

FÖLDTANI ÉS GEOFIZIKAI VÁNDORGYŰLÉS AZ ÉVFORDULÓK FÉNYÉBEN



A Magyar Királyi Földtani Intézet jubileuma
és az Eötvös Loránd Emlékév tiszteletére



Szerkesztők:

Budai Tamás, Palotás Klára, Piros Olga

Balatonfüred, 2019. október 3–5.



NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI
ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL

AZ NKFI ALAPBÓL
MEGVALÓSULÓ
PROGRAM

© Copyright Magyarhoni Földtani Társulat, Magyar Geofizikusok Egyesülete, 2019
Minden jog fenntartva!

Műszaki szerkesztő, DTP:
Palotás Klára

Kiadja a Magyarhoni Földtani Társulat (MFT) és a Magyar Geofizikusok Egyesülete (MGE)

Felelős kiadó:
Budai Tamás elnök (MFT)
Zelei Gábor elnök (MGE)

A kötet megjelenését támogatta:



NKFIH
MTA könyvtár
MBFSZ
Oil and Gas
SPE
MBSz
Geo-log
EAGE
UNEXMIN
INFAC T

ISBN 978-963-8221-76-6

Starkiss Nyomda

A címlapon Lóczy Lajos földtani térképének részlete látható
a Balaton környékéről, a fénykép Eötvös Lorándról készült
a Ság-hegyen, az inga leolvasása közben



A rendezvény fővédnöke

Dr. Áder János, Magyarország köztársasági elnöke

A rendezvény védnökei

Bóka István, Balatonfüred polgármestere (BFT elnök)

Borhy László, az ELTE rektora

Gelencsér András, a Pannon Egyetem rektora

Puskás Zoltán, a Balaton-felvidéki Nemzeti Park Igazgatóságának igazgatója

Szűcs Péter, a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karának dékánja

A rendezvény szervezőbizottsága

Magyarhoni Földtani Társulat: Babinszki Edit, Budai Tamás, Cserny Tibor, Krivánné Horváth Ágnes

Magyar Geofizikusok Egyesülete: Magyar Balázs, Zelei Gábor, Petró Erzsébet

A rendezvény tudományos bizottsága

Magyarhoni Földtani Társulat: Budai Tamás, Haas János, Piros Olga, Pósfai Mihály

Magyar Geofizikusok Egyesülete: Dobróka Mihály, Takács Ernő

ELŐSZÓ

Idén az összevont Földtani és Geofizikai Vándorgyűlés az évfordulók fényében kerül megrendezésre, tisztelegve a hazai földtudományoknak, a Magyar Királyi/Állami Földtani Intézet megalapításának 150, és báró Eötvös Loránd halálának 100 éves évfordulója alkalmából.

Az Eötvös emlékévként koordinációs testületének tagjaként őszinte örömmel láttam, hogy mind a kormányzat, mind a hazai tudományos- és társadalmi szervezetek, mind a kutatók, tanárok és sportemberek egységesen álltak a méltó megemlékezés, valamint mai szemmel nézve is hihetetlen széles és tartalmas életmű megünneplése mellé.

Az Eötvös-emlékévként és az eötvösi életművet nemzetközi szinten is kiemelkedő figyelem kíséri. Az emlékévként külföldi ismertségének növelése érdekében létrehozott „Eötvös 100 Honorary Board”-ba a legnagyobb nevű külföldi tudósok is örömmel fogadták el a felkérést, sokan aktívan részt is vesznek az emlékévként eseményein. Mindenképpen elmondható, hogy a Board tagok diákjai és kollégái körében Eötvös Loránd beszédtema lett.

Az Einstein-Eötvös levélváltás arról tanúskodik, hogy Einstein is nagy tisztelője volt tudóstársának. Eötvöstől halálakor (a súlyos és a tehetetlen tömeg azonosságának 10^{-9} eltérése belüli kimutatójától, azaz a gyenge ekvivalencia-elv első kísérleti alátámasztójától mint a fizika egyik fejedelmétől búcsúzott. Eötvös még 100 évvel halála után is rengeteg kutatót inspirál. Amennyiben valaha sikerül majd az ötödik erő létezését bebizonyítani, minden bizonnyal abban a tanulmányban is fognak eredményeire hivatkozni...

A Vándorgyűlés gazdag programmal szolgál a földtudományok iránt érdeklődőknek. Hiszem, hogy a közös rendezés sikeres lesz és ez jó alappal szolgálhat arra, hogy hagyománnyá váljon.

Remélem, hogy minden résztvevő számára emlékezetes lesz az idej rendezvény, és az „évfordulók fénye” rávetül szeretett szakmáinkra és művelőikre is!

Ehhez kívánok minden résztvevőnek
Jó szerencsét!

Budapest, 2019. 08. 29.

Zelei Gábor
elnök
Magyar Geofizikusok Egyesülete

ELŐSZÓ

A magyar geológusok számára kiemelt jelentőségű ünnepi évforduló a 2019. év. Éppen 150 éve annak, hogy 1869. június 18-án I. Ferenc József aláírta a Magyar Királyi Földtani Intézet alapításáról szóló oklevelet.

A Földtani Intézet és a Magyarhoni Földtani Társulat közötti szoros kapcsolat már a kezdetektől fogva kialakult. A bécsi Geologischen Reichsanstalt első igazgatója és vezető geológusai igen aktívan és konstruktív módon támogatták a Társulat szakmai programjának kialakítását 1849–50 során, szoros együttműködésben a Magyar Nemzeti Múzeummal. Később pedig, a kiegyezést követően a Földtani Társulat dolgozta ki azt a javaslatot, amelynek alapján 1868-ban létrehozták a földtani osztályt a Magyar Királyi Földművelés-, Ipar- és Kereskedelemügyi Minisztériumon belül, majd egy évvel később az önálló magyar Földtani Intézetet, hazánk első tudományos kutatóintézetét. Ezzel a Társulat korábban felvállalt feladatai közül a legsúlyosabb, a földtani térképezés átkerült az újonnan létrehozott Földtani Intézet legfontosabb alaptevékenységei közé. A Társulat és a Földtani Intézet közötti gyümölcsöző kapcsolat megnyilvánulása volt az is, hogy az 1870-es években a Társulat az újonnan alakuló Intézetnek adományozta könyvtára teljes állományát, majd az 1880-as évektől kezdődően közösen adták ki a Földtani Közlönyt, közel fél évszázadon keresztül.

A Földtani Intézet jogutódja a hazai földtani kutatások vezető intézményrendszerét alkotó Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, amellyel a Társulat továbbra is ápolja a hagyományosan szoros kapcsolatokat. Ennek szellemében határozta el a Magyarhoni Földtani Társulat és testvérszervezete, a Magyar Geofizikusok Egyesülete, hogy közös vándorgyűlésen kívánja méltó módon megünnepelni a Magyar Királyi Földtani Intézet megalapításának 150 éves jubileumát, és a gyakorlati geofizika megalapítójának, Eötvös Lorándnak az emlékét.

Budapest, 2019. 08. 29.

Budai Tamás
elnök
Magyarhoni Földtani Társulat

Tartalom

PLENÁRIS ELŐADÁSOK	1
CLOETINGH, S.: Coupling Deep Earth and Surface processes: Impact on geo-energy and earth hazards	2
FANCSIK T.: A földtani kutatás és a bányászat jövője Magyarországon	4
BREZSNYÁNSZKY K.: Emlékezzünk a 150 éve alapított Földtani Intézetre!	7
MAGYAR B.: A természettudományok hercege, a gyakorlati geofizika atyja: Eötvös Loránd	10
BUDAI T.: A Balaton-felvidék földtana	13
PÓSEAI M., MOLNÁR Zs., ROSTÁSI Á., FODOR M., CSERNY T.: A Balaton üledékének kutatása	16
VISNOVITZ F., †HORVÁTH F., HÁMORI Z., TÓTH T.: Szeizmikus kutatások a Balatonon: az elmúlt három évtized balatoni vízi szeizmikus kutatásai az ELTE–GEOMEGA szemszögéből	20
VÖRÖS A.: Paleontológiai kutatások a Balaton-felvidéken	23
KOVÁCS A.: Karbonátos vízadók hidraulikai viselkedése és osztályozása hazai példákon keresztül	25
FÖLDTAN	29
MAROS Gy., BEREZKI L., SELMECZI I., MARKOS G., BABINSZKI E., FARNOAGA, R., HRVATOVIĆ, H., KRONOME, B., LAPANJE, A., MELNIK, I., ŠPELIĆ, M., STEJIC, P., NÁDOR A.: Földtani harmonizáción alapuló 3D modell a Pannon-medencére	30
KISS A.: Az Északi-Bakony földtani célú térinformatikai adatbázisának fejlesztése a szerkezetföldtani kutatással összefüggésben	33
ORAVECZ É., HÉJA G., FODOR L.: Átöröklött triász sószerkezetek és azok szerepe az aggteleki Szilicei-takaró alpi deformációja során	36
KERCSMÁR Zs., KELEMEN P., DUNKL I.: Középső-eocén klíma optimumra (MECO) utaló jelenségek és karbonátos fáciesek az ÉK-Dunántúli eocén rétegsorokban	37
HÁMOS G., BALOGH Z., BENŐ D., KERESZTÉNY B., KOCSIS G., MAJOROS Gy., MÁTHÉ Z., MUCSI P., SÁMSON M., BERNÁTH Gy., KOVÁCS A. Cs.: A PGI-1 fúrás földtani eredményei	40
MIKLÓS D. G., SZAKMÁNY Gy., JÓZSA S., GMÉLING K., HORVÁTH F., STARNINI, E.: A gorzai vörös homokkő anyagú kőszközök potenciális nyersanyagainak petrográfiai és nehézásvány vizsgálata	45
KOVÁCS I., SZANYI Gy., GRÁCZER Z., WÉBER Z., SÜLE B., TIMKÓ M., CZIFRA T., LIPTAI N., BERKESI M., LANGE, T., NOVÁK A., MOLNÁR Cs., PÁLOS Zs., SZÜCS E., SZABÓ Cs., WESZTERGOM V.: Pargazoszféra: avagy a 'víz' új szerepe a litoszféra-asztenoszféra rendszer dinamikájában a Pannon-medence alapján?!	48
KÁZMÉR M., TAWALBEH, M., BUZÁS G., LASZLOVSKY J.: Tizenhatodik századi földrengéskárok Visegrádon és Budán	50
WANEK F.: A földtan oktatói és azok tanársegédei a Kolozsvári Ferenc József Tudományegyetemen	53
GEOFIZIKA	57
SZARKA L. Cs.: Az Eötvös 100 emlékévé háttérre	58
VÖLGYESI L., SZONDY Gy., TÓTH Gy., BARNAFÖLDI G., DEÁK L., ÉGETŐ Cs., FENYVESI E., HARANGOZÓ P., GRÓF Gy., KISS B., LÉVAI P., PÉTER G., SOMLAI L., VÁN P.: Az Eötvös-kísérlet újramérése	60
CSONTOS A., HEILIG B.: Néhány példa a Tihanyi Geofizikai Observatóriumban jelenleg folyó kutatásokból	64

TAKÁCS E., HAJNAL Z., ANNESLEY, I. R., PANDIT, B.: Ásványi nyersanyag-kutatás geofizikai módszerekkel (Athabasca-medence, Kanada)	64
BAUER M., CSERKÉSZ-NAGY Á., TAKÁCS E., CSABAFI R., GÚTHY T., KÓBORNÉ BUJDOSÓ É., TÖRÖK I., KOVÁCS A. Cs., HEGEDŰS E.: Hazai példák a reflexiós szeizmikus módszerek alkalmazására a különböző célú kutatások földtani kockázatának csökkentésére	67
TÓTH T., FILIPSZKI P., NÉMETH V., SZABÓ T.: S-hullám szeizmikus mérések alkalmazási lehetőségei	71
KISS J., VÉRTESY L., ZILAHY-SEBESS L., GULYÁS Á.: Nyírség, a potenciáltér adatok tükrében	73
SZONGOTH G., HEGEDŰS S., BURÁNSZKI J.: A mélyfúrás-geofizika fejlődése az utóbbi 50 évben (ELGI/Geo-Log)	77
KOVÁCS A. Cs., STICKEL J., CSABAFI R., SZILVÁGYI Zs., HEGEDŰS E.: Geotechnikai célú komplex geofizikai mérések egy budapesti telephelyen	78
BÁNYÁSZAT	83
ZAJZON N., PAPP R. Z., MÁDAI F.: UNEXMIN és ROBOMINRES — két jövőbe mutató miskolci H2020-as projekt a nemzetközi nyersanyagkutatásban	84
HARTAI É.: Bányászat és energiatermelés egy technológiai folyamatban — a 'CHPM' koncepció	87
KOVÁCS Zs., ZILAHY-SEBESS L.: Szénhidrogén-földtani adatok a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat ásványvagyon nyilvántartásában	92
BARACZA M. K., TURAI E., GYULAI Á.: Szilárdásvány-bányászati célú geofizikai mérések kiértékelése inverziós módszerek segítségével	95
SZANYI J.: Fenntarthatóság, vízió?	99
SZIJÁRTÓ M., GALSA A., TÓTH Á., HAVRIL T., LENKEY L., MÁDLNÉ SZŐNYI J.: Vajon számolnunk kell-e a termikus felhajtóerő hatásával a Budai-termálkarsztrendszerben?	102
PRAKFAI P.: Milyen folyamatok okozhatják a süllyedésszerű lyukak (sinkholes) kialakulását a felszínen?	106
POSZTEREK	107
BALASSA Cs., KRISTÁLY F., MÓRICZ F., NÉMETH N.: Ritkaelem-dúsulást hordozó ásványtársulás a Bükk hegységéből: üledékes kőzetekbeli előfordulások	108
BUCSI SZABÓ L., KASÓNÉ MAKRAI A., PUSZTA S.: Példák a Háromkő Bt. mérnökgeofizikai tevékenységéből a geotechnikai feladatok megoldásában: üregek, csúszások, sírhelyek, szennyezett területek vizsgálata	111
FARICS É., HALÁSZ A., HÁMORNÉ VIDÓ M.: A felszín alatti víz sérülékenységi vizsgálata a Nyugat-Mecseki karszt területén	113
KOVÁCS I. J. és a GGI kollektívája: A Geodéziai és Geofizikai Intézet szerepe és küldetése a hazai földtudományban	114
ROSTÁSI Á., FODOR M., RÁCZ K., TÓPA B., WEISZBURG T., PÓSFALVI M.: A Balaton üledékképződésének ásványmérlege	115
UNGER Z., LECLAIR D., GYÓRFI I.: A metánhidrát szerepe az Erdélyi-medence gázainak képződésében	117
KIRÁNDULÁSVEZETŐ	119
BUDAI T., HAAS J.: Földtani kirándulás a Balaton-felvidéken	119

PLENÁRIS ELŐADÁSOK



NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI
ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL

AZ NKFI ALAPBÓL
MEGVALÓSULÓ
PROGRAM

Coupling Deep Earth and Surface processes: Impact on geo-energy and earth hazards

SIERD CLOETINGH

Department of Earth Sciences, Utrecht University,
Princetonlaan 4, 3584 CD Utrecht, The Netherlands.

Topography influences various aspects of society, not only in terms of the slow process of landscape evolution but also through climate (e.g. mountain building). Topographic evolution (changes in land, water and sea level) can seriously affect human life, as well as terrestrial geo-ecosystems. To quantify topography evolution in space and time, understanding of the coupled deep Earth and surface processes is a requisite. The pioneering work of Lorand EÖTVÖS has provided the foundation to quantify deviations from isostatic equilibrium, manifested in earth gravity and geoid anomalies. Also today these observations are crucial to link the deep earth to the earth surface topography.

The TOPO-EUROPE initiative of the International Lithosphere Program (ILP) addresses the 4-D topography of the orogens and intra-plate regions of Europe through a multidisciplinary approach. TOPO-EUROPE initiates a number of novel studies on the quantification of rates of vertical motions, related tectonically controlled river evolution and land subsidence in carefully selected natural laboratories in Europe (Figure 1). From orogen through platform to continental margin, these natural laboratories include the Alps/Carpathians-Pannonian Basin System, the West and Central European Platform, the Apennines–Tyrrhenian–Maghrebian and the Aegean–Anatolian regions, the Iberian Peninsula and the Scandinavian Continental Margin. TOPO-EUROPE integrates European research facilities (e.g. the European Plate Observing System EPOS) and know-how essential to advance the understanding of the role of topography in Earth System Dynamics. The principal objective of the network is twofold. Namely, to integrate national research programs into a common European network and, furthermore, to integrate activities among TOPO-EUROPE institutes and participants. Key objectives are to provide an interdisciplinary forum to share knowledge and information in the field of the neotectonic and topographic evolution of Europe, to promote and encourage multidisciplinary research on a truly European scale, to increase mobility of scientists and to train young scientists.

Linking different spatial and temporal scales in coupled deep Earth and surface processes is a prime objective of multidisciplinary international research in solid earth science. This research approach integrates active collection of new data, reconstruction of the geological record and numerical and analog modeling. In doing so we focus on closely interrelated topics: deep Earth, lithospheric structure, mantle-lithosphere interactions and sedimentary basins and georesources. Research on enhanced geothermal systems has developed as a vigorous focus for networking European earth science research institutions and provides a fine example of connecting basic research in coupled deep earth and surface processes with societal relevance in the present era of energy transition to a more sustainable world. Also here the Pannonian Basin system provides a key natural laboratory (Figure 2).

Quantitative understanding of topographic evolution in space and time requires study of processes from the upper mantle, through the lithosphere and crust and acting on the Earth's surface. The overview presented here demonstrates the opportunities to further understanding of topography through integrated studies of the full Earth system across space and timescales.

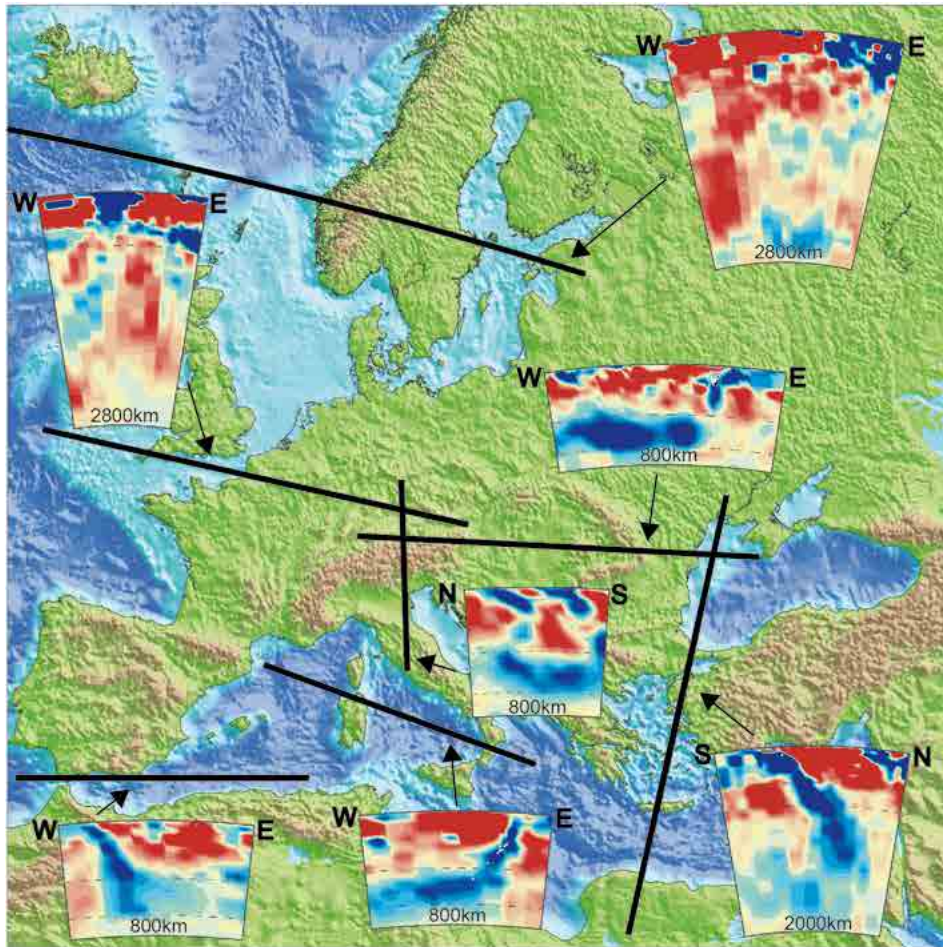


Figure 1. Tomographic cross sections for the upper mantle below Europe, illustrating heterogeneity in the upper mantle. Depth scale 600 km. Blue and red colours correspond to areas where seismic P-wave velocities are respectively higher and lower than the standard reference velocity model. The sections display distinct patterns of down-going slabs in convergent zones of Europe overlain by lithosphere with reduced seismic velocities, corresponding with areas of high heat flow and high potential for geothermal energy exploration. The overall topography of Europe is characterised by elevated areas not only in the convergent settings, but also in intraplate settings such as Iberia and southern Scandes. (Tomographic sections: courtesy W. SPAKMAN)

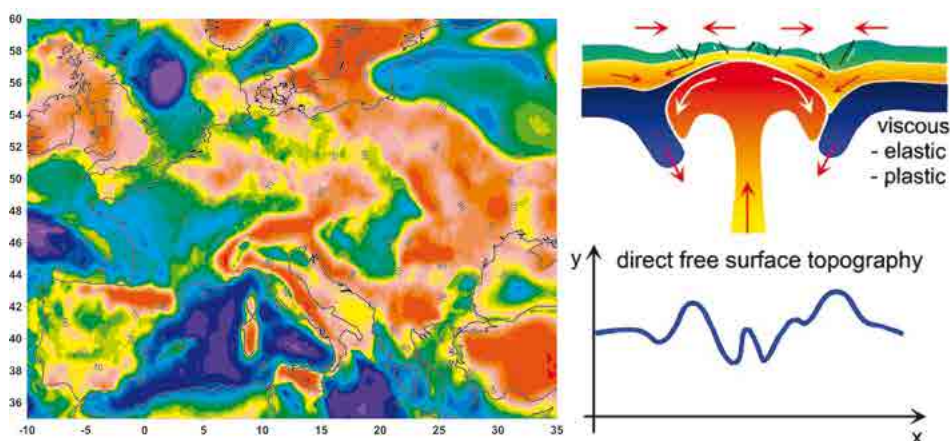


Figure 2. (left) Map of Europe with colour contours indicating the relative contribution of the crust to the rheological strength of the entire lithosphere (after TESAURO et al. 2009). (right) Models that include a plate rheology and multilayer lithosphere structure predict a complex surface topography with several short-wavelengths generated by intraplate deformation, tectonic-style deformation at surface and strong lithosphere mantle erosion at depth. The short wavelengths are controlled by the thickness of the lithosphere and intra-lithospheric layers. (after BUROV et al. 2007)

References

- BUROV, E., GUILLOU-FROTTIER, L., D'ACREMONT, E., LE POURHIET, L. & CLOETINGH, S. 2007: Plume head – lithosphere interactions near intra-continental plate boundaries. — *Tectonophysics* 434, 15–38.
- CLOETINGH, S., TIBALDI, A., DOBRZHINETSAYA, L., MATENCO, L., FADI, N. & WIJCK DE VRIES, B. (eds) 2018: From the deep Earth to the Surface – A multiscale approach. — *Global and Planetary Change* 171, 322 p.
- CLOETINGH, S., VAN WEES, J.-D. & WESZTERGOM, V. 2017: Thermo-mechanical controls on geothermal energy resources: case studies in the Pannonian Basin and other natural laboratories. — *Acta Geod Geophys.* 52, 157–160. doi:10.1007/s40328-017-0200-1.
- CLOETINGH, S., VAN WEES, J.-D., ZIEGLER, P., LENKEY, L., BEEKMAN, F., TESAURO, M., FÖRSTER, A., NORDEN, B., KABAN, M., HARDEBOL, N., BONTÉ, D., GENTER, A., GUILLOU-FROTTIER, L., VOORDETER, M., SOKOUTIS, D., WILLINGSHOFER, E., CORNU, T., WORUM, G., 2010. Lithosphere tectonics and thermo-mechanical properties: an integrated modelling approach for Enhanced Geothermal Systems exploration in Europe. — *Earth Science Reviews* 102, 159–206.
- TESAURO, M., KABAN, M. K. & CLOETINGH, S. 2009: How rigid is Europe's lithosphere? — *Geophysical Research Letters* 36, 1–6, L16303.

A földtani kutatás és a bányászat jövője Magyarországon

FANCSIK TAMÁS

Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat
fancsik.tamas@mbfsz.gov.hu

2019-ben ünnepelte fennállásának 150. évfordulóját a magyar földtudományos kutatások első állami központja. A Ferenc József osztrák császár és magyar király által alapított Magyar Királyi Földtani Intézet az elmúlt másfél évszázadban több átalakuláson esett át; először Magyar Állami Földtani Intézet néven működött, majd az ugyancsak több mint 100 éves hagyományokkal rendelkező Eötvös Loránd Geofizikai Intézettel egyesülve előbb Magyar Földtani és Geofizikai Intézetként, napjainkban pedig a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (MBFSZ) részeként látja el a földtani erőforrásokkal történő fenntartható gazdálkodás tudományos munkával történő megalapozását. Ez elengedhetetlenül fontos, hiszen a földtudományok és az ehhez szorosan kapcsolódó bányászat mindennapjaink elválaszthatatlan részévé vált, amely fejlett társadalmunk számára biztosítja az energiaforrásokat, a különböző nyersanyagokat, és az ezek feltáráshoz szükséges szaktudást.

A 2011-ben elfogadott Nemzeti Energiastratégia szerint kívánatos a hazai ásványvagyron kitermelési lehetőségeinek és infrastruktúrájának fenntartása, különösen a hazai energiahordozó nyersanyagok fokozottabb felhasználásával az importfüggőség csökkentése, ezzel az ellátás-biztonság növelése; a dekarbonizációs törekvések teljesülése, valamint a megújuló energiaforrások hasznosításának bővülése. Az ezzel kapcsolatos feladatok ellátásának adott jelentős lendületet a 1345/2018. (VII. 26.) Korm. határozat az Energetikai Ásványvagyron-hasznosítási és Készletgazdálkodási Cselekvési Tervről (ÁCSST), amely több, a földtudományok és a bányászat, valamint egy korszerű földtani információs rendszer kiépítésével kapcsolatos feladat kapcsán a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálatot nevesítette.

Az egyik ilyen jelentős feladat a hazai ásványvagyronon alapuló gazdasági tevékenység növelése és az ahhoz szükséges feltételek javítása érdekében új, modern technológiai alapokra helyezett földtani-geofizikai alapkutatás megvalósítása, hiszen ez jelenti az alkalmazott kutatások, bányászati, energetikai, hidrogeológiai és ipari felhasználások alapját. Magyarország területe ebből a szempontból kettős. Egyfelől „nehéz terep” a kutatások számára a fiatal medencékkel való fedettség miatt, másfelől az elmúlt évszázadok bányászati és földtani kutatásainak köszönhetően viszonylag ismert, jó továbbkutatathatósági potenciállal rendelkezik a modern tudó-

mányos technológiák számára. Az alapkutatási, térképezési, érc- és energiahordozó-kutatási céllal létesített és végrehajtott földtani térképezési, fúrásos és geofizikai objektumok, kutatási programok biztosítják az ország területe által lefedett kéregrézsz földtani modelljének az ismert nyersanyagok szempontjából megfelelő és megbízható ismertségét. Alapvető fontosságú, hogy a modell törekedjen a politikai határok helyett a földtani határokkal lehatárolt kéregrézszek, esetünkben az Alp-Kárpát-Dinári régió, a Pannon-medence leképezésére. Ennek a modellnek a folyamatos bővítése, felbontásának növelése, fehér foltjainak felszámolása, a Föld folyamatainak teljes körű megértése még számos feladatot jelent. Növelni kell a fiatal medencék 3D szeizmikus leképezésének folytonosságát, hogy a medencefejlődés idejének, módjának teljes körű megismerésével további szénhidrogén és geotermikus potenciál megalapozása, a bányászat fenntarthatóságának biztosítása, az importfüggőség minimalizálása valósulhasson meg. Néhány szerkezeti, tektonikai, medencealjzat felépítését érintő „fehér folt” is meghúzódik a földtani modell mélyebb régióiban. Ezek kutatása a modell és a földtörténeti események teljességén túl konkrét nyersanyag-kutatási eredményekkel is járhat. Ezekre a területekre célzott mélygeofizikai és fúrásos alapkutatási programok telepítése célszerű. Fokozni kell a megismerés mértékét a mélyebb kéregrézszek felé is. A medencefejlődést kísérő és lezáró különböző vulkanikus eseménysorok mélybeli kapcsolatainak tisztázása, a tektonikusan eltemetett képződmények megismerése az ásványvagyron potenciál és ércvagyron gyarodásának kulcsa lehet. Az eltemetett kéregblokkok egyelőre ismeretlen vagy hazánkban nem ismert nyersanyagokat, energiahordozókat rejthetnek. A nemzetközi kutatási trendek az egyre nagyobb mélységek felé fordulnak. A mélykéreg és felső-köpeny folyamatai a kéregre, a fluidumok áramlási rendszereire és a felszínre is alapvető hatással lehetnek, bizonyos nagyszerkezeti folyamatok kulcsa is ezekben a mélységekben rejtőzik. Ezért ennek a térrésznek a kutatása innovatív módszereket, alapkutatások folytatását, azoknak a legkorszerűbb laborháttérrel történő kiszolgálását teszi szükségessé.

Az energiahordozó ásványi nyersanyagok vonatkozásában legfontosabb szénhidrogének legalább száz éves múltra visszatekintő kutatással rendelkeznek, amelynek eredményeképpen 304 hagyományos szénhidrogén mezőben 1430 szénhidrogén telep és 10 nem hagyományos előfordulásban 25 megkutatott szint vált ismertté (Kovács ed. 2018). Az összesített hazai kőolajtermelés meghaladta a 120 millió m³-t, a földgáztermelés a 240 milliárd m³-t. A jelenlegi éves termelés 0,8 millió m³ kőolaj és 2,0 milliárd m³ földgáz. A jelenlegi állapotú (maradék) felfedezett, kitermelhető vagy 24,3 millió m³ hagyományos kőolaj és 76,2 milliárd m³ hagyományos földgáz (amelynek mintegy harmada magas inert (CO₂, N₂) tartalmú gáz).

Az MBFSZ korábbi becslései szerint a következő 25–30 évben 35–70 millió m³ kőolaj egyenértékű hagyományos szénhidrogén felfedezésére van esély, amelynek kulcseleme a kutatási és termelési technológia fejlesztése. A szénhidrogén bányászatban lezajlott forradalmi változások a kutatási és termelési technológiák fejlődéséhez kapcsolhatók. Ide tartoznak a különböző geofizikai módszerek, a földtani szénhidrogén tároló modellek, a nem hagyományos szénhidrogén földtani modellek, fúrastechnológia, repesztési technológia, stb. A kutatás-fejlesztés és az innováció tehát kulcsa a további szénhidrogén termelés expanziójának.

A mélymedencéinkben megtalálható szénhidrogén anyaközetek a nem hagyományos szénhidrogén előfordulások kutatásának fő célpontjai. A kutatás geológiai és mezőfejlesztési kockázata magas, a kitermelés beruházás igényes és bonyolult engedélyezési folyamattal jár. Ugyanakkor a nem hagyományos termelés növelése ad esélyt a hazai szénhidrogén termelés szinten tartására, bővítésére. A Derecskei- és a Makói-árokban 50 millió m³ nem hagyományos földgáz kitermelése történt napjainkig. A Kiskunhalasi, Makói, Békési, Derecskei mélyárkok megkutatott, nyilvántartásba került kitermelhető földgázvagyona meghaladja az 1500 milliárd m³-t. A hazai nem hagyományos reménybeli vagy akár 100 millió tonna kőolaj egyenértékű, a szénhidrogének anyaközetéből, vagy termeltetési szempontból rossz adottságú tároló közetekből kinyerhető szénhidrogén, túlnyomóan földgáz.

A szénhidrogének vonatkozásában Magyarország egész területe zárt területté minősített, ahol bányászati jogot csak koncesszió keretében lehet szerezni. A koncessziós folyamat keretében az MBFSZ érzékenységi és terhelhetőségi vizsgálatokat folytat le, amely alapján a miniszter azt a területet

fogja koncesszióra meghirdetni, amelyen az ásványi nyersanyag bányászata kedvezőnek ígérkezik. Az érzékenységi és terhelhetőségi vizsgálati jelentések az MBFSZ honlapján megtekinthetőek. Az eddigi hat pályázatból 46 megjelent szénhidrogén bányászati koncessziós pályázati felhívására 49 pályázat érkezett, amelynek eredményeként a koncessziónyertes pályázók összesen 31 területre kötötték szerződést. 2018. második felében a kőolajtermelés 21%-a, míg a földgáz kitermelés 9%-a származik ezekről a koncessziós területekről, továbbá együttesen a teljes befolyt bányajáradék 25%-át adták.

Másik jelentős energetikai ásványi nyersanyagunk, a szén vonatkozásában az MBFSZ 2012-ben elkészítette az Állami Ásványvagyon és Geotermikus Energia Nyilvántartás térképi megjelenítéshez szükséges térinformatikai állományt, elvégezte a nyilvántartás attribútumainak (bányászati és szénminőségi jellemzők) térképi megjelenítését és szénmedencénként, ill. közigazgatási egységenként (megye, régió, kistérség) történő összesítését. 2012–2016 között a leginkább perspektivikus területeken (Dubicsány, Sajómercsse II., Mizserfa, Csolnok Új-Borókás) megkezdte az alapadatok részletes feldolgozását, a korábban készült modellek digitalizálását, vagy új modell létrehozását. A földtani modellekre alapozva előzetes feltérési és bányaművelési tervek készültek. A kiemelt projektek által érintett szénmedencékre (Borsod, Nógrád, Mecsek) vonatkozóan medencenálitakai alapkutatásokat végeztünk a szénképződési környezetek jobb megértése érdekében. E három feldolgozási ütem eredményeit Magyarország digitális szénkataszterének elektronikus felületén adta közte az MBFSZ (<https://map.mbfisz.gov.hu/szenkataszter/>). Az eredményeket bemutató kötetben (PÜSPÖKI ed. 2018) külön fejezetekben tárgyaltuk a state-of-the-art szénfeldolgozási technológiákat ideértve az eljárások mibenlétét, a forgalmazókat és a gazdasági lehetőségeket, különös tekintettel a széntelepek hasznosítható ritkafém és kritikus elem (Ti, Zr, Rf, Ge, U) tartalmára.

Magyarország ellátásbiztonságának megerősítése, az energiaszektor klímabarát átalakítása és a klímaváltozással kapcsolatos gazdaságfejlesztési lehetőségek ösztönzése érdekében egyre nagyobb szerephez jutnak hazánkban a megújuló energiaforrások. Ezért az ország innovatív energiaellátásának egyik fontos biztosítékeként tekintenek a geotermikus energia kutatására, kinyerésére és hasznosítására. Ismert és sokszor elhangzott állítás, hogy Magyarország geotermikus természeti adottságai kimagaslóak Európában. A földtani felépítés következtében a Kárpát-medence magas hőáram értékei, a medencét kitöltő vastag üledékes összetett hőszigetelő hatása, a jó vízvezető képességgel rendelkező törmelékeny és repedezett-karbonátos kőzetek elterjedése a mélyben (potenciális rezervoárok), és ezek természetes utánpótlódása a nagy regionális felszín alatti (termál)víz-áramlások által valóban kiváló lehetőségeket jelentenek. Ugyanakkor a geotermikus energia felhasználása az adottságokhoz képest alacsony Magyarországon. Ennek több műszaki-gazdasági oka is van, az egyik legjelentősebb ezek közül a földtani kockázat, amely a felszín alatti tér ismertségének bizonytalanságából adódik. A földtani kockázatok 2 fő típusát különböztethetjük meg, mindkettő kezelésében a földtani, geofizikai, hirogeológiai kutatásoknak jelentős szerepe és feladatai vannak:

- Rövid-távú kockázat: a kutatási fázisban a felszín alatti térész ismeretlensége az első kutatófúrás sikertelen, vagy csak részlegesen sikeres (a feltárt geotermikus erőforrások paraméterei nem elegendőek a gazdaságos kitermeléshez). Ennek kockázat csökkentő megoldása a minél részletesebb kutatás, amelynek során a feltételezhető rezervoárról a lehető legteljesebb ismereteket szerezzük meg.
- Hosszú-távú kockázat: a geotermikus erőforrás kimerülése a termelés során. Ennek kockázat csökkentő megoldása a megfelelő rezervoár-menedzsmentre alapuló termelési stratégiák kialakítása (a természetes fluidum és hőutánpótlódás mértékét nem meghaladó fenntartható termelési szint betartása, a visszajuttatás, valamint a megfelelő monitoring hálózat kialakítása, stb.)

A hazai földtani kutatás és ásványvagyon gazdálkodási feladatok rövid áttekintése nem lenne teljes a hazai nemfém szilárd ásványi nyersanyagokkal kapcsolatos perspektívák összefoglalása nélkül. Felismerve a hazai igényeket és a nemzetközi trendekre is alapozva a hazai nemfém szilárd ásványi nyersanyagok elterjedésére, minőségére és mennyiségére vonatkozóan 2013-ban indult el egy rendszeres elemző munka az Állami Ás-

ványvagyon és Geotermikus Energia Nyilvántartás adataira vonatkozóan. Magyarország nemfémes szilárd ásványi nyersanyag vagyonát jelenleg 3233 db rekordon tartja nyilván a rendszer (2018. január 1-i állapot). Ez a működő, bezárt, szünetelő bányaterületekre és „szabad területekre” vonatkozó számérték évente változik a bányakapitánysági határozatok alapján felvett új területek, a bányabezárások és bányanyitások függvényében. A hosszabb távú építőipari ásványi nyersanyag ellátási célok támogatására további prognosztikus területek azonosítását is elvégezte az MBFSZ, amit az újabb kutatási eredmények, GIS alapú fejlesztések támogatásával folyamatosan frissít. A prognosztikus területek kijelölése kapcsán jelentős módszertani fejlesztések is készültek, amely az eddigi adatrendszerek integrációjára és ehhez kapcsolódó adatbázis fejlesztésekre alapult. Ennek eredményeképp több mint 3000-re emelkedett az adatrendszerben kezelt prognosztikus objektumok száma a homok, kavics, építőkövek, agyagok, szerves-anyag tartalmú képződmények, kova, kvarcit, gipsz, lösz és perlit nyersanyagok tekintetében. Az innovatív módszertan fontos eleme az ásványi nyersanyag hozzáférés vizsgálata, melynek keretében az azonosított ásványvagyonnal rendelkező területeket több „korlátozó” tényezővel vetjük egybe, mint pl. természetvédelmi korlátozások, vízbázisok, örökségvédelmi területek, infrastruktúra, belterületek, erdők, jó minőségű termőföldek, nagyvízi meder területek, honvédségi területek.

Az MBFSZ adatrendszerében levő ásványvagyon adatok a kitermelések nyomon követésével lehetőséget biztosítanak egyfajta forrás-igény mérleg megalapozáshoz, és egy átfogó, építőipari ellátást támogató szakpolitikai program támogatásához is.

Irodalom

- PÜSPÖKI Z. (főszerk.) 2018: A hazai szénvagyon és hasznosítási lehetőségei – Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, p. 280. ISBN 978-963-671-314-0
- KOVÁCS Zs. (főszerk.) 2018: Szénhidrogének Magyarországon – Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal, p. 319. ISBN 978-615-00-1393-0

Emlékezzünk a 150 éve alapított Földtani Intézetre!

BREZSNYÁNSZKY KÁROLY

brezsnyszky.karoly@gmail.com

Előadásomban a 150 évvel ezelőtt alapított első magyar tudományos kutatóintézet, a Magyar Királyi, később Magyar Állami Földtani Intézet történetét, tevékenységének, eredményeinek főbb mozzanatait idézem fel. A Földtani Intézet alapításával 1869-ben igazi nemzeti intézmény jött létre. Alapítója az állam, annak is legfőbb méltósága, az uralkodó. Működése kiterjedt a mindenkor ország területének egészére. Tevékenységének tárgyát az ország földterülete, természeti viszonyainak, geológiai felépítésének, fejlődéstörténetének kutatása jelentette. Feladata volt a nemzeti vagyon részét képező nyersanyagok, ásvány- és vízkészletek feltárása, hasznosításra való felajánlása. Útmutatást adott az agrártermeléshez éppúgy, mint a környezeti kockázatok elkerüléséhez, csökkentéséhez.

Működése nem volt öncélú. Mindenkor, változó politikai struktúrákban is az ország gazdasága által igényelt, a kormány stratégiai céljait, valamint a nagyközönség igényeit kielégítő információkat szolgáltatott. Nemzeti intézmény volt azért is, mert kutatási eredményeinek közreadásával, kiadványaiban hitet tett a nemzeti szaknyelv ápolásának, a szakterület nemzetközi szintén való képviselésének.

A Földtani Intézet kutatóintézeti feladatainak ellátásához sajátos, a szakterületen általánosan alkalmazott módszereket használt. Első helyen a földtani térképezést. A „mikro”-világtól az országos, vagy az országhatáron is túlnyúló földtani adatok térbe és időbe rendezett, meg-megújuló, egymásra épülő, a valós világot mind pontosabban leképező módszerét. A tudományág fejlődésével lépést tartó, változó méretarányú több generációs országos földtani térképezési programok végrehajtását, melyek a kézzel színezett 1:144 000-es térképlapoktól a térinformatikai rendszerbe foglalt, az országos földtani térmodell alapját képező összesítésig terjedtek. A kezdeti, hálózatos, térképlaponkénti térképezést idővel a tájegységi, a geológiai viszonyokhoz jobban alkalmazkodó módszer váltotta fel. A két módszer kombinációjának lehetünk tanúi az 1960-as, 1970-es évek részletes, nyersanyag-kutatási indíttatású hegyvidéki (Keleti-Mecsek, Északi-Bakony, Dorogi-medence, Mátra, Tokaji-hegység, az Alföld) térképezési programok esetében. Az országra vonatkozó földtani ismeretek összesítését biztosítják az áttekinthető, vagy részletesebb, esetenként tematikus változatokkal is rendelkező térképművek: 1:1 000 000 (1896), 1:900 000 (1922), 1:300 000 (1956), 1:200 000 (1960-as, 1970-es évek) 1:500 000 (1984), 1:250 000 (2009), illetve a korszerű adatfeldolgozást, adatösszesítést, folyamatos karbantartást lehetővé tevő 1:100 000 méretarányú (2005) digitális térképsorozat. A földtani térképváltozatok mellett az 1970-es évektől egyre több változatos méretarányú és tematikájú (vízföldtani, építésföldtani, nyersanyag prognosztikai) térképet adott közre az Intézet.

Alkalmazta a felszín alatti tér, a mélység megismeréséhez elengedhetetlen fúrásos kutatást, vagy a geofizikai műszerek kínálta paraméterek földtani értelmezését. A folyamatosan fejlődő mélyfúrásos technika a nyersanyagkutatás, az agrogeológiai felvételekhez nélkülözhetetlen sekély mélységű talaj- és talajvízkutatás, valamint a térképezés és szerkezetkutatás támogatását szolgálta. A fúrásos magminták kőzetanyagának és ősmaradvány tartalmának vizsgálati kapacitása folyamatosan bővült. A magmintákat tároló raktárak létrehozása, majd a vizsgálati anyagok térinformatikai rendszerbe foglalása az országos földtani térmodell kidolgozásának lett nélkülözhetetlen alapja.

Különös figyelmet fordított a felszín alatti térben mozgó vizek összetételének, mennyiségi és dinamikai viszonyainak megfigyelésére, a folyamatok értelmezésére. A Földtani Intézetben 1892-ben megalakult, majd 1963-ban megszüntetett, aztán újjáalakult Vízföldtani Osztály az ország meghatározó hidrogeológiai kutatóhelye volt. Tévékenysége az egyes ivóvíznyerő kutak szakértői véleményezésétől fokozatosan a regionális vízföldtani kutatások, értékelések irányába fejlődött. A módszertani kutatások, a térinformatikai adatbázisok építése egyes régiók mélységi vizeinek mind pontosabb áramlási, hidrodinamikai modelljének megalkotásához vezettek.

