

MAGYAR GEOFIZIKA

HUNGARIAN GEOPHYSICS

A MAGYAR
GEOFIZIKUSOK
EGYESÜLETÉNEK
FOLYÓIRATA



JOURNAL OF THE
ASSOCIATION
OF HUNGARIAN
GEOPHYSICISTS

Merre tart a magyar geofizika?

MFG szeniorok kirándulása

Beszámoló az Egyesület 34. vándorgyűléséről

EAGE hírek 2015-ből

Szerkezetkutató 3D szeizmikus mérések a Paksi Atomerőmű környezetében

A Mohorovičić-határfelület magyarországi kutatása –
módszerek, mérések, eredmények

Az Eötvös Loránd-féle torziós ingához fűződő dokumentumokkal
bővült az UNESCO világemlékezet-listája

Egy kis geofizikatörténet

In Memoriam:

Id. Dr. Zilahi-Sebess László
Kummer István
Paulik Dezső



MAGYAR GEOFIZIKA

HUNGARIAN GEOPHYSICS

56. évfolyam (2015) 3. szám



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

TARTALOM • CONTENTS

SZERKESZTŐSÉGI ROVAT • EDITORIAL

131 Merre tart a magyar geofizika? (Where does Hungarian geophysics tend towards?) – *Elnökség*

MGE HÍREK • NEWS OF ASSOCIATION OF HUNGARIAN GEOPHYSICISTS

132 MFG szeniorok kirándulása (Excursion of retired colleagues) – *Rezessy G., Polcz I.*

134 Beszámoló az Egyesület 34. vándorgyűléséről (Report on 34th itinerary congress of AHG) – *Petrovszki J., Hegedűsné Petró E., Kovács A. Cs., Kakas K.*

EAGE HÍREK • NEWS OF ASSOCIATION OF EUROPEAN GEOSCIENTISTS AND ENGINEERS

136 EAGE hírek 2015-ből (EAGE news from 2015) – *Törös E.*

TANULMÁNYOK • PAPERS

139 Szerkezetkutató 3D szeizmikus mérések a Paksi Atomerőmű környezetében (Structural 3D seismic survey around the Paks Nuclear Power Plant) – *Gombár L., Deák F.*

152 A Mohorovičić-határfelület magyarországi kutatása – módszerek, mérések, eredmények (Research of the Mohorovičić discontinuity in Hungary – methods, measurements and results) – *Kiss J., Gúthy T., Zilahi-Sebess L.*

HÍREK • NEWS

179 Az Eötvös Loránd-féle torziós ingához fűződő dokumentumokkal bővült az UNESCO világméglekzet-listája (UNESCO list of world heritage is supplemented by documents on Eötvös's torsion balance) – *Szabó Z., Késmárky I.*

181 Egy kis geofizikatörténet (Geophysics history in brief) – *Viola B.*

IN MEMORIAM

182 Id. Dr. Zilahi-Sebess László – *Szerkesztőség*

183 Kummer István – *Madarasi A.*

184 Paulik Dezső – *Császár J.*

MAGYAR GEOFIZIKA

HUNGARIAN GEOPHYSICS

56. évfolyam (2015) 3. szám

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

Főszerkesztő • Editor-in-Chief

DR. BODOKY TAMÁS

E-mail: bodoky.tamas@mfgi.hu

Szerkesztőbizottság • Editorial Board

DR. BARÁTH ISTVÁN, KAKAS KRISTÓF, DR. LENKEY LÁSZLÓ,

DR. PETHŐ GÁBOR, DR. SZARKA LÁSZLÓ, VERŐ LÁSZLÓ

Technikai szerkesztő • Technical Editor

HOCK GÁBOR

E-mail: hockg@t-online.hu



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

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

Kiadja a Magyar Geofizikusok Egyesülete
A kiadásért felel: Horváth Zsolt

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

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

Készült: NestPress Kft., 1116 Budapest, Vegyész u. 17–25.
Felelős vezető: Fekete Iván

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

INDEX: 26 507
HU ISSN 0025-0120

Merre tart a magyar geofizika?

Fórum a magyar geofizikáról

A Magyar Geofizikusok Egyesülete 2016. március 10-én szakmai fórumot tart a magyar geofizikának a nemzetgazdaságban és a nemzetközi tudományos életben betöltött és lehetséges szerepéről, a munkáltatói igényekről, a geofizikusok tapasztalatairól és lehetőségeiről. A fórum lehetőséget

biztosít a versenyszférában, a tudományos területen, illetve az oktatásban működő szervezetek, valamint az egyes személyek közötti párbeszédre. A rendezvény helyszíne a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet díszterme (Budapest, Stefánia út 14).

Program

- 9:00 Regisztráció
 - 10:00 Elnöki köszöntő, vitaindító előadások
 - 11:00 Felkért hozzászólók
 - 12:00 *Büfé*
 - 12:30 Válaszok az előzetesen benyújtott kérdésekre
 - 13:00 Szóbeli kérdések, észrevételek
-
-

A vitaindító előadásokat és hozzászólásokat a Magyarországon működő és jelentősebb számú geofizikust foglalkoztató gazdálkodó szervezetek, intézmények vezetői tartják. Nevüket és az egyéb fontos információkat az egyesület honlapján a Hírek rovatban (<http://www.mageof.hu/index.php/hu/uj-menu>) fogjuk közzétenni.

A fórum tárgyához kapcsolódó kérdések előzetesen írásban is feltehetőek (cím: Magyar Geofizikusok Egyesülete 1145 Budapest, Columbus u. 17–23., vagy e-mail: postmaster@mageof.t-online.hu). Beérkezési határidő: 2016. február 19.

A fórumról hangfelvétel készül, amely az elhangzottak írásban elkészülő, nyilvános összefoglalójának alapját képezi.

A fórum nyilvános, hivatalos nyelve magyar. Az Egyesület elnöksége szeretettel vár minden, Magyarországon végzett, vagy hazánkban dolgozó geofizikust, illetve geofizikával foglalkozó szakembert, a geoszakos egyetemi hallgatókat és minden olyan szervezet vezetőjét vagy képviselőjét, amely szervezet tudományágunk jövőjében érdekelt.

*A Magyar Geofizikusok Egyesületének
Elnöksége*

MGF szeniorok kirándulása

A Magyar Geofizikusokért Alapítvány támogatásával az idén is létrejöhett a szenior geofizikusok kirándulása, melynek sikeréhez a szép idő nagyban hozzájárult. Szeptember 9-én reggel 7.45-től gyülekeztünk az MFGI székház mellett. A kirándulók szép számmal érkeztek, 48-an voltunk. Három meghirdetett programban vettünk részt: az ELGOSCAR-2000 fűzfői Környezetanalitikai Laboratóriumának megtekintése, az MFGI tihanyi obszervatórium tevékenységének bemutatása és mindezek után Magyar Balázs jóvoltából ebéd Balatonfüreden.

Ragyogó napsütésben az autópályán hamar leértünk a fűzfői gyártelepre, ahol már Balázs várt bennünket. Itt megnézhettük a vízminőség-vizsgáló laboratóriumok tevékenységét.

A laboratórium három fő részre tagozódik:

1. szerves szennyezők vizsgálata gázkromatográfiás, tömegspektrométeres műszerekkel,
2. szervesetlen vízkémiai komponensek meghatározása ionkromatográfiával,
3. toxikus fémtartalom meghatározása ICP/induktív csatlós plazma-atommisziós tömegspektrométerrel.

Ezenkívül üzembe helyezés alatt áll a környezettechnológiai vizsgáló laboratórium új épülete, ahol a technológiai fejlesztéseket kívánják majd tesztelni. A cég a műszerezettségét és a teljes laborkonstrukciót saját erőből valósította meg.

Ezután átmentünk a közeli veszélyeshulladék-égető területére, ahol az igazgató, Uglík László tartott előadást. A hulladékégetőben növényvédőszeres göngyölegeit, lejárt szavatosságú klórozott, halogénezett hulladékokat, kórházi hulladékokat semmisítenek meg úgy, hogy a kimenő gázok összetételét folyamatosan mérik, és az eredmények online megjelennek a Közép-Dunántúli Környezetvédelmi Felügyelőség ellenőrzést végző részlegénél is. A távozó füstgázokat szűrik és mérszertes oldattal mossák, így a károsanyag-kibocsátás megfelel az előírásoknak.

Innen tovább utaztunk Tihanyba. Az intézet obszervatóriumi épületét elhagyva az erdőszélen jobbra fordultunk. Itt csodálatos kilátásban volt részünk a tihanyi belső tóra és a magára a városra. A buszból kiszállva felcammogtunk az erdős domboldalon az észlelő (variációs és abszolút) házak megtekintésére.

Csontos András, Heilig Balázs és Hegymegi László ismertette az obszervatóriumi feladatokat és tevékenységeket, melyek a következők:

Földmágneses tér időbeli változásának folyamatos nagy pontosságú mérése

Több műszerrel történik párhuzamosan – részben a nagyobb adatbiztonság érdekében (mert a különböző rendszerű műszerek eltérő tulajdonságai miatt eltérő frekvenciatartományra adnak jobb eredményeket) – adatszolgáltatás hazai és külföldi felhasználók részére, terepi mérésekhez korrekciós

adatok szolgáltatása, földmágneses tér modelljeinek készítéséhez bemenő adatok szolgáltatása, mágneses műszerek kalibrálása, az évszázados változás megfigyelése, Magyarország szekuláris pontjainak kétévenkénti újramérése, mágneses normáltérkép szerkesztése, ismerterjesztés és oktatás.

A Földkörüli térség kutatása földmágneses módszerekkel
Földmágneses pulzációk megfigyelése, regisztrálása, meridiális megfigyelőhálózat megtervezése, megszervezése, a hálózat egyes egységeinek telepítése, működtetése, a megfigyelt jelenségek értelmezése, érdekesebb eredmények ismertetése.

Új mágneses műszerek fejlesztése

Kis fogyasztású, kisméretű fluxus magnetométer fejlesztése, mágneses teodolit vezeték nélküli kapcsolattal abszolút mérésekhez, nagyfelbontású optikai megfigyelőrendszer fejlesztése d/dD műszer azimutjának folyamatos megfigyelésére, automatikus önkalibrációképes d/dD műszer fejlesztése.

A domboldalról lassan leereszkedve gyönyörű kilátás nyílt jobbra, a Balatonra. A következő és utolsó állomásunk Magyar Balázsék balatonfüredi birtokának meglátogatása volt, ahol már megterített asztalok vártak bennünket. A bázis oktatási célokra is használja a BIOCENTRUM Kft., ahol az ELTE környezetvédelmi hallgatói számára hidrogeológiai gyakorlatokat tartanak. Itt különböző kütteszketet, hidrogeológiai vizsgálatokat végezhetnek szakmai irányítással a hallgatók. A BIOCENTRUM Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Kft. munkatársi, név szerint: Jánosi Márta, Dul Andrea és Becher Gyula jóvoltából ízletes gulyásleves és krémest kaptunk. A „munkaebéd” részeként Balázs bemutatta az I. világháború után Balatonfüzfőn 1920–1922-ben létesített földalatti eröművet. Az erömű 3000 m² alapterületen létesült, és 560 m-es alagúton át lehetett megközelíteni, a legmélyebb pontja 56 méterrel található a földfelszín alatt. Az erömű széntüzelésű volt, ehhez várpalotai szenet használtak, amelyet vasúton szállítottak a területre. Az erömű szénigénye 275 000 tonna/év volt, ami 11 ezer vagonnak felelt meg, és naponta 750 tonna szén behordását igényelte. Az erömű egy műszaki csoda volt, rekordidő alatt – 21 hónap – épült fel és 1972-ig üzemelt. Sajnos a bezárás után az erömű gépészetét lebontották, miáltal az ipartörténet egy igen értékes objektuma megsemmisült. A földalatti járatok a mai napig épek, vizesedés, állagromlás nincs.

A kiváló minőségű bor és házi pálinka kíséretében, a rendkívül finom és bőséges ebéd közben jókedvű beszélgetéseket folytattunk.

Hála vendéglátóinknak, mindnyájan gazdagabbak lettünk egy csodálatosan szép késő nyári nap felejthetetlen emlékével.

Rezessy Géza, Polcz Iván



Csoportkép a fűzfői gyártelep udvarán



Ebéd az oktatóbázison



A vízminőséget vizsgáló laborban



Ebéd utáni jó hangulat



Ismertető a mágneses műszerekről a Tihanyi Obszervatóriumban

Beszámoló az Egyesület 34. vándorgyűléséről

A vándorgyűlés – egyéves előkészítés után – 2015. szeptember 24-én plenáris üléssel kezdődött a Benczúr Konferenciaközpontban (Budapest VII. ker., Benczúr u. 35.). Aznap délután 2 szekcióülésben folytak az előadások, valamint másnap délelőtt és délután is szekcióülések voltak. Az ellátás része volt 2 büfébéd, egy baráti vacsora, és folyamatos volt a kávéellátás. A Benczúr Konferenciaközpont szolgáltatásai tökéletesen megfeleltek elvárásainknak és igényeinknek. Kiegészítésül, péntek este a vándorgyűlés résztvevői látogatást tehettek az MFGI Eötvös Loránd-gyűjteményében, szombaton pedig tanulmányi kirándulásként túrát szerveztünk a budai Várbarlangban (bevezető előadásokkal).



Előadás a vándorgyűlésen

Tervek és ami ezekből megvalósult

Előrelátható volt, hogy a 34. vándorgyűlés más lesz, mint az eddigiek. A budapesti helyszín nem annyira vonzó, mint egy vidéki (sajnos a rendezésre más város nem vállalkozott), és az idők is érezhetően megváltoztak (erről a márciusi fórum is ad majd körképet). Tudtuk, hogy a sikerhez nem lesz elegendő a szokásos, hagyományos szakmai étlap. Hívószavakat kellett kitalálnunk, és a tárgysorozatot a szakmát és az államigazgatást jelenleg érintő kérdésekhez kellett idomítanunk. Ettől volt várható a megfelelő résztvevői létszám. A tervezett témák, események közül néhányat sikeresen, néhányat sikertelenül valósítottuk meg.

A vándorgyűlés „jelszava” a 100 (azaz 99) éves egebelli mérés volt (erről előző számunkban adtunk ismertetést). Erről szólt a plenáris ülés 3 előadása is. Ámbár ez a mondat jót tett az arculat kialakításának, az előadásokban ezt nem sikerült tükröztetni: nem volt szénhidrogén-kutató szekció, nem voltak kellő számban olajos előadások. Nem sikerült megvalósítani az ilyen tárgyú tudománytörténeti bemutatót sem.

A litoszférakutató szekció adott alkalmat arra, hogy köszöntsük *Posgay Károly* tagtársunkat. Sikeres szekció tükrözte a sikeres tárgykört.

A geotermikus szekcióban *Rybach László* tagtársunkat köszöntöttük; a téma jelenleg is országos jelentőségű, ezért kellő mennyiségű előadás hangzott el.

A radioaktív hulladék-elhelyezés kérdése szakmánk szempontjából kiemelt jelentőségű. Azért sikerült sikeres szekciót szervezni, mert az RHK (Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit Kft.), jelesül *Kereki Ferenc* ügyvezető igazgató a vándorgyűlés mellé állt, mozgósította beosztottait és kapcsolatait.

Nem sikerült megszerveznünk a régészeti geofizikai szekciót (a régészeknek teljesen szokatlan volt a magas részvételi költség, emellett a szakmának most belső problémái is vannak).

Nem valósultak meg a „nulladik óra” előadásai (amelyek 6 évvel ezelőtt Pécsen tele házat vonzottak), mert mindössze egyetlen gimnáziumból sikerült résztvevőket toborozni.

Gondjaink a részvétellel

Az előkészületek során riadtan vettük észre, hogy az előzetes regisztráció határidejéig alig néhány résztvevő regisztrálta magát. Pánikszerűen próbáltunk résztvevőket toborozni, engedményeket tettünk, s ennek eredményeképpen végül az előző vándorgyűlésekhez hasonló résztvevői számokról és anyagi eredményről számolhatunk be. Egy dolog azonban nyilvánvalóvá vált: *ilyen (viszonylag) magas regisztrációs díjjal a jelen gazdasági körülmények között, szakmánk jelenlegi helyzetében ilyen szerkezetű vándorgyűlést nem szabad még egyszer szerveznünk.*

A végső számok: gazdálkodó szervezetek 73 résztvevő regisztráltak, ezenfelül 4 magánszemély fizetett be a vándorgyűlésre (utóbbiak mindegyike előadói kedvezményt is kapott). „Tiszteleti regisztrációval” 11 résztvevőnk volt (meghívottak, plenáris előadóink); hivatalból, illetve szervezőként 10 tagtársunk vett részt a vándorgyűlésen (a résztvevők száma Pécsen 110, Miskolcon 102 volt).

Növelte a részvételt – egyben a bevételt is – hogy az RHK-val és a Geologgal csomagmegállapodást kötöttünk. Adott számú, teljes árú részvétel átutalása fejében mindkét cég több munkatársának, egyben előadóknak adtunk regisztr-



Takács Ernő, Hajnal Zoltán és felesége, valamint Posgay Károly



Petrovszki Judit poszterelőadása

rációt (akik egyébként nem vettek volna részt a vándorgyűlésen előadóként sem).

Az előadások

Az előbb vázolt pénzügyi nehézségek ellenére a hagyományoknak megfelelő számban és (talán) színvonalon sikerült előadásokat összeszednünk. Ez csak amiatt sikerült, hogy több partnerintézményünkkel szóbeli megállapodáson alapuló „kvázisponzorációs” egyezményt kötöttünk, ami megkönnyítette az előadók részvételét. A beérkező előadások közül egyet sem kellett visszautasítanunk. A szekciórend a következő volt:

Megnyitó: 4 plenáris előadás

Litoszféra szekció (elnök: *Hajnal Zoltán*): 10 előadás

Tudománytörténeti szekció (elnök: *Horváth Zsolt*): 3 előadás, majd a Geolog történeti bemutatója 11 részletben

Poszterszekció (elnök: *Petrovszki Judit*): 4 előadás

Nyersanyagkutatás (elnök: *Kakas Kristóf*): 5 előadás

Mérnökgeofizika (elnök: *Magyar Balázs*): 5 előadás

Adatfeldolgozás (elnök: *Takács Ernő*): 3 előadás

Radioaktív hulladék-elhelyezés (elnök: *Várhegyi András*):

11 előadás

Tájékoztató anyagok

A vándorgyűlés előkészítése és lebonyolítása folyamán sikerült néhány újdonságot is megvalósítanunk, így csökkentettük a költségeket amellet, hogy a hagyományok nem sérültek.

- A teljes előkészítés folyamán homogén volt a tájékoztató anyagok grafikai arculata.
- A „kongresszusi kiadvány” szerepét ezúttal pendrive töltötte be, amelyen az összes egyoldalas tartalmi kivonat (és előadásonként egy grafikai oldal) olvasható. Ez nemcsak olcsóbb volt, de az átfutási időt is minimalizálni lehetett (az utolsó módosítás 48 órával a kezdés előtt érkezett be!).
- A vándorgyűlés anyaga (azaz a „kiadványon” felül az összes előadás levetített anyaga, valamint a fotógyűjtemény) DVD-lemezen archiváltuk, melyet szokás szerint megőrzünk.

Köszönetnyilvánítások

Ebben a vándorgyűlésben nemcsak a szervezőbizottság 4 tagjának munkája (és többéves tapasztalata) van benne, ha-



A vándorgyűlés tárgyi kellékei a támogatóknak köszönhetően

nem segítségünkre volt egy sor tagtárs is munkájukkal, anyagi hozzájárulásaikkal, tanácsaikkal (az alábbi felsorolás óhatatlanul nem teljes körű).

- Az ELTE 3 doktorandusza (ingyen részvételért) pótolhatatlan, magas szakmai színvonalú segítséget nyújtott. *Koma Zsófia*, *Szabó Ábel* és *Kovács Zoltán* nevét meg kell jegyeznünk.
- *Szabó Zoltán*, *Csath Béla*, *Gál Csaba* és *Kereki Ferenc* tartották a plenáris előadásokat
- A litoszféra szekció szervezésében *Hajnal Zoltán* és *Takács Ernő*, a geotermikus szekcióéban *Rybach László* és *Szanyi János* vállalt szerepet
- A barlanglátogatás bevezető szakmai előadója *Leél-Őssy Szabolcs* és *Törös Endre* volt
- *Rybach László* nagyszerű laudációját *Horváth Ferenc* és *Szarka László* tartotta
- Az RHK szakmai támogatását *Kereki Ferenc* és *Tungli Gyula* biztosította
- A Geolog anyagi és szakmai támogatásáért *Szongoth Gábornak* és munkatársainak tartozunk köszönettel
- A vándorgyűlés legnagyobb anyagi támogatója a MOL volt, emellett támogatást kaptunk az EAGE-től, a Geomagától, a KGFI-Triásztól is
- Igen nagy értékű volt az MFGI, személyesen *Fancsik Tamás* támogatása.



A kirándulás vidám résztvevői

EAGE hírek 2015-ből

A mai internetes világban egyre jobban csökken az írásos beszámolók jelentősége, hiszen az információk jelentős részének eléréséhez nem szükséges személyesen is részt venni egy-egy eseményen, elegendő csupán billentyűzetet ragadni, és máris előtűnik a világ. Mégis, vannak az EAGE tavalyi történetében olyan momentumok, amelyekre érdemes így év elején visszatekinteni.

Aki rendszeresen tájékozik az EAGE honlapjáról vagy a szervezet havi kiadványából, a *First Break*-ből, az tudja, hogy a hollandiai székhelyű szervezet tavaly új vezetőséggel látott neki az egyre nagyobb feladatainak elvégzéséhez.



Egyesületünk kiállítói standja Madridban
(Törös Endre és Horváth Zsolt)

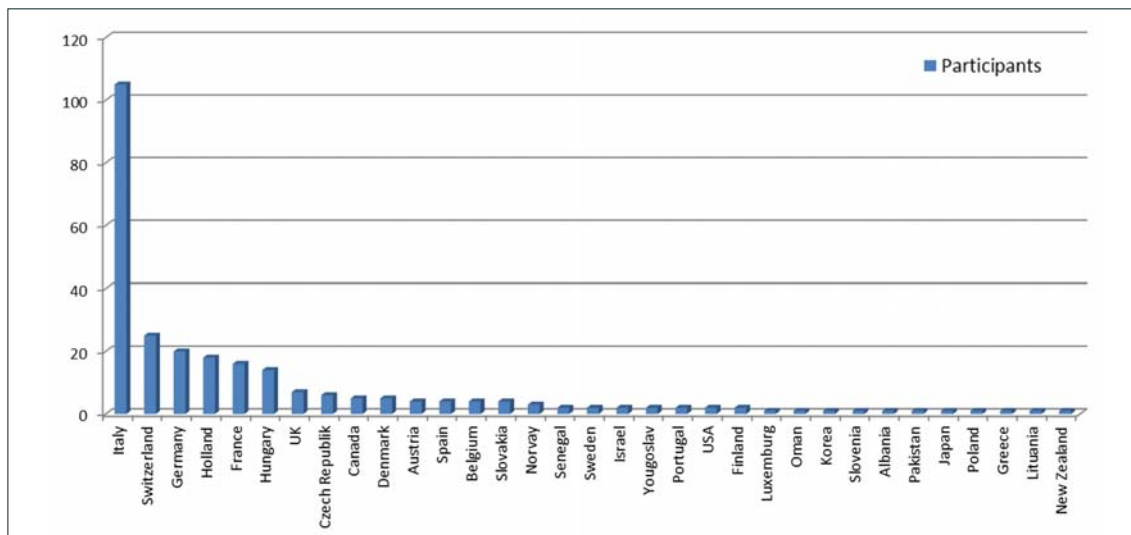


E-poszterelőadás Madridban

Jelzi ezt az utóbbi években a legnagyobb számú, évi 39 nemzetközi szakmai rendezvény, amelyet az EAGE szervezett vagy amelynek társszervezője volt, jelzi a szakmai tájékoztatás jelenlegi magas szintje, vagy a „Learning Geoscience” fejlődése és internetes elérési lehetősége a tagság számára (www.learninggeoscience.org). Ugyancsak újdonság az éves konferencián elhangzott fontosabb előadások EAGE YouTube Channelen való megjelenése (EAGE E-lectures Series), az egyetemi hallgatók, a pályakezdők kiemelt segítése és támogatása vagy eddig nem létezett szervezetek működtetése az egyesületen belül („Women’s Geoscience Committee” és a „Young Professionals Community”).



Torinó, az első EAGE-ES (1995) és a 21. „Near Surface Geoscience” EAGE konferencia (2015) helyszíne



Az első EEGS-ES konferencián (1995 szeptembere) a 308 résztvevőből 16 volt magyar

A madridi EAGE 77. éves konferenciára az EAGE történetében még rekordszámú, 1850 db előadással neveztek be, amelyből 620 db szóbeli és 440 db poszterelőadást hagytak jóvá a szervezők. 350 db kiállítói stand volt jelen, bár ezek látogatottsága azért már jelezte, hogy tavaly a konferencia idejére már csökkent az érdeklődés a szénhidrogén-kutatás iránt. Hiába, az egyre fejlettebb és egyre magasabb színvonalat kínáló tengeri szeizmikus kutatások, a csökkenő olajárak a kisebb anyagi kockázattal járó feltárások és területek igénybevétele irányába tolják el a szakmai befektetéseket. A több mint 80 országból érkező, hivatalosan 5568 látogatói létszám azonban még alig volt kevesebb az előző évben megszokottaknál, ami feltehetően a kedvelt konferenciaközpontnak, Madridnak is volt köszönhető. A technikai fej-

lődést a tájékozódást segítő mobiltelefonos alkalmazások egyre szélesebb körű elterjedése mutatta a konferencián, vagy az ún. e-poszter, amely nem más, mint a papír alapú poszter helyett egy interaktív használatot lehetővé tevő, falra akasztott képernyő.

2015 különleges év volt az EAGE Near Surface konferenciák életében több okból is. 20 év után ismét Torinóba, az egykori első EEGS konferencia színhelyére látogatott a rendezvény. Jó volt látni és érezni, hogy ez a rendezvény kiállta az idők próbáját. Az EEGS EAGE-be való beolvadása ellenére is meg tudta őrizni szakmai identitását, szakmai közösségek születtek, amelyek a kutatói műhelyek háttérévé váltak, a Near Surface Geophysics EAGE kiadvány ma az egyik legjobb impaktfaktorú lap a sekélygeofizikában (2015-ben 1,179). Jó volt tudni, hogy ebben a 20 évben a magyar geofizika képviselői is jelentős szerepet játszottak. Ugyanakkor míg az első EEGS-ES konferencián a 308 résztvevőből még 16 volt magyar, addig tavaly a 380-ból már sajnos csak 5 hazai résztvevő volt ott Torinóban.

A 20 év alatt a Near Surface közösség a kutatási témáinak kibővítésével egyre jobban integrálódott az eddig az EAGE-n belül csak a „Nagy Testvér” közössége a szénhidrogén-kutatók által művelt kutatási témákba (pl. geotermika, a karotázsmódszerek alkalmazása), vagy részt vállalt azokból (pl. felszíni hullámok alkalmazása a sekély gáztelepek kutatásának témakörében). Mindemellett a hagyományos sekélygeofizikai témák mellett új alkalmazói célcsoportok alakultak ki. 2015-ben Torinóban a Near Surface konferenciával párhuzamosan tartották meg az első európai légi (First European Airborne Electromagnetics Conference) és külön az agrogeofizikai szakemberek konferenciáját (First Conference on Proximal Sensing Supporting Precision Agriculture).

A 20 év alatt a *Near Surface Geophysics* több önálló számot szentelt a geotechnikának, a georadarnak, a régészettnek stb.

Bár a Balkán Geofizikai Egyesület önálló szervezet, tavaly a Görögországban, Krétán, Chaniában tartott konferenciájának szervezéséhez a háttérrel társszervezőként az EAGE



Egy ismerős előadó 1995-ből (Pattantyús Ábrahám Miklós)



A 8. Balkán Geofizikusok konferenciájának helyszíne, Görögország, Kréta, Chania (fotó Prónay Zsolt)

biztosította. A város fő látványossága az 1600-as években, a velenceiek által épített kikötő és erőd. A közeli Souda öböl arról nevezetes, hogy a II. világháborúban innen evakuálták a brit csapatokat Kréta német megszállása után. Chaniában található a Krétai Műszaki Egyetem (Technical University of Crete), amely erős környezettudományi és geotechnikai mérnöki képzést nyújt. A konferencián összesen 124 előadás volt, ebből 10-et tartottak magyarok. Ennek fele szóbeli, másik fele poszter volt. Az előadások intézmény szerinti megoszlása: MTA CSFK GGI 2 db, Miskolci Egyetem 3 db, MFGI 3 db, ELTE 2db. Összesen 9 kiállító volt, ebből 4 műszergyártó.

Mint minden tudományos egyesületben, az EAGE-ben is az év végén esedékes a következő évi tagsági díjak megfizetése. Tudván azt, hogy az olaj árának csökkenése miatt több szakember állását veszítette, az EAGE a tagság létszámának megtartásához az ún. „membership fee waver” programot indította el. A program célja, hogy segítse azokat, akik önhibájukon kívül elvesztették a munkájukat, de nem szeretnék feladni EAGE tagságukat 2016-ban sem, ezért kedvező elbírálás esetén eltekint az ezt kérelmező tagsági díjának megfizetésétől.

Törös Endre

Szerkezetkutató 3D szeizmikus mérések a Paksi Atomerőmű környezetében

GOMBÁR L.^{1,@}, DEÁK F.^{2,&}

¹ GEOSEIS Consulting Bt., 1162 Budapest, Ákos u. 47.

² MVM PAKS II Zrt., 7030 Paks, Gagarin u. 1.

@E-mail: laszlo.gombar@geoseis.hu; &E-mail: deakf@mvmpaks2.hu

A paksi telephelyen építendő két új atomerőművi blokk építését egy részletes geológiai, geofizikai, kőzetfizikai, talajmechanikai kutatási program végrehajtása előzi meg. Az új blokkok földrengés-veszélyeztetettségének megbecsléséhez a környezet minél pontosabb geológiai-szerkezeti ismerete szükséges. A kutatási program első lépését egy közel 300 km²-es 3D szeizmikus mérés jelentette. A korszerű műszaki elvárásoknak is megfelelő terepi szeizmikus adatgyűjtés 2014. augusztus–szeptember folyamán történt meg. A terepi kondíciók változatossága miatt háromféle szeizmikus forrást kellett alkalmazni: vibrátoros, air-gun és robbantásos jelgerjesztést. A mérés kivitelezése során számos kihívással kellett szembenézni, úgymint a mérési területet kettévágó Duna, a természetvédelem alatt álló ártéri erdők, lakott települések, illetve művelt mezőgazdasági területek, valamint a szeizmikus gerjesztés és adatgyűjtés az igen szigorú biztonsági szabályok szerint működő Paksi Atomerőmű és a mellette lévő Kiégett Kazeták Átmeneti Tárolója területén. A cikk bemutatja a terepi mérések tervezésének és kivitelezésének folyamatát, valamint felvillant néhány szeizmikus leképezést a mérés során készített minőség-ellenőrző QC adatfeldolgozás adatrendszeréből.

Gombár, L., Deák, F.: Structural 3D seismic survey around the Paks Nuclear Power Plant

Detailed geological, geophysical, rock- and soil mechanical surveys will be carried out before starting the construction of the planned new units at Paks Nuclear Power Plant. The estimation of earthquake hazard at the Power Plant site requires very accurate geological-structural knowledge of the surrounding area. As the first step of the exploration program a 300 km² 3D seismic survey has been completed around the Power Plant site. A seismic data acquisition meeting the highest technical standards was carried out during August–September 2014. Due to the varying field conditions three types of seismic sources have to be applied during the survey: vibroseis, air-gun and dynamite. During the data acquisition several challenges have to be faced, such as the river Danube cutting into two parts the survey area, environmentally protected dense forests in the flood area of the Danube, as well as data collection and operation in the areas of Paks Nuclear Power Plant and the nearby Interim Spent Fuel Storage Facility having very strict safety and security systems. The paper presents the field data acquisition planning and recording processes, as well as shows some preliminary images from 3D data system processed as part of the quality control system during the data acquisition.

Beérkezett: 2015. szeptember 7.; *elfogadva:* 2015. november 6.

1. Bevezetés

Az új paksi atomerőművi blokkok építését egy igen intenzív, mindenre kiterjedő geológiai, geofizikai, kőzet- és talajmechanikai kutatási program végrehajtása előzi meg, mely megfelel a Nukleáris Biztonsági Szabályzat előírásainak és a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség ajánlásainak (Nagy et al. 2013). A paksi telephelyen építendő két új atomerőművi blokk földrengés veszélyeztetettségének, kitétszégének, a lehetséges kéregmozdulások megbecsléséhez a tágabb és

szűkebb környezet minél pontosabb, korszerű eszközökkel történő geológiai-szerkezeti megismerése szükséges.

A kutatási program első lépése a paksi telephelyen építendő két új atomerőművi blokk 10 km-es sugarú környezetének korszerű 3D szeizmikus mérésekkel történő leképezése volt. A közel 300 km²-es 3D mérési program kivitelezésének kiválasztása egy nemzetközi közbeszerzési pályázat keretében történt 2014 első negyedévében. A mérést elnyerő GeofizykaTorun lengyel geofizikai szervizcég 2014. augusztus–szeptember folyamán elvégezte a 3D szeizmikus

adatgyűjtést. Jelenleg az adatok számítógépes feldolgozása van folyamatban.

A következőkben az adatgyűjtés főbb fázisait, a mérés során leküzdendő kihívásokat és az előzetes eredményeket mutatjuk be.

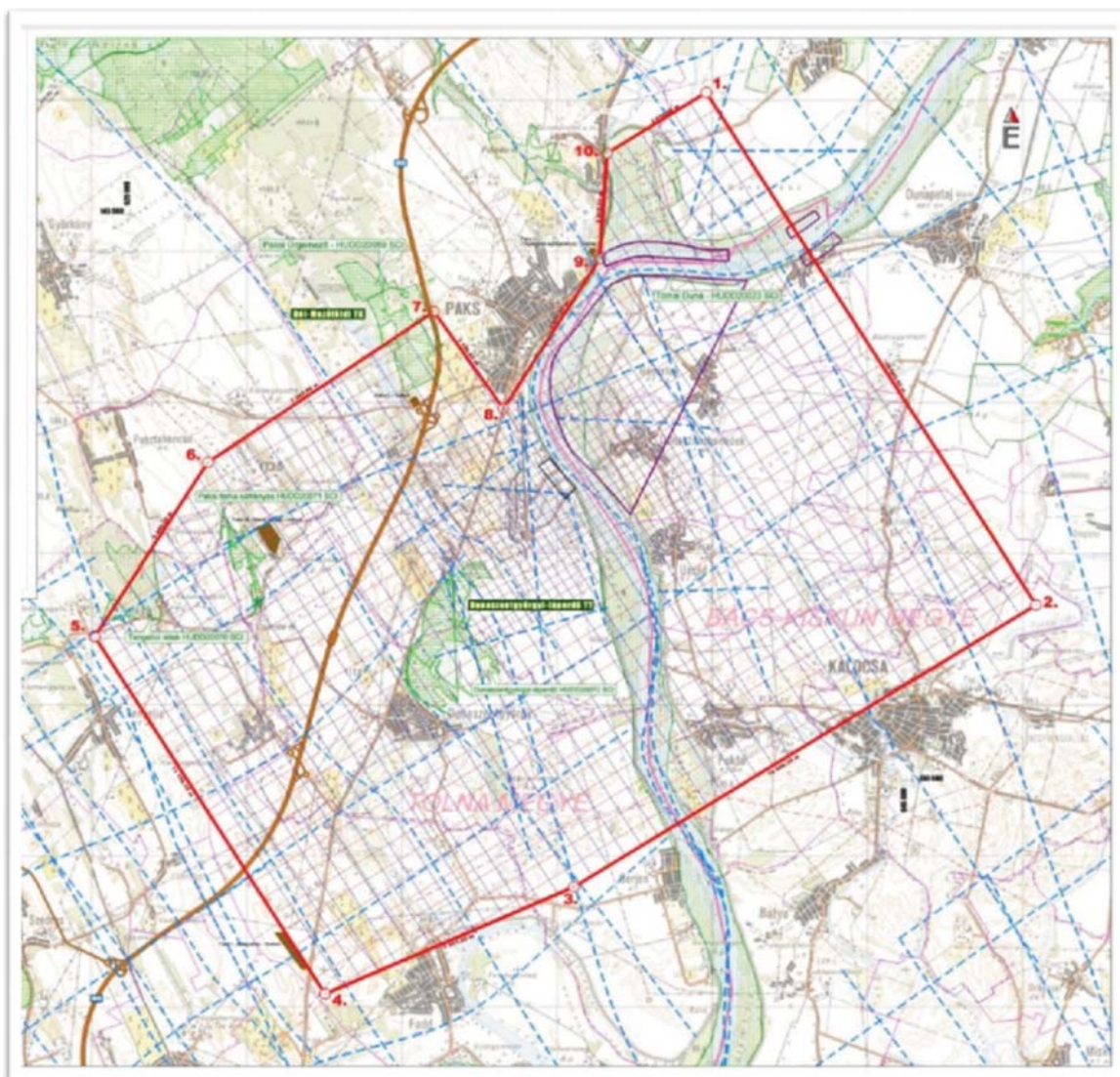
2. Kutatástörténet

A paksi telephelyen építendő két új atomerőművi blokk telephelyének kiválasztása során a 60-as évek végén elsősorban a Duna a működéshez elengedhetetlenül szükséges hűtővíz biztosításaként, valamint a Budapesttől és a határoktól megfelelő biztonsági távolság megtartása játszotta a fő szerepet. A lehetséges telephely környezetének tektonikai-földtani vizsgálata és annak alapján a terület földrengés-veszélyeztetettségi kockázatának megítélése abban az időben kisebb prioritású szempont volt. Történelmi feljegyzések egyáltalán nem említettek Paks közvetlen környezetében

olyan földrengéseket, mint például a korábbi kecskeméti, komáromi vagy dunaharaszti földrengéseket. Ezért az atomerőmű új blokkjainak építésénél elsősorban csak a felső néhány méter talaj és holocén kőzetrétegek talaj- és kőzetmechanikai vizsgálataiban merült ki a földtani kutatás. A 80-as évek közepén felmerült a Paksi Atomerőmű földrengés-készültségének, biztonságának kérdése is.

