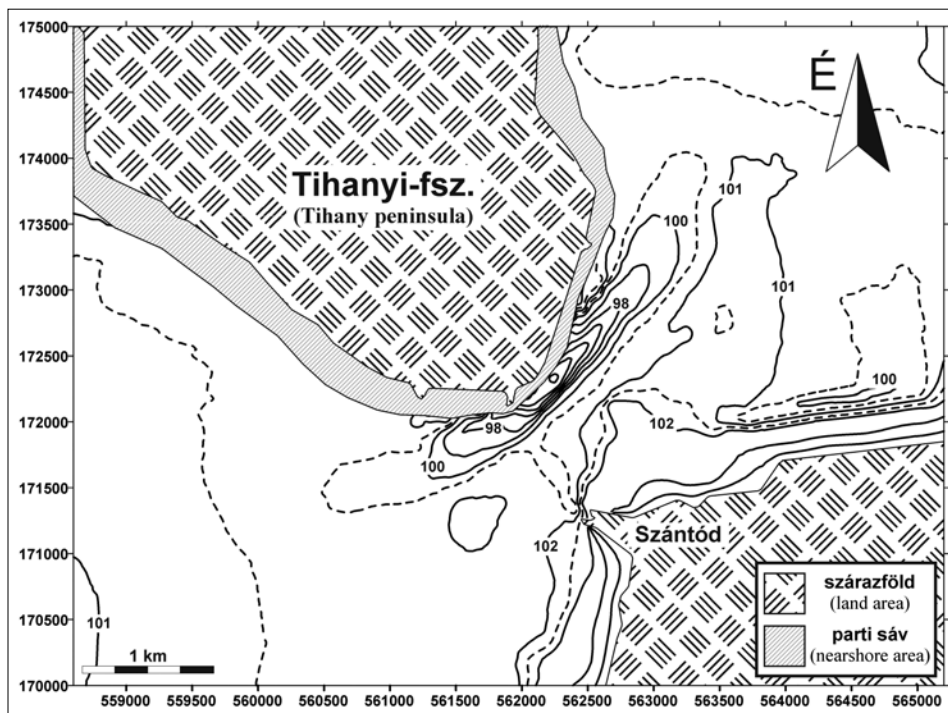
pannóniai rétegek erodált felszínét, amelynek mélyedéseiben ugyancsak recens iszap települ. Az iszapban és/vagy a pannóniai rétegek tetején gázfelhalmozódás figyelhető meg (3/B ábra, fehér nyíl), mely olyan felhőszerű „akusztikus gátat” okoz, amely megakadályozza a mélyebb rétegek leképezését. Ugyanez a jelenség figyelhető meg a 4. ábrán a kút ÉK-i lejtőjénél is, ahol közvetlenül a mederfenék alatt jelentkező gázsaturáció miatt a tó alatti rétegek nem leképezhetők.

Az 5. ábrán a kút K-i folytatásában egy egykori árok gödrének feltöltött medre látható. A szeizmikus szelvényen D felől a közel vízszintes iszapreflexiók eróziósan lefejeződtek, majd az így kialakult gödröt, É–ÉNY felé dőlő, fiatalabb üledékek töltik fel. Ennek tetején vékonyan megjelennek a recens tavi üledékek is, melyek É, illetve D felől fokozatosan feltöltik fel a megmaradt mélyedést (5/B,C ábra). A ferde rétegeket alulról gázfront határolja, amely kb. 2 m vastagságú, ferdén rétegzett üledék alatt helyezkedik el.



5. ábra | A tavi rétegsoron belüli észlelhető ferde reflexiók, melyek a Tihanyi-kút folytatásában egy már korábban létrejött árok feltöltődését mutatják

Figure 5 | Oblique reflections in lake sediments that indicates filling up of the former incision of the continuation of the present Tihany Well



6. ábra A Tihanyi-szoros Balti-tengerszintre meghatározott szintvonalas térképe a 2014-es felmérés alapján. A Tihanyi-félsziget körül egy szűk parti sáv kitarására került, mivel a szeizmikus értelmezés ezeken a területeken nem megbízható
Figure 6 Contour map of the Tihany Strait (mBf) based on the seismic survey of 2014. Nearshore area is blanked around the Tihany Peninsula as the interpretation of the lake bottom was difficult due to incomplete seismic data

A Tihanyi-kút mederfenék térképe

A szeizmikus szelvények alapján kijelöltük a mederfenékhez tartozó reflexiót, és az (1) összefüggés alapján a szeizmikus két utas futási idők felhasználásával meghatároztuk a mederfenék Balti-tengerszint feletti magasságát (6. ábra).

A 6. ábrán látható, hogy a Tihanyi-kút árka DNY-ÉK-i lefutású és a szoros Tihanyhoz közelebbi oldalán terül el. Alakja jó közelítéssel egyenes. Legmélyebb pontja a félsziget déli csücskénél, a révkikötőtől kb. 200–300 méterrel K-i irányban található. Mélysége, a 2014-es tavasi vízszinthez (129 cm, kvvm.hu 2015) képest $10,6 \pm 0,36$ m. A kútól délre egy nyelv alakú enyhe magaslat figyelhető meg (101 mBf szintvonal), mely feltehetőleg az áramlások okozta üledékáthalmazódás eredménye. Geometriája alapján ez a forma egy olyan turzásra emlékeztet, mely É-ÉK felé épül előre. Hasonlót a szoros NY-i oldalán nem látunk.

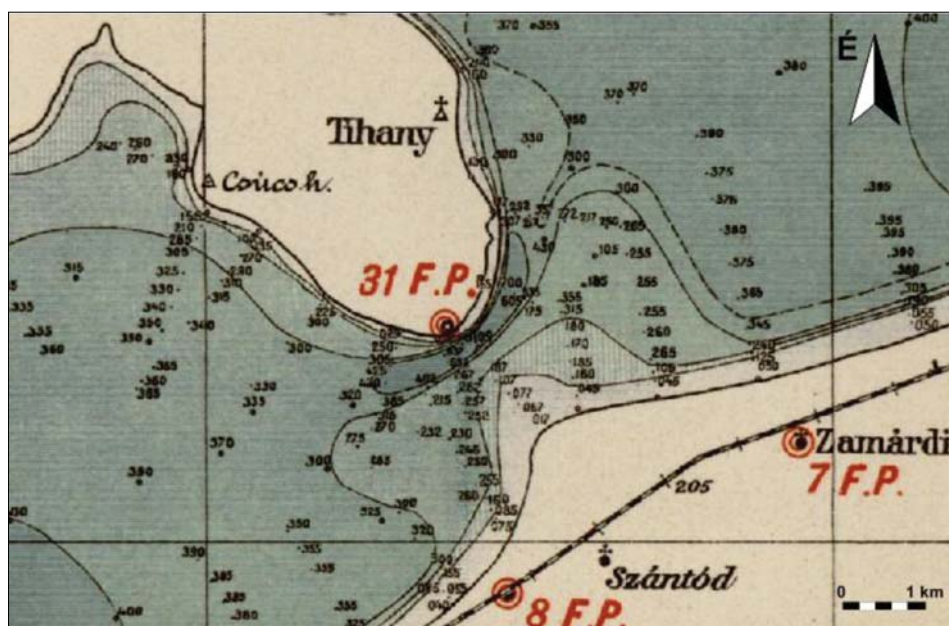
Az eredmények összetevése korábbi batimetriai térképekkel

Az új felmérés eredményeinek korábbi térképekkel való összevetetősége érdekében megszerkesztettük két korábbi felmérés balti szintre átszámított szintvonalas térképét. A felhasznált adatrendszerek a VITUKI 1975-ös szonáros felmérésének eredményei (Sass 1979) alapján Zlinszky et al. (2008) által elkészített medermodell, valamint a Magyar

Királyi Földművelésügyi Minisztérium Vízirajzi Osztálya által 1892 és 1896 közötti botos felméréseken alapuló 1:75 000-es méretarányú térkép (Lóczy 1902) voltak.

A Lóczy-térkép alapját az 1895-ös batimetriai felmérés adja, melynek a szoros területére vonatkozó részlete a 7. ábrán látható. A felmérés során a vízmélységet a partvonalra merőleges vonalak mentén, átlagosan 200 m távolságonként, botos mélységmérővel határozták meg (nagyjából 100 mérési ponton). Az egyes keresztjelvények közötti távolság 1–2 km volt. Az 1895-ös felmérést később további mérési pontokkal egészítették ki, majd az így kapott adatrendszerből született meg a tómeder egykori szintvonalas térképe (Lóczy 1902). Az összehasonlításhoz ennek a térképnek a szintvonalait digitalizáltuk, az alapadat pontsűrűsége a szoros területén 6–8 pont/km²-re becsülhető.

Lóczy térképe szerint (8. ábra) a szoros hasonló morfológiát mutat, mint a 2014-es vízi szeizmikus felmérés alapján szerkesztett térképen. A kút alakjában ugyanakkor eltérések láthatók. Az 1902-es térképen a kút árka jól követi a Tihanyi-félsziget partvonalát, alakja ÉK felé kissé elnyúltabb, mint NY-DNY-i irányban, és a mélyedés ÉK-i vége látszólag kiszélesedik (100 mBf-es szintvonal). A vízi szeizmika alapján látható, a kút D-i előterében talált üledéknyelv ezen a térképen is megjelenik, de szélesebbnek és kicsit magasabbnak mutatkozik. A kút alakjában a félsziget csücskénél, közel a szoros legmélyebb pontjához egy csapásváltás figyelhető meg, ettől NY-ra az árok lefutása



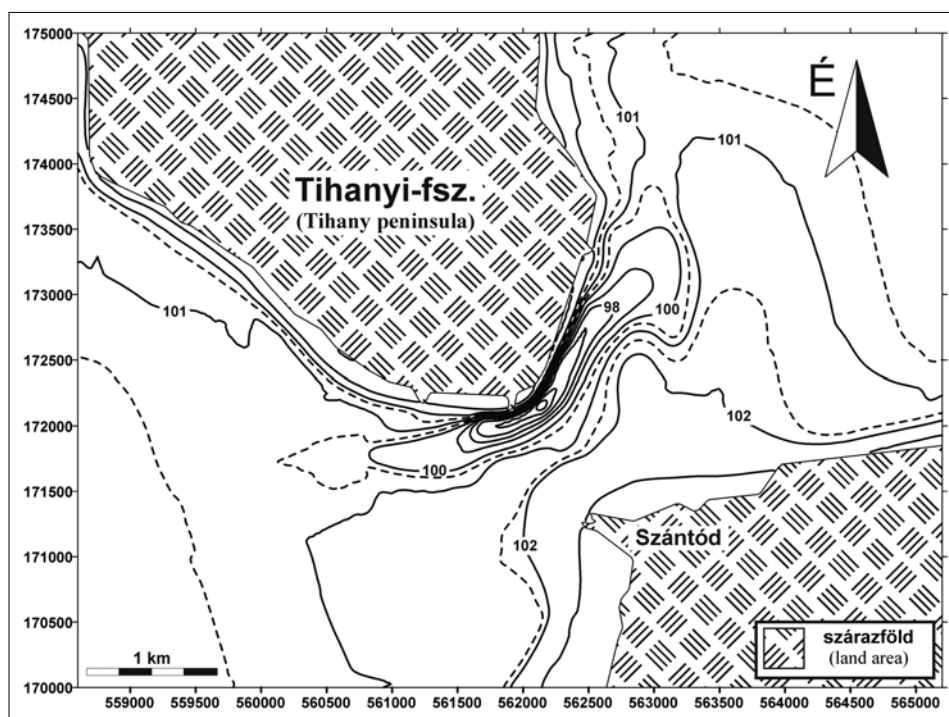
7. ábra | 1895-ös batimetriai felmérés térképének egy részlete a Tihanyi-szorosban mért vízmélység adatokkal (Pécs, Erdős 1898)

Figure 7 | Location of the data points and derived bathymetric map of the Tihanyi Strait based on the survey of 1895 (Pécs, Erdős 1898)

nagyjából egyenes, közel K–NY-i irányú. A kút legmélyebb pontja az új felméréssel összhangban 10–11 m között van.

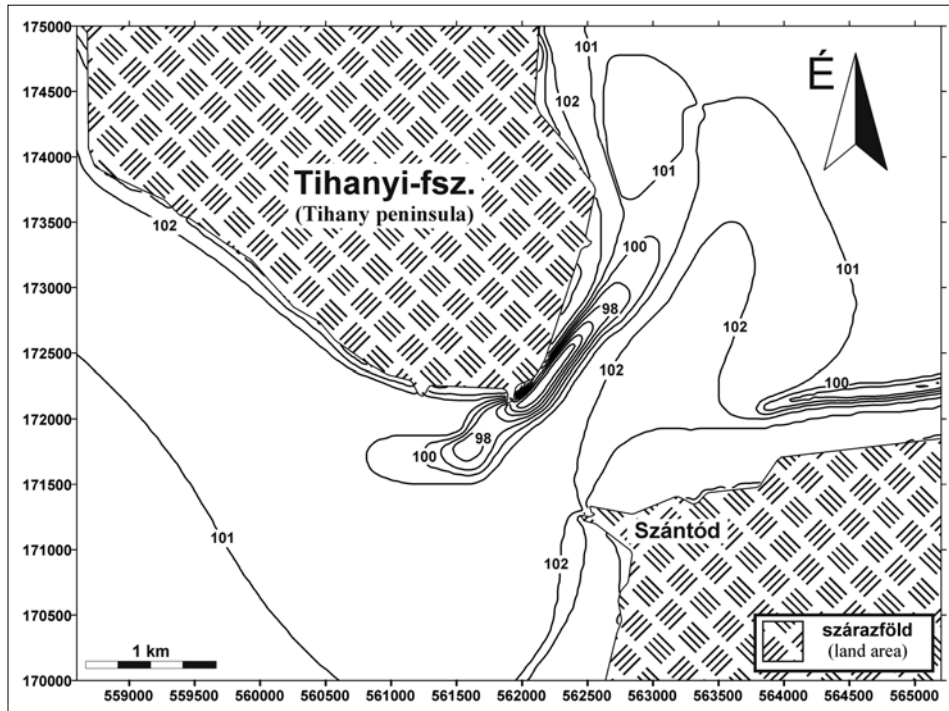
Az 1975-ös felmérés során Atlasz-Echolog műszer segítségével térképezték a tavat (Sass 1979). A felmérés egy-

mástól 1 km-re elhelyezkedő, a tó hossz tengelyére merőleges kereszt szelvények mentén történt. A mérőhajó 1 m-es vízmélységig volt képes a mederfenék letapogatására. A mélység adatokat a szelvény mentén 5–20 m-enként



8. ábra | A Tihanyi-szoros újraserkesztett szintvonalas térképe (mBf) a Magyar Királyi Földművelésügyi Minisztérium Vízhajó Osztályának 1892 és 1896 közötti botos felmérése (Lóczy 1902) alapján

Figure 8 | Reconstructed contour map of the Tihanyi Strait (mBf) based on survey of the Department of Hydrography of the Royal Hungarian Ministry of Agriculture 1892-1896 (after Lóczy 1902)

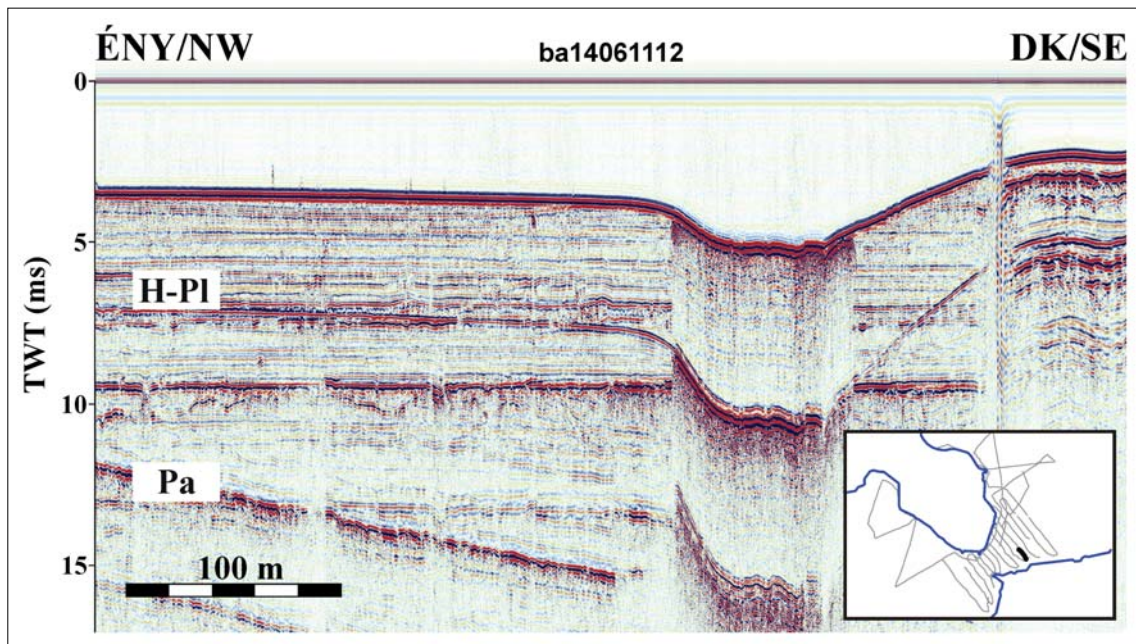


9. ábra A Tihanyi-szoros újraszerveztett szintvonalas térképe (mBf) a VITUKI 1975-ös szonáros felmérése szerint (Sass 1979 és Zlinszky et al. 2008 alapján)

Figure 9 Reconstructed contour map of the Tihanyi Strait (mBf) based on sonar survey of VITUKI 1975 (after Sass 1979 and Zlinszky et al. 2008)

rögzítették. A keresztshelvények között a parti sávban (2,2 m-es vízmélységig) 350 m-enként köztes shelvényeket vettek fel a szonáros adatok kiegészítésére. A szoros terü-

letén tehát legalább 5 db keresztshelvény futott keresztül, melyeket további partközeli shelvényekkel egészítettek ki. Ez a keresztshelvényekből adódóan átlagosan minimum



10. ábra A déli part közelében található, a parttal párhuzamos mélyedés (6 és 9. ábra) szeizmikus képe egy közel merőleges szeizmikus shelvényen, Szántódtól ÉK-re. A mélyedés láthatóan bevágódik a holocén tavi üledékekbe

Figure 10 Seismic profile showing the underwater incision parallel with the southern coastline (Figs 6 and 9) Northeast of Szántód. The depression cuts into the horizontally stratified Holocene mud

50 pont/km²-es adatsűrűséget jelentett, mely köztes szelvényekkel együtt akár duplája is lehetett.

A VITUKI-féle 1975-ös felmérés alapján készült térkép szerint (9. ábra) a szoros morfológiája még jobban hasonlít a 2014-es felmérés eredményéhez. Az árok alakja sokkal egyenesebb, és a szoros K-i oldalán már jól látszik az árokkal párhuzamos turzás. A kút mélyebb zónáinak kiterjedése az árok két végében az új térképen láthatóhoz képest kisebb, az árok maximális mélysége azonban közel azonos, kb. 10 m. A legmélyebb zónát itt is a félsziget csúcsánál találjuk. Ennek alakja azonban elnyúltabb, feltehetőleg az interpolációnak köszönhetően.

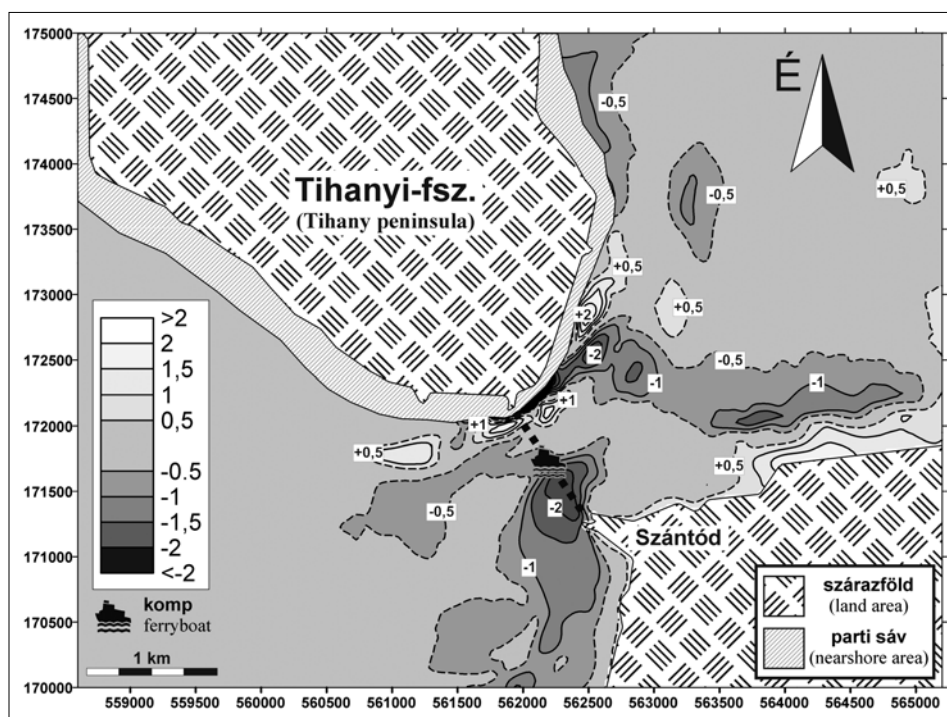
A VITUKI-térképen a Tihanyi-kúttal szemben, a túlsáron egy másik mélyedés is megjelenik 2–3 méteres vízmélységgel, melyet a Lóczy-féle térkép nem mutat. Ezt a mélyedést az új térképen is megtaláltuk, de mélysége itt kisebb (1–1,5 m). A 10. ábrán ennek a mélyedésnek a 2014-es felmérés szerinti metszete látható. A mélyedés a fiatal tavi iszapba vágódik be, és annak közel vízszintesen települő rétegeit rendre elvágja. A mélyedés aljában gázszaturációra és szervesanyag-felhalmozódásra utaló reflexió figyelhető meg, mely jelzi, hogy az árok feltöltődése jelenleg is tart.

Hasonló, bár jóval sekélyebb mélyedést találunk a 2014-es térképen a Szántód–Tihany komp útvonalánál is. Utóbbit egyik korábbi térkép sem mutatja. Feltételezésünk szerint ez az elmúlt évtizedekben végzett mederkostrások vagy a kompforgalom eredménye lehet. A fenti mélyedések hiánya a korábbi térképeken ugyanakkor adódhat

szimplán az alulmintavételezéséből is. A 1975-ös felmérés során a komp nyomvonalán valószínűleg nem futott szelvény, illetve a 1895-ös felmérés ábrázolt pontjait (7. ábra) összevetve a későbbi térképekkel úgy tűnik, hogy a D-i parttal közel párhuzamos árok területét egyetlen mintavételi pont sem érintette. A kérdéses mélyedések szélessége kisebb az 1975-ös mérésnél alkalmazott szelvénytávolságnál és a 1895-ös felmérés mintavételi gyakoriságánál (~200 m) is, emiatt ezek a kis léptékű változások a térképen nem állíthatók vissza.

Az elmúlt közel 100 év térképein mutatkozó különbségek kiemelésére az 1902-es Lóczy-térkép és a 2014-es vízi szeizmikus felmérés adatait felhasználva elkészítettünk egy különbségtérképet (11. ábra). Az így kapott térképen a világosszürke-fehér színek a pozitív változásokat („látszólagos feltöltődés”), a sötétszürke-fekete színek pedig a negatív változásokat („látszólagos kimélyülés”) mutatják. Az előbbieket alapján nyilvánvaló, hogy a különbségek javarészt az interpolációs eltérésekből és a georeferálásból adódó hibákat mutatják, ami az eltérő mintavételi sűrűség, a bizonytalan koordinátatranszformáció és a térképek nem megfelelő horizontális pontosságából következik. Az új felmérés egyébként a VITUKI 1975-ös felmérésének eredményeit nagyrészt validálja.

A 11. ábrán látható térkép fontos tanulsága, hogy a szoros területén az elmúlt közel 100 évben 2 m-nél nagyobb medermélység-változások nem vagy csak nagyon limitált kiterjedésben történtek. A jellemző üledékképződés és eróziós kimélyülés kisebb mint 0,5 m. A különbségtérkép



11. ábra A 2014-es felmérésből készített medermodell és az 1902-es Lóczy-féle medertérkép különbségtérképe

Figure 11 Difference map calculated from elevation models based on the seismic data (2014) and map of Lóczy (1902)

emellett szépen kiemeli a kút alakjának a térképek alapján is felismerhető kiegyenesedését és a korábban tárgyalt déli part közeli mélyedéseket is.

A különbségtérkép alapján az elmúlt 100 évben a szorosban enyhe kimélyülés volt jellemző. A szeizmikus szelvények tanúsága szerint ugyanakkor az áramlási rendszer üledékek felhalmozására is képes a szorosban, sőt még a kút belsejében is. Az áramlások által felhalmozott üledékek ma főleg a szoros K-i oldalán, elsősorban a kút déli oldalán található üledéknyelvet (víz alatti turzást/zátonyt) építik, illetve dél felől a kút lejtőire és a kút árkába is kerülhetnek be üledékek (3. ábra). A kút belsejében, az árok aljának kisebb gödreiben találunk csak üledék felhalmozódást. A területen jelentősebb kimélyülések a szántódi kikötő előterében és szoros DK-i részén jelentkeznek. A szeizmikus szelvényeken erózió a kút NY–DNY-i felében mutatható ki.

A kút alakjának kialakításában az áramlások meghatározó szerepét az árok keresztmetszetének alakja is megerősíti, amely nagyon hasonlít egy meanderező folyó profiljára. A kúthoz tartozó árok hidrodinamikai szempontból láthatóan nem egyetlen „kanyarulatként” viselkedik, hanem az áramlások függvényében fokozatosan változtatja ívét és alakját. Érdekes feladat lenne az árok alakjának szimulációja hidrodinamikai modellezéssel.

Összefoglalás és konklúziók

2014 júniusában átfogó vízi szeizmikus térképezést végeztünk a Tihanyi-szoros területén, amelynek célja a meder alatti üledékek, valamint a mederfenék morfológiájának meghatározása volt. A szelvények értelmezése és a felmérés alapján készített mederfenéktérkép a korábbi felmérésekhez képest jóval részletgazdagabb és sűrűbb térbeli mintavételen alapuló képet adott a szorosban jelenleg zajló üledékképződésről és a batimetriai viszonyokról. A szeizmikus szelvények értelmezése, és az ennek alapján készült medertérkép archív felmérésekkel való összevetése a következő fő megállapításokhoz vezetett:

- 1) A Tihanyi-kút árka ma a Tihanyi-félsziget déli előterében, DNY–ÉK-i irányban húzódik, alakja közel egyenes. A kút legmélyebb pontja a félsziget D-i csücske előtt helyezkedik el, a tihanyi révkikötőtől 200–300 m-rel K-re, mélysége $10,6 \pm 0,36$ m a 2014-es vízszinthez (104,7 mBf) képest. Az árok falának dőlésszöge nem haladja meg a 10° -ot.
- 2) A Tihanyi-kút árkának aktuális alakját alapvetően a szorosban jelentkező vízáramlás határozza meg. A víz itt képes erodálni a Balaton medrét, de a nagy áramlási sebességek mellett is van lehetőség limitált üledék felhalmozódásra. Az erózió nyomai elsősorban a kút NY–DNY-i oldalán, üledékfelhalmozódás a kút szárnyán, a szoros K-i felében és a kút fenekének kisebb gödreiben jellemző. A lerakódó üledékekben gázfelhalmozódás tapasztalható, mely megakadályozza a mélyebb rétegek szeizmikus leképezését.

- 3) A szeizmikus értelmezés és az új medermodell korábbi térképekkel való összevetése alapján a kút árkának időbeli változása látszik körvonalazódni. Ezt a változást elsősorban a tölengés miatti, a szorosban felgyorsuló tavi áramlás határozza meg. Az elmúlt közel 100 évben a változások afelé mutatnak, hogy a kút alakja közel egyenessé válik, legmélyebb pontja a Tihanyi-félsziget csücske előtt maradt, mélységében nem látni lényeges változást.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk köszönetet mondani mindazoknak, akik lehetővé tették a fenti tanulmány létrejöttét. A szeizmikus mérések a Geomega Kft. kivitelezésében, az ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszékének szervezésében zajlottak. Külön köszönet illeti a cég vezetőjét, Tóth Tamást, aki a szeizmikus mérésekhez használt műszereket a tanszék rendelkezésére bocsátotta, valamint Szabó Lajos hajóskapitányt, aki a mérésekhez a hajózási logisztikát megszervezte. Köszönjük Prónay Zsoltnak a bírálat során nyújtott hasznos tanácsait. A kutatás pénzügyi hátterét az OTKA NK 83400 és 109255 K projektek biztosították. Hálásak vagyunk emellett az EGT/156/M4-0002 „Hidromorfológiai mérőgyakorlat kidolgozása építőmérnök és geofizikus hallgatók számára” c. projekt támogatásáért is.

A tanulmány szerzői

Kiss Anna, Visnovitz Ferenc, Timár Gábor, Hámori Zoltán, Horváth Ferenc

Hivatkozások

- Bada G., Szafián P., Vincze O., Tóth T., Fodor L., Spiess V., Horváth F. (2010): Teotektonikai viszonyok a Balaton keleti medencéjében és tágabb környezetében nagyfelbontású szeizmikus mérések alapján. *Földtani Közöny*, 140/4, 445–468
- Balázs A., Visnovitz F., Spiess V., Fekete N., Tóth Zs., Hámori Z., Kudó I., Horváth, F. (2013): Új szeizmikus mérések a Balatonon: beszámoló a 2011–2012. évi szelvényezésekről (2011–12). *Magyar Geofizika*, 54/2, 67–76
- Bendefy L. (1973): Krieger Sámuel 1776. évi tervezete a Balaton lecsapolásáról. *Hidrológiai Tájékoztató*, 13, 50–55
- Cholnoky J. (1936): *A Balaton*. Franklin Társulat, Budapest, 192 p.
- Cserny T. (2002): A balatoni negyedidőszaki üledékek kutatási eredményei. *Földtani Közöny*, 132/különszám, 193–213
- Cserny T., Corrada R. (1989): A Balaton medencéje és holocén üledékei részletes geofizikai-földtani vizsgálatának újabb eredményei. A MÁFI évi jelentése 1987. évről, pp. 341–347
- Horváth F., Sacchi M., Dombrádi E. (2010): A Pannon-medence üledékeinek szeizmikus sztratigráfiai és tektonikai vizsgálata a Dél-Dunántúli és a Balaton területén. *Földtani Közöny*, 140/4, 391–419
- Józsa J., Rákóczi L., Krámer T. (2012): Balaton Lake in Hungary. In: Bengtsson, L., Herschy, R. W., Fairbridge, R. W. (eds.): *Encyclopedia of lakes and reservoirs*. Springer Science+Business Media B.V., Dordrecht, pp. 91–95

- Karászi K. (1981): A tó vízrajzi és hidrológiai jellemzői. In: Illés I. (szerk): Tavunk, a Balaton. Natura, Budapest, pp. 63–67
- Krámer T., Józsa J. (2013). Sekély tavak szél keltette áramlásai: Kaotikus elkeveredéshez vezető tér- és időstruktúrák. *Természet Világa*, 2013/II. különszám, 46–49
- Krieger S. (1766): *Mappa exhibens lacus Balaton cum vicinatis suis etc.* Helytartótanácsi levéltár, Budapest.
- Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium (2015): Balaton vízszintje 2014. január 1. – december 31. között, http://www.kvvm.hu/balaton/lang_hu/vizszintb.htm (Utolsó letöltés: 2015. 10. 26.)
- Lóczy L. (1902): A Balaton tónak és környékének részletes térképe 1:75 000 mértékben, 4 lapon. A Balaton tónak és környékének térképatlasza. Magyar Földrajzi Társaság Balaton-Bizottsága, Budapest
- Pécs J., Erdős F. (1898): A Balaton vízrajzi fölvétele. *Vízrajzi Évkönyv*, 8, 86–94
- Sacchi M., Cserny T., Dövényi P., Horváth F., Magyar O., McGee T. M., Mirabile L., Tonielli R. (1998): Seismic stratigraphy of the Late Miocene sequence beneath Lake Balaton, Pannonian Basin, Hungary. *Acta Geologica Hungarica*, 41/1, 63–88
- Sass J. (1979): A Balaton vízrajzi felmérése. *Vízügyi Közlemények*, 4, 560–581
- Simpkin P. G., Davis A., (1993): For seismic profiling in shallow water, a novel receiver. *Sea Technology*, 34, 21–28
- Tóth T. (2004): High resolution geophysics provides optimal resolution on inland waterways. *First Break*, 22/9, 45–51
- Tóth T., Simpkin P., Vida R., Horváth F. (1997): Shallow water single and multichannel seismic profiling in a riverine environment. *The Leading Edge*, 16/11, 1691–1695
- Tóth Zs., Tóth T., Szafián P., Horváth A., Hámori Z., Dombrádi E., Fekete N., Spiess V., Horváth F. (2010): Szeizmikus kutatások a Balatonon. *Földtani Közlöny*, 140/4, 355–366
- Virág Á. (1997): A Balaton múltja és jelene. Egri Nyomda, Eger, 904 p.
- Visnovitz F., Balázs A., Horváth F., (2013): High-resolution seismic surveys in the Lake Balaton to image the stratigraphic architecture of Late Miocene basin fill beneath the lake. *Geophysical Research Abstracts*, 15, EGU2013-969
- Visnovitz F., Bodnár T., Tóth Zs., Spiess V., Kudó I., Timár G., Horváth F. (2015a): Seismic expressions of shallow gas in the lacustrine deposits of Lake Balaton, Hungary. *Near Surface Geophysics*, 13, 433–446
- Visnovitz F., Horváth F., Fekete N., Spiess V. (2015b): Strike-slip tectonics in the Pannonian basin based on seismic surveys at Lake Balaton. *International Journal of Earth Sciences*, 104, 2273–2285
- Zlinszky A., Molnár G. (2009): Georeferencing the first bathymetric maps of Lake Balaton, Hungary. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 44/1, 79–94
- Zlinszky A., Molnár G., Herodek S. (2008): A Balaton medrének digitális geomorfológiai vizsgálata. *Hidrológiai Közlöny*, 88/6, 239–241
- Zlinszky A., Molnár G., Székely B. (2010): A Balaton vízmélységének és tavi üledékvastagságának térképezése vízi szeizmikus szelvények alapján. *Földtani Közlöny*, 140/4, 429–438

Grönland – história, geológia, geofizika és glaciológia

KISS J.^{1,®}, CSATHÓ B.²

¹Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (MBFSZ),
1145 Budapest, Columbus u. 17–23., Hungary

²University at Buffalo, SUNY, Buffalo, NY, USA

[®]E-mail: kiss.janos@mbfsz.gov.hu

Egy távoli földrész, a jégpáncéllal fedett Grönland területére viszi el cikkünk az olvasót. A sarkvidéki körülmények és az állandó jégtakaró miatt ezen a nehezen hozzáférhető területen is egyre gyarapodnak a távérzékelési és geofizikai adatok, amelyek lehetővé teszik a földtani kutatásban a komplex megközelítést.

