

MAGYAR GEOFIZIKA

HUNGARIAN GEOPHYSICS

A MAGYAR
GEOFIZIKUSOK
EGYESÜLETÉNEK
FOLYÓIRATA



JOURNAL OF THE
ASSOCIATION
OF HUNGARIAN
GEOPHYSICISTS

Deres János javaslata

An international science event promoting research and economic development,
important to Albania and beyond

A BGS 7. Kongresszusa, Tirana, 2013

EAGE Near Surface Geoscience, Bochum, 2013

Álvéletlen (pseudo-random) vibrátorjelek beépített területen végzett szeizmikus mérésekhez

Primer porozitású kőzetek permeabilitásának meghatározása
Stoneley-féle hullámterjedési idők alapján

A Hilbert-transzformáció alkalmazása a kiskunhalasi kommunális hulladéktároló
különböző méretű és vastartalmú tárgyainak kiterjedés szerinti szeparálásában

Gyémánt- és aranydiplomák átadása az 1953-ban Sopronban és 1963-ban Miskolcon
végzett jubiláló mérnökök részére

Geofizikai módszerek a régészetben



MAGYAR GEOFIZIKA

HUNGARIAN GEOPHYSICS

54. évfolyam (2013) 3. szám



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

TARTALOM • CONTENTS

SZERKESZTŐSÉGI ROVAT • EDITORIAL

127 Deres János javaslata (Proposal by János Deres) – *Bodoky T.*

MGE HÍREK • NEWS OF ASSOCIATION OF HUNGARIAN GEOPHYSICISTS

129 An international science event promoting research and economic development, important to Albania and beyond – *A. Frasher*

130 A BGS 7. Kongresszusa, Tirana, 2013. október 7–10. (BGS 7th Congress, Tirana, Oct. 7–10, 2013) – *Törös E.*

EAGE HÍREK • NEWS OF ASSOCIATION OF EUROPEAN GEOSCIENTISTS AND ENGINEERS

133 EAGE Near Surface Geoscience, Bochum, 2013. szeptember 9–11. – *Törös E.*

TANULMÁNYOK • PAPERS

134 Álvéletlen (pseudo-random) vibrátorjelek beépített területen végzett szeizmikus mérésekhez (Pseudo-random sweep signals for seismic data acquisition in urban areas) – *Scholtz P.*

141 Primer porozitású kőzetek permeabilitásának meghatározása Stoneley-féle hullámterjedési idők alapján (Permeability estimation in primary porosity rocks using Stoneley-wave transit times) – *Szabó N. P., Kalmár Cs.*

154 A Hilbert-transzformáció alkalmazása a kiskunhalasi kommunális hulladékártól különböző méretű és vastartalmú tárgyainak kiterjedés szerinti szeparálásában (Application of the Hilbert transform for the separation of different size and iron containing objects in the Kiskunhalas local waste yard) – *Pusztai S., Kis K.*

HÍREK • NEWS

161 Gyémánt- és aranydiplomák átadása az 1953-ban Sopronban és 1963-ban Miskolcon végzett jubiláló mérnökök részére – *Gereben L., Polcz I.*

163 Geofizikai módszerek a régészetben – *Kakas K.*

MAGYAR GEOFIZIKA

HUNGARIAN GEOPHYSICS

54. évfolyam (2013) 3. szám

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

Főszerkesztő • Editor-in-Chief

DR. BODOKY TAMÁS

E-mail: bodoky.tamas@mfgi.hu

Szerkesztőbizottság • Editorial Board

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

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

Technikai szerkesztő • Technical Editor

HOCK GÁBOR

E-mail: hockg@t-online.hu



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

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

Kiadja a Magyar Geofizikusok Egyesülete
A kiadásért felel dr. Fancsik Tamás

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

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

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

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

INDEX: 26 507
HU ISSN 0025-0120

Dr. Deres János javaslata

Deres János kollégánk a következőket írta:

„... Úgy gondolom, hogy kb. 1960 és 1990 között – a mostoha viszonyok ellenére vagy éppen szükségéből – született néhány nemzetközi viszonylatban is kimagasló eredmény, amely érdemes lenne a megörökítésre, és ma is érdeklődésre tarthat számot.

A mi makói rétegmegnyitási munkáinkról szóló rövid hír csak (lásd alább) példa egy ilyen teljesítményre.

Elképzelésem szerint nem a nagy tetteket (sokszor talán szerényen) végrehajtóktól kell várni, hogy „dicsekedjenek”. Egyesek bizonyára már nem is élnek. Amennyiben van hozzá kedv, energia, akkor meg kellene a gondolatot hirdetni, el kellene magyarázni és kérni a tagság támogatását. Ezután

egy kis bizottság elemezné a javaslatokat, hogy megfelelnek-e a kritériumoknak...”

A Szerkesztőség a javaslatot örömmel támogatja, ám ennek megvalósításához szükségünk van a tisztelt kollégák aktív részvételére. Így tisztelettel várjuk, hogy aki akár a szerkesztésben, akár hasonló jellegű anyagok összegyűjtésében segíteni tud, jelentkezzen.

Megismételjük egyben azt a korábbi kérésünket is, hogy aki „archív” fényképekkel rendelkezik a geofizikai kutatások korábbi évtizedeiből, küldjön el néhány érdekes képet a lap hátoldalának kitöltésére történeti visszatekintés céljából. (Nem eredeti képeket kérünk, csak szkennelt vagy lefényképezett változatokat.)

Bodóky Tamás

A Makó-2 sz. mélyfúrás rétegvizsgálatáról

A Kőolajkutató Vállalat (KV) az 1970-es évek első felében mélyítette le a Makó-2 jelű nagy mélységű felderítő kutatófúrást. Talpmélysége meghaladta az 5000 m-t, a talpi hőmérséklet magas, 220 °C körüli volt.

A mélyfúrás geofizikai szelvényezését, béléscsővezetését és cementezését a vállalat szakemberei annak idején jó minőségben elvégezték. Már ebben az időben ismert volt, hogy a még korábban lemélyített, műszaki nehézségek miatt nem hibátlanul kiképzett Makó-1 jelű mélyfúrásból egy hozzávetőleg 110%-os túlnyomású telepből jelentős mennyiségű olajtermelés lehetséges. Mindezen körülmények alapján magától értetődő volt az az elhatározás, hogy a terület perspektívitásának eldöntése céljából a mélyfúrás kivizsgálását a legnagyobb műszaki biztonsággal, ugyanakkor a vizsgálatra kijelölt rétegek rétegtartalmának és rétegarámetereinek legjobb megismerését biztosító vizsgálati módszerekkel, tehát a rétegmegnyitáshoz célszerű depresszió alkalmazásával – így a rétegmegnyitásokat termelőcsővön keresztül lebocsátott perforátorokkal – kell elvégezni.

Ezek a feltételek (pl. a várhatóan 980 bar) lényegében a rétegmegnyitáshoz szükséges szerszámok és csőfejszerelvények – a megfelelő geofizikai lubrikátor és kábelkitörés-gátló rendszer – a körülményeknek megfelelő, kellően hőálló

karotázskábel és nem utolsósorban a nagy rétegmegnyitó képességgel rendelkező, kellően hőálló, legendőn kis méretű robbantólánc (különösképpen perforátorok) és ezek hordozószerkezete (puskák) meglétét igényelték.

A különleges körülményeknek megfelelő fűrástechnikák és geofizikai eszközöket és szerelvényeket – a perforátorok és hordozószerkezetek nélkül – 1982 első felére sikerült beszerezni. A rétegmegnyitásokat hazai fejlesztés alatt álló perforátorokkal és hordozószerkezetekkel a fejlesztés eredménytelensége esetén nyugati cégek által végzett bér munkával terveztük megoldani.

A beszerzett nyugati árajánlatok a rétegmegnyitási munka ellenértékéért igen magas árakat szabtak meg, ezért az időközben bekövetkező szigorú devizagazdálkodási korlátok miatt is – gyakorlatilag – csak a hazai eszközökkel történő rétegmegnyitás jöhetett számításba.

A korábban beindított fejlesztési munka meggyorsításával a robbanóanyagvegyészek és gyártástechnológusok (Vegyész és Robbanóanyagipari Felügyelet) munkájának szép eredményeként végül időre elkészült a 300 °C-ig, illetve 240 °C-ig hőálló, nagy teljesítményű, kisméretű robbantólánc. A robbantólánc hordozószerkezetét a KV geofizikai szakágazata tervezte és gyártotta úgy, hogy az alkalmas volt

két 7/8"-os termelőcsövön keresztül történő lebecsátásra, ugyanakkor 750 barig és több mint 200 °C-ig nyomás- és hőálló, valamint tetszőleges bosszúságban toldható volt.

A mélyfúrás esetenként célszerűen korrigált rétegvizsgálati tervének megfelelően 5000 m és 4151 m közötti mélységzakaszban karmantyúlokátoros, illetve neutron–neutron módszerrel történt, mélységmeghatározásokkal, 1728 perforációval, minden esetben termelőcsövön keresztül lebecsátott perforátorokkal, összesen 138 m hosszban történt rétegmegnyitás.

A rétegmegnyitások eredménye vízbeáramlás, éghető gáz és könnyű olaj volt. A rétegmegnyitások során a legnagyobb hőmérséklet 219 °C, a legkisebb depresszió esetén a folyadékoszlop nyomása 700 bar volt. A rétegvizsgálatok során előfordult műszaki balesetek súlyossága az átlagot nem haladta meg, nem veszélyeztették a rétegvizsgálati program folytatását.

A mélyfúrás vizsgálata még nem fejeződött be, a hátralevő két réteg kivizsgálásának feltételei biztosítottak.

Deres János, Kánnár Tibor

Megjelent az OMBKE Robbantástechnikai Szakbizottság Tájékoztatója 1983. márciusi számában.

A Balkán Geofizikai Társulat 7. Kongresszusa

An international science event promoting research and economic development, important to Albania and beyond



Prof. Dr. Alfred Frasherri
President of BGS

The 7th Congress of the Balkan Geophysical Society was held for the first time in Tirana, from 7 to 9 October, with a broad participation from many countries.

The 7th Congress of the International Balkan Geophysical Society was a scientific event, the first of its kind to be held in Albania and the biggest activity of geophysicists in the

region given the significant scientific inputs. There were 270 participants, 137 of whom from the Balkans countries and 18 other countries, as well as dozens of invited geophysicists and geologists, among others.

The Congress was honoured by the participation of the Chairman of the Albanian Academy of Sciences, Prof. Dr. Muzafer Korkuti, the Deputy Minister of Energy and Industry, Mr. Ilir Bejtja, members of the Albanian parliament and many representatives of higher education and research institutions, which demonstrates arising awareness over the effectiveness of using the complexity of geophysical methods in many areas of the economic and scientific development of the country.

The Congress consisted of four sessions, i.e. the areas of application of geophysical research: seismicity, seismic interpretation applied to oil and gas exploration; gravity, magnetic and electrical methods applied to the exploration of solid minerals; seismology and lithosphere applied to complex regional geological studies, to events of natural and artificial earthquakes, as well as shallow-depth geophysics: civil engineering geophysics, environmental and cultural heritage geophysics, exploration and water geophysics, etc.

There were 116 papers presented in this Congress, i.e. 59 oral presentations and 57 posters, which were assessed and approved for referrals as outputs from the specialists of earth sciences selected by the European Association of Geoscientists and Engineers, EAGE). The papers were prepared by 367 engineers and scientists from the *Albanian*

Geophysical Society, Bulgarian Geophysical Society, Hellenic Geophysical Union, Romanian Geophysical Society, Association of Hungarian Geophysicists, Association of Geophysicists and Environmentalists of Serbia, Chamber of Geophysical Engineers of Turkey.

Moreover, science institutions from Algeria, Austria, Italy, Denmark, Netherlands, India, Iran, Indonesia, Canada, Kosovo, Macedonia, Australia, Great Britain, Slovakia and Portugal played undisputable role for the progress of the Congress. Their contribution in the Congress is ranked as follows: Albania 32 papers, Turkey 32, Bulgaria 20, Hungary 7, Iran 5, Greece 4, Italy 4, Romania 3 and Algeria, Austria, India, Canada, Kosovo, Macedonia and Portugal by 1 paper each.

Such a significant participation shows the importance that is attached to basic and applied geophysical studies, as an important and innovative part of integrated geological research in the Balkan countries and the world. Also, an exhibition of technologies from Albania and the world was organised.

In parallel to the sessions for the presentation of papers, this Technical Exhibition served some well-known companies operating in the exploration of oil, gas and solid minerals in Albania and the world to expose their innovative geophysical research technologies.

Besides the foreign companies such as *Sercel* (France), *Prospectiumi* (Romania), *Geofyzika Torun* (Poland), *Tensi Congress* (The Netherlands), *IRIS Instrument* (France), *Advances Geosciences Europe SL* (Spain), *United Oilfield Services* (Poland), *Patromanas* (Canada), *Beralb* (Turkey), *DECO-GEOPHYSICAL SC* (Russia), *Matrix Geotechnologies Ltd.*, *Z-Terra Inc.* and *Moser Geophysical Services* (The Netherlands), as well as some state institutions involved in earth science and universities such as *Albanian Geological Survey, Faculty of Geology and Mining*. Interesting presentations were provided in this exhibition by the *Balkan Geophysical Society and European Association of Geoscientists and Engineers – EAGE* (The Netherlands), with results from their research and organizational activity. The exhibition was properly arranged by *Foreign Investors Association of Albania* and *Albexpo Group*.

The Congress was organised under the auspices of the Prime Minister of Albania, Mr. Edi Rama, and was enabled by the funding from *Petromanas, Beralb Sh.A., Alumil, Bankers, Stream Oil & Gas, Petroleum Albania LTD, Tirez, Stela Resort*, to which we express our most heart-felt thanks.

In the last day, a round table was held. According to the conclusions the Congress highlights achieved are as follows:

Participation in the Congress of Albanian geophysicists and geologists making up 25% of the papers, truly shows their willingness to contribute to the renaissance of the Albanian economy, whose pillars are research and exploration of oil, gas and other useful minerals like copper and chrome, construction materials, urban and spatial planning, protection and preservation of the geo-environment, etc.

Rebirth of geological prospecting and extraction of minerals absolutely requires the rebirth of geophysics, as an important and crucial part of this innovative deep-earth research. The need for geophysical development is reinforced by its contributions to the discovery of deposits of oil, gas and useful minerals, and to the regional Albanian geological studies that gave them a reputation beyond the borders of the country.

Many papers presented in the Congress focused on civil engineering, land use, civil and environmental emergencies, which shows the weight of geophysical studies to Urban and Territorial Planning in Albania as well as the necessity of Geophysical development in these areas.

There should have been a greater presence of young geophysical specialists from the Diaspora, given that many engineers and geophysicists have successfully worked in their profession in USA, Canada, France, etc. Therefore, the rebirth of Geophysics should start with the training of specialists through up-to-date programmes and innovative technologies of geophysical survey.

All the member societies are committed to enhance geophysics and education in the area, invest in future scientific leaders and in innovation, influence proper policymaking with the best scientific advice and invigorate geophysics and education in the area, increase access to the best scientific solutions for the benefit of their respective countries and the Balkan region.

Professor Dimitriu Ioane, the President of the Romanian Society of Applied Geophysics, sent an adherence application form to the BGS secretary. The request was accepted with the vote and the newly founded society became a member of the Balkan Geophysical Society (BGS).

The Albanian Geophysical Society (AGS) will assist in building up the Section of AGS in Kosovo.

Prof. Dr. Alfred Frasher
President of BGS

A BGS 7. Kongresszusa Tirana, 2013. október 7–10.

Mivel 2011-ben Budapesten a Balkan Geophysical Society elnöksége az egykori 3 éves periódus helyett a kétévenkénti vándorgyűlés megszervezése mellett döntött, az idén Tiránában az elnöklő albán társaság nevében az Albán Tudományos Akadémia szervezte meg a BGS aktuális konfe-

renciáját, amelyen a térség országainak szakemberei mellett kanadai, francia, orosz, lengyel, holland és spanyol előadók, ill. kiállítók is részt vettek. A hivatalos adatok szerint 268 látogató volt, összesen 115 előadás hangzott el, kb. fele-fele arányban szóbeli és poszterelőadás, a összes előadások sze-



Megnyitó

replőinek kb. egynegyede albán volt. Magyar előadás 5 hangzott el, és két magyar kiállító mutatta be termékeit. A Geoport Kft. bemutatta az egykori ELGI legjobb hagyományait folytató, arra épülő mélyfúrás-geofizikai műszereit (PCLOG, WellDAS 2012 felszíni mérés-adatgyűjtőt, széles körű szondaválasztékát és karotázscsörlőit), a Karotázs Kft. a sokcsatornás komplex impedanciamérő berendezését állította ki, és mutatta be legújabb mélyfúrás-geofizikai fejlesztéseit. Különösen nagy érdeklődést váltottak ki a Geoport Kft. hőtűrő (120 °C és 150 °C) mélyfúrás-geofizikai aktív és passzív szondái, valamint a Karotázs Kft.-vel közösen kifejlesztett WellDAS 2012 felszíni műszere is.

A BGS-nek Tirana óta új tagjai vannak. Romániában egy új független geofizikai egyesület alakult, amit az elnökség azzal a feltétellel hagyott jóvá, hogy a továbbiakban az eddig meglévő román egyesülettel együtt lesz egy szövetségük

a BGS elnökségében. A Pristinában lévő aktív geofizikusok gyakorlatilag az albán geofizikusok ernyője alatt, de önálló névvel kívánnak részt venni a BGS munkájában.

Változások várhatók a BGS Journal kiadásával kapcsolatosan is. Az EAGE helyet ad a Journal elektronikus változatának, a papír alapú újság, bár csak igen korlátozott példányban jelent meg eddig, megszűnik. Cél, hogy legyen jó impact factora az újságnak, amihez a mostani közölt cikkek számát jelentősen meg kell növelni. Nézzük ennek a számkra is kedvező oldalát: magyarul egyébként már megjelent cikkeket, előadásokat, esetleg diplomaterveket angol nyelvre lefordítva várnak. A konferencia végén a vándorzászlót a mostantól elnöklő görög tagegyesület vezetője vette át. Találkozunk 2015-ben Krétán, majd 2017-ben Törökországban, feltehetően Izmirben.

Törös Endre



Scholtz Péter előadása



A Geoport Kft. kiállítása



A Karotázs Kft. standján



Magyarok a BGS tagegyesületeinek zászlói előtt



Tirana belvárosa



Mauzóleumnak készült, de most kihasználatlanul, elhagyatva áll a város közepén



Fenn a hegyekben. Bunkernek készült, de ezt sem használhatták

EAGE Near Surface Geoscience

Bochum, 2013. szeptember 9–11.

Ez a hivatalos neve a kis mélységeket kutató geoszakemberek csoportjának, megkülönböztetendően az EAGE-n belüli tagságát tekintve nagyobb olaj- és gázdivíziótól. A hagyományosan szeptemberben tartott éves rendezvényeik neve már többet elárul a csoportot alkotó szakemberek tevékenységéről, hiszen ezeket a környezetvédelmi és a mérnöki geofizikában jártas geofizikusoknak hirdeti meg. Győzködnek is bennünket a szénhidrogén-kutatók a másik divízióból – ahogyan náluk ez már nyilvánvaló – hogy, vonjunk be a geotudományok egyéb területein aktív kollégákat is a munkánkba (geológusokat, geotechnikusokat) – egyelőre kevés sikerrel.

Ez évben a Ruhr-Egyetemen, Bochumban volt az EAGE NS rendezvény, immár másodjára itt, az európai Near Surface 19 éves történelmében. A viszonylag kis létszámú résztvevő számára minden együtt volt, amiért erre a konferenciára érdemes volt elmenni: a módszer- és műszerfejlesztéseket bemutató előadások és kiállítások. Számomra újdonság volt például, hogy mennyire előrehaladt az atominterferencián alapuló graviméter fejlesztése. Úgy tűnik, tényleg csak néhány év, és a gyakorlatban is használható műszert vehetünk a kezünkbe (Humboldt-Egyetem, Berlin). Sokat fejlődtek a passzív szeizmikus mérések feldolgozási eljárásai és ezek alkalmazásai a geotechnikában, elindult a

radarmérések teljes hullámképes inverzióján alapuló feldolgozások fejlesztése. A műszereknél hardver vonalon a sekély mélységű fúróluk szeizmikus eszközei terén mutatott be egy-két gyártó látványos fejlesztési eredményt, valamint először láttam geofizikai műszerkiállításon kézi vezérlésű drónt, amelyre 3 komponenses mágneses szenzort építettek. Újdonság az adatgyűjtésben a mérési környezetben belüli helyi WiFi-s kapcsolattartás a vezérlő és a szinte valós idejű feldolgozást végző számítógépek között. Ez különösen a sokelektrodás elektromos méréseknél lehet hasznos, hiszen ha a terepen már értékelhető eredményeket látunk, ezzel hatékonyabbá tehető a további mérések tervezése.

Aki érdeklődik a Near Surface konferenciák iránt, annak jelzem, hogy a most bemutatott rendezvény jövőre Athénben lesz, amelyet egyidejűleg szerveznek az első Applied Shallow Marine Geophysics konferenciával. Az EAGE szervez még egy Engineering Geophysics konferenciát orosz anyanyelvűeknek, rendszeresen áprilisban, Gelandzikben, aztán létezik még az egykori EGS észak-amerikai testvérszervezetünk is egy tavaszi ún. SAGEEP konferenciával, valamint az SEG újonnan alakult Near Surface tagozata a hagyományos őszi rendezvényükkel. Szóval, konferenciákban jól állunk.

Törös Endre



Asztaltársaság a galavacsorán Bochumban (baloldalon ül Törös Endre, középen áll Szalai Sándor)

Álvéletlen (pseudo-random) vibrátorjelek beépített területen végzett szeizmikus mérésekhez

SCHOLTZ P.

Magyar Földtani és Geofizikai Intézet (MFGI), 1143 Budapest, Stefánia út 14.
E-mail: scholtz.peter@mfgi.hu

Optimalizált álvéletlen (pseudo-random) jelsorozatokot állítottunk elő és teszteltünk, amelyek vibrátoros szeizmikus reflexiós mérések során csökkenthetik az épületekben okozott kár valószínűségét. A vibrátoros méréseknél használt lineáris vibrojelel rezonanciát okoz az infrastruktúrában, ezért a károkozás lehetősége növekszik. Az álvéletlen vibrojelek használata egy kézenfekvő válasz lehet a problémára, de egy egyszerű véletlenszám-generátor által készített, a gyakorlatban használt jelsorozatnak hátrányai vannak. Ebben a munkában az elvárt tulajdonságokat rögzítjük, illetve egy optimalizációs eljárást alkalmazunk, hogy a kívánt eredményt elérjük. Kétféle stratégiát követünk az előfeldolgozás során: keresztkorreláció és dekonvolúció. Néhány optimális vibrojelel analízise azt mutatja, hogy lehetséges az álvéletlen vibrojelel teljes szeizmikus energiáját növelni még úgy is, hogy a korrelációs mellékmaximumok amplitúdója csökken. Ekkor a frekvenciatartománybeli amplitúdómenet is sokkal simább, mint egy egyszerű álvéletlen vibrojelel esetén. A terepi eredmények azt is megmutatják, hogy a részecskesebesség csúcserőértékei (PPV) a várt módon csökkennek, és a korrelált, illetve dekonvolált terepi felvételek hasonló minőségűek, mint a lineáris vibrojellel készült felvételek esetében.

Scholtz, P.: Pseudo-random sweep signals for seismic data acquisition in urban areas

Optimized pseudo-random sequences are calculated and tested for the purpose of reducing possible damage to buildings by vibratory sources during seismic reflection acquisitions. The common linear sweeps used at vibratory measurements cause resonance in infrastructure, hence the potential for damage increases. A pseudo-random sweep signal can be a natural choice to decrease resonance effects, but the sequences produced by simple random number generators have disadvantages. In this paper requirements are set and an optimization process is employed for producing pseudo-random sweeps to achieve satisfactory results. Two strategies are considered for pre-processing: autocorrelation and deconvolution. Analysis of optimum sweep examples shows that the peak energy is increased, while side-lobe energy is decreased compared to a simple pseudo-random sweep. Field tests reveal that the peak particle velocity values are reduced substantially, while correlated and deconvolved records are of similar quality compared to a linear sweep driven record.

