



100 éve a magyar gazdaság szolgálatában

**TISZTELT KOLLÉGÁK!**

Az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet rövid története..... 81

**MGE**

Tisztelet az éveknek — A Szeniorok Bizottságának hírei..... 84

**SZAKCIKKEK**

A CEL07 mélyszeizmikus szelvény újraértékelése

*Posgay Károly, Kovács Attila Csaba, Csabafi Róbert, Bodoky Tamás, Hegedűs Endre, Fancsik Tamás, Rigler Balázs*..... 87

Szivárgási tényező becslési lehetőségei geofizikai mérések alapján

*Zilahi-Sebess László, Fancsik Tamás, Török István, Kovács Attila Csaba* ..... 99

A nehézségi erőter szerkezetének és időbeli változásainak tanulmányozása gravitációs módszerrel

*Csapó Géza*..... 112

Felszín alatti szennyeződések kutatása 2D és 3D egyenáramú elektromos módszerekkel — esettanulmányok

*Nyári Zsuzsanna, Neduczka Boriszláv* ..... 117

Advanced Seismic Acquisition and Processing (ASAP) — egy EU által finanszírozott nemzetközi kutatási projekt bemutatása

*Scholtz Péter, Nyári Zsuzsanna*..... 128

A GEOMIND geofizikai metaadatmodell

*Sörös László* ..... 134

Szemelvények a magyar geofizika történetéből III.

*Szabó Zoltán*..... 140**HÍREK, BESZÁMOLÓK**

2007–2008–2009: Magyar geofizikai évfordulók – nemzetközi geofizikai évek — 50 éves a nagycenki geofizikai obszervatórium — Eredményhirdetés —

Rendezvénytár ..... 144

**IN MEMORIAM**

Molnár Károly (ELGI)..... 148

48. évfolyam 3. szám



2007

## CONTENTS

<b>Brief story of the Eötvös Loránd Geophysical Institute</b> .....	81
<b>MGE</b>	
News .....	84
<b>Geophysical Papers</b>	
Reinterpretation of CEL07 deep seismic profile <i>K. Posgay, A. Cs. Kovács, R. Csabafi, T. Bodoky, E. Hegedűs, T. Fancsik, B. Rigler</i> .....	87
Estimation of hydraulic permeability based on geophysical measurements <i>L. Zilahi-Sebess, T. Fancsik, I. Török, A. Cs. Kovács</i> .....	99
Investigation of the pattern and long-term variation of the gravity field by gravity methods <i>G. Csapó</i> .....	112
Detection of near-surface contamination with 2D and 3D geoelectrical methods — case histories <i>Zs. Nyári, B. Neduczsa</i> .....	117
Advanced Seismic Acquisition and Processing (ASAP) — introduction of an EU financed international research project <i>P. Scholtz, Zs. Nyári</i> .....	128
The GEOMIND geophysical metadata model <i>L. Sőrés</i> .....	134
Selected passages of the history of Hungarian geophysics III <i>Z. Szabó</i> .....	140
<b>News and Reports</b> .....	144
<b>In Memoriam</b>	
<i>K. Molnár (ELGI)</i> .....	148

---

A szerkesztőség a szakcikketek szaklektorálás után közli. A szaklektorok névsora az évfűző kötetben jelenik meg.  
A lapban megjelenő cikkek adatainak és állításainak helyességéért, ill. közölhetőségéért a felelősséget kizárólag a szerzők viselik.

---

## MAGYAR GEOFIZIKA

Kiadja: Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet  
1145 Budapest, Kolumbusz u. 17–23.  
Telefon: (1) 252 4999  
Felelős kiadó: dr. Fancsik Tamás igazgató  
Lombos Nyomda Kft., Budapest — Felelős vezető: Juhász Péter



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

## Tisztelt Kollégák!

### AZ EÖTVÖS LORÁND GEOFIZIKAI INTÉZET RÖVID TÖRTÉNETE<sup>1</sup>



A történet 1878-ban kezdődik, amikor a Természet-tudományi Társulat megbízta báró EÖTVÖS Lorándot, a Budapesti Királyi Magyar Tudományegyetem természettani tanszékének újonnan kinevezett tanszékvezető tanárát, hogy végezzen a gravitációval kapcsolatos kutatásokat. EÖTVÖS ugyan a kutatási feltételek hiánya miatt visszaadja a megbízást, de a téma ettől kezdve élete végéig intenzíven foglalkoztatja, és amikor néhány év múlva az egyetem új fizikai intézetének megépülésével kutatási lehetőségei javulnak, azonnal hozzá is lát céltudatos kidolgozásához.

Megalkotja a gravitációs tér változásainak mérésére szolgáló híres műszerét, amely később Eötvös-inga néven vált világszerte ismertté. Hamarosan felismeri, hogy ingája segítségével a föld mélyének a közvetlen vizsgálódás számára elérhetetlen titkai kutathatók.

Eredményeit több mint másfél évtizedes kísérleti és kutatómunka után 1906-ban Budapesten, egy nagy nemzet-

közi kongresszuson mutatja be a tudományos világnak. Bemutatója olyan lelkesedést vált ki, hogy a kongresszus beadvánnyal fordul a magyar kormányhoz, kérve EÖTVÖS kutatásainak hathatós támogatását. Az akkori magyar kormány vallás- és közoktatásügyi minisztériuma, amely gróf APPONYI Albert irányítása alatt áll, a beadvány hatására hatalmas összeget, évi 60 000 koronát bocsát EÖTVÖS rendelkezésére, azzal a kikötéssel, hogy az így finanszírozott kutatásokra egy mind személyi állományában, mind pénzügyeiben független szervezetet kell létrehoznia. Ezzel a döntésével a miniszter megteremt a világ első geofizikai intézetét, ettől kezdve beszélhetünk önálló geofizikai kutatásról. Az új szervezet, amelyet EÖTVÖS haláláig a „báró Eötvös-féle csavarási inga kísérletek” néven emlegetnek, 1907-ben kezdi meg működését. Első éveiben EÖTVÖS személyes irányításával részben az ingát igyekszik tovább fejleszteni, részben az inga gyakorlati alkalmazásának módjait, vagyis az Eötvös-inga-mérések módszertanát dolgozza ki.



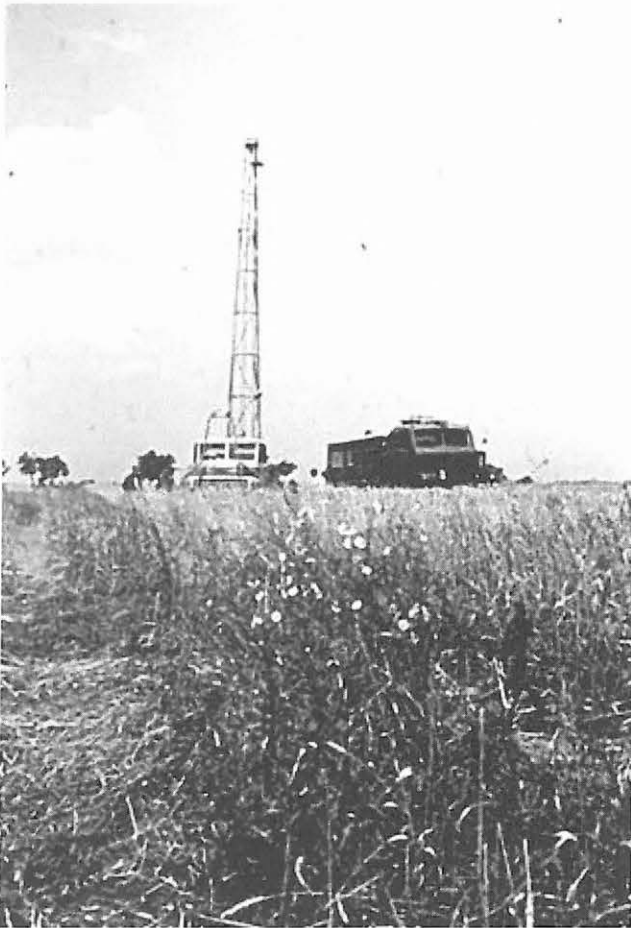
1920-as évek, Indiában

1916-ban BÖCKH Hugó geológus javaslatára EÖTVÖS-ingával felmérnek egy már működő kőolajmezőt és az ingamérésekből visszakapják a mező fúrásokból már ismert földtani szerkezetét. Erről az egebli mérésről nyugodtan állíthatjuk, hogy világtörténelmi esemény, mert ezzel születik meg a műszeres kőolajkutatás. Azt pedig, hogy a kőolaj mit jelent, ma már nem szükséges magyarázni.

EÖTVÖS 1919-ben bekövetkezett halála után a Pénzügy-minisztérium, saját Bányakutató Osztályának javaslatára,

<sup>1</sup> Elhangzott 2007. november 8-án az ELGI centenáriumiának központi ünnepségén

kikéri a Vallás- és Közoktatásügyi Minisztériumtól a Geofizikai Intézetet, amelyet az át is enged neki azzal a feltétellel, hogy az Intézet (idézem gróf HALLER István miniszter urat) „... a jövőben nem csupán csak gyakorlati célokat fog szolgálni, hanem a geofizikai tudományos kutatást továbbra is folytatni fogja...”. HALLER miniszter úr nyilván tisztában volt azzal a marxizmus igazsággal, hogy a tudás egy szinten gazdasági erővé válik, a tudatlanság viszont soha.



1960-as évek, Alföld

A Pénzügyminisztériumhoz átkerült szervezetet a nagy tudós tiszteletére ettől kezdve Magyar Királyi báró Eötvös Loránd Geofizikai Intézetnek nevezik, új vezetője PEKÁR Dezső, EÖTVÖS tanítványa és munkatársa lesz. PEKÁR igazgatása alatt az intézet elsősorban a műszeres kőolajkutatás terén játszott úttörő szerepe és geofizikai műszerfejlesztése révén igen gyorsan világszerte ismertté és elismertté válik. Eötvös-inga-mérésekkel 1922-ben fedezik fel az első komoly új kőolajlelőhelyet, az úgynevezett Nashdomot. Az pedig már a csak a magyar sors jellegzetes fricskája, hogy ez nem Magyarország, hanem az Amerikai Egyesült Államok területén történik.

Az első texasi siker után az Eötvös-inga pillanatok alatt meghódítja a világot, rövidesen már mind az öt kontinensen alkalmazzák kezdetben magyar kutatók segítségével, később önállóan is. Ezekben a kutatásokban a Geofizikai Intézet is aktív szerepet játszik, PEKÁR Dezső indiai kutatásai, ahol műszerkocsik helyett elefántokat használtak, mára már legendássá váltak. Ennél fontosabb feladata marad azonban az intézetnek az ingák továbbfejlesztése. Bár az Eötvös-inga nem volt szabadalmaztatva és EÖTVÖS maga

készséggel nyújtott mindenkinek segítséget az ingákkal kapcsolatos kérdésekben, a magyar ingákkal azonos minőségű műszereket végül nem sikerült — a német Ascania céget kivéve — szinte senkinek sem előállítani.

A harmincas évek végére az Eötvös-ingákat lassan kiszorítják az ingáknál ugyan sokkal pontatlanabb, de gyorsaságuknál fogva az ipari célú kutatásokra alkalmasabb graviméterek, és ezzel párhuzamosan a világban egy sor új geofizikai kutatási módszer jelenik meg. Az intézet nyitottságát bizonyítja, hogy az új — szeizmikus, geoelektromos és mélyfúrási geofizikai — módszereket, a műszeres hátteret részben saját fejlesztéssel teremtve meg, szinte azonnal átveszi és alkalmazni kezdi.

A második világháborút követően az intézetet kiteszik az egyetem épületéből, ahol eddig működött, és az új módszerek megjelenésével a létszámában gyarapodó intézet különböző osztályai a város több pontján szóródnak szét. Ismét változik neve is, mert királyiból államivá lesz és EÖTVÖS is elveszti bárói címét, vagyis az új név Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet. Bővül az intézet egy mágneses obszervatóriummal, amelyet először Budakeszin hoznak létre KONKOLY-THÉGE Miklós Magyarországtól elcsatolt ógyallai obszervatóriumának pótlására, majd végleges helyére Tihanyba 1954-ben kerül.

Az országban megkezdődik a „vas és acél országának” kora. Az uralkodó ideológia erőlteti a nyersanyagkutatást, és ez az intézet terepi kutatásai számára kedvező helyzetet teremt. Ugyancsak pozitívan hat az intézeti műszerfejlesztés szemszögéből, hogy az egyre jobban megosztott világban a geofizikai kutatóeszközök fokozatosan embargó alá kerülnek.



1980-as évek, az Alpokban

A nyersanyagokra szükség van, így kutatni kell, annak viszont, aki kutatni akar, meg kell teremtenie a kutatáshoz saját eszközeit. Ekkor válik nyilvánvalóvá, hogy milyen érték EÖTVÖS Lorándnak az a szellemi öröksége, amely az elméletet és gyakorlatot soha nem választotta szét, egységben kezelte az alap- és az alkalmazott kutatást, és az eszközök megteremtését, a műszerfejlesztést a kutatás magától értetődő részének tekintette. Ez a szellemi örökség volt addig is és azóta is az intézet alapvető irányítóje.

Ehhez az időszakhoz kötődik a magyar geofizika egyik leghosszabb és legeredményesebb expedíciója, melynek

keretében magyar szakemberek 1956-tól 1961-ig dolgoztak a Kínai Népköztársaság területén és fedezték fel Kína máig is legnagyobb olajlelőhelyét a Ta-csin-i olajmezőt.

Az intézet történetének következő fontos dátuma 1964. Ennek az évnek a végén kerül az intézet élére egy mai szóhasználattal élve jó kapcsolati tőkével rendelkező, fiatal szakember, dr. MÜLLER Pál, aki rendkívüli eréllyel és rendkívüli rátermettséggel veszi a kezébe az intézetet, amely irányításával egy évtized alatt az ország vezető kutatóintézetei közé emelkedik.

1970-re megépül az új intézeti központ, ahová az intézet szétszórta részeit újra egybe lehet gyűjteni. Az intézet kutatói, az Eötvös-inga fénykorához hasonlóan, ismét eljutnak a világ minden részébe, expedíciók sora indul és az intézeti műszerfejlesztés termékei rövidesen a KGST-országok minőségi műszereivé válnak. A magyar Eötvös intézetet ismét ismeri, elismeri és számon tartja a szakmai világ. Bizonyítéka ennek, hogy 1993-ban Stavangerben az Európai Kutató Geofizikusok Egyesülete az intézet egy tagját választja 1994-re elnökül.

A nyolcvanas évek végén a KGST-piac szétesése súlyosan érinti a nagyrészt erre a piacra épülő intézeti műszerfejlesztést, ugyanakkor a hazai gazdasági gondok csökkentik a hazai kutatási igényeket is. 1990-től kezdve nagyon jelentős méretű szakember-kiáramlás indul meg az intézetből és részben, sajnos, az országból is. Nehézségeinek kezelésére az intézet külföldi lehetőségek után néz, ebben sikerrel is jár, azonban 1993 őszén, a dollármilliókat ígérő szíriai expedíció indulásának előestéjén, az aktuális kormány éppen hivatalban lévő minisztere a még meglévő

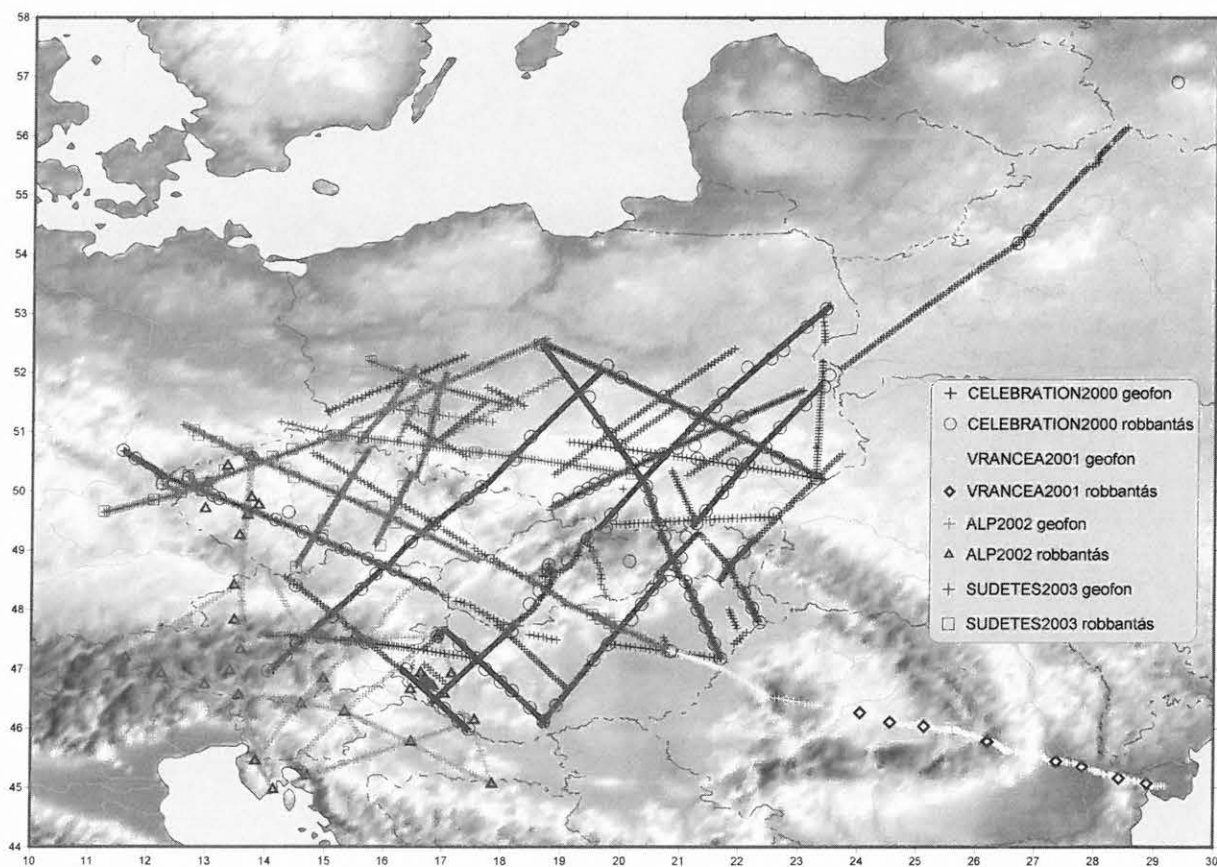
intézeti létszám 80%-ának azonnali elbocsátását rendeli el, végkielégítésük fedezetéül pedig az intézeti ingatlanok eladását javasolja. Hála a sikerévtizedek hagyatékának, az utóbbira nem került sor, de az ötödére zsugorodott és anyagilag lenullázott intézet nem gondolkozhat többé expedíciókban.

A következő közel másfél évtizedben az intézet a Magyar Geológiai Szolgálat háttérintézeteként szerepel. 1993 után feladatait újra kell gondolja és sorait újra kell rendeznie. Régi feladatai mellett itt nyilvánvaló új feladatként jelenik meg a korábbi időszak felbecsülhetetlen értékű geofizikai adattömegének gondozása és hozzáférhetővé tétele, ezen túl azonban a kutatás terén megmarad az eötvösi recept: gondolkodj, készíts eszközt, mérd, következtess.

Az új évezred új intézeti eredményei azt mutatják, hogy ez sikerül, az egyre mostohább körülmények között is kontinentális, esetenként globális méretű nemzetközi kutatási programok részese az intézet és a legújabb műszerei az elmúlt évek során a Spitzbergáktól az Antarktiszig igen sok helyen dolgoztak, illetve dolgoznak ma is. Csak példaként említeném, hogy a tihanyi obszervatóriumban kifejlesztett földmágneses mérőműszert az Egyesült Államok mágneses obszervatóriumaiban szabványosították.

Ezzel el is értem napjainkhoz, a történet folytatását egyelőre nem látjuk. Személy szerint én azt kívánom a születésnapos intézetnek, hogy huszonöt év múlva ugyanígy ünnepelhessenek. Újra! Ugyanitt!

*Bodoky Tamás*



Az ezredfordulót követő litoszféra projektek helyszínrajza

## TISZTELET AZ ÉVEKNEK

*Sok szeretettel köszöntjük senior tagtársainkat, különös tisztelettel azokat, akik idén kerek évfordulós születésnapot ünnepeltek. Sokan közülük ma is aktívan részt vesznek az egyesület életében és a geofizikai kutatásokban. További sok sikert, sok örömet, derűs, békés hétköznapokat, jó egészséget és szép ünneplést kívánunk Mindannyiuknak.*

Köszöntjük

*85. születésnapja alkalmából*

JESCH Aladár gépészmérnököt,  
LISZT Ferenc okleveles geofizikust;

*80. születésnapja alkalmából*

LAKATOS Sándor közgazdászt,  
Dr. SZEMERÉDY Pál fizikust,  
Dr. TAKÁCS Ernő bányamérnököt;

*75. születésnapja alkalmából*

BAGI Róbert geofizikus-mérnököt,  
BOLDIZSÁR István geológust,  
DUDÁS József geofizikust,  
Dr. GONDOZÓ Györgyöt,  
HAJAGOS Béla egyetemi tanárt,  
HERMESZ Miklós geológusmérnököt,  
Dr. LACZKOVICS József okleveles geofizikust,  
Dr. MAJOROS György geofizikus-mérnököt,  
MÁRHOFFER József olajipari mérnököt,  
MIKLÓS Gergely mérnök-geofizikust,  
Dr. MÜLLER Pál geofizikus-mérnököt,  
PINTÉR Anna okleveles geofizikust,  
Dr. POLCZ Iván bányageológust,  
Dr. STEINER Ferenc egyetemi tanárt,  
SZABÓ Istvánné technikust,  
SZABÓ Zoltán okleveles geofizikust,  
TIRKALA Ferenc geofizikus-mérnököt,  
VÁROSI Alfrédot,  
ZSILLE Antalt;

*70. születésnapja alkalmából*

Dr. ANDRÁSSY László geofizikus-mérnököt,  
BÁRÁNY Tibor technikust,  
GAZDAG Jenő okleveles geofizikust,  
Dr. MÜLLER Imre okleveles geológust,  
SCHÖNVISZKY László bányageológus-mérnököt,  
SZALAI Béla okleveles geofizikust,  
SZALAY István bányageológus-mérnököt.

*Kérjük, erejükhez mérten támogassák továbbra is a hazai geofizika ügyét!*

*A Magyar Geofizikusok Egyesülete nevében  
Hegybíró Zsuzsanna*



JESCH Aladár



LISZT Ferenc



LAKATOS Sándor



Dr. SZEMERÉDY Pál



Dr. TAKÁCS Ernő



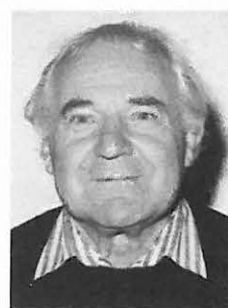
BAGI Róbert



BOLDIZSÁR István



DUDÁS József



Dr. GONDOZÓ György



HERMESZ Miklós



Dr. LACZKOVICS József



MÁRHOFFER József



Dr. MÜLLER Pál



PINTÉR Anna



Dr. POLCZ Iván



Dr. STEINER Ferenc



SZABÓ Zoltán



TIRKALA Ferenc



ZSILLE Antal



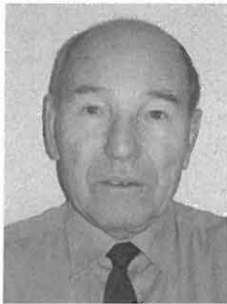
Dr. ANDRÁSSY László



BÁRÁNY Tibor



Dr. MÜLLER Imre



SCHÖNVISZKY László



SZALAY István

## A SZENIOROK BIZOTTSÁGÁNAK HÍREI

2007. május 30-án a Szeniorok Bizottságának rendezésében látogatást tettünk az Országos Meteorológiai Szolgálat pestszentlőrinci obszervatóriumában. A rendezvényen 16 tagtársunk vett részt. Az obszervatórium munkáját LAKATOSNÉ FANTA Márta és VARGA Miklós meteorológusok vezetésével ismerhettük meg. Meglepetéssel tapasztaltuk, hogy a számítástechnika eszközeivel milyen részletes áttekintést kaphatunk a meteorológiai viszonyokról. Szemléletessé tették számunkra a meteorológiai műholdak működését is.

A legnagyobb élményt mindnyájunknak az jelentette, hogy közelről megtekinthettük egy ballonszonda indítását, amelyet a közelben levő Ferihegyi Repülőtérrel egyeztetett időpontokban bocsátanak fel.

Köszönettel tartozunk a szíves meghívásért és a szak-szerű és érdekes bemutatóért az obszervatórium vezetőinek és valamennyi munkatársának.

*Aczél Etelka,  
a Szeniorok Bizottságának elnöke*

# A CEL07 mélyszeizmikus szelvény újraértékelése<sup>1</sup>

POSGAY KÁROLY<sup>2</sup>, KOVÁCS ATTILA CSABA<sup>2</sup>, CSABAFI RÓBERT<sup>2</sup>, BODOKY TAMÁS<sup>2</sup>,  
HEGEDŰS ENDRE<sup>2</sup>, FANCSIK TAMÁS<sup>2</sup>, RIGLER BALÁZS<sup>2</sup>

A mélyszerkezet-kutató szeizmikus hálózatban mért CEL07 szelvény adatainak kiegészítésével, bejelölésének átvizsgálásával, újraszerkesztésével és értelmezésével kapott eredmények a szelvény menti szerkezetek megismeréséhez új adatokat adtak. A Keleti-Alpok és a Pannon-medence tektonikai szerkezetének kutatása egyre újabb ismereteket eredményez. A szerzők az utóbbi években kialakult képet vázolják és egészítik ki a CEL07 újbóli értelmezésének adataival.

A Kőszeg–Rohonci-hegység és környékének penninikumi korú kibúvásaitól DNy-ra futó szelvényből a Kőszeg–Rohonci kiemelkedés Ny-i folytatására lehet következtetni, amely a Tauern tektonikai ablak irányába esik. Ezt a nyúlványt (vagy gerincet) a felső kéregben az izosebesség-vonalak 4–6 km-es kiemelkedése mutatja.

A Cseh tömb, a Balaton-vonal közelében (fúrásokból ismert) paleozoós kiemelkedések táján, továbbá a metamorf medencealjzatú Tisza egység szakaszán is a felsőkéregbeli izosebesség-vonalak feldomborodnak.

Az Északi-Mészkő-Alpok, a Dunántúli-középhegység fiatal üledékekkel takart folytatása és a Száva egység mezozoós része alatt a felső kéreg izosebesség-vonalai elmélyülnek.

A kéreg-köpeny határ mélysége a szelvény mentén a Cseh tömb alatt 35 km, a Központi-Alpok alatt 35–38 km, a Pelsoi és a Száva egységek alatt 27–28 km táján várható. A Közép-magyarországi vonaltól DK-re eső szelvényrészén a középső kéregben az izosebesség-szintek ugrásszerűen emelkednek, és valószínűnek látszik, hogy a Tisza egység sebességképe jelentősen eltér a szelvény többi részétől. A kéreg-köpeny határ a sebességugrással összhangban kisebb, kb. 25 km mélység körül lehet.

**K. POSGAY, A. Cs. KOVÁCS, R. CSABAFI, T. BODOKY, E. HEGEDŰS, T. FANCSIK, B. RIGLER:**  
**Reinterpretation of CEL07 deep seismic profile**

*The deep seismic profile, CEL07 was shot in the year of 2000 in the frame of the CELEBRATION 2000 seismic experiment. The authors reprocessed the CEL07 data. The reprocessed dataset provides new information about the geologic structures crossed by the profiles. Referring to those structures the paper outlines the present ideas developed in the last few years and completes it by the results of CEL07's new interpretation.*

*From the profile running SW of the Penninic outcrops of Kőszeg–Rechnitz mountains and its neighbourhood it is possible to infer a westward continuation of the Kőszeg–Rechnitz uplift which can be followed towards the Tauern tectonic window. That continuation (or crest) is indicated by an ascent of 4–6 km of the iso-velocity lines in the upper crust. Those iso-velocity lines in the upper crust also rise at the Bohemian massif, at the Paleozoic uplifts known from drillings along the Balaton Line as well as at the metamorphic basement of the Tisza unit.*

*The iso-velocity lines of the upper crust are getting deeper below the Northern Calcareous Alps, below the covered continuation of the Transdanubian Central Range as well as below the Mesozoic parts of the Sava unit.*

*Along the profile, below the Bohemian massif the crust-mantle boundary can be found in a depth of 35 km, below the Central Alps that is 35–38 km and below the Pelso and Sava units it is expected to be 27–28 km. SE of the Mid-Hungarian Line in the middle crust the iso-velocity lines suddenly rise, thus it seems to be likely that the Tisza unit differs from the other parts crossed by the profile considerably. In line with the velocity jump here the depth of the crust-mantle boundary may be even less, i.e. about 25 km.*

## 1. Bevezetés

A 2D és 3D tomografikus feldolgozásra is alkalmas szeizmikus kéregkutató mérések hálózata [GUTERCH et al. 1999; GRAD et al. 1999; GUTERCH et al. 2000; BODOKY et al. 2001] lefedte Közép-Európa területét. A CELEBRATION 2000 program keretében mért CEL07 szelvényt [adatok: GUTERCH et al. 2003] az ALP 2002 program során kiegészítették [adatok: BRÜCKL et al. 2003]. A két kutatási program során a CEL07 szelvény ausztriai és magyarországi részén észlelt szeizmikus felvételek együttes feldolgozását és értelmezését ismertetjük ebben a tanulmányban. Az újrafeldolgozás a refraktált első beérkezések időadataira alkalmazott „simított” tomográfia algoritmusával

történt [HOLE 1992; ZELT, BARTON 1998; BODOKY et al. 2001; MAJDAŃSKI et al. 2006].

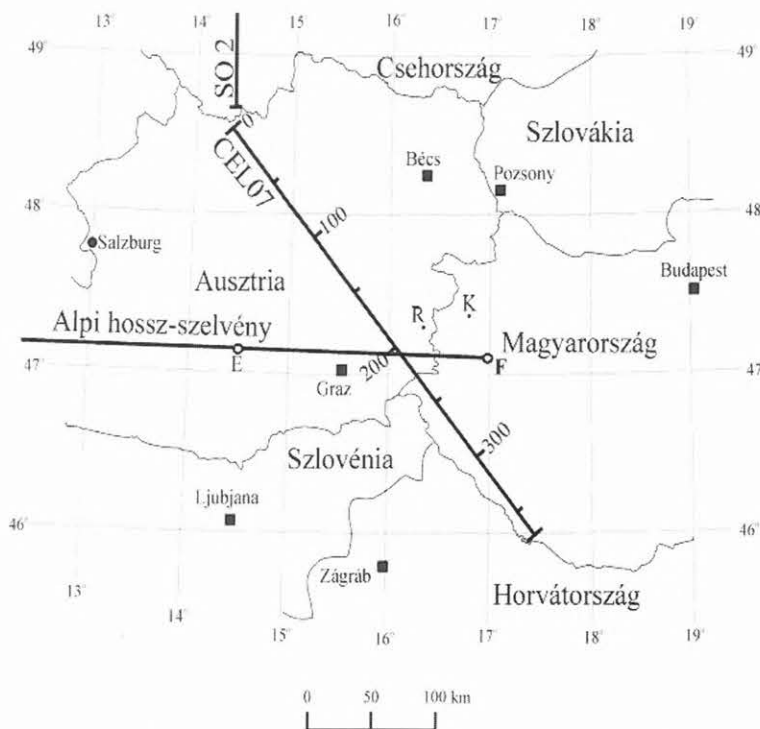
A CEL07 az osztrák–cseh határnál kezdődik és a magyar–horvát határon ér véget (1. ábra). Harántolja a Cseh tömb déli részét (2. ábra), a Flis övet, az Északi-Mészkő-Alpok, a Keleti-Alpok központi részét, a Pannon-medencerendszer Grazi- és Zala-medencéit, a Száva egységet, és a Tisza nagyszerkezeti egységen fejeződik be.

## 2. Figyelembe vett földtani-geofizikai ismeretek

Az egyes nagytektonikai egységek korábbi (tercier, mezozoós, paleozoós) elhelyezkedésének leírása csak nagy bizonytalansággal készíthető el [SCHMID et al. 2006]. A szelvény értelmezésének megkönnyítésére egy közelítő elképzelés vázolását kíséreljük meg. Az egyes elméletekből ismert óceánok feltételezett ofiolit- és varratközeteinek elterjedési vázlatát [CSONTOS, VÖRÖS 2004 alapján] mutatja a 3. ábra.

<sup>1</sup> Beérkezett: 2007. május 14-én

<sup>2</sup> Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet,  
H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17–23.



1. ábra. A CEL07, az Alpi hossz-szelvény, az S02, és a Kőszeg és Rohonc környéki szeizmikus szelvények (K, R) helyszínrajza

Fig. 1. Location map of the CEL07 profile, the W-E Alpine transect, the S02 profile and the seismic profiles in the Kőszeg-Rechnitz area (K, R)

tak ki. Itt lehettek azok a területek is, amelyekből a szelvény által harántolt (Ausztroalpi, ALCAPA, Tisza) nagyszerkezeti egységek keletkeztek [VÖRÖS 2001].

A jurában, Afrika kelet felé tolódásakor, az Atlanti-óceán felszakadásakor a Liguri–Pennini–Vahik-óceánok keletkeztek, és a térséget transzform törések tördelték fel. Az alsó jurában kinyíló Pennini–Vahik-óceánok [CSONTOS, VÖRÖS 2004] a késői középső jurában választották el az európai lemeztől az Ausztroalpi egységet [HAAS, PÉRÓ 2004], vagy annak D-i részét [SCHMID et al. 2006], továbbá a Belső-nyugati Kárpáti egységet.

Az alsó krétában az Ausztroalpi egység (vagy annak egy része) az Adriai (Apuliai) mikrokontinens mezozoós szegélyéhez tartozhatott [LINZER, RATSCHBACHER, FRISCH 1995]. A középső krétában, az eo-alpi hegyképző fázisban az afrikai és az európai lemezek közeledésekor a kéreg mélyebb kőzeteire is nagy (10 kilobar = 1 GPa) nyomás hatott [CASTELLARIN et al. 2006]. A Pennini-óceán litoszférája az Adriai mikrolemez alá tolódott [HÁMOR 1984; DEWEY 1989]. A Pennini-óceán bezárult [VÖRÖS 2001]. A Tauern alatti tektonikai lejtő (Sub-Tauern Ramp: [LÜSCHEN et al. 2006; BLEIBINHAUS, GEBRANDE 2006]) alsó részén feltolódó adriai lemezrész alsó kérgé jelentős nyomást gyakorolhatott a felnyomódó kőzetekre. Az eocénben [BALLA 1988] szárazföldi ütközés során a Keleti-Alpokban NyÉNy irányú feltolódások keletkeztek [RATSCHBACHER, NEUBAUER 1989; GIESE, BUNESS, ROEDER 1991]. Az Adriai lemezzel együtt mozgó Ausztroalpi egység rátolódott a pennini és helvéciai rétegekre [FRISCH, GAWLICK 2003; FRANK, SCHLAGER 2005] Az Északi-Méző-Alpok, amelyek az Ausztroalpi takarórendszer részét képezik [SCHMID et al. 2006], a paleozoós Grauwacke övvel együtt [BRÜCKL 2006] a korábbi alaptól elváltak, és rátolódtak a Rhenodanubiai

A permotriász Tethys (Neotethys) óceán passzív, Gondwanához tartozó (európai) pereme távolabbi környékén helyezkedhetett el a Cseh tömb [GAWLICK 2006]. Felszíne dél felé az oligocén–középső miocén korú molassz, az erre tolódott Flis öv és az Ausztroalpi takarók alatt legalább 50 km hosszon feltételezhető [BACHMANN, DOHR, MÜLLER 1982; WESSELY 1987; BRÜCKL et al. 2006].

Az S02 szelvény [MAJDAŃSKI et al. 2006] az osztrák–cseh határ északi oldalán, a CEL07 szelvény északnyugati végétől közel 20 kilométerre végződik (1. ábra). A kéreg–köpeny határfelületet itt 35 km mélységben határozták meg. A „simított” tomográf szerkesztésről azt írták, hogy a felülethatárok mélysége a határfelület feletti és a határfelület alatti sebesség középértéke táján valószínű. Kutatási területükön az alsó kéregben a longitudinális hullámok terjedési sebessége 6,8–7 km/s, a köpeny felső részében 8–8,2 km/s, a kéreg–köpeny határfelület az említett módszernél 7,3–7,5 km/s táján lehet.

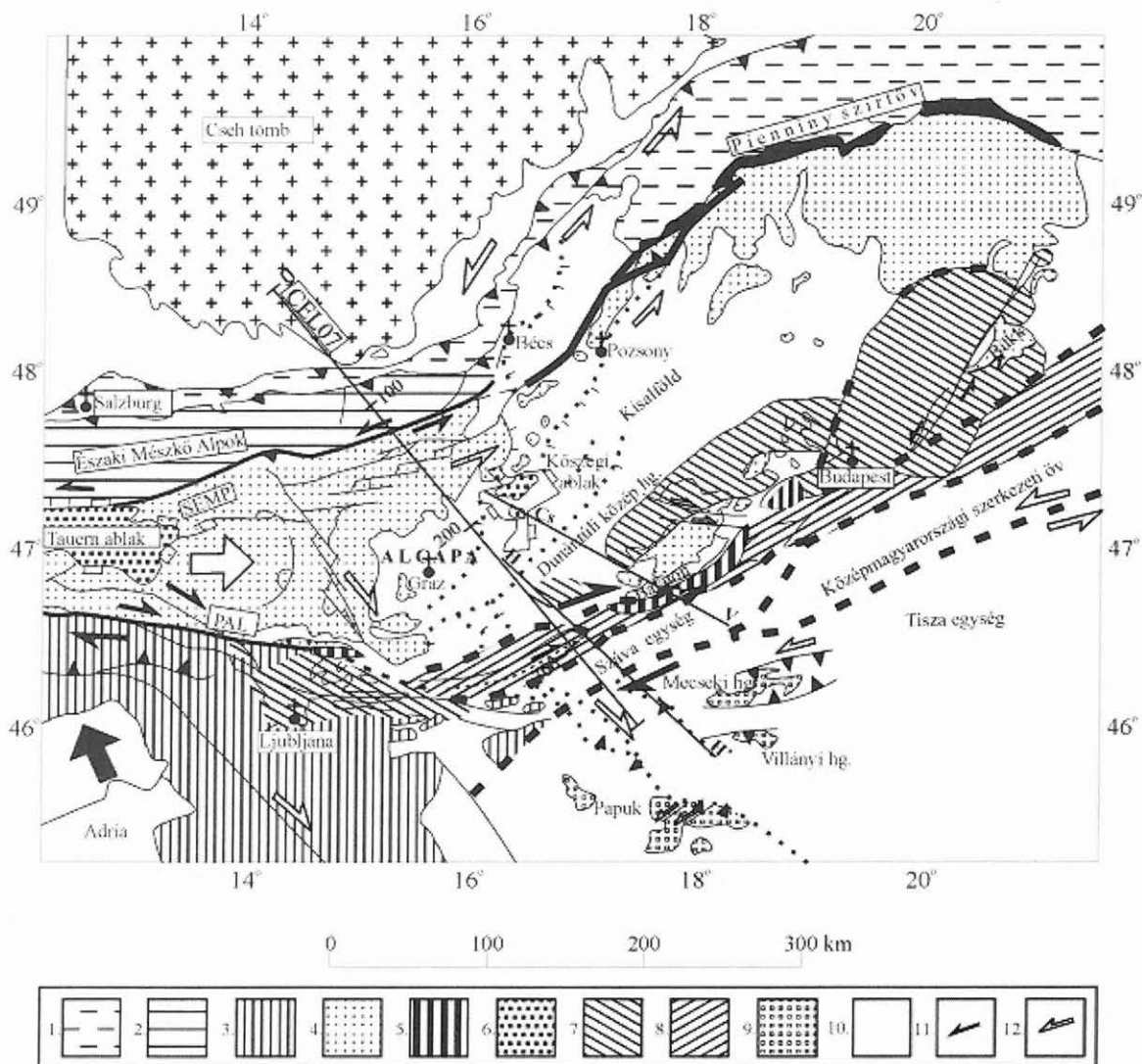
A középső triász idején a Tethys-óceán (Neotethys: [SCHMID et al. 2006], Meliata: [KOVÁCS 1982]) nyugati partszegélyén — közelítőleg párhuzamos — közetsávok alakul-

flisre [LINZER, RATSCHBACHER, FRISCH 1995; FRISCH, GAWLICK 2003].

A kontinensek közeledésekor a Tauern mélyebb kőzetei felgyűrődtek és a Tauern alatti tektonikai lejtő menti feltolódás során jelentősen kiemelkedtek. A 30–35 km-re becsült felemelkedés az utóbbi 40 Ma alatt, főleg az alsó-középső miocénben (15–20 Ma [DUNKL, DEMÉNY 1997; DUNKL, FRISCH 2003]) történt és ma is észlelhető [SZÉKELY et al. 2006]. A kiemelkedés É–D irányú rövidüléssel és K–Ny irányú tágulással járt [PFIFFNER 1992, CASTELLARIN et al. 2006]. Ezzel a szerkezettel magyarázható, hogy a Tauern ablak alatt 10 km tengerszint alatti mélységben [ANSORGE, BLUNDELL, MUELLER 1992].

A Tauern ablak legmélyebbről ismert kőzetei (prekambriumi–alsó paleozoikum, 309–295 Ma időszakban keletkezett metagneisz, grafitos kőzetek és metabázitok) az európai aljzathoz tartoznak. A felette levő vékony (felső karbon–alsó perm) metaszediment rétegeken Pennini óceáni (metaszediment, metaofiolit) rétegek, majd az Ausztroalpi takarók találhatóak. A Pennini rétegek ofiolitjaiból arra következtetnek, hogy ezek az óceáni lemez szubdukciója után keletkeztek. A Pennini és az Ausztroalpi takarós szerkezet viszont a kontinens–kontinens ütközés után alakulhatott ki.

A Keleti-Alpokban az Ausztroalpi takarók alól négy tektonikai ablakban jelennek meg a Pennini egységek: Móltern, Bernstein, Rohonc–Kőszeg és Vashegy környékén [RATSCHBACHER, BEHRMANN, PAHR 1990]. A CEL07 szelvény előzetes feldolgozásán is látszik a Tauern ablak és a Kőszeg–Rohonci ablakok közé eső részen egy kiemelkedő, nagysebességű összet [BODOKY et al. 2001]. A Pennini ablakok kőzetei mezozoósak, melyek polifázisú alakváltozással metamorfizálódtak. A CEL07 szelvény közelében,



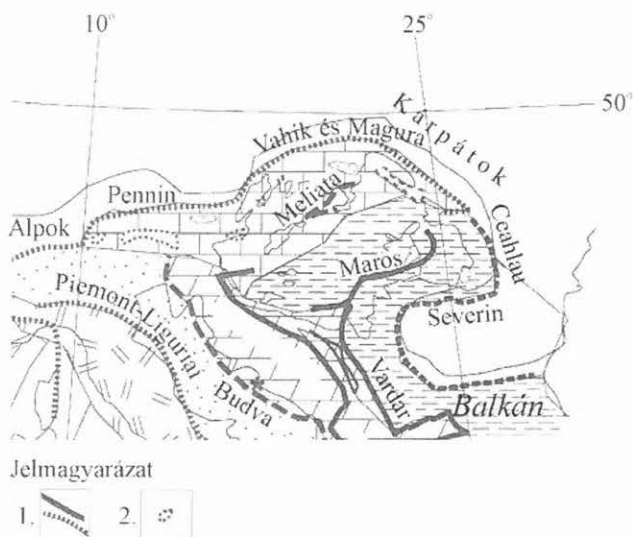
2. ábra. A CEL07 szelvény geológiai környezete FODOR et al. [1998] tektonikai vázlatának felhasználásával. Cs–V-vel jelöltük a 4. ábrán, H–H'-vel az 5. ábrán látható szelvény helyét. Jelmagyarázat: 1 — Flis öv és gyűrt molassz; 2 — Északi-Mésző-Alpok; 3 — Déli-Alpok, Külső-Dinaridák; 4 — ALCAPA pre-tercier egységei; 5 — gránit; 6 — Pennini egységek; 7 — paleogén; 8 — Középmagyarországi szerkezeti öv É-i sávja; 9 — Tisza szerkezeti egység pre-tercierje; 10 — fiatal üledékek; 11 — alsó miocén eltolódás; 12 — középső miocén – kvarter eltolódás

Fig. 2. Sketch of the geology along profile CEL07 [after FODOR et al. 1998]. Cs–V — location of the section of Fig. 4; H–H' — location of the section of Fig 5; 1 — Flis belt and folded molasse; 2 — Northern Calcareous Alps; 3 — Southern Alps, Outer Dinarides; 4 — Pre-Tertiary units of ALCAPA; 5 — Granite; 6 Penninic units; 7 — Paleogene; 8 — Northern zone of Mid-Hungarian Tectonic Belt; 9 — Pre-Tertiary part of Tisza unit; 10 — Young sediments; 11 — Early Miocene strike slip faults; 12 — Middle Miocene–Quaternary strike slip faults

tőle keletre levő Kőszeg–Rohonci-hegység penninikumi (szerpentinesedett ofiolit: metagabbro és zöldpala, továbbá metaszediment) közetek ki fokozottan metamorfizáltak [HAAS et al. 2001]. A metamorfózis kora 28–31 Ma, ami megfelel a Tauern ablakon meghatározott kornak [LELKESNÉ 1998]. A Kőszeg és a Vashegy környéke tektonikai denudációja a zirkon (200°C) fission-track meghatározás szerint 13–23 Ma, illetve az apatit (110°C) meghatározás szerint 7–10 Ma, azaz a Tauern ablakénál valamivel fiatalabb lehetett [DUNKL, DEMÉNY 1997]. A Kőszegtől keletre mért K szeizmikus szelvény (1. ábra) mentén lemélyített fúrásban 560 m mélyen elért fillit határsebessége 5300 m/s [KAKAS 1969].

Az 1975-ben mért Alpi hossz-szelvény és a CEL07 találkozásánál a hossz-szelvényben két (30–33 km és 40–43 km) mélységben határozta meg kéreg–köpeny ha-

tárfelületet [YAN, MECHIE 1989]. Az osztrák–cseh–magyar együttműködéssel készült kéreg–köpeny határ mélység-térkép szerint a CEL07 mentén a mélypont a 147 km szelvénykaró táján van. Mélysége 38 km. A 35 km szintvonalat a szelvény 121 és 167 km-nél metszi. A határfelület DK felé emelkedik, a 32 km mélység 185 szelvénykilométernél van [POSGAY et al. 1991]. A Rohoncól délnyugatra mért (az 1. ábrán R betűvel jelölt) mélyreflexiós szelvényben a kéreg–köpeny határ és a közvetlenül felette levő reflexiók nyugat felé dőlnek [WEBER, SCHMÖLLER, FRÜHWIRTH 1996]. LENKEY [1999] doktori disszertációjában a korábbi szeizmikus adatok szintézisével készített kéreg–köpeny határ térképén a CEL07 ausztriai szakaszán a mélységadatok lényegében egyeznek az 1991-ben közöltekkel. A CEL07 magyarországi szakaszán a kéreg–köpeny határ DK felé emelkedik 28 km tájáról 25 km közelébe.