Az ország földtani felépítésének jellegéből adódóan nagy szerep jutott a rétegtani kutatásoknak, a földtörténeti események egykori élő tanúinak, az ősmaradványok vizsgálatának. Segítségükkel sikerült rekonstruálni az egykori élőhely földtani, földrajzi, klimatikus környezetét, és kulcsot adni a jelenlegi természeti folyamatok megértéséhez. A Földtani Intézet kutatógárdája évtizedekig a hazai őslénytani vizsgálatok élvonalát képezte. Kezdvé Hantken Miksa „górcsövi” vizsgálataitól Böckh János ammonitesz-meghatározásain keresztül az 1970-es évektől egyre differenciáltabb mikropaleontológiai, palinológiai kutatásokig. Az őslénytani kutatásokra és térképezési eredményekre alapozva az ország geológiai képződményeinek rétegtana kiforrott egységet mutat, amit az 1983-ban közreadott, a nemzetközi normákkal konform „Magyarország litosztratigráfiai formációi” kiadvány is alátámaszt. Háttérét a több évre szóló Országos Alapszelvény Program biztosította. A táblázatos kiadvány azonban csak előfutára volt az 1:100 000 méretarányú országos térkép és magyarázó (2005), az üledékes mellett a magmás és metamorf képződményekre is kiterjedő szintézis megjelenésének.

A Földtani Intézet, egészen az 1993-ig, az új Bányatörvény hatályba lépéséig a hazai nyersanyagkutatás meghatározó szereplője volt. Az ország területváltozásainak és a gazdaság aktuális igényeinek megfelelően helyeződtek át a kutatási súlypontok. A 19. század végi iparosodás és gazdasági fellendülés a kőszén és építőipari nyersanyagok iránti keresletet növelték meg. Tőzeg- és kálisó kutatás, majd új nyersanyagokként a szénhidrogén- és bauxit- kutatásában ért el eredményeket a Földtani Intézet. Az ország területének változása addig

kevésbé perspektivikus területek nyersanyagainak kutatása irányába helyeződött, intenzitása az 50-es évek erőteljes iparosítási időszakában érte el csúcspontját. A prognosztikus készletek felmérése, koncessziós csomagok összeállítása, és egy országos szénhidrogén prognózis elkészítése fémjelezte az ezredfordulót megelőző éveket.

Elengedhetetlenek voltak az anyag, a kőzet, a fluidumok belső szerkezetéig hatoló, azok kémiai összetételét feltáró laboratóriumi vizsgálatok. Az intézeti laboratóriumok és vizsgálati módszereinek bővülése a székházba való költözés (1900) után kezdődött. A műszeres vizsgálatok sajátos ága volt, amikor Budapesten először a Földtani Intézet állított fel szeizmológiai obszervatóriumot az új székház alagsorában. A kőzetek és a vizek, talajok elemzésére adaptált laboratóriumi módszerek és műszerek követték az intézeti fő tevékenység tematikáját, amik a kőzetek fajsúlyvizsgálatától az agyagok és kőszenek minősítésén, a talajok és ásványvizek kémiai összetételének megállapításán át a térképezési programok kőzetmintáinak analitikai elemzéséig terjedtek. A hatvanas évektől kezdve gyors fejlődésnek indultak a nyersanyagkutatást támogató, majd területi geokémiai vizsgálatok. Az utolsó ötven év eredményei a műszerek rohamos korszerűsödésével, a beszerzési lehetőségek változásaival jellemezhetőek. Több területen, mint a termoanalitikai vizsgálatok, az ICP-MS technika, vagy a lumineszcens kormeghatározás geológiai alkalmazásában a Földtani Intézet úttörő szerepet játszott Magyarországon.

A szerzőgázó, de egységbe tartozó kutatási tevékenység eredményeit, az információ virtuális térbe rendezését, az összefüggések, a kölcsönhatások, a tényleges és várható folyamatok modellezését a kor igényeinek megfelelően, a technikai fejlődéssel lépést tartva tette közzé a Földtani Intézet különféle méretarányú, tematikájú, az ország, az egykori ország területét vagy annak parányi szegletét lefedő térképeken. Könyvtárat megtöltő mennyiségű, tudományos értékű könyvben, folyóiratban, kiadványban. Nélkülözhetetlen forrásmunkának tekintendő kéziratos jelentések sokaságában, amire országos adatbázist lehetett építeni. Az Intézet kiadványai egyértelműen nemzeti jellegűek, még akkor is, ha esetleg idegen nyelven is megjelentek. Ezt a megállapítást alátámasztja az, hogy a megjelent cikkek, tanulmányok döntő többsége, a kétségtelen nemzetközi mondanivaló mellett, az ország területére vonatkozó ismeretanyag bővítését szolgálja. A szerzők, kevés kivételtől eltekintve, az Intézet munkatársai. A magyar nyelvű kiadványok az elkötelezett, magas színvonalú szerkesztőségi munka eredményeként hozzájárultak a magyar szaknyelv ápolásához és fejlesztéséhez. A Földtani Intézet Könyvtára az ország legjelentősebb geológiai szakirányú intézménye, ami a korai adományoknak köszönhetően muzeális értékű könyvek tárháza is.

A Földtani Intézet Múzeuma tárhelye a tevékenység kézzel fogható, újra vizsgálható tengernyi dokumentumának, a kőzet-, ásvány- és őslénytani mintáknak. Az ország legnagyobb állományú állami szakgyűjteménye első sorban kutatási célokat szolgál, de története során többször nagyobb hangsúlyt kapott a közönségszolgálati tevékenység, a nyilvános, látogatható múzeumi funkció. A Múzeumnak elkülönített, rendkívül gazdag része a Tudománytörténeti Gyűjtemény.

A tudományos eredmények kulcsa a szakember, akinek tudása szinte egyedinek számít, mert oly kevesen művelik ezt a tevékenységet itthon és külföldön egyaránt. Tudása egyedi és nélkülözhetetlen, mert kutatása a hazai föld megismerésére irányul, megbecsülése nemzeti érdekünk kell, hogy legyen. A Földtani Intézet szakembereinek száma a kezdeti néhány főttől, a történet során több száz főre duzzadt, majd ismét csökkent. Számos kiemelkedő tudású egyéniséget említhetünk, akik hozzáértően és lelkiismeretesen, tudományos elkötelezettséggel végezték megfigyeléseiket, kezelték, értelmezték az adatokat és a levont következtetéseket, és tudományos eredményeket közzétették a felhasználók részére. A Földtani Intézet különleges szaktudást igénylő tevékenysége, szellemi atmoszférája vonzó munkahelyi környezetet kínált. Nagyon sok munkatársának életre szóló szakmai pályát biztosított, és nem voltak ritkák a generációs családi kapcsolatok sem, gondoljunk Böckh Jánosra és fiára Böckh Hugóra, az idősebb és ifjabb Lóczy Lajosra, vagy a három generációs Vogl-Földvári családra.

A Földtani Intézet működése alatt elismert, tevékeny, többször kezdeményező résztvevője volt a földtan nemzetközi eseményeinek. Az 1881-ben Bolognában megrendezett II. Nemzetközi Geológiai

Kongresszuson Hantken Miksa fontos szerepet kapott a földtani térképek jelkulcsának egységesítésében. Lóczy Lajos megszervezte az I. Nemzetközi Agrogeológiai Kongresszust Budapesten (1909). Az átrendeződött világpolitikai viszonyok között került sor a Földtani Intézet centenáriumi rendezvénysorozatára (1969). Kiemelkedő esemény volt az RCMNS VII. (Neogén) Kongresszusa 1985-ben. 2002-ben pedig az Intézetet felvették az Európai Unió földtani szervezete, az EuroGeoSurveys tagjai sorába.

A Földtani Intézet elválaszthatatlan a Semsey Andortól ajándékba kapott, Lechner Ödön tervezte épülettől. A székház, melynek szépsége, egyedi jellege, architektúrájának harmóniája közvetve, közvetlenül megjelent munkáinkban. Ez az épület az Intézet munkatársainak épült már több mint száz évvel ezelőtt, megbecsülve és értékelve azt a tevékenységet, amit az ország, amit mindannyiunk boldogulásához nyújtott kutatómunkáival.

A Földtani Intézet története során, az országban zajlott társadalmi, politikai, gazdasági változások miatt több alkalommal került nehéz helyzetbe. 2012-ben azonban kormányzati intézkedések következtében megszűnt létének folytonossága, megváltozott a neve. Tevékenysége leszűkült, szakember gárdájának egy része új intézményi környezetben folytatja munkáját. Felbomlott az a kutatói közösség, ami szakmai sikereinek egyik záloga volt.

Irodalom

- BABINSZKI E. 2019: 150 éves a Földtani Intézet. – MBFSZ, Budapest, 251 p.
BREZSNYÁNSZKY K. 2002: Szeizmológiai obszervatórium a Földtani Intézetben. – Földtani Közlöny 132/3-4, 449–456.
BREZSNYÁNSZKY K. 2005: A Földtani Intézet tevékenysége és eredményei 1869 és 1900 között. – Földtani Közlöny 135/1, 113–118.
BREZSNYÁNSZKY K. 2012: 143 év – A Magyar Állami Földtani Intézetről (1869–2012). – Földtani Közlöny 142/2, p. 205.
CSÁSZÁR G., HAAS J. szerk. 1983: Magyarország litosztratigráfiai formációi. – MÁFI, Budapest.
FÜLÖP J., TASNÁDI KUBACSKA A. szerk. 1969: 100 éves a Magyar Állami Földtani Intézet. – MÁFI, Budapest, 274 p.
GYALOG L. szerk. 2005: Magyarító Magyarország fedett földtani térképéhez (az egységek rövid leírása) 1:100 000. – MÁFI, Budapest, 188 p.
HÁLA J. szerk. 1994: 125 éves a Magyar Állami Földtani Intézet, Tanulmányok. – MÁFI, Budapest, 180 p.
HÁLA J., MAROS GY. 2000: Art Geo Palota a Stefánián. – MÁFI, Budapest, 102 p.

A természettudományok hercege, a gyakorlati geofizika atyja: Eötvös Loránd

MAGYAR BALÁZS

Magyar Geofizikusok Egyesülete
balazs.magyar@biocentrum.eu

A nemzetközi tudományos gyakorlatban egy tudós számára a legnagyobb megtiszteltetés, szakmai munkájának elismerése, ha nevét a munkásságához kapcsolódó törvényt, effektust, hatást, egységet neveznek el róla. Eötvös Loránd nevét a szakma az Eötvös törvényben, az Eötvös mértékegységben és az Eötvös effektusban örökítette meg, de emberi és szakmai nagyságának elismerését jelenti, hogy róla nevezték el az Alpok egy nehezen elérhető hegycsúcsát, a Holdon krátert, az Eötvös Fizikai Társulat, Eötvös Loránd Tudományegyetem, és nevét őrizte közel 100 éven keresztül Európa első alkalmazott kutatást végző geofizikai Intézete – Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet.

Eötvös Loránd a Magyar Szabadságharc egy évében született Budapesten, a neves politikusnak, reformernek, írónak és államférfinak egyetlen fiúgyermekeként. Az apai segítség, irányítás jelentős

mértékben befolyásolták Eötvös Loránd útját, bár annak valószínűsége, hogy ezen a júliusi napon báró Eötvös József házában egy jövőendő, a haza megbecsülését, elismerését segítő gyakorlati fizikus-geofizikus születik semmilyen valószínűsége sem volt. A nemzeti környezet, az érvényesülés, és egy életút elismertségének ambíciói a fiatal tehetséges gyermekek számára a szülők inkább a politikai pályát jelölték meg életcélként, életútként, ezért Eötvös Loránd életútja ellentmond ezeknek a hagyományoknak. Az iskolai tanulmányok helyszínének megválasztása Eötvös számára sok tekintetben predesztinálta, meghatározta a további életpályát, hiszen egy fiatal fogékony alig 19 éves ember számára Heidelbergben Bunsentől, Kirchhofftól, vagy Helmholtztól tanulni nagy kihívást jelenthetett, annak ellenére, hogy egyik tanárát sem követte valamelyikük speciális kutatási területén, viszont kétségtelen, hogy Heidelbergben sajátította el a precíz kísérletezés művészetét, amely ma is példamutató lehet egy kutató számára.

Itt feltehetünk magunknak három kérdést:

- miért nem lett politikus?
- miért lett Eötvös fizikus és
- miért éppen a Föld mélyének, a Föld erőterének tanulmányozását megismerését célul kitűző szakterületet a geofizikát választó tudós?

Ezekre talán választ leveleiben találhatjuk meg, amelyekben világosan fogalmazza meg céljait:

- ambíció, kötelességérzet, és
- egyéni függetlenség, amelyeket csak úgy találhatok meg, ha tudományos pályára lépek.

Kiváló, további pályáját meghatározó apai segítséget kapott a következő sorokban: „Valóságos megnyugvásomra szolgál, hogy más pályán látlak. Haladj bátran előre, és ne sajnáld fáradságodat. A tudomány körében a legnagyobb erőfeszítés eléri jutalmát, mert az nem az emberektől várja, hanem magában a tudományban találja meg”.

Eötvös Loránd számára a tudományos munka jutalma valóban mindig a tudomány maradt.

Amikor a feltett kérdésekre keressük a választ, akkor az első kérdésre talán az előbbieken leírt apai segítség lehet a jó válasz.

A második kérdésre a választ a fizika XIX. századi helyzete adja, amelyben a legjelentősebb tudósok úgy ítélték meg, hogy a fizika elérte a tudományos határait, és már „nincs semmi új a nap alatt”, ezért a metafizika irányába fordult az elméleti fizika. Apja helyesen látva fogalmaz meg fia számára ismét egy célt, a természet fokozottabb megismerését az „indukció és az experimentum” útja fogja segíteni. Apja nem ért egyet egy Északi sarki expedícióban való részvétellel, így arról lemond, viszont megerősíti vágyát, hogy kutatásának tárgya a FÖLD és ezen belül a gravitáció legyen, hiszen egy fiatal a természetet szerető fiatal számára a gravitáció adta a legtöbb megválaszolatlan kérdést, amelyet a következőképpen fogalmazott meg: „nem azt kértem, hogy rejtett kincseket mutasson, arra sem, hogy ellenségeinket, ha vannak megjelölje, csak azt kívántam tőle, hogy engedjen bepillantani annak az erőnek a rejtélyeibe, amely a Földön mindent mozgat, mindennek kijelöli a helyét”.

És ezen kíváncsiságban eljutunk a következő óhajához, amelyet a következőképpen fogalmazza meg: „Azzal a kíváncsisággal, mellyel az utazó ismeretlen vidékre jutván, annak hegyeit és völgyeit kutatva jártam én is a Balatonon. Az én ismeretlen vidékem ott feküdt mélyen a jég tükre alatt, nem láttam, és nem fogom látni soha, csak eszközöm érezte meg” folytatva később gondolatait Amikor onnét eljöttem, s különösen amikor megfigyelésem adatait rendezve az ilyen nemű kutatások helyességéről meggyőződtem, akkor egy új és nagyobb vállalkozás terve érlelődött meg agyamban, Itt lábaink alatt terjed el a hegyek koszorújától övezve az Alföld rónasága.

A nehézség az lesimítván kedve szerint formálta felületét. Vajon milyen alakot adott neki? Micsoda hegyeket temetett el és mélységeket töltött ki lazább anyaggal.....Amíg rajta járok, amíg kenyerét eszem erre szeretnék még megfelelni”.

Ezen gondolatok megfogalmazásakor már nélkülözötte az apai segítséget, iránymutatást, mivel apja Bárá Eötvös József 1871-ben, amikor Eötvös Loránd 23 éves volt, meghalt, viszont megélhette, hogy fia 22 évesen Summa Cum Laude doktorált és az Akadémia levelező tagja lett.

Ezen gondolatok menetét, mélységét vizsgálva kapjuk meg az „Eötvösi kutatás hagyományokra” a legteljesebb választ, fokozatosan közelítve szakmai konklúziójához: „Végre is meg kell tehát nyugodnunk abban, hogy a tudomány nem adja a természeti tüneményeknek feltétlenül igaz magyarázatát, hanem csak közelebb vezet ahhoz a határhoz, ahol a megfoghatatlan kezdődik”.

Ezek a gondolatok a reformkori Magyarországon számtalan ellenzőt, de egyúttal tisztelő segítő elismerést is jelentettek. Egyetemi tanárként 30 évig vezeti a kísérleti Fizikai Tanszéket, megalakította a szakmai véleménycserét a „gondolat szárnyalását” segítő Természettudományi Társulatot, amelynek 1880-tól Elnöke, az M.Tud. Akadémiának pedig 1889-től 16 éven keresztül elnöke.

Ebben a félévszázados munkában Eötvös Loránd nem egy „elefántcsonttoronyba” zárkózó kutató volt, hanem egyszerre tudós, pedagógus, tudományszervező, a tudomány népszerűsítője, a természeti értékeket tisztelő kutatója. 40 éven keresztül járta az Alpok csúcsait, mintha a tudomány által megfogalmazott kihívásokra kereste volna a választ a legyőzhetetlennek hitt hegycsúcsok meghódításában. Sokoldalúságát mutatja az is, hogy sokoldalú szakmai tevékenysége mellett a Magyar Turista Egyesület alapítója, több éven keresztül Elnöke is volt.

Mit hagyott Eötvös Loránd az utókorra számunkra a munkáját tisztelő, emberi nagyságát elismerő utódokra; talán a következő mozaikokból rakhatjuk össze a választ:

— Eötvös a nagy igazságok embere, amely igazságokat nem, mint téziseket nyújtja, hanem az észlelt jelenségekből hüvelykezi ki. Előadásait mélyreható analizáló szellem hatja át. A természeti tüneményeket a bennük megnyilatkozó hatók elemeire bontja szét... Tanítványait a fogalmaknak, gondolatoknak és törvényeknek legutolsó már nem elemezhető részeit vezesse el, ... mondta róla egy közvetlen tanítványa (Mikola Sándor)

— Eötvös megteremtette számunkra kutatók számára az ún. Eötvösi hagyományokat, amelyek a tudományos eredmények kísérleti tézisekkel történő megalapozásával megkeresi a folyamatok magyarázatát a természeti törvények leírásával, ezután létrehozva, és gyakorlati, terepi mérésekkel igazolja az elmélet és gyakorlat általa feltárt egyezőségét, és ezt a tudományos eredményt igyekszik kiterjeszteni konkrét kutatási feladatok megoldására. Tehát a kutatások nem egy öncélú, hanem a természetet megismerő, a gazdasági lehetőségeket feltáró tudomány alapjait jelentik. Így került sor 1891-ben a Celldömölk melletti Ság hegyi mérésekre, a Balaton jegén 1901–1903 között végzett munkákra, majd az első Egbell környékén eredményes szénhidrogén Kutató mérésekre. Így egyik megalapozója és kulcsembere lett az ún. tudományos-technikai iparnak, amelyet a mai szóhasználatban talán egyetlen szóval „innovációnak” nevezhetünk.

Kiváló gondolatokat fogalmaz meg, és a mai kutatás számára is utat jelölnek meg több, mint 100 évvel ezelőtt elhangzott csodálatos gondolatai: „Arra törekszünk valamennyien, hogy tudósokká váljunk és tudósok maradjunk, mert erős a meggyőződésünk, hogy az iskola, amelynek életünket szenteltük, csak abban az irányban javulhat a technikai ipar, melynek meghonosításán fáradozunk, csak abban az arányban fejlődik, amelyben a tudományok színvonalát magasabbra emelni bírjuk”.

Legyen ez az emléktábla ezen gondolatok őrzésének jelképe, ha haza és a tudományos haladás kötelező összhangjának napjainkat meghatározó érvényű feladatai és mindnyájunk számára egy olyan sikeres életút modellje, amelyre büszkék és elkötelezett követők kell, hogy legyünk.

Irodalom:

Szerk. FRÖHLICH Izidor MTA 1930: Bárá Eötvös Loránd Emlékkönyv
Eötvös Loránd a tudós és művelődéspolitikus írásaiból gondolat 1964.
M. ZEMPLÉN Jolán – EGYED László: Eötvös Loránd: Akadémiai kiadó 1970.

A Balaton-felvidék földtana

BUDAI TAMÁS

Magyarhoni Földtani Társulatt
budai.tamas@mbfsz.gov.hu

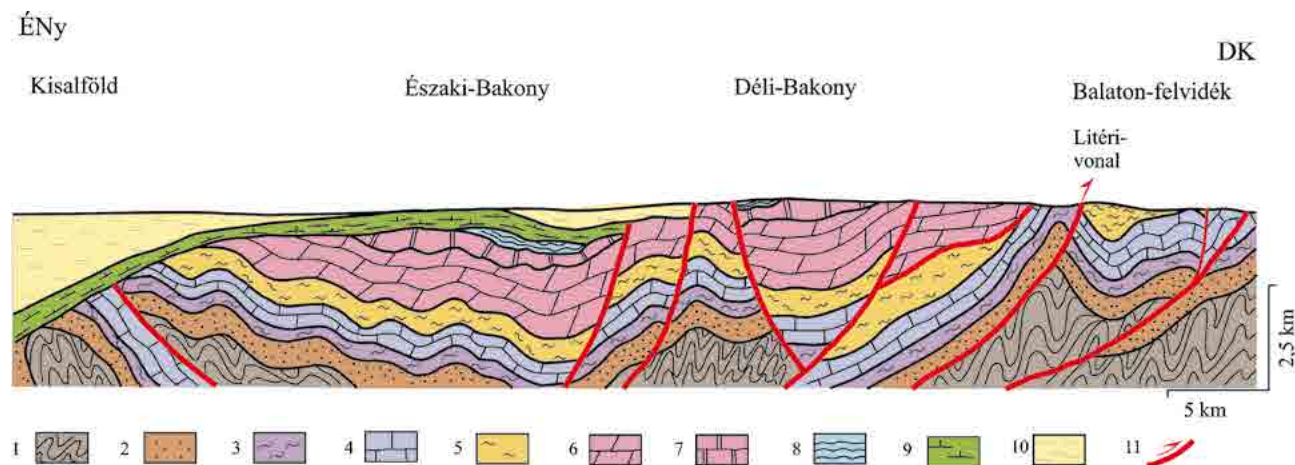
A Bakony (és azon belül a Balaton-felvidék) első rendszeres földtani térképezését a bécsi földtani intézet geológusai végezték el 1860–61 során. A felvételezés eredményeként született meg az első földtani térkép a területről 1: 596 000-es méretarányban (HAUER 1870).

A Magyar Királyi Földtani Intézet 1869-ben történt megalapításával a korábbinál részletesebb földtani térképezés kezdődött az ország területén, amelynek az egyik első célterülete a Bakony volt (БӨКН 1872, 1874). A felvételezés eredményeként készült el Magyarország dunántúli kerületének részletes földtani térképe 1:144 000-es méretarányban (БӨКН 1881).

A Balaton-felvidék földtani kutatásának legjelentősebb állomása a „Balaton monográfia” megszületése volt. Id. Lóczy Lajos 1913-ban jelentette meg „A Balaton környékének geológiai képződményei és ezeknek vidékek szerinti telepedése” című korszakalkotó munkáját, amelyhez geológiai és négy paleontológiai függelék kötet, valamint 1:75 000-es méretarányú részletes geológiai térkép csatlakozik (Lóczy 1920).

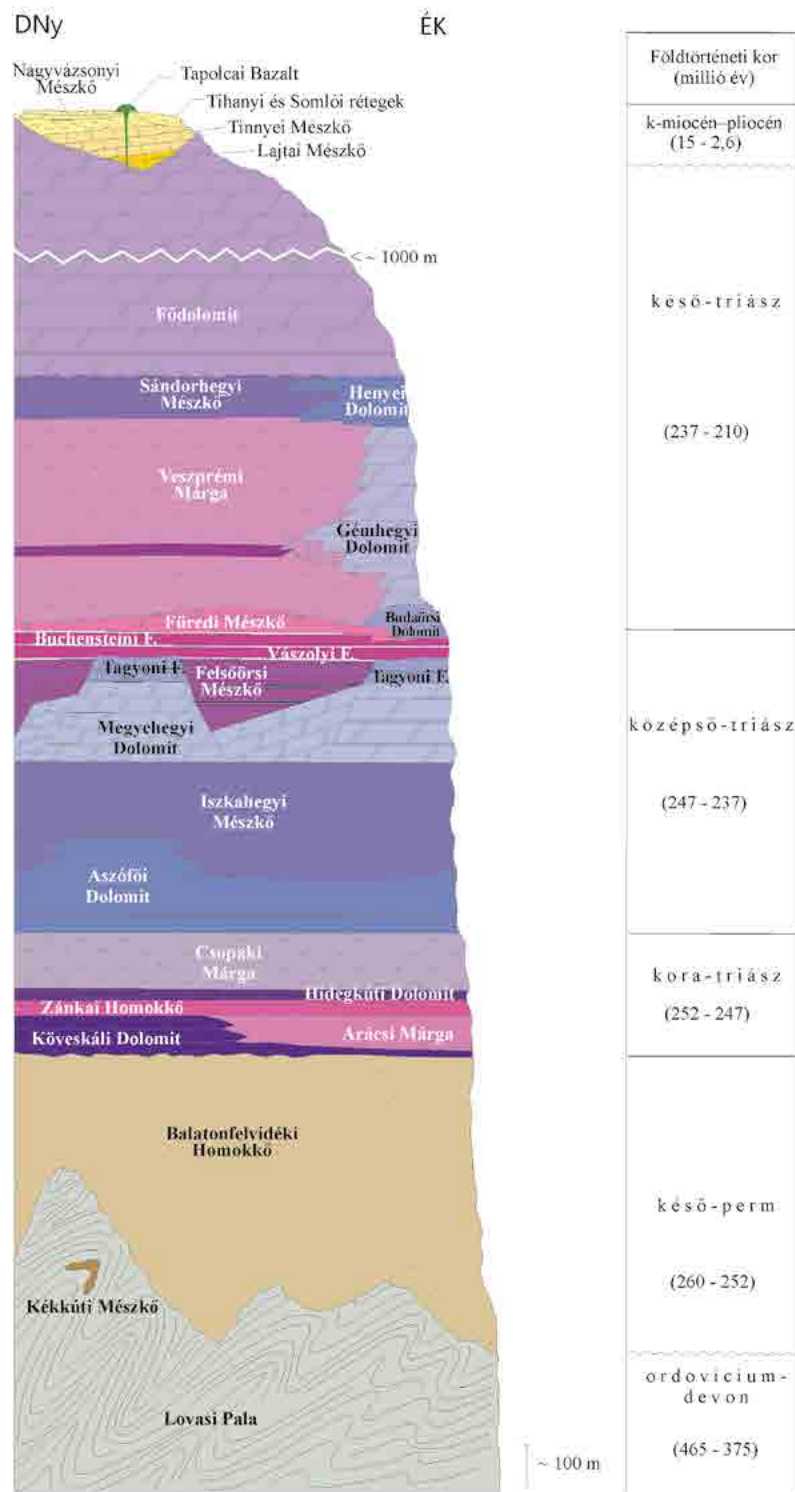
A Balaton-felvidék legutóbbi rendszeres földtani felvételezése a Magyar Állami Földtani Intézet regionális térképezési programjának keretében, 1:10 000-es méretarányban zajlott 1982–1990 között. Ennek eredményeként jelent meg nyomtatásban a Balaton-felvidék 1:50 000-es méretarányú tájegységi földtani térképe és az ahhoz tartozó térképmagyarázó (BUDAI et al. 1999a, b).

A Balaton-felvidék a Dunántúli-középhegység szinklinális szerkezetének déli szárnyát alkotja (1. ábra), ahol a hegység legidősebb képződményei bukkannak felszínre.



1. ábra A Balaton-felvidék szerkezeti helyzete a bakonyi szinklinális DK-i szárnyán (BUDAI et al. 2002). 1. gyűrt variszkuszi aljzat; 2. felső-perm homokkő; 3. alsó-triász képződmények; 4. középső-triász képződmények; 5. karni márga; 6. Fődolomit; 7. Dachsteini Mészkő; 8. kura-alsó-kréta képződmények; 9. felső-kréta képződmények; 10. kainozoos képződmények; 11. feltolódás

A variszkuszi tektonikai ciklus képződményeit nagyon kis metamorf fokú, ordóvícium–devon korú agyagpala képviseli (Lovasi F.), amely Révfülöp és Kővágóörs, valamint Lovas és Balatonalmádi között bukkannak felszínre. Benne helyenként savanyú, neutrális vagy bázisos metavulkanit, illetve pelágikus medence kifejlődésű mészkő települ.



2. ábra. A Balaton-felvidék elvi rétegoszlopa (BUDAI et al. 1999a, 2002 nyomán)

A Balaton-felvidék földtani felépítésében meghatározó jelentőségű perm–triász képződményegyüttes az alpi tektonikai ciklus korai, a Neotethys riftesedési szakaszát képviseli (2. ábra). Ennek kezdőtagja a több száz méter vastag felső-permi folyóvízi kifejlődésű molassz (Balatonfelvidéki Homokkő), amely jelentős üledékhézaggal települ az variszkuszi aljzatra. A perm-triász határán lezajlott euszatikus tengerszint-emelkedés nyomán sekélytengeri rámpa jött létre a Neotethys selfjén. A kora-triász során kezdetben belső-self kifejlődésű dolomít (Köveskáli F.), illetve márga és mészko (Arácsi F.), majd homokkő (Zánkai T.) és dolomít (Hidegkúti T.), végül nyílt selfen lerakódott márga képződött (Csopaki F.). A törmelék-beáramlás ezt követően megszűnt, és több száz méter vastag sekélytengeri karbonátösszlet rakódott le a középső-triász korai szakaszában (Aszófői Dolomít, Iszkahegyi Mészko, Megyehegyi Dolomít). Az anisusi korszak közepén a Neotethys riftesedését kísérő extenziós tektonika hatására a karbonátos sekélytengeri rámpa szétdarabolódott. A megsüllyedt területeken félárokserű hemipelágikus medencék (Felsőörsi Mészko), míg a kiemelt helyzetben maradt területeken sekélytengeri karbonátplatformok jöttek létre (Tagyoni F.). A tengerszint emelkedése nyomán az anisusi közepén felnyílt medencék tovább mélyültek a ladin során, amelyben vulkanit (Vászolyi F.), pelágikus karbonátösszlet és radiolarit rakódott le (Buchensteini F.).

A ladin végén a platformok (Budaörsi Dolomít) területe lényegesen kiterjedt a medencék rovására, amelyekben a platformokról átülededett mészszipa lerakódása zajlott (Fűredi Mészko). A középső-triászban kialakult medencék a késő-triász karni korszakában töltődtek fel. A csapadékos éghajlaton jelentős mennyiségű finomszemcsés törmelék szállítódott a medencékbe, ahol több száz méter vastag márga rakódott le (Veszprémi F.).

A medencék feltöltődésével párhuzamosan az azokat környékező platformok (Gémhegyi Dolomit) folyamatosan épültek, majd a karni közepén egyre jobban előrenyomultak a fokozatosan sekélyebbé váló medencék felé (Sándorhegyi F.). A medencék végső feltöltődése nyomán nagy kiterjedésű sekélytengeri árapálysíkság jött létre a karni késői szakaszában a Neotethys selfjén, ahol mintegy 1,5 km vastag dolomitösszlet képződött a nori közepéig (Földolomit).

A Balaton-felvidék területén az üledékképződés ezt követően a kréta közepéig, Dunántúli-középhegység szinklinális szerkezetének kialakulásáig valószínűsíthető (a Bakonyhoz hasonlóan). A kréta gyűrődések során a bakonyi szinklinális kompressziós hatásoknak leginkább kitett Balaton-felvidéki szárnyán átbuktatott redők és DK-i vergenciájú áttolódások jöttek létre, amelyek mentén az idősebb (perm–középső-triász) képződmények felső-triász rétegekre tolódtak (Litéri- és Veszprémi-feltolódás). A szinklinális szárnyain a fiatal mezozoos rétegsor lepusztult az erőteljes emelkedés nyomán, a denudáció a kréta közepén és a késő-krétában, valamint a paleogén és a kora-miocén során zajlott.

A Balaton-felvidék területén a következő, rétegsorral igazolt üledékképződési ciklus a miocén medencék felnyílásához köthető. Az üledékképződést a törmelékes képződmények dominanciája jellemzi, de a medenceperemeken jelentős elterjedésűek a sekélytengeri karbonátok is (Lajtai és Tinnyei Mészkö), elsősorban a Tapolcai-medencében, valamint Zánka és Balatonudvari között.

A késő-miocénben intenzív süllyedésnek indult Pannon-medencén belül a Dunántúli-középhegység relatíve kiemelt helyzetben volt. Ennek megfelelően a Balaton-felvidék déli előterében hegységperemi kifejlődésű üledékek rakódtak le (Tihanyi, Somlói és Kállai Formáció), míg a triász vonulatok közötti sekély medencéket (Vigántpetendi-medence, Nagyvázsonyi-medence) lagúna fáciesű rétegsor töltötte ki (Taliándörögdi Marga, Nagyvázsonyi Mészkö).

Az alpi hegységképződési ciklus utolsó szakaszában intenzív bazaltvulkanizmus játszódott a Balaton-felvidéken. A vulkáni működés korai szakasza kis tömegű piroklasztitot és lávakövetet szolgáltatott, majd ezt követően indult meg a gőzrobbanásos (freatomagmás explóziós) vulkanizmus, kb. 8 millió évvel ezelőtt. A késő-pliocénben a kiömlési (effuzív) vulkáni működés volt jellemző, amelyet stromboli típusú, salakot szolgáltató kitörés zárt le.

A fokozatosan feltöltődő pannóniai üledékgyűjtő helyén létrejött szárazulaton a kvarter során alakult ki a Balaton-felvidék mai felszíne. Ezt az időszakot a lepusztulás jellemezte, amelynek során kialakultak a hegyvonulatok és a közöttük húzódó medencesorok, völgyek vágódtak be. A pleisztocén periglaciális képződménye a helyenként 10–15 méteres vastagságban lerakódott lösz, míg a hegyvonulatokat átvágó völgyek torkolatánál a patakok által lerakott hordalékkúpok képződtek és képződnek ma is.

Irodalom

- BÖCKH J. 1872: A Bakony déli részének földtani viszonyai. I. — A Magyar Királyi Földtani Intézet Évkönyve 2/2, 31–166.
- BÖCKH J. 1874: A Bakony déli részének földtani viszonyai. II. — A Magyar Királyi Földtani Intézet Évkönyve 3/1, 1–155.
- BÖCKH J. 1881: Magyarország dunántúli kerületének részletes földtani térképe, E.9-es lap (Nagyvázsony). M=1: 144 000. — A Magyar Királyi Földtani Intézet kiadványa, Budapest.
- BUDAI T., CSILLAG G., DUDKO A. & KOLOSZÁR L. 1999a: A Balaton-felvidék földtani térképe, 1:50 000. — A Magyar Állami Földtani Intézet kiadványa, Budapest.
- BUDAI T., CSÁSZÁR G., CSILLAG G., DUDKO A., KOLOSZÁR L. & MAJOROS Gy. 1999b: A Balaton-felvidék földtana. Magyarázó a Balaton-felvidék földtani térképéhez, 1:50 000. A Magyar Állami Földtani Intézet Alkalmi Kiadványa, Budapest 197, 257 p.
- BUDAI T., CSILLAG G., KOLOSZÁR L., MÜLLER P. & NÉMETH K. 2002: A Balaton-felvidék. — Geológiai kirándulások I. — Veszprém, 101 p.
- HAAS J, BUDAI T., CSONTOS L., FODOR L. & KONRÁD Gy. 2010: Magyarország pre-kainozoos földtani térképe, 1:500 000. — A Magyar Állami Földtani Intézet Alkalmi Kiadványa, Budapest.
- HAUER, F. 1870: Geologische Uebersichts-karte der österreichisch-ungarischen Monarchie. — Jahrbuch k.k. Geologischen Reichsanstalt 20/4, 463–500.
- LÓCZY L. id. 1913: A Balaton környékének geológiai képződményei és ezeknek vidékek szerinti telepedése. A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei, I/I., 617 p.
- LÓCZY L. id. 1920: A Balaton-tó környékének részletes geológiai térképe. M= 1: 75 000. — A Magyar Királyi Földtani Intézet kiadványa, Budapest.

A Balaton üledékének kutatása

PÓSFAI MIHÁLY¹, MOLNÁR ZSOMBOR¹, ROSTÁSI ÁGNES¹, FODOR MELINDA¹, CSERNY TIBOR²

¹Pannon Egyetem, Környezettudományi Intézet

²Magyarhoni Földtani Társulat

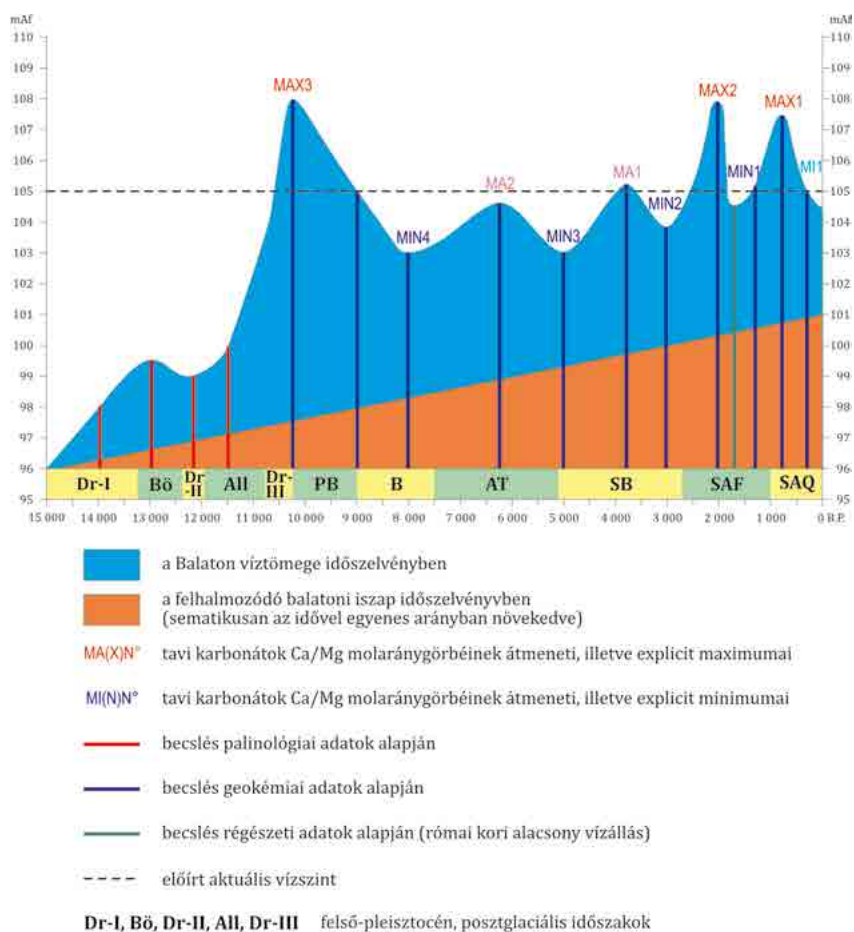
mihaly.posfai@gmail.com

A Balaton és környékének földtanával már 1891 óta intenzíven foglalkozik a földtudomány. A tó üledékét fúrásokkal és geofizikai módszerekkel is több kutatási program keretében vizsgálták, az adott kor lehetőségeinek megfelelő módszerekkel (LÓCZY 1913; MÜLLER & WAGNER 1978; CSERNY 1991, 2002). E munkák nyomán néhány alapvető tény közismertnek tekinthető: például, hogy a Balaton üledékének túlnyomó részét a vízből kivált, finomszemcsés, Mg-tartalmú kalcit alkotja; hogy az üledék szemcsemérete az uralkodó északi szélnek köszönhetően a déli part mentén durvább (homok frakció), mint az északi oldalon és a tó közepén (kőzetliszt frakció); hogy a Balaton több különálló tórész kialakulásával mintegy 15 ezer éve jött létre; hogy a Balaton természetes vízállása akár 4–5 méteres ingadozást mutatott, ami a mainál max. 2,5-szer nagyobb vízfelületet eredményezett; és hogy a víz minősége is széles spektrumban (oligotróf–eutróf között) váltakozott. A több évtizedet átfogó, alapos kutatások ellenére, — illetve épp azok eredményeiből következően — azonban még ma is vannak megválaszolatlan kérdések a Balaton egységes vízborításának kialakulásával és üledékével kapcsolatban is.

A geokémiai eredmények szerint a késő-pleisztocén és a holocén határán (kb. 10 200 év BP) a hőmérséklet-emelkedés és a csapadékmennyiség növekedésének hatására a még külön életet élő részmedencékben jelentős vízszintemelkedés zajlott le, és feltételezhetően már ekkor kialakult az egységes Balaton. Hidrológus szakemberek az ún. „holocén klímaoptimum”-ra (7500–5100 év BP) datálják a részmedencék egyesülését, ami további nagy hőmérséklet- és csapadékmennyiség-növekedés hatására következett be. A paleontológiai eredmények alapján a hőmérséklet csökkenése és az éghajlat csapadékosabbá válásának eredményeként a tavacskákat elválasztó gátak megszűnését, így az egységes vízfelület kialakulását 5100 év BP-re helyezik. Ugyanakkor az ásványtani, geokémiai és régészeti adatok erre az időpontra alacsony vízállást mutattak ki, erősen kétségessé téve a részmedencék ebben az időben történő egyesülését.

Hidrológiai számítások szerint a Balaton 106,5–107,5 m A. f. vízszintnél került természetes hidrológiai egyensúlyba. Az ettől eltérő, a mainál magasabb szintek csak mesterséges beavatkozások eredményeként (pl. népvándorlások, a kelta invázió, a mongolok betörése és a török uralom korában), vagy neotektonikai, differenciált mozgások következtében alakulhattak ki. A Balaton átlagos vízszintjének ingadozása palinológiai, geokémiai és régészeti adatok figyelembevételével az 1. ábrán (TULLNER 2002) látható. Az ábrán egy átlagos iszap-felhalmozódási sebesség (0,36 mm/év) jól szemlélteti, hogy a vízszint és a vízmélység növekedésének mértéke eltér egymástól.

A Pannon Egyetem Környezeti Ásványtan Kutatócsoportja elsősorban a tóban képződő karbonátásványok kiválási mechanizmusát és a feltételezett balatoni dolomitképződést vizsgálja. Korábbi munkáinkban az üledék felső 50 cm-ében vizsgáltuk a karbonátokat (TOMPA et al. 2014), majd a 2000-es években, részben 2012 és 2015 között gyűjtött mintákban, melyeket a Balaton több, mint 30 pontjáról vettünk. Több korábbi eredménnyel (MÜLLER & WAGNER 1978, TULLNER 2002) összhangban megállapítottuk, hogy a tóban képződő kalcit Mg-tartalma Ny-ról K felé nő, a víz oldott Mg/Ca arányának növekedésével párhuzamosan. Szintén kimutattuk, hogy az üledék felső rétegeiben lévő dolomit valószínűleg két különböző forrásból származik: részben allochton eredetű (sztöchiometrikus összetételre utaló cellaparaméterekkel), részben azonban a tóvíz kémiai összetételével párhuzamosítható, Ca-gazdag összetételre utaló cellaparaméterekkel rendelkezik.