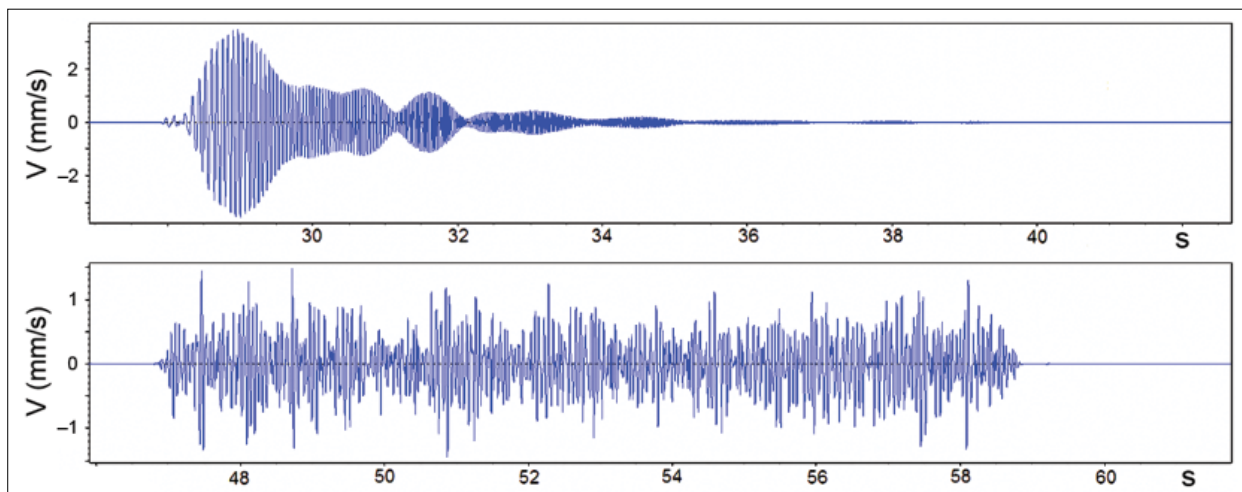
Beérkezett: 2013. december 8.; *elfogadva:* 2013. december 20.

Bevezetés

A vibroszeiz módszer, amelyben egy, a földdel csatolásban lévő eszköz (gyakorta egy hidraulikus szeizmikus vibrátor) generál vibrációt a föld felszínén, uralja a felszíni szeizmikus reflexiós mérések nagy részét. Sajnos még ez az eszköz is rendelkezik akkora teljesítménnyel, hogy épületek közelében működtetve a vakolatot megrepessze, vagy strukturális kárt okozzon falakban vagy csővezetékekben. Ez részben annak köszönhető, hogy rezonanciahatás jelentkezik. A vibrátorok által használt tipikus (6–100 Hz) frekvenciatartomány tartalmazza az épületek rezonanciafrekvenciáit is. A gyakorta használt lineáris vibrojelel – amely egy monoton változó frekvenciájú szinuszoid – oly módon is erősíti ezt a folyamatot, hogy egy-egy szűk frekvenciasávban viszony-

lag hosszan tartózkodik, ezáltal támogatva a konstruktív energiák felépülését.

Ahhoz, hogy az egyszerű lineáris vibrojelel okozta problémákat csökkentjük, olyan különböző vibrojeleváltozatokat javasoltak (Cunningham 1979, Strong 2003), amelyekben az álvéletlen vibrojelek alkalmazásai ideális megoldást sugallnak. Álvéletlen vibrojeleket használhatnak egyidejű jelgerjesztésű szeizmikus mérések során is, ahol az ortogonális álvéletlen vibrojelek erősítik a jelszeparációt (Krohn et al. 2008, Sallas et al. 2008). Az 1. ábrán egy lineáris és egy álvéletlen vibrojelel által gerjesztett vibrálás egy-egy rögzített csatornája látható. Az álvéletlen vibrojelel által vezérelt vibrálás sokkal alacsonyabb részecskesebesség-csúcserőértékeket produkált, mint a lineáris vibrojelelvezérlés esetén, bár mindkét esetben a vibrátor teljesítménye azonos szintű volt.



1. ábra Lineáris vibrojellel (fent) és álvéletlen vibrojellel (lent) történő gerjesztés elmozdulássebesség felvétele. Megfigyelhető a lineáris vibrojellel okozta rezonanciahatás
Figure 1 Particle velocity behavior of linear (top) and simple pseudo-random (bottom) sweeps, showing higher resonance effects in the case of the linear sweep

Sajnálatos módon az egyszerű véletlenszám-generátor által készített vibrojel nem kívánt tulajdonságokkal is rendelkezik. A frekvenciaspektrum amplitúdómenete nem elég sima, az álvéletlen vibrojel teljes energiája jelentősen kisebb, mint egy hasonló lineáris vibrojelé, és a vibrojel autokorrelációja sokkal nagyobb mellékmaximumokat produkál, mint az megengedhető lenne (Burger et al. 1992, Strong 2003). Szerencsére számtalan variáció létezik a véletlen jelsorozatra. Iranpour és munkatársai (2009) optimális tulajdonságú (keresztkorrelációt csökkentő) álvéletlen vibrojelpárokat hoztak létre 'simulated annealing' eljárás segítségével, amelyek együttes jelgerjesztésű vibrációs mérések során alkalmazhatók. Ebben a munkában mi egy hasonló eljárást alkalmazunk, de a célunk az, hogy a mérések során a közeli infrastruktúrában, illetve épületekben a károkozás lehetőségét csökkentsük. Eljárásunkban azt is célul tűzzük ki, hogy a jelenlegi feldolgozási menetet a lehető legkisebb mértékben változtassuk meg. Meghatározzuk az elvárt tulajdonságokat, illetve felvillantjuk a számítási módszer lényegét. Példákon keresztül megmutatjuk, hogy milyen tulajdonságokkal rendelkeznek ezek a vibrojelek, és végül egy terepi mérés eredményeit is bemutatjuk.

Hogyan történik egy mérés most a terepen?

Az érzékeny épületek közelében szükségessé válik a vibrátor vezérlésének megváltoztatása úgy, hogy a csúcserő csökkenjen, amit természetesen az együtt dolgozó vibrátorok számának csökkentésével is elérhetünk. Ezzel a szeizmikus hullámok energiája is kisebb lesz. Nemzeti szabványok is léteznek: általában a részecskeelmozdulás csúcserőértékére (PPV) kapunk felső korlátot, amely az egyes frekvenciatartományokban más és más. Ahhoz, hogy a vibrátorok működtetése ellenőrizhető, dokumentálható legyen, illetve hogy a felszíni hatások változására reagálni tudjunk, külön ellenőrző PPV-méréseket végeznek a vibrátorok közelében elhelyezkedő

épületeken. Ilyen méréseket mindig el kell végezni, ha a vibrátorok közelében bizonyos távolságon belül épületek vagy egyéb infrastrukturális szerkezetek vannak (a távolsági határ tipikusan 100 m, de ezt tesztmérésekkel kell megállapítani). A gondos méréstervezés, illetve az extra PPV-mérés a terepi csoporttól többlet idő- és költségráfordítást igényel. Hasonlóan, ha a vibrátorcsoport teljesítményét azért kell csökkentenünk, hogy betarthassuk a szabvány határértékeit, elkerülendő az épületekben okozott kárt, akkor szükséges a jel/zaj viszony fenntartásához a vibrálások számának vagy a vibrálás időtartamának növelése. Ilyen esetben egy vibrátorponton eltöltött idő a normális körülményekhez képesti időtartam sokszorosa lehet, ami lelassítja az egész terepi csoport előrehaladását. Különleges esetben (igen magas költségek, nagyon érzékeny vagy közeli épületek, helyi lakosok ellenállása, engedély megtagadása stb.) a forráspont áthelyezése vagy egész területek kihagyása válik szükségessé. Ennek eredményeképpen a felszín alatti térrész lefedettsége csökken, a végső szeizmikus kép rosszabb minőségű lesz.

Optimalizált álvéletlen vibrojelek

Az általánosan használt előfeldolgozó lépés vibrátoros mérések esetén az elméleti vibrojel keresztkorrelációja a rögzített geofonjelekkel. A korrelációs eredménnyel szemben a következő főbb elvárásaink vannak: a szeizmikus beérkezések szintje legyen maximális, a korrelációs mellékmaximumok legyenek minimálisak, valamint egyenletes amplitúdóspektruma legyen (illetve – nemlineáris vibrojelek esetén – kövessen egy általunk meghatározott görbét). Ezek az alapelvárások érvényesek álvéletlen vibrojellek esetén is. Ha egy egyszerű véletlenszám-generátort alkalmazunk az idősor létrehozása céljából, akkor ezek a kritériumok nem teljesülnek. Ezt vesszük észre akkor is, ha a vibrátorelektronikát gyártó cégek által mellékelte vibrojel-előállító programokat használjuk. Ennek következménye az, hogy az ilyen egysze-

rű álvéletlen vibrojeleket a gyakorlatban nem használják, vagy csak kivételesen. Az Iranpour és munkatársai (2009) által leírt optimalizációs eljárás vagy más módszerek is használhatók, hogy jobb véletlen jelsorozatokot állítsunk elő. Az ő módszerük globális optimalizációs procedúrát alkalmaz, amelyben egy költségfüggvény vezérli a jelsorozat megváltoztatását több ezer iterációs és perturbációs lépésben, egy adott séma szerint. De bármi is az optimalizációs módszer, a fő feladat, hogy definiáljuk az elvárásokat. A munkánkban két stratégiát követtünk. Az elsőben olyan álvéletlen vibrojeletet kerestünk, amely esetén annak autokorrelációs függvénye a legjobban közelíti egy általánosan használt vibrojelet (pl. lineáris vibrojelet) – melyet a mérési terület más részein használnak (pl. ahol nincs érzékeny épület) – autokorrelációs képét. Ebben az esetben az előfeldolgozás után (keresztkorreláció az elméleti vibrojellel) a szeizmikus felvétel hasonló tulajdonságokkal bír, mint a hagyományos vibrojellel történt mérés esetén. A másik megközelítés, amikor a korrelációt dekonvolúcióval helyettesíthetjük (korrektül persze ezt csak a tényleges kimenő jel ismeretében tehetjük meg, de ebben a munkában csak elméleti jelet használhattunk). Ebben az esetben az előfeldolgozás során keletkező mellékmaximumok nem jelentősek, így nem kell ezekre külön figyelni. Az optimalizációs eljárás koncentrálna a vibrojelet teljes energiájának növelésére, amely alapesetben sajnos lényegesen kisebb, mint például lineáris vibrojelet használatánál. A végső eredmény az, hogy az optimalizált

álvéletlen vibrojelet alkalmazása esetén a rezonanciahatás csökken, a vibrojelet nagyobb vibrátorteljesítmény mellett lehet használni, akár több, egyszerre dolgozó vibrátorral, közelebb az érzékeny épületekhez, kevesebb számú ismételt rezgés-keltéssel úgy, hogy a károkozás lehetősége csökken.

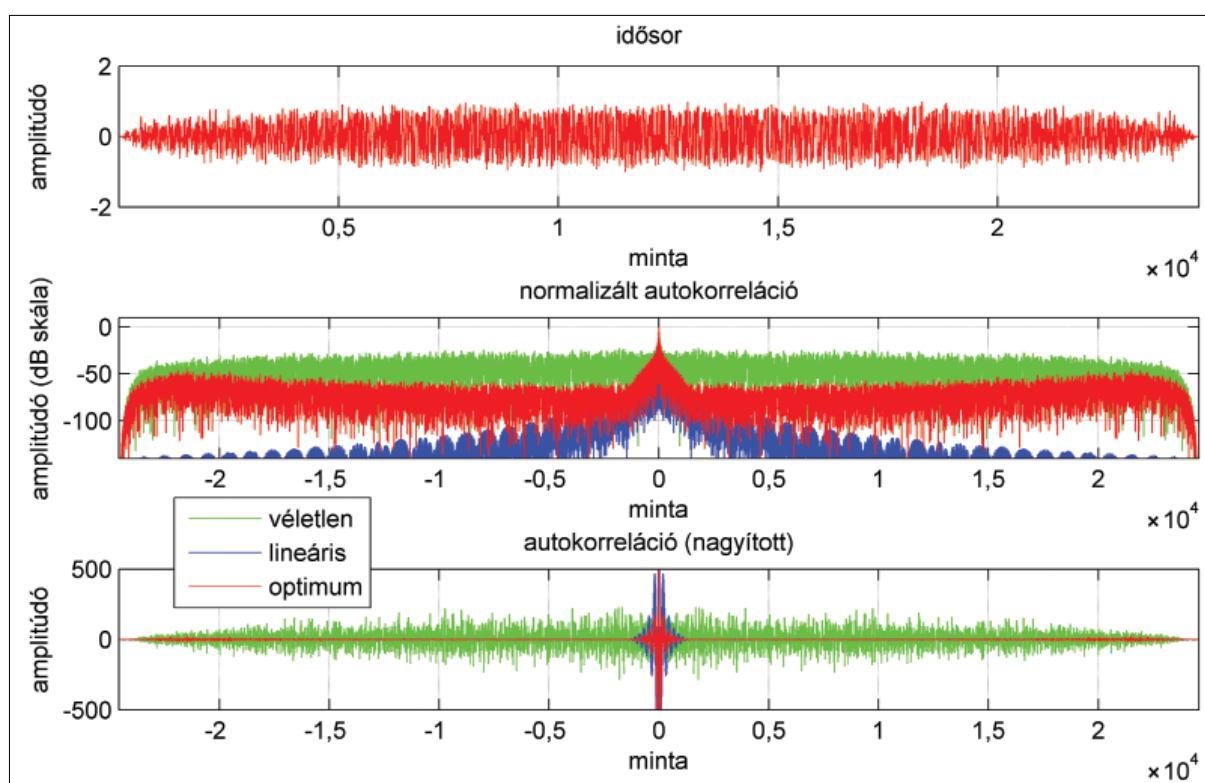
Álvéletlen vibrojelek autokorrelációs függvényének hasonlósági tétele

Az optimalizációs eljárásban egy költségfüggvényt definiálunk, ennek során különböző súlyt fektetünk az előre definiált kritériumokra:

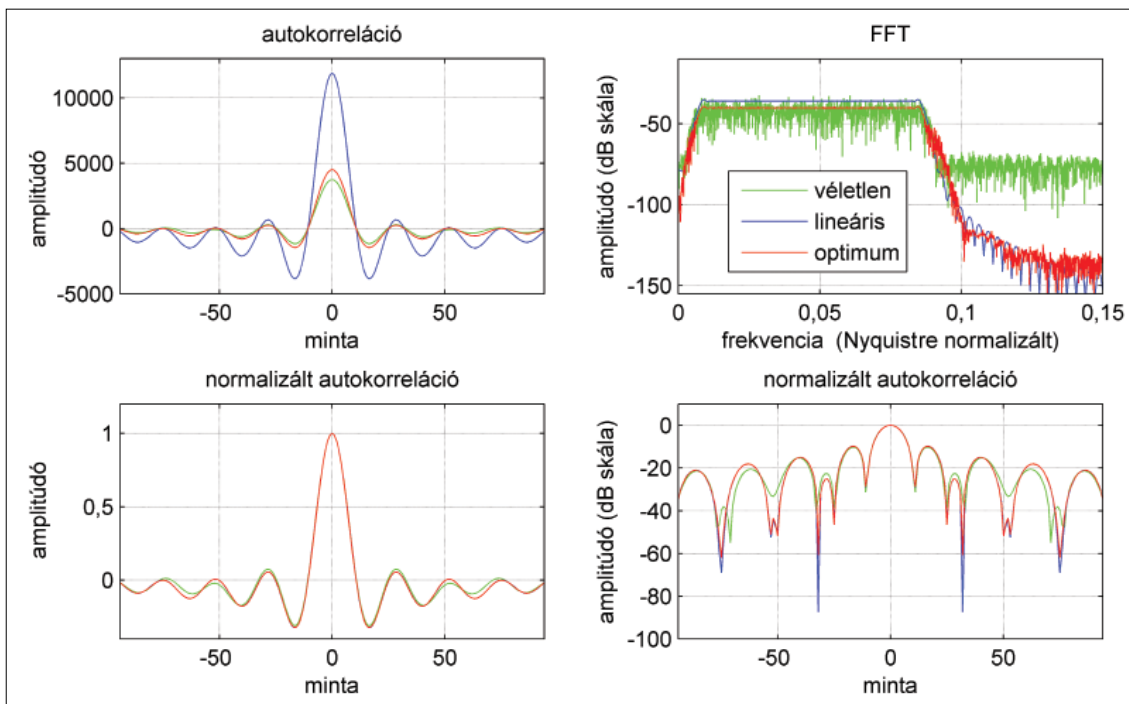
- a vibrojelet teljes szeizmikus energiája (maximalizálás),
- a teljes energia és a mellékmaximumok aránya (maximalizálás),
- az optimális vibrojelet és egy hagyományos (itt lineáris) vibrojelet autokorrelációjának hasonlósága (maximalizálás).

A numerikus számításokat egy 12 s hosszúságú, 2 ms mintavételezétséggű, 6–90 Hz sávszélességű, 0,3 s koszinusz típusú átmeneti függvénnyel kapuzott jelsorozaton végeztük.

A 2. ábrán az idősor (felső rész), a dB-ben skálázott autokorrelációs függvény (középső rész, piros színű görbe) és egy felerősített amplitúdójú autokorrelációs függvény (alsó rész, piros görbe) látszik az optimalizált álvéletlen vibrojelet

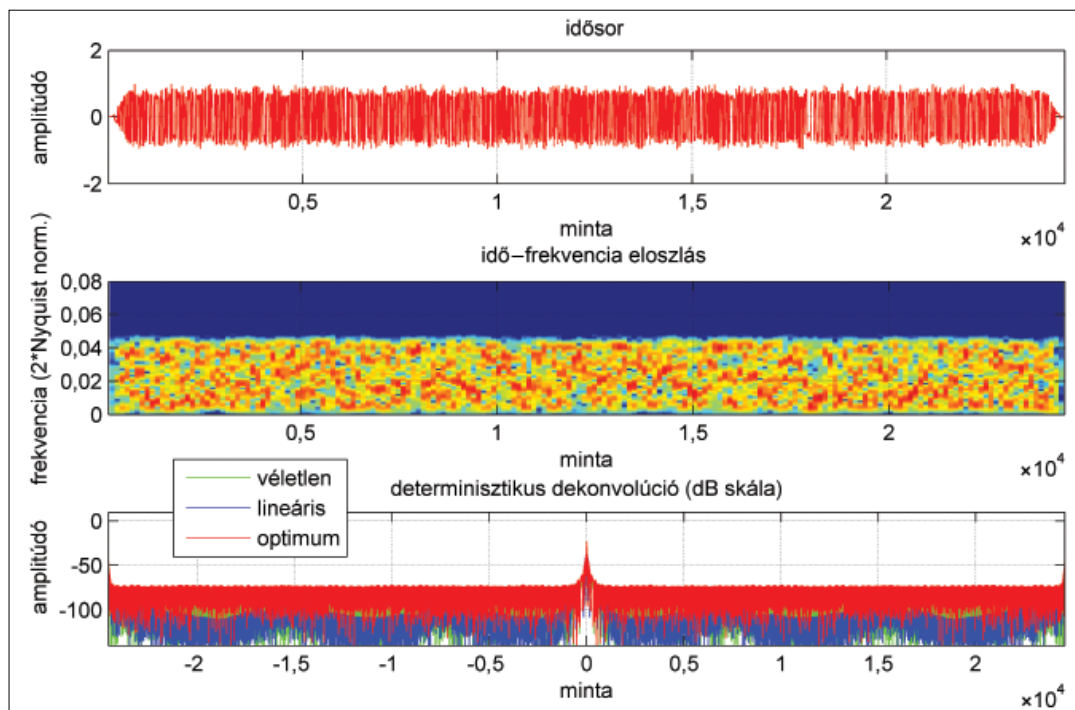


2. ábra Optimalizált álvéletlen idősor (felső rész) és autokorrelációs függvénye (középső és alsó rész, piros görbe). Az összehasonlíthatóság kedvéért egy hasonló paraméterekkel bíró lineáris vibrojelet (kék) és egy egyszerű véletlen vibrojelet (zöld) autokorrelációs függvényét is ábrázoltuk
Figure 2 Optimized pseudo-random sequence (top), the dB-scaled (middle), and the magnified autocorrelation function of a matching autocorrelation-based optimized pseudo-random sweep (bottom, red curve). For reference, autocorrelations of linear and simple pseudo-random sweeps are also shown (bottom, blue and green curves)



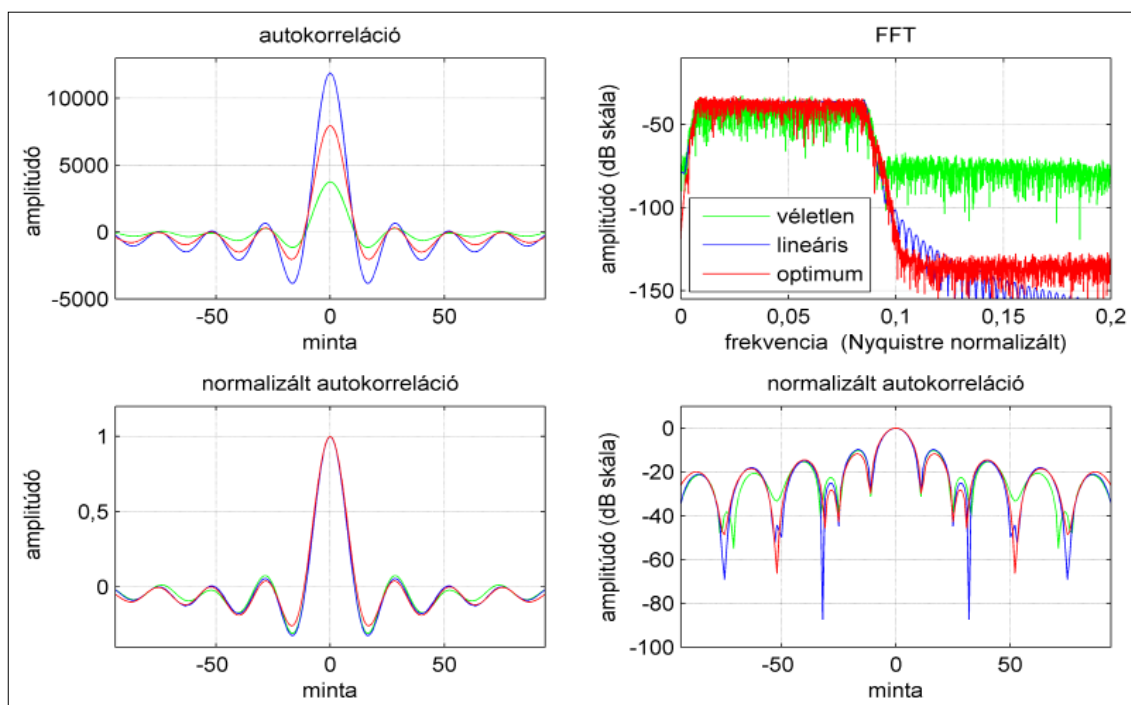
3. ábra Optimalizált álvéletlen idősor (piros) autokorrelációjának normalizált centrális tartománya (alsó rész, balra), a dB-ben skálázott autokorrelációs függvény középső része (alsó rész, jobbra). Az autokorrelációs csúcserő (energiaviszonyok) ábrázolása (balra fent) és a frekvenciatartománybeli amplitúdóviszonyok (jobbra, fent). Az összehasonlíthatóság kedvéért egy hasonló paraméterekkel bíró lineáris vibrojel (kék) és egy egyszerű véletlen vibrojel (zöld) megfelelő függvényeit is ábrázoltuk

Figure 3 The central part of the autocorrelation function (top left), the amplitude spectrum (top right), the normalized central region of the autocorrelation function (bottom left), and the normalized central part of the dB-scaled autocorrelation function (bottom right) based on the optimized matching autocorrelations pseudo-random sweep (in red). For reference, the respective functions of a linear sweep are blue and a simple pseudo-random sweep in green



4. ábra Dekonvolúciós előfeldolgozáshoz optimalizált álvéletlen idősor (felső rész), az optimális idősor idő-frekvencia képe (középen) és a dB-ben skálázott determinisztikus dekonvolúciós függvény (alsó rész, piros görbe). Az összehasonlíthatóság kedvéért egy hasonló paraméterekkel bíró lineáris vibrojel (kék) és egy egyszerű véletlen vibrojel (zöld) dekonvolúciós függvényét is ábrázoltuk

Figure 4 Time sequence (top), time–frequency distribution (middle), and the dB-scaled self deconvolution function of the energy-maximized pseudo-random sweep (bottom, red curve). For comparison, the functions of a linear sweep and a simple pseudo-random sweep are also shown (bottom, blue and green curves)



5. ábra Optimalizált álvéletlen idősor (piros) autokorrelációjának normalizált centrális tartománya (alsó rész, balra), a dB-ben skálázott autokorrelációs függvény középső része (alsó rész, jobbra). Az autokorreláció csúcserőtelje (energiaviszonyok) ábrázolása (balra fent) és a frekvenciatartománybeli amplitúdó viszonyok (jobbra, fent). Az összehasonlíthatóság kedvéért egy hasonló paraméterekkel bíró lineáris vibrojel (kék) és egy egyszerű véletlen vibrojel (zöld) megfelelő függvényeit is ábrázoltuk

Figure 5 The central part of the autocorrelation function (top left), the amplitude spectrum (top right), the normalized central part of the autocorrelation function (bottom left), and the normalized central part of the dB-scaled autocorrelation function (bottom right) based on the energy-maximized pseudo-random sweep (in red). For reference, the respective functions of a linear sweep are blue and a simple pseudo-random sweep in green

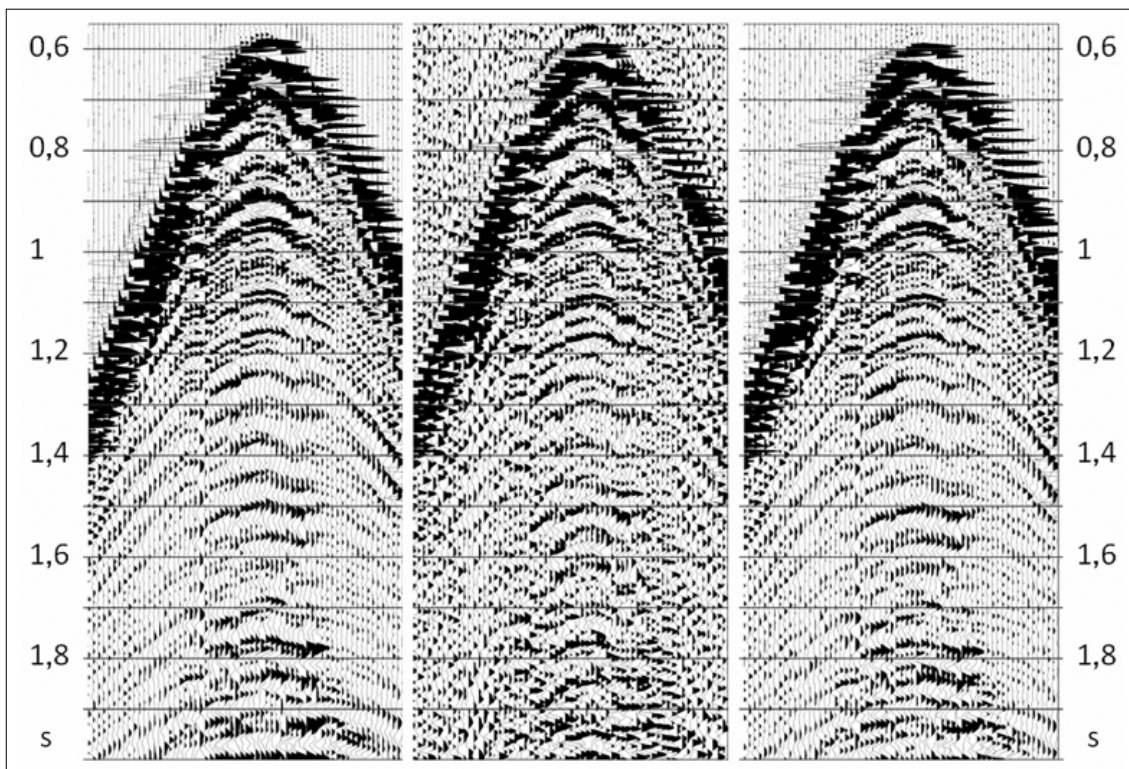
esetén. Az összehasonlíthatóság kedvéért egy hasonló paraméterekkel bíró lineáris vibrojel (kék) és egy egyszerű véletlen vibrojel (zöld) autokorrelációs függvényét is ábrázoltuk. Világosan látszik, hogy az autokorrelációs mellékmaximumok szintjében körülbelül 20–30 dB csökkenést értünk el az egyszerű véletlen jelhez képest. Megfigyelhető, hogy az autokorrelációs függvény centrális része, amely az elméleti szeizmikus elemi hullámot adja, jól illeszkedik a lineáris vibrojel hasonló görbéjéhez, így az optimalizációs célt teljes mértékben elértük (3. ábra). Ha tovább vizsgáljuk az autokorrelációs függvényeket (3. ábra), akkor azt látjuk, hogy az energiaszint a lineáris vibrojel esetén a legnagyobb, az egyszerű véletlen vibrojel esetén a legkisebb, az optimalizált álvéletlen vibrojel szintje pedig a kettő között helyezkedik el. Ebben az esetben csak csekély mértékű energianövekedést értünk el az egyszerű véletlen vibrojelhez képest. A frekvenciatartománybeli amplitúdómenet az egyszerű véletlen vibrojel esetén gyorsan változik egy kb. 20 dB szélességű tartományban, és ez a sáv 1–2 dB-re csökken az optimalizáció után.