3. ábra. Mezozoós óceáni ofiolit és varrat öv képződmények vázlata [CSONTOS, VÖRÖS 2004 után]. 1 — ofiolit és varrat övi képződmények; 2 — tektonikai ablak ofiolitokkal

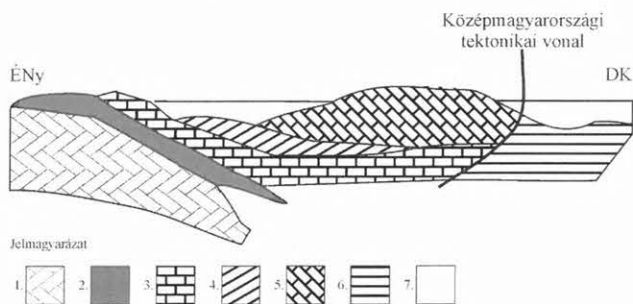
Fig. 3. Sketch of Mesozoic oceanic ophiolite belt and suture zone formations [after CSONTOS, VÖRÖS 2004]. 1 — ophiolite belt and suture zone formations; 2 — tectonic windows with ophiolites

Az ALCAPA az Ausztróalpi, a Pennini, a Tátra-Vepori és a Pelsoi egységekből alakult ki [KOVÁCS et al. 1996-97, HAAS et al. 2001]. Az ALCAPA Afrika–Arábia és Eurázia további közeledésekor, az Adria blokk nyomására kelet, majd északkelet felé mozgott. A kinyomódás kezdete a felső eocénra [CSONTOS et al. 1992, KOVÁČ et al. 1993] tehető. A Dunántúli-középhegység mintáin végzett paleomágneses vizsgálatok eredményei szerint a Pelsoi egység az eocénban Európához és Afrikához viszonyítva is forgott [MÁRTON 2001]. Tekintettel arra, hogy a mezozoikumban a Dunántúli-középhegység együtt mozoghatott a Déli-Alpokkal [MÁRTON 1997], az eocén forgás alátámasztja a zónából történt eltávolodást [MÁRTON 1993]. A lényeges mozgás felső oligocéntól alsó miocénig (22–18 Ma) valószínűsíthető [FODOR et al. 1998, 1999]. Az elmozdulást a Keleti-Alpok gravitációs összeomlása [HORVÁTH 1993; BADA et al. 2001; HUISMANS, PODLADCHIKOV, CLOETINGH 2002], és a Magura-óceán szubdukciós küszöbének hátrálása is növelte [CSONTOS et al. 1992; HORVÁTH, TARI 1999].

A kinyomódott rész nyugaton a Tauern ablaknál kezdődik [FODOR et al. 1998]. A kinyomódás elmozdulási zónák mentén történt, amelyekre a felszínközeli nyírási jelenségekből és geofizikai eredményekből következtethetünk. Az északi zóna menti elmozdulások jelentős része — a CEL07 szelvényt keresztező — SEMP (Salzach–Ennstal–Mariazell–Puchberg, 2. ábra) tektonikai vonal mentén történhetett [LINZER, RATSCHBACHER, FRISCH 1995]. Ennek folytatása az ALCAPA északi oldalán valószínűleg a Pienniny szirtöv lehetett [BADA, HORVÁTH 2001; HAAS, PÉRO 2004] (2. ábra). A szirtöv 600 km hosszú és néhány km széles varrat. Transzpressziót, oldalas nyírást, vízszintes rövidülést és magassági hosszabbodást mutattak ki az övben [RATSCHBACHER et al. 1993]. Az elmozdulások az ALCAPA déli oldalán a PAL (Periadriai-vonal) [SCHMID et al. 1989] és annak folytatásaként értelmezhető Balaton-

vonal [HAAS et al. 2000, GÉCZI 1973] környékén levő zónában történhetek (2. ábra) [FODOR et al. 1998].

A magyarországi szelvényrész szerkezete érzékelhető a 4. ábrán, amelyet CSONTOS, VÖRÖS [2004] ábrája alapján vázoltunk. Szelvényük a Kőszeg–Rohonci ablakról indul, és DK irányban halad (helyét az 2. ábrán Cs–V-vel jelöltük). Elképzelésük szerint az Ausztróalpi takarók a Dunántúli-középhegység alatt is folytatódnak. Feltételezhető, hogy a Dunántúli-középhegység mezozoós-paleozoós kibúvásaitól délnyugatra levő eltemetett, a CEL07 szelvény tájára eső részén is a középső–ausztróalpi takaró metamorfittjai felett, szerkezeti határral felső–ausztróalpi anchimetamorf ópaleozoós sorozat található. Erre tektonikus határral, vagy diszkordanciával észak-karavankai, vagy dunántúli-középhegységi jellegű perm-mezozoós üledéksor települ [FODOR et al. 2003]. E szerint a felfogás szerint a fő szerkezeti határok közel vízszintes nyírózónák, vagy normálvetők lehetnek. A geokronológiai adatok kétfázisú (felső kréta és miocén) lecsúszást jeleznek. Az eredményekből a Dunántúli-középhegység egység lecsúszására és a lecsúszás előtti kréta takarós szerkezetére lehet következtetni. A dunántúli-középhegységi téren nem vett részt az alpi metamorfózisban és a Déli-Alpokkal mutat rokonságot [KOVÁCS et al. 2000].

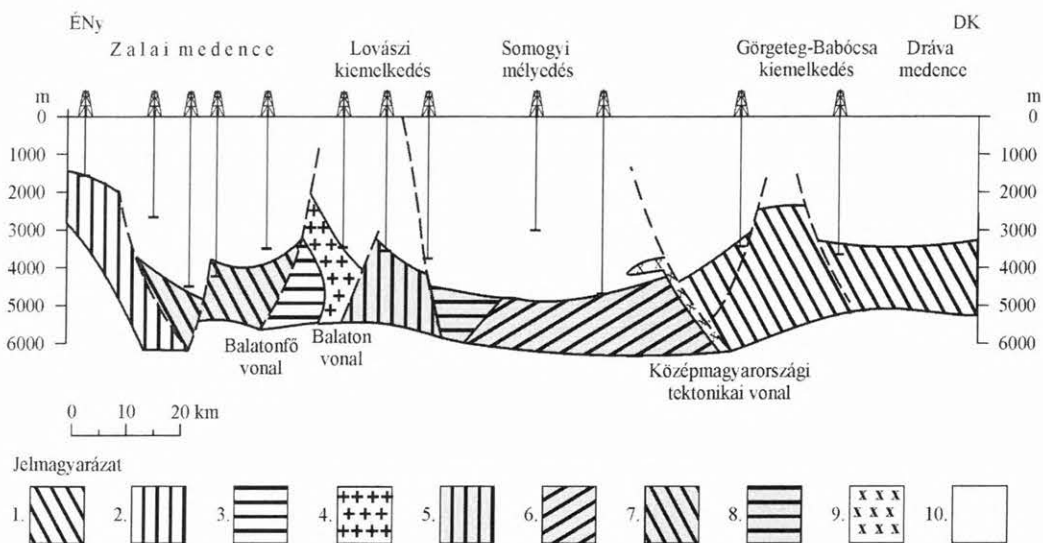


4. ábra. A Kőszeg–Rohonci-hegységtől DK irányban haladó vázlatos szelvény [CSONTOS, VÖRÖS 2004]. Helyét a 2. ábrán Cs–V-vel jelöltük. Jelmagyarázat: 1 — Metamorf alap; 2 — Pennini rétegek; 3 — Alsó- és Középső-Ausztróalpi takarók; 4 — Grazi paleozoikum; 5 — Dunántúli-középhegységi összlet; 6 — Száva rétegek; 7 — Kainozoós összlet

Fig. 4. Sketchy geological section SE of Kőszeg–Rechnitz mountains, its location is indicated by Cs–V on Fig. 2 [CSONTOS, VÖRÖS 2004]. 1 — Metamorphic Complex; 2 — Penninic

Complex; 3 — Lower-Middle Austroalpine nappes; 4 — Graz Paleozoic Complex; 5 — Transdanubian Range Unit Complex; 6 — Sava Complex; 7 — Cenozoic basin fill

Részletesebb szelvény látható az 5. ábrán, melyet HAAS és HÁMOR [HAAS et al. 2001] ábrája alapján vázoltunk. A CEL07 hazai szakasza közelében, azzal hegyesszöget bezárva fut (helyét a 2. ábrán H–H-vel jelöltük). A CEL07 szelvény mentén közvetlenül a neogén rétegek alatt az Ausztróalpi összlet a Rába-vonalig található. A Zalai-medence neogénje alatt a Dunántúli-középhegységre jellemző mezozoós rétegek ismertek. A Dunántúli-középhegység a pre-tercier paleogeográfiai elhelyezkedése folytán dél-alpi fácies viszonyokat tükröz, de a jelenlegi tektonikai helyzete azonos az Ausztróalpi takarókkal [HAAS et al. 2000]. A felső perm-triász időszakban a Zalai-medence és a Bakony DNy-i része a tengerpart szárazföld felé eső felén lehetett [HAAS, BUDAI 1995].



5. ábra. Szentgotthárd–Villány közötti geológiai szelvény ÉNy-i része [HAAS et al. 2001]. Helyét a 2. ábrán H–H'-vel jelöltük. Jelmagyarázat: 1 — Baksa ösleszt (variszkuszi); 2 — Felső-Ausztróalpi metamorf ösleszt (szilur-devon); 3 — Balatoni Fillit ösleszt (ordovici-devon); 4 — Velencei Gránit formáció (felső karbon); 5 — Száva egység (tengeri perm); 6 — Száva egység (mezozoós); 7 — Dunántúli-középhegységi rétegek (tengeri triász); 8 Száva egység (tengeri triász); 9 — Andezit (alsó miocén); 10 — Üledék és riolituffa (neogén)

Fig. 5. North-western part of the Szentgotthárd–Villány geological section [HAAS et al. 2001], its location is indicated by H–H' on Fig. 2. 1 — Baksa Complex (Variscan); 2 — Upper Austroalpine Metamorphic Complex (Silurian-Devonian); 3 — Balaton Phyllite Group (Ordovician-Devonian); 4 — Velence Granite Formation (Upper Carboniferous); 5 — Sava Unit (Marine Permian); 6 — Sava Unit (in general Mesozoic); 7 — Transdanubian Range Unit (Marine Triassic); 8 — Sava Unit (Marine Triassic); 9 — Andesite (Early Miocene); 10 — Sedimentary layers and rhyolite tuffs (Neogen)

A Balaton-vonal közelében, attól ÉNy-ra, a szlovén-magyar határtól a Velencei-hegységig poszt-variszkuszi granitoidok ismertek [KÖRÖSSY 1988]. A CEL07 szelvény közelében, Pusztamagyaród környékén a granitoid batolit felső karbonnál idősebb, főként üledékes kőzetek anchizónás (nagyon alacsony fokú) kontakt metamorfózist okozta [ÁRKAI 1987].

A Balaton-vonal és a Közép-magyarországi vonal között a Száva egységet [HAAS et al. 2000] találjuk. Ezt az egységet és ÉK-i folytatását nevezte el WEIN [1969] Igal-Bükk Eugeoszinklinálisnak, majd KOVÁCS et al. [2000] — a DNy-i csatlakozó szerkezeteket figyelembe véve — Zagorje-Közép-dunántúli összetett terrénnek. A Száva egység egy erősen nyírt zónában tartalmazza a szlovén-horvát egységek folytatását: a Julian-Alpok, a Dél-Karavankák, továbbá a Dinaridák és a Vardar öv ofiolitos és metamorfizált egységeit [KOVÁCS et al. 2000].

A Közép-magyarországi vonaltól DK-re a CEL07 szelvény végéig a Tisza egység rétegsora képezi a neogén medence alját. A Tisza nagyszerkezeti egység a variszkuszi hegyképző szakaszban alakult ki az európai variszkuszi öv részeként [KOVÁCS 1982; HAAS, HÁMOR 1998; HAAS et al. 2001; HAAS, PÉRO 2004]. A triászban a Tethys É-i részén, Európa közelében lehetett, és az Ausztróalpi területhez tartozhatott [KOVÁCS et al. 1996-97]. A Severin-Ceahlau-Magura-óceán kinyílásával az európai parttól csak a középső jura felső részén különültek el a Tisza téren főbb egységei [BLEAHU et al. 1994; MÁRTON 2000; CSONTOS, VÖRÖS 2004]. A pre-alpi szakaszban multifázisú metamorfizáció és anatektikus gránitosodás történt a variszkuszi hegyszerkezeti övben és a hasonló kifejlődésű Tisza egységben (viszont a nagyobb fokú metamorfizáció hiánya jellemzi az ALCAPA és a hasonló

kifejlődésű Dél-alpi-Dinári egységeket). A Tisza egységnek a krétában takarós szerkezete lett [BLEAHU et al. 1994; KOVÁCS et al. 1996-97; HAAS et al. 2001]. Az ALCAPA és a Tisza egység a paleogén végén – miocén elején egyesült [CSONTOS et al. 1992]. A CEL07 szelvény a Tisza egység Babócsa szubterrénnek [SZEDERKÉNYI 1996], illetve Szlavónia-Dráva egységnek [HAAS et al. 2001] elnevezett részén fut. A neogén medence alját variszkuszi tektonikai fázisban középfokon metamorfizált gneisz — csillámpala és milonitos amfibolit beágyazásokkal — alkotja [TÖRÖK 1990].

A CEL07 magyarországi szakasza előzetes szeizmikus szelvényének alaphegységi része kb. 10 km mélységig mutat részletesebb képet [BODOKY et al. 2001; HEGEDŰS 2005; KISS 2005]. A Balaton-vonal és a Közép-magyarországi vonal táján a nagyobb sebességet jelző szintek DK felé felemelkednek.

A Bouguer-anomália gradiensének texturális szűrésével meghatározott térképből [KISS 2006] jól lehet következtetni a tektonikai zónák térbeli lefutására.

SZARKA T037694 jelű OTKA pályázata kapcsán vázolt magnetotellurikus, továbbá gravitációs automatikus hatókijelölési szelvényen 15 km mélységig jelentkező függőleges anomáliák láthatók, amelyek az ismert tektonikai vonalakkal jó egyezést mutatnak [KISS 2005; FEJES et al. 2005].

A földmágneses hatók áttekintő térképén Szentgotthárdnál egy kis (1 km) mélységű paleozoós ható látható. A CEL07 285–290 km közötti részén 1,8 km mélységben paleogén hatót mutat a térkép [POSGAY 1967]. Ezt az anomáliát KISS, SZARKA, PRÁCSER [2005] szerint egy 10 km mélységben levő, végtelen hosszúságú, másodrendű mágneszettségű testtel is lehet értelmezni. A Hahót-Ederics környéki fúrások leírásakor a neogén medence

mezozoós aljzatába behatoló vulkáni kőzeteket KÖRÖSSY [1988] eocén andezitnek valószínűsíti. A mai leírások szerint is a Zala-medence és a Velencei-hegység mészkő-alkáli vulkánosságára középső és felső eocén korú [KOVÁCS et al. 2000].

### 3. Menetidőgörbék

Az első beérkezéseket szűrt szeizmogramokon jelöltük be (6. ábra). A sávszűrés tartományát az első beérkezések környékén meghatározott frekvenciaspektrum felhasználásával választottuk ki. A robbantópontok közelében 4, 8 – 20, 25 Hz, a távolabbi ágaknál 1, 3 – 13, 18 Hz sávot alkalmaztunk. A kölcsönös ponti menetidők egyeztetése után különös figyelmet fordítottunk a fedő menetidőgörbék alakjának összehasonlítására is. A pannon rész-medencék szembeötlő időkésléltetéssel jelentkeznek a menetidőgörbéken. A kisebb energiát adó robbantásokkal kapott szeizmogramok bejelölésénél a fedőágak jó ellenőrzési lehetőséget adtak. Az időkéslést a tomográf szelvény szerkesztésekor — a nyersanyag- és nagyszerkezet-kutatási adatok felhasználásával készített — kiindulási sebesség-szelvény gondos összeállításával igyekeztünk figyelembe venni. A harmadkori medence aljzata mélységét elsősorban a publikált adatok alapján [KILÉNYI et al. 1991] határoztuk meg. A felszíni magasságszelvény az észlelési helyek magasságát tükrözi.

Az első beérkezések menetidői (6. ábra) tükrözik a szelvény menti szerkezetváltozást. A szelvény DK-i részén a robbantópontok közelében, a redukált menetidőgörbéből meghatározható látszólagos sebesség 3 km/s körül van. Ez redukálatlan menetidőgörbe esetén 2,2 km/s-nak, azaz egy fiatal üledéknek felel meg. A szelvény ÉNy-i részén a robbantópont közelében 20–22 km/s redukált, azaz 5,7–5,8 km/s redukálatlan, konszolidált kőzetnek értelmezhető longitudinális sebességérték határozható meg.

A kéreg-köpeny határról érkező beérkezések a DK-i robbantópontoktól 110–120 km távolságra előzik meg a kéreggel azonosítható hullámokat, ami megfelel a Tisza és Száva tektonikai egységek alatt 25–30 km mélységben feltételezett mélységnek. Az ÉNy-i robbantópontok közül csak a 27010 jelűből tételezhető fel kéreg-köpeny határról első beérkezés 170–180 km távolságban. Ez összhangban van az Alpok alatti kéreg-köpeny határ nagyobbak (35 km) vélt mélységével.

A tomográf-szelvény meghatározásánál a modellezést 3D algoritmussal végeztük, és az inverziónál 2D megoldást alkalmaztunk [MAJDAŃSKI et al. 2006]. A közelítőleg felvett sebességteret több lépésben (50x10 km, 25x5 km, 10x2,5 km) pontosítottuk. Az egyszerűsített tomográf-szelvény a 6. ábra alsó felében látható. Könnyebb áttekinthetőség érdekében csak néhány izosebesség-vonalat ábrázoltunk. (Több izovonallal megszerkesztett szelvény a 8. ábrán látható.) A 7. ábrán bemutatott sugársűrűség felhasználásával hagytuk el a szelvényvégeken a kisebb megbízhatóságú részeket.

### 4. Az új feldolgozás eredményei

A tomográfiával készített mélységszelvény (8. ábra) ÉNy-i részén, a Cseh tömb alatt a nagyobb sebességű réte-

gek kisebb mélységben helyezkednek el. Feltételezhető, hogy a kéreg alján a nagyobb sebességű rétegek (azaz az alsó kéreg) vastagabbak, mint az Alpok alatt. Ez összhangban van a Cseh tömb variszkuszi kialakulásával, illetve a feltételezett alálapolódásával [HRUBOVÁ et al. 2005].

A Cseh tömbtől a SEMP tektonikai vonal felé az izosebesség-vonalak mélysége növekszik. LINZER, RATSCHBACHER, FRISCH [1995] szerint a molassz, a Flis elmélyül és az Északi-Mészkő-Alpok többszörösen egymásra tolódott perm-mezozoós rétegsora D felé fokozatosan vastagodik. A Mitterbach-1 fúrás alapján a CEL07 100. szelvénykilométer környékén a perm alatti alsó elválasztó sík mélysége 5 km lehet. A rétegsor alján található grauwacke szint gyengén metamorfizálódott [LINZER, RATSCHBACHER, FRISCH 1995]. Feltételezhető, hogy az elmélyülő izosebesség-vonalak a kivastagodó, nem metamorfizált mezozoós rétegsorral és az alatta csak gyengén metamorfizált rétegekkel hozhatók összefüggésbe.

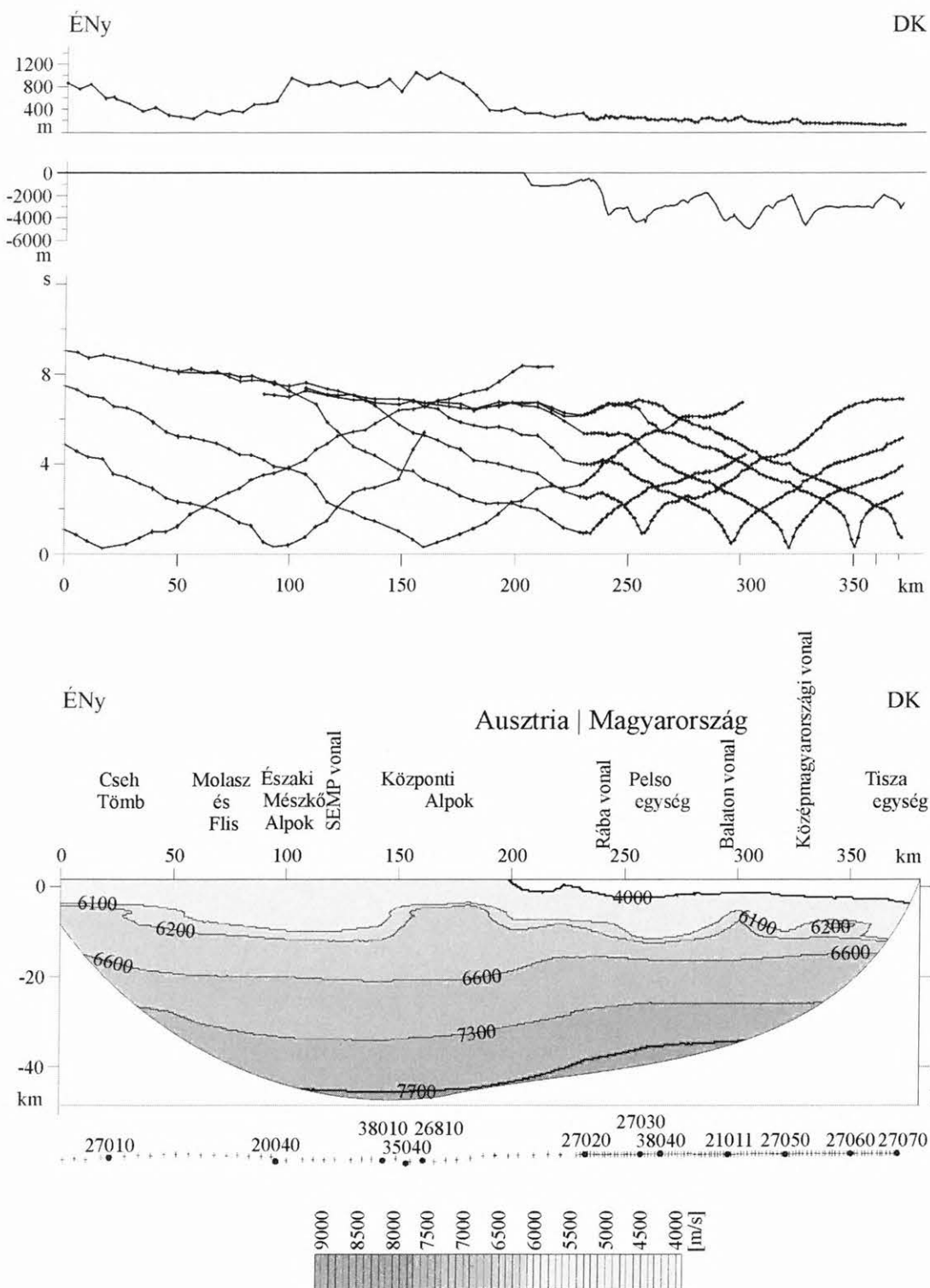
A SEMP eltolódási vonaltól délre a 6 km/s izosebesség-vonal emelkedik. Ez azzal magyarázható, hogy a SEMP vonal menti eltolódás következtében a Grauwacke öv közel 2 km-el kisebb mélységbe került és az Ausztróalpi alaphegység kőzetei is feltételezhetők az elválasztó sík felett [LINZER, RATSCHBACHER, FRISCH 1995].

Feltételezve, hogy MAJDAŃSKI et al. [2006] Cseh tömb alatti kéreg-köpeny határ sebességére vonatkozó elképzelése az Alpok alatt is jó közelítésnek tekinthető, a kéreg-köpeny határ mélységét erre a területre is a 7,4 km/s értékű izosebesség-vonallal jellemezhetjük. Eszerint a CEL07 mentén a kéreg-köpeny határ mélypontja (38,5 km) 140 szelvénykilométer táján lehet. Ez jó egyezést mutat a korábbi térképi ábrázolással is [POSGAY et al. 1991]. Délkelet, azaz a Balaton-vonal felé a feltételezett kéreg-köpeny határ táján 8–10 km nagyságú emelkedés érzékelhető.

A Központi-Alpok alatt, a CEL07 150–190 szelvénykilométere között a 6,1 és a 6,2 km/s izosebesség-vonalak 4–6 km kiemelkedést mutatnak. A nagyobb sebességek domborulata a Tauern és a Kőszeg–Rohonci-hegység összekötő vonalába esik. A Tauern, továbbá a Kőszeg–Rohonci-hegység metamorfózisa [HAAS et al. 2001] és kiemelkedési ideje [DUNKL, DEMÉNY 1997; DUNKL, FRISCH 2003] is hasonló. Arra következtethetünk, hogy a Tauern és a Kőszeg–Rohonci-hegység környékén található európai szárazföldre és partjához kapcsolódó (prekambriumi, paleozoós és pennini) kőzetek a két ablak között is több helyen kiemelt vonulatot alkotnak. Ez a szerkezet a kontinentális ütközés [LÜSCHEN et al. 2006; BLEIBINHAUS, GEBRANDE 2006] során alakulhatott ki. A CEL07 ezt a vonulatot keresztezheti. Lehetséges az is, hogy a gerinc kevésbé kiemelt részein (pl. a CEL07 táján is) az Ausztróalpi takarók inkább megmaradtak, mint az ismertebb, kibúvásos részekben.

A kiemelt vonulattól DK-re a középső kéregben az izosebesség-vonalak enyhén feldomborodnak. Reméljük, hogy a környező szelvények feldolgozásakor kapott adatok lehetővé teszik ennek a jelenségnek térbeli értelmezését.

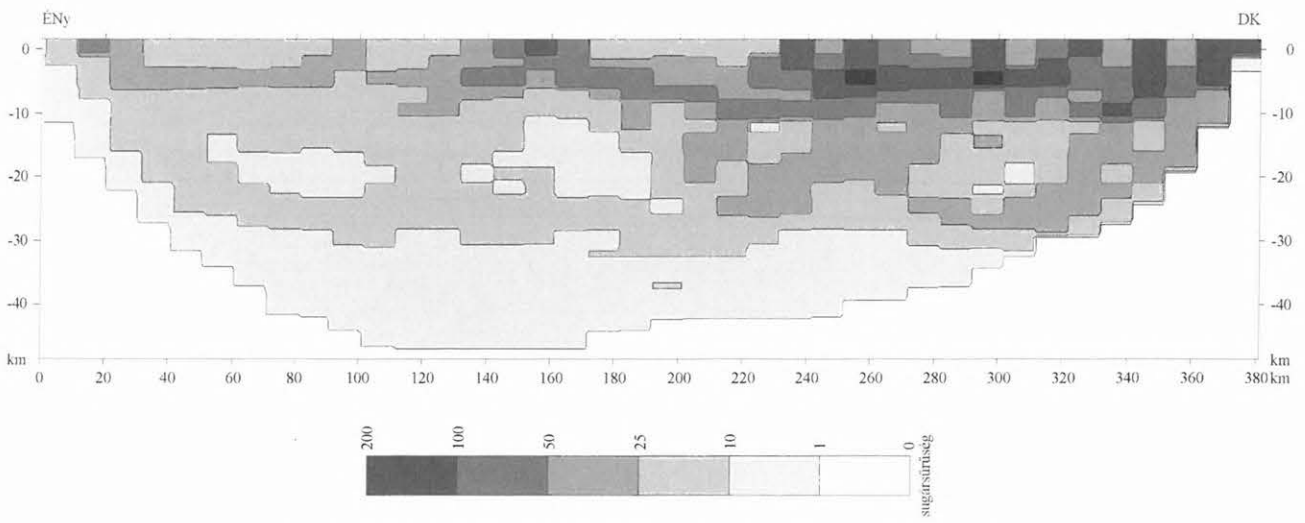
A CEL07 200 szelvénykilométerétől DK-re a 4 km/s-nál kisebb sebesség jelenik meg a felszín közelében. Ez az idősebb kőzetek felszínének elmélyülését és a kevésbé tömörödött, fiatal talajok, kőzetek felszínközeli megjelenését jelzi. A 200–220 szelvénykilométer táján a Grazi-medence szélét harántolja a szelvény.



6. ábra. Első beérkezések 8 km/s-mal redukált menetidői és a simított tomográf algoritmussal számított, egyszerűsített szelvény. Az ábra felső részén a felszín magasságszelvénye, alatta a kainozoos üledékek medencealjazatának mélységszelvénye látható.

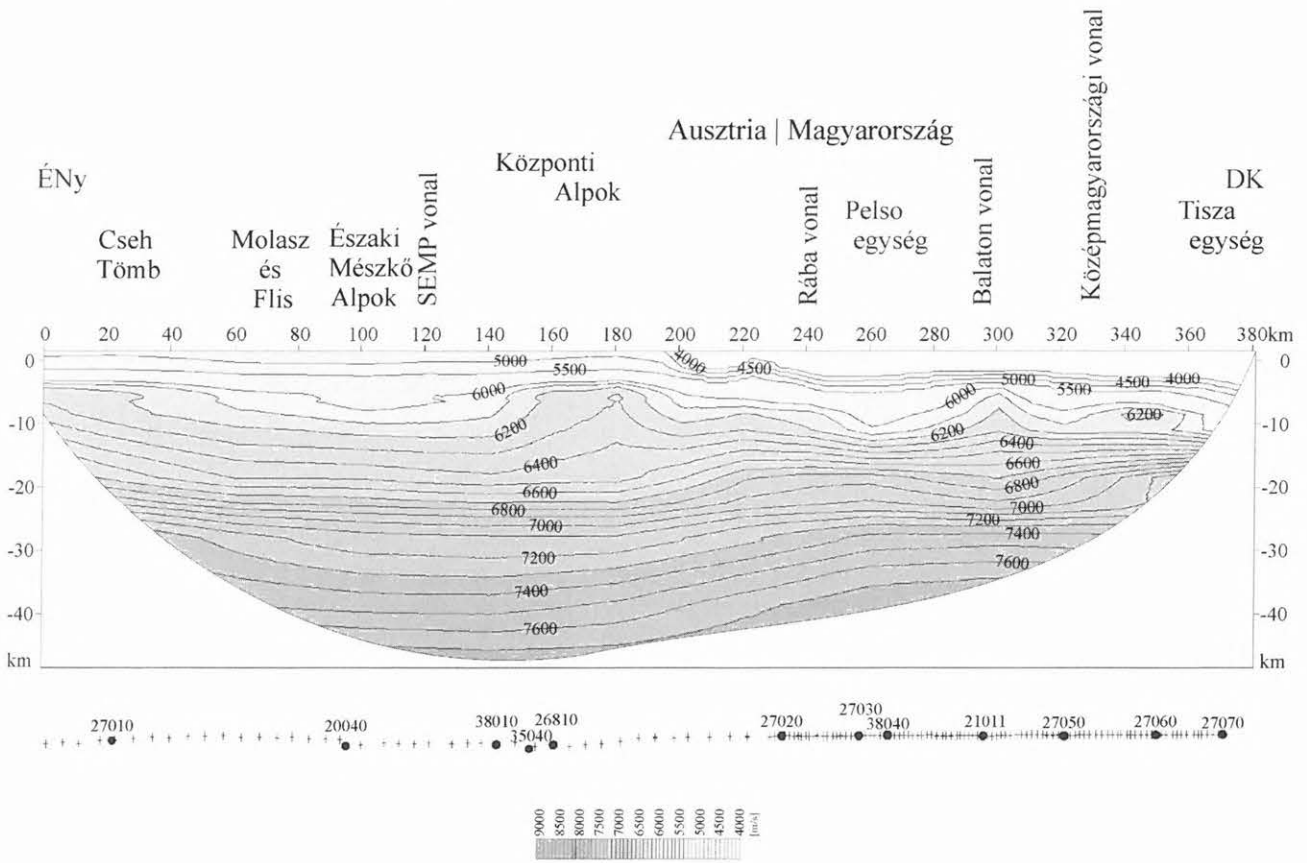
A szeizmikus mélységszelvény alatt az észlelési, továbbá a robbantási helyeket, majd alatta a sebességtartományok szürke árnyalatait ábrázoltuk

Fig 6. First arrival times (reduced by 8 km/s) along the profile CEL07 and a symplified velocity model from smoothed tomographic inversion. (From the top of the figure downwards: topographic section of the surface, topographic section of the bottom of Kainozoic basin fill, velocity-depth model, locations of recording stations and source points, scale of the velocity)



7. ábra. A CEL07 tomográf szerkesztésénél meghatározott sugársűrűség-szelvény

Fig. 7. Raypath density distribution at the velocity model of Fig. 8



8. ábra. A CEL07 tomográf szeizmikus szelvény

Fig. 8. Seismic velocity model along the profile CEL07 from tomographic inversion

A Rába- és a Balaton-vonal között a 6 km/s izosebességű vonal elmélyül. Ez a Dunántúli-középhegység folytatásában ismert mezozoós kőzetekhez [KÖRÖSSY 1988; KOVÁCS et al. 2000; FODOR et al. 2003] kapcsolható. A Dunántúli-középhegységben 8500 m vastag paleo-mezozoós üledékképződés tétélezhető fel [KÖRÖSSY 1982]. Ezek a kőzetek nem vagy csak nagyon kis mértékben metamorfizáltak [HAAS et al. 2001]. Valószínű,

hogy a kisebb sebességtartomány kivastagodása ezzel értelmezhető.

A Balaton-vonal táján a 6 km/s izosebesség-vonal jelentős kiemelkedést mutat a szelvény mentén. A Balaton-vonaltól ÉNy-ra a mélyfúrásokból karbonkori gránit és paleozoós kőzetöv ismert [ÁRKAI et al. 1987; FODOR et al. 1998]. A gránit 250–290 Ma táján történt behatolásakor a környező kőzeteket átalakította. A Balaton-vonaltól DK-re

mélyített fúrásokból egy keskeny sávban alsó és felső permi kőzetek ismertek (Déli-Karavanka egység [HAAS et al. 2001]). Feltételezhető, hogy az izosebesség-vonalak kiemelkedése a gránitív és az idősebb kőzetek kisebb mélységű megjelenésének együttes hatása.

A Száva egység további részén nem, vagy csak enyhén metamorfizált felső perm – jura rétegeket találunk. Ezen a szelvényrészén a 6, 6,1 km/s értékű izosebesség-vonalak mélyebben helyezkednek el.

A Közép-magyarországi vonaltól DK-re megjelenő variszkuszi metamorf rétegek képezik a medencealjzatot. A sebességértékek mind az 5–10 km, mind a 15–25 km mélységtartományban jelentősen nagyobbak, mint a Közép-magyarországi vonaltól ÉNy-ra. Ebből a Tisza egységnek a Száva egységtől jelentősen eltérő felépítésére következtetünk.

### Következtetések

Az Ausztróalpi kőzetek a jurában szakadhattak el az európai kontinensről, és a krétában már a Adriai (Apuliai) mikrokontinens mezozoós szegélyéhez tartozhattak [CSONTOS, VÖRÖS 2004]. Az európai szárazföldre és partjához földtörténetileg kapcsolódó prekambriumi, paleozoós és penninikumi kőzetekre az eocén folyamán, a kontinensek ütközésekor az Adriai-mikrolemez előterét képező Ausztróalpi takarók tolódtak rá [RATSCHBACHER, NEUBAUER 1989]. Az Alpok központi vonalában az utóbbi 40 millió évben, de főleg az alsó és középső miocénben jelentős kiemelkedés történt [DUNKL, DEMÉNY 1997; DUNKL, FRISCH 2003]. A CEL07 szeizmikus szelvényben (8. ábra) a tauerni és a kőszeg-rohonci penninikumi korú kőzetkibúvások között elképzelt sáv keresztezésénél a felső és középső kéregben az azonos sebességet jelentő vonalak felfele domborodnak. A 6,1–6,2 km/s vonalak feldomborodásának nagysága 4–6 km. Arra következtetünk, hogy a Kőszeg-Rohonci ablak Ny felé egy eltakart gerincben folytatódik. A feltételezett gerinc táján az Ausztróalpi takaró alatti, az európai kontinens történetéhez kötődő kőzetek kisebb mélységben helyezkednek el.

Szembetűnő, hogy az Északi-Mészkő-Alpok, a Dunántúli-középhegység fiatal üledékekkel takart folytatása és a Száva egység mezozoós része alatt a felső kéreg izosebesség-vonalai elmélyülnek. Az Északi-Mészkő-Alpokban a nem metamorfizált, nagy vastagságú, feltorlódott, főleg karbonátos összlethez [LINZER, RATSCHBACHER, FRISCH 1995] kapcsolható a jellegzetes sebességkép. A Pelsoi egységet keresztező szelvényrészén a nem (vagy csak nagyon gyengén) metamorfizált [HAAS et al. 2001], vastag [KÖRÖSSY 1988] üledékekkel magyarázható a jelenleg. A Száva egység középső és a Közép-magyarországi vonal közelébe eső részén (Julian-Savinja, Dél-Zala, Kalnik alegység) [HAAS et al. 2001] nem metamorfizált triász karbonátok, továbbá tektonikai hatásra nagyon gyengén metamorfizált felső permi – jura medencealjzattal indokolható a sebességkép.

A Cseh tömb, a Központi-Alpok, a Balaton-vonal közelében (fúrásokból ismert) paleozoós kiemelkedések táján, továbbá a metamorf medencealjzattú Tisza egység szakaszán az izosebesség vonalak feldomborodnak.

A CEL07 ÉNy-i részének sebességképe összhangban van a Cseh tömb Moldanubikumi egységének variszkuszi

metamorf kőzeteivel. A Központi-Alpokról leírtak szintén illeszkednek ehhez a képhez. A Balaton-vonalnál ismert gránitál és idősebb perm kőzetekkel szintén magyarázható a feldomborodó sebességanomália. A Tisza egység kristályos kőzetei a variszkuszi Moldanubikum övével párhuzamosíthatók [BUDA 1996].

A leírtak alapján jó közelítésnek látszik az a feltételezés, hogy a felső kéregben az izosebesség-vonalak elmélyüléséből főleg mezozoós, nagyrészt karbonátos és nem vagy csak gyengén metamorf, a sebességvonalak feldomborodásából paleozoikumi vagy idősebb metamorf kőzetekre következtetünk.

A közölt szelvény és a korábbi litoszféra-kutató eredmények összevetése alapján jónak látszik az a közelítés [MAJDAŃSKI et al. 2006], hogy simított tomográf szerkesztésnél kéreg-köpeny határfelület mélysége a 7,3–7,5 km/s izosebesség-vonalak között helyezkedik el. A szelvény mentén a Cseh tömb alatt 35 km, a Központi-Alpok alatt 35–38 km, a Pelsoi és a Száva egységek alatt 27–28 km táján várható a kéreg-köpeny határ mélysége. A Közép-magyarországi vonaltól DK-re eső szelvényrészén a kéreg-köpeny határ mélysége a kisebb sugársűrűségű tartományba esik. A középső és felső kéregben ezen a részen az izosebesség-szintek ugrásszerűen emelkednek. Figyelembe kell vennünk, hogy a szelvényvégek általában bizonytalannal értelmezhetők. Ennek szem előtt tartásával lehetségesnek látszik, hogy a Tisza egység sebességképe jelentősen eltér a szelvény többi részétől és a kéreg-köpeny határ is a leírt sebességugrással összhangban kisebb kb. 25 km mélység körül valószínűsíthető.

### Köszönetnyilvánítás

Ezúton is köszönjük MÉSZÁROSÉ JELLINEK Beátának az irodalom megszerzésében, BANCUI Gábornénak az ábrák elkészítésében nyújtott lelkiismeretes segítségét. Köszönjük HAAS Jánosnak és KOVÁCS Sándornak az alpi térképek és irodalom átadásával, KUMMER Istvánnak a fúrási adatok összegyűjtésében nyújtott segítségét.

### HIVATKOZÁSOK

- ANSORGE J., BLUNDELL D., MUELLER St. 1992: Europe's lithosphere — seismic structure. *In: A Continent Revealed, The European Geotraverse (Eds: BLUNDELL D., FREEMAN R., MUELLER St.)*. Cambridge University Press
- ÁRKAI P. 1987: New data on petrogenesis of metamorphic rocks along the Balaton lineament, Transdanubia, W-Hungary. *Acta Geol. Hung.* **30**, 3–4, 319–338
- BADA G., HORVÁTH F. 2001: On the structure and tectonic evolution of the Pannonian Basin and surrounding orogens. *Acta Geol. Hung.* **44**, 2–3, 301–327
- BADA G., HORVÁTH F., CLOETINGH S., COBLENTZ D. D., TÓTH T. 2001: Role of topography-induced gravitational stress in basin inversion: The case study of the Pannonian basin. *Tectonics* **20**, 3, 343–363
- BACHMANN G. H., DOHR G., MÜLLER M. 1982: Exploration in a Classic Thrust Belt and its Foreland: Bavarian Alps, Germany. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin* **66**, 2529–2542

- BALLA Z. 1988: A Kárpát-Pannon régió nagyszerkezeti képe a felsőeocénben és e kép hatása a mezozoos Tethys-rekonstrukciókra. *Földt. Közl.* **118**, 11–26
- BLEAHU M., HAAS J., KOVÁCS S., PÉRO CS., MANTEA G., BORDEA Ș., PANIN S., BÉRCZI-MAKK A., ȘTEFĂNESCU M., KONRÁD Gy., NAGY E., RÁLISCH-FELGENHAUER E., SIKIĆ K., TÖRÖK Á. 1994: Triassic facies types, evolution and paleogeographic relations of the Tisza Megaunit. *Acta Geol. Hung.* **37**, 3–4, 187–234
- BLEIBINHAUS F., GEBRANDE H. 2006: Crustal structure of the Eastern Alps along the TRANSALP profile from wide-angle seismic tomography. *Tectonophysics* **414**, 51–69
- BODOKY T., BRUECKL E., FANCSIK T., HEGEDŰS E., POSGAY K., CELEBRATION Szervező Bizottság és Kutató csoport 2001: CELEBRATION 2000, nagyszabású projekt a litoszférakutatásban. *Magyar Geofizika* **42**, 1, 15–21
- BRÜCKL E., BODOKY T., HEGEDŰS E., HRUBCOVÁ P., GOSAR A., GRAD M., GUTERCH A., HAJNAL Z., KELLER G. R., ŠPIČÁK A., ŠUMANOVAC F., THYBO H., WEBER F., ALP 2002 Working Group 2003: ALP 2002 seismic experiment. *Studia geophysica et geodaetica*, Prague **47**, 671–679
- BRÜCKL E., BLEIBINHAUS F., GOSAR A., GRAD M., GUTERCH A., HRUBCOVA P., KELLER R., MAJDAŃSKI M., ŠUMANOVAC F., TIIRA T., YLINIEMI J., HEGEDŰS E., THYBO H. 2007: Crustal structure due to collisional and escape tectonics in the Eastern Alps region based on profiles ALP01 and ALP02 from the ALP 2002 Seismic Experiment. *Journal of Geophysical Research*, **112**, B06308, doi:10.1029/2006JB004687
- BUDA G. 1996: Correlation of Variscan granitoids occurring in Central Europe. *Acta Mineral. Petrogr.* **37**, 24
- CASTELLARIN A., NICOLICH R., FANTONI R., CANTELLI L., SELLA M., SELLI L. 2006: Structure of the lithosphere beneath the Eastern Alps (Southern sector of the TRANSALP transect). *Tectonophysics* **414**, 259–282
- CSONTOS L., NAGYMAROSY A., HORVÁTH F., KOVÁCS M. 1992: Tertiary evolution of the Intra-Carpathian area: a model. *Tectonophysics* **208**, 221–241
- CSONTOS L., VÖRÖS A. 2004: Mesozoic plate tectonic reconstruction of the Carpathian region. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* **210**, 1–56
- DEWEY J. F., HELMAN M. L., TURCO E., HUTTON D. H. W., KNOTT S. D. 1989: Kinematics of the western Mediterranean. *In: COWARD M. P., DIETRICH D., PARK R. G. (Eds), Alpine Tectonics*, Geological Society Special Publication No. 45. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh, Boston, Melbourne
- DUNKL I., DEMÉNY A. 1997: Exhumation of the Rechnitz Window at the border of the Eastern Alps and Pannonian Basin during Neogene extension. *Tectonophysics* **272**, 197–211
- DUNKL I., FRISCH W. 2003: Thermochronologic constrains on the Late Cenozoic exhumation along the Alpine and West Carpathian margins of the Pannonian basin. *EGU Stephan Mueller Special Publication Series* **3**, 135–147
- FEJES I., KISS J., MADARASI A., PRÁCSER E., SÖRÉS L., VARGA G. 2005: Zárójelentés az ELGI „Új irányzatok a magnetotellurikában” témájú OTKA pályázatban végzett munkájáról
- FODOR L., CSONTOS L., BADA G., GYÖRFI I., BENKOVICS L. 1999: Tertiary tectonic evolution of the Pannonian Basin system and neighbouring orogens: a new synthesis of palaeostress data. *In: DURAND B., JOLIVET L., HORVÁTH F., SÉRANNE M. (Eds): The Mediterranean Basins: Tertiary extension within the Alpine Orogen*. Geological Society, London, Spec. publ. **156**, 295–334
- FODOR L., JELEN B., MÁRTON E., SKABERNE D., CAR J., VRABEC M. 1998: Miocene-Pliocene tectonic evolution of Slovenian Periadriatic fault: Implications for Alpine-Carpathian extrusion models. *Tectonics* **17**, 5, 690–709
- FODOR L., KOROKNAI B., KADOSA B., DUNKL I., HORVÁTH P. 2003: A Dunántúli-középhegységi egység („Bakony”) takarós helyzete szlovéniai szerkezeti-geokronológiai adatok alapján. *Földtani Közlöny* **133**, 4, 535–546
- FRANK W., SCHLAGER W. 2005: Jurassic strike slip versus subduction in Eastern Alps. *International Journal of Earth Sciences (Geol. Rundsch.)*, DOI 10.1007/s00531-005-0045-7
- FRISCH W., GAWLICK H. J. 2003: The nappe structure of the central Northern Calcareous Alps and its disintegration during Miocene tectonic extrusion — a contribution to understanding the orogenic evolution of the Eastern Alps. *International Journal of Earth Sciences (Geol. Rundsch.)* **92**, 712–727. DOI 10.1007/s00531-003-4
- GAWLICK H.-J. 2006: Eastern Alps (Northern Calcareous Alps, Drau-Range). *Kézirat*
- GÉCZI B. 1973: Lemeztektonika és paleogeográfia a Kelet-Mediterrán mezozoos térségben. *Geonómia és Bányászat. MTA X. Oszt. Közl.* **6**, 1–4, 219–225
- GIESE P., BUNESS H., ROEDER D. 1991: The fragmented lithosphere of the Northwestern Adriatic microplate as revealed by deep seismic sounding. *In: GIESE P. et al. (Eds): Joint interpretation of geophysical and geological data applied to lithospheric studies*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 217–245
- GRAD M., JANIK T., YLINIEMI J., GUTERCH A., LUOSTO U., TIIRA T., KOMMINAHO K., SRODA P., HÖNIG K., MAKRISS J., LUND C. E. 1999: Crustal structure of the Mid-Polish Trough beneath the Tornquist-Teisseyre Zone seismic profile. *Tectonophysics* **314**, 145–160
- GUTERCH A., GRAD M., THYBO H., KELLER G. H., The Polonaise Working Group 1999: POLONAISE' 97 — an international seismic experiment between Precambrian and Variscan Europe in Poland. *Tectonophysics* **314**, 101–121
- GUTERCH A., GRAD M., KELLER R., POSGAY K., VOZÁR J., ŠPIČÁK A., BRUECKL E., HAJNAL Z., THYBO H., SELVI O. CELEBRATION 2000, 2000: Huge seismic experiment in Central Europe. *Geologica Carpatica* **51**, 6, 413–414
- GUTERCH A., GRAD M., KELLER G. R., POSGAY K., VOZÁR J., ŠPIČÁK A., BRÜCKL E., HAJNAL Z., SELVI O., CELEBRATION 2000 Experiment Team 2003: CELEBRATION 2000 Seismic Experiment. *Studia geophysica et geodaetica*, Prague, **47**, 659–669
- FODOR L., JELEN B., MÁRTON E., SKABERNE D., CAR J., VRABEC M. 1998: Miocene-Pliocene tectonic evolution of Slovenian Periadriatic fault: Implications for Alpine-Carpathian extrusion models. *Tectonics* **17**, 5, 690–709
- HAAS J., BUDAI T. 1995: Upper Permian-Triassic facies zones in the Transdanubian Range. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia* **101**, 3, 249–266
- HAAS J., HÁMOR G. 1998: Magyarország területe szerkezetfejlődésének összefoglalása. Magyarország geológiai képződményeinek rétegtana. (Szerk.: BÉRCZI I., JÁMBOR Á.) *MOL Rt. és MÁFI kiadása*, 45–54
- HAAS J., HÁMOR G., JÁMBOR Á., KOVÁCS S., NAGYMAROSY A., SZEDERKÉNYI T. 2001: *Geology of Hungary (Ed.: HAAS J.)*. Eötvös University Press, Budapest
- HAAS J., MIÓČ P., PAMIĆ J., TOMLIJENIĆ B., ÁRKAI P., BÉRCZI-MAKK A., KOROKNAI B., KOVÁCS S., FELGENHAUER E. R. 2000: Complex structural pattern of the Alpine-Dinaridic-Pannonian triple junction. *Int. J. Earth. Sci.* **89**, 377–389