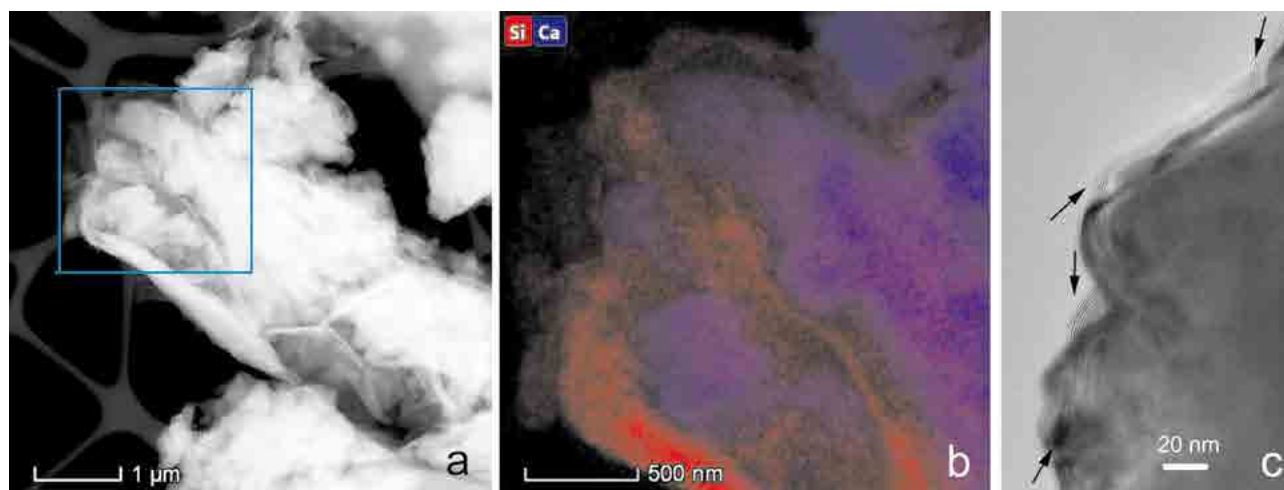


1. ábra. A Balaton átlagos vízszintjének ingadozása története folyamán palinológiai, geokémiai és irodalmi régészeti adatok alapján (103 m A.f. minimális és 108 m A.f. maximális szintet feltételezve)

Mivel fő célunk a karbonátkicsapódás vizsgálata volt, a továbbiakban nem az üledékből, hanem a lebegőanyagból vettünk mintákat, mind a Balaton különböző pontjairól, mind a fő befolyókból és a Sióból. 2016/17 telén, annak érdekében, hogy a szél általi újbóli felkeveredést elkerüljük, a Keleti-medencében elhelyezett három üledékcspával a jég alatt is gyűjtöttünk ülepedő anyagot. A mintavétellel párhuzamosan meghatároztuk a víz fizikai és kémiai paramétereit. A szilárd mintákat röntgen-pordiffrakciós (XRD), pásztázó, transzmissziós és pásztázó transzmissziós elektronmikroszkópos (SEM, TEM, ill. STEM) módszerekkel elemeztük, a szemcsék összetételét energiadiszperzív röntgenspektrometria (EDS) alkalmazásával vizsgáltuk.

A Balatonban kiváló Mg-tartalmú kalciumszemcsék jellegzetes alakúak és méretűek: kb. 2 μm szélesek, 4–8 μm hosszúak, és néhányszor 10 nm méretű nanokristályok aggregátumainak tűnnek. A szemcsealak és -méret sem a földrajzi helytől, sem az évszaktól nem függ, és az évtizedekkel korábbi tanulmányok SEM felvételein is hasonló szemcsék láthatók (MÜLLER & WAGNER 1978, CSERNY et al. 1991). Az egyes szemcsékről készült elektrondiffrakciós felvételek szerint az aggregátumnak tűnő szemcsék tökéletes egykristályok. A jellegzetes és állandó morfológia valamilyen, a kristálycsíra-képződést és kristálynövekedést szabályozó mechanizmus jelenlétére utal. Ilyen mechanizmus lehet a heterogén nukleáció: ha valamilyen idegen felületen válik ki a kalcit, akkor a sablon meghatározhatja a kristályok orientációját, habitusát is. Több tanulmány szerint tavakban és tengerekben a kalcitkiválás számára a heterogén felületet pikoplankton sejtek biztosítják (DITTRICH & OBST 2004), a képződő kristályok ezeket kérgezik be. A Balaton esetében azonban nem találtunk sejteket a kalciumszemcsékben.

Ezzel szemben a balatoni kalcit szemcsékre általánosan jellemző, hogy agyagásvánnyal összetapadva fordulnak elő (NYIRŐ-KÓSA et al. 2018). Legfeljebb néhányszor tíz nm-es vastagságú, rendezetlen, hullámos agyag „pelyhek” borítják a kalcitkristályokat (2. ábra). Összetételük, valamint a nagyfelbontású TEM felvételeken mért 10 és 24 Å közötti rétegtávolságok alapján az agyagásványokat Mg- és Fe-tartalmú szmektitként azonosítottuk. Felmerül a kérdés, hogy a szmektit pelyheken, mint heterogén felületeken képződtek-e a Mg-kalcit kristálycsírái, vagy a homogén nukleációval kivált kalcit koagulált a vízben lebegő agyaggal. E kérdés eldöntésére molekuladinamikai számításokat és laboratóriumi kísérleteket végeztünk.



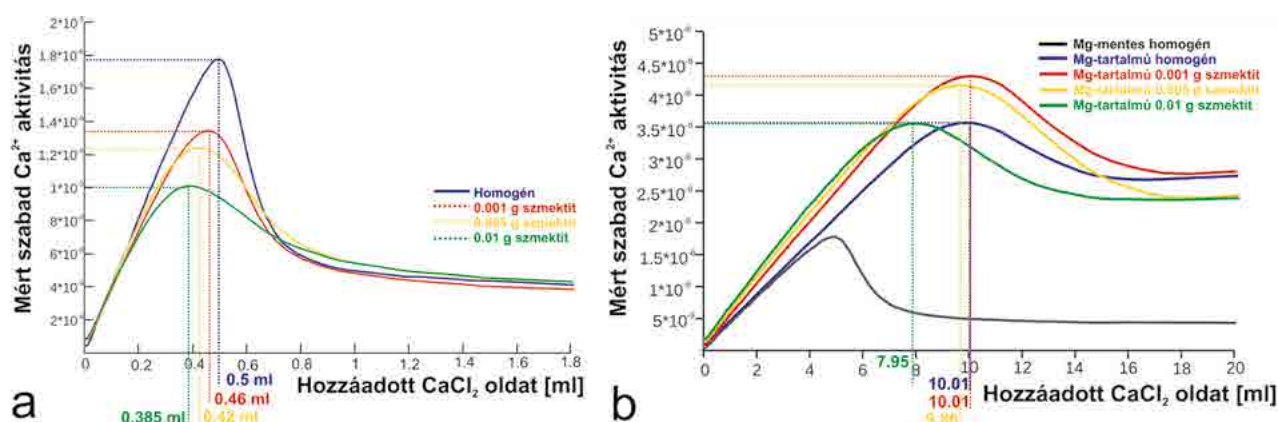
2. ábra. (a) STEM sötét látóterű felvétel Mg-tartalmú kalcit és szmektit aggregátumáról; (b) EDS alapján készült elem térkép, amely a Ca és Si eloszlását mutatja az (a) ábra bekeretezett területén. (c) Négy rétegből álló agyagásvány-lepel (nyilakkal jelölve), amely egy kalcitkristály felszínét borítja.

A Balaton oldatösszetételéhez hasonló, 2 millió atomot tartalmazó modell-oldatban lejátszódó ionasszociációs folyamatokat szimuláltuk molekuladinamikai számításokkal, 30 ns időtartamig. A „prenukleációs klaszterek” (GEBAUER et al. 2018) képződését homogén (azaz agyagásvány-mentes) oldatban, valamint montmorillonit- és kaolinitrétegek közötti oldatokban is modelleztük. A számítások több érdekes eredményre is vezettek: (1) a legtöbb klaszter a homogén oldatban képződik, nem a felületeken; (2) azonban az oldatból a klaszterek hatékonyan adszorbeálódnak a montmorillonit felületén (szemben a kaolinnal); (3) ha a Ca-hoz hasonló koncentrációban Na-ot is tartalmazott az oldat, akkor a Na megakadályozta a klaszterek „lehorgonyozását” az ásvány felületére — azaz a montmorillonit kiváló heterogén felület a kalcitképződéshez, de csakis édesvízben.

A laboratóriumi kísérletekben CO_3^{2-} -tartalmú oldathoz CaCl_2 -t adagoltunk, miközben a szabad Ca^{2+} -tartalmat ionszelektív elektródával mértük. A Ca-koncentráció a titrálás során növekszik, majd a CaCO_3 kiválásával hirtelen csökkenni kezd, és az egyensúly beállta után nem változik (3. ábra). Agyag-mentes oldattal és montmorillonit jelenlétében (három különböző agyagmennyiséggel), csak oldott Ca-ot illetve Ca-ot és Mg-ot is tartalmazó oldatokkal is elvégeztük a kísérletet. A Mg-mentes oldatok esetében az agyagásvány jelenlétében egyértelműen korábban (azaz kisebb hozzáadott Ca-tartalomnál) kezdődött meg a karbonátkiválás, mint a homogén oldat esetében. A Mg-tartalmú oldatokból jóval nagyobb túltelítettség mellett indult meg a kiválás, de a nagyobb agyagmennyiség ebben az esetben is kisebb telítettségénél bekövetkező karbonátkiválást eredményezett, mint a homogén oldat esetében.

A természetes rendszeren megfigyelt agyagásvány–kalcit asszociációval kapcsolatban tehát mind a molekuladinamikai számítások, mind a laborkísérletek arra utalnak, hogy a szmektit agyagásványok

valóban heterogén felületet biztosítanak a balatoni kalcitcsírák kiválásához, és valószínűleg ezzel befolyásolják a képződő szemcsék alakját, méretét, egykristály jellegét is.



3. ábra. Laboratóriumi karbonátkiválasztás eredménye kétféle, (a) csak Ca-ot, (b) Mg-ot és Ca-ot is tartalmazó oldatból, homogén esetben és három különböző montmorillonit-mennyiség mellett

A Balatonban korábbi munkák kimutatták a „protodolomit” jelenlétét (MÜLLER & WAGNER 1978, CSERNY et al. 1991). A Keleti-medence finom szemcsefrakciójának XRD felvételeiben a dolomit 10⁴ csúcsának eltolódását észleltük a nagyobb d-értékek felé (TOMPA et al. 2014), és ezt a Ca-nak a sztöchiometrikus értéknél nagyobb arányával magyaráztuk. A 2016/17-es lebegőanyag-mintákban szintén a Keleti-medence egyes mintáiban a dolomit 10⁴ csúcs két maximummal rendelkezik (ROSTÁSI et al. 2019). Mindezek a megfigyelések felvetik azt a lehetőséget, hogy a Keleti-medencében előforduló, „anomális” dolomit közvetlenül a tóban képződött. A legújabb TEM vizsgálataink ezt a feltevést alátámasztják, mivel a jellegzetes Mg-tartalmú kalcitszemcsék között is találtunk olyanokat, amelyek néhány nm-es területeken szigetszerűen rendezett (azaz a Ca- és Mg-ionok dolomitszerű rendezettségét mutató), dolomitként értékelhető egységeket tartalmaznak. Ezek szerint a nagyobb oldott Mg/Ca aránnyal jellemezhető időszakokban (és elsősorban a „töményebb” vizű Keleti-medencében) kis mennyiségben a kalcittal együtt rendezett dolomit is kiválhat a Balatonból.

A kutatást az NKFIH K116732 és PD121088 számú projektje támogatta. Az elektronmikroszkópos mérések a Pannon Egyetem Elektronmikroszkópos Laboratóriumában készültek, amelynek létrehozását a GINOP-2.3.3-15-2016-0009 számú program tette lehetővé.

Irodalom

- CSERNY T. 2002: A balatoni negyedidőszaki üledékek kutatási eredményei. — Földtani Közlöny 132, 193–213.
- CSERNY T., FÖLDVÁRI M., IKRÉNYI K., NAGYNÉ BODOR E., HAJÓS M., SZUROMINÉ KORECZ A., WOJNÁROVITS L.-NÉ 1991: A Balaton aljzatába mélyített Tő-24. számú fúrás földtani vizsgálatának eredményei. — MÁFI Évi Jelentése az 1989. évről, 177–239.
- DITTRICH, M. & OBST, M. 2004: Are picoplankton responsible for calcite precipitation in lakes? — *Ambio* 33, 559–564.
- GEBAUER, D., RAITERI, P., GALE, J. D. & CÖLFEN, H. 2018: On classical and non-classical views of nucleation. — *American Journal of Science* 318, 969–988.
- LÓCZY L. 1913: A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei. — Magyar Királyi Földrajzi Társaság, 617 p.
- MÜLLER, G. & WAGNER, F. 1978: Holocene carbonate evolution in Lake Balaton (Hungary): a response to climate and the impact of man. — *Special Publications of the International Association of Sedimentologists* 2, 57–81.
- NYIRŐ-KÓSA, I., ROSTÁSI, Á., BEREZSK-TOMPA, É., CORA, I., KOBLAR, M., KOVÁCS, A., PÓSFAL, M. 2018: Nucleation and growth of Mg-bearing calcite in a shallow, calcareous lake. — *Earth and Planetary Science Letters* 496, 20–28.
- ROSTÁSI, Á. et al. 2019: A Balaton üledékképződésének ásványmérlege. Földtani és Geofizikai Vándorgyűlés, Balatonfüred (jelen kötet).
- TOMPA, É., NYIRŐ-KÓSA, I., ROSTÁSI, Á., CSERNY, T., PÓSFAL, M. 2014: Distribution and composition of Mg-calcite and dolomite in the water and sediments of Lake Balaton. — *Central European Geology* 57, 113–136.
- TULLNER, T. 2002: A Balaton vízszintváltozásai földtudományi adatbázisának térinformatikai feldolgozása. — PhD dolgozat, ELTE, 142 p.

Szeizmikus kutatások a Balatonon: az elmúlt három évtized balatoni vízi szeizmikus kutatásai az ELTE–GEOMEGA szemszögéből

VISNOVITZ FERENC¹, † HORVÁTH FERENC^{1,2}, HÁMORI ZOLTÁN², TÓTH TAMÁS²

¹ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék

²GEOMEGA Földtani és Környezetvédelmi Kutató-Szolgáltató Kft.

visnovitz.ferenc@gmail.com

A Balaton földtani kutatásai mögött egy folyamatosan bővülő és rendkívül részletgazdag szeizmikus adatrendszer áll, amely alapján a tavi üledékek valamint a tó alatt maximálisan néhány 100 m mélységig települő „prebalatoni” (elsősorban felső-miocén) rétegek ismerhetők meg. Míg a tó közvetlen környezetének szeizmikus leképezésére az egyre növekvő beépítettség és a nagy gépjármű forgalommal rendelkező utak és autópályák miatt egyre kevésbé nyílik módunk, addig a tó területén a vízi egy- és többszörös mérés továbbra is rendkívüli részletgazdagságban tárják elénk a Dunántúli-középhegység déli előterének geológiáját és szerkezeti viszonyait (TÓTH et al. 2010, BALÁZS et al. 2013).

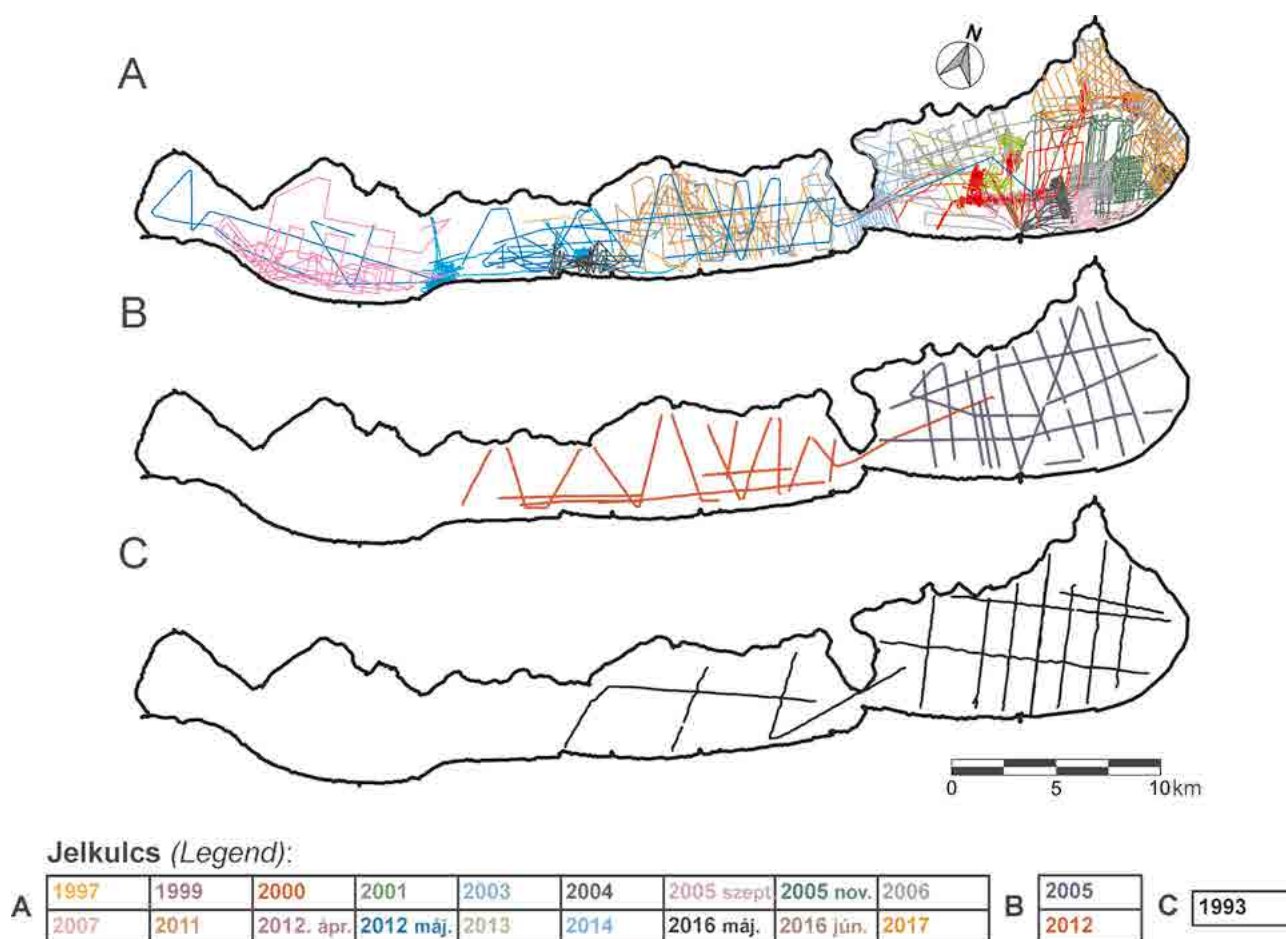
A tavi szeizmikus kutatások alapjait a CSERNY Tibor és RUBEN CORRADA által vezetett ún. „kubai” felmérés alapozta meg (CSERNY & CORRADA 1989; 1990) az 1980-as évek végén. Ez a kutatás úttörő módon, egy egységes és regionális szelvényháló mentén igazolta a tengeren használatos sekély szeizmikus mérések rendkívüli hatékonyságát a Balaton területén. A kezdeti sikerek további rétegtani és szerkezeti kutatásra ösztönözték a geofizikával és földtannal foglalkozó hazai kutatókat és 1993-tól kezdődően HORVÁTH Ferenc professzor vezetése alatt egy új adatbázis építése kezdődött a Geomega Kft. és az ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszékének összefogásában. A nápolyi és brémai szakembereket is bevonó munkák eredményeként, az elmúlt 25 évben, egy több ezer kilométernyi szelvényt magába foglaló, egységes adatbázis állt össze (Geomega-ELTE Balatoni Szeizmikus Adatbázis, 1. ábra). Utóbbi a tó szinte teljes területének ultranagy felbontású földtani térképezését teszi lehetővé.

A szeizmikus mérések során többféle jelforrást és észlelő eszközt is alkalmaztak, így a különféle mérési módszerek révén, más és más mélységekig és különböző vertikális felbontással láthatjuk a tó alatti rétegeket. A legtöbbet használt eszköz (1997–2017) az ún. IKB-Seistec™ (SIMPKIN & DAVIS 1993) berendezés volt, melynek deciméteres felbontása és 20–40 méteres behatolása a tavi és közvetlen a tó alatti rétegek feltárás léptékű vizsgálatát engedi meg. Az adatbázis ultranagy felbontású Seistec™ szelvényeit elsősorban a tómedence morfológiájának, a tavi üledékek vastagságviszonyainak és felépítésének (SZAFIÁN et al. 2007, NOVÁK et al. 2010; ZLINSZKY et al. 2010, VISNOVITZ & HORVÁTH 2013, VISNOVITZ et al. 2015a, KISS et al. 2018) valamint a tó alatt húzódó balos jellegű nyírás zóna részletes térképezésére (BADA et al. 2010, VISNOVITZ et al. 2015b, JAKAB et al. 2017) használhatjuk fel, de emellett értékes információt szolgáltatnak a Balaton alatti késő-miocén sekélyvízi-deltasíksági üledékciklusok részletes belső felépítésének vizsgálatához is (SZTANÓ & MAGYAR 2007, HORVÁTH et al. 2010).

A regionális léptékű szerkezeti és rétegtani értelmezésre az adatbázis nagyfelbontású egyszörös, ún. „olasz” szelvényei (SACCHI et al. 1998, 1999; HORVÁTH et al. 2010; VISNOVITZ et al. 2013) és a „brémai” vagy „német” többszörös szelvények (TÓTH et al. 2010, BALÁZS et al. 2013, NÉMETH 2013) adnak lehetőséget. Utóbbi adatrendszer a tó keleti felét fedi le. Ezen szelvények alapján a kb. 7–9 millió éves sekély, néhány 10 méteres vízben képződött, pannóniai korú deltaciklusok kiépülése, az ezekhez kapcsolódó relatív vízszintváltozások valamint a neotektonikus szerkezetek aljzati törésekkel való összekapcsolódása vizsgálható (BADA et al. 2010, HORVÁTH et al. 2010, SZTANÓ et al. 2013, VISNOVITZ 2013, VISNOVITZ et al. 2015b, c, 2018). A szeizmikus értelmezés eredményeit a tó területén végzett további geofizikai mérésekkel

(elektromos szondázási görbék, mágneses felmérés, gravitációs eredmények) kombinálva várhatóan a tó alatti prekainozoos aljzat felépítése és szerkezeti tagoltsága is jobban megismerhető lesz.

A 2014–2017 közötti sikeres partközeli mérések révén a korábban iszapgázok árnyékában megbúvó partközeli hordalékkúpok és a „tihanyi kút” belső szerkezete is jobb megvilágítást nyert. Ezen eredmények tükrében, megfelelő koradatok birtokában a tavi üledékciklusok és a feliszapolódás története is szisztematikus térképezhető és rekonstruálható lesz, amely a jövőben az ultranagy felbontású balatoni szelvényháló egy új felhasználási irányát jelentheti majd. Mindezek kapcsán, az elmúlt évben a kubai szelvények digitális integrációja is megkezdődött, így remélhetőleg hamarosan a teljes Balatoni szeizmikus adatrendszer egy egységes adatbázisban fog majd rendelkezésünkre állni.



1. ábra. A Geomega–ELTE Balatoni Szeizmikus Adatbázis szelvényei (2017)

A: Ultranagy felbontású IKB-Seistec™ szelvények, B: Nagy-felbontású, többsatornás „brémai” szelvények,

C: Nagyfelbontású, egysatornás „olasz” szelvények

Irodalom

- BADA G., SZAFIÁN P., VINCZE O., TÓTH T., FODOR L., SPIESS, V. & HORVÁTH F. 2010: Neotektonikai viszonyok a Balaton keleti medencéjében és tágabb környezetében nagyfelbontású szeizmikus mérések alapján. — Földtani Közlöny 140/4, 367–390.
- BALÁZS A., VISNOVITZ F., SPIESS, V., FEKETE N., TÓTH Zs., HÁMORI Z., KUDÓ I. & HORVÁTH F. 2013: Új szeizmikus mérések a Balatonon: beszámoló a 2011–2012. évi szelvényezésekről. — Magyar Geofizika 54/2, 67–76.
- CSERNY, T. & CORRADA, R. 1989: Complex geological investigation of Lake Balaton (Hungary) and its results. *Acta Geologica Hungarica* 32/1–2, 117–130.
- CSERNY, T. & CORRADA, R. 1990: A Balaton aljzatának szedimentológiai térképe (Sedimentary maps of the basement of Lake Balaton). — A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1988, 169–176.
- HORVÁTH F., SACCHI, M. & DOMBRÁDI E. 2010: A Pannon-medence üledékeinek szeizmikus sztratigráfiai és tektonikai vizsgálata a Dél-Dunántúl és a Balaton területén. — Földtani Közlöny 140/4, 391–418.
- JAKAB, B., VISNOVITZ, F., FODOR, F. & HORVÁTH, F. 2017: Mapping of neotectonic structures at the eastern shores of Lake Balaton using ultra-high resolution seismic profiles recorded in 2014 and 2016. — *Acta Mineralogica Petrographica Field Guide Series* 32, p. 16.
- KISS A., VISNOVITZ F., TIMÁR G., HÁMORI Z. & HORVÁTH F. 2018: A Tihanyi-kút morfológiája ultranagy felbontású balatoni szeizmikus mérések alapján. — Magyar Geofizika 59/2, 53–64.
- NÉMETH V. 2013. Balatoni vízi szeizmikus adatok feldolgozása. — BSc szakdolgozat, ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék, Budapest, 50 p.
- NOVÁK D., KONCZ D., HORVÁTH A., SZAFIÁN P. & SZTANÓ O. 2010: Egy pleisztocén folyó kanyarulata Fonyódnán: medernyomok a balatoni iszap alatt ultranagy felbontású szeizmikus szelvényeken. — Földtani Közlöny 140/4, 419–428.
- SACCHI, M., CSERNY, T., DÖVÉNYI, P., HORVÁTH, F., MAGYARI, O., MCGEE, T. M., MIRABLE, L. & TONIELLI, R. 1998: Seismic stratigraphy of the Late Miocene sequence beneath Lake Balaton, Pannonian basin, Hungary. — *Acta Geologica Hungarica* 41/1, 63–88.
- SACCHI, M., HORVÁTH, F. & MAGYARI, O. 1999: Role of unconformity-bounded units in the stratigraphy of the continental record: a case study from the Late Miocene of the western Pannonian basin, Hungary. In: DURAN, B., JOLIVET, L., HORVÁTH, F. & SÉRANNE, M. (eds): *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*. — Geological Society, London, Special Publications 156, 357–390.
- SIMPKIN, P. G. & DAVIS, A. 1993: For seismic profiling in shallow water, a novel receiver. — *Sea Technology* 34, 21–28.
- SZAFIÁN, P., BADA, G., SZTANÓ, O., ZLINSZKY, A., SZÉKELY, B. & HORVÁTH, F. 2007: High-resolution seismic investigations at Lake Balaton, Transdanubia, I: Paleoenvironments and lake level variations. — Magyarhoni Földtani Társulat Vándorgyűlése, HUNTEK Workshop, Sopron, Absztrakt kötet, p. 33.
- SZTANÓ O. & MAGYAR I. 2007. Deltaic parasequences on gamma logs, ultra-high resolution seismic images and outcrops of Lake Pannon deposits. — *Joannea Geologie und Paläontologie* 9, 105–108.
- SZTANÓ O., MAGYAR I., SZÓNOKY M., LANTOS M., MÜLLER P., LENKEY L., KATONA L., CSILLAG G. 2013: A Tihanyi Formáció a Balaton környékén: típusszelvény, képződési körülmények, rétegtani jellemzés. — Földtani Közlöny 143/1, 445–468.
- TÓTH Zs., TÓTH T., SZAFIÁN P., HORVÁTH A., HÁMORI Z., DOMBRÁDI E., FEKETE N., SPIESS V., HORVÁTH F. 2010: Szeizmikus kutatások a Balatonon. — Földtani Közlöny 140/4, 355–366.
- VISNOVITZ F. 2013. Késő-miocén sekélyvízi deltalebeny épülés balatoni nagyfelbontású vízi szeizmikus szelvényeken. — PEME, VI. PhD Konferencia, Budapest, Hungary, elektronikus konferencia kiadványa, 684–693.
- VISNOVITZ, F. & HORVÁTH, F. 2013: Pleistocene sediments under the Lake Balaton's mud layer. — IX. Kárpát medencei környezettudományi konferencia Miskolc, 230–236. (ISBN:978-963-358-032-5)
- VISNOVITZ F., TÓTH T., HÁMORI Z., KUDÓ I., BALÁZS A., SACCHI, M., SURÁNYI G., HORVÁTH F. 2013. Balatoni egycsatornás, nagy felbontású szeizmikus szelvények újrafeldolgozása. — Magyar Geofizika 54/2, 77–88.
- VISNOVITZ, F., BODNÁR, T., TÓTH, Zs., SPIESS, V., KUDÓ, I., TIMÁR, G. & HORVÁTH, F. 2015a: Seismic expressions of shallow gas in the lacustrine deposits of Lake Balaton, Hungary. — *Near Surface Geophysics* 13, 433–446, doi: 10.3997/1873-0604.2015026.
- VISNOVITZ, F., HORVÁTH, F., FEKETE, N. & SPIESS, V. 2015b: Strike-slip tectonics in the Pannonian basin based on seismic surveys at Lake Balaton. — *International Journal of Earth Sciences (Geol. Rundsch.)* 104/8, 2273–2285. doi: 10.1007/S00531-015-1179.x.
- VISNOVITZ F., SZTANÓ O. & HORVÁTH F. 2015c: Progradation of Late Miocene delta clinoforms in the foreland of the Transdanubian Central Range. — 6th Workshop on the Neogene of Central and South-Eastern Europe Conference, Orfű, p. 97. ISBN 978-963-8221-57-5.
- VISNOVITZ, F., HEGYI, B., BALÁZS, A., RAVELOSAN, A., ROZMAN, G., LENKEY, L., LENKEY-BÖGÉR, Á., KIRÁLY, Á., PETHE, M., KUDÓ, I., KOVÁCS, P., CSONTOS, A., HEILIG, B., VADÁSZ, G. & HORVÁTH, F.† 2018: Mágneses mérések a Balatonon: Észlelt anomáliák és az eredmények értelmezése. — Magyar Geofizika 59/3, 117–128.
- ZLINSZKY A., MOLNÁR G. & SZÉKELY B. 2010: A Balaton vízmélységének és tavi üledékvastagságának térképezése vízi szeizmikus szelvények alapján. — Földtani Közlöny 140/4, 429–438.

Paleontológiai kutatások a Balaton-felvidéken

VÖRÖS ATTILA

Magyar Természettudományi Múzeum, Őslénytani és Földtani Tár; MTA-MTM-ELTE Paleontológiai Kutatócsoport,
1083 Budapest, Ludovika tér 2.
voros.attila@nhmus.hu

Amennyiben a Balaton-felvidékhez hozzáértjük a Balatonfő, és a Veszprémi-fennsík területeit, elmondhatjuk, hogy ez Magyarország paleontológiailag legjelentősebb, legváltozatosabb része. Itt kerültek elő hazánk legidősebb ősmaradványai, az ordoviciumi acritarchák a Balatonfőkajári Kvarcfillitből, továbbá a szenzációs graptoliták a szilur Lovasi Agyagpalából, a devon korú ősi lábasfejűek a Kékkút környéki mélyfúrásból, és a nevezetes karbon korallok és brachiopodák a szabadbattyáni Szár-hegyről. A paleozoos tengeri időszakok után, a perm szárazföldi rétegek is adtak őslénytani érdekességet: egy kétlábú lábnyomát Balatonrendes közelében találták meg. Ezt követően, a triász tenger rendkívül gazdag ősmaradványkincset hagyott ránk. Kiemelkedő jelentőségűek a „hungarikumnak” számító ammoniteszek (*Balatonites*, *Hungarites*, *Arpadites*), nem is szólva az egyik leghíresebb magyar ősmaradványról, a kavicsfogú álteknősről (*Placochelys placodonta*). A Balaton-felvidék szerkezetfejlődéséből adódó sajnálatos tény, hogy jura, kréta és paleogén korú ősmaradványokat nem vonultathatunk fel ehelyütt. A miocén tengerek üledékei viszont ismét bőségesen kínálják a paleontológiai érdekességeket. A híres várpalotai Szabó-bánya, a gazdag kagyló- és csigafaunájával a geológiai tanulmányi kirándulások állandó célpontja. A miocén végén, az endemikus molluszkafaunájáról világhíres Pannon-tó is megajándékozott bennünket egy „hungarikummal”, a balatoni kecskekörömmel (*Congerina unguicaprae*). Végül, természetesen a jégkorszak sem múlt el nevezetes ősmaradványok hátrahagyása nélkül: Balatonkenese közelében nemrég, egy együtt elpusztult felnőtt és bébi mamut csontvázait tárták fel.

A fenti, csodásan gazdag őslénytani tárházból — az előadó személyes kötődése miatt — a triász középső szakaszának paleontológiai vizsgálatait emeljük ki, és mutatjuk be részletesebben.

A Balaton-felvidéken évszázados múltja van a középső-triász paleontológiai kutatásoknak. БОСКН (1872) úttörő publikációját MOJSISOVICS (1882) hatalmas monográfiája követte, majd a LÓCZY (1913) szervezésében és szerkesztésében megjelent „Balaton-monográfia” világhírűvé tette a Balaton-felvidéki középső-triász ősmaradványokat, első sorban az ammonoideákat. Az 1980-as években új lendületet kapott ez a kutatási téma SZABÓ Imre, majd BUDAI Tamás és társai földtani térképező munkájának következtében. Az ezt követő évtizedekben, a Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI) részletes földtani térképezési tevékenységéhez kapcsolódva, jelentős, korszerű faunagyűjtéseket végeztünk. Az ammonoidea biosztratigráfiai vizsgálatokban az új, részletes, rétegről-rétegre történő gyűjtések szolgáltatták a korszerű adatbázist, ezért az új feltárások létesítése nélkülözhetetlen kiindulási alapot jelentett. A szükséges feltáró munkák zömét MÁFI alkalmazásában állott, nyugdíjas bányászokból álló brigád végezte.

Első, jelentős paleontológiai kutatási programunk az anisusi emelet pelsői alemeletének korszerű újradefiniálására irányult, melynek típus- és névadó területe a Balaton-felvidék (Lacus Pelso). Eredményeinket a *Geologica Hungarica*, series *Palaeontologica* 55. kötetében jelentettük meg (VÖRÖS 2003). A pelsői képződmények általános vonásait BUDAI T. és VÖRÖS A. írta le. Az ősmaradvány csoportokat részletesen, monografikusan feldolgoztuk, és illusztrálva publikáltuk. Az ammonoideák rendszertani feldolgozását (több mint 4000 példány, 29 faj, köztük a pelsői alemelet olyan vezérvödrölei, mint a *Balatonites balaticus*, *Beyrichites cadoricus*, és a *Bulogites zoldianus*) VÖRÖS A. végezte el. A rétegtanilag fontos conodontákat (*Gondolella bifurcata*, *G. bulgarica*, *G. hanbulogi*) KOVÁCS S. illusztrálta.

A brachiopodákat (közel 5000 példány, 34 taxon) PÁLFY J., a bivalviákat (több mint 1000 példány, 34 taxon) SZENTE I. és VÖRÖS A., a dasycladaceákat (9 faj) PIROS O. írta le és dokumentálta. A platform-karbonátok és a medence fáciesű mészkövek mikrofáciéseit LELKES Gy. és VÖRÖS A. értékelt és illusztrálta. Az ammonoidea adatok alapján öt egymásra következő szubzóna volt felismerhető és korrelálható a Balaton-felvidéken belül (alulról fölfelé): Ottonis, Balaticus, Cadoricus, Zoldianus és Binodosus Szubzóna. Ezek a szubzónák felismerhetőek más alpi szelvényekben és távolabbi európai területeken is, és korrelálhatóak a Germán fáciesterülettől Törökországig. A pelsői alemelet alsó határa az Ottonis és Balaticus Szubzónák között vonható meg. A pelsői alemelet bázisát a Balaton-felvidéken, az Aszófő II. szelvény 28. rétegénél, a *Balatonites balaticus* faj első megjelenésénél jelöltük ki.

Második, kiemelhető és nemzetközi jelentőségű paleontológiai kutatási eredmény a középső-triász egyik leggazdagabb ammonoidea faunáját adó Reitzi Zóna finomrétegtani vizsgálata, és a fauna részletes rendszertani leírása (VÖRÖS 2018). A több évtizedes kutatás keretében, hat szelvény részletes, rétegről-rétegre történt begyűjtésének és a közel 5000 ammonoidea példány feldolgozásának eredményeképpen világviszonylatban is páratlanul részletes és megbízható képet kaptunk erről az ammonoidea zónáról és faunájáról. A felsőörsi szelvényben végzett korszerű gyűjtések és integrált sztratigráfiai vizsgálatok alapján ezt a szelvényt a ladin emelet nemzetközi sztratotípus (GSSP) jelöltjeként javasoltuk a Nemzetközi Rétegtani Bizottság felé (VÖRÖS et al. 2003). Több forduló szavazás után ezt az „aranyszöveget” az észak-olaszországi Bagolino szelvénye kapta, de Felsőörs továbbra is az anisusi-ladin határintervallum legjobb nemzetközi referenciaszelvényének minősíthető (VÖRÖS et al. 2009). A közelmúltban megjelent ammonoidea monográfia célja a „Reitzi Zóna” ammonoidea-faunájának részletes, rendszertani leírása volt (VÖRÖS 1918). A 85 fajba és 37 genusba sorolt, 2104 ammonoidea példány a világ egyik leggazdagabb anisusi faunájának tekinthető. A monográfia bevezető részében a részletesen gyűjtött szelvények leírása, rétegoszlopainak ábrázolása, és biosztratigráfiai korrelációjuk, továbbá az ammonoideák előfordulási adatbázisa található. A monográfia gerincét képező rendszertani rész a fauna ammonoidea taxonjainak (37 genus, 85 faj) részletes rendszertani leírását adja. A genusok közül négy (*Epikellnerites*, *Parahungarites*, *Bullatihungarites*, *Nodihungarites*), a fajok közül 14 a tudományra nézve új taxon. A leírásokat 65 ábra, az ammonoideák keresztmetszeteit és kamravarrat-vonalait bemutató rajzok kísérik. A kötet végén 43 fotótábla mutatja be a leírt ammonoidea fajok külső morfológiáját.

Irodalom

- BÖCKH J. 1872: A Bakony déli részének földtani viszonyai I. — A Magyar Királyi Földtani Intézet Évkönyve 2/2, 31–166.
- LÓCZY L., id. 1913: A Balaton környékének geológiai képződményei és ezeknek vidékek szerinti telepedése. — In: A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei 1/1, 1–617.
- MOJSISOVICS, E. 1882: Die Cephalopoden der mediterranen Triasprovinz. — Abhandlungen der kaiserlich-königlichen geologischen Reichsanstalt 10, 1–322.
- VÖRÖS, A. (szerk.) 2003: The Pelsonian Substage on the Balaton Highland (Middle Triassic, Hungary). — *Geologica Hungarica series Palaeontologica* 55, 1–195.
- VÖRÖS, A., BUDAI, T., HAAS, J., KOVÁCS, S., KOZUR, H. & PÁLFY, J. 2003: GSSP (Global Boundary Stratotype Section and Point) proposal for the base of Ladinian (Triassic). A proposal for the GSSP at the base of the Reitzi Zone (sensu stricto) at Bed 105 in the Felsőörs section, Balaton Highland, Hungary. — *Albertiana* 28, 35–47.
- VÖRÖS, A., BUDAI, T. & SZABÓ, I. 2009: The base of the Curionii Zone (Ladinian, Triassic) in Felsőörs (Hungary): improved correlation with the Global Stratotype Section. — *Central European Geology* 51/4, 325–339.
- VÖRÖS, A. 2018: The Upper Anisian ammonoids of the Balaton Highland (Middle Triassic, Hungary). — *Geologica Hungarica series Palaeontologica* 60, 1–241.

Karbonátos vízadók hidraulikai viselkedése és osztályozása hazai példákon keresztül

KOVÁCS ATTILA

Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat
kovacs.attila@mbfsz.gov.hu

A karbonátos vízadók jelentős szerepet játszanak a vízellátásban nemcsak hazánkban, de a világ számos területén. A karsztosodott karbonátokban a szennyeződés terjedése rendkívül gyorsan zajlik, ezen túl, a karsztterületeken kialakuló villám árvizek is jelentős kockázati tényezőt jelentenek, ezért hidrogeológiai működésük megértése kiemelt fontosságú.

A karbonátok egy része vízben jól oldódik, ami összefüggő karsztjáratrendszer kialakulását eredményezi. A karbonátok másik része azonban, a gyengébb oldódás következtében nem tartalmaz összefüggő karsztjáratrendszereket. Ezeknek a rendszereknek a hidraulikai viselkedése gyökeresen eltér egymástól, ezért különböző vizsgálati módszereket igényelnek. A dolomitos vízadók vízföldtani besorolása példának okáért gyakran bizonytalan.

A karsztos vízadók — az áramlási közeg oldódása nyomán fellépő erős heterogenitások következtében — kettős viselkedést mutatnak. Ez a hidrogeológiai folyamatok (beszivárgás, áramlás, megcsapolódás) kettős (diffúz és koncentrált) jellegében nyilvánul meg.

A karszt nemzetközi irodalomban fellelhető definíciói nagyrészt geomorfológiai szemléletűek, és többnyire három kritériumot — karsztos felszínformák, karbonátos kőzet, és oldódás — tartalmaznak. Sajnos ezek a kritériumok nem elegendőek a karsztrendszerek hidrogeológiai szempontból történő elkülönítéséhez, hiszen nem minden karbonát karsztosodik, nem csak a karbonátok karsztosodnak, az oldódás mindenütt jelenlévő geokémiai folyamat, és a karsztosodás nem mindig jár együtt karsztos felszínformákkal (l. hipokarszt). Éppen ezért, szükség van a karszt hidrogeológiai szempontú, kvantitatív definíciójára is.

A hazai nomenklatúra a karbonátos vízadókat általánosságban karsztként tartja számon (pl. fő-karsztvíz-tároló), ami sem a hidraulikai sem pedig a geomorfológiai osztályozásnak nem felel meg. A karsztok hidrogeológiai alapon történő, kvantitatív osztályozásához hidrogram-elemzést alkalmazunk, ugyanis az nélkülözhetetlen információt szolgáltat egy adott rendszer hidraulikai működéséről (KOVÁCS 2003; KOVÁCS et al. 2005; KOVÁCS & PERROCHET 2008, 2014; KOVÁCS et al. 2015).