Álvéletlen vibrojelek dekonvolúciós előfeldolgozása

Ebben az esetben az előfeldolgozás a korreláció helyett dekonvolúció, és így az előre meghatározott kritériumok:

- a vibrojel teljes energiájának maximalizálása,
- a frekvenciatartománybeli amplitúdómenet fluktuációjának minimalizálása.

A numerikus számításokhoz használt vibrojelparaméterek ugyanazok, mint előzőleg. A 4. ábrán az idősor (felső rész) és az a dB skála szerint ábrázolt függvény látható, melyet az elméleti vibrojel, vagyis az optimalizált álvéletlen vibrojel önmagával való dekonvolúciója eredményeképpen kapunk (alsó rész, piros görbe). Összehasonlításképpen a determinisztikus dekonvolúciót elvégeztük a lineáris vibrojelre, valamint egy egyszerű, nem optimalizált álvéletlen vibrojelre is (alsó ábrarész, kék és zöld görbe). Az idő–frekvencia eloszlás egyenletességét a középső ábrarész mutatja. A mellékmaximumok szintje mindegyik esetben viszonylag alacsony, és kisebb (kivéve a lineáris vibrojel nagy eltolások mellett mérhető értékeit), mint az autokorrelációs módszer esetén. Itt az optimalizációs eljárás a vibrojel teljes energiájára koncentrált, így kb. kétszeres energianövekedést sikerült elérni az egyszerű álvéletlen vibrojelhez képest, elérve a lineáris vibrojel energiájának kétharmad részét. Az optimalizált álvéletlen vibrojel frekvenciatartománybeli amplitúdógörbéjének fluktuációja most is javult, csak egy 5–10 dB széles sávban mozog, bár a javulás kisebb mértékű, mint amikor az energia növelése kevésbé kapott hangsúlyt (5. ábra).



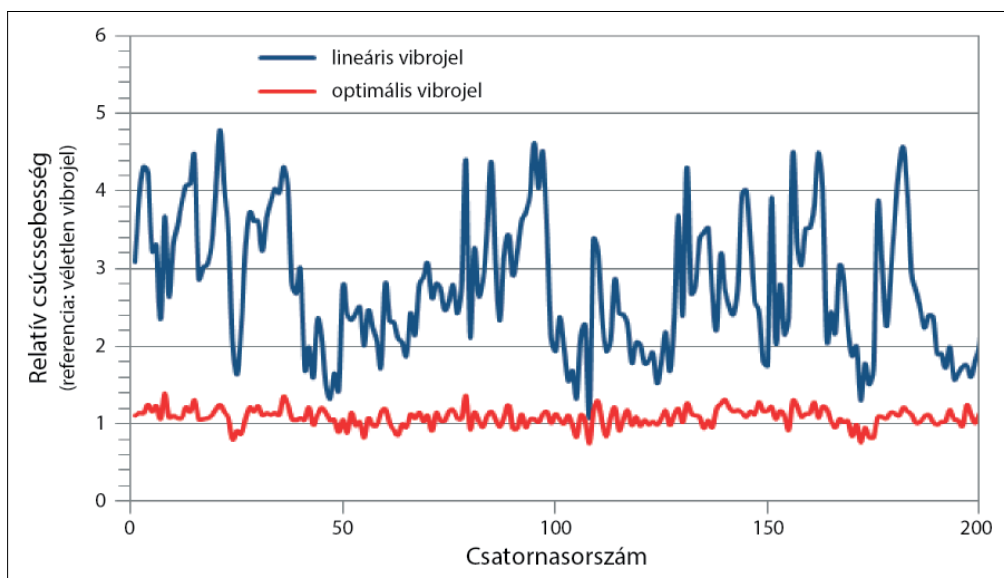
6. ábra Terepi korrelált felvételek ugyanarról a vonalrészről. A lineáris vibrojellel készült felvétel a bal oldalon található, a gyári szoftver generálta, egyszerű álvéletlen vibrojellel gerjesztett felvétel középen, illetve az optimalizált álvéletlen vibrojellel készült felvétel pedig a jobb oldalon látható

Figure 6 Parts of correlated seismic records from the same seismic lines. Linear sweep (left), off-the-shelf pseudo-random sweep (middle), and optimized (matching autocorrelations) pseudo-random sweep (right)

Terepi próba

Terepi teszten hasonlítottuk össze három különböző vibrojel viselkedését. Mindegyik paraméterei megegyeznek az előzőekkel ($T = 12$ s, $dt = 2$ ms, 6–90 Hz, 0,3 s koszinusz típusú):

- lineáris vibrojel,
- egyszerű álvéletlen vibrojel azzal a szoftverrel generálva, amelyet a vibrátorelektronikát gyártó cég mellékel a termékéhez,



7. ábra Relatív csúcsebesség a szeizmikus vonalak mentén. Az álvéletlen vibrojellek jelentősen kisebb rezonanciahatást okoznak a lineáris vibrojelhez képest

Figure 7 Relative PPV levels along the seismic lines. The linear sweep induced a much higher resonance than did the pseudo-random sweeps

- optimalizált álvéletlen vibrojel (az optimalizációs eljárásban a lineáris vibrojel autokorrelációs függvényét közelítettük).

A 6. ábrán korrelált felvételeket mutatunk, melyeket ugyanazon a szeizmikus vonalon, a különböző vibrojelekkel gerjesztve mértünk. A lineáris vibrojellel készült felvétel a bal oldalon található, a gyári szoftver generálta, egyszerű álvéletlen vibrojellel gerjesztett felvétel közepén, illetve az optimalizált álvéletlen vibrojellel készült felvétel a jobb oldalon látható. A vibrojel paraméterei az adott olajkutató projektben használt vibrojel paraméterei voltak. A csak előfeldolgozott felvételek is világosan megmutatnak néhány, nem túl mély reflexiós felületet, bár a középső felvétel igencsak zajos, amit az erős mellékmaximumok megjelenése okoz (az elméleti vibrojel alapján is várható módon). Az optimalizált vibrojellel készült felvételben ezek a zajok nagyrészt hiányoznak (lásd a 6. ábra jobb oldali részét). Mivel az álvéletlen vibrojelekben a teljes energia lényegesen kisebb, mint a lineáris vibrojelben, illetve itt nem az energiamaximalizáció volt a cél (bár sikerült kicsit növelni az energiát, elérve a lineáris vibrojel energiájának egyharmadát), egy bizonyos szintű jel/zaj viszonycsökkenés továbbra is megfigyelhető. A dekonvolúciós előfeldolgozás további javulást is lehetővé tenné, mert általa növelhető a teljes szeizmikus energia ugyanolyan hosszú vibrojelben is. Sajnos ezt a típusú vibrojelet még nem volt módunkban terepen is kipróbálni.

A rezonanciahatás csökkent az álvéletlen vibrojelek alkalmazásával (függetlenül attól, hogy optimalizált vagy sem). Ezt illusztráltuk korábban az 1. ábrán. A jelen esetben a mértéke tipikusan 2–4-szeres volt, vagyis ennyied részére esett a mért PPV-érték. Ez figyelhető meg a szeizmikus vonalak egy bizonyos geofon tartományára melyet a 7. ábrán ábrázoltunk a relatív PPV-értékekkel: lineáris vibrojel és optimalizált álvéletlen vibrojel. A referenciaértékeket az egyszerű véletlen vibrojel esetén mért értékek jelentették.

Az álvéletlen vibrojelek alkalmazásának egyik pozitív mellékhatása, hogy kis frekvencián a vibrátor jobban működik (Sallas et al. 2008), mert egyenletesen oszlik el a kis frekvenciák gerjesztése a vibrojel teljes hossza alatt. Ezek a frekvenciák különben extra terhelést jelentenek a hidraulika folyadékáramlási mennyiségében. Ez a pozitív hatás a mi tesztkben is megfigyelhető volt. Természetesen vannak rossz mellékhatások is. Az egyik ilyen a harmonikus torzítás, amelyet a vibrátor–föld csatolt rendszer mechanikája és hidraulikája okoz. Lineáris vibrojelek esetén ezt a hatást Saragiotis és munkatársai (2010) is tanulmányozták, de módszerük itt nem alkalmazható az egymást időben átfedő hasonló frekvenciák miatt. Ezen a területen további vizsgálatok szükségesek.

Összefoglalás

Megmutattuk, hogy optimalizált álvéletlen idősorok mint vibrojelek sikeresen alkalmazhatók szeizmikus reflexiós

méréseknél, ahol a cél, hogy csökkentsük a vibrátorok okozta károk esélyét, melyek közeli épületekben keletkezhetnek. Az optimalizációs eljárás képes olyan vibrojelet előállítani, melynek az autokorrelációs mellékmaximumai lényegesen kisebbek, mint egy gyári szoftver által generált álvéletlen vibrojelé. Hasonlóképpen, az optimalizációs eljárás tartalmazhat olyan célfüggvényt is, mely az optimális vibrojel autokorrelációjának egy tetszőleges másik, pl. lineáris vibrojel autokorrelációját közelíti, legalábbis a centrális tartományban (ez egyébként az elméleti szeizmikus elemi hullám az előfeldolgozás után). Ez könnyen lehetővé teszi a kevert alkalmazást a terepen: az érzékeny épületek közelében az optimalizált álvéletlen vibrojelet, máshol a hagyományos vibrojelet alkalmazzuk, az előfeldolgozási módszerrel pedig semmit nem változtatunk. A dekonvolúciós eljárás még azt is megengedi, hogy a figyelmünket a vibrojel energiájának maximalizációjára fordítsuk, így javítva a jel/zaj viszonyt amellet, hogy a rezonanciahatást is csökkentjük. Terepi tesztk megmutatta, hogy az általunk próbált esetekben a PPV-értékek jelentősen csökkentek a lineáris vibrojelhez képest, következésképp a vibrátor által az adott ponton eltöltött idő is leszorítható, amivel a produktivitás fokozható, miközben a PPV határértékeket nem lépjük át, csökkentve az épületek veszélyeztetettségét.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetem fejezem ki Kambiz Iranpournak a vele való konzultációkért, melyekre az EU Marie Curie Host Fellowships (no. MTKD-CT-2006-042537) projekt keretében került sor. A terepi tesztkert pedig az Acoustic Geophysical Services cégnek tartozom köszönettel.

A tanulmány szerzője

Scholtz Péter

Hivatkozások

- Burger P., Baliguet P., Naudot J. C., 1992: New vibrator control concept offers industrial use of pseudo-random sweeps in populated areas. Presented at the 54th Annual Meeting, EAEG
- Cunningham A. B., 1979: Some alternative vibrator signals. *Geophysics* 44, 1901–1921
- Iranpour K., Eriksson S., Hoerlin C., 2009: Generating Sweep Sequences. United States Patent no. 20090052278
- Krohn C.E., Neelamani R., 2008: Simultaneous sourcing without compromise. Presented at the Vibroseis Workshop, EAGE
- Sallas J. J., Gibson J. B., Forest L., Winter O., Montgomery R., Nagarajappa P., 2008: Broadband vibroseis using simultaneous pseudo-random sweeps. 78th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts, pp. 100–104
- Saragiotis C., Scholtz P., Bagaini C., 2010: On the accuracy of the ground force estimated in vibroseis acquisition. *Geophysical Prospecting* 58, 69–80
- Strong S. R., 2003: Numerical modelling of pseudo-random seismic sources. Honours Thesis, University of Queensland

Primer porozitású kőzetek permeabilitásának meghatározása Stoneley-féle hullámterjedési idők alapján

SZABÓ N. P.[@], KALMÁR CS.

Miskolci Egyetem, Geofizikai Intézeti Tanszék, 3515 Miskolc-Egyetemváros
[@]E-mail: norbert.szabo.phd@gmail.com

Az akusztikus teljes hullámkép fúrólukban történő felvételét rutinszerűen alkalmazzák az olajipari gyakorlatban. A P- és S-hullámok hasznos információt szolgáltatnak a porozitásról, a rugalmassági tényezőkről és a nyíróhullám anizotrópia kialakulásán keresztül az in situ kőzetfeszültségi irányokról. A fúrólukban terjedő Stoneley-hullámok elkülönítésével lehetőség nyílik a tároló kőzetek áteresztőképességének meghatározására. A permeabilitást általában a Stoneley-féle intervallumidő-adatok inverziójával származtatjuk, azonban az utóbbi években az irodalomban megjelentek olyan statisztikus módszerek, melyek a Stoneley-hullám jellemzői és a permeabilitás empirikus kapcsolata meghatározásán keresztül egyszerűbb és gyorsabb megoldást kínálnak. E módszerek közös jellemzője, hogy a porozitás előzetes ismerete nélkül képesek a permeabilitás becslésére. Az irodalomban található esettanulmányok a permeabilitás logaritmusára és a Stoneley-hullám permeabilis formációban mérhető sebességsökkenése között lineáris kapcsolatot feltételeznek, mely gyakran durva közelítést ad. Jelen tanulmányban a lineáris regressziós modell javítására teszünk kísérletet, melynek keretében a Stoneley-hullám lassulása és a permeabilitás között pontosabb illeszkedést biztosító nemlineáris függvénykapcsolatot határozzunk meg. Az eljárást ismert permeabilitás modellen számított szintetikus szelvényadatok felhasználásával a kőzetfizikai paraméterek széles tartományán vizsgáljuk meg. Ezután az exponenciális modellt mezőbeli adatok feldolgozására használjuk fel, miközben a becsült permeabilitás szelvényt magadatokkal hasonlítjuk össze. A korrelációs és illeszkedési mérőszámok a szintetikus tesztelések és a terepi kiértékelés esetén azt mutatják, hogy a nemlineáris modell alkalmazása előnyös, mely elősegítheti a szénhidrogén-készletek pontosabb és megbízhatóbb meghatározását.

Szabó, N. P., Kalmár, Cs.: Permeability estimation in primary porosity rocks using Stoneley-wave transit times

Full waveform sonic logging is routinely applied in the oil industry practice. The P and S waves inform us about the porosity, elastic parameters and the orientation of in situ stresses based on the phenomenon of shear wave anisotropy. The separation of Stoneley waves propagating in the borehole enables to determine the permeability of hydrocarbon reservoirs. Permeability is generally estimated from the inversion processing of Stoneley interval transit-time data. Even so, other kinds of statistical methods have appeared in the literature, which offer quicker and simpler solution with revealing the empirical relationship between the characteristic data of Stoneley waves and permeability. These methods do not require the prior knowledge of porosity. Case studies assume a linear connection between the relative decrease in Stoneley-wave's velocity of porous formations and the natural logarithm of permeability, which usually gives only a rough estimate. In this study, we make efforts to improve the before-mentioned regression model by the determination of a more accurate nonlinear relationship between Stoneley slowness and permeability. The new algorithm is tested over the wide range of petrophysical parameters using an exactly known permeability model and synthetic well logs. Then the exponential model is applied to the processing of real well-logging data, where the estimated permeability log is compared to laboratory data measured on core samples. The quality checks of synthetic and field results show that the application of the nonlinear model is highly recommended, which may have significant impact on a more accurate and reliable estimation of hydrocarbon reserves.

Beérkezett: 2013. november 28.; *elfogadva:* 2013. december 23.

Bevezetés

Az akusztikus fúróluk-szelvényezés általánosan elterjedt porozitáskövető módszer a szénhidrogén-kutatásban. A refraktált P-hullám beérkezéséből a kőzetmátrix és a pórus-

teret telítő fluidumok akusztikus intervallumideje ismeretében meghatározható az elsődleges porozitás (Raymer és társai 1980). A sűrűség- és a neutronporozitás-szelvényvel együttes alkalmazásban repedezett kőzetek másodlagos porozitása is becsülhető (Ellis és Singer 2007). A teljes hullám-

kép nyitott lyukbeli alkalmazása – a porozitás meghatározásán túl – további lehetőségeket rejt magában. A nyíró és felületi hullámterjedési idők felhasználásával kimutathatók a kőzetben a természetes vagy mesterséges folyamatok által indukált repedések jelenléte és orientációja, a fűrőlyuk környezetében ható feszültségtér nagysága és anizotrópiája, valamint a kőzetek rugalmassági paraméterei és áteresztőképessége. A fenti jellemzők kulcsfontosságúak a hidraulikus rétegrepesztés tervezésében, a fluidumok beáramlási képének és a szénhidrogén-készlet meghatározásában, mellyel a kitermelési eljárás optimalizálható (Badri és társai 2000). Az akusztikus hullámok kialakulását és szénhidrogén-iparban történő alkalmazási lehetőségeit Haldorsen és társai (2006) foglalták össze.

A kőzetek áteresztőképességének (permeabilitás) direkt (fűrősbeli) meghatározása a nukleáris mágnesesrezonancia-(NMR) szelvényezéssel lehetséges, azonban ez a módszer igen költséges, ezért a hazai gyakorlatban még nem terjedt el (Coates és társai 1999). Az NMR-szelvény alkalmazása a jövőben ígéretes lehet, mivel az effektív porozitáson túl lehetőséget teremt a pórusméret-eloszlás és a pórussteret telítő fluidumok viszkozitásának a meghatározására. Ez utóbbi mennyiség kapcsolatban van a fluidummobilitással (permeabilitás/viszkozitás arány), mely a porózus-permeabilis formációkban terjedő akusztikus hullámok modellezésének egyik alapparamétere. A közvetett (in situ) permeabilitáscsökkentési módszerek a kőzetek porozitásának és kötött víztelítettségének meghatározásán alapulnak. A rendelkezésre álló adatfeldolgozási eljárásokat értékelve azt tapasztaljuk, hogy minden módszernek megvannak a gyengeségei, ugyanis a származtatott értékek gyakran ellentmondásban állnak a fűrőmagok alapján meghatározott permeabilitással, valamint az áteresztőképesség becslési bizonytalansága elérheti az egy (másfél) nagyságrendet. Ezért kiemelt jelentőséggel bírhat egy-egy új (független) módszer bevezetése, melynek a meglévő eljárásokkal való együttes alkalmazása javíthatja a permeabilitásbecslés pontosságát és megbízhatóságát.

A Stoneley-hullámok az iszaposzlop és a kőzetformáció határfelületén terjedő felületi hullámok, melyek sebessége a frekvencia függvényében kismértékben változik. A gerjesztésük monopól adóval is lehetséges, mely a hullámenergiát minden irányban azonos intenzitással bocsátja ki. Az érzékelés ún. 'array' típusú szondával történik, mely akár több monopól adót és egy vevőcsoportot tartalmaz. A hagyományos lyukkompensált eszközökhöz képest a monopól vevők kisebb távolságra helyezkednek el egymástól, amivel nagyobb vertikális felbontóképesség érhető el. Ugyanakkor a szonda kialakításának köszönhetően a nagyobb adó-vevő távolság miatt az egyes hullámösszetevők elkülönítése könnyebb, és a csatornák együttes feldolgozásával nagyobb jel/zaj viszony érhető el. A detektált Stoneley-spektrum alacsony frekvenciájú összetevője a legérzékenyebb az elsődleges porozitású tárolók permeabilitására.

A Stoneley-hullámok tárolóértékelésre történő felhasználására számos kísérlet irányult. A porózus közegben érvényes mozgásegyenletet Biot (1955) dolgozta ki, amellyel

a Stoneley-féle hullámjelenség kapcsolatba hozható a homogén izotróp közeg porozitásával és permeabilitásával, rugalmasan viselkedő kőzetmátrix és viszkozus pórusfolyadék esetén. A Stoneley-hullám csillapodásának és a formáció permeabilitásának kapcsolatát Rosenbaum (1974) jósolta meg elméleti úton. A diszperzív hullám alacsony frekvenciás határesetét White (1983), valamint Mathieu és Toksöz (1984) vizsgálták. Williams és társai (1984) kvantitatív összefüggést találtak a permeabilitás és a Stoneley-hullám csillapodása között. A Biot-elméleten alapuló egyszerűsített modelleket Schmitt és társai (1988), valamint Chang és társai (1988) fejlesztették ki, melyeket laboratóriumi mérések is megerősítettek (Winkler és társai 1989). Tang és társai (1994) a Biot-Rosenbaum-modell alapján kifejlesztette a Stoneley-féle hullámterjedési adatok inverziós technikáját, mely jelenleg is standard módszernek számít az akusztikus permeabilitás meghatározásában. Ennek keretében több frekvencián (0,2 és 0,8 kHz között) a Stoneley-féle lassúság- és csillapodásadatok együttes inverziójával becsülik meg a fluidummobilitást.

A bonyolult inverziós eljárásokon kívül léteznek olyan közelítő eljárások is, melyek nagyszámú terepi mérésre alapozott empirikus összefüggések alapján – mért és elméleti úton számított Stoneley-lassúságok arányából (Stoneley-index) – becsülik meg a permeabilitást. Buffin (1996) egy 'crossplot' technikán alapuló eljárást közölt, melyet egy ausztrál szénhidrogén-kutatófűrősből mért adatrendszeren alkalmazva jó egyezést talált a becsült és magadatokon mért permeabilitások között. Bala (2010) ugyanezt a statisztikus módszert sikeresen alkalmazta lengyelországi miocén gáztároló rétegek vizsgálatára. A módszer előnye, hogy nem igényli a porozitás előzetes számítását, azonban hátrányként említhető, hogy a két szerző által alkalmazott lineáris vagy szakaszosan lineáris közelítés nem túl szoros korrelációs kapcsolatot mutat a Stoneley-index és a permeabilitás között. Mivel a módszert eddig még csak terepi adatok feldolgozásából nyert tapasztalatok alapján vizsgálták, szükségesnek láttuk szintetikus modellek bevonásával is tesztelni azt. Ennek keretében ismert permeabilitásmodellből indulunk ki, majd a modellen számított szintetikus szelvényadatok feldolgozása révén megvizsgáljuk, hogy a becslés hogyan rekonstruálja az egzakt permeabilitásértékeket. A tanulmányban bemutatjuk, hogy a Stoneley-index és permeabilitás kapcsolatának korrelációs együtthatója javítható abban az esetben, ha a két változó kapcsolatát nemlineárisnak tételezzük fel. A statisztikus eljárást a releváns kőzetfizikai paraméterek széles tartományán vizsgáljuk meg homogén rétegekből álló és inhomogén szintetikus modellek alkalmazásával. A szintetikus vizsgálatok eredményeként adódó nemlineáris regressziós modellt felhasználva egy mezőbeli adatsor kiértékelését is bemutatjuk.