- HAAS J., PÉRO Cs. 2004: Mesozoic evolution of The Tisza Mega-unit. *Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch.)* **93**, 297–313
- HÁMOR G. 1984: Paleogeographic reconstruction of Neogene plate movements in the Paratethyan realm. *Acta Geol. Hung.* **27**, 1–2, 5–21
- HEGEDŰS E. Z. 2005: Seismic probing of the Pannonian lithosphere from the basin substratum down to the lower crust. Ph. D. thesis. Institute of Geophysics PAS, Warsaw
- HOLE J. A. 1992: Nonlinear high-resolution three-dimensional seismic travel time tomography. *Journal of Geophysical Research* **97**, B5, 6553–6562
- HORVÁTH F. 1993: Towards a mechanical model for the formation of the Pannonian basin. *In: The origin of sedimentary basins: inferences from quantitative modelling and basin analysis. (Eds: CLOETINGH S., SASSI W., HORVÁTH F.). Tectonophysics* **226**, 333–357
- HORVÁTH F., TARI G. 1999: IBS Pannonian Basin project: a review of the main results and their bearings on hydrocarbon exploration. *In: DURAND B., JOLIVET L., HORVÁTH F., SÉRANNE M. (Eds): The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen. Geological Society, London, Special Publications* **156**, 195–213
- HUBOVÁ P., ŠRODA P., ŠPIČÁK A., GUTERCH A., GRAD M., KELLER G. R., BRUECKL E., THYBO H. 2005: Crustal and uppermost mantle structure of the Bohemian Massif based on CELEBRATION 2000 data. *Journal of Geophysical Research* **110**, B11305, doi:10.1029/2004JB003080, 1/21–20/21
- HUISMANS R. S., PODLADCHIKOV Y. Y., CLOETINGH S. A. P. L. 2002: The Pannonian basin: Dynamic modelling of the transition from passive to active rifting. EGU (European Geosciences Union) Stephan Mueller Special Publication Series **3**, 41–63
- KAKAS K. 1969: A Kőszeg körzetében végzett vízgeofizikai mérések eredményei. ELGI adattár
- KILÉNYI É., KRÖLL A., OBERNAUER D., ŠEFARA J., STEINHAUSER P., SZABÓ Z., WESSELY G. 1991: Pre-Tertiary basement contour map of the Carpathian Basin beneath Austria, Czechoslovakia and Hungary. *Geophys. Trans.* **36**, 15–36
- KISS J. 2005: A CELEBRATION-7 szelvény komplex geofizikai vizsgálata, és a „sebességanomália” fogalma. *Magyar Geofizika* **46**, 1, 25–34
- KISS J. 2006: Magyarország gravitációs lineamenstérképe — első eredmények. *Magyar Geofizika* **47**, 2, 71–79
- KISS J., SZARKA L., PRÁCSER E. 2005: Second-order magnetic phase transition in the Earth. *Geophysical Research Letters* **32**, L24310, doi:10.1029/2005GL024199
- KOVÁCS S. 1982: Problems of the “Pannonian Median Massif” and the plate tectonic concept. Contributions based on the distribution of Late Paleozoic — Early Mesozoic isopic zones. *Geol. Rundsch.* **71**, 617–639
- KOVÁČ M., NAGYMAROSY A., SOTÁK J., ŠUTOVSKÁ K. 1993: Late Tertiary paleographic evolution of the Western Carpathians. *Tectonophysics* **226**, 401–415
- KOVÁCS S., SZEDERKÉNYI T., ÁRKAI P., BUDA Gy., LELKES-FELVÁRI Gy., NAGYMAROSY A. 1996-1997: Explanation to the terrane map of Hungary. *Ann. Geol. des Pays Helléniques, IGCP Project No 276, Athenes. Terrane maps and terrane descriptions. (Eds: PAPANIKOLAOU D., SASSI F. P.)*
- KOVÁCS S., SZEDERKÉNYI T., HAAS J., BUDA Gy., CSÁSZÁR G., NAGYMAROSY A. 2000: Tectonostratigraphic terranes in the pre-Neogene basement of the Hungarian part of the Pannonian area. *Acta Geol. Hung.* **43**, 3, 225–328
- KÖRÖSSY L. 1982: Magyarország földtani szerkezetének áttekintése. *Ált. Földt. Szemle* **17**, 21–71
- KÖRÖSSY L. 1988: A Zala-medencei kőolaj- és földgáz kutatás földtani eredményei. *Ált. Földt. Szemle* **23**, 3–162
- LELKESNÉ FELVÁRI Gy. 1998: Az Alpok keleti részének áttekintése. Magyarország geológiai képződményeinek rétegtana. (Szerk.: BÉRCZI I., JÁMBOR Á.). *MOL Rt. és MÁFI kiadása*, 55–71
- LENKEY L. 1999: Geothermics of the Pannonian Basin and its bearing on the tectonics of Basin evolution. PhD thesis. Vrije Univ., Amsterdam
- LINZER H. G., RATSCHBACHER L., FRISCH W. 1995: Transpressional collision structures in the upper crust: the fold-thrust belt of the Northern Calcareous Alps. *Tectonophysics* **242**, 41–61
- LÜSCHEN E., BORRINI D., GEBRANDE H., LAMMERER B., MILLAHN K., NEUBAUER F., NICOLICH R., TRANSALP Working Group 2006: TRANSALP — deep crustal Vibroseis and explosive seismic profiling in the Eastern Alps. *Tectonophysics* **414**, 9–38
- MAJDAŃSKI M., GRAD M., GUTERCH A., SUDETES 2003 Working Group 2006: 2-D seismic tomographic and ray tracing modelling of the crustal structure across the Sudetes Mountains basing on SUDETES 2003 experiment data. *Tectonophysics* **413**, 249–269
- MÁRTON E. 1993: The itinerary of the Transdanubian Central Range: An assessment of relevant paleomagnetic observations. *Acta Geol. Hung.* **37**, 1–2, 135–151
- MÁRTON E. 1997: Paleomagnetic aspects of plate tectonics in the Carpatho-Pannonian region. *Mineralium Deposita* **32**, 441–445
- MÁRTON E. 2000: The Tisza Megatectonic Unit in the light of paleomagnetic data. *Acta Geol. Hung.* **43**, 3, 329–343
- MÁRTON E. 2001: Tectonic implications of Tertiary paleomagnetic results from the PANCARDI area (Hungarian contribution). *Acta Geol. Hung.* **44**, 2–3, 135–144
- PIFFNER A. 1992: Alpine orogeny. *In: A Continent Revealed, The European Geotraverse (Eds: BLUNDELL D., FREEMAN R., MUELLER St.)* 1992, Cambridge University Press
- POSGAY K. 1967: A magyarországi földmágneses hatók áttekintő vizsgálata. *Geof. Közl.* **16**, 4, 5–118
- POSGAY K., ALBU I., MAYEROVÁ M., NAKLÁDOVÁ Y., IBRMAJER I., BLÍŽKOVSKÝ M., ARIÇ K., GUTDEUTSCH R. 1991: Contour map of the Mohorovičić discontinuity beneath Central Europe. *Geoph. Trans.* **36**, 7–13
- RATSCHBACHER L., BEHRMANN J. H., PAHR A. 1990: Penninic Windows at the eastern end of the Alps and their relation to the intra-Carpathian basins. *Tectonophysics* **172**, 91–105
- RATSCHBACHER L., FRISCH W., LINZER H.-G., SPERNER B., MESCHÉDE M., DECKER K., NEMČOK M., NEMČOK J., GRYGAR R. 1993: The Pieniny Klippen Belt in the Western Carpathians of northeastern Slovakia: structural evidence for transpression. *Tectonophysics* **226**, 471–483
- RATSCHBACHER L., NEUBAUER F. 1989: West-directed décollement of Austro-Alpine cover nappes in the eastern Alps: geometrical and rheological considerations. From COWARD M. P., DIETRICH D., PARK R. G. (Eds): *Alpine Tectonics*. Geological Society, Special Publication 45. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh, Boston, Melbourne, 243–262
- SCHMID S. M., AEBLI H. R., HELLER F., ZINGG A. 1989: The role of the Periadriatic Line in tectonic evolution of the Alps. From COWARD M. P., DIETRICH D., PARK R. G. (Eds): *Alpine Tectonics*. Geological Society, Special Publication 45. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh, Boston, Melbourne, 153–171
- SCHMID St. M., FÜGENSCHUH B., MATENCO L., SCHUSTER R., TISCHLER M., USTASZEWSKI K. 2006: The Alps-Carpathians

- Dinarides-connection: a compilation of tectonic units. Abstract of the Carpato-Balkan congress 2006, Beograd
- SZEDERKÉNYI T. 1996: Metamorphic formations and their correlation in the Hungarian part of Tisia megaunit (Tisia composite terrane). *Acta Mineralogica-Petrographica*, Szeged, **37**, 143–160
- SZÉKELY B., REINECKER J., DUNKL I., FRISCH W., KUHLEMANN J. 2002: Neotectonic movements and their geomorphic response as reflected in surface parameters and stress patterns in Eastern Alps. *EGU Stephan Mueller Special Publication Series 3*, 149–166
- TÖRÖK K. 1990: New data on the geothermometry and geobarometry of Somogy-Dráva Basin, SW Transdanubia. *Acta Mineralogica-Petrographica*, Szeged, **31**, 13–23
- VÖRÖS A. 2001: Paleobiographical analysis: a tool for the reconstruction of Mesozoic Tethyan and Penninic basins. *Acta Geol. Hung.* **44**, 2–3, 145–158
- WEBER F., SCHMÖLLER R., FRÜHWIRTH R. K. 1996: Result of deep reflection seismic measurement south of Rechnitz (Burgenland), Austria. *Geophys. Trans.* **40**, 1–2, 79–93
- WEIN Gy. 1969: Tectonic review of the Neogene-covered areas of Hungary. *Acta. Geol.* **13**, 1–4, 399–436
- WESSELY G. 1987: Mesozoic and Tertiary evolution of the Alpine-Carpathian foreland in eastern Austria. *In: ZIEGLER P. A. (Ed.): Compressional intraplate deformation in Alpine Foreland, Tectonophysics* **13**, 745–759
- ZELT C. A., BARTON P. J. 1998. Three-dimensional seismic refraction tomography: a comparison of two methods applied to data from the Faeroe basin. *J. geophys. Res.* **103**, 7187–7210
- YAN Q. Z., MECHIE J. 1989: A fine structural section through the crust and lower lithosphere along the axial region of the Alps. *Geophys. J.* **98**, 465–488

# Szivárgási tényező becslés lehetőségei geofizikai mérések alapján<sup>1</sup>

ZILAHÍ-SEBESS LÁSZLÓ<sup>2</sup>, FANCSIK TAMÁS<sup>2</sup>, TÖRÖK ISTVÁN<sup>2</sup>, KOVÁCS ATTILA CSABA<sup>2</sup>

Az elmúlt tíz évben az ELGI részt vett a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok elhelyezésére irányuló földtani kutatásban. A kutatás során számos módszert alkalmaztak. Általában a geofizikai méréseket a kőzetek mechanikai tulajdonságok szerinti osztályozására, vagyis főleg a szerkezeti földtani kép körvonalazására használják, amivel többnyire nem közvetlen módon függnek össze a hidrogeológiai tulajdonságok. A kiértékelés eredményeként általában a közvetlen mért fizikai paraméterek alkotta teret szokták közölni némi földtani értelmezéssel, amely sok esetben nem igazán értékelhető a geológus szakemberek számára. Ennek a tanulmánynak a célja, hogy közelebb hozza a geofizikát a földtani értelmezésben valóban érdekes paraméterekhez és egyben megmutassa a mélyfúrás-geofizika közvetítő szerepét a fúrásból származó hidrodinamikai információk és a felszíni geofizikai mérések közt. A kőzetek vízvezető-képessége a környezetvédelmi kutatások — mint például a radioaktív hulladék elhelyezéssel kapcsolatos vizsgálatok — fontos tényezője. A mérésekből szerzett tapasztalatok szerint a felszíni geofizikai mérések elektromos ellenállás–szeizmikus sebesség összefüggése nagyon hasonlít a mélyfúrás-geofizikai mérések (elektromos ellenállás és szónikus sebesség) alapján megállapíthatóhoz. A tapasztalatok szerint a mélyfúrás-geofizikai mérések alapján számított permeabilitás görbék alakja közelítőleg hasonló a rövid idejű hidrogeológiai tesztek (gyors-tesztek) alapján meghatározott szivárgási tényező görbékéhez. Ebből következik, hogy a mélyfúrás-geofizikai mérések alapján a hidrogeológiai adatokra normált empirikus összefüggések a felszíni mérések közti kapcsolatokra is átvihetők, vagyis azokból a kőzetek potenciális áteresztőképességére információt nyerhetünk. Egyetlen megszorítás, hogy a felszíni geofizikai mérések alapján végrehajtott szivárgási tényező becslés csak tömbjellemző lehet, vagyis a hidraulikus permeabilitást egyfajta elsődleges porozitás függvényeként kezeljük.

**L. ZILAHÍ-SEBESS, T. FANCSIK, I. TÖRÖK, A. Cs. KOVÁCS: Estimation of hydraulic permeability based on geophysical measurements**

In the past decade ELGI took part in the geological site investigation of a low and intermediate radioactive waste deposit. During that numerous geophysical methods were applied. Generally the geophysical measurements are used for outlining a structural geological picture and for classification of rocks according to the geomechanical properties, which usually can not be linked directly with hydrogeological properties. As a result of evaluation commonly the distribution of the physical parameters with some geological explanation are reported which frequently are not the proper information for geologists. The aim of this study is to bring closer geophysical evaluation to the useful parameters of geology and in the same time to show the role of well logging in the communication between hydrogeological evaluations based on data originated from borehole and on interpretation of surface geophysical measurements. The hydraulic permeability of rocks is an important factor in the environmental research such as a site investigation of a radioactive waste repository. According to the observations the relation between electric resistivities and seismic velocities measured on the surface is very similar to that based on well logging measurements (electric resistivity and sonic velocity). Experiences show that the shape of permeability curves based on well logging is approximately similar to the shape of the seepage factor curves got from hydrogeological tests in short time (early time test). It follows from the foregoing that the empirical relation based on well logging data normalized to hydrogeological ones might be applied to the parameters got from surface geophysical measurements, too, in other words, information for the possible hydraulic permeability can be gained from surface geophysical measurements, too. There is only one restriction, i.e. that the permeability estimation based on surface geophysical methods may be valid only for the investigated blocks so the hydraulic permeability has to be considered as a function of a certain primary porosity.

## Bevezetés

Az elmúlt évtizedben az ELGI részt vett a Bábaapáti térségében folytatott kis és közepes radioaktivitású erómuvi hulladékok elhelyezésére irányuló földtani kutatásban, melynek során számos mérési módszert próbáltak ki. A geofizikai méréseket általában a kőzetek tagolására, szerkezeti földtani kép kialakítására használják, és többnyire nem szokták összekapcsolni a hidrodinamikai tulajdonságokkal. A kiértékelés során általában a közvetlen mért fizikai paraméterek alkotta teret szokták közölni, amely sok

esetben nem igazán értékelhető a geológus szakemberek számára. Ennek a tanulmánynak a fő célja közelebb hozni a felszíni geofizikát a földtani értelmezésben valóban érdekes paraméterekhez és egyben megmutatni a mélyfúrás-geofizika közvetítő szerepét a fúrásból származó hidrodinamikai információk és a felszíni geofizikai mérések közt<sup>1</sup>.

A radioaktív hulladék elhelyezéssel kapcsolatos geofizikai kutatások célja sokban hasonlít a fluidumbányászat céljaihoz, hiszen mindkét esetben a kőzetek hidrogeológiai tulajdonságai a fontosak. A kőzetek áteresztőképessége nemcsak az olajipari és a vízkutatás során a legfontosabb

<sup>1</sup> Beérkezett: 2007. június 2-án

<sup>2</sup> Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet,  
H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17–23.

<sup>1</sup> A cikkben felhasznált felszíni geofizikai méréseket az ELGI, a mélyfúrás-geofizikai méréseket a Geo-Log Kft. és az ELGI, a hidrodinamikai méréseket a Golder Associates Kft. végezte.

tulajdonság, hanem a környezetvédelmi kutatásokban is. A környezeti szennyeződések döntő része a felszín alatti vizekkel terjed, ezért fontos az egyes képződmények szennyvezetés-érzékenységének vizsgálata, amely azok porozitásának, permeabilitásának<sup>2</sup>, ionabszorpciós képességének a függvénye. Ezek a paraméterek geofizikai mérések alapján becsülhetők, noha közvetlenül nem ezeket mérik. A vízvezető térrészek mindig valamilyen repedezettséghez kapcsolódnak. A vízvezető repedezettség többnyire valamilyen nagyobb térfogatra kiterjedő mechanikai, és a gyakran ezzel járó kémiai elváltozásokhoz kapcsolódik. A kristályos kőzetek porozitása általában kicsi, ezért sok esetben a kőzet sűrűsége alig változik, azonban az elektromos ellenállásban és a szeizmikus hullámterjedési sebességben már a kőzet kis mértékű bontottsága is jól mérhető eltéréseket jelenthet.

A mérésekből szerzett tapasztalatok szerint a felszíni geofizikai mérések elektromos ellenállás-szeizmikus sebesség összefüggése erősen hasonlít a mélyfúrás-geofizikai mérések alapján megállapíthatóhoz. A tapasztalatok szerint a mélyfúrás-geofizikai mérések alapján felállított elvi permeabilitás görbék menete hozzávetőlegesen korrelál a gyorsteszt<sup>3</sup> alapján meghatározott szivárgási tényező<sup>4</sup> görbékével. Ebből következik, hogy a mélyfúrás-geofizikai mérések alapján a hidrogeológiai adatokra normált empirikus összefüggések a felszíni mérések közti kapcsolatokra is átvihetők, vagyis azokból a kőzetek potenciális áteresztőképességére információt nyerhetünk. Az így becsült paraméterek és a valóságos áteresztőképesség közt a repedések különböző kitöltöttségi állapotából következően nagyságrendi eltérések is lehetnek, ám a gyengült zónákat jellemző átlagos paraméter hasznos lehet a hidrogeológiai modellezés számára. A geofizikai mérések alapján a kőzetek vízátteresztő képességére tett becslés permeabilitás jellegű, viszont az adatsort szivárgási tényező adatokra kalibrálják. Meg kell említenünk, hogy a szivárgási tényező becslés nem azonos a hidrogeológiai modellel, csak egy bemenő adata annak, vagyis nem következik belőle közvetlenül az áramlási rendszer. Az áramlási rendszer modellezéséhez a másik fontos bemenő adat a geofizika részéről a térbeli tagoltság, vagyis egyfajta szerkezetföldtani kép megadása. A hidrogeológiai modell kialakításához tehát mind a két információra szükség van. A felszíni geofizikai mérések alapján végrehajtott szivárgási tényező becslés lényegében a fúrás információk kiterjesztése, ezért önmagában csak

tömbjellemzőként használható, tehát fizikai tartalmában nem jelent többet, mint azok a mérésadatok, amelyekből számítják. A többlet információt az adja, hogy a szivárgási tényező, mint mennyiség a hidrogeológia számára közvetlen felhasználható és a becslés valós információ kiterjesztését jelenti a fúrások közötti térbe, tehát a tektonikai zónák által határolt kőzettömbökre legalább nagyságrendileg korrektnek fogadható el.

## A vizsgálatok előkészítése, szakirodalmi példák

A Bábaapáti (Üveghuta) kutatási területen a karbon korú Mórógyi Gránit Formációt 40–60 m pleisztocén korú lösz fedi, kibúvások csak a völgyekben találhatóak. A negyedidőszaki fedőüledékek alatt a gránit átlag 60 m vastagságban többé-kevésbé bontott. Az üde felszíni hatásoktól nem érintett kőzet tektonikai zónák által határolt tömbökre tagolódnak.

Az üveghutai, kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok elhelyezésére irányuló földtani kutatás keretében lemélyült fúrások közül négyet választottunk ki, az Üh-2, Üh-23, Üh-27, Üh-28 jelű fúrásokat. Ezekben a fúrásokban a szükséges mélyfúrás-geofizikai méréseken kívül többféle, a vízbeáramlásra, áteresztőképességre vonatkozó információ is rendelkezünk. Néhány szakirodalmi példát alapul véve választottuk ki a mélyfúrás-geofizikai mérésekből képzett szivárgási tényező meghatározás kalibrálására leginkább megfelelő hidrogeológiai adatrendszer, a fúrások közeli hatásokra leginkább érzékeny gyorstesztet (rövid idejű hidrodinamikai teszt).

A szakirodalom nagy része homogén térre vonatkozó szivárgási tényező meghatározások fizikai hátterével foglalkozik. A szivárgási tényezőt meghatározó Darcy-féle egyenlet eredeti alakja:

$$Q = K A (dh/L) \quad (1)$$

ahol

$Q$  [m<sup>3</sup>/s] — a vízhozam,

$A$  [m<sup>2</sup>] — az áramlás keresztmetszete,

$dh/L$  — a hidraulikus gradiens,

$dh$  [m] — a hidrodinamikai szintkülönbség két adott pont között,

$L$  [m] — a két pont távolsága,

$K$  [m/s] — a szivárgási tényező, amely egyenesen arányos a permeabilitással ( $\kappa$  [cm<sup>2</sup>]), a folyadék fajsúlyával ( $\gamma$ ), fordítottan arányos a dinamikai viszkozitással ( $\mu$ ):

$K = \kappa \gamma / \mu$ , ahol  $\gamma = \rho g$ ,  $\rho$  — a folyadék sűrűsége,  $g = 981$  cm/s<sup>2</sup> — a gravitációs gyorsulás.

A Darcy-egyenletet a permeabilitással kifejezve

$$Q = (\kappa \rho g / \mu) A (dh / L) \quad (2)$$

A  $\rho g \cdot dh / L$  kifejezés, ha a két pont nagyon közeli, akkor a  $dp/dx$  alakba írható át, vagyis a nyomásgradienst kapjuk.

A kifejezést továbbalakítva a Darcy-egyenlet nyomásgradienssel kifejezett alakját kapjuk:

$$Q = (\kappa A / \mu) \cdot dp / dx \quad (3)$$

Az egyenlet egyik formájában sem szerepel a porozitás és a tortuozitás, ami viszont a földtudományokban alapvető fontosságú. Az e paraméterektől való függést általában a  $\kappa$  permeabilitás kifejezésén keresztül építik be az egyenletekbe. Általános megállapítás, hogy a szivárgási tényező fordítottan arányos a hézagter tortuozitásával és valamely hat-

<sup>2</sup> A permeabilitás a kőzetek folyadék vezetőképessége, amely nem függ az áramló folyadék tulajdonságaitól. Definíció szerint 1 darcy permeabilitása van a kőzetnek egyfázisú, 1 centipoise viszkozitású, a teljes rendelkezésre álló pórusteret kitöltő folyadék áramlás esetén, ha a folyadék 1 cm/sec sebességgel áramlik át a kőzet 1 cm<sup>2</sup> keresztmetszetű felületén 1 atm/cm hidraulikus gradiens mellett. Más szóval 1 darcy permeabilitás mellett 1 s alatt 1 cm<sup>2</sup> felületen 1 cm<sup>3</sup> térfogatú folyadék áramlik át, vagyis az 1 D permeabilitás esetén 10<sup>-2</sup> m/s az áramlás sebessége, 1 mD esetén pedig 10<sup>-5</sup> m/s áramlási sebességgel számolhatunk. 1 D permeabilitású közeg szivárgási tényezője 10<sup>-5</sup> m/s.

<sup>3</sup> A gyorsteszt rövid idejű, 0,5–2 órás termeltetési teszt a fúróluk közeli környezete szivárgási tényezőjének meghatározása céljából. A tesztnek hatótávolsága 1–2 m.

<sup>4</sup> A hidrogeológiai gyakorlatban szokásos a szivárgási tényező vagy hidraulikus vezetőképesség használata, amely egy adott keresztmetszeten egységnyi idő alatt keresztuláramló vízmenyiség mérőszáma (definícióját ld. a szövegben).

vány szerint egyenesen arányos a hézagterfogatával. A szivárgási tényező függ a póruskitöltő folyadék fajsúlyától, hőmérsékletétől, dinamikus viszkozitásától és üledékes kőzetek esetén a szemcsék alakjától, a fajlagos felülettől, a tortuozitástól.

Mindezeknek egyik kifejezési formája az egymáshoz hasonló alakú Darcy-féle szivárgási egyenlet szivárgási tényezőjének és a Kozeny-féle permeabilitási egyenlet permeabilitásának egy, a porozitást tartalmazó, CSÓKÁS által felírt formája is [CSÓKÁS 1986]:

— Darcy féle szivárgási egyenlet

$$K = \frac{1}{5} \frac{\gamma}{\eta} \frac{\Phi^3}{(1-\Phi)^2} \frac{D_h^2}{\alpha^2} \quad (4)$$

— Kozeny-féle permeabilitási egyenlet

$$K = \frac{1}{5} \frac{\Phi^3}{(1-\Phi)^2} \left( \frac{1}{tS_v} \right)^2 \quad (5)$$

ahol

$\Phi$  — a porozitás,

$D_h$  — a Kozeny-féle effektív szemcseátmérő,

$\gamma$  — a pórúsvíz fajsúlya,

$\eta$  — a pórúsvíz dinamikus viszkozitása,

$\alpha$  — az átlagos szemcsealakfaktor [KOVÁCS 1981],

$t$  — tortuozitás,

$S_v$  — fajlagos felület.

A Darcy-képletet eredetileg szemcséközi porozitású kőzetekre alkalmazták, a Kozeny-egyenlet általánosabb, benne a póruskitöltő folyadék tulajdonságai nem szerepelnek, azokat állandónak tekintik, a szemcse-alakfaktor, a szemcse és az effektív szemcseátmérő egyaránt a fajlagos felület fogalmába lettek összesűrítve.

CSÓKÁS [1986] a fenti két egyenlet összevetéséből, valamint a Kozeny-féle effektív szemcseátmérő ellenállásból történő becslésére vízáadó homokokra vezetett le összefüggést a szivárgási tényező ellenállásból és porozitásból történő becslésére:

$$K = 2,332 \cdot 10^{-6} \cdot C \cdot \frac{\Phi^3}{(1-\Phi)^2} \cdot \frac{\left( \log \frac{R_0}{R_w} \right)}{\left( \frac{R_0}{R_w} \Phi \right)^{1,2}} \quad (6)$$

ahol

$K$  [m/s] — szivárgási tényező,

$\Phi$  — a porozitás,

$R_0$  — a mért ellenállás,

$R_w$  — a póruskitöltő fluidum ellenállása,

$C$  — hőmérsékletfüggő együttható.

Az egyenlet érvényességi tartománya a homokoknál előforduló porozitásokra (maximum 40%-ig) és az ellenállásban kb. 100–200  $\Omega$ m-ig tart.

A szivárgási tényező becslés gyakorlati végrehajtása mindig kísérleteken alapul, ahol figyelembe kell venni, hogy milyen méretű térrészből kapunk geofizikai, illetve hidrogeológiai információt. A következő három irodalmi hivatkozásból kettő szemcséközi porozitású közegre vonatkozó gyakorlati, egy pedig repedezett kőzetekről szóló elméleti cikk.

Stanislav MARES, Antonin ZBORIL [1990] körülbelül 100 vízkút felhasználásával végzett NaCl nyomjelzős vizsgálatokról számol be. Egy fúrásba NaCl-t adagoltak, a többiben pedig mérték az elektromos ellenállást. A nyomjelző anyag beérkezésekor a vizsgált fúrásban lecsökken az elektromos ellenállás. Adott távolságban a beérkezési időkből következtettek a tárolókőzet áteresztőképességére. Véleményünk szerint az így meghatározott áteresztőképesség a repedezett kristályos kőzetek esetében a nyitott repedésrendszer által meghatározott maximális áteresztőképességre jellemző. Tükröződése közvetlenül a geofizikai paraméterekben kevéssé várható, mert egyrészt a mérések felbontó képessége alatti vastagságú övekhez kapcsolódik, másrészt a mélyfúrás-geofizikai vizsgálatok behatoló képessége mindössze néhány dm, ami nem összemérhető a törésszerű övekhez valamilyen formában köthető repedésrendszerek méretével.

DANKHÁZI Gyula és szerzőtársai [1990] egy eredetileg az érckutatózásban alkalmazott módszer, az indukált polarizáció (IP) mélyfúrás-geofizikai változatát javasolják hidrogeológiai információszerezésre. Az IP mérés a fluidumbányászatban az áteresztőképességet jelentősen befolyásoló kötött víz/szabad pórúsvíz arányra érzékeny. Ezt kihasználva az IP mérés és az elektromos ellenállás mérés kombinációját szivárgási tényező becslésre alkalmazták negyedidőszaki homok, agyag összetételű üledékekben. A tapasztalatok szerint az IP mérés mint permeabilitás indikátor repedezett kőzetekben eddig kevésbé vált be, mivel ott főleg a repedések mineralizációjára érzékeny.

S. XU, M. S. KING [1990] cikkében a pórus szerkezetre és a permeabilitásra a kőzetsebesség mérésből egy elméleti statisztikus modellen keresztül következtettek. A modell elemei a következők voltak: repedéssűrűség eloszlása, a repedés nyílásszélesség, a repedések dimenziója (a repedés kiterjedése), a repedések összekötöttsége. A repedéssűrűség és a repedésnyílás-szélesség eloszlása a legnagyobb hatással a szeizmikus hullámterjedési sebességre van, míg a repedések összekötöttsége az elektromos ellenállást befolyásolja nagymértékben. A permeabilitás szignifikánsan az átlagos repedésdimenzióktól függ.

### A geofizikai mérésekre alapozott szivárgási tényező becslés érvényességi köre

Homogén szemcséközi porozitású kőzetekben közvetlen analitikus kapcsolat van a pórustér geometriai tulajdonságai, illetve a póruskitöltő fluidum és a szivárgási tényező közt, amiből következik, hogy a mérhető fizikai paraméterek és a szivárgási tényező közt is analitikus kapcsolat van. Ez természetesen nagyon idealizált eset, hiszen a gyakorlatban a ténylegesen mérhető szivárgási tényező egyáltalán nem biztos, hogy bármiféle kapcsolatban van akár a fúrásban mérhető fizikai paraméterekkel, akár a nagyobb térrészre vonatkozó felszínen mérhető geofizikai paraméterekkel. A szivárgási tényező nagyobb értékei konszolidált kőzetekben (nem csak a repedezettekben) általában a nagyobb repedésekkel kapcsolatosak, amelyek valójában még egy repedésraj esetében is síkszerű elemek és a mérés helyétől nagyobb távolságban található térrészekkel való kapcsolatot jelentenek. A kis térfogatot képviselő síkszerű elemek a geofizikai paraméterekre csak kis hatással vannak. Ez még valójában az elektromos ellenállásra is igaz,

mert kevésszámú repedés viszonylag kis járulékot ad a vezetőképességhez. A konszolidált szemcseközi porozitási közetekben biztosan, a repedezettelnél, pedig nagy valószínűséggel a kőzet pórusterfogatának zöme a nagyobb repedésekkel határolt közettömbökben van. Más szóval a konszolidált közetek esetében mindig kettős porozitás rendszert tételezhetünk fel, amiből a blokkporozitás<sup>5</sup> mindig felülmúlja a repedésporozitást<sup>6</sup>. Ha lenne is olyan kristályos kőzet, ahol a permeábilis nagyméretű repedések térfogata felülmúlja a blokkporozitást, a fajlagos felület nagy része akkor is a csatlakozó mellékrepedés-rendszerhez kötődne, következésképpen az ellenállást döntően a legalább a mért tér nagyságrendjében homogénnek tekinthető mellékrepedés-rendszer befolyásolja. Ahol kettős porozitásrendszer létezik, ott kettős permeabilitás rendszer is van, amelyből a repedések permeabilitása a domináns. A geofizikai mérésekből becsült szivárgási tényező tehát szükségszerűen csak a blokkok, vagyis a homogén térszkek permeabilitásáról adhat számot. Ez látszólag azt is jelenthetné, hogy ne is próbálkozzunk a szivárgási tényező becsléssel, hiszen az úgysem találkozik a valósággal. Ez azonban felületes szemlélet, hiszen az a szivárgási tényező, amit a geofizikai mérésekből lehet becsülni, éppen a póruster nagyobb részére, vagyis a blokk-porozitásra jellemző. Ez például a fluidum bányászatanban a termelvény utánpótlásának ütemét szabja meg, vagyis a termelés ütemének is ehhez kell igazodnia, nem a repedésrendszer nagyságrendekkel nagyobb szivárgási tényezőjéhez. A hulladéktárolók építéskor a blokk átteresztőképesség azért fontos, mert építéskor vagy elkerüljük a nyitott repedéseket tartalmazó szakaszokat vagy kicementezük, eltömmedékeljük azokat. Mindezek miatt a homogén térre vonatkozó szivárgási tényező meghatározás fizikai háttere a repedezett közetek esetében is lényegében ugyanaz kell legyen, mint az üledékek esetében, legfeljebb a mikrorepedések alkotta hézagtér geometriája különbözik kismértékben egy izometrikus pórusokból álló hézagterétől.

### A felszíni geofizikai mérések alapján történő szivárgási tényező meghatározás menete

Felszíni geofizikai mérések alapján csak akkor lehet szivárgási tényezőt meghatározni, ha a mélyfúrásokból a mélyfúrás-geofizikai mérések segítségével meghatározott, a hidrogeológiai mérésekre kalibrált átteresztőképesség-mélység görbék állnak rendelkezésre.

A felszíni geofizikai mérések szerinti szivárgási tényező becslést a fúrásokban szerzett hidrogeológiai információk

<sup>5</sup> Blokkporozitás: olyan porozitás, amely egy-egy kőzetblokkon belül jellemző porozitás és permeabilitás szempontjából homogénnek tekinthető. Ennél kevésbé általános meghatározás a mátrixporozitás vagy elsődleges porozitás, amely a kőzet keletkezésével egyidejűleg létrejött hézagterefogat arányát jelöli a teljes kőzet-térfogathoz képest.

<sup>6</sup> A repedésporozitás a repedések által képviselt hézagterefogat arányát jelöli a teljes közettérfogathoz képest. A repedésporozitás a másodlagos porozitásnál szűkebb fogalom. A folyadék átteresztőképesség szempontjából a repedés-porozitást célszerű jó átteresztőképességű repedezettségre illetve gyenge, elhanyagolható átteresztőképességű mikrorepedezettségre felosztani. Ez utóbbi hidrogeológiai szempontból mátrix-porozitásnak tekinthető.

birtokában formálisan a következő műveletek végrehajtása után tehetjük meg:

1. Elvi szivárgási tényező becslési algoritmus felállítás
- 1/a. elvi szivárgási tényező becslés felállításánál használt szempontok számbavétele és az alapján próbafüggvény felállítása, amely a fizikai határfeltételeknek eleget tesz;
- 1/b. a próbafüggvény alapján számított szivárgási tényező-ről hisztogram készítése.
2. Szivárgási tényező termelési adatok alapján
- 2/a. fúrásban mért szivárgási tényező meghatározások közül a geofizikai mérésekkel való összevetésre legalkalmasabb méréssorozat kiválasztása;
- 2/b. a fúrásban mért termelési adatok alapján kapott szivárgási tényezőkről hisztogram készítése.
3. A szivárgási tényező becslés próbafüggvényének felparaméterezése
- 3/a. a termelési adatokból készült szivárgási tényező görbét a skálák illesztése szempontjából a mélyfúrás-geofizikai adatokból formálisan számított szivárgási tényező görbére rajzoljuk;
- 3/b. a szivárgási tényezőkből alkotott hisztogramok skálájának összeillesztése;
- 3/c. a szivárgási tényező becsló függvény felírása, azaz a paraméterezés.
4. A szeizmikus, illetve a mélyfúrás-geofizikai  $V_p$  hullámterjedési sebesség összehasonlítása
- 4/a. a szeizmikus sebesség és a mélyfúrás-geofizikai akusztikus sebesség közti arányossági tényező meghatározása vagy az elvi azonosság igazolása;
- 4/b. a szeizmikus sebesség porozitásra kalibrálása.
5. A felszíni elektromos ellenállás mérés és a mélyfúrás-geofizikai elektromos ellenállás mérés összehasonlítása
6. Szivárgási tényező becslések és összehasonlításuk
- 6/a. szivárgási tényező becslés szeizmikus és geoelektromos mérések alapján a fúrások helyére számolva;
- 6/b. a felszíni adatokból a fúrás helyén becsült szivárgási tényező becslés összehasonlítása a fúrásban mért szivárgási tényezőkkel és a mélyfúrás-geofizikai becsléssel.
7. A felszíni mérésekből számított szivárgási tényezők térbeli eloszlási képének ábrázolása.

### A jelen tanulmányban mélyfúrás-geofizikai mérésekre alapozott, homogén közegre alkalmazott elvi szivárgási tényező becsló összefüggésnél használt szempontok

A permeabilitás a közetekben a repedések méretével és azok összekötöttségével arányosan változik (ld. (5) képlet). A Dual-Water modellből [CLAVIER, COATES, DUMANOIR 1977] kiindulva az elektromos ellenállás durván fordítottan arányos a fajlagos felülettel, mert a felületen kötött iondús adszorpciós kettős réteg nagyságrendekkel nagyobb vezetőképességű, mint a szabad pórusfolyadék. A szivárgási tényező fordítottan arányos a tortuozitással. Az elektromosan vezetőképes pórusnak biztosan van fajlagos felülete, azonban nem bizonyos, hogy permeabilitása is van. Megfordítva: a szivárgási tényező kis értékei jelenthetnek nagy elektromos vezetőképességet (pl. az agyagok, vagy elagyagosodott repedésrendszerek) és kis elektromos vezetőképességet, vagyis nagyon nagy ellenállást is, ami a nagyon kis porozitású nagy tortuozitású kis fajlagos felületű kristá-

lyos kőzetekben fordul elő. Amennyiben az effektív fajlagos felületet úgy definiáljuk, hogy az a szabadon mozgó folyadék és a kötött folyadék közti határfelület, akkor egy bizonyos pórusméret alatt hidraulikai szempontból nincs effektív fajlagos felülete a kőzetnek. Ebből következik, hogy a kis ellenállású, elektromos szempontból nagy fajlagos felületű kőzeteknek nincs hidraulikai szempontból effektív belső fajlagos felületük (a továbbiakban effektív belső felület) — ennek értelmében sem a tiszta agyagképződményeknek, sem a nagyon vékony repedéseknek nincs effektív belső felületük, aminek következtében permeabilitásuk sem. Formálisan tehát konstans porozitás mellett a permeabilitás az effektív belső felülettel fordítottan arányosnak tekinthető, miközben valójában a fajlagos felület nő (a csökkenő pórusméret miatt). Kis ellenállásoknál és konstans porozitásnál az ellenállás az effektív belső felület növekedésével nő, ami a pórusméret növekedése miatt áll elő, miközben a valóságos belső felület (a pórus belső felülete az ásványszemcsék határán) erőteljesen csökken. Maximális effektív belső felülete az aleuritoknak van. Az ellenállás határértékét elvileg a porozitás és a szabadon mozgó pórusvíz ellenállása szabja meg. A nagy ellenállások tartományában az ellenállás, konstans hézagterefogat és fajlagos felület mellett, az áramút tekervényességével (tortuozitás) egyenesen arányos, ezért — ellentétben a kis ellenállásoknál fennálló egyenes arányossággal — az ellenállás a permeabilitással fordítottan arányos. Emiatt, az elektromos ellenállás, így a vezetőképesség is a szivárgási tényező kétértékű függvénye.

A permeabilitás és a porozitás között — ha minden paraméter rögzített — első közelítésben négyzetes kapcsolat tetelezhető fel, mert a porozitás növekedésével a pórusok összekötöttsége is növekszik, ami csökkenti a tortuozitást.

Ugyanannál az ellenállásértéknél — modellfeltevésünk szerint — nagyobb porozitáshoz nagyobb szivárgási tényező is tartozik. A nagyobb hézagterefogatnak az egyedi pórusok vagy a hézagok változatlan geometriai paraméterei mellett önmagában is az átteresztőképesség növekedéséhez kell vezetnie. Porozitásnövekedés mellett konstans ellenállás csak akkor jöhet létre, ha a póruskitöltő elektrolit ellenállásnövekedése ellensúlyozza a nagyobb pórustérfogatból eredő nagyobb mennyiségű elektrolit ellenállás-csökkentő hatását. A póruskitöltő elektrolit össz-vezetőképessége csak akkor csökkenhet a szabadon mozgó fluidum változatlan fajlagos elektromos ellenállása mellett, ha benne a kis vezetőképességű szabadpórus folyadék aránya megnő, míg az adszorpciósan kötött iondús elektrolit lecsökken. Az alacsony ellenállású, adszorpciósan kötött víz mennyiségének a fajlagos felülettel való arányosságából következik, hogy változatlan nagyságú porozitás mellett ez csak akkor jöhet létre, ha a pórusfelület kevésbé tagolt, amely részint nagyobb átlagos pórusméret esetében, részint pedig az agyagásványok adta bolyhozódás hiányában simább pórusfelület esetén áll elő. Mindebből következik, hogy a rögzített ellenállás melletti nagyobb porozitásnak szükségszerűen nagyobb átlagos pórusméretet kell jelentenie, vagyis az átteresztőképességnek a porozitásnövekedéssel a

lineárisnál erősebben kell nőnie. Változatlan porozitás mellett a nagyobb pórusok önmagukban is nagyobb átteresztőképességet, kisebb fajlagos felületet és ezzel nagyobb ellenállást jelentenek.

Összességében leszögezhető, hogy a szivárgási tényező a kis ellenállások tartományában az ellenállással egyenesen arányosan nő, míg egy maximum elérése után a nagy ellenállások tartományában erősen csökken. Önmagában, ha a többi fizikai paraméter rögzített, a nagyobb porozitáshoz nagyobb átteresztőképesség tartozik.

A permeabilitás a szivárgási tényezővel közel azonos természetű kőzetjellemző, annyi különbséggel, hogy a szivárgási tényező függ a folyadék tulajdonságaitól is. A geofizikai mérések alapján a kőzetek vízátteresztőképességére tett becslést eredendően permeabilitás jellegűnek kell tekinteni, hiszen a póruskitöltő folyadéknak a szivárgási tényezőt befolyásoló tulajdonságait — a viszkozitást és a folyadék sűrűségét — nem méri közvetlenül. Szivárgási tényező becslésről annyiban lehet beszélni, amennyiben az eredetileg permeabilitás jellegű geofizikai mérésekből származtatott adatsort szivárgási tényező adatokra kalibrálják. Minthogy hidrodinamikai becslés a vizsgált fúrásokban szivárgási tényező formájában áll rendelkezésünkre, ezért — a különbségek figyelembevételével — annak becslését kíséreltük meg.

A fenti megfontolásokat figyelembe véve a szivárgási tényezőt a következő alakú próbafüggvénnyel becsüljük (1. ábra):

$$K = \Phi^2 \cdot \rho \cdot C_1 \cdot \exp(-\rho / C_2) \quad (7)$$

ahol

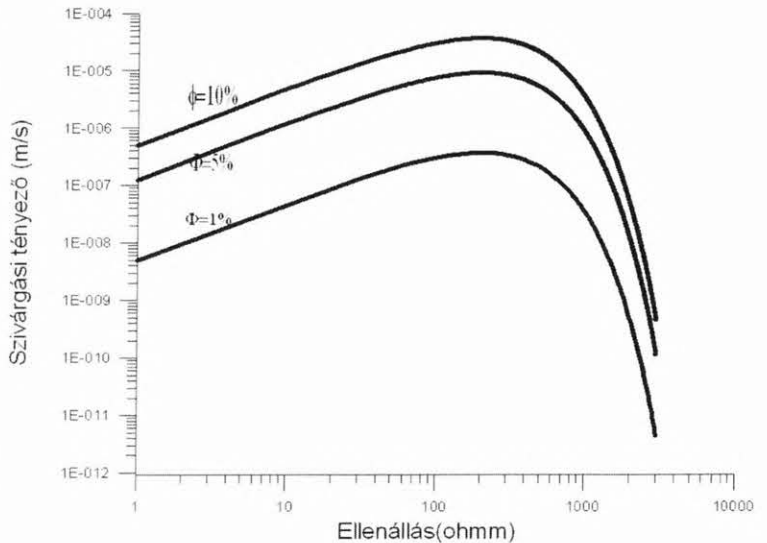
$\Phi$  — porozitás [dimenzió nélküli],

$\rho$  — a fajlagos elektromos ellenállás [ $\Omega\text{m}$ ],

$C_1$  — konstans [m/s)/ $\Omega\text{m}$ ],

$C_2$  — konstans [ $\Omega\text{m}$ ].