A szisztematikus földtani-geofizikai információszerzés kezdetét a soproni Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet által 1985–86 során az erőmű környezetében az Erőterv megbízásából elvégzett áttekintő jellegű tellurikus és magnetotellurikus mérések jelentették. A mérések eredményei felhívták a figyelmet a nem egyszerű földtani felépítésre, azaz a nagy ellenállású aljzat mélységének gyors változásaira, valamint az ÉK–DNY irányú szerkezeti vonalak erőteljes jelenlétére a vizsgált területen.

A valószínűsített tektonikai zónák jobb megismerése céljából a Geofizikai Kutató Vállalat négy korszerű technikával kivitelezett 2D reflexiós szeizmikus szelvényt (Du-1, -2,



1. ábra | A 3D mérési terület körvonala (piros vonal) a korábbi 2D szeizmikus szelvények nyomvonalával (kék szaggatott vonalak) (Kudó et al. 2013)
Figure 1 | 3D seismic survey area (red line) with the previous 2D seismic profiles (blue broken lines) (Kudó et al. 2013)

-3, -4/86) mért az érdekes zónában robbantásos forrással, szintén az Erőterv megbízásából. A jó felbontású szeizmikus szelvények alapján láthatóvá vált szerkezeti zónáról egyértelműen belátható volt, hogy az egy jelentős oldalirányú elmozdulás, és az elmozdulás nyomai az alaphegységtől egészen a sekély felső-pannon rétegekig követhetőek a szeizmikus leképezésen.

A geofizikai mérések alapján jelölték ki és fűrték le 1986–87-ben a mélyebb geológiai felépítés megismerését célzó Paks-3, Paks-4A, Paks-4B, Paks-4C fúrásokat, melyek 300–600 m közötti talpmélységgel csak a miocén tetjét érték el. (A még 1979-ben lemélyült Paks-2 fúrás 628 m-ig pannon, majd az 1593 m-es talpmélységig miocén képződményeket harántolt, és nem érte el a pre-neogén alaphegységet.)

A Du-... jelű szeizmikus szelvények eredményei alapján 1987-ben egy nyolc 2D reflexiós szeizmikus szelvényből álló mérési hálózatot mért be a MÁELGI az Erőterv megbízásából, majd további szeizmikus szelvényeket 1992-ben. 1995-ben kimondottan a vetőzónák aktivitásának korát, a felszín közeli felhatolásának mértékét kimutatni hivatott sekély, nagy felbontású méréseket is végzett a MÁELGI.

Ezek a mérések, valamint a MOL által a 2000-es évek elején a szénhidrogén-kutatási céllal a Sió program keretében bemért Si- és XSi-jelű 2D reflexiós szelvények jelentősen hozzájárultak a jelenleg is üzemelő erőmű környezetének földtani-szerkezeti megismeréséhez. Azonban a különböző korú, eltérő műszaki színvonalú mérőműszerekkel

regisztrált 2D szelvények még mindig egy viszonylag ritka hálózatot alkottak a területen, nem téve mindenütt lehetővé a szomszédos szelvények közötti szintkorrelálást, a bonyolult vetőrendszer leképezését a kétdimenziósra egyáltalán nem tekinthető földtani felépítés és szerkezeti viszonyok mellett.

3. 3D szeizmikus mérések előkészítése

Az új blokkok előkészítésében felelős döntéshozók az MVM Paks II. részéről elfogadták, hogy a korábbi 2D mérések alapján feltáruló bonyolult földtani szerkezetek leképezésére csak a korszerű 3D szeizmikus mérések alkalmazásával nyílhat lehetőség. A földtani szakértői csapat által javasolt 294 km² 3D mérési terület elhelyezkedését az 1. ábra mutatja. Látható, hogy a geofonvonalak az ÉNY–DK regionálisnak tekintett dőlésiránnyal párhuzamosak, a DNY–ÉK irányú forrásvonalak pedig azokra merőlegesen csapásirányúak.

A 3D mérés alapvető célkitűzése a pre-pannon képződmények leképezése volt, nem pedig az alaphegység töréseiből kiinduló, a felszín közelébe felhatoló vetőrendszerek térképezése. A költségkeret limitált volta miatt két mérési geometriai elrendezésre kért ajánlatot az MVM Paks II. a közbeszerzési tenderen részt vevő geofizikai cégektől: egy olcsóbban megvalósítható 500×500 m-es mérési hálózattal 42-szeres fedésű rendszerrel és egy, a sekélyebb képződmé-

1. táblázat | A tervezett 3D mérési geometria opciók
Table 1 | The proposed 3D survey geometry options

Mérési geometria	1. Opció	2. Opció
Geofonvonalak iránya	ÉNY–DK	ÉNY–DK
Geofonvonal távolság	500 m	300 m
Geofonvonal távolsága az erőmű közelében	250 m	300 m
Geofonköz	50 m	50 m
Geofon per csatorna	12	12
Geofoncsoport hossza	25 m	25 m
Forrásvonalak iránya	DNY–ÉK	DNY–ÉK
Forrásvonal távolság	500 m	400 m
Forrásvonal távolsága az erőmű közelében	250 m	200 m
Forráspontköz	50 m	50 m
Regisztrált geofonvonalak száma	14	18
Vonalanként regisztrált csatornák száma	120	128
Regisztrált csatornaszám	1680	2304
Fedésszám	42	72
Fedésszám az erőmű környezetében	168	144
Forráspontra per salvo	10	6
Forráspontra per km ²	40	50
Max. offset	4594 m	4168 m
Aspect ratio	0,92	0,80

nyeket pontosabban leképező, jobb jel/zaj viszonyt biztosító 300×400 m vonalhálózattal 72-szeres fedést megvalósító mérési elrendezéssel (1. táblázat).

A technikai és pénzügyi ajánlatok kiértékelése és az ártárgyalások során kiderült, hogy a részletesebb felmérést biztosító 2. Opció szerinti mérési elrendezés kivitelezése is belefér az előzetes költségvetésbe (2. és 3. ábra).

Amint az 1. ábrán látható, a mérési területet a Duna vágja ketté, amelynek bal parti része Bács-Kiskun megyéhez, a jobb parti területe Tolna megyéhez tartozik közigazgatásilag.

A Bács-Kiskun megyére eső mérési terület számos kisebb-nagyobb település kül- és/vagy belterületét érintette, úgymint Dunapataj, Dunszentbenedek, Foktó, Géderlak, Kalocsa, Ordas, Uszód. A Tolna megyei részen érintett települések a következők voltak: Dunszentgyörgy, Gerjen, Madocsa, Paks, Pusztahencse, Tengelic, Tengelic szőlőhegy, Fadd.

A kutatási területen számos védett természeti érték található, melyek egy része „Natura 2000” státusszal, országos védettséggel rendelkezik (Dél-Mezőföld Tájvédelmi Körzet; Dunszentgyörgyi-láperdő Természetvédelmi Terület, Tolnai Duna Part Természetvédelmi Terület), de vannak helyi védettségű természetvédelmi értékek is (Benyovszky park-Arborétum – Tengelic, Bogárczó-tó – Tengelic, Dunaparti gesztenyefasor – Paks, Imsósi-erdő – Paks, Faddi Duna-part, Faddi Harisi terület).

A Duna, a természetvédelmi területek és a lakott területek mellett komoly akadályt jelentett még a mérés kivitelezése szempontjából a forgalmas 6. sz. főút és az M6 autópálya. Külön egyeztetésekre és engedélyekre volt szükség a nagy kiterjedésű foktói növényolajgyár és maga a Paksi Atomerőmű területén folytatandó mérési tevékenységekhez.

A mérések elkezdéséhez szükséges bányakapitánysági engedélyt és a kezelői állásfoglalásokat az MVM Paks II. Zrt. (Paks II.) szerezte be 2013 decemberére. Az érintett hatóságokkal, önkormányzatokkal, a kezelők helyi megbízottjaival GeofizykaTorun hazai alvállalkozója a TDE Kft. vette fel és tartotta a kapcsolatot a mérés előtt és annak folyamán.

Az illetékes földhivataloknál kigyűjtött helyrajzi számok alapján a mérés által érintett földtulajdonosokat/bérlőket – csaknem 13 ezret – a TDE Kft. levélben kiértékelte a Bányatörvény előírásának megfelelően a kezdődő terepi munkákról. A kiértékelések minden esetben több mint 8 nappal előzték meg a terepi tevékenység megkezdését az adott területeken. Az engedélyezés (*permitting*) része volt a folyamatosan élő telefonszám és zöldszám fenntartása, ahol a gazdák megtehették bejelentéseiket, és információt kaphattak a mérési program őket érintő aktuális előrehaladásáról. Az érintett hatóságokkal, önkormányzatokkal, a kezelők helyi megbízottaival szintén a TDE Kft. vette fel és tartotta a kapcsolatot a mérés előtt és annak folyamán. A robbantási munkákhoz szükséges robbantási engedélyt a robbantási munkák kivitelezésére szerződött Detonet Kft. szerezte be.

A terepi tevékenység kezdetét közvetlenül megelőzte egy intenzív kommunikációs kampány a Paks II. részéről, melynek része volt a helyi hírlapokban, helyi tévékben, rádiók-

ban közzétett tájékoztató, megismertette a lakossággal a mérések célját, helyét és tervezett időzítését. A megrendelő képviselői minden érintett településen tartottak egy-egy lakossági fórumot, amelyeken szintén részletesen ismertették a várható szeizmikus mérések részleteit, és megnyugtató válaszokat adtak a lakosság részéről felmerülő kérdésekre. Sehol nem tapasztaltak ellenséges fellépést a gazdák részéről, akik tudomásul vették, hogy a mérések szükségesek, és most kell elvégezni azokat. Az önkormányzati vezetők részéről szintén mindenütt pozitív támogatás volt tapasztalható, ugyanakkor a lakosság előzetes tájékoztatása hasznosnak bizonyult, így a mérések kivitelezése során nem merült fel semmilyen probléma a méréssel érintett területek tulajdonosai részéről.

4. Szeizmikus mérések

A terepi adottságok és a számos lakott település érintése miatt a szeizmikus méréseket alapvetően vibrátoros forrással terveztük kivitelezni. Azonban már az előzetes tervezési fázisban nyilvánvaló volt, hogy a mérési terület bizonyos részein a vibrátoros forrás nem alkalmazható.

A erdőkkel fedett Duna menti mocsaras ártéri erdőkben és a Paks melletti hétvégi telkes körzetben robbantásos jelgerjesztést, a Duna folyón pedig megfelelő erősségű airgun forrás alkalmazását követeltük meg a kivitelezőtől. A Duna közelségének és az öntözés lehetőségének köszönhetően a Duna mindkét oldalán intenzív mezőgazdasági tevékenység folytatása jellemző. Mivel a kalászos gabonafélék betakarítása megtörtént, mire a geodéziai mérések augusztus közepén megkezdődhettek, így főleg csak a kukorica- és napraforgóablakkal kellett a csoportnak megküzdenie. Ezek a magas kultúrák a művelt területeknek mintegy 40%-át adták.

A terepi vibrátoros forrástesztet – a csoport teljes mérőeszköz-állományára kiterjedő technikai auditja után – kezdődtek el a terület DK-i sarkában augusztus 23-án. A vibrátoros forrás alkalmazásánál a vibrátorok száma, a vibrátor kimenő teljesítménye, az egy forrásponton történő vibrálások száma és a sweepek hossza, frekvenciatartománya a változtatható forrásparaméter – melyeket az adott helyen elvégzett paramétertesztet során kell az adott szeizmogeológiai viszonyoknak megfelelően megválasztani – optimalizálva a jel/zaj viszony adatminőségi elvárásokat szemben a ráfordítandó költségekkel.

A vibrátoros felvételek jel/zaj viszonya, S/N az alábbiak szerint függ a forrásparamétereiktől:

$$S/N \approx Pf \cdot Dr \cdot Nv \cdot \sqrt{Ns \cdot SL},$$

ahol

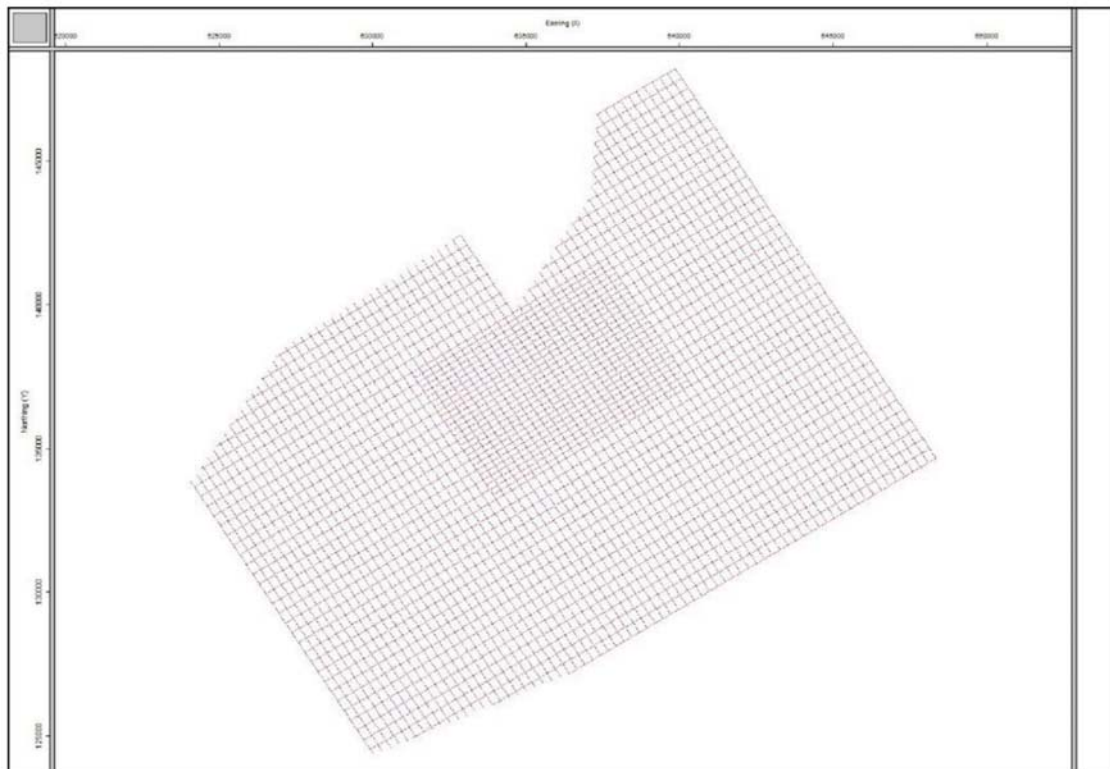
Pf – egy vibrátor csúcseréje,

Dr – meghajtási szint (20–80%),

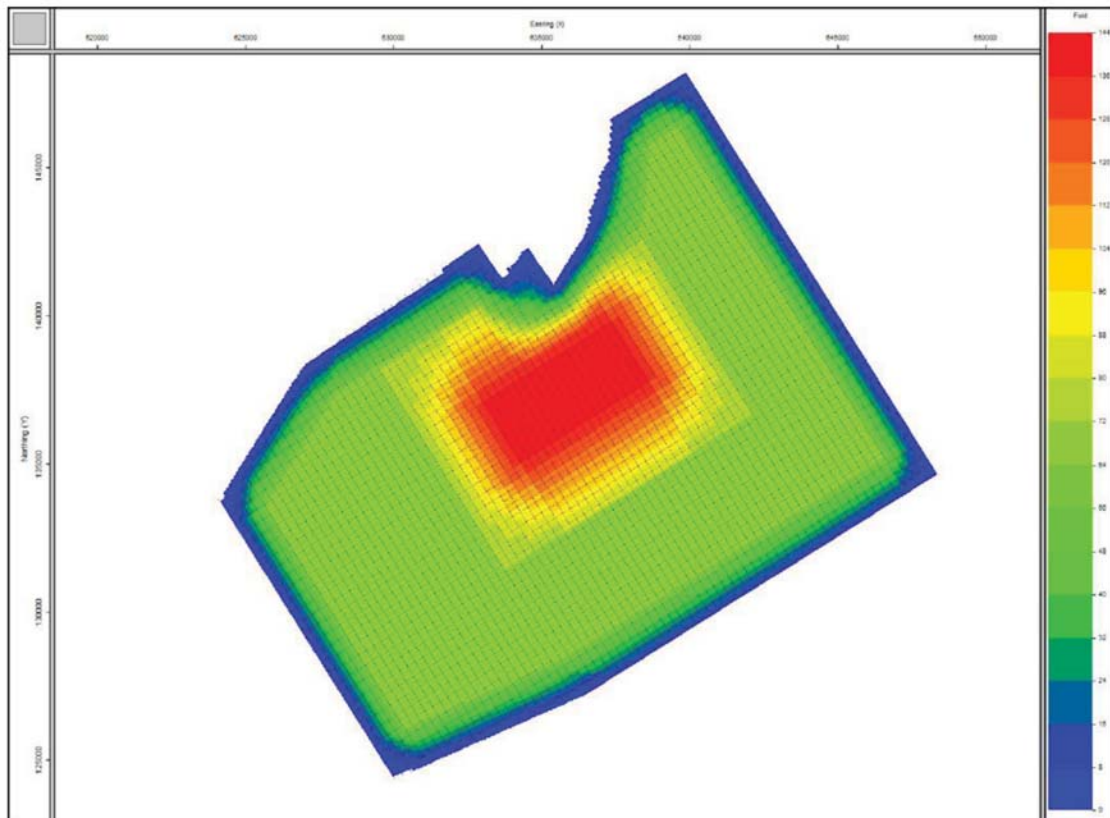
Nv – vibrátorok száma,

Ns – az egy forrásponton összegzett sweepek száma,

SL – sweephossz.



2. ábra | A tervezett elvi mérési elrendezés (2. Opció paraméterei)
Figure 2 | The planned survey geometry (Option 2 parameters)



3. ábra | A tervezett elvi mérési elrendezés fedésszámeloszlása (2. Opció paraméterei)
Figure 3 | The fold distribution for all offsets at the proposed survey design (Option 2 parameters)

2. táblázat | A kiválasztott felvételezési és forrásparaméterek
Table 2 | The selected recording and source parameters

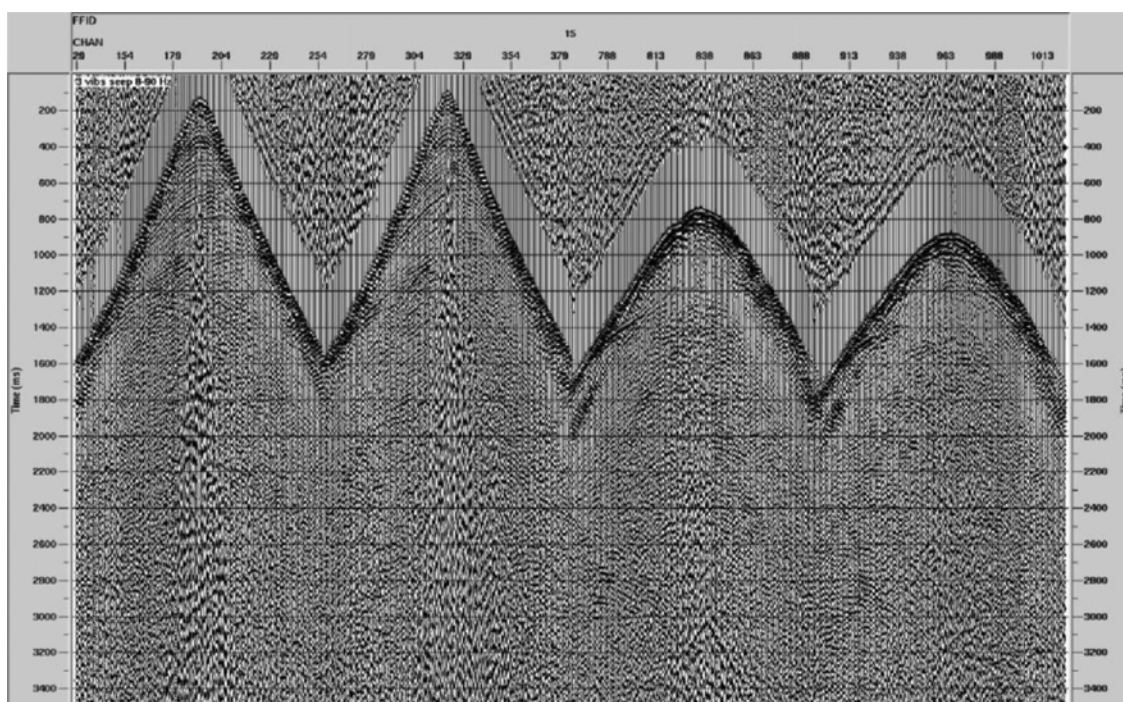
<i>Felvevő műszer</i>	
Típus (kábeles rendszer, wireless opcióval)	SERCEL 428
Felvételhossz	5 s
Mintavétel	2 ms
Zajelnyomás (vibroszeiz esetén)	diversity stack
Anti-alias szűrő és fázisa	208 Hz, Lin. phase
Korreláció	Afterstack
<i>Vibrátoros forrás</i>	
Vibrátorok típusa	HEMI 50
Vibrátorok száma	2 × 3 + 2 tartalék
Vibrátorok csúcserője	50 000 lbs/vib.
Sweephossz	16 s
Sweepszám per VP	3 × 2; 3 × 3
Védett objektumok közelében per VP	2 × 4; 1 × 10
Sweepfrekvencia	8–96 Hz
Vibrátorcsoporthossz	25 m egy vonalban

A fenti forrásparaméterek tesztelése során három vibrátorral, 80%-os kimenő erővel készítettünk tesztfelvételeket 8 Hz-es sweep kezdő frekvenciától a 80–110 Hz-es határfrekvenciáig, 12, 16 és 20 s hosszúságú sweepeket alkalmazva. Az egy helyben történő vibrálások száma 2, 3 és 4 volt.

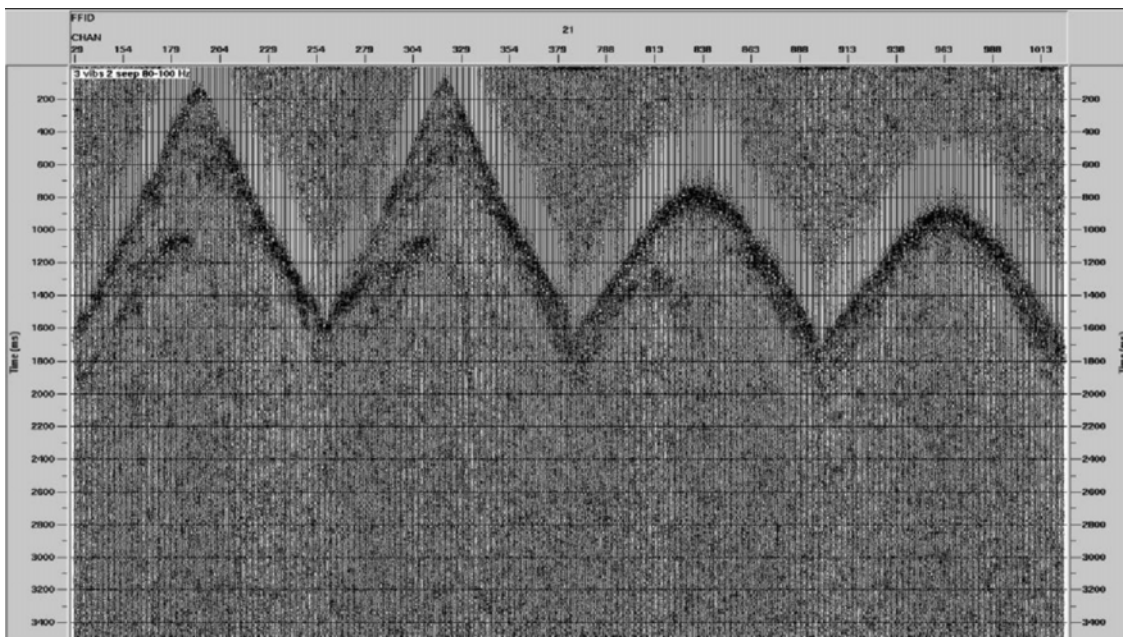
A tesztfelvételek ProMax munkaállomáson történt feldolgozása és vizsgálata alapján kiválasztott forrásparamétere-

ket és a felvételi paramétereket a 2. táblázat tartalmazza. A 3D-s terepi felvétel részlete (két forrás közeli és két távoli geofonvonal-csatornái) a 4. ábrán látható.

A sweep felső határfrekvenciájának megválasztásánál a különböző felső frekvenciával készített felvételeket keskeny sáváteresztő frekvencia tartománybeli szűrésnek vettük alá kiderítendő, hogy milyen magas frekvenciás sávban kapunk még koherensnek tekinthető energiát sekélyebb



4. ábra | A kiválasztott 8–96 Hz, 3×2×18 s sweeppel készített felvétel részlete
Figure 4 | A sequence of the field record with the selected 8–96 Hz, 3×2×18 s sweep



5. ábra | A kiválasztott sweeppel készített felvétel magas frekvenciás tartalma 80–100 Hz tartományban
Figure 5 | A sequence of the record with selected sweep in the high frequency band of 80–100 Hz

reflexiók szintekről. Az 5. ábra mutatja a 80–100 Hz-es át-eresztett frekvenciasávban a kiválasztott paraméterekkel készített felvételt. Látható, hogy elsősorban a forrás közeli geofonvonalak csatornáit még határozott nagyfrekvenciás jeltartalommal bírnak. Ezért a sweep felső határfrekvenciáját 96 Hz-re választottuk, így nyerve egy 3,5 oktávus (8–96 Hz) sávszélességű, megfelelően nagy felbontást biztosító vibrátorjel.

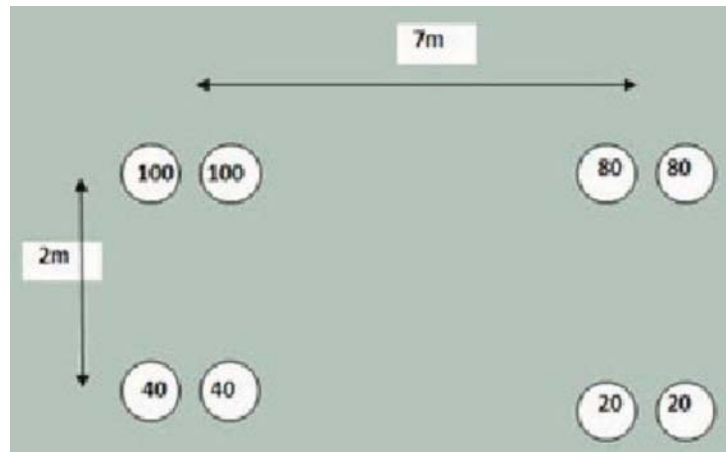
A vibrátoros méréssel szemben a legnagyobb akadályt a Duna jelentette. A Duna medrében alternatív forrásként csak a sűrített levegő energiáját kihasználó, hajóra szerelt air-gun forrás alkalmazására volt lehetőség. Az air-gun forrás legfontosabb az adatminőséget befolyásoló paraméterei a kamraméret, kamra feltöltési levegőnyomása és a puskák vízfel-

szín alatti elsütési mélysége. A vízi tesztmérés során a kamra levegőnyomását 1300–2000 psi tartományban, a vízfelszín alatti elsütési mélységet 3–6 m-es tartományban vizsgáltuk. Az alkalmazott air-gun csoport 8 puskából állt, amelynek az eredő kamratérfogata 480 inch³ volt. A csoportosítás térbeli elrendezését a 7. ábra, a forrást szállító hajót a két oldalára erősített pontonokkal (amelyekhez a puskák voltak rögzítve) a 8. ábra mutatja be.

A tesztfelvételek alapján belátható volt, hogy a kamra légnyomásának növelésével a forrásjel nagyobb energiájú és élesebb, impulzusszerűbb lesz, tehát a rendszer mechanikai paraméterei alapján még biztonságosan alkalmazható legnagyobb kamranyomást, a 2000 psi szintet volt célszerű kiválasztani a méréshez. Az elsütési mélység növelésével a



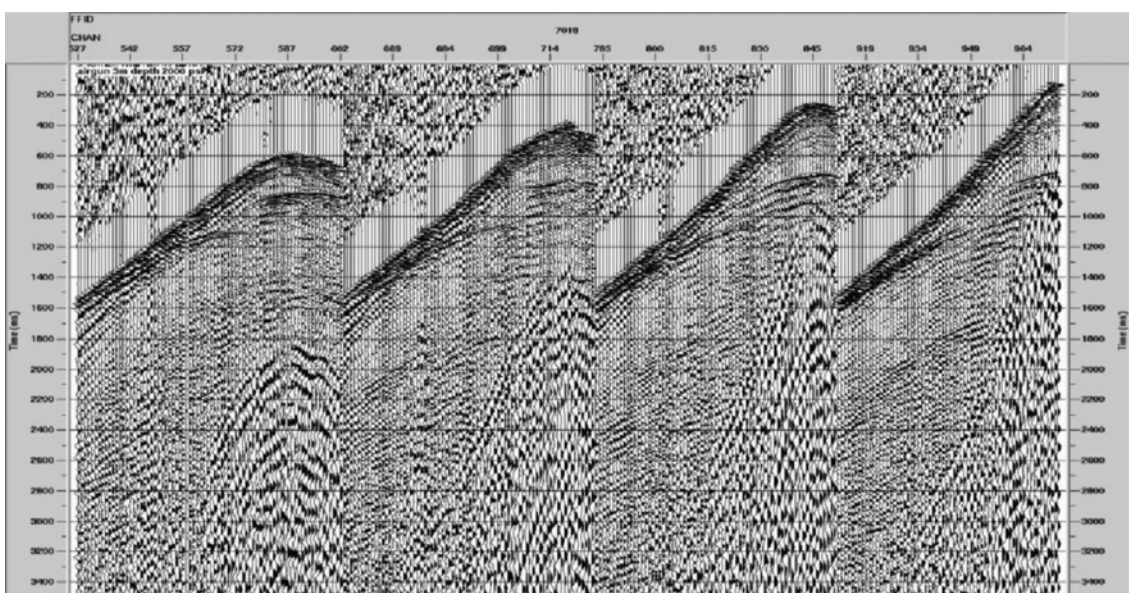
6. ábra | 25 tonnás HEMI 50 típusú vibrátorok működés közben
Figure 6 | HEMI 50 type vibrators of weight 25 tons on the site



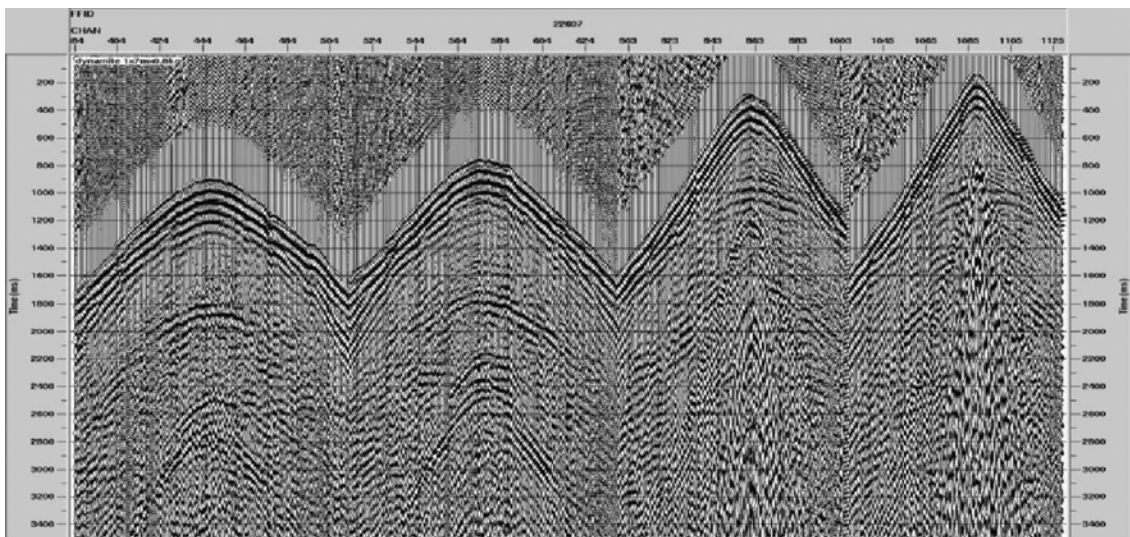
7. ábra Air-gun forrás csoport felülnézetben az egyes tagok térfogatának (inch³) jelölésével
Figure 7 Air-gun configuration. The volumes of the guns are indicated in inch³



8. ábra Air-gun forrást mozgató hajó a Dunán a két oldalán a 4-4 puskát hordozó pontonnal
Figure 8 The air-gun source carrier boat on the Danube river. 4-4 air-guns are installed at both sides of the boat



9. ábra A mérésre kiválasztott paraméterekkel készült air-gun felvétel (2000 psi, 3 m mélység)
Figure 9 Air-gun record with the selected parameters (2000 psi, 3 m depth under the water)



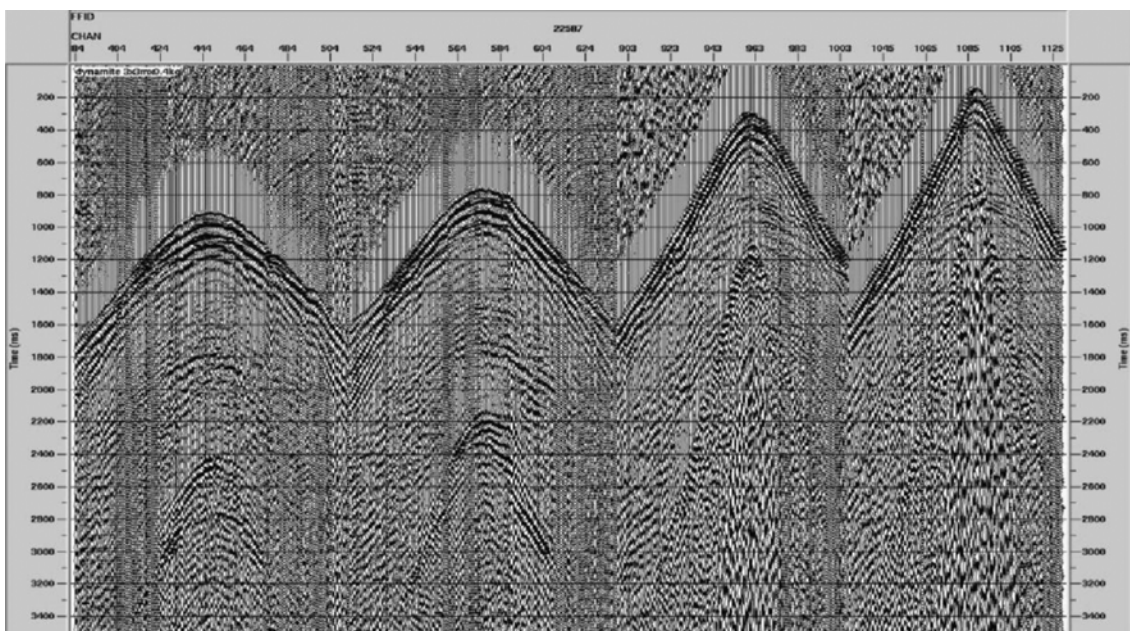
10. ábra Robbantásos terepi felvétel, 7 m töltetmélységen, 0,8 kg töltettel
Figure 10 Explosive field record with source effort, at 7 m depth, with 0.8 kg explosive

forrásjel nagy frekvenciákban gazdagabbá vált, azonban ahhoz, hogy ne csak a meder közepén, hanem a partok közelében is lehessen a forrást alkalmazni, kompromisszumként a 3 m-es elsütési mélységet választottuk (9. ábra). A 3 m-nél kisebb mélység esetén a keletkezett nagy buborékok és lökéshullámok már biztonságtechnikai kockázatot jelentettek volna a hordozó hajó és a kezelőszemélyzet számára.