Stoneley-hullámok viselkedése porózus közegben

A fluidumok áramlását porózus-permeabilis kőzetekben Darcy törvénye írja le:

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} = -\frac{K}{\eta} \nabla p, \quad (1)$$

ahol K [m²] a permeabilitás, η [Pa·s] a viszkozitás, \mathbf{u} [m] a fluidum relatív elmozdulásának vektora és p [Pa] a pórusnyomás. Ha a kőzetmátrixot összenyomhatatlannak tekintjük, akkor a pórusokat kitöltő (ideális) folyadék térfogati alakváltozása kielégíti a Hooke-törvényt:

$$-\nabla \mathbf{u} = \frac{\Phi}{B_f} p, \quad (2)$$

ahol Φ [v/v] a porozitás és B_f [Pa] a pórusfolyadék összenyomhatósági tényezője (az alkalmazott nyomás és a térfogati alakváltozás hányadosa). Az \mathbf{u} mennyiség (1) és (2) egyenletekből történő kiküszöbölésével az alábbi diffúziós egyenletet kapjuk

$$\frac{\partial p}{\partial t} = C_0 \nabla^2 p, \quad (3)$$

ahol $C_0 = KB_f/\eta\Phi$ a diffúziós együttható. Rugalmasan viselkedő porózus közegben Biot (1962) vezette le a feszültség- és alakváltozás kapcsolatát, melynek alapján a (3) egyenletben szereplő diffúziós koefficiens számítása módosításra szorul:

$$C = \frac{C_0}{1 + \frac{B_f}{\Phi B} \left[(1 - \alpha)(\alpha - \Phi) + \frac{\alpha^2}{1 + (4\mu/3B)} \right]}, \quad (4)$$

ahol B a száraz kőzet (váz) összenyomhatósági tényezője és μ [Pa] a nyírési modulus. (A száraz, ill. fluidummal telített kőzet porozitását azonosnak feltételezzük.) Az α rugalmassági paramétert a Biot–Gassmann-egyenlet definiálja:

$$B_c = B + \alpha^2 M = B + \left(1 - \frac{B}{B_s}\right)^2 \left(\frac{\Phi}{B_f} + \frac{\alpha - \Phi}{B_s}\right)^{-1}, \quad (5)$$

ahol B_c a porózus (vízzel vagy szénhidrogénnel telített) kőzet összenyomhatósági tényezője és B_s ugyanaz a kőzet-szemcsék (mátrix) esetén.

A gyengén diszperzív Stoneley-hullám a teljes hullámkép leglassúbb és legnagyobb amplitúdójú összetevője, melynek vizsgálati frekvenciatartománya általában 0–10 kHz (a csúcshullám frekvencia 0,5 kHz körül helyezkedik el), mely alacsony frekvenciás határesetben csőhullám formájában terjed a fűrőlyukban. A csőhullám sebessége impermeábilis formációban ($v_{St}^{(imp)}$)

$$v_{St}^{(imp)} = \frac{v_m}{\sqrt{1 + \frac{B_m}{\mu}}}, \quad (6)$$

ahol v_m [m/s] az akusztikus hullám terjedési sebessége a fűrőlyukban, és B_m az iszap összenyomhatósági tényezője. Porózus-permeábilis kőzetben a csőhullámok elmozdítják a fluidumrészecskéket a kőzetmátrixhoz képest, ami a hullám energiájának egy részét felemészti. A jelenséget az akusztikus hullámok csillapodása és lassulása kíséri. Kisfrekvenciás esetben a hullámsebesség komplex mennyiséggé válik:

$v = [B^*/\rho_m]$ ahol B^* az iszap komplex összenyomhatósági tényezője és ρ_m annak sűrűsége. Nyomás hatására mind az a sugarú fűrőlyuk, mind pedig a pórusfolyadék radiális elmozdulást szenved. A (3) diffúziós egyenlet alapján az iszapnyomás harmonikus időfüggése mellett permeábilis formációban a csőhullám sebességét ($v_{St}^{(p)}$) az alábbi összefüggés adja meg (Norris 1989):

$$v_{St}^{(p)} = v_{St}^{(imp)} \left[1 - \Phi \frac{\mu}{\mu + B_m} \frac{B_m}{B_f} \sqrt{\frac{C_0}{C}} \sqrt{\frac{iC_0}{a^2 \omega}} \right], \quad (7)$$

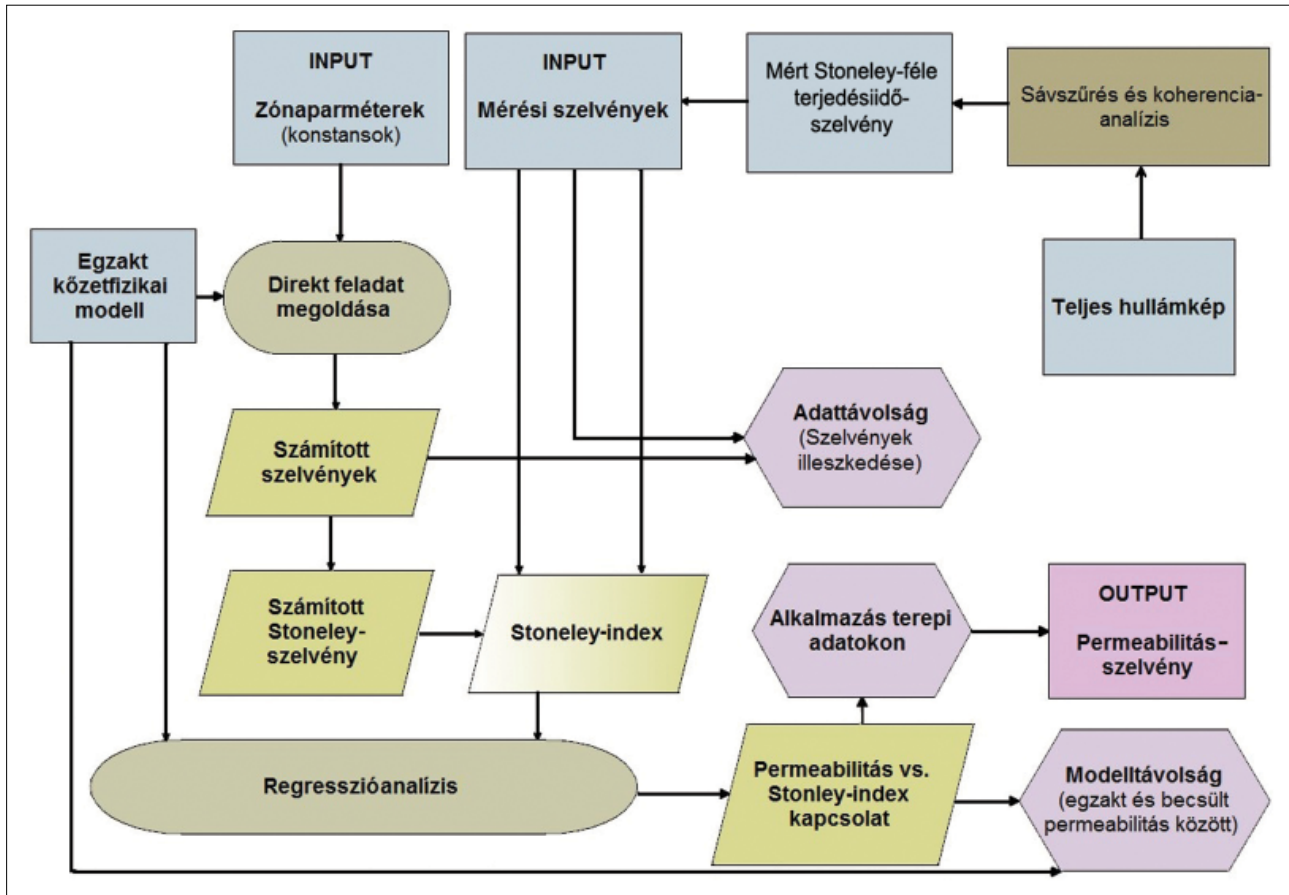
ahol ω [Hz] a nyomáshullám körfrekvenciája (i a képzetes egység). Mivel a diffúziós együttható permeabilitás- és porozitásfüggő mennyiség, így a (7) egyenlet szerint a terjedési sebesség permeábilis formációban $v_{St}^{(imp)}$ -ről $v_{St}^{(p)}$ -re csökken. Az egyenlet képzetes része a hullám csillapodását írja le, melynek mértéke a porozitással és a permeabilitással nő, azonban a fűrőlyuk átmérőjével csökken. A fenti elméleti összefüggést labormérések is igazolták. Winkler és társai (1989) homogén, nagy tisztaságú Berea homokkő, valamint mesterséges eljárással gyártott mintákon végeztek megfigyeléseket 0–100 kHz frekvenciatartományban. A Stoneley-hullám diszperziós tulajdonságait Brie és társai (2000) modellszámításokkal vizsgálták és megállapították, hogy növekvő fluidummobilitás mellett jelentős mértékben nő a fázissebesség és a csillapodás a frekvencia függvényében. Kimutatták, hogy a kis frekvenciák tartományában a permeabilitásváltozásra nagyobb mértékben a terjedési sebesség reagál, míg nagyfrekvenciás esetben arra a csillapodás a legérzékenyebb. Ennek alapján kijelölhető egy olyan optimális frekvencia, melynek környezetében mindkét mérés hatékonyan alkalmazható. A fenti elmélet képezi az alapját azoknak a módszereknek, melyek a Stoneley-féle intervallumidők alapján határozzák meg a permeabilitást.

Permeabilitás meghatározása nemlineáris modell alapján

Buffin (1996) egy keresztábrán ábrázolta az alacsony frekvencián mért Stoneley-féle intervallumidők ($\Delta t_{St}^{(m)}$) négyzetét és a mért kőzetsűrűsége ($\rho_b^{(m)}$) normált nyírólámlám-intervallumidők ($\Delta t_s^{(m)}$) négyzetét. Ezen a diagramon az impermeábilis formációk egy egyenes mentén helyezkednek el, melyet agyagvonalnak nevezünk. Az egyenes megadja a Stoneley-hullám lassúságának számított (elméleti) értékét ($\Delta t_{St}^{(sz)}$), mely a lyukátmérő és az egyéb környezeti hatásokat (fűrőlyuk, iszaplepeny) nem veszi figyelembe:

$$\Delta t_{St}^{(sz)} = \sqrt{\frac{\rho_{mf}}{\rho_b} \Delta t_s^2 + \Delta t_{mf}^2}, \quad (8)$$

ahol ρ_{mf} és Δt_{mf} az iszapfiltrátum térfogatsűrűsége és akusztikus intervallum ideje. A (8) egyenlet alapján az agyagvonalat definiáló egyenes meredeksége ρ_{mf} és ordinátatengely metszete Δt_{mf}^2 . Az agyagvonalhoz képest a nagyobb Stoneley-féle intervallumidők (lassúságok) irányában megjelenő mérési pontok a keresztábrán permeábilis for-



1. ábra | A permeabilitás meghatározásának statisztikus elvű algoritmus
 Figure 1 | Statistical algorithm for permeability prediction

mációt jeleznek. A terepi megfigyelések alapján megállapították, hogy primer porozitású formációk permeabilitása az agyagvonalától való eltérés nagyságával egyenesen arányos. A Stoneley-féle hullámsebesség csökkenésének mértékét az impermeabilis formációhoz képest a Stoneley-indexszel fejezzük ki, melyet a mért és számított lassúságok hányadosaként definiálunk:

$$I_{St} = \frac{\Delta t_{St}^{(m)}}{\Delta t_{St}^{(sz)}} \quad (9)$$

Az irodalomban található közelítő eljárások a permeabilitás és a Stoneley-index lineáris kapcsolatát feltételezik, ahol a regressziós együtthatók függenek a litológiától, porozitástól és a rétegtartalomtól. Mind a szerzők terepi eredményei, mind pedig saját modellszámításaink azt mutatják, hogy a fenti kapcsolat nemlineáris, mely különösen a kis permeabilitások tartományában szignifikáns.

Az 1. ábrán az általunk javasolt modellezési eljárás lépései láthatók, mellyel a Stoneley-index és a permeabilitás kapcsolatát határozhatjuk meg. A statisztikus eljárás bemenő adatait a mért fűrőlyukszelvények képezik: természetes gamma-intenzitás (GR [API]), gamma-gamma sűrűség (ρ_b [g/cm³]), nyíróhullám-intervallumidő (Δt_s [μs/m]) és Stoneley-féle intervallumidő (Δt_{St} [μs/m]). A szelvényadatok kapcsolatba hozhatók a közzefizikai modell paramétere-

ivel. E modellparaméterek egy része a mélységgel gyorsan változik, mások pedig egy-egy zónán belül konstansnak tekinthetők. Az előbbieket a tárolók kiértékelése során pont-ról-pontra ismernünk kell. A porozitást (Φ [v/v]), kisépért zóna víztelítettségét (S_{xo} [v/v]), agyagtartalmat (V_{sh} [v/v]), homoktartalmat (V_{sd} [v/v]) és a permeabilitást (K [mD]) a tárolóparaméterek körébe soroljuk, melyeket egyedileg vagy inverziós módszerrel határozhatjuk meg. Az utóbbi csoportot képező zónaparmétereket előzetes ismeretek (laboradatok, irodalom) alapján adhatjuk meg, melyek a következők: iszapfiltrátum longitudinális hullám lassúsága (Δt_{mf}), az iszapfiltrátum sűrűsége (ρ_{mf}), az agyag longitudinális hullámlassúsága (Δt_{sh}), az agyag sűrűsége (ρ_{sh}), a homok longitudinális hullámlassúsága (Δt_{sd}), a homok sűrűsége (ρ_{sd}), a szénhidrogén P-hullámlassúsága (Δt_{hc}), a szénhidrogén sűrűsége (ρ_{hc}), a homok (GR_{sd}) és az agyag természetes gamma-intenzitása (GR_{sh}). A szelvényadatok és a modellparaméterek kapcsolatát leíró függvényeket elméleti szonda-válaszfüggvényeknek nevezzük. A direkt feladat megoldása során az alábbi válaszgyenleteket használtuk a fűrőlyukszelvények számíthatására:

$$\rho_b^{(sz)} = \Phi [\rho_{mf} S_{xo} + (1 - S_{xo}) \rho_{hc}] + V_{sh} \rho_{sh} + V_{sd} \rho_{sd} \quad (10)$$

$$GR^{(sz)} = GR_{sd} + \frac{1}{\rho_b^{(sz)}} (V_{sh} GR_{sh} \rho_{sh} + V_{sd} GR_{sd} \rho_{sd}) \quad (11)$$

$$\Delta t_S^{(sz)} = \sqrt{3} \{ \Phi [\Delta t_{mf} S_{xo} + (1 - S_{xo}) \Delta t_{hc}] + V_{sh} \Delta t_{sh} + V_{sd} \Delta t_{sd} \}, \quad (12)$$

$$\Phi + V_{sh} + V_{sd} = 1. \quad (13)$$

Az elvi Stoneley-féle intervallumidőket (8) alapján számíthatjuk. A (13) az egységnyi közettérfogatra felírt anyagmérleg-egyenletet jelenti. A mért és számított Stoneley-féle intervallumidők alapján Stoneley-indexet képezhetünk, melyet regressziós eljárás keretében kapcsolatba hozhatunk más (független) forrásból származó permeabilitás értékekkel. Tapasztalataink alapján a regressziós függvény:

$$\ln(K) = a - b e^{-c I_{st}^{\kappa}}, \quad (14)$$

ahol a , b , c regressziós együtthatók, és κ alkalmasan skálázott kitevő. A regresszióval becsült permeabilitást ($K^{(st)}$) terepi mérések esetén összehasonlíthatjuk más módszerrel meghatározott permeabilitásadatokkal vagy szintetikus vizsgálatok esetén az egzakt permeabilitás- ($K^{(e)}$) értékekkel. Az eredmények illeszkedését a modelltávolsággal mérhetjük:

$$D_m = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (K_i^{(st)} - K_i^{(e)})^2} \cdot 100 [\%], \quad (15)$$

ahol N a mélységpontok száma. Hasonló mennyiséget definiálhatunk a mért és a meghatározott modellen számított adatok távolságának jellemzésére, melyet adattávolságnak nevezünk. A Stoneley-index és a permeabilitás kapcsolatának a szorosságát hagyományosan a Pearson-féle (lineáris) korrelációs együtthatóval (r) jellemezhetjük. Azonban a (14) modell megbízhatóságának a jellemzésére alkalmasabb a rangkorrelációs együttható, mely nemlineáris függvénykapcsolat esetén realisabb becslést ad, és kevésbé befolyásolja a kiugró adatok (Spearman 1904). E mennyiség számítására az alábbi közelítő formulát használtuk:

$$R = 1 - \frac{6 \sum_{n=1}^N \delta_n^2}{N(N^2 - 1)}, \quad (16)$$

ahol δ_n a két változó n -edik adatai rangjának a különbsége. A korrelációs együttható 1 körüli értéke a modell és az adatok szoros (nemlineáris) kapcsolatára utal.

Vizsgálatok szintetikus adatok felhasználásával

A szintetikus modellvizsgálatok során azt feltételezzük, hogy ismerjük a kőzetfizikai modell paramétereit (porozitás, víztelítettség, permeabilitás stb.). Ekkor a (8), ill. a (10)–(13) szonda-válasz egyenletek segítségével szintetikus fúrólukszelvényeket generálhatunk. A válasz egyenletekben szereplő zónaparaméterek értékeit az 1. táblázatban adtuk meg. Az adatokhoz különböző mértékű véletlen zajt keverve kvázi mért szelvényeket képezhetünk, melyeket feldolgozva megvizsgálhatjuk, hogy a statisztikus eljárás milyen pontosan rekonstruálja az egzakt modell paramétereit. Ez a kísérlet a vizsgált módszer teljesítményét értékeli, azaz jellemzi annak pontosságát, stabilitását, robusztusságát, és megmutatja a zajérzékenységet. A tesztelesek során a Stoneley-indexet egzakt permeabilitásértékekkel hasonlítjuk össze, melyeket az alábbi, általánosan elfogadott formula alapján vettük fel (Timur 1968):

$$K = 0,136 \frac{\Phi^{4,4}}{S_{w,irr}^2}, \quad (17)$$

ahol $S_{w,irr}$ [v/v] a kötött víztelítettség. A válasz egyenletekben szereplő homoktartalmat a (13) egyenletből (determinisztikusan) számítjuk. A szintetikus vizsgálatokat rétegenként homogén, majd inhomogén modellen is elvégezzük különböző hibájú szelvényadatok felhasználásával.

Vizsgálatok homogén rétegekből felépített modellen

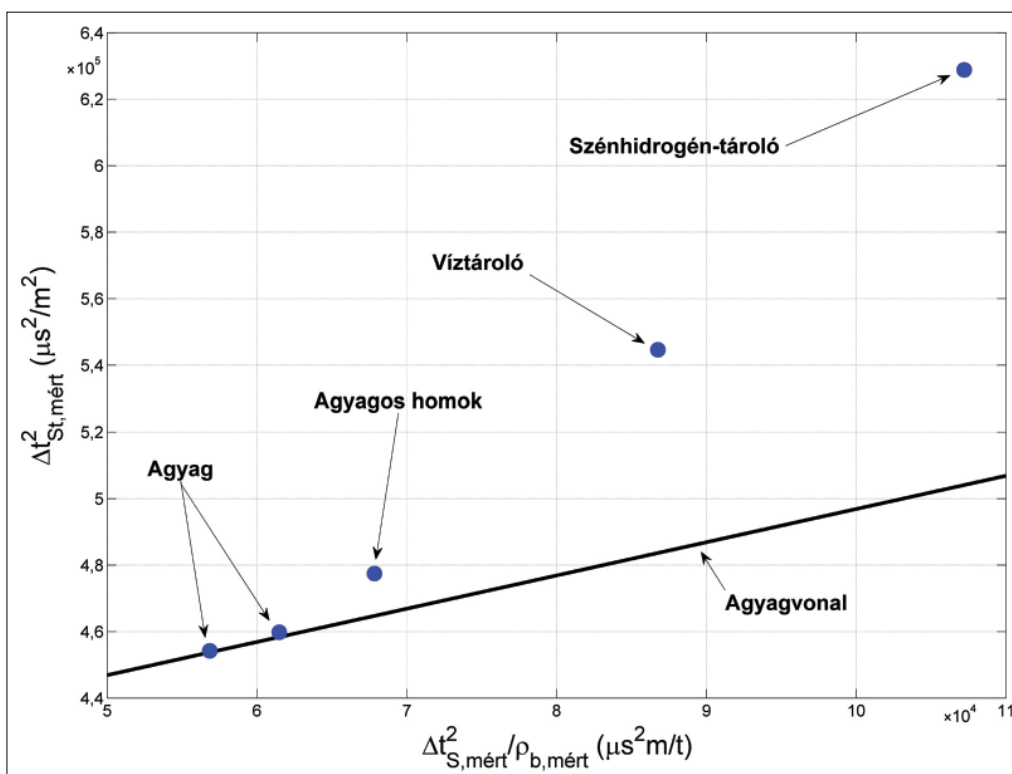
A szintetikus teszthez egy 5 réteges üledékes modellt választottunk, melynek paramétereit a 2. táblázatban találhatók. A rétegsor tetején agyagos homok, majd egy kisebb

1. táblázat | Az alkalmazott elméleti szonda válasz egyenletek zónaparaméterei

ρ_{mf} (g/cm ³)	ρ_{sd} (g/cm ³)	ρ_{sh} (g/cm ³)	ρ_{hc} (g/cm ³)	GR _{sd} (API)	GR _{sh} (API)	Δt_{mf} (μ s/m)	Δt_{sd} (μ s/m)	Δt_{sh} (μ s/m)	Δt_{hc} (μ s/m)
1,0	2,65	2,4	0,15	10	160	630	184	330	1050

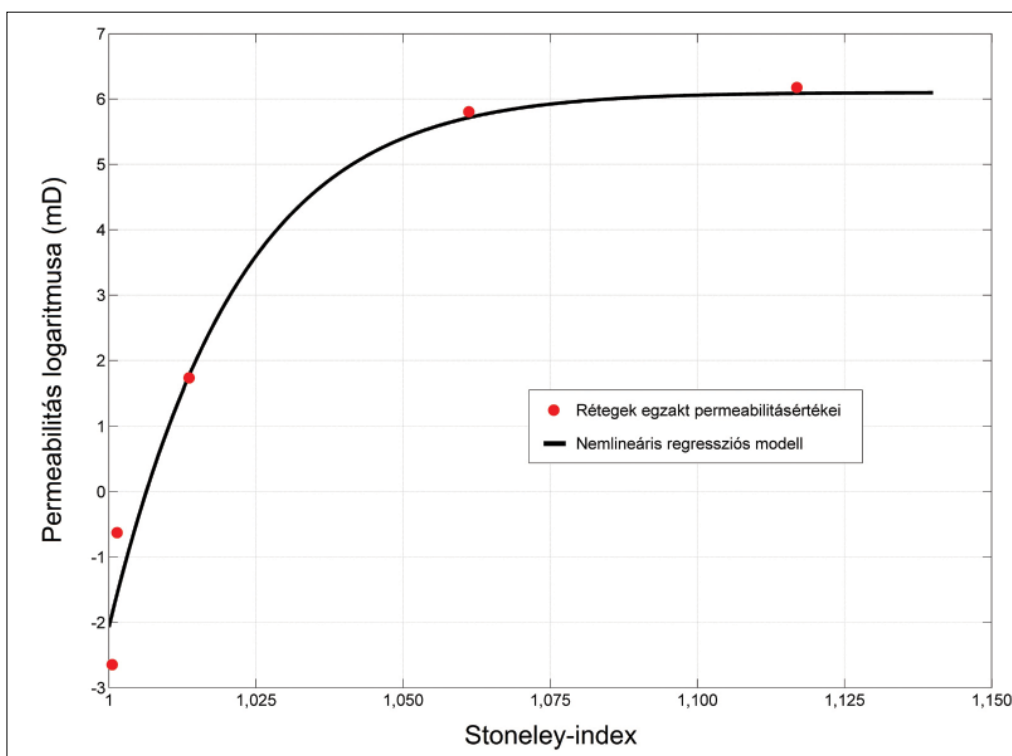
2. táblázat | A homogén rétegekből álló modell kőzetfizikai paraméterei

Mélység (m)	Φ (v/v)	S_{xo} (v/v)	V_{sh} (v/v)	$S_{w,irr}$ (v/v)	Δt_{st} (μ s/m)	K (mD)
0–4,9	0,15	1,0	0,5	0,6	691	5,65
5–9,9	0,23	1,0	0,3	0,2	738	333
10–12,9	0,07	1,0	0,8	1,0	674	0,07
13–19,9	0,25	0,7	0,1	0,2	793	481
20–24,9	0,10	1,0	0,7	0,8	678	0,53