A próbafüggvény két függvény szorzatából tevődik össze: egyik a porozitásfüggést kifejező  $K_1 = a \cdot \Phi^2$  alakú, a

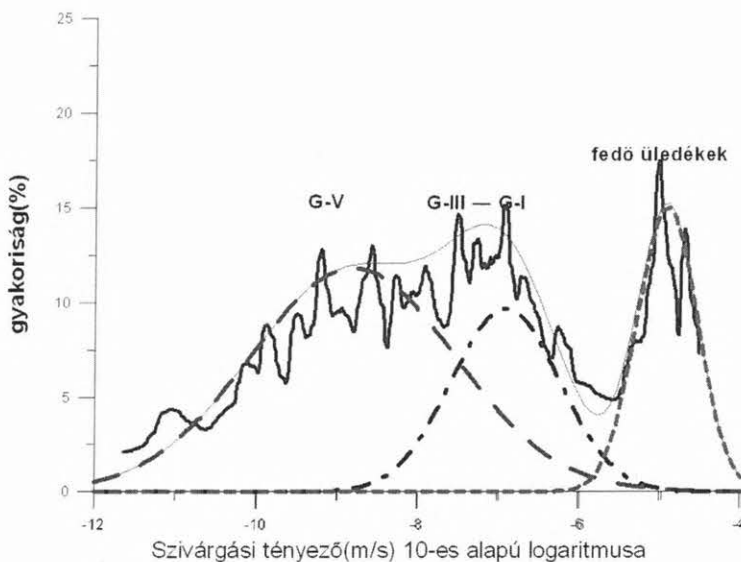


1. ábra. Szivárgási tényező becslés elvi összefüggése ellenállás és porozitás alapján

Fig. 1. Hypothetical function for estimation of filtration coefficient based on relation between resistivity and porosity

másik a szivárgási tényező—ellenállás függvénykapcsolat kétértékűségét kifejező  $K_2 = \rho b \cdot \exp(-\rho / C_2)$  alakú tag. Az  $a$  és  $b$  konstansok szorzata a  $C_1$  konstans.

A próbafüggvény alapján négy fúrás porozitás és az elektromos ellenállás adataiból számított szivárgási tényező görbéről pszeudohisztogram készült (2. ábra). Az ábrázolt pszeudohisztogram annyiban különbözik a hisztogramtól, hogy ez az empirikus eloszlás differenciahányados függvénye, ellentétben a valódi hisztogrammal, amelynél, rögzített felosztást alkalmaznak. A pszeudohisztogram esetében a  $dy/dx$  mennyiségnél elvileg a  $dy$  rögzített és a relatív statisztikus ingadozás csökkentése céljából sok mintavételi közt jelent, de a számítás lépésköze a mintavételi köz, vagyis az ilyen hisztogram gyakorlati szempontból folyamatos függvény, melynek alakja kevésbé függ a számítás lépésközének megválasztásától. A hisztogramnak több csúcsa van, amelyek a mállási kéreg különböző szintjeit és a fedő üledékeket is képviselik.



2. ábra. Számított szivárgási tényező pszeudohisztogramja.

Jelmagyarázat: vastag folyamatos vonal — összes képződmény pszeudohisztogramja; vékony folyamatos vonal — összes képződmény közelítése három módusú eloszlással; szaggatott vonalak — az egyes képződmények eloszlásai külön-külön normális eloszlásokkal megjelenítve

Fig. 2. Pseudo histogram of calculated filtration coefficient.

Legend: thick continuous line — pseudo histogram of all formations; thin continuous line — approximation for the pseudohistogram by a trimodal distribution created from three Gaussian distribution; dashed lines — distribution of formations independently represented by Gaussian distributions

A mélyfúrás-geofizikai elektromos ellenállás és akusztikus mérések alapján felállított szivárgási tényező becslő függvény konstansai első lépésben csak valószínű próbaértékek, ezért az összefüggést hidrodinamikai adatokra kell kalibrálni, azonban nem mindegy milyen adatrendszer választunk.

A fúrásban mért szivárgási tényező meghatározások közül a geofizikai mérésekkel való összevetésre legalkalmasabb mérésorozat kiválasztásánál a szempont az volt, hogy a mért szivárgási tényezők minél kisebb térfogatra vonatkozzanak, mivel tényleges összefüggés a geofizikai paraméterek és a szivárgási tényező közt csak a homogénhez közelálló modell esetén várható. Kristályos kőzetek tömb-

jei közt a hidraulikai kommunikációt erősen befolyásolja a nagy áteresztőképességű repedésrendszerek megléte vagy nem megléte. Ugyanaz a vetőhöz kapcsolódó repedésrendszer lehet összetett két gyenge permeabilitású tömb közt, de el is szigetelheti azokat egymástól, ha a repedések elagyagosodtak, miközben a felszíni geofizikával mérhető paraméterek ugyanazok. Ez természetes, hiszen az erős permeabilitású vízvezető útvonalak közelítőleg kétdimenziós szerkezetek, vagyis egyik méretükben biztosan a felbontóképesség alá esnek. Ebből következik, hogy direkt módon a geofizikai mérésekkel magukat a háromdimenziós tömböket lehet csak jellemezni. Bár a permeabilitásnak csak kis részét adják a tömbök, a jelentőségük mégis nagy, mivel hosszabb időtávlatban az oldatok migrációja rajtuk megy keresztül. Figyelembe kell venni, hogy a nyilvánvaló nagy vetőzónák akár adnak vizet, akár impermeábilisak, elagyagosodottak, egy hulladékártoló megépítése során mindenképpen impermeábilisak lesznek. Ezeket a zónákat,

ha vízádók, elcementezik, hiszen olyan, feltehetőleg nagy mennyiségű vizet adó beáramlási lehetőség nem maradhat, ami veszélyeztetné a már megépült tárolót. A közettömbök egészét viszont nem lehet tökéletesen impregnálni, következőképpen a működő tároló időszakában maguknak a tömböknek a szivárgási tényezője fogja megszabni egy esetleges szennyeződés esetén az elérési időket egy adott pontig.

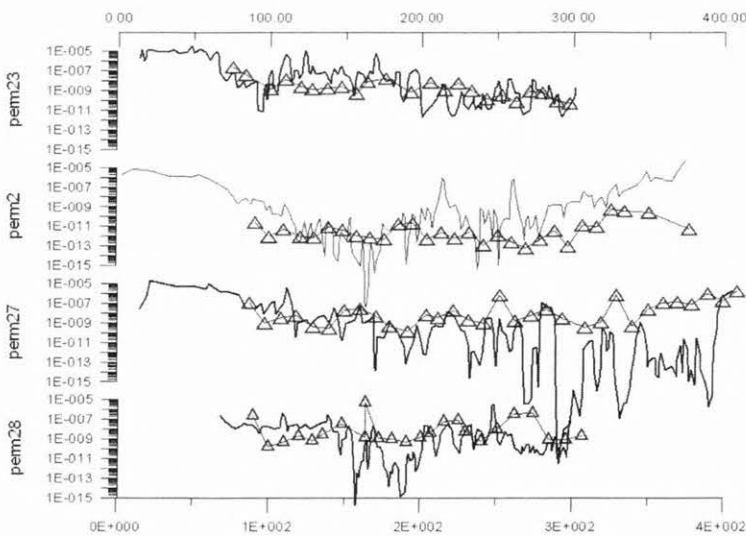
A fenti megfontolások alapján a mélyfúrás-geofizikai vizsgálatokkal való összevethetőség szempontjából legmegfelelőbb adatrendszernek a gyorsesztek adatrendszerét találtuk, mivel a termelési mérések közül ezek jellemzik leginkább a fúróluk környezetét. A 3. ábrán a kiválasztott négy fúrás szivárgási tényezői láthatók a mélység függvényében, a gyorseszt méréspontokat háromszögek jelzik, a próbafüggvény alapján mélyfúrás-geofizikai mérésekből számított szivárgási tényezőkkel (folyamatos görbék). A görbék egymásra tolva, vagyis a próbafüggvények skáláját átkalibrálva kapjuk meg az arányosságot a két mennyiség közt.

A fúrásban mért termelési adatok alapján kapott szivárgási tényezőkről pszeudohisztogram készült (4. ábra), amely azért eltérő alakú a geofizikai adatokból kapottól, mert a mállási kéregről illetve, a fedőüledékekről nincsenek gyorseszt adatok. A szivárgási adatok eloszlása megközelítőleg lognormális eloszlást követ, ami a repedezett kőzetek esetében várható is. Az eloszlás módusa, vagyis a leggyakoribb értéke  $10^{-9}$  m/s körül van.

A geofizikai mérésekből számított és a gyorsesztekből származó szivárgási tényező hisztogramját egymásra rajzolva, a skálákat összeillesztve (5. ábra) kapjuk meg az 1. ábrán ábrázolt (7) egyenlet  $C_1$ , valamint  $C_2$  paraméterét ( $C_1 = 0,5$ ;  $C_2 = 200$ ). Az így kalibrált szivárgási tényező becslő képlet a következő:

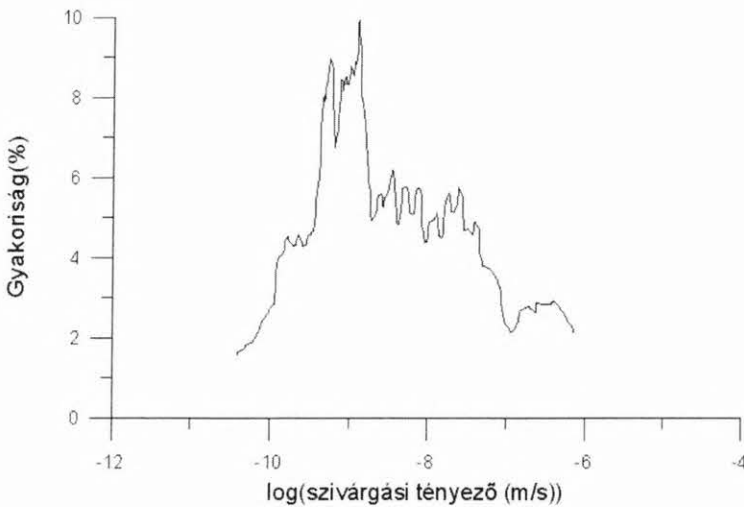
$$K = (\Phi - 0,05)^2 \cdot \rho \cdot 0,5 \cdot 10^{-5} \cdot \exp(-\rho/200) \quad (8)$$

ahol a hézagterfogatból 0,05-t levontunk, ami a szokásos 5%-os vágás érték, mert ennél kisebb porozitáshoz nem feltételezünk permeabilitást.



3. ábra. Mélyfúrás-geofizikai mérésekből számított és fúrásban mért szivárgási tényezők. *Jelmagyarázat:*  $\Delta$  vékony vonalon — szivárgási tényező gyorsteszték alapján; folyamatos görbék — mélyfúrás-geofizikai mérésekből számított szivárgási tényezők

Fig. 3. Filtration coefficients calculated from well logs and from borehole hydrodynamic tests. *Legend:*  $\Delta$  on thin line — seepage factor from short time hydrodynamical test; continuous thick line — seepage factors based on well logging



4. ábra. Gyorstesztékkel mért szivárgási tényezők logaritmusának pszeudohistogramja

Fig. 4. Pseudo histogram of logarithm of filtration coefficient based on short time hydrodynamic tests

### A gyorstesztékből származó szivárgási tényezőkre kalibrált mélyfúrás-geofizikai szivárgási tényező összefüggés alkalmazása felszíni mérésekre

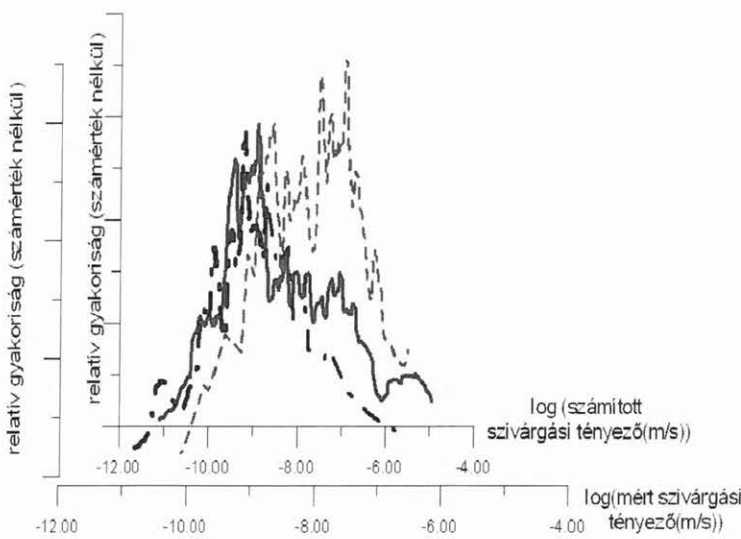
Homogén eloszlású repedésrendszert feltételezve a mélyfúrás-geofizikai mérések és a gyorsteszték alapján felállított (8) egyenletet a felszíni mérésekre alkalmazva, a porozitást a szeizmikus sebességből származtatjuk, míg az elektromos ellenállást analógnak tekintjük a mélyfúrás-geofizikai elektromos ellenállás méréssel. Ezt a következő feltételek mellett lehet megtenni:

1. A felszínről mért szeizmikus sebességek hasonló viszonyban állnak a kőzetre jellemző valódi hullámterjedési sebességekkel, mint a mélyfúrás-geofizikai akusztikus sebességek.
- 1/a. A mért mélyfúrás-geofizikai akusztikus és a felszínről mért szeizmikus sebesség közt lineáris kapcsolat van és a sebességek statisztikai értelemben egyforma nagyságúak.
- 1/b. A különböző frekvenciákon történő mérésekből adódó különböző sebességszórásokat elhanyagoljuk.
- 1/c. A kőzet a szeizmikus mérések felbontásának nagyságrendjében homogén.
2. A felszíni elektromos ellenállás mérésekből származtatott intervallumra jellemző mérési adatok arányosak a mélyfúrás-geofizikai ellenállás-mérés adott intervallumra jellemző átlagával (a kettő közti lineáris kapcsolat előnyös).

### A szeizmikus sebesség és a mélyfúrás-geofizikai akusztikus sebesség közti elvi azonosság igazolása és az arányossági tényező meghatározása

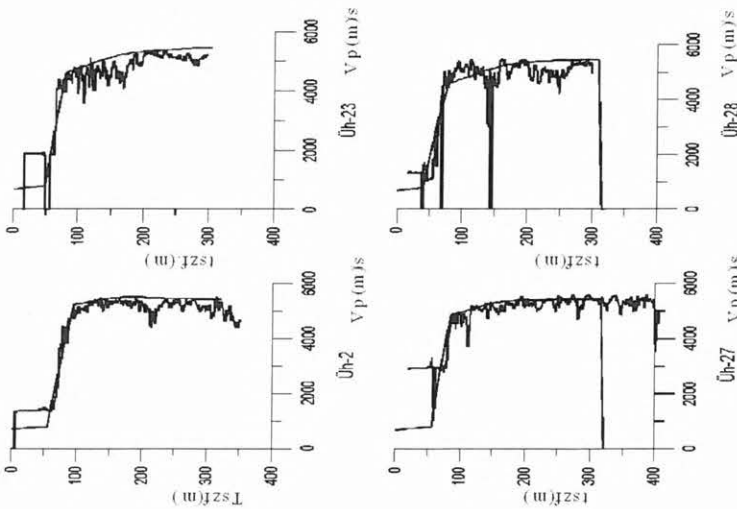
Az összehasonlításhoz az akusztikus mérést és a 3D szeizmikus mérésekből a fúrás helyére érvényes sebességmenetet egymásra rajzolva ábráztuk (6. ábra). Amelyik fúrásban a mélységmenetek egyeznek, ott a szeizmikus felbontás szempontjából a kőzet homogén. Ahol eltérés tapasztalható a mélységmenetben is, ott a szeizmikus felbontás nagyságrendjénél kisebb inhomogenitást feltételezhetünk.

Az akusztikus mérések mélységmenete az Üh-2, Üh-23 és az Üh-27 fúrások esetében megegyezik a szeizmikus sebesség mélységmenetével, viszont az átlagsebesség valamivel kisebb annál. Az akusztikus sebességgörbe alulról érintgeti a szeizmikus sebességgörbét, ami elvileg nem egyszerűen az alacsonyabb átlagra utalhat, hanem arra is, hogy az akusztikus sebesség csak lefelé tér el a valódi kőzetsebességet képviselő szeizmikus sebességtől. Ez azt jelentené, hogy a lefelé való eltérések oka a kőzet fúrás körüli fellazulása, vagyis valamennyi negatív akusztikus sebességanomália eredete a fúrás hatására fellazult kőzetekben keresendő. Vitathatatlan, hogy ilyen jelenségek vannak, azonban ezzel nehéz lenne megmagyarázni az akusztikus sebesség jó korrelációját az elektromos ellenállásgörbével. (A látszólagos elektromos ellenállásra a kőzet egyszerű fellazulása kavernásodás nélkül alig van hatással, mert a fajlagos felület nem változik.) Sokkal valószínűbb, hogy kismértékű szisztematikus, körülbelül 2%-nyi eltérés van a két mérés közt a szeizmikus sebesség javára, ami feltehetőleg a mérőfrekvenciák különbségéből származik. (Ezt megerősítette a VSP idő-mélység függvény összevetése a kumulatív akusztikus idővel is az Üh-2 és az Üh-22 fúráson.) Ez valójában olyan kis eltérés, hogy az akusztikus mérés esetében egy mélységponton az első beérkezés kijelölési hibája ennél nagyobb is (kb.  $\pm 3\%$ ) lehet.



5. ábra. Mért és számított szivárgási tényező hisztogramok összehasonlítása. *Jelmagyarázat:* Folyamatos vonal — szivárgási tényező gyorsteszték alapján; szaggatott vonal — szivárgási tényező a mállási kéregben mélyfúrás-geofizikai adatok alapján; pontozott vonal — szivárgási tényező az üde gránitban mélyfúrás-geofizikai adatok alapján

Fig. 5. Comparison of pseudohistograms of measured and calculated filtration coefficient. *Legend:* continuous thick line — seepage factors based on short time hydrodynamical tests; dashed line — seepage factors based on well logging data in altered zone; dashed line with dots — seepage factors based on well logging data in fresh granite



6. ábra. 3D szeizmikus sebesség és akusztikus sebesség menetek összehasonlítása a fúrások helyén. *Jelmagyarázat:* vastag vonal — mélyfúrás-geofizikai  $V_p$  sebességgörbe; vékony vonal — szeizmikus sebesség a fúrás helyén

Fig. 6. Comparison of 3D seismic velocity curves at the site of boreholes and sonic well logs. *Legend:* thick line —  $V_p$  velocity from well logging; thin line —  $V_p$  velocity from seismic 3D measurement at the site of borehole

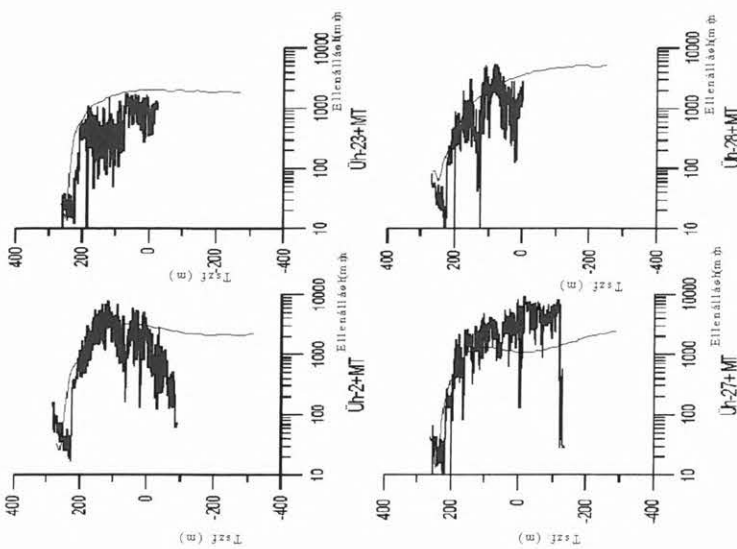
Az Üh-28 fúrás esetében a két mérés görbe menete nem azonos, bár az átlaguk közel megegyező. Ez arra utal, hogy az Üh-28 fúrás környezetében olyan horizontálisan kisléptékű inhomogenitások vannak, amelyeket csak a mélyfúrás-geofizikai akusztikus mérés érzékel, a szeizmikus mérés nem.

Összességében megállapítható tehát, hogy a felbontáson kívül a szeizmikus sebességmérés nem különbözik lényegesen a mélyfúrás-geofizikai akusztikus méréstől, így a porozitászámításra ugyanaz a képlet használható, mint az utóbbira. Meg kell említeni azonban, hogy a mélyfúrás-geofizikai akusztikus  $V_p$  sebességből számított porozitás a kristályos kőzetek fellazult mállási kérgében általában nagyobb, mint a radioaktív mérések alapján számított porozitás. A fúrásokban végzett akusztikus lyukfalleképező (acoustic borehole televiwer) mérésekből származó kőzetpedés-sűrűség görbék és az üde kőzetben végzett mélyfúrás-geofizikai mérések összevetése alapján a porozitás nagy része nem lehet effektív porozitás, hanem a kimutatható repedésekhez kapcsolódó impermeabilis mikroporozitás, illetve a repedések körüli vékony agyagásványosodott zóna szubkapilláris<sup>7</sup> vízzel kitöltött térfogata [ZILAH-SEBESS et al. 2005]. A szivárgási tényező becslésnél a hidrogeológiai adatokra való kalibrálás miatt nem lényeges, hogy a számolt porozitás értékek a mállási kérgen kívül csak arányosak lehetnek az effektív porozitással, de nem azonosak vele.

### A felszíni elektromos és a mélyfúrás-geofizikai elektromos ellenállás közti elvi azonosság igazolása és az arányossági tényező meghatározása

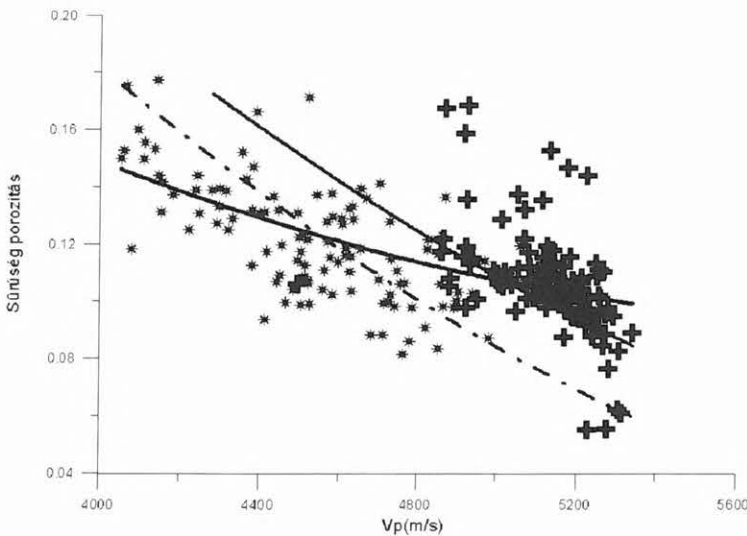
A téma keretében felszíni elektromos mérés-ként az ELGI által mért magnetotellurikus mérést (MT) használtuk. A felszíni MT mérésből származó elektromos ellenállás görbék átlagosan ugyanolyan nagyságú ellenállást mutatnak, mint a mélyfúrás-geofizikai fajlagos elektromos ellenállások (7. ábra). Ez a megállapítás jóval kevésbé triviális, mint a sebességek összehasonlítása esetében. Az elektromos ellenállások esetében ugyanis az átlagértékek azonossága nem igazán szerepelt az elvárások közt, mert a mélyfúrás-geofizikai ellenállásmérés az 1000  $\Omega$ m feletti tartományban akár még átlagában is nagyságrenddel kisebb lehet a valódi ellenállásnál. Az Üh-2 fúrás esetében például 100–180 m tszf. között még a korrigálatlan mérés is 3000–8000  $\Omega$ m között van, miközben az MT ellenállás átlaga ugyanitt nem haladja meg a 3000  $\Omega$ m-t. Nagyon valószínű, hogy az Üh-2 fúrásban a gránitnak ez a több 10 000  $\Omega$ m valódi ellenállású tömbje horizontálisan nem számít végtelen kiterjedésűnek az MT mérés számára, viszont ahhoz elég nagy, hogy az MT ellenállás görbe menete visszatükrözze a mélyfúrás-geofizikai

<sup>7</sup> Szubkapilláris víz: olyan tapadóvíz, amely a kapilláris vízmozgást megengedő mérettartomány alatti porozitást tölti ki és nem tartozik a 105 °C alatti hőmérsékleteken lényegében mozdíthatatlan, adszorpciósan kötött vízhez (az adszorpciósan kötött víz-reteg vastagsága kb. 70–80 Å).



7. ábra. Magnetotellurikus (MT) mérésekből származtatható elektromos ellenállás és mélyfúrás-geofizikai ellenállás menete. *Jelmagyarázat:* vastag vonal — mélyfúrás-geofizikai fajlagos elektromos ellenállás görbe; vékony vonal — fajlagos elektromos ellenállás magnetotellurikus (MT) mérésekből a fúrás helyén

Fig. 7. Comparison of resistivity curves from magnetotelluric measurement (MT) and electric resistivity well logs. *Legend:* thick line — specific electrical resistivity from well logging; thin line — specific electrical resistivity from magnetotelluric (MT) measurement at the site of borehole



8. ábra. A szeizmikus sebességből és sűrűségből számított porozitás összefüggése. *Jelmagyarázat:* csillag —  $V_p/V_s > 1,8$ ; kereszt —  $V_p/V_s > 1,8$ ; vastag vonal — az összes adatra illesztett empirikus függvény

Fig. 8. Relation between porosity calculated from density and sonic velocity. *Legend:* asterisk —  $V_p/V_s > 1,8$ ; cross —  $V_p/V_s > 1,8$ ; thick line — fitted curve

ellenállásgörbe menetét, amiből viszont következik, hogy az Üh-2 alján a csökkent ellenállású zónának horizontálisan is kiterjedtnek kell lennie. Az átlagos mélyfúrás-geofizikai ellenállás menettől csak az Üh-27 fúrás helyén tér el az MT ellenállásgörbe, miközben az átlagértéke is jóval alacsonyabb. Ez egyértelműen valamilyen, a fúrás közelében található olyan elektromos inhomogenitásra utal, amelyet nem tudott kimutatni a 3D szeizmika a fúrás közelében. Összességében tekintetbe véve, hogy a szivárgási tényező

direkt termelési adatokból történő meghatározásnál a nagyságrendi pontosság elegendő, a felszíni geofizikai mérésekből származó ellenállást a mélyfúrás-geofizikai ellenállásméréssel analógnak lehet tekinteni, és így a gyorsesztekből származó szivárgási tényezőkre kalibrált mélyfúrás-geofizikai összefüggést alkalmazni lehet a felszíni mérésekre.

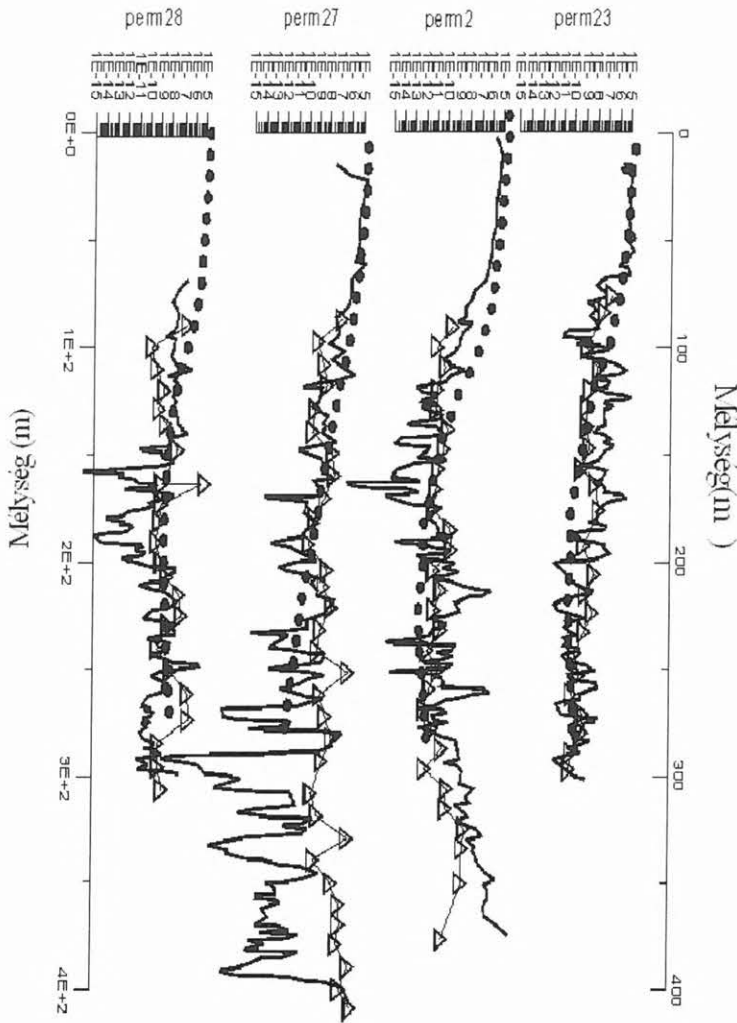
## A szeizmikus sebesség porozításra kalibrálása

A szeizmikus sebességet a mátrixra jellemző terjedési sebesség ismeretében lehet közvetlenül is porozításra vagy indirekt módon egy másik porozitáskövető módszerre is kalibrálni. A gránitban a porozitáskövető módszerek közül főleg a sűrűségmérés jön számításba, mert a neutronporozitásnak nincs felszíni megfelelője. A 8. ábrán látható, hogy a két különböző jellel jelölt két mélységzakaszon az eltérő mátrixsűrűség miatt a porozitás kalibráció is más. A szeizmikus sebességben jóval kisebb az eltérés a különböző granitoidfajták közt, ezért ha egységes mátrixfüggetlen kalibrációt választunk a szeizmikus sebesség porozitására alakításához, nem követhetünk el nagy hibát. A szeizmikus sebesség porozításra kalibrálását a következő, a 8. ábra adataira illesztett empirikus függvény szerint végeztük el (8. ábra, vastag görbe):

$$\Phi = 0,57 - 1,55 \cdot 10^{-4} \cdot V_p - 1,26 \cdot 10^{-8} \cdot V_p^2 \quad (9)$$

A megadott szivárgási tényezőt becsülő (8) képletet a felszíni 3D szeizmikus mérésekre és elektromos ellenállásmérésekre alkalmazva, az Üh-23, Üh-2, Üh-28 fúrások esetében a gyorsesztekből kapott szivárgási tényező görbével helyenként még jobb az egyezés, mint a mélyfúrás-geofizikai adatokból becsült szivárgási tényező görbével (9. ábra). Ebből arra lehet következtetni, hogy a gyorsesztek eleve nagyobb térfogat átlagos szivárgási tényezőjét képviselik, ezért az egymáshoz közeli pontok eredménye kevésbé független, mint a mélyfúrás-geofizikai becslés esetében. Az is megállapítható, hogy a felszíni geofizikai adatokból becsült szivárgási tényező görbe jóval nagyobb térfogatra vonatkozik, mint a gyorseszt információk. Az Üh-27 fúrás esetében megállapítható, hogy a felszíni mérések alapján becsült szivárgási tényező görbe inkább a mélyfúrás-geofizikai becslés átlagos menetét követi, vagyis a mélység felé egyre csökken a permeabilitás és 200 m-nél nagyobb mélységben egyre növekszik az eltérés a gyorsesztek adataiból alkotott görbétől. Valószínűnek tartjuk, hogy az eltérés oka egy, a fúrás környezetében létező nagyobb permeabilitás anizotropia, amely azonban nincs hatással a szeizmikus sebességre. Közvetetten inhomogenitásra utaló jelenség, hogy a felszínről mért elektromos ellenállás görbe lefutása nincs összhangban sem a szeizmikus sebesség görbével, sem a mélyfúrás-geofizikai ellenállás-görbével (vö. 6. és 7. ábra). Mivel a nagyobb szivárgási

## szivárgási tényezők



9. ábra. Felszíni mérésekből számított és fúrásban mért szivárgási tényezők mélységmenetének összehasonlítása. *Jelmagyarázat:* pontsor — szivárgási tényező felszíni mérések alapján; háromszögek a vékony vonalon — szivárgási tényező hidraulikai tesztek alapján; folyamatos vastag vonal — szivárgási tényező mélyfúrás-geofizikai mérések alapján

Fig. 9. Comparison of filtration coefficient from surface geophysical measurement, calculated from well logs and filtration coefficient from hydrodynamical tests. *Legend:* dots — seepage factor from surface geophysics; triangles on thin line — seepage factor from hydrodynamical tests; continuous thick line — seepage factor from well logging

tényezőhöz nem tartozik kisebb sebesség, sem a felszíni szeizmikus mérés, sem a mélyfúrás-geofizikai akusztikus mérés szerint a repedezettség nem lehet a modellfeltételeknek megfelelően homogén eloszlású.

A felszíni mérések alapján számított szivárgási tényezők alapján felállítottuk a vizsgált terület háromdimenziós tömbszivárgási tényező modelljét. A megnevezéssel azt kívánjuk hangsúlyozni, hogy ez a fajta becslés a felszíni mérések kis felbontóképessége miatt csak nagyobb térfogatok átlagára jellemző. A 3D szivárgási tényező eloszlása alapján fel lehet állítani egy hidrogeológiai szempontú tömbfelosztást. Ennek érzékeltetésére több mélység szintben izovonalas formában ábrázoltuk a számított szivárgási tényezőt (10. ábra). Az ábrán a szivárgási tényező eloszlása

látható öt különböző szintben. Az egyes szintek ötven méterenként következnek egymás után: 0 m tszf., 50 m tszf., 100 m tszf., 150 m tszf., 200 m tszf.

Megállapítható, hogy a legnagyobb kiterjedésű kis szivárgási tényezőjű blokkok a 0 m tszf. (10. bal felső és 11. ábra) és 50 m tszf. (10. középső felső és 12. ábra) szintekben vannak. Az ábrákon még ezekben a szintekben is különböző szivárgási tényezővel jellemezhető blokkokra különül el a kőzet. A kompakt (az ábrákon sötét színű) blokkokat jóval nagyobb szivárgási tényezőjű zónák választják el egymástól. A 100 m tszf. szintben a számított szivárgási tényező eloszlás gyakorlatilag ugyanaz, de az értékek magasabbak, mint lejjebb (10. ábra jobb szélső és 13. ábra).

A 150 m tszf. szintben a kép jelentősen változik az alatta levőkhöz képest és az átlagos szivárgási tényező is jóval magasabb. A sötéttel jelzett gyengébb vízáteresztő-képességű területek sávokká zsugorodtak össze ebben a szintben (10. ábra bal alsó térkép).

A 200 m tszf. szint a mállási kéreg felső szintjét képviseli átlagosan  $10^{-5}$  m/s szivárgási tényezővel, vagyis ez a szint gyakorlati szempontból vízáteresztő (10. ábra jobb alsó térkép).

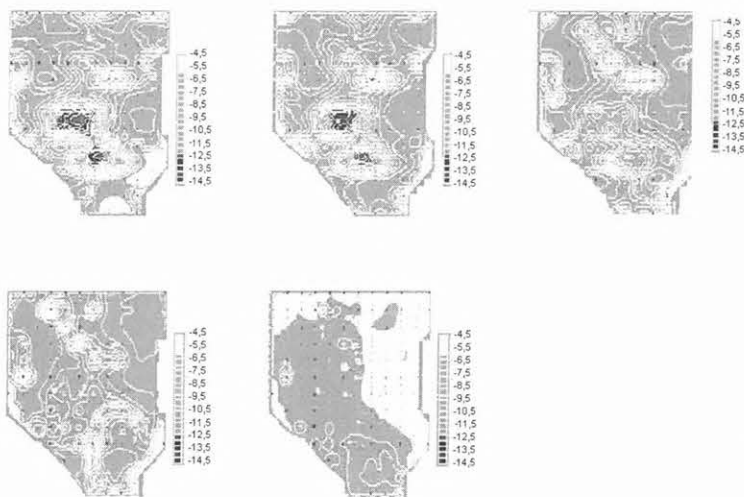
Összességében megállapítható, hogy a kis szivárgási tényezőjű blokkok mérete a mélység növekedésével növekszik, tektonikai szempontból viszont nem változik a méretük. A látszólagos méretcsökkenés oka, hogy a nagyobb szivárgási tényezőjű térképi foltok területe nő a felszínhez közeledve. Ez arra utal, hogy nagy valószínűséggel, ahogy a nagyobb blokkok száma nem változik, úgy a geometriai méretük sem. Ebből következik, hogy valószínűleg ugyanaz a blokk kisebb mélységben nagyobb vastagságban bontódik a belseje felé az azt határoló tektonikai zónák mentén.

A hét fúráson átmenő felszíni mérések alapján számított szivárgási tényezőkből alkotott É–D irányú metszetről (14. ábra) leolvasható, hogy 150–100 m tszf. alatti szinttől kezdődően lefelé, oldalirányban egymástól megnövekedett szivárgási tényezőjű sávokkal elválasztott, nagyon alacsony permeabilitású blokkokra tagolódik a vizsgált összlet. A mállási kéreg alatt az eredményül kapott metszet szerint elsősorban vertikális irányú vízmozgás lehetséges. A 150 m tszf. feletti magasságtól felfelé nemcsak az átlagos, hanem horizontális permeabilitás is jelentősen megnő, amiből arra következtethetünk, hogy ha van vízforgalom, annak jelentős része a mállási kéregben mehet végbe.

Ez az értékelés nem jelenti azt, hogy a 150 m alatti szinten nem lehetségesek kvázi horizontális, mechanikailag gyengült zónák, azonban ezek, ha vannak is, nem mutathatók ki egyértelműen a felszínről. Ettől függetlenül nagyon valószínű, hogy a mállási kéreg alatt egy kvázi horizontális zóna nem képviselhet nagy szivárgási tényezőt az agyagásványosodás, illetve a repedésnyitottságra kedvezőtlen irány miatt.

## A kristályos aljzatbeli kőzetek hidrogeológiai jellegű szerkezeti földtani modellje (egy valószínű hidrogeológiai modell)

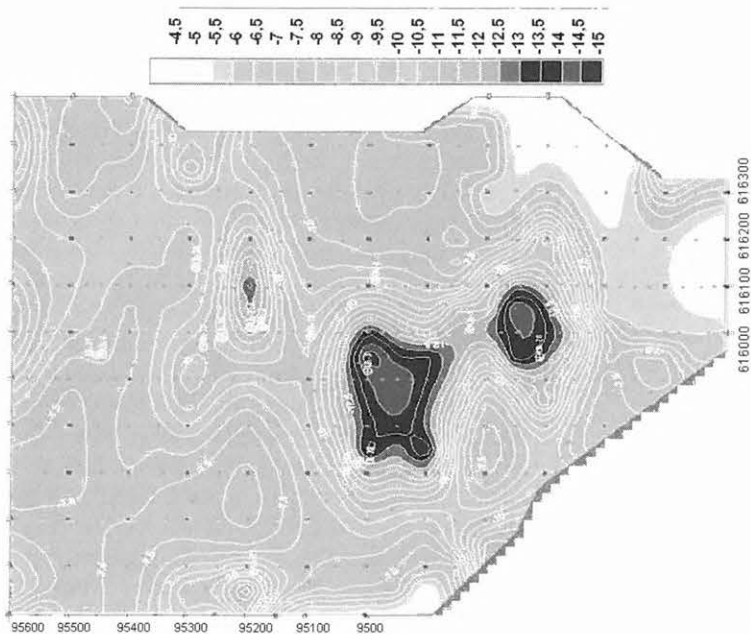
A gránit összlet 50–150 m átmérőjű blokkokból áll, melyeket fellazult zónák vesznek körbe. Ezeknek a fellazult zónáknak a szivárgási tényezője, ha mechanikusan alkalmazzuk a felállított összefüggésünket, nagy lenne, azonban ezeknek a zónáknak jó része torlasztó zóna. Felmerül a kérdés: lehetséges-e, hogy ezek egyik irányban torlasztók, a zónával párhuzamosan pedig jól vezetnek. Nagyon valószínűnek tartjuk, hogy a tektonikus zónák jó része elagyagosodott. Ez az elagyagosodás a legnagyobb mértékű valószínűsíthetően az egykor legpermeábilisabb zónákban lehet, mivel az agyagásvány-képződéshez vízforgalom szükséges, akármilyen formában is. A már elagyagosodott zóna közelében viszont bármilyen kismértékű elmozdulás friss repedezettséget hoz létre, vagyis a tektonikus zóna agyagosodott magját két oldalról egy-egy gyengébben repedezett zóna kíséri. Az elagyagosodott mag miatt az egyik permeábilis térrészből a másikba nem lehetséges az áramlás, viszont a kvázi vertikális törésszerű övek két oldalán vertikális irányú vízmozgás lehetséges. Erre a modellre utaló bizonyítéknak tekintjük, hogy a HPF<sup>8</sup> mérésekkel kimutatható beáramlások rendre a tektonikus zónák szélére esnek. A leírt modell megegyezik az aljzati olajtárolókról szerzett termelési tapasztalattal is. Az aljzati tárolókban minden egyes rög egy-egy külön nyomásrendszerrel rendelkező hidraulikai egység, közöttük kommunikáció csak a mállási kérgen keresztül lehetséges. Emiatt a nyomásrendszerük csak akkor van szinkronban, ha lassú termelés folyik, míg gyors behatásra szétesik a nyomásrendszer. Ezen azt értjük, hogy a talpnyomás-idő görbék erősen el fognak térni egymástól, mert a túl gyors behatásnál, az egyes térrészek között a blokkok közti rossz permeabilitás miatt, a nyomás nem tud elég gyorsan kiegyenlítődni. Ez a jelenség kevés kivétellel nem jelentkezik direkt módon az elektromos ellenállás és a szeizmikus sebesség viszonyában még a mélyfúrás-geofizikai szelvényeken sem. Ennek magyarázata, hogy még az elagyagosodott zónákban sem elég alacsony az ellenállás ahhoz, hogy a megadott képlet szerint alacsony, zárókőzetnek megfelelő szivárgási tényezőt kapjunk kis ellenállás mellett. Ez amiatt lehetséges, hogy még a közvetlen tektonikai érintkezési zónában sem található a gyengült repedezett zónán belül olyan térrész, ahol a sonda homogén teret tudna mérni, következésképpen az akusztikus és az



10. ábra. Szivárgási tényező eloszlás vízszintes metszetekben felszíni geofizikai mérések szerint, mélyfúrás-geofizikai mérésekre és gyorsesztekre kalibrálva. *Jelmagyarázat:* Az ábra melletti színskála szerint a világos színek — viszonylag nagyobb szivárgási tényezők; a sötét változatai — kisebb szivárgási tényezők; a számok a paletta mellett és az izovonalakon — a szivárgási tényező értékek 10-es alapú logaritmus

Fig. 10. Distribution of filtration coefficient based on surface geophysics on horizontal cutting planes calibrated to borehole measurements.

*Legend:* according to the palette beside the figure light colours — relatively higher seepage factor; dark colours — relatively low seepage factor; figures beside the palette and on isolines — logarithm(10) of seepage factor



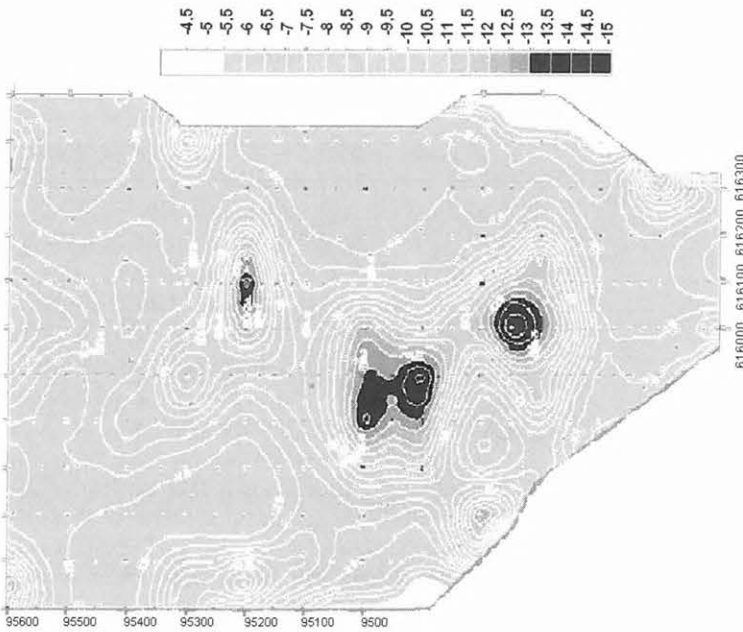
11. ábra. Szivárgási tényező becslés felszíni geofizikai mérések alapján 100 m tengerszint feletti magassági metszetben. *Jelmagyarázat:* ld. a 10. ábránál

Fig. 11. Estimated filtration coefficient based on surface geophysics on horizontal cutting plane at 100 m above sea level. *Legend:* see Fig. 10

8 HPF — Heat Pulse Flowmeter, hőimpulzusos áramlásmérés; nagyérzékenységű (néhány dl/min) két irányba kibocsátott hőimpulzus beérkezési időkülönbségének mérésén alapuló áramlásmérés.

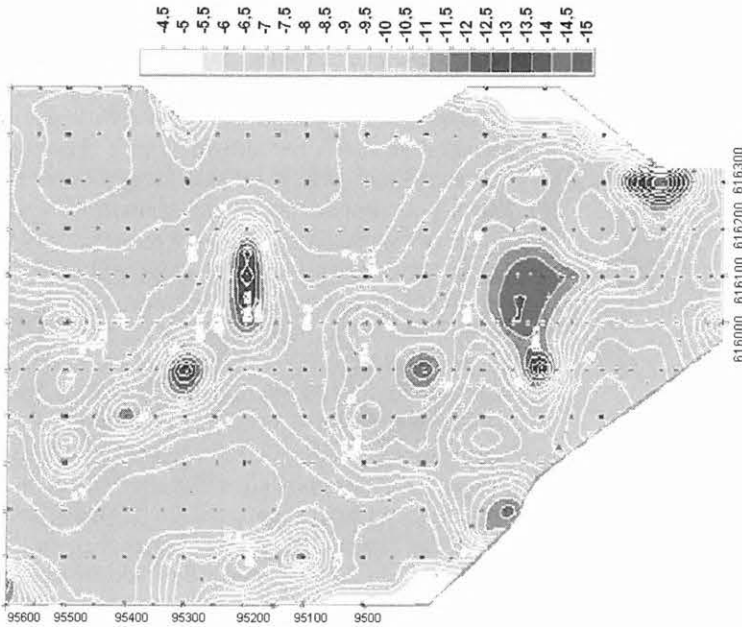
## Szivárgási tényező becslés szeizmikusan kemény ( $V_s > 1500$ m/s) üledékes formációban

Az Üveghutai területre kifejlesztett szivárgási tényező becslő algoritmust kipróbáltuk a Nyugati-Mecsekben szeizmikusan kemény konszolidált üledékekben, illetve az azokat fedő jóval kisebb állékonyságú üledékekben is. A 15. ábrán a relatív szivárgási tényező-eloszlás egyszerű becslésének eredményét mutatjuk be a ME-101 szeizmikus szelvény mentén. Az ábrán látható, a kivágat aljával közel párhuzamos vonalak a különböző formációk határát jelentik. A meredek szögben álló szürke vonalakkal a szeizmikus értelmezés szerint különböző tektonikai elemeket jelöltük. A szürkeskála az Üveghutaitól eltérő földtani környezet miatt csak relatív értékeket jelöl. (Erre a területre nem kalibráltunk). A világos árnyalatok a nagyobb, a sötét változatai a kisebb szivárgási tényezőt jelentik. A medencekitöltő üledékek a becsült szivárgási tényező alapján jól elkülönülnek a fekü pretercier kőzetektől. Megállapíthatjuk továbbá azt is, hogy a kiemelkedő rögök tetején vékonyabb az átmeneti zóna, mint a metszet D-i oldalán levő kis medencében, ami arra utal, hogy a kiemelkedés viszonylag nem régi, ezért még nem volt elég idő a nagyobb mértékű bontódáshoz.