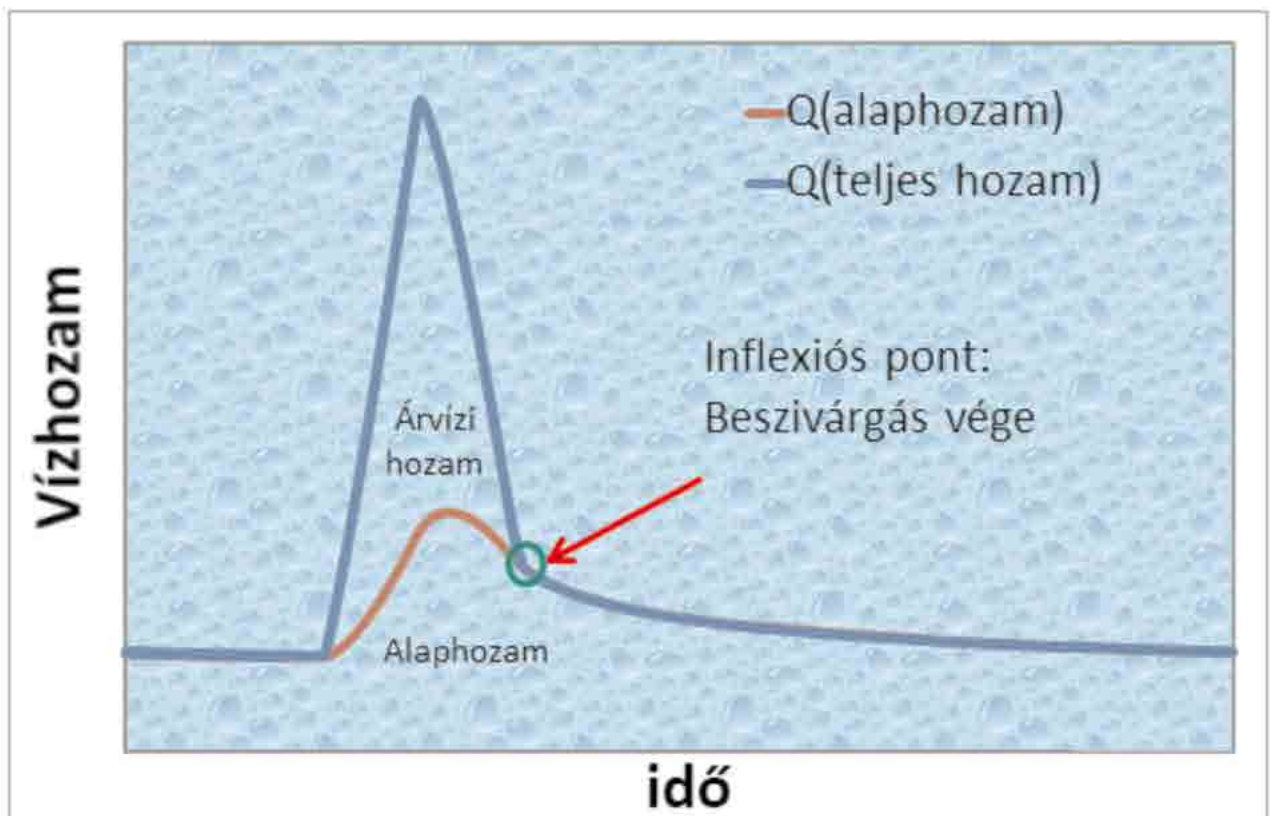
Egy karsztrendszer csapadékeseményekre adott hidraulikai válaszát a forrás- és kúthidrogramok jellemzik, melyek visszatükrözik a rendszer hidraulikai paramétereit és belső geometriai szerveződését (1. ábra). A hidrogramcsúcsokat követő lassú leürülés (alaphozam) exponenciális formulával írható le, ahol a kiürülés „sebességét” a kiürülési együttható jellemzi (ahol α a kiürülési együttható, Q a forráshozam, t az idő):

$$Q_{(t)} = \sum_{i=1}^n Q_i e^{-\alpha_i t}$$

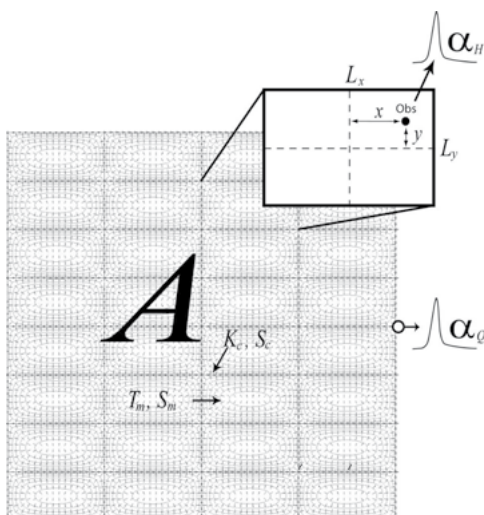
A klasszikus megközelítés szerint (MAILLET 1906) $n=1$, FORKASIEWITZ & PALOC (1967) alapján $n=3$, míg Kovács (2003) analitikus megoldása nyomán tudjuk, hogy $n=\infty$, tehát az alaphozam egy végtelen sorral írható le, amelynek azonban csak az első három tagja szignifikáns.

A karsztrendszerek kiürülése során kialakuló alaphozam fizikai hátterét Kovács (2003), és Kovács et al (2005) ismerteti, míg a kúthidrogramok matematikai leírását KOVÁCS & PERROCHET (2014) adta meg a 2. ábrán szemléltetett koncepciómodellt alkalmazva.

A kiürülési együttható felhasználható a karsztjárat-sűrűség meghatározására a karsztforrások hozamidősorának, vagy a megfigyelő kutak vízszintidősorának észlelése által. A vízadó paraméterei és a kiürülési együttható közötti kapcsolat kvantitatív jellemzésére KOVÁCS (2003) analitikai összefüggéseket állított fel. Az analitikus formulák — azon túl, hogy lehetővé teszik a karsztjáratsűrűség és a hidraulikai paraméterek meghatározását — az erősen heterogén rendszerek hidraulikai viselkedésének alapvető törvényszerűségeit tárják fel. A karsztos, és a hasadozott rendszerek tranzien viselkedése két, fizikailag teljesen eltérő törvényszerűséget követ, így ezek hidrogeológiai vizsgálata és interpretációja eltérő módszereket igényel. A kidolgozott analitikus megoldások lehetővé teszik továbbá, hogy a karsztos és a hasadozott karbonátos rendszereket egymástól kvantitatív módon elkülönítsük.



1. ábra. A forráshidrogram részei



2. ábra. Karsztrendszerek koncepciómodellje. A: vízgyűjtő terület, L_x és L_y : kőzetblokkok mérete, T_m és S_m : kőzetmátrix hidraulikai paraméterei, K_c és S_c : karsztjáratok hidraulikai paraméterei, α_Q : forráshidrogram kiürülési együtthatója, α_H : kúthidrogram kiürülési együtthatója

Karsztrendszerek lassú kiürülését kizárólag a kőzetmátrix hidraulikai paraméterei és a karsztjáratok távolsága befolyásolja. A kiürülési együttható paraméterfüggése az alábbi formulával jellemezhető (ahol T_m és S_m a kőzetmátrix hidraulikai paraméterei, L pedig a karsztjáratok távolsága négyzetes blokkokat feltételezve):

$$\alpha_K = \frac{2\pi^2 T_m}{S_m L^2}$$

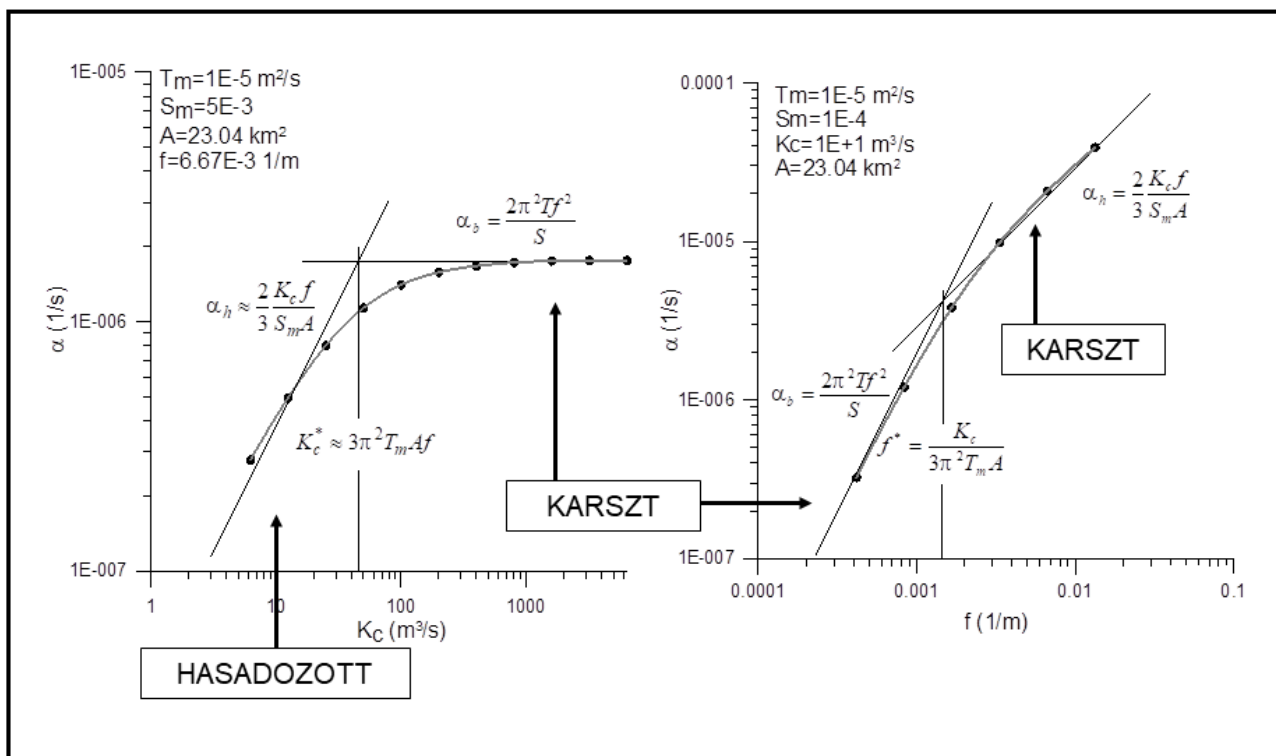
Hasadozott rendszerek esetén a lassú kiürülés folyamatát mind a kőzetmátrix paraméterei, mind a törések paraméterei, mind pedig a vízadó kiterjedése befolyásolja. A kiürülési együttható paraméterfüggése az alábbi formulával jellemezhető (ahol T_f a törések transzmisszivitása, A pedig a vízadó kiterjedése):

$$\alpha_H \approx \frac{2 T_f}{3 S_m A L}$$

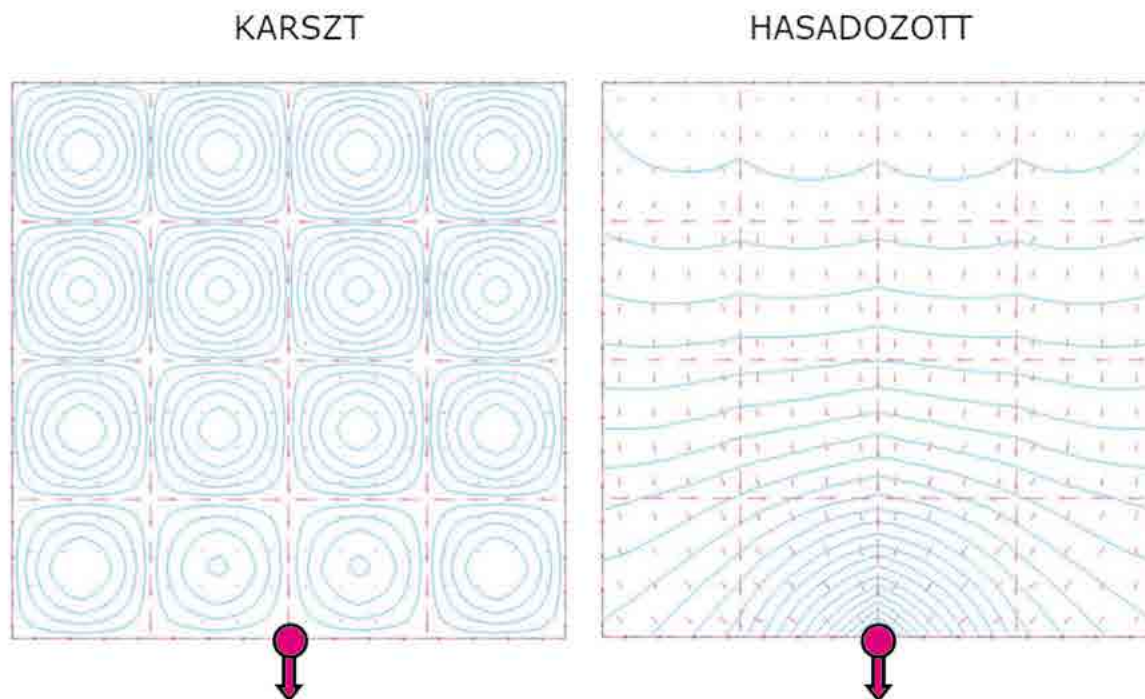
A kiürülési együttható, valamint a karsztjáratok geometriája és konduktanciája közötti összefüggést a 3. ábra szemlélteti. Amint látható, kifejtett karsztok esetében a karsztjáratok konduktanciája (amely az ármérővel arányos) nem befolyásolja az alaphozam kiürülési együtthatóját. Ilyen rendszereknél a mátrix blokkok tározásából származó víz diffúzív kiürülése szabja meg a kiürülés sebességét. Hasadozott rendszereknél mind a törések távolsága, azok transzmisszivitása, mind pedig a mátrix blokkok hidraulikai paraméterei befolyásolják a kiürülés sebességét.

A karsztos és hasadozott rendszerek hidraulikai működése közötti alapvető különbséget a 4. ábra szemlélteti. Míg hasadozott rendszereknél a lokális áramlási irányok a kiürülés során a megcsapolódás irányába, úgy karsztrendszerek esetén a karsztjáratok irányába mutatnak.

Előadásomban bemutatom a különböző típusú karbonátos vízadók viselkedését és osztályozását hazai gyakorlati példákon keresztül.



3. ábra. Karsztos és hasadozott karbonátos rendszerek hidraulikai működésének kvantitatív leírása és osztályozása

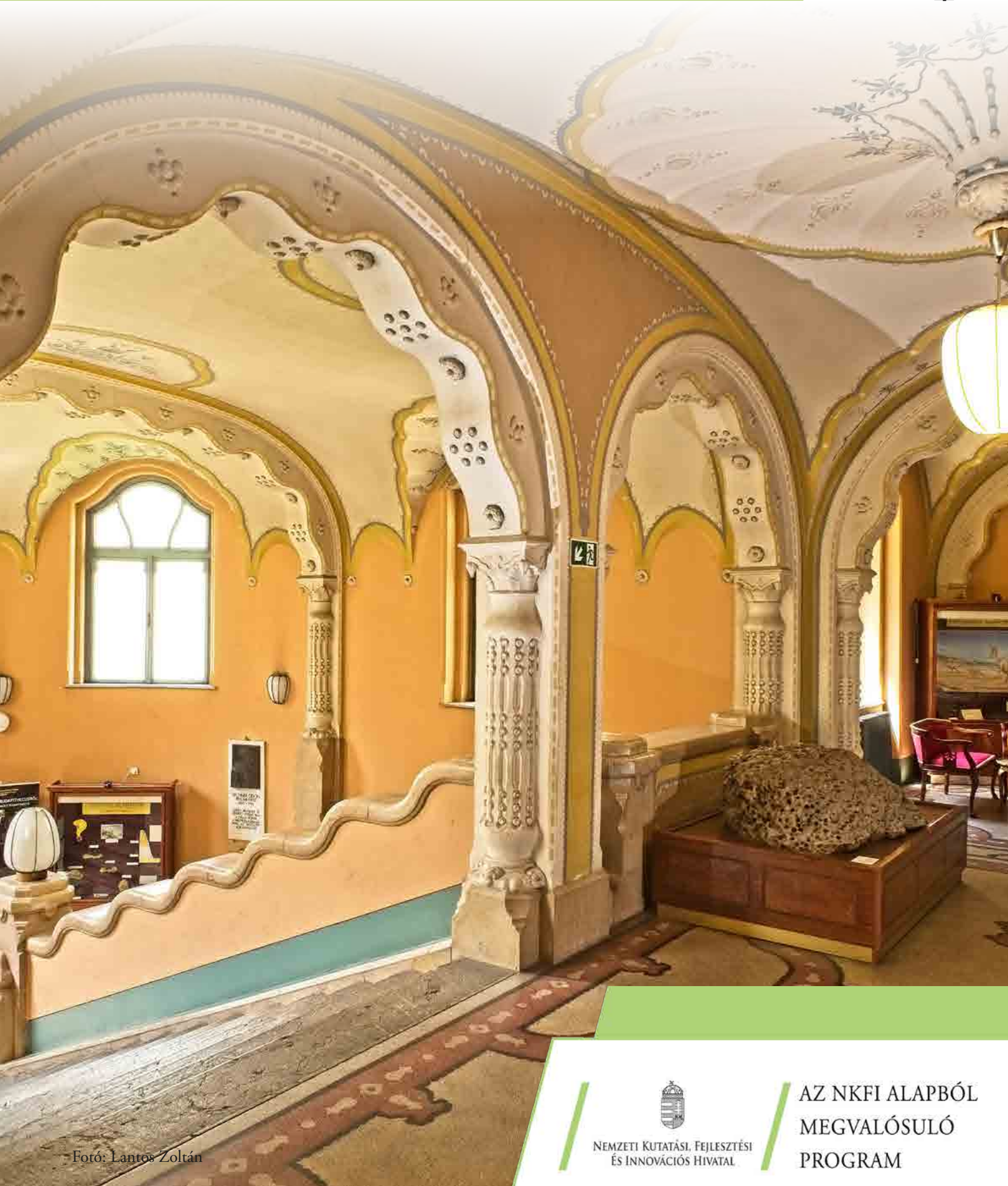


4. ábra. Karsztos és hasadozott karbonátos rendszerek hidraulikai működése közti alapvető különbség (lila: sebességvektorok, kék: ekvipotenciális vonalak)

Irodalom

- FORKASIEWICZ, J. & PALOC, H. 1967: Le régime de tarissement de la Foux-de-la-Vis. Etude préliminaire. — *Chronique d'Hydrogéol.* BRGM 3/10, 61–73.
- KOVÁCS, A. 2003: Geometry and Hydraulic Parameters of Karst Aquifers: A Hydrodynamic Modelling Approach. — Doctoral Thesis, University of Neuchâtel, Switzerland, 131 p.
- KOVÁCS, A. & PERROCHET, P. 2008: A quantitative approach to spring hydrograph decomposition. — *J. Hydrol.* 352, 16–29.
- KOVÁCS, A. & PERROCHET, P. 2014: Well hydrograph analysis for the estimation of hydraulic and geometric parameters of karst aquifers. — In: MUDRY, J. & LAMOREAUX, J.W. (eds): *H2Karst Research in Limestone Hydrogeology*. Environmental Earth Sciences Book Series. Springer Science and Business Media, Heidelberg, 97–114.
- KOVÁCS, A., PERROCHET, P., KIRÁLY, L. & JEANNIN, P.-Y. 2005: A quantitative method for the characterization of karst aquifers based on spring hydrograph analysis. — *J. Hydrol.* 303, 152–164.
- KOVÁCS, A., PERROCHET, P., DARABOS, E., LÉNÁRT, L., SZŰCS, P. 2015: Well hydrograph analysis for the characterisation of flow dynamics and conduit network geometry in a karstic aquifer, Bükk Mountains, Hungary. — *J. Hydrol.* 530, 484–499.
- MAILLET, E. 1905: *Essais d'hydraulique souterraine et fluviale*. — Hermann, Paris.

FÖLDTAN



Fotó: Lantos Zoltán



NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI
ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL

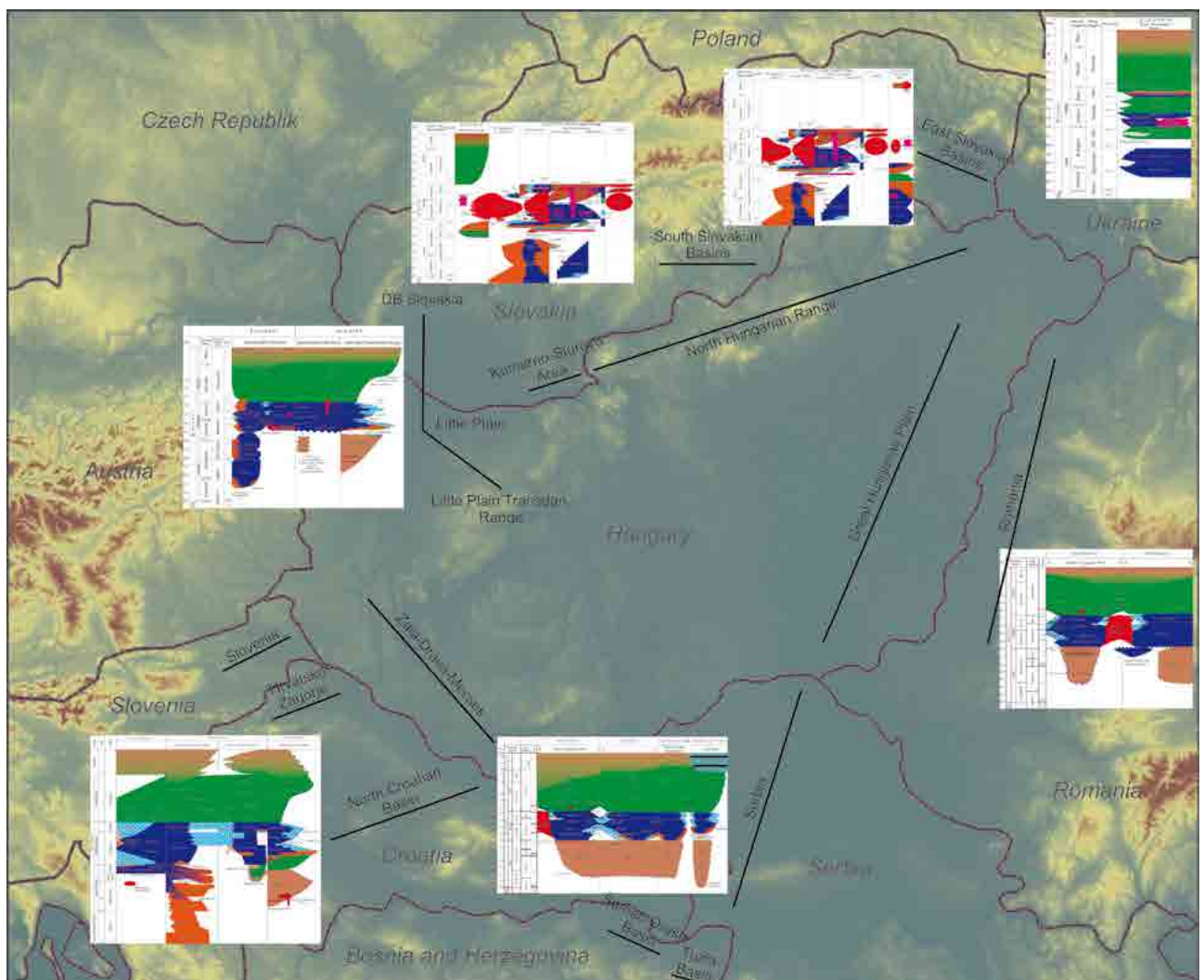
AZ NKFI ALAPBÓL
MEGVALÓSULÓ
PROGRAM

Földtani harmonizáció alapuló 3D modell a Pannon-medencére

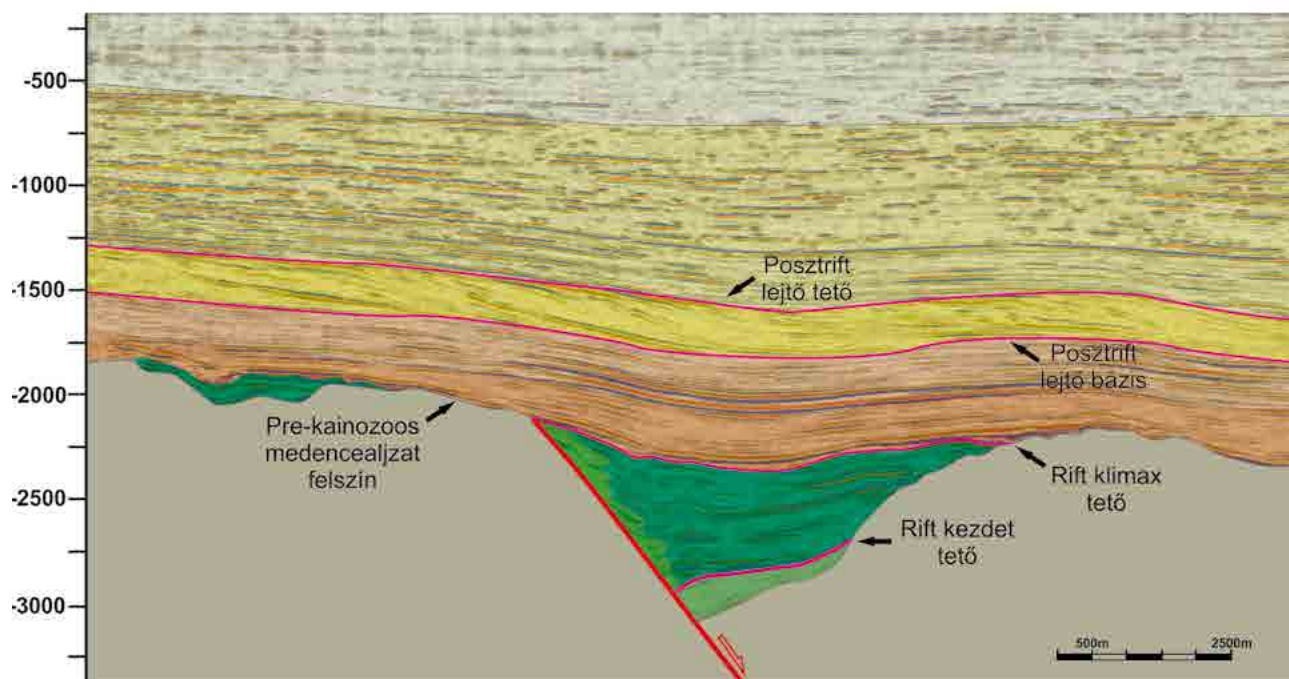
MAROS GYULA¹, BEREZKI LÁSZLÓ¹, SELMECZI ILDIKÓ¹, MARKOS GÁBOR¹, BABINSZKI EDIT¹,
RADU FARNOAGA, HAZIM HRVATOVIĆ, BALÁZS KRONOME, ANDREJ LAPANJE,
IGOR MELNIK, MARKO ŠPELIĆ, PETAR STEJIĆ, NÁDOR ANNAMÁRIA¹

¹Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat
maros.gyula@mbfsz.gov.hu

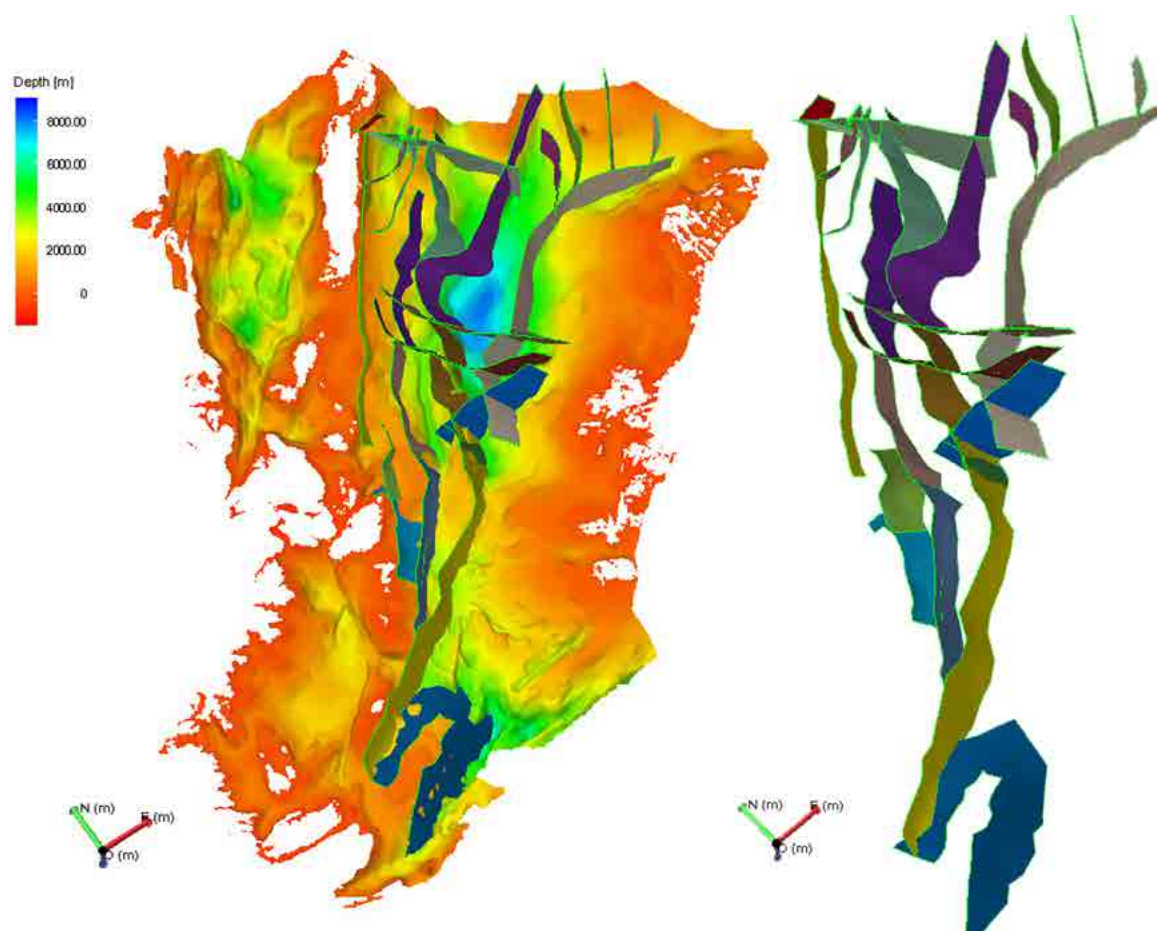
Magyarország 1:500 000-es földtani térmodellje az aljzat mélybeli elterjedésének és felszíni kibukkanásai kivételével a kainozoos medencék sorozatával ragadható meg. Ennek a térnek a földtani-tektonikai 3D modelljét építjük 1:500 000-es méretarányban. A munka nagymértékű szeizmikus és fúrásos adattömeg revízióját és modelltérbe építését igényli és támaszkodik egyéb geofizikai térképezési módszerek eredményeire is. A Pannon-medence alatt számos részmedence együttesét értjük a Bécsei-medence és az Erdélyi-medence kivételével. A Pannon-medence területén 9 ország osztozik, ezért az értelmezési munkák minden résztvevő országra hasonló felbontásban elkészülnek.



1 ábra. A Pannon-medencére szerkesztett határokon átnyúló elvi szelvények nyomvonalai és vázlatos megjelenítése



2. ábra. Elvi szelvény a modellben értelmezett és térképezett szintekkel



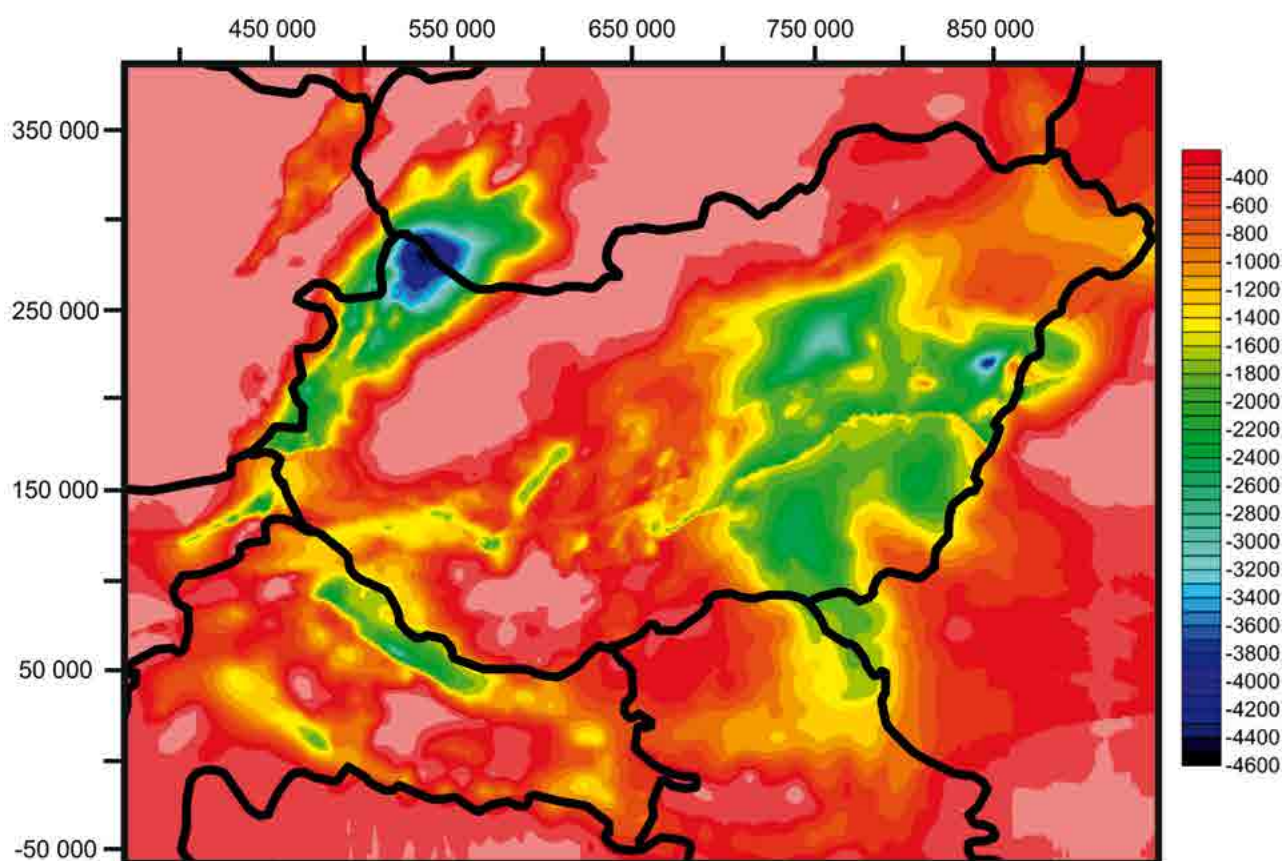
3. ábra. A Pannon-medence Ausztria–Szlovákia és Magyarország területére eső része korrelált törérendszerek medencealjzat megjelenítésével. Térképi, illetve perspektivikus nézet Ny felől.

A harmonizációt és a modell megépítését különböző Európai Unós projektek is katalizálták, a T-Jam (FODOR et al. 2011), a Transenergy (MAROS et al. 2012), a befejezéshez közeli DARLINGe és a jelenleg is futó GEOERA GeoConnect3D. A projektek elsősorban geotermikus célúak, ugyanakkor több-kevesebb földtani megalapozottságot követeltek meg. Ezek első lépése a medencekitöltő üledékek földtani azonosítása és párhuzamosítása. Ennek érdekében a résztvevő országok területén, határon átnyúló elvi szelvényeket szerkesztettünk (1. ábra), amelyeken korban és litológiai kifejlődésben harmonizáltuk a megjelenő formációkat. Ez a munka a különböző országok földtani névrengetegében történő eligazodást is szolgálja.

A modell térképezett szintjei a következők: Prekainozoos medencealjzat felszín, Preneogén bázis, Rift kezdet tető (BALÁZS et al. 2016 értelmezésében), Rift klimax tető, Posztrift lejtő (Magyarországon Algyői F.) bázis, Posztrift lejtő (Magyarországon Algyői F.) tető (2. ábra).

A modell lényegi elemei a sztratigráfiai horizontok mellett a tektonikus felületek. Ezek térképezése és a modellszintek tektonikai felületekkel történő összehangolása szintén a modell eredménye (3. ábra).

A prekainozoos szint (BUDAI & MAROS 2018) mellett bemutatjuk a posztrift lejtő (Magyarországon Algyői F.) tető térképi nézetét (4. ábra).



4. ábra. Posztrift lejtő (Magyarországon Algyői F.) tető térképi nézete

Irodalom

- BALÁZS, A., MATENCO, L., MAGYAR, I., HORVÁTH, F. & CLOETINGH, S. 2016: The link between tectonics and sedimentation in back-arc basins: New genetic constraints from the analysis of the Pannonian Basin. — *Tectonics* 35, 1526–1559, doi:10.1002/2015TC004109.
- BUDAI, T., MAROS, GY. 2018: Geology of Hungary — an introduction to the geology of the sub-basins. — In: Kovács Zs. (ed.) 2018: *Hydrocarbons in Hungary*. — Hungarian Energy and Public Utility Regulatory Authority, Budapest, 19–27.

- FODOR L., UHRIN A., PALOTÁS K., SELMECZI I., TÓTHNÉ MAKK Á., RIZNAR, I., TRAJANOVA, M., RIFELJ, H., JELEN, B., BUDAI T., KOROKNAI B., MOZETIČ, S., NÁDOR A. & LAPANJE, A. 2011: A Mura–Zala-medence vízföldtani elemzést szolgáló földtani-szerkezetföldtani modellje (Geological and structural model of the Mura–Zala Basin and its rims as a basis for hydrogeological analysis). — Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése, 2011, 47–91.
- MAROS, GY., ALBERT, G., BARCZIKAYNÉ SZEILER, R., FODOR, L., GYALOG, L., JOCHA-EDELÉNYI, E., KERCSMÁR, ZS., MAGYARI, Á., MAIGUT, V., NÁDOR, A., OROSZ, L., PALOTÁS, K., SELMECZI, I., UHRIN, A., VIKOR, ZS., ATZENHOFER, B., BERKA, R., BOTTIG, M., BRÜSTLE, A., HÖRFARTER, C., SCHUBERT, G., WEILBOLD, J., BARÁTH, I., FORDINÁL, K., KRONOME, B., MAGLAY, J., NAGY, A., JELEN, B., LAPANJE, A., RIFELJ, H., RIŽNAR, I., TRAJANOVA, M. 2012: Summary report of geological models. — TRANSENERGY, Transboundary Geothermal Energy Resources of Slovenia. <http://transenergy-eu.geologie.ac.at/>

Az Északi-Bakony földtani célú térinformatikai adatbázisának fejlesztése a szerkezetföldtani kutatással összefüggésben

KISS ADA

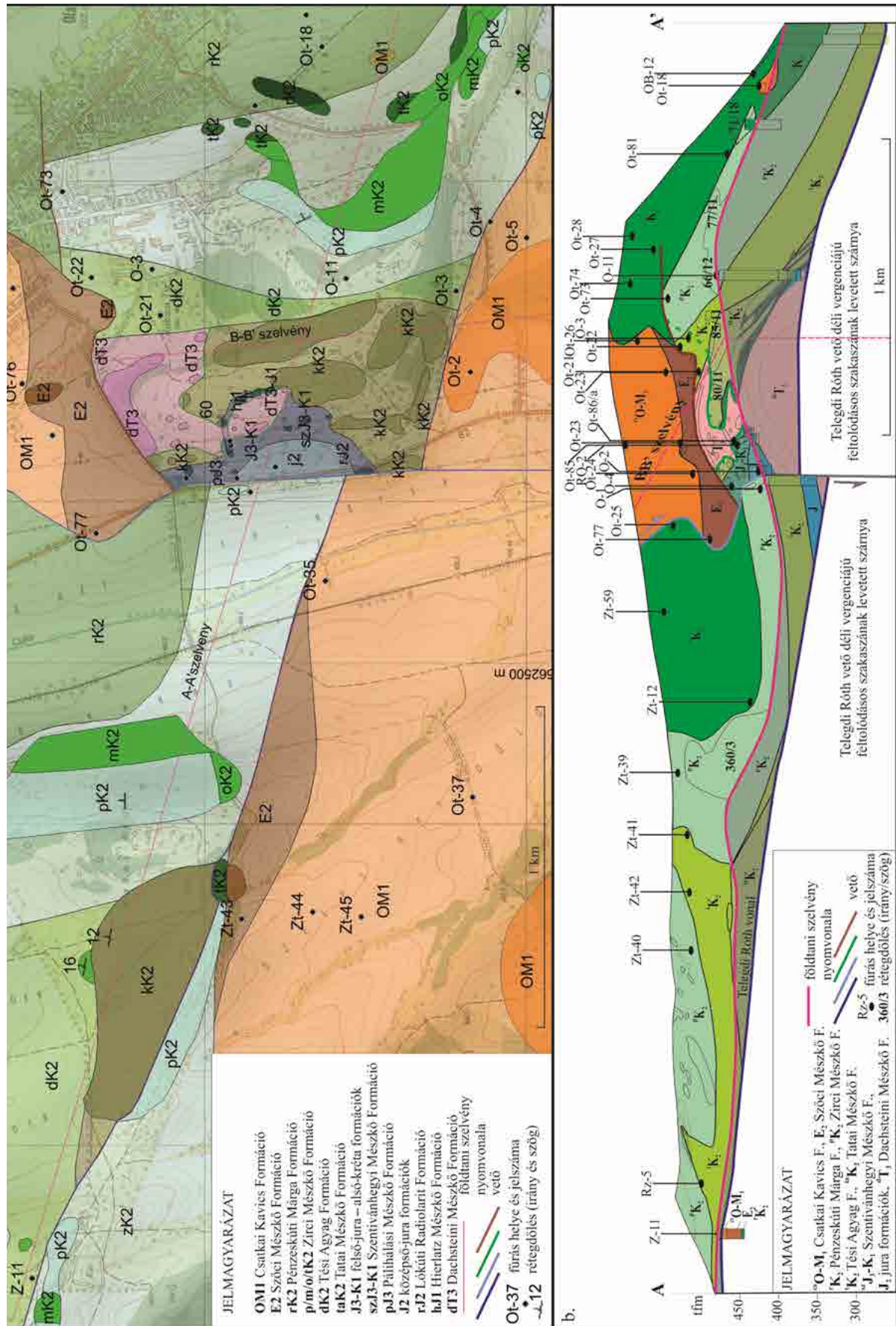
adagrey@gmail.com

Az Északi-Bakony szerkezetföldtani kutatása hosszú évtizedekre tekint vissza. Ennek során nagyszámú tudományos cikk készült számos földtani térképpel, terepi megfigyeléssel és tektonikai szempontból fontos adattal (rétegdőlések; litoklázisok és vetők kora, kinematikája és dőlése; mikrotektonikai mérések). A földtani szakirodalomban fellelhető tektonikai adatok kiegészültek az általam 23 év során végzett szisztematikus tektonikai mérésekkel (KISS 2009), melyek digitális formában kerültek rögzítésre. A meglévő óriási adatmennyiséget egészítette ki, hogy a területen — főként nyersanyagkutatás céljából — ezernél több kutatófúrás létesült jól dokumentált fúrásleírásokkal.

Az összegyűlt nagymennyiségű földtani információ rendszerezése, átláthatósága és könnyebb felhasználhatósága miatt felmerült az igény az adatok adatbázisokba történő integrálására, amely megnyitotta az utat azok térinformatikai rendszerekben történő megjelenítésére és felhasználására. A térinformatikai vagy geoinformációs rendszerek nagy előnye, hogy az adatok gyűjtése, tárolása és elemzése mellett alkalmasak a folyamatosan változó (bővülő) adatbázisok kezelésére. A térinformatikai rendszerek és a velük szorosan összefüggő adatbázisok járulnak hozzá a hatékony regionális földtani modell szerkesztéséhez (ALBERT 2009), mely közelebb visz az Északi-Bakony szerkezetfejlődésének megértéséhez.

Az Északi-Bakony bármely geoinformatikai szoftverben kezelhető alapadatait a topográfiai és tematikus (főleg földtani) térképek, a digitális terepmodell, a saját és korábbi terepi észlelési adatok, a dőlésadatok, a kutatófúrások anyaga, a mikrotektonikai mérések adatai adják (1. ábra, a). A térinformatikai rendszerekben a Magyarországon 1975-ben bevezetett Egységes Országos Vetület (EOV) koordinátarendszerét használtam.

A térinformatikai rendszerekre épülő alkalmazások (navigáció, háromdimenziós modell) elterjedésének köszönhetően számos szabadon szerkeszthető és felhasználható topográfiai térkép és digitális domborzatmodell áll a kutatók rendelkezésére, valamint megtörtént a korábbi papíralapú topográfiai szelvények digitalizációja és koordinátatranszformációja is. Részben igaz ez az 1961–1988 között a MÁFI által készített 1:20 000 méretarányú (Gauss-Krüger topográfiai térképrendszerben és Sztereografikus rendszerben készült topográfiai alapra felvételezett) földtani térképsorozatra is, melyek ma már elérhetők EOV rendszerben is. Az Északi-Bakony területére eső (Borzavár, Bakonybél, Bakonyszentlászló, Bakonyszentkirály, Dudar, Farkasgyepű, Lókút, Márkó, Olaszfalu, Ugod) lapok foltjainak nagy részét (jelenleg körülbelül 7000 folt) digitalizáltam és földtani indexet



1. ábra: a. Global Mapper térinformatikai szoftverben fejlesztett fedetlen földtani térképrészlet az olaszfalui Eperkés-hegy környékéről. b. Az A-A' szelvény és a domborzatmodellből szerkesztett tömbszelvény kompozitképe az olaszfalui Eperkés-hegy környékéről.

rendeltem hozzá. Sok esetben jelentett nehézséget a különböző térképlapokon szereplő azonos rétegtani egységbe sorolt képződmények eltérő jelölése, ezek beazonosítása és egyeztetése az érvényes formátummal (GYALOG szerk. 1996). A digitalizált térképi tartalom sok esetben (saját, GPS-koordinátával rendelkező térképezési adatok prioritása, topográfiai térképhez igazítás, laphatárok egybefésülése miatt) módosításra került.