Egyrészt lemeztectonikai aspektusok (óceáni hátság, hotspot), másrészt arktikus jelenségek (zord klíma, jég-sapkák, gleccserek) határozták meg Grönland fejlődését. Szárazföld és óceán, tűz és jég, geofizika és geológia, továbbá klíma és következményei (az emberi történelemre) jelennek meg, remélhetőleg mindenki számára élvezhető formában a következő néhány oldalon.

Kiss, J., Csathó, B.: Greenland – history, geology, geophysics and glaciology

Greenland, this ice-covered, faraway continent is the topic of this study. Different remote sensing and geophysical measurements have supplemented the geological exploration work of this large island, characterized with arctic conditions and covered by the Greenland Ice Sheet. The remote sensing and geophysical observations allow us to apply a complex approach to data processing and interpretation.

On the one hand, elements of plate tectonics (mid-oceanic range, hotspot), on the other hand, manifestations of arctic climate (ice sheets and glaciers) contributed to the evolution of Greenland. Land and ocean, ice and fire, geophysics and geology as well as climate with its consequences (on the human history) form the basis of the study appearing on the following pages.

Beérkezett: 2018. június 14.; *elfogadva:* 2018. szeptember 14.

Előszó

Szerzőtársammal, Csathó Beátával (aki most professzor a Buffalói Egyetemen) az együttműködés nem új keletű. 1986-ban, mikor egyetemi tanulmányaim után elkezdtem dolgozni az ELGI-ben, az ő kutatócsoportjába kerültem. Terepi geofizikai elektromágneses mérésekkel kezdtük, majd légi geofizikai mérésekkel folytattuk, ennek kapcsán én visszanyúltam az egyetemi szakdolgozatom témájához, a mágneses (légi mágneses) mérési adatok feldolgozásához és interpretációjához. Bea segítségemre volt, az ezzel kapcsolatosan megjelent cikkeket – amelybe belebotlott – átadta nekem. Ezzel tudtán kívül (vagy tudatosan) megalapozta azt a szakmai tevékenységet, amelyet a mai napig folytatok.

A légi geofizika, távérzékelés, komplex adatfeldolgozás útján haladtunk előre, ötvözve az angolszász szakirodalom eredményeit és az alapos orosz kutatási módszertant.

Hamar felismertük egymás erőnyeit (és/vagy hátrányait), jól kiegészítettük egymást, ami megnyilvánult az Antarktisz „Tamara” kutatási projektjében, illetve most Grönland tanulmányozása, kutatása közben.

Ez a cikk a Grönlanddal kapcsolatos szakmai beszélgetéseink és konzultációnk részterméke. Bea kutatótársaival együtt a jégvastagság változásának vizsgálatával foglalkozik, elsősorban távérzékelési módszerekkel, mely által a klímaváltozás hatását vizsgálja (pl. Schenk, Csathó 2012, Csathó et al. 2014, Schenk et al. 2014).

Egy ilyen komplex jelenség tanulmányozásakor természetesen a földtanhoz is vissza kell nyúlni, és ez Grön-

landon, geofizika nélkül nem megy. Hamar felismerve és emlékezve közös munkáinkra, bevont engem is e távoli földrész geofizikai kutatásába. Próbáltuk kutatási projektek vagy pályázatok segítségével tervezni a közös munkát, de a távolság, az adminisztrációs nehézségek és az eltérő idejű elfoglaltságaink ezt egyelőre lehetetlenné tették.

A több kilométeres jégsapkával fedett Grönland kutatása azonban olyan szakmai kihívás, illetve érdekes földtani feladat, amely elől az ember – ha szereti a szakmáját – nem futamodik meg. A jég vastagságának változása a meglévő adatok alapján úgy tűnik, nem csak a klíma változásának, hanem egy sokkal összetettebb rendszer – a glaciológia, geomorfológia, geológia, klimatológia – együttes működésének köszönhető.

Az új ismeretek megszerzéséhez azonban mérési adatokra, feldolgozásokra és értelmezésekre van szükség, ennek geofizikai részéből mutatunk be egy (vagy több) szeletet a továbbiakban.

Bevezetés

Grönland területe 2 millió km², Európával összevetve területe lefedné a Balkántól a Baltikumig terjedő sávot (1. ábra), azaz Kelet-Európa jelentős részét.

Lakossága, a zord klíma miatt, 56 000 fő körül mozog. Néhány település van csak a szigeten, elsősorban a tenger-

parti részeken. Grönland földtörténete 3 800 millió év, jelentős ásványi nyersanyagkincs valószínűsíthető a területén, ami a klímának köszönhetően, nagyon nehezen hozzáférhető.

Történelmi háttér

Grönland ismert történelme kezdetekben szorosan összefonódott a vikingek történelmével, ezért ezzel kell kezdeni a bemutatást.

A viking szó nem adott nemzetet jelöl, hanem inkább egy bizonyos foglalkozást. Első írásbeli említése az angol-szász krónikában található, mint „wicingas”, amely pejoratív melléközöngé nélkül kalózkodással foglalkozó harcos tengerészt jelent (vö. Wikipédia).

A vikingek skandináv származású kereskedők, hajósok és harcosok, akik a 8. és a 11. század között indultak rablóportyáikra vagy hódító hadjárataikra. Ismertek még „normann” (l. Anglia), „russ” (l. Oroszország – ebből származik a „Russia” név) vagy „varég” néven is Északkelet-Európában (Szolovjov 1879).

A szorosan vett viking kor kezdete pontosan meghatározható, mert az első, nagy visszhangot verő támadás a Lindisfarne kolostor (Brit szigetek) ellen 793-ban volt. A viking kor végét már nem lehet egy adott eseményhez kötni, de nagyjából egybeesik a kereszténység felvételének lezárásával a 11. század végén.



1. ábra | Grönland mérete Európához képest
Figure 1 | Size of Greenland compared to Eastern Europe

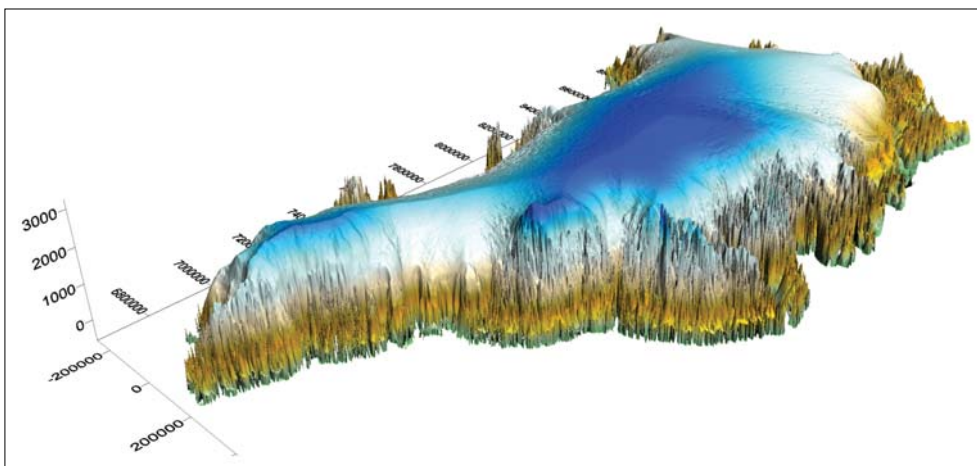
E két időpont között, a viking harcosok rettegésben tartották egész Nyugat- és Dél-Európát. Meghódították Anglia és Írország nagy részét, Normandiát, a mai Franciaország területét (Normandia első királya viking volt), nagy szerepet játszottak a Dél-Itália, Szicília államháromszögében és az Orosz Birodalom (az Északi és a Kijevi Rusz államalakulatok) létrehozásában. A nagy kelet-európai folyamokon eljutottak a Fekete- és a Kaszpi-tengerre, kereskedtek Bizánccal, Perzsiával, és például Jeruzsálem királyának viking testőrsége volt. Mellesleg felfedezték és benépesítették Izlandot, amelynek ők adták a nevet (l. Függelék). *Grönlandot 982-ben fedezte fel a viking Vörös Erik, ő nevezte el „zöld föld”-nek, több száz évig álltak fenn településeik az őslakos eszkimó népek mellett.*

A vikingek – az európaiak közül elsőként – eljutottak Észak-Amerikába, első telepüket Vinlandnak nevezték el, az ott termő szőlő után. Nem tudtak azonban tartósan megtelepedni, így Amerika felfedezése nem hozzájuk kötődik.

Domborzat

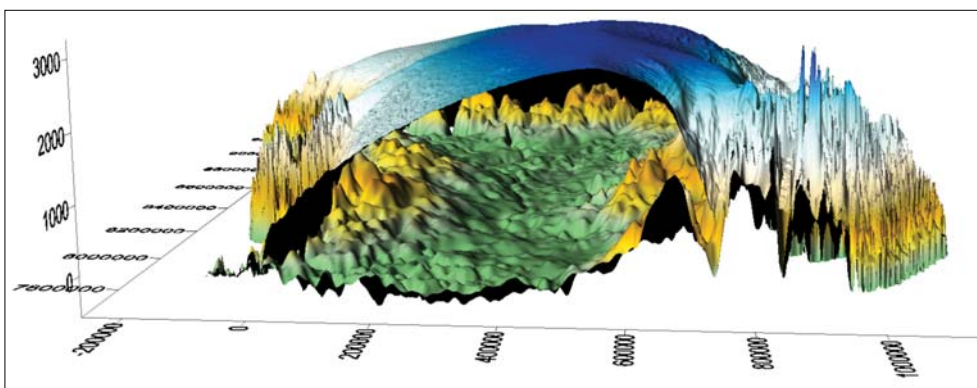
Grönland teljes egészében az észak-amerikai lemezen fekszik. Valamikor egy szárazföldi kontinenst alkotott Észak-Amerikával és Euráziával és csak a kréta–paleogén idején az atlanti-óceáni riftesedésnek köszönhetően kezdett szétnyílni először a Labrador-tenger vonalában (ÉNy–DK), majd később a ma ismert atlanti-óceáni riftzóna mentén (É–D).

Nyugati és keleti partvidéke hegyvidék, amely az Izland felőli oldalon közel 4 000 m magasságot is eléri (Grönlandi Kaledóniai Hegységrendszer). Csak a partvidék, a sziget területének mintegy 10%-a jégmentes, egy part menti sáv, amelynek a szélessége ÉK-en és DNy-on a legnagyobb. A távolság a partvonal és a jégtakaró pereme között eléri a 170–200 km-t. Közvetlen földtani kutatásra csak ebben a vékony sávban van lehetőség. Grönland belsejét állandó, 1,7 millió km² területű és 1500–3000 m vastagságú jégtakaró borítja (2., 3. ábra).



2. ábra | Grönland 3D domborzata, kőzetek (zöld-barna színek) és a jégtakaró (fehér-kék színek) DK-ről nézve (tengelyek méterben)

Figure 2 | Three-dimensional surface relief of Greenland (outcrops: green–brown, ice: white–blue colours) viewed from SE



3. ábra | Grönland 3D domborzatának Ny-K irányú függőleges metszete, domborzat (zöld-barna) jégtakaró (fehér-kék színek)

Figure 3 | Three-dimensional W–E oriented transect of Greenland (bedrocks: green–brown, ice surface: white–blue colours)



4. ábra | Nyáron a grönlandi jég felületén kialakuló időszakos folyó (fotó: <http://costadelsomagazin.com/content/gronlandi-jeg-ellenall-klimavaltozasnak>)

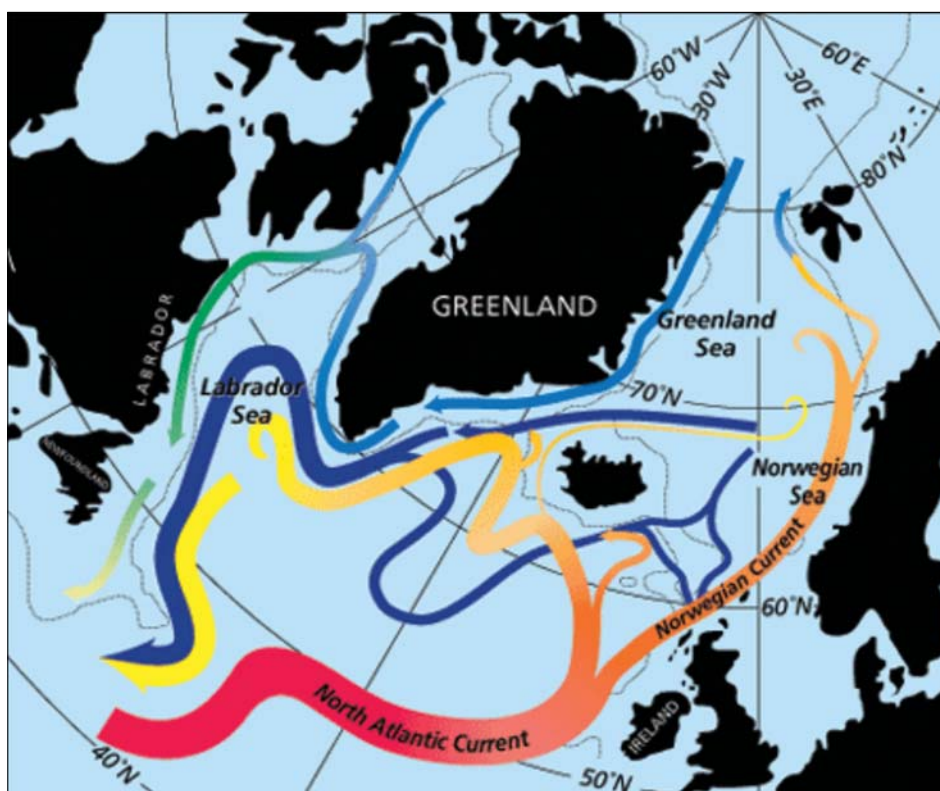
Figure 4 | Seasonal river on the Greenland Ice Sheet in summer

A jégtakaróból kiálló csupasz sziklacsúcsok a sziget keleti oldalán a legmagasabbak (3 970 m). Grönland domborzatát lejtős tömegmozgások, folyóvízi és glaciális erózió egyaránt alakították. Például, a NASA légi radarmérései segítségével Bamber és szerzőtársai (2013) egy 750 km hosszú, helyenként 800 m mély kanyont fedeztek fel a jég alatt, a 72. és 80. szélességi fokok magasságában. Értelmességük szerint a kanyont folyóvíz vágta ki több millió évvel ezelőtt, amikor még nem borította jég a felszín (1. később).

A sziget belsejének felszíne a jég nyomása miatt 300 m-rel a tengerszint alatt fekszik. Állandó felszíni vízfolyás csak egy szűk, part menti sávban a belföldi jég és a tenger között van, illetve a jég tetején, a nyári olvadások időszakában (4. ábra).

A hatalmas jégtakaró lassú és nem egyenletes mozgásban van a sziget szélei felé, és így az alján befagyott kőzet-törmelékkel állandóan erodálja a felszín. Völgyek, gleccserek csak a partvidéken alakulhattak ki. A borjadzó gleccserek homlokzatán a jég a nyári évszakban néha óriási tömegben zuhan a tengerbe, hogy azután hatalmas darabokban (jéghegyek), úszva folytassák útjukat D felé. Évente mintegy 450–550 gigatonna (km^3) víz kerül a tengerbe jéghegyek formájában (Benn et al. 2017). Az úszó jéghegyek és Grönland délnyugati partjáig eljutó Irming-áramlás (5. ábra) okozta gyakori köd veszedelmet jelent a hajózás számára.

Grönland keleti partja mentén dél felé folyik a Kelet-Grönlandi Áramlat, amely hideg és kevésbé sós vizet szállít



5. ábra | Tengeráramlatok (piros-sárga átmenet kihűlő, kék-zöld átmenet felmelegedő tengeráramlás) az Atlanti-óceán É-i felén (Észak-atlanti vagy Irming-áramlás pirossal, Kelet-grönlandi áramlás késsel és Nyugat-grönlandi áramlás kék-zölddel)

Figure 5 | North Atlantic Ocean current map (red-yellow getting cold, blue-green warming currents)

(5. ábra). A nyugati part mentén észak felé folyik a Nyugat Grönlandi Áramlat a Davis-szoros felé; az áramlat egy része összekapcsolódik a Labrador-áramlattal, míg másik része tovább halad a Baffin-öbölbe. A nyugati parton, 68° N-nál ömlik a tengerbe a Jacobshavn-gleccser, amely évente 1400 db jéghegyet „borjadzik”. Ez az északi féltéken a legnagyobb gleccser.

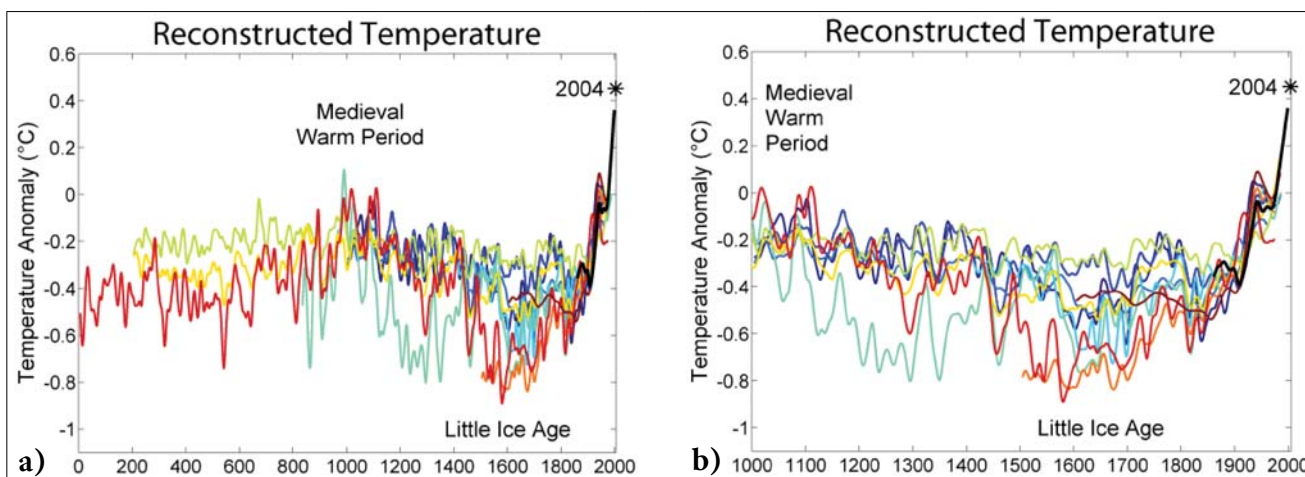
Éghajlat, klíma

Grönland éghajlata arktikus. A legmagasabb hőmérséklet 10–18 °C körüli a déli területeken, és 5–10 °C északon, de ez csak rövid ideig tart. Az időjárás többnyire nedves és szeles, és gyorsan változik. A partok közelében gyakori a ködképződés. Grönland északi része csapadékban annyira

szegény, hogy „sarki sivatag”-nak tekinthető. Eső csak Grönland déle részén esik. Hóesés bármelyik hónapban előfordulhat, gyakoribb a déli és nyugati területeken, mint északon. Éves mennyisége 25–110 cm, délnyugaton a 400 cm-t is meghaladja (Ettema et al. 2009). A belföldi jégár központi részén, a hó nem elolvad, hanem inkább szublimál.¹⁾ Nyáron nagy mennyiségű jég olvad el az alacsonyabban fekvő területeken (ablációs zóna), ahol gyakran alakulnak ki időszakos folyók a jég felszínén (4. ábra).

A tél októbertől márciusig tart, ezalatt a Nap az északi területen hónapokig nem emelkedik a láthatár fölé. Délen a hőmérséklet –20 °C körüli, északon –40 °C is lehet, ami akár hetekig tarthat. Májustól július közepéig a sarkkörön túl a Nap nem nyugszik le.

Ha a globális felmelegedés trendje folytatódik és Grönland jégtakarója elolvadna, akkor a tenger szintje 30 év alatt



6. ábra 2000, illetve 1000 év rekonstruált hőmérséklet-változásai különböző források alapján (források alább)
Figure 6 Reconstructed temperature of the last 2000 and 1000 years (references see below, from Wikipedia)

(*sötétkék* 1000–1991): P. D. Jones, K. R. Briffa, T. P. Barnett, S. F. B. Tett (1998): High-resolution palaeoclimatic records for the last millennium: Interpretation, integration and comparison with general circulation model control-run temperatures. *The Holocene*, 8, 455–471. doi: 10.1191/095968398667194956

(*világoskék* 1000–1965): Crowley and Lowery (2000): Northern Hemisphere Temperature Reconstruction. *Ambio* 29, 51–54. Modified as published in Crowley (2000): Causes of Climate Change Over the Past 1000 Years. *Science*, 289, 270–277. doi: 10.1126/science.289.5477.270

(*türkizkék* 831–1992): J. Esper, E. R. Cook, F. H. Schweingruber (2002): Low-frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstructing past temperature variability. *Science*, 295/5563, 2250–2253. doi:10.1126/science.1066208

(*sárga* 200–1995): P. D. Jones, M. E. Mann (2004): Climate over past millennia. *Reviews of Geophysics*, 42, RG2002. doi: 10.1029/2003RG000143

(*piros* 1–1979): A. Moberg, D. M. Sonechkin, K. Holmgren, N. M. Datsenko, W. Karlén (2005): Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low- and high-resolution proxy data. *Nature*, 443, 613–617. doi: 10.1038/nature03265

(*fekete* 1856–2004): Instrumental data was jointly compiled by the Climatic Research Unit and the UK Meteorological Office Hadley Centre. Global Annual Average data set TaveGL2v

(*kék* 1000–1980): M. E. Mann, R. S. Bradley, M. K. Hughes (1999): Northern hemisphere temperatures during the past millennium: Inferences, uncertainties, and limitations. *Geophysical Research Letters*, 26/6, 759–762

(*halványkék* 1402–1960): K. R. Briffa, T. J. Osborn, F. H. Schweingruber, I. C. Harris, P. D. Jones, S. G. Shiyatov, S. G. E. A. Vaganov (2001): Low-frequency temperature variations from a northern tree-ring density network. *J. Geophys. Res.*, 106, 2929–2941

(*zöld* 200–1980): M. E. Mann, P. D. Jones (2003): Global surface temperatures over the past two millennia. *Geophysical Research Letters*, 30/15, 1820. doi: 10.1029/2003GL017814

(*narancssárga* 1500–1980): S. Huang (2004): Merging information from different resources for new insights into climate change in the past and future. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L13205. doi:10.1029/2004GL019781

(*vörös* 1600–1990): J. H. Oerlemans (2005): Extracting a climate signal from 169 glacier records. *Science*, 308, 675–677. doi: 10.1126/science.1107046

4 m-rel megnövekedne, s a víz elöntené New York-ot, Los Angeles-t, Londont, Koppenhágát, Szentpétervárt, Murszskot, Odesszát, Vlagyivosztokot (Blinnikov 2011).

Az éghajlat Grönlandon jelentős változásokon ment keresztül az idők folyamán. 70 millió éve Grönland területét még nem borította jég. Ma viszont a sziget nagyobbik részét állandó jég borítja.

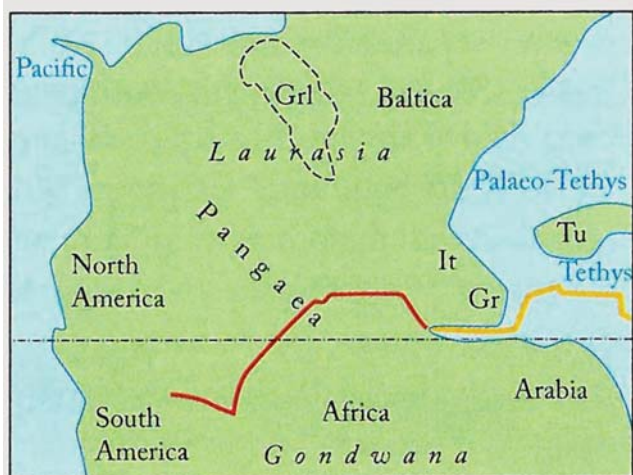
A sziget első telepesei 982-ben „zöld föld”-nek írják le és nevezik el a szigetet, amely az egyik legnagyobb sziget, és az Antarktisz mellett a legnagyobb sarki környezetben található szárazföld. A 15. századra a viking települések (az éhínségek és az inuit eszkimókkal keletkező konfliktusok miatt) megszűntek létezni. Az ismétlődő éhínségek fő oka a *kis jégkorszak*²⁾ volt, vagyis az éghajlat kedvezőtlenebbé válása. A sziget elnéptelenedésével párhuzamosan kihaltak a grönlandi vikingek is.

A földtani és glaciológiai kutatások célja

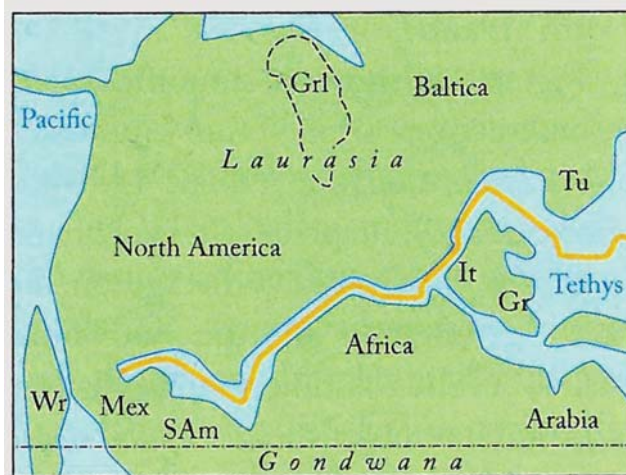
A rövid földrajzi és történelmi áttekintés felhívja a figyelmünket néhány érdekes momentumra.

Az első kérdés, hogy milyen okai voltak annak, hogy a vikingek elindultak őshazájukból a 800-as években azért, hogy a fél világot meghódítsák, kirabolják és leigázzák azt. Két lehetőség is adódik: az egyik, hogy az életfeltételek (pl. felmelegedés) javulása miatt túlzott népszaporulat állt be, ezért a lakosság szegényebb, de harciasabb része elindult új területek és új javak megszerzésére; a másik lehetőség ennek a fordítottja: mivel az életfeltételek leromlottak, az adott terület már nem bírta eltartani a lakosságot, ezért annak egy része elhagyta otthonát, hogy máshol új életet kezdjen. Mindkét ok kapcsolatban áll a klímával. Persze a vikingek vándorlásának más oka is lehetett. Ilyen lehet például a hajózás (tájékozódás) fejlődése, amely lehetővé tette nagy távolságok biztonságos megtételét. Egy újabb ok lehet az, hogy társadalmi (harcászati) szerveztségben olyan fokot értek el, amelyet a többi európai népek még nem, ezért fölértek kerekedhetnek. Erre példa, hogy a különböző ősi orosz népcsoportok meghívták magukhoz vezetőiket a vikingeket, és segítségükkel állammá szerveződtek az addig külön élő szláv népcsoportok (Szolovjov 1879).

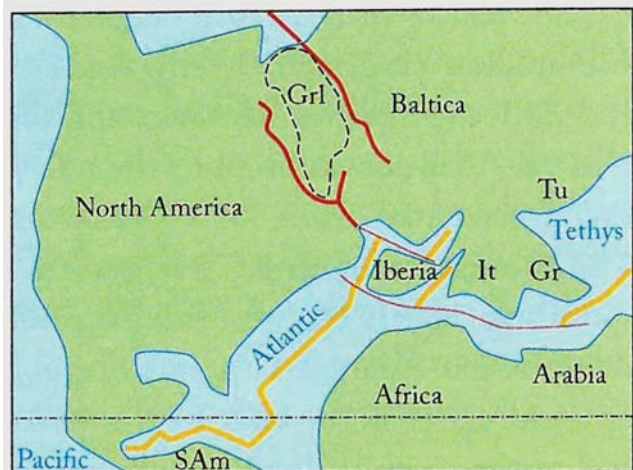
a) Late Triassic/Keuper (230 Ma)



b) Middle Jurassic/Dogger (170 Ma)



c) Early Cretaceous (120 Ma)



— Initial Rift — Spreading zone
— Transform fault

7. ábra | Grönland (Grl) helyzete és riftesedése a mezozoikumban (230, 170 és 120 Ma, Pfißner 2014) (It – Italy, Gr – Greece, Tu – Turkey, Mex – Mexico, Sam – South America, Wr – Wrangellia, Initial Rift – kezdeti riftesedés, spreading zone – kinyílási zóna, transform fault – transzform vetők)

Figure 7 | Rift systems in the Mesozoic (230, 170 and 120 Ma, Pfißner 2014) and the location of Greenland (Grl)

A másik érdekes momentum, hogy amikor a vikingek meghódították Grönlandot, akkor a sziget zöld volt, ami olyan klímát jelez, ahol állattartással, földműveléssel meg lehet élni. A vikingek nyilván a tengerparti részeken, egy viszonylag szűk sávban telepedtek meg. Kb. 500 évig éltek Grönlandon és a kipusztulás, illetve a sziget elnéptelenedése a *kis jégkorszak*nak köszönhető. Azaz megint klimatikus okokra vezethető vissza a változás.

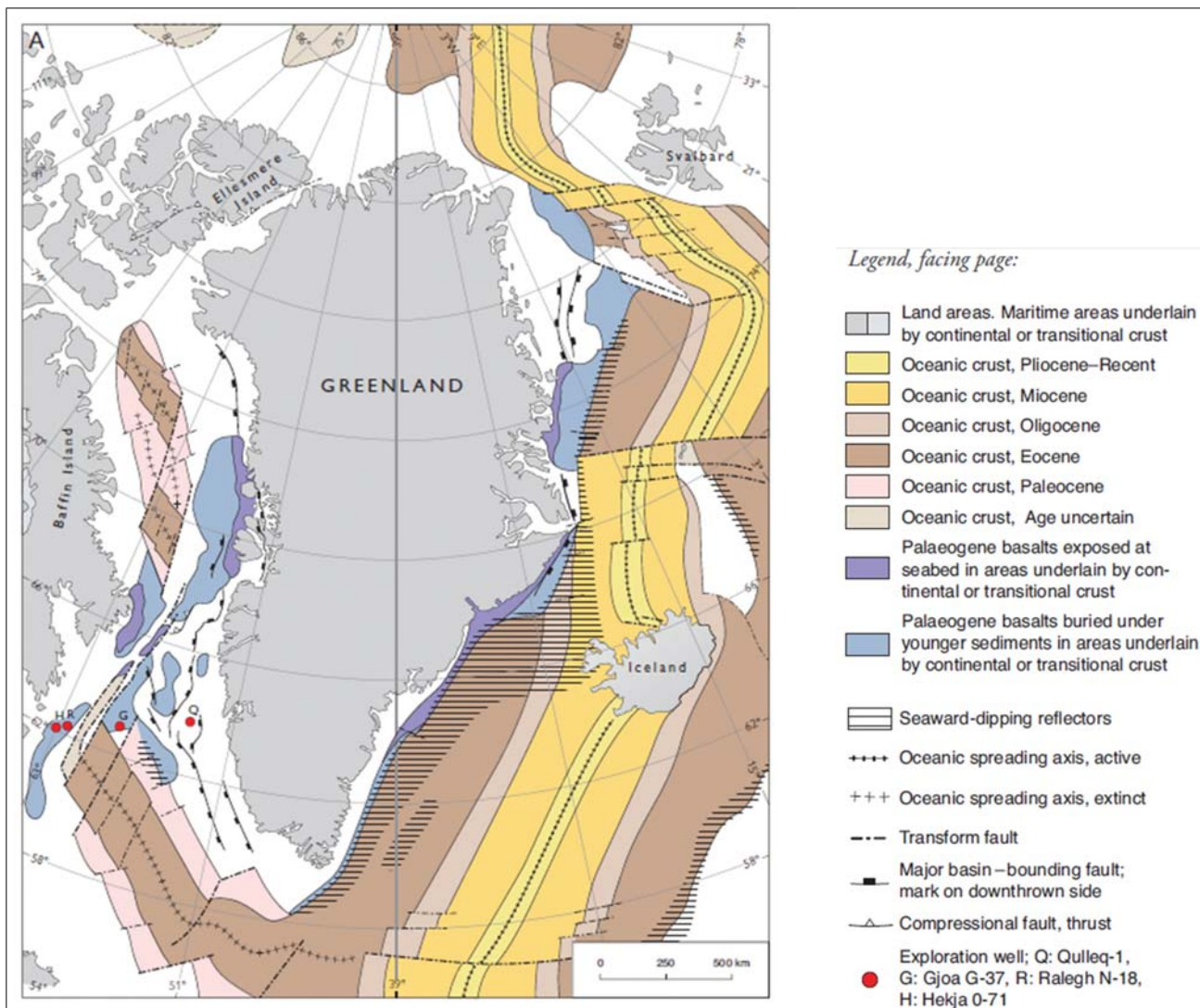
A kis jégkorszak időszakának pontos meghatározása körül jelentős viták vannak a klimatológusok körében. A szóban forgó korszakot az ún. középkori éghajlati optimum (Medial Warm Period) előzte meg (6. ábra), ennek volt köszönhető, hogy a vikingek le tudtak telepedni Grönlandon (a viking kalandozások is valószínűleg ezzel magyarázhatók).