12. ábra. Szivárgási tényező becslés felszíni geofizikai mérések alapján 50 m tengerszint feletti magassági metszetben. *Jelmagyarázat:* ld. a 10. ábránál

Fig. 12. Estimated filtration coefficient based on surface geophysics on horizontal cutting plane at 50 m above sea level. *Legend:* see Fig. 10



13. ábra. Szivárgási tényező becslés felszíni geofizikai mérések alapján 0 m tengerszint feletti magassági metszetben. *Jelmagyarázat:* ld. a 10. ábránál

Fig. 13. Estimated filtration coefficient based on surface geophysics on horizontal cutting plane at 0 m above sea level. *Legend:* see Fig. 10

elektromos mélyfúrás-geofizikai szondák mérése valójában csak a nem töredezett részen, tehát a blokkokon belül reprezentálja ugyanannak a térfogatnak a fizikai paramétereit.

## Következtetések

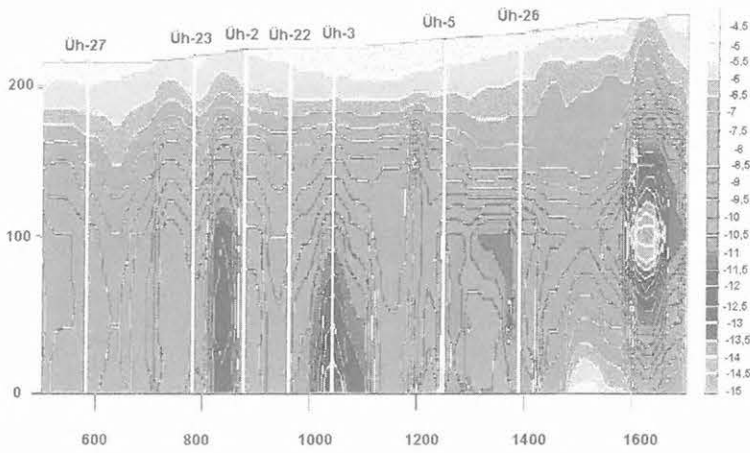
— Nem a geofizikai mérések szolgáltatott fizikai paraméterek (sebesség, ellenállás) korrelálnak közvetlenül a hidrodinamikai mennyiségekkel (pl. szivárgási tényező), hanem az egyes mért fizikai paraméterek megfelelő modell feltételezések menti — gyakran nem lineáris — kombinációi.

— A geofizikai mérések lehetőséget teremtenek a fúrólukakban mért egyes hidrogeológiai paraméterek becslésére (esetünkben a szivárgási tényező) és azok térbeli kiterjesztésére, finomítandó a hidrológiai szivárgási modelleket.

— A felszíni geofizika alapján becsült és a fúrásban mért szivárgási tényezők közti eltérések informatívak lehetnek a földtani modellre is.

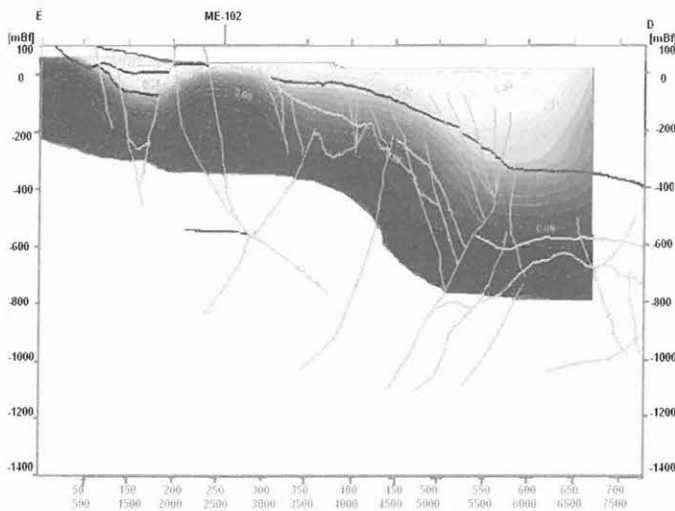
— Lehetőség nyílik a geofizika eredményeinek tágabb felhasználására és mint „roncsolásmentes” diagnosztikai eljárás jelentős szerepet tölthet be a különböző hulladékártoló-helyek kijelölése során is.

— A geofizikai mérések alapján történő szivárgási tényező becslés mindig háromdimenziós elemekre vonatkozik, amely alól még a tektonikus zónák sem kivételek, mert azok is legalább olyan vastagok kell legyenek, mint a felbontóképesség alsó határa, amiből következik, hogy a róluk megállapítható hidrodinamikai paraméterek egy nagyobb térfogat átlagát képviselik. Ez termelési szempontból helyes eredmény, de a szennyező anyag terjedése szempontjából nagy valószínűséggel gyakran



14. ábra. Szivárgási tényező becslés észak–déli irányú metszetben.  
Jelmagyarázat: ld. a 10. ábránál

Fig. 14. Estimated filtration coefficient on vertical cutting directed N–S.  
Legend: see Fig. 10



15. ábra. Szivárgási tényező becslés szeizmikusan kemény ( $V_s > 1500$  m/s) üledékes formációban. Jelmagyarázat: világos színek — viszonylag nagyobb szivárgási tényező; a sötét változatai — viszonylag kisebb szivárgási tényező

Fig. 15. Estimation of filtration coefficient in seismically hard ( $V_s > 1500$  m/s) sediment formation. Legend: light colours — relatively higher seepage factor; dark colour — relatively low seepage factor

hibás elérési időket eredményez, mert a statisztikailag elhanyagolható mennyiségű nagy átteresztőképességű repedés sok nagyságrenddel rövidebb első beérkezési időket biztosíthat a szennyező anyag megjelenése szempontjából. A tömbökre jellemző szivárgási tényező becslési eredmények a már működő hulladéktároló esetén ajánlhatók, mint hidrodinamikai paraméterek, mivel a nagyobb átteresztőképességű hasadékok feltehetőleg ak-

korra ki lesznek zárva az áramlási rendszerből, így nem kell a channelling (extrém nagy átteresztőképességű csatorna) jelenségével számolni. A channelling jelenség kifejezetten olyan nyitott hasadékokkal kapcsolatos hidrodinamikai jelenség, amelyet biztos, hogy semmilyen geofizikai módszerrel nem lehet kimutatni, lehet viszont ráutaló földtani elemeket találni geofizikai módszerekkel. A jól vezető csatorna várhatóan valamilyen összetört zónán belül, de legalább annak környezetében alakulhat ki, ezért a tektonikai elem kimutatása a kútinterferenciás eredménnyel együtt lehetővé teszi a tényleges vízvezetési útvonal durva lokalizálását.

## Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönik dr. BALLA Zoltánnak (MÁFI), hogy részt vehettek a Bataapáti környéki kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok elhelyezésére irányuló földtani kutatásban, továbbá köszönjük a Geo-Log Kft.-nek és a Golder Associates Kft.-nek hogy mérési adataikat felhasználhattuk.

## HIVATKOZÁSOK

CLAVIER C., COATES G., DUMANOIR J. 1977: The theoretical and experimental basis for the "Dual-Water" model for the interpretation of shaly sands. Soc. Pet. Eng., AIME, Pap. No. 6859

CSÓKÁS J. 1986: Determination of filtration coefficient of water-bearing sand layers by well logging. Geophysical Transactions **32**, 1

DANKHÁZI Gy., ZILÁHI-SEBESS L., SZONGOTH G., BÁN I., KISS B., TÓTH J. 1990: Induced Polarization (IP) — a new type of measurement in boreholes. Transactions of the thirteenth European formation evaluation symposium, SPWLA, MGE, Budapest

KOVÁCS Gy. 1981: Seepage hydraulics. Akadémiai Kiadó, Budapest, 730 o.

MARES S., ZBORIL A. 1990: Logging in studying hydraulic parameters of aquifers, Transactions of the thirteenth European formation evaluation symposium, SPWLA, MGE, Budapest

XU S., KING M. S. 1990: Pore structure mapping and permeability prediction from velocity measurements.

Transactions of the thirteenth European formation evaluation symposium, SPWLA, MGE, Budapest

ZILÁHI-SEBESS L., GUTHY T., HEGEDŰS E. 2005 Radioaktív hulladékelhelyezéssel kapcsolatos geofizikai kutatások. Töréss övek kimutathatóságának problémái. Kutatási jelentés. MGSZ adattár

# A nehézségi erőter szerkezetének és időbeli változásainak tanulmányozása gravitációs módszerrel<sup>1</sup>

CSAPÓ GÉZA<sup>2</sup>

*A Föld aktuális alakjának minél pontosabb megismerése számos tudományos és gyakorlati szempontból fontos kérdés. A földalak és annak változásai szoros összefüggésben vannak a nehézségi erőterrel, ezért a vizsgálatok alapvető szempontja a nehézségi erőter szerkezetének egyre nagyobb felbontású (részletesebb) ismeretére való törekvés. A dolgozatban az egyes vizsgálati módszereket tárgyalja a szerző, különös jelentőséget tulajdonítva a Magyarországon mintegy 40 éve felhagyott Eötvös-ingás mérések felújításának. A dolgozat második felében abszolút módszerrel ciklikusan végzett nehézségi gyorsulás meghatározások eredményei alapján informál a nehézségi erőter feltételezett hazai, hosszúidejű — regionális és lokális — változásairól.*

## G. CSAPÓ: Investigation of the pattern and long-term variation of the gravity field by gravity methods

*The knowledge of the actual figure of the Earth is an important problem from many scientific and practical aspects. There is a close relationship between the figure of the Earth and its gravity field therefore the basic aspect of the investigations is the ambition to study the structure of the gravity field in detail. The author deals with the methods of investigation with special respect to the revival of field torsion balance measurements in Hungary after more than 40 years interruption. In the second part of the paper, the assumed long term regional and local variations of the gravity field in Hungary are discussed. The discussion is based on repeated absolute gravity observations.*

### Bevezetés

A nehézségi erőter szerkezetének vizsgálata, változásainak nyomon követése a geoid hazai felületdarabjának pontosítására irányuló törekvések egyik legfontosabb feladata. Ez nem csupán elméleti kérdés, de hozzásegít a gyakorlatban jelenleg már általánossá vált helymeghatározási eljárás — a GPS — eredményeinek pontosításához is. A Föld aktuális alakjának (geoid) pontosítása egyrészt a földi graviméteres mérési pontok számának növelését igényli (ún. „fehér foltok” eltüntetése), másrészt a gradiometria eredményeinek felhasználását ott, ahol az a jobb interpretációt elősegíti.

A Föld aktuális alakjának ismerete annak dinamikai értelmezését is feltételezi. Ezért az erőter szerkezetének pontosítását össze kell kapcsolnunk annak hosszúidejű, nem periodikus időbeli változásainak tanulmányozásával. A földi erőter változásait több okra vezethetjük vissza [VÖLGYESI 2005]. Ezen változások kimutatása, még inkább számszerűsítése azonban jelenlegi mérési eszközeinkkel és módszereinkkel általában meglehetősen bizonytalan és hosszú időt igénylő feladat.

Jelen dolgozatban azokat a módszereket és vizsgálatokat tekintjük át röviden, amelyeket a címben jelzett témában kutatásainknál alkalmazunk.

### A vizsgálati módszerek

A gyakorlati vizsgálatokhoz elsősorban a fizikai alapú gravitációs módszereket alkalmazzuk. Ezek közül az ingamérések, a relatív és abszolút módszerrel végzett nehézségi gyorsulás mérések jöhetnek szóba. A Föld alakja szoros

összefüggésben áll annak belső tömegelrendeződésével. Ennek vizsgálatára korábban az Eötvös-inga-mérések eredményeit használták fel. Ezen mérések jelentősége hazánkban különösen nagy volt, mert az ország területét figyelembe véve a világon egyedülállóan sok (mintegy 60 000) ponton határozták meg ezzel az eszközzel a nehézségi erőter egyes elemeit. Minél több ponton ismerjük ugyanis a nehézségi rendellenességeket (anomáliákat), annál pontosabban határozhatjuk meg a geoidot — legálábbis regionális értelemben [VÖLGYESI, TÓTH, CSAPÓ 2004]. Bár ezeket a méréseket elsősorban nyersanyagkutatási célból végezték, meg kell jegyezni, hogy EÖTVÖS első mérései geodéziai feladatok megoldását szolgálták és az első részletes geoid térképet is ő készítette 1906–1907-es, Arad környéki mérései alapján [EÖTVÖS 1909]. A nehézségi rendellenességi térképek pontosításának lehetősége Eötvös-inga-mérések eredményei alapján arra az elhatározásra bírta az ELGI Földfizikai Főosztályának és a BME Általános és Felsőgeodéziai Tanszékének kutatóit, hogy digitális adatbankba szervezzék a ma még fellelhető Eötvös-inga-mérések anyagát. Ez a munka a 90-es évek közepén különféle pályázati támogatásokkal kezdődött és jelenleg is folyik. Ez idáig már 20 000-nél több állomás adatait gyűjtöttük össze. Az 1. ábrán a 2006 végéig rendezett adatok területi eloszlását ábrázoltuk.

Az Eötvös-inga-mérések adatait felhasználtuk gravitációs térképek szerkesztésére, illetve graviméteres adatok alapján készített anomália térképek pontosításához [TÓTH, MERÉNYI 2005]. A vizsgálatok sikere alapján elhatároztuk, hogy egy OTKA pályázat keretében kísérletet teszünk a mintegy 40 éve felhagyott Eötvös-inga-mérések újratekzésére.

### Az Eötvös-inga-mérések újratekzése 2006-ban

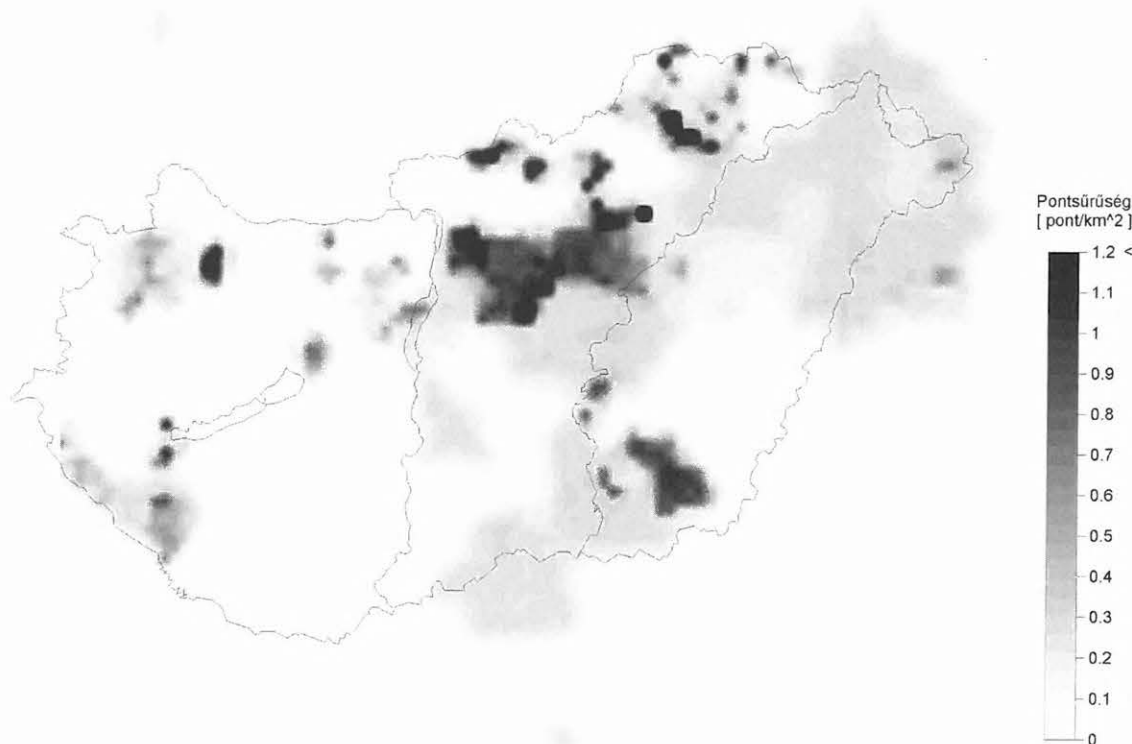
A korábbi elméleti modellkísérletek azon eredményeiből indultunk ki, hogy ha az Eötvös-inga- és a relatív

<sup>1</sup> Beérkezett: 2007. szeptember 19-én

<sup>2</sup> Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet,  
H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17–23.

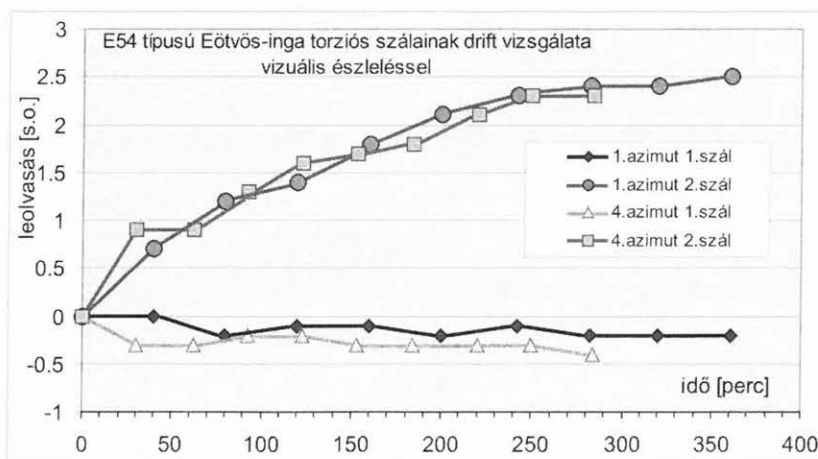
graviméteres méréseket egy adott területen, azonos pontokon együtt végezzük, akkor a nehézségi erőtér összes eleme meghatározható. HAALCK már 1950-ben ismertetett egy eljárást, amellyel a nehézségi erőtér  $W_{zx}$  és  $W_{zy}$  vízszintes gradiensek mellett a  $W_{zz}$  függőleges gradiens is meghatározható Eötvös-inga-mérések alapján [HAALCK 1950]. Módszere azóta jórészt feledésbe merült, viszont a jelentősége nagy, hiszen ezáltal előállítható az az egyetlen hiányzó második potenciál derivált, vagyis a VG, amellyel —

pusztán az Eötvös-inga-mérési eredményeket felhasználva — a nehézségi erőtér modellje teljessé válik. Ha a legegyszerűbb esetben, egy térbeli sokszög vonal mentén ismerjük az inga által mérhető összes mennyiséget, valamint a vonal legalább egyik végpontján a VG értékét, akkor az ingamérésekből (ha a vonal törésszögei nem pontosan  $180^\circ$ -os értékűek) meghatározható a VG megváltozása a vonal egyes pontjai között, vagyis végeredményében ismertté válik a VG értéke a vonal összes pontjában.



1. ábra. A 2006 végéig digitális adatbázisba rendezett Eötvös-inga-állomások területi eloszlása

Fig. 1. Areal distribution of the Eötvös torsion balance stations organized into digital database till the end of the year 2006



2. ábra. Torziós szálak rövid idejű járási görbéi

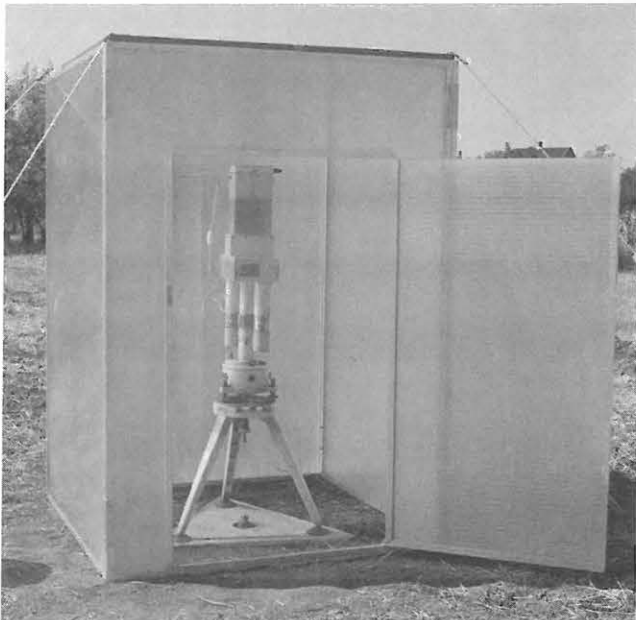
Fig. 2. Short time variations of the torsion wires

A kísérleteket egy helyreállított E-54 típusú ingával kezdtük. Meghatároztuk az ingaszálak laboratóriumi járását (2. ábra), majd 5 azimutos mérési sorozatokat végeztünk a várható mérési megbízhatóság becslésére.

Kísérleti laborméréseink eredményei alapján megállapítható, hogy a szálak járása nem egyforma: az egyiknél a 6. leolvasási érték (az I. azimut ismétlődő mérése) csupán 0,1–0,3 skálaosztással tér el az 1. leolvasási értéktől, míg a

másiknál ez az eltérés elérheti a 2 skálaosztásnyi értéket is. 2006 decembere és 2007 januárja között tíz „5 azimutos” sorozatot mértünk, az ezek eredményeiből készített statisztika alapján az átlagokkal számolva (a két torziós szál közepelt értékeivel) a gradiens szórása:  $\pm 1,1 E$ , a görbülete pedig  $\pm 2,3 E$ .

A terepi mérésekhez „észlelőházat” kellett tervezni, mert a korabeli kiegészítő eszközök már elpusztultak, elkallódtak. A megvalósított „objektumot” két fő mintegy 25 perc alatt építi fel az inga felállításával együtt.



3. ábra. A 2007. évi csepeli ingamérésekhez használt észlelőház

Fig. 3. E-54 Observation hut for torsion balance measurements used in the Csepel Island survey in 2007

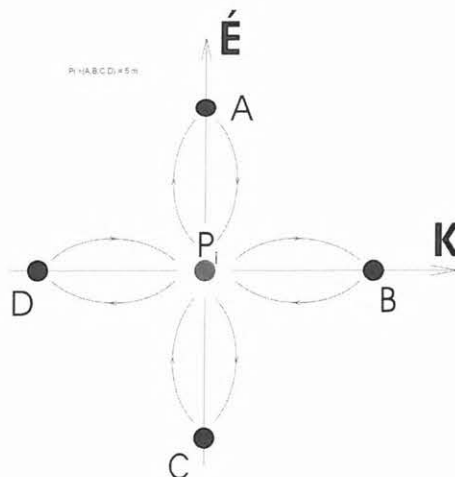
Vizsgálatainkhoz a Csepel-szigeti Makád község külterületi részét választottuk. Erre a területre azért esett a választás, mert itt 1950-ben sok állomást mértek és a terület beépítettsége lényegében nem változott, legnagyobb része jelenleg is mezőgazdasági művelés alatt álló szántó föld. A mérésekhez egy 300-300 méteres pont- és szelvénytvávolságú hálózatot tűztünk ki, amelynek pontjain LCR graviméterekkel meghatároztuk az egyes pontok közötti  $\Delta g$  értékeket, a vertikális gradiens értékét, valamint a négy főégtájban az 1 méterre eső nehézséggyorsulási értékváltozásokat (horizontális gradiens, 4. ábra).

A méréseket ún. „kettős csillagmérési elrendezéssel” végeztük. Az egyes  $P_i$  és a négy főirányban 5 méterre állandósított A, B, C, D pontok között mért  $\Delta g$  értékekből kiegyenlítéssel számítottuk az 1 méterre eső horizontális gradiensnek értékét (mGal/m).

Az ELGI gravitációs adatbankjában szereplő koordináták alapján két 1950-ben mért ingaállomás ismételt mérését is elvégeztük.

A 2007-ben eddig végzett mérések (15 állomás öt azimutos mérése) feldolgozását a pályázati munkában részt vevő műegyetemi munkatársunk (TÓTH Gyula) készítette számítógépes feldolgozó programmal végeztük. A feldolgozáshoz szükséges geodéziai munkákat a Geoservice Kft. végezte (hálózat kitűzése, szelvénypontok koordinátáinak

meghatározása, szintezés, közeli terephatás felvétele mérőállomással 8 irányban 100 méteres körzetben).



4. ábra. A graviméteres horizontális gradiens meghatározások mérési elrendezése

Fig. 4. Arrangement of gravimeters for determination of the horizontal gradient of gravity field

### A nehézségi erőter hosszúidejű időbeli változásának vizsgálata

A nehézségi erőter regionális és lokális időbeli változásainak tanulmányozására gravimetriai mérések eredményeit szokás felhasználni. A mérések módszere alapján megkülönböztetünk kísérleti vonalakon ciklikusan ismételt nehézségi gyorsulás különbség méréseket ( $\Delta g$  mérések relatív graviméterekkel), vagy alkalmasan választott mérőállomásokon hosszabb-rövidebb időközökben megismételt nehézségi gyorsulás meghatározások eredményeit. Ezeket a méréseket jelenleg leginkább a szabadesés megfigyelésén alapuló ún. „abszolút graviméterekkel” (JILA-g, AXIS stb.), ritkábban szupravezető graviméterekkel végzik.

Az erőter időbeli változásaival hazánkban PINTÉR Anna foglalkozott először, aki elméleti számításokat végzett a földmag excentricitás-változásai gravitációs hatásának kimutatására [PINTÉR 1964]. Számítási eredményei alapján — amelyek BARTA György földmágneses kutatásain alapultak — Magyarország területére K–Ny-i irányban mintegy 0,03 mGal/év változást feltételezett. Javaslatára 1964-ben két, egymással nagyjából párhuzamos K–Ny irányú vizsgálati vonalat jelöltek ki az országban az MGH-50 megfelelő II.-rendű pontjai között. Ennek célja az volt, hogy a vonalponatok lemérésével igazolják a számítások helyességét, illetve a továbbiakban rendszeres újraméréssel tanulmányozzák a nehézségi erőter stabilitását hazánk területén. Az északi vonalat 1964-ben, a délit 1965-ben egy Heiland graviméterrel BAGI Róbert mérte végig [BAGI 1966]. További mérésekre azonban nem került sor. Az 1950-es és az 1964–65. évi mérésekből számítható különbség kisebb volt a korábban feltételezettnél (0,005–0,02 mGal/év).

A térerőváltozások vizsgálatát nehezíti, hogy a kiváltó okok nem mindig választhatók szét egyértelműen és számszerűen. Az egyik nehézség, hogy a nehézségi erőter változásai nem járnak okvetlenül együtt vertikális felszín-, vagy kéregmozgással és fordítva, a kéregmozgások sem okoznak

mindig térerőváltozásokat [VÖLGYESI, SZABÓ, CSAPÓ 2004]. Ezért a fizikai alapú méréseket célszerű együtt alkalmazni geometriai alapú mérésekkel (felsőrendű szintezés), mert kölcsönös információ többletet szolgáltatnak az értelmezéshez [CSAPÓ, VÖLGYESI 2005]. A térerő változásainak vizsgálatát az is nehezíti, hogy a graviméteres mérések eredményeit a hidrogeológiai viszonyok is befolyásolják [VÖLGYESI et al. 2006]. Ezért szükséges lenne, hogy az abszolút mérések helyén a mérésekkel párhuzamosan talajvízszint- és kőzetporozitás-meghatározásokat is végezzünk. Erre hazánkban — alapvetően anyagi okok miatt — eddig nem volt lehetőség, bár a szükséges módszerek és eszközök rendelkezésre állnak.

Térerőváltozás-vizsgálatokhoz — elvileg — Eötvös-íngával, hosszú időn keresztül, ciklikus ismétléssel végzett gradiensmérések eredményei is hasznosíthatók lennének, ha a korábban végzett méréseket megfelelő számú helyen időnként megismételték volna. Erre azonban nem került sor, így ezeknek a méréseknek az eredményeit jelenleg csak a geofizikai anomáliatérképek pontosítására tudjuk felhasználni.

### **A nehézségi erőtér lehetséges hosszúidejű, regionális változásainak tanulmányozása abszolút mérések alapján**

Az abszolút módszerrel végzett nehézségi gyorsulás meghatározások mGal-ban kifejezett értéke a jelenleg — ehhez a méréshez — általában alkalmazott abszolút graviméterek referencia magasságára vonatkozik. Abban az esetben, amikor ugyanazon mérőponton különböző időben különböző gyártmányú berendezésekkel végeznek meghatározásokat, akkor a mérési eredmények közvetlenül nem hasonlíthatók össze, mert ezen berendezések referencia magassága jelentős mértékben eltérő (0,3–1,3 m). Az összehasonlíthatóság úgy valósítható meg, hogy az abszolút mérések helyén relatív graviméterekkel meghatározzuk a helyi vertikális gradiens értékét, és ezek birtokában a mért  $g$  értékeket a pontjelre redukáljuk. A relatív gravimétercsoportokkal végzett VG meghatározás megbízhatósága abszolút állomásokon az általam kidolgozott eljárással [CSAPÓ 2001] 2–3  $\mu\text{Gal}$ .

Az abszolút mérésekhez nálunk alkalmazott gravimétereket (1. táblázat) Párizsban 3 évente ún. „körvizsgálatnak” vetik alá számos más berendezéssel együtt, amelyek eredményei alapján megállapítható, hogy a különböző gyári számú AXIS és a JILAg-6 berendezésekkel végzett meghatározások megbízhatósága 2–5  $\mu\text{Gal}$ , az egyes műszerek Párizsban mért eredményeinek eltérése pedig nem haladja meg a 8–10  $\mu\text{Gal}$  értéket. A GABL szovjet gyártmányú berendezést — az általam ismert — körvizsgálato-  
kon nem tesztelték. E berendezés számszerű eredményeinek értékelését nehezíti, hogy az ezzel a berendezéssel végzett mérések eredményeinek feldolgozási módját nem ismerem pontosan. A hazai mérések eredményei alapján mérési megbízhatósága mintegy 10  $\mu\text{Gal}$ .

Az 1. táblázat adatainak összeállításánál a különböző időintervallumokban a feltételezett  $g$  változásokat egyenletesnek tekintettük a vizsgált időszakra vonatkozóan és ebből határoztuk meg az egy évre jutó változásokat. Feltételeztük továbbá, hogy az egyes mérési eredmények eltérései

csak a nehézségi erőtér lehetséges változásait tükrözik és csak véletlen jellegű hibát tartalmaznak.

A táblázatból kitűnik, hogy a nehézségi erőtér feltételezett regionális változásai hazánkban nem jelentősek, a nagyobb változások lokális jellegűek (Budapest, Debrecen). Az átlagosan számítható mintegy  $\pm 2 \mu\text{Gal}/\text{év}$  érték kisebb, mint az előzőekben tárgyalt mérési megbízhatóság. A mérések jövőbeli folytatása igazolhatja csak, hogy a számított változásoknak van-e tendenciája, vagy azok csak a mérési megbízhatóságon belüli eltérések. Ami a nagyobb — lokális — változásokat illeti, Debrecenben alapvetően a felső talajrétegeknek a fokozott vízkivétellel összefüggő tömörödése okozza a változást. Ezt felsőrendű szintezések eredményei is igazolják [JOÓ 1985], amelyek kb. 6–8 mm/év felszínüllyedést mutattak ki (ezzel összhangban van a  $g$  értékek növekedése). A budapesti mérőállomást a Mátyás-hegyi barlang mészkő-dolomitjában telepítették, amely kőzetben a karsztvíz szintje az ún. „eocén program” fokozott vízkitermelése miatt a 90-es évek elejéig csökkent, majd megállt. Ez az ismételt  $g$ -meghatározások eredményeiben is kimutatható. Z. SIMON cseh kutató európai abszolút állomások ismételt mérései alapján arra a következtetésre jutott, hogy a szekularis nehézségi térerő változásoknak periodikus részük is van. A periódusok hossza a különböző pontokon néhány évtől 1–2 évtized lehet.

A feltételezett hazai térerő változásoknak elsősorban az országos gravimetriai alaphálózat stabilitása szempontjából van jelentőségük. Ugyanis a hálózat méretarányát és referenciaszintjét az abszolút állomásokon meghatározott  $g$  értékek határozzák meg. A gyakorlati mérésekhez alkalmazott korszerű relatív graviméterek megbízhatósága 10–20  $\mu\text{Gal}$ . Amennyiben a kényszerértékek ennél nagyobb — és az ország területén nem egyenletes — mértékben változnak, akkor a hálózat megbízhatósága csökken. Ennek inkább a nagy megbízhatóságot igénylő geodéziai és metrológiai célú méréseknél van jelentősége, nyersanyagkutatási munkáknál ez a hatás elhanyagolható.

### **Köszönetnyilvánítás**

A dolgozatban tárgyalt kutatások jelentős része az OTKA K60657 számú pályázatának anyagi támogatásával valósult meg.

### **HIVATKOZÁSOK**

- BAGI R. 1966: A gravitációs tér évszázados változásának tanulmányozása céljából végzett gravimétermérések. Geofizikai Közlemények XV, 1–4, 5–13
- CSAPÓ G. 2001: A nehézségi erő vertikális gradiensének (VG) mérése és szerepe nagy pontosságú graviméteres méréseknél. Mérésügyi Közlemények 3, 67–72
- CSAPÓ G., VÖLGYESI L. 2005: Geodéziai és geofizikai módszerek együttes alkalmazása a nehézségi erőtér időbeli változásainak vizsgálatára. Geomatikai Közlemények VIII, 191–198
- EÖTVÖS L. 1909: Bericht über geodätische Arbeiten in Ungarn. Verhandlung. Die XVI. Allgemeine Konferenz der internationalen Erdmessung, London
- HAALCK H. 1950: Die vollständige Berechnung örtlicher gravimetrischer Störfelder aus Drehwaagenmessungen. Veröffentlichungen des Geodätischen Institutes Potsdam, Nr. 4

JOÓ I. 1985: The new Map of Recent Vertical Movements in the Carpatho-Balkan Region, scale 1:1 million. Cartographia, Budapest

PINTÉR A. 1964: A gravitációs tér évszázados változásáról. Geofizikai Közlemények **XIII**, 1, 7–20

TÓTH Gy., MERÉNYI L. 2005: Eötvös-inga mérési adatok felhasználása gravitációs térképek szerkesztéséhez. Geomatikai Közlemények **VIII**

VÖLGYESI L., TÓTH Gy., CSAPÓ G. 2004: Determination of gravity anomalies from torsion balance measurements. IAG International Symposium, Gravity, Geoid and Space Missions. Porto, Portugal, August 30–September 3, 2004

VÖLGYESI L. 2005: A nehézségi erőter időbeli változásai. Geomatikai Közlemények **VIII**, 175–191

VÖLGYESI L., CSAPÓ G., SZABÓ Z., TÓTH Gy. 2006: A nehézségi erőter időbeli változása a talajvízszint ingadozásának hatására Magyarország területén. Geomatikai Közlemények **X**, 159–166

Pont száma és neve	Mérés éve	Abszolút graviméter típusa	Mérőcsoport	Mért g érték (mGal)	Mért VG (mGal/m)	Feltételezett változás (mGal/év)	
81.0 Siklós	1978	GABL	Szovjet	980678,288	- 0,341	+ 0,003	
	1991	JILAg-6	Osztrák	,321		0	
	1995	JILAg-6		,323		- 0,001	
	2007	AXIS-215	Cseh	,310			
82.0 Budapest	1980	GABL		980824,318	- 0,252	- 0,001	
	1991	JILAg-6		,310		- 0,007	
	1993	AXIS-107		USA		,296	- 0,009
	1996	AXIS-107	,270			+ 0,001	
	2000	AXIS-101	Német	,275			0
	2007	AXIS-215		,278			
85.0 Kőszeg	1980	GABL		(980784,739)	- 0,266	?	
	1993	JILAg-6		,713			
86.0 Szerencs	1980	GABL		980872,812	- 0,297	- 0,002	
	1993	JILAg-6		,784		- 0,002	
	2005	JILAg-6		,765			
88.0 Nagyvázsony	1993	AXIS-107		980765,813	- 0,256	+ 0,001	
	1997	JILAg-6		,816			
89.0 Gyula	1987	GABL		980766,435	- 0,291	- 0,004	
	1995	JILAg-6		,404		- 0,002	
	2005	JILAg-6		,386			
90.0 Szécsény	1993	AXIS-107		980873,104	- 0,306	- 0,002	
	1996	AXIS-107		,098		0	
	2007	AXIS-215		,099			
91.0 Kenderes	1993	AXIS-107		980810,284	- 0,266	?	
	2005	JILAg-6		(,229)			
92.0 Madocsa	1994	AXIS-107		980761,770	- 0,255	- 0,002	
	2003	JILAg-6		,750			
94.0 Öttömös	1994	AXIS-107		980725,911	- 0,263	0	
	2003	JILAg-6		,909			
95.0 Tarpa	1995	AXIS-107		,427	- 0,271	+ 0,003	
	2001	JILAg-6		980880,445			
96.0 Debrecen	1996	IMGC	Olasz	980825,779	- 0,308	+ 0,005	
	2001	JILAg-6		,803			
98.0 Penc	1998	ZZG	Lengyel	980832,817	- 0,310	0	
	2001	AXIS-206	Francia	,819		0	
	2007	AXIS-215		,820			

1. táblázat. A nehézségi erőter feltételezett időbeli változásai hazai mérőállomásokon

Table 1. The supposed temporal variation of gravity field at the Hungarian stations

# Felszín alatti szennyeződések kutatása 2D és 3D egyenáramú elektromos módszerekkel — esettanulmányok<sup>1</sup>

NYÁRI ZSUZSANNA<sup>2</sup>, NEDUCZA BORISZLÁV<sup>2</sup>

*A felszín alatti szennyeződések roncsolásmentes kimutatása fontos lépés a környezeti diagnosztikai eljárások során. Az ilyen módszerek alkalmazásával lehetőség nyílik a szennyezőanyag kimutatására anélkül, hogy felmerülne a szennyeződés függőleges irányú továbbterjedése. Az egyenáramú elektromos mérési elrendezések hasznosnak bizonyulnak ilyen feladatok során, amennyiben vezetőképesség szempontjából a szennyezőanyag eltér a földtani környezetétől. A bemutatásra kerülő munka két kísérleti területen mutatja be különböző típusú 2D és 3D mérési elrendezések alkalmazásának lehetőségeit. Az eredményeket minden esetben független földtani és geokémiai vizsgálatok alapján érvényesítettük.*

**Zs. NYÁRI, B. NEDUCZA: Detection of near-surface contamination with 2D and 3D geoelectrical methods — case histories**

*Non-invasive detection of near-surface contaminants is an important step during the process of environmental diagnostics. Applying such method the delineation of the contaminant will be possible without the risk of the contaminant's vertical spread. Geoelectrical surveying methods are useful for these tasks when there is significant conductivity contrast between the contaminant and its geological surroundings. This paper introduces the possibilities of application different types of 2D and 3D survey methods at two test sites. All the results were validated by independent geological and geochemical research.*

## Bevezetés

A múltbeli ipari tevékenységek örökségéeként a felszín alatti szennyezések között gyakori a vizes fázisú szennyezőanyagok jelenléte, melyek a talajvízben önálló vagy külön fázisban halmozódnak fel. Ez a felhalmozódás gyakorlatilag ellehetetleníti, vagy rendkívül megdrágítja a szennyezőanyag-eloszlás diagnosztikáját, mert itt a mélyebb földtani szerkezetek vizsgálatára nem alkalmazható a hagyományos, közvetlen fúrásos feltárás és mintavétel a mélyebb víztartók elszennyeződésének kockázata miatt. Az ilyen típusú szennyezőanyagok és szennyezések gyakoriak, a leginkább elterjedtek közülük a szerves halogénezett oldószerek, higany, savak, lúgok, fémcsók tömény oldatai stb.

Az említett szennyezőanyagokat önálló fázisban tározó földtani közeg megfelelő diagnosztikájának hiányában leggyakrabban csak kevésbé hatékony kármentesítéseket alkalmaznak az anyag vízzel történő transzportútvonalaának megszakítása céljából. Az ilyen típusú, 2–3 évtizede üzemelő kármentesítések tapasztalatai alapján gyakran több évtizedre–évszázadra tehető a kármentesítés teljes időtartama, ami sokszor gazdaságilag elviselhetetlen terhet jelent a szennyeződésért felelős és a környező területek lakossága számára.

A felszín alatti szennyezőanyagok terjedésének pontos ismerete meghatározó információ a későbbi kármentesítés tervezéséhez. A geofizikai adatokon alapuló, megfelelő megbízhatóságú hidrodinamikai transzport modellek alkalmazásával az időbeli folyamatok előre jelezhetők, geofizikai monitoring mérésekkel pedig a változások nyomon követhetők [SZÜCS, MADARÁSZ 2006].

A fenti probléma megoldására kutatási konzorciumot hoztunk létre az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, a BGT

Hungária Kft. és a Miskolci Egyetem Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszéke kutatóinak részvételével. A Nemzeti Fejlesztési Terv keretében olyan alkalmazott kutatás-fejlesztési programot hajtottunk végre, melynek célja, hogy teszt területeken végzett vizsgálatok alapján kifejlesszünk egy, a felszín alatti szennyeződések roncsolásmentes diagnosztikájára alkalmazható módszeregyüttest.

## Az alkalmazott mérési módszerek

Az egyenáramú elektromos mérési módszer felszínközeli szennyeződések kutatására való alkalmazása a szakirodalom szerint széleskörben elfogadottnak számít. Laboratóriumi mérésekkel igazolták, hogy állandó víztartalom mellett az oldott ionkoncentráció növekedése jelentős csökkenést okoz a közet- és talajminták fajlagos ellenállásában [YOON, OH, PARK 2002]. A MURRAY, LAST, TRUEX [2005] által készített összefoglaló jelentés a fő geofizikai módszereket osztályozza aszerint, hogy a különböző típusú szennyezőanyagok milyen hatékonysággal kutathatók az elterjedt geofizikai módszerekkel. A tanulmány az egyenáramú elektromos mérési módszerek közül a felszíni háromdimenziós és a fúrólukban végzett átvilágításos módszerek alkalmazását kiválóan ítéli a probléma megoldására fémes szennyeződések esetén. A két módszer kombinált alkalmazásával a szerzők nem foglalkoztak.

A bemutatásra kerülő esettanulmányokban a két- és háromdimenziós egyenáramú mérési módszer alkalmazhatóságát vizsgáltuk felszín alatti, vizes fázisú szennyeződések esetén. GUÉRIN et al. [2004] savüzem és cinklerakó területén alkalmazták a felszíni 3D-s mérést szennyeződéslokalizálásra, pole-pole elrendezés esetén. Kutatásunk során további elrendezéseket is vizsgáltunk, valamint a felszíni és fúrólukbeli átvilágítás módszereit ötvözve a vizsgált térszert teljes háromdimenziós leképezését végeztük el. A felszíni mérési háló esetén a LOKE [1996–2004] által ajánlott

<sup>1</sup> Beérkezett: 2007. október 10-én

<sup>2</sup> Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17–23.

elrendezések közül a pole-pole, a dipól-dipól és a bipól-bipól elrendezéseket alkalmaztuk. Az elektróda konfigurációk főbb jellemzőit az 1. táblázat ismerteti.

Elrendezés neve	Elektródák helyzete	Felbontás	Kutatási mélység
Pole-pole	$C_2 \infty \leftarrow C_1 P_1 \rightarrow \infty P_2$	gyenge	nagy
Dipól-dipól	$C_1 C_2 \rightarrow P_1 P_2$	jó	sekély
Bipól-bipól	$C_1 P_1 \rightarrow C_2 P_2$	jó	sekély

1. táblázat. Háromdimenziós mérési elrendezések és főbb jellemzőik. C: táp-, P: mérőelektróda

Tab. 1. Three-dimensional survey arrays and their main characteristics. C: current, P: potential electrodes

Nagyobb, illetve beépített területeken nehézségekbe ütközhet a 3D-s mérési háló lefektetése, ezért ilyen esetekre ajánlott a 2D-s mérési vonalak hálózatának alkalmazása. DAHLIN, ZHOU [2006] végzett zajérzékenységi vizsgálatokat kétdimenziós mérési vonalak esetére, különböző elektróda elrendezések alkalmazásával, eltemetett hulladéklerakó lehatárolásához, illetve felszínközeli térrész elektromos módszerrel történő leképezéséhez. Figyelembe véve a zajérzékenységi adatokat és korábbi tapasztalatainkat, az inverz Schlumberger-elrendezést választottuk, amelynek részletes ismertetése számos szerzőnél, pl. LOKE [1996–2004] megtalálható.

Mindkét kísérleti területen rendelkezésünkre álltak fúrásadatok, víz- és talajkémiai elemzések eredményei, amelyek segítségével minden geofizikai mérés értelmezését ellenőrizni és igazolni tudtuk.



1. ábra. Jellemző fúrásos rétegsor az 1. sz. kísérleti területen

Fig. 1. Typical borehole structure on test site 1

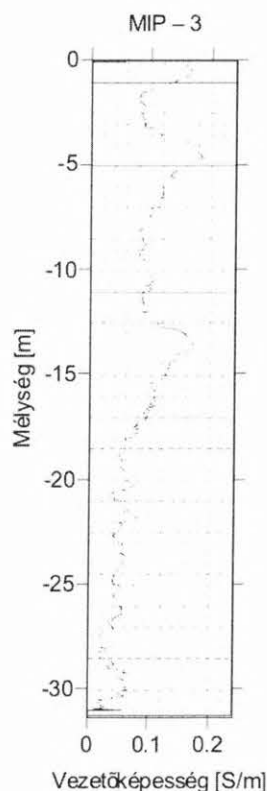
## Az 1. sz. kutatási terület vizsgálata

A terület Észak-Magyarországon található egy vegyi üzem területén. A felszín alatti térrész erősen szennyezett elsősorban fémes és ionos szennyezőanyagokkal, de kimutatható szerves eredetű szennyeződések jelenléte is. A szennyezőanyag felhalmozódása a talajvízhez köthető.

### Földtani ismeretek

A kutatási területéről származó földtani ismereteink a helyszínen végzett fúrások és CPT (Cone Penetration Test — Mérnökgeofizikai Szondázás) szelvényeken alapulnak. A területre folyóvízi üledékes rétegsor jellemző, erre mutat példát az 1. ábrán látható, fúrásos feltárás nyomán készített rétegjellemzés. A felszíni termőréteg alatt 1–5 m vastag agyag található, amelyet homokos-kavicsos összetek követnek, helyenként vékony agyagbetelepülésekkel. Ez a réteg lehet alkalmas a szennyezett talajvíz tárolására. A függőleges irányú terjedést egy 18–20 m mélységben lévő agyagréteg akadályozza meg, ennek hiányban következhet be a szennyeződések vertikális terjedése. A vízáró réteg alatt kavicsos, homokos, kőzetlisztes rétegek váltakoznak.