Az egyéb (főleg földtani szakirodalomból vett szkennelt raszteres) térképek georeferálását egyedileg végeztem, lehetőleg azt a vetületet és dátumot választva, melyben az adott tematikus térkép készült (TIMÁR & MOLNÁR 2013). A geokódolás általában két illesztőponttal (ismert koordinátájú fúráspon, egyéb tereptárgyak) történt, lineáris eljárást használva.

A rétegdőlés- és mikrotektonikai adatok táblázatos formában kerültek rögzítésre. Rétegdőlés esetében a táblázat tartalmazza a mérési pont koordinátáját, a rétegdőlést tartalmazó litosztratigráfiai egység földtani indexét és az EOVS koordinátáit. Mikrotektonikai adatok esetében a táblázat kiegészül a mérés megbízhatóságát jelölő kóddal (c-certain/biztos, p-possible/valószínű, s-supposed/feltételezett), valamint az elmozdulás irányát meghatározó (n-normal fault/normál vető, d-dextral fault/jobbos oldaleltolódás, s-sinistral fault/balos oldaleltolódás, i-inverse fault/feltolódás, valamint ezek kombinációja) kóddal. A táblázat tartalmazza a vetősík dőlését és a vetőkarc irányszögét. Lehetőség van az elmozdulással nem jellemezhető (j-joint/közetrés) és a kalcittal, kvarccal vagy egyéb anyaggal kitöltött litoklázisok dokumentálására is (jx). A mai technológia lehetővé teszi, hogy a terepen mért elem közvetlenül megjelenjen a digitális térképen a helyes pozícióban a kiválasztott litosztratigráfiai egységhez vagy szerkezeti fázishoz kötve.

A fúrási adatok szintén táblázatos formában tömöríthetők a GIS számára értelmezhető adatbázisba. Az adatbázis tartalmazza a fúrás jelszámát, mélységét, EOVS-koordinátáit, a fúrás által harántolt litosztratigráfiai egységek indexét, és egyéb adatokat (helyenként dőlés, vető, ősmaradvány stb). Az Északi-Bakony területén létesített fúrások számottevő részének koordinátái elérhetők a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat térképszerverén <https://map.mbfisz.gov.hu/>. Bizonyos esetekben a megadott koordináta nem egyezett a georeferált földtani térképen jelölt fúrás pontjával, aminek az oka legtöbbször az eredeti fúrónaplókban használt Magyarországi ferdetengelyű érintő vetületi rendszer koordinátáiban az xy koordinátaértékek előjelének megcserélése volt. Amennyiben a fúrónapló nem tartalmazott koordinátákat, a helyszínrajz vagy a szöveges leírás topográfiai térképpel való összevetése (a fúróberendezés felállítására alkalmas terület meghatározása) segítette georeferálni a fúrásponot.

Az adatok tektonikai szempontból kiemelkedő jelentőségű csoportját alkotják a vektoros szerkezetföldtani elemek (vetők, feltolódások, gyűrődési tengelyek). Ezekhez bizonyos esetekben (például a korábban már konkrét néven emlegetett Telegdi Róth-vonal, Bakonybéli-feltolódás, Herend-Márkói-vető esetében) vagy nagy jelentőségű, általam elnevezett szerkezeti objektumoknál (például Kék-hegyi-vető, Cuha-feltolódás, Dudari-hát) konkrét nevet rendeltem. A nevekkel ellátott és a nevekkel nem jellemzett egyedileg azonosított tektonikai objektumokat a vetők kinematikája szerint csoportosítottam, és tektonikai fázisokba soroltam. A fázisbesorolás alapját a mikrotektonikai adatokból számítható feszültségtér adatok alapján kapott csoportok alkották. A tektonikai fázisbesorolást azért is tartottam kiemelkedő fontosságúnak, mert lehetőséget ad a hagyományosan pontszerű adatokra vonatkozó elemzések helyett összetett szerkezeti vonalak térképi elemzésére (ALBERT 2014).

A fenti adatok egységes geoinformatikai rendszerbe illesztését alapvető fontosságúnak éreztem az Északi-Bakony szerkezetföldtanának megismeréséhez. A GIS a klasszikus kutatási szemlélet (kérdésfelvetés – terepi munka – adatfeldolgozás – következtetések) elengedhetetlen részévé vált. A geoinformatika egységesíti, könnyen előhívhatóvá és feldolgozhatóvá teszi a különböző forrású adatokat, emellett lehetőséget ad az archív adatok megfelelő adatrendszerbe illesztésére és a földtani modellek szemléletes megjelenítésére (1. ábra, b). Az Északi-Bakonyi geoinformatikai adatbázisának létrehozásával új lendületet kaphat a sok Bakony-kutatót régóta foglalkoztató alapkérdés megválaszolása: vajon milyen a középhegységi eoalpi szinklinálisok geometriája és pontosan mikor keletkeztek.

Irodalom

- ALBERT G. 2009: Háromdimenziós földtani modellek fejlesztésének és megjelenítésének módszerei térinformatikai szemlélettel. — Kézirat, Doktori (Ph.D) értekezés, ELTE Földtudományi Doktori Iskola, 150 p.
- ALBERT G. 2014: Inventorizing elements in geological maps and 3D models – Problems, Concepts, Solutions. — In: BEQIRAJ et al (eds). Proceedings XX. Congress of the Carpathian–Balkan Geological Association. Tirana, Albánia. p. 459.
- KISS A. 2009: Az Északi-Bakony szerkezetalakulása. — Kézirat, Doktori (Ph.D) értekezés, ELTE Földtudományi Doktori Iskola, 120 p.
- TIMÁR G. & MOLNÁR G. 2013: Térképi vetületek és alapfelületek. — Egyetemi jegyzet, ELTE Természettudományi Kar, 84 p.

Átöröklött triász sószerkezetek és azok szerepe az aggteleki Szilicei-takaró alpi deformációja során

ORAVECZ ÉVA^{1,2}, HÉJA GÁBOR², FODOR LÁSZLÓ^{2,3}

¹Eötvös Loránd Tudományegyetem

²MTA-ELTE Geológiai, Geofizikai és Űrtudományi Kutatócsoport

³MTA-ELTE Vulkanológiai Kutatócsoport

orav.eva@gmail.com

Az enigmatikus Szilicei-takaró az Aggteleki-hegység legfelső helyzetű takarója, amely fő lenyesési szintjét a perm–kora-triász korú Perkupai Evaporit Formáció alkotta a kréta deformáció során. Több korábbi tanulmányban is felvetették, hogy az Aggteleki-hegységben jelen lehetnek a Perkupai Evaporitban gyökerező sódiapírok is (GRILL 1989, LESS et al. 2006, ZELENKA et al. 2005), de ezek deformációtörténeti jelentőségét mindeddig nem vizsgálták részleteiben.

Az Aggteleki-hegység K-i részén folytatott újabb szerkezeti térképezés eredményei azt mutatják, hogy nemcsak egyszerű sódiapírokról, hanem komplex szerkezetű sófalakról és sóantiklinálisokról is beszélhetünk, amelyek triász vetőkhöz kapcsolódhattak. A megfigyelt csuszamlási redők, szinszediment és pretilt normálvetők, valamint az alsó-triász képződményekben tapasztalható vastagságbeli különbségek alapján ezek a sószerkezetek már a kora-triász során is működtek szinszediment jelleggel. A triász során az üledékképződés sómedencékben (minibasin) folyhatott, amelyek fejlődését a folyamatosan növekvő sószerkezetek geometriája határozta meg. A sómozgás együtt járt a rétegek sószerkezetek menti felboltozódásával és elvonzolódásával, ami térképi léptékű redőződést eredményezett. A triász redőződés pontos mértéke kérdéses, de a sószerkezetek közvetlen környezetében akár a függőleges vagy átbuktatott helyzetig is billentődhetnek a rétegek. Ez azt jelenti, hogy a Szilicei-takaróban nem minden redő a kréta deformációhoz kapcsolódik — sőt talán a legtöbb nem —, hanem sokkal idősebb annál.

A már eleve jelenlévő sószerkezetek és normálvetők erősen befolyásolták a kréta deformáció jellegét és geometriáját. A só kiperéselődésével első lépésben másodlagos sókicsípődési felületek (weld) képződtek, amelyek aztán ferde rátolódásokként reaktiválódtak. A fő ÉNy–DK-i rövidülés során a közel K–Ny-i csapású sószerkezetek kényszervetők (tear fault) alakultak (Jósvafő–Perkupai-vetőzóna), míg a sómedencék határainak reaktivációjával fiatal idősön (young-on-older) típusú rátolódások jöttek létre (például Jósvafő–Bódvaszilas-vetőzóna). A rövidüléssel eredetű szerkezeti elemek vergenciája elsősorban D–DK-i, de az átöröklött szerkezeti elemek következtében lokális eltérések több helyen is adódnak a vergenciát és a rövidülés irányát illetően.

Összességében az eredmények jól mutatják, hogy a Szilicei-takaró máig vitatott szerkezetfejlődésének és takarószállítási irányának megértéséhez mindenképpen a triász preorogén szerkezeti geometria megértésén keresztül vezet az út.

A kutatás az Emberi Erőforrások Minisztériumának ÚNKP-18-2 számú Új Nemzeti Kiválósági Programjának, valamint a 113013 számú OTKA projekt támogatásával valósult meg.

Irodalom

- GRILL J. 1989: Az Aggtelek–Rudabányai-hegység szerkezetfejlődése. — A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1987. évről, 69–103.
- LESS GY., KOVÁCS S., SZENTPÉTERY I., GIRLL J., RÓTH L., GYURICZA GY., SÁSDI L., PIROS O., RÉTI ZS., ELSHOLZ L., ÁRKAI P., NAGY E., BORKA ZS., HARNOS J. & ZELENKA T. 2006: Az Aggtelek–Rudabányai-hegység földtana: Magyarázó az Aggtelek–Rudabányai-hegység 1988-ban megjelent 1:25 000 méretarányú fedetlen földtani térképéhez. — Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- ZELENKA T., NÉMETH N. & KALÓ J. 2005: Az alsótelekesi gipsz-anhidrit dóm szerkezete. — Földtani Közöny 135/4, 493–511.

Középső-eocén klíma optimumra (MECO) utaló jelenségek és karbonátos fáciesek az ÉK-Dunántúli eocén rétegsorokban

KERCSMÁR ZSOLT¹, KELEMEN PÉTER², DUNKL ISTVÁN³

¹Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat

²Eötvös Loránd Tudomány Egyetem, Kőzettani és Geokémiai Tanszék

³University of Göttingen, Geoscience Center, Department of Sedimentology and Environmental Geology
kercsmar.zsolt@mbfsz.gov.hu

A kora-eocén klímamaximumot (EECO) követő lehülési periódust megszakító középső-eocén klímaoptimum (MECO) széles körben kutatott, kb. 40–38 millió éves időközre eső gyors globális felmelegedési esemény, amelynek során a világoceánok mélytengeri hőmérséklete, viszonylag hirtelen, közel a duplájára, vagy azt meghaladó mértékben nőtt (BIJL et al. 2009). Az EECO utáni, a kainozoos klímafejlődést meghatározó fokozatos lehülés a lutetiai közepe táján (cca. 42,5 M év) megtorpant. A rövid periódusú hirtelen középső-eocén felmelegedési esemény (MECO) a bartoni korszakra (annak is a korai szakaszára) korlátozódik. A gyors felmelegedési fázist ugyanolyan hirtelen visszahűlés követi, még a bartoni során (BIJL et al. 2009). Egyes kutatók szerint a MECO időszaka még ennél is szűkebb, mintegy 500 ezer évet felölelve, 40,5–40,0 millió év közötti időszakra tehető (BOSCOLO GALAZZO et al. 2014) (1. ábra).

Mélytengeri fúrások sokparaméteres vizsgálata szerint a klímaoptimum idején lecsökkent az óceánok bentosz foraminifera mennyisége, és nagy tömegben jelentek meg a plankton foraminiferák, miközben csökkent a durva szemcséjű üledékfrakció, amivel fordítottan nőtt a finomszemcsés üledék mennyisége, illetve az üledékek karbonáttartalma (BOSCOLO GALAZZO et al. 2014) (1. ábra). Számításaik szerint a trópusi óceánok felszíni átlaghőmérséklet elérhette a 35 °C-ot, aminek következtében megnőtt a karbonát-kiválasztódás.

A dunántúli eocén rétegsorok eddigi kutatása alapján, a szárazföldi, majd tengeri eocén üledék-képződés trópusi–szubtrópusi éghajlaton zajlott. A karsztos területeken megindult szárazföldi tavi és folyóvízi üledékképződést mindenütt trópusi mállás és bauxitképződés előzte meg. A középső-eocén transzgresszió következtében, sekélytengeri környezetekben olyan karbonátos rétegsorok rakódtak le a lutetiai–bartoni–priabonai során, amelyek általános jellemzője az óriás foraminiferák különböző nemzedékeinek tömeges jelenléte, illetve a nyílttengeri karbonátrámpákon, valamint ezektől

elszigetelt, vagy részben elszigetelt, védettebb, lagúna környezetekben zajló leülepedése, továbbá a karbonátrámpák időben fiatalodó K, ÉK felé tolódása (KERCSMÁR et al. 2008 in: BUDAI, FODOR szerk. 2008, KERCSMÁR 2018 in: BUDAI szerk. 2018).

A széntelepek tengeri meddő rétegeiből kimutatott nannoplankton és plankton foraminifera adatok alapján, az északkelet-dunántúli területen (Vértes, Gerecse) valamivel a késő-lutetiai előtt indul meg a középső-eocén üledékképződés (KOLLÁNYI, BÁLDI-BEKE 2002, KOLLÁNYI et al 2003). A Bakony némileg idősebb eocén rétegsoraihoz hasonlóan, a folyóvízi és kezdetben limnikus, majd parallikus mocsári üledékekre nagy területen, szigetekkel és mezozoos képződményekből álló hátakkal tagolt sekélytengeri környezetben rakódtak le az első karbonátos üledékek, amelyeket lapos és meredek abrázios parttal rendelkező, egyenletes és változó hajlásszögű karbonátrámpák üledékei követték (KERCSMÁR 2005, PÁLFALVI 2007).

A medenceperemi karbonátok pontos rétegtani tagolása nehézségekbe ütközik, így a képződésük pontos ideje és annak helyzete a MECO-hoz képest eddig nem volt lehetséges. A nummulitesz zonáció, középső-lutetiai–bartoni korú perforatus-millecaput zónája (KECSKEMÉTI 1998 in BÉRCZI, JÁMBOR szerk. 1998) magában foglalja a teljes vértesi és gerecsei eocén karbonátos rétegsort, ami a Gerecse északi területén a priabonaiba is átnyúlik (LESS et al. 2000, KERCSMÁR 2018 in BUDAI szerk. 2018).

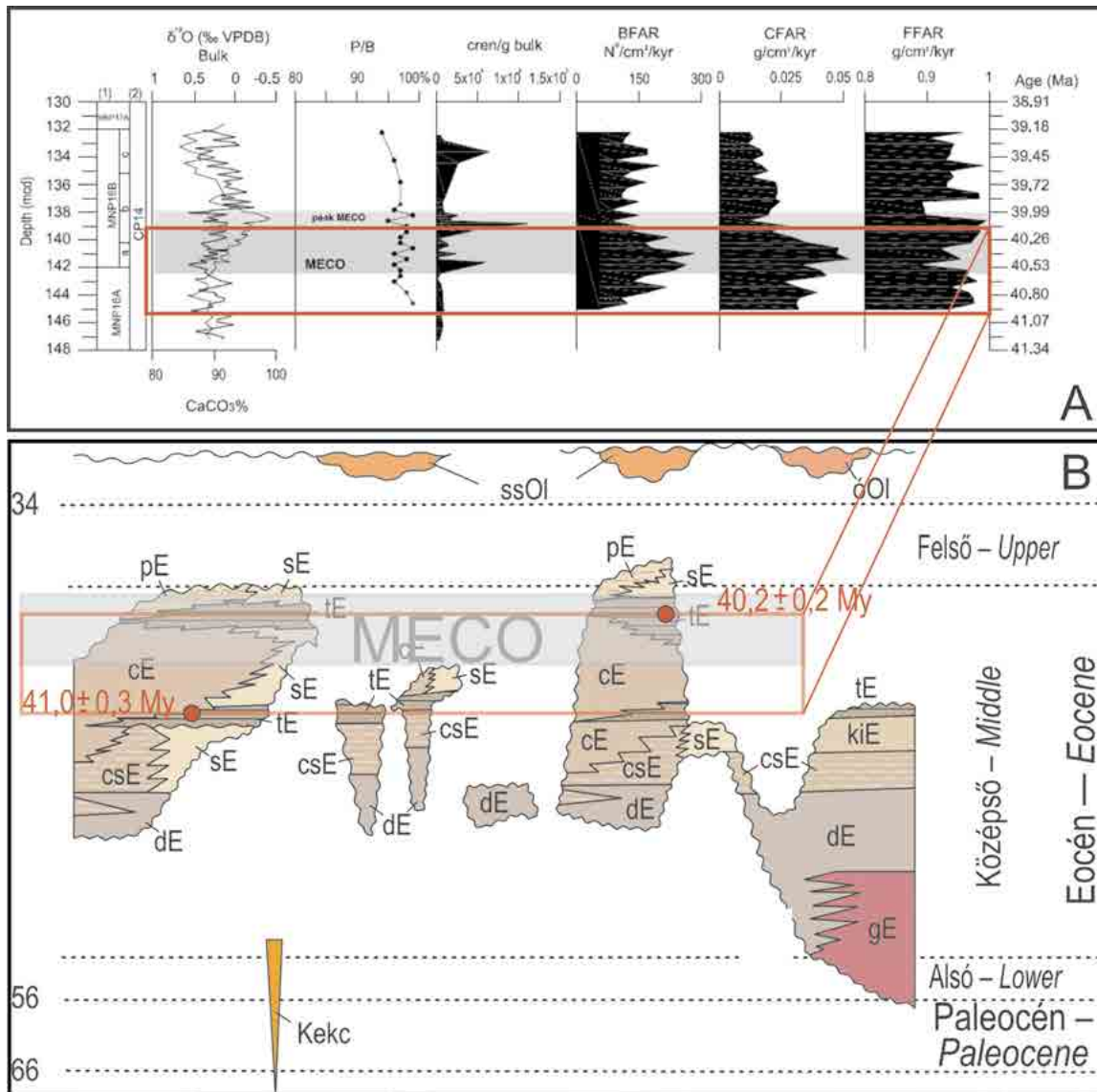
A Vértes É-i részén és a Gerecse területén azonban a medenceperemi karbonátos rétegsorokba két szintben is sziliciklasztos rétegek települnek, részben megszakítva (D-i Gerecse, É-i Vértes), részben megelőzve (É-i Gerecse) a karbonátos üledékképződést (KERCSMÁR 2018 in BUDAI szerk. 2018). A túlnyomórészt kvarcsezemcséket tartalmazó törmelékes üledékek cirkonkristályain a Göttingeni Egyetem Földtudományi Központjában végeztünk lézer ablációs módszerrel U–Pb kormeghatározást. A mintákat a D-i Gerecsében a tatabányai Keselő-hegy, az É-i Gerecsében Tokodaltárótól Ny-ra, a Gete-aljának rétegsoraiból gyűjtöttük.

Az eocén vulkáni tevékenységből származó idiomorf cirkonkristályok U–Pb kora $41,0 \pm 0,3$ millió évnek adódott 23 adat alapján (Keselő-hegy), míg az É-i Gerecse területéről származó vulkáni eredetű kristályok $40,2 \pm 0,2$ millió éves kort adtak, bár itt csak 4 kristályt vizsgáltunk. Az így kapott, vulkáni anyaggal szennyezett homokkő lerakódási korai „maximum korként”, azaz a legidősebb lehetséges lerakódási korként értelmezendők. Az adatok alapján a két sziliciklasztos esemény közötti időszak magában foglalja a MECO-t. Ezáltal a gerecsei karbonátos rétegsorban ez a szakasz jól lehatárolhatóvá válik, ami lehetővé teszi a megfelelő paleoökológiai értékelését ennek az időszaknak, és egyebek mellett magyarázatot ad a Gerecse É-i részén található karbonátos képződmények fácieskülönbségeire is.

A sziliciklasztos események által behatárolt MECO időszak legfontosabb, korábban több publikációban ismertetett karbonátos rétegsorbeli jelenségei és jellegzetes fáciesei (KERCSMÁR 2005, KERCSMÁR et al. 2008 in: BUDAI, FODOR szerk. 2008, KERCSMÁR et al. 2009, KERCSMÁR 2018 in: BUDAI szerk. 2018):

1. Fokozott karbonátproduktivitás, és lecsökkent sziliciklaszttartalom, ami a peremi karbonátos rétegsorokban (mikro-, és makrofáciesek) jól kimutatható.
2. A szerkezeti süllyedéssel lépést tartó karbonátermelődé és a karbonátos rámpák progradációja a medencék irányába.
3. A korábbi foltzátanyoknál nagyobb és masszívabb korallzátany építmények és környezetük (előtér, háttér) kiépülése.
4. Nummulitesz-zátanydombok megjelenése.
5. Túlsós lagúnák (Gánt, Nagyegyháza, Csordakút) tisztán karbonátos üledékképződése, miliolinás, alveolinás mészkőrétegek (Kincsesi F.).
6. A medenceperemi karbonátokkal heteropikus, erősen meszes medenceüledékek megjelenése („Operculinás márga”).

Az É-i Gerecsében vizsgált sziliciklasztos törmelék fölött kiépülő, közvetlen a MECO után lerakódott karbonátos rétegsor nagy vastagságban áthalmazott vörösalga-töredékeket, -gumókat és túlnyomó részt vörösalgából álló zátonyépítményt tartalmaz (KERCSMÁR 2019), ami jól mutatja a felmelegedett környezet hirtelen lehűlését, azaz a MECO utáni állapotot.



1. ábra. BOSCOLO GALAZZO et al. (2014) által oxigénizotóp vizsgálatokkal kijelölt és egyéb paraméterekre vizsgált középső-eocén klímaoptimum (MECO) időszakának (A ábra) párhuzamosítása a Gerecses hegység eocén rétegsorával (B ábra, KERCSMÁR 2008 in: BUDAI szerk. 2008), sziliciklasztos rétegek törmelékcsirkon kristályainak U-Pb korai alapján (a mintavétel rétegtani helyét piros pontok jelölik).

MECO – középső-eocén klíma optimum; P/B-plankton/bentosz foraminifera aránya, BFAR-bentosz foraminifera tartalom, CFAR-durva frakció mennyisége, FFAR-finom frakció mennyisége; Eocén litosztratigráfiai egységek: gE – Gánti Bauxit Formáció; dE – Dorogi Formáció; csE – Csernyei Formáció; sE – Szőci Mészke Formáció; cE – Csolnoki Agyagmárga Formáció; kiE – Kincsesi Formáció; tE – Tokodi Homokkő Formáció; pE – Padragi Márga Formáció
ligocén litosztratigráfiai egységek: ssOl – Sársápi T. (Csatka F); óOl – Óbaroki Bauxit

Irodalom

- BIJL, P. K., SCHOUTEN, S., SLUIJS, A., REICHHART, G.-J., ZACHOS J. C. & BRINKHUIS, H. 2009: Early Palaeogene temperature evolution of the southwest Pacific Ocean. — *Nature* 461/8, 776–779. doi:10.1038/nature08399
- BOSCOLO GALAZZO, F., THOMAS, E., PAGANI, M., WARREN, C., LUCIANI, V. & GIUSBERTI, L. 2014: The middle Eocene climatic optimum (MECO): A multiproxy record of paleoceanographic changes in the southeast Atlantic (ODP Site 1263, Walvis Ridge). — *Paleoceanography* 29, 1–19. doi:10.1002/2014PA002670.
- BUDAI T., FODOR L. (SZERK.), CSÁSZÁR G., CSILLAG G., GÁL N., KERCSMÁR Zs. KORDOS L., PÁLFALVI S. & SELMECZI I. 2008: A Vértes hegység földtana. Magyarázó a Vértes hegység földtani térképéhez (1:50 000). — Magyarország tájegységi térképsorozata, 368 p., A Magyar Állami Földtani Intézet kiadványa.
- BUDAI T., FODOR L., SZTANÓ O., KERCSMÁR Zs., CSÁSZÁR G., CSILLAG G., GÁL N., KELE S., KISZELY M., SELMECZI I., BABINSZKI E., THAMÓNÉ BOZSÓ E. & LANTOS Z. 2018: A Gerecse hegység földtana. Magyarázó a Gerecse hegység földtani térképéhez (1:50 000). [Geology of the Gerecse Mountains. Explanatory book to the geological map of the Gerecse Mountains (1:50 000)]. — Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat kiadványa, Budapest, 490 p., ISBN 978-963-671-312-6
- KECSKEMÉTI T. 1998: Magyarország epikontinentális eocén képződményeinek rétegtana. In: BÉRCZI I., JÁMBOR Á. (szerk.) 1998: Magyarország geológiai képződményeinek rétegtana. — A MOL Rt. és a MÁFI kiadványa, pp. 403–417. ISBN 963 671 192 5
- KERCSMÁR Zs. 2005: A Tatabányai-medence földtani felépítésének és fejlődéstörténetének újabb kutatási eredményei tektono-szedimentológiai és üledékföldtani vizsgálatok alapján. — Kézirat, PhD értekezés, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Őslénytani Tanszék, 175 p.
- KERCSMÁR Zs. 2019: Mészalga (Corallinacea) zátonyépítmény a Dorogi-medence eocén rétegsorában. — Program, Előadás kivonatok, Kirándulásvezető, 22. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés, 2019.05.30–06.01, Döbrönte, 21–22. ISBN 978-963-8221-75-9
- KERCSMÁR Zs., PÁLFALVI S., FODOR L., LESS Gy., BUDAI T. & KORDOS L. 2009: A Vértes hegység eocén képződményei. — EMT, XI. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia, Máramarossziget, 2009. április 2–5. ISSN 1842-9440
- KOLLÁNYI K. & BÁLDINÉ-BEKE M. 2002: Eocén fúrások részletes plankton zonációja, mint az integrált bio- és magnetosztratigráfiai vizsgálatok alapadatai. — *Földtani Közlöny* 132/3–4, 325–354.
- KOLLÁNYI K., BERNHARDT B., BÁLDINÉ-BEKE M. & LANTOS M. 2003: Dunántúli eocén fúrások integrált sztratigráfiai vizsgálata. — *Földtani Közlöny* 133/1, 69–90.
- LESS, Gy., KECSKEMÉTI, T., OZSVÁRT, P., KÁZMÉR, M., BÁLDI-BEKE, M., KOLLÁNYI, K., FODOR, L., KERTÉSZ B. & VARGA, I. 2000: Middle-Upper Eocene shallow water benthos in Hungary. — In: BASSI, D. (ed): Shallow water benthic communities at the Middle-Upper Eocene boundary. — Field trip guidebook, 5th Meeting of the IGCP 393, Field trip in Hungary, July 28–30, 2000, 150–181.
- PÁLFALVI S. 2007: A Vértes eocén üledékképződési környezetének rekonstrukciója mikrofaciészvizsgálatok alapján. — PhD értekezés, ELTE Őslénytani Tanszék, 150 p.

A PGI–1 fúrás földtani eredményei

HÁMOS GÁBOR¹, BALOGH ZOLTÁN¹, BENŐ DÁVID¹, KERESZTÉNY BALÁZS¹,
KOC SIS GÁBOR¹, MAJOROS GYÖRGY¹, MÁTHÉ ZOLTÁN¹, MUCSI PÉTER¹, SÁMSON MARGIT¹,
BERNÁTH GYÖRGY², KOVÁCS ATTILA CSABA²

¹Mecsekérc Zrt. 7633 Pécs, Esztergár Lajos u. 19.

²Geo-Log Kft. 1145 Budapest, Szugló u. 54.

hamosgabor@mecsekerc.hu

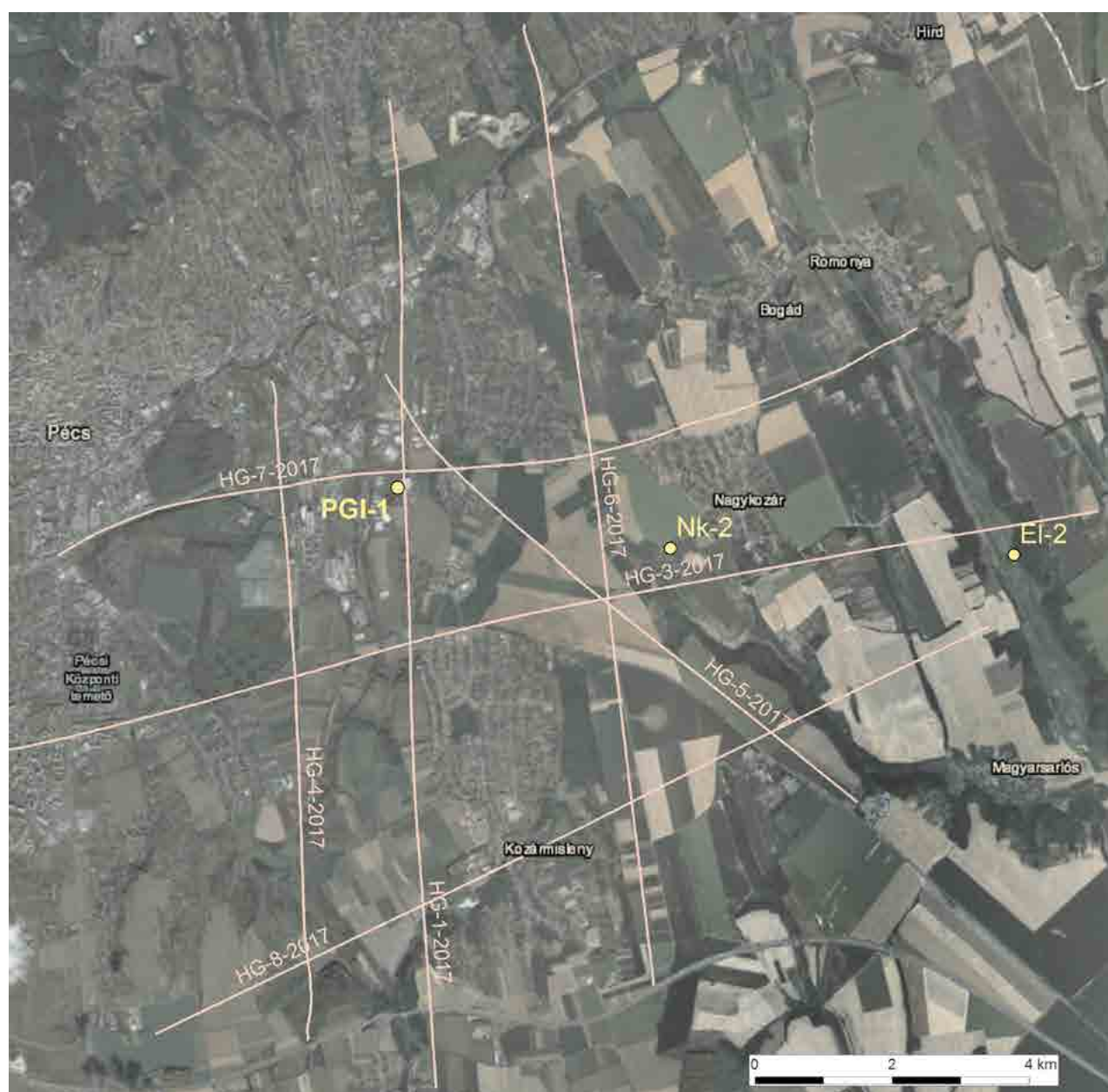
A Mecsekérc Zrt. — konzorciumi partnerekkel közösen — állami támogatást nyert el az „Energetikai célú földtani kutatási projektek rendszerbizonytalanságának csökkentése a Mecsek hegység déli előtere földtani modelljének validálása példáján” című és GINOP-2.1.1-15-2015-00616 azonosító számú földtani kutatási program végrehajtására.

A kutatás egyik kiemelt fontosságú eleme volt a nagymélységű PGI–1 kutatófúrás. A mélyfúrás helyének kijelölése, lemélyítése az előzetesen két fázisban elvégzett felszíni 2D, Pseudo 3D szeizmikus, valamint magnetotellurikus mérések értékelését követően történt Pécs város déli részén a beépített területek, közművezetékek figyelembevételével. (1. ábra).

A PGI-1 fúrás 1599,2 m-ig teljes szelvénnel, 5 méterenkénti furadék-mintavétellel, ez alatt, az 1800 m-es talpig, magfúrással mélyült.

A vizsgált terület előzetesen megismert főbb földtani, szerkezeti jellemzői

A GINOP kutatási terület jelentős része a Mecsekalja diszlokációs övbe esik. A Mecsekalja-öv alatt a Mecsek hegységet délről határoló, több kilométer széles diszlokációs övet értjük, melynek északi határfelülete a Mecsekalja-feltolódás vagy Mecsekalja-vonal. Déli határfelülete azonban pontosan nem határozható meg, azt a Görcsönyi-feltolódás fedi.

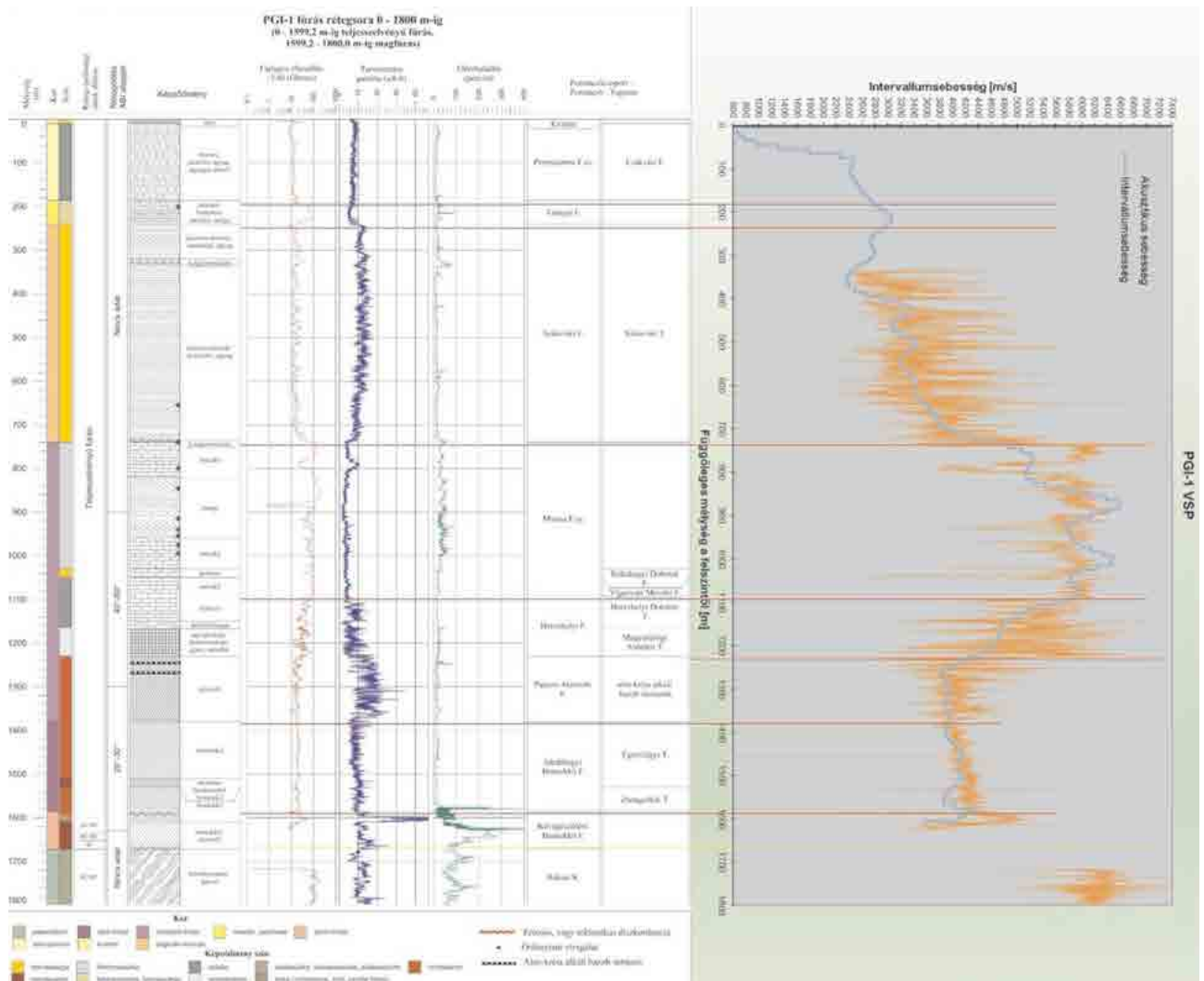


1. ábra. A PGI-1 fúrás az előkészítő felszíni 2D, Pseudo 3D mérések nyomvonalával

A vizsgált terület szélsőségesen, 10–1400 m között változó vastagságban kainozoos fedő-üledékekkel fedett, az ÉNy-i, É-i peremterületek kivételével, melyek már a Mecsek kiemelt alap-hegységi tömbjéhez tartoznak.

A korábbi fúrásos kutatás a mecseki urán- és szénkutatással érintett kiemelt alaphegységi területeken kívül elsősorban sekély, általában 0–300 m mélységű teljesszelvényű (vízkutatási célú és térképező — mintegy 400 db 0–20 m mélységű), ritkábban szakaszos magvételű mélyfúrásokkal (pl. Nagykozár–2, Ellend–2, Ellend–1/a) történt. Ezért a földtani, szerkezeti információk nagyon hiányosak, bizonytalansággal terhelték a vizsgált térségben. Több korábbi fúrásban a földtani képződmények teljes szelvényű szakaszok furadékmintái alapján történő besorolása tévesnek bizonyult, amely befolyásolta a földtani értelmezést.

A területet bonyolult földtani–szerkezeti felépítés jellemzi feldarabolódott, többszörösen egymásra torlódott, egymásra csúszott, helyenként gyűrt földtani szerkezeti blokkokkal. 3–4 nagyobb földtani-szerkezeti blokk (Mecsek, mórágyi–ófalui granitoid, és palaösszlet, dél-baranyai mezozoos sziget-rögök, Dráva-egység a DK-i sarokban) ütközési zónájában található, mely térséget a Mecsek hegység kora-kréta utáni (kb. 125 millió évvel ezelőtől) kiemelkedését követően is legalább 3–4 különböző időszakban és erőhatásra, eltérő feszültségtérben lejátszódó, jelentős elmozdulásokkal járó tektonikai fázis, hatás (kompressziós, oldaleltolódásos, tágulós és ezek kombinációja) érintett.



2. ábra. A PGI-1 fúrás rétegsora és korrelációja a földtani dokumentációs adatok és a lyukgeofizikai mérések szelvényei alapján

Vizsgálatok

A fúrás mélyítése során fúróluk-geofizikai, VSP és hidraulikai mérések, valamint vízmintázások is történtek.

A furadékot folyamatosan dokumentálták a műszaki felügyeletet ellátó geológusok, valamint a korbesorolás pontosítására öslénytani vizsgálatok is történtek.

A maggal fúrt szakaszokon a magvályúk és a magládák helyszíni fotózását a magraktárban nagyfelbontású fotózás, majd — a tikettázás után — részletes geotechnikai, földtani és tektonikai dokumentálás, mintázás követte. A maggal fúrt szakasz kőzeteiből kőzetmechanikai, kőzetfizikai, vékonycsiszolatos és kémiai, ásvány-kőzettani vizsgálatokat is végeztek.

A fúrás rétegsora

A furadékminták leírása, a maggal fúrt szakaszon felismert réteg- és kőzetszakaszok, valamint a lyukgeofizikai mérések segítségével a PGI–1 fúrás rétegsora egyértelműen meghatározható, beazonosítható volt. Kiemelendő, hogy a földtani rétegsor és annak rétegtani, kőzettani tulajdonságai rendkívül jó egyezést mutatattak a lyukgeofizikai szelvények paraméter mintázataival, értékváltozásaival. Különösen jól követhető ez az akusztikus és a VSP mérésekből meghatározott hullám- és intervallumsebességek, a természetes gamma és az ellenállás görbék lefutásán (2. ábra).

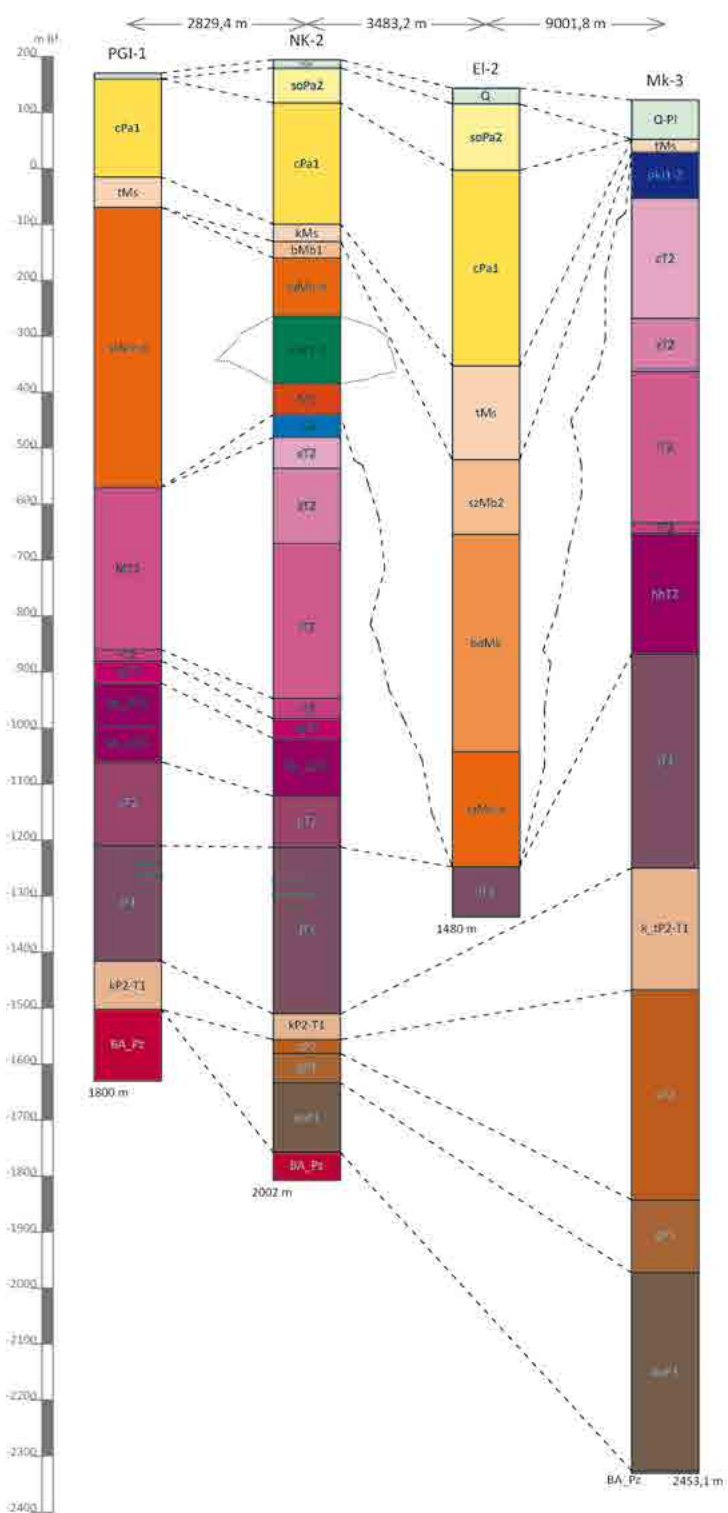
A fúrás jelentős vastagságú fedőüledék (vékony kvarter ~9 m, alsó-pannóniai Peremartoni Formációcsoport Csákvári Agyagmárga Formáció ~177 m, miocén szarmata korú Tinnyei Formáció ~54 m, alsó-miocén eggenburgi–ottnangi korú Szászvári Formáció, Szászvári Tagozat ~500 m vastagságban harántolt szakaszai) alatt a Misinai Formációcsoport rétegösszleteit, a Hetvehelyi, Patacsi, Jakabhegyi Formációk triász, a Kővágószőlősi Homokkő Formáció perm korú kifejlődéseit harántolta 20–60° között változó rétegdőlésekkel, amelyek 1672,6 m-től 60°-os dőlésű tektonikus érintkezési felület mentén következnek a paleozoos Baksai Komplexum meredek palássági síkokkal jellemezhető metamorf kőzeteire. A talpig (1800 m-ig) követhető metamorfitot ortogneisz és csillámos kristálypala alkotja, helyenként aplit, kataklázit és breccsás szakaszokkal.