Mindezekből látszik, hogy az emberiség iparosodás előtti történetében is dokumentálhatóan jelen van a klímaváltozás és annak hatása a civilizációra. Vizsgálni kell

tehát ezeket az emberiségtől független tényezőket is (például a jégkorszakokat), az éghajlatváltozást előidéző okok pontos diagnózisának felállításához – ilyen lehet például a vulkanizmus szerepe is.

Grönland kutatása erre ad lehetőséget, mert a szigetet 90%-ban tartósan lefedő jégpáncél nagyon érzékenyen reagál a belső földtani és a külső légköri változásokra. Nagyon fontos azonban, hogy e két külső és belső eredetű változás hatását pontosan megismerjük, és beazonosítsuk például Grönland területén, mert ezek megismerése közelebb vihet minket a klimatikus jelenségek pontosabb megértéséhez.

Rengeteg kutatási projekt foglalkozik a klímaváltozással és annak hatásával, s tulajdonképpen a cikk megszületése, a földtani és geofizikai adatok vizsgálatával is ehhez a témakörhöz kapcsolódik, annak alapkutatási részének egy szeletét mutatja be vázlatosan.



8 ábra | Grönland lemeztektonikai helyzete (Henriksen et al. 2009). (A különböző, paleocén–eocén–oligocén–miocén–pliocén korú óceáni kéregképződmények és a paleogén bazaltok helyzete)

Figure 8 | Plate-tectonic environment of Greenland (Henriksen et al. 2009)

Kéreg-, litoszféraszerkezetek

Grönland kialakulásának néhány mozzanata szemléletesen megjelenik az Alpok geológiáját ismertető könyv (Piffner 2014) bevezető lemeztectonikai fejezetében (7. ábra). Jól látszik, hogy hogyan kezdődött el a riftesedés és hogyan kezdett Pangea feldarabolódni, majd Grönland leválni egyrészt a Baltikumról, másrészt Észak-Amerikáról.

Látszik, hogy a feltételezhető divergens lemezmozgásoknak köszönhetően hogyan fejlődtek a kezdeti riftzónák (initial rift), illetve hogyan alakulnak ki az óceán-középi hátságok (spreading zone), majd következő stádiumként a transzform vetők (transform fault) a mezozoikum folyamán. A lemezmozgásoknak, rotációknak köszönhetően az egyik irányban a riftesedés állandósul (Grönland ÉK–K-i oldalán) – folyamatos a kinyílás és az anyagutánpótlás (MOR³), míg a másik irány mentén (Grönland DNy-i oldal), egy bizonyos stádiumban megszűnik a szétnyílás és az anyagfeláramlás (8. ábra). Ny-on a riftesedésnek csak a nyoma marad meg, egy óceáni gerinc- és kanyonvonulat formájában (MOC⁴), amelyet a 9. ábra mutat.

A triász-jurában egy közel K–Ny irányú, aktív riftesedés szelte ketté Pangeát, elválasztva egymástól Észak- és Dél-Amerikát, illetve Európát és Afrikát (7. ábra).

Azóta a kép teljesen átalakult és a kréta időszak után, az É–D-i irányú riftesedés vált dominánssá, szétválasztva az É-i féltekén addig egységes Észak-Amerikát és Euráziát (Lauráziát), a D-i féltekén Dél-Amerikát és Afrikát (Gondwanát), kialakítva a ma ismert, táguló közép-atlanti óceáni hátságot (MOR).

Jelenleg az Atlanti-óceán tágul a Közép-atlanti-hátság mentén, a Csendes-óceán mérete pedig, csökken, évi 2,5 cm-rel, a szudukciós zónák (Amerika Ny-i partvonalai és Ázsia K-i partvonalai) mentén a mélybe süllyedő óceáni lemezek miatt (Young 2009), miközben a kontinentális lemezek nagysága kevésbé változik (azok gyakorlatilag nem vesznek részt a mélybeli konvekciós körmozgásban).

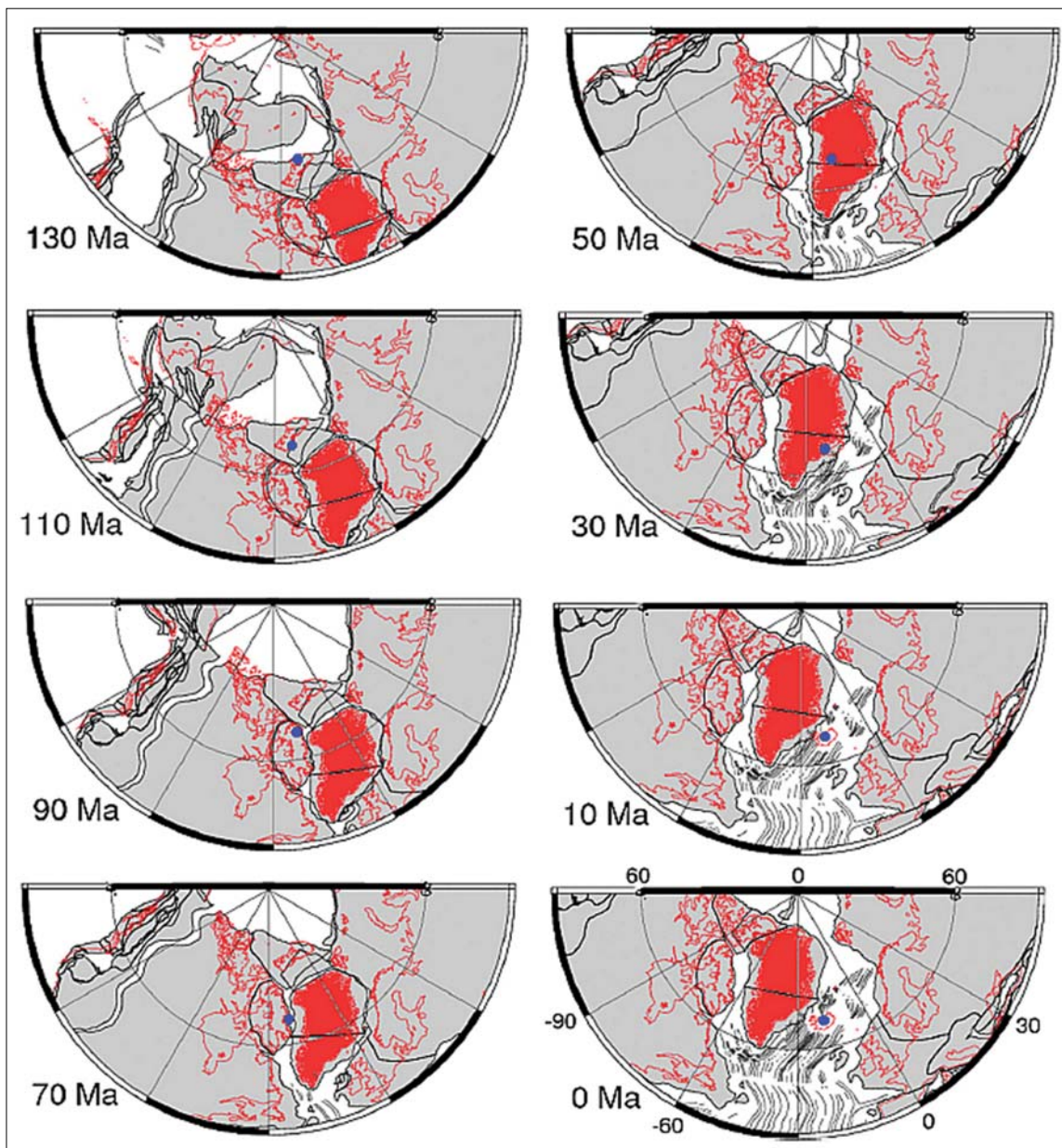
A riftesedési vonalak (esetenként transzform vetők) kereszteződési/elágazódási pontjaiban esetenként hotspotokat⁵ (forrópontokat) azonosíthatunk (pl. Izland és Jan Mayen szigetek). A hotspotok feletti lemez (vagy maguk a hotspotok) vándorlása néha nyomon követhető (a legszemléletesebb példa a Hawaii hotspot), de az izlandi hotspot vándorútját is többen vizsgálták (pl. 10. és 11. ábra, Müller et al. 1993, Braun et al. 2007). Hogy a vándorlás közben milyen lemeztectonikai környezet vette körül ezeket a forrópontokat, azt nem tudjuk.

Müller et al. (1993) vándorlási modelljén látszik, hogy mikor kezdett el aktivizálódni az atlanti-óceáni riftesedés, mivel a paleogénig (70 Ma) a vándorlás É–D irányú (ez a Pangea szétválásának ideje), majd a paleogéntől a mozgás iránya már K–Ny-i (ez Észak-Amerika és Eurázsia szétválásának ideje). A hotspot vándorlásról is többféle elképzelés van (11. ábra) – leginkább azért, mert a több kilométeres jégtakaró Grönlandon nem teszi lehetővé a közvetlen vizsgálatot – a jég keményen őrzi e földrész titkait. Pedig a jégtakaró alatt egy Hawaii típusú magmatizmus nyomai talán ott rejtőznek.

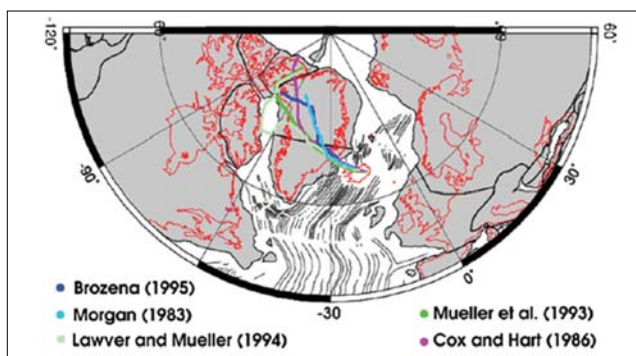


9. ábra Felszíni domborzat és óceánfenék Grönlandtól D-re (Atlanti Óceán). DNy-i oldalon az óceán-középi kanyon (MOC), K-i oldalon a Közép-atlanti-hátság (MOR). Jól azonosíthatóak a kontinentális lemezhez tartozó lépcsőszerűen leszakadó shelf zónák. (részlet, National Geographic 1968)

Figure 9 Surface relief and ocean bed topography S from Greenland (Atlantic Ocean). On SW side is a Mid-Ocean Canyon (MOC), on the SE side is a Mid-Ocean Ridge (MOR). The continental type shelves, surrounded by steep slopes, can easily be identified. (National Geographic 1968)



10. ábra | Grönland lemeztektonikai fejlődése a kainozoikumban és az izlandi hotspot (kék pont) vándorlása (Müller et al. 1993)
 Figure 10 | Plate tectonics of Greenland in the Cenozoic and the locations of the Iceland hotspot (blue point, Müller et al. 1993)

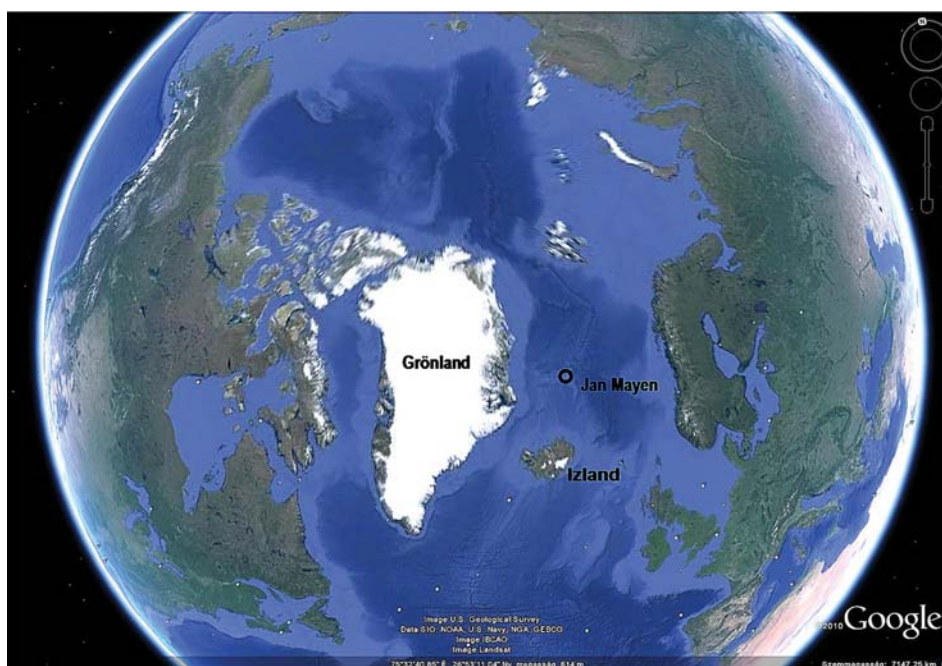


11. ábra | Hotspot vándorlásának útvonala különböző szerzők alapján, 130 Mév-től napjainkig (Braun et al. 2007)
 Figure 11 | Hotspot tracks between 130 Ma and present as reconstructed by different authors (adopted from Braun et al. 2007)

A földkéreg felépítése

A földtani vizsgáldást érdemes a legközvetlenebb, a világhálón mindenki számára elérhető Google Earth segítségével elkezdni, amely tartalmazza a szárazföldi és a tengerfenéki domborzati adatokat, ezáltal láthatóvá válnak a lemezhatárok, az Atlanti-óceáni-hátság és az izlandi és Jan Mayen hotspotok helyzete (12. ábra).

Grönland az észak-amerikai lemez (Laurencia) része, amelynek peremei K-en a Közép-atlanti-hátság, Ny-on pedig, a Csendes-óceán partvidéke. (Ha a Labrador-tenger által jelzett riftesedést nem vesszük figyelembe, ahol a riftesedés a krétában (120 Ma) elkezdődött (10. ábra), de a kinyílás az utolsó néhány ezer évben megszűnt, s így Grönland nem vált le Észak-Amerikáról.)

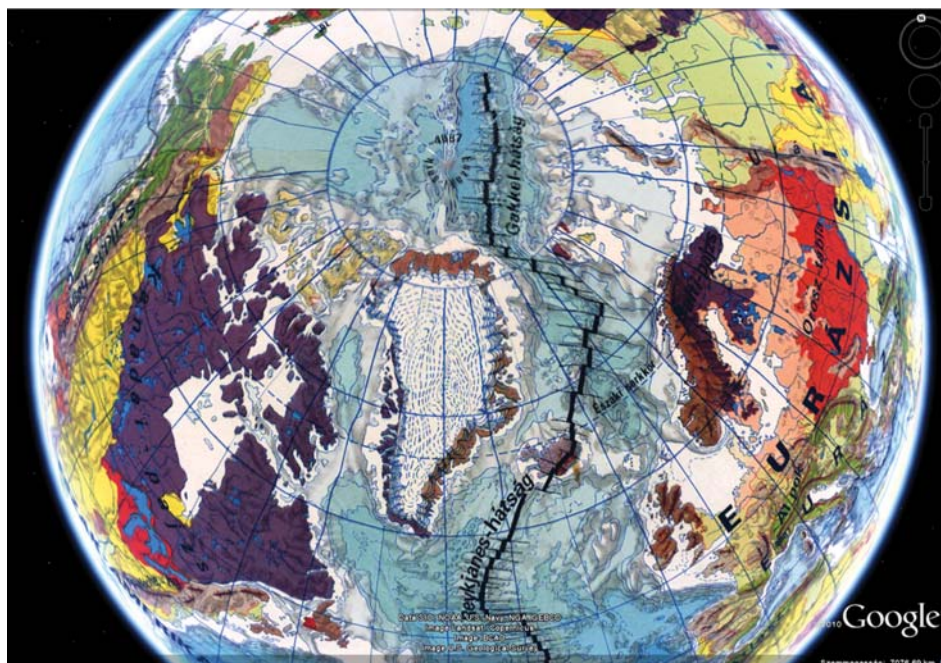


12. ábra Grönland, valamint a Jan Mayen-i és az izlandi hotspotok a Google Earth felületen. (Torzulások a gömbfelület miatt!)

Figure 12 Location of Greenland and the Iceland and Jan Mayen hotspots on Google Earth. (Significant distortion due to spherical projection!)

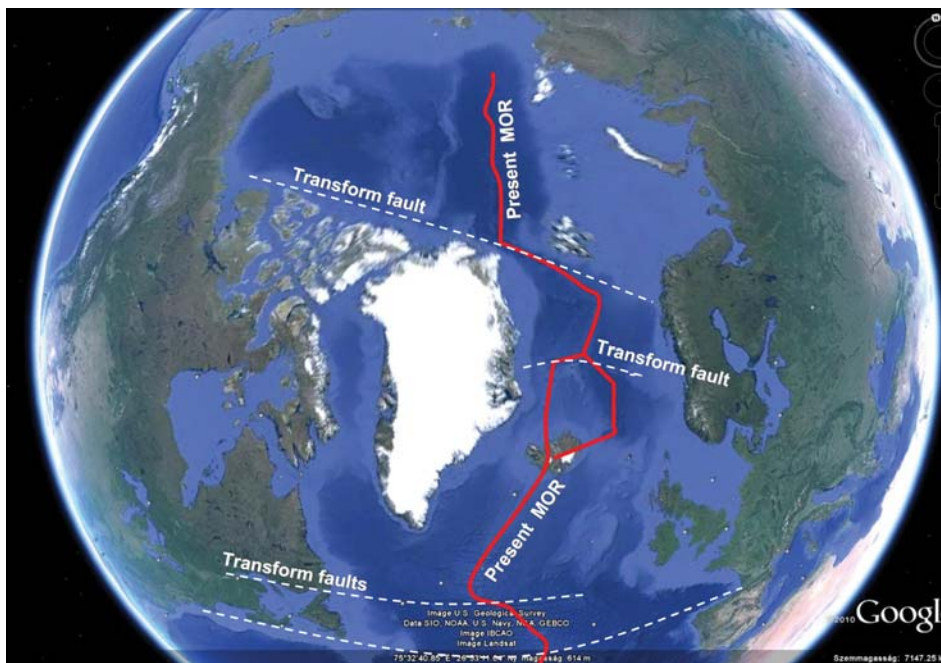
Az Atlanti-óceáni-hátság mentén az óceáni lemez kinyílása, a divergens lemezmozgási sebessége Minster és Jordan (1978) szerint 18 mm/év, ami geodinamikai szempontból lassúnak tekinthető, nincs lemezhatár az atlanti-óceáni és a kontinentális lemezrészek találkozásánál, egy lemez-

ként mozognak Ny-irányban. Grönland K-i partvidékén található a legmagasabb hegyvonulat (Kaledóniai-hegységrendszer – itt a legvastagabb a földkéreg), ami a kaledóniai orogén mozgásoknak (kollízió) köszönhetően alakult ki Grönland és Skandinávia között. Lehet, hogy ennek a



13. ábra A Kartográfia glóbusza ráfészítve a Google Earth-re: transzform vetők, Óceán-középi-hátság és a grönlandi belföldi jég

Figure 13 Globe constructed by "Kartográfia" on Google Earth: transform faults, mid-oceanic ridge and Greenland Ice Sheet



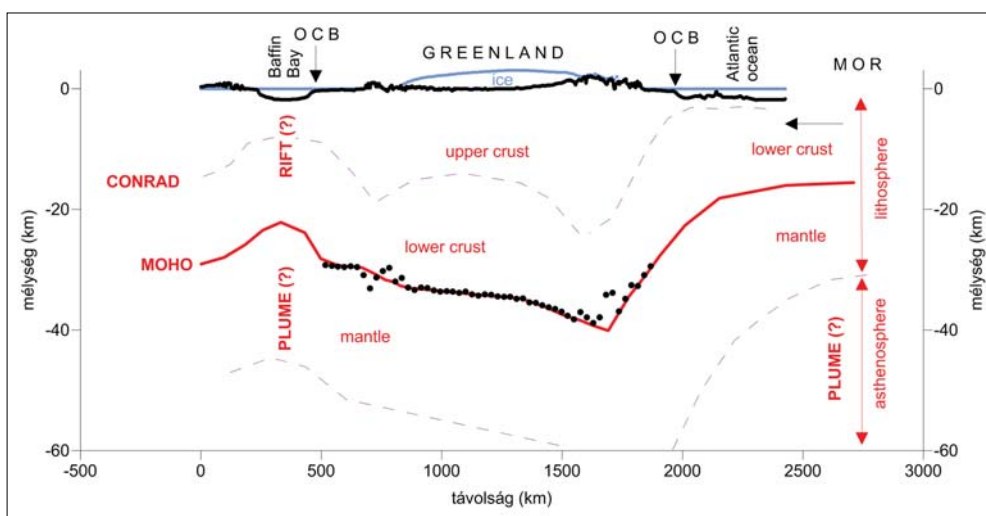
14. ábra | Tengerfenék-mélység alapján azonosítható Óceán-középi-hátság (MOR) és a jelentősebb transzform vetők. (Fehér szín mutatja a jégfedettséget, a torzulás az ábra szélein a gömbfelület miatt jelentős!)
Figure 14 | Mid-ocean ridge (MOR) identified from seabed topography and main transform faults. (Greenland cover is shown by white colour)

hegységnek a gyökérzónája is szerepet játszott abban, hogy az óceáni kéreg nem tudott a kontinentális kéreg alá bukni (szubdukálódni), mivel a Kaledónidák miatt már a kezdet-kezdetén túl vastag volt a kontinentális lemez. Egy másik értelmezés szerint (Schiffer et al. 2014) a geofizikai adatok egy keleti irányba alábukó szubdukcióra utalnak a kora kaledóniai időszakban, amit egy nyugati irányba alábukó szubdukció követett a kelet grönlandi és skandináviai kaledóniai hegységképződés idején. Ennek a jellegzetességnek Grönland litoszférájának felépítésében is meg

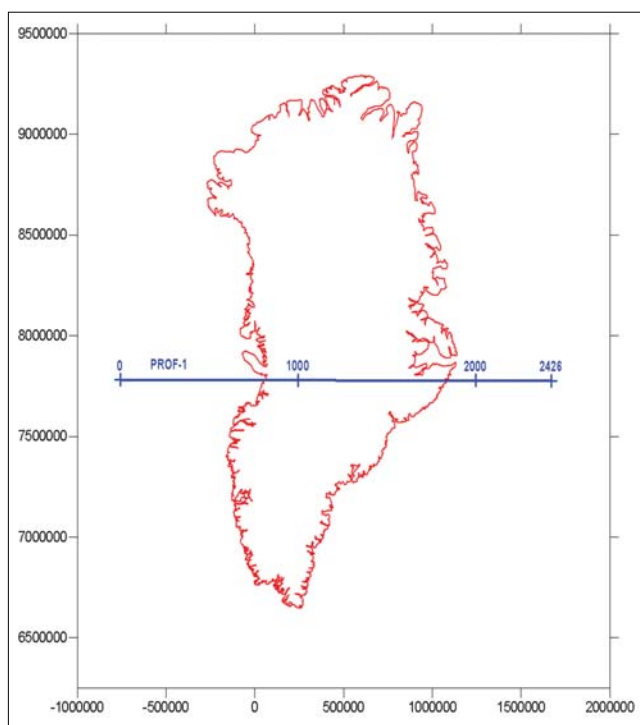
kell jelennie, amelyet a gravitációsanómália-térkép alapján talán azonosíthatunk.

A Kartográfia Vállalat és az ELTE a hagyományos asztali glóbuszok mellett elkészítette a világtérkép KMZ (Google Earth) kompatibilis változatát is (VGM, Virtuális Glóbuszok Múzeuma), amellyel egyszerre jeleníthető meg a domborzatra ráfeszített úrfotó (12. ábra) és a különböző térképészeti elemek, pl. síkrajz (13. ábra).

Izland és Jan Mayen szigeti hotspotok (forrópontok) a közép-atlanti óceáni hátság feláramlási zónájában találha-



15a. ábra | A Ny-K irányú PROF-1 mélység-szelvény várható kéregszerkezeti felépítése gravitációs mérésekből (Airy (1855) lokális izosztázia alapján)
Figure 15a | W-E directed PROF-1 transect of the lithosphere from gravity (based on Airy's (1855) isostatic model)



15b. ábra | A Ny-K irányú PROF-1 szelvény helyzete

Figure 15b | Position of the W-E directed PROF-1 transect of the lithosphere

tók ott, ahol a transzfervetők elmetszik a Közép-óceáni hátság vonalát (14. ábra).

Az óceáni hátság mentén történt kinyílások vizsgálata a hátságtól való 5–12 mm/év (Gaina et al. 2013), illetve 12–22 mm/év (Libak et al. 2012) sebességű távolodást ál-

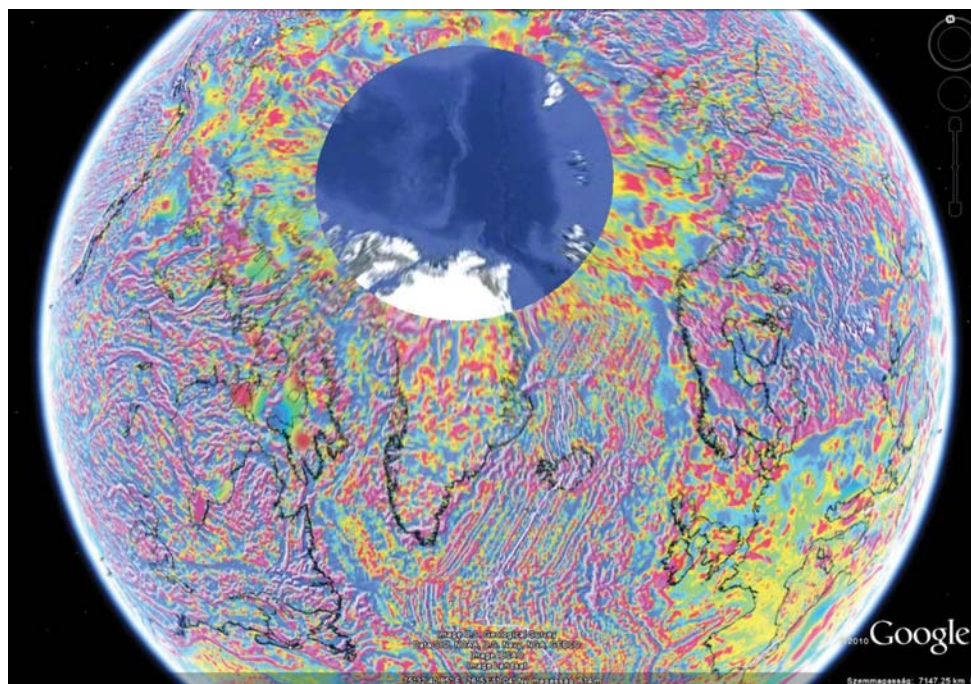
lapítottak meg. Ez 30 Mév alatt 150–360, illetve 360–660 km-t jelent, ha állandó mozgási sebességet feltételezünk. Ennek a távolságnak a kétszeresével (300–720 km, illetve 720–1320 km körül) kell tehát számolnunk Grönland és Skandinávia között.

Grönland és Skandinávia között manapság a távolság körülbelül megfelel ennek, ami azt jelenti, hogy a kinyílás és a kontinensek távolodása azonos nagyságrendű. Az óceáni és a kontinentális lemezek a MOR vonalának mindkét oldalán együtt mozognak, ami azt mutatja, hogy nincs szubdukció!

A korábbi lemeztekonikával foglalkozó cikkünkben (Kiss, Bodoky 2015) beláttuk, hogy a lemezek mozgási sebessége határozza meg a szubdukció kialakulását. Izland környékén a divergens lemezmozgás sebessége alacsony, így szubdukció helyett az óceáni és az észak-amerikai kontinentális lemez Ny-i együttes mozgása valószínűsíthető. Ebben az esetben viszont Grönland mozgását GPS-vizsgálatokkal napjainkban is valószínűleg ki lehetne mutatni (ezekről azonban nincsen elegendő információnk).

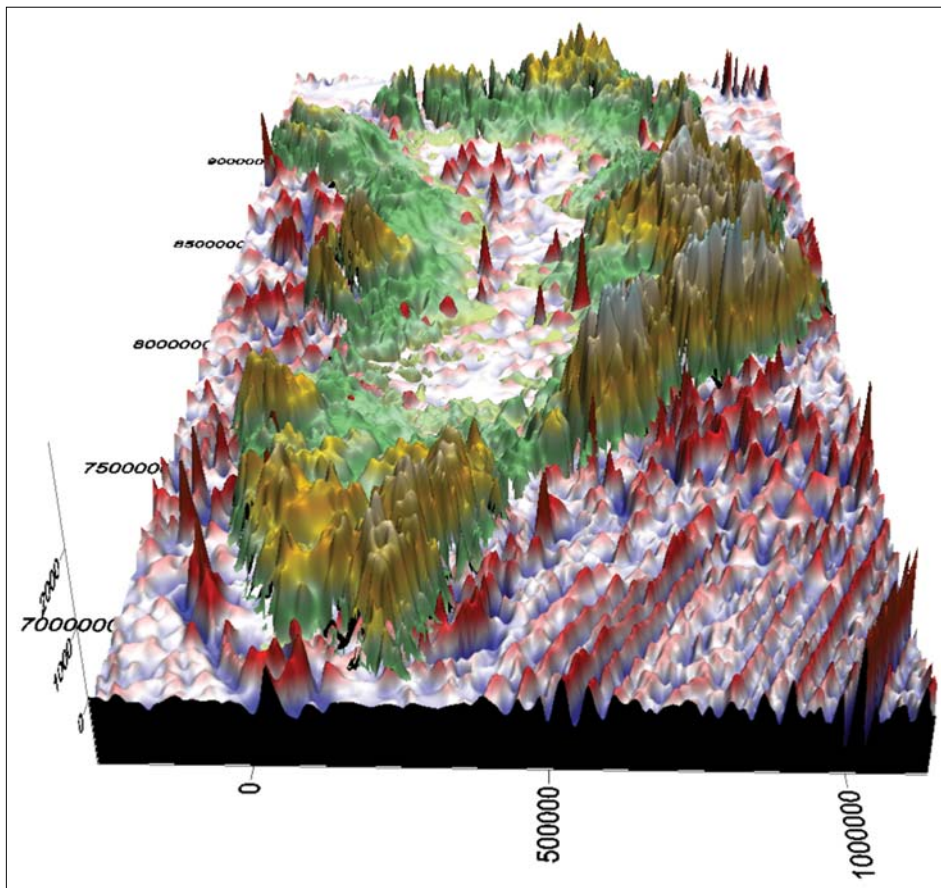
Noha feltételezhető, hogy manapság nincs szubdukció, a múltban valamilyen szintű ütközés (kollízió) és ebből adódó hegységképződés (kőzetanyag-feltorlódás) azonban megfigyelhető Grönland K-i felén a domborzati (Kaledóniai-hegységrendszer) és a Moho-mélység meghatározások adatai alapján (15. ábra). A szeizmikus tomográfiával kimutatott köpenyanyag-áramlás miatt és Atlanti-óceáni-hátság kinyílásából adódóan a Kaledóniai-hegységrendszer a mai napig vagy legalábbis a közelmúltig emelkedett (Steinberger et al. 2014).

Az Atlanti-óceáni-hátság mentén sávosan megjelenő különböző korú bazaltok elterjedését a mágneses térkép



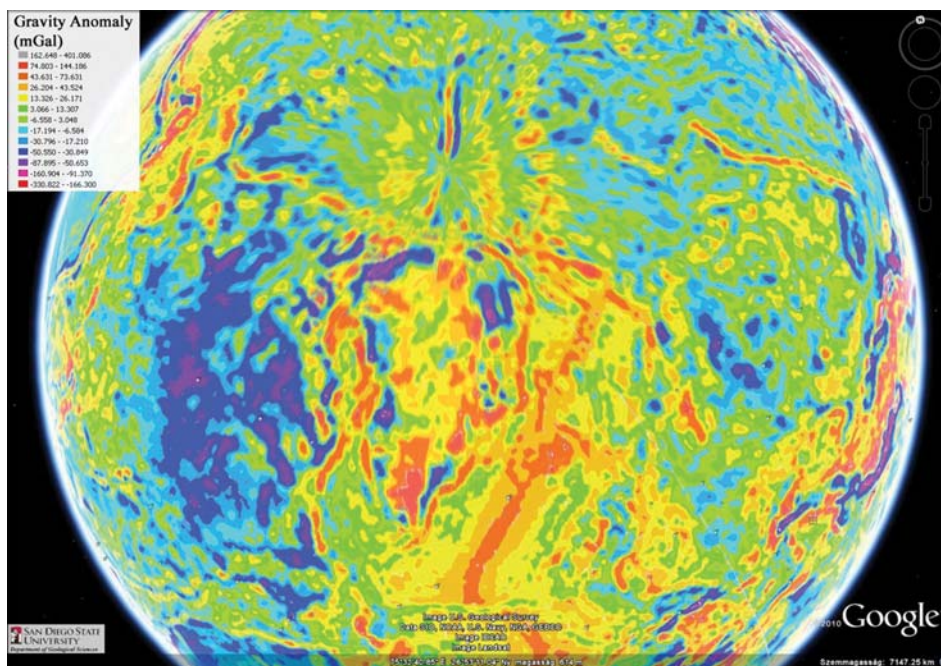
16. ábra | A CHAMP műhold adataiból készült mágneses térkép (WDMAM)

Figure 16 | World Digital Magnetic Anomaly Map (WDMAM, CHAMP satellite)



17. ábra | Grönland jég nélküli domborzata (zöld-sárga-barna színskála) és a szűrt, nagyfrekvenciás mágneses anomáliák (kék-fehér-piros színskála) együttes megjelenítése. Megfigyelhetjük a normál és reverz mágnesezettségű bazaltok által okozott párhuzamos anomáliákat a terület DK-i részén, valamint Grönland tengelyvonalaiban megjelenő „lokális” maximum anomáliákat a földrész közepén és az É-i részén

Figure 17 | Bedrock relief (green–brown colours) and high-frequency magnetic anomalies (blue–red colours) of Greenland. Note the parallel magnetic anomalies over the oceanic basalts at SE part and the local maximums in the middle of Greenland



18. ábra | A Föld gravitációs térképe, Faye-anomália (WGM, GRACE műhold)

Figure 18 | World Gravity Map, Free-air anomalies over Greenland (WGM, GRACE satellite)

alapján határozhatjuk meg. A mánesestér-átfordulásoknak köszönhetően a hátság mentén képződő, normál vagy reverz máneszettségű bazaltok pozitív és negatív anomaliasávokat okoznak. A párhuzamos anomaliasávok jól azonosíthatóan jelentkeznek az Atlanti-óceán felett, Észak-Amerika (Grönland) és Eurázsia között még a CHAMP műhold adataiból készült „a Föld digitális mánesesanomália-térképe” (World Digital Magnetic Anomaly Map, WDMAM, Hemant et al. 2007) alapján is (16. ábra). A bazaltpázták kora meghatározható a mánesesanomália-térkép alapján meghatározott pólusátfordulásokból, és a transzform vetők helye is jól azonosítható a máneses anomáliák alapján.