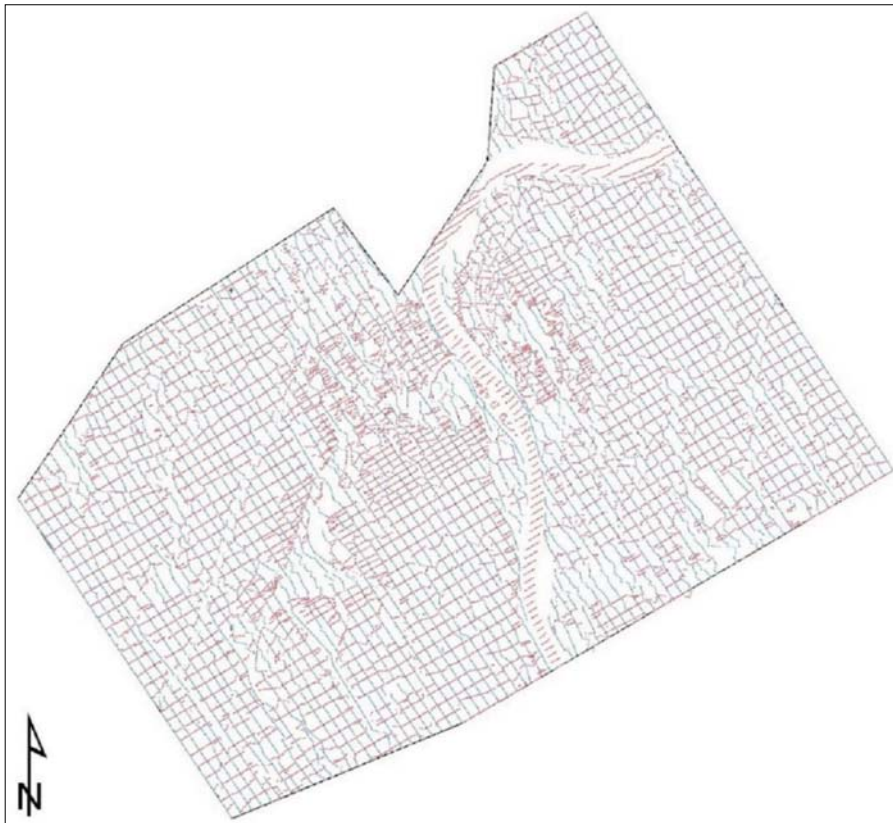
Mivel a Pécsi Bányakapitányság az illetékes Természetvédelmi Hatóságok állásfoglalására hivatkozva nem engedélyezte robbantásos mérés alkalmazását a Duna bal partján lévő természetvédelem alatt álló ártéri erdőben és a Madocsa melletti védett, Duna parti erdőben (hanem csak a meglévő utakon, vibrátorokkal és száraz időben), így a kísérleti robbantásos mérésre csak a Duna jobb partján, a terve-

zett új blokkoktól délre kerülhetett sor. A robbantásos teszt-mérésnél az optimális töltetmélységek és töltetsúlyok kiválasztása volt a feladat. Kísérleti felvételek készültek 3-5-7-10 m-es töltetmélységekkel és 0,4–0,8 kg-os robbanótöltetekkel szülő lyukakból és a 3 m-es mélységű 3-as lyukcsoportból (10. és 11. ábra).

A felvételek összehasonlítása során az 1×7 m lyukból, 0,8 kg töltettel készült felvételt minősítettük a legjobbnak, azonban az már a kísérleti pontok megfúrásánál is látszott, hogy a Duna menti laza sóderes talajban nagyon bizonytalan az 5 m-nél mélyebb lyukak elkészítése. A fúrás nem okozott gondot, azonban a fúrósár kihúzása után 5 m alatt szinte azonnal összeomlottak a lyukak, és a robbanóanyagot nem lehetett 5 m-nél mélyebbre letölteni. Ebből a tapasza-

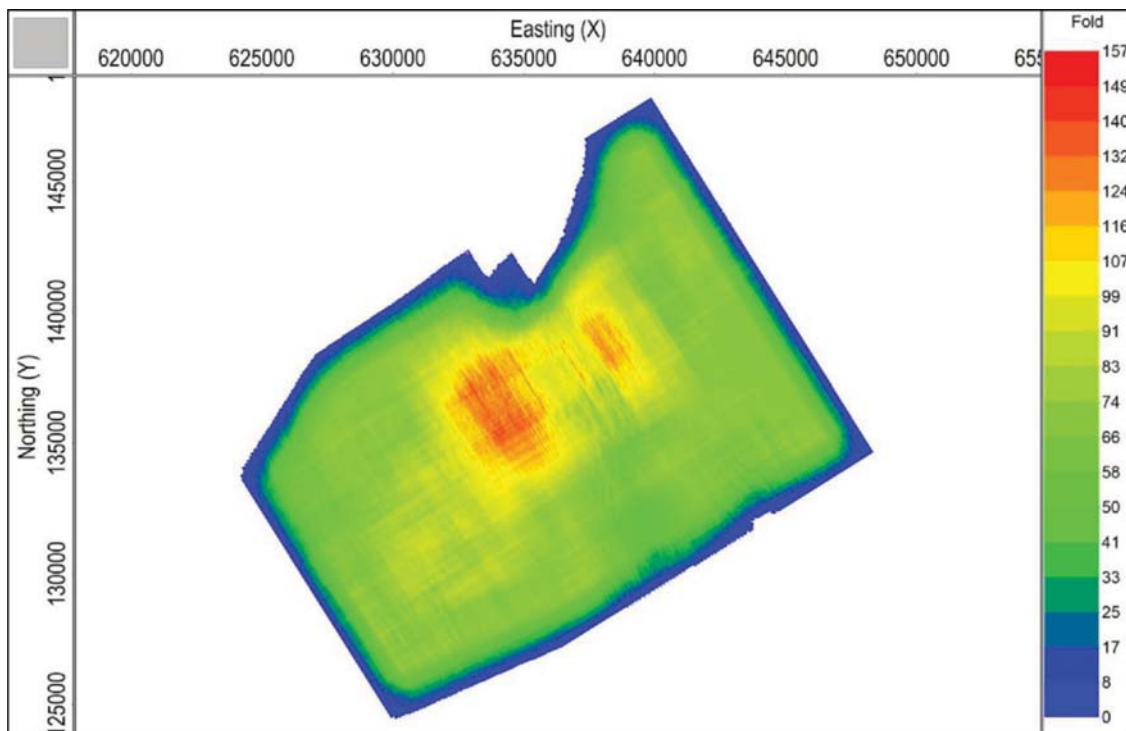


11. ábra Robbantásos terepi felvétel, 5 m töltetmélységen, 0,4 kg töltettel
Figure 11 Explosive field record with source effort (5 m depth, 0.4 kg explosive)

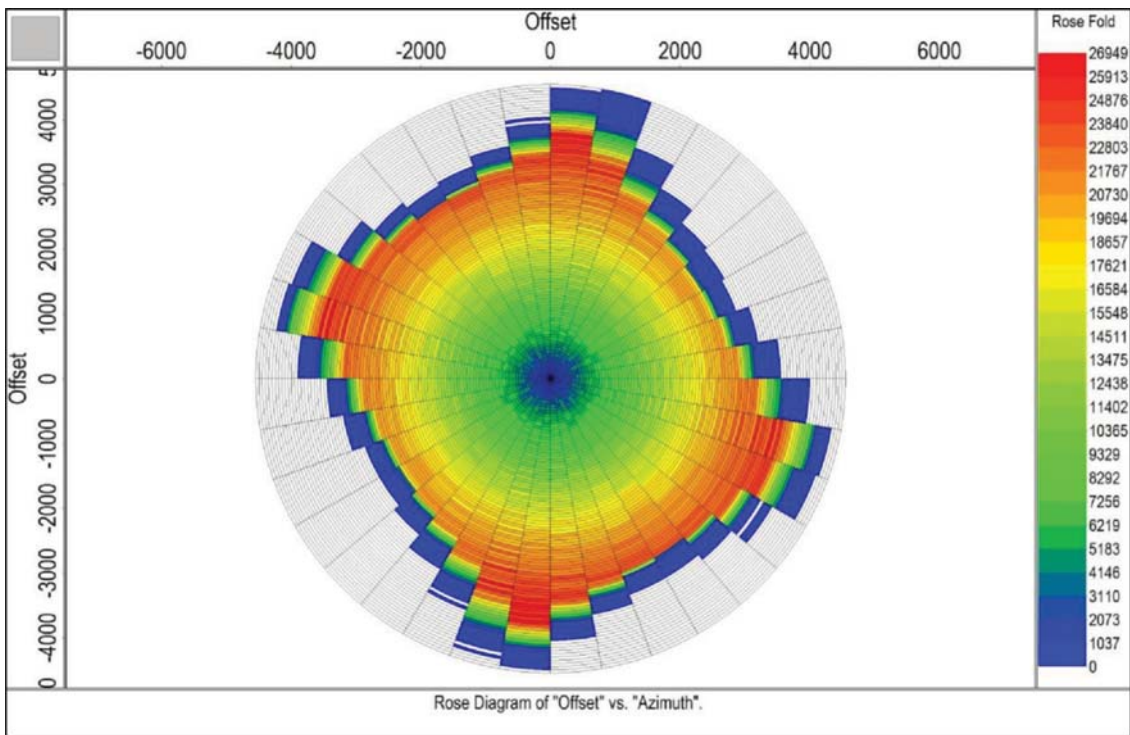


12. ábra | A ténylegesen megvalósult forrás- és geofonpont-eloszlás
Figure 12 | Project postplot map with the executed source and receiver points

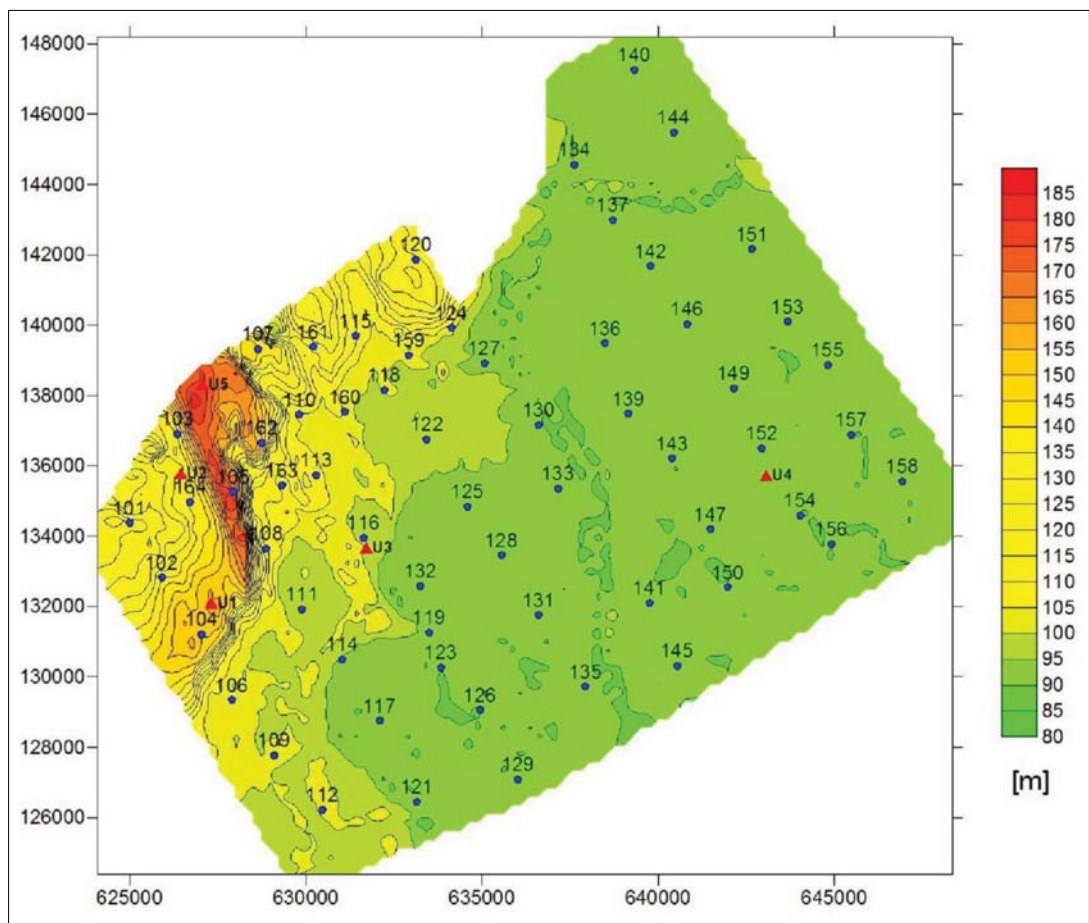
latból kiindulva az 5 m-es lyukmélységet választottuk ki | Ahol a közelben (100 m-en belül) nem volt védendő mű-
 elérhető célmélységnek 0,4–0,8 kg-os robbanótöltettel. | tárgy vagy építmény, ott 0,8 kg-os töltetsúlyt alkalmaztunk.



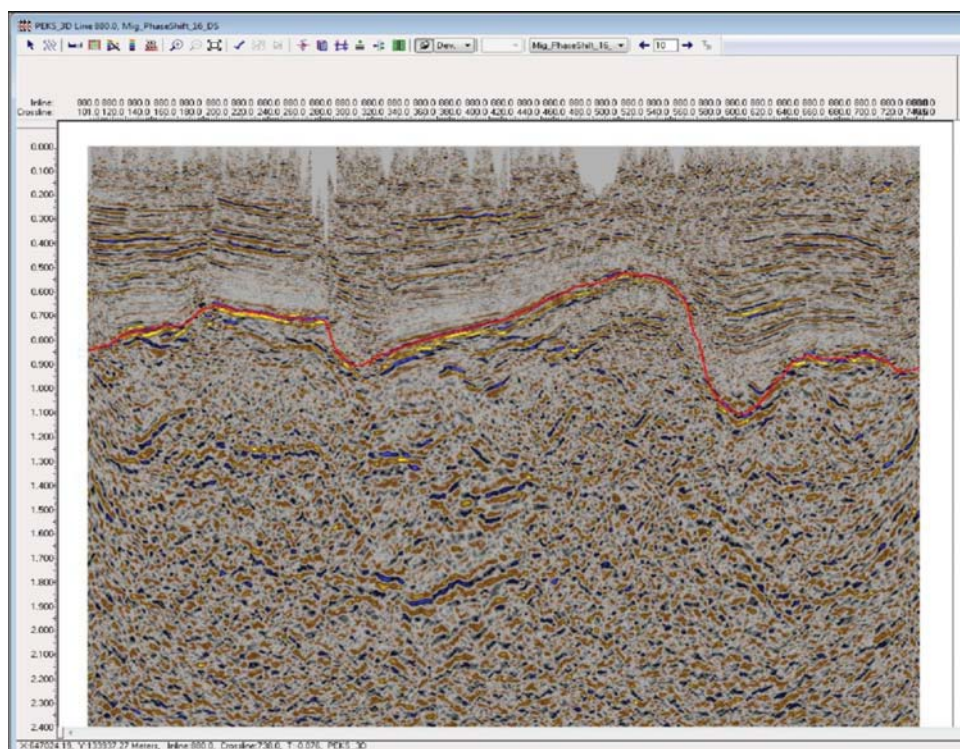
13. ábra | A megvalósult fedésszámeloszlás a mérési területen
Figure 13 | Resulting fold distribution for all offsets on the surveyed area



14. ábra | A megvalósult fedésszám-offset-azimut eloszlást bemutató rózsza diagram
 Figure 14 | Resulting rose diagram demonstrating the fold offsets and azimuths statistics



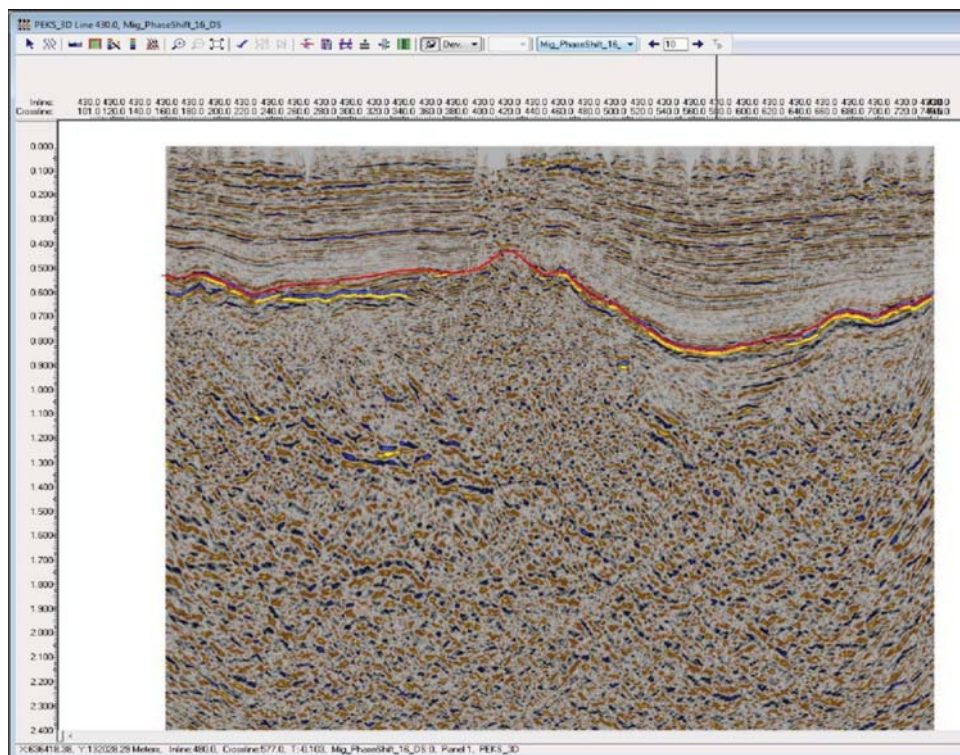
15. ábra | A mérési terület tengerszint feletti magassága a megvalósult sekély refrakciós és uphole mérések helyeivel
 Figure 15 | Elevation map of the survey area with shallow refraction and uphole locations



16. ábra Geofonvonal irányú (in-line) 2D időszelvény a migrált adathasáb K-i részéről (Makarewicz, Gombár 2014)
Figure 16 Receiver line direction (in-line) 2D time section from the eastern part of the data cube (Makarewicz, Gombár 2014)

Ahol a laza homokos, iszapos talaj az 5 m-es mélység megfúrását sem tette lehetővé, ott 3×3 m-es lyukcsoportot kellett alkalmazni, lyukanként 0,4 kg-os töltettel.

Az ártéri védett erdőkre vonatkozó fenti természetvédelmi hatósági korlátozások és a Dunán szeptember folyamán hetente levonuló árhullámok miatt az erdők víz alatt álltak,



17. ábra Geofonvonal irányú (in-line) 2D időszelvény a migrált adathasáb középső részéről (Makarewicz, Gombár 2014)
Figure 17 Receiver line direction (in-line) 2D time section from the central part of the migrated data cube (Makarewicz, Gombár 2014)

és semmi esély nem volt a mélyebben fekvő erdőkben a vibrátorok alkalmazására. A Dunaszentgyörgy melletti védett mocsaras erdő szintén vízben állt a sok csapadék miatt, így az összefüggő falu és védett mocsár miatt szintén számos robbantópont kimaradását kellett elfogadni. E terepi feltételek miatt több száz tervezett forráspontot el kellett hagyni, és a robbantásos felvételek száma a tervezetthez képest a felére csökkent (12., 13., 14. ábra). A 16000 megvalósult forráspontból 93,5% készült vibrátoros gerjesztéssel, 4,5% air-gun forrással a Dunán és mintegy 2% robbantással.

A mérés során külön kihívást jelentett a Paksi Atomerőmű és a mellette található kiégett üzemanyag-tároló (RHK Kft. – KKÁT) területén történő terepi adatgyűjtés kivitelezése. A forrás- és érzékelőpontok helyének megtervezése és kijelölése a méréseket hónapokkal megelőzően a Paksi Atomerőmű műszaki és biztonsági szakembereinek közreműködésével történt. A mérési technológia megismertetése mellett az üzemelő erőmű területén a normál üzemi működést nem zavaró, kábel nélküli (*stand alone*) regisztrálási pontok telepítését, valamint folyamatos vibrációmonitoringot vállaltunk a védendő létesítmények környezetében. Az előzetesen készített rezgésstanulmányok alapján a maximálisan megengedhető, még semmilyen károsodást nem okozó erdő részecske sebesség-érték $PPV = 5 \text{ mm/s}$ volt. Ez az érték egy 20 Hz-es frekvenciájú jel esetében 0,01 g gyorsulásnak felel meg, ami egy nagyságrenddel kisebb, mint az erőmű szerkezeti elemeire megengedett szeizmikus gyorsulás-érték. A szigorúan védett erőműhöz tartozó területeken az adott forrásponton betartandó biztonsági távolságtól függően 1-2 vibrátorral, csökkentett erővel történtek a vibrálások 4–8 sweep alkalmazása mellett. Az Atomerőmű és az RHK Kft. műszaki-biztonsági szervezeti egységeivel kialakított kiváló együttműködés eredményeként a mérés semmiféle károsodással, káros következménnyel nem járt.

A 3D adatgyűjtés mellett külön figyelmet fordítottunk a megbízható statikus korrekció meghatározásához elengedhetetlen felszín közeli szeizmo-geológiai modell megalkotását szolgáló sekély refrakciós és uphole mérésekre is. A 15. ábra mutatja a mérési terület topográfiai modelljét és a sekély refrakciós, valamint uphole mérési pontokat.

A terepi adatgyűjtést folyamatos, különböző szinteken megvalósuló minőség-ellenőrzés kísérte. A minőség-ellenőrzés része volt a regisztrált terepi felvételek mérési geometriájának, jel/zaj viszonyának napi ellenőrzése egy PC alapú munkaállomásra telepített ProMax feldolgozó rendszer segítségével. Itt a felvételek ellenőrzése mellett egy, a beérkező adatokat folyamatosan beépítő 3D terepi előfeldolgozás is készült. Az adatgyűjtés befejezése után pedig egy minőség-ellenőrző brutestack és egy post-stack 3D migrációs adatrendszer is előállítása megtörtént. Ebből mutatunk itt 2 in-line migrált időszelvényt (16. és 17. ábra). Az adatok végleges feldolgozása és értékelése folyamatban van.

5. Konklúziók

Az új paksi atomerőművi blokkok megépítését megelőző kiterjedt földtani-geofizikai vizsgálatok legelső fázisaként került sor a 300 km² területet lefedő 3D szeizmikus mérés kivitelezésére. A mérés kitűzött célja a korábbi 2D szeizmikus mérések alapján valószínűsített tektonikai felépítés tisztázása és a földrengés-veszélyeztetettség szempontjából kritikus szerkezeti elemek lehetséges előfordulásának feltérképezése a 3D szeizmikus leképezés segítségével.

A szeizmikus mérési program a körültekintő előkészítés után a tervezett időkereteken belül sikeresen megvalósult. A folyamatos terepi minőség-ellenőrzés biztosította, hogy az igen változékony terepi körülmények és adottságok ellenére (Paksi Atomerőmű, Radioaktív Hulladék Kezelő, lakott területek, védett ártéri erdők, halastavak, ill. maga a Duna folyó) az optimális adatminőség regisztrálása az épített környezet és infrastruktúra bárminemű károsodása nélkül történjék meg. A mérés során okozott, elkerülhetetlen mezőgazdasági károk összege jóval az előzetesen becsült értékek alatt maradt.

A Geomega Kft. által elkészített 3D post-stack időmigrációs előzetes adatfeldolgozás alapján az eredetileg tervezett mélyfúrásos kutatási programot – a fúrások elhelyezését a maximálisan kinyerhető földtani információ érdekében – lehetett optimalizálni. A végleges adatfeldolgozás után előálló 3D pre-stack migrált adatrendszer értelmezésével várhatóan egy igen részletes rétegtani és tektonikai képet fogunk kapni az erőmű tágabb környezetéről.

A tanulmány szerzői

Gombár László, Deák Ferenc

Hivatkozások

- Cudo P., Bialorucki M (2014), Terepi szeizmikus mérések zárójelentése. Geofizyka Torun, Kézirat – MVM Paks II Zrt. jelentés, 120 o.
- Kudó I., Kalocsay R. (2013), Földtani szerkezetkutatói terv a Paks környéki rétegtani és tektonikai viszonyok megismerése céljából geofizikai mérések kiviteli terve. Geomega Kft., TDE Services Kft., Kézirat – MVM Paks II Zrt. kiviteli terv, 2014. október, 35 o.
- Makarewicz J., Gombár L. (2014), Preliminary interpretation Paks 3D survey – on the basis of QC processed data. Geofizyka Torun, Kézirat – MVM Paks II Zrt. jelentés, 2014. október, 42 o.
- Meskó A. (1994), Rugalmas hullámok a földben. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1995, 183 o.
- Nagy L., Chikán G., Horváth F., Tóth L., Horváth T., Sz. Miltényi É., Turczi G. (2013), Földtani kutatási program. SOM SYSTEM Kft., ÁKMI Kft., Kézirat – MVM Paks II Zrt. jelentés, 2013. október, 138 o.

A Mohorovičić-határfelület magyarországi kutatása – módszerek, mérések, eredmények

KISS J.[@], GÚTHY T.[&], ZILAHY-SEBESS L.[#]

Magyar Földtani és Geofizikai Intézet (MFGI), 1143 Budapest, Stefánia út 14.

[@]E-mail: kiss.janos@mfgi.hu; [&]E-mail: guthy.tibor@mfgi.hu; [#]E-mail: zilahi.sebess.laszlo@mfgi.hu

A Moho-felszín vizsgálata az 1909-es felfedezése óta folyamatos geofizikai kutatási tevékenység. A hazai Moho-kutatás^{a)} jelentős sikerrel kezdődött: Gálfi és Stegena (1955, 1957, 1960) fúrólukokban nagy robbanóanyag töltettel végzett rezgés-keltés eredményeként, a kéreg–köpeny határról regisztráltak reflexiókat, és az eredményeket elsőként tették közzé Európában. Később felső köpenybeli reflexiók és a litoszféra–asztenoszféra határ első kimutatása pedig Posgay Károly nevéhez fűződött.

Eredetileg a Moho-kutatás legfőbb célja a földkéreg felépítésének megismerése volt, de később a kapott eredményeknek köszönhetően már geotermikus és lemeztectonikai aspektusok miatt is fontossá vált. Az alpi orogén zónában elhelyezkedő Kárpátok (és benne a Kárpát-medence) kialakulása is jelentős kéregmozgásoknak köszönhető, olyan geodinamikai folyamatoknak, amelyek utólagos megértéséhez a Moho-felület pontos ismerete is hozzájárulhat.

A Moho megismerésének magyarországi fázisait foglalja össze a cikk: az első Moho-térkép megszületésétől egészen napjainkig; a publikált szeizmikus Moho-térképektől a gravitációs Moho-hatásokig (különböző feldolgozásokból kapott, a Moho-szinttel korreláló térképekig, illetve a gravitációs Airy–Heiskanen izosztikus modellből származtatott Moho-mélységtérképig).

Kiss, J., Gúthy, T., Zilahi-Sebess, L.: Research of the Mohorovičić discontinuity in Hungary – methods, measurements and results

Since its discovery in 1909, the investigation of the Mohorovičić (Moho) discontinuity is one of the primary objects of geophysical research. The Moho research in Hungary began with a considerable success: Gálfi and Stegena (1955, 1957, 1960), using large explosive sources in drill-holes have obtained reflections from the crust-mantle boundary. Their results were novelty when they published them in Europe. Later, Hungarian geophysicists succeeded in observing seismic reflection arrivals from the upper mantle and in determining the depth of the lithosphere-asthenosphere boundary.

The principal aim of Moho research was to become acquainted with the structure of earth crust. Later this research became important because of the aspects of geothermal and plate tectonics studies, too. Carpathians (and the Carpathian Basin) located in the Alpine orogenic zone have developed due to considerable crust motions. Knowledge of Moho's structure may contribute to understanding these geodynamical processes.

This article summarizes the different phases of Moho studies in Hungary, from the birth of Moho's first depth map up to the present days; from the several published seismic Moho maps up to the different gravity studies of Moho's effects. We present maps got by different processing of gravity data and correlat them with the Moho depth maps based on seismic data. We show also a map of Moho's depth calculated by using the Airy-Heiskanen isostatic model.

Beérkezett: 2015. szeptember 3.; *elfogadva:* 2015. december 7.

Bevezetés

A litoszféra a Föld legkülső, merev kőzetburka. A földkéreg és a földköpeny legfelső részét foglalja magában. A földkéreg már régóta az emberiség vizsgálatainak tárgya, így ez a Föld bolygónak a legismertebb része. A földkéreg távolról sem tekinthető homogénnek, azonban a felépítésére mégis jellemző néhány szabályszerűség (*1. ábra*).

A földkéreg a mélyebb földövektől a nagyobb szilárdsága, merevsége alapján különítjük el. Ez meghatározza viselkedését is, kevésbé tud képlékenyen alakot változtatni, plasztikusan mozogni, mint az alatta elhelyezkedő földövek, ehelyett törik, reped, hasadozik a mozgások és a feszültségek hatására a mindenkor ráható erők függvényében. A földkéreg tulajdonképpen széttöredezett lemezdarabokból áll.

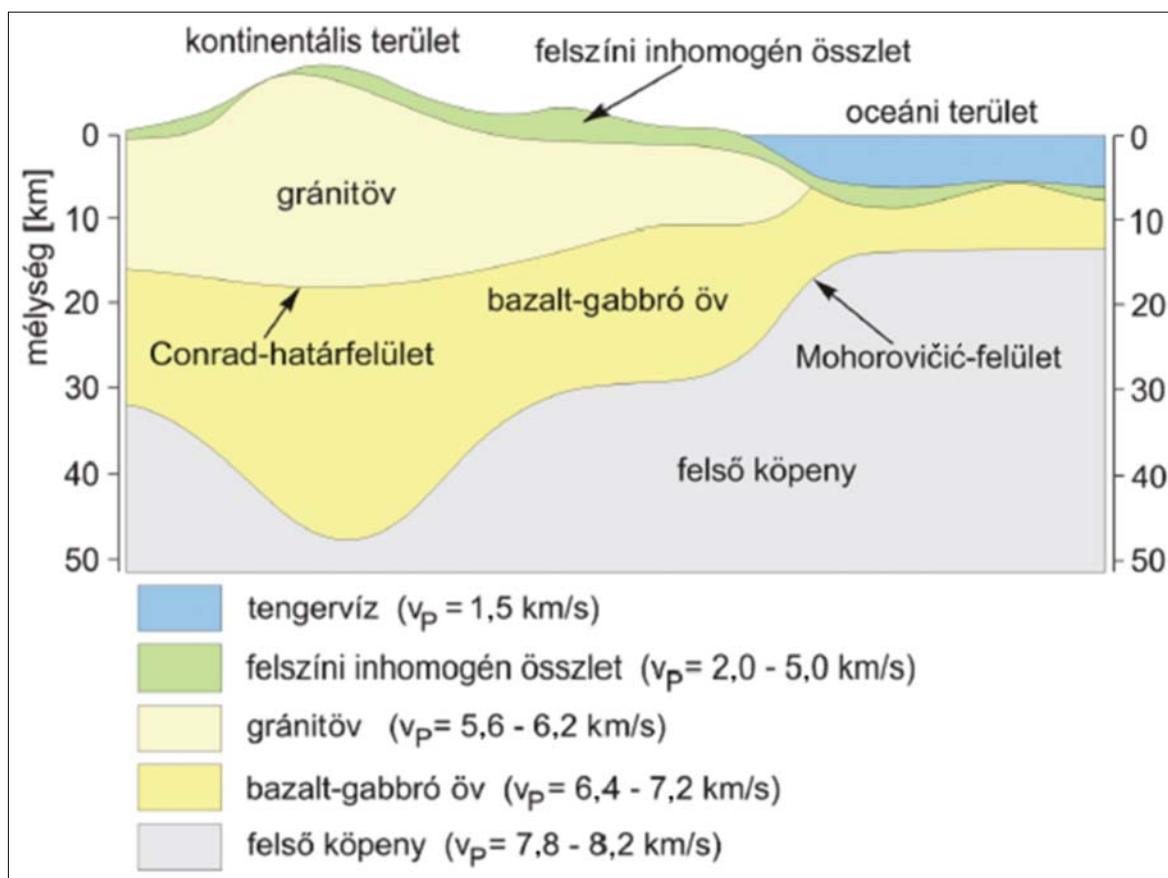
A földkéreg alsó határfelületét Andrija Mohorovičić horvát geofizikus fedezte fel 1909-ben (Mohorovičić 1910), szerinte a Balkán-félsziget alatt, kb. 50 km-es mélységben, egy olyan határfelület húzódik, amely alatt ugrásszerű sebességnövekedés tapasztalható (feltételezhetően az ultrabázisos összetételű köpenyképződmények megjelenése miatt). A későbbi szeizmológiai vizsgálatok bebizonyították, hogy ez a felület szinte az egész Földön megtalálható, és a felfedezőjéről Mohorovičić-felületnek (rövidítve „Moho”-nak) nevezték el.

A Moho elsőrendű határfelület, ez tekinthető a kéreg és a köpeny határfelületének. Noha a földkéreg alsó határát jelentő Moho-diszkontinuitásnak a felszíntől számított átlagos mélységét a szakirodalomban 33 km-nek veszik (a szárazföldeken 40–80 km, óceánok esetében 5–10 km), a kéreg vastagsága 5 és 80 km között van, és szigorú szabályszerűséget követve változik. Szoros korreláció tapasztalható például a kéreg vastagsága és a Föld felszíni topográfiája között, de más a kéreg vastagsága és szerkezete a kontinensek és az óceánok alatt (energiaminimumra való törekvés, illetve az ebből származtatható izosztázia elve miatt).