Eredmények, összegzés

A korábbi adatokból kiindulva, a GINOP projekt munkái, főleg szeizmikus kutatásai és a PGI–1 fúrással történő validálása alapján körvonalazható a Nagykozári-szerkezet (a Máriakémedi-vonulat részeként), mint a térség egyik, ha nem az egyetlen geotermikus kutatási objektuma.

A megvalósult 1800 m talpmélységű PGI–1 kutatófúrás 740 m vastag kainozoos medence-üledékekkel kitöltött árokszerű süllyedék alatt a rétegsor nyilvánvalóan a Nk–2, El–2, Mk–3 fúrá-sokhoz, de általában a dél-baranyai szigettrögök perm–triász rétegsorához hasonlít, vagyis egyértelműen mecseki kifejlődésű, felfelé fiatalodó, a rétegrendnek megfelelő perm–triász rétegösszletet (kivékonyodó, peremi kifejlődésű permi törmelékes rétegszakaszokkal) harántolt, amely tektonikusan érintkezik az alatta települő, uralkodóan 60–90°-os palássági síkokkal jellemezhető metamorf kristályos aljzat kőzeteivel (3. ábra).

A projektben és a fúrásban elvégzett vizsgálatok eredményei bizonyították, hogy egy fiatal fedőüledékekkel vastagon lefedett, bonyolult földtani felépítésű, kevés ismerettel rendelkező térségben érdemi földtani–szerkezeti, hidrogeológiai kutatást, értelmezést végezni felszíni geofizikai módszereket felhasználva csak komplex lyukgeofizikával, VSP méréssel és legalább több szakaszban magmin-tavétellel validált kutatófúrásokkal és ezek helyszíni mérési programjának végrehajtásával, mag- és furadékanyagának feldolgozásával, komplex értelmezésével lehetséges.



3. ábra. Mélység helyes fúrási szelvények a horizontális távolságok rövidítésével a Márikémedi-vonulatban

Irodalom

KERESZTÉNY B., BALOGH Z., BÁLINT A., BENŐ D., HÁMOS G., ISTOVICS K., KOCSIS G., MÁTHÉ Z., MUCSI P., SÁMSON M., VÁGÓ Z. (Mecsekérc Zrt.), BERNÁTH Gy, KOVÁCS A. Cs. (Geo-Log Kft.), ANDRÁSSY M., DARVAS K., KORPAI E (Golder Zrt.), KOVÁCS L., GÁL V., GELENCSÉR K., MÁZIK K., SOMODI G. (Kőmérő Kft.), FEDOR F., KORONCZ P. (Geochem Kft.), GÖRÖG Á. (Hantken M. Alapítvány) 2019: A PGI-1 fúrás do-kumentációs és értékelő jelentése. — Kézirat, MECSEKÉRC Zrt. Irattár

A gorzai vörös homokkő anyagú kőeszközök potenciális nyersanyagainak petrográfiai és nehézsúly vizsgálat

MIKLÓS DÓRA GEORGINA¹, SZAKMÁNY GYÖRGY¹, JÓZSA SÁNDOR¹, GMÉLING KATALIN²,
HORVÁTH FERENC³, ELISABETTA STARNINI⁴

¹Eötvös Loránd Tudományegyetem, Kőzettan-Geokémiai Tanszék, Budapest

²Nuclear Analysis and Radiography Department Centre for Energy Research, Hungarian Academy of Sciences(KFKI)

³Móra Ferenc Múzeum, Szeged

⁴UNIFI, Department of Civilizations and Forms of Knowledge, Pisa, Olaszország
miklosdoragina94@gmail.com

Bevezetés és a lelőhely ismertetése

A homokkövek a neolitikum óta igen gyakran használt nyersanyagok, amelyekből főként szerszámköveket (pl. őrlőkő, malomkő) készítettek. Többnyire kvarcban gazdagok, de egyéb, általában kis mennyiségben megjelenő összetevőik tekintetében rendkívül változatosak lehetnek. A Kárpát–Pannon térségben sokféle, felszínen is nagy területen elterjedt homokkő ismert, ezért az ezekből készített nagyszámú régészeti lelet származási területének meghatározása rendkívül fontos feladat. Archeometriai feldolgozásuk a kőzettani, petrográfiai azonosításuk nehézsége miatt mindeddig háttérbe szorult. Az elmúlt mintegy 20 évben kezdődött meg mind hazai mind nemzetközi viszonylatban a szerszámkövek, azon belül a homokkövek archeometriai szempontból történő intenzív anyagvizsgálata.

Hódmezővásárhely-Gorza régészeti lelőhely Szegedtől ÉK-re, kb. 25 km-re, Hódmezővásárhelytől DNy-ra 15 km-re található. Területe 10 hektár, amelyből 3–3,5 hektárt a rétegzett tell tesz ki, melyen kialakult rétegsor vastagsága 2,6–3 méter vastag. A területtel 1952-óta foglalkoznak, ugyanakkor aktív ásás csupán 1978–1996 között, HORVÁTH Ferenc vezetésével zajlott. A jelen kutatás tárgyát képező mintákhoz kapcsolódó régészeti leletek ez utóbbi kutatási időszakaszából, a tell késő neolitikus időszi rétegeiből származnak.

A lelőhely homokkő anyagú szerszámköveivel SZAKMÁNY et al. (2008, 2010) és PIROS (2010) foglalkozott. Összesen hatféle homokkőtípust különítettek el, makroszkópos és polarizációs mikroszkópos vizsgálatok segítségével, azonban a fehér metahomokkő és a pátos kalcitcementtel rendelkező homokkő típusán kívül a további csoportosítás terén nem teljesen egyezett a beosztásuk. A homokkövek között nagy mennyiségben és változatosságban figyelhetők meg a vörös színű típusok. A vörös homokköveken belül három altípust különítettünk el, amelyből kettő PIROS (2010) munkájából már ismert (vörös–1 és vörös–2 típus). Ezen felül azonosítottunk egy újabb, harmadik típust (vörös–3 típus) is, amelyet eddig a publikációk nem különítettek el. Jelen munkánk célja a vörös homokkő, azon belül is kiemelten a vörös–3 típusú nyersanyagból készült szerszámkövek petrográfiai vizsgálati eredményeinek bemutatása.

A vörös homokkő típusok potenciális forrásterületei

A gorzai vörös homokkövekkel is foglalkozó eddig megjelent publikációk (SZAKMÁNY et al. 2008, 2010; PIROS 2010) szerint a vörös–1-es típusú vulkanitos homokkövekhez hasonló összetételű kőzetek a Mecsekben fordulnak elő (Jakabhegyi Homokkő Formáció kavicsos homokkő és fakó homokkő egysége). A vörös–2-es homokkőhöz hasonló összetételű homokkő a Papuk-hegységben, továbbá a Nyugat-Mecsekben (Szászvári Formáció kavicsanyaga) és a Dunavarsány környékén (Pestvidéki Kavics

Formáció) előforduló pleisztocén kavicsanyagban valószínűsíthetőek. PIROS (2010) munkájában további forrás lehetőségeket vetett fel a Krassó–Szörényi-hegység nyugati szélén, és a Gyalui-havasok nyugati részén TELEGDI ROTH (1888, 1889) munkái alapján. A továbbiakban a vörös–3-as altípus lehetséges forrásközetekének elkülönítésére alkalmas petrográfiai bélyegeit mutatjuk be.

Maros-völgy

A Maros-völgyének recens kavicsanyagában találhatunk a gorzszai leletanyag vörös–3-as típusú homokkővéhez hasonló megjelenésű, tömött szövetű, vörös színű homokkőkavicsokat, amelyek között több altípust sikerült azonosítanunk. Előfordul közöttük egy földpátban dúsabb, illetve szegényebb változat. Jellemző rájuk a pszeudomátrix jelenléte. A homokkővek leggyakoribb elegyrésze a monokristályos kvarc, amely általában nem zárványos, jól koptatott, a peremeken szintaxiális kovás továbbnövekedéssel. A földpátszemcsék változó mennyiségben jelennek meg, általános jellemzőjük, hogy üdék, vagy csak gyengén átalakultak. Az ásványtöredékek mellett vulkáni eredetű, átkristályosodott, valamint felzites szövetű kőzettörmelékek is megfigyelhetők. Általában kevés akcesszórius elegyrészt, elsősorban félig sajátalakú cirkont és zöld színű turamlint tartalmaznak.

Papuk-hegység

A Papuk-hegység nyugati részén kb. 350 m vastagságú perm–triász korú szárazföldi sziliciklasztos rétegsor figyelhető meg. A rétegsorban három homokkő típust különítettek el (SZAKMÁNY et al. 2003), amelyből a gorzszai vörös–3 homokkővekhez leginkább a 3. homokkőtípus (kvarc arenit) hasonlít. A vörös homokkővek általában nagyon kompaktak, gyengén koptatottak és kevésbé osztályozottak. Leggyakoribb kőzetalkotó elegyrészüket a polikristályos kvarc, kisebb mennyiségben tartalmaznak még káliföldpátot, amely a gorzszai anyaghoz képest üdébb. A szemcsék peremén viszonylag jelentős mennyiségben szericit jelenik meg. A gorzszai anyaghoz képest itt nem figyelhető meg a szintaxiális kovás továbbnövekedés, azonban azokon a helyeken, ahol a szericit nem jelenik meg, ott kova vált ki. Az ásványtöredékeken kívül vulkáni eredetű, átkristályosodott kőzettörmelékek, mikrokristályos kvarcból álló szemcsék láthatóak. Kis mennyiségben akcesszórius elegyrészek is megjelennek, elsősorban opak ásvány, félig sajátalakú cirkon és barna, sárgásbarna színű turmalin. Az akcesszórius elegyrészek helyenként torlatos formában, sávokban dúsulva helyezkednek el. A Papuk-hegység vörös homokköveinek kőzettani vizsgálata során elkülönített altípusok sokszor egymástól csupán akcesszória-tartalmukban mutattak lényeges különbséget (pl. különböző turmalinváltozatok).

Nyugat-Mecsek

A Nyugat-Mecseken belül nagy területen és vastagságban (akár 100 m) figyelhetőek meg koraközépső-miocén durvatörmelékű üledékek, amelyek a Szászvári Formáció részét képezik. Ezen képződmények kavicsai felszínen nagy területen elterjedtek, de fúrásokban is tanulmányozhatóak. Az 1990-es években az ELTE Kőzettan–Geokémiai Tanszéke által szervezett terepgyakorlatokon a miocén konglomerátum előfordulásának szinte teljes felszínre kibukkanó területéről történt meg nagy mennyiségű reprezentatív kavicsanyag begyűjtése és kőzettani vizsgálata. Ennek összesítése alapján megállapítható, hogy a kavicsanyag közel 6%-át változatos összetételű és megjelenésű vörös aleurolit és homokkő anyagú kavicsok teszik ki. A kőzetanyag újra feldolgozása jelenleg is zajlik.

A vörös homokkő kavicsok között előfordul a vörös–3 típushoz hasonló összetételű változat, amelyben szintén a metamorf eredetű kvarcszemcsék dominálnak (monokristályos>polikristályos). Ezek peremén megfigyelhető a szintaxiális kovás továbbnövekedés. A földpátszemcsék a gorzszai köesz-

közökéhez hasonlóan 10–15%-os mennyiségben fordulnak elő (káliföldpát>plagioklász), ugyanakkor általában üdébbek a gorzsai anyagénál. A közettörmelékek közül elsősorban a kvarciszemcsék dominálnak. Az akcesszórius elegyrészek mennyisége a gorzsai vörös–3-as csoport vörös homokköveiéhez hasonló. Leggyakoribbak a félig sajtalakú cirkon és a zöldesbarna színű turmalin.

Dunavarsány

Dunavarsány területén a Duna pleisztocén korú kavicsos teraszanyagát már az 1900-as évek eleje óta kutatják. Ez a kavicsanyag a mai Duna által áthalmazott hordalékként a mai Duna parton is nagy mennyiségben fellelhető. A kavics rendkívül változatos összetételű, amelyben gyakoriak a vörös homokkő anyagú szemcsék. Vizsgálataink alapján ezek egy részének összetétele nagyon hasonlít a gorzsai vörös–3-as típusra. Általában apró-középszemcsés, tömött szövettel rendelkeznek. Kevésbé jól osztályozottak, kevesebb azonban a kompakcióra utaló bélyeg.

A leggyakoribb közetalkotó ásvány ezekben is a monokristályos kvarc, a földpátszemcsék (káliföldpát–plagioklász) mintegy 10% körüli mennyiségben fordulnak elő, peremükön helyenként továbbnövekedés figyelhető meg. Előfordulnak visszaoldódott, granitoid eredetű szemcsék is. Kisebb mennyiségben tartalmaznak még muszkovitot. Általában 0,5–1%-nyi mennyiségben tartalmaznak akcesszórius elegyrészeket, elsősorban félig sajtalakú, zömök cirkont és zöld–barnászöld színű turmalint. A gorzsai vörös–3-as típushoz képest azonban nagyobb mennyiségben (2–3%) tartalmaznak vulkáni eredetű közettörmelék.

Következtetések

A gorzsai vörös homokkövek vizsgálata során elkülönítettünk egy új, ún. vörös–3-as típusú tömött szövetű homokkövet, amelynek származását az előzetes felvetések alapján, valamint a gorzsai lelőhelyen előforduló más közettípusok származása és a régészeti adatok alapján a Maros-völgyi recens kavicsanyag hasonló megjelenésű és összetételű vörös homokköveivel azonosítottuk.

Jelen munkánkban az eddigi ismeretek alapján számba vettük, begyűjtöttük és megvizsgáltuk a Kárpát-medencében és közvetlen környezetében a gorzsai vörös–3-as típushoz hasonló megjelenésű és összetételű homokkövek előfordulását. Megállapítottuk, hogy a különböző területről származó vörös homokkövek a legtöbb esetben rendkívül hasonló összetételűek, egyedül az akcesszórius elegyrészekben mutatkoztak kis különbségek. A homokkövek petrográfiai vizsgálata során kiderült, hogy a hagyományos, nem részletező vékonycsiszolatos fénymikroszkópi vizsgálatok, mint pl. a fő közetalkotó elegyrészek és mennyiségi arányainak meghatározása nem elegendő a közet forrásterületének biztos azonosításához. Úgy gondoljuk, hogy a homokkövek forrásterületének pontosabb meghatározás érdekében más vizsgálati módszer alkalmazására is szükség lehet, a homokkövekben csak kis mennyiségben jelen lévő, de azonosításukban jelentősebb szerepet játszó akcesszórius elegyrészek (nehézasványok) minőségi és mennyiségi meghatározására.

A fentiek alapján szeretnénk — az egyes részletekre jobban kiterjedő petrográfiai megfigyelések mellett — a gorzsai leletanyag mindhárom vörös homokkő típusának, valamint azok potenciális forrásterületeinek nehézasvány vizsgálatát elvégezni. Meg kell jegyezzük, hogy ez olyan roncsolásos vizsgálat, amelyhez a vékonycsiszolatos vizsgálathoz képest jelentősen nagyobb mennyiségű (kb. 10–15 cm³) anyag szükséges. Ez elsősorban a régészeti leletek esetében jelenthet gondot, mivel azok egyediek és általában korlátozott mennyiségben állnak csak rendelkezésre. Ez különösen igaz a gorzsai leletanyagra, amelynek homokkő anyagú szerszámkövei zömében kisméretűek, így ezek roncsolásos vizsgálata nem minden esetben oldható meg. Ezért további célunk egy olyan új, a nehézasványok minőségi és megfelelő számú mennyiségi kimutatását meghatározó módszer kifejlesztése, amely segítségével csök-

kenteni lehet homokkő nyersanyagú kőszközök vizsgálatához szükséges mintamennyiséget. Ez az eljárás lehetővé teszi azt, hogy a jövőben kisebb anyagmennyiségekből is hasonló pontosságú eredményeket szolgáltatassunk a régészek számára a homokkő anyagú szerszámkövek nyersanyagainak lelőhelyeire nézve.

Irodalom

- PIROS L. 2010: Homokkő nyersanyagú kőszközök, szerszámkövek archeometriai vizsgálata Gorzsa (DK–Magyarország). — Diplomamunka, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Kőzettan-Geokémiai Tanszék, 89 p.
- SZAKMÁNY, GY., JAMIČIĆ, D., R. VARGA, A., JÓZSA, S. & HORVAT, M. 2003: Petrological and geochemical studies of the Permotriassic siliciclastic sequence in the western part of the Papuk Mountain (Croatia). — Abstract of the 22nd International Associations of Sedimentologists Meeting, Opatija, Croatia, 17–19 September, 2003, p. 204.
- SZAKMÁNY GY., STARNINI E., HORVÁTH F., SZILÁGYI V., KASZTOVSKY Zs. 2008: Gorzsa késő neolitik tell településéről előkerült kőszközök archeometriai vizsgálatának előzetes eredményei (Tisza kultúra, DK Magyarország). — Archeometriai Műhely V/3, 13–26.
- SZAKMÁNY, GY., STARNINI, E., HORVÁTH, F. & BRADÁK, B. 2010: Investigating Trade and Exchange Patterns in Prehistory: Preliminary Results of the Archaeometric Analyses of stone Stone Artefacts from Tell Gorzsa (South-East Hungary). — Proceedings of the 37th International Symposium on Archaeometry, 311–319.
- TELEGDI ROTH L. 1888: A Krassó–Szörényi-hegység Ny-i széle Illadia, Csiklova és Oravicza környékén. — MKFI Évi Jelentése az 1888. évről, 75–94.
- TELEGDI ROTH L. 1889: A Krassó–Szörényi-hegység Ny-i része Majdán, Lisava és Stájlerlak környékén. — MKFI Évi Jelentése az 1889. évről, 86–107.

Pargaszóféra: avagy a ,víz' új szerepe a litoszféra-asztenoszféra rendszer dinamikájában a Pannon-medence alapján?!

KOVÁCS ISTVÁN^{1,2}, SZANYI GYÖNGYVÉR^{1,2}, GRÁCZER ZOLTÁN^{1,2}, WÉBER ZOLTÁN^{1,2}, SÜLE BÁLINT^{1,2},
TIMKÓ MÁTÉ¹, CZIFRA TIBOR^{1,2}, LIPTAI NÓRA^{1,2}, BERKESI MÁRTA^{1,3}, LANGE, THOMAS^{1,3}, NOVÁK ATTILA^{1,2},
MOLNÁR CSABA^{1,2}, PÁLOS ZSÓFIA², SZÚCS ESZTER², SZABÓ CSABA³, WESZTERGOM VIKTOR²

¹MTA CSFK Lendület Pannon LitH2Oscope Kutatócsoport, Budapest-Sopron

²MTA CSFK Geodéziai és Geofizikai Intézet, Sopron

³ELTE TTK, Kőzettan-Geokémiai Tanszék, Litoszféra Fluidum Kutató Laboratórium, Budapest
kovacs.istvan.janos@csfk.mta.hu

A Földet a lemeztektonika teszi élő bolygóvá a naprendszeren belül. A lemeztektonika lényege, hogy a külső ridegebb övezet, a litoszféra, “úszik” az alatta lévő képlékenyebb asztenoszférán. Több mint 50 évvel a modern lemeztektonikai elmélet megszületése után még mindig erősen megoszlanak a vélemények, hogy ezt a nyilvánvalóan különböző tulajdonságot mi okozza. A litoszféra-asztenoszféra határa alapvető szerepet játszik a kőzetlemezek mozgásában és ezen keresztül jelentős hatással bír a földrengések kialakulására, a magma képződésre, és a felszínen tapasztalható aktív mozgásokra, amelyek pontosabb földtani megismerése alapvető társadalmi érdek is. A multidiszciplináris projektben egy újszerű elképzelést vizsgálunk, hogy nyomnyi mennyiség víz jelenléte a felsőköpeny kőzeteiben hogyan és miért vezethet a litoszféra és asztenoszféra tulajdonságaiban megfigyelt kontraszthoz. Ennek megismeréséhez, a Pannon-medence alatti mélységek kőzettani és geofizikai vizsgálatát hívjuk segítségül.

A „pargaszóféra” koncepció lényege, hogy a felsőköpeny reológiai tulajdonságai 100 km-nél sekélyebb mélységben alapvetően attól függenek, hogy egy víztartalmú (–1,5–2 t.%) láncszilikát — a jellemzően pargasitos

összetételű amfibol — stabil-e vagy sem. A sekély felsőköpenyben a pargasitos amfibol stabilitását szinte kizárólag a hőmérséklet kontrollálja, ugyanis ~ 1100 °C felett elveszti stabilitását és megolvad. Ennek következtében a „víz” aktivitása számottevően eltérő ott, ahol a pargasitos amfibol stabil (alacsonyabb hőmérsékleten: $< \sim 1100$ °C) és ott ahol nem (magasabb hőmérsékleten: $> \sim 1100$ °C; GREEN et al. 2010, KOVÁCS et al. 2012).

Alacsonyabb hőmérséklet esetében az összes „víz” hidroxil gyök (OH-) formájában van megkötve az amfibol szerkezetében, illetve a névlegesen vízmentes ásványok (NVÁ) vakanciáiban (olyan ásványok, amelyek képletükben nem tartalmaznak hidroxilt, pl. olivin, piroxének). Ezért az alacsonyabb „víz” aktivitás következtében lecsökkenhet a NVÁk vakanciáiba zárt szerkezeti hidroxiltartalom. A kísérleti kőzettani eredmények arra utalnak, hogy az ásványok — különösképpen a köpeny reológiai tulajdonságait leginkább meghatározó olivin — viszkozitása a szerkezeti hidroxiltartalom csökkenésével nő (DIXON et al. 2004, LI et al. 2008). Ebből következik, hogy a sekélyebb litoszférában az alacsonyabb „víz” aktivitás nagyobb viszkozitással jár együtt, ami reológiai szempontból erősebb litoszférát eredményez. A másik lehetséges folyamat, hogy a vakanciákba zárt szerkezeti hidroxil-gyökök geológiai idők alatt folyamatosan mozognak — diffúzió révén — a NVÁk szerkezetében. Így idővel elsősorban a piroxének szerkezetében amfibollamellákat hozhatnak létre. A folyamat eredménye az, hogy az idő előrehaladtával a felsőköpeny sekélyebb része folyamatosan egyre viszkozusabbá válhat.

Ezzel szemben a felsőköpeny mélyebb részein, ahol a hőmérséklet magasabb és a pargasitos összetételű amfibol nem stabil, a „víz” csak a NVÁk szerkezetében lévő vakanciákban és olvadék/fluid fázisban lehet jelen. Ebből következik, hogy itt a „víz” aktivitása is magasabb, ami ahhoz vezet, hogy a NVÁk szerkezetében is több szerkezeti hidroxil van jelen, ami az ásványok viszkozitását csökkenti. Ez a körülmény és a fluid/olvadék jelenléte jelentősen lecsökkenti e mélyebb övezet viszkozitását, kialakítva ezzel az asztenoszféra jellemző fizikai tulajdonságokat.

A fenti kőzettani–geokémiai modell jól kontrollálható kiindulási alapot jelent ahhoz, hogy a pargasitos amfibol stabilitási mezejébe eső és annál magasabb hőmérsékleten jellemző viszonyokat mennyiségileg is jellemezni tudjuk. Ez lehetőséget teremt arra, hogy a két eltérő tulajdonságú réteg geofizikai tulajdonságait (szeizmikus hullámok sebessége, vezetőképesség és viszkozitás) meg tudjuk határozni kísérleti kőzettani adatok felhasználásával (pl. JAMES et al. 2004, LI et al. 2008).

A „pargasoszféra” koncepció empirikusan is ellenőrizhető következményeit különböző szeizmikus és magnetotellurikus módszerekkel vizsgáljuk hazánk területén, alapozva a kőzettani és geokémiai vizsgálatok eredményeire. Ennek érdekében hazánk területét több mint 40 szélessávú szeizmométert magában foglaló szeizmikus hálózattal fedjük le, és ezekhez kapcsolódóan közel 50 mély (hosszú periódusú) magnetotellurikus szondázást is tervezünk. A különböző geofizikai módszerek együttes inverziója — összevetve a kőzettani és geokémiai adatok alapján meghatározható paraméterekkel — minden eddiginél kedvezőbb lehetőséget kínál ahhoz, hogy a fiatal kontinentális extenziós medencék alatti litoszféra-asztenoszféra határ globálisan is legpontosabb kőzettani és geokémiai modelljét kidolgozzuk.

Irodalom

- GREEN, D. H., ROSENTHAL, A., KOVÁCS, I. & HIBBERSON, W. 2010: Water and its influence on the lithosphere–asthenosphere boundary. — *Nature* 467, 448–452.
- KOVÁCS, I., GREEN, D. H., ROSENTHAL, A., HERMANN, J., O'NEILL, H. S. C., HIBBERSON W. O. & UDVARDI, B. 2012: An experimental study of water in nominally anhydrous minerals in the upper mantle near the water-saturated solidus. — *Journal of Petrology* 53/10, 2067–2093.
- DIXON, J. E., DIXON, T. H., BELL, D. R. & MALSERSVISI, R. 2004: Lateral variation in upper mantle viscosity: role of water. — *Earth and Planetary Science Letters* 222/2, 451–467.
- LI, Z. X. A., LEE, C. T. A., PESLIER, A. H., LENARDIC, A. & MACKWELL, S. J. 2008: Water contents in mantle xenoliths from the Colorado Plateau and vicinity: Implications for the mantle rheology and hydration-induced thinning of continental lithosphere. — *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 113(B9).
- JAMES, D. E., BOYD, F. R., SCHUTT, D., BELL, D. R. & CARLSON, R. W. 2004: Xenolith constraints on seismic velocities in the upper mantle beneath southern Africa. — *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 5/1,

Tizenhatodik századi földrengéskárok Visegrádon és Budán

Történet és archeoszeizmológia

KÁZMÉR MIKLÓS^{1,2}, MOHAMMAD TAWALBEH¹, BUZÁS GERGELY³, LASZLOVSZKY JÓZSEF⁴¹Eötvös Loránd Tudományegyetem, Őslénytani Tanszék, Budapest²MTA-ELTE Geológiai, Geofizikai és Ūrtudományi Kutatócsoport, Budapest³Mátyás Király Múzeum, Visegrád⁴Közép-Európai Egyetem, Medievisztika Tanszék

mkazmer@gmail.com

RÉTHLY Antal (1952) és ZSÍROS Tibor (2000) kárpát-medencei földrengés-katalógusai mostohán bannak a 16. századdal. Érdemi mennyiségű adatot csak az ország délnyugati részéből, a mai Szlovéniából közölnek, és értelemszerűen sokat délkeletről, a Vráncsa-zóna szomszédságából, a Barcaságból. Az ország közepéről — mely az idő nagy részében a kevés forrást alkotó és megőrző török hódoltság területére esett — mindössze egyetlen, koordináták alapján Budára pozícionált rengést említenek, egyéb paraméterek nélkül. Ennek 1580. szeptemberi dátuma még ellenőrzést igényel.

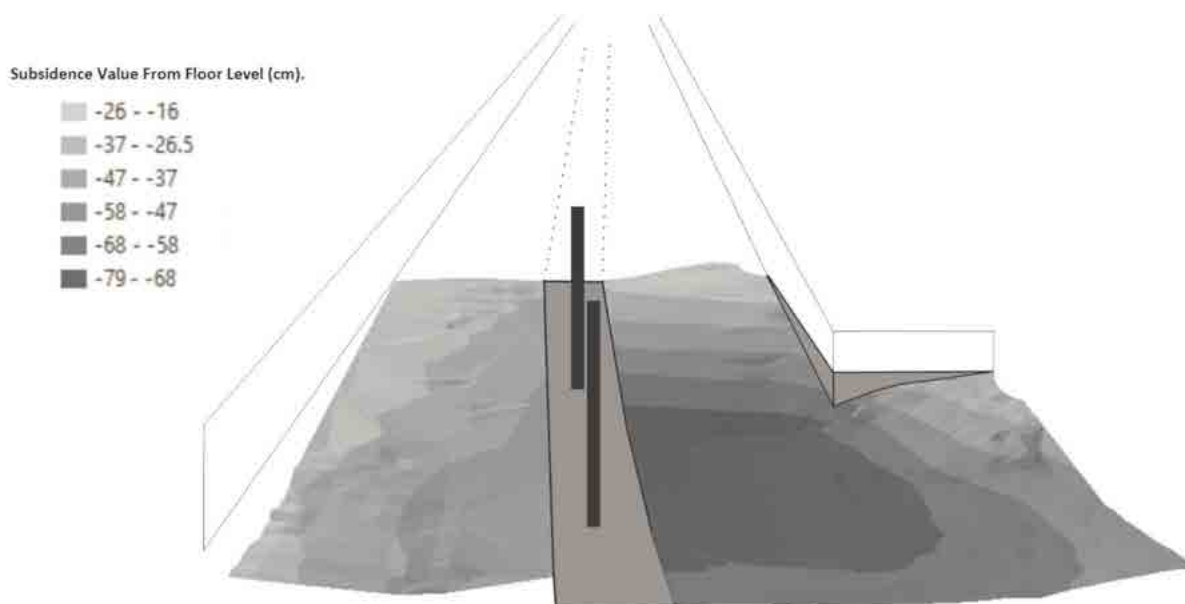
Az alábbiakban röviden ismertetünk két korabeli rengést: a közelebből még nem datált visegrádit és a kivételesen alaposan dokumentált, 1578-as budai földrengést.

Visegrád

A visegrádi királyi palota mellett a 15–16. században épült ferences kolostor (1. ábra) régészeti feltárásakor számos omlási jelenséget dokumentáltak. Jelen munka során feltérképeztük a kolostor fennmaradt kerengő-padlózatának süllyedési mintázatát (max. 80 cm) (2. ábra) kiszámítottuk a padlószint



1. ábra. A visegrádi ferences kolostor alaprajza (KISS & LASZLOVSZKY 2013)



2. ábra. A megsüllyedt padlózat térmodellje a kerengő északnyugati részén. Középpont a kéthajós folyosó hajdani oszlopaikat és azok alapozását jelöltük. Jelentős, 0,8 m mély süppedék ettől jobbra (délre) alakult ki

alól hiányzó, az elfolyósodott altalaj túlnyomása által kimosott üledék mennyiségét (min. 15 m³), és jól feldolgozott analógiákat kerestünk a megfigyelt jelenségek értelmezéséhez.

Korinthoszban a hajdani római kori kikötőben (Lechaion) állt bizánci bazilika padlózata foltokban megsüllyedt: kör és ellipszis alakú, valamint az épület tengelyével párhuzamos, megnyúlt mélyedések jöttek létre. Mélységük az egy métert is közelíti. Ezeket egyértelműen olyan földrendéseknek tulajdonítják, melyek a vízzel átitatott altalajban folyósodást (*liquefaction*) idéznek elő (APOSTOLOPOULOS et al. 2015).



3. ábra. Leszakadt lépcső a kerengő északnyugati részén. A padlóval együtt lesüllyedt két lépcsőfok eredetileg a falon megmaradt harmadik alá illeszkedett. A süllyedés mértéke mintegy 70 cm

A rengés ideje. A kolostorépület leomlása mindenképpen 1513 után történt. A kolostor 1540-ig még biztosan lakott volt — ekkorra tehető a megsüllyedt padlószakasz (3. ábra) pótlása emelt fapadlóval (gerendafészek). 1544, a török foglalás után teljesen elnéptelenedett. A rengés ideje tehát valószínűleg 1513 és 1540 közé tehető.

Intenzitás. A nagymarosi erőmű tervezésénél az 1970-es években még aligha vehették figyelembe közeli, romboló erejű földrengés lehetőségét. A süllyedések mértéke alapján IX-X-es intenzitás sem zárható ki.

Buda, 1578

Az 1578-as budai földrengésről fennmaradt egy kivételesen részletes kortárs leírás. Sem a megfigyelőt, sem kézről kézre adott írásának útvonalát nem ismerjük. A szöveg Simon HÜTTELnek, Trautenau sziléziai város jegyzőjének a krónikájában maradt fenn. Ez az 1484-1601 közötti évek eseményeit írja le. A krónikát L. SCHLESINGER jelentette meg 1881-ben Prágában. Kivonatos magyar fordítása ZOLNAY László (1978) Kincses Magyarország c. könyvében található. Két kortárs röplap — a szenzációhajhász sajtó szerepét betöltő, mindössze 1–2 oldalas, többnyire képzelt jelenetekkel illusztrált nyomtatvány — is megjelent. Ezeket Németországban nyomtatták (VARGA 2017).

Simon HÜTTEL leírásából idézünk (ZOLNAY László fordításában): „Pünkösöd hétfőjén éjjel 10 órakor az égen borzalmas dörgés és villámlás volt, amely a lakosságot félelemmel és ijedelemmel töltötte el, majd nagy földrengés is volt... A vad tűz és villám Budán a várkastélyba csapott. Az ágyúkat, fegyvereket és hasonlókat, valamint az ott levő embereket elpusztította, a várat feldúlta és annyira tönkretette, hogy csak az egyik oldalán levő fala — az is összezúzottan — maradt meg. Buda városában több mint ötszáz ház dőlt és zúzódott össze, megrontott mindent, ami benne volt. A városkapu és más boltozatok is elpusztultak, ajtók maguktól nyíltak ki... A Csonka-torony, amelyben a keresztény foglyok voltak, összeomlott, és a legtöbb foglyot agyonütötte: részben kezük, lábuk eltört, vagy teljesen összezúzódtak.”

Van-e ma kézzelfogható bizonyítéka a budai földrengésnek? Olyan épületeket kell megvizsgálnunk, amelyek ez időben már álltak. Nincsen sok belőlük: a budavári Mária Magdolna-templom (helyőrségi templom), a volt domonkos kolostor (a Hilton szállóba beépítve), a Mátyás-templom és természetesen maga a várpalota. A Vízivárosban a kapucinusok temploma, a Margit-szigeti domonkos kolostor, Pesten pedig a belvárosi plébániatemplom állt már ebben az időben. Az 1578 óta bekövetkezett — háború és tűzvész okozta — sérülések, valamint az átalakítások a legtöbb eredeti sérülésnyomot eltüntették. Szerencsére maradtak olyan részletek, amelyek alapos gyanúra adnak okot. Az épületek építés-, roncsolás- és átépítés-történetének részletes elemzése hozhat meggyőző bizonyítékokat az 1578-as földrengés pusztítására

A török uralom 1541-es bekövetkeztét ép, gótikus templomként megérő Belvárosi-templom a visszafoglalás évében, 1686-ban már nagyrészt rom volt. Történt ez annak ellenére, hogy a hódoltság idején volt gazdája: mecsetként használták. Ezt a szentély déli falába, a gótikus ülőfülkék közé vágott mihráb bizonyítja (GERŐ 1956).

Azt, hogy mi történt a Belvárosi-templommal, csak sejthetjük. GERŐ László (1956) rekonstrukcióján csonka a torony és lényegében megsemmisült a hosszúház. A szentélyrész ma látható deformációi (a megdőlt déli oszlop, a változatosan torzult hevederívek és keresztboltozatok) valamint az altemplom szintjében a hajdani római fűtésrendszer oldalról szinte berobbant csatornái arra engednek következtetni, hogy ez az épület is megérezte a budai földrengést, sőt, talán az volt felelős a fő- és mellékhajók pusztulásáért. A folyósodásra hajlamos pesti altalaj bizonyára hozzájárult a templom tönkremeneteléhez.

A visegrádi és a pest–budai rengések IX-es intenzitása arra utal, hogy sem városaink, sem tervezett kritikus létesítményeink földrengési veszélyeztetettsége nem kielégítően ismert. A történeti korok földrengéseiről az írott források tanulmányozása és a régészeti, építéstörténeti vizsgálatok adhatnak új információt.



4. ábra. A Belvárosi-templom valószínű állapota a török uralom második felében. A torony, a fő- és mellékhajók romosak, csak a kórus és a szentély áll még. Utóbbiakat a törökök mecsetként használják (GERŐ László rekonstrukciója, 1956, a 9. oldal ábrájának részlete).

Irodalom

- APOSTOLOPOULOS, G., MINOS-MINOPOULOS, D., PAVLOPOULOS, K. 2015: Geophysical investigation for the detection of liquefaction phenomena in an archaeological site, Lechaion, Greece. — *Geophysics* 80/4, EN105–EN117.
- GERŐ L. 1956: A pesti belvárosi plébániatemplom. — *Képzőművészeti Alap*, Budapest, 47 p.
- HÜTTEL, S. 1881: Simon Hüttels Chronik der Stadt Trautenau (1484–1601), bearbeitet von SCHLESINGER, L. — Hase, Prag.
- KISS A. & LASZLOVSKY J. 2013: Árvíz hullámok a Dunán? A Duna árvizei és a visegrádi ferences kolostor a késő középkorban és a kora újkorban. — *Korall* 53, 36–65.
- RÉTHLY A. 1952: A Kárpát-medencék földrengései: 455–1918. — Akadémiai Kiadó, Budapest.
- VARGA P. 1978: Régi hazai földrengések, különös tekintettel Budapestre. — *Magyar Geofizika* 58/2, 1–12.
- ZOLNAY L. 1978: Kincses Magyarország. Középkori művelődésünk történetéből. — Magvető, Budapest.
- ZSÍROS T. 2000: A Kárpát-medence szeizmicitása és földrengés veszélyessége. *Magyar földrengés katalógus (456–1995)*. — MTA Földtudományi Kutatóközpont Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet Szeizmológiai Observatórium, Budapest.

A földtan oktatói és azok tanársegédei a Kolozsvári Ferenc József Tudományegyetemen

WANEK FERENC

Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság
wanek.ferenc@gmail.com

Dolgozatom célja — a Vándorgyűlés jubileumi jellege értelmében — emléket állítani az idén éppen 100 éve felszámolt Kolozsvári Ferenc József Tudományegyetemnek, illetve annak Ásvány–Földtani Tanszékének. A dolgozat címében ezt az évfordulót szándékosan nem tüntettem fel, mivel (sajnos egész nemzetünkre vonatkozik) a leggyakrabban a veszteségeinket ünnepeljük. Tehát, e felidőzésben nem a történet fájó oldalára akarom a hangsúlyt fektetni, hanem arra az oktatói–kutatói sikertörténetre, ami ezt az egyetemet és különösen a górcső alá vett tanszékét jellemezte, saját akaratán és lehetőségein túli, páratlanul galád felszámolásáig.

Kolozsvárt 1872-ben, mint Magyarország második egyeteme született meg, hosszas viták végeredményeként az az intézet, amelyben európai viszonylatban az elsők között indult független Matematikai és Természettudományi Kar (GAAL 2001). Sokáig bizonytalan volt, hogy ez a felsőoktatási intézet marad-e

Erdélyben, azaz annak kulturális fővárosában? Csak akkor, amikor az már bizonyította életképességét, fogadták el, illetve ismerték el létjogosultságát. Így alapítólevelét csak 1881-ben írta alá Ferenc József császár és király, ez alkalommal kapta meg az intézmény az uralkodó nevét is. Majd 1887 szeptemberében tett személyes látogatása után indult el az a nagyméretű építkezési folyamat, melynek végére, az 1910-es évek elejére, sok tekintetben a legmodernebb, legjobban felszerelt egyeteme lett egész Európának.

A Természettudományi Kar élére az első hét kinevezett professzor közt ott találjuk az alig 29 éves, doktori címmel sem rendelkező, de rendkívül jó képességű KOCH Antalt, aki az itt töltött 24 munkás éve alatt olyan versenyképessé tette az általa vezetett tanszéket, hogy bár a karon belül a legkisebb anyagi támogatást kapta a Vallás és Közoktatásügyi Minisztérium részéről, e keretben a legeredményesebb, tudományos szinten is a legtöbbet felmutató rész lett (WANEK 2009).

A délvidéki, német származású KOCH Antal (Zombor 1843–1927 Budapest) a Budapesti Tudományegyetemen, SZABÓ József és HANTKEN Miksa keze alatt formálódott szakemberré. SZABÓ József már diákként, felismerte tanítványa különös adottságait, és sokban egyengette útját a földtani kutatás, majd oktatás irányába. (Jellemzően, HANTKEN Miksa halálát követően, KOCH Antalt hívta meg a megüresedett tanszékre) (WANEK 2007).

Kolozsvárra érkezve, hamar felismerte mindkét irányban (kutatás, oktatás) mi a teendője. Amíg oktatásban úttörő kellett legyen, kutatásban azonban voltak előtte járók (WANEK 2007). De amit KOCH Antal alig negyedszázados Kolozsvári tartózkodása alatt letett az asztalra, az egészen kivételes egyszemélyes teljesítmény. A földtan akkoriban művelt minden területén maradandót alkotott, Erdély földtani megismerésében kimagasló érdemeket szerzett, elsősorban a „közép- és a harmadidőszak” rétegtanában (KOCH 1894a, 1900, 1906), őslénytanában (KOCH 1884, 1887, 1911), ásvány- (KOCH 1878, 1885) és kőzettanban — e területen ő vezette be a kőzetek mikroszkópos tanulmányozásának módszereit Erdélyben. Az 1883-as mócsi meteorit hullást követően, nagy lendülettel állt be ezek tanulmányozásába, és híres meteoritgyűjteményt is teremtett egyetemének. A földrengések kutatásában is úttörő munkát végzett. Még nagyon hosszasan sorolhatnánk érdemeit. Tudományos és adatértékű, Erdélyre vonatkozó közleményeinek száma már önmagában is lenyűgöző: több mint 350 cím (WANEK 2009).

Az oktatás megszervezésében jó érzékkel válogatta ki tanítványai közül a legtehetségesebbeket a tanársegédi állások betöltésére: KÜRTHY Sándor, PRIMICS György, BENKŐ Gábor, HÉJJAS Imre, PÁLFY Mór. Nagyon ritka esetben volt kénytelen (általában csak rövid időre) olyan személyeket alkalmazni, akik nem tanítványai voltak (KNÖPFLER Gyula, BUDAI József, LÖRENTHEY Imre) (WANEK 1999). Külön kiemelendő két személy: PRIMICS György, aki két tanársegédi mandátumot is betöltött, és akivel szemben KOCH Antal nagyon hasonlóan viszonyult mint annak idején SZABÓ József vele szemben, de sajnos, önfeláldozó vállalásai Erdély földjének legnehezebb hegyvidékein oda vezettek, hogy tüdőbetegségben, idejekorán meghalt (KOCH 1894)], illetve PÁLFY Mór, aki egy tanársegédi mandátum után, KOCH Budapestre távozásakor, mesterét követte a fővárosba, ahol fényes szakmai pályát futott be (WANEK 2016).