A 17. ábra szűkebb kivágatának DK-i részén, a szűrt, nagyfrekvenciás mánesesanomália-térképen a Középtlanti-hátságja jellemző sávos máneses anomáliák látszanak kék-fehér-piros színekkel. Grönland DNy-i peremén az óceán-középi kanyon máneses anomáliája is azonosítható. Elérve a kontinentet megjelenik a szárazföld felszíne (jég nélkül) zöld-sárga-barna színskálával. A szárazföld belsejében helyenként nagyfrekvenciás máneses maximum anomáliák jelentkeznek, amelyek az eltérő színezésnek köszönhetően jól látszanak. Az anomáliák pontos földtani azonosítása szinte lehetetlen a 3 km körüli jégvastagság miatt (például Saltus et al. 2011), de a hotspot vándorlása miatt a bazaltos vulkanizmus lehet a máneses hatás oka csakúgy, mint Izlandon (Brozena 1995).

Készült gravitációs, Faye-anomália- (Free-air Anomaly) térkép az egész Földről (a mérési adatokon magasságkorrekciót végeztek, de nem volt Bouguer-korrekció és topográfiai korrekció sem). Ezt a térképet a műholdas

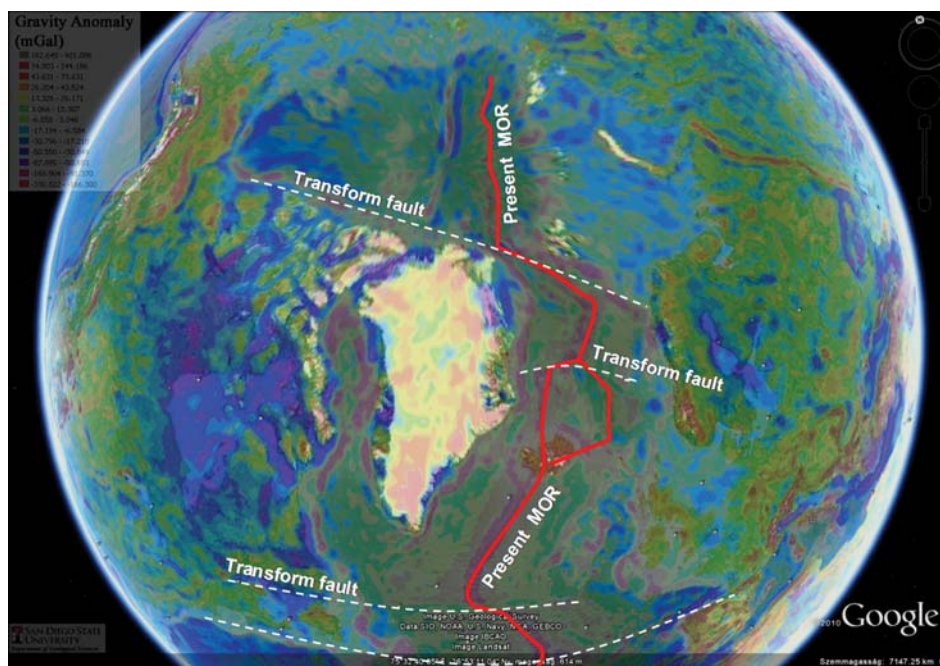
gravitációs mérésnek köszönhetjük, amelyet a GRACE műhold észlelési adataiból készítettek (18. ábra, World Gravity Map, WGM, Bonvalot et al. 2012).

Ezen a térképen azt láthatjuk, hogy az Óceán-középi-hátság jelentős gravitációs maximumot okoz csakúgy, mint a kontinensperemi shelf zónák szélei (Ocean Continent Boundary – OCB, azaz óceán–kontinens perem) így például a grönlandi shelf zónák peremén is.

A grönlandi maximum zónákat Voigt et al. (1999) shelf peremi plio-pleisztocén glaciális üledékes felhalmozódásnak illetve óceáni kéregbeli nagyobb sűrűségű hatóknak tulajdonították. A transzform vetők, például Grönland É-i peremén egyben lemezperemek is, gravitációs maximumot okozva (19. ábra). Az ábrán megjelenő szerkezeteket érdemes a mánesesanomália-térképpel (16. ábra) is összehasonlítani.

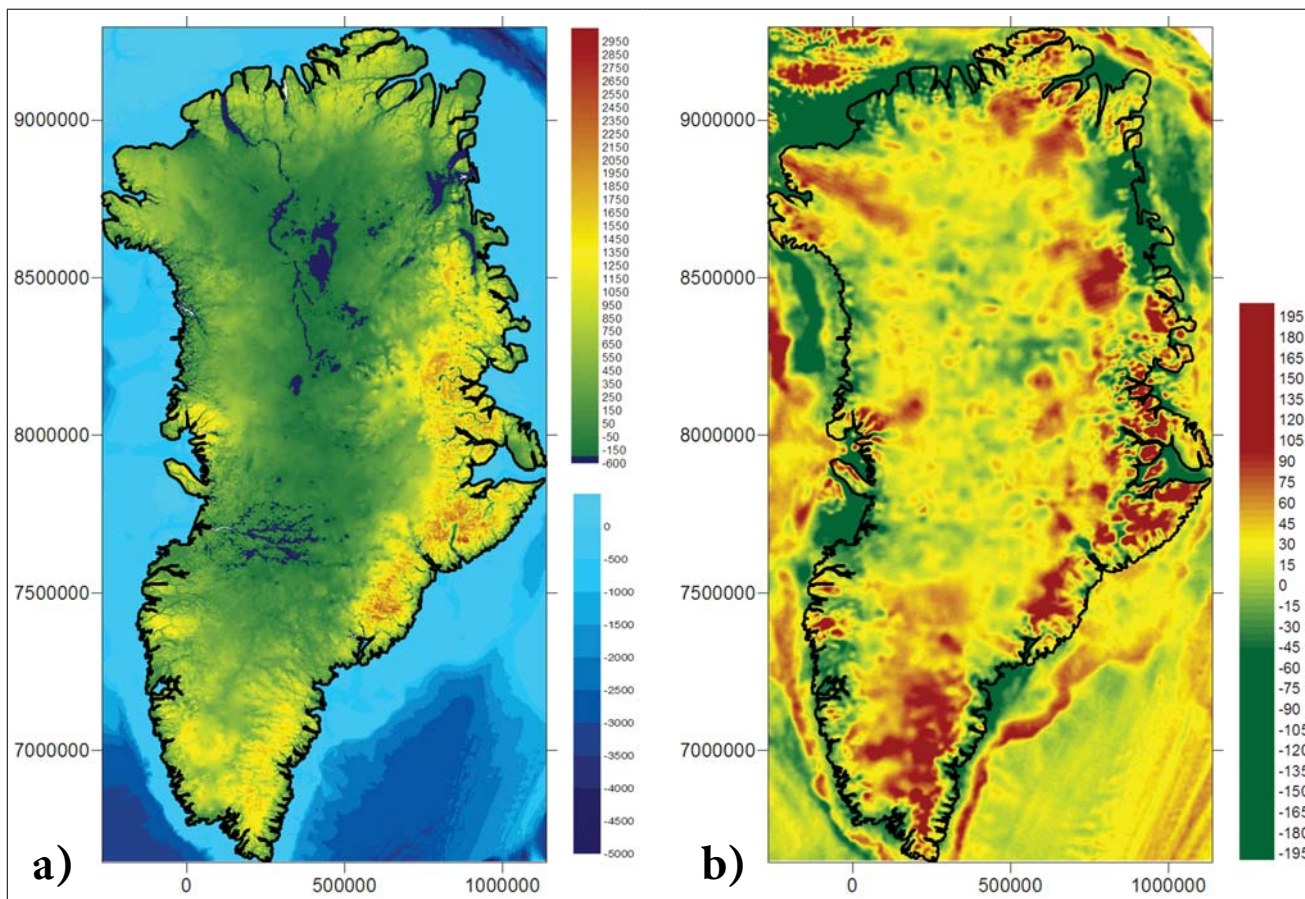
A Faye-anomália-térkép a kontinensek felett főleg a domborzatot képezi le, de a tengerek felett Bouguer-anomália-térképként szokták használni (mivel nincsenek tengerszint fölé emelkedő domborzati hatások). Az óceán mélysége a tengervíz $1,027 \text{ g/cm}^3$ körüli sűrűségével alapvetően meghatározza a gravitációs Faye-anomália menetét. A tengerfenék domborzatával mutat erős korrelációt a Faye-anomália, amitől az óceánok esetében is a Bouguer-lemezkorrekció segítségével lehet megszabadulni (eltüntetjük a tengervíz és tengermélység gravitációs hatását, hogy csak a földkérget felépítő kőzetek hatása jelenjen meg). Ha ezt nem tesszük meg, az téves földtani értelmezéshez vezethet.

A bemutatott térképeken az látszik, hogy az óceán–kontinens átmenet (OCB) igen kontrasztos váltást jelent



19. ábra | Áttetsző Faye-anomália-térkép a Google Earth felületén, az Óceán-középi-hátság és néhány transzform vető vonalával. Jól látszanak a kontinensperemi shelf zónák széleinél kialakult gravitációs maximumvonulatok

Figure 19 | Transparent Free-air anomaly map over the surface of Google Earth with the lines of the MOR and some transform faults. Gravity maximums are detectable along the edges of shelf zones



20. ábra | Grönland kőzetfelszín-domborzata és tengermélysége [a], méterben] és Faye-anomália-térképe [b], mGal-ban]
 Figure 20 | Bedrock topography and ocean depth [in meters, a)] and the Free-air anomaly map [in mGals, b)]

a Faye-anomáliák amplitúdójában és textúrájában is, amit Grönland egészének geofizikai vizsgálatakor is figyelembe kell vennünk (l. később a Prof-1 szelvény anomália-görbéin).

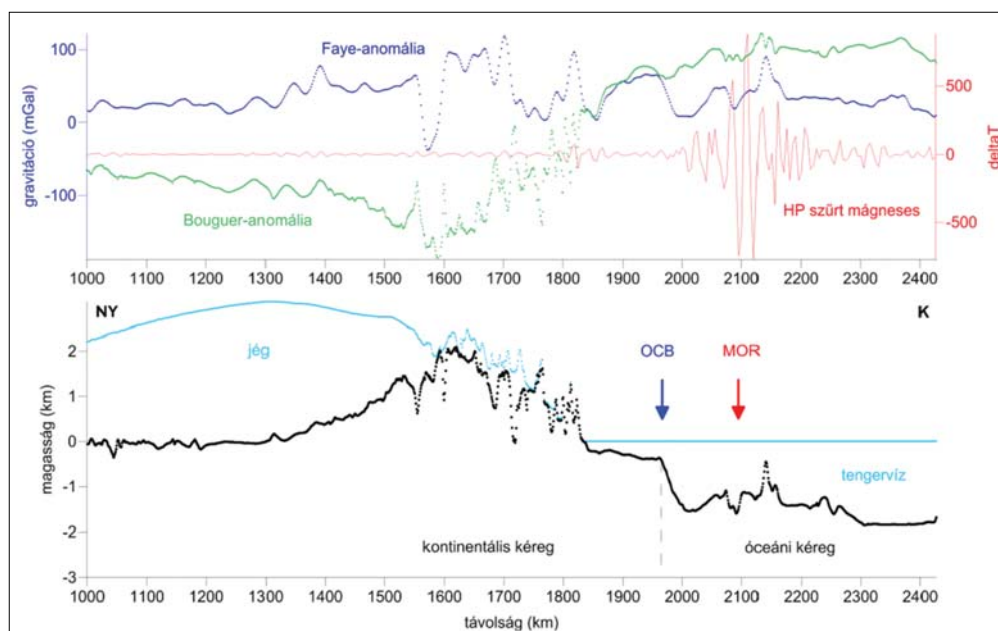
A „valós” területi képhez a gömbfelülettől is meg kell szabadulnunk, másképpen ívelt szerkezetek tömkelegét fogjuk kimutatni, különösen a térkép szélein – át kell térnünk gömbfelületből síkvetületbe. Meg kell ezt tenni annál is inkább, mert egyrészt részletező mérések csak korlátozott területre állnak rendelkezésre, másrészt Grönlandnak mint kontinensnek vizsgáljuk a földtani felépítését, hogy a jégvastagság-változások (klímaváltozások) okát jobban megértsük.

Grönland szűkebb környezete

A részletesebb paramétertérképek vizsgálatához tehát át kellett térnünk távolságtartó, síkvetületbe. Univerzális Transzverzális Mercator (UTM, északi 24-es zóna) síkvetületet választottuk, amelynek közép hosszúsági köre 39 fok nyugat és Grönland É–D irányban elnyúlt alakja miatt minimalizálja a területi torzulásokat. Grönland szűkebb környezetének domborzati térképét,⁶⁾ amelyet főleg repülőgépes radarmérések adataiból állították össze,⁷⁾ a

20a. ábrán láthatjuk. Az óceán esetében a tengermélységét látjuk, amelyek természetesen a tengerjáró hajók tengerfenék-méréseiből származnak. Az ábra érdekessége, hogy a szárazföld belső domborzatának egy része a tengerszintje alatt van, ami a közel 3 km vastag jégtakaró súlyával magyarázható. A kőzetfelszín domborzatának kialakulása – a kontinens szélein jelentkező hegyvonulatokkal és a középtengely mentén található, tengerszint alatti területrészekkel – lemeztektonikával és glaciális izosztáziával magyarázható.

A szárazföldi domborzat (20. ábra) térképén látható az a ~740 km hosszú, 800 m mély kanyon, amely Grönland közepétől húzódik ÉÉK-i irányba (Bamber et al. 2013), ahol aztán eléri a tengert. A kanyonban, a jégtakaró alján a vastag jégtakaró hőszigetelő hatása és a jégmozgás által okozott nyírófeszültségek miatt a jég egy része megolvadhat. Ekholm et al. (1998) radarmérésekkel mutattak ki víz halmazállapotú anyagot a kanyon alján, amelynek egy része újra megfagy, hatalmas, 200–1000 m vastag, viszonylag meleg jégtömböket formálva (Bell et al. 2014). A kanyont színezéssel is próbáltuk kiemelni, a legmélyebb részek és a korábban már említett kanyon mélységtartományát kék színnel jelöltük a domborzati térképen (20a. ábra). A kanyon a viszonylag sűrű mintavételezésnek köszönhetően vált kimutathatóvá – a radarmérések a vonal mentén sűrű



21. ábra A PROF-1 szelvény K-i részének domborzata (alul) és a Faye-, Bouguer-anomália- és HP szűrt mágneses anomália-görbéje (felül) az É-D koordináta 7778 km-e mentén (15. ábra). Az OCB megjelenését a mágneses anomáliák megszűnése és gravitációs maximum megjelenése mutatja. A MOR helyét a legnagyobb amplitúdójú mágneses anomáliák jelzik

Figure 21 Bedrock and ice surface along the eastern part of PROF-1 (below) with the Free-air gravity and high frequency (high-pass filtered, HP) magnetic anomaly profile (above). The OCB is marked by the western end of high-amplitude, high-frequency magnetic anomalies and the local gravity maximum. MOR is located at the highest magnetic anomaly amplitudes

(3,25–50 m), de vonalak között már nem egyforma (több kilométeres) sűrűséggel fedik le Grönlandot.

Tengeri Bouguer-anomália

A 20b. ábrán a Faye-anomália- (free-air) térképet⁸⁾ láthatjuk. Érdeemes megfigyelni a kontinens shelf peremrészeit, azaz az óceáni és kontinentális lemezek határát, amely gravitációs Faye-anomália maximumvonulatai formájában jelentkeznek a kontinens partvonalain túl, jelezve a tenger mélységének és a tengerszint alatti kőzetek anyagi összetételének változását.

Vajon miért maximumzónaként és nem gravitációs lépcsőként jelenik meg az OCB vonala? Az óceáni és a kontinentális tábla határvonalában kisebb fajta konverziós deformációk – gyűrődések és delaminációs jelenségek – elképzelhetőek, amelyek megmagyaráznák a maximumot, ugyanakkor a tengerfenék mélységadatai alapján ennek semmi nyoma (21. ábra). Persze mindez megjelenhet a kőzettani felépítésben is, jelentős sűrűséganizotrópiát okozva (pl. Voigt et al. 1999). Bár nehéz elképzelni, hogy az 1–2 km mélységben a „fiatal” üledékes kőzetek 100 mGal-os maximumot okozzanak.

Másik magyarázat is van azonban. Mivel a Faye-anomália érzékeny a domborzatra, így a tengerfenék szintváltozásaira is érzékeny lesz. A szárazföldön ettől a domborzati hatástól a Bouguer-lemezkorrekcióval szabadulunk meg, azaz kiszámítjuk az egyszerű Bouguer-anomáliát. (Az abszolút Bouguer-anomália kiszámításához a topo-korrekciót (*terrain correction*) is el kellene végezni.)

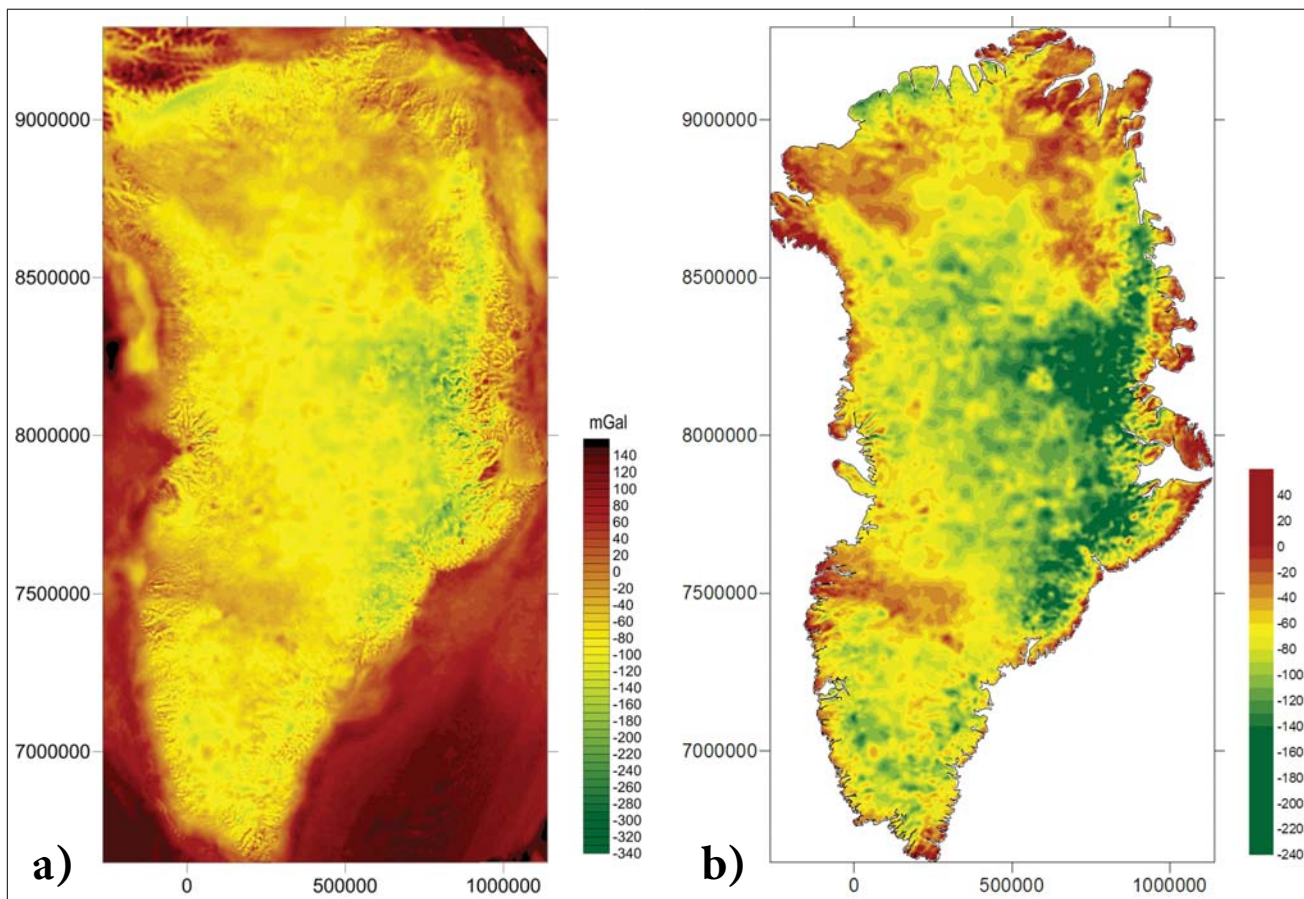
Az óceánok esetén is be kell vezetni egy ilyen jellegű korrekciót (mint pl. Lillie (1999), bár ő a korrekció során feltöltötte a tengert 2,67 g/cm³ sűrűségűre), ha a gravitációs anomália-térképen a kőzetek sűrűségkülönbségéből származó hatásokat akarjuk látni és nem a tengerfenék-morfológiát. Ehhez el kell tüntetni a változó vastagságú tengervíz-oszlop gravitációs hatását ugyanúgy, ahogyan a Bouguer-lemezkorrekcióval tettük, a különbség csak annyi, hogy korrekciós sűrűségként a tengervíz sűrűségét használjuk:

$$\text{tengervíz-korrekció} = 0,041878 \times 1,027 \times h_{\text{tengervíz}}$$

ahol, $h_{\text{tengervíz}}$ = a tengerfenék mélysége (m_{asl}).

Kicsit előreszaladva, a PROF-1 szelvény mentén bemutatjuk a Faye-anomália mellett az egyszerű Bouguer-anomáliagörbét is (21. ábra), látszik, hogy a tengerfenék hullámzásából származó hatás a shelf peremén szinte eltűnik. A megmaradt lokális maximum már sokkal inkább magyarázható a Voigt et al. (1999) által felvázolt földtani modellel. Jól látszik a Bouguer-anomáliamaximumok alapján a nagyobb sűrűségű óceáni kéreg hatása, amely a kontinens felé folyamatos átmenettel a kisebb sűrűségű, vastag kontinentális kéreg által okozott Bouguer-anomáliaminimumba megy át. A Kaledónidák alatt megjelenő izosztatisztikus gyökérzóna jelenti a legnagyobb minimumot.

Jól látszik a tengerszint felett lévő jég és kőzet, valamint az alatta lévő tengervíz hatása a Faye- és Bouguer-anomáliák összevetése alapján.



22. ábra | Változó (jég- és kőzet-) korrekciós sűrűséggel kiszámolt Bouguer-anomália-térkép a teljes területre (a) és csak a szárazföld területén (b)

Figure 22 | Bouguer anomaly map calculated by variable (rock and ice) reduction density for the full area (a) and for the continental part of Greenland (b)

Szárazföldi Bouguer-anomália

A Faye-anomália (Free-air) adatából és a jég- és kőzetfelszín magassági adatokból kiszámoltuk a Bouguer-korrekció értékét $2,67 \text{ g/cm}^3$ (kéreg) és $0,917 \text{ g/cm}^3$ (jég) sűrűségértékekkel (pontról-pontra figyelembe véve az adott helyen a tengerszint feletti kőzet- és jégvastagságot). A korrekció során, a tengerszint felett található eltérő közegek miatt, néhol csak a jéggel, máshol csak a kéreggel, és van, ahol a kettő keveréke által meghatározott vegyes sűrűséggel kellett számolni.

A több kilométer vastag szárazföld és/vagy jég a súlyánál fogva izosztikus hatást is okoz (a kontinens belenyomódik a köpenybe). Ez Bouguer-anomáliaminimumként jelentkezik az óceáni lemez felett a kiemelt köpeny és vékony kéreg miatt tapasztalt maximumokhoz képest (22a. ábra). Az óceáni területeken elvégeztük a tengeri Bouguer-lemezkorrekciót is.

A szárazföld földtani felépítésének részletesebb tanulmányozásakor az óceáni lemez nagy gravitációs hatásának kizárása (levágása) szükséges, és csak a kontinensre eső Bouguer-anomáliaadatokat érdemes figyelembe venni (22b. ábra).

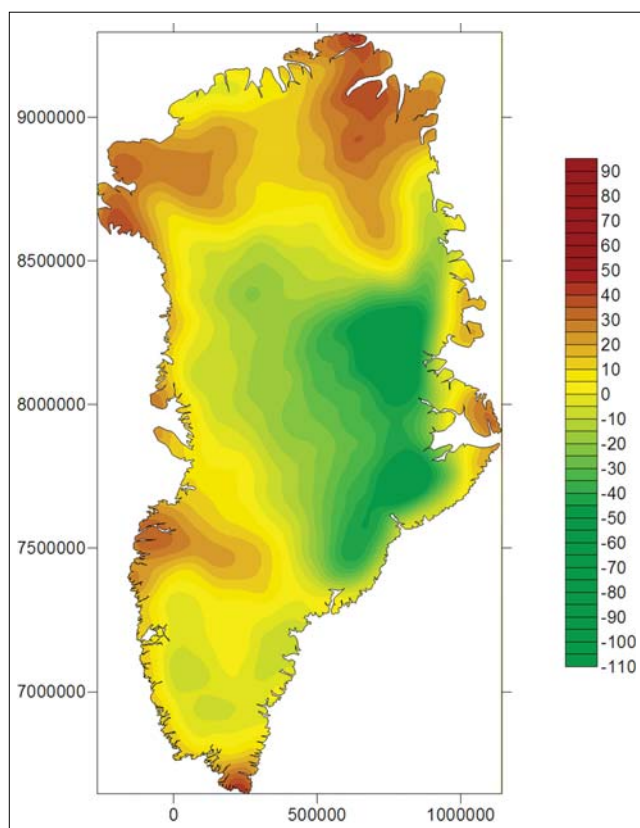
A Bouguer-anomália-térképet vizsgálva, hamar meggyőződhetünk arról, hogy a térkép legfőbb sajátosságait a

mélybeli hatások adják. Erre példa az 50 km-re analitikusan felfelé folytatott Bouguer-anomália-térkép (23. ábra), amely a felfelé folytatás ellenére megőrizte az eredeti Bouguer-anomália-térkép jellegét, és a térkép értéktartománya sem változott jelentősen. Ez azt mutatja, hogy az anomáliákat főleg mélybeli kéreg-, köpenyhatások határozzák meg, ebben benne van a kéregvastagság (Moho-felület), illetve kéreg esetleg köpeny inhomogenitásával és litoszféravastagsággal összefüggő gravitációs hatások.

Izosztázia Grönlandon

A földtani értelmezéshez először meg kell szabadulni a Moho (kéreg–köpeny határfelület) által okozott hatásoktól. A Moho mélységét a lokális (plasztikus) izosztikus modelltől (Airy 1855) kiindulva meg tudjuk határozni. Valószínűleg Vening Meinesz regionális (elasztikus) izosztikus modelljét (Heiskanen, Vening Meinesz 1958) is érdemes lenne kiszámolni és elemezni az értelmezések során, de most, először a lokális modellt vizsgáljuk meg.

A számításokat némileg bonyolítja a nagy vastagságú kontinentális jég jelenléte, de minden adat ismert a korrekció elvégzéséhez. Ki kell számítani Grönland szárazföldi domborzatából a szilárd kéreg által okozott gyökérzónát (*root*) és a jégvastagság által okozott változást, vala-



23. ábra | Analitikusan 50 km-re felfelé folytatott Bouguer-anomáliatérkép

Figure 23 | Bouguer anomaly map analytical upward continuation to 50 km

mint az óceáni részekben a kis sűrűségű tengervíz miatt bekövetkező köpenykiemelkedés mértékét (*antiroot*).

Az izosztázia szempontjából összetett modellel kell számolnunk:

- tengerszint feletti tömegtöbbletek hatása (kőzet, jég),
- tengerszint alatti tömeghiányok hatása (jég, tengervíz, laza üledék).

Ha nem lennének hegyek, dombok, hanem csak a tenger szintjén egy síkság, akkor nem kellene az izosztatikus hatásokkal számolni. A kéregsűrűségű hegyek tömegtöbblete jelentős terhelést jelent, amelyet a rendszer köpenybe nyúló kéreg anyagú gyökérszónákkal (*root*) kompenzál az úszási egyensúly elve alapján (Airy 1855). A terület egy részén azonban a tenger szintje alatt a kéregnél kisebb sűrűségű anyagok (pl. tengervíz, jég, laza üledék) vannak, amelyek tömeghiányt okoznak, ezt a nagy sűrűségű köpenyanyag megemelkedése (*antiroot*) kompenzálhatja.

Grönland esetében is ezekkel a hatásokkal kell számolni, egyedül a laza üledékek hatása zárható ki, mivel Grönland esetében ilyen gyakorlatilag nincs (Henriksen et al. 2009).

1) Tengerszint feletti kőzettömegek hatása (tömegtöbblet)

Az izosztatikus gyökérszónák kiszámítására használt alapképlet (1) általános formája a következő:

$$d_r = d_c + h_{\text{kor}},$$

$$h_{\text{kor}} = [(\sigma_c - \sigma_l) / (\sigma_m - \sigma_c)] h_f, \quad (1)$$

$$h_{\text{kor}} (\sigma_m - \sigma_c) = h_f (\sigma_c - \sigma_l),$$

ahol

d_r – a kompenzációs mélység (*root*);

d_c – a kéreg átlagos vastagsága (30 km);

σ_c – a kőzet (kéreg) sűrűsége (2,67 g/cm³);

σ_l – a levegő sűrűsége (~0,0013 g/cm³);

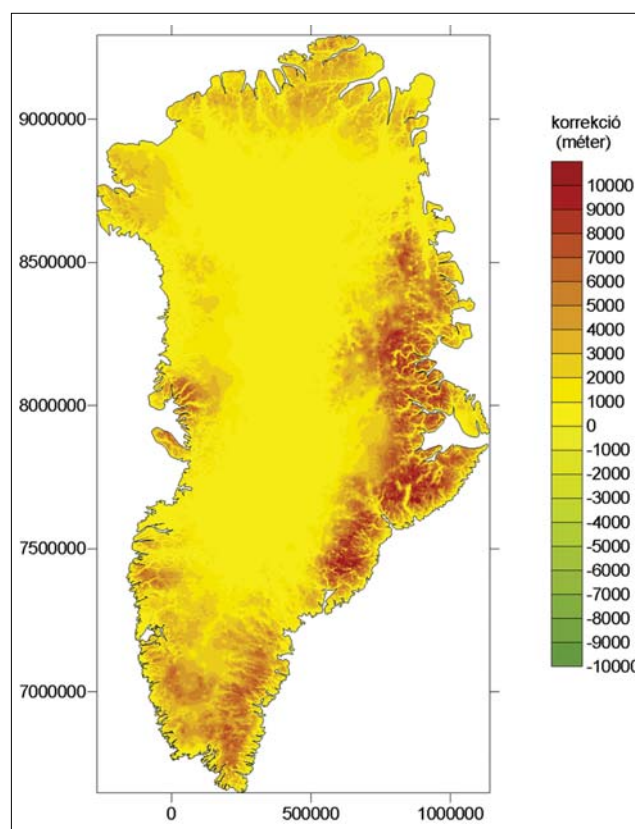
σ_m – a köpeny sűrűsége (3,27 g/cm³);

h_{kor} – a mélységkorrekció értéke;

h_f – a kőzefelszín domborzata (tszf. magasság).

A tengerszint feletti felszínmagasságból és a kőzet–levegő sűrűségkülönbségből származó hatást kompenzálja a kéreg és köpeny határfelületének a mélyülése (a levegő sűrűsége tulajdonképpen elhagyható a képletben). A Bouguer-lemezkorrekció meghatározásánál a tengerszint feletti összletek sűrűségét használjuk, ami általában (az izosztázia esetén is), az egyszerűség kedvéért a kéreg átlagsűrűsége szokott lenni.