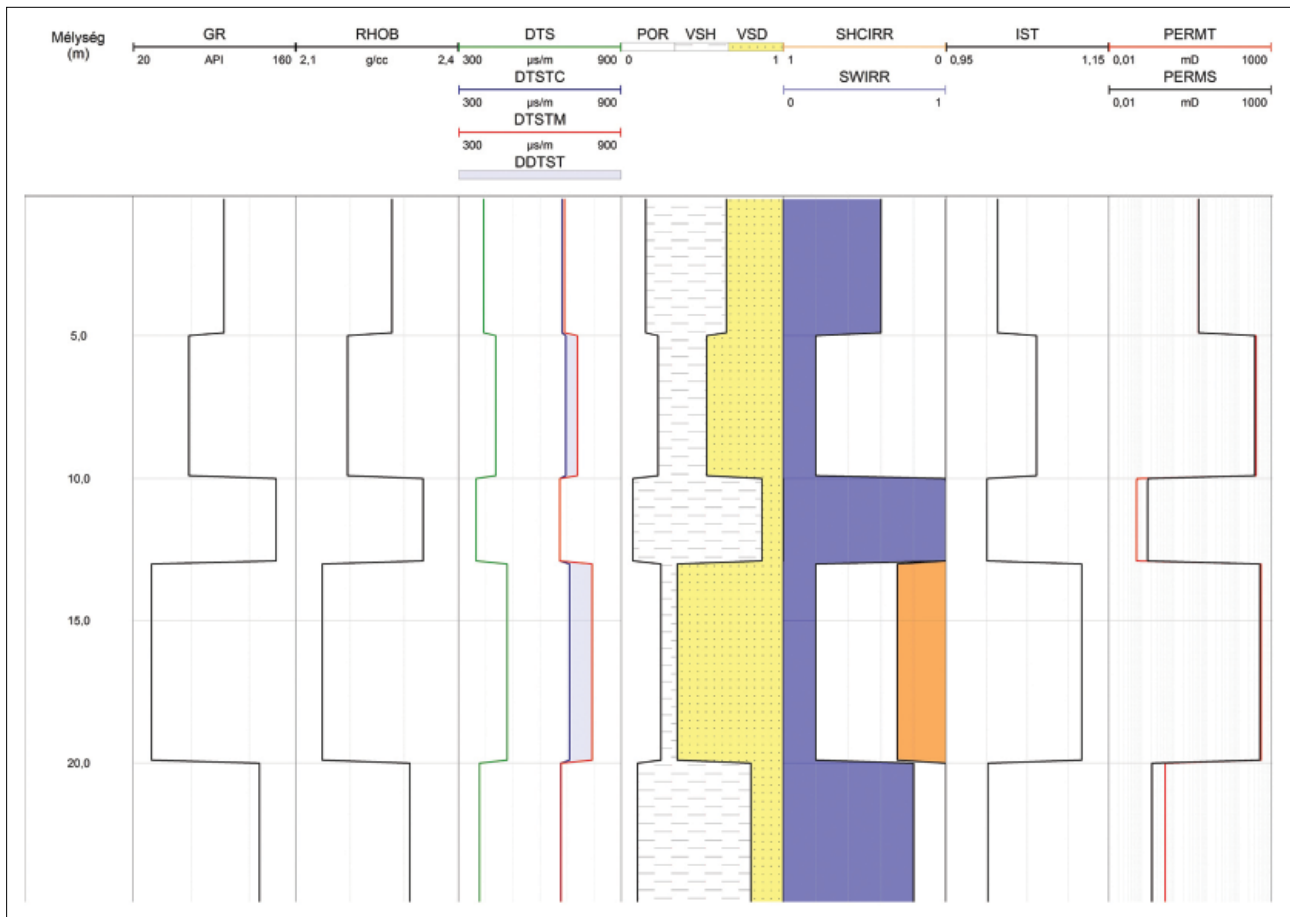
2. ábra | Mért Stoneley-hullám és nyíróhullám-lassúság keresztábrája rétegenként homogén közetfizikai modell- és hibátlan fúrólúkszelvény-adatok esetén

Figure 2 | The crossplot of measured Stoneley slowness and shear wave slowness in case of layer-wise homogeneous petrophysical model and noiseless well-logging data



3. ábra | A permeabilitás természetes alapú logaritmus és Stoneley-index regressziós kapcsolata rétegenként homogén közetfizikai modell esetén

Figure 3 | The regression relationship between the natural logarithm of permeability and Stoneley-index in case of layer-wise homogeneous petrophysical model



4. ábra | Szintetikus fúrólúkszselvények és a permeabilitásbecslés eredménye rétegenként homogén közzetfizikai modell esetén
Figure 4 | Synthetic well logs and the result of permeability estimation in case of layer-wise homogeneous petrophysical model

agyagtartalmú víztároló réteg található. A harmadik réteg agyag, mely elválasztja a fenti víztárolót az alatta fekvő gáz-tároló rétegtől. A rétegsort legalul agyag zárja. A permeabilitás értéktartománya a rétegsorban 5 nagyságrendet fog át. A kötött víztelítettség aránya a tárolókban a kis agyagtartalom miatt kicsi, mintegy 20%, míg az impermeábilis rétegekben 80–100%. A rétegekben számított Stoneley-lassúságokat a permeabilitással arányosan megnövelve kvázi mért Stoneley-féle intervallumidőket adtunk meg. A növekményt irodalmi értékek alapján választottuk meg (0–15%). Az adatokhoz ebben az esetben nem adtunk véletlen zajt.

A kvázi mért Stoneley- és nyíróhullám-lassúságok keresztmetszetdiagramja a 2. ábrán látható. Az agyagvonal az impermeábilis rétegeket mutatja, melynek egyenlete:

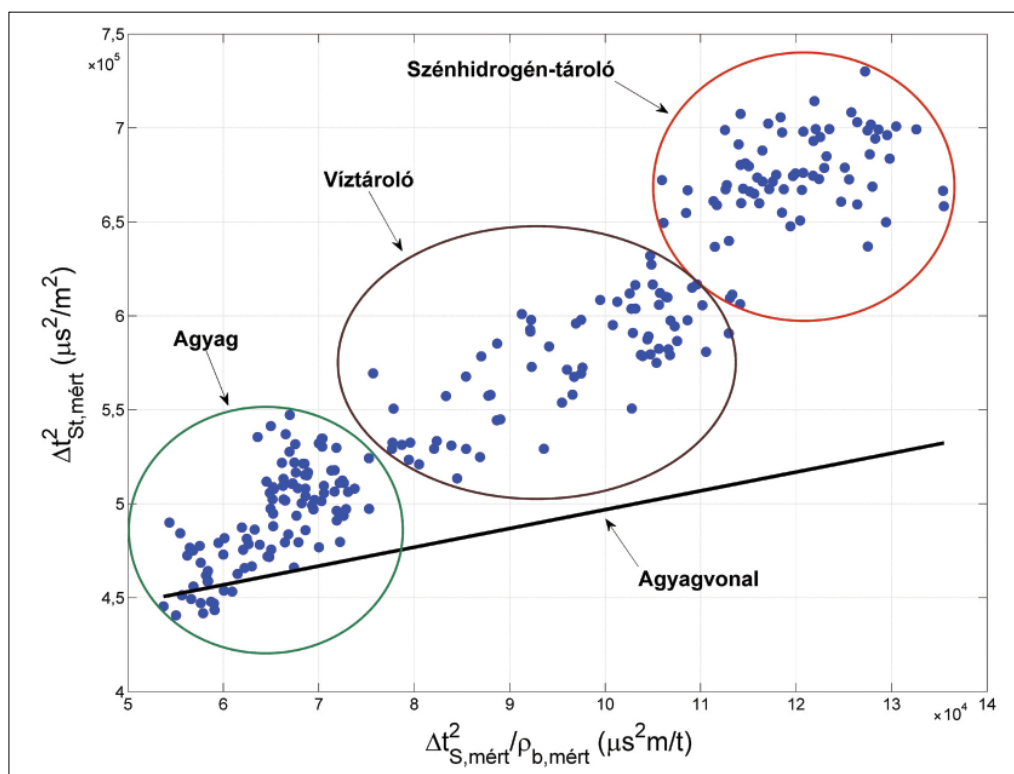
$$\Delta t_{st}^2 = (\Delta t_s^2 / \rho_b) + 396900. \tag{18}$$

A víz- és szénhidrogén-tárolók a növekvő intervallumidők tartományában jelennek meg. A Stoneley-index a permeabilitással zajmentes esetben a (14) regressziós összefüggésre vezet, ahol $a = 6$, $b = 7,28 \cdot 10^5$, $c = 11,4$ (3. ábra). Mivel a Stoneley-index a permeabilitáshoz képest nagyságrendekkel kisebb mértékben változik, ezért (14) egyenletben $\kappa = 4$ -et választottunk. A 4. ábra bemutatja az alkalmazott fúrólúkszselvényeket (GR – természetes gamma-intenzitás, RHOB – közetsűrűség, DTS – nyíróhullám-lassúság,

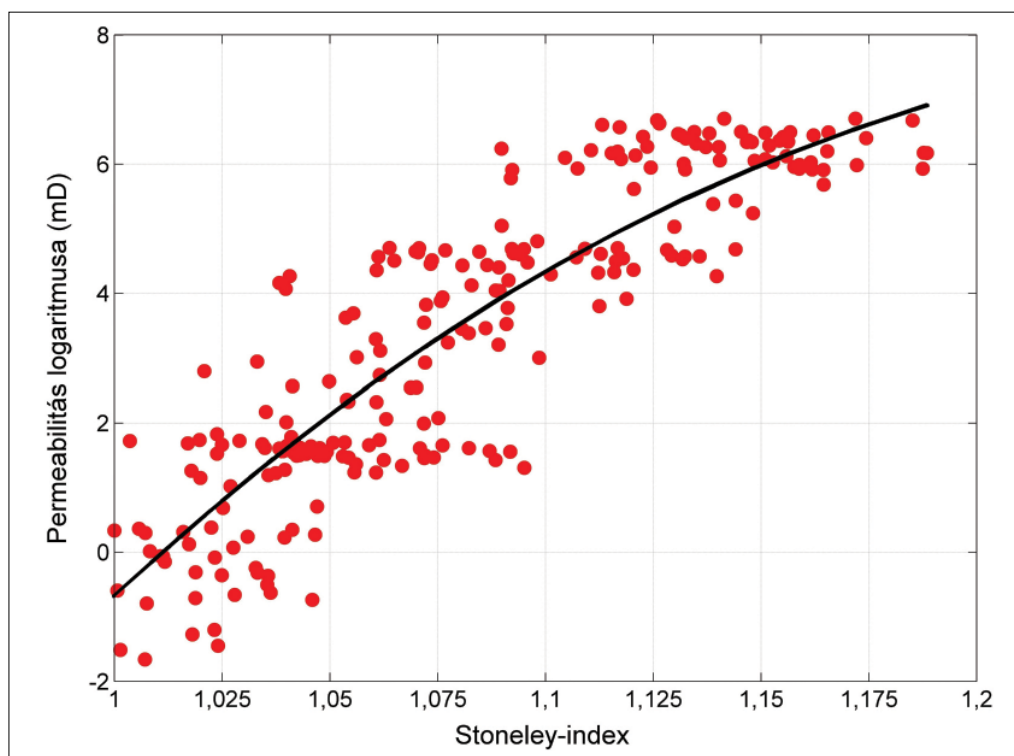
DTSTC – számított Stoneley-lassúság, DTSTM – mért Stoneley-lassúság, DDTST – mért és számított Stoneley-lassúságok különbsége), a kőzetösszetételt (POR – porozitás, VSH – agyagtartalom, VSD – homoktartalom), a rétegtartalmat (SHCIRR = 1 – SX0 – maradék szénhidrogén-telítettség, SWIRR – kötött víztelítettség) és a Stoneley-indexet (IST) a relatív mélység függvényében. Az utolsó 'track'-en a Timur permeabilitás (PERMT) és az általunk javasolt nemlineáris regressziós függvény által becsült permeabilitás (PERMS) szerepel. A permeabilitásértékek meggyőző egyezést mutatnak, a (15) formula alapján számított modelltérbeli távolság 3.2%. A permeabilitás erős korrelációban áll a Stoneley-indexszel, mivel a (16) szerint számított rang korrelációmértéke 0,99. Megállapíthatjuk, hogy az ismert permeabilitásértékeket a regressziós modell jól közelíti.

Vizsgálatok inhomogén modellen

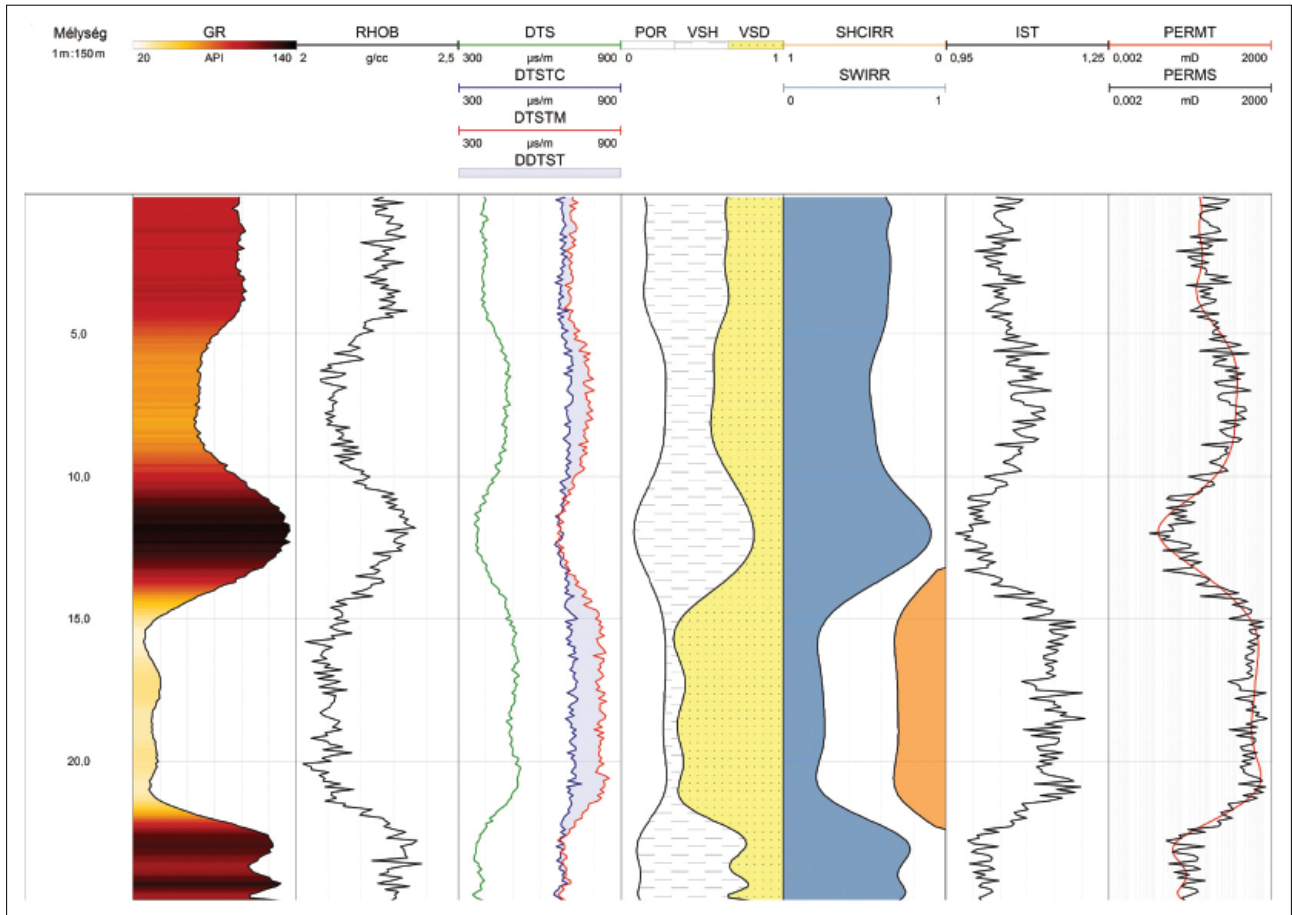
Valódi formációk esetén a közzetfizikai paraméterek a rétegen belül is változnak, ezért a közzetfizikai paraméterek mélységfüggését 18–22-ed fokú polinommal közelítettük. A direkt feladat megoldásával szintetikus szelvényadatokat generáltunk, melyekhez különböző mértékű Gauss-eloszlásból származó zajt adtunk. A 2%-os zajszinthez tartozó



5. ábra Mért Stoneley-hullám és nyíróhullám-lassúság keresztábrája inhomogén közt fizikai modell esetén
Figure 5 The crossplot of measured Stoneley slowness and shear wave slowness in case of inhomogeneous petrophysical model



6. ábra A permeabilitás természetes alapú logaritmus és Stoneley-index regressziós kapcsolata inhomogén közt fizikai modell esetén
Figure 6 The regression relationship between the natural logarithm of permeability and Stoneley-index in case of inhomogeneous petrophysical model



7. ábra Szintetikus fúrólúkszervények és a permeabilitásbecslés eredménye inhomogén kőzetfizikai modell esetén
Figure 7 Synthetic well logs and the result of permeability estimation in case of inhomogeneous petrophysical model

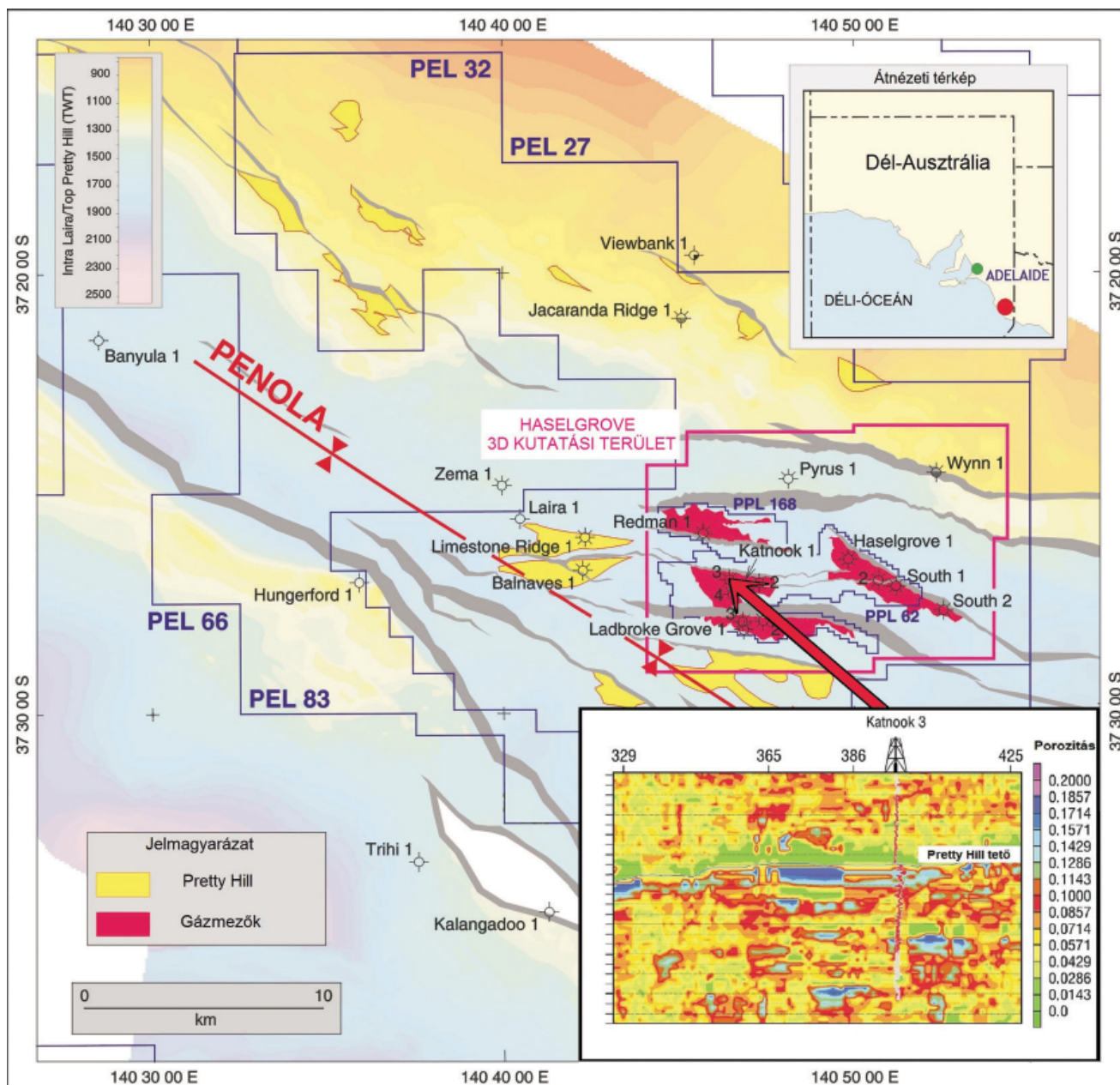
esetben a kvázi mért Stoneley- és nyíróhullám-lassúság kapcsolatát az 5. ábrán szemléltetjük. Látható, hogy növekvő permeabilitás esetén a pontok egyre inkább eltávolodnak az agyagvonalától. (Az agyagvonal egyenlete megegyezik a homogén esettel, mivel a zónaparaméterek értékét nem változtattuk.) Míg homogén esetben egy-egy pont képvisel egy réteget, addig inhomogén esetben egy pont egy mélységpontnak felel meg a keresztmetszeten. Utóbbi esetben a zaj jelenléte és az inhomogenitás miatt a pontok jobban szóródnak. A (14) modelleget inhomogén esetben is érvényesnek bizonyult (6. ábra), ahol $a = 8,78$, $b = 48,22$, $c = 1,63$. A 7. ábrán a permeabilitásbecslés eredményét láthatjuk. Az adatokat terhelő zaj mértékével arányos hiba mellett tudjuk a permeabilitásslervényt előállítani. A 2%-os

zaj jelenléte esetén az egzakt és a becsült permeabilitásslervények távolsága 6,9%-nak adódott, azonban a nemlineáris kapcsolat erősségét mérő rangkorrelációs együttható (0,98) továbbra is szoros kapcsolatot jelez.

Látható, hogy inhomogén kőzetfizikai modell mellett már kismértékű hiba is jelentős becslési hibát okoz. Ezért a módszer zajérzékenységét további vizsgálatokkal tanulmányoztuk. Az inhomogén modellen számított adatokat különböző mértékű (1–5%) Gauss-eloszlásból származó zajjal terheltük. A zajszint változtatása mellett három minősítő paraméter (modell-távolság, rangkorreláció, lineáris korreláció) alakulását figyeltük. A 3. táblázatban a futtatási eredmények láthatók, mely tartalmazza a (14) formulára vonatkozó regressziós együtthatók értékét. A rangkorrelá-

3. táblázat Regressziós együtthatók különböző Gauss-zajjal terhelt szervényadatok és inhomogén modell esetén

Zaj (%)	D_m (%)	R	r	a	b	c
1	3,67	0,99	0,97	9,08	61,51	1,79
2	6,86	0,98	0,90	8,77	48,08	1,63
3	9,83	0,98	0,78	9,17	25,28	1,08
4	11,86	0,98	0,66	7,85	17,15	1,00
5	12,09	0,96	0,65	7,90	16,00	0,94



8. ábra A dél- ausztrál szénhidrogén-mező földrajzi elhelyezkedése és a Katnook-3 fúrás környezetének szeizmikus mérésből származtatott porozitás térképe (Boult és Donley 2001)

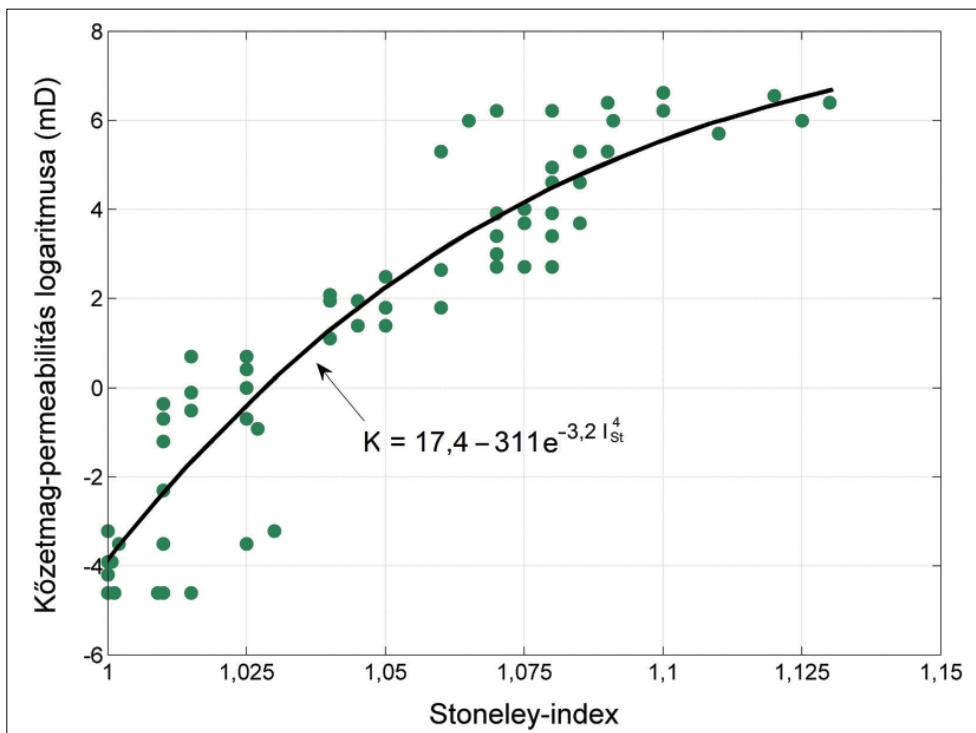
Figure 8 The location of the South Australian hydrocarbon field and the porosity map around Katnook-3 predicted from seismic surveys (Boult and Donley, 2001)

ciós együttható a legnagyobb mértékű zaj mellett is erős kapcsolatot mutat, azonban a lineáris korreláció mértéke rohamosan csökken. A modelltávolság a kezdeti érték 4-szerese 5% zaj esetén. Az együtthatók nagyságrendje és előjele nem változik. Megállapítható, hogy az exponenciális modell zajos adatok esetén is érvényes, azonban a becslés megbízhatóságát a zaj jelentősen befolyásolhatja. Ezt a jelenséget a lineáris közelítésnél is megfigyelhetjük. Emiatt tettünk kísérletet a módszer javítására a nemlineáris modell bevezetésével. A zajérzékenység általában elmondható a többi szelvényezési módszerről is, mely a permeabilitás becslést jelentősen befolyásolja.