Ezek mellett, kiváló tanítványai közül kerültek ki a gyakornokok is, akik között is voltak olyanok, akik beírták a nevüket nemcsak később a természettudományok hazai oktatástörténetébe, de tudományos munkásságuk is kiemelkedő volt, mint TÓTH Mihály (WANEK 2012), vagy MÁRTONFI Lajos (WANEK 2014).

A kar többi oktatóival is kitűnően együtt tudott működni, nemcsak oktatói vonalon (diák-pályázatok elbírálása), de kutatómunkában is, amit számos közös dolgozatuk példáz. Ilyenek voltak a tanártársai közül kiemelkedő FLEISCHER Antal, ENTZ Géza, ABT Antal és FABINYI Rudolf (WANEK 2009).

KOCH Antal folyamatosan küzdött azért, hogy tanszékét egy vele együttműködő, állandó szaktárs bevonásával erősítse, mivel nagyon sok tantárgy, igen nagyszámú hallgatósággal (nemcsak a Természettudományi Kar diákjainak is tartott előadásokat), különösen fontos, de nagy óraszámú gyakorlati képzéssel, tanulmányi kirándulásokkal, már terhes volt számára. Arról nem is beszélve, hogy a földtan nagyon szerteágazó tantárgyak leadását igényli. Csak igen kis mértékben tudta feladatkörét a regionális földtan részbeni átadásával

HERBICH Ferencnek (1877–1883 között), aki akkor az Erdélyi Múzeum-Egyesület alkalmazásában az Ásványtár múzeumőre volt. Még rektorsága idején (1891/1892-es tanév) sem sikerült a bővítést elérni, így, még HANTKEN Miksa halálát követően rögtön nem, de SZABÓ József elhalálása után, elfogadta a meghívást a Budapesti Tudományegyetemre, s 1895. szeptember 1. dátummal felmondott, és eltávozott Kolozsvárról (WANEK 2009).

Egy éves űr (amikor nélkülözhetetlen tantárgyainak leadásán ABT Antal és APÁTHY István osztoztak) után, a meghirdetett versenyvizsgára (KOCH Antal buzdítására és javaslatával) SZÁDECZKY Gyula került az Ásvány–Földtan Tanszék élére.

SZÁDECZKY Gyula (Pusztaiújfalu 1860–1935 Kolozsvár) szintén viszonylag fiatalon — 35 évesen —, de hasonlóan KOCH Antalhoz, a Budapesti Tudományegyetemen, ugyanazoknak a tanároknak a keze alatt formálódott, majd gazdag külföldi tanulmányút tapasztalatával, sőt, ő már megvédett doktorátussal, egyetemi magántanári múlttal került e tanszék élére (BALOGH 1936, SZENTPÉTERY 1936). Távolról sem vállalta azt a szakmai sokoldalúságot, amit előde, ő elsősorban a magmás kőzetek irányában mutatott szakmai érdeklődést, és amikor tanársegéde (később, 1940–1944 között utóda a tanszéken): SZENTPÉTERY Zsigmond a mezozoikum eruptív kőzetekre állt át, SZÁDECZKY figyelme a kainozoos vulkáni tufák irányába mozdult el (SZÁDECZKY 1914–1917). De foglalkozott minden aktuális kérdéssel, mint a Királyerdőben frissen azonosított bauxitlepekkel, az eocén gipszekkel, az erdélyi földgáztelepek földtanával stb. (WANEK 2010).

Így, az őslénytan és rétegtan bizony az ő időszakában (1896–1919) árnyékba került a kolozsvári egyetemen.

SZÁDECZKY Gyula endogén-kőzettani irányultsága tanítványait, ezen keresztül tanársegédeit is befolyásolta. Tanársegédei időrendben a következők voltak: SZTANCSEK Zoltán, SZOLGA Ferenc, SZENTPÉTERY Zsigmond, BALOGH Ernő, TUSKE Béla, PAPP Simon, (id.) XANTUS János, KISS Ernő, FERENCZI István, LENGYEL Endre, SZAKÁCS Dalma. Ezek, az első kivételével, aki KOCH Antal tanítványa volt, mindannyian SZÁDECZKY Gyula neveltjei voltak. Azonban, SZÁDECZKY már sikeresebb volt a tanárszemélyzet bővítésében, hiszen 1906-tól kezdődően, már minden tanévben legalább két tanársegéd működött mellette, sőt, két tanévben (1807/1908, 1912/1913) három is. 1908-ban a már 6 éve (!) tanársegédét, SZENTPÉTERY Zsigmondot, adjunktusi rangra emelte. Mi több, amikor az 1911/1912-es tanévben a rektori állást töltötte be, két magántanárt is maga mellé tudott venni: az egyik SZENTPÉTERY Zsigmond volt, aki a paleoeruptív kőzeteket tanította, a másik a Budapesten végzett dévai tanár, GAÁL Istvánt, aki azonban csak egy éven át tanította a „harmadidőszak” gerinctelen faunáját.

Tanársegédei közül kiemelendő a már többször emlegetett SZENTPÉTERY Zsigmond, aki kiemelkedő tehetséggel és teljesítménnyel emelte a kolozsvári és a szegedi egyetemi rangú földtan-oktatás színvonalát (LENGYEL 1952). SZENTPÉTERY mellett BALOGH Ernő lett a bécsi döntést követő négy évben a kolozsvári földtanoktatás másik jeles fáklyavivője, aki később a Bolyai Tudományegyetemen is meghatározó szerepet játszott (WANEK 2001, 2013). FERENCZI István pedig az Amerikai Egyesült Államokban teljesítette ki egyetemi földtanoktatói tevékenységét (URBACSEK 1986, WANEK 2015).

1919. május 12-én Onisifor GHIBU a román nemzeti érdekek élharcosa, akit az Ideiglenes Kormányzótanács 1918-ban az erdélyi román oktatás megszervezésével bízott meg, karhatalmi erővel körbekerítette a Ferenc József Tudományegyetem központi épületeit, felszólítva a tanárokat, hogy vagy írják alá a hűségnyilatkozatot Nagy-Romániához, vagy négy óra alatt csomagoljanak össze, s végképp hagyják el az épületeket, melyet az új román egyetem számára lefoglalt. Minden egyetemi tanár megtagadta a hűségnyilatkozatot, hiszen a háborút lezáró béke még nem szentesítette a románság akarátát. Egy kivétel volt: SZÁDECZKY-KARDOSS Gyula.

Később, a tanszék élére került Ion Popescu VOITEȘTI — akivel korábban, még a háború előtt, jó viszonyt táplált SZÁDECZKY, diákjaikkal közös terepgyakorlatokat tartva a Kárpátok mindkét oldalán — biztosította a Román Földtani Intézeten keresztül a fizetését, meghagyta nyugdíjazásáig a munkahelyét, munkaasztalát, de a román nyelv ismeretének hiányában, többé nem engedték tanítani, hiszen az egyetemen a továbbiakban kizárólag az új állam nyelvén folyt az oktatás.

Hogy az ominózus hűségnyilatkozatot SZÁDECZKY aláírta, később a Szegedre menekült Ferencz József Tudományegyetem professzori tanácsa hazaárulónak nyilvánította. Nehéz pálcát törni tette fölött, nem ismerve motivációját. BALOGH Ernő (1936), volt tanítványa, tanársegéde és barátja nem ítélte el, mint általában az Erdélyben maradt értelmiségiek sem. Talán a gyűjtemények fölötti örökös szándéka, kivárva a semmiképp nem véglegesnek hitt román területszerzést lebegett előtte. Mert az tény, hogy SZÁDECZKY-KARDOSS Gyula mindent megtett, mi erejében, tehetségében állt a kolozsvári földtanoktatás, az erdélyi szakkutatás és tudományos élet szervezése–fejlesztése érdekében. Bátran vállalta egyénisége korlátait is: nem akart mindentudó lenni. Kötelességtudásánál csak pedagógiai érzelme s szerénysége volt nagyobb.

Egy reményteljes, dinamikusan fejlődő erdélyi egyetemnek vége lett. Ugyan főnixmadárként, 1940–1944 között visszatért, aztán gyökereivel táplálta az 1945-ben megalapított Bolyai Tudományegyetemet, s bár azt is lefejezték 1959-ben, de a tanerők folytonosságával, az 1997-ben újraindult erdélyi magyar földtanoktatás joggal emeli tekintetét a Ferenc József Tudományegyetem Ásvány–Földtani Tanszékének 54 évi teljesítményére, mint saját, elvitathatatlan ősforrására.

Irodalom

- BALOGH E. 1936: Dr. SZÁDECZKY-KARDOSS Gyula (1860–1935). — Erdélyi Múzeum 41/1–3, 1–16.
- GAAL Gy. 2001: Egyetem a Farkas utcában. A kolozsvári Ferenc József Tudományegyetem előzményei, korszakai és vonzatai. — Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Kolozsvár, 132 p.
- KOCH, A. 1878: Neue Minerale aus dem Andesit der Aranyer Berges in Siebenbürgen. — Mineralogische und Petrographische Mittheilungen (Neue Folge) I/4/XII, 331–361.
- KOCH A. 1884: Erdély ó-tertiár echinidjei. — A Magyar Királyi Földtani Intézet Évkönyve 7, 43–123.
- KOCH A. 1885: Erdély ásványainak kritikai átnézete. — Az Orvosi és Természettudományi Társulat kiadványa, 212 p. Kolozsvár.
- KOCH A. 1887: Erdély felső terciár üledékeinek echinidjei. — Orvos–Természettudományi Értesítő II. szakosztály, 9(12)/2, 129–144.
- KOCH A. 1894a: Az erdélyrészi medence harmadkori képződményei. I. rész. Paleogén csoport. A Magyar Királyi Földtani Intézet Évkönyve, X/6, 159–358.
- KOCH A. 1894b: PRIMICS György (1849–1893). — Földtani Közlöny 24/9–10, 269–275.
- KOCH A. 1900: Az erdélyrészi medence harmadkori képződményei. II. Neogen csoport. — Magyarhoni Földtani Társulat, 331 p. Budapest.
- KOCH A. 1906: Az erdélyi részek másodkori képződményei. — Orvos–Természettudományi Értesítő II. szakosztály, 27(30)/1–2 (1905), 90–149.
- KOCH A. 1911: Rhinocera ősemmlős maradványai a Kolozsvár-vidéki közéopoligocén rétegekből. — Annales Historico–Naturales Musei Nationalis Hungarici 9/1, 371–379.
- LENGYEL E. 1952: Emlékezés SZENTPÉTERY Zsigmondra. — Földtani Közlöny 82/4–6, 113–118.
- SZÁDECZKY-KARDOSS Gy. 1914–1917: Tufatanulmányok Erdélyben. I–III. — Múzeumi füzetek, az Erdélyi Nemzeti Múzeum Ásványtárának Értesítője 1–4.
- SZENTPÉTERY Zs. 1936: Dr. SZÁDECZKY-KARDOSS Gyula emlékezete (1860–1935). — Földtani Közlöny 66, 1–18.
- URBACSEK J. 1986: Dr. FERENCZI István emlékezete. — Földtani Közlöny 116/1, 75–78.
- WANEK F. 1999: KOCH Antal asszisztensei a Kolozsvári Tudományegyetemen. — In: CSEKE P. & HAUER M. (szerk.): 125 éves a kolozsvári egyetem. Kolozsvár, 91–111.
- WANEK F. 2001: Bolyai Tudományegyetem: a földtanoktatás története. — In: DÁNÉ T., EGYED Á., SIPOS G. & WOLF R. (szerk.): Kolozsvár 1000 éve. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 346–375.
- WANEK F. 2007: KOCH Antal helye és szerepe az erdélyi földtan történetében. — In: ILYÉS SZ. & TAKÁCSNÉ SZABÓ Cs. (szerk.): Az erdélyi magyar tudomány történetéből. EME Kiadó, Kolozsvár, 156–178.
- WANEK F. 2009: KOCH Antal. — In: KOVÁCS KISS Gy. (szerk.): Hivatás és tudomány. Az Erdélyi Múzeum-Egyesület kiemelkedő személyiségei. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 283–339.
- WANEK F. 2010: SZÁDECZKY-KARDOSS Gyula / Pusztafalu, 1860. dec. 30. – 1935. nov. 8. Kolozsvár. — SZÁDECZKY-KARDOSS Gyula Emlékkonferencia, Kolozsvár, 2010. december 11. a Konferencia programfüzete, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Kolozsvár, 6–7.
- WANEK F. 2012: TÓTH Mihály (1854–1941), KOCH Antal tanítványa, a nagyváradi Állami Főreáliskola tanára. — V. Tudomány- és Ipartörténeti Konferencia, Nagyvárad 2012. június 21–24. Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Kolozsvár, 77–82.
- WANEK F. 2013: A 130 éve született BALOGH Ernő életműve és munkássága. — VI. Tudomány- és Ipartörténeti Konferencia, Szatmárnémeti 2013. június 27–30. Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Kolozsvár, 169–171.
- WANEK F. 2014: MÁRTONFI Lajos élete és munkássága. — MÁRTONFI Lajos Emlékkonferencia. Programfüzet, Kolozsvári Akadémiai Bizottság–Erdélyi Múzeum-Egyesület–Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Kolozsvár, 5–12.
- WANEK F. 2015: FERENCZI István élete és munkássága. — MAROSI Pál – FERENCZI István Emlékkonferencia, Kolozsvár 2015. december 12. Kolozsvári Akadémiai Bizottság, Kolozsvár, 7–9.
- WANEK F. 2016: PÁLFY Mór élete és szakmai pályája. — PÁLFY Mór Emlékkonferencia Bágyon, 2016. december 10. Kolozsvári Akadémiai Bizottság–Erdélyi Múzeum-Egyesület–Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Kolozsvár, 4–9.

GEOFIZIKA



Fotó: Lantos Zoltán


NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI
ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL

AZ NKFI ALAPBÓL
MEGVALÓSULÓ
PROGRAM

Az Eötvös 100 emlékévké háttéré

SZARKA LÁSZLÓ CSABA

szarka@ggki.hu

A 2019-es Eötvös Loránd-emlékévké koordinációja az UNESCO évforduló-jegyzékére vételét követően, 2018. február 12-én kezdődött el. A májusban összegyűjtött elképzelésekről — annak következtében, hogy az Emberi Erőforrások Minisztériumából (EMMI) a feladat az új minisztériumi szerkezetben az Innovációs és Technológiai Minisztériumba (ITM) került — érdemi egyeztetés csak novemberben kezdődhetett el. Az Eötvös 100 koordinációs testület (mely november 10-től szintén új felállásban működött) a meglévő dokumentumok alapján november 18-án nyújtotta be javaslatát egy ITM által elkészítendő kormány-előterjesztéshez. Az anyagból közös ITM–EMMI előterjesztés lett. (A kedvező döntésről a hír a 2019. április 8-ai emléknapon érkezett meg.) A döntés értelmében az ITM — a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal ED_18-1-2018-0011 azonosítószámú projektjén keresztül — 25 Eötvös 100 feladatot támogat, és a teljes projekt kedvezményezettje az MTA Könyvtár és Információs Központ. Az MTA KIK minden érdekelt szervezettel és intézménnyel hamar megkötötte az egyes feladatok megvalósítására vonatkozó szerződést. Ezzel párhuzamosan az EMMI néhány további tételre biztosított forrást. (Mindezekről függetlenül 2018-ban a Nemzeti Kulturális Alaptól is lehetett az Eötvös-emlékévkével összefüggő programok szervezésére pályázni.) Az emlékévké — a központi támogatásoknak, a kezdeményező szervezeteknek és intézményeknek, valamint a projektgazda MTA KIK-nek köszönhetően — rendezetten zajlik.

Az emlékévké száznál is több eseményének legtöbbje Eötvös Loránd sokdimenziós életművének valamely részletét villantja fel, és olyan módon, ahogyan azt a kezdeményező szervezetek, egyesületek az általuk megcélzott közönség számára a lehető legjobbnak tartják. Az Eötvös 100 koordinációs testület gondozza az eotvos100.hu honlapot, ahol folyamatosan frissülő eseménynaptárban találják az érdeklődők az emlékévké eseményeit, ezekről szóló beszámolókat, előadásokat, híreket, és ezen felül hangsúlyt fordít minél több Eötvös-dokumentum elérhetőségének biztosítására is. A koordinációs testület megszervezte az emlékévké január 14-ei nyitórendezvényét, majd az április 8-ai emléknapot. A harmadik központi rendezvényre november 20-án 11:00–12:30 között az MTA Dísztermében a budapesti World Science Forum keretében kerül sor. A WSF „Eötvös 100” Side Event-jének fő attrakciója sztereodia-vetítés, az Eötvös-kísérlet megismétléséről szóló előadás, valamint a Beneke-kötet bemutatója lesz, a Nemzetközi Geodéziai és Geofizikai Unió (IUGG) elnöke (Kathryn WHALER) és az International Science Council (ISC) főtitkára (Alik ISMAIL-ZADEH) társelnökségével. (A rendezvény szabadon látogatható, a vándorgyűlés résztvevőit ezúton is hívjuk.) A középiskolásoknak szóló Eötvös Loránd műveltségi vetélkedő döntője a WSF záró napjára (november 23-ra) lett időzítve. Ide tartozik még, hogy a Magyar Tudomány Ünnepe rendezvényeként mutatja a be a Kossuth Könyvkiadó az Eötvös Loránd-emlékkötetet (november 26-án), az ELTE-n pedig — többek között — időszaki Eötvös-kiállítás nyílik.

Az áprilisi emléknapi fővédnöke ÁDER János köztársasági elnök úr volt. A védnökök (BORHY László, KÁSLER Miklós, LOVÁSZ László, PALKOVICS László) pedig egész éven át figyelemmel kísérik az eseményeket. Emellett 49 neves külföldi kutató (fizikus és földtudós) nagy örömmel adta nevét a létrehozott „Eötvös 100 Honorary Board”-hoz (53 felkérésből 14 napon belül 49 pozitív válasz érkezett). A külföldi (bécsi EGU, londoni EAGE, és montreali IUGG) konferenciák résztvevőinek Eötvös iránt megtapasztalt lelkesedése szintén annak a jele, hogy idehaza még mindig hajlamosak vagyunk alábecsülni Eötvös Loránd jelentőségét.

Tény, hogy a világ fizikusait tudományterületükön manapság leginkább a gravitáció tartja lázban, ahol az Eötvös-kísérlet megkerülhetetlen. Amint eddig összegyűjtöttük, legalább tíz tudományos fogalom viseli Eötvös Loránd nevét. A kapillaritás terén az Eötvös-szabály, az Eötvös-állandó és az Eötvös-szám; a gyengeekvivalencia-elvhez kapcsolódóan az Eötvös-kísérlet, az Eötvös-paraméter; nevezetes laboratóriumi-terepi eszköz az Eötvös-féle torziós mérleg (az Eötvös-inga); forgó bolygó gravitációjával kapcsolatos az Eötvös-hatás és az Eötvös-korrekción; a geodéziában az Eötvös-tenzor; a geofizikában pedig mindezek felül az Eötvös-féle mágneses törvény (igaz, ez kevésbé terjedt el), végül az Eötvös Lorándról elnevezett a fizikai mértékegység, az eötvös, ahol $1 \text{ eötvös} = 1 \text{ E} = 10^{-9} \text{ s}^{-2}$. Továbbá ásvány (lorándit), hegycsúcs, torony és út (a Dolomitokban Cima di Eötvös, Campanile Eötvös, Via Eötvös), egy másik turistaút (Selmechánya), barlang (Aggteleken és Krecsunesden), holdkráter, aszteroida („12301 Eötvös”) viseli a nevét.

A szomszédos országok földtudományi kutatóinak Eötvös Loránd neve az egymáshoz való tartozást jelenti. Jogos a Kárpát-medencei büszkeség, hiszen innen indult ki a földtani célú geofizikai kutatás, illetve a nyersanyagkutató geofizika. Ebben a szellemben szerveződik a Magyar Geofizikusok Egyesülete által kezdeményezett október 17-ei konferencia a szlovákiai Egbellen. (A világső egbelli próbamérést 1924-ben követte az első amerikai Eötvös-inga teszt (Spindletop, Texas), sajnos ez már magyarok nélkül. De alighanem a texasi sikereknek tulajdonítható, hogy születésének 100 éves évfordulóján a Nature-ben Eötvöst ekként méltatták: „the father of geophysical prospecting for oil, even if a hesitant one”.)

Eötvös Loránd 2019-ben újra meghódítja Dél-Tirolt: a RAI regionális német nyelvű híradója Eötvös Loránd toblach-i fényképkiállításáról és Reinhold MESSNER ugyanott tartott hegymászástörténeti filmbemutatójáról két egyenrangú riportot készített. Az olasz változat pedig együtt mutatta be Eötvöst és Gustav MAHLERT, mint Schluderbach/Toblach két híres vendégét. A szinergiát tovább erősíti a BEAC odakerékpározása, valamint a Magyar Turista Egyesület hegymászása és emléktábla-elhelyezése.

Az Eötvös-emlékév hátralévő részében mindenekelőtt iskolai előadások tartására, a <http://eotvos100.hu> weboldalon közzétett dokumentumok (pl. az arculati anyagok, amelyek a <https://eotvos100.hu/hu/page/eotvos-100> oldalon található) szabad használatára szeretném a figyelmet felhívni. A tárhely és a domain név az MTA KIK-ben megmarad. Érdemes ezért az archívumot folyamatosan kiegészíteni. Például az Eötvösről írt, a honlapon nem szereplő publikációkat (és minden egyéb hasznos információt) az info@eotvos100.hu címre megküldeni. Különösképpen az Eötvös-emlékhe-lyek fényképes dokumentációja tűnik még hiányosnak.

Az Eötvös Loránd-emlékévről december folyamán az MTA KIK-ben értékelő rendezvényt tartunk; lesz mit összegezni. Csak a projekt zárul, a teendők sora nem, hiszen Eötvös Loránd életművének országimázs-formáló ereje van. Néhány magyar külképviselet nagy valószínűséggel kíván a közeljövőben Eötvös-rendezvényt tartani.

A fizikusok augusztusi soproni vándorgyűlésén újból előjött KÁROLYHÁZY Frigyes 21 éve papírra vetett gondolata: „A nagy példakép, NEWTON sírkövén ez olvasható: *Humani generis decus* — az emberi nem dísze. Mi írjuk ide, hogy Eötvös Loránd a magyar nemzet ékessége: *Hungarae gentis decus*.”

Az Eötvös-kísérlet újramérése

VÖLGYESI LAJOS¹, SZONDY GYÖRGY², TÓTH GYULA¹, BARNAFÖLDI GÁBOR³, DEÁK LÁSZLÓ³,
ÉGETŐ CSABA¹, FENYVESI EDIT³, HARANGOZÓ PÉTER⁴, GRÓF GYULA⁵, KISS BÁLINT⁴,
LÉVAI PÉTER³, PÉTER GÁBOR⁴, SOMLAI LÁSZLÓ³, VÁN PÉTER^{3,4}

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Általános- és Felsőgeodézia Tanszék

²Független Kutató, Egyesület a Tudomány és a Technológia Egységéért

³Magyar Tudományos Akadémia, Wigner Fizikai Kutatóközpont

⁴Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék

⁵Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Irányítástechnika és Informatika Tanszék
volgyesi@eik.bme.hu

Remeasurement of the Eötvös-experiment

Between 1906 and 1908 Roland (Loránd) Eötvös and his colleagues Pekár D. and Fekete J. made measurements with revolutionary precision for validating the equivalence of gravitational and inertial mass. Our analysis of the EPF experiment pointed to a possible bias that justifies repeating the tests under better conditions and using modern new technology. After two years of thoughtful preparations, in middle of May 2018 our new equivalence measurements have been started in a controlled and undisturbed environment of the Jánossy Underground Laboratory at KFKI, 30 meters below ground level. In our preliminary results the equivalence principle can be validated by 10^{-10} order of magnitude.

EÖTVÖS Loránd munkatársaival, PEKÁR Dezsővel és FEKETE Jenővel 1906-tól mérésorozatot végeztek (Eötvös-kísérlet) a súlyos (gravitációs) és a tehetetlen tömeg arányosságára vonatkozóan (EÖTVÖS 1922).

Az Eötvös-kísérlet elemzésének eredményeképpen olyan szisztematikus hibalehetőséget találtunk (TÓTH 2019), amely indokolttá teszi a mai korszerű technikai lehetőségek által kínált jobb feltételek mellett a mérések megismétlését. A méréseket a KFKI (Wigner F.K.) területén lévő Jánossy Földalatti Fizikai Laboratóriumban, 30 m mélységben, megfelelő nyugalmi körülmények és kontrollált feltételek között végezzük. Az Eötvös-kísérlet megismétlésének külön aktualitást ad Eötvös Loránd halála 100. évfordulójának tiszteletére rendezett 2019-es Eötvös-év.

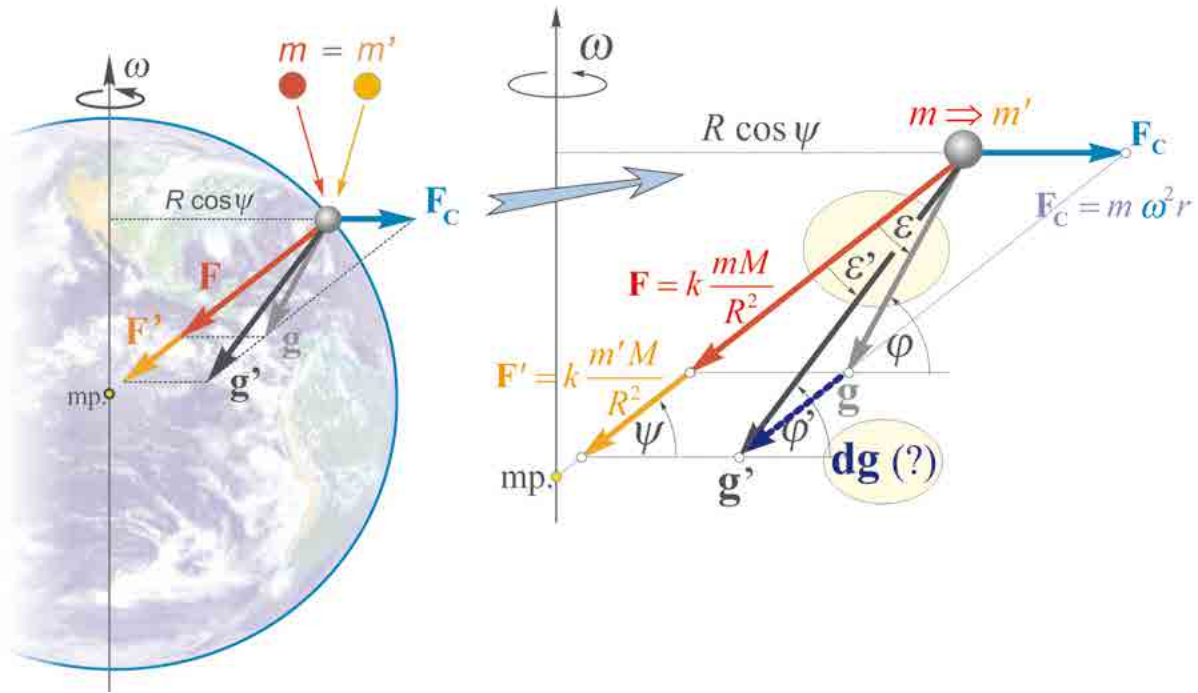
A súlyos és a tehetetlen tömeg egymástól független mennyiség, ami két teljesen különböző fizikai törvényben jelenik meg. NEWTON óta a fizika kiemelt kérdése, hogy a két tömeg valójában ugyanaz-e, vagy más-más mennyiséget jelöl. EINSTEIN a súlyos és a tehetetlen tömeg egyenlőségére és anyagtól való függetlenségére, vagyis az ún. gyenge ekvivalencia-elvre építette fel az általános relativitás elméletét. A XVI. századtól kezdve többen is foglalkoztak ejtési kísérletekkel, például egyidejűleg vas és fagolyó ejtésekor azt tapasztalták, hogy a két test a nagy súlykülönbség ellenére gyakorlatilag egyszerre ért a talajra. EÖTVÖS Loránd és munkatársai a híres EPF (Eötvös–Pekár–Fekete) kísérlettel a kilencedik jegyig terjedő pontossággal igazolták a súlyos és a tehetetlen tömeg azonosságát.

Az Eötvös-kísérlet alapelve igen egyszerű. A g földi nehézségi erő az FT tömegvonzási (gravitációs), az FC forgási centrifugális és az árapálykeltő erők eredője. Az EPF kísérletek során az árapálykeltő erők elhagyhatók, mivel a kísérletben használt eszközre kifejtett hatásuk elhanyagolhatóan kicsi. Eötvös feltételezte, hogy az FC forgási centrifugális erő független az anyagi minőségtől, viszont az FT tömegvonzási (gravitációs) erő függhet tőle.

Gondolatban helyezzünk el az 1. ábrán látható földfelszíni pontban különböző anyagokat (pl. aranyat és alumíniumot). A két különböző testnek legyen szigorúan azonos a tömege ($m = m'$). A feltételezés szerint mindkét testre azonos FC forgási centrifugális tehetetlenségi erő hat, viszont a Föld az m tömegre FT míg az m' tömegre FT' gravitációs erőt gyakorol. Ennek megfelelően az

1. ábrán látható módon az m tömegre ható nehézségi erő g , az m' tömegre ható nehézségi erő pedig g' . A g és a g' nagyságban és irányban is eltér egymástól, a parányi dg eltérést — amennyiben létezik — Eötvös-ingával mérhetjük meg (VÖLGYESI et al. 2018).

A tervezett mérések céljára két különböző típusú Eötvös-inga állt rendelkezésünkre: egy Eötvös–Rybár-féle AutERBal műszer, illetve egy Eötvös–Pekár-féle torziós inga.



1. ábra. A nehézségi erő feltételezett változása különböző anyagok esetén.

Mivel a rendelkezésünkre álló ingákat igen régen használták, az első fontos lépés az ingák felújítása, javítása, használhatóságuk ellenőrzése, a be szabályozása és kalibrálása volt. Az előkészületek közel 2 évet vettek igénybe. A torziós szálak csavarodási driftjének minimálisra csökkentése céljából a szálakat több mint fél éven keresztül folyamatosan terheltük az ingák kioldott helyzetében. A szálak hosszú idejű terhelésével a Pekár-inga esetében sikerült elérni mindkét szál gyakorlatilag driftmentes állapotát, így a szélső pontossági igényű mérések céljára a Pekár-inga használata mellett döntöttünk. Ráadásul, mivel az Eötvös-kísérlet tekintetében fontos szempont az ingában lévő tömegek egyszerű cserélhetősége is, ezért a további fejlesztéseket már csak erre az eszközre koncentráltuk.

A sikeres mérések legfontosabb követelménye a méréseket zavaró körülmények minél teljesebb kiküldatása. Az Eötvös-kísérlet méréseit leginkább veszélyeztető hibaforrások: a műszert leolvasó személy zavaró tömege, a talajrezgések, a hőmérséklet változása és a nehézségi erő térgradienseinek magas értéke az inga környezetében. Az utóbbi probléma egyszerűen kezelhető megfelelő helyszín kiválasztásával és a gradiensek pontos meghatározásával a műszer környezetében. Megfelelő helyszín kiválasztásával biztosítható a környezeti hőmérséklet stabilitása és csökkenthető elsősorban a forgalom okozta talajrezgések is. Ezeknek a szem előtt tartásával választottuk a mérések helyszínéül a Jánossy Földalatti Fizikai Laboratórium 30 m-es mélységben lévő folyosóját. Előzetes méréseink szerint a helyszín hőmérsékleti stabilitása megfelelő, a napi változás mindössze néhány század fok, a mikroszeizmikus talajnyugtalan-ságot pedig egy Güralp 3T háromtengelyű szeizmográfal tudjuk folyamatosan regisztrálni.

A mérések legjelentősebb és legveszélyesebb hibaforrása a műszert kezelő és leolvasó személy jelenléte, elsősorban a tömeghatása. Ugyanakkor a jelenlétével a hőmérsékleti egyensúlyt is megbontja és mozgásával

egyértelműen érzékelhető talajrezgéseket kelt. A hibaforrás a közvetlen emberi jelenlét kiküszöbölésével, a mérési folyamat teljes automatizálásával, távvezérelt méréssel szüntethető meg. Ehhez szükséges a vizuális leolvasás helyett megfelelő CCD érzékelők alkalmazásával és számítógépes képkiértékeléssel digitális műszerleolvasás, valamint az inga különböző mérési azimutokba forgatásához távvezérelt forgatási mechanika alkalmazása.

A Pekár-inga vizuális leolvasásra szolgáló okulárjának helyére a 2. ábrán látható CCD érzékelőt szerelve az inga karjának helyzetét a keletkezett digitális kép kiértékelésével tudjuk meghatározni. Az általunk fejlesztett számítógépes képkiértékelési eljárással egy képpont tört részének megfelelő helyzet is meghatározható, így a leolvasási pontosság egy képről nagyjából 1/100 skálaosztás. Ha ehhez hozzávesszük, hogy az inga egyensúlyi helyzetéről nem csupán egyetlen leolvasást tudunk készíteni, hanem hosszabb időn keresztül másodpercenkénti több képet készítve maga a csillapodási görbe is meghatározható, akkor ez további jelentős pontosságnövekedést eredményez. Fejlesztéseinknek köszönhetően közel két nagyságrenddel nagyobb leolvasási pontosságot tudunk elérni, mint az eredeti vizuális észleléssel.



2. ábra. Távvezérelt forgatási mechanika és az automatizált műszerleolvasás kialakítása az Eötvös–Pekár-ingán.

A mechatronikai megoldások közül a legkritikusabb elem az inga számítógéppel távvezérelt forgatását végző egység elkészítése volt. A forgatómotor vezérlését úgy kellett megoldani, hogy az inga 0° , 90° , 180° , 270° azimutokba forgatása pontosan, üzembiztosan, ugyanakkor hirtelen gyorsulások és lassulások nélkül, a rendkívül érzékeny ingaszerkezet szempontjából kíméletesen, mechanikai sokkhatás nélkül történjen. Az inga különböző mérési azimutokba forgatásához a 2. ábrán látható szerkezetet készítettük, a forgatásról speciális motor gondoskodik, az inga szabadon futó felső részével összekötő bordásszíjas hajtáson keresztül (PÉTER et al. 2019). A legtöbb alkatrész 3D nyomtatással készült. A Renishaw optikai enkódergyűrű alkalmazásával az ingaszerkezet különböző azimutokba forgatott pozíciójának kiolvasási pontossága szögmásodperc pontossággal lehetséges.

Az átalakított műszerrel, a hosszan tartó és alapos tesztmérések követően, a tényleges új ekvivalencia-mérések 2019. május 14-én kezdődtek a KFKI Jánossy Földalatti Laboratóriumában. A 3. ábrán az átalakított Eötvös–Pekár-ingát láthatjuk a 30 m mélységben kialakított laboratóriumában az Eötvös-kísérlet újramérése közben. A méréseket egyelőre arany, sárgaréz és alumínium próba-

tömegekkel végeztük, sok hasznos tapasztalatot gyűjtve a további mérésekhez. Az eddigi méréseink előzetes kiértékelése alapján Eötvösék eredeti mérési pontosságát egy nagyságrenddel felülmúlva 10^{-10} pontossággal látszik az ekvivalenciaelv érvényessége arany- és alumíniumtömegek esetére.



3. ábra. Az Eötvös-kísérlet újramérése 30 m mélységben a KFKI Jánossy Földalatti Laboratóriumában az átalakított Eötvös–Pekár-ingával.

Irodalom

- EÖTVÖS R., PEKÁR D. & FEKETE E. 1922: Beiträge zum Gesetze der Proportionalität von Trägheit und Gravität, — *Annalen d. Physik* 11–66.
- TÓTH Gy. 2019: Az Eötvös–Pekár–Fekete ekvivalencia-mérések szabályos hibája. — *Fizikai Szemle* 69/5, 155–188.
- PÉTER G., DEÁK L., GRÓF Gy., KISS B., SZONDY Gy., TÓTH Gy., VÁN P., VÖLGYESI L. 2018: Az Eötvös–Pekár–Fekete ekvivalencia-elv mérések megismétlése. — *Fizikai Szemle* 69/4, 111–116.
- VÖLGYESI L., SZONDY Gy., TÓTH Gy., PÉTER G., KISS B., DEÁK L., ÉGETŐ Cs., FENYVESI E., GRÓF Gy., VÁN P. 2018: Előkészületek az Eötvös-kísérlet újramérésére. — *Magyar Geofizika* 59/4, 165–179.

Néhány példa a Tihanyi Geofizikai Observatóriumban jelenleg folyó kutatásokból

CSONTOS ANDRÁS, HEILIG BALÁZS

Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat
csontos.andras@mbfsz.gov.hu

Előadásunkban két kutatási területet érintünk a földmágnesség témaköréből. Az első téma az űrkutatáshoz kapcsolódó geomágneses pulzációk jelenségeihez tartozik. Ezen belül az EMMA (European quasi meridional magnetometer array) hálózat földfelszíni mérései alapján meghatározható fontosabb geofizikai paraméterek vizsgálatáról szólnunk. A számítások egyik fontos célja a földi plazmaszféra különböző geomágneses héjakhoz tartozó sűrűségének monitorozása.

Második témánkban a földi mágneses tér gradienseinek időbeli változásait eredményező folyamatokat mutatunk be. Megmutatjuk, hogy az említett változásoknak mind a földmágneses külső térhez mind a belső térhez köthető forrásai is lehetnek. Observatóriumi adatsorok összehasonlító elemzése alapján a vizsgált változások néhány tipikus mintáját is ismertetjük.

Ásványi nyersanyag-kutatás geofizikai módszerekkel (Athabasca-medence, Kanada)

TAKÁCS ERNŐ¹, HAJNAL ZOLTÁN², IRVINE R. ANNESLEY^{2,3}, BHASKAR PANDIT²

¹Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat

²University of Saskatchewan, Canada

³Université de Lorraine, France

takacs.erno@mbfsz.gov.hu

A 'key-note' előadás a kanadai urániumkutatás területéről mutat példákat — gravitációs, földmágneses, szeizmikus, mélyfúrás-geofizikai, földtani, szerkezetföldtani és geokémiai adatok együttes értelmezésén keresztül — és megkísérel alaphangot adni a geofizikai szekció további előadásaihoz. A prezentáció témaköre egy a hazai kutatások területeitől földrajzilag távol eső és földtanilag különböző környezet, azonban négy kutatási projekt eredményeit bemutatva igyekszik rávilágítani arra, hogy az ásványi nyersanyag-előfordulások sikeres felderítéséhez a rendelkezésre álló földtani-geofizikai adatok választékának lehetőség szerinti legteljesebb körű felhasználása szükséges.

A világ legnagyobb és legmagasabb urántartalmú érctelepei az észak-kanadai pajzson elhelyezkedő Athabasca-medencében található. Ez a proterozoos medence (kb. 450×200 km) szolgáltatja jelenleg a világ urántermelésének körülbelül 20%-át. Az előadásban tárgyalt érctelepek a kemény homokkő formációk és a mélységi magmás kőzetekből felépített medencealjzat határán lévő feltolódásoknál alakulhatnak ki, hidrotermális folyadékáramlás következtében. A fluidum geokémiai kölcsönhatásba lép a medencealjzati

feltolódásokhoz gyakran kapcsolódó grafit és metapelit zónákkal és ez a folyamat az urán-oxid (U₃O₈) feldúsulását eredményezheti az említett földtani környezetben (ALEXANDRE et al. 2005).

Az Athabasca-medencében a fent említett, ún. 'unkonformitás típusú' urániumtelepek horizontális kiterjedése általában nem haladja meg a 100 m-t (a medence legnagyobb mélysége kb. 1200 m). A hidrotermális folyamatok azonban olyan átalakult zónákat hoztak létre körülöttük, melyek vízszintes léptékben elérhetik az 1–2 km-t és akár a felszínig is felhatolhatnak. A felszíni geofizikai mérésekkel nem közvetlenül az urániumtesteket, hanem a hozzájuk kapcsolódó, ásványtanilag átalakult zónákat (agyagosodás és/ vagy szilikátosodás), valamint más földtani–geofizikai sajátosságokat lehet kimutatni (pl. inverz vetők és kis fajlagos ellenállású grafitos feltolódási zónák). Az 1. táblázatban, korábbi tapasztalataink alapján az előadásban először publikálva, összefoglaltuk mindazokat a „közvetett urániumindikátorokat”, amelyek többségének együttes észlelése részletesebb vizsgálatokat indokol az adott kutatási területen.

Geofizikai, fúrási és geokémiai adatok	Közvetett uránium indikátorok	Földtani és geokémiai okok
Gravitációs adatok	Magas gravitációs értékek	Medencealjzati feltolódások
Földmágneses adatok	Alacsony földmágneses értékek	Metaszediment képződmények
Geoelektromos adatok	Alacsony fajlagos ellenállás	Grafitos feltolódási zónák
Szeizmikus reflexiós adatok és azok attribútumai (reflexió erősség, pillanatnyi fázis, variancia)	Inverz vetők és alacsony energiájú reflexiók a homokkő-aljzat unkonformitásról	Csapda szerkezetek, migrációs útvonalak, tektonikus igénybevétel és hidrotermális átalakulások
Mélyfúrás-geofizikai szelvények (radioaktív, FWS, lyukfal TV)	Magas radioaktivitású, valamint átalakult zónákra utaló jelek	Radioaktív ásványok és hidrotermális átalakulások
Fúrási adatok és rétegsorok	Grafit és metapelit zónák, valamint pegmatit benyomulások	Feltolódási zónák és vulkáni benyomulások, mint hőforrás
Magmintákon mért geokémiai adatok	Nyomkövető elemek magas koncentrációja	Ásványtársulások (U, Co, Cu, Ni, Pb, Zn, As, B)

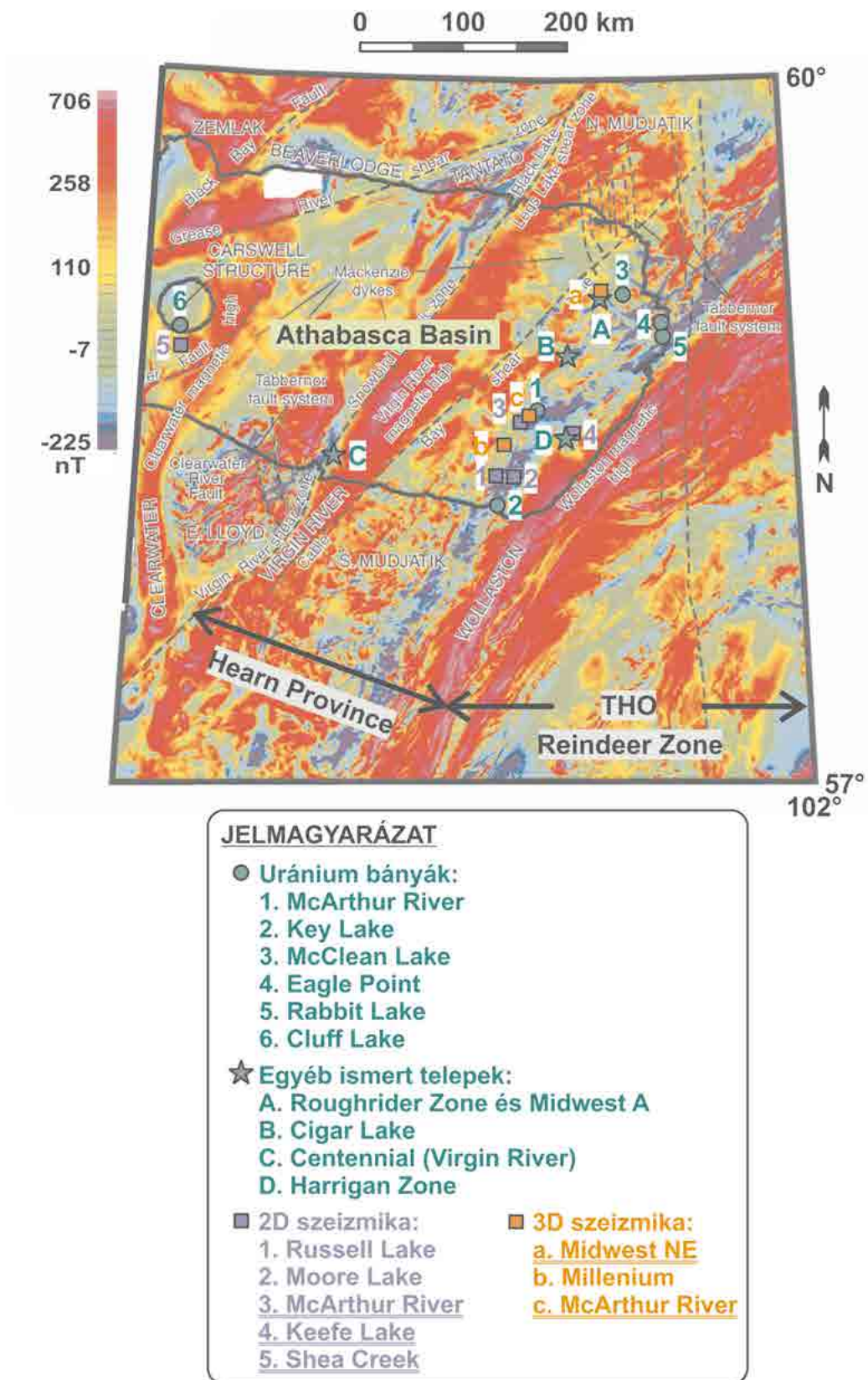
1. táblázat: Közvetett urániumindikátorok felszíni geofizikai, mélyfúrás-geofizikai, fúrási és geokémiai adatok szerint a regionálistól a lokális lépték felé haladva (unkonformitás típusú ércelemek esetén)

Négy kutatási projekt eredményeit villantjuk fel, bemutatva a rendelkezésre álló földtani és geofizikai információ felhasználását (HAJNAL et al. 2010, 2015; TAKÁCS et al. 2015; HAJNAL et al. 2019). A tárgyalt 2D és 3D projektek területi elhelyezkedését az 1. ábra regionális mágneses térképén tüntettük fel és a jelmagyarázatban aláhúzással kiemeltük azokat (McArthur River, Keefe Lake, Shea Creek és Midwest NE projektek).