A képlet alkalmazásával megkapjuk, hogy az egységnyi domborzati kiemelkedés 4,45-ször nagyobb gyökérszónát eredményez, azaz az (1) képlet jobb oldalának szorzója (ezt nevezzük izosztatikus koefficiensnek) 4,45 lesz, vagyis növeli a kéreg vastagságát. Ez a gyakorlatban azt jelenti,



24. ábra | Izosztatikus gyökérszónák h_{kor} növekedésének mértéke (m) – a tengerszint feletti kőzettömegek hatásának kiegyenlítése

Figure 24 | The rate of isostatic root thickness correction h_{kor} caused by the bedrock relief lying above the sea level

hogy 1 km magas hegy a Moho-szintjét 4,45 km-rel viszi mélyebbre az átlagos mélységhez képest (3 km esetén pedig, az érték 13,35 km lesz).

Grönland területére a szárazföldi domborzat pozitív értékei alapján kiszámolt izosztatikus gyökérvona méretét, azaz a kéreg kivastagodásának mértékét a 24. ábra mutatja.

2) Tengerszint feletti jégtömeg izosztatikus hatása (tömegtöbblet)

Itt is az izosztatikus gyökérvonákra alkalmazott képletet használjuk, csak a tömegtöbbletet nem a kőzetek okozzák, hanem a szárazföldi jég. Ennek megfelelően az (1) képlet paraméterei némileg módosulnak, a tengerszint feletti kőzetvastagság és kőzet-levegő sűrűségkülönbség helyett a tengerszint feletti jégvastagság és jég-levegő sűrűségkülönbség által okozott tömegtöbbletet kell kompenzálni a Moho szintjének módosításával (2):

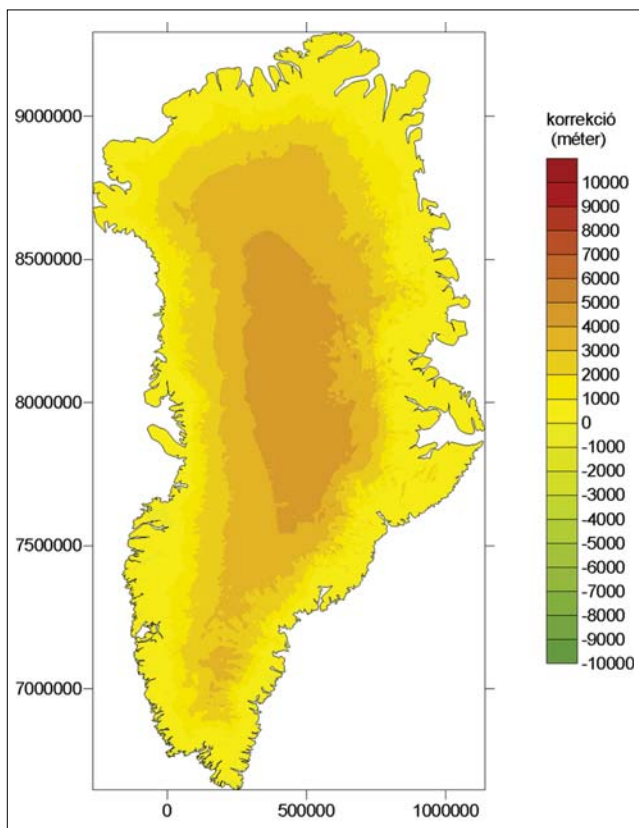
$$d_r = d_c + h_{\text{korrr}},$$

$$h_{\text{korrr}} = [(\sigma_j - \sigma_i) / (\sigma_m - \sigma_c)] h_j,$$

$$h_{\text{korrr}} (\sigma_m - \sigma_c) = h_j (\sigma_j - \sigma_i),$$

ahol

- d_r – a kompenzációs mélység (*root*);
- d_c – a kéreg átlagos vastagsága (30 km);
- σ_c – a kőzet (kéreg) sűrűsége (2,67 g/cm³);



25. ábra A jég vastagságából és a jég–levegő közötti sűrűségkontrasztból származó izosztatikus korrekció mértéke
Figure 25 The isostatic root thickness correction h_{korrr} to remove the effect of continental ice sheet

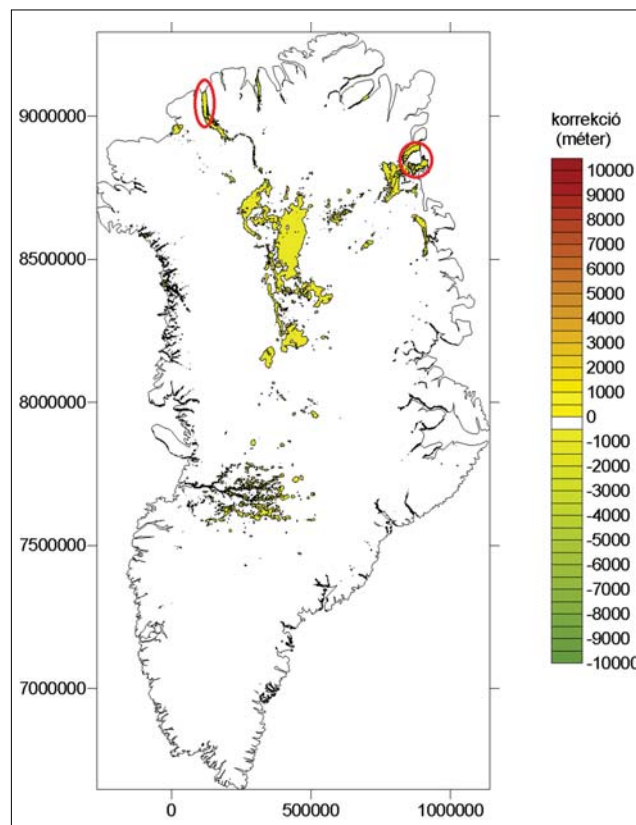
- σ_j – a jég sűrűsége (0,917 g/cm³);
- σ_i – a levegő sűrűsége (~0,0013 g/cm³);
- σ_m – a köpeny sűrűsége (3,27 g/cm³);
- h_j – a tengerszint feletti jég vastagsága;
- h_{korrr} – a mélységkorrekció értéke.

A jégpáncél izosztatikus módosító hatásának kiszámításakor az izosztatikus koeficiens értéke: 1,52, azaz 1 km vastag jég 1,52 km-rel növeli a gyökérvona méretét.

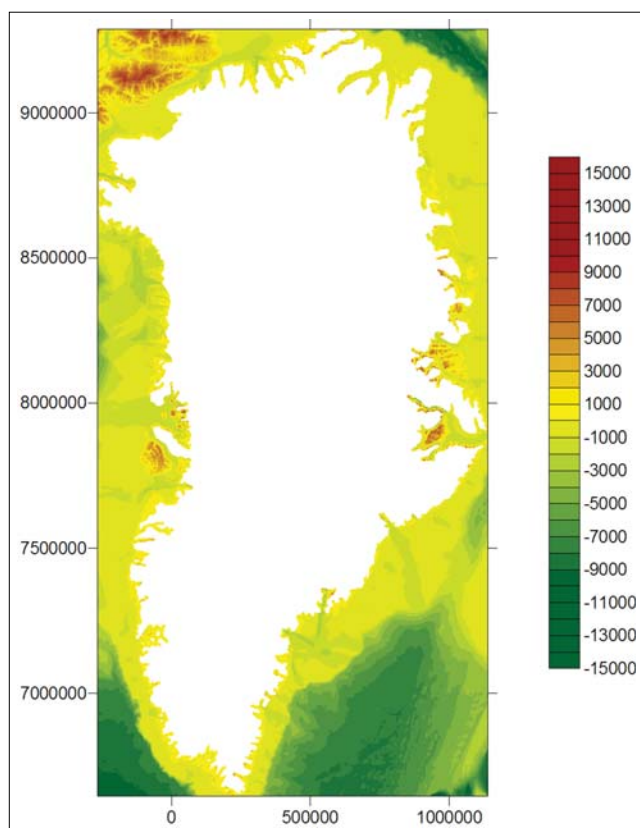
A tenger szintje feletti jégvastagságból származó mélységkorrekció értékét mutatja a 25. ábra. A jég hatása miatt kialakuló legnagyobb korrekció (~4,6 km) Grönland belsőjében jelentkezik, ahol a jég vastagsága 3 km körüli.

3) Tengerszint alatti szárazföldi jég izosztatikus hatása (tömeghiány)

Grönlandnak azon a részén, ahol a kőzefelszín a tengerszint alatt van, a tengerszint alatti térrész nem tengervízzel, hanem szárazföldi jéggel van kitöltve. Kivételt az úszó shelfjég képez, amely csak néhány kisebb területen fordul elő Grönland északi részén (Petermann-glacier a korábban leírt kanyonban és a Zachariae/N79 gleccserek úszó jégshelfje Grönland észak-keleti részén, 26. ábra). A központi, tengerszint alatti területen kőzet helyett jeget találunk. Az ebből származó tömeghiány a Moho emelkedését fogja



26. ábra A tengerszint alatti jég módosító hatása, az ebből származó izosztatikus korrekció mértéke. Piros ellipszisek jelzik az úszó jégpáncélt
Figure 26 The rate of isostatic root thickness correction h_{korrr} to remove the effect of the ice below the sea level. Red circles mark floating ice shelves



27. ábra A tengerfenék mélységének hatásából származó korrekció, h_{korr} mértéke

Figure 27 The rate of isostatic root thickness correction h_{korr} caused by the relief of seabed

okozni, tompítva a tengerszint feletti jég hatását. Ezt a következőképpen számíthatjuk ki:

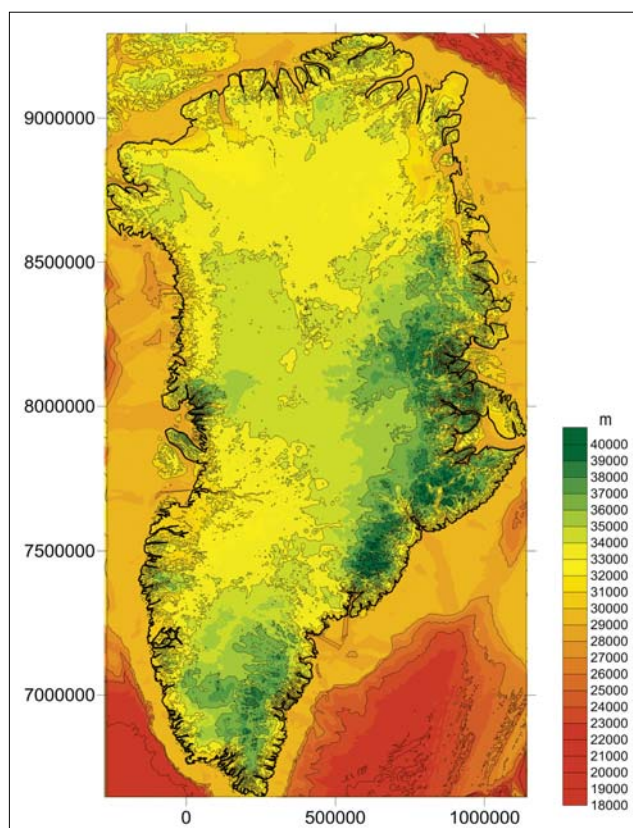
$$\begin{aligned} d_{ar} &= d_c - h_{\text{korr}}, \\ h_{\text{korr}} &= [(\sigma_c - \sigma_j)/(\sigma_m - \sigma_c)] h_j, \\ h_{\text{korr}}(\sigma_m - \sigma_c) &= h_j(\sigma_c - \sigma_j), \end{aligned} \quad (3)$$

ahol

d_{ar} – a kompenzációs mélység (*antiroot*);
 d_c – a kéreg átlagos vastagsága (30 km);
 σ_c – a kőzet (kéreg) sűrűsége ($2,67 \text{ g/cm}^3$);
 σ_j – a jég sűrűsége ($0,917 \text{ g/cm}^3$);
 σ_m – a köpeny sűrűsége ($3,27 \text{ g/cm}^3$);
 h_j – a tengerszint feletti jég vastagsága;
 h_{korr} – a mélységkorrekció értéke.

Az izosztatikus koefficiens értéke 2,92 körüli, ami azt jelenti, hogy 1 km jég a tengerszint alatt, 2,92 km köpenykiemelkedést eredményez. A tengerszint alatti jég vastagsága nem jelentős, a kompenzáció is kicsi lesz (26. ábra), de azért érdemes figyelembe venni.

Az ábrán egyrészt visszaköszön a kőzetfelszínen jelentkező kanyon és környezete, másrészt ez a rajzolat a tengerre kifutó főbb gleccserek nyomvonalával azonos. A rajzolat azért is érdekes, mert a gleccserek elhelyezkedésének és mozgásának földtani okait keressük. A gleccserek egy je-



28. ábra A Moho mélysége Grönlandon és közvetlen környezetében az Airy-féle izosztázia alapján

Figure 28 Moho depth of Greenland and its environment based on Airy isostasy

lentős része már nem a szárazföldön, hanem a tengeri jégpáncélon található.

4) A tengervíz izosztatikus hatása (tömeghiány)

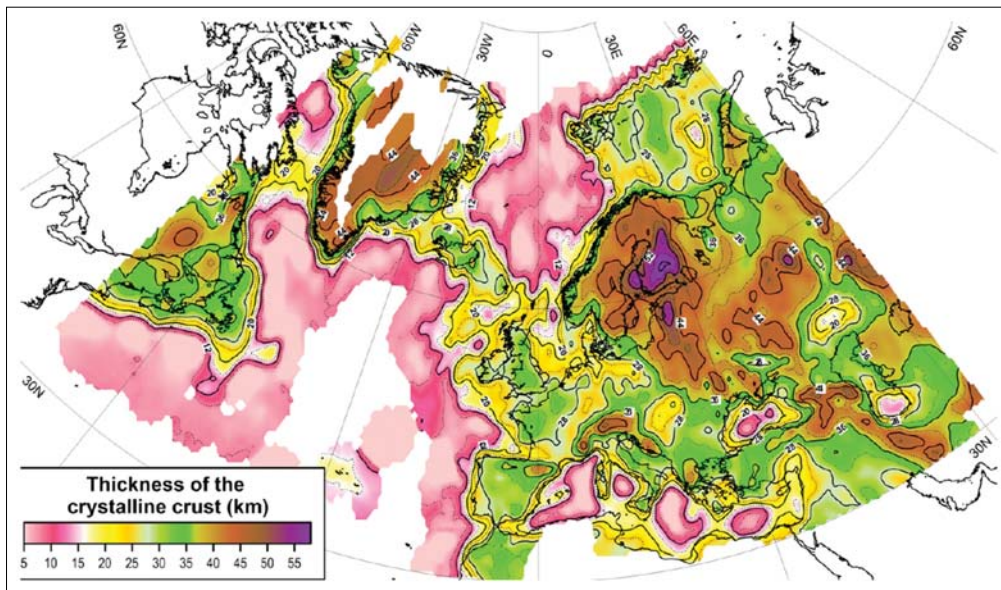
Az óceánok köpenykiemelkedést okoznak, mivel a tengerszinthez képest negatív domborzati hatást jelentenek, és a tengervíz sűrűsége jóval kisebb a kéreg sűrűségénél. Ezt a következő képlettel írhatjuk le:

$$\begin{aligned} d_{ar} &= d_c - h_{\text{korr}}, \\ h_{\text{korr}} &= [(\sigma_c - \sigma_t)/(\sigma_m - \sigma_c)] h_t, \\ h_{\text{korr}}(\sigma_m - \sigma_c) &= h_t(\sigma_c - \sigma_t), \end{aligned} \quad (4)$$

ahol

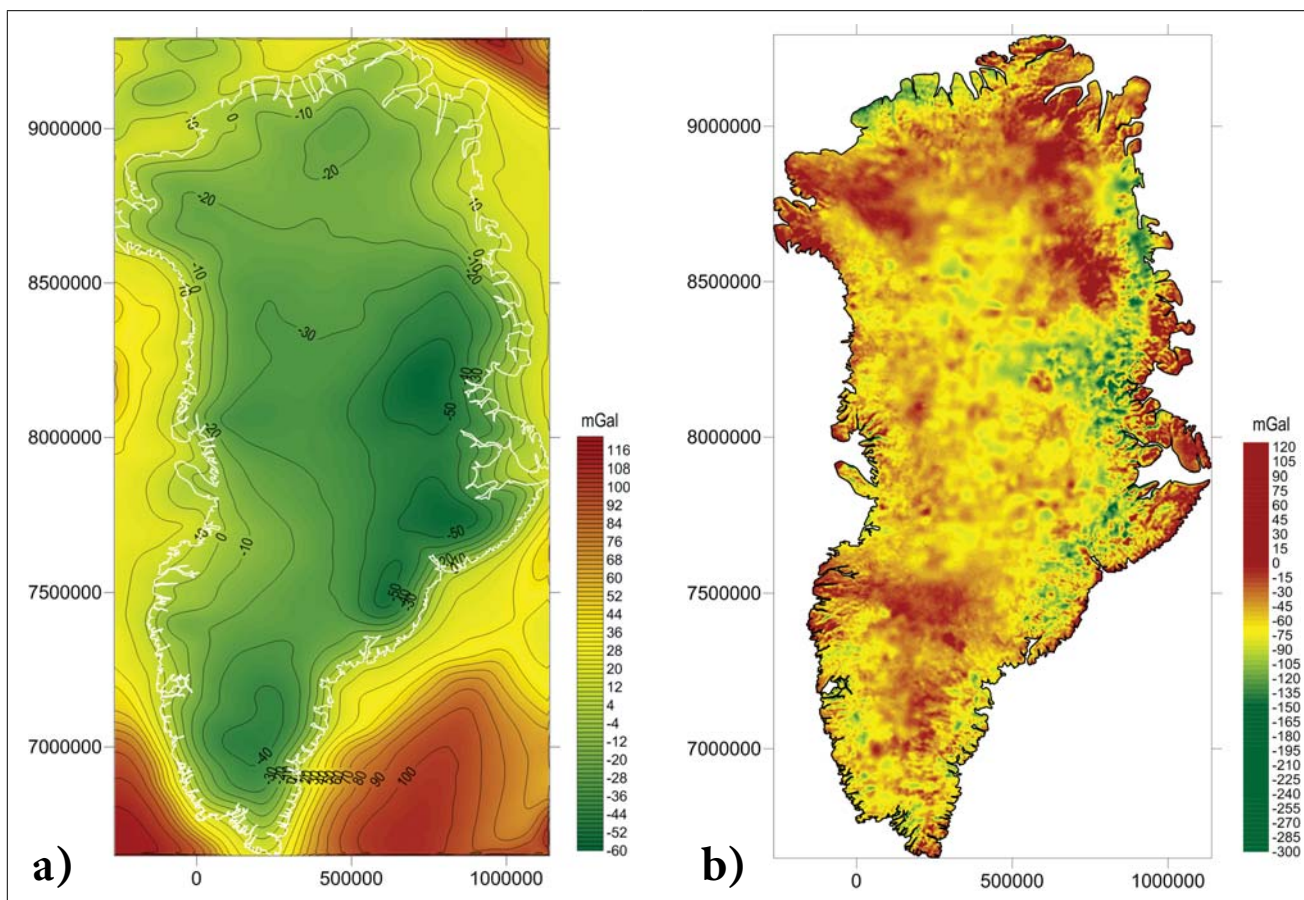
d_{ar} – a kompenzációs mélység (*antiroot*);
 d_c – a kéreg átlagos vastagsága (30 km);
 σ_c – a kőzet (kéreg) sűrűsége ($2,67 \text{ g/cm}^3$);
 σ_t – a tengervíz sűrűsége ($1,027 \text{ g/cm}^3$);
 σ_m – a köpeny sűrűsége ($3,27 \text{ g/cm}^3$);
 h_t – az óceán mélysége;
 h_{korr} – a mélységkorrekció értéke.

Ebben az esetben a negatív magasságú kőzetfelszín és a kőzet–tenger sűrűségkülönbségből származó hatás kompenzálódik ki a kéreg–köpeny határfelület emelkedésével.

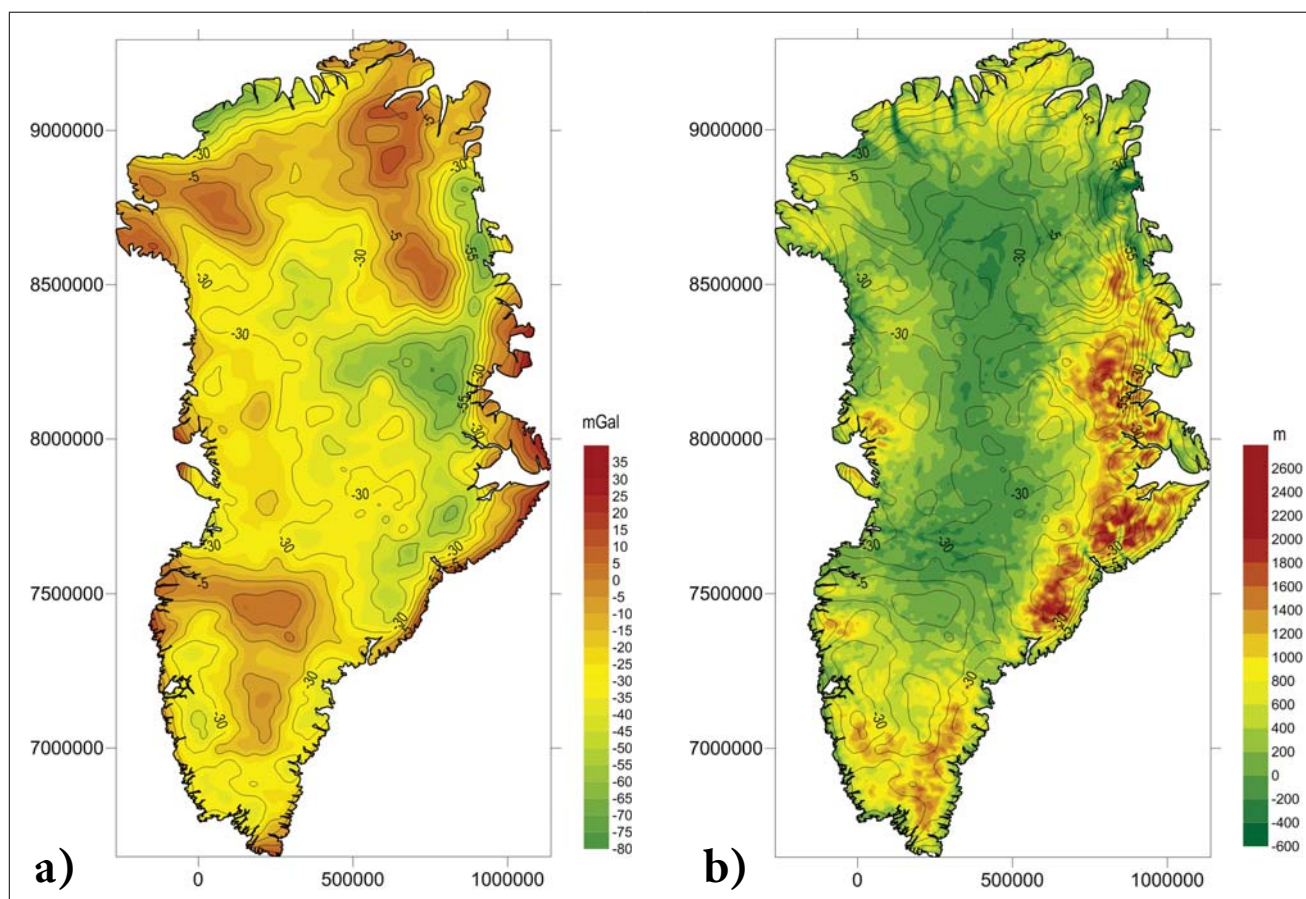


29. ábra | Kéregvastagság-térkép az Észak-Atlanti Régióra (Artemieva, Thybo 2013)
 Figure 29 | Thickness of crust for the North-Atlantic Region (Artemieva, Thybo 2013)

Az óceán mélység izosztikus hatásának kiszámításakor a korrekciós koefficiens értéke 2,74, azaz 1 km mély óceán a Moho szintjét 2,74 km-rel hozza feljebb az átlagos Moho-szinthez képest, azaz csökkenti a kéreg vastagságát.



30. ábra | A Grönland alatti Moho-felszín relatív gravitációs hatása (a) és a Moho hatásától mentes, azaz korigált Bouguer-anomália- („izosztikus anomália”-) térkép (b)
 Figure 30 | Gravity effect of Moho surface (a) and isostatic anomaly map (b) of Greenland



31. ábra | A Moho hatásától mentes, azaz korrigált Bouguer-anomália-térkép 25 km-re felfelé folytatott térképe (a) és a kőzetfelszín domborzata a korrigált Bouguer-anomália-térkép izovonalaival (b)

Figure 31 | Isostatic anomaly map analytically upward continued to 25 km level (a) and the bedrock relief with the isolines of isostatic anomaly map (b)

6 km-es óceánmélység már megfelel a ~30 km-es kéreg vastagságát. Grönland esetében a tengerfenék feletti vizek izosztikus hatását a 27. ábra mutatja. A térkép ÉNy-i sarkában lévő szárazföldek (pl. Ellesmere Island, Kanada) magasságadatai nem álltak rendelkezésre, így ezeket a területeket óceánként kezeltük, így izosztikus hatásuk előjel helyesen, de nem érték helyesen jelennek meg (27. ábra).

Az izosztikus hatásokat számító képletek formailag teljesen hasonlóak. A gyökérzónák (*root*) esetében a kéreg, illetve a jég sűrűségét a levegő sűrűségével vetettük össze, míg a köpenykiemelkedések (*antroot*) esetében a kéreg és a tengervíz, illetve a jég sűrűségének az arányát használtuk. Az előjel annak megfelelően változik, ahogy a hatás a kéreg kivastagodását (tömegtöbblet esetén), vagy a kivékonyodását okozza (tömeghiány esetén), azaz a Moho-szint mélyülését (izosztikus gyökérzóna – *root*) vagy kiemelkedését (köpenykiemelkedés – *antirroot*) eredményezi.

A tengerszint fölé kerülő kőzetek, és jég tömegtöbblet okoz, de amennyiben a kőzetfelszín a tengerszint alá merül, akkor a tengervíz kisebb sűrűsége miatt tömeghiány fog jelentkezni.

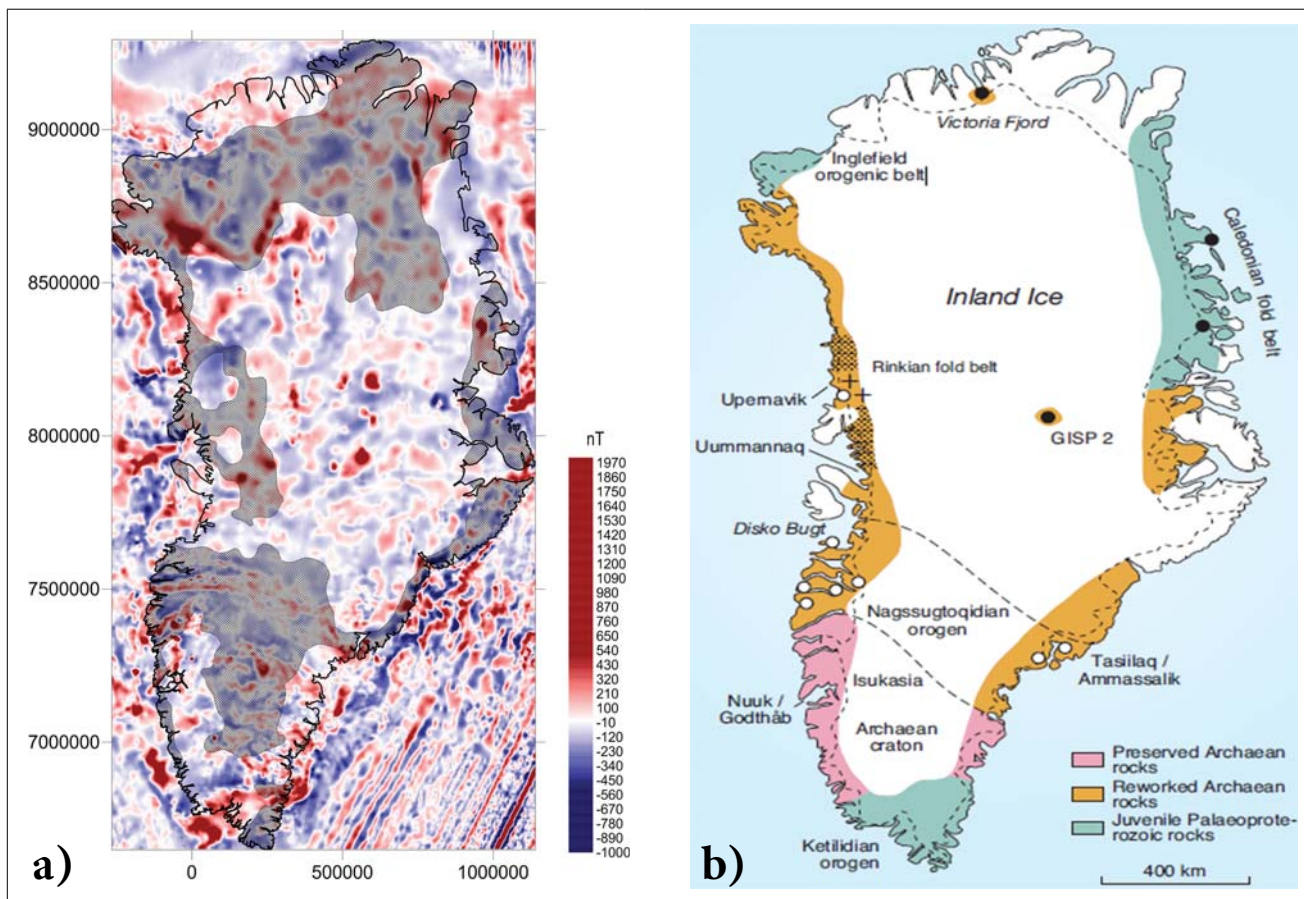
Moho-inhomogenitás mélysége

Grönland esetében a négy hatás adódik össze, és – feltételezve az izosztikus egyensúlyt – együttesen határozza meg a Moho felszínét. A tengerszint feletti domborzat (kőzet- és jégfelszín) és az óceáni fenékmélység alapján meg tudjuk határozni a kéreg vastagságát, illetve a Moho mélységét.

A hatásokat összegezve, majd az ebből kapott korrekciós mélységet elhelyezve a 30 km-es vonatkoztatási mélység szintjén, megkapjuk a Moho-felület mélységét (28. ábra). A kapott értékek 16–43 km között változnak. A legmélyebb részek Grönland K–DK-i oldalán jelentkeznek, a Kaledóniai-hegységrendszer vonalában, a táguló óceáni hátság lemeze és a merev grönlandi kontinens konverziós zónájában. A legkisebb Moho-mélység az óceáni területeken azonosítható.

A kéreg vastagsága a környező tengereknél (shelf zónák) az átlagoshoz képest nagynak tűnhet, de más publikációk is hasonló tendenciát és Moho-mélységet valószínűsítenek (pl. Artemieva, Thybo 2013, 29. ábra).

Az izosztázia alapján meghatározott Moho-mélység egy statikus elképzelés (izosztikus egyensúly) alapján kiszámolt érték, és nem veszi figyelembe a relatív gyors



32. ábra Kompozit térkép a mágneses anomália-térkép,⁹⁾ a 25 km-re felfelé folytatott izosztikus gravitációs anomália-térkép sraffozott maximumzónáival (a) és az egyszerűsített földtani térkép, a jégmentes területek közötti típusaival (b) – metaszedimentek sraffozással jelölve (Henriksen 2009)

Figure 32 Composite map of magnetic anomaly map with the hatched maximum zones of upward continued isostatic gravity anomaly map (a) and the simplified geological map of Greenland (Henriksen 2009) – metasediments are shown by hatches (b)

geodinamikai mozgásokat, amelyek – gyorsaságuk miatt – felülírhatják az izosztikus egyensúlyi állapotot.

Magyarország területén hasonló eljárással (Airy-féle izosztikus modell) jelleghelyesen, kis amplitúdóhibával meghatározható volt a Moho felülete (Kiss et al. 2015), ami a szeizmikus adatokkal teljes összhangot mutatott (Kiss et al. 2015). A PANCAKE litoszférakutató szelvény (Starostenko et al. 2013) adatai alapján a gyors geodinamikai folyamatok (köpenyáramlás), a Keleti-Kárpátok alatti izosztikus gyökérvonalat K-i irányba 20–40 km-rel eltolták a hegygerinctől (Kiss 2016). Ezt az eltolódást azonban éppen a gyökérvonal szeizmikus és gravitációs meghatározása után lehet felismerni.