A földkéreg vastagságát szabályozza például az ösztömegegyensúly, avagy az izosztázia elve. Az Airy-féle izosztatikus modell szerint (Airy 1855) ugyanis a Föld szilárd kérgé, az alatta levő, nagyobb sűrűségű, de képlékenyebb felső köpeny anyagában közelítőleg úszási egyensúly áll-

potában van. Ez azt jelenti, hogy a kéreg különböző magasságú egységei addig merülnek a köpeny sűrűbb anyagába, amíg a rájuk ható felhajtó erő egyenlő nem lesz a súlyukkal. Természetesen a Föld kérgé nincs mindenütt izosztatikus egyensúlyi állapotban, de ezeken a területeken a függőleges kéregmozgások többnyire az egyensúlyi állapot elérése felé irányulnak. Időbeli késések tapasztalhatók, mivel a tektonika okozta gyors változásokat (orogén mozgások) egy lassú, plasztikus folyamatnak kell kiegyenlítenie (epirogén mozgások). A gyors mozgásokat feltételezhetően az asztenoszféra áramlásai határozzák meg, a lassú mozgásokat pedig az egyensúlyra, energiaminimumra való törekvés.

A földkéreg finomszerkezetének tanulmányozását a szeizmológiai és szeizmikus módszerek és műszerek megjelenése tette lehetővé. A legjelentősebb felfedezés az volt, hogy a kontinentális területek alatt a földkéreg tovább osztható egy meglehetősen éles szeizmikus határfelülettel. Ezt elsőként Victor Conrad ismerte fel (Conrad 1925, 1928), vizsgálatait Jeffreys (1929) tovább finomította, és megállapította, hogy a Conrad-féle határfelület a felszín alatt általában 5–20 km-es (átlagosan 15 km-es) mélységben található. A laboratóriumi sebességvizsgálatok alapján Jeffreys a felső kéregre gránitos, az alsó kéregre üveges bazaltos és a köpenyre dunitos összetételt határozott meg (1. ábra). Szokták használni a „középső kéreg” elnevezést



1. ábra | A litoszféra szerkezete óceánok és kontinensek alatt (Völgyesi 2002)
 Figure 1 | The structure of continental and oceanic lithosphere (Völgyesi 2002)

I. táblázat | A földkéreg átlagos paramétereit különböző források alapján (Mo: Magyarországra vonatkozó érték)
Table 1 | Average physical parameters of the Earth's crust (Mo: for Hungary only)

Szint	Üledékek	Conrad-diszkontinuitás	Moho-diszkontinuitás	Köpeny	Hivatkozások
Sebesség (m/s)	max. 5500	6250	–	–	Balkay (1960) – Mo
	max. 5500	6700	8100	8300	Mituch (1964) – Mo
	–	7000	8600	8900	Posgay (1975) – Mo
	–	7100	8100	8300	Posgay et al. (1986) – Mo
	max. 5000	6800	7900	8200	Szalay et al. (2011) – Mo
	max. 5000	6250	7800	8000	Jeffreys (1929)
	max. 5000	6400	7600	8090	Christensen és Mooney (1995)
	max. 5000	6300	7500	8000	Völgyesi (2002)
Sűrűség (kg/m ³)	–	3000	3300	3300	Balkay (1960)
	2450	3000	3350	3350	Kaban (2001)
	2400	3000	3300	3300	Völgyesi (2002)

is, de ennek a fogalomnak nincs pontos definíciója, talán sokan a Conrad-felület széles átmeneti zónáját nevezik így.

Hazai kutatások alapján a gránitos felső kéregre a 2670 kg/m³ sűrűség és az 5500–5800 m/s sebesség a jellemző, míg a bazalt–gabbró összetételű alsó kéregre a 3000 kg/m³ sűrűség és a 6000–6500 m/s sebesség (Balkay 1960). Mituch Erzsébet (1964) a Hajdúszoboszló–Kaposvár vonalon mért széles szögű reflexiós mérési adatok alapján a sebességeket kissé módosította, szerinte a gránitszint 6000 m/s, míg a Conrad-felület 6700 m/s sebességtől van jelen. Posgay (1975) Karcag környéki mérések alapján már a 6300–7600 m/s tartományt adta meg az alsó kéreg sebességeként, és 8600 m/s körül határozta meg a Moho kezdősebességét.

A Conrad-diszkontinuitás egy másodrendű határfelület, amely a Moho-felülethez hasonlóan, ellentétes értelemben követi a felszíni domborzatot. Érdekes azonban, hogy ez a határfelület az óceáni kéregben hiányzik, és a kontinentális kéregben sincs meg mindenhol; ahol megvan, ott sem összefüggő. Ahol kimutatható, ott átlagosan 15–17 km-es mélységben van. Magyarországon a Conrad-felület szintje 18–19 km mélységben van a szeizmikus mérések alapján (Mituch 1964), amely mélyebb a világtáznál (Szénás 1964). A Conrad-felület a savanyú képződményekből álló gránitív és a bázisos bazalt–gabbró öv közötti határvonalat jelenti (az alsó kéreg alatt ultrabázisos köpenyanyag van). A Conrad-határfelület a világtáznál alapján a ~6400 m/s hullámsebesség elérésénél húzható meg, s figyelemre méltó, hogy ez a határfelület sok esetben a Curie-hőmérséklet mélységtartományában van, amely Magyarországon a mágneses adatok spektrális mélység-meghatározása alapján 18,6 km mélységben, nagyjából ugyanabban a mélységben található (Kiss 2009a), mint a szeizmikus Conrad-felület.

A magyarországi mérések alapján tehát a Conrad-felület határsebességére a világtáznál magasabb, 6700–6800 m/s-os (Mituch 1964, Szalay et al. 2011), esetenként még ennél is nagyobbat 6900–7300 m/s (Posgay 1975, Posgay et al. 1986) értéket határoztak meg, ami azért érdekes, mert Magyarországon magas a geotermikus gradiens, és mivel a hőmérséklet növekedésével arányosan csökken a hullámsebesség, ezért itt ennek a határsebességnek a világtáznál kisebbnek kellene inkább lennie. Magyarozatként a szerzők az átlagnál sokkal bázisosabb kémiai összetételű alsó kéreg feltételeznek a Pannon-medencében.

A földkéreg általános vizsgálatát és az átlagos sebességparaméterek és sűrűségek meghatározását világviszonylatban gyűjtött adatok alapján Christensen és Mooney (1995), valamint Carbonell et al. (2013) ismertették tanulmányukban. Itthon Balkay Bálint (1960), Mituch Erzsébet (1964), Posgay Károly (1975) és társai (1986), valamint Szalay István és társai (2011) szedték össze ezeket a paramétereket, illetve Völgyesi Lajos (2002) gyűjtötte össze és tette közzé „Geofizika” című műegytemi jegyzetében. A földkéreg több szerző által publikált, átlagos paramétereit az 1. táblázat mutatja.

A földkéreg legfontosabb jellemzőit a szeizmikus mérésekből és a sebesség–mélység összefüggésekből ismerték meg. A szeizmikus hullámsebességet alapvetően a képződmények összetétele, a nyomás- (feszültség-) és a hőmérséklet-viszonyok határozzák meg.

Geofizikai mérések

Alkalmazott geofizikai módszerekkel – néhány kivételtől eltekintve – a Föld legfelső, néhány száz 10 km-es részét, a Föld kérgét vizsgáljuk, amely a felszín és a Moho-diszkontinuitás között helyezkedik el.

Balkay Bálint „A földkéreg szerkezete Magyarország alatt” című tanulmányában, már az 50-es évek második felében különböző szempontok alapján elemezte, hogy mit is értünk a kéreg alatt, és hogy milyen határfelületek jelennek meg a kéregben (Balkay 1958, 1960). A következő határfelületeket^{b)} különítette el (felülről lefelé):

- felszíni domborzat (*topography*),
- geofizikai szempontból meghatározható medencealjzat (*geophysical basement*),
- földtani szempontból meghatározható medencealjzat (*geological basement*),
- kristályos kőzetek felszíne (*fundament*),
- a kéreg alsó határfelülete (*Moho level*).

Természetesen némi magyarázatot igényel ez a fajta felosztás, bár látszik, hogy a zárójelben megjelenő angol elnevezések alapján végül is csak a kétféle medencealjzat igényelne részletesebb magyarázatot, de Szénás György „Geofizikai térképezés földtani alapjai Magyarországon” című tanulmánya (1965) is részletes tájékoztatást ad erről.

Megfigyeléseinket többnyire a Föld felszínén végezzük, ez mindennek a „teteje”, a felső határfelület, emiatt féltér a közeg, amelyet vizsgálunk. A felszín, illetve a felszíni domborzat a geodéziai méréseknek köszönhetően viszonylag jól ismert. Méréseink többnyire ezen a felületen történnek, és a felület rendellenességei a geofizikai mérésekben minden igyekezetünk ellenére sokszor jelen vannak.

Geofizikai szempontból Balkay medencealjzati határfelületként értelmezte azokat a határfelületeket, ahol a geofizikai paraméterekben (sűrűség, szeizmikus sebesség, elektromos fajlagos ellenállás) hirtelen jelentős ugrás tapasztalható. A paraméterek változása főleg akkor számottevő, ha a medencealjzat egy diszkordanciafelületként jelentkezik, azaz hiátus van a rétegsorban.

A geológiai és geofizikai medencealjzat sokszor egy és ugyanaz, de ez a fajta elkülönítés felhívja a figyelmet arra, hogy ezek a határfelületek egymástól eltérően viselkedhetnek, és éppen ezért fontos lehet az effajta elkülönítés!

A „kristályos kőzetek” alatt a különböző mértékű metamorfózison átesett képződményeket értjük. Ez a „kristályos kőzetek határfelülete” főleg geológiai szempontból fontos, mert a geofizikai paraméterek alapján a paleozoos és mezozoos képződmények talán csak a mágneses szuszceptibilitás megnövekedése alapján (ld. amfibolitok, peridotitok, serpentinitek) különíthetők el a medencealjzattól, ami a jelentős átkristályosodásnak köszönhető, de csak a bázisos kőzetek esetén nevezhető általánosnak.

A mágneses tulajdonság megjelenésének azonban van egy hőmérsékleti határa, a Curie-hőmérséklet, amely a geotermikus adottságok függvényében egyben mélységi határ is. Nem zárható ki, hogy ez a Curie-mélység kapcsolatos a Conrad-féle határfelülettel, ahol néhány fizikai paraméter hirtelen megváltozása tapasztalható.

A Moho szintje világszerte eléggé jól ismert, elsősorban a szeizmológiának, valamint a passzív és aktív (litoszférakutató) szeizmikus méréseknek köszönhetően. Több szerző

(pl. Mituch, Posgay, Nyikolajevszkij, Christiansen, Mooney, Grad, Artemieva, Thybo, Prodehl stb.) tanulmánya is foglalkozik a Moho szintjével és annak fizikai paramétereivel. Ennek a szintnek a kutatása szeizmológiával, szeizmikus mérésekkel, az elektromágneses módszerek közül magnetotellurikus mérésekkel és végül – de nem utolsó sorban – a gravitációs kutatási módszerrel lehetséges.

Jelen cikkben ennek a szintnek, a Moho-szintnek a geofizikai kutatását, vizsgálatát járjuk körül, és azok eredményeit tekintjük át.

A Moho-felszín mélysége

Sűrűség/sebesség szempontjából az első, általánosnak nevezhető vezérszint a medencealjzat, a második vezérszint a kéreg–köpeny határ, azaz a Moho felülete, ahol a sebességértékekben és a sűrűségértékekben is, a kőzet- és ásványtani átalakulások miatt ugrás tapasztalható. A Conrad-felület is vezérszint, de nem mindenhol mutatható ki, és sokszor inkább egy vastag átmeneti zónának tekinthető, semmint egy kontrasztos határfelületnek.

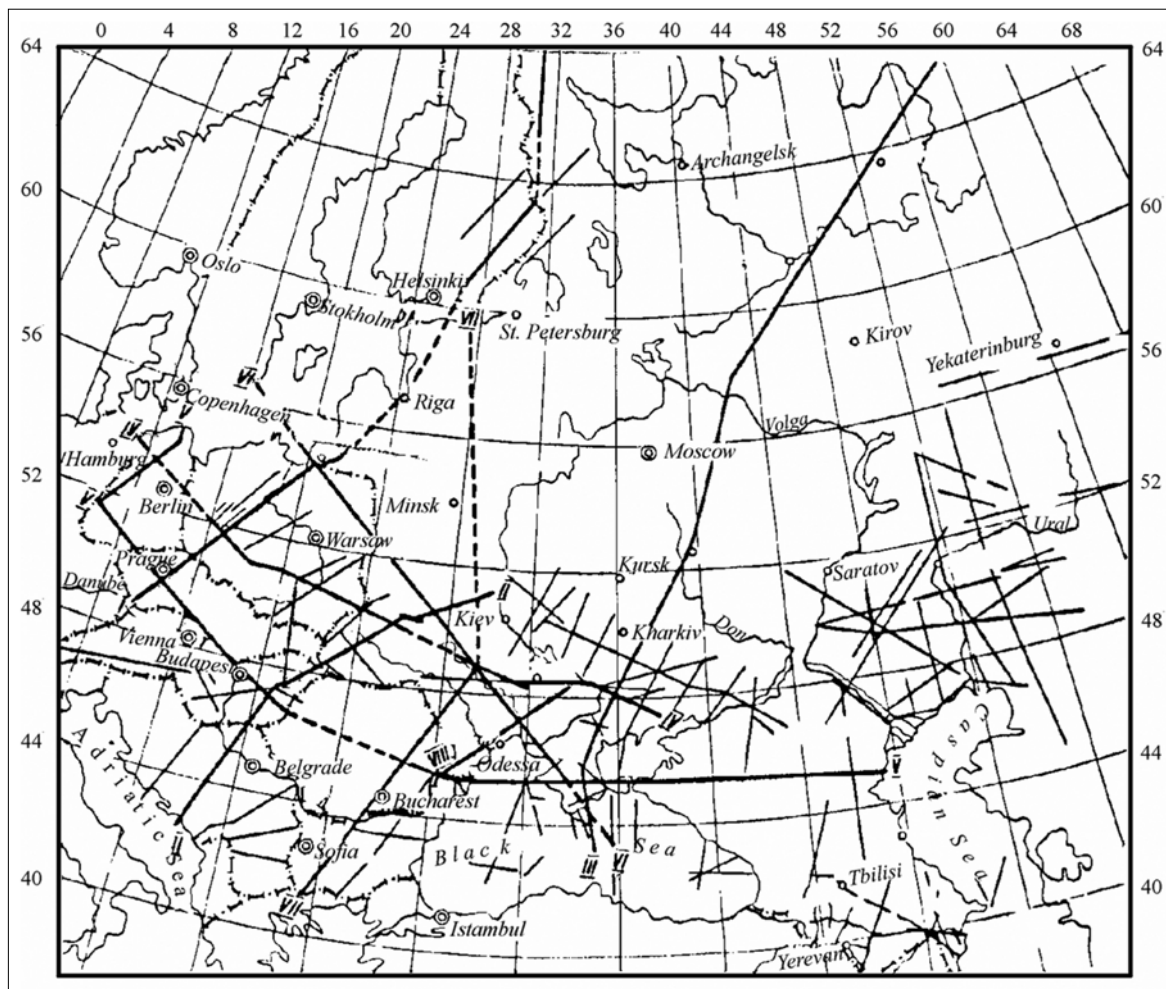
Nagyon sok Mohoval kapcsolatos publikáció – többek közt térkép is – megjelent az évek folyamán, de esetenként nem lehet a forrásadatokat pontosan azonosítani. Ezért nem lehet eldönteni, hogy melyik az elsődleges forrásadat, és mi az, ami átvett (értsd: nem mérésből származó) adat. A térképek átvétele és hivatkozása nem javítja a térképi tartalmat, hanem inkább megbízhatatlanná teszi azt. Ez a probléma mindegyik adatrendszerre igaz, de leginkább a ritka ponthálózat alapján szerkesztett térképek megítélése során merül fel. Az eredményeket viszont publikálni kell szelvények, térképek formájában, hogy mások is megismerhessék azokat, és fel tudják használni a további kutatások során.

Kéregvastagság a szeizmikus mérési adatok alapján

A litoszférakutatás Gálfi és Stegena (1955, 1957 és 1960) eredményeinek köszönhetően már az 50-es években megkezdődött a Kárpát-Pannon régióban. Reflexiós mérésekkel kimutatták, hogy a kéreg a medence belsejében jóval vékonyabb, mint a környező területeken.

Refrakciós és széles szögű reflexiós mérésekkel a 60-as években és a 70-es évek elején azt is sikerült megállapítani, hogy a kéreg–köpeny határ mélyebben van az idős pajzsok és a környező hegységek alatt, de még a Pannon-medence belsejében található kisebb röghegységek alatt is, mint a medenceterületeken. Erről számos publikáció született, pl. Mituch 1964, Mituch 1966, Mituch, Posgay 1967, 1967/68, 1968, 1970, 1971, 1972.

A 70-es évek elején a magyar geofizikusok reflexiókat azonosítottak a Moho alól, a felső köpenyből, és először sikerült kimutatni a szeizmikus mérésekből a litoszféra–asztenoszféra határt, valamint olyan nyírási zónákat a felső köpenyben, amelyek az astenoszféráig hatolnak (bővebben ld. Posgay et al. 2003).



2. ábra Mélyszeizmikus refrakciós mérési nyomvonalak Közép- és Kelet-Európában (Beránek et al. 1972)
Figure 2 Location map of deep seismic refraction profiles of the Central and East-European countries (Beránek et al. 1972)

A hazai, a magyar–csehszlovák–kelet-német, majd a magyar–orosz, magyar–jugoszláv, magyar–csehszlovák–lengyel mélyszeizmikus mérési együttműködések a KGST-n belül, majd később a francia–svájci–osztrák–magyar litoszférakutató mérési programoknak köszönhetően (2. ábra) előállt egy olyan adatrendszer, amely már alkalmas volt a térképi megjelenítésre is.

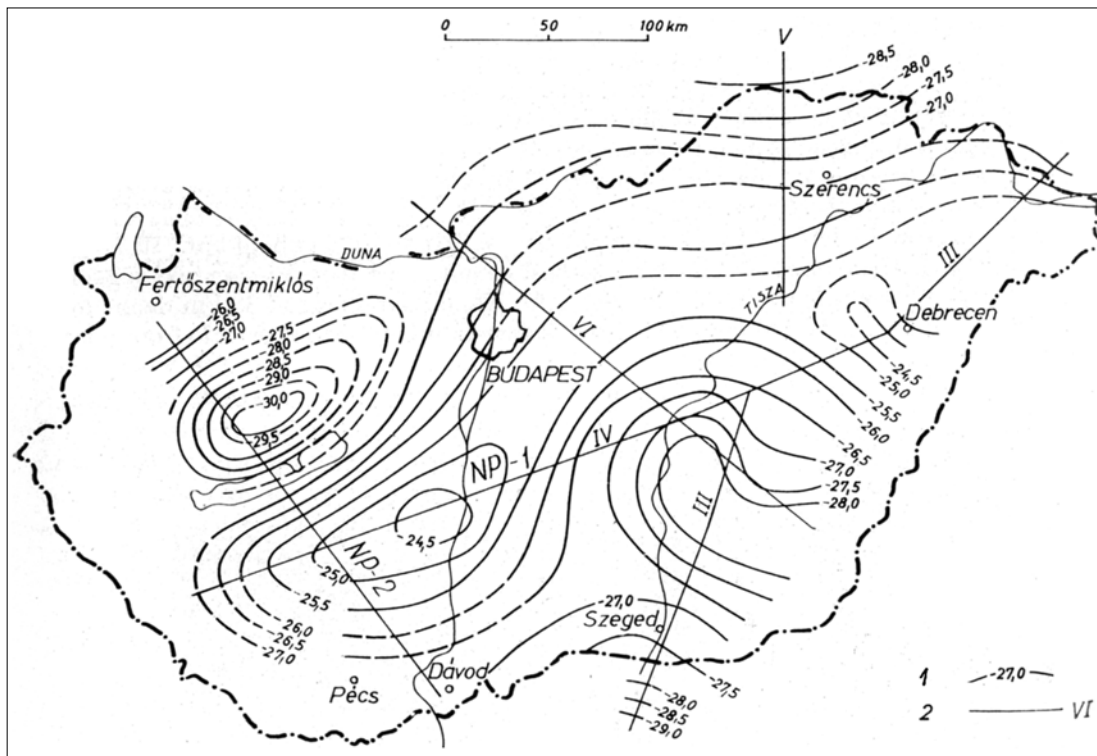
Ekkor született az első térkép (3. ábra), amely szövegek-zi ábraként ugyan, de bemutatta Magyarország területén a Moho várható lefutását (Mituch, Posgay 1972), majd kicsit később ennek a javított változata (Posgay et al. 1981) is megjelent. Posgay és munkatársai azt is megállapították, hogy a Moho-határfelület és a medencealjzat domborzata ellentétes lefutású (Posgay et al. 1981), ami tulajdonképpen az izosztázia jelenségének bizonyítása szeizmikus mérési adatok alapján.

A következő Moho-mélységtérképet Posgay és kollégái 1989-ben készítették. A térkép Közép-Európa részterületére – Magyarország területét is beleértve – mutatja a Moho mélységét. Ez a térkép a *Geophysical Transactions* mellékleteként, M = 1:1 000 000 méretarányban jelent meg (Posgay et al. 1991). Noha a térkép léptéke és a térkép-tartalom is megengedné, a forrásadatokat, a szeizmikus mé-

rések nyomvonalai nincsenek feltüntetve ezen a térképen. A térképhez kapcsolódó cikkben is csak a csehszlovákiai mérések helyszínrajzai szerepelnek, mutató a felhasznált szelvények nyomvonalát. Más, korábbi publikációk (pl. Mituch, Posgay 1972, Beránek et al. 1972 vagy később Posgay et al. 1981, 1998) alapján azonban rekonstruálhatók azok a litoszférakutató szeizmikus mérési nyomvonalak, amelyek adatait felhasználták a térkép szerkesztésekor (ld. 3. ábra). A korai publikációk (pl. Mituch 1964, 1966, Mituch, Posgay 1968, 1972, Posgay et al. 1981, 1998) a feldolgozásokat és a Moho-bejelöléseket is bemutatják.

Nem sokkal később Horváth Ferenc (1993) tanulmányában, a *Tectonophysics*-ben jelent meg a Moho-mélységtérkép szövegek-zi ábraként, szintén alapvetően szeizmikus mérések alapján, de a forrásadatokat helye ezen az ábrán (cikkben) sincs feltüntetve, rengeteg forráspublikációra történő hivatkozás mellett. A térkép ki lett terjesztve a Kárpát-Pannon régió teljes területére, a Posgay-féle térkép adatai területeit is kitöltve, a környező országok publikált eredményeinek segítségével (5. ábra).

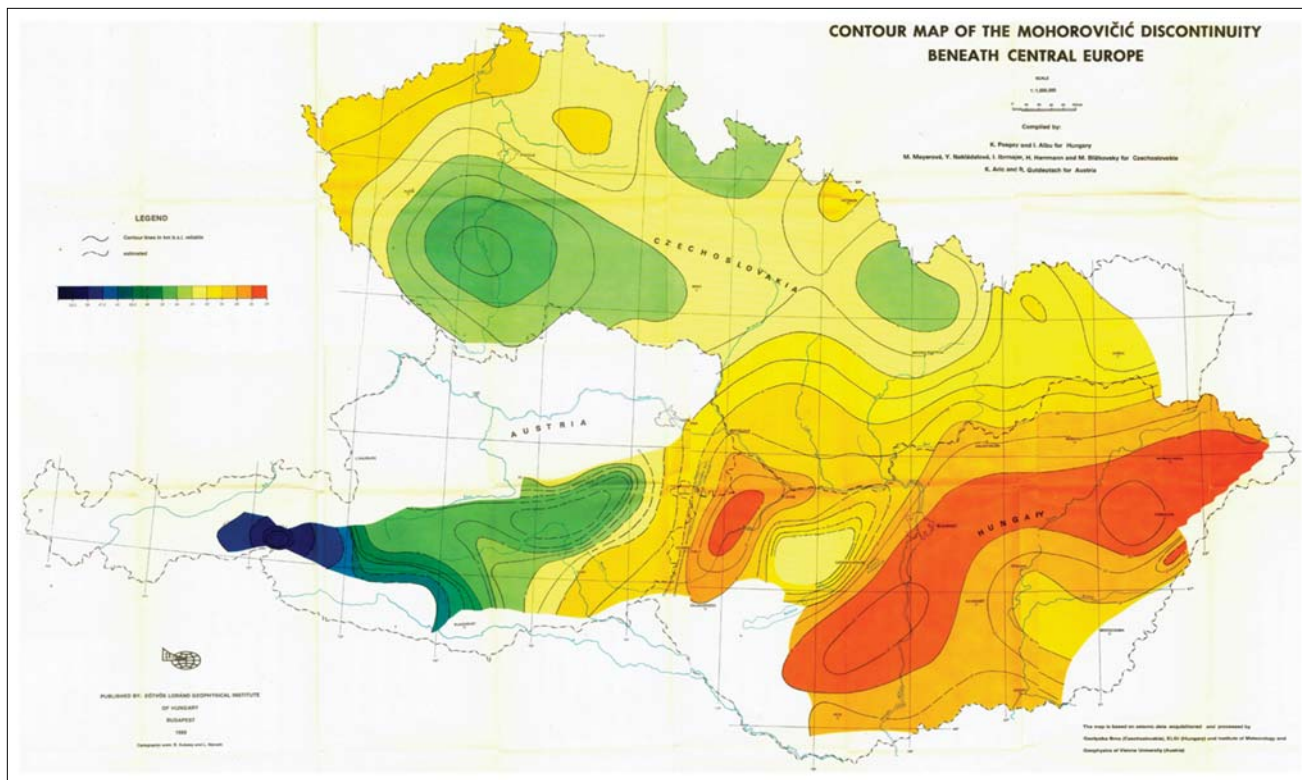
Még egy országos mélységtérkép készült a kéreg–köpeny határfelületről az ELGI nemzetközi hálózatban végzett mé-



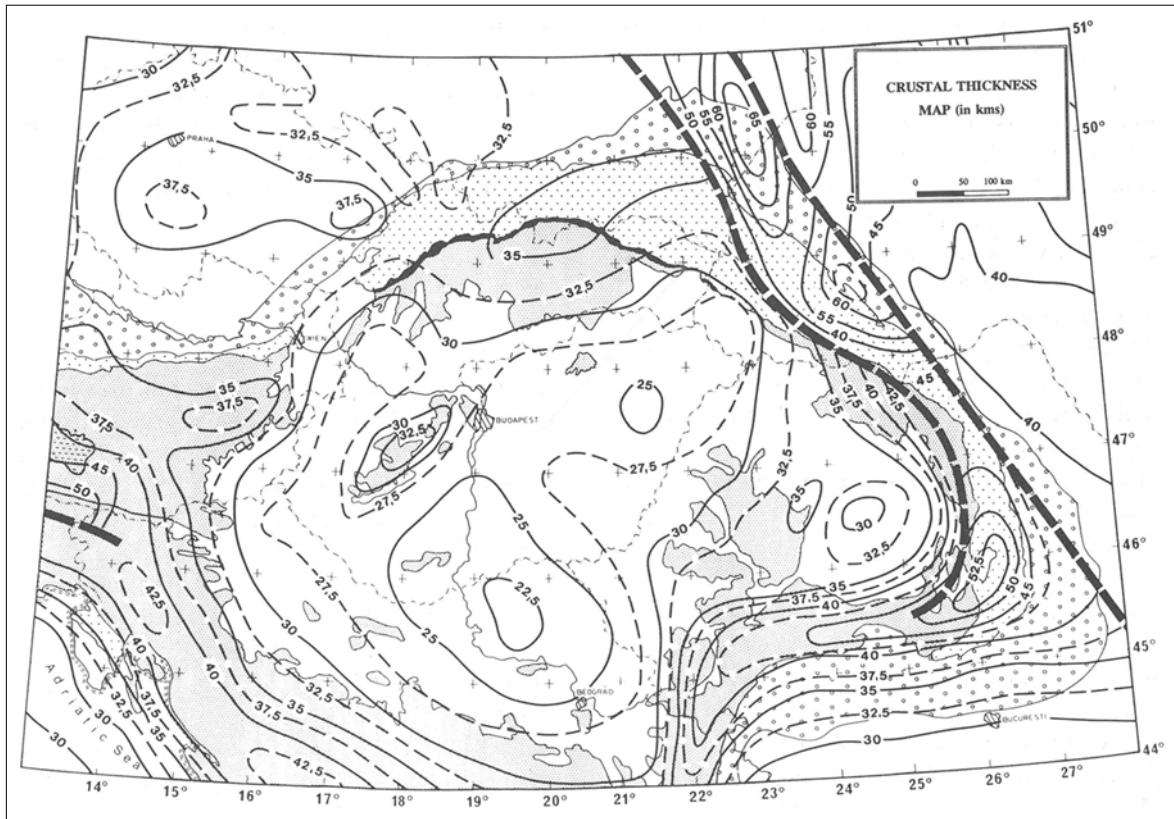
3. ábra A magyarországi Moho-felszín 1) kontúrjai és 2) a szelvények nyomvonalai (Mituch, Posgay 1972)
 Figure 3 The contour sketch of the Moho under Hungary. 1) contour lines, 2) profiles (Mituch, Posgay 1972)

rései és a hazai szeizmikus szelvények alapján, amelyet Eperjesi Béla (1996) tett közzé szakdolgozatában (6. ábra).

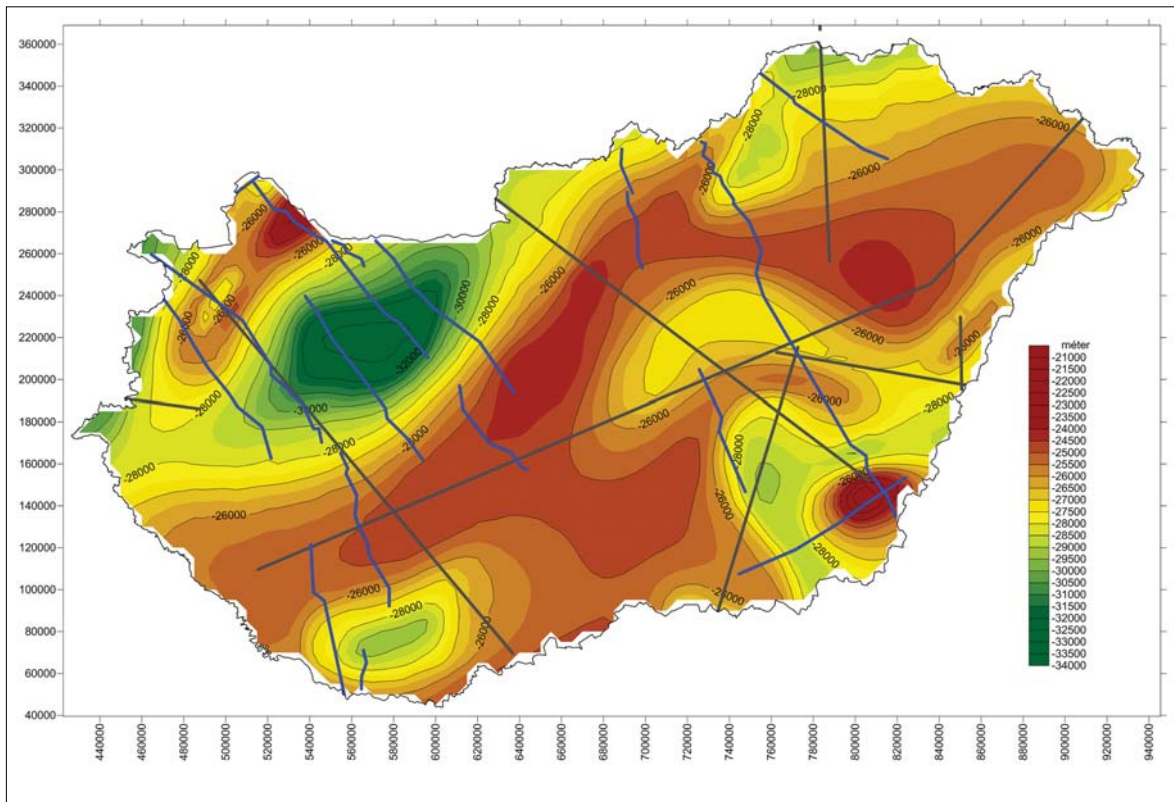
Szabó Zoltán és Páncsics Zoltán a relatív gravitációs mérések és a szeizmikus mérések felhasználásával készítették



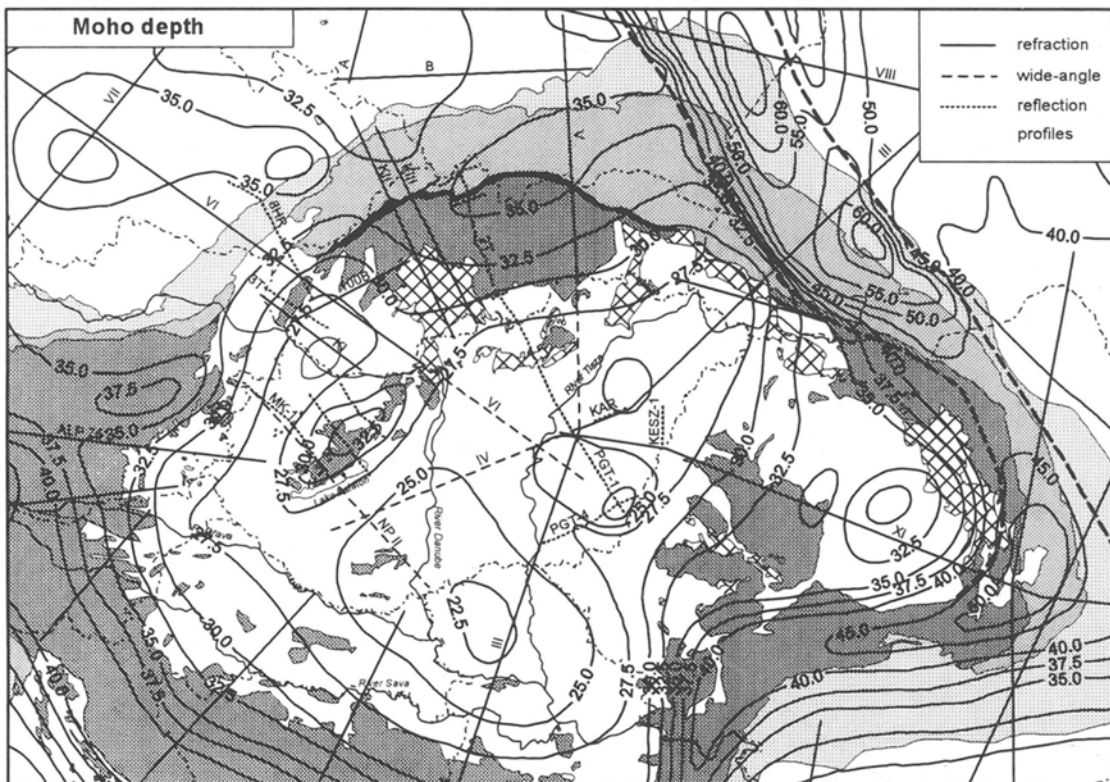
4. ábra A Moho-határfelület mélységtérképe Közép-Európa alatt (Posgay et al. 1991), izovonalköz: 2–2,5 km
 Figure 4 Contour map of Moho discontinuity beneath Central Europe (Posgay et al. 1991)



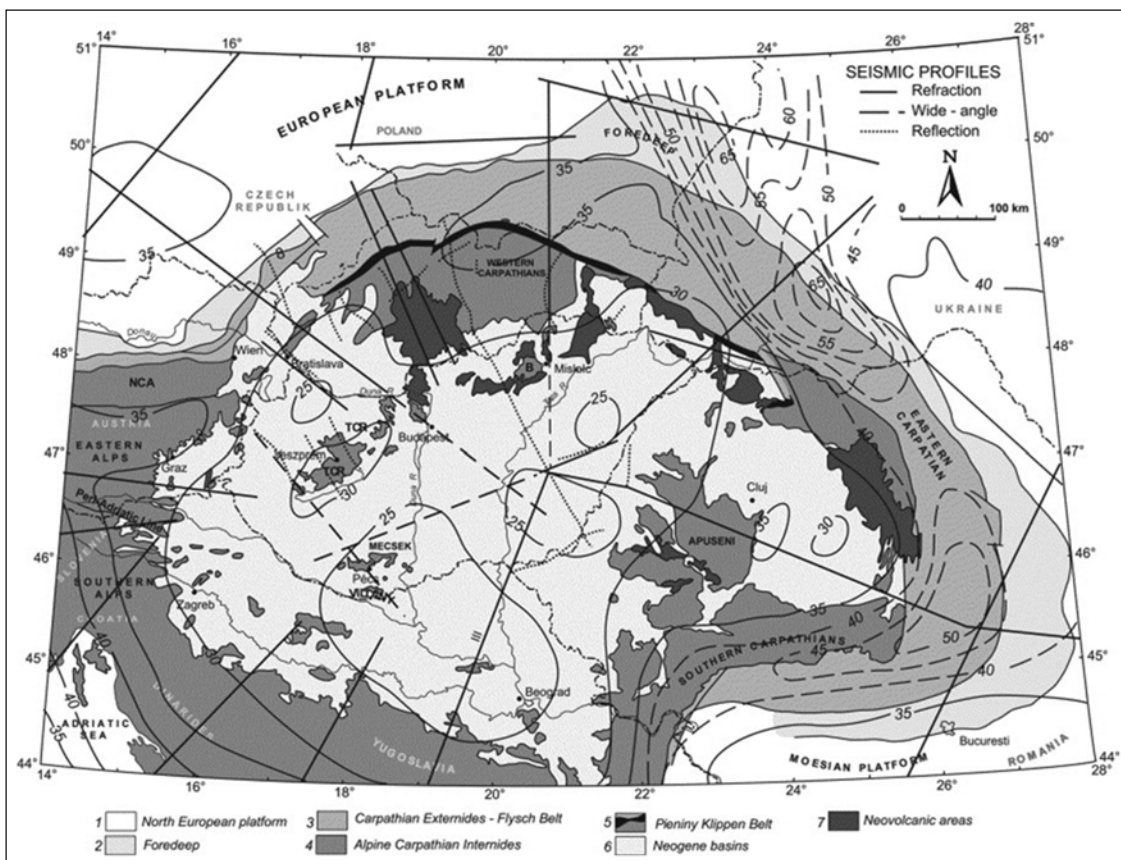
5. ábra | Kéregvastagság- (Moho-mélység-) térkép (Horváth 1993), izovonalköz: 2,5 km
Figure 5 | Crustal thickness map of the Pannonian Basin and surrounding territories (Horváth 1993)



6. ábra | Magyarország Moho-mélységtérképe Eperjesi Béla (1996) alapján
Figure 6 | Moho depth of Hungary based on Béla Eperjesi (1996)



7. ábra | Moho-mélység- (kéregvastagság-) térkép (Lenkey 1999), izovonalköz: 2,5 km
 Figure 7 | Moho depth (crust thickness) map (Lenkey 1999)



8. ábra | Moho-mélység- (kéregvastagság-) térkép (Bielik et al. 2004), izovonalköz: 5 km
 Figure 8 | Moho depth (crust thickness) map (Bielik et al. 2004)

a következő Moho-térképet (1996) Magyarország területére, amelyet a későbbiekben ismertetünk.