A módszer terepi alkalmazása

A szintetikus modellezés eredményeként előállt Stoneley-index vs. permeabilitás összefüggést terepi adatokon is alkalmazhatjuk. Ekkor a mérési szelvények és a becsült közetfizikai paraméterek ismeretében elvégezhetjük a permeabilitás meghatározását (1. ábra). Ebből a célból a Buffin (1996) cikkében szereplő adatsort használtuk fel, mely lehetővé tette a becsült permeabilitásszelvény validálását.

A vizsgált fúrást (Katnook-3) egy dél- ausztrál szénhidrogén-mezőn mélyítették (8. ábra). A kutatási területet magá-



9. ábra Pretty Hill Formáció (Otway-medence, Ausztrália). A magokon mért permeabilitásértékek természetes alapú logaritmusa és a Stoneley-index regressziós kapcsolata a Katnook-3 fúrásban
Figure 9 The regression relationship between the core permeability and Stoneley-index in Katnook-3

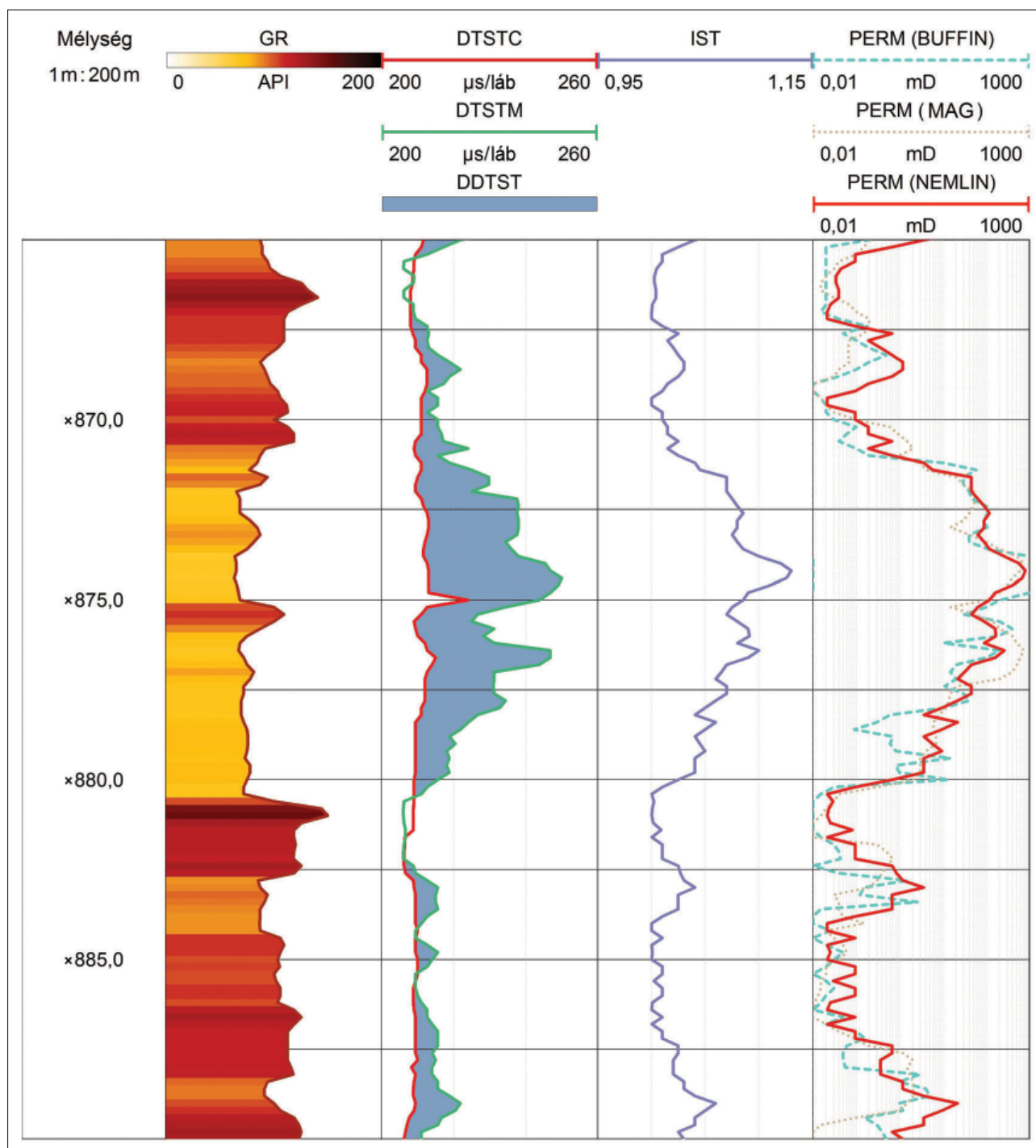
ban foglaló Otway-medence az Antarktisz és az indo-ausztráliai-lemez találkozásának mentén jött létre (riftesedés), melynek kiterjedése Ny–ÉNy irányban mintegy 500 km. A dél-ausztrál kontinens pereme mentén található terület jura–kréta korú medencék sorozatát tartalmazza, amelyek harmadidőszaki takaróval fedettek. Az Otway-medencében számos szénhidrogén-tároló szerkezet található, amelyek általában nagy porozitással és permeabilitással rendelkeznek. Az alsó kréta korú Pretty Hill tárolót gyakori fáciesváltozások jellemzik, mely finom–durva szemű, homokkőből és egyéb ásványi komponensekből áll. A főbb termelő gáztároló az Otway-medencében a Pretty Hill Formáció, amelynek a porozitása Katnook területén meghaladja a 25%-ot, permeabilitása az 1000 mD-t, és a tesztek alapján 451 000 m³ gázt ad naponta. A tároló permeabilitása nem csökken számottevően a mélységgel, bár általában csak a Pretty Hill Formáció felső része alkalmas a termelésre.

Az eljárásban felhasználtuk a GR-szelvényt, mellyel az agyagtartalmat számítottuk ki. Az effektív porozitás a sűrűségi-szelvény alapján becsülhető, ami a permeabilitás külső forrásból történő előállításához szükséges. Az akusztikus hullámkép összetevői szelvénytípusú rendelkezésre álltak (DTS, DTSTC és DTSTM). Ebből Stoneley-indexet (IST) számoltunk. A regressziós függvény meghatározása érdekében a Stoneley-indexet magmintákon mért permeabilitásértékekkel hasonlítottuk össze (9. ábra). Ennek eredményeként a (14) regressziós függvény paraméterei: $a = 17,4$, $b = 311$, $c = 3,2$. A rangkorreláció értéke 0,98, ami szoros korrelációt mutat a Stoneley-index és a magpermeabilitás kö-

zött (lineáris korreláció értéke 0,78). Az alkalmazott fűrők-lyuk- és a becsült permeabilitásszelvények a 10. ábrán láthatók, ahol a PERM (MAG) jelöli a magpermeabilitást, PERM (BUFFIN) a Buffin-féle (lineáris) modell által előállított permeabilitást és PERM (NEMLIN) a nemlineáris közelítéssel adódó permeabilitást. A magadatok elég sűrűn álltak rendelkezésre (olykor 0,2 m-enként). Ezekben a pontokban a nemlineáris módszerrel becsült és a laboratóriumban mért permeabilitásértékek modell-távolsága 7%-nak adódott. A lineáris eredmény (Buffin 1996) és a magon mért értékek modell-távolsága 10,1%. A nemlineáris közelítés ~30%-os relatív javulást hozott a magadatokkal való összehasonlítás során. A rosszabb illeszkedést bizonyos szakaszokon a lyukátmérő hirtelen megváltozása is okozhatja, amit a modell nem vesz figyelembe. A terepi és az inhomogén szintetikus esetet összehasonlítva látható, hogy az előbbinél kisebb mértékű az adatok szórása a regressziós modell körül. Azonos korrelációs együtthatók mellett a terepi eredmény „szelídebb”, mint a szintetikus eset. A szintetikus vizsgálatok tehát reális eredményt tükröznek, melynek eredményei mezőbeli körülmények között is jól alkalmazhatók.

Összefoglalás

A tanulmányban a nukleáris és akusztikus szelvényekből történő permeabilitásbecslés lehetőségét mutattuk be. Mind a szintetikus modellvizsgálatok, mind pedig a terepi alkalmazás azt bizonyítja, hogy a Stoneley-hullámbeérkezések



10. ábra Mért fűrőlyukszelvények és a permeabilitásbecslés eredménye a Katnook-3 fűrásban
Figure 10 Measured well logs and the result of permeability estimation in Katnook-3

alapján a permeabilitás statisztikus (közelítő) eljárással megfelelően származtatható. A módszer előnye a drága magmérésekkel szemben, hogy gyors, direkt eljárásról alapul és folytonos in situ információt szolgáltat a szelvényezett szakasz mentén. Az eljárás vertikális felbontóképességének a szondahossz szab határt, amely az akusztikus eszköznél általában 2 láb. A módszer az irodalomban megtalálható hasonló statisztikus eljárás továbbfejlesztése, mely a Stoneley-index és permeabilitás kapcsolatát nemlineárisnak

feltételezi. Ez a hagyományos lineáris közelítéssel szemben nagyobb korrelációs együtthatót eredményez. E szoros kapcsolatot a terepi eredmények is alátámasztják. A nemlinearitás különösen igaz a kis permeabilitások tartományában. A módszerrel ezért a gyenge átteresztőképességű tárolók kiértékelése során is pontosabb becslést valósíthatunk meg.

A javasolt módszer hátrányaként annak zajérzékenysége említhető, ezért lényeges a szelvények megfelelő előkészí-

tése és az adatfeldolgozás (pl. Stoneley-féle intervallumidők meghatározása a teljes hullámképből, szelvények környezeti korrekciója). A zajérzékenység javítására robusztus és rezisztens regressziós módszereket ajánlunk, melyek az adatok sűrűségeloszlásától függetlenül, valamint kiugró adatok jelenlétében is reális becslést adnak. A probléma megoldására hatékony eszköz lehet a Steiner-féle iteratív leggyakoribbérték-módszer (Steiner 1997). Ezen túl a bemutatott eljárás alapját képezheti a permeabilitás inverz modellezéssel történő előállításának. A nemlineáris regressziós összefüggés elméleti szonda-válaszfüggvényként fogható fel, mely kapcsolatot teremt a permeabilitás és a permeabilis rétegben mért Stoneley-lassúság között. Abban az esetben, amikor az a , b , c együtthatók ismertek, akkor az egyenlettel a Stoneley-féle lassúságadatok számíthatók a permeabilis rétegben. Az iteratív inverziós eljárás során a permeabilitást addig változtatjuk, míg a mért és számított Stoneley-görbék illeszkedése minimális lesz. Az ekkor előálló permeabilitásszelvényt tekinthetjük az inverz feladat megoldásának. E módszer kipróbálása előtt a nemlineáris válasz egyenlet érvényességét még több mérési területen igazolni kell, valamint meg kell vizsgálni a modellegyenlet permeabilitásérzékenységét, ami igazolhatja, hogy a permeabilitás inverziós eljárásán belül meghatározható, valamint rávilághat az esetleges többértelműség problémájára.

Köszönetnyilvánítás

Az első szerző (SzNP) mint a PD109408 sz. Ifjúsági OTKA témavezetője köszönetet mond az Országos Tudományos Kutatási Alap támogatásáért, egyszersmind köszönetét fejezi ki a Magyar Tudományos Akadémiának a Bolyai János Kutatási Ösztöndíjjal való támogatásáért. A szerzők köszönetet mondanak dr. Vass Péternek hasznos javaslataiért, valamint dr. Peter Boultnak (GINKGO ENP GNG) az ausztrál adatok közlésének engedélyéért.

A tanulmány szerzői

Szabó Norbert Péter, Kalmár Csilla

Hivatkozások

Badri M., Sousa S., Klimentos T., 2000: Shear anisotropy applications in production optimization, Western Desert, Egypt. SEG Annual Meeting, Paper 2000-1695, pp. 1–4
 Bala M. J., 2010: Can we determine permeability with the Stoneley wave slowness from acoustic full waveform. 72nd EAGE Conference and Exhibition, P532, pp. 1–5
 Biot M. A., 1955: Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid. I. Low-frequency range. *J. Acoust. Soc. Am.* 28(2), 168–178

Biot M. A., 1962: Mechanics of deformation and acoustic propagation in porous media. *J. Appl. Phys.* 33, 1482–1498
 Boulton P. J., Donley J., 2001: Volumetric calculations using 3D seismic calibrated against porosity logs – Pretty Hill formation reservoirs, Onshore Otway Basin. PESA Eastern Australasian Basins Symposium, pp. 425–433
 Brie A., Endo T., Johnson D. L., Pampuri F., 2000: Quantitative formation permeability evaluation from Stoneley waves. *SPE Reservoir Eval. and Eng.* 3(2), 109–117
 Buffin A., 1996: Permeability from waveform sonic data in the Otway Basin. SPWLA 37th Annual Logging Symposium, Paper 1996-GG, pp. 1–11
 Chang S. K., Liu H. L., Johnson D. L., 1988: Low-frequency tube wave in permeable rocks. *Geophysics* 53, 519–527
 Coates R., Xiao L., Prammer M. G., 1999: NMR logging principles and applications. Halliburton, Houston
 Ellis D. V., Singer J. M., 2007: Well logging for earth scientists, 2nd Edition. Springer-Verlag, pp. 533–562
 Haldorsen J. B. U., Johnson D. L., Plona T., Sinha B., Valero H. P., Winkler K., 2006: Borehole acoustic waves. *Oilfield Review*, Spring 2006, 34–43
 Mathieu F., Toksöz M.N. 1984: Determination of fracture permeability using acoustic logs. SAID-SPWLA 9th Europ. Intern. Form. Eval. Trans., Paper 47
 Norris A. N., 1989: Stoneley-wave attenuation and dispersion in permeable formations. *Geophysics* 54, 330–341
 Raymer L. L., Hunt E. R., Gardner J. S., 1980: An improved sonic transit time-to-porosity transform. SPWLA 21st Annual Logging Symposium, Paper 1980-P, pp. 1–13
 Rosenbaum J. H., 1974: Synthetic microseismograms: Logging in porous formation. *Geophysics* 39, 14–32
 Schmitt D. P., Bouchon M., Bonnet G., 1988: Full-waveform synthetic acoustic logs in radially semiinfinite saturated porous media. *Geophysics* 53, 807–823
 Spearman C., 1904: The proof and measurement of association between two things. *The American Journal of Psychology* 15, 72–101
 Steiner F. (ed.), 1997: Optimum methods in statistics. Academic Press, Budapest.
 Tang X. M., Cheng C. H., 1994: Fast inversion of formation permeability from Stoneley wave logs using a simplified Biot–Rosenbaum model. Earth Resources Laboratory Industry Consortia Annual Report 1994-08, pp. 209–226
 Timur A., 1968: An investigation of permeability, porosity, and residual water saturation relationships. SPWLA 9th Annual Logging Symposium, Paper 1968-J, pp. 1–18
 White J. E., 1983: Underground sound: Application of seismic waves. Elsevier, pp. 239–245
 Williams D. M., Zemanek J., Arigona F. A., Dennis C. L., Caldwell R. L., 1984: The long spaced acoustic logging tool. SPWLA 25th Annual Logging Symposium, Paper 1984-T, pp. 1–16
 Winkler K. W., Liu H. L., Johnson D. L., 1989: Permeability and borehole Stoneley waves: Comparison between experiment and theory. *Geophysics* 54, 66–75

A Hilbert-transzformáció alkalmazása a kiskunhalasi kommunális hulladéktároló különböző méretű és vastartalmú tárgyainak kiterjedés szerinti szeparálásában

PUSZTA S.¹, KIS K.²

¹Fractal Bt., H-1155 Budapest, Óda u. 37. E-mail: pusztas@fractal.hu

²ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék, H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C
E-mail: kisk@caesar.elte.hu

A Hilbert-transzformáció általános eljárás, jól használható a lokális mágneses mérések értelmezésében. Jelen cikkben ismertetett mágneses mérések célja a kiskunhalasi lokális hulladéktároló rekultivációs munkálatainak elősegítése. A feladat azoknak a területeknek az elkülönítése, ahol különböző méretű vastartalmú tárgyakat helyeztek el. A Hilbert-transzformációból meghatározott analitikus függvény burkolójának vizsgálatából meghatározható a különböző méretű vastárgyak elhelyezkedése.

Pusztas, S., Kis, K.: Application of the Hilbert transform for the separation of different size and iron containing objects in the Kiskunhalas local waste yard

The Hilbert transform is a general procedure, it can be an effective tool in the interpretation of local magnetic measurements. Magnetic measurements presented in this paper were done with the aim of recultivation of the Kiskunhalas local waste yard. The task was to separate the different places where different amount of iron containing objects had been deposited. From the Hilbert transform of the measured data, an envelop of an analytical function was obtained. After a proper low-pass filtering, the envelope function indicated the locations, where higher amount of iron had been deposited.

Beérkezett: 2013. december 12.; *elfogadva:* 2014. január 2.

1. Bevezetés

A lokális geofizikai mérések jól alkalmazható környezet-szennyezési hatások felmérésében. A feladat megoldására alkalmazott módszerek: lokális mágneses mérések (Reynolds 1997), geoelektromos eljárások (Reynolds 1997, Turai et al. 2010), földradar alkalmazása (Reynolds 1997).

A kiskunhalasi bezárt kommunális hulladéktároló szabálytalan kiterjedésű, befoglaló mérete mintegy 400 m × 600 m, vastagsága 3,5 m – 4,5 m. Felszíne egyenetlen, talajjal fedett, rajta fű, bokrok, helyenként fák nőnek, ezek az egyenes bejárást akadályozzák. A lokális mágneses mérések eredményeit rekultivációs munkákhoz kívánták felhasználni, különösen az a terület került az érdeklődés előterébe, amelyen a háztartásokból kikerülő szokásos méretű hulladék méreteit meghaladó vastartalmú tárgyak he-

lyezkednek el. A feladat megoldására a lokális mágneses mérések adatainak Hilbert-transzformálása adott lehetőséget.

2. Hilbert-transzformáció

A feladat megoldása előtt célszerű a Hilbert-transzformáció bevezetése és a következő fejezetben néhány modellszámítás bemutatása. A Hilbert-transzformációt Hardy angol matematikus vezette be (Hardy 1932). Az elnevezést D. Hilbert tiszteletére nevezte Hilbert-transzformációnak. A Hilbert-transzformáció általánosan használt eljárás, amely jól alkalmazható különböző tudományterületeken, például a híradástechnikában (De Freitas 2005, Gold et al. 1972, Öberg 2001), a szeizmikában (Zsellér 1982).

Egy $g(t)$ függvény Hilbert-transzformáltjának definíciója:

$$g_{\text{Hi}}(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{g(u)}{u-t} du, \quad (1)$$

amely kifejezhető konvolúciós formában is:

$$g_{\text{Hi}}(t) = \left(-\frac{1}{\pi t}\right) * g(t), \quad (2)$$

ahol $*$ a konvolúció műveleti jele. A Hilbert-transzformáció alapvető tulajdonsága, hogy nem cseréli fel a tér- és frekvenciatartományokat, továbbá a páros függvény transzformáltja páratlan lesz, míg a páratlan függvény páros tulajdonságúvá válik. A Hilbert-transzformáció nem változtatja meg a függvény Fourier-transzformáltjának amplitúdó-spektrumát, ugyanakkor a fázisspektruma -90° fázistolást szenved a pozitív frekvenciák esetében, míg 90° fázistolást mutat a negatív frekvenciák tartományában, a harmonikus jelek esetében. Ha a Hilbert-transzformált eredményt ismét Hilbert-transzformációnak vetjük alá, akkor az eredmény az eredeti függvény mínusz egyszeresét adja.

Számítástechnikailag egyszerűbb a Hilbert-transzformált meghatározása frekvencia-tartományban. Legyen $T(f)$ az adatsor Fourier-transzformáltja, ekkor a Hilbert-transzformált Fourier-transzformáltját a

$$T_{\text{Hi}}(f) = j \operatorname{sgn} T(f) \quad (3)$$

összefüggés szolgáltatja, ahol j az imaginárius egység, sgn az előjelfüggvényt jelenti. A (3) egyenletnek az inverz Fourier-transzformáltja adja meg a keresett Hilbert-transzformáltat.

A Hilbert-transzformáció alkalmazását a mágneses anomáliák értelmezésében Nabighian (1972, 1974, 1984) vezette be. A Hilbert-transzformáció alkalmazása megtalálható Bracewell (1978), Meskó (1983, 1984), továbbá Kis (2009) munkáiban.

Használjuk fel az analitikus jel fogalmát (Bracewell 1978, Li 2006)! Az analitikus jel definíciója:

$$g_{\text{an}} = A(t) e^{j\phi(t)}, \quad (4)$$

ahol $A(t)$ a pillanatnyi amplitúdó, $\phi(t)$ a pillanatnyi fázis.

Vezessük be az analitikus jelet a

$$g_{\text{an}}(t) = g(t) - j g_{\text{Hi}}(t) \quad (5)$$

formában, ahol a képzetes rész a valós rész Hilbert-transzformáltja. Az így meghatározott analitikus jel azonos tulajdonságú lesz a (4) egyenlettel megadott függvény tulajdonságaival. A g_{an} analitikus jel $|A(t)|$ burkolóját megkaphatjuk az

$$|A(t)| = [g^2(t) + g_{\text{Hi}}^2(t)]^{1/2} \quad (6)$$

egyenletből, míg a fázisát a

$$\phi(t) = \operatorname{arctg}(-g_{\text{Hi}}(t)/g(t)) \quad (7)$$

egyenlet adja. Az analitikus jel pillanatnyi frekvenciáját az

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\phi(t)}{dt} \quad (8)$$

összefüggés adja meg.

3. Modellszámítások

A modellszámítások során néhány, a geofizikai gyakorlatban ismert függvény Hilbert-transzformáltját mutatjuk be.

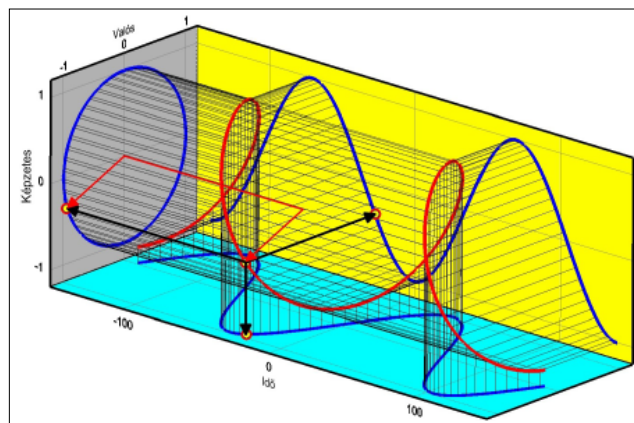
Legyen a jel az

$$y(t) = \sin(\omega t) \quad (9)$$

függvény, amelynek a Hilbert-transzformáltja Hahn (2000) szerint:

$$y_{\text{Hi}}(t) = -\cos(\omega t). \quad (10)$$

Az 1. ábrán kék szín ábrázolja a szinusz jelet a vízszintes síkban, míg szintén kék szín jelöli annak Hilbert-transzformáltját a függőleges síkban. Piros színű térgörbe ábrázolja az analitikus jelet, amelynek a valós-képzetes komplex síkban lévő vetületét szintén szemlélteti az ábra. Ez jelen esetben kört ad. Vékony fekete vetítővonalak mutatják az egyes komponensek kapcsolatát. Egy tetszőlegesen kiválasztott pontban mutatjuk az analitikus jelet mint vektort, valamint vetületét.