Izosztikus korrekció, izosztikus anomália

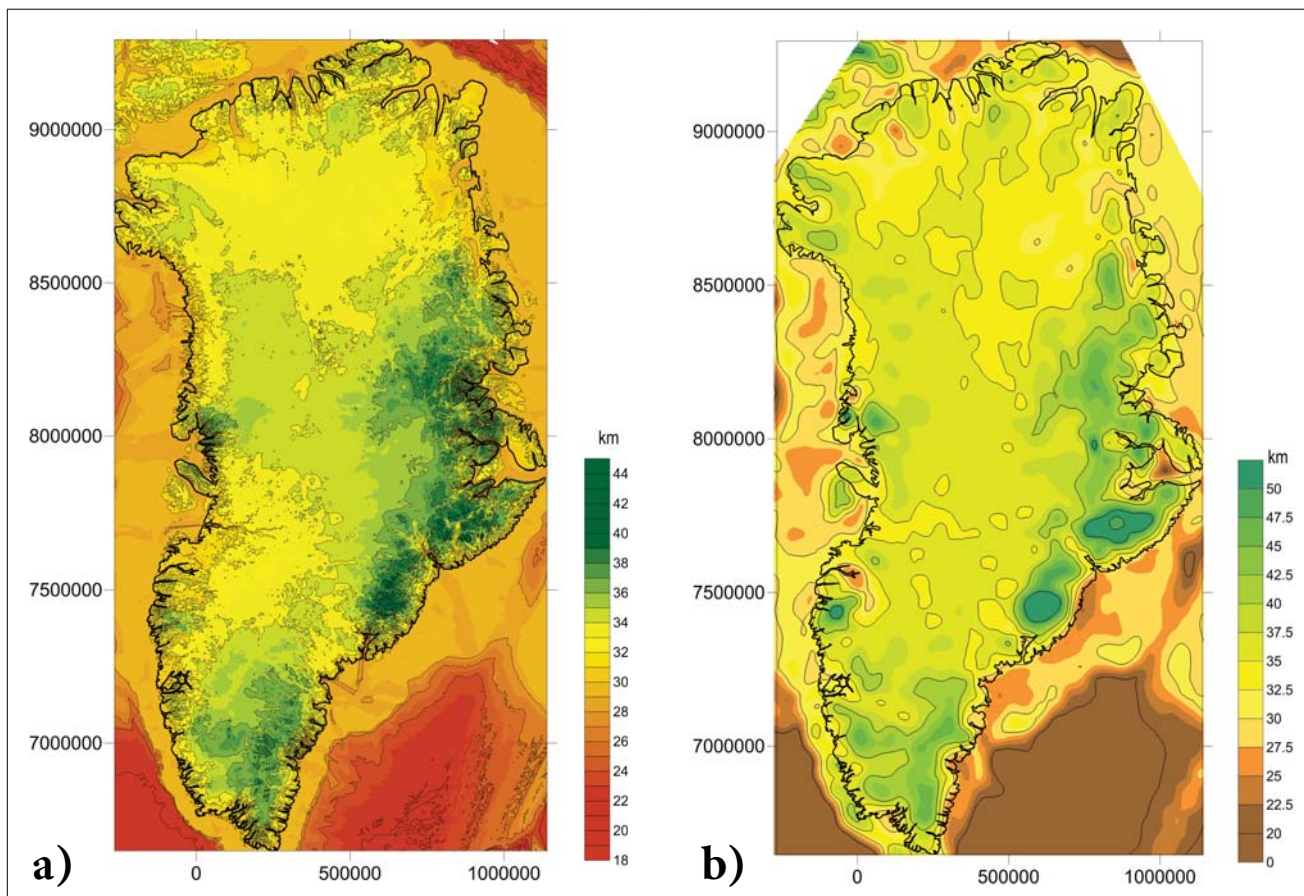
Az izosztikus modell alapján meghatározott Moho-felszín lehetőséget ad az izosztikus korrekció elvégzésére (háromdimenziós modellezés), amivel a kéreg–köpeny határfelület hullámzásából adódó gravitációs hatásokat tudjuk meghatározni, majd kiszűrni a mért adatokból, megtartva ezzel csak a kéregből származó sűrűséginhomogenitások gravitációs hatását, azaz azokat a földtani hatásokat, amelyek a grönlandi földkérget jellemzik.

A modellezésnél a Moho felszínét mint felső határoló felületet alkalmaztuk, a modell alját 100 km-ben adtuk meg. Sűrűségkontrasztnak az alsó kéreg és felső köpeny között meglévő $0,3 \text{ g/cm}^3$ körüli eltérést használtuk fel. Természetesen a kapott eredmény nem nevezhető végleges megoldásnak, ez egy közelítő megoldás, amely további részletesebb információk esetén pontosítható.

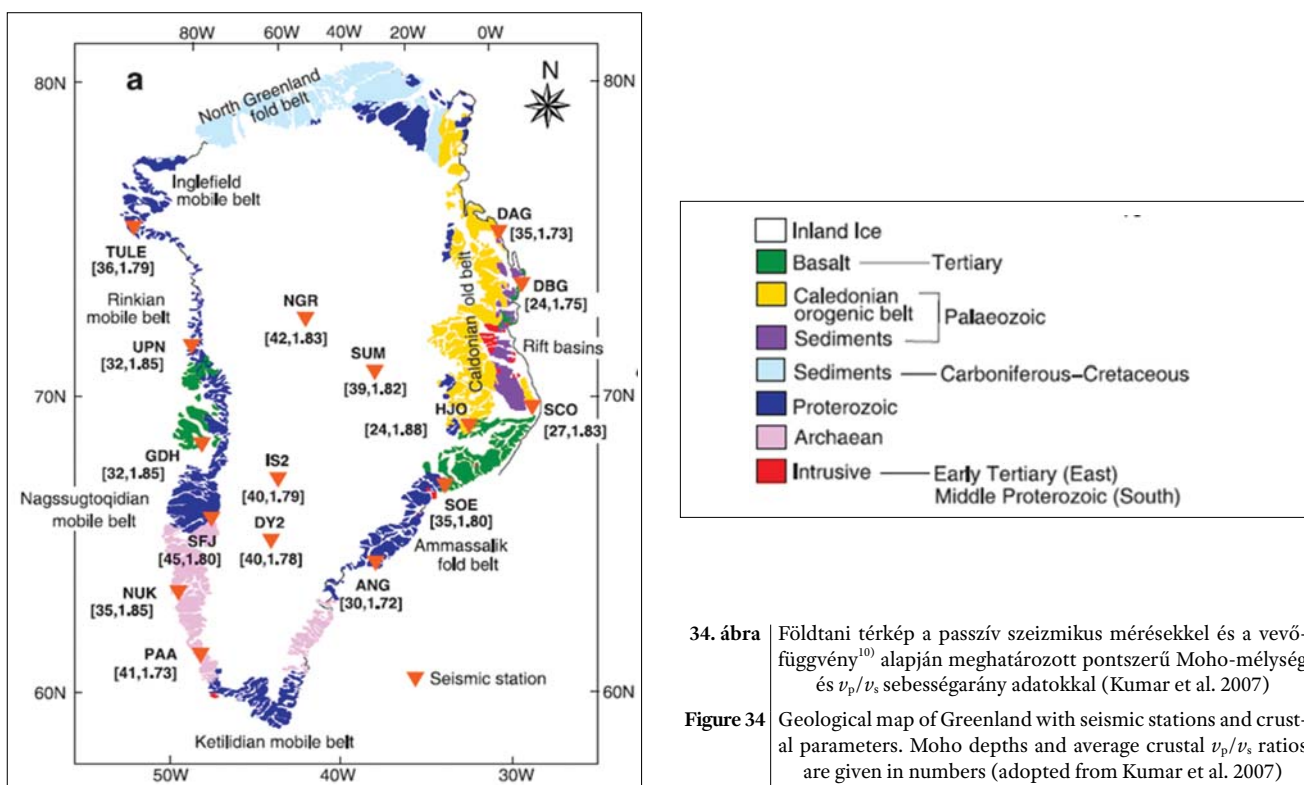
A Moho-mélység megállapításánál feltételeztük az izosztikus egyensúlyt, ami a Közép-atlanti-hátság közelsége vagy az izlandi hotspot jelenléte miatt valószínűleg csak közelítésként szolgálhat. A kéreg–köpeny átmenet sűrűségkontrasztját is átlagértékekkel vettük figyelembe, és a köpeny összetételét homogénnek vettük, amely feltételek valószínűleg nem teljesen felelnek meg a valóságnak.

A kapott modellezési eredményeket mint relatív értékeket vettük figyelembe, ahol a nulla alapszint meghatározása is önkényes volt (30a. ábra).

Az izosztikus hatásoktól mentes gravitációs térkép (30b. ábra) alapján jelentős sűrűséginhomogenitások vannak a Grönland kéregképződményeiben. A terület gravitációs blokkosításához valamilyen simító szűrést célszerű alkalmazni. E célból a legmegfelelőbb eljárás a felfelé folytatás, amikor a felszíni inhomogenitások nagyfrekvenciás jelei a távolság növekedése miatt egyre kevésbé érezhetők,



33. ábra | Airy-féle izosztikus modell alapján (jelen tanulmány, a) és spektrális vizsgálatok alapján kiszámolt Moho-mélység (Braun et al. 2007, b)
 Figure 33 | Moho depth calculated based on Airy isostasy (this article, a) and by spectral analysis of gravity data (adopted from Braun et al. 2007, b)



34. ábra | Földtani térkép a passzív szeizmikus mérésekkel és a vevőfüggvény¹⁰⁾ alapján meghatározott pontszerű Moho-mélység és v_p/v_s sebességarány adatokkal (Kumar et al. 2007)
 Figure 34 | Geological map of Greenland with seismic stations and crustal parameters. Moho depths and average crustal v_p/v_s ratios are given in numbers (adopted from Kumar et al. 2007)

miközben a mélybeli hatások szinte nem is változnak. A 25 km-es felfelé folytatás eredményét a 31b. ábra mutatja.

Az izosztatikus korrekció és felfelé folytatás után a következő jellegzetességet lehet megfigyelni:

Grönland K-i részén, a domborzati maximumok (Kaledóniai-hegységrendszer) felett az izosztatikus korrekciója után is jelentős gravitációs minimumok maradtak (31. ábra). Ez jelezheti, hogy a domborzat és jégfelszín alapján elvégzett izosztatikus korrekció nem kompenzálta ki teljesen a kéregvastagságból adódó gravitációs hatásokat, azaz jelentősebb izosztatikus gyökérzóna van a kontinentális és óceáni kéreg kollíziós zónájában, azaz nincs a terület izosztatikus egyensúlyban, pl. az atlanti MOR mentén jelentkező divergens kéregmozgások és/vagy köpenyáramlások miatt. (Riftesedés során kialakuló fellazult földkéreg ebben az esetben mint ok kizárható.)

Persze nem zárható ki, hogy az izosztatikus korrekció sikeres volt, és a kapott anomáliák egy az egyben a kéreg inhomogenitását mutatják, azaz földtani hatásokat, és ennek egyenes következménye lehet a következő pont.

Két jelentős gravitációs maximumzóna mutatható ki:

- Az egyik Grönland É-i felén, amelynek a D-i széle egy ÉNy-DK-i irányú határvonal, ami a hotspot vándorlás feltételezett útvonalának (11. ábra), illetve a Humboldtgleccser lefutási irányának felel meg, de ez az archaeozoos és proterozoos képződmények feltételezhető határvonala is (32. ábra).
- A másik Grönland D-i részén található, az „üde” archaeozoos és a metamorfizálódott archaeozoos blokk közötti „Nagssugtoqidian” orogén zónában (32. ábra), ami egy jelentős mágneses anomália-vonulat is egyben (van Gool et al. 2002).

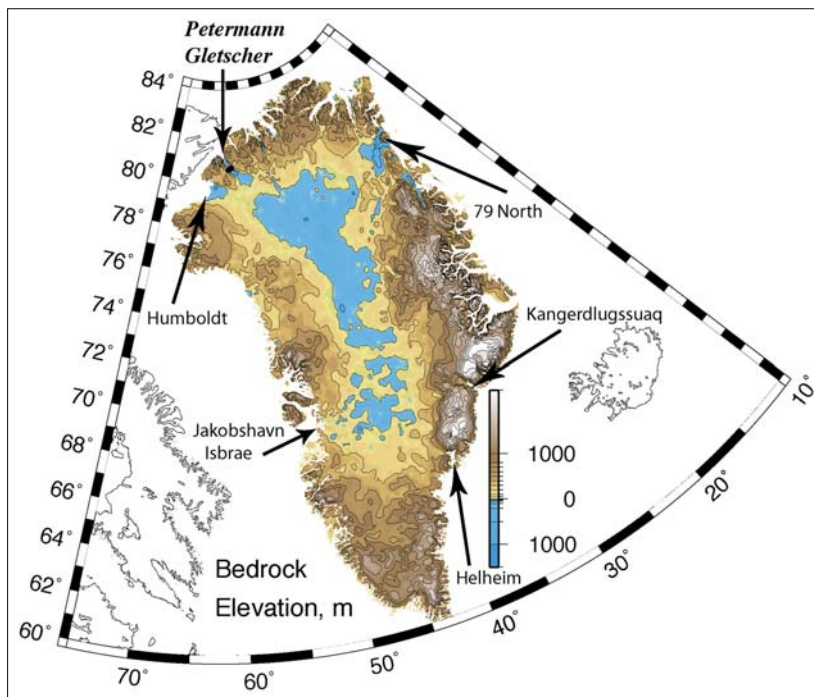
A maximumblokkok kötődnek a Henriksen et al. (2009) által közzétett földtani vázlat (32. ábra) blokkjaihoz, megmutatva a lehetséges kapcsolatokat a jéggel fedett területek alatt is.

A kapott Moho-térképet átszínezve összevetettük a Braun és szerzőtársai által 2007-ben publikált mélységtérképpel (33. ábra), és kisebb értékeltolódás mellett szinte teljesen ugyanazt az eredményt kaptuk (jobb felbontásban). Ez azt jelenti, hogy az eredmények megerősítik egymást és a feldolgozások helyességét. A más úton elvégzett számításokra azért is volt szükség, mivel 2007-ben publikált passzív szeizmikus mérések válaszfüggvényei más Moho-mélységeket adtak (34. ábra). A gravitációs Moho-mélységek (amelyek hasonlóak) és a földrengések válaszfüggvényei alapján meghatározott Moho-szint (Kumar et al. 2007) eltérő tendenciát mutat.

A gravitációs szempontból törvényszerűen jelennek meg a domborzat tükörképének megfelelő izosztatikus hatások, azaz minimumzónák (mindkét, 2007. és 2017. évi számítások alapján is). Ezt a törvényszerűséget a Földön nagyon sok helyen bizonyították már, nincs okunk kételkedni benne. Ehhez képest a passzív szeizmikus mérések nem ezt a képet mutatják, ami nyilvánvaló szeizmikus-gravitációs viselkedés eltérését jelenti, amelynek a földtani okait ma még nem tudjuk, érdemes tehát tovább vizsgálni.

Összefoglalás

Grönland óriási területének mintegy 20%-a kutatható hagyományos földtani térképezéssel. A többi területet állan-



35. ábra Főbb gleccserek elhelyezkedése Grönland kőzetfelszín-térképén (Muenchov 2013)

Figure 35 Main Glaciers on Greenland's bed-rock elevation (Muenchov 2013)

dó jég fedí, ami eltakar előlünk mindent. A jég vastagságának, mozgásának változása nem kizárólag a klímával van összefüggésben. A kutatások alapján több tényező is közrejátszhat, ezek nagy részét egyáltalán nem ismerjük. Hotspot, vulkanizmus, geotermikus jelenségek, hogy csak néhány konkrét okot említsünk a lehetőségek közül.

A vastag jéggel folyamatosan fedett területen (3. ábra) csak a geofizikai mérésekből nyerhetünk újabb információkat. A mélyfúrások hiánya és a geofizikai mérési eredmények ekvivalenciája miatt azonban ez sem egy egyszerű feladat.

A világhálón rendelkezésre álló Google Earth-térképek alapján követhető a domborzat a szárazföldön és tengerfenéken egyaránt. A Föld „WGM” gravitációsanomália-térképe vagy a „WDMAM” mágnesesanomália-térképe az interneten elérhetőek voltak (2014–2015). A lemeztektonikai jelenségek, pl. kontinentális és óceáni lemez kontaktusa vagy az óceáni hátságok helyzete, azok kinyílása, az ezeket ért transzform vetők és ezek gravitációs és mágneses hatása jól tanulmányozhatók ezeken a térképeken.

Grönlandot és környezetét összefüggően lefedik a légi geofizikai és tengeri (gravitációs, mágneses és radar-) mérések. Ismert a közetdomborzat (20. ábra), a jégdomborzat (és/vagy jégvastagság) radarmérések alapján. Grönland területére ezekből az adatokból egyrészt meghatározható volt a változó korrekciós sűrűséggel kiszámított Bouguer-anomália-térkép, másrészt kiszámítható volt az Airy-féle izosztatikus modell alapján a kéreg vastagsága (a Moho mélysége, 36. ábra) és annak gravitációs hatása (30. ábra). A tengervíz Bouguer-korrekcióját is

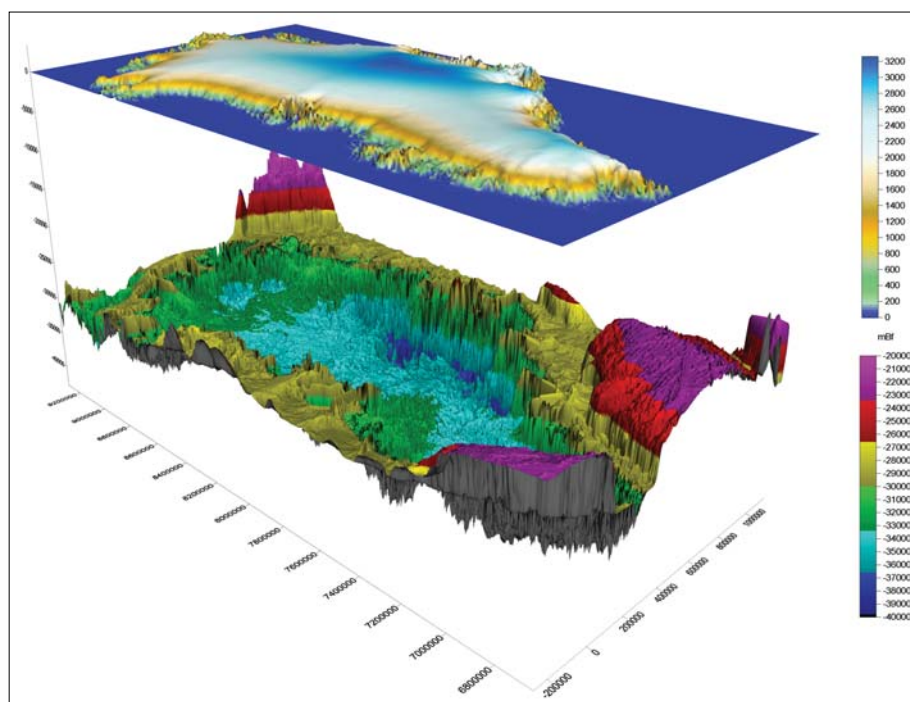
elvégeztük, kiszűrve a változó tengerszint okozta hatásokat. A Moho-felszín gravitációs hatását kiszámolva és kivonva a Bouguer-anomália-térképből megkapjuk a kéreg sűrűséginhomogenitásából származó gravitációs hatásokat (30. ábra).

A rendelkezésre álló viszonylag kevés földtani adat alapján is lehet blokkokat azonosítani a korrigált gravitációs térkép segítségével, amelyek keresztülhúzódnak Grönland vastag jégpáncélja alatt (32. ábra).

A Moho mélységének meghatározása geotermikus szempontból fontos, mert a vékony kéreggel rendelkező területeken nagyobb geotermikus gradiens várható – közelebb a kályha, jobban melegíti a jégpáncélt, ott gyorsabb jégmozgás várható, mint a vastag kérgű területek gleccsereinél, amint ezt például Rogozhina et al. (2016) is kimutatták az Észak-Keleti Grönlandi Jégár (North East Greenland Ice Stream, NEGIS) forrásterületén. Grönland legnagyobb gleccserei (35. ábra) ott találhatóak, ahol a kéreg viszonylag vékony (33. ábra), azaz a köpeny közelebb van, mint más területeken. Persze más körülmények is közrejátszanak, de vizsgálataink ez utóbbit biztosan jelzik.

A mágneses adatok is rendelkezésre álltak, és megtörténtek a feldolgozások is, de ezek ismertetése meghaladják cikkünk kereteit, noha a vulkanizmus szerepe a hotspot közelsége miatt szintén nem zárható ki a jéggel fedett szárazföld belsejében.

Ezek a részeredmények, egy olyan hatalmas terület kutatásában, mint Grönland nagyon érdekesek, mert új kérdéseket vetnek fel, meghatározva a továbblépés irányát. Az eredmények különböző léptékben és formában talán



36. ábra | Grönlandi földkéreg jeges felszíne és alsó határfelülete (a Moho-szintje) háromdimenzióban DNY-ról
Figure 36 | The ice-covered surface of Greenland and the lower boundary (the Moho) of the Earth crust of Greenland shown in three-dimension from SW

már léteztek más szerzők munkáiból is, de az ismételt, vagy más úton elvégzett feldolgozások az egyezés esetén az eredményeket megerősítik (mint esetünkben a gravitációs Moho-szint, 36. ábra), míg eltérés esetén felhívják a figyelmet olyan tényezőkre esetleg hibákra, amelyeket eddig nem vettünk észre. Feldolgozásaink hidat jelentenek Grönland globális és a részletező földtani kutatásai között.

A tanulmány szerzői

Kiss János, Csathó Beáta

Jegyzetek

- ¹⁾ Szublimáció: olvadás nélküli elpárolgás szilárd halmazállapotból.
- ²⁾ A kis jégkorszak (*Little Ice Age*) az éghajlat természetes ingadozásának eredménye volt. Az okokat többek között az északi féltekét elérő napenergia (*solar insolation*) csökkenésében, illetve a vulkáni aktivitás növekedésében (és a légkörben jelenlévő vulkáni hamunak a Nap sugárzását visszaverő hatásában) keresik a kutatók.
- ³⁾ MOR – Mid-Ocean Ridge (Óceán-középi-hátság)
- ⁴⁾ MOC – Mid-Ocean Canyon (Óceán-középi Kanyon), a régi riftzóna tengelye
- ⁵⁾ Hotspot: azaz forrópont, aktív konvekciós köpenyanyag feláramlás.
- ⁶⁾ Kőzetfelszín domborzat adatok Bamber et al. (2001) alapján.
- ⁷⁾ Felszíni domborzati adatok Scambos és Harran (2002) alapján.
- ⁸⁾ Free-air gravitációsanomália-térkép adatai Forsberg and Kenyon (2003) alapján, az „Arctic Gravity Project” archívumából származnak (National Imagery and Mapping Agency – NIMA).
- ⁹⁾ Mágneses anomália térkép Verhoef et al. (2003) adatai alapján.
- ¹⁰⁾ Egy szeizmológiai állomás alatti lokális sebességszerkezet távoli földrengések beérkező hullámaira adott választást vevőfüggvénynek (*receiver function*) nevezzük (szerencsésebb lenne, a definícióból adódóan, magyarul „válaszfüggvénynek” nevezni, mivel rengések által a Földben keletkező szeizmikus válaszokat regisztráljuk – a szerző megjegyzése).

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
- Artemieva I., Thybo H. (2013): EUNaseis: A seismic model for Moho and crustal structure in Europe, Greenland, and the North Atlantic region. *Tectonophysics*, 609, 97–153
- Bamber J. L., Layberry R. L., Gogineni S. P. (2001): A new ice thickness and bedrock data set for the Greenland Ice Sheet. 1. Measurement, data reduction, and errors. *Journal of Geophysical Research*, 106 (D24), 33773–33780
- Bamber J. L., Siegert M. J., Griggs J. A., Marshall S. J., Spada G. (2013): Paleofluvial mega-canyon beneath the central Greenland ice sheet. *Science*, 341, 997–999
- Bell R. E., Tinto K., Das I., Wolovick M., Chu W., Creyts T. T., Frearson N., Abdi A., Paden J. D. (2014): Deformation, warm-

- ing and softening of Greenland’s ice by refreezing meltwater. *Nature Geoscience*, 7, 497–502
- Benn D. I., Cowton T., Todd J., Luckman A. (2017): Glacier calving in Greenland. *Current Climate Change Reports*, 3, 1–9, DOI: 10.1007/s40641-017-0070-1
- Blinnikov M. S. (2011): *Geography of Russia and Its Neighbours*. The Guilford Press, ISBN 978-1-60623-933-9
- Bonvalot S., Balmino G., Briais A., Kuhn M., Peyrefitte A., Vales N., Biancale R., Gabalda G., Moreaux G., Reinquin F., Sarraillh M. (2012): *World Gravity Map, Scale 1:50 000 000, CGMW-BBGI-CNES-IRD*
- Braun A., Kim H. R., Csathó B., von Frese, R. B., (2007): Gravity-inferred crustal thickness of Greenland. *Earth and Planetary Science Letters*, 262, 138–158
- Brozena J. M. (1995). Kinematic GPS and aerogeophysical measurement: gravity, topography and magnetics. PhD dissertation, University of Cambridge, UK
- Csathó B. M., Schenk A. F., van der Veen C. J., Babonis G., Duncan K., Rezvanbehbahani S., van den Broeke M. R., Simonsen S. B., Nagarajan S., van Angelen J. H. (2014): Laser altimetry reveals complex pattern of Greenland Ice Sheet dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111, 18478–18483
- Ekhholm S., Keller K., Bamber J. L., Gogineni S. P. (1998): Unusual surface morphology from digital elevation models of the Greenland Ice Sheet. *Geophysical Research Letters*, 25, 3623–3626
- Ettema J., van den Broeke M. R., van Meijgaard E., van de Berg W. J., Bamber J. L., Box J. E., Bales R. C. (2009): Higher surface mass balance of the Greenland ice sheet revealed by high-resolution climate modeling. *Geophysical Research Letters*, 36, L12501
- Forsberg R., Kenyon S. (2003): The Arctic Gravity Project. <http://www.nima.mil/GandG/agp/>
- Gaina C., Medvedev S., Torsvik T. H., Koulakov I., Werner S. C. (2013): 4D Arctic: A glimpse into the structure and evolution of the arctic in the light of new geophysical maps, plate tectonics and tomographic models. *Surveys in Geophysics*, 35, 1095–1122, DOI: 10.1007/s10712-013-9254-y
- van Gool J. A. M., Connelly J. N., Marker M., Mengel F. C. (2002): The Nagssugtoqidian Orogen of West Greenland: tectonic evolution and regional correlations from a West Greenland perspective. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 39, 665–686
- Heiskanen W. A., Vening Meinesz F. A. (1958): *The Earth and Its Gravity Field*. International Series in the Earth Sciences, McGraw Hill, New York, 136 p.
- Hemant K., Thébault E., Manda M., Ravat D., Maus S. (2007): Magnetic anomaly map of the world: merging satellite, airborne, marine and ground-based magnetic data sets. *Earth and Planetary Science Letters*, 260, 56–71
- Henriksen N., Higgins A. K., Kalsbeek F., Christopher T., Pulvertaft R. (2009): Greenland from Archaean to Quaternary. Descriptive text to the 1995 geological map of Greenland, 1:2 500 000. 2nd edition. Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin, 18, 126
- Kiss J. (2016): A gravitációs és mágneses anomáliák átfogó értelmezése a Kárpát–Pannon-régióban. *Földtani Közlöny*, 146/3, 275–298
- Kiss J., Bodoky T. (2015): Mi mozgatja, mi indítja el a szubdukciót? *Magyar Geofizika*, 56/4, 197–208
- Kiss J., Gúthy T., Zilahi-Sebess L. (2015): A Mohorovičić-határfelület magyarországi kutatása – módszerek, mérések, eredmények. *Magyar Geofizika*, 56/3, 152–178

- Kumar P., Kind R., Priestley K., Dahl-Jensen T. (2007): Crustal structure of Iceland and Greenland from receiver function studies. *Journal of Geophysical Research*, 112, 1–19, B03301, DOI: 10.1029/2005jb003991
- Libak A., Eide C. H., Mjelde R., Keers H., Flüh E. R. (2012): From pull-apart basins to ultraslow spreading: Results from the western Barents Sea Margin. *Tectonophysics*, 514–517, 44–61, DOI: 10.1016/j.tecto.2011.09.020
- Minster J. B., Jordan T. H. (1978): Present day plate motions. *Journal of Geophysical Research*, 83, 5331–5351
- Muenchov A. (2013): Cockpit's View of Greenland's Glaciers, Ice-Sheets, and Sea-Ice. *Icy Seas – Scientific Musings of a Sailor in a Changing Climate*, <https://icyseas.org/2013/04/10/cockpits-view-of-greelands-glaciers-ice-sheets-and-sea-ice/>
- Müller R. D., Royer J.-Y., Lawver L. A. (1993): Revised plate motions relative to the hotspots from combined Atlantic and Indian Ocean hotspot tracks. *Geology*, 16, 275–278
- National Geographic (1968): Atlantic Ocean Floor Map produced in the Geographic Art Division, National Geographic Society, Melvin M. Payne President for the National Geographic Magazine
- Pfiffner O. A. (2014): *Geology of the Alps*. Wiley-Blackwell, 368 p., ISBN 978-1-118-70812-5
- Rogozhina I., Petrunin A. G., Vaughan A. P. M., Steinberger B., Johnson J. V., Kaban M. K., Calov R., Ricker F., Thomas M., Koulakov I. (2016): Melting at the base of the Greenland ice sheet explained by Iceland hotspot history. *Nature Geoscience*, 1–7, DOI: 10.1038/ngeo2689
- Saltus R. W., Miller E. L., Gaina C., Brown P. J. (2011): Chapter 4. Regional magnetic domains of the Circum-Arctic: a framework for geodynamic interpretation. *Geological Society, London, Memoirs*, 35, 49–60.
- Scambos T. A., Haran T. (2002): An image-enhanced DEM of the Greenland Ice Sheet. *Annals of Glaciology*, 34, 291–298
- Schenk T., Csathó B. (2012): A new methodology for detecting ice sheet surface elevation changes from laser altimetry data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 50/9, 3302–3316
- Schenk T., Csathó B., van der Veen C., McCormick D. (2014): Fusion of multi-sensor surface elevation data for improved characterization of rapidly changing outlet glaciers in Greenland. *Remote Sensing of Environment*, 149, 239–251
- Schiffer C., Balling N., Jacobsen B. H., Stephenson R. A., Nielsen S. B. (2014): Seismological evidence for a fossil subduction zone in the East Greenland Caledonides. *Geology*, 42, 311–314
- Szolovjov Sz. M. 1879 (újra kiadás 2015): Oroszország történelme a legrégebb időktől – EKSMO kiadó, Moszkva (C. M. Соловьев 1879, reprint 2015: История России с древнейших времен, Москва, Издательство «Эксмо»)
- Starostenko V., Janik T., Kolomiyets K., Czuba W., Środa P., Grad M., Kovács I., Stephenson R., Lysynchuk D., Thybo H., Artemieva I. M., Omelchenko V., Gintov O., Kutas R., Gryn D., Guterch A., Hegedűs E., Komminaho K., Legostaeva O., Tiira T., Tolkunov A., (2013): Seismic velocity model of the crust and upper mantle along profile PANCAKE across the Carpathians between the Pannonian Basin and the East European Craton. *Tectonophysics*, 608, 1049–1072, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2013.07.008>
- Steinberger B., Spakman W., Japsen P., Torsvik T. H., (2015): The key role of global solid-Earth processes in preconditioning Greenland's glaciation since the Pliocene. *Terra Nova*, 27, 1
- Verhoef J., Roest R., Macnab R., Arkani-Hamad J. (2003): Magnetic Anomalies of the Arctic and North Atlantic Oceans and Adjacent Land Areas. GSC Open Files 3125,3280,3281,3282, NRCan-GSC
- VGM (Virtuális Glóbuszok Múzeuma), <http://vgm.elte.hu>
- Vogt P. R., Jung W. Y., Brozena J. (1998): Arctic margin gravity highs: Deeper meaning for sediment depocenters? *Marine Geophysical Researches*, 20, 459–477
- WGM (World Gravity Map), <http://bgi.omp.obs-mip.fr/data-products/Grids-and-models/wgm2012>
- WDMAM (World Digital Magnetic Anomaly Map), <http://geomag.org/models/wdmam.html>
- Young G. (2009): *Plate Tectonics*. Capstone. pp. 9–. ISBN 978-0-7565-4232-0

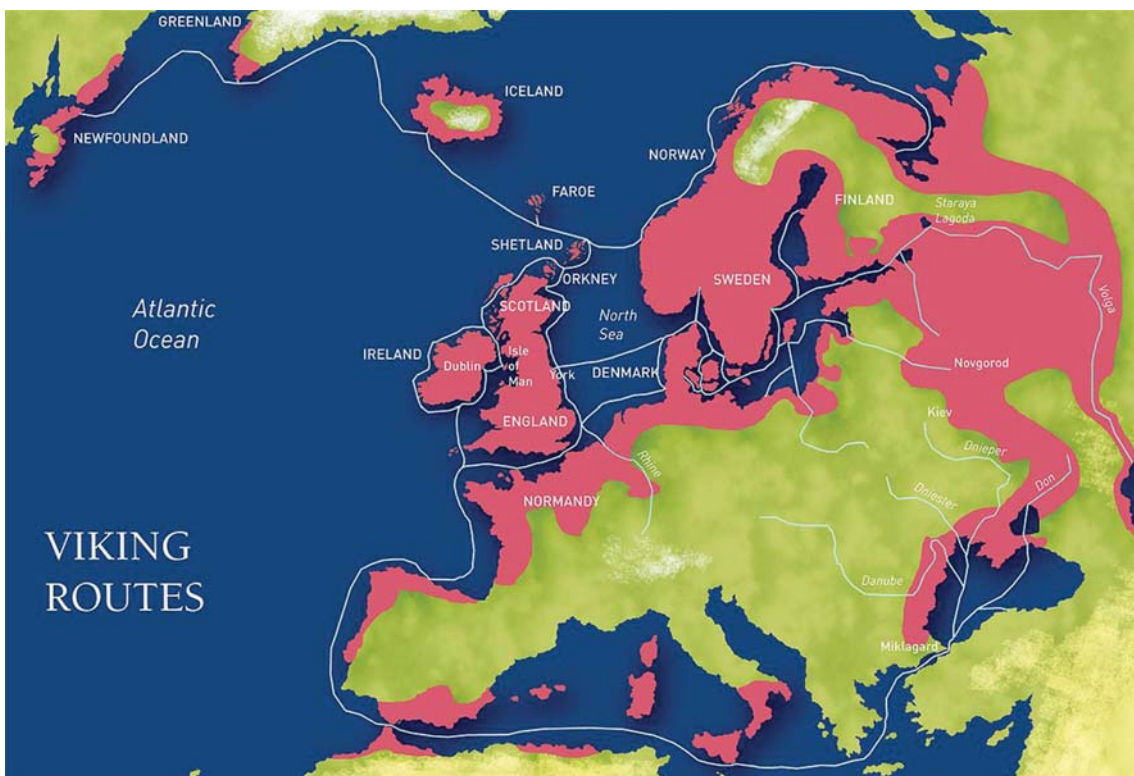
Függelék

A magyar honfoglalás kora és az azt közvetlenül megelőző időszak a viking kalandozások fénykora. Eleink már az etelközi tartózkodás idején „szomszédai” a svéd viking (rusz-varég) fennhatóságú és alapítású államalakulatnak, a Kievi Rusznak. Ezen állam utódja a mai Oroszország, nevében (Russia) is őrzi ennek emlékét. A korabeli krónikák és a tárgyi leletek, a két nép közötti élénk kereskedelmi, hadi és diplomáciai kapcsolatokról számolnak be. A IX–XI. századi magyar sírok bővelkednek viking tárgyakban (zömében fegyverek), míg a világszerte feltárt viking leletek között gyakran ott találjuk a magyar kézműves mesterek alkotásait (rendszerint ékszerek, veretek). A

két nép díszítőművészete szemmel láthatóan hatással volt egymásra.