Lenkey László (1999) doktori dolgozatában szintén szövegközi ábraként megtaláljuk a Horváth-féle térkép módosított változatát 2,5 km-es izovonalazással. A térkép szerkesztésekor néhány újabb mélyreflexiós szelvény eredményét is felhasználták (7. ábra). Az ábrán fel lettek tüntetve a térkép elkészítéséhez felhasznált szeizmikus szelvények nyomvonalai is.

Bielik Miroslav és munkatársai (2004) tették közzé a több forrás geotermikus, gravitációs és szeizmikus adatok feldolgozásával korrigált Moho-mélységtérképüket (Bielik et al. 2004), amelynek izovonalazása 5 km-es, így a finom részletek nem rajzolódnak ki (8. ábra). A mérési nyomvonalak egy része elcsúszott, lásd pl. KESZ-1, vagy PGT-4 szelvényeket, amelyek hibásan, Magyarországon kívül esnek.

Horváth Ferenc és munkatársai készítették el a következő, interneten is hozzáférhető kéregvastagság-térképet, amelynek ismertetése az OTKA zárójelentésen túl, a *Magyar Geofizikában* is megjelent (Horváth et al. 2006). A kísérő információk alapján több változtatás is történt a mélységadatokban, de a térkép 5 km-es izovonalazása (színezése) miatt ez nem azonosítható (9. ábra).

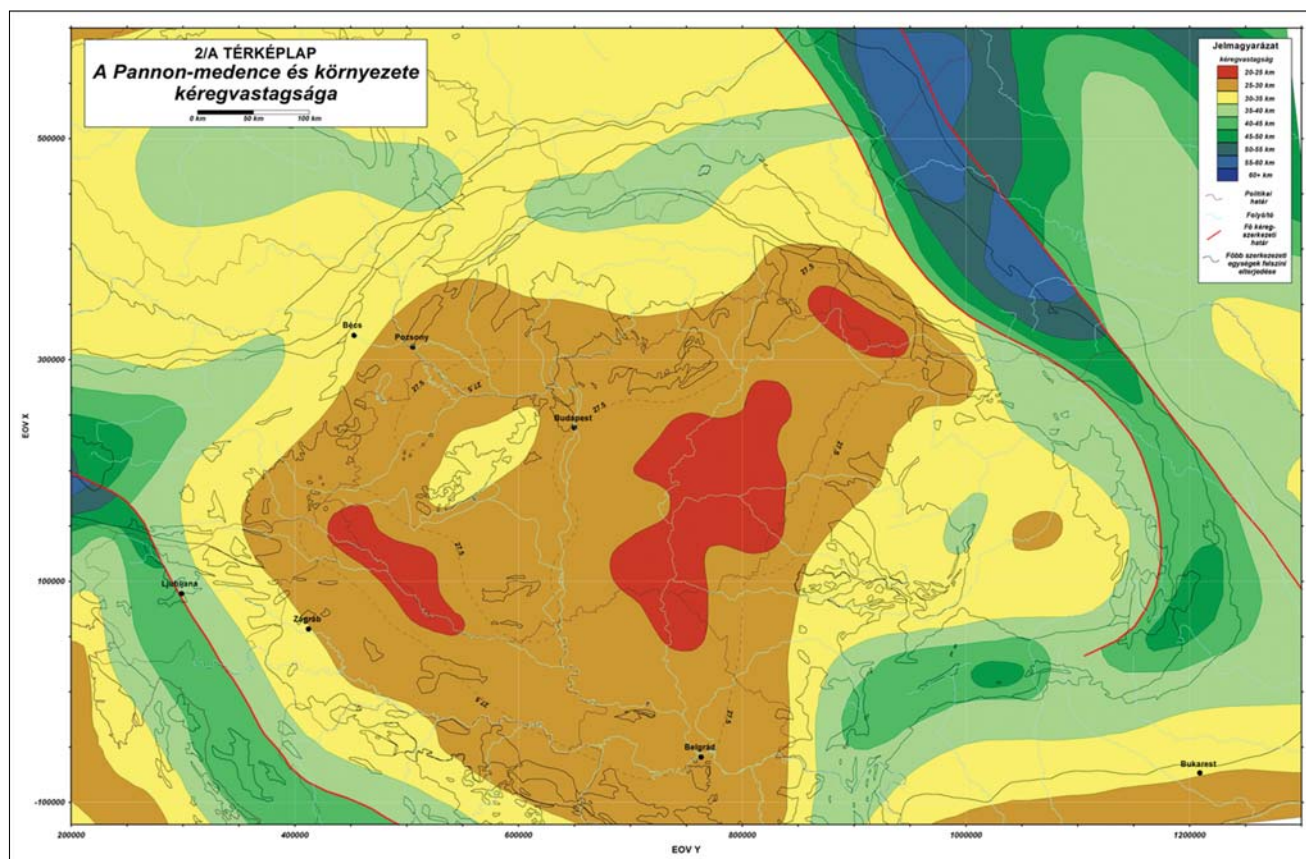
Azóta az országot teljesen lefedő Moho-mélységtérkép szeizmikus adatokból nem készült, noha a litoszférakutató programoknak köszönhetően történtek nemzetközi összefogásban végzett szeizmikus tomográfias mérések az or-

szág területén a XXI. században (CELEBRATION, ALP, VRANCEA, PANCAKE projektek).

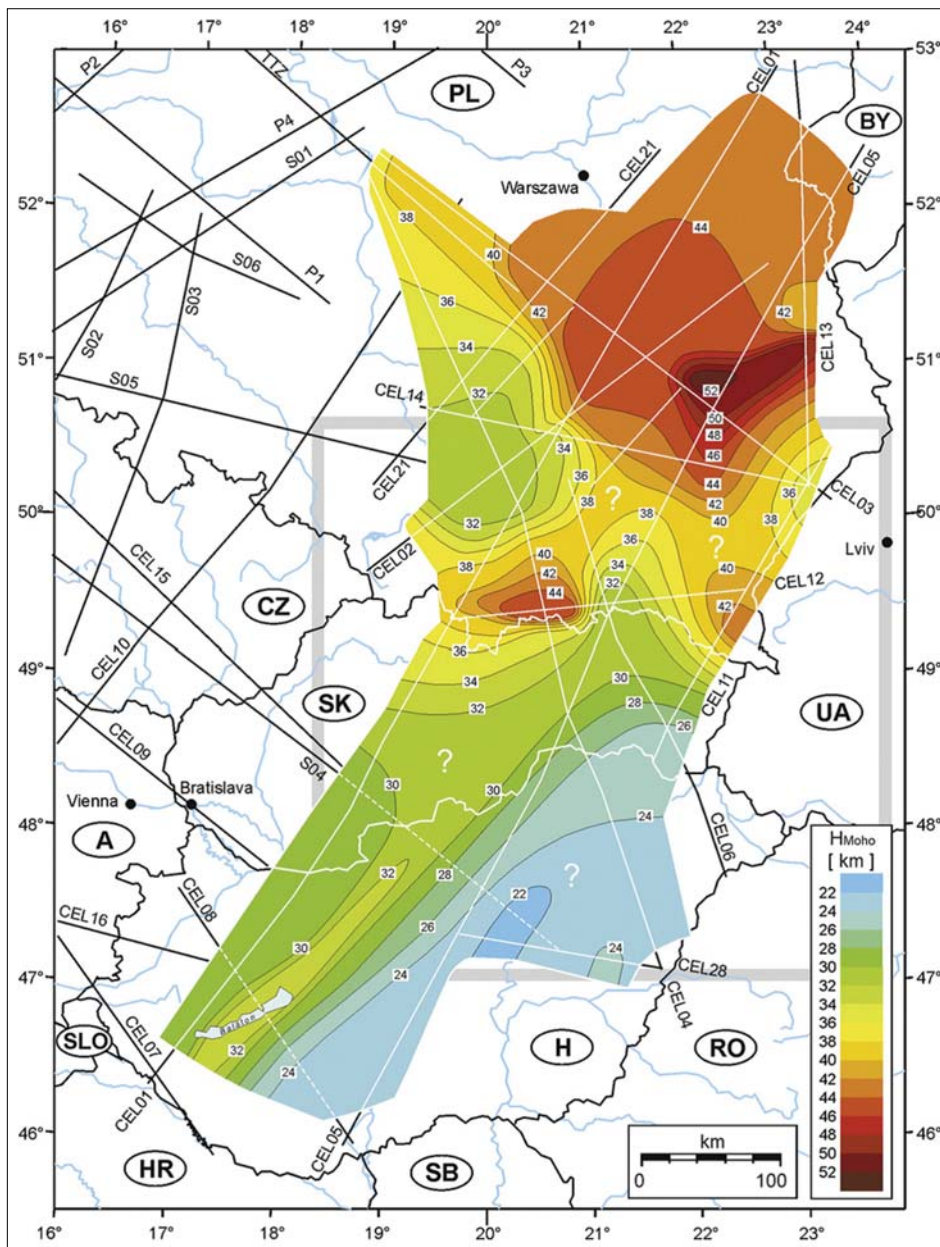
A litoszférakutató refrakciós tomográfias szeizmikus szelvények a földkéreg felépítését és szerkezetét kutatták, és egyedi szelvények mentén történtek Moho-meghatározások (pl. Grad et al. 2006, Posgay et al. 2007, Kiss 2009a, 2009b, Janik et al. 2011, Szalay et al. 2011). A Moho-szint kijelölésekor többnyire a Conrad- és Moho-szintekre meghatározott átlagos sebességeket vették figyelembe (1. táblázat). Az átlagos kéregmodell sebességparaméterei alapján a földkéreg felépítését kapjuk vissza a szelvényeken. Bár meg kell említeni, hogy ezeken a sebességszelvényeken sem a Conrad-, sem a Moho-szint nem jelentkezik éles sebességugrással, amit az alkalmazott feldolgozás, a Zelt–Smith-féle inverziós eljárás tovább tompíthat (Zelt, Smith 1992, Zelt 1993).

A CELEBRATION szelvények adatai alapján a Janik és társai által 2011-ben közzétett Moho-térkép Magyarország területét csak hiányosan fedi le (10. ábra). Ez valószínűleg annak köszönhető, hogy Magyarország az elsőbeérkezéssel refrakciós tomográfias méréseknek a D-i, DK-i peremét jelentette, így nem volt elégséges az ország felmértése.

Az alkalmazott újfajta sebességinverzió és a módszertani tapasztalatok hiánya miatt a litoszférakutató mérési anyag magyarországi teljes, egységes feldolgozása és az új anyag összedolgozása a korábbi eredményekkel – úgy tűnik – még várat magára.



9. ábra | A Pannon-medence és környezete kéregvastagsága (Horváth et al. 2006), izovonalköz: 5 km
Figure 9 | Crustal thickness of the surroundings of Pannonian Basin (Horváth et al. 2006)



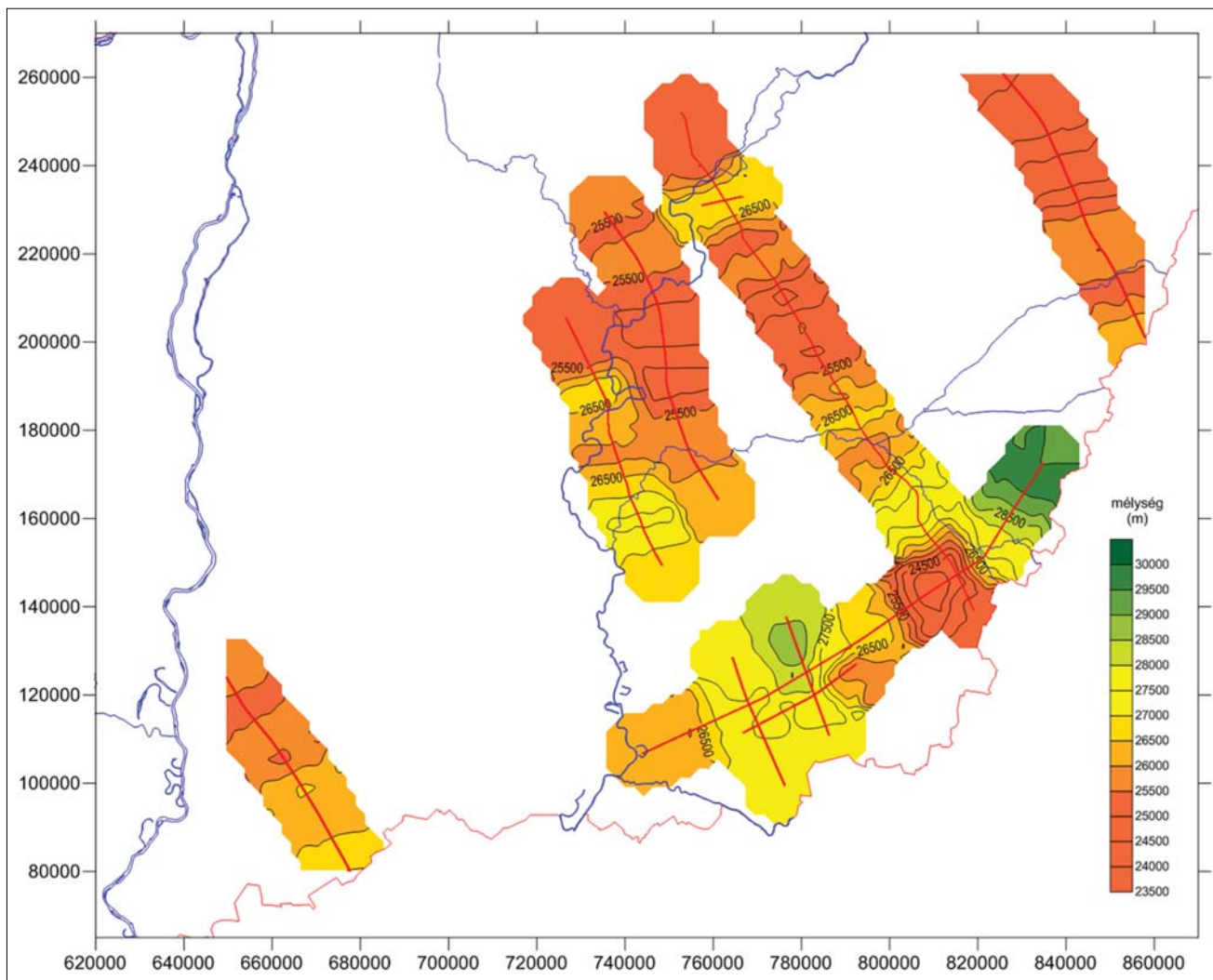
10. ábra A CELEBRATION-2000 mérési hálózata és a mérésekből készített Moho-mélységtérkép (Janik et al. 2011)
 Figure 10 Moho depth map of the study area based on the CELEBRATION-2000 data (Janik et al. 2011)

A legújabb Moho-adatokat Gúthy Tibor tette közzé *Magyar Geofizika* lapjain között cikkében (Gúthy 2014), bár ezek a feldolgozások csak az ország DK-i részét érintették. A tanulmányban a szeizmikus feldolgozás lépésről lépésre ismertetésre került néhány illusztrációval. A Moho-mélységek megjelenítésén (11. ábra) látszik, hogy a szelvények nyomvonala mentén a szeizmikus mintavételezés sűrűsége és a szeizmikus szelvények távolsága egymáshoz képest nagyon aránytalan: kevés a felhasználható szeizmikus szelvény, és azok többsége azonos irányú (aszimmetrikus a mintavételezés), amin csak további mérésekkel lehetne javítani. Így az csak nagy ráctávolságú Moho-mélységtérkép megszerkesztését teszi lehetővé (a ráctávolság kiválasztásánál a legrosszabbul mintavételezett irányok a mérvéadóak).

Nemzetközi kitekintés

A nemzetközi szakirodalom alapján orosz és holland kutatók (Koulakov et al. 2009) szeizmikus tomográfiával foglalkozó publikációjában tették közzé az EuCRUST-07 (Tesauro et al. 2008) referencia-kéregmodell Moho-mélységtérképét (12. ábra). A térkép a Pannon-medence területére 25–30 km-es Moho-mélységet prognosztizál a 40–60 km mély környezetben.

Szintén 2009-ben publikálták Grad és munkatársai (Grad et al. 2009) az egész Európát lefedő digitális Moho-mélységtérképüket (13. ábra), amelyet különböző, elsősorban szeizmikus mérési adatokból nyertek. Ezt a térképet vizsgálták, illetve egészítették ki a teleszeizmikus válaszfüggvényekre alapozott feldolgozási eredményekkel (14. ábra),



11. ábra Magyarország DK-i részének Moho-mélységtérképe, alapszelvények menti interpolálás 10 km-es környezetre
Figure 11 The depth of the Mohorovičić discontinuity over SW-Hungary, interpolation along the base profiles with blanking distance 10 km

amelyek 2012-ben jelentek meg a *Journal of Seismology* folyóiratban (Grad, Tiira 2012). A térképek felbontása a nagy terület és a viszonylag kevés adat miatt nem túl jó, így igazából csak a környezetünk helyzete, semmint a magyarországi adatai miatt érdekesek ezek a térképek.

Sajnos ezeknél a térképeknél is igaz az, hogy a korábbi publikációk eredményeit (pl. különböző országok Moho-térképeit) sokszor egy az egyben átvették, nem vizsgálva a valós mérési adatok sűrűségét és elhelyezkedését. Ebből adódóan a mintavételi távolság, az interpolálási rács-távolság és a kifizési távolságok is fölöttébb elnagyoltan vannak kezelve, már amennyire egy eredménytérképről – a forrásadatok hiányában – ezt meg lehet állapítani.

Kéregvastagság a gravitációs adatok alapján

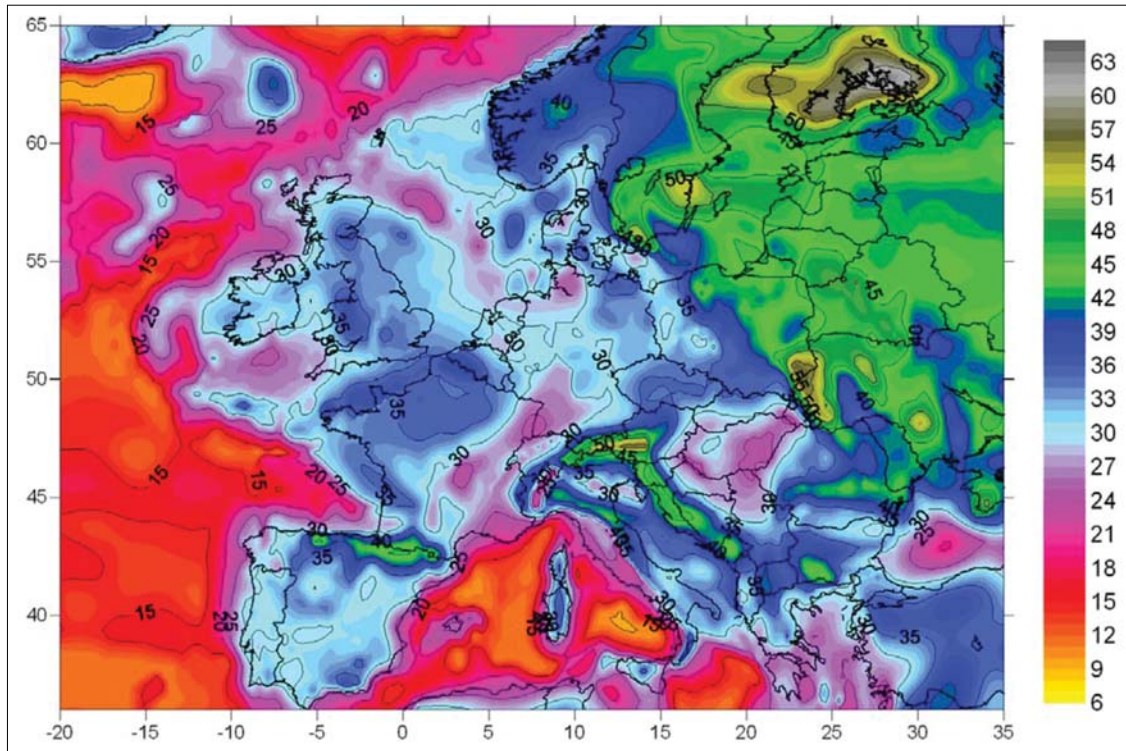
A gravitáció gyakorlati alkalmazása azt mutatja, hogy a Bouguer-anomália kiszámításakor alkalmazott korrekciók (szélességi, magasság-, Bouguer-lemez- és topokorrekció) a mélybeli változásokat nem érintik, noha a korrekciókat azért végezzük el, hogy lehetőleg csak a felső kérget alkotó

földtani képződmények sűrűségéből származó változásokat kapjuk meg. A gyakorlatban azonban a kéreg felső részének rendellenességei mellett a Moho szintjének és sűrűségének változása is benne van a Bouguer-anomáliaértékekben (ld. izosztatikusan minimumok az orogén zónákban). Elvileg az izosztatikusan korrekcióval ezektől a mély hatásoktól is meg lehet szabadulni, de ehhez a Moho-felszín pontos ismeretére lenne szükség – adott esetben azonban éppen erre lennének kíváncsiak.

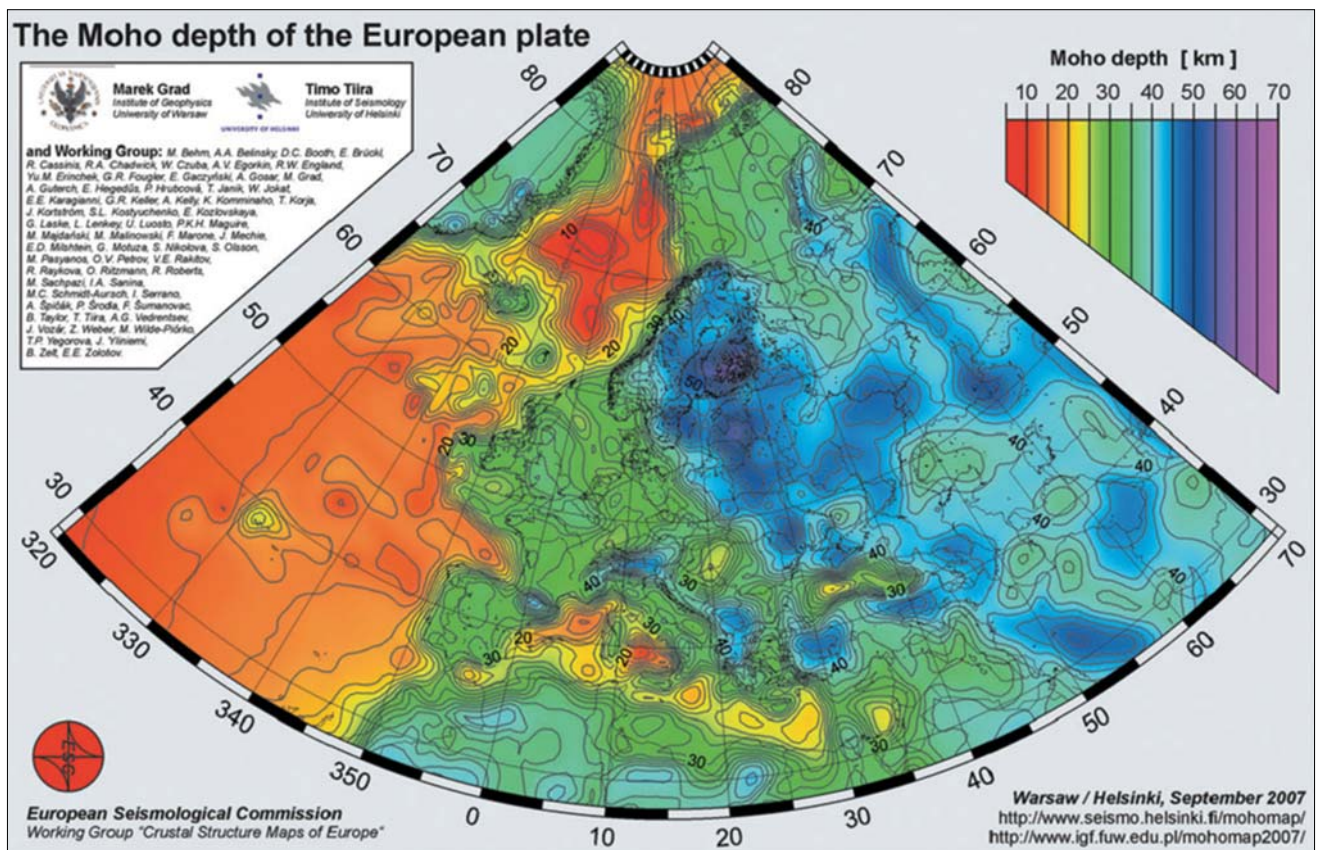
A Kárpát-medencében köpenydiapír okozta hatások miatt a kéreg kivékonyodott, s így a geotermikus kályha (köpenylitoszféra, ill. asztenoszféra) közelebb van a felszínhez, ami érezhető gravitációs mélyhatás formájában, és nagy geotermikus gradiensben nyilvánul meg.

Gravitációs előzmények

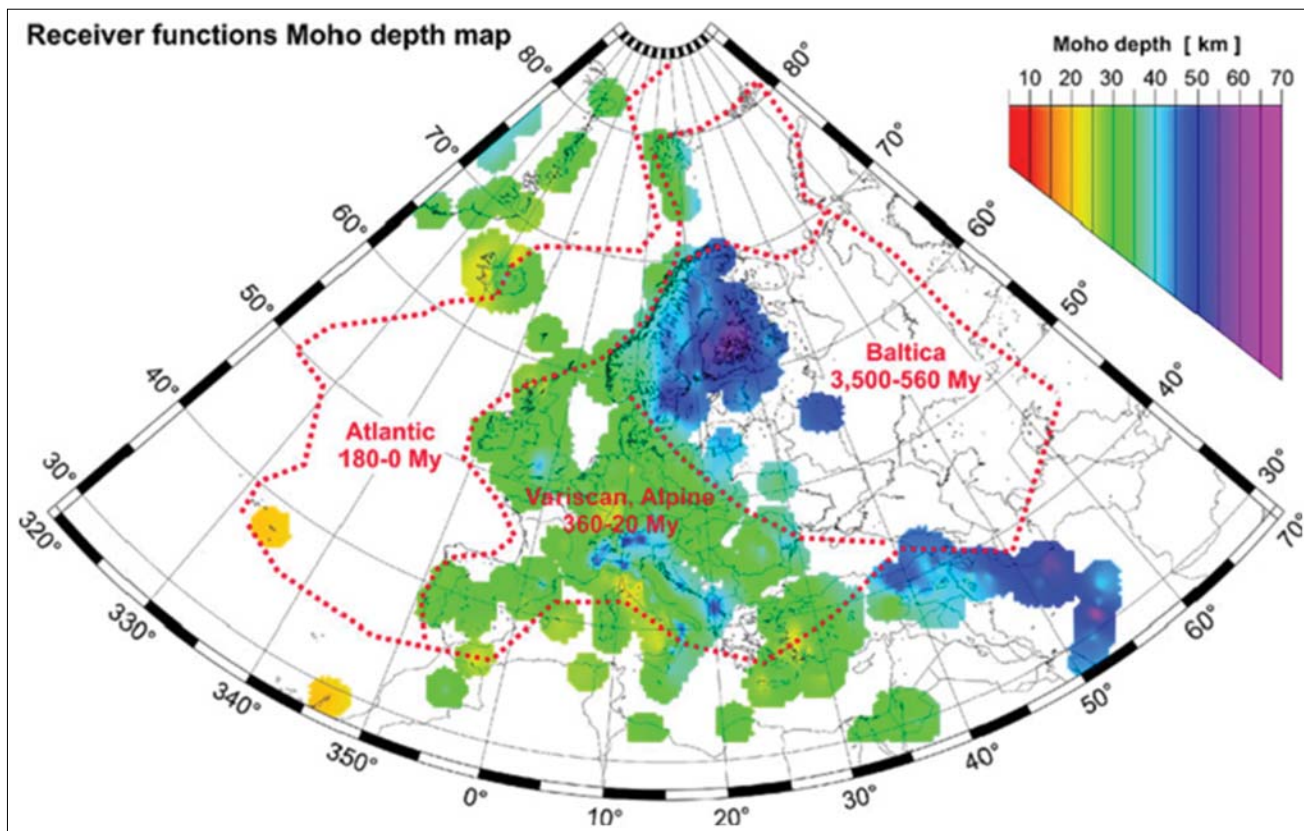
Balkay Bálint (1960) a mélyfúrési adatokból ismert üledék-vastagságok és a Bouguer-anomália összevetése során felismeri, hogy „a fiatal üledékek által okozott rendellenességre



12. ábra | A Moho-szint mélysége az EuCRUST-07 alapján (Tesauro et al. 2008, Koulakov et al. 2009)
 Figure 12 | Moho depth according to the reference crustal model EuCRUST-07 (Tesauro et al. 2008, Koulakov et al. 2009)



13. ábra | Az európai lemez Moho-mélységtérképe (Grad et al. 2009)
 Figure 13 | Moho depth map of European plate (Grad et al. 2009)



14. ábra | Moho-mélységek az európai lemezen a teleseizmikus válaszfüggvények alapján (Grad, Tiira 2012)
Figure 14 | Moho depth map of European plate based on teleseismic receiver functions (Grad, Tiira 2012)

valami más okra visszavezethető nehézségi rendellenesség rakódik rá”, amelyet többlet-rendellenességnek^o nevez el. A fiatal üledékek által okozott nehézségi hatást a Bouguer-korrektció alapján megbecsülte, majd a Bouguer-anomália és a fiatal üledékek gravitációs hatása közötti eltérést – a többlet-rendellenességet – számszerűen is meghatározta. Balkay Ny-Magyarországon egy kisebb részterületre végezte el számításait, és a többlet-rendellenesség térképi adataiból kéregvastagságot is számolt (Balkay 1960). Megállapította, hogy ahol a többlet-rendellenesség érték pozitív, ott a kéreg vékony, ahol negatív, ott a kéreg vastag.

Balkay módszertani eljárása alapján Pintér Anna és társai (Pintér et al. 1964) elkészítették Magyarország egész területére az úgynevezett gravitációs „többlet-rendellenesség”-térképet (15. ábra), amelyből a kéregvastagságra, azaz a Moho relatív helyzetére lehetett következtetni. Az eredmények annyira meglepték a szerzőket, hogy nehezen tudták azokat elfogadni, pedig merész következtetések napjaink vizsgálatai alapján igaznak bizonyultak. Ezek a megfontolások a következők. „Mély medencealjzat alatt a kéreg mindenütt vékony, sekély aljzat alatt pedig, vastag; azaz lokális izosztikus egyensúly áll fenn minden egyes medencealjzat-rögre. A többletrendellenesség-maximumok, azaz a mély medencealjzat és a nagy Bouguer-anomália koincidiációját teljes egészében az emelt köpenyfelső okozza.

Nem könnyű azonban belátni, hogy a kéreg vastagsága, ilyen kis területen (mint a magyar medence) lényegesen – és izosztikus okok következtében – lokálisan is, nagyobb

mértékben változhat.” – írják. Mindezeket 1964-ben fogalmazták meg! Fantasztikus felismerés, főleg azért, mert tágabb környezetünk Bouguer-anomáliatérképe, amelyen az izosztikus hatások ordítanak, akkor még nem állt rendelkezésre. A megállapításokból ma csak a „minden egyes medencealjzat-rögre igaz” kijelentést finomítanánk, mivel a gyors geodinamikai mozgásokat, azok hatását még nem ismerhették (észlelhették), s ezért nem is vehették figyelembe, pedig az felülírhatja az izosztikus hatásokat, tehát ma inkább csak a „magyar medence területén általában igaz” kifejezést használnánk.

Szénás György (1964) szerint „Magyarországon az eredeti földkéreg vastagabb volt, mint a jelenlegi, amely aztán alulról pusztulással vékonyodott (pl. köpenyáramlás miatt). Ezzel magyarázható, hogy a Conrad-felület mélysége nagyobb a világtáznál, miközben a kéreg vékonyabb. Ezt a vékonyodást a rendszer izosztikus süllyedéssel egyenlítette ki, amihez a húzófeszültségek egyidejű fellépése is nyilván hozzájárult.”

Meskó Attila készítette el 1984-ben a medencehatástól mentes vagy redukált gravitációsanomália-térképet (16. ábra). Magyarországon ez volt az első próbálkozás a medencealjzat feletti térrész háromdimenziós sűrűségmodelljének kialakítására és alkalmazására. A szerző véleménye szerint „a térkép, döntően az 5 km-es mélység alatt elhelyezkedő gravitációs hatók terét tartalmazza”.