1. ábra Kék szín ábrázolja a $\sin(\omega t)$ bemenő jelet a vízszintes síkban, míg szintén kék szín mutatja a bemenő jel $-\cos(\omega t)$ Hilbert-transzformáltját a függőleges síkban, piros színű térgörbe jelöli az analitikus jelet, továbbá a valós-képzetes komplex síkban kék szín mutatja annak kör alakú vetületét. Vékony fekete vetítővonalak segítik az ábrázolást, valamint feltüntetjük egy tetszőleges pont ábrázolását is

Figure 1 The input signal $\sin(\omega t)$ is plotted by blue color in the horizontal plane, while its Hilbert transform $-\cos(\omega t)$ plotted also by blue color in the vertical plane; red three-dimensional curve shows the analytical signal which is a circle indicated by blue color in the real-imaginary complex plane. Thin black lines indicate the way of projection and the projection of an arbitrary point is also indicated

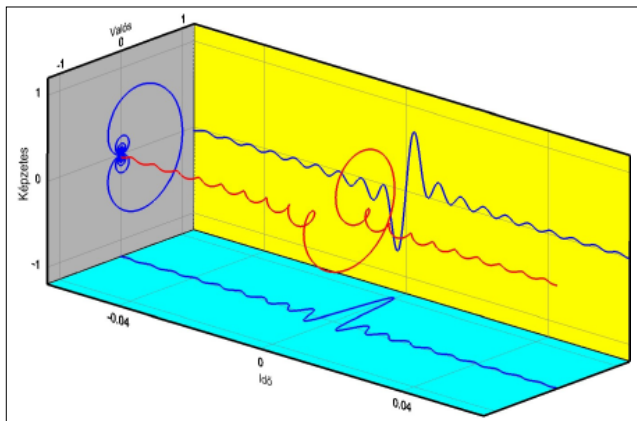
Jól ismert jel az

$$y(t) = \sin(at)/at \quad (11)$$

függvény, amelynek Hilbert-transzformáltja (Hahn, 2000):

$$y_{\text{Hi}}(t) = [1 - \cos(at)]/at. \quad (12)$$

A 2. ábrán kék szín ábrázolja a jelet a vízszintes síkban, míg szintén kék színnel jelölve annak Hilbert-transzformája látható a függőleges síkban. Az ábrán piros színnel az analitikus jelet megadó térgörbét ábrázoltuk.



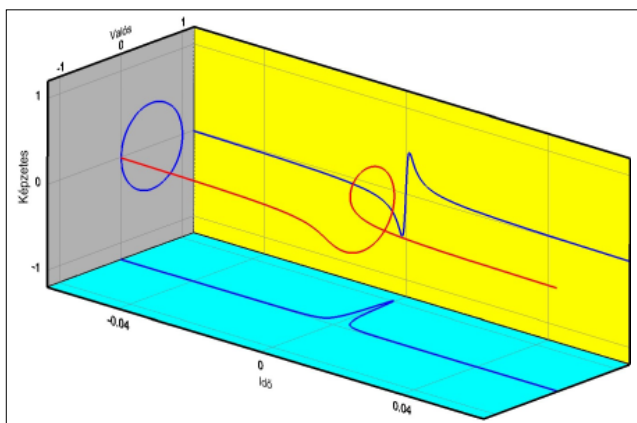
2. ábra Kék szín jelöli a $\sin(\omega t)/\omega t$ bemeneti jelet a vízszintes síkban, míg szintén kék szín ábrázolja annak Hilbert-transzformáltját a függőleges síkban, piros színű térgörbe mutatja az analitikus jelet, szintén kék színnel ábrázoltuk az analitikus jel vetületét a valós–képzetes komplex síkban

Figure 2 In the horizontal plane blue color indicates the input signal $\sin(\omega t)/\omega t$ while its Hilbert transform is also indicated by blue color in the vertical plane, red three-dimensional curve shows the analytical signal, its projection is also indicated in the real–imaginary complex plane

Legyen a jel az

$$y(t) = 1/(1+t^2) \quad (13)$$

függvény, amelynek a Hilbert-transzformáltja Bracewell (1978) szerint:



3. ábra Kék szín jelöli a $1/(1+t^2)$ bemeneti jelet a vízszintes síkban, míg szintén kék szín ábrázolja annak Hilbert-transzformáltját a függőleges síkban, piros színű térgörbe mutatja az analitikus jelet, az analitikus jel vetületét szintén kék színnel ábrázoltuk a valós–képzetes komplex síkban

Figure 3 Blue color indicates the input signal $1/(1+t^2)$ in the horizontal plane while its Hilbert transform is indicated also by blue color in the vertical plane, red three-dimensional curve shows the analytical signal, its projection is indicated in the real–imaginary complex plane

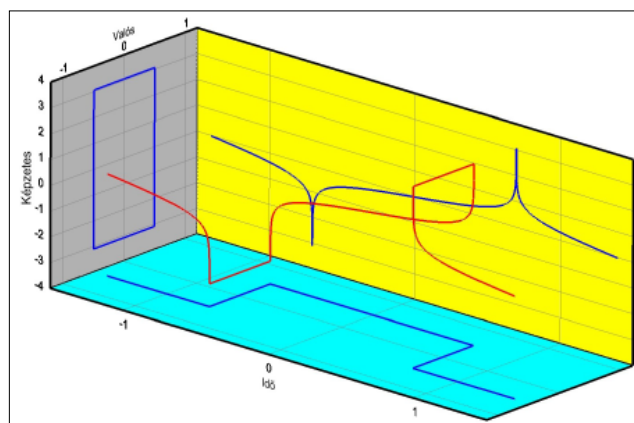
$$y_{\text{Hi}}(t) = -t/(1+t^2). \quad (14)$$

A 3. ábrán kék szín mutatja a jelet vízszintes síkban, míg a szintén kék szín ábrázolja annak Hilbert-transzformáltját a függőleges síkban. Az ábrán piros színnel az analitikus jelet megadó térgörbét ábrázoltuk. A valós–képzetes komplex síkban az analitikus jel vetülete szintén kört ad.

Legyen a jel a $2a$ hosszúságú, origóra szimmetrikus négyszögimpulzus, $y(t) = \Pi_a(t)$, amelynek Hilbert-transzformáltja (Hahn, 2000):

$$y_{\text{Hi}}(t) = (1/\pi) \ln|(t+a)/(t-a)|. \quad (15)$$

A 4. ábrán a négyszögimpulzus látható kék színnel bemutatva a vízszintes síkban, míg ennek Hilbert-transzformáltja szintén kék színnel a függőleges síkban ábrázolva látható, piros színű térgörbe mutatja az analitikus jelet. A valós–képzetes komplex síkban az analitikus jel vetülete egy korlátos méretű téglalapot mutat. Ez a numerikus közelítés következménye. Valójában a valós–képzetes komplex síkon két párhuzamost kellene látnunk, hiszen (15) a $t \rightarrow a$ esetén, az $y_{\text{Hi}} \rightarrow +\infty$, illetve $y_{\text{Hi}} \rightarrow -\infty$, az ideális négyszögjel váltása 0 idő alatt történik.



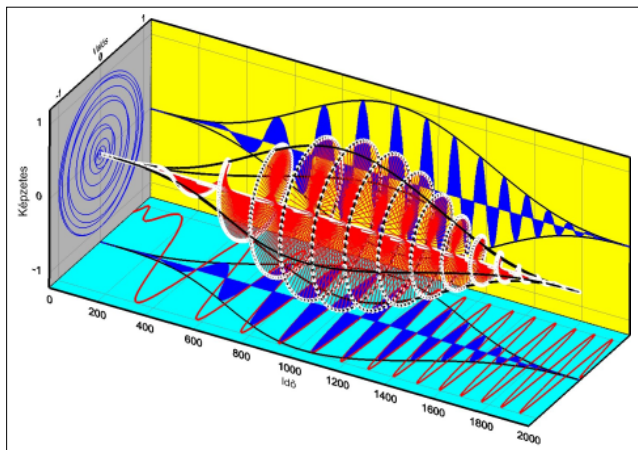
4. ábra Kék szín jelöli a $\ln|(t+a)/(t-a)|/\pi$ bemeneti jelet a vízszintes síkban, míg szintén kék szín ábrázolja annak Hilbert-transzformáltját a függőleges síkban, piros színű térgörbe mutatja az analitikus jelet, az analitikus jel vetületét szintén kék színnel ábrázoltuk a valós–képzetes komplex síkban

Figure 4 Blue color indicates the input signal $\ln|(t+a)/(t-a)|/\pi$ in the horizontal plane while its Hilbert transform is indicated also by blue color in the vertical plane, red three-dimensional curve shows the analytical signal, its projection is also indicated in the real–imaginary complex plane

A következő függvény a geofizikai gyakorlatban gyakran használt „sweep” függvény:

$$y(t) = \sin(\omega_0 t + \beta t^2) \sin^3(\omega_0 t), \quad (16)$$

amelynek most a numerikus Hilbert-transzformáltját határozzuk meg. A bemenő függvény egy lineárisan növekvő frekvenciájú harmonikus jel, amelynek amplitúdóját harmadik hatványra emelt szinusz adja. Ez utóbbi frekvenciáját úgy választottuk, hogy értéke a vizsgált ablak két szélén nullát adjon. Az 5. ábrán kék szín ábrázolja a bemenő függvényt vízszintes síkban, míg numerikus Hilbert-transzfor-



5. ábra Kék színű görbe ábrázolja a bemenő függvényt a vízszintes síkban, míg annak numerikus Hilbert-transzformáltját szintén kék szín jelöli a függőleges síkban, fekete görbe mutatja a burkolófüggvényt, továbbá az analitikus jelet megadó piros színű térgörbét, amelynek a vetülete a valós-képzetes komplex síkban látható. Az ábra piros színnel tünteti fel a pillanatnyi fázisból számolt jel koszinuszát is a vízszintes síkban

Figure 5 Blue curve shows the input function in the horizontal plane while its numerical Hilbert transform is indicated by blue color in the vertical plane; a black curve illustrates the envelop function, the analytical signal is shown by a red three-dimensional curve and its projection is given in the real-imaginary complex plane. The figure shows the cosine of the instantaneous frequency by red line in the horizontal plane

máltját szintén kék szín jelöli a függőleges síkban, fekete görbe mutatja a burkolófüggvényt, mely nem hordoz információt a bemenet fázisáról, továbbá az analitikus jelet megadó piros színű térgörbét, amelynek a vetülete a valós-képzetes komplex síkban látható. Az ábra piros színnel tünteti fel vízszintes síkban a csak fázisinformációra támaszkodó pillanatnyi fázisból számolt jel koszinuszát is. Ez utóbbi a kis és nagy amplitúdójú jeleket egyaránt a +1, -1 tartományba viszi.

4. Mérési adatok feldolgozása

A feladat megoldására Overhauser GSM-19-es magnetométerrel végeztünk totális mágneses méréseket a hulladéktároló tetején. Az észlelések időben egyenletesen, 0,5 s közönként történtek, ami az átlagos haladási sebesség mellett körülbelül 0,5 m vonal menti mintavételi távolságnak felel meg. A méréseket a telepviszonyok által megengedett helyeken, rendezetlenül elhelyezkedő vonalak mentén hajtottuk végre (6. ábra). A hulladéktároló területére mintegy 19000 mérési pont esett. Helymeghatározásra GPS eszközt alkalmaztunk.

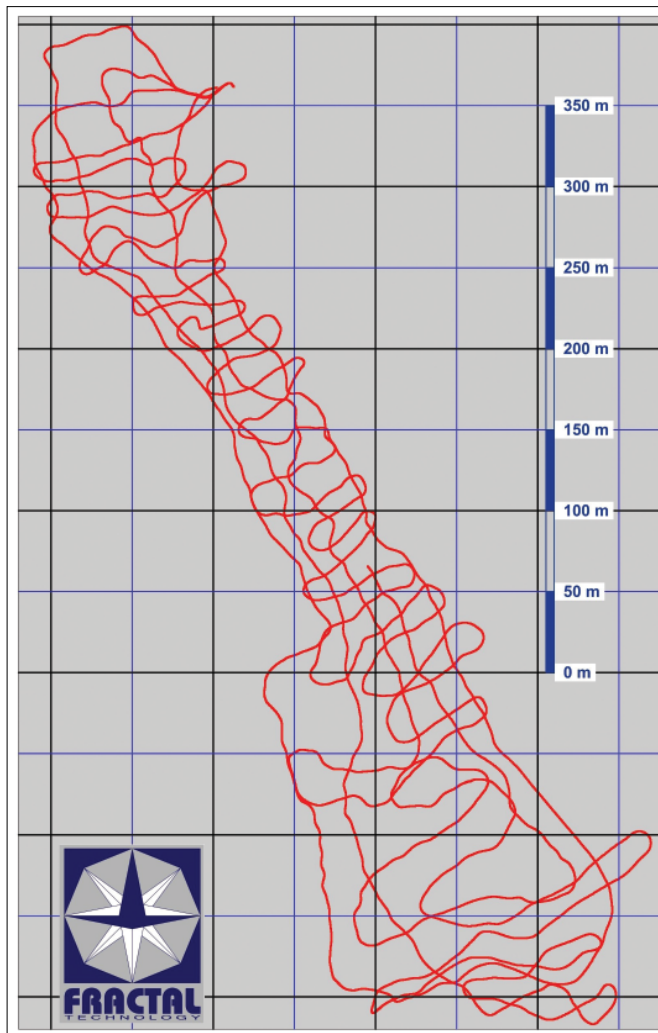
A mágneses mérések feldolgozásának első lépése a báziskorrekció elvégzése volt. A báziskorrekció értéke 48050–48070 nT között változott.

A rendezetlenül elhelyezkedő adatokból interpoláltuk az anomáliatérképet. Az interpolációhoz különböző súlyfüggvények, többek között az $1/r^2$ típusú függvény alkalmazását javasolja Véges (1971). E súlyfüggvényt alkalmazva kapjuk a 7. ábrán bemutatott totális mágneses anomália térképet. Az anomáliák rendezetlen eloszlást mutatnak, nem válnak el a kis-méretű és nagyméretű hatóktól származó hatások.

A mágneses hatók dipól vagy multipól jellegűek, azonban feladatunk szempontjából ez közömbös, egyedül az intenzitásuk megismerése fontos, erre jól használható az analitikus jelből képzett burkolófüggvény.

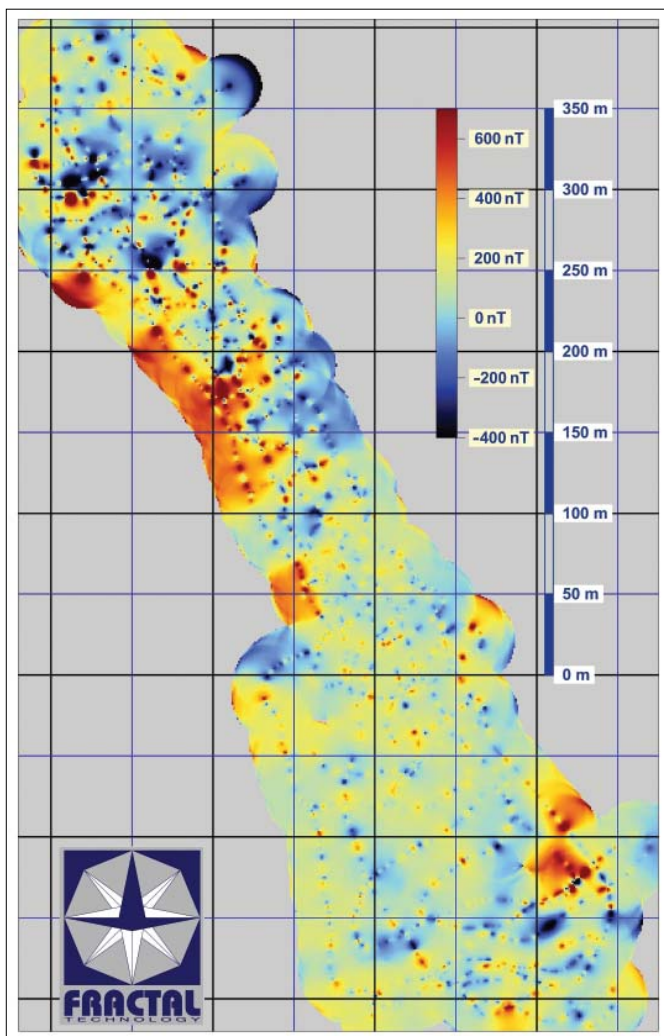
Az adatok, amelyekből térbeli információt kívánunk szerezni, vonal mentén helyezkednek el. A fel-

dolgozás következő lépéseiben az adatokat a mintaszám (idő) függvényében lévő egydimenziós adatrendszerként kezeljük.



6. ábra A szabálytalan alakú kiskunhalasi hulladéktároló területén azoknak a mérési vonalaknak a helye, amelyek mentén a mérések történtek (a horizontális és vertikális koordináták EOVS rendszerben, méter egységben értendők)

Figure 6 The magnetic measurements were carried out along the presented red lines over the Kiskunhalas waist yard (the horizontal and vertical coordinates are given in the EOVS system in meter unit)



7. ábra A szabálytalan alakú kiskunhalasi hulladéktároló területén meghatározott totális mágneses anomáliák (interpolációval az $1/r^2$ típusú súlyfüggvény alkalmazásával)

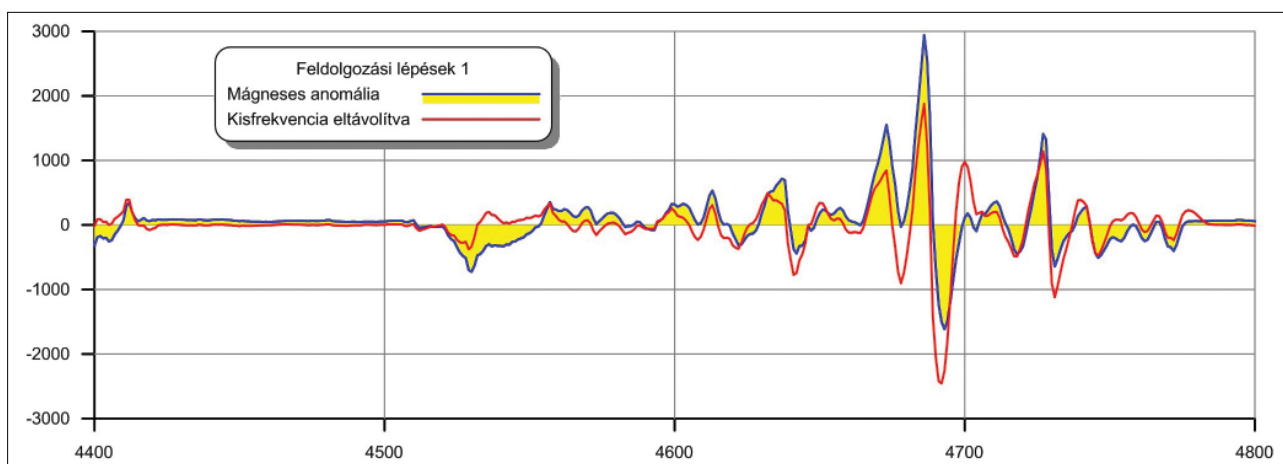
Figure 7 Total magnetic anomalies over the irregularly shaped Kiskunhalas waist yard (anomalies are determined by interpolation using the application of the $1/r^2$ type weight function)

A Hilbert-transzformált számításánál célszerű a jelek egyen-, illetve alacsony frekvenciás komponenseit eltávolítani az adatsorból. Ezt 11 pont hosszúságú futóátlag segítségével végeztük. Így az eredmény nem tartalmaz zérus, illetve alacsony frekvenciás összetevőket. Ezt a 8. ábra illusztrálja az adatrendszer egy részének bemutatásával.

Ezt követően az anomáliákból numerikus Hilbert-transzformáltat számítottunk, és meghatároztuk a komplex értékekből álló analitikus függvényt. Az analitikus függvényből meghatározható annak burkolója, amelyből a jelek intenzitására következtethetünk (9. ábra). A burkoló gyorsan változik, így aluláteresztő szűrővel kaphatók meg azok a térben nagyobb kiterjedésű jelkomponensek, amelyek a feldolgozás eredményét adják (10. ábra). A szűrésre Gauss-féle szűrőt használtunk, paraméterezését numerikus vizsgálatok alapján határoztuk meg. A szűrt burkoló amplitúdója több nagyságrendet fog át, így a kezelhetőség érdekében a burkoló logaritmusával dolgoztunk.

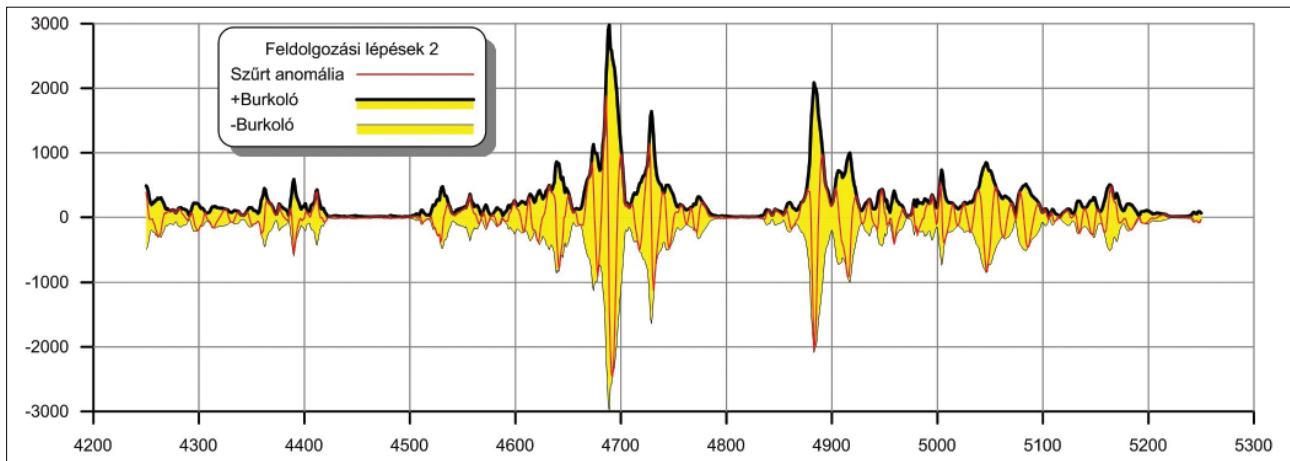
A kapott vonal menti adatsorból meghatározott burkolót szabályos rácsba interpoláltuk krigelési algoritmus alkalmazásával. Az interpolálás során figyelembe vettük adataink statisztikus tulajdonságait. A kimeneti adatrendszer mind x , mind y irányban 1,0 m osztásközű. Az így előállított eredménytérképen (11. ábra) különböző színekkel jelöltük a „nagy” és a „kicsi” vasterheltségűnek mutató részeket.

A terület számottevő részén az anomáliák kis intenzitásúak. A délkeleti részen lévő indikáció a felszínen lévő rózsaszín vaskádhoz köthető. A terület északnyugati felén a nagyobb kiterjedésű és nagy intenzitású anomáliák nagyobb vasmenyiséget sejtettek. Feltárásuk során több száz gumiabroncs került elő, amelyek acélmerevítőket tartalmaznak.

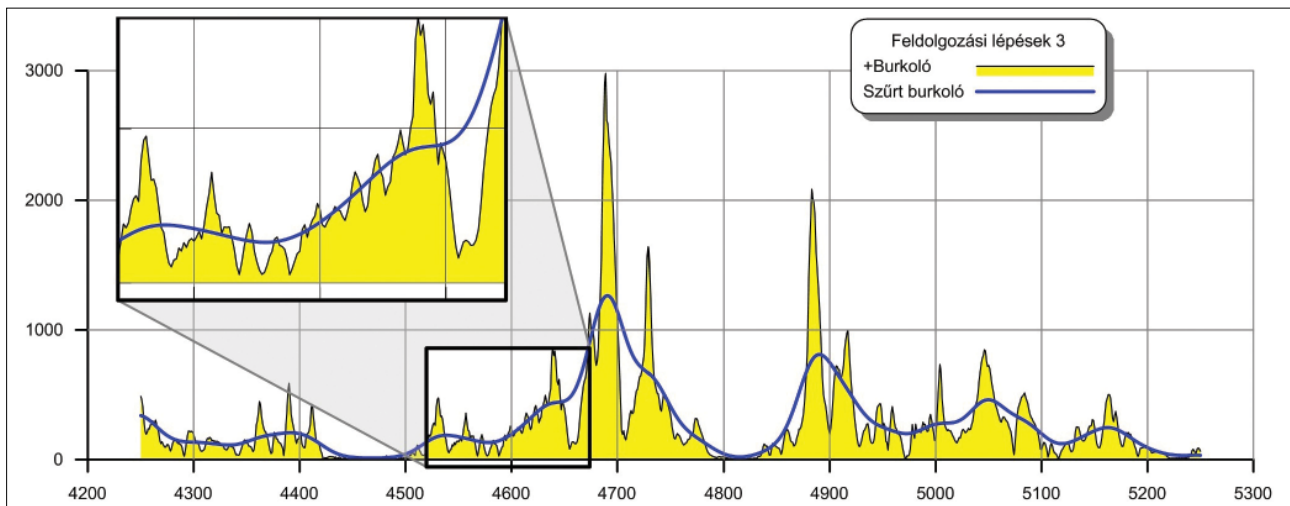


8. ábra A feldolgozás első lépése az adatsor egy részletén bemutatva: a kék szín jelöli báziskorrigált adatokból a futóátlag alkalmazása után meghatározott szelvényt, piros szín mutatja a mágneses anomáliát. Mindkét szelvény a távolság függvényében van ábrázolva

Figure 8 First step of the data processing shown on a section of the processed data: blue line indicates the data after the base correction, red line shows the anomalies after the running average has been applied. Both curves are plotted against the horizontal distance



9. ábra A feldolgozás második lépése az adatsor egy részén bemutatva: piros színű görbe ábrázolja a mágneses anomáliákat a szelvény hosszának függvényében, míg fekete színű görbe mutatja a numerikus Hilbert-transzformációból meghatározott burkolót
Figure 9 Second step of the data processing shown on a section of the processed data: red color curve shows the magnetic profile, while the black one presents the envelop of the numerical Hilbert transform



10. ábra A feldolgozás harmadik lépése az adatsor egy részén bemutatva: vékony fekete színű görbe mutatja az analitikus függvény burkolófüggvényét, míg kék színű görbe ábrázolja az alulvágó Gauss-féle szűrővel szűrt burkolót
Figure 10 Third step of the data processing shown on a section of the processed data: the envelop of the analytical function is shown by a thin black curve while its low-pass Gaussian-filtered version is presented by a blue curve

5. Következtetések

A mágneses anomáliákat létrehozó hatók méret szerinti szeparálása az értelmezés fontos feladata, mivel az esetek többségében a hatók méret szerint nem mindig különíthetők az anomáliatérképeken. Jelen esetben az anomáliákat létrehozó hatók 3,5–4,5 m mélységű rétegben helyezkednek el. A burkolófüggvény alapján – amely nem hordoz információt a jelek fázisáról csak intenzitásukról – lehetővé válik a hatók méret szerinti szeparálása az adott rétegben. A Hilbert-transzformáltakból meghatározott analitikus függvények burkolójának kétféleképpen történő ábrázolása során a hatók méret szerinti elkülönítése rendszerint megoldható.