A magyar lovas hadak és a viking harcosok hol szövetségként, hol egymás ellen hadakozva, jelentősen befolyásolták a korszak hadtörténetét. Szent István királyunk testőrségében több száz északi harcos szolgált, java részét a Kievi Ruszból származó vikingek. Ennek a bizánci mintára szerveződő Varég Gárdának (nevezték őket *Varangnak* és *Varjárnak* is) a trónörökös, Szent Imre herceg volt a vezetője.

(*Magyar Attila*, az Őskultúra Alapítvány vezetője)



Viking kalandozások területe (900–1100)

Map of Viking routes (900–1100)

Tudománytörténeti érdekességek: volt egyszer egy Eötvös Intézet

Kovács B.

E-mail: kovbela0209@t-online.hu

Az alábbi cikk a *Pesti Hírlap* 1927. évi Nagy Naptárában jelent meg. A könyvet dr. Laczkovics József geofizikus tagtársunktól kaptam meg. Úgy gondolom, hogy ez a régi cikk ma is érdekes lehet, ezért újra közreadjuk némileg könnyebben olvasható formában.

Magyar expedíció India őserdeiben

Írta: dr. Rapaics Raymund

**MAGYAR EXPEDÍCIÓ
INDIA ŐSERDEIBEN**
IRTA: DR. RAPAICS RAYMUND

A Föld alakja mindnyájunk emlékezetében gömb módjára foglal helyet, mert az iskolában úgy a földrajzi, mint a csillagászati órákban így rajzolták élénk rendkívül kicsinyített alakját a fekete táblára. Pedig, hogy a Föld gömb alakú, azt csak hajdanában hitték: később kiderült, hogy tengelye körül végzett forgása miatt alakja meglehetősen ellapult, még pontosabban véve szemügyre a dolgot, megállapíthatjuk, hogy bizony a Föld alakja egészen különleges, ezért *geoidnak* nevezték el.


Ezt a körülményt a nehézkedés törvényének gyakorlati alkalmazásában el lehet hanyagolni akkor, ha például a Földre meg a Holdra alkalmazzuk a nehézkedés törvényét, mely tudvaleg leggyakrabban úgy szól, hogy a testek a tömeggel egyenes, a távolság négyzetével fordított arányban vonzzák egymást. Mindenki megérti, hogy a Föld és a Hold óriási távolsága miatt e két égitest egymásra való hatásában nem lehet szerepe az anyag felszíni eloszlásának, a Föld alakjának.

Egyszeriben megváltozik azonban a helyzet, ha a nehézkedés törvényét, mondjuk, egy almára alkalmazzuk a Föld felszínén s azt kérdezzük, hogy merre és mennyire vonzza a

Föld a felfobbott almáé. A nehézkedés törvénye természetesen változatlanul érvényes ebben az esetben is, ellenben alkalmazása most már sokkal nehezebb, mert hiszen a Föld felszínén az anyag eloszlása nem egyenletes s így az almára különböző helyeken különböző irányú és nagyságú a Föld vonzása s így változik esésének iránya és gyorsulása is, vagyis a hulló test sulya.

A nehézkedést a Föld felületén ingával lehet mérni, mert az inga lengésidője a nehézségi erő nagyságától függ. Eppen az ingamérések adataiból sikerült megállapítani, hogy a földfelszínről kezdve az egyenlítőig növekedik, a Föld tehát nem gömb alakú. Ámde a közönséges inga ahhoz már nem elég érzékeny műszer, hogy a nehézkedésben jelentkező kisebb változásokat is meg lehessen vele mérni, mondjuk valamely hegység hatását, holott nyilvánvaló, hogy a Föld felszínén hulló almát vagy lengő ingát a közelben levő hegy tömege is vonzza s csak a műszer finomságán múlik, vajjon ezt a hatást is ki lehet-e számítani vagy sem.

Eötvös Loránd báró találta meg azt a módszert, mely lehetővé teszi, hogy a nehézségi erő ilyen parányi tényezőit is megmérjük. Az eszköz



Pekár Dezső, min. tanácsos, az Eötvös Loránd geofizikai intézet igazgatója

nem új, még a XVIII. század vége felé *Michell* találta fel, de amíg *Eötvös* kezébe nem jutott, nem volt más, mint csak kevéssé használt laboratoriumi eszköz. *Eötvös* azonban a múlt század végén annyira tökéletesítette, hogy pompásan bevált a szóban forgó célra s ma szerte használatjában az egész világon úgy tudományos, mint gyakorlati célokra. Neve *csavarási inga* és mai alakjában vékony platinaodrón függő vízszintes alumínium-rúd, melynek egyik végére lapos arany súly van erősítve, másik

lásától pedig a földtan segítségével nagyon messzemenő következtetéseket tehetünk, nevezetesen abban a tekintetben is, hogy vannak-e az illető helyen, például valahol az Alföldön, *hasznosítható anyagok*, például *földaljat tartalmazó rétegek*.

Eppen ezért 1915-től kezdődőleg a hazai bányakutatók vezetőjének, *Böckh Hugó*-nak ajánlatára a pénzügyminisztérium a csavarási inga méréséket felvette programjába és ez idő óta a mérések főleg gyakorlati szempontból folynak. *Eötvös* halálával



Mágneses észlelés. Az erdő alatt *Kerner János*, mellette jobbról és balról egy-egy hindu asszisztens.

végén pedig vékony drótra függesztve aranyhenger lóg alá, szóval a rúd végén levő tömegek különböző magasságokban vannak.

Eötvös az első próbákat a Sághegyen, a Gellérthegy aljában, majd szentlőrincen és Budapesten végezte, az első részletesebb felvételt pedig 1901-ben a Balaton jéghátán. *A csavarási inga segítségével ugyanis a Föld kérgének anyagi szerkezetébe sikertelenül is sikerül bepillantani.* Ha ugyanis valahol sűrűbb tömegek vannak alattunk, azt a csavarási inga segítségével éppen úgy megállapíthatjuk, mint ahogyan a közelben ekvő hegy hatását mérjük vele. A ritkább és a sűrűbb tömegek eloszlásától pedig a földtan segítségével nagyon messzemenő következtetéseket tehetünk, nevezetesen abban a tekintetben is, hogy vannak-e az illető helyen, például valahol az Alföldön, hasznosítható anyagok, például földaljat tartalmazó rétegek.

Eppen ezért 1915-től kezdődőleg a hazai bányakutatók vezetőjének, *Böckh Hugó*-nak ajánlatára a pénzügyminisztérium a csavarási inga méréséket felvette programjába és ez idő óta a mérések főleg gyakorlati szempontból folynak. *Eötvös* halálával

végén pedig vékony drótra függesztve aranyhenger lóg alá, szóval a rúd végén levő tömegek különböző magasságokban vannak.

Eötvös az első próbákat a Sághegyen, a Gellérthegy aljában, majd szentlőrincen és Budapesten végezte, az első részletesebb felvételt pedig 1901-ben a Balaton jéghátán. *A csavarási inga segítségével ugyanis a Föld kérgének anyagi szerkezetébe sikertelenül is sikerül bepillantani.* Ha ugyanis valahol sűrűbb tömegek vannak alattunk, azt a csavarási inga segítségével éppen úgy megállapíthatjuk, mint ahogyan a közelben ekvő hegy hatását mérjük vele. A ritkább és a sűrűbb tömegek eloszlásától pedig a földtan segítségével nagyon messzemenő következtetéseket tehetünk, nevezetesen abban a tekintetben is, hogy vannak-e az illető helyen, például valahol az Alföldön, hasznosítható anyagok, például földaljat tartalmazó rétegek.

Eppen ezért 1915-től kezdődőleg a hazai bányakutatók vezetőjének, *Böckh Hugó*-nak ajánlatára a pénzügyminisztérium a csavarási inga méréséket felvette programjába és ez idő óta a mérések főleg gyakorlati szempontból folynak. *Eötvös* halálával

A Föld alakja mindnyájunk emlékezetében gömb módjára foglal helyet, mert az iskolában mind a földrajzi, mind a csillagászati órákban így rajzolták élénk rendkívül kicsinyített alakját a fekete táblára. Pedig hogy a Föld gömb alakú, azt csak hajdanában hitték: később kiderült, hogy tengelye körül végzett forgása miatt alakja meglehetősen ellapult,

még pontosabban véve szemügyre a dolgot, megállapíthatjuk, hogy bizony a Föld alakja egészen különleges, ezért *geoidnak* nevezték el.

Ezt a körülményt a nehézkedés törvényének gyakorlati alkalmazásában el lehet hanyagolni akkor, ha például a Földre meg a Holdra alkalmazzuk a nehézkedés törvényét,

mely tudvalevőleg úgy szól, hogy a testek a tömeggel egyenes, a távolság négyzetével fordított arányban vonzzák egymást. Mindenki megérti, hogy a Föld és a Hold óriási távolsága miatt e két égitest egymásra való hatásában nem lehet szerepe az anyag felszíni eloszlásának, a Föld alakjának. Egyszeriben megváltozik azonban a helyzet, ha a nehézkedés törvényét, mondjuk, egy almára alkalmazzuk a Föld felszínén, s azt kérdezzük, hogy merre és mennyire vonzza a Föld a feldobott almát. A nehézkedés törvénye természetesen változatlanul érvényes ebben és esetben is, ellenben alkalmazása most már sokkal nehezebb, mert hiszen a Föld felszínén az anyag eloszlása nem egyenletes, s így az almára különböző helyeken különböző irányú a Föld vonzása, s így változik esésének iránya és gyorsulása is, vagyis a hulló test súlya.

A nehézkedést a Föld felületén ingával lehet mérni, mert az inga lengésideje a nehézségi erő nagyságától függ. Éppen az ingamérések adataiból sikerült megállapítani, hogy a föld sugár a sarkoktól kezdve az egyenlítőig növekedik, a Föld tehát nem gömb alakú. Ámde a közönséges inga ahhoz már nem elég érzékeny műszer, hogy a nehézkedésben jelentkező kisebb változásokat is meg lehessen vele mérni, mondjuk valamely hegység hatását, holott nyilvánvaló, hogy a Föld felszínére hulló almát vagy a lengő ingát a közelben levő hegy tömege is vonzza, s csak a műszer finomságán múlik, vajon ezt a hatást is ki lehet-e számítani vagy sem.

vel, mert a belőle párolt benzín jelekedése a háború alatt sokféle szempontból előtérbe nyomult. A különböző nagy olajtársaságok egymással versenyezve foglalták le az előnyösnek látszó területeket s valóságos petróleum-fáz van a világon: láttuk, hogy a békekonferenciák részben petróleum-konferenciák.

A hegyes vidéken, ahol a rétegek több helyen felszínre bukkannak, a geológus magában is boldogul s elég nagy valószínűséggel következtethet a mélyebb viszonyokra is, éppen ezért a területeket már megfigyelés után kutatták. A síkságon azonban a geológus a felülethez a nagy (1000–1500 méteres) mélységekbe, ahol pedig hasznosítható anyagok várhatók, nem tud következtetni. Ez csak többszáz méter mélységű próbafúrásokkal volna lehetséges, ami azonban nagyon költséges eljárás lenne. Éppen ezért a síkságokon nyílik meg a széles perspektíva az Eötvös-inga részére, amely a nagy mélységi viszonyokról nyújt felvilágosítást.

Az Eötvös-intézet nagy területeket mert már fel hazánkban és büszkén dicsőíthetünk azzal, hogy nincs a világon még egy ország, ahol olyan nagy területekre kiterjedt részletes és pontos gravitációs felmérések volnának, mint hazánkban. A külföld azonban szintén nagy bizalmat tanúsít az Eötvös-intézet iránt s ezért egyrészt a Budapestben, *Siess Nándor* precíziós mechanikai gyárában készült és a geofizikai intézet által mindenkor ellenőrzött műszerek terjednek el az egész világon, másrészt a legnagyobb olajvállalatok keresik fel a geofizikai intézetet, illetve annak világhírű igazgatóját, *Pekár Dezsőt* és külföldön is felvételekre kéri.

A legnagyobb külföldi méréseket Indiában, a mesék és csodák hazájában végezte *Pekár*, előbb 1923–24-ben *Kaipur* államban, majd utóbb 1925–26-ban Felsőasszámban, mindkét esetben a *Burmah Oil Company* megbízásából, de a geofizikai intézet magyar készítményű műszereivel. Er-

ről az utóbbi exotikus utról számolnak be röviden az alábbi sorok.

Pekár Dezső 1925 augusztus 28-án úttal vonatra hűségese munkatársával, *Reisner János* tanárral és masinákat megérkeztek Triesztbe, hol a műszereket berakátva a *Crocacia* (hajdan osztrák) hajóra, elindultak a Földközi-tengeren. Átkelve a Szuez-csatornán, szeptember 12-én érkeztek Adenbe s onnan csakhamar kiutott a hajó az Indiai-óceánra.

Szeptember 18-án szállottak partra *Bombayban*, hol ez alkalommal éppen csak annyi időt töltöttek, hogy hivatalos ügyeiket elintézték s már 21-én vitte a vonat őket egybuzamban Indián át *Kalkuttába*, hova 23-án érkeztek. Itt már hosszabb időt kellett tölteni, mert egyrészt meg kellett várni a súlyos csomagokat, másrészt az indiai életre és a szabadban való mérésekre. Az olajtársaság egyik geológusának közreműködésével különböző bevasárlásokat végeztek s felvették maguk mellé közvetlen személyi szolgálatra egy-egy szolgát. Enélkül Indiában sem bennszülett, sem idegen uriember el nem képzelhető. Innen október 2-án indultak el Asszám felé s átkelve a *Gangesz* legújabb épült óriás hídján, majd komppal a *Brahmaputrá*n, október 4-én érték a vasútvonal végén utolsó városi szállásukat az asszámí óserdők aljában.

Itt már vártak rájuk hindu asszisztenseik: *K. K. Dasz* és *H. C. Benerdzsi*, mind a kettő indiai egyetemet végzett szakember, az indiai térképészeti intézet tisztviselői. Segítségükkel először megszervezték az expedíciót, ami Indiában a kasztrendszer miatt nem kis dolog, mert aki más kaszthoz való, az nem eszik és nem alszik együtt más kasztbelivel. A kasztok száma pedig végtelen; nemcsak osztálybeli különbséget jelent ez a szó, hanem célibelit is, így például a fazekasok közül a korongot jobbra forgatják más kaszthoz tartoznak, mint a jobbról balra forgatók.

Eötvös Loránd báró találta ki azt a műszert, mely lehetővé teszi, hogy a nehézségi erő ilyen parányi tényezőit is meghatározhassuk. Az eszköz nem új, még a XVIII. század vége felé *Michell* találta fel, de amíg Eötvös kezébe nem jutott, nem volt más, mint csak kevéssé használt laboratóriumi eszköz. Eötvös azonban a múlt század végén annyira tökéletesítette, hogy pompásan bevált a szóban forgó célra, s ma szelvében-hosszában használják az egész világon mind tudományos, mind gyakorlati célokra. Neve *csavarási (torziós) inga*, és mai alakjában vékony platinadróton függő vízszintes alumíniumrúd, melynek egyik végére lapos aransúly van erősítve, másik végén pedig vékony drótra függesztve aranyhenger lóg alá, vagyis a rúd végén levő tömegek különböző magasságokban vannak.

Eötvös az első próbákat a Ság-hegyen, a Gellért-hegy aljában, majd Szentlőrincen és Budapesten végezte, az első részletesebb felvételt pedig 1901-ben a Balaton jéghátán. *A csavarási inga segítségével ugyanis a Föld kérgének anyagi szerkezetébe sík vidéken is sikerül bepillantani.* Ha ugyanis valahol sűrűbb tömegek vannak alattunk, azt a csavarási inga segítségével éppen úgy megállapíthatjuk, mint ahogyan a közelben fekvő hegy hatását mérjük vele. A ritkább és a sűrűbb tömegek eloszlásától pedig a földtan segítségével messzemelő következtetéseket tehetünk, nevezetesen abban a tekintetben is, hogy vannak-e az adott helyen, például valahol az Alföldön, *hasznosítható anyagokat, például földolajat rejtő rétegek.*

A két asszisztens is külön-külön kaszthoz tartozott, minél fogva külön étkeztek. A szolgaszemélyzetet is ki kellett egészíteni, erre multhatatlanul szüksége van annak, aki huzamosabb ideig Indiában élni, mert a szolgák tendóik elvégzésére egy ember magában sohasem vállalkozik: a már említett személyi szolgán kívül szükség van sepregetőre, vízfordóra, szakácsra s ez még két kukut is tart maga mellett. Hasonló, szinte naplopásig menő munkamegosztás szertartás kellett megvalósítani a sátorverőket, teherhordókat és egyéb munkásokat; így például három embernek semmi egyéb dolga nem volt, mint a postát hordni, másik három bevásárolni járt, sőt egyik ember, a kúrális, minden tevékenysége kimerült abban, hogy reggel hangos kürtszóval jelezte az ébredés idejét, menetelőkort pedig időről-időre jelt adott, hogy valaki el ne tevedjen a sűrű dűsöngyben, ha elmaradt utközben.

A nálunk is sokat emlegetett, de nálunk valójában ismeretlen eme keleti kényelen és lustaság magyarázza meg, hogy az expedíciónak több mint 100 emberre volt szüksége. Hogy ez micsoda erőparazitságot jelent, elgondolható abból az összehasonlításból, hogy a rendes hazai kutató utakon minden munkát ellát 3 munkás, 5 kocsis és 5 pár ló. Ezzel szemben Indiában a 100 emberhez még 28 sátor kellett, az élelmezéshez 12 tehén is volt s a főbb személyeket és a csomagokat 12 elefánt hordta, melyeknek természetesen külön-külön vezetőjük volt.

sőt a vezetőket mellett egy-egy segítő vezető is lábatlankodott. Az elefánt a mesékben és cirkuuszokban kétségtelenül nagyon okos állat, de aki a hátára kerül, az bizony másként vélekedik. Igaz ugyan, hogy az óserdőkben az elefánt utat tör, de ha hamarabb kedve kerekedik a felállásra, mint az ember a letrátni a hátára, akkor földre pottyantja lovasát. Ijedős természetű is és aki nem ügyel erre, könnyen a levegőbe röpül, ha valamitől megriad a közelben nagyon jámbor óriás. Aztán megismerhes természetű is a mi ormányos barátunk. Ismeretes dolog, hogy ahol vadlovak és vadszamárak élnek, az a vadlőnek nem egyszer elefántjak a ház mellől a kancsát. Így járt az expedíció is egyik nőstényelefántjával, elefánt a vadonban szabad életet élő valamelyik ormányos legény s csak egész heti keresés után akadnak a nyomára és nagynehezen sikerül a tisztességes munkásleltek visszaszerézni e kaland után.

Vadállattal azonban nem akadt baj, legfeljebb néha India vérengző fenevadja, a tigris rabolta meg a tehénállományt. Nagyon veszedelmes ellenség ott a kigyó is, a *kobra*; marisa biztos halál. Kigyómarás ellen ma jó védelmet szolgál a Calmette-szerrum; az expedíció tagjai el is látták vele magukat még Triesztben, ámde a hideg és száraz évszakban ugynevezett téli álmatukat aludták ezek a hullók.

Europai ember csak ebben az időben kezdhet itt valamit, nyáron még



Csoma Sándor sírja Dardzsilingben.

Éppen ezért 1915-től kezdődőleg a hazai bányakutató-sok vezetőjének, *Böckh Hugónak* ajánlatára a pénzügyminisztérium a csavarásiing-méréseket felvette programjába, és ez idő óta a mérések főleg gyakorlati szempontból folynak. Eötvös halálával az egész geofizikai intézet a pénzügyminisztériumhoz került, és ma a bányakutatói osztály keretében mint *Eötvös Loránd Geofizikai Intézet* folytatja nagyfontosságú működését. Az intézet élén Eötvös halála óta *Pekár Dezső* miniszteri tanácsos áll, ki szinte kezdettől fogva részt vett Eötvös méréseiben, s azóta is minden percét apostoli buzgalommal mestere emlékének és a magyar lángelme eme nagyszerű találmányának szenteli.

A háború folytán leromlott gazdasági helyzet előtérbe tolta annak szükségét, hogy a földben rejlő hasznosítható kincseket a legmesszebb menőleg kihasználjuk. Különösen a földolaj-kutatás indult meg nagy erővel, mert az abból lepárolt *benzin* jelentősége a háború alatt sokféle szempontból előtérbe került.

A különböző nagy olajtársaságok egymással versenyezve foglalták le az előnyösnek látszó területeket, s valóságos petróleumláz tör ki a világon: láttuk, hogy a békekonferenciák részben petróleumkonferenciák.

A hegyes vidéken, ahol a rétegek több helyen felszínre bukkannak, a geológus egyedül magában is boldogul, s elég nagy valószínűséggel következtethet a mélyebb viszonyokra is, éppen ezért a területeket már meglehetősen átkutatták. A síkságon azonban a geológus a felületből a nagy

(1000–1500 m) mélységekbe, ahol pedig hasznosítható anyagok várhatók, nem tud következni. Ez csak többszáz méter mélységű próbafúrásokkal volna lehetséges, ami azonban nagyon költséges eljárás lenne. Éppen ezért a síkságokon nyílik meg a széles perspektíva az *Eötvös-inga* részére, amely a nagy mélységi viszonyokról nyújt felvilágosítást. Az *Eötvös Intézet* nagy területeket mért már fel hazánkban, és büszkén dicsekedhetünk azzal, hogy *nincs a világon még egy ország, ahol olyan nagy területekre kiterjedt részletes és pontos gravitációs felmérések volnának, mint hazánkban*. A külföld azonban szintén nagy bizalmat tanúsít az Eötvös Intézet iránt, s ezért egyrészt Budapesten, *Süss Nándor* precíziós mechanikai gyárában készült és a geofizikai intézet által mindenkor ellenőrzött műszerek terjednek el az egész világon, másrészt a legnagyobb olajvállalatok keresik fel a geofizikai intézetet, illetve annak világhírű igazgatóját, *Pekár Dezsőt*, és külföldön is felvételekre kérik.

A legnagyobb külföldi méréseket Indiában, a mesék és csodák hazájában végezte *Pekár*, előbb 1923–24-ben *Kaipur* államban, majd utóbb 1925–26-ban Felsőasszámban, mindkét esetben a *Burmah Oil Company* megbízásából, de a geofizikai intézet magyar készítményű műszereivel. Erről az utóbbi egzotikus útról számolnak be röviden az alábbi sorok.

Pekár Dezső 1925. augusztus 28-án ült vonatra hűséges munkatársával, *Renner János* tanárral, és másnap megér-

a kiküldött hivatalnokok is felhúzódnak a hegyekbe, a bennszülöttek pedig várhatják ügyeik elintézését a következő hűvös és száraz időszakig. Van is emiatt bőven elégedetlenség a bennszülöttek körében.

Az expedíció állandóan a civilizációtól távoleső felsőasszámi öserdő-területeken végzett méréseket. Ut nem volt, vagy az emberek, vagy az elefántok törtek utat, a folyókon is hidak nélkül, többnyire az elefántok látán kellett átkelni. Emberi település csak a nagyobb tisztásokon van, hol részben teakertek, részben rizsföldek zöldek. Október közepén kezdődtek meg a fővételek, eleinte csak a kisebb tisztásokon, mert ezek elhagyottak, később, nevezetesen januártól kezdve, mikor a rizst learatták, a nagyobbakon is.



Renner János tanár, Pekár igazgató munkatársa, indiai útján.

gözi az embert. Teljes hat hónapig járt az expedíció az európai szemnek elképzelhetetlenül gazdag növényzetű dzsönglben, mikor aztán végfelé járt a hűvös és száraz időszak, a meleg egyre tűrhetetlenebb lett, szörnű záporok zuhogtak a földre, megjelentek a moszkítók is és ezzel megkezdődött a kíninfogyasztás, be kellett fejezni a munkát. A világot látott és világot mérő műszerek ládákba kerültek s április 12-én utnak indultak Kalkuttába, hogy onnan hajón visszajussanak hazájukba. Az expedíció vezetői azonban más utat választottak. Elbocsátva a személyzetet, vasútra ültek s a Gangesz vidékén, a Himalája aljában régi indiai emlékeket látogattak, pihentek ki a dzsöngl-élet fáradalmait.

Április 19-én *Dardszilíngbe* érkeztek s lerótták kegyeletüket a csodálatos életű magyar vándor, *Kőrösi Csoma Sándor* sírja fölött. A 2100 m. ma-

Indiában, annál inkább járja az ópium és az európainak érthetetlen különködés. Az elefántvezetők például olyan kasztheliek voltak, kiknek nem szabad vizet inniük kútból, hanem csak folyókból. Ennek az lett az eredménye, hogy néha reggel 7 óra helyett délben kerültek elő, addig folyóvizet kerestek. Amde mindezen segített a borral. Ez a szer olyan esodát művelt, hogy még a kutiszonyban szenvedő elefántvezetők is megszokták a pontosságát.

Bizony India nem egészen az a varázslatos föld, mint a filmen. De természetvilága kétségtelenül lenyü-

gasan fekvő *Dardszilíng* ma üdülőhely, csupa hotel. Kifátopontjairól szép időben a tömegével mindent felülmúló Himalája fősícsaiban lehet gyönyörködni. A 8580 m. magas *Kangacsenszöng* urálja ott a hegyláncot, melléje sorakoznak a *Jannu*, *Kabru* stb. 6–7000 méteres csúcsai. A környék egyes pontjairól a Föld legnagyobb hegyóriása: a *Mount Everest* is látható. A hóhatár 4000 m. magasságban kezdődik, feketén emelkednek felfelé a hegyek s csak derékon felül vesznek bele a felhők által övezett esillogó fehéreába. *Kőrösi Csoma Sándor* sírját a temetőben

nyolcszögű oszlop díszíti, melyen a filológiai tudományok művelő: *Bengáli Ázsiai Társaság*, továbbá *Csoma Sándor* község- és végül a Magyar Tudományos Akadémia márványtáblái hirdetik világhíresen a magyar kultúra díszösét.

Április 22-én elbocsátottak *Dardszilíngtől* s 24-én érkeztek *Bennareszbe*, India szent városába a Gangesz



Hindu templom, arékapálmakkal.

partján. Az egész város csupa templom, ezernél is több a temploma s bár csak 200.000 lakója van, a *brahmán* műveltség és tudomány székhelye. A zarándokok forgalma szinte leírhatatlan. Ezerszám jönnek mindennap és ezerszám hagyják el; mindenki a folyó partján igyekszik helyet foglalni, hogy a szent halokban megfürödhessen. De e fürdés inkább egészségügyi felfrissülés, mintsem valamilyen áhitatos szertar-

tás hatását kelti s a világfürdői hangulat profán-ságot még a nyílt maglyakon végzett hullágetetés sem enyhíti. *Bennaresz* környékén *Ramnapur* rejtgeti a legszebb látványt: festői maharadzsa-várat és gyönyörű faragványokkal díszes hindu templomot.

Április 26-án *Lökno* falai között jártak és megézték a bennszülött gyalogosok 1857-iki

lázadásának maradványait. Ugyanilyen emlékek teszik nevezetessé a *Kámpurt* is, hova 29-én érkeztek. Hogy mekkora lehetett a bennszülöttek elkeseredése és gyűlölete, bizonyítja az a kut, amelybe nem kevesebb, mint 300 európai tetemet hányták. Sokkal kellemesebb meglepetést tartogatott számukra *Dzsainpur*, mert a város nevezetes múzeumban külön szekrény őri a magyar *majolika* messze keletre ke-



Átkelés elefántokkal egy patakon az erdőben.

keztek Triesztbe, hol a műszereket berakotva a *Cracovia* (hajdan osztrák) hajóra, elindultak a Földközi-tengeren. Átkelve a Suez-csatornán, szeptember 12-én érkeztek Adenbe, s onnan csakhamar kifutott a hajó az Indiai-óceánra.

Szeptember 18-án szálltak partra *Bombayban*, ahol ez alkalommal éppen csak annyi időt töltöttek, hogy hivatalos ügyeiket elintézték, s már 21-én vitte a vonat őket egyhuzamban Indián át *Kalkuttába*, hova 23-án érkeztek. Itt már hosszabb időt kellett tölteni, mert egyrészt meg kellett várni a súlyos csomagokat, másrészt el kellett kezdeni a berendezkedést az indiai életre és a szabadban való mérésekre. Az olajtársaság egyik geológusának közreműködésével különböző bevásárlásokat végeztek, s felfogadtak maguk mellé közvetlen személyi szolgálatra egy-egy szolgát. Enélkül Indiában sem bennszülött, sem idegen úriember el nem képzelhető. Innen október 2-án indultak el *Asszam* felé, s átkelve a *Gangesz* legújabbán épült óriás hídján, majd komppal a *Brahmaputrán*, október 4-én érték a vasútvonal végén utolsó városi szállásukat az asszámi őserdők aljában.

Itt már vártak rájuk hindu asszisztenseik: *K. K. Dasz* és *H. C. Benerdzsi*, mind a kettő indiai egyetemet végzett szakember, az indiai térképészeti intézet tisztviselői. Segítségükkel először megszervezték az expedíciót, ami Indiában a kasztrendszer miatt nem kis dolog, mert aki más kasztba való, az nem eszik és nem alszik együtt más kasztbelivel. A kasztok száma pedig végtelen: nemcsak osztálybeli különbséget jelent ez a szó, hanem céhbelit is, így például a fazekasok közül a korongot jobbra forgatók más kasztba tartoznak, mint a jobbról balra forgatók.

A két asszisztens is külön-külön kasztba tartozott, minélfogva külön étkeztek. A szolgaszemélyzetet is ki kellett egészíteni, erre mulhatatlanul szüksége van annak, aki huzamosabban akar Indiában élni, mert a szolgálai teendők elvégzésére egy ember magában sohasem vállalkozik: a már említett személyi szolgán kívül szükség van sepregetőre, vízfordóra, szakácsra, aki még két kuktát is tart maga mellett. Hasonló, szinte a naplopásig menő munkamegosztás szerint kellett megválogatni a sátorverőket, teherhordókat és egyéb munkást: így például három embernek semmi egyéb dolga nem volt, mint a postát hordta, másik három bevásárolni járt, sőt egyik ember, a kürtös, minden tevékenysége kimerült abban, hogy reggel hangos kürtszóval jelezte az ébredés idejét, meneteléskor pedig időről-időre jelt adott, hogy valaki el ne tévedjen a sűrű dzsungelben. A nálunk is sokat emlegetett, de a nálunk valójában ismeretlen, eme keleti kényelem és lustaság magyarázza meg, hogy az expedíciónak több mint 100 emberre volt szüksége. Hogy ez micsoda erőpazarlást jelent, elgondolható abból az összehasonlításból, hogy a rendes hazai kutatóutakon minden munkát ellát 3 munkás, 5 kocsis és 5 pár ló. Ezzel szemben Indiában a 100 emberhez még 28 sátor kellett, az ételmezéshez 12 tehén is volt, s a főbb személyeket és a csomagokat 12 elefánt hordta, melyeknek természetesen külön-külön vezetőjük volt, sőt a vezetők mellett egy-egy segédvezető is lábatlankodott.

Az elefánt a mesékben és cirkuszokban kétségtelenül nagyon okos állat, de aki a hátára kerül, az bizony másként vélekedik. Igaz ugyan, hogy az őserdőben az elefánt utat tör, de ha hamarabb kedve kerekedik a fölállásra, mint ahogy az ember a létrán fölé a hátára, akkor földre potyantja lovasát. Ijedős természetű is, és aki nem ügyel erre, könnyen a levegőbe röpül, ha valamitől megriad a különben nagyon jámbor óriás. Aztán meg szerelmes természetű is a mi ormányos barátunk. Ismeretes dolog, hogy ahol vadlovak és vadszamarak élnek, ott a vadmének nem egyszer elcsalják a ház mellől a kancát. Így járt az expedíció is egyik nőtényi elefántjával, elcsalta a vadonban szabad életét élő valamelyik ormányos legény, s csak egész heti keresés után akadtak a nyomára, és nagy nehezen sikerült a tisztességes munkáséletnek visszaszerezni e kaland után.

Vadállattal azonban nem akadt baj, legfeljebb néha India vérengző fenevada, a tigris rabolta meg a tehénállományt. Nagyon veszedelmes ellenség ott a kígyó is, a *kobra*; marása biztos halál. Kígyómarás ellen ma már jó védelműl szolgál a Calmette-szérum. Az expedíció tagjai el is látták vele magukat még Triesztben, ámde a hideg és száraz évszakban úgynevezett téli álmutkat aludták ezek a hullók. Európai ember csak ebben az időben kezdhet itt valamit, nyáron még a kiküldött hivatalnokok is felhúzódnak a hegyekbe, a bennszülöttek pedig várhatják ügyeik elintézését a következő hűvös és száraz időszakig. Van is emiatt bőven elégedetlenség a bennszülöttek körében.