Mivel 2-3 km mélység alatt – a sűrűségkontraszt jelentős lecsökkenése miatt – a medencealjzat már nem fog

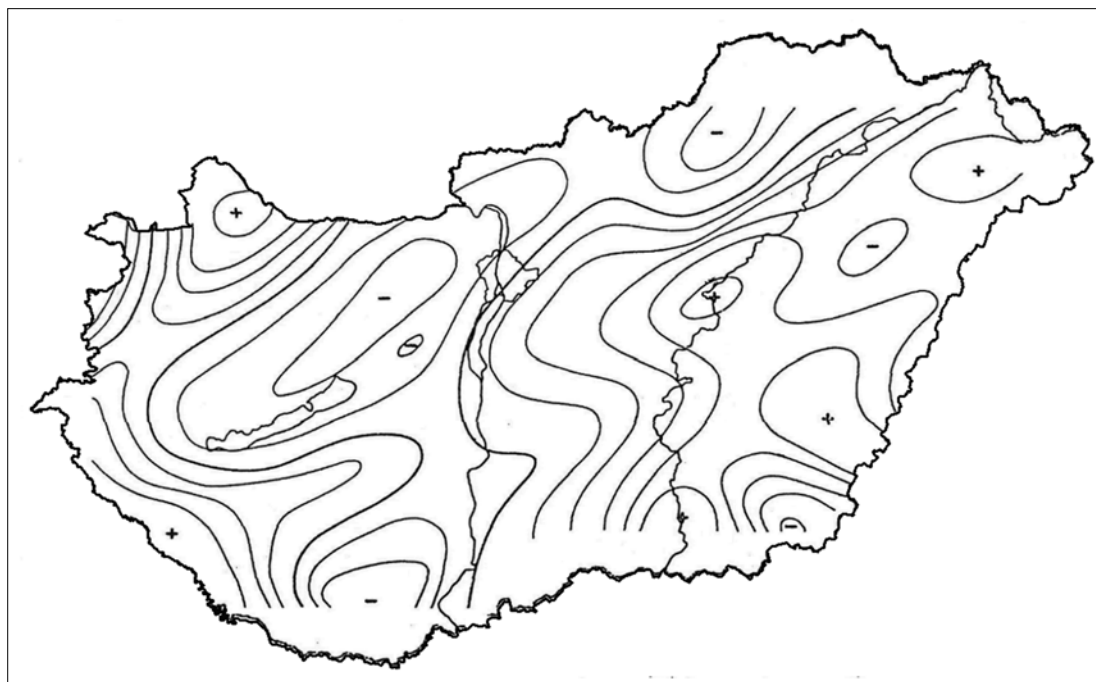


15. ábra | Magyarország gravitációs „többlet-rendellenesség”-térképe (Pintér et al. 1964)
Figure 15 | Map of gravity redundancies (Pintér et al. 1964)

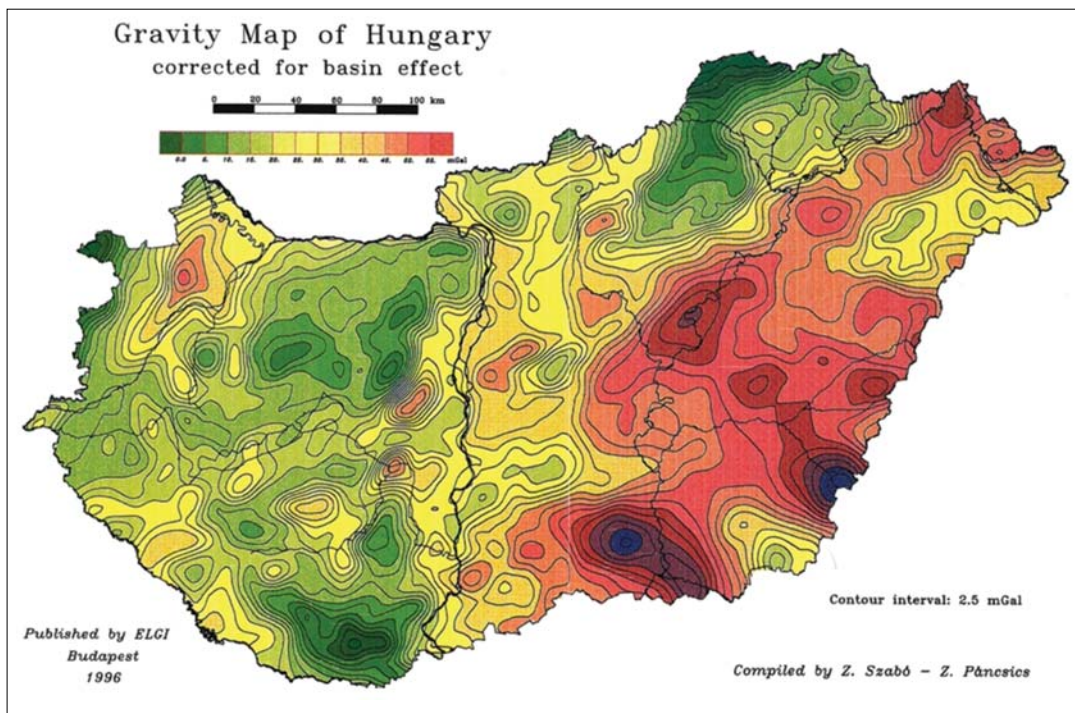
kontrasztos gravitációs hatóként jelentkezni, így a következő sűrűségvezérszint hatása határozza meg a redukált anomáliatérképet, ami vagy a Conrad, vagy a Moho szintje lehet, esetleg a kéreg inhomogenitásai. Ezek után egyáltalán nem meglepő, hogy a Meskó-féle redukált térkép a Moho lefutásának megfelelő rajzolatot mutat.

Az üledékes medencemodell kialakításának következő állomása a Szabó Zoltán és Páncsics Zoltán (1996) által

elkészített medencemodell és az üledékhatással javított („stripped”) gravitációtérkép (17. ábra), ahol a medence-üledékek gravitációs hatását meghatározva számolták ki a kéreg és mélyebb hatások Bouguer-anomáliatérképét. A kapott térkép kétféle hatásból származott: egyrészt a Moho szintjének hullámzásából, másrészt a kéreg- és köpenylitoszféra inhomogenitásából. A kéreg inhomogenitásáról nem nagyon voltak információk, a köpenyről még elkép-



16. ábra | Redukált gravitációsanomália-térkép (Meskó 1984), izovonalköz: 10 mGal
Figure 16 | Map of reduced gravity anomalies (Meskó 1984)

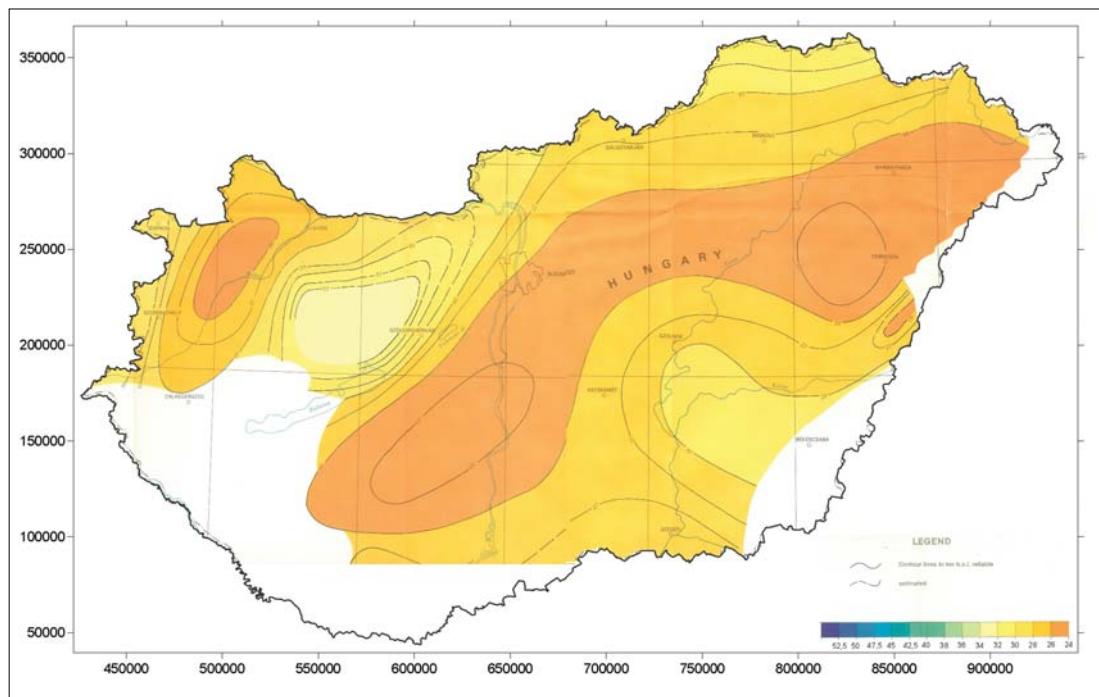


17. ábra | A medenceüledék hatásától mentes gravitációsanómália-térkép (Szabó, Páncsics 1996)
 Figure 17 | Stripped gravity anomaly map of Hungary (Szabó, Páncsics 1996)

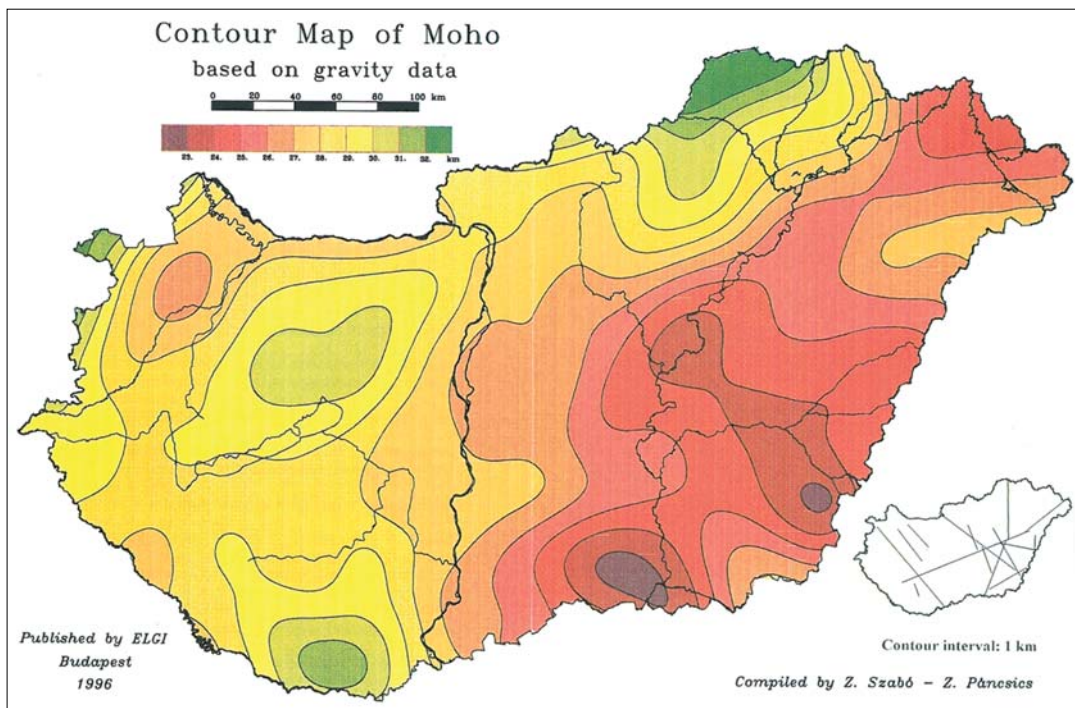
zelések se nagyon, de regionális szelvények mentén a Moho mélysége már akkor is több helyen ismert volt. A szerzők felismerték, hogy a szeizmikus Moho-mélységek és a kapott térkép között korreláció van, s ezt használták fel a gravitációs mérési adatokon alapuló, első gravitációs Moho-mélységtérkép elkészítéséhez.

Gravitációs Moho-mélység korrelációs alapon (Szabó, Páncsics 1996)

A Posgay-féle Moho-mélységadatok (18. ábra, Posgay 1991) felhasználásával 1996-ban elkészült a korrelációs összefüggéseken és lineáris regresszió alapuló gravitációs



18. ábra | Moho-mélységtérkép Magyarország területén (Posgay et al. 1991)
 Figure 18 | Contour map of Moho discontinuity beneath Hungary (Posgay et al. 1991)



19. ábra | Moho-mélységtérkép, a medencehatástól mentes Bouguer-anomália- és a litoszférakutató szeizmikus szelvények (jobb alsó sarok) Moho-mélységadatainak korrelációja alapján (Szabó, Páncsics 1996)

Figure 19 | Map of Moho discontinuity based on the correlation of seismic Moho data and the stripped gravity anomaly map (Szabó, Páncsics 1996)

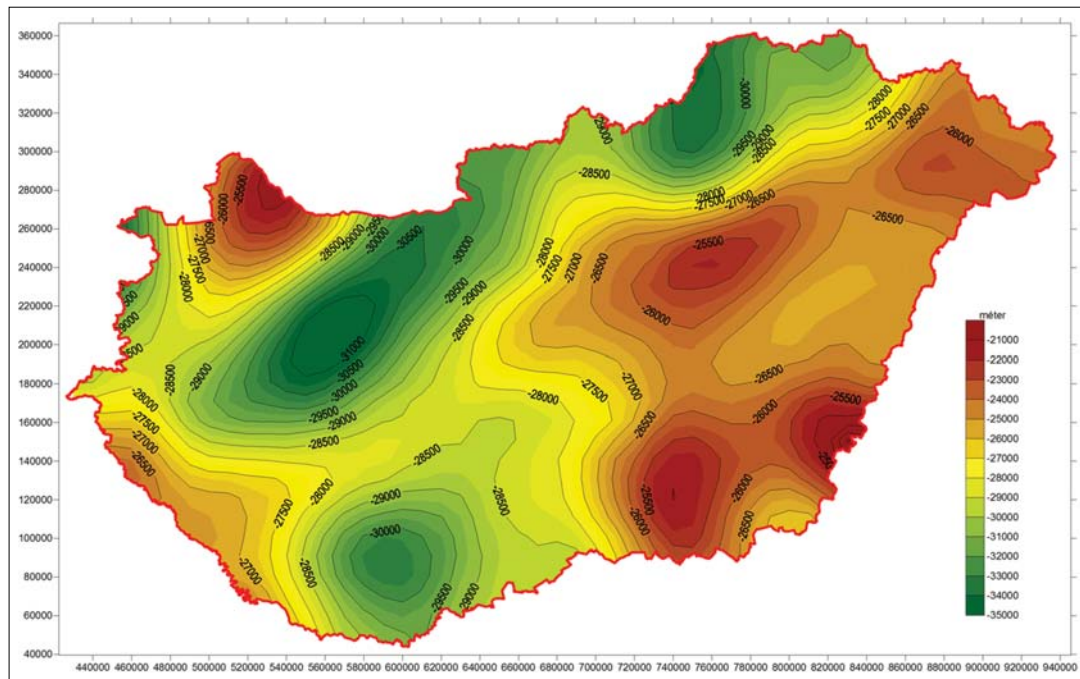
Moho-mélységtérkép (Szabó, Páncsics 1996). A vizsgálatok során a meglévő litoszférakutató szeizmikus alapszelvényeket és a medencehatással korrigált Bouguer-anomáliatérképet használták fel. Az eredményeket a 19. ábra mutatja. Ebben az esetben is az volt az elképzelés, hogy amennyiben a medencehatástól megszabadulunk, onnantól kezdve a Bouguer-anomáliatérképet a Moho hullámzása határozza meg.

Gravitációs Moho-mélység az izosztázia alapján (Kiss 2009c, 2010)

A klasszikus, Airy–Heiskanen izosztatikus elmélet szerint az izosztatikus egyensúly akkor jön létre, ha a domborzati kiemelkedésekkel hatásukban azonos gyökérszónák alakul-



20. ábra | Az úszó jéghegy geometriája^{d)}
Figure 20 | Geometry of swimming iceberg



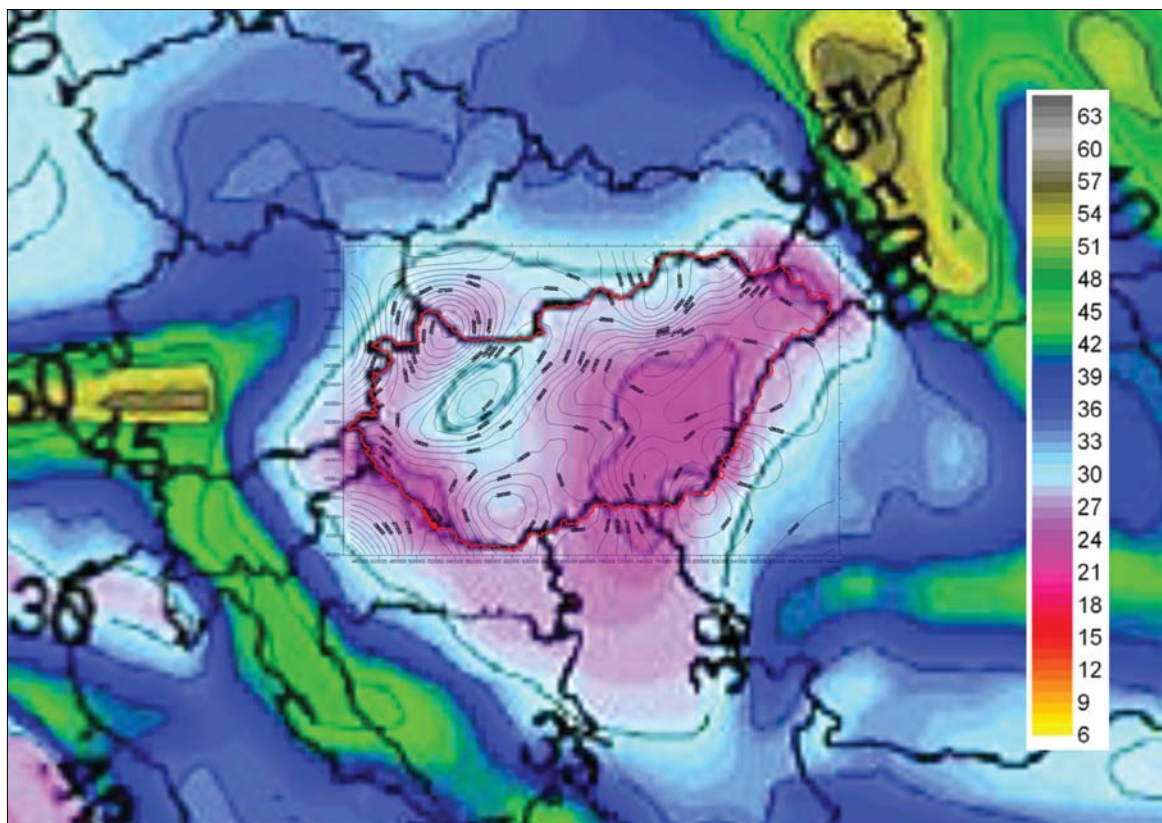
21. ábra | Airy–Heiskanen izosztikus modelljéből származtatott Moho-felszín (10 km-es rács, Kiss 2014)
Figure 21 | Moho surface based on Airy–Heiskanen isostatic model (grid distance 10 km, Kiss 2014)

nak ki a Moho szintjén ugyanúgy, mint az úszó jéghegyek esetében (20. ábra).

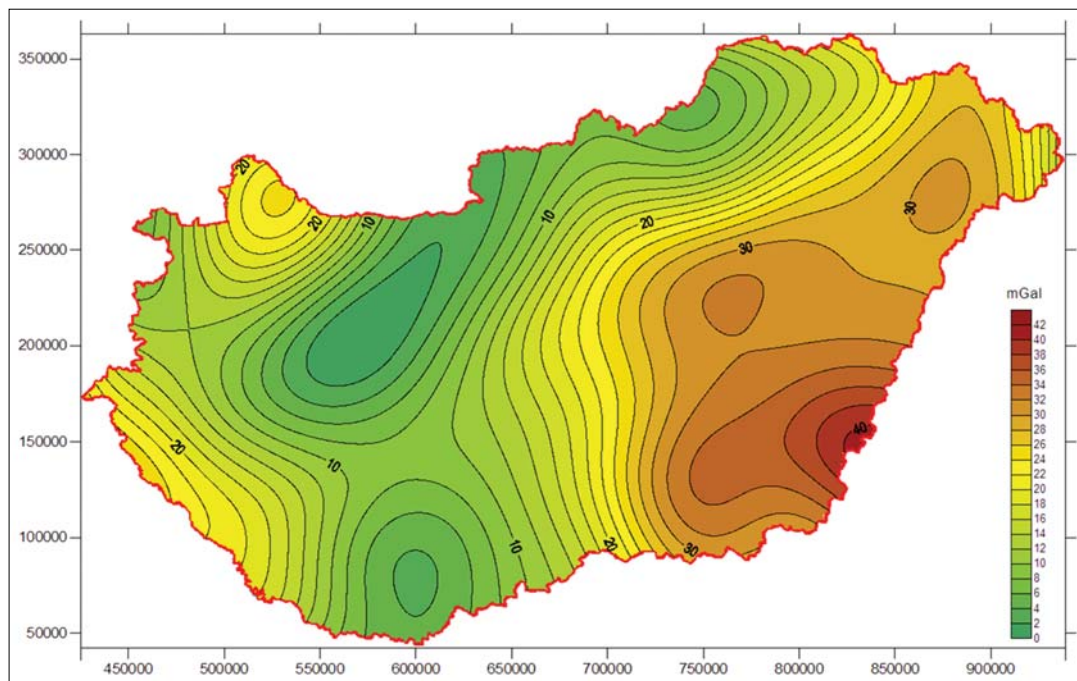
Ezt az elvet felhasználva a domborzat, illetve a medencealjzat-mélység alapján (statikus egyensúlyi helyzetet felté-

telezve) a Moho-szint mélysége, hullámzása meghatározható.

Az izosztikus egyensúly miatt kialakuló gyökérszónákat (a hegyek alatt) és köpenykiemelkedéseket (a mély



22. ábra | Az EuCRUST-07 kéregreferencia-modell⁹⁾ és az izosztikus Moho-szintjeinek összevetése
Figure 22 | Comparison of EuCrust-07 and isostatic Moho depths



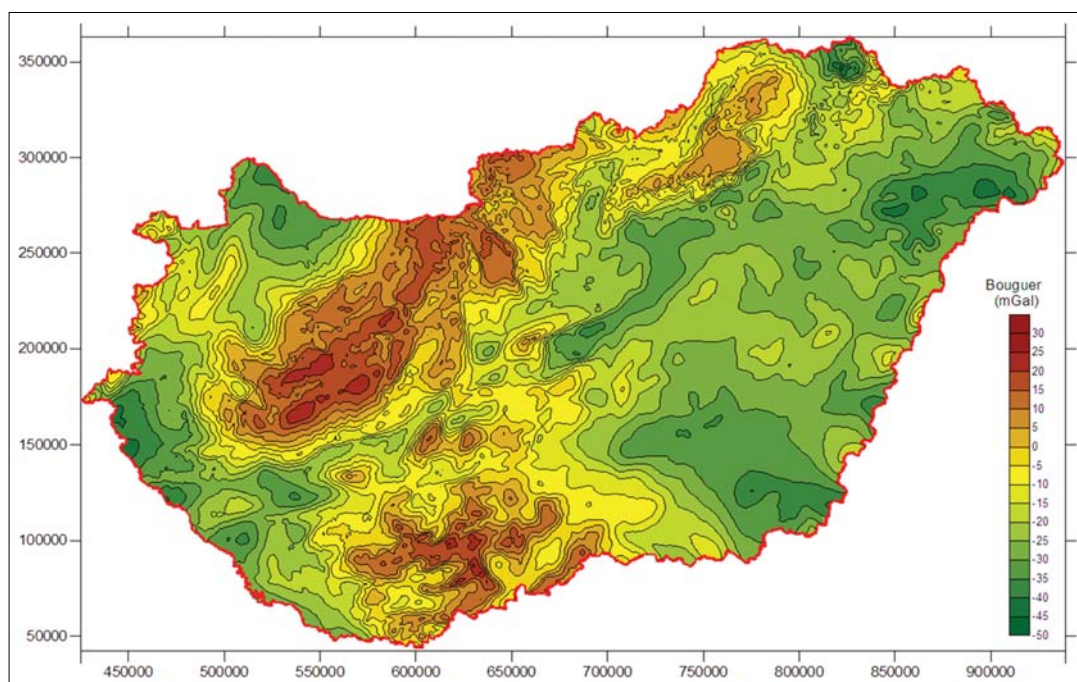
23. ábra | Az iszotikus alapon meghatározott Moho-felszín (21. ábra) relatív gravitációs hatása
Figure 23 | Relative gravity effect of the isostatic Moho surface (gravity direct modelling)

medencék alatt) ismertették a *Magyar Geofizikában*, egy-egy tanulmányban (Kiss 2009c, 2010). Ezekben a cikkekben közvetett úton a Moho felszínének várható helyzetét is megadtuk.

Az iszotikus hatások kiszámításához szükség volt a Moho-felszín meghatározására (ld. Függelék), hogy annak gravitációs hatását is kiszámolhassuk. A számítások során átlagos kéreg- és köpenysűrűséggel számoltunk (nincsenek pontos adataink ezekről), ami hiba lehetőségét hordozta

magában. Ezt utólag korigálni kellett, széthúзва a kapott Moho-mélységtérképet a szeizmikus mérési adatok alapján meghatározott minimális és maximális Moho-mélységeknek megfelelően. Ez a szeizmikus adatok alapján korigált térképváltozat is elkészült, a magyarországi Bouguer-anomáliatérkép spektrálanalízisééről készült cikkben tettük közzé (Kiss 2014).

Az iszotikus megfontolásokból kapott felület 10×10 km-es rácshálózatban áll rendelkezésre (21. ábra), mely



24. ábra | A Moho okozta iszotikus hatástól mentes Bouguer-anomáliatérkép (2670 kg/m³)
Figure 24 | Bouguer anomaly map after isostatic correction

legalább egy nagyságrenddel sűrűbb adatrendszer, mint amelyet a viszonylag kevés, Moho-mélységig értelmezhető szeizmikus szelvény mérési adatából kaphatnánk. A rács elvileg még ennél is sűrűbb lehetne, hiszen a felszíni domborzatból és medencealjzat-mélységadatokból készül, amelyek ennél sűrűbben is rendelkezésre állnak (~1 km-es rácsok). A 20–30 km-es átlagos Moho-mélység miatt – jelenlegi tudásunk alapján – a nagyobb felbontásnak feltételezhetően nincs értelme.

A gravitációs adatokból kétféle úton, a korreláció alapján és az izosztázia alapján meghatározott mélységtérképek eltérése értékben és lefutásban is elenyésző (22–33 km vs. 24–32 km), noha teljesen más módon készültek. Ez azt is jelezheti, hogy az értékek a Moho valódi lefutását adhatják.

Az EuCRUST-07 referenciamodell szerinti mélységeket – amely ránézésre Horváth et al. (2006) geodinamika atlaszának Moho-mélységét tükrözi – összehasonlítva az izosztatikus hatásokból származtatott gravitációs Moho-fel-színnel meglepően jó korreláció tapasztalható. Fő tendenciáiban a két térkép Magyarország területére teljesen hasonló, és csak a léptékből adódó felbontásbeli különbség, valamint az országhatár menti adathiányból adódó eltérés látszik a két térkép összevetésekor (22. ábra). Az igazán meglepő valójában az, hogy a két térkép elvileg teljesen más adatból és teljesen más fizikai megfontolásból született, s így a hasonlóság jellemezheti a térképi tartalom hitelességét, azaz a Moho-szint lefutását.

Az összehasonlítást érdemes elvégezni olyan korábbi munkákkal is, amelyek a pontos Moho-fel-szint nem adták ugyan meg, de közvetve a mélybeli hatókat, kéregvastagságot, ill. a kéreganomáliákat vizsgálták, adott esetben a gravitáció alapján (ld. Pintér et al. 1964 vagy Meskó 1984).

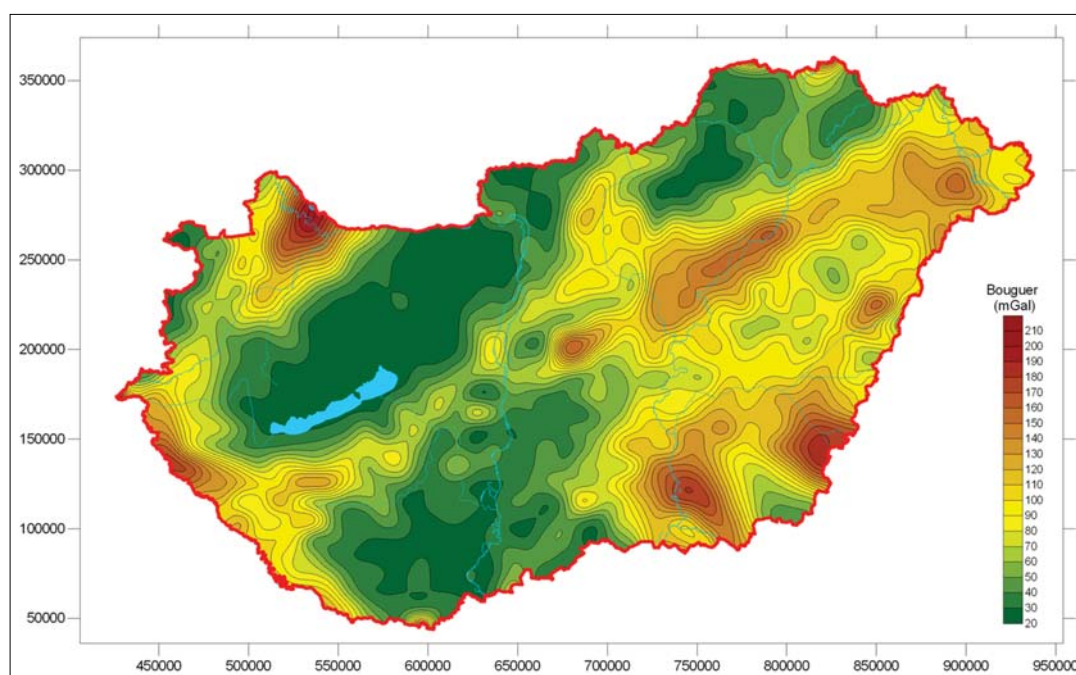
A kapott Moho-mélységtérképnek a gravitációs hatása háromdimenziós modellezéssel, a Parker-féle (1973) algoritmus segítségével meghatározható (23. ábra). A modellezés során a legnagyobb mélységet (32 km) vettük alapszintnek, és csak az e feletti hullámzás relatív gravitációs hatását számítottuk ki, 300 kg/m³ sűrűségdöbbletet feltételezve.

Az eredeti Bouguer-anomáliatérképet korrigálva a Moho-fel-szín okozta gravitációs hatással, megkapjuk a Moho-hatástól mentes gravitációsanomália-térképet (24. ábra).

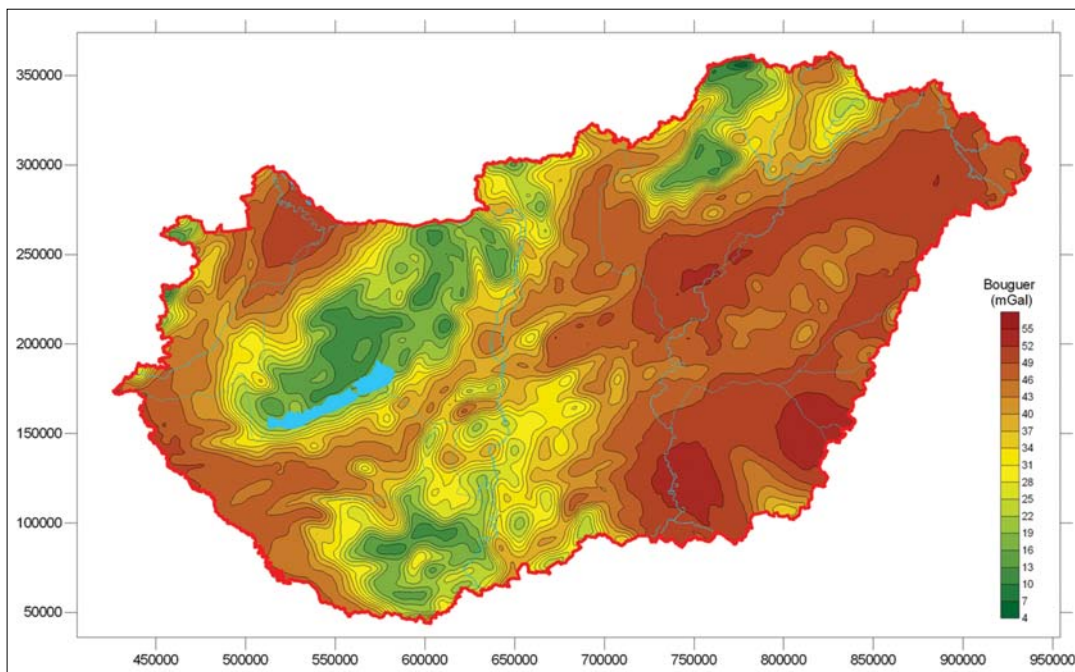
A Kilényi–Šefara-féle (1991) medencealjzat-mélységekhez az üledékek átlagsűrűségét is megadhatjuk a Mészáros–Zilahi-Sebess (2001) mélységi trend felhasználásával, amelyet a „Mély medencék izosztatikus hatása” c. tanulmány (Kiss 2010) képletei és számításai alapján már ismerhetünk (ld. Függelék). Ennek a pontról pontra változó mélységű és a mélységtől függő átlagsűrűségű üledékes rétegnek a gravitációs 3D direkt modellezése is elvégezhető, s az eredményül kapott gravitációsanomália-térkép csak az üledékes medence abszolút gravitációs hatását ($G_{\text{üledék}}$) mutatja (25. ábra).

Ez a hatás ($G_{\text{üledék}}$) és a medencealjzatot alkotó képződmények gravitációs hatása együttesen határozzák meg a Bouguer-anomália menetét (természetesen csak akkor, ha a Moho mélybeli hatását eltávolítottuk). Elvileg, ha a teljes gravitációs hatásból levonjuk az üledékek hatását, megkapjuk a medencealjzat által okozott gravitációs hatásokat.

A helyzet azonban mégsem ilyen egyszerű, mivel a Bouguer-anomália egy relatív mennyiség, a kiszámolt üledékhatás viszont abszolút mennyiség, ami abból is látszik, hogy ennek a „vékony” üledékes rétegnek a gravitációs hatása az eredeti Bouguer-anomáliatérkép értéktartományát 3-4 szeresen felülmúlja. (Megemlítendő, hogy az értékek



25. ábra | Az ismert üledékes medencék abszolút gravitációs hatása
Figure 25 | Absolute gravity effect of sedimentary basin (gravity direct modelling)



26. ábra | Az üledékes medence által okozott relatív gravitációs hiány ($\Delta_{\text{eltérés}}$)
Figure 26 | Relative gravity defect ($\Delta_{\text{eltérés}}$) caused by the sedimentary basin

lefutása a Moho lefutásához hasonló felületet mutat, ami azt jelenti, hogy minél nagyobb az üledék gravitációs hatása, annál vékonyabb lesz a kéreg az izosztázia miatt).