A CPT vizsgálatok során mért ellenállásszelvényekből tudjuk (2. ábra), hogy az agyagok és a területen található nagyobb szemcsenagyságú anyagok vezetőképessége között 2–3-szoros különbség a jellemző. Ellenben a szennyeződéstől nagyjából vagy teljesen mentes területeken mért CPT vezetőképesség értékek egy-két nagyságrendnyi eltérést



2. ábra. Jellemző CPT vezetőképesség szelvény. A 0,15 S/m feletti értékek utalnak szennyeződés jelenlétére

Fig. 2. Typical CPT conductivity section. Values above 0,15 S/m are referring to presence of contamination

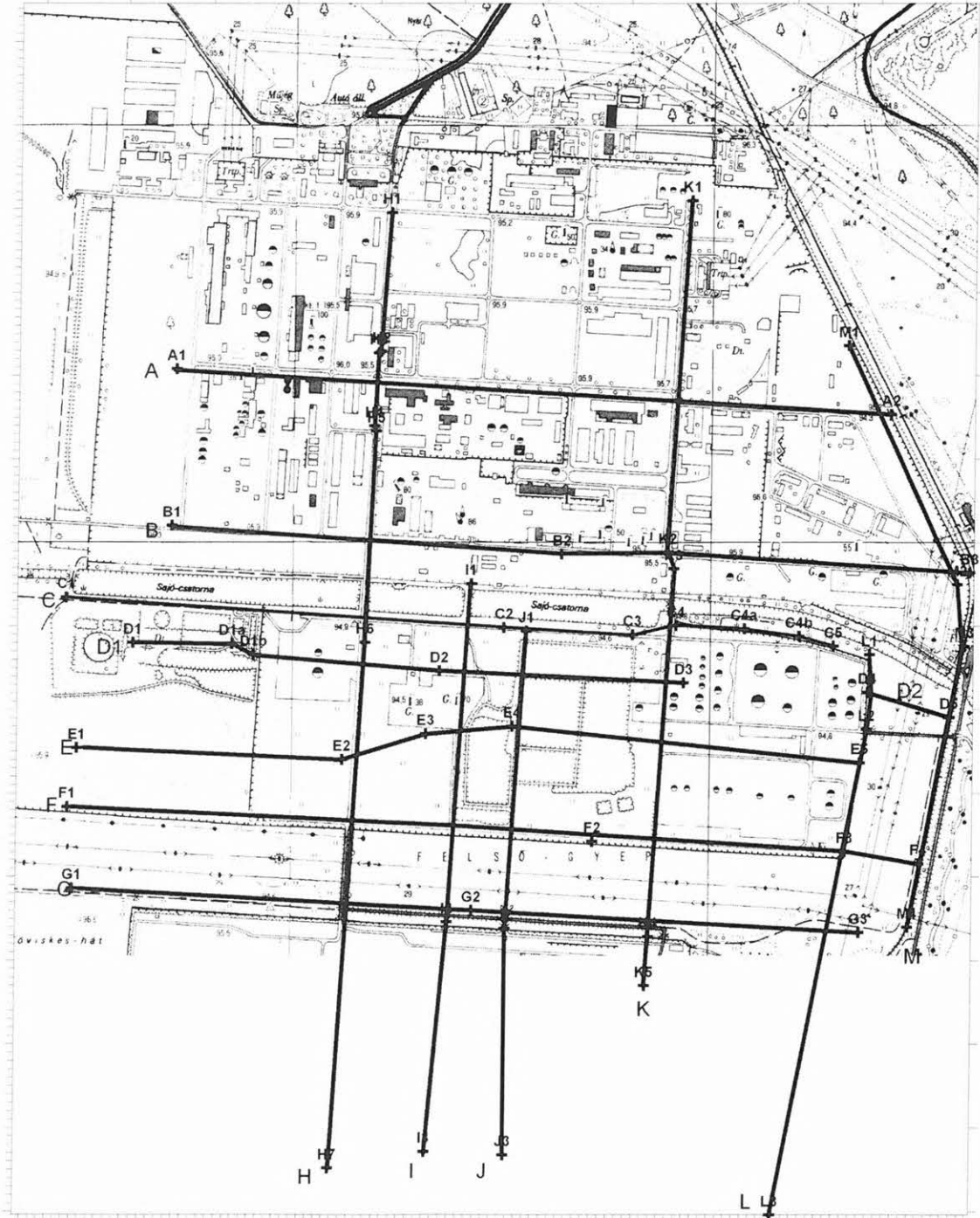
mutatnak a szennyezett területeken mértekhez képest, amiből arra következtethetünk, hogy a földtani szerkezet változása nem okoznak jelentős fajlagos ellenállás kontrasztot, míg a szennyezett területeken kiugróan eltérő ellenállás értékeket mérhetünk. A kis ellenállás értékek ( $3 \Omega\text{m}$  alatt) nem lehetnek földtani eredetűek, azok inkább a megemelkedett ion- és fémkoncentráció eredményei.

### Geofizikai mérések

A geofizikai mérések feladata az volt, hogy lehatároljuk a szennyezett talajvíz felhalmozódási zónáit, és kijelöljük

azokat a helyeket, ahol a szennyeződés függőleges irányú terjedésére lehet számítani.

A kutatási terület mérete hozzávetőlegesen  $3,5 \times 2,5$  km volt, ami túl nagy háromdimenziós mérési háló alkalmazásához. Több, kisebb méretű mérési rendszer lefektetésére a terület sűrű beépítettsége miatt nem volt lehetőség. Ezért a kutatást sűrűn elhelyezett mérési vonalak mentén végeztük el, melyek nyomvonalai igazodtak a terepi lehetőségekhez. A mérési vonalak helyszínrajzát a 3. ábra mutatja. A teljes szelvényhossz  $22,5$  km volt,  $14$  db szelvény mentén.



3. ábra. A mérési vonalak helyszínrajza az 1. sz. kísérleti területen

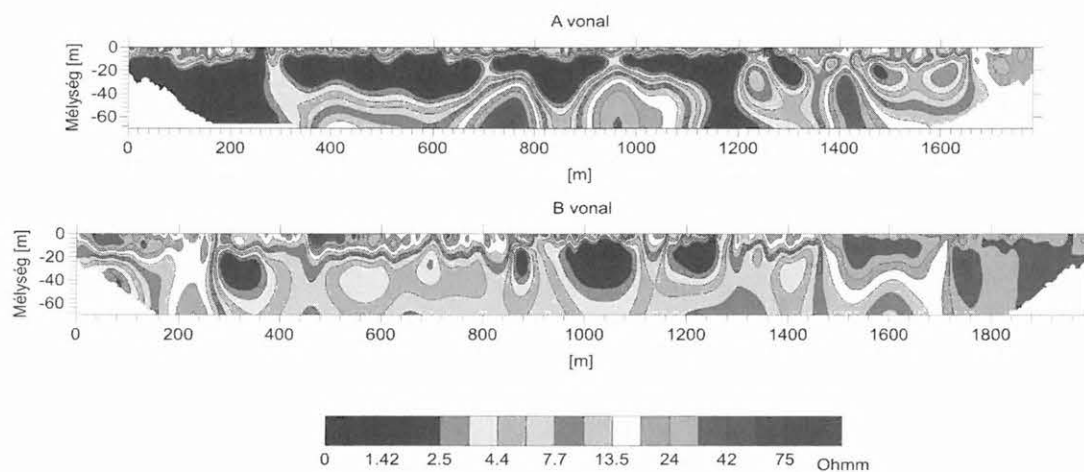
Fig. 3. Location map of survey lines on test site 1

Figyelembe véve a szakirodalmi adatokat, a mérési vonalhálózat terepi adottságok által meghatározott elhelyezkedését, a megkívánt behatolási mélységet és az egyes elektrodaelrendezésekhez tartozó felbontóképességet, az inverz Schlumberger-elrendezés használata mellett döntöttünk. A maximális behatolási mélység, ahonnan még fajlagos ellenállás értékeket mérhetünk, 70 m körül adódott ezzel az elektroda kiosztással. A viszonylag nagy behatolási mélységet a korábbi (2003. évi) VESZ mérési eredményekből megismert mélységi anomáliák ellenőrzésének igénye is indokolta. A terepi munkára 2006 októberében és novemberében került sor, amikor a kedvező időjárási viszonyok miatt a talaj menti fagyok nem befolyásolhatták a mérési eredményeket. A mé-

réseket a SuperSting R8 sokelektrodás egyenáramú elektromos mérési rendszerrel végeztük.

#### Adatfeldolgozás, értelmezés

A mérési adatok feldolgozását a LOKE, BARKER [1996] inverziós módszerét alkalmazó Res2Dinv programmal végeztük. A mért látszólagos fajlagos ellenállás szelvényeket egyenként feldolgoztuk és értelmeztük, majd területi értelmezést készítettünk a vonalak térbeli megjelenítése alapján. A 14 mérési vonalból a terjedelmi korlátok miatt csak kettő értelmezését mutatjuk be részletesen, melyek inverzió után kapott fajlagos ellenállás értékeit a 4. ábra mutatja.



4. ábra. A és B vonalak fajlagos ellenállás szelvényei

Fig. 4. Resistivity sections of profiles A and B

Az A vonal a kutatási terület északi részén található Ny-K irányú szelvény. Uralkodóan rendkívül alacsony ( $3 \Omega\text{m}$  alatti) fajlagos ellenállás értékeket kaptunk eredményül, ami fémes-ionos szennyeződés jelenlétére utal. A szelvényen látható, hogy a felszíni fedőréteg alatt már néhány méteres mélységben megjelenik a kis ellenállású, szennyezett talajvíz. A 20 m környékén fúrásokból kimutatott agyagréteg a szelvény nagy részén nem követhető: a szennyezett zónákban vagy hiányzik, vagy olyan vékony, hogy nem gátolja a szennyeződés vertikális terjedését, annak hatását az ellenállás szelvényen elnyomja. A mérési vonal első kb. 600 m-én az alsó és felső, homok- és kavics-tartalmú víztartó rétegek teljesen telítettek látszanak a szennyezett talajvízzel, a két réteg közti határ nem kimutatható. A 380–1100 m-ig terjedő szelvényhosszon fokozatosan feltűnik az alsó víztartó és az azt határoló agyagréteg jelenlétére utaló, nagyobb ellenállású anomália. Ez alapján arra lehet következtetni, hogy a szelvény második felében a szennyezőanyag jelenléte a felső víztartó rétegre korlátozódik, kivéve egy rövidebb szakaszt az 1800-as szelvényméteren.

A B vonal párhuzamos az előbb elemzett A vonallal, attól délre kb. 300 m-re helyezkedik el. A szelvény első 900 m-én a 20 m fölötti felső víztartó réteg tisztának tűnik, jellemzően  $60\text{--}80 \Omega\text{m}$ -es fajlagos ellenállás értékek jellemzik. A  $8\text{--}10 \Omega\text{m}$  körüli fajlagos ellenállású agyagréteg alatt jól körülhatárolható  $3 \Omega\text{m}$  alatti ellenállás értékekkel je-

lentkezik a szennyezett talajvíz. A 160–280 m közti szakaszon a vízzáró réteg eltűnik, ezen a helyen történhetett az alsó réteg elszennyeződése. A 900 m-től keletre lévő szakaszon megfigyelhető, hogy a kis ellenállású értékek fokozatosan a felszínközeli részekben is jellemzők lesznek, miközben az agyagrétegre utaló anomália eltűnik. Ez a felső víztartó réteg A vonalhoz hasonló mértékű elszennyeződését jelenti. A szelvény hátsó szakaszán, 1400 m után megnövekednek a fajlagos ellenállás értékek, ami tiszta, szennyeződésmentes közegre utal.

A területi értelmezést az 5. ábrán található háromdimenziós leképezés alapján végeztük, figyelembe véve az egyedi vonalak értelmezésével kapott eredményeket. Horizontálisan lehatároltuk a kis fajlagos ellenállás értékkel jellemezhető szennyezett talajvíz elterjedését. Kijelöltük az alsó és felső víztartó réteg közti, vertikális gátat jelentő agyagrétegben található hiányokat, ahol a szennyezőanyag függőleges irányú terjedése valószínűsíthető.

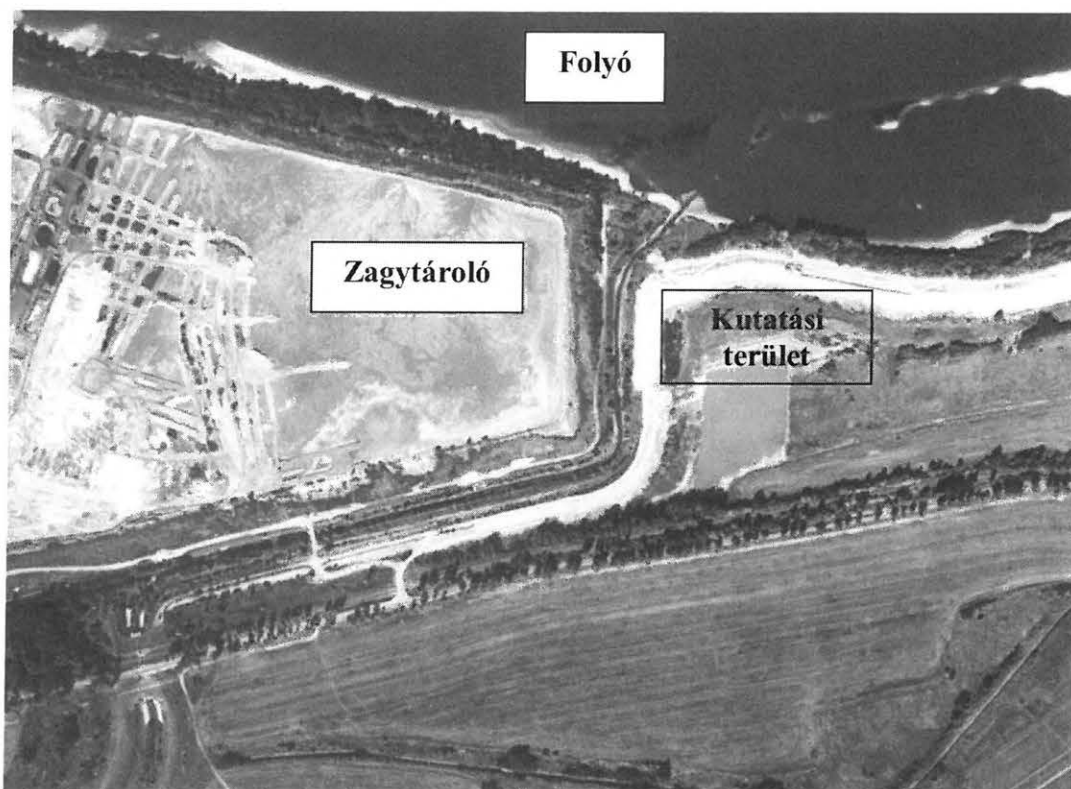
## A 2. sz. kutatási terület vizsgálata

A kutatási terület a Kisalföldön található, egy timföldgyári melléktermékeket tartalmazó zagytározó közvetlen közelében. A területről készített légi felvétel látható a 6. ábrán. A geofizikai mérések célja az volt, hogy vizsgáljuk a felszín alatti szennyeződések kimutatásának lehetőségeit különböző háromdimenziós mérési rendszerek alkalmazásával.



5. ábra. Fajlagos ellenállás értékek térbeli eloszlása a mérési vonalak mentén

Fig. 5. Spatial distribution of resistivity values along the survey lines



6. ábra. Légi felvétel a 2. sz. kísérleti területről

Fig. 6. Air photo of test site 2

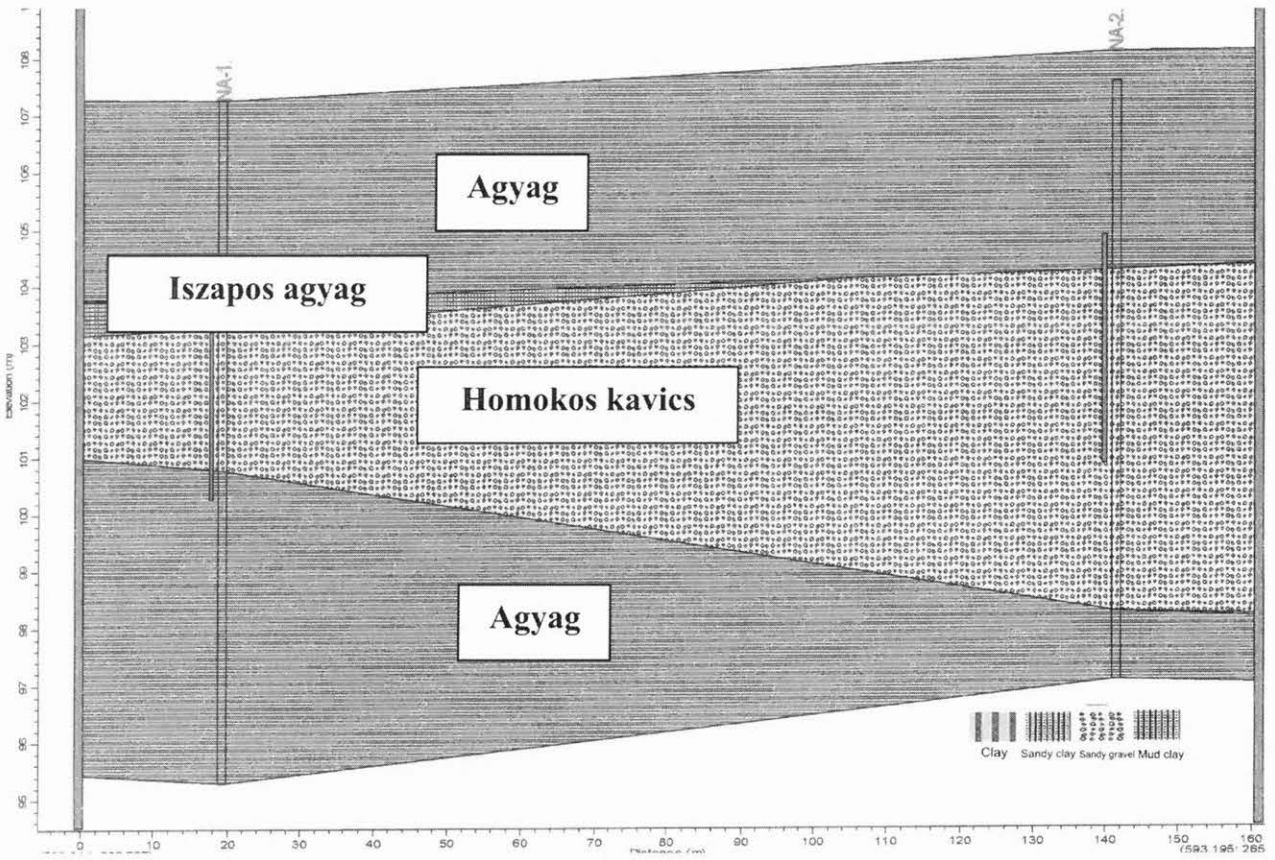
#### A kutatási terület jellemzése

A szennyezőanyagot termelő timföldgyár környezetében található zagykazettákban az üzem működésének kezdete (1951) óta, a technológiai folyamat részeként halmozódott fel a vörösiszap. A terület földtani és geokémiai vizsgálatainak eredményét HALMÓCZKY [2005] nyomán ismertetjük. A zagykazetták nélkülözik a tökéletes természetes, valamint a mesterségesen kialakított

műszaki védelmet, így a II. osztályú veszélyes hulladék, a vörösiszap közvetlen kapcsolatban áll a pleisztocén homokos-kavicsos összletben tárolt talajvízzel. Az elérhető vízkémiai vizsgálati eredmények alapján a térségben kiemelkedően magas a fajlagos elektromos vezetőképesség (3000–9000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), amely magas oldott sókoncentrációt jelez. A magas sótartalmat elsősorban a nátrium, szulfát, klorid, foszfát, fluorid, ammónium ionok okozzák. A

kutakban mért pH is magas, általában 8–10 közötti. A toxikus fémek közül meg kell említeni a molibdént, amely 1000–4000 ppm nagyságrendű. A 10–100 mg/l nagyságrendű KOI és TOC értékek magas szervesanyag-tartalmat prognosztizálnak. A felszín alatti vízben tehát összetett, szerves és szervetlen vegyületek, elemek alkotta szennyeztség mutatható ki, amelynek eloszlása és horizontális kiterjedése jelenleg kevésbé ismert.

A területen folyóvízi üledékes rétegsor jellemző (7. ábra). A felszíni talajréteget egy 3–5 m vastag agygréteg követi. Alatta található egy 2–6 m vastagságú homokos-kavicsos, változó szemcseméretű víztároló összlet némi izapagos-agyagos közbetelepüléssel, amelyet alulról újabb vastag vízzáró agygréteg határol. A pleisztocén kavicsos összletben tárolt talajvíz mindenkori áramlási viszonyait a közeli folyó vízállása határozza meg.

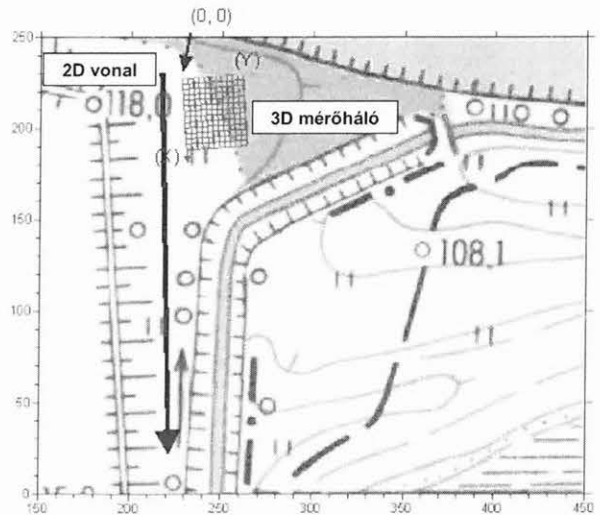


7. ábra. Fúrásos adatokon alapuló földtani rétegsor a 2. sz. kísérleti területen

Fig. 7. Geological structure based on borehole data on test site 2

### Előzetes geofizikai vizsgálatok

A kutatási területen a háromdimenziós mérési háló optimális elhelyezésének érdekében először egy hosszú, két-dimenziós szelvény mentén végeztünk méréseket. A mérési vonal elhelyezésénél szempont volt, hogy az minél több fúrás közelében haladjon el, melynek adatai felhasználhatók az értelmezésnél, valamint hogy áthaladjon mind bizonyítottan szennyezett, mind tiszta területeken. Az előzetes adatok alapján a területet DK-ről határoló patak mentén mértünk, mert a rendelkezésünkre álló vízminta adatok alapján itt volt a legmagasabb a szennyeződések koncentrációja. A szelvény a folyó partján elhelyezkedő NA-1 fúrástól indult és érintette az NA-2, II/1 és II/2 fúrásokat. A mérést kis mélységű kutatásra terveztük, mivel a szennyeződés valószínűleg a felső néhány méterben található kavicsra korlátozódik. A vízminták alapján a szelvény végén már nem található felszínközeli szennyeződés. A 2D mérési vonal és későbbi 3D mérési háló elhelyezkedését a 8. ábra mutatja.

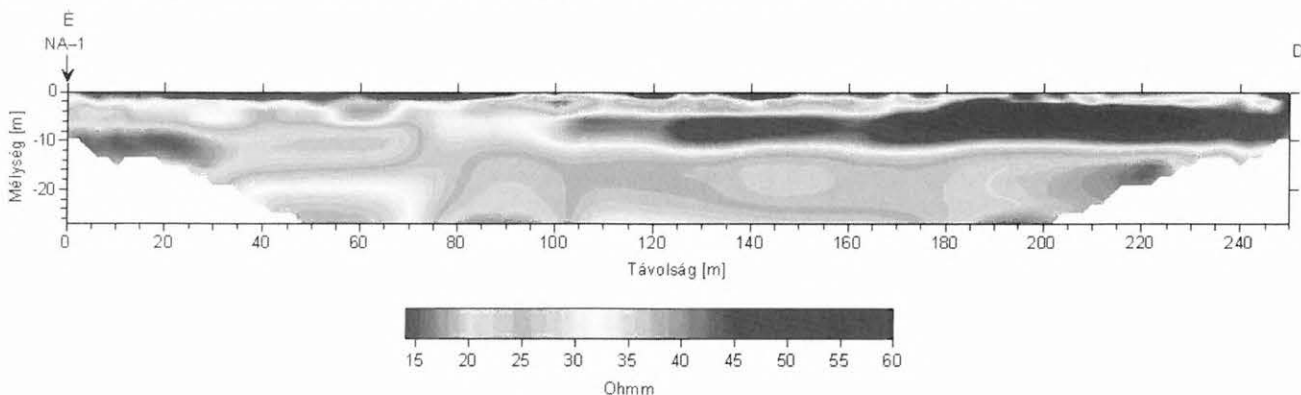


8. ábra. 2D és 3D mérések nyomvonalai a 2. sz. kísérleti területen

Fig. 8. Locations of 2D and 3D surveys on test site 2

A mérést a jó horizontális felbontóképességgel jellemezhető dipól-dipól elrendezéssel végeztük. Bár a módszernek nagyobb elektródátávolságok esetén már jelentős a zajérzékenysége [NYÁRI 2000], esetünkben a csekély kutatási mélységhez nem volt szükség arra, hogy a dipólok távolságát jellemző  $n$  értéket a szakirodalom által ajánlott

6 fölé emeljük. Az egységnyi elektródátávolság 2 m volt, és a 30 m-es maximális behatolást a dipólok túlzott eltávolítása nélkül, 23 mélységszinttel sikerült elérni úgy, hogy a jel/zaj viszony romlásakor növeltük a dipólt alkotó elektródák távolságát. A teljes szelvényhossz 250 m volt, a méréshez 126 elektródát használtunk.



9. ábra. 2D-s fajlagos ellenállás szelvény a 2. sz. kísérleti területen

Fig. 9. 2D resistivity section on test site 2

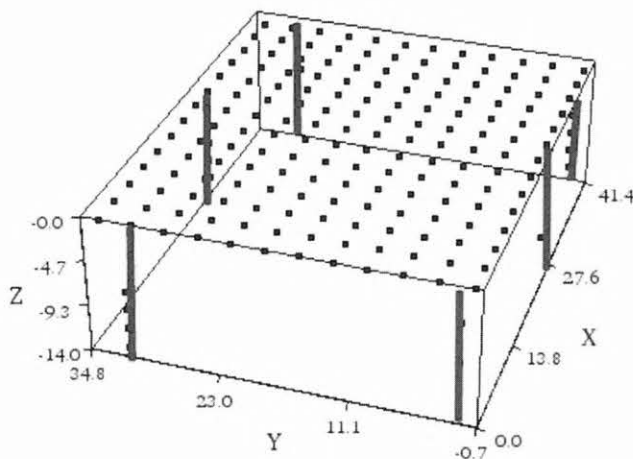
A 9. ábrán látható, inverzióval előállított fajlagos ellenállás szelvény D-i (jobb) oldalán néhány méteres fedő alatt jól kivehető a nagy ellenállású kavics 8–10 méteres mélységig. Ez alatt megjelenik az agyagos-közetlisztes, kisebb ellenállású fekvő. Ez a rétegsor illeszkedik az NA-II/2 fúrásból megismert földtani szerkezethez, a vízminták elemzése alapján pedig tudjuk, hogy szennyezőanyag nincs jelen a talajvízben. A szelvény északi oldalán ez a rétegződés már nem követhető, a várt kavicsréteg helyén kiugróan kicsi fajlagos ellenállású összlet jelenik meg. Az ezen a szelvényrészén található NA-1 fúrásban a víztartó kavicsréteg csak 2,5 m vastagságú, amely azonban a vízminták elemzése szerint 7000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  vezetőképességű, fémeket és oldott ionokat tartalmazó vízzel telített. Az előzetes mérési szelvényen látszik, hogy szennyeződésmentes területen a földtani rétegsor leképezhető a fajlagos ellenállás értékek alapján, míg a szennyezett területen a módszer a szennyeződés lehatárolására alkalmas.

#### Felszíni háromdimenziós mérések

A felszíni háromdimenziós mérési elrendezések alkalmazhatóságának vizsgálatához a rendelkezésünkre álló 168 db elektródából egy 12–14-es mérési hálót hoztunk létre, 3 m-es egységnyi elektródaközszelével (10. ábra). A mérést DAHLIN, BERNSTONE [1997] által kidolgozott „roll along” (görgetős) módszerrel végeztük. A mérési adatokat az EarthImager 3D programmal dolgoztuk fel.

Elsőnek a két jó horizontális felbontóképességgel jellemezhető elrendezést, a dipól-dipólt és bipól-bipólt vizsgáltuk. Ezek alkalmazásával kapott fajlagos ellenállás képeket mutatja a 11. és 12. ábra. Látható, hogy a felszínközeli térrész leképezése nagy részletességgel sikerült mindkét esetben, és a kis (10  $\Omega\text{m}$  alatti) ellenállású, szennyezett talajvizet tartalmazó réteg is egyértelműen kimutatható, horizontálisan jól lehatárolható. A két elrendezés között ezen anomáliaképek alapján nem lehet alkalmazhatóság szempontjából sorrendet felállítani. A 13. ábra a két elrendezéssel mért adatok együttes inverziójának eredményét mutatja be. Mindhárom esetben tehát nagyon jó felbontású képet kaptunk a felszínközeli szerkezetekről, ám a szennyezett réteg aljág nem sikerült

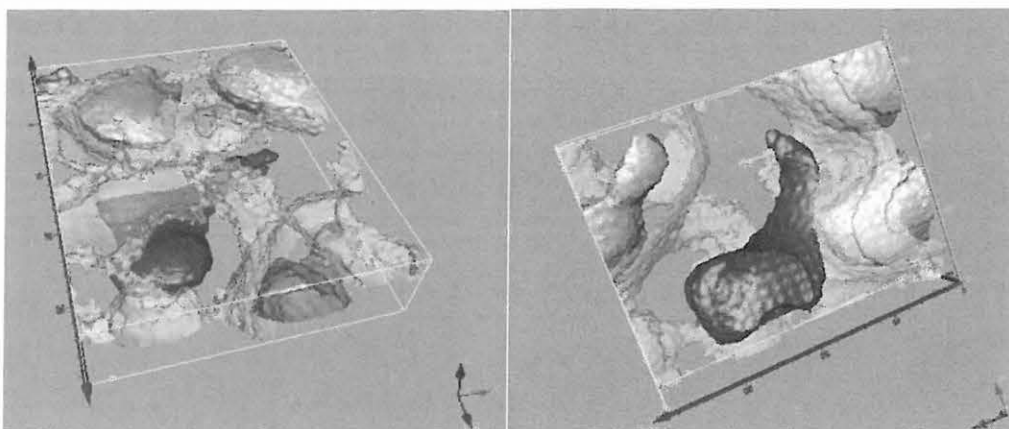
növelni a behatolási mélységet. Nagyobb kutatási mélység csak az elektródaköz, tehát a mérési háló növelésével lenne elérhető, ám ez akkor a felbontóképesség rovására menne.



10. ábra. A 2. sz. kísérleti területen 3D-s mérésekhez használt felszíni elektródarendszer és a fúrólukák pozíciói

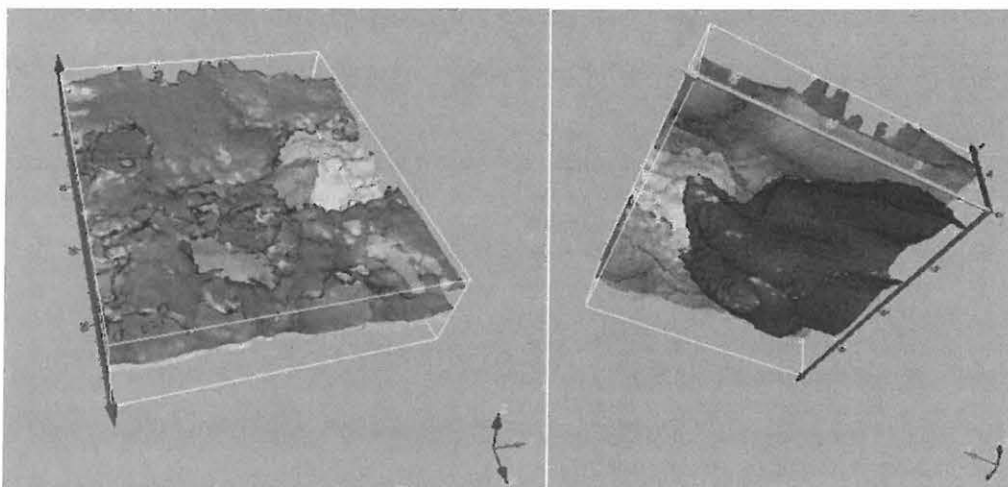
Fig. 10. Positions of surface electrode grid and boreholes for 3D surveys on test site 2

Következő lépésként a nagyobb behatolási mélységgel jellemezhető pole-pole elrendezéssel mértünk, az inverzióval kapott eredményt a 14. ábra mutatja. Az anomáliaképen a horizontális felbontóképesség egyértelműen rosszabb, mint az előző két vizsgált elektróda elrendezés esetén. Az anomália alakja ennek ellenére horizontálisan is lehatárolható, és a korábbi esetekkel szemben a kutatási mélység túlhaladt a szennyeződésre utaló anomália alján, így annak vertikális kiterjedése egyértelműen meghatározható lett. Elvégeztük a dipól-dipól és a pole-pole elrendezéssel mért adatok együttes inverzióját is, melynek eredménye a 15. ábrán látható. Az együttes inverzió alkalmazásával sikerült mindkét elrendezés előnyeit felhasználni: jó horizontális felbontóképességű, megfelelő behatolási mélységű anomáliaképet kaptunk.



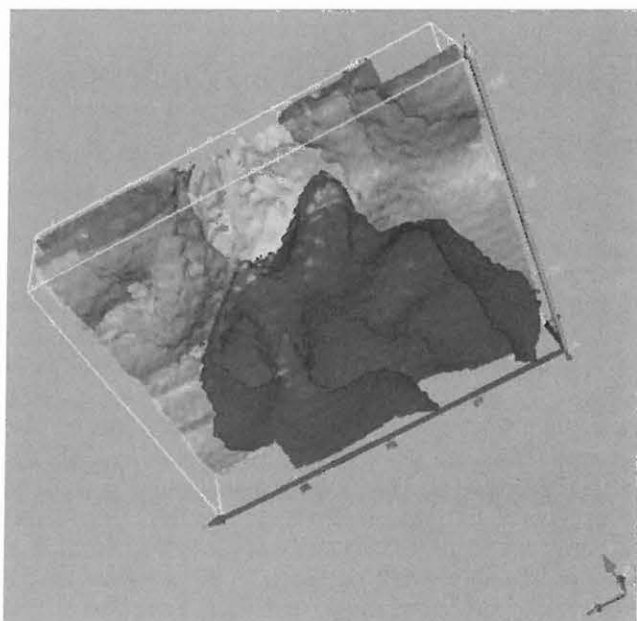
11. ábra. Dipól-dipól elrendezéssel mért fajlagos ellenállás eloszlás felül- és alulnézetből. A sötét szín a kis ellenállású, szennyeződésre utaló anomáliát jelöli

Fig. 11. Resistivity image of dipole-dipole survey from top and bottom points of view. Dark colour indicates the low resistive contaminant



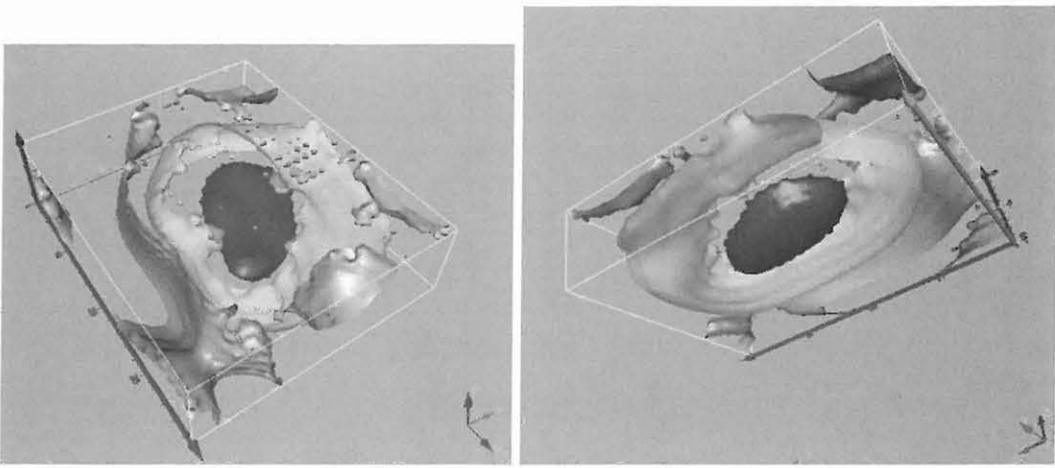
12. ábra. Bipól-bipól elrendezéssel mért fajlagos ellenállás eloszlás felül- és alulnézetből. A sötét szín a kis ellenállású, szennyeződésre utaló anomáliát jelöli

Fig. 12. Resistivity image of bipole-bipole survey from top and bottom points of view. Dark colour indicates the low resistive contaminant



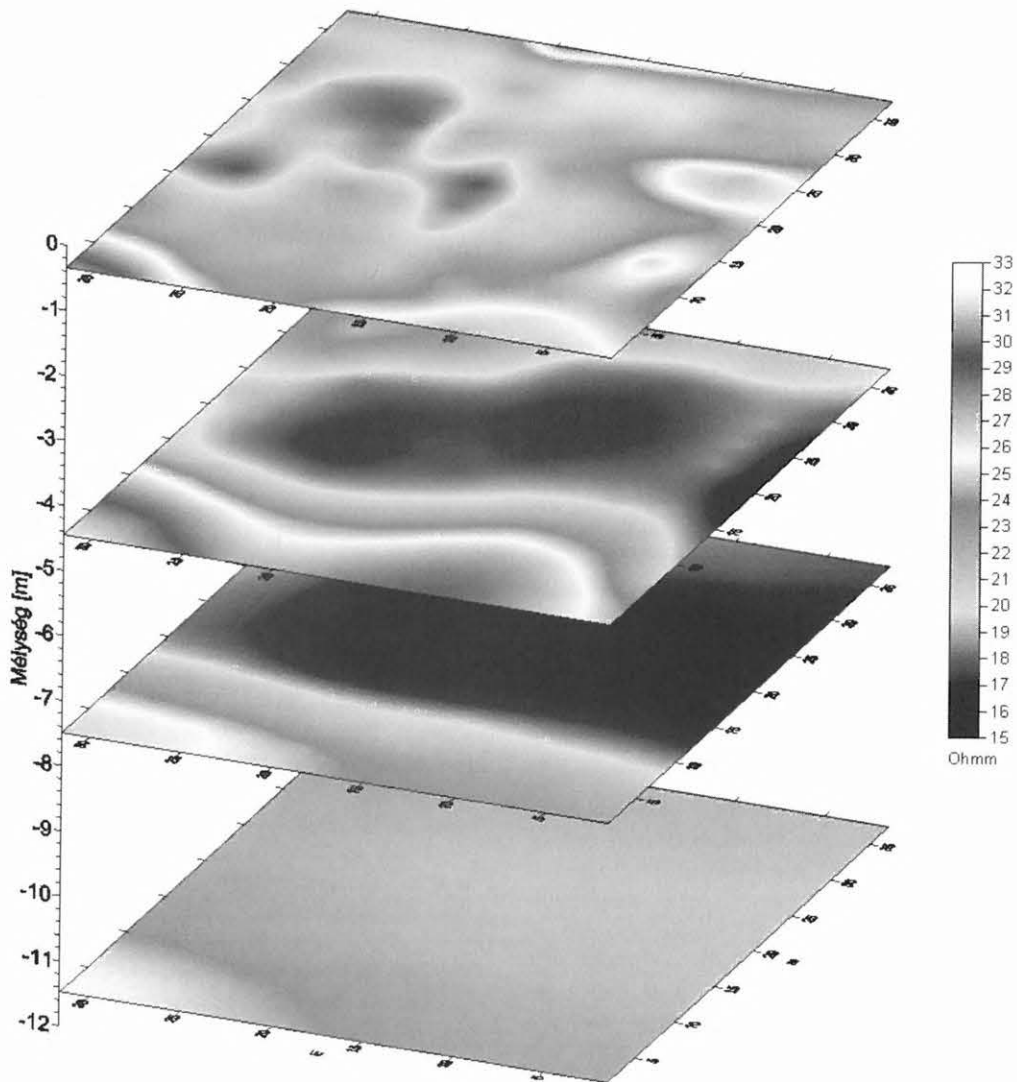
13. ábra. Dipól-dipól és bipól-bipól elrendezések együttes inverziójának eredménye alulnézetből. A sötét szín a kis ellenállású, szennyeződésre utaló anomáliát jelöli

Fig. 13. Resistivity image after combined inversion of dipole-dipole and bipole-bipole arrays from bottom point of view. Dark colour indicates the low resistive contaminant



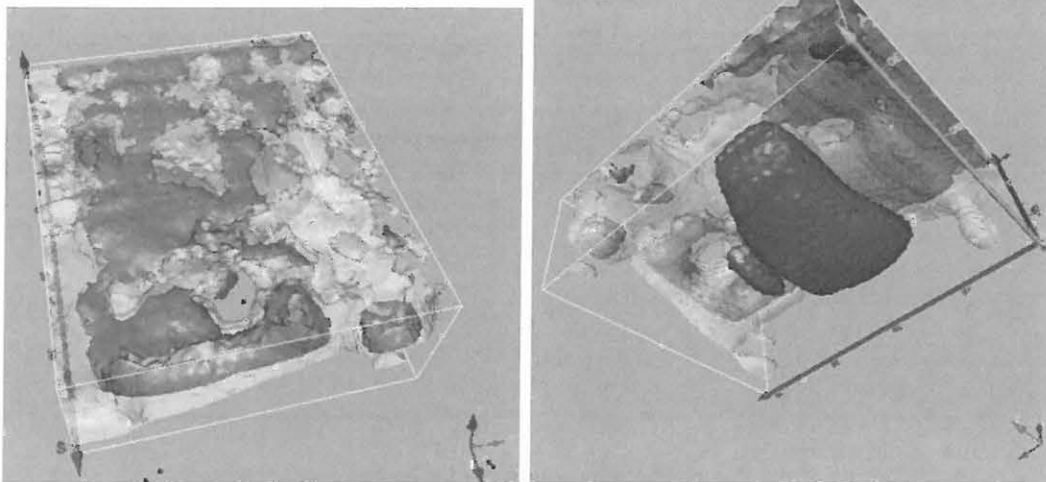
14. ábra. Pole-pole elrendezéssel mért fajlagos ellenállás eloszlás felül- és alulnézetből. A sötét szín a kis ellenállású, szennyeződésre utaló anomáliát jelöli

Fig. 14. Resistivity image of pole-pole survey from top and bottom points of view. Dark colour indicates the low resistive contaminant



15. ábra. Dipól-dipól és pole-pole elrendezések együttes inverziójának eredményéből készült mélységmetszetek. A sötét szín a kis ellenállású, szennyeződésre utaló anomáliát jelöli

Fig. 15. Depth slices from the results of combined inversion of dipole-dipole and pole-pole arrays. Dark colour indicates the low resistive contaminant



16. ábra. Fúrólukbeli és felszíni elektródákkal mért, teljes 3D-s fajlagos ellenállás leképezés felül- és alulnézetből. A sötét szín a kis ellenállású, szennyeződésre utaló anomáliát jelöli

Fig. 16. Full 3D resistivity image measured with borehole and surface electrodes from top and bottom points of view. Dark colour indicates the low resistive contaminant

### Teljes háromdimenziós mérések

Teljes háromdimenziós mérésnek a felszíni 3D-s mérőháló és fúrólukbeli átvilágítás kombinációját nevezzük. Ilyenkor a vizsgált térrész minden irányból történő leképezése valósul meg. Felszín alatti szennyeződések kutatása esetén fontos, hogy roncsolásmentes technológiát alkalmazzunk, ezáltal megakadályozzuk a szennyezőanyagok függőleges irányú terjedését. Ezért a teljes háromdimenziós mérés csak akkor használható, ha a kutatási területen előzetesen már kijelölhető a szennyeződés horizontális elterjedése, így megoldható, hogy az átvilágításhoz használt fúrólukak mélyítése csak igazoltan tiszta helyen történjék.

Jelen kutatási területen 6 db, egyenként 15 m mélységű fúrólukat helyeztünk el a mérési háló széléinél (10. ábra). Az adatfeldolgozás után kapott anomáliakép (16. ábra) a mélyebb tartományokban is rendkívül részletes információt nyújt a vizsgált térrész fajlagos ellenállás viszonyairól.

### Következtetések

Teszt területen végzett 2D és 3D mérésekkel sikerült igazolni, hogy az egyenáramú elektromos módszer sikerrel alkalmazható vizes fázisú szennyeződések horizontális és vertikális lehatárolására. Vizsgáltuk a különböző felszíni 3D-s elrendezések alkalmazhatóságát, és megállapítottuk, hogy legtöbb igényt kielégítő eredményt egy jó horizontális felbontású (pl. dipól-dipól), valamint egy nagyobb behatolású (pole-pole) elrendezés együttes inverziójával lehet elérni. A mélyebb tartományok jó felbontású leképezése teljes háromdimenziós méréssel volt megvalósítható.

Mivel a kutatási program alapvető tevékenységet csak nagyon korlátozott mértékben engedélyezett, következtéseinket a teszt területeken szerzett tapasztalatok alapján tudtuk levonni. Eredményeink szélesebb alkalmazhatóságához további alapvető kutatás szükséges.

Az így kifejlesztésre kerülő módszeregyüttes jövőbeli alkalmazásával csökkenthető a vizsgálatok során potenciálisan bekövetkező szennyezőanyag-átfejtődés kockázata (azaz a víztartó összletek fekéjének átfúrásával akaratlanul is előidézett vertikális szennyezőanyag migráció), egyúttal ésszerűbbé, hatékonyabbá és remélhetőleg olcsóbbá tehető a környezeti diagnosztika.

### Köszönetnyilvánítás

A dolgozat a GVOP-AKF-2004-05/0187 számú kutatási projekt keretében végzett munka eredményeinek felhasználásával készült.

### HIVATKOZÁSOK

- DAHLIN T., BERNSTONE C. 1997. A roll-along technique for 3D resistivity data acquisition with multi-electrode arrays. Proc. SAGEEP'97 (Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems), Reno, Nevada, March 23-26 1997, vol. 2, 927-935
- DAHLIN T., ZHOU B. 2006: Multiple-gradient array measurements for multi-channel 2D resistivity imaging; Near Surface Geophysics 4, 2, 113-123
- GUÉRIN R., BÉGASSANT P., BENDERITTER Y., DAVID J., TABBAGH A., THIRY M. 2004: Geophysical study of the industrial waste land in Mortagne-du-Nord (France) using electrical resistivity; Near Surface Geophysics 2004, 137-143
- HALMÓCZKI SZ. 2005: Konceptcionális modell 3. kísérleti terület; tudományos jelentés, BGT Hungária Kft.
- LOKE M. H. 1996-2004: Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. www.geoelectrical.com/coursenotes.zip
- LOKE M. H., BARKER R. D. 1996: Rapid least squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method; Geophysical Prospecting 44, 131-152
- MURRAY C. J., LAST G. V., TRUOX M. J. 2005: Review of geophysical techniques to define the spatial distribution of subsurface properties or contaminants; tudományos jelentés, US Department of Energy, Pacific Northwest National Laboratory

- NYÁRI Zs. 2000: Quality controlled resistivity inversion in cavity detection. *Geophysical Transactions* **43**, 1, 47–63
- SZÜCS P., MADARÁSZ T. 2006: Complex hydrogeological modelling of multifunctional artificial recharge options of the Great-Forest Park in Debrecen, Hungary; *Water Pollution VIII, Modelling, Monitoring and Management*. *Editors*: C. A. BREBBIA, J. S. ANTUNES do Carmo WIT Press, 2006, p. 177-184., ISBN: 1-84564-042-X.
- YOON G., OH M, PARK J. 2002: Laboratory study of landfill leachett effect on resistivity in unsaturated soil using cone penetrometer. *Environmental Geology* **43**, 1–2, 18–28.