Az expedíció állandóan a civilizációtól távol eső felső-asszámi őserdőterületeken végzett méréseket. Út nem volt, vagy az emberek, vagy az elefántok törtek utat, a folyókon is hidak nélkül, többnyire az elefántok hátán kellett átkelni. Emberi település csak a nagyobb tisztásokon van, hol részben teakertek, részben rizsföldek zöldellnek. Október közepén kezdődtek meg a fölvételek, eleinte csak a kisebb tisztásokon, mert ezek elhagyottak, később, nevezetesen januártól kezdve, mikor a rizst learatták, a nagyobbakon is.

Az emberek begyakorlása rendkívül sok munkát adott. Pontosság, serénység ismeretlen tulajdonságok Indiában, annál inkább járja az ópium és az európainak érthetetlen különködés. Az elefántvezetők például olyan kasztbeliek voltak, kiknek nem szabad vizet inniuk kútból, hanem csak folyóból. Ennek az lett az eredménye, hogy néha reggel 7 óra helyett délben kerültek elő, addig folyóvizet kerestek. Ámde mindezen segített a borralaló. Ez a szer olyan csodát művelt, hogy még a kútiszonyban szenvedő elefántvezetők is megszokták a pontosságot. Bizony India nem egészen az a varázslatos föld, mint a filmen. De természetvilága kétségtelenül lenyűgöző.

Teljes hat hónapig járt az expedíció az európai szemnek elképzelhetetlenül gazdag növényzetű dzsungelben, mikor aztán vége felé járt a hűvös és száraz időszak, a meleg egyre tűrhetetlenebb lett, szörnyű záporok árasztották el a földet, megjelentek a moszkító is, és ezzel megkezdődött a kinifogyasztás, be kellett fejezni a munkát. A világot látott és világot mérő műszerek ládába kerültek s április 12-én útnak indultak *Kalkuttába*, hogy onnan hajón vissza-

olt remekeit. E bennszülött állam maharadszájának gyönyörű palotáját övező hatalmas parkban van India legnagyobb és egyik legrégebb csillagászati obszervatóriuma; a furcsa épületeket misztikussá teszik a rajtuk látható beosztott márványkörívek, ezek segítségével mérték le hajdan az égitestek helyzetét.

Május 2-án az indiai mohamedánok legszebb emlékeiről nevezetes Agrába érkeztek. Itt van a világ



Kilátás Dardzsilingből a Himalájára.

leggyönyörűbb síremléke, a *Tadzs Mahal*, a szerelem márványba faragott apoteózisa, melyet 1630–40-ben Szadzshán mogul építtetett legkedvesebb feleségének emlékére. Az alapzatból csipkeszerűen áttört márványablakokkal emelkedik ki a fehér és színes márványból készült 75 m magas kupola; az alapzat négy sarkán pedig egy-egy karcsú minaret hegyesedik.

Május 4-én Gvalior állam fővárosában néztük meg a várat és 7-én elértük *Ellorát*. Ez a helység csak postaállomás, még hotelje sincs, ezért kevesen nézik meg, pedig negyven-

nél több sziklatemploma feledhetetlen látvány, kivált a *Kajlász*, mely nem más, mint egyetlen óriási sziklatömbből faragott templom. Nincs hozzá hasonló alkotás az egész világon.

Végre május 9-én ismét Bombay ege alatt voltak utasaink, majd május 15-én hajóra szállva elhagyták India földjét, melynek rejtelmait nem tudta feltárni a hindu fakírok és varázslók bűvésze, hanem magyar

lángész találmánya és magyar tudós munkája mutatja meg, hogy mit rejtett magában a mesék szülőföldje az újkor embere részére.

Ne higgyük azonban, hogy csak Indiában jár diadalút a magyar találmány és dolgozik a magyar tudós. Amerikában is igénybe veszik mindkettőt. Az újkori n esék földjén, kivált *Teas* nagy kiterjedésű síkságain, használják fel a geológiai módszereket a földben rejlő kincsek felkutatására. Nem szabad elhallgatnunk, hogy nem csupán az *Eötvös* ingát alkalmazzák erre a célra, amely módszer a Föld vonzóerjében jelent-

kező változásokon alapszik, hanem más módszereket is használnak. Így robbantásokat csinálnak bizonyos mélységekben s a rengéshullámok terjedéséből következtetnek a rétegek anyagi mivoltára. Abból szoktak következtetni a Föld mélyének viszonyaira, hogy a rétegek hogyan vezetnek az elektromos áramot. Van olyan módszer is, mely a rádióban használt elektromos hullámokkal dolgozik, ezek terjedéséből és visszaverődéséből állapít meg bizonyos jelenségeket a mélyebben fekvő rétegek-

ben. Végül legújabbban a radioaktivitásra is dolgoztak ki egy módszert és valószínű, hogy a jövőben e módszerek száma gyarapodni fog. Amde az uttoró elsőségen kívül is, melyre magában is büszkék lehetünk, mindezen módszerek között mai napig is vezet a esavárási inga, mert a legbiztosabb és legrészletesebb eredményeket nyújtja. És pedig még mindig azok a módszerek a legkeresettebbek, melyeken ez a felirat díszlik: „Original Eötvös made in Hungary.”

jussanak hazájukba. Az expedíció vezetői azonban más utat választottak. Elbocsátva a személyzetet, vasútra ültek, s a Gangesz vidékén, a Himalája aljában régi indiai emlékeket látogatva, pihenték ki a dzsungelbeli élet fátadalmait.

Április 19-én *Dardzsiling*be érkeztek, s lerótták kegyelüket a csodálatos életű magyar vándor, *Kőrösi Csoma Sándor* sírja fölött. A 2100 m magasán fekvő Dardzsiling ma üdülőhely, csupa hotel. Kilátópontjairól szép időben a tömegével mindent felülmúló Himalája fő csúcsaiban lehet gyönyörködni. A 8580 m magas Kangcsenszöngöng uralja ott a hegyláncot, melléje sorakoznak a Jannu, Kabru stb. 6–7000 méteres csúcsai.

A környék egyes pontjairól a Föld legnagyobb hegyóriása, a *Mount Everest* is látható. A hóhatár 4000 m magasságban kezdődik, feketén emelkednek felfelé a hegyek, s csak derékon felül vesznek bele a felhők által övezett csillogó fehér hóba. Kőrösi Csoma Sándor sírját a temetőben

nyolcszögű oszlop díszíti, melyen a filológiai tudományokat művelő Bengáli Ázsiai Társaság, továbbá *Csomakőrös* község és végül a Magyar Tudományos Akadémia márványtáblái hirdetik világraszólóan a magyar kultúra dicsőségét.

Április 22-én elbúcsúztak *Dardzsiling*től s 24-én leérkeztek *Benaresz*be, India Gangesz partján fekvő szent városába. Az egész város csupa templom, ezernél is több a temploma, s bár csak 200 000 lakója van, a brahmán műveltség és tudomány székhelye, A zarándokok forgalma szinte leírhatatlan. Ezerszám jönnek mindennap és ezerszám hagyják el; mindenki a folyó partján igyekszik helyet foglalni, hogy a szent habokban megfürödhessen. De e fürdés inkább egészségügyi felfrissülés, mintsem valamely áhítatos szertartás hatását kelti, s a világfürdői hangulat profánságát még a nyílt, máglyákon végzett hullaégetés sem enyhíti. *Benaresz* környékén *Ramnagár* rejtegeti a legszebb látnivalót: festői maharadszavárat és gyönyörű faragványokkal díszes hindu templomot.

Április 20-án *Lökno* falai között jártak, és megnézték a bennszülött gyalogosok 1857. lázadásának maradványait. Ugyanilyen emlékek teszik nevezetessé *Kámpurt* is, hova 29-én érkeztek. Hogy mekkora lehetett a bennszülöttek elkeseredése és gyűlölete, bizonyítja az a kút, amelybe nem kevesebb mint 300 európai tetemét hányták. Sokkal kellemesebb meglepetést tartogatott számukra *Dzsajpur*, mert a város nevezetes múzeumában külön szekrény őrzi a magyar majolika messze keletre került remekeit.

E bennszülött állam maharadszájának gyönyörű palotáját övező hatalmas parkban van India legnagyobb és egyik legrégebb csillagászati obszervatóriuma. A furcsa épületeket misztikussá teszik a rajtuk látható osztott márványkörívek. Ezek segítségével mérték le hajdan az égitestek helyzetét.

Május 2-án az indiai mohamedánok legszebb emlékeiről nevezetes *Agrába* érkeztek. Itt van a világ leggyönyörűbb síremléke, a *Tadzs Mahal*, a szerelem márványba faragott apoteózisa, melyet 1630–40-ben Szadzshán mogul építtetett legkedvesebb feleségének emlékére. Az alapzatból csipkeszerűen áttört márványablakokkal emelkedik ki a fehér és színes márványból készült 75 m magas kupola, az alapzat négy sarkán pedig egy-egy karcsú minaret hegyesedik.

Május 4-én Gvalior állam fővárosában néztük meg a várat, és 7-én elértük *Ellorát*. Ez a helység csak postaállomás, még hotelje sincs, ezért kevesen nézik meg, pedig negyvennél több sziklatemploma feledhetetlen látvány, kivált a *Kajlász*, mely nem más, mint egyetlen óriási sziklatömbből faragott templom. Nincs hozzá hasonló alkotás az egész világon.

Végre május 9-én ismét Bombay ege alatt voltak utasaink, majd május 15-én hajóra szállva elhagyták India földjét, melynek rejtelmait nem tudta feltárni a hindu fakírok és varázslók bűvésze, hanem magyar lángész találmánya és magyar tudós munkája mutatja meg, hogy mit rejtett magában a mesék szülőföldje az újkor embere részére.

Ne higgyük azonban, hogy csak Indiában jár diadalúton a magyar találmány és dolgozik a magyar tudós. Amerikában is igénybe veszik mindkettőt. Az újkori mesék földjén, kivált *Texas* nagy kiterjedésű síkságain, használják fel a geofizikai módszereket a földben rejlő kincsek felkutatására. Nem szabad elhallgatnunk, hogy nem csupán az Eötvös-ingát alkalmazzák erre a célra, amely módszer a Föld vonzóerejében jelentkező változásokon alapszik, hanem más módszereket is használnak. Így robbantásokat végeznek bizonyos mélységekben, s a rengéshullámok terjedéséből következtetnek a rétegek anyagi mivoltára. Aból is szoktak következtetni a Föld mélyének viszonyaira, hogy a rétegek hogyan vezetik az elektromos áramot. Van olyan módszer is, mely a rádiózásban használt elektromos

hullámokkal dolgozik, ezek terjedéséből és visszaverődéséből állapít meg bizonyos jelenségeket a mélyebben fekvő rétegekben. Végül legújabbán a radioaktivitásra is dolgoztak ki módszert, és valószínű, hogy a jövőben e módszerek száma gyarapodni fog. Ámde az úttörő elsősen kívül is, melyre magában is büszkék lehetnénk, mindezen módszerek között mai napig is vezet a csavarási inga, mert a legbiztosabb és legrészletesebb eredményeket nyújtja. És pedig még mindig azok a műszerek a legkeresettebbek, melyeken ez a felirat díszlik: „*Original Eötvös made in Hungary*”.

A cikk szerzője

Kovács Béla

Földtudományos Forгатag

Idén, 2018-ban is megrendezik a magyar földtudományi egyesületek egyik legnagyobb, tudományos ismeretterjesztő rendezvényét a Földtudományos Forгатagot. Az immár hagyományossá vált rendezvény színhelye a *Magyar Természettudományi Múzeum* (Budapest, VIII., Ludovika tér 2.), időpontja pedig *2018. november 10–11.*

A Forгатagon bemutatkoznak földtudományi kutatással foglalkozó intézményeink, a rendezvény látogatói megismerkedhetnek ásványkincseinkkel, a klímaváltozás nyomaival a kőzetekben, a földtani veszélyforrásokkal, a Földet vizsgáló geofizikusok különleges eszközeivel, valamint a szénhidrogén-kutatás érdekességeivel.

Nemzeti parkjaink és geoparkjaink hazánk legszebb felkereshető földtani látványosságait mutatják be, és geotúraajánlatokkal várják az érdeklődőket.

A kisebbeket a geojátszóház várja, évmilliók története ősmaradványok, ásványok, kőzetek képében megfoghatóan, kézközelben.

Kedvezményes ásvány-, kőzet- és könyvvásár egészíti ki a látnivalókat!

Kakas Kristóf barátunkat idézve feltehetjük a kérdést, „ki a Forгатag célcsoportja?” A válasz egyszerű: „mindnyájan”. Elsősorban persze a természettudományok iránt nyitott tanulói ifjúság és a hasonló beállítottságú, de nem a geoszakmákban tevékenykedő felnőttek. Ám ennek ellenére a geoszakmákban dolgozó szakembereknek is jó szívvel ajánlhatjuk a rendezvény meglátogatását, hiszen a természettudományok gyors fejlődése az elmúlt századokban olyan tudásmennyiséget halmozott fel, hogy többnyire már saját szakmánkban is csak egy-egy többé-kevésbé szűk szegmenst ismerünk igazán. Így érdekes és informatív élmény lehet, ha bepillantunk szakmánk más területeinek eredményeibe.

A fentiek értelmében tisztelettel hívjuk és várjuk tagtársainkat a Földtudományos Forгатag eseményeire. Hozzátok el családtagjaitokat is, különösen az ifjabbakat!

A Magyar Geofizikusok Egyesületének Titkársága



A képek a 2017. évi Földtudományos Forгатagon készültek

Kakas Kristóf

1943 – 2018

Szegényebbek lettünk. Elment Kakas Kristóf, a segítőkész jó barát, a felejtethetlen diáktárs, az ötletekben gazdag, tenni akaró munkatárs. Mint minden ember, ő is egyéniség volt. Pótolhatatlan. Mindnyájan, akik valaha együtt voltunk vele, fájdalmasan szegényebbek vagyunk.

1943. február 13-án Budapesten született. A II. Rákóczi Ferenc gimnáziumban 1961-ben érettségizett. Ahhoz a nemzedékhez tartozott, amelynek megadatott a tennivalókban gazdag geofizikus élet. Az egyetemet '61-ben kezdtük. Sokunkkal ellentétben, akiket Egyed professzor a fizikusnak jelentkezők közül vett át, Kristóf eleve geofizikusnak készült. Akkoriban még sok tárgyat a fizikusokkal közösen hallgattunk, ám egyre szorosabb kapcsolatba kerültünk a geofizikusok életével. Talán a negyedik évfolyamot végeztük, amikor megismerkedtünk a Magyar Geofizikusok Egyesületében pezsgő élettel. Kristóf az elsők között, még diákként kötött munkaszerződést az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (ELGI). Nemcsak a nyári gyakorlatokon dolgozott terepen, hanem külön „kutatóexpedíciót” szervezett az évfolyam részére a Zemplénbe. Egy bűvópatak nyomvonalát kutattuk, többek között töltött test módszerrel. Ehhez egy sóval teli zsákot áztattunk a forrás vizébe, és mértük az elektromos potenciáltér változását. A módszer sikeresnek bizonyult, de a közeli falu tehenei nem díjazták az előbukkanó patak ihatatlan vizét. Hamar szembekerültünk a ténynyel: ami nekünk kutatási terület, az mások életének tere lehet.

*

Mivel Kristóf több volt, mint egy néhány évvel fiatalabb kolléga, igyekszem rokonszenves egyéniségének néhány vonását is felidézni.

A '60-as évek közepe volt az ELGI rohamos fejlődésének kezdete. Az ELTE-n 1964-ben végzett hét geofizikus közül hat, az 1966-ban végzett kilenc közül szintén hat – Fejes Imre, Kakas Kristóf, Kónya Albert, Rezessy Géza, Sipos József, Viola Balázs – kezdte pályafutását az ELGI-ben (valamennyien ott is fejezték be). Ez már az egyetemi évek alatt eldőlt, így Kakas Kristóf is a diplomatervezéshez szükséges terepi méréseket az egyik intézeti csoportnál végezte. A geoelektromos mélyszondázások 1965-ben Kunszentmárton környékén történtek, ide érkezett meg még egyetemi hallgatóként Kristóf. Egy nap megkapott egy műszerkocsit teljes

személyzettel – gépkocsivezető és két segédmunkás – és felszereléssel, valamint rendelkezésére állt a mélyszondázáshoz használt áramforrás a megfelelően kiterített kábelekkal, elektródarendszerrel. Munkakezdés után nem sokkal indult is mindenki, köztük Kristófék, a terepre. Rövid idő múlva azonban csak ők tértek vissza a terepi irodába, mert mint kiderült, a műszerkocsin ott volt mindenki, aki magától felszállt, mivel azonban a műszer, a kábelek és elektródák ezt nem tették meg, lemaradtak. A hiányok pótlása után aztán újra elindultak, és a szükséges méréseket el is végezték. Ezt nem csak Kristóf diplomamunkája bizonyítja, hanem a mérések eredeti jegyzőkönyve is. Ez a jegyzőkönyv az ELGI muzeális értékei között megtalálható „szocialista brigád” naplójában van. Ugyanis a mélyszondázó csoport ezt a kitüntető címet is kiérdemelte, és a pályakezdő fiatalok támogatásának kissé szokatlan dokumentuma volt ez a jegyzőkönyv.

Nem tartozik a legudvariasabb dolgok közé valakinek a nevével élcelődni, de ebben a szintén kunszentmártoni történetben nincsen semmi bántó. Kristóf valami ok miatt takaréktetőkönyvet nyitott az ottani postán. Mikor az ügyintéző kérdezte, hogy milyen névre és meghallotta a nevet, ennyit mondott: Szóval jelíges.

A digitális korszak kezdete előtt is kisebb-nagyobb műszerfejlesztési feladatok hárultak a geofizikusokra, Kristóf ezekből is kivette a részét. A GE-20 szondázó műszer szabadalmaztatott elvét használva, de egy több kW teljesítményű egyenáramú generátorhoz szükséges kapcsolórendszerrel kiegészítve születtek meg az első középszondázó berendezések. De az elektronika fejlődése – a tranzisztorok, tirisztorok megjelenése – és a hordozható, néhány tized kW-tól néhány kW-ig terjedő váltóáramú generátorok könnyű elérhetősége lehetővé tette a kompenzátor és a tápegység szétválasztását. Aztán – főként a bauxitkutatásban – teret nyert a potenciáltérképezés. Ezeket az új lehetőségeket kihasználva és az új módszerek igényeit kielégítve több műszer is született, ebben főként Pattantyús Á. Miklós elektromérnök volt Kristóf segítőtársa.

A fejlődésnek vannak néha kellemetlen mellékhatásai is. A tranzisztoros rádiók megjelenése feleslegessé tette az elektroncsöves készülékekhez szükséges 120 V-os anódtalpak gyártását, pedig mi ezeket használtuk a kis mélységű szondázások áramforrásaként. Megpróbálták a helyettesítést nagyszámú 1,5 V-os elemmel, ezeket egy „kályhacsőbe” téve, de a



Kakas Kristóf
1943 – 2018

sok bizonytalan érintkezés miatt ez a szükségmegoldás nem vált be, szerencsére felesleges is lett.

*

1968-ban Mongóliában dolgoztunk. Az erősen kontinentális éghajlatú ország hatalmas állatállományának életben tartásához egyre több vízre volt szükség. Kutak kellettek a felszín alatti vizek feltárásához, és a magyar kutatók 1957-től sikeresen látták el ezt a feladatot. Kristóf ebben a munkában vett részt. Másodmagával VESZ-mérések alapján 39 produktív kút helyét jelölte ki.

Hazatérése után a Dunántúli-középhegység kutatásában kapott egyre nagyobb szerepet. Szabadváry László vezetése mellett részt vett a terepi mérésekben, a feldolgozásban és értékelésben, majd terepi csoportot, osztályt vezetett, a bauxit-geofizika első számú hazai irányítója lett. Több mint száz jelentését az Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (MBFSZ) Adattára örzi.

A dunántúli nyersanyagkutató méréseknek két meghatározó sajátosságuk volt. A feladat nem egy terület geofizikai térképének elkészítése volt, hanem szenet vagy bauxitot kellett találni. E nyersanyagoknak mint általában minden kőzetnek nincs egyedi, csak rá jellemző fizikai paramétere. Ezért módszeregyütteseket kellett kialakítani, ezeket együttesen értékelni. A komplex értékelés vezetett a feltételezett nyersanyagtároló szerkezet kijelöléséhez. Kristóf nevéhez ezen a területen is számos eredmény fűződik. 1968-ban kidolgozta az egyenáramú potenciál-térképezést (PM) a nagy ellenállású medencealjzat (általában triász mészkő) domborzatának leképezésére. Amikor az igény a felszínről bányászható bauxittöbrök felkutatására terelődött, 1972-ben sikeresen vezette be az igen alacsony rádiófrekvencián működő VLF-méréseket. Mindkét geoelektromos módszer értelmezésének feltétele a „kétréteges” modell, a bauxitot azonban több esetben harmadik réteggént nagy ellenállású eocén mészkő fedi. Itt a váltóáramot alkalmazó, elektromágneses módszerek lehetnek sikeresek. Az ELGI 1985-ben vásárolta meg az időtartományban működő, Geonics gyártmányú EM-37 típusú tranziens berendezést. Hazai bevezetésében Sörös Lászlóval dolgozott együtt.

A dunántúli nyersanyagkutatás másik sajátossága a rendelkezésre álló idő rövidege volt. Az idő szűkössége még fokozottabban jelentkezett akkor, amikor iparvállalatok (Bauxitkutató Vállalat, Bauxitbányák) adták a megbízást. A mérési terv elfogadásától a mérések elvégzésén, értékelésén át a fúrásjavaslat átadásáig gyakran csak hetek álltak rendelkezésünkre. Terepre kellett vinni a feldolgozást, az eredmények térképi megjelenítését. Az első, HP 9815 asztali számítógépre kidolgozott adatrögzítő rendszer 1975-ben állt munkába, ennek továbbfejlesztéseként 1977-ben készült el a Kutatási Információs Rendszer (KIR). A programfejlesztést Gosztonyi László és Bojár Gábor (később a GRAPHISOFT alapítója, igazgatóságának elnöke) végezte, bevezetésében és alkalmazásában Tóth Csaba mellett Kristófnak volt jelentős szerepe.

1974 szakmai szenzációja a korábban kibúvásként térképezett, de elfelejtett iharkúti bauxit újrafelfedezése. A szenzációról Kristóf az elsők között értesült, megkereste bauxitos kollégáit, és azonnal intézkedett. Az első fúrások idején VLF-mérésekkel másfél óra alatt sikeresen lehatárolták az iharkúti töbröt. A BKV vezetői elismerték a mérések hatékonyságát, és az elismerés további megbízásokat fialt. Kristóf irányításával, Bodri Gyula mérésvezetésével, a megkezdett bányászattal párhuzamosan tíz éven át készültek geofizikai mérések. A hét területrészen 1983-ra megtalált 69 előfordulást szinte kizárólag geofizikai anomália alapján fúrták meg.

A hazai szakmai sikerek elismerése külföldön is megmutatkozott. Kristóf nemzetközi fórumokon is be tudta mutatni eredményeit, ezzel ő is hozzájárult ahhoz, hogy az Intézetet külföldi megbízásokhoz juthasson. Ezek egy részében ő is részt vehetett. 1974-ben Khatunabádban (Irán) Simon Pállal közösen VESZ-mérésekkel határolták le a tervezett rézbánya és ércdúsító igényéhez szükséges vízáadó összetet. 1977-ben és '78-ban többekkel együtt részt vett a Sabalan vulkán (Irán) gravitációs felmérésében. A geodéziai feldolgozóprogramot HP97 kézi számítógépre Kristóf készítette el. Az iráni állam bejelentése szerint itt építik meg az ország első, 100 MW kapacitású geotermikus erőművét. 1987 és 1990 között Kubában vezetett expedíciót. Az akkori szocialista országok Kölcsönös Gazdasági Segítség Tanácsának (KGST) keretében megkötött szerződés alapján az expedíció Guantanamo térségében dolgozott. Kristóf plusz hozzájárulása az elért eredményekhez: terepi számítógépes feldolgozás és VLF-módszer bevezetése, sikeres bemutatómérések szervezése volt.

Kristóf kedvenc témái közé tartoztak a bauxitbányában végzett geoelektromos mérések és a régészeti célú geofizikai kutatások is. Vállalkozó kedve, szervezőképessége élte ezeket a munkákat. Szabadidejét feláldozva ő is „leszállt a mélybe”, kereste, hol, mennyi bauxit maradt vissza a termelés után. Az új kihívások új módszerek és műszerek alkalmazását kívánták. A legnagyobb lépést a földradar-berendezés megvásárlása jelentette 1992-ben, amelynek működtetése Pattantyús Á. Miklós nevéhez kötődik. Ez már azonban a bányászat hanyatlásának, visszafejlesztésének ideje. A régészet mellett a mérnökgeofizikai feladatok váltak a földradar sikeres alkalmazási területévé.

1994-ben – a bányászat magánkézbe adása, az állami földtani intézményrendszer átszervezése idején – az ELGI-ben megélt 28 év után Kristóf átkerült a Magyar Geológiai Szolgálathoz. A főigazgatói titkárság vezetését bízták rá. Ez már nem az ő világa volt. Egyéni kezdeményezései gyakran falakba ütköztek, ötletei megvalósításához eszközei szűköseknek bizonyultak. Szakmaszeretete visszahívta az ELGI-be. Tevékenységét az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 2008-ban Pro Geophysica díjjal ismerte el. Megbecsülése ma is tovább él, az egykor volt ELGI mai jogutódja, az MBFSZ Kristófot a közszolgálat halottjának ismeri el.

*

Nem tartozik szorosan a szakmához az, ami az European Association of Exploration Geophysicists, illetve European Association of Geoscientists and Engineers éves kongresszusain történt. Ezeken Kristóf a '90-es években gyakran vett részt. A kongresszussal együtt rendezett kiállításon néhány intézmény úgy igyekszik lehetséges vásárlók, együttműködők adataira szert tenni, hogy meghirdet egy sorsolást. Csak be kell dobni egy névjegyet a standon feltűnő helyen elhelyezett gyűjtőbe, az utolsó napon van a húzás. Remélem, jól emlékszem, hogy Kristóf két alkalommal is nyert, egy bőrdzsekit, majd egy laptopot. Azt már nem tudom, hogy ebben volt-e szerepe annak a kis trükknek, amit jószívu mindenki elosztott: bedobás előtt be kell kicsit hajtan a névjegy sarkait, akkor könnyebben akad a sorshúzó kezébe.

Legutolsó komolyabb beszélgetésünkre már a 2010-es években került sor, mégpedig az ELGI történetének második kötetével kapcsolatban. Közvetlenül, ebben a kötetben Kakas Kristóf neve ötvennél többször szerepel hivatkozásként, fejezet vagy korábban írt jelentés szerzőjeként. Bár a beszélgetés fő témája nem ez volt, óhatatlanul szóba került az, ami még akkor is nagyon bántotta. Kidolgozott egy ahhoz hasonló transzformációs eljárást az időtartományban, amilyent egy frekvenciatartományban dolgozó műszerrel együtt az Intézet megvett. A meglehetősen szerencsétlen vásárlási szerződés pedig megtiltotta ennek az eljárásnak a publikálását. Ha valakit még nyugdíjas korában is foglalkoztat, bánt egy ilyen, rajta kívül álló ok miatt bekövetkezett, nem szakmai kudarc, akkor az nagyon mélyen érinthette.

Kristóf nyugdíjba vonulása után is sokat tett a geofizika, általában a tudomány népszerűsítéséért. Elég, ha csak a „földtani forgatag”-nak nevezett rendezvényekre gondolunk. De ezt már korábban is szívügyének tekintette. A '90-es évek végén a televízió „Mindent vagy semmit” című kvízműsorában sikeresen szereplő kollégánk mesélte, hogy az egyik vándorgyűlés előadásait értékelve Kristóf azt a csak részben odaillő megjegyzést tette, hogy „...Palinak nagy kitüntetés kellene adni, mert senki nem tett annyit a geofizika országos népszerűsítése terén, mint ő”. A meglepődést látva meg is magyarázta, miért. A vetélkedőben ugyanis a játékvezető minden alkalommal röviden bemutatta a játékosokat. Így aztán nyolc egymás utáni adásnapon legalább 25–30 alkalommal hangzott el az ország akkor egyik legnépszerűbb, legnézettebb műsorában, hogy „Draskovits Pál budakalászi geofizikus”. Akkor ezt csak a Kristófra annyira jellemző szakmaszeretet, jópofaság és némi szertelenség megnyilvánulásának tartotta, de mikor nem sokkal később két professzor, Meskó Attila és Takács Ernő is némileg más szavakkal, de lényegében ugyanezt mondta, mint Kristóf, személyesen is elnézést kért tőle, amiért a széles körben kifejtett véleményét először nem vette eléggé komolyan.

Talán nem illik egy megemlékezés keretei közé, de éppen Kristóftól ilyen irányú elkötelezettsége miatt érdemes felidézni egy másik esetet is.

2009 elején jelent meg egy rövid cikk egy tudományos szaklapnak semmiképp sem nevezhető újságban, „6 kilométeres meteorit van a lábunk alatt” címmel. Akkoriban született egy elképzelés, hogy a magyarmecskai tellurikus anomáliát meteorit becsapódása hozhatta létre. Erre csapathatott le egy nyilván nem szakember újságíró, ezt bizonyítja a szenzációhajhászó cím, amely tényként közöl feltevéseket. Idézet a cikkből: „Körülbelül 300 millió éve egy meteor csapódott a széntartalmú palarétegekbe. Az óriási nyomáshullám a kőzetek széntartalmát grafitá alakította. Ez azért lényeges, mert nemcsak ez az első észlelt meteorbecsapódás hazánk területén, hanem a világon az első olyan kráter, amit geofizikai mérések alapján találtak meg. Nem zárható ki, hogy itt jelentős gáz-, kőolaj-, esetleg gyémántkészletek találhatóak. Hogy a meteor mekkora lehetett és honnan jött, a geológiai fúrások, vizsgálatok végeztével derülhet ki – mondta a Blikknek Kakas Kristóf geofizikus.” Nem hiszem, hogy Kristóf ezt és így mondta, ez legfeljebb az, amit az újságíró megérteni vélt és hallani szeretett volna. Remélem, hogy ennek a felidézése találkozna Kristóf egyetértésével, mert a szakma szeretete mellett a pontosságot és szakszerűséget is fontosnak tartotta.

Kristófról sokkal hitelesebb az a kép, amelyet egy nem geofizikus kollégája festett. 2007-ben, az ELGI létrejöttének 100. évfordulóján rendezett megemlékezésen meghívottak voltak az Intézet korábbi munkatársai is, köztük a már említett Bojár Gábor. Emlékeim szerint az ELGI-ben töltött éveiről szólva csupán két nevet említett, akikkel együtt dolgozott, Kakas Kristófét és Rezessy Gézáét.

*

2005-ben, 62 évesen ment nyugdíjba. Több időt töltött együtt családjával, három gyermekével és unokájával. Gyakran volt fent a Várban, felesége, Koós Ágnes *Kiskép Galériájában*, amelynek megvalósításában, működésében maga is tevékenyen részt vett. Szakmai kapcsolatai azonban nem szakadtak meg, a Columbus utcai székházban íróasztalt kapott, rendszeres munkakapcsolatot tartott az aktív geofizikusokkal. Lelkesen vállalt egyesületi feladatokat, részt vett a *Magyar Geofizika* szerkesztésében, egy ötnyelvű geofizikai teaurusz összeállításában, és gondozta az Egyesület honlapját. Az utolsó tíz évben nélkülözhetetlen szervezője volt az Egyesület szakmai rendezvényeinek.

Gyászoljuk távozását, hiányát fájdalmasan érezzük. Vidám, segítőkész lényét megőrizzük!

Rezessy Géza, Verő László

Rendezvénynapló

2018. október		
okt. 14–19.	SEG International Exposition and 88th Annual Meeting (https://seg.org/Annual-Meeting-2018)	Anaheim, CA, USA
okt. 28–30.	SEG Borehole Geophysics Workshop (https://seg.org/Events/Events-Calendar/Borehole-Geophysics-Workshop)	Guilin, Kína
2018. november		
nov. 4–7.	AAPG International Conference & Exhibition 2018 (http://capetown2018.iceevent.org/)	Cape Town, Dél Afrika
nov. 8–9.	First EAGE/IGA/DMGK Joint Workshop on Deep Geothermal Energy (www.eage.org)	Strasbourg, Franciaország
2018. december		
dec. 10–14.	AGU Fall Conference (https://fallmeeting.agu.org/2018/)	Washington, D.C. USA
2019. április		
ápr. 23–26.	5th International Workshop on Rock Physics (http://sgpnus.org/5iwrp.html)	Hong Kong
2019. május		
máj. 23–25.	Az MFT és az MGE közös vándorgyűlése A Magyar Királyi/Állami Földtani Intézet jubileumának és Eötvös Loránd centenáriumának alkalmából	Balatonfüred
2019. június		
jún. 3–6.	81. EAGE évi kongresszus és műszerkiállítás (www.eage.org)	London, Anglia
2019. szeptember		
szept. 15–20.	SEG International Exposition and 89th Annual Meeting (https://seg.org/Events/Upcoming-SEG-Annual-Meetings)	San Antonio, Texas, USA

További részletek, referenciák a honlapról (www.mageof.hu) érhetők el.

Kakas Kristóf[†]

Tihany – 1966

Vízi mágneses mérések helymeghatározása a Balatonon a műholdas navigáció kora előtt (Hegymegi et al., *Magyar Geofizika*, 9/6, 231)



Tarcsay György, kedves kollégánk a mólóról teodolittal követte a mérőhajót (mellette a szabadsága során véletlenül odavetődő Bodoky Tamás)

MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE

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

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