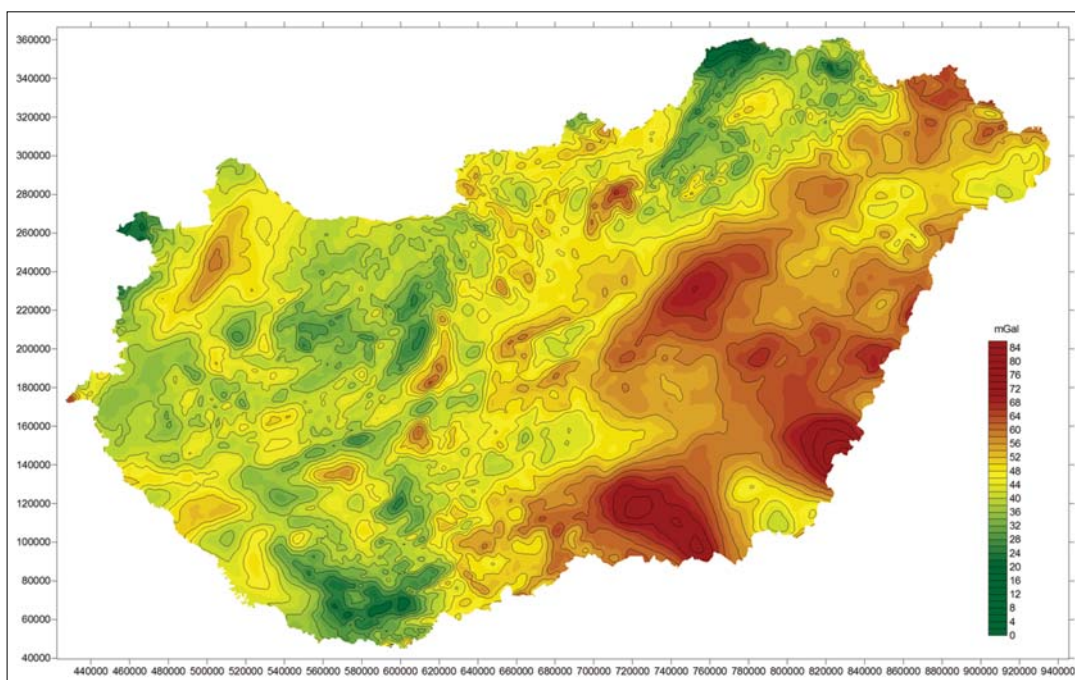
Ki kell számolnunk az üledékes medence gravitációs hatását 2670 kg/m^3 -es sűrűsége (G_{2670}), és a kétféle számított abszolút gravitációs hatás (üledék-átlagsűrűségű és kéreg-sűrűségű) különbsége megadja, hogy mekkora eltérés származik abból, hogy az üledékes medence sűrűsége kisebb, mint a kéreg átlagos, 2670 kg/m^3 sűrűsége, azaz mennyivel

kell módosítani a Bouguer-anómáliaértéket, hogy tisztán a medencealjzat gravitációs hatását kapjuk meg.

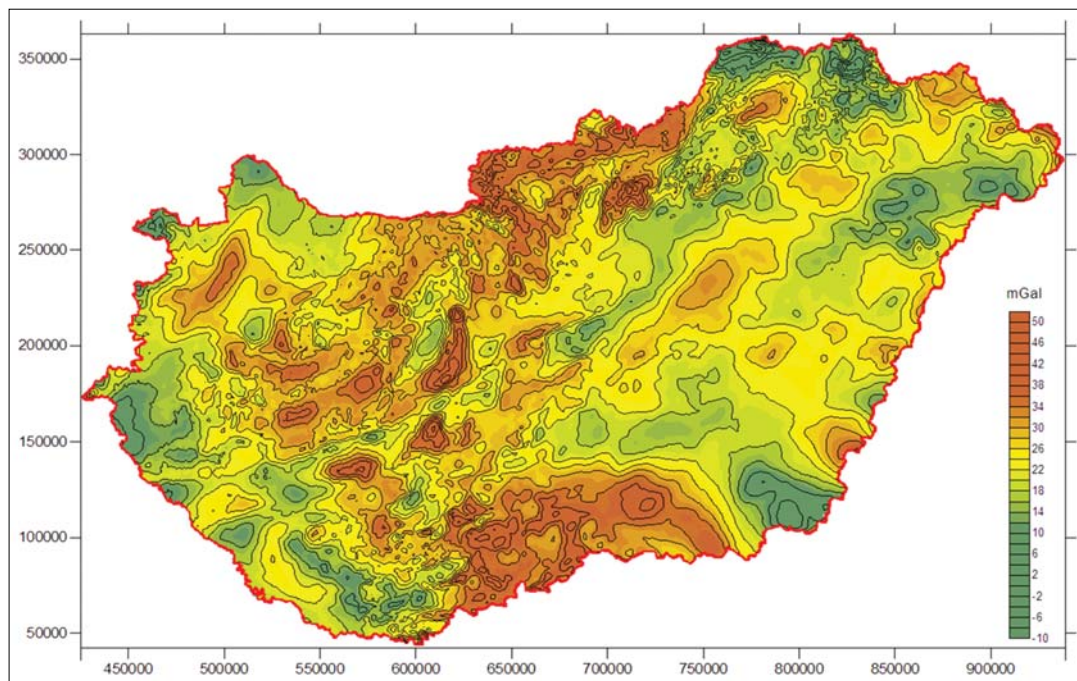
Az alkalmazott számítás tehát a következő:

$$\Delta_{\text{eltérés}} = |G_{2670} - G_{\text{üledék}}|.$$

A kapott különbség értéktartománya már a Bouguer-anómália értéktartományának megfelelő, azonos nagyságrendű változásokat mutat (26. ábra).



27. ábra | A medenceüledék hatásától mentes gravitációsanómália-térkép (2011)
Figure 27 | Stripped gravity anomaly map (2011)

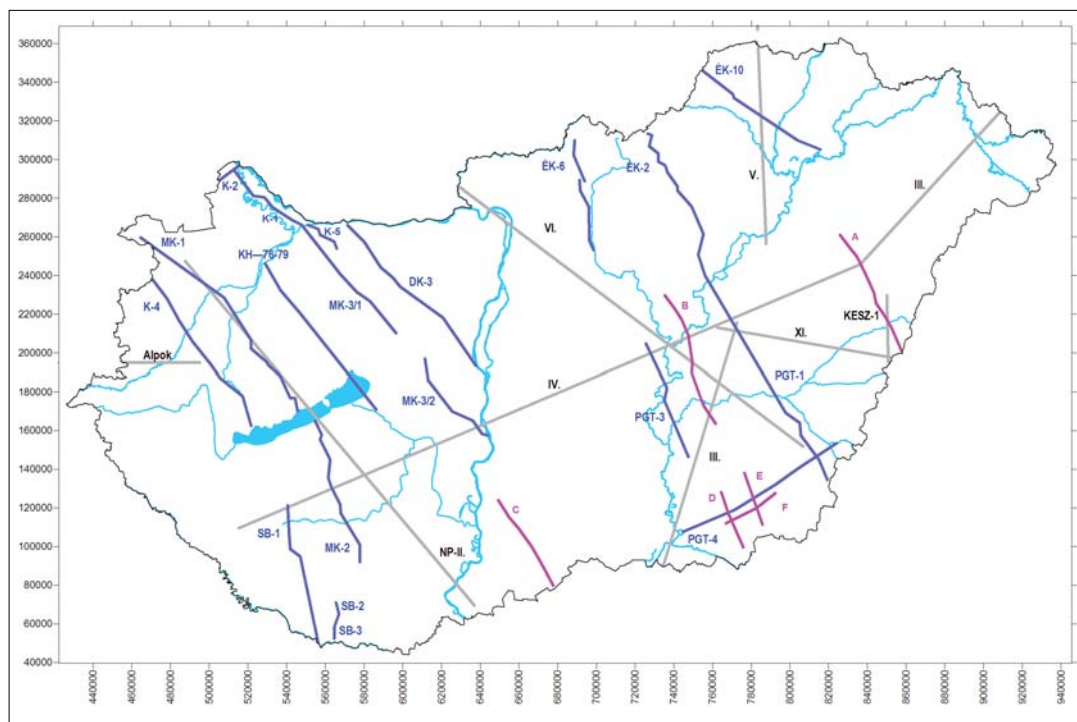


28. ábra | A kéreg sűrűséginhomogenitását visszatükröző anomáliatérkép
Figure 28 | Gravity anomaly map of crustal inhomogeneities

Ha ezt az eltérést hozzáadjuk a Bouguer-anomáliatérképhez, akkor megkapjuk a medencehatástól mentes, gravitációsanómália-térképet (27. ábra), amelyben a Moho hatása benne van. Ha az izosztatikusan korrigált (Moho-szintjének ingadozásától mentes) Bouguer-anomáliatérképhez adjuk

hozzá, akkor a kapott Bouguer-értékek csak a kéreg laterális sűrűségeloszlását fogják visszatükrözni (28. ábra).

Tulajdonképpen virtuálisan feltöltöttük az üledékes medencét úgy, hogy az mindenhol a kéreg átlagos sűrűségének megfelelő, 2670 kg/m³ sűrűségű legyen. Ebben az esetben,



29. ábra | A Moho kimutatására felhasználható, magyarországi mélyseizmikus mérési hálózat (szürke vonal: Posgay et al. 1991, kék vonal: Eperjesi 1996, püspöklila vonal: Gúthy 2014)
Figure 29 | The Hungarian deep seismic measurement network useable for detecting the Moho interface (gray line: Posgay et al. 1991, blue line: Eperjesi 1996, magenta line: Gúthy 2014)

ha a Moho hullámzásának gravitációs hatását sikerült az izosztatik korrekcióval pontosan kiszűrni, és feltételezve, hogy nincsenek észlelhető köpenyinhomogenitások, akkor a változások csak a medencealjzat felszíne alatti földtani közeg, azaz a kéreg inhomogenitásával lesznek összefüggésben.

Az üledékhatástól mentes gravitációs térkép (17. és 27. ábra) és a kéreg sűrűséginhomogenitását visszatükröző anomáliatérkép (28. ábra) közötti relatív különbséget tulajdonképpen a Moho felszínének hullámzásából származó nehézségi rendellenességek adják. Ebből adódóan a Moho-felület minél pontosabb ismerete a kéreg sűrűséginhomogenitásának meghatározását is befolyásolja.

Összegzés

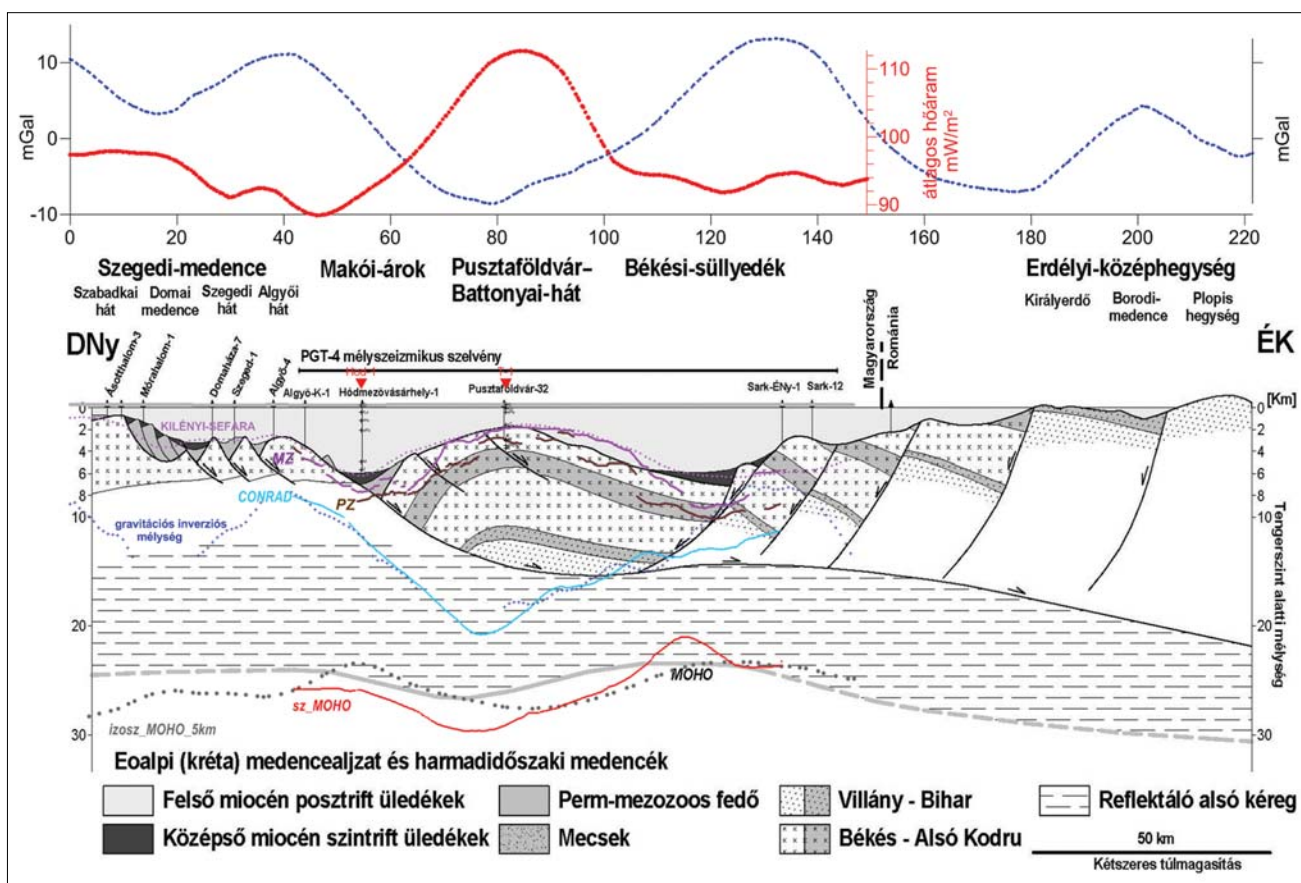
Tanulmányunkban a magyarországi Moho-határfelülettel kapcsolatos közvetett információkat foglaltuk össze. Noha vannak különféle ismereteink a Mohoról, azok megbízhatósága adatsűrűsége (módszerenként) változó és különböző hibákkal és közelítésekkel terheltek.

A korábban publikált anyagok (elsősorban térképek) forrásadatai sok esetben ismeretlenek, így azok összedolgozása, pontosítása nehézségekbe ütközik. Az ismert szeizmikus mélységadatok csak ritka, szabálytalan hálóban állnak rendelkezésre (29. ábra), szelvényirányban nagyon sűrű, szelvényekre merőleges irányba nagyon ritka adatokkal.

A sűrű gravitációs mérési adatok segíthetnének, de a gravitációs mélységinverzió eredménye az ekvivalencia és a Moho feletti inhomogenitások zavaró hatása miatt nagyon bizonytalan, és azok kiszűréséhez sem rendelkezünk elegendő háttérinformációval.

Az izosztázia alapján számított Moho-felület egy statikus egyensúlyi állapot feltételezéséből született eredmény, amelyből a gyors geodinamikai változások hatása értelemszerűen hiányzik, ami az alpi orogén zónában elég nagy problémának tűnik. Úgy is mondhatnánk, hogy az izosztázia alapján meghatározott üledék- kontra kéregvastagság törvényszerűségek – amelyeket regionálisan felismertünk – lokális szinten nem mindig igazak.

Geotermikus szempontból is megvizsgálva azt mondhatjuk, hogy medenceméretben általában igaz az, hogy a vékonyabb kéreghez nagyobb hőáram társul, mert közelebb a



30. ábra A neogén szerkezetek csapásirányára merőleges, regionális földtani szelvényvázlat (Tari et al. 1999) a Pannon-medence DK-i részén, a PGT–4 mélyszeizmikus szelvény nyomvonalán, kiegészítve a szeizmikus értelmezett szintekkel (Posgay et al. 1996), feltüntetve a Bouguer-anomáliagörbét (felül) és a gravitációs mélységinverzió eredményét (alul), amely a szeizmikus Conrad- (reflektáló alsókéreg) és/vagy Moho-felület menetével hozható összefüggésbe. Az átlagos hőáramgörbe maximumot jelez a Battonyai-hát felett

Figure 30 Geological sketch, perpendicular to the strike direction of the neogene structures (Tari et al. 1999), along the PGT-4 seismic section (above) at the SW part of Pannonian Basin, with the Bouguer-anomaly curve and the result of gravity depth inversion, which has good correlation with the Conrad and/or Moho level

köpeny, azonban ha kisebb részmedencéket nézünk, akkor ez nem mindig látszik teljesülni. Például a Battonyai-hát felett nagyobb hőáramok mérhetőek, mint a mellette levő árkok felett (30. ábra), ahol a kéreg elvileg vékony. Ez arra utal, hogy az árkok keletkezése nem a medencekeletkezés kicsinyített változata. A magas hőáram lokális eredetű is lehet, például a gránitokhoz kapcsolódó radioaktív elemek bomlásából származhat. A Battonyai-hát felett a hőszigetelő, laza törmelék üledéktakaró jóval kisebb vastagságú, ami szintén megmagyarázhatja a hát felett tapasztalható hőáram-maximumot.

A Pannon-medence mélységtérképét összevetve a gravitációs anomália-térképpel látszik, hogy a Bouguer-anomália lefutását nemcsak a medencemélység, hanem a kéreg mélybeli felépítése (a Conrad- és Moho-szintek mélysége) határozza meg. A gravitációs maximum – pl. a D-Alföldön – nem a Hódmezővásárhely–Makói-árkok legmélyebb részével esik egybe, hanem attól eltolódva jelentkezik (30. ábra).

A medencealjzat mélysége itt is a Battonyai-hát mélységtartományában van, tehát a maximumért valószínűleg itt sem a kiemelt medencealjzat a felelős. Ez arra utal, hogy az a köpenyfelboltozódás, amely elsődlegesen az árkokkal lehetett kapcsolatban, időközben eltolódott. Ez úgy lehetséges, hogy miközben a köpeny felső részében egy Ny–K irányú áramlás történik, egyfajta mechanikai szétcsatolás jöhet létre a képlékenyebb alsó kéreg és a merevebb, felső kéreg között. Az oldalirányú mozgás közben az alsó kéreg vékonyodik, de a felső, mivel merevebb, ezért szakadozik, törlik, torlódik, létrehozva a Battonyai-hátat határoló mély árkokat.

Ha a Moho-felület és a pre-pannon aljzat egymással teljesen szinkronban lennének, akkor a Battonyai-hátnak ellengyökere kellene, hogy legyen az árkokhoz képest. A szeizmikus értelmezések ezt az ellengyökert ki is mutatják, de ha ez igaz, akkor a vastag kéreg miatt a háton kisebb hőáramot és kisebb geotermikus gradienst kellene tapasztalnunk, mint az árkok területén. Ez azt jelenti, hogy az árkok keletkezése riftesedéssel, azaz kéregnyúlás okozta kivékonyodással jött létre, de a kéregnyúlást nemcsak a köpenydiapír okozta, hanem egy mély áramlás is. Ha a riftesedést csak az árkok alatt felemelkedő köpenydiapír okozná, akkor helyben maradna, és nem kerülne az árkokkal párhuzamos kiemelkedés széle alá. Ha a Tisza egység merev lemezként viselkedne, a feltételezett mély áramlás hatására nem tudna kivékonyodni.

A magyarországi kéreg vastagsága vizsgálataink alapján 24–32 km között változik a környező hegyvonulatok alatt tapasztalható 50–60 km-es vastagságokhoz képest. Egyes szeizmikus és elektromos mérés alapján ez utóbbi mélységtartomány a Pannon-medencében már az asztenoszféra szintjének felel meg. A kéreg kivékonyodása (extenzió) a köpeny felemelkedésének és áramlásának következtében kialakuló, kéreg alatti litoszféraerózióknak és az alsó kéreg részleges olvadásának, valamint a bazaltok eklogittá alakulásának lehet a következménye.

A Moho szintjének megismerésére is igaz, hogy léptékfüggő. Vannak regionális törvényszerűségek, de a lokális litológiai felépítés, geodinamikai folyamatok és a reológiai tulajdonságok változásai jelentősen módosíthatják egy adott területen a Moho lefutását, és mindez az eltelt idő függvényében változhat. Sokszor több Moho-szint is azonosítható, aminek lehetnek földtani okai (időben változó Moho-szintek), esetleg mérés-technikai okai.

A Moho pontosabb megismeréséhez, leképezéséhez tehát további, hálózatos litoszférautató mélyszeizmikus mérésekre lenne szükség (csökkentve a mintavételi anizotrópiát), illetve a meglévő mérési anyagok ellenőrzésére (a teljes mérés- és műszertechnikai adatok ismeretében).

Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti az MBFH-t a geotermikus módszertani kutatások támogatásáért, hiszen az összefoglalónk jelentős része ennek a témának köszönhetően állt össze. Köszönet jár az ELGI és az MFGI litoszférautató programjának és a kezdetektől a munkák szellemi vezetőjének számító Posgay Károlynak, mivel a szeizmikus forrásadatok jelenős része ettől a projektől származik. Nem feledkezhetünk meg az ELGI (MFGI) szeizmikus és gravitációs módszertani kutatások eredményeiről sem, amelyek megalapozták a nagymélységű Moho-kutatásokat, ebben Mituch Erzsébet, Bodoky Tamás, Hegedűs Endre, Szalay István, Takács Ernő, Szénás György, Pintér Anna, Szabó Zoltán, Kovácsvölgyi Sándor, Páncsics Zoltán, valamint a cikk szerzői vettek részt.

Köszönetünket fejezzük ki továbbá azoknak az intézetnek kívüli kollégáknak is, akik kutatásaikat, eredményeiket hozzáférhetően közzétették, publikálták, mint például Balkay Bálint, Stegena Lajos, Gálfi János, Meskó Attila, Horváth Ferenc, Tari Gábor, Szafián Péter és Lenkey László.

A tanulmány szerzői

Kiss János, Gúthy Tibor, Zilahi-Sebess László

Jegyzetek

- ^{a)} A Mohorovičić-diszkontinuitásfelület rövidítése.
- ^{b)} Balkay Bálint az 1960. évi cikkében kicsit módosította ezeknek a felületeknek a nevezékatanát, de mai szemmel az eredeti 1958-as nevezékatan a helytállóbb.
- ^{c)} Gravitációs hatások, amelyeket nem az üledékes medence inhomogenitásai és nem a medencealjzat hullámozása okoz.
- ^{d)} Az úszó jéghegy egyensúly állapotában a vízszint alatti és feletti térfogatot a jég (917 kg/m^3) és levegő ($1,3 \text{ kg/m}^3$), valamint a tengervíz (1027 kg/m^3) és a jég (917 kg/m^3) közötti sűrűségkontrasztok arányai határozzák meg.
- ^{e)} Az EuCRUST-07 modell esetén Magyarország területén csak a 25 és 30 km-es izovonal jelenik meg.

Hivatkozások

Airy G. B. (1855): On the compensation of the effect of the attraction of mountain measurements. Phil. Trans. London

- Balkay B. (1958): Crustal structure below Hungary. *Annales Universitatis Scientiarum Budapestiensis* 2, 3–13
- Balkay B. (1960): Magyarország földkéreg szerkezete. *Geofizikai Közlemények* IX/1–2, 5–21
- Beránek B., Weiss J., Hrdlicka A., Dudek A., Zounkova M., Suk M., Feifar M., Militzer H., Knothe H., Mituch E., Posgay K., Uchman J., Sollogub V. B., Chekunov A. V., Prosen D., Milovanović B., Roksandić (1972): The results of the measurements along the international profiles. In: *The crustal structure of Central and South-Eastern Europe based on the results of explosion seismology*. Ed. by: Szénás, Gy. (Eds. of the original Russian text: Sollogub V. B., Prosen D., Militzer, H.). *Geophys. Trans., Spec. Ed.*, 131–140
- Bielik M., Sefara J., Kovac M., Hók J., Vozár J., Zeyen H. (2004): Lithosphere in the Western Carpathians and its surrounding tectonic units – Geophysical study. *Acta Geod. Geoph. Hung.* 39/2–3, 139–159
- Carbonell R., Levander A., Kind R. (2013): The Mohorovičić discontinuity beneath the continental crust: An overview of seismic constraints. *Tectonophysics* 609, 353–376
- Christensen N. I., Mooney W. D. (1995): Seismic velocity and composition of the continental crust: a global view. *J. Geophys. Res.* 100, B7, 9761–9788
- Conrad V. (1925): Laufzeitkurven des Tauernbebens vom 28.11.1923. *Mitt. Erdb. Komm., Wien, Akad. Wiss., Neue Folge*, No. 59.
- Conrad V. (1928): Das Schwadorfer beben vom 8. Oktober 1927. *Gerlands Beiträge zur Geophysik* 20, 240–277
- Eperjesi B. (1996): A kéreg és köpeny határának vizsgálata a Pannon-medencében geofizikai adatok alapján. Szakdolgozat, Miskolci Egyetem
- Gálfi J., Stegena L. (1955): Nagymélységű reflexiók Hajdúszoboszló vidékén, *Geofizikai Közlemények* IV/2, 37–40
- Gálfi J., Stegena L. (1957): Tiefen Reflexionsversuche in Ungarn zum Studium der kontinentalen Aufbauung. *Geol. Rundschau* 46/1, 26–29
- Gálfi J., Stegena L. (1960): Deep reflections and crustal structure in the Hungarian Basin, *Ann. Univ. Sci. Bud. de R. Eötvös Nom. – Sectio Geol. – III*, 43–47
- Grad M., Tiira T., ESC Working Group (2009): The Moho depth map of the European Plate. *Geophys. J. Int.* 176, 279–292; doi: 10.1111/j.1365-246X.2008.03919.x
- Grad M., Tira T. (2012): Moho depth of the European Plate from teleseismic receiver functions. *Journal of Seismology* 16, 95–105; doi: 10.1007/s10950-011-9251-x
- Grad M., Guterch A., Keller G. R., Janik T., Hegedűs E., Vozár J., Slacyka A., Tira T., Yliniemi J. (2006): Lithospheric structure beneath trans-Carpathian transect from Precambrian platform to Pannonian Basin: CELEBRATION 2000 seismic profile CEL5. *J. Geophys. Res.* III, B03301; doi:10.1029/2005JB003647
- Gúthy T. (2014): Újabb adatok a Nagyalföld délkeleti részének kéregszerkezetéhez. *Magyar Geofizika* 55/4, 179–186
- Horváth F. (1993): Towards a mechanical model for the Pannonian Basin. In: Cloething S., Sassi W., Horváth F. (eds.): *The origin of sedimentary basins: inferences from quantitative modelling and basin analysis*. *Tectonophysics* 226, 333–358
- Horváth F., Bada G., Windhoffer G., Csontos L., Dombrádi E., Dövényi P., Fodor L., Grenery Gy., Síkhegyi F., Szafián P., Székely B., Timár G., Tóth L., Tóth T. (2006): A Pannon-medence jelenkori geodinamikájának atlasza: Euro-konform térképsorozatok és magyarázó. *Magyar Geofizika* 47/4, 133–137
- Janik T., Grad M., Guterch A., Vozarc J., Bielik M., Vozarova E., Hegedűs E., Kovács Cs. A., Kovács I., Kellerg G. R., CELEBRATION 2000 Working Group (2011): Crustal structure of the Western Carpathians and Pannonian Basin: Seismic models from CELEBRATION 2000 data and geological implications. *Journal of Geodynamics* 52, 97–113
- Jeffreys H. (1929): *The Earth: Its Origin, History and Physical Constitution*. Cambridge University Press, England, 346 p.
- Kaban M. K. (2001): A kéreg és a köpeny gravitációs modellje. „A Föld tudománya” 3/2; Orosz Tudományos Akadémia Földtudományi Intézet [Кабан М. К. (2001): Гравитационная модель коры и верхней мантии Северной Евразии, Российский журнал науки о Земле, Том 3, No. 2, Институт физики Земли Российской Академии Наук]
- Kilényi É., Šefara J. (1991): Pre-tertiary basement contour map of Carpathian Basin beneath Austria, Czechoslovakia and Hungary. *Geophysical Transactions* 36/1–2, 15–36
- Kiss J. (2009a): Gravitációs és mágneses feldolgozások és modellezések a földtani környezet megismerése céljából. Doktori (PhD) értekezés, NyME Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola, Sopron
- Kiss J. (2009b): A CEL08 szelvény geofizikai vizsgálata. *Magyar Geofizika* 50/2, 59–74
- Kiss J. (2009c): Regionális gravitációs anomáliák, izosztatikus hatások Magyarországon. *Magyar Geofizika* 50/4, 153–171
- Kiss J. (2010): Mély medencék izosztatikus hatása. *Magyar Geofizika* 51/3, 1–13
- Kiss J. (2014): Magyarország Bouguer-anomália térképének frekvenciatartománybeli vizsgálata és értelmezése. *Magyar Geofizika* 55/4, 163–178
- Koulakov I., Kaban M. K., Tesauro M., Cloetingh S. (2009): P and S velocity anomalies in the upper mantle beneath Europe from tomographic inversion of the ISC data, *Geophysical Journal International*
- Lenkey L. (1999): Geothermics of the Pannonian basin and its bearing on the tectonics of basin evolution. PhD theses, Vrije Univ., Amsterdam, 215 p.
- Meskó A. (1984): Magyarország regionális geofizikai kutatása, Redukált gravitációs anomália térkép. ELTE kézirat
- Mészáros F., Zilahi-Sebess L. (2001): Compaction of the sediments with great thickness in the Pannonian Basin. *Geophysical Transactions* 44/1, 21–48
- Mituch E. (1964): A hazai szeizmikus kéregkutatás újabb eredményei. *Geofizikai Közlemények* 13/3, 289–300
- Mituch E. (1966): A magyarországi kéregkutatás folytonos harántszelvényezéssel kapott eredményei. *Geofizikai Közlemények* 15/1–4, 15–24
- Mituch E., Posgay K. (1967): Results of crustal investigations on Hungarian sections of international profiles. In: *Geophysical researches of crustal structures of South-Eastern Europe*. Subbotin S. I., Sollogub V. B., Lebedev T. S. (eds.), Publishing House “Nauka”, Moscow, pp. 39–48 (In Russian)
- Mituch E., Posgay K. (1967/68): The results of seismic measurements carried out in the Hungarian sections of the international crustal investigation profiles. *Vesnik 8–9/C Beograd*, 217–224. (In German)
- Mituch E., Posgay K. (1968): Deep seismic sounding in Hungary. *Proceedings of the Eighth Assembly of the European Seismological Commission*, pp. 168–173
- Mituch E., Posgay K. (1970): The results of seismic measurements along the Hungarian parts of the international profiles for crustal study. *Vesnik 8–9/C Beograd*, 177–184
- Mituch E., Posgay K. (1971): Hungary. In: *Crustal structure of Central and South-Eastern Europe*. Sollogub V. B., Prosen D., Militzer H. (eds.), *Naukova Dumka*, Kiev. pp. 61–84 (In Russian)

A medencebeli, laza üledékek sűrűsége, a pórusterfogat-
csökkenése és a tömörödés miatt nagyon változó (1900–
2670 kg/m³), az átlagos sűrűség érték 2285 kg/m³ körüli.
A hegységek (felnyúlva a légterbe) a környezetükhöz képest
2670 kg/m³ sűrűségkontrasztal jelentkeznek. Az üledék-
kel feltöltött medencék sűrűségkontrasztja (az üledék és a
medencealjzat között meglévő sűrűségkülönbség) átlagosan
400 kg/m³ körüli (ezek felszíntől a kéregbe nyúlnak le).
Persze ez nem állandó érték, hanem a felszínközeli maximá-
lis (770 kg/m³) értékétől a nagy mélységek minimális
(0 kg/cm³) sűrűségkontraszt értékéig változhatnak a mély-
ség függvényében. Ebből már látszik, hogy a mély meden-
cék által okozott izosztatikus hatás nem lesz olyan nagy,
mint a hasonló méretű hegységek izosztatikus hatása, és az
előjele is ellentétes.

Az alkalmazott izosztatikus (1) alapképletet ennek meg-
felelően kissé módosítva, általánosabb formában kell felír-
ni, a hegységek esetében is:

$$d_r = d_c + [(\sigma_c - \sigma_l) / (\sigma_m - \sigma_c)] h_r, \quad (2)$$

ahol

d_r – kompenzációs mélység (*root*),
 d_c – a kéreg átlagos vastagsága,
 σ_c – a kéreg sűrűsége (2670 kg/m³),
 σ_l – a levegő sűrűsége (~1,3 kg/m³),
 σ_m – a köpeny sűrűsége (3270 kg/m³),
 h_r – a domborzat magassága.

A képlet a korábban publikálthoz képest tulajdonképpen
annyiban változott meg, hogy kiegészült egy olyan taggal
(σ_l), amely a hegységek esetében elhanyagolható, mivel az
azokat körülvevő levegő sűrűsége nagyon kicsi, 1 kg/m³ kö-
rül érték.

A síkságokon, mély üledékes medencék esetében pedig a
képlet a következő lesz:

$$d_{ar} = d_c - [(\sigma_c - \sigma_{ii}) / (\sigma_m - \sigma_c)] h_b, \quad (3)$$

ahol

d_{ar} – kompenzációs mélység (*antiroot*),
 d_c – a kéreg átlagos vastagsága (25 km),
 σ_{ii} – az üledékek sűrűsége^{a)} (változó),
 σ_m – a köpeny sűrűsége (3270 kg/m³),
 σ_c – a kéreg sűrűsége (2670 kg/m³),
 h_b – ismert medencemélység.

Az (1) és (2) képlet csak a második tag előjelében különbö-
zik. A hegységek izosztatikus gyökerei (*root*) negatív
Bouguer-anomáliát okoznak, a mély medencék által okozott
izosztatikus kiemelkedések (*antiroot*) a kéreg–köpeny hatá-
ron pozitív Bouguer-anomáliát adnak. A (3) képletben az
üledékes medence sűrűségét elvileg vehetnénk állandónak
(sok szempontból ez előnyös lenne), de valójában ez válto-
zó érték.

Mészáros és Zilahi-Sebess (2001) mélyfúrás-geofizikai
adatok alapján megállapították, hogy a magyarországi vas-
tag üledékek esetén, hogy a sűrűség mélységfüggése^{b)} a kö-
vetkező képlettel közelíthető:

$$\sigma = d[a - b \cdot \exp\{-c h\}], \quad (4)$$

ahol

a – az üledékek maximális sűrűsége (országos szinten
 $a = 2,70 \text{ g/cm}^3$),
 b – a felszínre extrapolálás paramétere (országos szinten
 $b = 0,80$),
 c – a növekedés mértékének paramétere (országos szinten
 $c = 0,00071$),
 d – konverziós koefficiens, CGS–SI átváltás ($d = 1000$),
 h – a mélység (m),
 σ – a h mélységre vonatkozó sűrűség (kg/m³).

A fenti függvénnyel meghatározott sűrűséggörbét a 31. áb-
ra mutatja. Ez a grafikon a tömörödés (pórusterfogat elvesze-
tése, diagenézis stb.) hatására a mélységgel arányosan bekö-
vetkező sűrűségnövekedést mutatja, az üledékek általános
tömörödési trendjét Magyarországon.

Az üledékes medence okozta köpenykiemelkedés mérték-
ének kiszámításakor ezt az összefüggést fogjuk felhasz-
nálni.

A (4) képlet alapján a medence adott mélységére (h_b) ki
tudjuk számítani a legnagyobb sűrűséget. Ennek a sűrűség-
nek és a felszíni sűrűségnek az átlagát képezve előállíthat-
juk a medence átlagos sűrűségét, amely pontról pontra vál-
tozik. Mivel azonban a sűrűség–mélység összefüggés nem-
lineáris, így valószínűleg ez alulbecsült medence-sűrűség-
érték lenne. Célszerű tehát egy olyan, nem túl bonyolult
képletet (4) alkalmazni, amely jobban figyelembe veszi az
exponenciális mélységfüggést. Ilyen lehet például a súlyo-
zott átlagolás. Kiszámítva minden pontra a félmélységbeli
sűrűséget, majd ha a minimális, maximális és félmélységbeli
sűrűségértékeket súlyozva átlagoljuk, akkor megkapjuk a
keresett átlagsűrűséget.

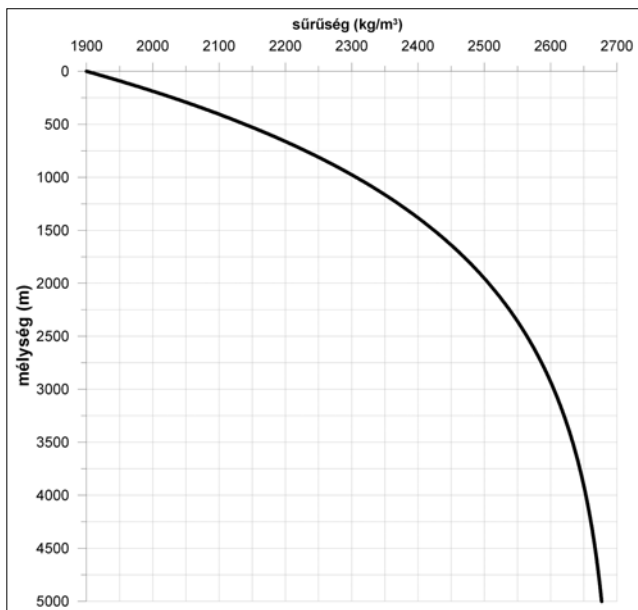
A számítás a következő:

$$\sigma_{ii} = [\sigma_{h_{\min}} + 2\sigma_{h_{\text{half}}} + \sigma_{h_{\max}}] / 4, \quad (5)$$

ahol

σ_{ii} – a medenceüledék átlagos sűrűsége,
 $\sigma_{h_{\min}}$ – a felszíni sűrűség,
 $\sigma_{h_{\text{half}}}$ – a félmélységbeli sűrűség,
 $\sigma_{h_{\max}}$ – a legnagyobb mélység sűrűsége.