# *Advanced Seismic Acquisition and Processing (ASAP) — egy EU által finanszírozott nemzetközi kutatási projekt bemutatása<sup>1</sup>*

SCHOLTZ PÉTER<sup>2</sup>, NYÁRI ZSUZSANNA<sup>2</sup>

A 2006 nyarán érkezett értesítés szerint sikeres pályázati elbírálásban részesült az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (ELGI) vezetésével, a Schlumberger Cambridge Research (SCR) és a WesternGeco mint partnerek által létrehozott közös pályázat az Európai Unió 6. keretprogram (FP6) Human Resources and Mobility (HRM) Activity Marie Curie Actions Marie Curie Host Fellowships for the Transfer of Knowledge (ToK) Development Host Scheme keretében. Ez a támogatási forma, melyre részben a hosszú angol cím is utal, alapvetően egy kutatási téma köré szerveződik és preferáltan az európai kutatók (de a világ számos kutatója) számára biztosít lehetőséget arra, hogy egy fogadó intézmény (ELGI) és néhány partner segítségével tudását gyarapíthassa, illetve a kutatási eredményekkel a fogadó intézményt gazdagítsa. A kutatási témában a szeizmikus mérés és feldolgozás területén kívánunk eredményeket elérni (az angol elnevezés a címben). A projekt 3 éves időtartamú, melynek során mintegy egymillió euró keretösszeg áll rendelkezésre külföldi kutatók magyarországi alkalmazására (maximum 2 év), a partnerek kutatóinak fogadására és a partnerek látogatására ösztöndíjas rendszerben. A keretösszeg a közös kutatási cél dologi költségeire is fedezetet nyújt.

Beszámolónkban összefoglaljuk az előzményeket, bemutatjuk a partnereket, a kutatási témát és felvillantunk néhány részletet az első év eredményeiből.

**P. SCHOLTZ, Zs. NYÁRI: Advanced Seismic Acquisition and Processing (ASAP) — introduction of an EU financed international research project**

*We were notified by a letter received from the EU in the Summer of 2006 that application for a common project was successful within the 6th Framework Programme (FP6) Human Resources and Mobility (HRM) Activity, Marie Curie Actions, Marie Curie Host Fellowships for the Transfer of Knowledge (ToK) Development Host Scheme. The granted project has the Eötvös Loránd Geophysical Institute (ELGI) as the leading (host) institution; Schlumberger Cambridge Research (SCR) and WesternGeco are the industrial partners. This form of support, as the long title partly suggests, is organised around a research topic and provides opportunities for mainly European scientists, but also for researchers from all around the world to enhance their knowledge by the help of a host (ELGI) and its partners. Furthermore it also enriches the host by the results of the research project. The research topic aims to achieve new developments in the field of seismic acquisition and processing (see title). The project lasts for 3 years and we have almost one million euro to cover the cost of employing foreign researchers (maximum 2 years), the visiting scientist of partners (at ELGI) and the outgoing researchers of ELGI (visiting the partners). The budget provides the background for the project costs as well.*

*In this report we summarise the premises, introduce the partners, the research topic and highlight some research results from the first year of the project.*

## **Előzmények**

Egy ekkora nagyságrendű projekt, ilyen partnerekkel, nyilvánvalóan nem jöhetett volna létre az ELGI-ben hosszú évek óta folytatott szeizmikus elméleti és gyakorlati kutatási tevékenység nélkül. A kutatási téma egy részterületével, nevezetesen a vibrátoros szeizmikus forrás vizsgálásával BODOKY et al. [1979], és később BAKI György a vibrátor végeelemes modellezésével már az 1980-as években is foglalkozott. Később GOMBÁR [1991] a vibrátoros mérések jel-zaj viszonyait elemezte. SCHOLTZ [2002; 2003a; 2004] néhány publikációjában, valamint doktori disszertációjában [SCHOLTZ 2003b] a vibrátoros jel meghatározására tett kísérletet. Ezt a kutatási témát az OTKA (T 042552) is támogatta egy hároméves projekt keretében [SCHOLTZ et al. 2006].

A pályázat összefogását, a szerződések kimunkálását, a partnerek koordinálását és az Európai Unió pályázati követelményeinek való megfelelést NYÁRI Zsuzsanna mint a projekt koordinátora biztosítja. Neki sem előzmények nélküli ez a szerepkör, hiszen több hazai és nemzetközi kutatási projekt [pl. NYÁRI 2005] vezetőjeként szerzett már tapasztalatot.

Hasonlóan fontos volt, hogy érdekelt partnereket nyerjünk meg pályázati elképzeléseinknek. Természetesen ez sem lehetett előzmények nélküli, pusztán az elért eredmények, publikációk alapján nehéz fajsúlyos partnert találni. A szükséges pluszt itt egy korábbi szórakozó személyes kapcsolat jelentette, melyet többéves, a partner cégnél eltöltött munkavégzés alapozott meg. Ezt követte a 2005-ös év során egy kutatási megbízás, melyet az egyik partner részére teljesítettünk, és ez alatt az idő alatt történt a közös pályázat kimunkálása is.

<sup>1</sup> Beérkezett: 2007. október 10-én

<sup>2</sup> Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet,  
H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17–23.



1. ábra. Fehér asztal mellett a közös jövő előkészítése. Balról jobbra: SCHOLTZ Péter kutatásvezető (ELGI); James MARTIN elnökhelyettes (Product Development and Manufacturing, Schlumberger Ltd.); NYÁRI Zsuzsanna projekt koordinátor (ELGI); Ali ÖZBEK tudományos tanácsadó (SCR)

Fig. 1. Preparation of the common future at festive board. From left to right: Péter SCHOLTZ, Scientist in Charge (ELGI); James MARTIN, Vice President (Product Development and Manufacturing, Schlumberger Ltd.); Zsuzsanna NYÁRI, Project Coordinator (ELGI); Ali ÖZBEK, Scientific Adviser (SCR)

## A részt vevő intézmények

Fogadó: Eötvös Loránd Geofizikai Intézet

A hazai tudományos közösségnek nem kell bemutatni, de azért álljon itt pár mondat arról, hogy mi mit szerepeltetünk a pályázati anyagban.

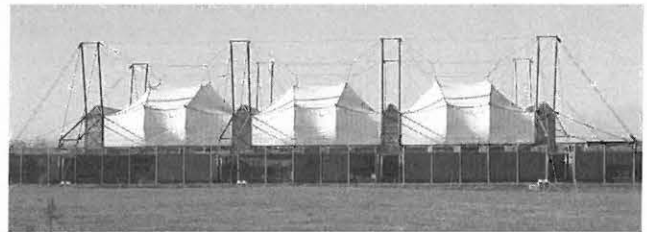
Az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (ELGI) Magyarország egyik legfontosabb kutatóközpontja a geotudományok területén. Tevékenysége felöleli mind az alap- és az alkalmazott geofizikai kutatásokat, mind pedig a geofizikai méréseket. A szeizmikus módszerek alkalmazásával átfogja a sekélyebb mélységű mérnöki problémáktól a mélyebb elhelyezkedésű kéreg és köpeny vizsgálatát is. Az ELGI nemcsak a szeizmikus módszereket, de gravitációs, mágneses, elektromos és elektromágneses, beleértve a tellurikus, magnetotellurikus és radarmérési módszereket is használja a strukturális vizsgálatokban, a geológiai térképezés során, a mérnöki és környezetvédelmi tevékenységben. Az ELGI kezeli Magyarország geofizikai adatbázisait. Laboratóriumokat és obszervatóriumot üzemeltetünk, hogy az ELGI közösségi funkcióit elláthassuk. A paleomágneses, radiometriai, metrológiai és a műszerfejlesztési laboratóriumok megszakítás nélkül, a nemzetközi normáknak megfelelően működnek. A mérési adatokat folyamatosan továbbítjuk más magyar és nemzetközi adatközpontokba. Az ELGI kutatói részt vesznek a hazai egyetemek oktatási tevékenységében előadások és terepgyakorlatok tartásával.

Az „ASAP” Tudás Transzfer (Transfer of Knowledge) projektet a jelenleg is futó módszertani fejlesztési projektek keretein belül folytatjuk, melyek a geofizikai módszerek és műszerek fejlesztését célozzák. Az ELGI fejlesztési tevékenysége a legtöbb geofizikai módszerre kiterjed, így a szeizmikus, gravitációs, geomágneses, képfeldolgozási, karotázs, geoelektromos, elektromágneses, geotermikus és mérnökgeofizikai módszere is. Módszertani eredményeink és műszerfejlesztésünk nemzetközileg is elismertek.

Ipari partner (1): Schlumberger Cambridge Research

A vezető multinacionális olajipari szolgáltató Schlumberger Ltd. egyik kutatási központja a Schlumberger Cambridge Research Ltd. (SCR). A Schlumberger Ltd. Nyújtja azt a technológiát, projektvezetést és információ techno-

lógiai megoldásokat, amelyek optimalizálják az olaj- és gáziparban tevékenykedő nemzetközi cégek eredményességét. Az olajipari szolgáltatás számára az SCR ad kutatási támogatást a valós idejű értelmezés, geomechanika, fizikai kémia, folyadék mechanika és geofizika területén. Az SCR tudományos munkáját a mögöttes folyamatok megértésére koncentrálna a kísérletezés, a matematikai modellezés és a számítógépes szimulációk eredményeinek ötvözésével. A kutatói csapatok több tudományág művelőiből kerülnek ki, úgymint fizika, kémia, anyagtudományok, matematika, statisztika, földtudományok, szilárd és folyadék mechanika, számítástechnika, jelfeldolgozás és műszerek. A Geofizikai részleg (24 kutató és 3 vezető) belül az egyik csapat a Mérés és Feldolgozás csoport (5 kutató és 1 vezető). Feladatuk a szeizmikus források és a rezervoár monitoring, amihez ez a Tudás Transzfer projekt is tartozik. Az elmúlt években a Geofizikai Osztály mintegy 80 új találmányt szabadalmaztatott. Az SCR 40–50 tudományos közleményt publikál és körülbelül 250 belső jelentés születik évente. Az SCR számos EU finanszírozású projekt aktív résztvevője, a Geofizikai Osztály jelenleg az IMAGES, SPICE és a DEMARAS programoknak is részese. Az SCR kutatói fejlesztik a prototípus terméket, majd tesztelik is. A legújabb fejlesztések azután átkerülnek a Schlumberger cég fejlesztési központjaiba, ahol kidolgozásra kerül a végső verzió, majd alkalmazásba kerülnek.



2. ábra. A Schlumberger Cambridge Research (SCR) építészeti díjas kutatóbázisa

Fig. 2. The main building of Schlumberger Cambridge Research (SCR), which has won prizes on architecture

Ipari partner (2): WesternGeco

A WesternGeco (WG) a legnagyobb szeizmikus kontaktor a világon. Ez a cég működteti az ipar legkiterjedtebb szeizmikus csoportjait és feldolgozási központjait, valamint a legnagyobb több-felhasználós szeizmikus adatrendszer birtokosa. A WesternGeco nagy fejlesztő és feldolgozási központokkal rendelkezik az Egyesült Királyságban és Norvégiában is. A WesternGeco Oslo Technology Centre fejleszti az adatgyűjtő berendezéseket mind a szárazföldi, mind pedig a tengeri és tengerfenéki szeizmikus mérésekhez. Mintegy 36 nemzet szülőltéiből több mint 270 szoftverest, elektromérnököt, gépészmérnököt és geofizikust alkalmaz. A WG vezeti az iparág technológiai átmenetét a nagy csatornaszámú, egyedi érzékelőkkel és egyedi vibrátoros forrással végrehajtott szeizmikus mérések területén, a hagyományos csoportosított vibrátorok és geofonok felhasználása helyett. Az újfajta adatrendszer lehetőséget és kihívást is jelent a minőség javítása és a produktivitás fenntartása szempontjából.

## A részt vevő kutatók

A kutatás és tudás átadás szervezésében, irányításában, illetve a kutatás kivitelezésében több ország számos kuta-

tója vesz részt. Intézmények szerinti bontásban az *1. táblázat* listázza a neveket rövid feladat meghatározással együtt.

ELGI (fogadó intézmény)	Projekt funkció	Gyakorlat	Státusz
Dr. NYÁRI Zsuzsanna	projekt koordinátor	> 10 év	állandó alkalmazás
Dr. SCHOLTZ Péter	kutatásvezető	> 10 év	állandó alkalmazás
Bibiána KYTKOVÁ	kutató	> 4 év	új alkalmazás
Dr. Giancarla DAL MORO	kutató	> 10 év	új alkalmazás
Dr. Christos SARAGIOTIS	kutató	> 4 év	új alkalmazás
GÚTHY Tibor	kutató	> 10 év	állandó alkalmazás
HEGYMEGI Csaba	kutató	> 4 év	állandó alkalmazás
NEDUCZA Boriszláv	kutató	> 10 év	állandó alkalmazás
Dr. PRÓNAY Zsolt	kutató	> 10 év	állandó alkalmazás
TILDY Péter	kutató	> 4 év	állandó alkalmazás
<b>SCR (partner)</b>			
Dr. Ali ÖZBEK	tanácsadó	> 10 év	állandó alkalmazás
Dr. Ed KRAGH	programvezető	> 10 év	állandó alkalmazás
Dr. Claudio BAGAINI	kutatási főmunkatárs	> 10 év	állandó alkalmazás
Dr. Pascal EDME	kutató	> 4 év	állandó alkalmazás
Dr. Ying Ji	kutató	> 10 év	állandó alkalmazás
<b>WesternGeco (partner)</b>			
Martin LAYCOCK	projektvezető	> 10 év	állandó alkalmazás
Dr. Kambiz IRANPOUR	fizikus főmunkatárs	> 10 év	állandó alkalmazás

1. táblázat. A kutatási projekt résztvevői

Table 1. Participants of the research project

## A kutatási téma

A világ energiaigénye további növekedésének fényében és az átütő sikerű szénmentes technológiák hiányában többféle lehetőség kiaknázására is szükség van ahhoz, hogy a globális klímaváltozás veszélyét elháríthassuk. Minden elérhető fenntartható energiatermelési módszer fejlesztése és hasznosítása alapvető fontosságú. Az olaj- és gázlelőhelyek megkutatása és termelése mellett a klímaváltozást előidéző CO<sub>2</sub> gáz megkötése és geológiai tárolása egyre nagyobb támogatottsággal bíró viszonylag új technológia.

A fejlett szeizmikus mérési és feldolgozási módszerek alkalmazása hatásos eszköz a CO<sub>2</sub> gáz geológiai tárolásának támogatására. A jelenlegi általánosan elterjedt szárazföldi szeizmikus mérési módszer több-vibrátoros jelforrást és csoportosított érzékelőket alkalmaz. A geofonok által észlelt adatokat a vibrátor kimenő jelét kontrolláló elméleti vibrojellel korreláljuk, hogy összenyomjuk, illetve kiemeljük a hasznos szeizmikus jeleket [ANSTEY 1964]. A csoportosítás ahhoz szükséges, hogy a nem kívánt koherens zajt csökkentjük, elnyomjuk a környezeti zajokat és a bemeneti jelet erősítsük. Ez a fajta mérési és előfeldolgozási módszer robosztus és egyszerű, de megvannak hátrányai is. A legfontosabb problémák a jel térbeli és időbeli felbontóképeség csökkenéséből adódnak, mely az egyszerű csoportosítás (forrás, illetve érzékelő) átviteli függvényéből adódik, illetve a csoporton belüli változások sem vehetők figyelembe (észlelési távolság, statikus eltérés, stb.). További gondot okoz az elméleti és nem pedig a valós forrásjel használata az előfeldolgozás során [BLACQUIÉRE, ONGKIEHONG 2000; BAETEN et al. 2001; BAETEN, COMBEE, WEST 2001; SERIFF, KIM 1970; BAETEN, ZIOLKOWSKI 1990).

Ez a kutatási projekt a meglévő módszerek problémáinak megoldását célozza azáltal, hogy

- megbízható jelanalizáló eljárásokat keresünk,
- analizáljuk a vibrátoros jelforrást, annak viselkedését (különös tekintettel a torzításra),
- forrásjel meghatározási és
- jelsztérválasztási módszereket fejlesztünk.

A várható eredmények pontosabb eszközöket adnak a tudósok számára a Föld belső szerkezetének tanulmányozásához, valamint hatásos segítséget adnak a kutatóknak újabb nyersanyaglelőhelyek megtalálásához. Ez a tudás nagy előnyt nyújthat mindazon területek számára, ahol a Föld felszínalatti felépítését a szeizmikus reflexiós módszer segítségével kutatják (vibrátoros forrás esetén). Magyarországon (ahol ezek a fejlesztések megvalósulnak) jelenleg a radioaktív hulladék anyagok tárolásához és geotermikus energia potenciál térképezéséhez szükséges a felszínalatti képződmények megismerése. A szénhidrogén kutatások is profitálhatnak ezekből az új eredményekből és megjegyzendő, hogy ez az az iparág, amelynek a CO<sub>2</sub> geológiai tárolásában is nagy szerep juthat.

## Tevékenységek, eredmények

A 2006. december 1-től elindult hároméves projekt kivitelezéséhez először meg kellett teremteni a kutatók fogadására alkalmas körülményeket az irodahelyiség kialakításával, a számítógépes és szoftveres háttér megteremtésével. Mivel a Marie Curie Ösztöndíjas rendszer kizárólag külföldi kutatók magyarországi munkavállalását, illetve az ELGI kutatói külföldi ösztöndíjas tartózkodását támogatja, ezért alapvető fontosságú a projekt megfelelő ismertségének

megteremtése az alkalmas kutatók Budapestre csábításához. Ehhez számos hirdetési lehetőséget, konferenciát, személyes kapcsolatot használtunk fel. Eddig 2 kutató 6-6 hónapos és 1 kutató 2 éves alkalmazására került sor. Ez a lehetőség továbbra is nyitva áll, várjuk a kutatók jelentkezését, bár sajnos nem a hazai tudományos közösség számára! Az ELGI kutatói összesen 7 hónapot töltöttek Cambridge-ben és Oslóban, melynek során részt vettek a kutatási program végrehajtásában és különböző új ismeretek megszerzését célzó tanfolyamokon. A partnerek kutatói körülbelül 2 hónapot töltöttek rövidebb időszakokban, hogy ismereteiket megosszák az ELGI-s munkatársakkal a szeizmikus mérés, feldolgozás területén. A kutatási témában több belső jelentés született. Ahhoz, hogy bepillantást nyújtsunk ebbe a szerteágazó tevékenységbe egy részterületen végzett munka eredményeit villantjuk fel egy konferencia előadás nyomán [DAL MORO, SCHOLTZ, IRANPOUR 2007].

#### *Harmonikus zaj csökkentése vibrátoros mérési adatokon*

A vibrátor hidraulika és mechanika nemlineáris viselkedése és a vibrátor-talaj csatolás problémái miatt a vibrátoros mérések gyakran harmonikus zajjal terhelték, ami számos esetben jelentős jel/zaj viszony romlást okoz. Ez a nem kívánt jelenség különösen zavaró, amikor a slip-sweep mérési módszert alkalmazzuk a szeizmikus reflexiók mérés produktivitásának növelése érdekében a térbeli mintavételezés javítása mellett [BAGAINI 2006; LEBEDEV, BERESNEV 2004; MEUNIER, BIANCHI 2002; 2005]. Ebben az esetben a később induló vibrálás (slip time = késleltetési idő) felharmonikus komponensei fedésbe kerülnek az azt megelőző vibrálás jeltartományával. A probléma a felharmonikus komponensek amplitúdó- és fázisviszonyainak megismerésével és felhasználásával csökkenthető. Ez az analízis egy frekvenciafüggő amplitúdó- és fáziskarakterisztikát eredményez, amit az alapharmonikus komponenshez képest csak relatív arányaiban határozhatunk meg [SCHOLTZ 2002; 2003a; 2004]. Egyetlen harmonikus komponens relatív amplitúdó függvényének frekvencia szerinti változása viszonylag egyszerű függvénnyel leírható, a fázisfüggés pedig jellemezhető egyetlen konstanssal is (legalábbis a jellemző frekvencia tartományban) és így alapvető viselkedésük néhány paraméterrel visszaadható [DAL MORO 2007]. A felharmonikus–alapharmonikus arány figyelembevételével és egy genetikusan alapuló optimalizációs eljárás felhasználásával megkíséreljük a nem kívánt felharmonikus komponenseket csillapítani úgy, hogy az értékes jeleket ne befolyásoljuk.

A Genetikusan Alapított Algoritmusok (GA) a heurisztikus optimalizációs eljárások családjába tartoznak, és a geofizikai problémák széles körére sikeres megoldást nyújtottak már [NIKRAVESH, AMINZADEH, ZADEH 2003; DAL MORO, PIPAN 2007]. Legnagyobb előnyük, hogy nem érzékenyek a lokális minimumhelyek meglétére, így különösen komplex összefüggések esetén nagyobb eséllyel vethetők be, mint a gradiens alapú módszerek.

A felharmonikus komponensek előremodellezésével, melyet SCHOLTZ [2002; 2003a; 2004] és DAL MORO [2007] analízis módszerére alapoztunk, egy GA szerint működő eszközt fejlesztettünk arra, hogy a szeizmikus csatornák felharmonikus zaj által maszkolt időtartományának ener-

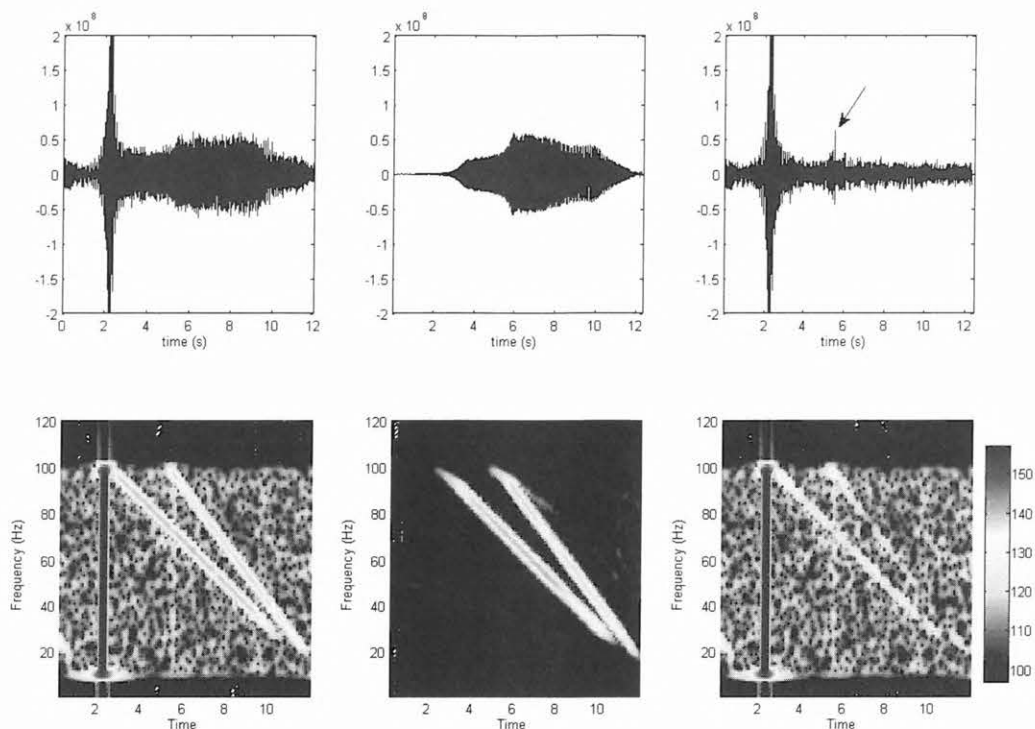
giatartalmát minimalizáljuk. A „költség”-függvényt úgy definiáltuk, hogy az a tényleges szeizmikus csatorna (amely a felharmonikus és az alapharmonikus komponenseket is tartalmazza) és a modellezéssel kiszámolt csatorna (amely csak a felharmonikus komponenseket tartalmazza) különbségéből adódjon. A relatív amplitúdóviszonyokat leíró függvényt diszkretizáltuk egy elegendő, de limitált számú frekvencia–amplitúdó pont esetén és közöttük lineáris interpolációt alkalmaztunk a szükséges frekvenciatartományban. A legfontosabb bemeneti paraméterek: a számításba vett felharmonikus komponensek száma, keresési tartomány, ahol az optimális megoldást feltételezzük, a populáció mérete, generációk száma és a szeizmikus első beérkezések ideje (a „pozitív” és a „negatív” időtartomány szétválasztásához). A Matlab fejlesztői környezetben létrehozott programrendszert mind szintetikus, mind pedig valódi terepi adatokon teszteltük. A szintetikus adatok 2 felharmonikus komponens tartalmazzak 15–20%-os relatív amplitúdó aránnyal (az alapharmonikus komponenshez képest). Kezdőfázisuk konstans (0,5 és –0,5 rad). Két szeizmikus eseményt generáltunk: egy első beérkezést (az egyszerűség kedvéért konstans, észlelési távolságtól független beérkezési idővel) és egy gyengébb későbbi reflexió beérkezést. Amplitúdója csupán 1%-a az első beérkezésnek és az egyszerűség kedvéért ez lineáris észlelési távolságtól függő beérkezési időt követ. A szintetikus reflexiók felvételt véletlen zajjal is terheltük a reflexiók amplitúdójával megegyező maximális mértékben. A GA alapú feldolgozás eredményét a 3. ábra mutatja. A véletlen zaj változtatásának függvényében 15–25 dB csillapítást értünk el. Eljárásunk tesztelését az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet valódi terepi adatain is elvégeztük. A 4. ábra az eredeti és a feldolgozott adatok egy csatornáját mutatja. Itt körülbelül 15 dB zajcsillapítást értünk el.

### **Köszönetnyilvánítás**

A kutatást a „Marie Curie Host Fellowships for Transfer of Knowledge (TOK) Development Host Scheme” (szerződésszám: MTKD-CT-2006-042537) keretében elnyert támogatás tette lehetővé.

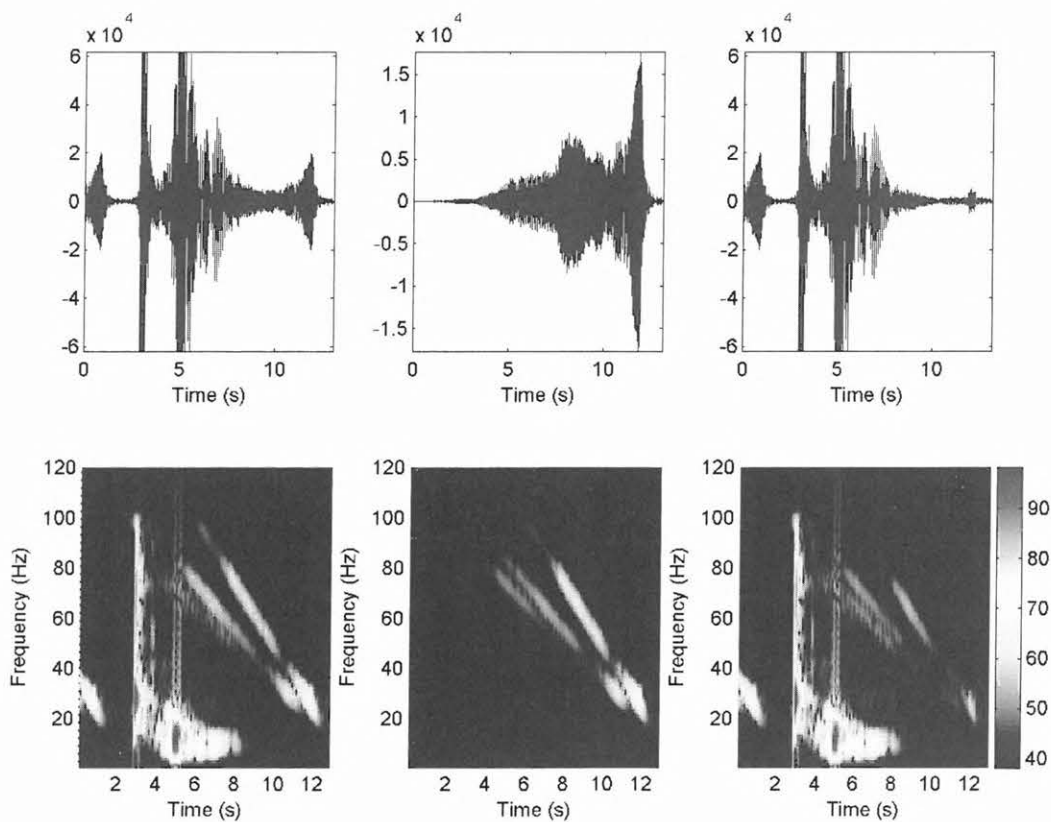
### **HIVATKOZÁSOK**

- ANSTEY N. A. 1964: Correlation techniques — A review. *Geophysical Prospecting* **12**, 355–382
- BAETEN G. J. M., BELOUGNE V., DALY M., JEFFREYS B., MARTIN J. E. 2001: Acquisition and processing of point source measurements in land seismic. 2001 SEG Expanded Abstracts
- BAETEN G. J. M., COMBEE L., WEST L. 2001: Static corrections on single sensor data. 2001 EAGE Expanded Abstracts, IS-1
- BAETEN G., ZIOLKOWSKI A. 1990: *The Vibroseis Source*. Elsevier Science Publishing Co.
- BAGAINI C. 2006: Overview of simultaneous Vibroseis acquisition methods. SEG Technical Program Expanded Abstracts 70–74
- BLACQUIÈRE G., ONGKIEHONG L. 2000: Single sensor recording: anti-alias filtering, perturbations and dynamic range. 2000 SEG Extended Abstracts



3. ábra. Egy felharmonikus zajjal terhelt szintetikus szeizmikus csatorna időképe (fent) és idő-frekvencia képe (lent). Bemenő adat (balra), a meghatározott felharmonikus zaj (középen) és a zajcsökkentés után (jobbra)

Fig. 3. Time series of a synthetic seismic trace with added harmonic noise (above) and its time-frequency representations (below). Input data (left), the estimated harmonic noise (middle) and the trace after noise reduction (right)



4. ábra. Felharmonikus zajt tartalmazó terepi szeizmikus csatorna időképe (fent) és idő-frekvencia képe (lent). Bemenő adat (balra), a meghatározott felharmonikus zaj (középen) és a zajcsökkentés után (jobbra)

Fig. 4. Time series of a seismic field trace containing harmonic noise (above) and its time-frequency representations (below). Input data (left), the estimated harmonic noise (middle) and the trace after noise reduction (right)

- BODOKY T., RUMPLER J., HALMOS P., APOR L. 1979: A vibrátor-talaj rendszer rezonanciajelenségei. *Magyar Geofizika* **XX**, 6, 201–210
- DAL MORO G. 2007: Advanced Seismic Acquisition and Processing (ASAP), EU-funded Transfer of Knowledge (ToK) project. Internal report, Eötvös Loránd Geophysical Institute, Budapest, Hungary
- DAL MORO G., PIPA M. 2007: Joint Inversion of Surface Wave Dispersion Curves and Reflection Travel Times via Multi-Objective Evolutionary Algorithms. *J. Appl. Geophysics* **61**, 56–81
- DAL MORO G., SCHOLTZ P., RANPOUR K. 2007: Harmonic noise attenuation for vibroseis data. Extended Abstract, GNGTS meeting, Italy
- GOMBÁR L. 1991: A vibroseis módszer jel/zaj viszony problémái. Egyetemi doktori dolgozat
- LEBEDEV A. V., BERESNEV I. A. 2004: Nonlinear distortion of signals radiated by vibroseis sources. *Geophysics* **69**, 968–977
- MEUNIER J., BIANCHI T. 2002: Harmonic noise reduction opens the way for array size reduction in vibroseis operations. SEG Technical Program, Expanded Abstracts, 70–73
- MEUNIER J., BIANCHI T. 2005: Cost-Effective, High-Density Vibroseis Acquisition. SEG Technical Program, Expanded Abstracts, 44–48
- NIKRAVESH M., AMINZADEH F., ZADEH L. A. (Editors) 2003: *Soft Computing and Intelligent Data Analysis in Oil Exploration*. Elsevier Science, 754 p.
- NYÁRI Zs. 2005: Roncsolásmentes technológia fejlesztése felszín alatti szennyeződések környezeti diagnosztikájának céljára. GVOP AKF 3.1.1 2004-05-0187/3.0, Munkaszakasz Zárójelentés
- SCHOLTZ P. 2002: Amplitude analysis of harmonics on vibrator generated direct waves. EAGE 64th Conference & Exhibition, Florence, Italy, 27–30 May 2002
- SCHOLTZ P. 2003a: Constructing an output signal estimate of a vibratory source, EAGE 65th Conference & Exhibition, Stavanger, Norway, 2–5 June 2003
- SCHOLTZ P. 2003b: Vibrátorjelek analízise megnövelt felbontóképességű reflexiós szeizmikus mérések adatfeldolgozásához. Doktori értekezés, Miskolci Egyetem
- SCHOLTZ P. 2004: Validating the basic assumptions in a vibratory source signal estimation method. EAGE 66th Conference & Exhibition, Paris, France, 7–10 June 2004
- SCHOLTZ P., ÁDÁM O., NYÁRI Zs., GÖMBÖCZ L. 2006: Megnövelt mintavételezésű szeizmikus reflexiós mérések feldolgozása. Kutatási Zárójelentés, OTKA T 042552
- SERIEFF A. J., KIM W. H. 1970: The effect of harmonic distortion in the use of vibratory surface sources. *Geophysics* **35**, 2, 234–246

# A GEOMIND geofizikai metaadatmodell<sup>1</sup>

A földrajzi adatokra vonatkozó ISO19115 metaadatszabvány geofizikai kiterjesztése

SÓRÉS LÁSZLÓ<sup>2</sup>

*A geofizikai adatrendszerek tömege, heterogenitása, széttagoltsága jelentősen megnehezíti az adatok hasznosulását. Az Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben az országos adatrendszerek kezelése során jelentős tapasztalat halmozódott fel, és felmerült az igény az adatrendszerek nemzetközi szinten való harmonizálására. A munka elindult és egy 14 európai intézményből álló konzorcium hozzájárulásával létrehoztunk egy geofizikai adatokra alkalmazható metaadatszabványt, amely a létező és elfogadott ISO19115 metaadatszabvány kiterjesztése. A cikk ismerteti a szabványt és konkrét példákat mutat be annak alkalmazására.*

## L. SÓRÉS: The GEOMIND geophysical metadata model

*The mass, diversity and heterogeneity of geophysical datasets are often serious obstacles, that restrain the society to make use of geoscientific information. In the last decade the Eötvös Loránd Geophysical Institute gained lots of experiences in the management of large datasets, and realized the need of international harmonization. The work has started, and with the contribution of 14 European organizations a new geophysical metadata profile was created. It is an extension of the internationally accepted ISO19115 metadata standard. The paper gives an overview of the new standard, and an implementation example for a geophysical dataset.*

## Bevezetés

2006 szeptemberében kilenc ország 14 intézményének részvételével, az Európai Unió támogatásával, az eContentplus keretprogramon belül nagyszabású program indult egy többnyelvű, internetes geofizikai adatportál létrehozására. A GEOMIND névre keresztelt projekt célja, hogy a részt vevő országok adatszolgáltatóinak geofizikai adatrendszereiről könnyen és gyorsan lehessen tájékozódni, és a keresett információkhoz való hozzájutást az adatrendszerek eltérő szerkezete, formája, helyzete, nyelve ne akadályozza. Az állami és magánszféra által az utóbbi évtizedekben létrehozott hatalmas mennyiségű geofizikai információ jelenleg eltérő formátumokban, eltérő adattárolási rendszerekben, nehezen hozzáférhető módon, gyakran elszigetelten létezik. Mindezen információk társadalmi hasznosulását nagymértékben segítené egy olyan informatikai rendszer üzemeltetése, amely a hazai és nemzetközi piacon szereplő adatszolgáltatók heterogén adatrendszereiről egységes módon, szabályozott tartalommal adna tájékoztatást. Erre a digitális földrajzi adatok létezése óta széles körben használt technika létezik: a metaadatszabványok használata. A számos létező szabvány közül a legígéretesebb az OGIS és W3C által is támogatott ISO19115. A projekt konzorcium döntése értelmében a létrehozandó internetes geofizikai portál adatbázisa és a részrendszerek közötti kommunikáció az ISO19115 geofizikai kiterjesztésére fog épülni. A metaadatszabvány kidolgozásában az ELGI vezető szerepet vállalt. A program egyik legfontosabb eleme egy szabványos metaadatbázisra épülő egységes rendszer létrehozása. A munkatervnek megfelelően 2007. július végére elkészült a GEOMIND geofizikai metaadatprofil.

## Metaadatok és az ISO19115 szabvány

A metaadat szabvány szerinti definíciója: adat az adattorról. Bár a definíció pontos, szemléletesebb, ha a metaadatokra úgy gondolunk, mint egy információcsomagra, amely a ki, mit, mikor, hol, miért, hogyan, kitől, mennyiért kérdésekre adott válaszokat tartalmazza. Amennyiben az egységesen feltett kérdésekre mindenki egységes formában (és igazat) válaszol, úgy bármilyen káosz is van az adott területen, legalább egységes áttekintést nyerhetünk és lerövidítjük az adatszolgáltató és a felhasználó közötti utat. (A GEOMIND projekt ennél többre vállalkozik: a portál nemcsak tájékoztat a létező adatokról, hanem a kapcsolatfelvételhez és az adatok eléréséhez is — az aktuális szabálykeretek betartásával — segítséget nyújt.) A metaadatok használatának a dokumentálás mellett legfontosabb célja a forrásadatok keresésének megkönnyítése. Szabványos adatmezőkkel, ellenőrzött adattartalom mellett a modern adatbázisrendszerek rendkívül hatékonyan képesek megtalálni több millió rekord közül is azt, amire szükségünk van. A földrajzi adatok tárolásával és GIS rendszerek használatával térbeli kereséseket is végezhetünk.

Az ISO19115-öt 2003-ban bocsátotta ki az ISO szervezet TC 211-es technikai társasága. Az eredeti dokumentum UML (Unified Modeling Language) diagramok és ún. adatszótárak (data dictionary) formájában írja le a metaadatmodell logikai szerkezetét. Az eredeti dokumentum a metaadat implementációjára vonatkozóan nem tartalmaz megkötéseket. Az ISO19115-öt 2005-ben követte az ISO19139, ami az eredeti szabvány egzakt technikai specifikációja XSD séma definíciós (XML Schema Definition) csomag formájában. Ez meghatározza metaadatok XML-ben (eXtensible Markup Language) történő leírásának módját és lehetővé teszi a fájlok automatikus validációját, azaz, a szabványnak való megfelelés programok által történő szigorú ellenőrzését. A csomag az általános metaadatelemek kívül számos beépülő, főleg GIS-hez kapcsolódó szabvány (ISO19107, -108, -109, -110, -111, -112, -116, -117,

<sup>1</sup> Beérkezett: 2007. szeptember 29-én

<sup>2</sup> Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17-23.

112, -116, 117, -119) és a GML (Geography Markup Language, ISO19136) definícióját is integrálja.

A földrajzi metaadatok szabványa nagyon általános, és meglehetősen bonyolult. Több száz elemet és mély, bonyolult struktúrákat tartalmaz. Tartalmilag 12 témakört ölel fel, ezeket az 1. táblázat tartalmazza.

Témakör angol neve	Témakör magyar neve
Metadata entity set	Metaadat entitás halmaz
Identification	Forrásadatok azonosítása
Constraints	Korlátozások
Data quality	Adatminőség
Maintenance	Karbantartás
Spatial representation	Térbeli leírás
Reference system	Koordináta-rendszer
Content information	Adattartalom leírása
Portrayal catalog	Portré katalógus
Distribution	Terjesztés
Metadata extension	Metaadat-kiterjesztés
Application schema	Alkalmazás séma

1. táblázat. Témakörök az ISO19115 metaadatszabványban

Table 1. Metadata sections in the ISO19115 standard

Szerencsére a szabvánnyal való kompatibilitáshoz nincs szükség mindig mindenre. A metaadatelemek megadása lehet kötelező, opcionális (nem kötelező) és feltételekhez kötött. A szabvány definiál egy „kemény magot” (core elements), amely a szükséges minimumot tartalmazza, de még ebben is található opcionális elemek. Az alábbiakban sorra vesszük a szabvány magjának legfontosabb részeit. Mivel hivatalos magyar fordítás még nincs, az angol nyelvű megnevezéseket is használjuk. (Az eredeti dokumentum munkapéldánya az ISO honlapjáról ingyenesen letölthető.)

#### Metaadat entitás halmaz (Metadata entity set)

Keretobjektumként magába foglalja az összes többi elemet, és a metaadatrekordok legfontosabb jellemzőiről is ad tájékoztatást. Ilyenek a fájlazonosító kód, nyelv, karakterkészlet, időpecsét stb. Itt kapott helyet a metaadatok szolgáltató felelős intézmény/személy elérhetősége és a forrásadatok által használt koordináta-rendszerek leírása. Az utóbbinál lehetőség van a vetületi rendszerek teljes definiálására, de elegendő a hivatalos EPSG kód (European Petroleum Survey Group) megadása is.

#### Forrásadatok azonosítása (Identification)

A forrásadatok hivatkozására egy komplett struktúra (citation) áll rendelkezésre. Ez tartalmazza a forrás címét, alcímét, a dokumentummal kapcsolatos felelős intézmények/személyek felsorolását (szerző, tulajdonos, karbantartó stb.), azonosítókat, dátumokat (létrehozás, publikáció, revízió dátuma), könyvtári kiadványok esetében a ISBN és ISSN kódokat. Lehetőség van tartalmi összefoglalóban (abstract) megadni a forrással kapcsolatos legfontosabb közlendőket is. Mellékelhető egy grafikus átnézeti kép (graphicOverview), amely lehet képfájl, vagy beillesztett GML objektum. Fontos szerepük van a kulcsszavaknak, amelyeket thesaurusokból kell kiválasztani, és a kulcsszavak mellett szerepeltetni kell a témakört és a szótárra való

hivatkozást is. Ez biztosítja a kulcsszavak alapján történő keresések egyértelműségét. Meg lehet adni a térbeli reprezentáció típusát (vector, grid) és a térbeli felbontóképességet. Kötelező elem a forrás horizontális kiterjedését megadó struktúra (extent). Használhatunk földrajzi megnevezéseket vagy kódokat (település nevek, NUTS kód, EOVS térkép száma), illetve megadhatjuk az adatrendszer körvonalát egy poligon formájában. Kötelező szerepeltetni az adatrendszert magába foglaló koordináta-négyszöget (geographic bounding box). Adatrendszerünk időbeli és vertikális kiterjedését is leírhatjuk, ha ennek van értelme (pl. monitoring adatok, vagy mélységhez kapcsolható fizikai paraméterek esetén).

#### Terjesztés (Distribution)

A terjesztéssel kapcsolatos adatok rendkívül fontosak, hiszen a metaadatok egyik fő célja épp a terjesztés megkönnyítése. Egy forrás objektumhoz tetszőleges számú terjesztő tartozhat, és mindnek megvannak a saját terjesztői opciói. Ezek tartalmazzák az elérhetőségeket, az adathordozó típusát, formátumát, az online hozzáférés módját, valamint az árat, megrendeléssel kapcsolatos instrukciókat, a hozzáférhetőség várható idejét stb. A GEOMIND profil a terjesztési adatok leírására egyszerűsített szerkezetet alkalmaz.

#### Adatminőség (Data quality)

Az adatok minőségének és a feldolgozási lépéseknek a leírására két szerkezet, a report és a lineage áll rendelkezésre. A report főleg geodéziai adatok minőségi kontrolljához használható, előre definiált minőségi kategóriákkal dolgozik. A lineage inkább a feldolgozási lépések felsorolására alkalmas. A GEOMIND profilba csak a lineage elem került bele, ami egy minőségre vonatkozó kijelentést, és az ehhez tartozó adatfeldolgozási lépések felsorolását tartalmazza a felelős intézmények/személyek, az időpontok, és a feldolgozási lépés céljának megjelölésével. (Ki, mikor, miért, mit csinált? Mi ennek az eredménye?)

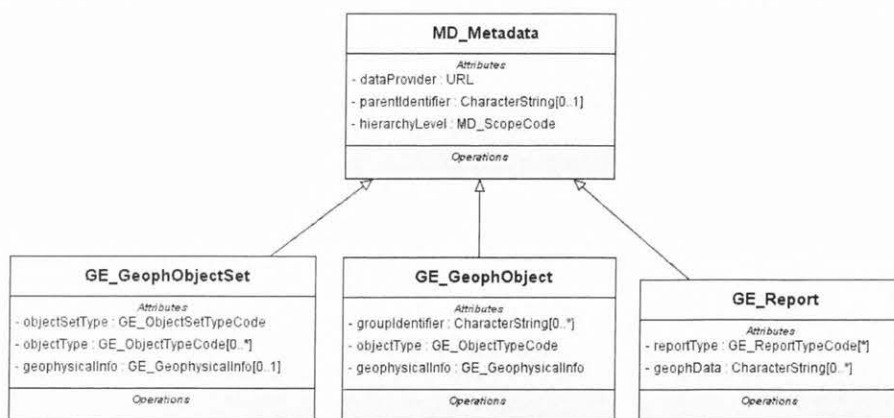
## A GEOMIND profil

Az ISO19115 meghatározza a szabvány kiterjesztésének a módját, lehetővé téve, hogy speciális közösségek a saját szakmai igényükhöz jobban alkalmazkodó metaadat-leírásokat használhassanak. A GEOMIND profil a geofizikus társadalom igényeihez próbál alkalmazkodni. Az egyszerűsége törekedve a kötelező minimumból, a szabvány magjából indul ki. A kiterjesztés szabályait figyelembe véve a következő változtatásokkal él:

- a meglévő struktúrákat új metaadatelemekkel bővíti;
- új témakört (section) vezet be „geofizikai információk” (geophysicalInfo) néven;
- új kódlistákat definiál, és a meglévőkhöz új elemeket ad;
- helyenként szigorítja a meglévő kötelezettségeket.

A legszembevetőbb változtatás a metadata entity set (MD\_Metadata) kibővítése három új elemmel. Ezek a GE\_GeophObject (geofizikai objektum), a GE\_GeophObjectSet (geofizikai objektumcsoport) és a GE\_Report (jelentés) (1. ábra). A gyökér elemről származtatott osztályok (specified classes) rendelkeznek az

MD\_Metadata minden tulajdonságával és ezenfelül még további elemekkel is. Minden valós geofizikai adat metaadat szintű leírása ezen három típus egyikével történhet. A hierarchia szintjének elem (hierarchy level) mutatja meg, hogy egy metaadatrekord mely származtatott osztályhoz tartozik.