Köszönetnyilvánítás

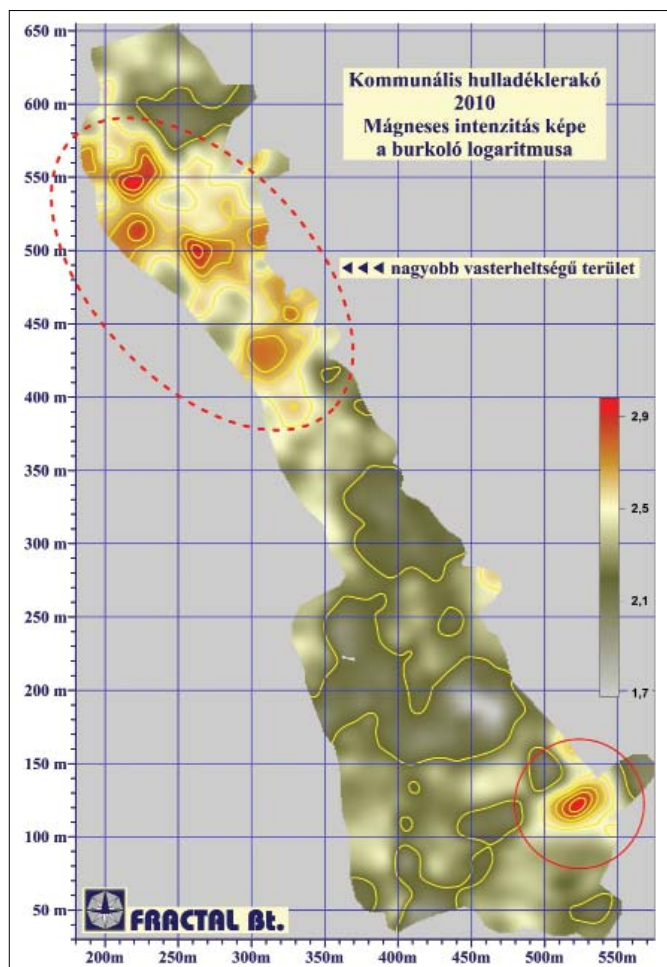
Köszönetet mondunk Holl Balázsnak (MNM-NÖK) az általa nyújtott geodéziai, térinformatikai szakmai segítségért.

A tanulmány szerzői

Pusztai Sándor, Kis Károly

Hivatkozások

Bracewell R. N., 1978: The Fourier Transform and Its Applications. McGraw-Hill Book Company, New York.
 De Freitas J. M., 2005: Digital filter design solutions. Artech House, Inc.



11. ábra A kiskunhalasi kommunális hulladéklerakó területén a szűrt analitikus függvény burkolójának logaritmusá térképen ábrázolva. A terület ÉNy-i részén nagyméretű gumibroncsok által létrehozott anomáliák láthatók, míg a DNy-i részen található anomáliákat a felszínen található vaskád okozta

Figure 11 Logarithm of the filtered envelope of is mapped in 2D. Large-size anomalies can be seen in the NW part of the map, they are produced by buried tires strengthened by steel wires, while the anomaly appearing in the SE part is caused by a near-surface bath tub

Gold B., Oppenheim A. V., Rader C. M., 1972: Theory and implementation of the discrete Hilbert transform. In: Digital Signal Processing, ed. L. R. Rabiner, C. M. Rader. IEEE Press.

Hahn S. I., 2000: Hilbert Transforms. Boca Raton, CRC Press LLC.

Hardy G. H., 1932: On Hilbert transforms. Quart. J. Math. (Oxford) 3, 102–112

Kis K., 2009: Magnetic Methods of Applied Geophysics. Eötvös University Press, Budapest.

Meskó A., 1983: Geofizikai Adatfeldolgozás I. Lineáris Átalakítások. Tankönyvkiadó, Budapest.

Meskó A., 1984: Digital Filtering: Applications in Geophysical Exploration for Oil. Akadémiai Kiadó, Budapest.

Nabighian M. N., 1972: The analytical signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and use for automated anomaly interpretation. Geophysics 37, 507–517

Nabighian M. N., 1974: Additional comments on the analytical signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. Geophysics 39, 85–92

Nabighian M. N. 1984: Toward a three-dimensional automatic interpretation of potential field data via generalized Hilbert transform: Fundamental relations, Geophysics 49, 780–786.

Öberg T., 2001: Modulation, detection and coding, John Wiley & Sons, Ltd.

Reynolds J. M., 1997: An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. John Wiley & Sons, Chichester, New York, Weinheim, Brisbane, Singapore, Toronto.

Turai E., Dobróka M., Herczeg Á., 2010: Sorfejtéses inverzió III – Gerjesztett polarizációs adatok inverziós feldolgozása. Magyar Geofizika 51, 88–98

Véges I., 1971: Map plotting with weighted average on the surface of a circular disk. Pure and Applied Geophysics 78, 5–17

Li Xiung, 2006: Understanding 3D analytical signal amplitude. Geophysics 71, L13–L16

Zsellér P., 1982: Hilbert-transzformáció felhasználása reflexiós szeizmikus hullámok pillanatnyi frekvenciáinak meghatározásához. Magyar Geofizika 23, 151–158

Gyémánt- és aranydiplomák átadása az 1953-ban Sopronban és 1963-ban Miskolcon végzett jubiláló mérnökök részére

Időrendi sorrendben 2013. augusztus 30-ikán 10.30-ra, Miskolcon az egyetem központi épületének aulájába a fogadásra érkező meghívottakat az egyetemi bizottság, kávé, üdítő és sütemény várta. Regisztráció után kézhez kaptuk a 104 oldalas izléses kiállítású ismertetőt is, mely tartalmazza a jubilálók fényképes életrajzát. Ezután az épület dísztermében az egyetemi előjárók ünnepélyes bevonulását követően a bányageológus-, bányagépész-, bányaművelő-, geológus-, olajbányász- és kohómérnök hallgatók vehették át a diplomákat, melyeket Dr. Kékesi Tamás rektorhelyettes és Dr. Szücs Péter dékán professzorok adtak át. A Magyar Geofizikusok Egyesületének tagjai közül aranydiplomát kaptak: *Bucsi Szabó László, Ráner Géza, dr. Polcz Iván* bányageológus mérnökök és *dr. Szabó György Lajos* olajbányász mérnök. Az üdvözlő beszédek, a diplomák átadása, a közben felhangzó énekkari betétek és a köszönő szavak elhangzása után a főépület bejáratánál fényképek készültek a fakultások szerinti csoportokról. 12 órától az egyetemi menzán díszbéd várt bennünket és hozzátartozóinkat.

Szeptember 10-én 10 órakor Sopronban hasonlóan bennsőséges körülmények között került sor az ünnepségre a B épület tanácstermében, ahol az NME rektora és az Erdő-

mérnöki Kar dékánja köszöntötte a jelenlevőket. 11 órakor megkoszorúzták az első és második világháború alatt hősi halált halt bányász-, erdész- és kohászhallgatók emléktábláját a B épület halljában. 12 órakor a meghívottak és hozzátartozóik ünnepi ebéden vettek részt az egyetemi menzán. 14 órakor, az Erdőmérnöki Kar ünnepélyes évnitóján, a Közgazdasági Kar aulájában, osztották ki a jubileumi gyémántdiplomákat az 1953-ban Sopronban végzetek részére, akiknek a létszáma az elmúlt 10 évben tragikusan megcsappant. A jubiláló geofizikus-mérnökök a következők voltak: *dr. Bencze Pál, dr. Gereben László, Hoffer Egon, Markó László, Polhammerné Telkessy Márta* és *Ujfalussy Antal*, a Magyar Geofizikusok Egyesületének tagjai. A diplomákat a Miskolci Egyetem rektorhelyettese, Dr. Kékesi Tamás, valamint a Földtudományi Kar dékánja, Dr. Szücs Péter professzor adta át.

A jubilálók nevében *Széles Lajos* okl. geológusmérnök mondott köszönő szavakat. A betegség miatt távol maradt *Markó László* diplomáját felesége, míg *Telkessy Márta* diplomáját dr. Gereben László vette át. A gyémántdiplomás geofizikusok fényképes életrajzát a Miskolcon kiadott ismertető tartalmazza.

dr. Gereben László, dr. Polcz Iván



Dr. Bencze Pál átveszi gyémántdiplomáját Dr. Kékesi Tamás rektorhelyettes és Dr. Szücs Péter dékán uraktól



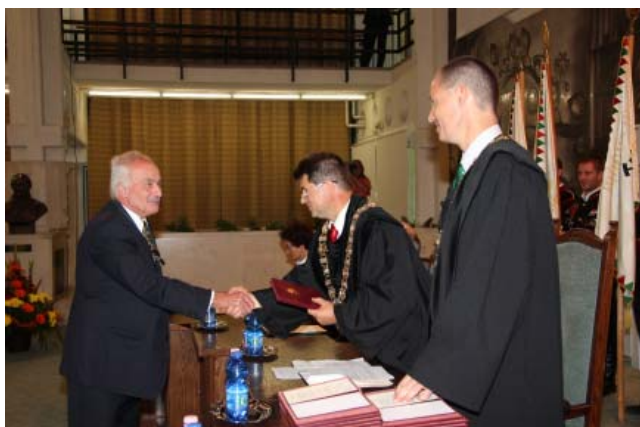
Dr. Gereben László átveszi gyémántdiplomáját Dr. Kékesi Tamás rektorhelyettes és Dr. Szücs Péter dékán uraktól



Hoffer Egon átveszi gyémántdiplomáját Dr. Kékesi Tamás rektorhelyettes és Dr. Szűcs Péter dékán uraktól



Ujfalussy Antal átveszi gyémántdiplomáját Dr. Kékesi Tamás rektorhelyettes és Dr. Szűcs Péter dékán uraktól



Bucsi Szabó László átveszi aranydiplomáját Dr. Kékesi Tamás rektorhelyettes és Dr. Szűcs Péter dékán uraktól



Ráner Géza átveszi aranydiplomáját Dr. Kékesi Tamás rektorhelyettes és Dr. Szűcs Péter dékán uraktól



Dr. Polcz Iván átveszi aranydiplomáját Dr. Kékesi Tamás rektorhelyettes és Dr. Szűcs Péter dékán uraktól



Dr. Szabó György átveszi aranydiplomáját Dr. Kékesi Tamás rektorhelyettes és Dr. Szűcs Péter dékán uraktól

Geofizikai módszerek a régészetben

Visszatekintés

A régészeti lelőhelyek felderítésében nem új gondolat geofizikai módszerek használata. Éppúgy, mint a nyersanyagkutatásban, a környezetétől (a beágyazó közettől) eltérő fizikai tulajdonságú objektumokat keresünk. A feladat különlegességét több tényező adja. Egyrészt a történelmi idők régészeti kultúrái a felszíntől kis mélységben (1-2 m mélyen) hagytak nyomot, tehát kis behatolási mélységű módszereket lehet alkalmazni. Másrészt általában kis amplitúdójú anomáliákat kell keresnünk, hiszen az ember nem tudta nagyon megváltoztatni természeti környezetét. Harmadrészt az anomáliák térbeli kiterjedése is kicsinek várható, ezért sűrű hálózatos mérésekre van szükség, amelyek csak nagy termelékenységű műszerezettséggel lehet gazdaságos.

Saját tapasztalatainkra visszaemlékezve, akkor látszott sikeresnek egy-egy módszer kipróbálása a régészeti kutatásban, amikor hozzájutottunk egy módszer nagy felvételezési sebességű műszeréhez. Például (tudomásunk szerint) az első sikeres mágneses térképezést 1980 nyarán tudtuk elvégezni Fenékpusztán, Keszthely mellett, amikor kezünkbe került az első protonprecessziós magnetométer (egy lengyel gyártmányú PMP-2). Ki tudtuk mutatni egy római ház hosszanti oldala mentén összehalmozott tetőcserepek néhány nanoteslányi hatását, így megtaláltuk az épület romjait. Ugyanígy, a ságvári római castrum falait avval a radarberendezéssel detektáltuk, amelyet a külszíni bauxitbányák feküjének kimutatására béreltünk Angliából. Nagyobb régészeti területek ellenállásméréssel történő felmérésében pedig az akkor vásárolt EM-31 szelvényező volt sikeres (Balácapusztá).

A jelen helyzetet az jellemzi, hogy hazánkban (akárcsak a világ számos országában) a geofizikus szakmai körök tisztában vannak a régészeti mérések szükségességével, lehetőségeivel és korlátaival. Kutatóhelyeinken (Miskolc, ELTE, Sopron, MFGI) rendelkezésre áll a kellő tudás, tapasztalat és műszerezettség az ilyen típusú mérésekre. Emellett jó néhány olyan gazdasági társaságunk van, amely sikeresen és magas színvonalon alkalmazza ezeket a módszereket. Régész kollégáink jelentős része ismeri és elismeri az ilyen módszerek hatásosságát. A helyzet tehát első ránézésre kielégítő. Első ránézésre. Aztán észrevesszük a hiányosságokat. Szakmai hibákat az alkalmazásban, a normatívák hiányát, az összehangolt és nagyon szükséges technikai fejlesztés nem létét, a hazai helyett külföldi szakértelem igénybevetését, a korrupció határát súroló pénzügyi machinációkat, a gazdaságos alkalmazás esetlegességeit, időnként még a sarlatánság nyomait is. Szóval, e téren sem térünk el a magyar gazdaság átlagos színvonalától.

Új helyzet a régészeti munkák szabályozásában

Az elmúlt évtizedekben a nagyberuházásokhoz kapcsolódó régészeti feltárásokat a régészek sikertörténetnek könyvelik el – méltán. Soha még ilyen mennyiségű feltárással nem került sor (ebbe beleérthetjük a geofizikai méréseket is). Hogy azonban a régészeti munkák ne (nagyon) lassítsák a beruházásokat, és azok megfelelő hatékonysággal történjenek, az eddigi előírások módosultak.

A 257/2012. (IX. 14) sz. kormányrendelet a nagyberuházásokkal kapcsolatos régészeti feltárások eljárását szabályozza. A 2.§ előírja, hogy a nagyberuházások területén előzetes régészeti dokumentációt (ERD-t) kell készíteni a beruházó költségére. Ennek módszere „maradandó változással nem járó műszeres lelőhely-felderítés”. A rendelet ennek mikéntjére nem tér ki, de nyilvánvalóan ennek része a felszíni geofizikai felmérés.

A 13.§ előírja, hogy a Magyar Nemzeti Múzeumnak (a szakmai szervezetekkel egyeztetve) meg kell határoznia a lelőhely-felderítés (azaz ebben az értelemben a geofizikai módszerek alkalmazásának) szabályait. Ezt a feladatot a Nemzeti Örökségvédelmi Központnak, a Magyar Nemzeti Múzeum szervezeti egységének kell végrehajtania: ki kell dolgoznia az ERD „protokollját”. Világos, hogy a geofizikai mérések vonatkozásában a protokollnak olyan előírásokat kell tartalmaznia, amelyeket a geofizikus szakmai köröknek illenék megfogalmazni, mert ezek a szakmai körök a kompetensek. E felismerés mentén indult el a Nemzeti Örökségvédelmi Központ (NÖK) és a Magyar Geofizikusok Egyesülete közötti együttműködés, amelynek lépéseiről az alábbiakban számolunk be.

A tavaly nyáron történt egyeztetések nyomán a NÖK elfogadta az MGE felajánlását, mely szerint az MGE részt vesz az ERD protokoll kidolgozásában, és elismeri az MGE-t a magyar geofizikus szakmai körök képviselőjének. Mivel az MGE nem lévén piaci szereplő a régészeti geofizikai mérések területén, ugyanakkor olyan szervezet, amely mind egyéni, mind jogi tagjai útján pártatlanul egyesíteni tudja a hazai szakmai szereplők véleményét, e felajánlott feladatát várhatólag magas szakmai színvonalon szeretné teljesíteni. Röviden: meg kell határozni a régészeti geofizikai mérések szakmai követelményeit és minőségbiztosítási (QC) kritériumait. Hasonló feladat előtt az Egyesület tudomásom szerint eddig még nem állt.

Az ilyen tárgyú megbeszélésekről folyamatosan beszámoltunk az MGE elnökségének. A feladat súlyát érezve, az elnökség egy *ad hoc* bizottságot hívott életre („Régészeti Bizottság”), amelynek elnöke Késmárky István alelnök, titkára e sorok írója lett.

Konferencia a régészeti geofizikai mérésekről

Régész kollégáinkkal együtt rájöttünk arra az alapigazságra, hogy szakmai előírásokat úgy helyes írni, ha tudjuk az összes szereplő véleményét. Először kerekasztal-értekezletben gondolkodtunk, végül abban állapodtunk meg, hogy egy egész napos szakmai konferenciát szervezünk, amelyre mind az érdekelt régészeket, mind a geofizikusokat meghívjuk.

2013. november 5-én az MFGI Stefánia úti épületének majdnem teljesen megtelt dísztermében az üdvözlő szavak után az MNM NÖK főigazgató-helyettese vázolta a régészeti kutatás előtt álló feladatokat, majd 3 'state of art' előadás hangzott el azokról a geofizikai módszerekről, amelyeket gazdaságosan és megbízhatóan lehet alkalmazni a lelő-

hely-diagnosztikában. Ezután jöttek a régészeti előadások, amelyekben beszámoltak az ilyen típusú felmérések tapasztalatairól, eredményeiről. A szünetben a résztvevők a kiállított poszterek előtt vitatták meg az elhangzottakat és a lehetőségeket.

Az elhangzott előadások (egy kivételével) pdf formában megtalálhatók mindkét honlapunkon. Magyaránként itt mondjuk el, hogy a www.mageof.hu honlap, amelyet majd 10 évvel ezelőtt állítottunk össze és azóta is folyamatosan szerkesztünk, nagy változás előtt áll. Karácsony óta az ismert honlapról már át lehet ugrani az új honlapra, amelynek Zahuczki Péter értő munkája adott új megjelenést. Az „új” honlap a következő hónapokban kerül végleges helyére az MFGI egyik szerverén, míg a „rég” nyugalomba vonul.

Kakas Kristóf

Program

Megnyitó

Új feladatok az örökségvédelem előtt – *Csornay Boldizsár*, MNM NÖK

Földmágneses mérések: lehetőségek és jövőkép – *Lenkey László*, MGE

Geoelektromos és elektromágneses módszerek: lehetőségek és jövőkép – *Kakas Kristóf, Prónay Zsolt, Turai Endre*, MGE

Földradar: lehetőségek és jövőkép – *Törös Endre*, MGE

Lelőhely-azonosítás a régészeti örökségvédelemben: követelmények, módszerek, korlátok – *Stibrányi Máté*, MNM NÖK

Másfél évtized geofizikai kutatásai a Körös-vidék őskori lelőhelyein – *Gyucha Attila, William A. Parkinson, Apostolos Sarris, Nikos Papadopoulos*, MNM NÖK

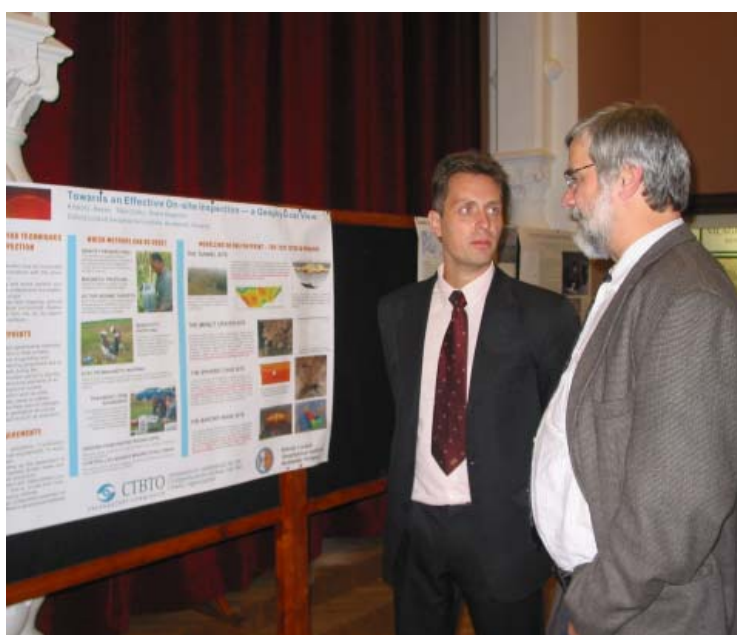
Nagyfelületű magnetométeres felmérések tapasztalatai a Tolnai Sárköz neolitikus lelőhelyein (egy validált felmérés esettörténete) – *Serlegi Gábor, Martin Furholt, Marton Tibor, Carsten Mischka, Oross Krisztián, Oszás Anett, Knut Rassmann, Kay Winkelmann, Bánffy Eszter*, MTA BTK RI

Magnetométeres mérések Hajdú-Bihar megyében (esettanulmányok) – *Dani János, Márkus Gábor*, Déri Múzeum, Debrecen

Történeti áttekintés a mágneses mérések alkalmazásáról – *Pusztai Sándor*, Fractal; *Czajlik Zoltán*, ELTE

Anomáliák és objektumok: geofizika régész szemmel – *Bertók Gábor*, ECHTELION

Nagy kiterjedésű magnetométeres felmérések régészeti interpretációs kérdései – *Márkus Gábor*, Archeodata



Rendezvénytár

2014. február		
2014. febr. 25–27.	Európai nem hagyományos készletek – SPE/EAGE konferencia és kiállítás (www.eage.org)	Bécs, Ausztria
2014. március		
2014. márc. 10–13.	DGG – a Német Geofizikai Társulat 74. évi közgyűlése	Karlsruhe, Németország
2014. márc. 29–30.	Ifjú Szakemberek Ankétja (az MFT és az MGE rendezésében) (www.isza.hu)	Balatonföldvár
2014. április		
2014. ápr. 6–9.	AAPG évi közgyűlés és kiállítás (www.aapg.org/houston2014/)	Houston, USA
2014. ápr. 7–10.	Földtudományok: beruházás a jövőbe – Saint Petersburg, 2014 (www.eage.org)	Szentpétervár, Oroszország
2014. ápr. 21–25.	Mérnökgeofizika 2014 (www.eage.org)	Gelendzsik, Oroszország
2014. ápr. 23–25.	Fourth EAGE CO2 Geological Storage Workshop (www.eage.org)	Stavanger, Norvégia
2014. ápr. 27. – máj. 2.	Európai Geofizikai Unió (EGU) közgyűlése (www.egu2014.eu)	Bécs, Ausztria
2014. május		
2014. máj. 12–15.	Geoinformatics 2014 (www.eage.org)	Kiev, Ukrajna
2014. június		
2014. jún. 16–19.	76th EAGE Conference & Exhibition incorporating SPE EUROPEC 2014 – az EAGE éves kongresszusa és műszerkiállítása (www.eage.org)	Amszterdam, Hollandia
2014. augusztus		
2014. aug. 20–24.	HUNGEO 2014 – A magyar földtudományi szakemberek XII. találkozója (www.foldtan.hu)	Debreceni Egyetem
2014. szeptember		
2014. szept. 14–18.	Near Surface Geoscience, 2014 (www.eage.org)	Athén Görögország
2014. október		
2014. okt. 26–31.	SEG 84. évi közgyűlés és kiállítás (www.seg.org/events/)	Denver USA

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

Kakas Kristóf

Magyar mérnök-geofizika Svédországban az 1970-es években