A sűrűség meghatározásánál feltételezzük az ideális üle-
dékciklus meglétét: a felszíni legfiatalabb képződmények-
től, a medencealjzatig folyamatos üledékképződést és en-
nek megfelelő folyamatosan növekvő sűrűségértékeket.
Erre azért van szükség, hogy mindenhol ugyanúgy járjunk
el a sűrűség és izosztatikus mélység meghatározása során.
Természetesen a földtani felépítés általában nem ilyen.
A sűrűségmeghatározásból származó hiba csak az izo-
sztatikus köpenykiemelkedés (*antiroot*) méretét módosít-
ja némileg (mivel a felszínközeli, de kvarternél idősebb
medenceüledékek sűrűsége nagyobb, mint amelyet kez-
dő-sűrűségként a 31. ábra alapján feltételeztünk), de a
25 km-es mélység miatt ez a hiba remélhetőleg nem lesz
túl nagy.



31. ábra | A sűrűség mélységfüggése Magyarországon (Mészáros, Zilahi-Sebess 2001)

Figure 31 | Density vs. depth in Hungary (Mészáros, Zilahi-Sebess 2001)

A kapott átlagos sűrűséggel a $[(\sigma_b - \sigma_{ii})/(\sigma_m - \sigma_c)]$ kifejezés értéke meghatározható. Ez az érték 2670 kg/m^3 korrekciós sűrűségnél a medenceüledékek esetében 0,03–1,28 között változik, a medence mélységétől függően (a hegységek esetében ez az érték 4,5 körüli volt). Ez durván azt jelenti, hogy a sekély, néhány száz 100 m mély medencénél, kb. hasonló magasságú köpenykiemelkedés jelentkezik. A nagyon mély medencék esetében a mélységgel csökkenő sűrűségkontraszt miatt egyre kisebb lesz az üledék által okozott izosztikus hatás. A legmélyebb, kb. 9 km-es medencénél a köpenykiemelkedés mértéke számításaink szerint maximálisan 2,8 km körüli lesz.

A köpenykiemelkedés mértékét megkapjuk, ha a medencemélység alapján pontról pontra kiszámítjuk az átlagos fedőüledék-sűrűséget (5), és ezt az értéket felhasználva a köpenykiemelkedés mértékét (3).

Az izosztikus gyökérzónával és a köpenykiemelkedés mértékével korrigált 25 km-es átlagos kéregvastagságszint megadja a Moho hullámzását izosztikus egyensúlyt feltételezve, a következő képlet alapján:

$$H_{\text{Moho}} = d_c + \left(\frac{\sigma_c}{\sigma_m - \sigma_c} h_t \right) - \left(\frac{\sigma_c - \sigma_{ii}}{\sigma_m - \sigma_c} h_b \right), \quad (6)$$

ahol

d_c – a kéreg átlagos vastagsága (25 km),

σ_c – a kéreg sűrűsége (2670 kg/m^3),

σ_{ii} – az üledékek sűrűsége (változó)

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

h_t – domborzati magasságérték,

h_b – az ismert medencemélység.

Ha a számításból kapott Moho-felszínt összevetjük a szeizmikus mérésekből kapott Moho-felszínnel, akkor kisebb mélységeket és amplitúdót tapasztalunk. Ez kétféle dologból adódhat:

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

Feltételezve, hogy az izosztikus megfontolásból kapott Moho-felület lefutásának tendenciái helyesek, a szeizmikus és gravitációs szintek eltérését szélsőértékek alapján végzett korrekcióval orvosoltuk. A korrekció mértékét a következő lineáris összefüggéssel lehetett megadni:

$$H_{\text{Moho}}^{\text{kor}} = 1,769824017 H_{\text{Moho}}^{\text{izos}} + 14965,57422. \quad (7)$$

Jegyzetek

- a) Az eredeti képletben a $\sigma_{ii} = 1027 \text{ kg/m}^3$, mivel az óceáni kéreg felett tengervíz van.
- b) Szabó és Páncsics (1999) kőzetfizikai vizsgálatok alapján, a harmadidőszaki üledékekre szintén publikáltak sűrűség–mélység összefüggést!

Hivatkozások

- Airy G. B. (1855): On the compensation of the effect of the attraction of mountain measurements. Phil. Trans. London
- Heiskanen W. A., Vening Meinesz F.A. (1958): The Earth and Its Gravity Field. McGraw Book Company, Inc. London
- Horváth F. (1976): A szilárd Föld fizikája. Tankönyvkiadó, Budapest, 240 o.
- Mészáros F., Zilahi-Sebess L. (2001): Compaction of the sediments with great thickness in the Pannonian Basin. Geophysical Transactions 44/1, 21–48
- Szabó Z., Páncsics Z. (1999): Rock densities in the Pannonian Basin – Hungary. Geophysical Transactions 42/1–2, 5–28

Az Eötvös Loránd-féle torziós ingához fűződő dokumentumokkal bővült az UNESCO világemlékezet-listája

1992 óta az UNESCO ambiciózus és nagy tekintélyű Világemlékezet Programja lehetővé teszi a világon bárhol fellelhető, ritka, veszélyeztetett, egyetemes tudományos, művészeti, társadalmi stb. értékű levéltári, könyvtári és audiovizuális dokumentumok nyilvántartásba vételét, továbbá támogatja megőrzésüket, széles körű megismertetésüket. A nyilvántartásba vétel évenkénti pályázati rendszerben folyik a nemzeti bizottságok közvetítésével. A szigorú bírálati feltételeknek megfelelt és a nyilvántartásba felvett – és általában az emberi szellem csúcsteljesítményeit reprezentáló – dokumentumok tulajdonosainak biztosítaniuk kell a hozzáférést e művekhez, általában jó minőségű internetes publikálás útján.

A javaslatot benyújtó intézmények és szervezetek

2013-ban – felismerve a pályázatban rejlő tudománynépszerűsítési lehetőséget – az alábbi, Eötvös Loránd életművéhez szorosan kötődő intézmények és egyesületek megállapodtak egy közösen támogatott pályázat elkészítésében:

- Magyar Földtani és Geofizikai Intézet – MFGI (az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet jogutódja)
- MTA Könyvtár és Információs Központ – MTA KIK (Eötvös 1889 és 1907 között az Akadémia elnöke volt)
- Eötvös Loránd Tudományegyetem (a Budapesti Tudományegyetem jogutódja, amelynek Eötvös a professzora volt)
- Magyarhoni Földtani Társulat (az 1848-ban alapított társulatnak Eötvös rendes, tagdíjfizető tagja volt)
- Eötvös Loránd Fizikai Társulat
- Eötvös Loránd Geofizikai Alapítvány
- Magyar Geofizikusok Egyesülete*

Az Eötvös és tanítványai által épített, illetve gyártott ingák teljes sorozata ipari műemlékként múzeumban megtekinthető (Eötvös Loránd Emlékgyűjtemény, 1145 Budapest, Columbus u. 17–23.). Az Eötvös-inga – Süss Nándornak is köszönhetően – esztétikailag is csodálatosan szép alkotás, mely az egyszerűség, a kifinomultság és a funkcionalitás tökéletes harmóniáját testesíti meg. Műszaki rajzok, melyek elvben alkalmasak lehettek volna a felterjesztésre, nem maradtak fenn.

* A pályázat ötlete és javaslata Dr. Unger Zoltán tagtársunk érdeme. A fent felsorolt folyamodók együttműködését az MGE szervezte.

A világemlékezet-listára vételre felterjesztett három dokumentum:**

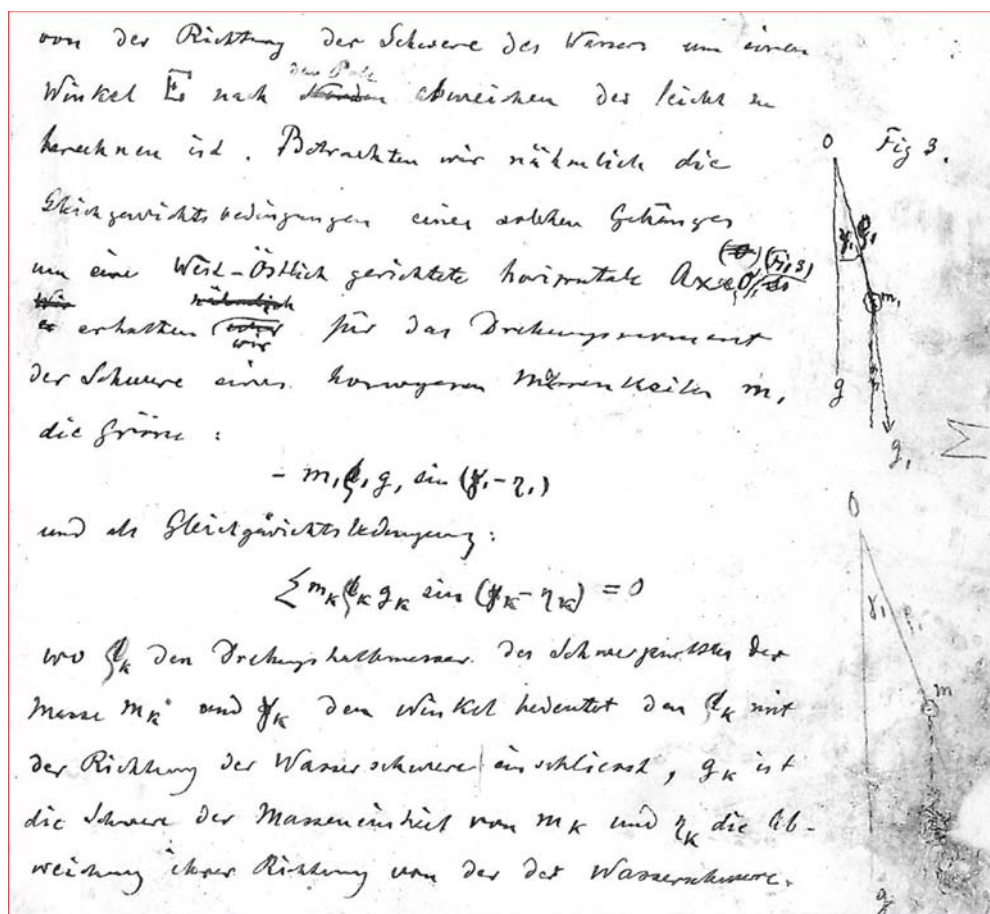
1. Eötvös Loránd egyik alapvető művének eredeti, német nyelvű kézírata 1908-ból, amely 1909-ben elnyerte a Göttingeni Egyetem Benecke-díját (91 oldal, tulajdonos: MFGI)
2. Angol nyelvű illusztrált kereskedelmi nyomtatvány (igen ritka), címlapján a következő szöveggel: „GRAVITATIONAL TORSION BALANCE – ORIGINAL MODELS of the Baron Roland Eötvös Geophysical Institute, Budapest, Hungary; Made in the Süss Institute for the Precision Mechanics and Optics Company, Ltd. Budapest, Hungary – Exclusive American Representative Dr. George Steiner, 1802 California Street, Houston, Texas” (17 oldal, készült az USA-ban 1926 és 1927 között, tulajdonos: MFGI)
3. Magyarországon 1928-ban nyomtatott kereskedelmi prospektus (ritkaság), címlapjának szövege: „THE SMALL ORIGINAL EÖTVÖS TORSION BALANCE – Ferdinand Süss Precision Mechanical and Optical Works Limited, Budapest I. (Hungary)” (12 oldal, tulajdonos: MTA KIK)

Megjegyzés az 1. tételhez: Az alap kutatásokkal foglalkozó kutatók Eötvös nevét elsősorban a tehetetlen és súlyos tömeg arányosságára vonatkozó vizsgálatai révén ismerik. Eötvös Loránd vizsgálataihoz nem matematikai, hanem torziós ingát alkalmazott, melynek segítségével a tehetetlen és súlyos tömeg arányosságának mérési pontosságát 1890-ben 1/20 000 000-ra növelte, majd az időközbeni műszerfejlesztésnek köszönhetően ezt az értéket 1908-ban munkatársaival, Fekete Jenővel és Pekár Dezsővel együttműködve sikerült még egy nagyságrenddel növelni. A kutatás 1909-ben nagy nemzetközi elismerést kapott azzal, hogy megnyerte a Göttingeni Egyetem Benecke-pályázatát. A pályázatra beadott dolgozat rövidített változatának publikálása az inga gyakorlati alkalmazásával járó megfeszített munka, az I. világháború közbejötté, majd Eötvös halála miatt csak jóval később, 1922-ben történt meg.

A dokumentumok jelentősége

Közismert, hogy Eötvös csúcstechnológiát képviselő, nagy pontosságú mérései (a súlyos és a tehetetlen tömeg ekvivalenciája) alapvető jelentőségűek Albert Einstein 1907-ben

** A dokumentumok az MFGI honlapján tekinthetők meg, az angol nyelvű pályázati űrlap szintén az ott található linken keresztül érhető el, az UNESCO honlapján.



Ízelítő a kéziratból

megfogalmazott általános relativitáselmélete szempontjából. Einstein hivatkozása Eötvösre csak egy későbbi, 1913-ban megjelent, Marcel Grossmann-nal közösen publikált cikkében található. Talányos, hogy nem a frissebb, pontosabb, 1909-es, nyilvános pályázaton nyertes eredményekre hivatkoznak, hanem Eötvös több mint húsz évvel korábbi, 1890-es (!) cikkére. Ez a furcsa tény különösen kiemeli Eötvös kutatásának eredetiségét és elsőségét (A. Einstein – M. Grossmann: Entwurf einer verallgemeinerten Relativitätstheorie und eine Theorie der Gravitation. Zeitschrift für Math. und Phys. 62, 225–261 [1913]).

Érdeemes megemlíteni egy sokkal frissebb méltatást is, egy ismert, kitűnő egyetemi fizikatankönyvből, amely csaknem négy oldalt szentel az Eötvös-kísérlet leírásának, és melynek szerzői előszavában ez áll: „Mindent megtettem, ami erőmből telt, hogy megismertessem hallgatóimat a fizika alapvető gondolataival és módszereivel, és hogy megtanítsam őket arra, hogyan kell fizikusként gondolkodni. Ez az, amiért ez a könyv természetét tekintve nem enciklopédikus.” (Savelyev, I. V.: Physics. A general course. Vol. I. Moszkva: MIR, 1989 [1977], English translation: 1980, 1985, 1989).

A felterjesztett három dokumentum együttesen illusztrálja, hogy egy nagy jelentőségű kísérleti fizikai kutatás eredményei hogyan hasznosultak az ipari alkalmazások területén. Eötvös korán felismerte a műszer földtani és kö-

olajkutatásra való alkalmasságát. 1916-ban egy fúrásokkal feltárt kőolajmező (Egbell; ma Gbely, Szlovákia) felett végzett mérésekkel bebizonyosodott, hogy az Eötvös-inga kiválóan alkalmas eltemetődött földtani alakzatok (felboltozódások, sódóмок stb.) körvonalazására. Eötvös ezáltal jelentősen hozzájárult az alkalmazott geofizika tudományának kifejlődéséhez, és megteremtette a műszeres kőolajkutatás alapjait.

A világháborút követően gyorsan elterjedt a sikeres egbelli mérés híre, elindítva Eötvös ingáját a világhír felé, amit Eötvös Loránd sajnos már nem élhetett meg. Minden magára valamit is adó olajvállalat felfigyelt a híre, és elküldte geológusait Budapestre, hogy az Eötvös-intézetben elsajátítsák a torzióingamérések technikáját, az adatok feldolgozását és értelmezését. Az Eötvös-intézet az 1920-as évek közepére a kőolajkutató szakemberek valóságos Mekkájává vált. E szakemberek jelentős hányada a későbbiekben vagy vezető posztokat töltött be különböző olajvállalatok kutatási részlegeinél, vagy önálló geofizikai vállalatot létesített. Az 1920–30-as években kőolaj- és földgázmezők százait fedezték fel szerte a világon az Eötvös-inga segítségével.

Szabó Zoltán
az Eötvös Loránd Geofizikai Alapítvány kuratóriumi tagja
Késmárky István
a Magyar Geofizikusok Egyesülete korábbi elnöke

Tisztelt Kollégák!

Abban a szerencsés helyzetben vagyok, hogy a hátlapra szánt képekhez Viola Balázs kollégánk jóvoltából az alábbiakban egy részletesebb magyarázatot is tudunk fűzni.

Szerkesztő

Egy kis geofizikatörténet

1974 tél utóján az osztrák Vöest-Alpine (Leoben) Fém- és Acélművek Részvénytársaság a NIKEX (magyar külkereskedelmi vállalat) keresztül felkérte az Eötvös Loránd Geofizikai Intézetet (ELGI), hogy Karintia tartományban egy 800 m mély érckutató fúrásban méréseket, valamint a fúrás környékén szeizmikus kutatásokat végezzen. A mérések helyszíne Villach mellett egy Kreut nevű faluban volt. A karotázsméréseket az ELGI páncél kábellel felszerelt Tátra karotázs műszerkocsijával Szunyogh Ferenc† végezte és Viola Balázs értékelte ki. A szeizmikus mérésekben Ráner

Géza vezetésével többen is részt vettek, ott volt Rákóczi István† és Mészáros József† is. A robbantásokat a megrendelő cég robbantómestere végezte. A fúrásban szelektív γ - γ módszerrel több szakaszon hintett ércesedési zónát határoztak meg, valamint a mérések eredményeként megadták a lényegesebb tektonikai vonalak helyzetét. A mérések alapján a megrendelő további fúrásokat mélyített.

A hátlapon néhány fénykép mutatunk be erről a mérésről, talán érezhető róluk, hogy milyen is a nem irodai geofizika.

Viola Balázs

Id. Dr. Zilahi-Sebess László, címzetes egyetemi tanár, a Magyar Geofizikusok Egyesületének alapító tagja 1929–2015

Idősb Zilahi-Sebess László, a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet Matematikai Osztályának egykori vezetője és a Miskolci Nehézipari Egyetem címzetes egyetemi tanára 1929-ben született. Középiskolai tanulmányait a Debreceni Református Gimnáziumban kezdte, és a Debreceni Tanítóképző Liceumban kántortanítóként fejezte be. Érettségi után dolgozni kezdett, és munkája mellett végezte el esti tagozatos hallgatóként először az ELTE matematika tanári, majd az ELTE alkalmazott matematikai szakát 1954-ben, illetve 1958-ban. Kandidátusi értekezését „A földmágneses quadropólus- és energiasűrűség-tér vizsgálata” címmel 1961-ben védte meg.

Saját indulásáról így vallott: „...népiskolai tanítóként kezdtem dolgozni. A körülmények úgy hozták, hogy a geofizika területére kerültem. Mindig szerettem tanulni, új ismereteket szerezni és a tudást átadni. Egy főiskolai, két egyetemi diplomát és egy akadémiai minősítést szereztem.”

A számítógépes programozás elemivel egyetemi szakdolgozatának írása során ismerkedett meg, amelyet a szovjet dokumentáció alapján készülő, magyar M3-as számítógép programozásából írt.

1952-ben lépett be az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (ELGI) Központi Értelmező Osztályára mint matematikus. Egyik első feladatául azt kapta, hogy tájékozódjon a beszerezhető asztali számológépekről. Keresése közben megtudta, hogy hamarosan mint bérelt gép Magyarországra kerül egy IBM-628-as számítógép. Programozási ismeretei következtében őt kérték fel arra, hogy az IBM főmérnökével együttműködve felkészüljenek az IBM-628-as számítógép fogadására. Így történt, hogy az első, Magyarországra behozott programozható számítógépen először geofizikai programok futottak (geotermikus, majd földmágneses adatok feldolgozásai). Ezek a számítások mind Zilahi-Sebess Lászlónak, mind az Intézetnek jelentős sikereket hoztak.

A lehetőségekről értesülve, a geofizikán kívülről is, számos helyről jelentkeztek tudományos-műszaki jellegű számítások igényével. Ezekre a munkákra másodállásban a Statisztikai Gépi Adatfeldolgozó Vállalat alkalmazta, ahol a sok feladat megoldására újabb elektronikus számítógépet szereztek be, amelyre szintén ő írta a programokat.

Munkája elismeréseként 1970-ben megkapta a Munka Érdemrend Bronz fokozatát.

1971-ben az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet is üzembe állított egy MINSZK-32 típusú számítógépet. A számítógép üzembe állításának a programok terén végzett előkészítésében és magában az üzembe állításban Zilahi-Sebess Lászlónak kulcsszerepe volt. Szintén fontos szerepet játszott a számítógépekhez csatolt számos periféria, illetve segédberendezés illesztésében, amelyeknek a segítségével az ELGI számítógépeit geofizikai számítóközpontokká fejlesztették.

A MINSZK-32-vel kapott programok száma igen csekély volt, de ezek köre Zilahi-Sebess László és az általa irányított intézeti programozók munkája következtében a geofizikai igényeknek megfelelően igen gyorsan bővült. A konkrét programozói munka mellett folyamatos tevékenysége maradt az új munkatársak betanítása, illetve a már dolgozó munkatársainak szakmai támogatása. Ennek voltak az intézeten belül informális formái és formális külső formái is, mint pl. a Magyar Geofizikusok Egyesületében szervezett tanfolyamok, vagy a Miskolci Nehézipari



**Id. Dr. Zilahi-Sebess László
1929–2015**

Egyetemen bevezetett „Geofizikai programozás” c. tantárgy, amelynek ő lett az előadója.

Zilahi-Sebess László az ELGI-ben eltöltött 38 év után 1990-ben ment nyugdíjba. Nyugdíjba vonulása után családja körében élt, és visszatérve első hivatásához kántorként szolgált a gyülekezetében.

Idősb Zilahi-Sebess László a számítógépek és a számítástechnika világának úttörőjeként elsőnek hatolt be e szakterületre, hódított meg egy olyan területet, amely munkája során a geofizikai adatgyűjtés, majd a geofizikai adatfeldolgozás és végül a geofizikai értelmezés meghatározó tényezője lett. Izgalmas életútja a logarléctől a munkaállomásokig ívelt át, jelentős része volt abban, hogy az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet az ő munkássága idején nemzetközileg is elismert intézménnyé válhatott. Halálával nagy űrt hagyott maga után.

Emlékedet megőrizzük, Laci bácsi nyugodjál békében!

Szerkesztőség

Kummer István

1951–2015

Kummer István 1951-ben született Pápán, ahol a Türr István Gimnáziumban 1969-ben érettségizett. Egyetemi tanulmányait a Miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen végezte, ahol 1974-ben geofizikusmérnöki diplomát szerzett. Még ugyanebben az évben elkezdte szakmai munkáját kiértékelő és értelmező geofizikusként egy szeizmikus terepi csoportnál az Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben.

Kezdetben a szeizmikus refrakció és reflexió mérésekkel végzett közepes és nagy mélységű szerkezet- és medencealjzat kutatás területén szerzett tapasztalatokat, majd egy terepi szeizmikus kutatócsoportot vezetett elsősorban alföldi szénhidrogén-kutatási feladatokkal.

1980-tól 1982-ig a mongóliai komplex regionális kutatással és részletező ércutatással foglalkozó Nemzetközi Földtani Expedíció munkájában vett részt ÉK-Mongóliában és a Góbi sivatagban.

1988-ban és 1990-ben Kubában a Kubai Nemzeti Geofizikai Vállalatnál kis mélységű reflexió és refrakció méréseket végzett, valamint ezek kiértékelésén és értelmezésén dolgozott. Megtanult spanyolul, és az adatfeldolgozó programrendszer kezeléséhez spanyol nyelvű útmutatót készített.

Itthon ismét szénhidrogén-kutatási témákon dolgozik, értelmezési és térképezési feladatokat lát el, karotázis- és szeizmikus adatok integrált feldolgozását, értelmezését végzi mezőn belüli kutatásoknál. Kutatási témái között szerepel a kis mélységű gáztelepek szeizmikus vizsgálata, illetve a közvetlen szénhidrogén-detektálás lehetőségeinek tanulmányozása. Erdményeit hazai és külföldi konferenciákon mutatta be.

1995-től 1997-ig részt vett a „Magyarország szénhidrogén-potenciáljának felmérése” c. programban, illetve 1993 és 2003 között a „Magyarország földtani térmodellje” c. kutatási programban. 2003-tól elsősorban olyan különböző adatbázisokkal, térinformatikával, szeizmikus értelmezéssel

kapcsolatos feladatokkal bízták meg, mint pl. a országos pretercier medencealjzat felújított térképének elkészítése, de részt vett a geotermikus programban is.

A Magyar Geofizikusok Egyesületének mindvégig aktív tagja. Sokoldalú munkáját 2010-ben a Pro Geophysica kitüntetéssel ismerték el.

Utolsó éveit türelemmel viselt betegsége nehezítette, 2015. november 10-én hunyt el.

Kedves Pista!

Az egyetem után, 1974-ben a tankörből öten jöttünk az ELGI-be, végül csak mi ketten kaptuk meg innen az obsitot. Mégis, valahogy úgy alakult, hogy nem volt olyan közös munkánk, amely szoros együttműködést igényelt volna. Más-más főosztályra kerültünk ugyan, pályafutásunk mégis sok hasonlóságot mutat. Hosszú éveket dolgoztunk terepi csoportoknál, egyre felelősebb beosztásban, megtapasztaltuk e munka minden nyűgét, örömet. Tudtuk-láttuk,

hogy jutnak a szakmánkban egyre fontosabb szerephez a numerikus módszerek, de meg kellett tanulnunk a hagyományos, „analóg” feldolgozás lépéseit is, az ezzel töltött rengeteg idő cserébe biztos tapasztalást eredményezett. Mongóliát, Kubát is megjártuk – ha nem is egy időben –, ami szintén egyfajta közös élményt jelentett.

Sok mindent csináltunk együtt, és mindig jó érzéssel töltött el a Veled való találkozás. Mint amikor a tudás átadásának felelősségteljes örömevel kértél segítséget Szegeden tartott óráid egyikéhez. Amikor láttam arcodon a szülői büszkeség ragyogását, vagy éreztem, milyen biztonságot, stabilitást nyújt Neked a zene, az éneklés választott kórusodban.

Most, hogy utad végére értél, emelt fővel tekinthetsz vissza. Derűs és kiegyensúlyozott személyiségedre mindannyiunk szeretettel emlékezünk.

Madarasi András



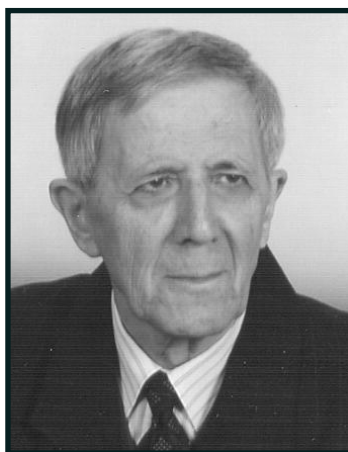
Kummer István
1951–2015

Paulik Dezső

1935–2015

Paulik Dezső 1935-ben született Sopronban, abban a városban, amely ezer szállal kapcsolódik a későbbi választott szakmájához, a geofizikához. A Berzsényi Dániel állami általános fiúgimnáziumban érettségizett kitűnő eredménnyel 1953-ban. Sopron kivételes földrajzi helyzete, gazdag szellemisége mély benyomást tett rá, úgyhogy nem volt könnyű a pályaválasztása. Egyszerűen túl sok minden érdekelt. Az hogy mégis ezt a szakmát választotta, abban vélhetően a kishűg ismeretségi körében előforduló bányász-kohász-földmérő hallgatók is szerepet játszottak. Az egyetemre jutáshoz a kitűnő érettségi mellett csak egy felvételibeszélgetés kellett, amelyet Csókás Jánossal, Kántás Károly geofizikai tanszékének adjunktusával folytatott.

Az hogy 1958. április 28-án jeles eredménnyel itthon védte meg diplomamunkáját, szerencsés véletleneknek köszönhető, ugyanis évfolyamuk fele 1956-ban külföldre távozott. A következő hónapban már munkába is állt a Kőolajipari Tröszt Dunántúli Kőolajfűrési Üzemében, Nagykanizsán. Az Értelmezési osztályon töltött fél év után 1959-től öt éven keresztül terepi észlelőként dolgozott. A megfelelő tapasztalat megszerzését követően 1964-ben első fia – akit később még kettő követett – megszületése után kezdte meg értelmző-geofizikus mérnöki tanulóéveit Markó László irányítása alatt. Beosztott mérnöki éveit követően 1973-ban vette át az Értelmezési Osztály vezetését. Az osztályt a MOL 1990. évi megalakulásáig vezette. Ekkor ugyanis összevonták a dunántúli és alföldi szelvényértelmezést. Az 1995-ös nyugdíjba vonulásáig a dunántúli csoport szakmai felügyelete volt a feladata.



Paulik Dezső
1935–2015

Dezső aktív éveire esett a hazai mélyfűrési geofizika jelentős átalakulása: a termelés-geofizikai mérések egyre fokozódó előretörése, jelentős szelvényválaszték bővülés, korszerű mérőberendezések és nem utolsósorban a szelvényfeldolgozás tényleges számítógépesítése. Nagy szerepe volt abban, hogy a világbanki kölcsönnel lehetségessé vált beruházások szakmai háttérének biztosításával meghatározó irányba terelte a hazai mélyfűrési geofizikai értelmezést.

Az 1990 októberében megtartott Európai Szelvényértelmezői Kongresszus idején az SPWLA Budapest Chapter elnöke és a szervezőbizottság tagja volt.

Dezsőről beszélve nem lehet nem említeni a zenével való szoros kapcsolatát, amely gyermekkorból eredeztethető, és egy pillanatra sem szűnt meg élete során. Egy anekdota szerint, egy soproni zeneórán a tanárnőre várva Paulik Dezső és Rybach László (későbbi tankörtárs) négykezesként úgy adta elő Mozart *Török indulóját*, hogy a mesélő Nagy Zoltán (későbbi egyetemi társ) reménytelennek ítélte saját zenei karrierjét. Évtizedekig meghatározó egyénisége volt Nagykanizsa kóruséletének mint kórusalapító és kórustitkár. Hagyományos karácsonyi koncertjeik eseményszámába mentek a városban, amelyben élete végéig dolgozott.

Nagyszerű munkatárs, kiváló humorú társasági ember volt. Szerető feleség, három fiú, tizenhárom unoka és számtalan barát gyászolja.

Isten veled Dezső!

Császár János

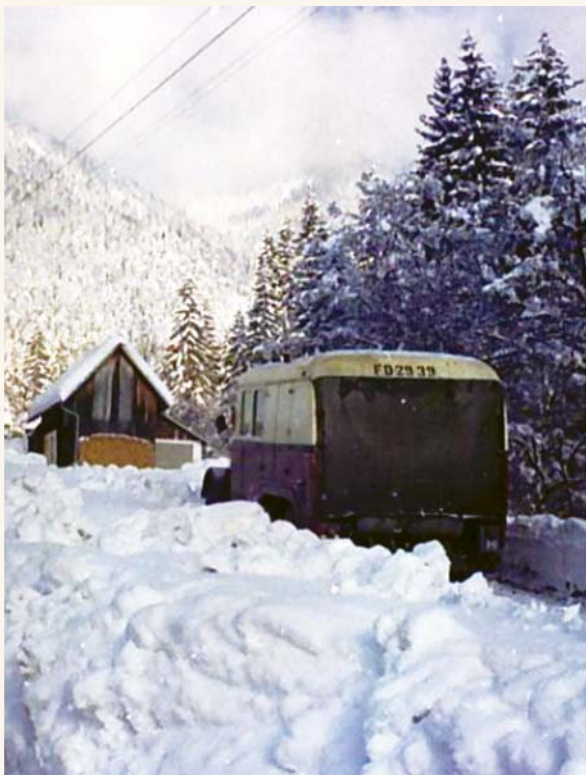
Rendezvénynaplár

2016. február		
febr. 17. 14.00 h	„Földtudományi határterületek” 2016/1 előadólés (MTT) <i>Téma:</i> elektromágneses és mechanikus hullámok az orvosi diagnosztikában és a földtani kutatásban	Budapest, MFGI díszterem (Stefánia út)
2016. március		
márc. 10.	„Merre tart a magyar geofizika?” – szakmai fórum szakmánk jövőbeli szerepéről	Budapest, MFGI díszterem (Stefánia út)
márc. 14–17.	76. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft (www.uni-muenster.de/Physik.GP/DGG-2016)	Münster, Németország
márc. 16. 14.00 h	„Földtudományi határterületek” 2016/2 előadólés (SzITE) <i>Téma:</i> az izolációt meghatározó fizikai és kémiai tulajdonságok és azok változása a hulladékártározók tervezése szempontjából	Budapest, MFGI díszterem (Stefánia út)
2016. április		
ápr. 1–2.	ISZA2016: Ifjú földtudományi szakemberek ankétja	Tiszafüred, Balneum hotel
ápr. 17–22.	EGU General Assembly 2016 (www.egu2016.eu)	Bécs, Ausztria
ápr. 20. 14.00 h	„Földtudományi határterületek” 2016/3 előadólés (MMT) <i>Téma:</i> nap-, szél- és geotermikus erőműparkok kialakítására alkalmas területek kiválasztási szempontjai	Budapest, MFGI díszterem (Stefánia út)
2016. május		
máj. 10–13.	Geoinformatics 2016: 15th International Conference on Geoinformatics (www.eage.org)	Kiev, Ukrajna
máj. 18. 14.00 h	„Földtudományi határterületek” 2016/4 előadólés (MHT) <i>Téma:</i> felszín alatti vízbázisok modellezése, hatásterület meghatározása	Budapest, MFGI díszterem (Stefánia út)
máj. 30– jún. 2.	78. EAGE kongresszus és műszerkiállítás (www.eage.org)	Bécs, Ausztria
2016. június		
jún. 25–29.	SPWLA 57th Annual Symposium (www.spwla.org)	Reykjavik, Ízland
2016. augusztus		
aug. 1–3.	Unconventional Resources Technology Conferences (URTeC 2016) SPWLA partnering with AAPG, SPE, and SEG (www.urtec.org)	San Antonio, Texas, USA
2016. szeptember		
szept. 4–8.	21. Near Surface Geoscience 2016 (21. konferencia) (www.eage.org)	Barcelona, Spanyolország

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

Kakas Kristóf

Ausztria, 1974



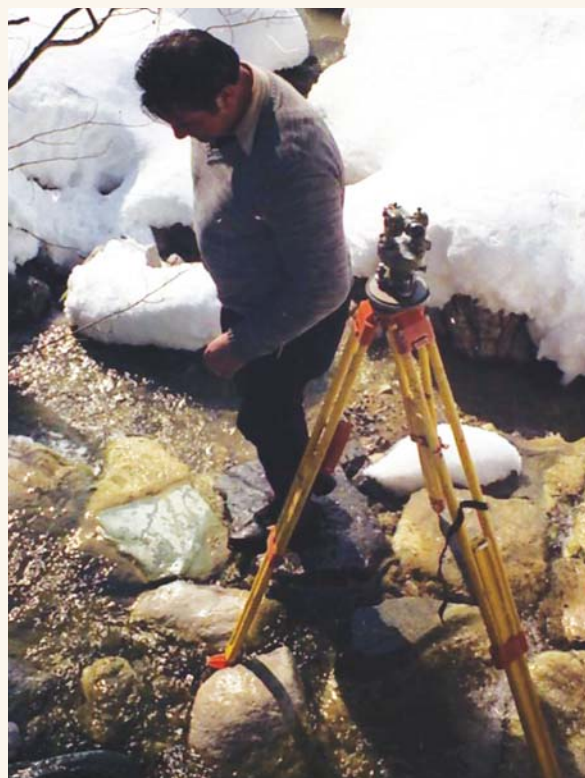
Felvonulás a méréshez



Figyelem! Robbantás következik
(balról Viola Balázs)



Munka a kútnál
(balról Rákóczi István)



Kitűzés