1. ábra. A GEOMIND profil három fő osztályát ábrázoló diagram. Az entitások az MD\_Metadata kiterjesztéseként tartalmazzák annak összes attribútumát. Az ábra csak a kiterjesztés által hozzáadott attribútumokat mutatja

Fig. 1. The three main classes of the GEOMIND profile. The new classes contain all attributes of the MD\_Metadata class. On the graph only extended attributes are shown

## A geofizikai adatrendszerek hierarchiája

### GE\_GeophObject (GO)

A geofizikai objektum absztrakció, amely mérések, vagy modellek leírására szolgál. A mérés fogalma módszerenként változó, és különböző komplexitással jellemezhető hierarchia szinteket jelenthet. (Egy gravitációs mérési pont és egy szeizmikus szelvény komplexitása nagyon eltérő.) Megállapodás kérdése, hogy egy adott módszer esetében mit tekintünk mérésnek. Általánosságban azt mondhatjuk, hogy mérés a mérési tevékenység során előállt adatok halmaza, amely a kutatás természetes alapegységét képezi. Erre vonatkozóan a GEOMIND projekt az itt nem tárgyalt Általános Geofizikai Adatmodellben (General Geophysical Data Model) ad útmutatást. A GEOMIND által támogatott geofizikai objektumok típusait a GE\_ObjectTypeCode nevű kódlista sorolja fel, ami lényegében geofizikai módszerek listája. A geofizikai modell is geofizikai objektum. Geometriával és kapcsolt fizikai paraméterek együttesével jellemezhető entitás, amit modellezés, vagy inverzió során egy vagy több mérésből kapunk.

### GE\_GeophObjectSet (GOS)

A geofizikai objektumok gyakran alkotnak természetes csoportokat. A geofizikai objektumcsoportok típusai (a GE\_ObjectSetTypeCode lista elemei) a következők: repository (adattár), project (projekt), campaign (kampány), objectSet (objektum csoport), objectGroup (másodlagos csoport), geophCoverage (geofizikai fedvény). A repository magas szintű osztályozatlan objektum halmaz, vagy objektumcsoportok aggregátumát jelenti. A project adminisztratív egység, amely egy vagy több mérési kampány adatait fogja össze. A kampány egy adott mérési módszerrel végrehajtott, egymáshoz kapcsolódó mérések homogen halmaza. Az objectSet nem meghatározott módon

összekapcsolt objektumok halmaza. Az objectGroup mérések alkalmi, vagy permanens, másodlagos csoportja. Minden objektum gyermeke egy és csakis egy elsődleges csoportnak, ami általában egy mérési kampány (campaign), vagy más objektum csoport (objectSet). Ezzel szemben a másodlagos csoportok sohasem szülők. Egy geofizikai

objektum több ilyenhez is tartozhat. A geofizikai fedvény szintén az objektumcsoport hierarchia szintjéhez tartozik. Lényegében egy speciális másodlagos csoportként fogható fel, amely geofizikai objektumok adott halmazából készült. Paraméter térképek grid, vagy vektor típusú alapadatai (pl. digitalizált szintvonalak) tartoznak ebbe a kategóriába.

### GE\_Report (REP)

A report tetszőleges dokumentációs elem, vagy elemek aggregációja, ami egy geofizikai objektumhoz, vagy objektumcsoporthoz kapcsolható. Ennek a típusai (a GE\_ReportTypeCode lista elemei): map (térkép), profile (szelvény), sounding (szondázás), text (szöveg), report (jelentés).

Minden report elem tartalmaz egy listát, amely a kapcsolódó geofizikai adatokra mutat.

A legtöbb geofizikai adat-, vagy dokumentációs rendszer az itt bemutatott három osztály egyedeivel és azok kapcsolatrendszerével modellezhető. A GEOMIND profil nemcsak a leendő portál internetes metaadatbázisának, hanem bármely lokális metaadatbázisnak alapja lehet.

### Kapcsolatok az objektumok között

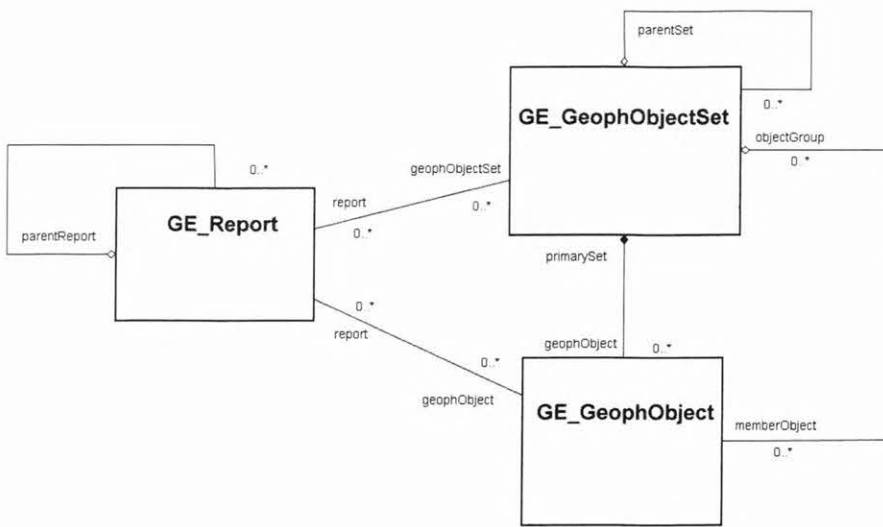
A modell rugalmassága a lehetséges kapcsolatok sokféleségében rejlik. A három fő osztály segítségével igen bonyolult adatrendszerek is modellezhetőek. A mérés – kampány – projekt jellegű hierarchiák leírásán túl lehetőség van komplex dokumentációs rendszerek geofizikai adatokhoz kapcsolására. A fő osztályok közötti asszociációkat a 2. ábrán mutatjuk be.

## Geofizikai információk a GEOMIND profilban

A szabvány kiterjesztés külön szakaszt szán a speciális geofizikai információk leírásának. Ide kerül számos olyan metaadat, amely hagyományos leírásokban fejléc (header) adatként szerepel. A geofizikai információkat tároló (GE\_GeophysicalInfo) szerkezet az alábbi elemeket tartalmazza:

### measuringConditions (mérési körülmények)

Az adatok, a feldolgozás, vagy értelmezés szempontjából fontos mérési körülményeket sorolja fel. Megadható a mérés platformja (légi, földi mérés), és földrajzi helyzete (onshore, offshore). A lista a kondíció típus nevét és egy szabad szöveges leírást tartalmaz (topográfiai viszonyok, időjárási viszonyok, talaj kondíció stb.).



2. ábra. A fő metaadatosztályok kapcsolatrendszer. A vonalak mellett a kapcsolatok neve és számszága (multiplicity) olvasható. A 0..\* jelentése: nulla, vagy bármennyi. A kapcsolatok típusai: 1. asszociáció (vonal) 2. kompozíció (vonal kitöltött rombuszsal) 3. aggregáció (vonal üres rombuszsal)

Fig. 2. Relations between the main metadata classes. Lines are marked with the role names and multiplicities. 0..\* means zero or unbounded. Type of relations: 1. association (line) 2. composition (line with filled diamond) 3. aggregation (line with unfilled diamond)

### instrumentation (műszerezettség)

A műszeregyüttes megnevezését, rövid leírását, valamint a méréshez használt eszközök részletes listáját tartalmazza. Az eszközök leírásánál megadhatjuk a gyártási számot, gyártót, típust, gyártási, vásárlási dátumot, a műszer szoftver nevét, és a kalibrációs mérések azonosítóit. A szerkezet részletes műszerkatalógus kialakítására is alkalmas.

### header (fejléc)

A fejléc adatok a GEOMIND modellben olyan metaadatok, amelyek nem férnek bele az eredeti ISO19115 szabványba. Az operátor, feldolgozó, mérés helye, ideje stb., vagyis a hagyományosan fejléc adatnak tekintett információk tipikus ISO konform metaadatok. Ezzel szemben a header rövid technikai információkat tartalmazó attribútum tábla, amely segíti a felhasználót abban, hogy az adatokról műszaki értelemben helyes képet kapjon. A fejléc szerkezte mérési módszerenként különböző.

```
MD_Metadata
  dataProvider http://www.elgi.hu
  fileIdentifier GOS_TDEM_uh2005
  language en
  characterSet utf8
  hierarchyLevel geophObjectSet
  contact
    individualName „Sörös László”
    organisationName ELGI
    role custodian
  dateStamp 2007.09.17
  metadataStandardName ISO19115-Geomind
  metadataStandardVersion 2007
  referenceSystemInfo EPSG:23700
  identificationInfo
    citation
      title „TDEM soundings at Uveghuta in 2005”
      date
```

### parameterSet (paraméterek)

Az adatrendszer szempontjából fontos technikai paraméterek és azok értékeinek listája (pl. egy Bouguer-anomália-térkép esetében a korrekciós sűrűség) A paraméter megadása név-érték párral történik. A név azonosítja a hivatkozott paraméterkatalógusban szereplő típusdefiníciót.

### parameterCatalogueCitation (paraméterkatalógus referencia)

Minden paraméter, amely egy GEOMIND metaadatrekordban szerepel, megtalálható a hivatkozott paraméter-katalógusban. A paraméterkatalógus típusdefiníciókat tartalmaz, amelyben a paraméterek neve, mértékegysége, adattípusa, alapértelmezés szerinti és/vagy lehetséges értékei szerepelnek. A magyarázó leírás mellett a típusdefiníció egy parameterSet-et is tartalmazhat, ami

lehetővé teszi paraméterfüggő paraméterek definiálását. A szabvány kiterjesztéshez kapcsolódóan kidolgozásra kerül egy GEOMIND paraméterkatalógus, amely számos, különböző mérési módszernél használt paraméterhez szolgáltat definíciókat. A katalógus a meglévő nemzetközi szabványok messzemenő figyelembevételével készül. Mivel a GEOMIND paraméterkatalógus használata nem zárja ki saját fejlesztésű paraméterkatalógusok használatát, a metaadat-leírásokban ezekre hivatkozni kell. Ezt a célt szolgálja a parameterCatalogueCitation elem.

Az alábbiakban példaként közöljük egy tranzien mérési kampány adatait tartalmazó objektumcsomag metaadat-leírását. A tagolás a beágyazott struktúrákat szemlélteti. A metaadatelemek neve normál, az adatok dőlt betűs szedésben láthatók. A példa az áttekinthetőség kedvéért az ISO19115 szerkezeteket leegyszerűsítve mutatja.

A 2005-ös üveghutai tranzien mérési kampány GEOMIND metaadat-leírása:

```

    dateType measurementStart
    date 2005-07-15
date
    dateType measurementEnd
    date 2005-09-30
identifier
    authority ELGI
    code GOS_TDEM_uh2005
abstract „The dataset contains TDEM CIL soundings over the northwestern part of
the uveghuta grid measured in 2005. The measurements are extensions to the previous grid.
The aim of measurements was to investigate the Carboniferous granite surface and the
structure of the loose sediment cover. The measuring campaign is related to the Bataapati
nuclear waste disposal site assessment project”
status completed
pointOfContact
    individualName „Pém József”
    organisationName ELGI
    role operator
pointOfContact
    individualName „Sörös László”
    organisationName ELGI
    role partyChief
descriptiveKeywords
    thesaurusName
        citation
            title „GEOMIND Thesaurus”
        keyword TDEM, sounding, resistivity, water, basement, electromagnetic,
inversion, radioactive waste
    resourceConstraints restricted
    spatialRepresentationType vector
    spatialResolution 10000
    language hu, en
    characterSet utf8
    topicCategory geoscientificInformation
EX_Extent
    description „Northwestern part of the Uveghuta TDEM grid”
EX_GeographicExtent
    EX_GeographicBoundingBox
        westBoundLongitude 615000
        eastBoundLongitude 616400
        southBoundLatitude 95100
        northBoundLatitude 96500
    EX_GeographicDescription
        authority
            code Bataapati
        temporalElement 2005.07.15 2005.09.30
        verticalElement
            minimum 0
            maximum 80
            verticalDatum DEPTH
distributionInfo
    distributor
        distributorContact
            organisationName MBFH
            role distributor
        distributionOption
            distributionOrderProcess
                fees
                instruction „Please, initiate the Geomind ordering procedure”
            distributionFormat
                name Geomind_xml
                version 1.0
                decompressionTechnique tar.zip
            distributionTransferOption
                online http://www.geomind.hu/dataroom/GOS_TDEM_uh2005
dataQualityInfo
    statement „standard preprocessing was completed”
    processingStep
        description „averaging of individual records”
    processingStep

```

```

    description      „apparent resistivity calculation”
processingStep
    description      „manual masking of noisy channels”
processingStep
    description      „1D Marquardt inversion”
objectSetType      campaign
objectType          TDEM

geophysicalInfo
    measuringConditions
        platform      groundBased
        environment    onShore
        condition
            conditionType    terrainConditions
            description      „rugged terrain”
            conditionType    soilConditions
            description      „upper 30cm very dry”
instrumentation
    name              ELGI_TDEM-01
    description        „Digital PROTEM receiver with TEM47 transmitter”
    device
        deviceName      Protem57_1
        manufacturer      Geonics
        deviceType        TDEM_Receiver
        software          protem.exe
        version           2.0
    device
        deviceName      TEM47_1
        manufacturer      Geonics
        deviceType        TDEM_Transmitter
parameterSet
parameterCatalogueCitation
    citation
        title            „GEOMIND Parameter Catalogue”
        date
            dateType      publication
            date           2007-09-01

```

A metadatmodellt a GEOMIND konzorcium elfogadta. Ezzel megnyílt a lehetőség, hogy a rendszer ne csak az intézet kezelésében levő adatrendszerekre kerüljön alkalmazásra, hanem — talán a kritikus tömeget elérve — nemzetközi szinten elfogadott szabvánnyá válják, és hatéko-

nyan segítse az információhoz való hozzájutást. A program részeként megkezdődött az ismertetett szabványra épülő információs rendszer és internetes portál létrehozása. A munka befejezéséig a GEOMIND-ról a projekt honlapján (<http://www.geomind.eu>) olvashatók további információk.

## Z. SZABÓ: Selected passages of the history of Hungarian geophysics III

„Valóban helyesebb is, ha a feladatért emelünk intézetet, mintha, mire sok a példa, az intézetnek keresünk feladatot.”

(Eötvös Loránd)

### Eötvös-inga az Országházban?

Bevezetesként foglaljuk össze röviden az országház építésének nem minden tanulság nélküli történetét [CSORBA, SISA, SZALAY 1993]. Az Országház építéséről az 1880. évi LVIII. törvénycikk rendelkezett. Ez kimondja, hogy az új országházat a főváros V. kerületében, a Tömő téren kell emelni és a terveket pályázat útján kell elkészíttetni. A törvény végrehajtásáról a miniszterelnök, TISZA Kálmán gondoskodik.

A tervpályázat kiírása 1882. április elején történt, 1883. február 1-i határidővel. A pályázatra meglepően kevés, mindössze 19 terv érkezett. A tervpályázat elbírálására alakult Országos Bizottság 4 pályaművet részesített díjazásban. Az első helyet STEINDL Imre „Alkotmány I” jellegű pályázata nyerte el, némi módosítási igénnyel. Miután a félelemet beiktatásával módosított végleges tervet a bizottság elfogadta, a jóváhagyásról szóló törvényjavaslatot TISZA Kálmán 1884. március 13-án az országgyűlésnek benyújtotta. A törvényjavaslat értelmében „az építési munkálatok, melyek még a folyó évben megkezdődnek, akképpen végeztessenek, hogy az állandó Országház építése lehetőleg 10 év alatt befejezhető legyen.” A képviselőház döntését a főrendiház jóváhagyása után az uralkodó az 1884. évi XIX. törvénycikkben szentesítette.

1884. július 30-án gróf TISZA Lajos elnökletével megalakult az Országház Építési Végrehajtó Bizottság. **Az építés költségvetése már ekkor több mint kétszerese a pályázati kiírásában megjelölt összegnek.** (A vastag betűs kiemelés itt és a továbbiakban jelen cikk szerzőjétől származik.)

Az építkezés 1885. október 12-én az első kapavágással indult, ám hamarosan kiderült, hogy az alapozási munkák a vártnál hosszadalmasabbak és költségesebbek lesznek. Az építési területen található vízművet ugyanis át kellett telepíteni. A munkát ezért 5 hónapra kénytelenek voltak felfüggeszteni. További problémát okozott, hogy a Duna vízének beömlése ellen gát építésével kellett védekezni. A következmény: az alapok kiásása csak 1887. augusztus 31-re fejeződött be. Időközben, június 16-án elkezdődött a **2–5 m vastag beton alapzat** készítése is. Éjjel-nappal folyt a betonozás, hogy az őszi rossz idő beállta előtt elkészüljenek.

Minden erőfeszítés ellenére 1892-re nyilvánvalóvá vált, hogy a millenáris ünnepségekre az Országház építését nem lehet befejezni. A Végrehajtó Bizottság ezért utasította a kivitelezőt, hogy a kupolacsarnok, a fölépcső és a delegációs folyosó addigra soron kívül készüljön el. Az eredeti menetrend megváltoztatása és az ehhez szükséges tervmódosítás a költségvetést egyébként is folyamatosan túllépő kiadásokat tovább növelte. 1894. május 5-én tartották a bokréta ünnepélyt. 1895. május 16-án helyezték el a kupola zárókövét, decemberben pedig lebontották a külső homlokzatról az állványokat. 1896. június 8-án, Ferencz József magyar királlyá történő koronázásának 29. évfordulóján, az országgyűlés két háza ünnepélyes külsőségek között megtartotta együttes ülését, mely alkalomra díszbandérium kíséretében az Országházba szállították a Szent Koronát és a koronázási jelvényeket. Az épületet azonban csak 6 évvel később, 1902. október 8-án lehetett használatba venni. A belső munkálatok pedig csak 1904 végére fejeződtek be. **A tényleges kiadások pedig több mint négyszeresen túllépték az eredetileg elgondolt összeget.**



Gróf TISZA Lajos, az Országház Építési Végrehajtó Bizottság elnöke

EÖTVÖS Loránd 1886-ban kezdte meg gravitációs kutatásait, miután elkészült az egyetemi fizikai intézet új épülete az Esterházy (ma Puskin) utcában. Bár erre utaló hivatkozásokkal nem találkozunk, de valószínű, hogy kísérletei során kiderült, hogy az új épület nem biztosít ideális körülményeket szinte hihetetlen érzékenységu műszerei és mérései számára. Mi mással indokolható ugyanis, hogy néhány év elteltével megfelelőbbnek ígérkező helyszínt keresett laboratóriuma számára. Ebben az időszakban folyt az országgyűlés új épületének építése a Duna-parton és bár alapozási szempontból ez a helyszín sem volt jobb az egyetem területénél, az épület alapjául szolgáló vastag betonréteg alkalmasnak tűnt az épület alagsorában létesítendő

<sup>1</sup> Beérkezett: 2007. október 20-án

<sup>2</sup> Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17–23.

tudományos laboratórium részére. EÖTVÖS Loránd rövid, mindössze 7 hónapig tartó kultuszminisztersége alatt (1894. június–1895. január) valószínűleg tájékoztatást kapott az országház építésével kapcsolatos fejleményekről és innen származhatott az ötlet, hogy megpróbálja laboratórium céljára megszerezni az épület alagsorát. Az elképzelést hamarosan tett követte és elképzelésével levélben fordult BÁNFFY Dezső miniszterelnökhöz:

Nagyméltóságú Miniszterelnök Úr, Kegyelmes Uram!<sup>1</sup>

**A most épülő országház pincesorának a kupola alatt fekvő része, melyet az ide mellékelt alaprajzon vörös határolás különböztet meg, az alatta elterülő betonréteg nagy vastagságainál, falainak óriási méreteinél, és szimmetrikus alakjánál fogva kiválóan alkalmasnak mutatkozik a legpontosabb és legkényesebb fizikai, geodéziai és meteorológiai kísérletekre és mérésekre.**

Külön megtervezve se lehetett volna tudományos vizsgálódásokra alkalmasabb helyet teremteni, s minthogy az építésvezetőségtől szerzett felvilágosítások szerint a helyiségnek az országház térbeosztásában semmi különös rendeltetése nincsen, továbbá ama csekély toldalékmunkálatok, amelyeket tudományos laboratóriummá átalakítása megkívánna, az építésvezetőség szerint semmiféle nehézséget vagy nagyobb költséget nem okoznának, bízva Nagyméltóságodnak a tudományok iránti szeretetében, ama kérelemmel járulok nagyméltóságod elé, kegyeskedjék a szóban forgó helyiségeket a kir. m. Tudományegyetem Fizikai Intézete s a kir. József műegyetem geodéziai tanszéke céljainak olyképpen átengedni, hogy azok a tudományegyetem Fizikai Intézetéhez kapcsolva, az Intézet vezetőtanárainak igazgatása alatt álljanak.

Ama toldalékmunkálatok, amelyek az új rendelkezésnek megfelelőleg szükségesek volnának, nevezetesen: egyszerű ablakok és ajtók helyett kettős ablakoknak és ajtóknak alkalmazása; a körfolyosó külső falain végig egy körbefutó vízvezető csőnek és gázcsőnek elhelyezése, és a terület közepén lévő, a rajzon vörösre vonalazott falnégyzetben egy, a kényesebb műszerek alapjául szolgálendő, a betonréteggel lenyúló négy méter oldalméretű téglapillérnek felépítése oly csekély költségdöbbletet okoznának, hogy tekintve a nemes célt, melyet az új intézmény szolgálni kíván, az átengedés iránti kérelemhez azt a másikat is bátorkodom hozzáfűzni: kegyeskedjék Nagyméltóságod a terület átengedésén kívül még az említett munkálatok foganatosításának elrendelésével is örök hálára kötelezni mindazokat, akik majdan a tudományos szempontból oly kiváló tulajdonságú helyen munkálkodva, igazi lelkesedéssel fogják Nagyméltóságod iránt érzett hálájukat tudományos munkásságukkal leróni.

Fogadja Nagyméltóságod kiváló tiszteletem őszinte nyilvánítását.

Budapest, 1895. július hó 5-én.

b. Eötvös Loránd



Bárá Eötvös Loránd egyetemi tanár, az MTA elnöke

Az alábbiakban tekintsük át az ügyvel kapcsolatos levelezést, mely a téma különös, mondhatnánk meghökkenítő volta mellett rávilágít a korabeli hivatali bürokrácia mai napig ismerős útvesztőire. Lássuk tehát, hogy milyen elbírálásban részesült EÖTVÖS Loránd ötlete, aki ugyan már túl volt rövid életű miniszterségén, de mint az Akadémia elnöke mégiscsak több volt egy „mezei” professzornál.

EÖTVÖS Loránd saját kezűleg írt javaslatát bárá BÁNFFY Dezső miniszterelnöknek nyújtotta be. Az ügyet az országház építési végrehajtó bizottsága 1895. szeptember 18-án tárgyalta. Az eredményről TISZA Lajos, a Bizottság elnöke a következőkben értesítette a miniszterelnököt: elvi akadály nincsen a javaslatnak, „**de bevárandónak határozta a bizottság a művezető építész úrnak a kért helyiségek átalakításával járandó költségek iránti előterjesztését, amelynek beállítására nagyméltóságod átiratának vétele után azonnal intézkedtem**”.



Bárá Bánffy Dezső miniszterelnök

Az idő múlik, ezért TISZA Lajos 1895. december 13-án figyelmezteti BÁNFFY miniszterelnököt: „**Ha azt akarjuk,**

<sup>1</sup> Országos Levéltár

hogy Eötvös báró azon óhajtása, miszerint a millenárius kiállítás alkalmából a helyiségeket és felszerelését külföldi szakembereknek bemutatthassa, teljesíthető legyen – mielőbb dönteni kellene erről.” TISZA Lajos egyúttal közölte azt is, hogy az átalakítási munkálatokra 2650 forint kell, de az új országház költségvetésében erre fedezetet nem talált – a fűtés, világítási és vízvezetéki felszerelés külön költséget igényel, de ez a fő költségvetésben már elő van írva.

SZLÁVY Gyula, a főrendiház elnöke 1895. december 22-én a miniszterelnökhöz írt levelében a következőképpen vélekedett EÖTVÖS javaslatáról: „Teljesen osztom Excellenciádnak nézetét, nem volna helyes már előre, mielőtt az épület a törvényhozói testületnek átadatott, annak rendelkezési jogát lekötöni és korlátozni. A helyiségek feletti rendelkezési jog kizárólag az országgyűlés két házát illeti meg.”



SZLÁVY József, a főrendiház elnöke

TISZA Lajos 1896. január 9-én ismét sürgette a két ház beleegyezését a miniszterelnöknél. A döntés azonban egyre később. A képviselőház elnöke, SZILÁGYI Dezső is arra az álláspontra helyezkedett, mint a főrendiház elnöke, miként ez az 1895. december 31-én a miniszterelnökhöz küldött leveléből megállapítható: „Az épület átvétele előtt határozni korai, és az akkor mutatkozó szükségletek ismerete nélkül ma még nem lehet dönteni.”

Az ügy illetően fordulata kényelmetlen helyzetbe hozta TISZA Lajost, amint az a következő, EÖTVÖS Lorándhoz intézett leveléből egyértelműen kiderül:

Tisztelt barátom!<sup>2</sup>

Az állandó országház néhány helyiségének tudományos célokra a tudományos egyetem és a műegyetem részére leendő átengedése iránt hozzám intézett leveledre ekkoráig azért nem válaszoltam, mert az ez irányban megindított eljárásom eredményéről kívántalak egyúttal értesíteni, a minnek lehetőségére csak most következtettem be.

A Miniszterelnök Úr ugyanis múlt évi december 6-án 432 itteni szám alatt e tárgyban tett előterjesztésemre folyó évi január 4-én 65/M.E. szám alatt

válaszolt és arról értesített, hogy a kért helyiségeknek a szóban levő s a parlament működésével kapcsolatban nem álló célra való átengedését – a törvényhozás mindkét házának elnökeivel egyetértve – csak a házak beleegyezésével véli eszközölhetőnek, s így azt annak idejében kikérni szándékozik.

A szükséges építő – illetőleg átalakító – munkák végrehajtását ennél fogva mindaddig míg a házak beleegyezése, illetve ezek alapján a miniszterelnök engedélye meg nem adatik, el nem rendelhetem, habár részéről és az építési Végrehajtó Bizottság részéről semminemű elvi kifogás nem forog fenn a szóban forgó helyiségek átengedése ellen.

Ezek után most már tartok tőle, hogy az illető helyiségek alig lesznek oly időben elkészíthetők és berendezhetők, hogy kísérleteidet már a milleniumi congressusok alkalmával e helyen végezhesd, amit részéről nagyon sajnálok.

Fogadd kitűnő tiszteletem őszinte kifejezését  
Budapest 1896 évi január hó 9-én

Tisza Lajos



SZILÁGYI Dezső, a képviselőház elnöke

TISZA Lajos 1896. április 9-én értesítette WLASSICS Gyula vallás- és közoktatásügyi minisztert, hogy „a kérelemnek a két ház elé teendő terjesztése csak akkor lesz helyén, ha az épület a törvényhozásnak már átadatott.”<sup>3</sup>

Vallás és Közoktatásügyi<sup>4</sup>  
Magyar Kir. Minister  
1358. eln. szám.

N a g y m é l t ó s á g ú E l n ö k Ú r .

Az épülő országház néhány pinczehelyiségének tudományos célokra való átengedése tárgyában 1895. évi július hó 5-én kelt kérvényére van szerencsém Nagyméltóságodat tisztelettel értesíteni, hogy ezen ügyben a miniszterelnök úrhoz intézett átiratomra a következő választ nyertem.

<sup>3</sup> Környei Elek gyűjtése az Országos Levéltár anyagából

<sup>4</sup> Országos Levéltár

<sup>2</sup> Országos Levéltár



Báró Wlassics Gyula, vallás- és közoktatásügyi miniszter

*Az országház építési végrehajtó bizottsága jelentése szerint a terv keresztülvétele ellen gyakorlati kivihetőség szempontjából akadály nem forog fenn.*

*Minthogy azonban Nagyméltóságod kérelme a körül forog, hogy az új országház néhány helyisége olyan célra vétessék igénybe, mely az új országház rendeltetésével semminemű kapcsolatban sincs a miniszterelnök úr nem érezte magát hivatva a döntés jogával élni, s szükségesnek látta határozathozatal előtt az országgyűlés két háza elnökeinek ezen kérdésre vonatkozó nézetét kikérni.*

A főrendiház és képviselőház elnökei válaszaikban azon álláspontra helyezkedtek, hogy nem volna helyes a törvényhozó testületnek az új országház épülettel szemben fennálló rendelkezési jogát már előre lekötöni, egyúttal azon nézetüknek adván kifejezést, hogy minden olyan rendelkezéshez mely az új országház valamely helyiségét a parlament működésével kapcsolatban nem álló célra kívánja felhasználni, az országgyűlés mindkét házának beleegyezése kikérendő.

*A beleegyezés kikérése pedig a miniszterelnök úr véleménye szerint, csak akkor lesz helyén, ha az épület a törvényhozásnak már átadatott, miután nem lehet már most, előre egy későbbi országgyűlés intézkedési jogának elébe vágni, annyival kevésbé, mert az épület átvétele előtt és az akkor mutatkozó szükségletek ismerete nélkül ma még nem lehet megállapítani, vajjon lesznek-e egyáltalában az új országházban nélkülözhető helyiségek.*

*Mindezek alapján a miniszterelnök úr arról értesít, hogy Nagyméltóságod kérelmét sajnálatára egyelőre teljesíthetőnek nem tartja.*

*Fogadja Nagyméltóságod kiváló tiszteletem őszinte nyilvánítását.*

*Budapest, 1896. május hó 5.*

**Wlassics**


Így végződött tehát a nem minden alap nélkül meghökentőnek tűnő ötlet sorsa: nem sikerült a tudományt becsempészni az ország házába.

#### HIVATKOZÁS

CSORBA László, SISA József, SZALAY Zoltán 1993: Az Országház. KIT Képzőművészeti Kiadó


# HÍREK, BESZÁMOLÓK

## 2007–2008–2009: MAGYAR GEOFIZIKAI ÉVFORDULÓK — NEMZETKÖZI GEOFIZIKAI ÉVEK

A Nemzetközi Geofizikai Év  50. évfordulója

(a bűvös „IGY+50”) közeledtével a sok versengő elképzelés közül négy tudományos-ismeretterjesztő kezdeményezés jutott el a megvalósulásig: a *Nemzetközi Sarki Év*


(www.ipy.org)  INTERNATIONAL 2007 & 2008  
**POLAR YEAR**

a *Nemzetközi Heliofizikai Év* (www.ihy2007.org) 

az *Elektronikus Geofizikai Év* (www.egy.org) 

és a *Föld Bolygó Nemzetközi Éve*  planetearth®  
Earth Sciences for Society

(www.yearofplanetearth.org, a magyar webhely pedig

www.ggki.hu/planet\_earth)  a Föld éve®  
Földtudományok az emberiségért  
2007–2008–2009

Az első három elég specifikus, míg a negyedik — a *Föld Bolygó Nemzetközi Éve* — egy általános földtudományi programsorozatot takar *Earth Sciences for Society* (magyar és több más országbeli változatban: *Földtudományok az emberiségért*) alcímmel. A *Föld Bolygó Nemzetközi Éve* az IUGS (*International Union of Geological Sciences*, a geológusok *Nemzetközi Földtudományi Uniója*) és az UNESCO kezdeményezése volt, amely a *Nemzetközi Geodéziai és Geofizikai Unió* (IUGG, *International Union of Geodesy and Geophysics*) együttműködési készségének köszönhetően kerülhetett N° 1. pozícióba.

Magyarországon a programsorozat ismeretterjesztő oldala került előtérbe, és — számottevő állami támogatás híján — ennek is a geológusok és geofizikusok önerejéből kell megvalósulnia.

A programsorozat részét jelentették az ELGI 100 éves évfordulójához, és azt megelőzően a nagyeceni obszervatórium 50 éves születésnapjához is csatlakozó ismeretterjesztő bemutatók. Az ELGI 2007. november 8–9-i tudományos-ismeretterjesztő programja a Földév célkitűzéseit illetően példamutató telitalálat volt!

A 2007–2009 közötti ismeretterjesztő (és esetleg tudományos) programjainkat mi, geofizikusok is szervezhetjük nyugodtan a Föld Bolygó Nemzetközi Éve égisze alatt. Ezáltal alakulhat ki ugyanis az a szinergikus hatás, amely végül képes eljuttatni a földtudományok nélkülözhetetlenségének üzenetét a társadalom minden rétegébe.

Minden intézményben érdemes szervezni ilyen alkalmakat — legközelebb talán 2008 áprilisában, a Magyar Természettudományi Múzeumban tervezett nagyszabású hazai nyitórendezvényhez kapcsolódóan.

Szarka László

### Appendix:

A Föld Bolygó Nemzetközi Éve hazai rendezvényeinek gondozására a Magyar Tudományos Akadémia és az UNESCO Magyar Nemzeti Bizottsága felállított egy koordináló bizottságot (az ún. FÖLDÉV Magyar Nemzeti Bizottságot), amelynek elnöke dr. BREZSNYÁNSZKY Károly, titkára dr. SZARKA László, kincstárnoka dr. HAAS János. E testület tevékenységéről, a FÖLDÉV eddigi magyarországi rendezvényeiről és a csatlakozási lehetőségekről további információt a [www.ggki.hu/planet\\_earth](http://www.ggki.hu/planet_earth) webcímen lehet találni.

## 50 ÉVES A NAGYECENKI GEOFIZIKAI OBSZERVATÓRIUM

A nagyeceni MTA Széchenyi István Geofizikai Obszervatórium — a soproni MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet elektromágneses obszervatóriuma — 1957-ben, a Nemzetközi Geofizikai Év kezdetére jött létre. Az obszervatórium 50. születésnapját 2007. szeptember 21-én — a névadó gróf SZÉCHENYI István születésének napján — nagyszerű időben és jó hangulatban több mint száz résztvevő ünnepelte.

A nagyeceni geofizikai obszervatórium a Föld belső működéséről és a Föld körüli térség változásairól folyamatosan szolgáltat „geokörnyezeti monitorozásnak” tekinthető adatokat. Három generációt átfogó kutatói-technikusi gárdájának köszönhetően ma már Európa egyik legszéleskörűbb elektromágneses obszervatóriumának számít.

Az obszervatóriumi évfordulós események Sopronban szeptember 19-én akadémiai osztályüléssel, székfoglalóval



Az obszervatóriumi ünnepség résztvevőinek egy csoportja (előtérben: a VEAB képviselőjében érkezett MARKÓ László akadémikus és az MTA Titkárság Kutatóintézeti Főosztályának megbízott vezetője, BANCZEROWSKI Januszné. Mögöttük: a vándorgyűlésről érkezettek, illetve az MTA GGKI munkatársai)



MÁRCZ Győző technikus visszaemlékezése, kezében a kapott oklevéllel. (Emléklapot kapott még: PONGRÁCZ János, GAYER Ferenc, HORVÁTH János és TURI János. MÁRCZ Győző mögött: WESZTERGOM Viktor, az obszervatórium vezetője, SZARKA László geofizikai főosztályvezető és SÁTORI Gabriella osztályvezető)



KUBIK Anna Széchenyi Naplójából az 1847. április 25-i bejegyzést olvassa: „Cenkre utazom. Igen csinos ... ám luxus kiadások, melyek nem gyümölcsöznek – nem is igazi élvezet”. SZÉCHENYI bizonyára nem az Obszervatóriumra gondolt – tette hozzá a művésznő

és tudományos bizottsági üléssel kezdődtek. Az obszervatóriumot bemutató előadások helyet kaptak a Magyarhoni Földtani Társulat és a Magyar Geofizikusok Egyesülete szeptember 20–21-i soproni vándorgyűlésének plenáris programjában is. Szeptember 21-én kora délután a vándorgyűlés résztvevői felavattak Sopronban egy emléktáblát

(amely egy hazai „földismeai bányász” egyesület létrehozását szorgalmazó, 160 évvel ezelőtti kezdeményezésnek állít emléket), majd az obszervatóriumban egy különleges program részesei lehettek: megnézhatték a műszereket, meghallgathatták nagyeceni iskolások megemlékezését gróf SZÉCHENYI Istvánról, elgondolkothattak a KUBIK Anna színésznő által tolmácsolt Széchenyi-

idézeteken, majd a Soproni Hegyközség elnökének jóvoltából a legkiválóbb soproni borokat ízlelgethették. Az MTA GGKI dolgozó a késő éjszakába nyúló összefüggés telen gulyásról, grillről és kékfrankosról is gondoskodtak. Az intézet mai munkatársai emléklapot nyújtottak át (még a plenáris ülésen) dr. BENCZE Pálnak, az obszervatórium első vezetőjének, és azoknak a nyugdíjazott technikusoknak, akik több évtizeden keresztül folyamatosan gondoskodtak az obszervatórium zavartalan működéséről.

A hazai és külföldi vendégek e napon (egészen másnap hajnalig) nemcsak az 50 éves obszervatóriumra (alapítójának és működtetőinek egészségére), hanem négy évszázad eseményeire is koccinthatnak: SZÉCHENYI 1791-es születésnapjára, az 1847-es soproni „földismész”-javaslatra, az 1957–58-as Nemzetközi Geofizikai Évre, valamint annak 50. évfordulója alkalmából 2007-ben indított világméretű földtudományi kezdeményezések (köztük a Föld Bolygó Nemzetközi Éve) sikerére.

Szarka László

## EREDMÉNYHIRDETÉS

### Az angol–magyar elektronikus geofizikai alapszótár bővítésére és javítására a Magyar Geofizika 48. évfolyam 1. számában meghirdetett versenyfelhívás eredményhirdetése

A kiírásra (a beérkezés sorrendjében): VERŐ László, SALAMON Batur és KAKAS Kristóf küldött be pályázatot. A szerkesztőbizottság döntésének, és a díjazás elosztásának objektivitása érdekében statisztikát készítettünk a nehezen összehasonlítható teljesítményekről. Eszerint VERŐ László 259 új kifejezésre tett javaslatot, de se a definíciókra, se a közölt magyar kifejezésekre nem javasolt módosítást. SALAMON Batur 39 új szóra tett javaslatot és 91 esetben pótolta a hiányzó magyar kifejezést, ill. javította a nem megfelelőt. Ezen túlmenően igen sok helyen pontosította a definíciót. KAKAS Kristóf új szót egyáltalán nem javasolt, a magyar kifejezések módosítására tett javaslataiból kb. 25–30-at talált elfogadhatónak a szerkesztőbizottság (néhányat az eredeti megtartása mellett második lehetséges kifejezésként).

A fentiek alapján a szerkesztőbizottság döntése:

— az 1. díj nyertese VERŐ László	100 000 Ft,
— a 2. díj nyertese SALAMON Batur	80 000 Ft,
— a 3. díj nyertese KAKAS Kristóf	20 000 Ft.

A szótáron jelenleg a magyar nyelvi lektor dolgozik, hogy a nyelvtani és helyesírási szabályok érvényesítésével elősegítsük a helyes szaknyelv kialakulását. A munka jelen fázisa 2008 első felében befejeződik. A kiegészített, javított szótárat a [www.mageof.hu](http://www.mageof.hu), illetve a [www.elgi.hu](http://www.elgi.hu) honlapon szabadon elérhetővé tesszük. Ezután sem tekintjük lezártnak a szótárt, hiszen a szaknyelv — ugyanúgy, mint a köznyelv — élő, állandóan változó, újabb és újabb fogalmakkal gyarapodó organizmus. Örömmel fogadunk minden javaslatot tagtársainktól (az [amega@elgi.hu](mailto:amega@elgi.hu) címen), bármikor, bármely témához kapcsolódóan vetik fel. A szótár karbantartása, fejlesztése a tervek szerint az ELGI Térképezési Főosztályán 2008-ban, az első változat lezárása után is folytatódik.

Reméljük, hogy a szótárt hasznosnak fogják találni, és örömmel alkalmazzák munkájuk során. Ehhez kívánunk

Jó szerencsét!

Budapest, 2007. november 25.

*Kilényi Éva*  
a szerkesztőbizottság elnöke

*Gombár László*  
az MGE elnöke

# Rendezvénynapptár

2008. február		
2008. február 28.	Szemelvények az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet kiemelkedő tudományos eredményeiből (tudományos ülés nemzetközi résztvevőkkel)	Budapest, ELGI
2008. március		
2008. március 3–6.	A Német Geofizikai Társaság 68. konferenciája ( <a href="http://www.geophysik.tu-freiberg.de/dgg2008">www.geophysik.tu-freiberg.de/dgg2008</a> )	Freiberg, Németország
2008. március 28–29.	Ifjú Szakemberek 37. Ankétja MFT–MGE közös rendezvény ( <a href="http://www.isza.hu">www.isza.hu</a> )	Baja, Hotel Duna
(időpont később)	Inverziós Ankét	Miskolc, ME
2008. április		
2008. április 13–18.	EGU European Geosciences Union, 2008. évi közgyűlés ( <a href="http://meetings.copernicus.org/egu2008">meetings.copernicus.org/egu2008</a> )	Bécs, Ausztria
2008. június		
2008. június 9–12.	EAGE, 70. évi konferencia és műszerkiállítás ( <a href="http://www.eage.org">www.eage.org</a> )	Róma, Olaszország
2008. augusztus		
2008. augusztus 20–24.	HUNGEO-2008: a magyar földtudományi szakemberek IX. világtalálkozója	Budapest, ELTE
2008. szeptember		
2008. szeptember 15–17.	Near Surface 2008 – 14th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, EAGE – NSGD ( <a href="http://www.eage.org">www.eage.org</a> )	Krakkó, Lengyelország
2008. szeptember 29–30.	Nemzetközi konferencia a szén-dioxid földtani környezetbe való eltemetéséről	Budapest, MTA székház
2009		
2009. június 8–11.	EAGE, 71. évi konferencia és műszerkiállítás ( <a href="http://www.eage.org">www.eage.org</a> )	Amszterdam, Hollandia
2009. augusztus 23–30.	IAGA kongresszus ( <a href="http://www.ggki.hu">www.ggki.hu</a> )	Sopron

MGE: Magyar Geofizikusok Egyesülete; MFT: Magyarhoni Földtani Társulat; GGKI: MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet, Sopron; EAGE: European Association of Geoscientists and Engineers; NSGD: EAGE Near Surface Geoscience Division; IAGA: International Association of Geomagnetism and Aeronomy; EGU: European Geosciences Union.

További részletek, referenciák a honlapról érhetők el ([www.mageof.hu](http://www.mageof.hu)).

*Kakas Kristóf*

# *In Memoriam:*

## *MOLNÁR KÁROLY (ELGI)*

1912–2007



Megint kevesebben lettünk, ismét elvesztettünk egy régi kedves munkatársat, MOLNÁR Karcsi bácsit, akit 2007. szeptember 5-én búcsúztattunk a Farkasréti temetőben.

Sorsa tipikus 20. századi középosztálybeli sors volt. 1912. március 5-én született Budapesten. Reáliskolai érettségi után a Magyar Királyi Honvéd Ludovika Akadémia hallgatója lett, ahol 1936-ban avatták hivatásos hadnaggyá. Ezt követően különböző katonai alakulatoknál szolgált, 1942-ben néhány hónapos, majd 1944 májusától a II. Világháború végéig frontszolgálatot teljesített. A háború végén angol fogságba esett, ahonnan 1946 februárjában szabadult. Hazatérte után néhány hónappal századosi rendfokozattal nyugállományba helyezték. Ezt követően szöv munkásként dolgozott, egészen 1948. júliusi reaktiválásáig. 1949-ben őrnaggyá léptették elő, de a rá következő évben tartalékállományba került. Katonai pályafutásának utolsó állomásaként 1957-ben megfosztották katonai rendfokozatától. Mindezekről sohasem mesélt, az okok minden bizonnyal az akkori zavaros politikai viszonyokban keresendők.

Miután öttagú családjáról másként nem tudott gondoskodni, kénytelen volt átmenetileg segédmunkásként elhelyezkedni. Az ELGI 1951-ben megindult fejlesztése lehetővé tette, hogy kezdetben segédmunkási státusban ugyan, de a valóságban észlelőként el tudjon helyezkedni a Földmágneses Osztályon. Hamarosan a terepi munka minden fázisában otthonos lett, lelkiismeretes, pontos és szorgalmas munkája révén az osztály legjobb, legmegbízhatóbb

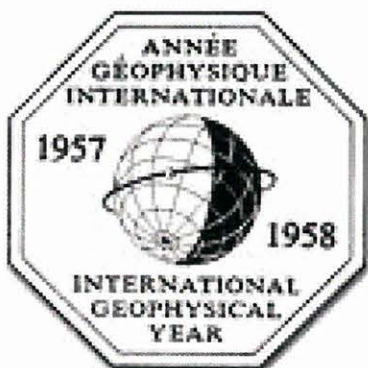
munkatársai közé emelkedett. 1954-ben alapító tagja lett a Magyar Geofizikusok Egyesületének. Bár felsőfokú végzettségét sohasem ismerték el, különböző beosztásaiban a diplomásokkal egyenrangú munkát végzett. Csoportvezetőként sok értékes jelentést készített, különösen kiemelhetők a dunántúli áttekintő, a mecseki és a sárospataki részletező földmágneses mérésekről írott jelentései. Kiemelkedő munkája elismeréseként 1965-ben megkapta a Földtani Kutatás Kiváló Dolgozója kitüntetést, 2002-ben pedig — az intézert végzett áldozatos munkájáért — a Pro Geophysica emlékérmét. Komoly, nyugodt egyénisége, munkatársai iránt tanúsított mindig udvarias és segítőkész magatartása miatt főnökei, munkatársai és beosztottai egyaránt tisztelték és szerették. Ideális munkaerő volt, a munkában sohasem válogatott, mindig azt tette, amire szükség volt, ha kellett terepre járt, észlelt, kitűzött, csoportot vezetett, ha kellett, az irodai feldolgozó munkákban vett részt. Kötelességtudásával jó példát mutatott az egymást követő fiatalabb generációk számára.

1972-ben történt nyugdíjazása után sem szakadt el munkatársaitól, minden intézeti összejövetelre eljárt, érdeklődéssel követte az intézeti változásokat. Jelenlétének hiányát még sokáig érezni fogjuk.

Kedves Karcsi bácsi, emléked megőrizzük, hosszú és fáradtságos életed után nyugodj békében!

*Szabó Zoltán*





HU ISSN 0025—0120

---

*Főszerkesztő:* dr. Bodoky Tamás  
*Szerkesztő:* Tóth Lajos, tel.: (1) 252 4999/142, e-mail: tothl@elgi.hu  
*Szerkesztőbizottság:* dr. Aczél Etelka, dr. Ferenczy László, Hegybíró Zsuzsanna, Kakas Kristóf,  
dr. Ormos Tamás, dr. Szarka László, Verő László  
*A szerkesztőség címe:* 1027 Budapest, Fő u. 68. (1371 Budapest, Pf. 433)  
Telefon: (1) 201 9815

---