Végezetül ismét hangsúlyozzuk, hogy bár az Athabasca-medence földtani felépítése alapvetően eltér a Pannon-medence litológiai és szerkezeti felépítésétől, mindkét esetben nagyon hasonló kutatási eljárás alkalmazása szükséges az ásványi nyersanyagok költséghatékony és sikeres felderítése céljából.

Irodalom

- ALEXANDRE, P., KYSER, K. & POLITO, P. 2005: Alteration mineralogy and stable isotope geochemistry of Paleoproterozoic basement-hosted unconformity-type uranium deposits in the Athabasca Basin, Canada. — *Economic Geology* 100, 1547–1563.
- HAJNAL, Z., WHITE, D. J., TAKÁCS, E., GYÖRFI, I., ANNESLEY, I. R., WOOD, G., O'DOWD, C. & NIMECK, G. 2010: Application of modern 2D and 3D seismic reflection techniques for uranium exploration in the Athabasca Basin. — *Canadian Journal of Earth Sciences* 47, 761–782.
- HAJNAL, Z., TAKÁCS, E., PANDIT, B. & ANNESLEY, I. R. 2015: Uranium mineralization indicators from seismic and well log data in the Shea Creek area at the southern margin of the Carswell Impact Structure, Athabasca Basin, Canada. — *Geophysical Prospecting* 63, 861–880.
- HAJNAL, Z., TAKÁCS, E., ANNESLEY, I. R. & PANDIT, B. 2019: Effective utilization of seismic reflection technique with moderate cost in uranium exploration. — *Geophysical Prospecting* (submitted manuscript under revision).
- TAKÁCS, E., HAJNAL, Z., PANDIT, B. & ANNESLEY, I. R. 2015: Mapping of alteration zones with seismic-amplitude data and well logs in the hard-rock environment of the Keefe Lake area, Athabasca Basin, Canada. — *The Leading Edge* 34, 530–538.



1. ábra. Az Athabasca-medence környezetének regionális mágneses térképe az urániumbányák és egyéb ismert telepek, valamint az eddigi szeizmikus 2D és 3D mérések helyeinek feltüntetésével. Az előadásban bemutatott kutatási projekteket aláhúzással emeltük ki a jelmagyarázatban

Hazai példák a reflexiós szeizmikus módszerek alkalmazására a különböző célú kutatások földtani kockázatának csökkentésére

BAUER MÁRTON¹, CSERKÉSZ-NAGY ÁGNES¹, TAKÁCS ERNŐ¹, CSABAFI RÓBERT¹, GÚTHY TIBOR¹, KÓBORNÉ BUJDOSÓ ÉVA¹, TÖRÖK ISTVÁN¹, KOVÁCS ATTILA CSABA², HEGEDŰS ENDRE¹

¹Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat,

²Geo-Log Kft.

bauer.marton@mbfsz.gov.hu

Bevezetés

A Magyar Állami Földtani Intézet és az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet nagy múltú szervezett kutatása eredményeként hazánk területének jelentős részéről áll rendelkezésre mélyföldtani, geofizikai ismeret, a nagy földtani kockázattal járó beruházások kivitelezésben azonban továbbra is kiemelkedő szerepe van az új, modern mérések eredményeinek. Jelen munkában három, az Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat keretei közt a közelmúltban végzett szeizmikus mérés tapasztalatait és a munkák során született földtani értelmezést ismertetünk. Az alkalmazott témakörből egy geotermikus célú kutatás módszertanát és eredményeit mutatjuk be a Győri Geotermikus Projekt példáján, felvázoljuk a több évtizedes múltra visszatekintő nyugat-mecseki szerkezetkutatás legújabb szeizmikus eredményeit, majd a nagyfelbontású szeizmikus mérések felhasználási lehetőségére hozunk példát a borsodi szénkutatásban.

Célok és alkalmazott módszerek

A tanulmányban bemutatásra kerülő munkák célja hasonló, elsősorban a tektonikai elemek lefutásának pontosítása volt, de a kutatási mélységtartomány és a felbontás, továbbá a mérést és a feldolgozást nehezítő körülmények minden esetben eltértek, így az alkalmazott módszerek is területenként változtak.

A Pér környéki geotermikus kutatásnál kulcskérdés volt a mélység–idő összefüggések pontos ismerete, a meredek dőlésű vetők kimutatása, valamint az aljzati, litológiai különbségek lokalizálása. A megvalósítás során ezért a reflexiós szeizmika mellett új VSP mérésre is sor került, továbbá a szeizmikus attribútumok használata mellett (perigram, reflexió-erősség) AVO vizsgálatokat is végeztünk. A BAF kutatáshoz kötődő új mérések során, ahol a domborzat tagoltsága a mérést, a meredeken dőlő rétegek pedig a feldolgozást nehezítették, nagyszámú refrakciós mérést és CRS feldolgozást alkalmaztunk. A Sajó-menti kutatásnál, ahol a mérések célja a rendelkezésre álló nagyfelbontású karotázskorreláció alapján feltételezett vetők meglétének igazolása és lefutásuk pontosítása volt, a nagy vertikális felbontásra fókuszáltunk.

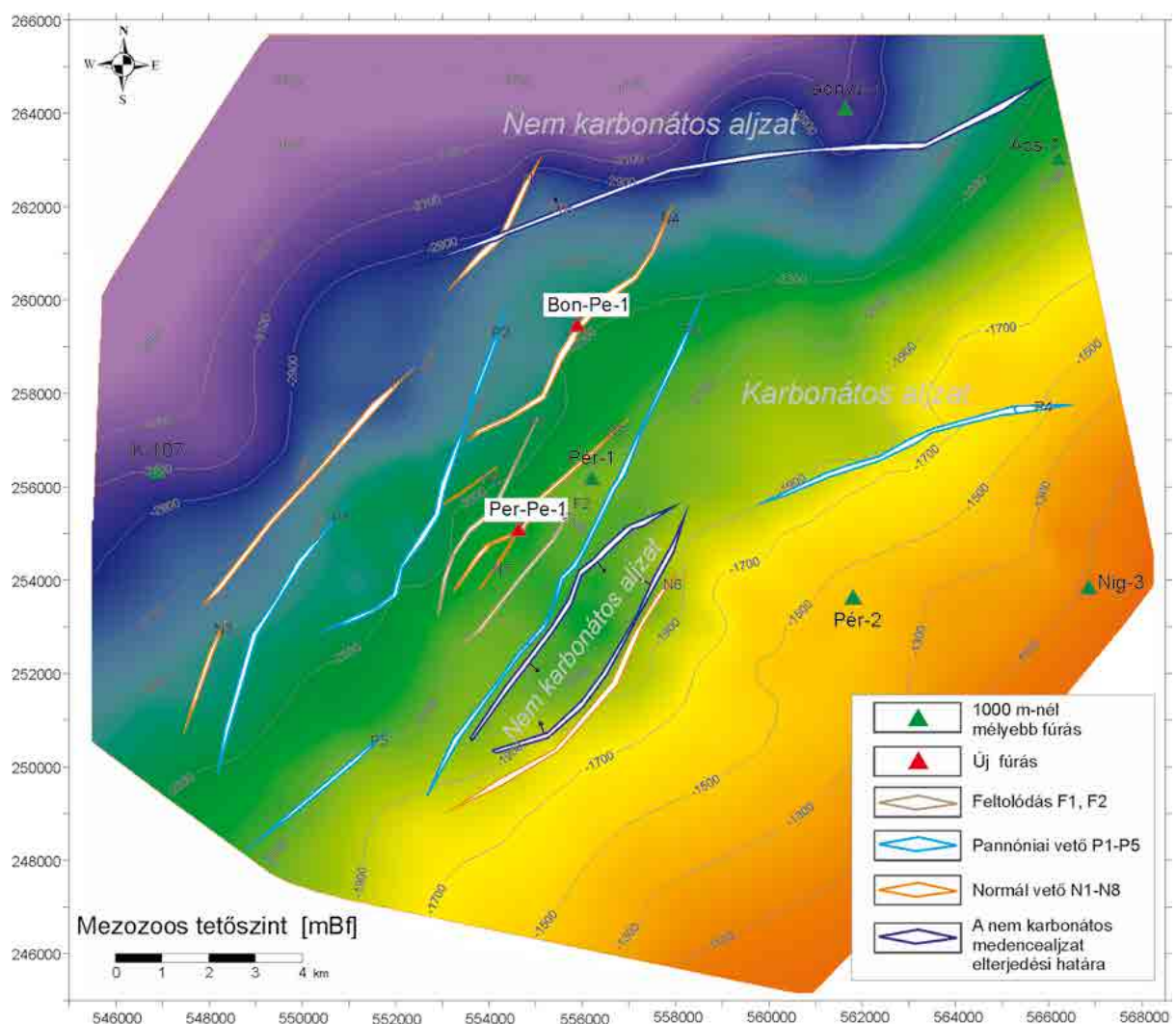
Az archív szeizmikus adatbázis áttekintése hozzájárult az alkalmazandó metodika kiválasztásához. A korábbi tapasztalatok alapján a mérési geometria (bázisköz, offset) és a használandó jelforrás (sweep paraméterek) optimalizálható volt a kutatási célmélységre, mely kiegészülve a megnövekedett fedésszámmal, nagyobb mintavételi idővel egy részletgazdagabb leképezést eredményezett. A kutatási célzóna függvényében jelforrásként szeizmikus vibrátorokat alkalmaztunk, melyet szükség esetén robbantásos jelforrás egészített ki. Az adatrögzítést Sercel 428 Lite rendszerrel végeztük. A reflexiós adatok feldolgozása ProMAX, a tomográfiai feldolgozás pedig saját fejlesztésű szoftverrel készült. Az adatok értelmezése SMTTM Kingdom szoftveres környezetben történt.

Eredmények

Györi Geotermikus projekt

Az újonnan mért szeizmikus anyag amplitúdó- és frekvencia-sajátosságainak vizsgálatával korreláltuk az egyes fúrásoknál azonosított aljzatbeli kőzeteket, mely alapján részlegesen ugyan, de lehetőség nyílt az aljzati litológiai heterogenitások térképezésére is. Az értelmezés eredményeként előállt egy újabb adatokra támaszkodó részletesebb mezozoos aljzattérség-térkép is (1. ábra).

Fontos tapasztalat, mely a terület jövőbeni geotermikus kutatásánál is hasznosulhat, hogy a mezozoos dolomitos aljzat intervallum-sebessége 5200–6000 m/s. A diszkordánsan rátelepülő fiatal, kis sebességű medencekitöltő üledékekkel való határfelülete jellemzően nagy amplitúdójú, 20–30 Hz frekvenciájú reflexióként azonosítható. A márgák, sziliklasztos képződmények sebessége 4800–5400 m/s, így a fedő és az aljzat közti kisebb impedancia-különbség miatt az aljzat felszíne kis amplitúdóval és nagyobb (30–40 Hz) frekvenciával jelentkezik. A fiatal neogén korú fedőüledékek – agyagok, márgák, homokkövek – 1800–3500 m/s hullámterjedési sebességekkel jellemezhetők. A korrelált szerkezeti elemek értelmezésünk szerint három deformációs fázishoz kötődnek: (1) Késő-kréta korú, ÉNy-i vergenciájú feltolódások (F1, F2); (2) miocén korú szinrift normálvetők (N1–N8); (3) pannóniai–kvarter oldaleltolódások (P1–P5).



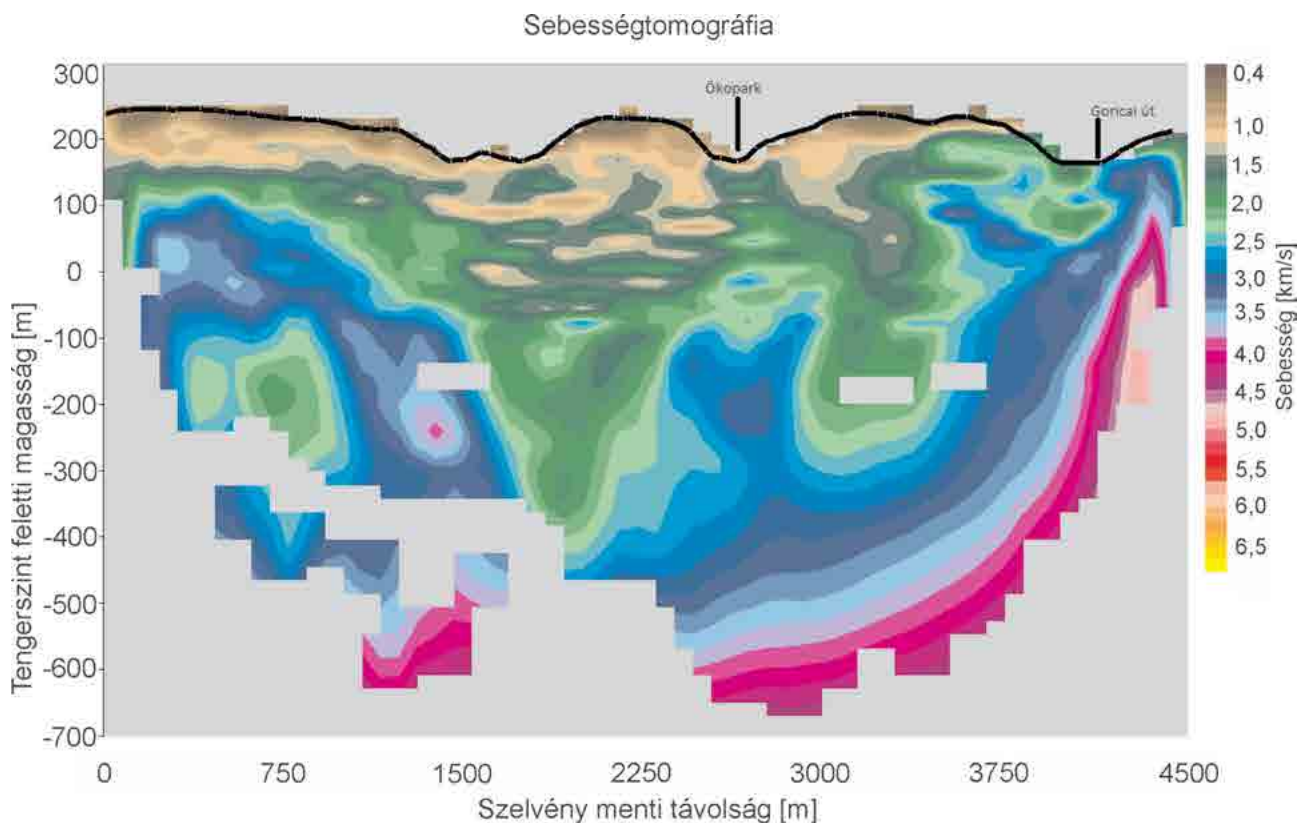
1. ábra. A kutatási terület prekainozoos medencealjzatának mélységtérképe a főbb korrelált szerkezeti elemekkel

Nyugat-Mecsek – Szerkezetkutatás

2017-ben két új szeizmikus vonal mérése történt a Nyugat-Mecsekben a BAF kutatás keretében, a főbb szerkezeti vonalak (KONRÁD et al. 2016) térbeli lefutásának pontosítására és a szerkezeti zónák egymáshoz való viszonyának tisztázása. A két új szelvény értelmezése alapján a Mecsekalja-zóna némileg északabbra húzódhat, a Hetvehely–Magyarszéki-öv nyugat felé kiterjeszthető, a Korpádi-törés szintén több vetőből álló zónaként értelmezhető. Továbbá az értelmezés megerősíti az intenzív miocén szerkezeti mozgásokat, különösen a Goricaiegység területén. Itt a jelentős erózió miatt a Bodai Aleurolit F. vastagsága igen változékony lehet.

A Me-105 vonal harántolja a Goricaiegységben már több módszerrel azonosított fiatal árkos szerkezetet (KISS 2003) is, melynek genetikája azonban a mai napig nem tisztázott. A kb. 700 m mély árok mélyebb részein vízszintes településű közepesen erős szeizmikus reflexióval jelentkező, kis sűrűségű és sebességű üledékek jelennek meg, melyek miocén kitöltésként értelmezhetők. Az árkot feltáró egyetlen fúrás a szelvénytől 1,2 km-re északra (Bükkösd-9005) azonban már 297 m mélységben permiai aljzatot, BAF-ot tárt fel.

A reflexiószelvény és a legújabb tomográfiai szelvény (2. ábra) együttes értelmezésén jól látható, hogy a nagy sebességű permotriász képződményeket egy kétosztatú, alacsonyabb sebességű üledékes egység tagolja. A mélyebben fekvő üledékkitöltés (világosabb zöld) a permotriász rétegek bezökkenésének síkjáig azonosítható, mely akár egy kétlépcsős kialakulásra is utalhat.



2. ábra. A miocén árokszerkezet a tomografikus szelvényen a Ny-Mecsekben

Sajómercse

A Nyugat-Borsodi-szénmedence jelentős földtani és geofizikai kutatási múlttal rendelkezik, mégis a rendelkezésre álló ismeretanyag a korszerű kutatási módszereken alapuló nemzetközi elvárásokhoz képest elavult. A területen még ma is perspektivikus Salgótarjáni Barnakőszén Formáció szenes összletei 200–400 m mélységben helyezkednek el. Az összletet a Darnó-zóna fejlődéséhez kötődően

több fázisú deformáció érte, melyet regionális léptékben FODOR et al. (2005) részletez. PÜSPÖKI et al. (2017) nagyfelbontású karotázskorreláció alapján normál vetős szerkezeteket feltételez, melynek igazolására 2019-ben 2D szeizmikus szelvényezést végeztünk.

Az új reflexiós mérésekkel a megcélzott 400 méteres mélységben 6–9 méteres vertikális felbontást sikerült elérni, mellyel már szeizmikusan is tagolhatóvá vált a telepes összlet. A mérés lokalizálta a karotázskorreláció alapján kijelölt szerkezeti elemeket, azonban az Sm–1 szeizmikus szelvény az előre jelzett normál vetők mellett kompressziós/oldalelmozdulásos szinszediment tektonika jelenlétére is utal, mely jól illeszkedik a Darnó-zóna környezetéről kialakult tektonikai képbe (cf. FODOR et al. 2005). A szelvény nyomvonalában a széntelepes összlet szerkezeti tagolt, fiatal transzpressziós nyomásra utaló virágszerkezetek azonosíthatók, melyek a telepes csoport szintjén 10–12 m-es elvetési magasságokat eredményezhetnek, ami egy esetleges bányanyitás során befolyásolhatja a tervezést.

Összefoglalás

A bemutatott esettanulmányok pontosítják az adott területről rendelkezésre álló földtani modellt. A Győr környéki mérések eredményeképpen egy részletes prekainozoos mélységtérkép készült el a területre. A geofizikai, geológiai és hidrogeológiai megfontolások alapján a középső-miocén korú, szinrift normál vetők mentén lehetett a legkisebb kockázattal telepíteni a termelő és a visszasajtoló kutakat (BON-PE–1, –2; PER-PE–1, –2), melyek azóta gazdaságosan működnek.

A nyugat-mecseki mérések földtani eredménye, hogy a Hetvehely–Magyarszéki-törésvonal a Bükkösdi-törésvonal túl is kimutatható nyugat felé, valamint, hogy a Korpádi-törés egy, több vetőből álló szerkezeti zóna. Az MBFSZ fejlesztésű (TÖRÖK István) tomográfias feldolgozás eredményeként olyan sebességszelvény állt elő, mely nagymértékben segíthet megérteni a miocén árok kialakulását.

A Sajó-menti modern reflexiós mérések rávilágítanak, hogy a fiatal transzpressziós tektonikai elemek ismerete kritikus lehet bányaművelés szempontjából, ugyanakkor az eredmények azt is megmutatják, hogy a nehéz körülmények (hegyvidék, andezites fedő kőzetek) ellenére is hatékonyan vizsgálható a nyugat-borsodi szénmedence szeizmikus módszerekkel.

Köszönetnyilvánítás

A nyugat-mecseki szerkezetkutatásának eredményeit a Mecsekérc Zrt., illetve a RHK Kft. jóváhagyásával közzétettük. Külön köszönettel tartozunk Hámos Gábornak a földtani környezet értelmezésében nyújtott segítségével. A péri geotermikus kutatás bemutatása a PannErgy Nyrt. hozzájárulásával történni lehetett meg. A Sajó-menti mérést a ZB78001 számú ITM támogatási szerződés finanszírozta.

Irodalom

- FODOR, L., RADÓCZ, GY., SZTANÓ, O., KOROKNAI, B., CSONTOS, L. & HARANGI, SZ. 2005: Post-Conference Excursion: Tectonics, Sedimentation and Magmatism along the Darnó Zone. – *GeoLines* 19, 142–162.
- KISS J. (szerk.) 2003: Kutatási jelentés a BAF 2003 projekt keretében végzett gravitációs és mágneses mérések kivitelezéséről és értékeléséről. – *Jelentés, Magyar Állami Földtani, Geofizikai és Bányászati Adattár, Budapest.*
- KONRÁD GY., SEBE K. & BUDAI T. 2016: Magyarázó a Bodai Agyagkő Formáció perspektivikus elterjedési területének 1:25 000 méretarányú földtani térképéhez. – *Kézirat, Mecsekérc Zrt., Pécs.*
- PÜSPÖKI, Z., HÁMOR-VIDÓ, M., PUMMER, T., SÁRI, K., LENDVAY, P., SELMECZI, I., DETZKY, G., GÚTHY, T., KISS, J., KOVÁCS, ZS., PRAK-FALVI, P., MCINTOSH, R.W., BUDAY-BÓDI, E., BÁLDI, K. & MARKOS, G. 2017: A sequence stratigraphic investigation of a Miocene formation supported by coal seam quality parameters – Central Paratethys, N-Hungary. – *International Journal of Coal Geology* 179, 196–210. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2017.05.016>

S-hullám szeizmikus mérések alkalmazási lehetőségei

TÓTH TAMÁS, FILIPSZKI PÉTER, NÉMETH VIKTOR, SZABÓ TIVADAR

Geomega Kft.,
info@geomega.hu

A felszín alatti rétegek rétegtani és szerkezeti vizsgálatának egyik leghatékonyabb eszköze a nagy-felbontású szeizmikus mérés. Szeizmikus mérésen hagyományosan P-hullám szeizmikus méréseket értünk, hiszen a P-hullám reflexiós szeizmikus szelvényezés a szénhidrogén- és a szerkezetkutatásban leggyakrabban alkalmazott felszíni kutatási módszer. Mivel nyomás-, azaz P-hullámokat sokkal egyszerűbb gerjeszteni, mint nyíró-, azaz S-hullámokat, a kis mélységű mérnökgeofizikai vizsgálatok során is gyakran kerül alkalmazásra nyomáshullámokat alkalmazó szeizmikus módszer. Nagyobb mélységek nyíróhullámokkal történő vizsgálatokor nem csak a jelgerjesztés, hanem az energiacsatolás is problémát jelenthet. Nem beszélve arról, hogy tengeri környezetben mind a jelgerjesztés, mind a visszaérkező jelek nyíróhullámként történő észlelése a vízben nem, csak a tengerfenéken lehetséges. A több kilométeres behatolást igénylő szénhidrogén-kutatási projektek során éppen ezért gyakran nem tisztán nyíróhullámokkal történő leképezést alkalmaznak, hanem nyomáshullámként gerjesztett, és esetenként nyomáshullámként is észlelt, úgynevezett konvertált (P–S vagy akár P–S–P) hullámokkal történik a vizsgálat.

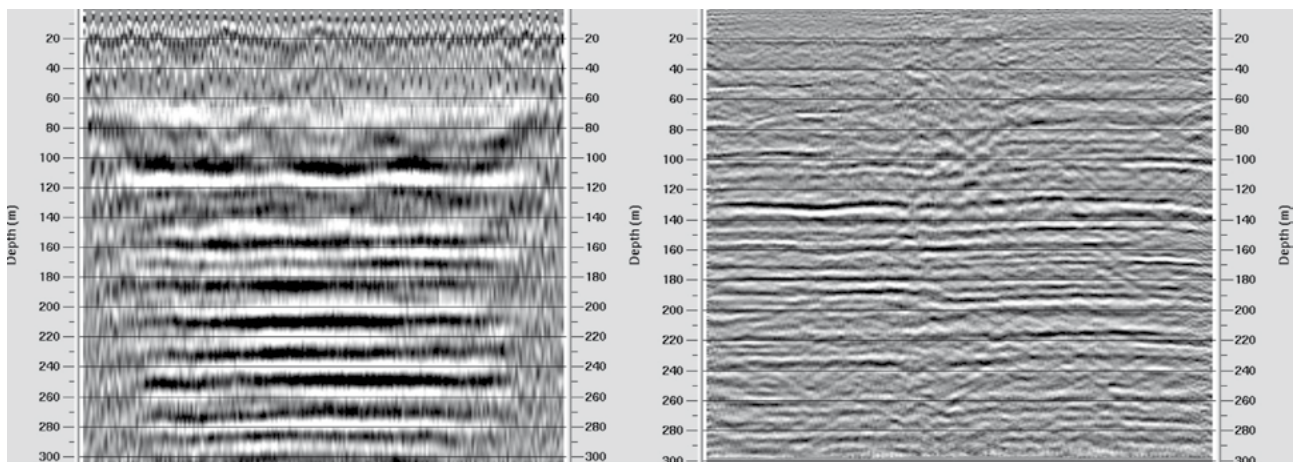


1. ábra. LandStreamer szeizmikus érzékelő rendszer és S-hullám vibroszeiz jelforrás mérés közben

Modern, vibroszeiz elven működő S-hullám szeizmikus források új lehetőségeket nyitnak a kis mélységű, néhány méter és néhány száz méter közti mélységtartományok vizsgálatára.

Egy ilyen vibroszeiz forrás a Seismic Mechatronics által gyártott Lightning típusú, lineáris elektromotorral működő jelforrás, mely leszűrhető, tüskés geofonokkal, vagy a Geomega Kft. által kifejlesztett LandStreamer érzékelő rendszerrel kombinálva mind „hagyományos” terepi körülmények között, mind pedig szilárd burkolatú környezetben eredményesen használható nagyfelbontású P- és S-hullám szeizmikus felvételek készítésére. A mérőrendszert szelvényezés közben mutatja az 1. ábra.

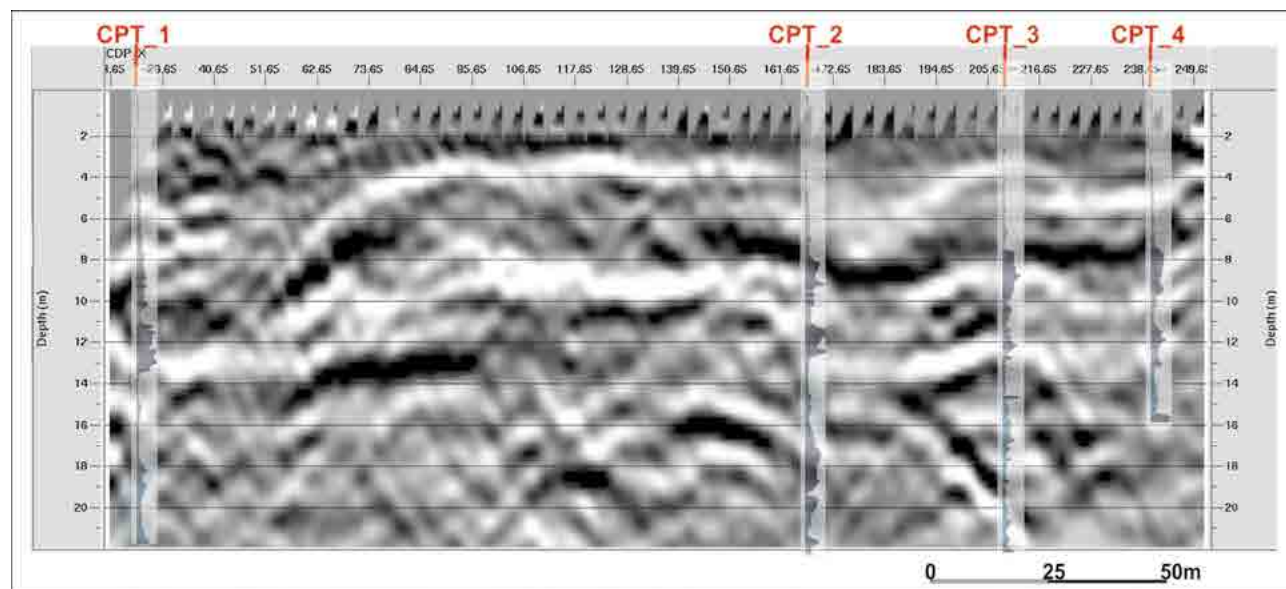
A nyomás- és nyíróhullámokkal történő reflexiós szeizmikus szelvények között számos alapvető különbség van, ami viszont a reflexiós szeizmikus szelvényeken rögtön szembetűnő, az a felbontásbeli különbség, valamint a legsekélyebb rétegek leképezésének lehetősége. A nyíróhullámok terjedési sebessége mindig kisebb, mint a nyomáshullámoké, így azonos frekvenciájú jelgerjesztés esetén mindig nagyobb felbontást fognak eredményezni. A hullámterjedési sajátosságok miatt ráadásul a felszínközeli legsekélyebb rétegek leképezésére a nyíróhullámok sokkal alkalmasabbak, mint a nyomáshullámok. Jó példáját mutatja ennek a 2. ábrán látható P- és S-hullám szeizmikus szelvény pár, mely szelvények ugyanazon felszíni terítéssel, ugyanazon forráspontokban történő gerjesztéssel, valamint P- és S-hullám gerjesztés tekintetében megegyező sweep paraméterekkel mérődtek. Mindkét szelvényt a számított P- és S-hullám sebességekkel mélységbe konvertáltuk, így közvetlenül összehasonlítható a leképezésük. Szembetűnő különbség látható nem csak a szelvények felbontásában, hanem a legsekélyebb rétegek leképezésében is. Míg a P-hullám szelvény a legfelső 100 méterből praktikusán nem mutat értékelhető reflexiót, addig az S-hullám szelvényen már néhány tíz méteres mélységben is jól értelmezhető reflexiós beérkezések láthatók.



2. ábra. Ugyanazon 440 m hosszú szelvény mentén mért P-hullám (bal oldal) és S-hullám (jobb oldal) reflexiós szeizmikus szelvény. A mélységkonvertált szelvényeken jól megfigyelhető a felbontásbeli különbség, valamint az S-hullám reflexiós szeizmikus szelvény jelentősen jobb leképezése a kis mélységű tartományban

Geotechnikai vizsgálatok esetén különösen fontos a nagy felbontású, fúrási és/vagy penetrációs szondázások adataival közvetlenül összevethető szeizmikus szelvények mérése. Sok esetben mindezt zajos, városi környezetben történő mérések eredményeként kell előállítani. P-hullám szeizmikus mérések esetén ez legtöbbször lehetetlen feladatnak bizonyul. Az S-hullám mérések viszont — jól megválasztott mérési paraméterek, megfelelően kivitelezett terepi mérés, adatfeldolgozás és értelmezés esetén — hasznos plusz információt nyújthatnak a pontszerű fúrásos/szondázásos adatok között. Erre mutat példát a 3. ábra szelvénye, melyet városi környezetben mértünk és amely 4, egymással látszólag jól korreláló CPT mérési pont közti térrészt képez le. A szelvényen látható leg-

felső 20 méteres rétegsor folyami üledékei — a CPT szelvényekkel feltárt üledékcsomagok jó korrelálhatósága ellenére — jelentős térbeli változékonyságot mutatnak. A LandStreamer technológia és az S-hullám vibroseiz jelgerjesztés kombinációja egyedülálló részletességgel mutatta meg ennek a rétegsornak a belső szerkezetét.



3. ábra. Jelentős háttérzajjal terhelt városi környezetben mérődött S-hullám reflexiós szeizmikus szelvény. A szeizmikus szelvényen leképezett réteghatárok jól mutatják az egymással jól korrelálható CPT szelvények közti változékonyságot

Nyírség, a potenciáltér adatok tükrében

KISS JÁNOS, VÉRTESY LÁSZLÓ, ZILAHY-SEBESS LÁSZLÓ, GULYÁS ÁGNES

Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat
kiss.janos@mbfsz.gov.hu

A Nyírség földtani felépítése a széles körben elterjedt vulkáni összletek miatt máig nem teljesen tisztázott. Évtizedek óta foglalkoztatja a szakembereket, hogyan lehetne a vulkáni képződményeket lehatárolni, illetve feltárni azok mélységét, vastagságát, továbbá megtudni, hogy mi van a vulkanitok alatt, lehet-e azonosítani a törmelékes összleteket, a lávaképződményeket és a medencealjzat képződményeket, a felső 5–10 kilométeres mélységtartományban.

Ehhez a munkához sok forrásadatra lenne szükség, de éppen e nehézségek miatt a földtani kutatás az ásványi nyersanyagok szempontjából bizonytalan kimenetelű, így nem is nagyon áldoztak erre a Nyírség területén. Az általános földtani és vulkanológiai érdeklődés nem teremt elegendő okot (értsd pénzforrást) a további kutatásokra. Szerencsénkre azonban a korábbi, országos felméréseknek köszönhető, szénhidrogén-kutatás céljából végzett geofizikai mérések azért rendelkezésre állnak.

A Nyírség területén napjainkban potenciáltér (gravitációs és mágneses) adatok, szeizmikus reflexiós és geoelektromos mérések és olyan adatfeldolgozási eljárások (automatikus hatókijelölések, spektrális adatfeldolgozások és mélységi szeletelés) állnak rendelkezésre, amelyekkel korábban nem rendelkezünk, nem beszélve az azóta kialakuló (több évtizedes) szakmai gyakorlatról.

Előzmények

2012–2015 között kezdtünk el a Nyírség területével foglalkozni. Kezdetben vizsgáltuk a regionális szeizmikus és/vagy magnetotellurikus szelvényeket, amelyek mentén az országos adatbázisokból a gravitációs és a mágneses adatok is rendelkezésre álltak. Ez a geofizikai alapszelvények program keretében készült, felhasználva a litoszféraszselvények mentén végzett feldolgozások szakmai tapasztalatait (KISS 2005, 2009; KISS & MADARASI 2012).

2017-ben a szelvények nyomvonalára mentén egy automatikus feldolgozási eljárás, a Naudy-dekonvolúció (NAUDY 1970, 1971; KISS & PRÁCSER 2016) segítségével próbáltuk meghatározni az intermedier, illetve ennél bázisosabb lávaképződmények helyzetét.

2018-ban a feladat a szeizmikus szelvények és a szelvények mentén kapott Naudy-feldolgozások eredményeinek részletes összevetése volt, azaz a mágneses feldolgozások alapján kimutatott bázisos lávaképződmények ellenőrzése a szeizmikus reflexiós kép alapján és a feldolgozások területi kiterjesztése. Ezt az anomália térképek spektrálanalízisével értük el (Cordell 1985; KISS 2013, 2014).

2019-ben a komplex feldolgozás a fő cél, azaz a különböző földtani és geofizikai adatok (mélyfúrások, mélyfúrás-geofizikai vizsgálatok, gravitációs, mágneses, geoelektromos és szeizmikus mérési adatok) együttes feldolgozása, értelmezése.

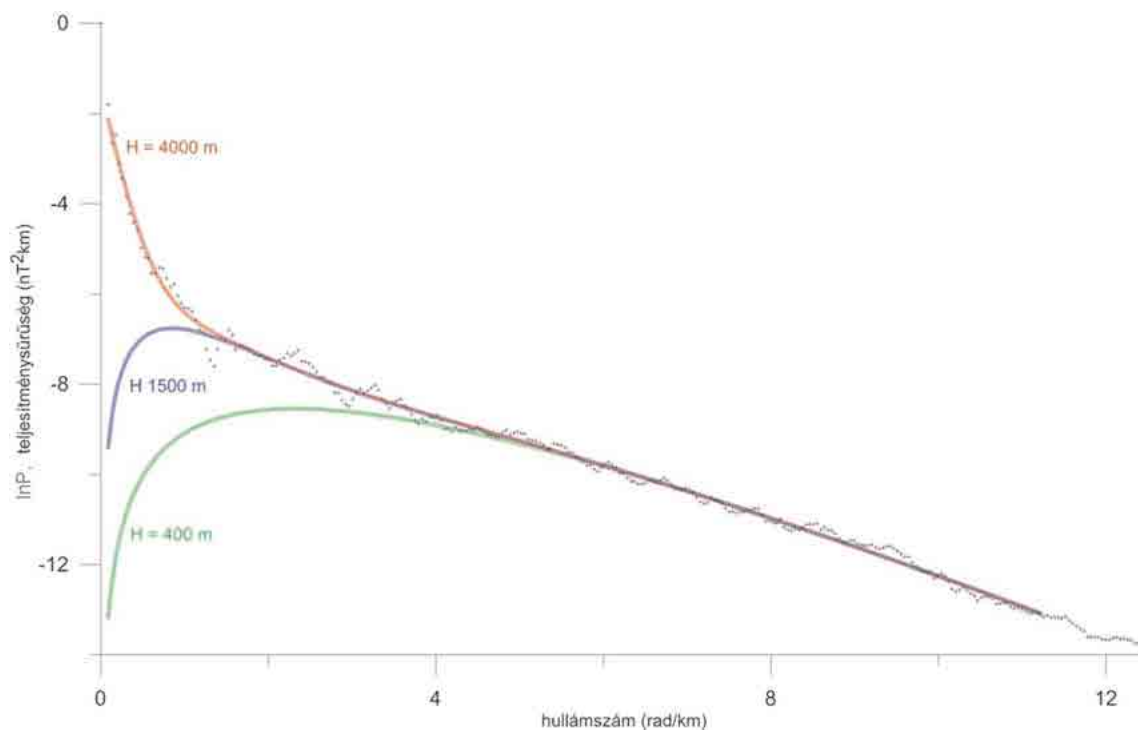
Módszertan

Nyírségben a kutatás fő problémáját a széles körben elterjedt miocén vulkáni képződmények okozzák. Az átfedő közetfizikai paraméterek és a változatos elterjedés (geometria) miatt nem egyszerű ennek az összletnek a vizsgálata, lehatárolása. A feladat megoldásában nagy segítséget jelenthet, hogy a vulkanitok egy része mágneses tulajdonságokkal rendelkezik, illetve mágnesezhető. A mágneses anomáliatér alapján ezeknek a képződményeknek a hatása megjelenik a mágneses anomáliatérben, miközben az az üledékes környezet (amiben a vulkanitok találhatóak) nem mágneses, így hatása sincs.

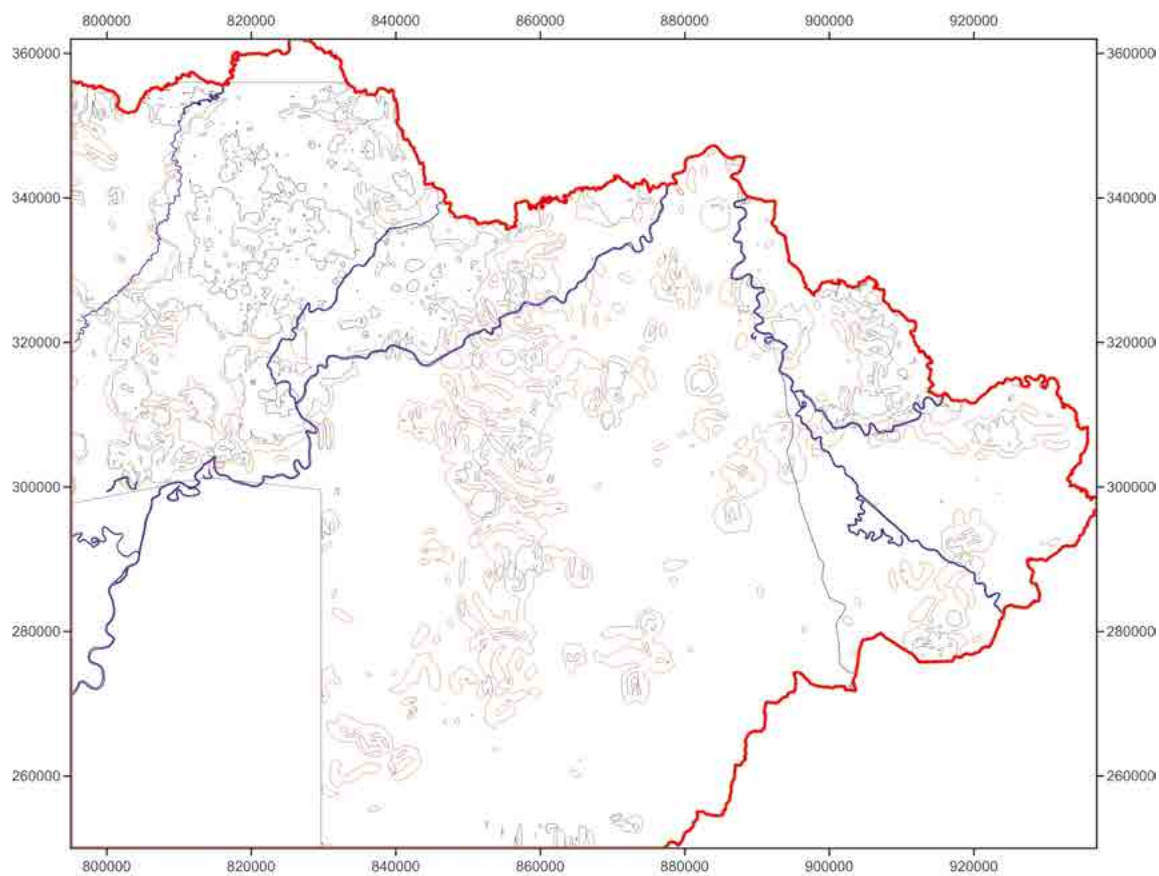
Nem minden vulkáni képződményt tudunk ilyen formán azonosítani, hanem csak az intermedier és az ennél bázisosabb képződményeket. Azaz sem a savanyú lávákat (pl. riolit), sem a vulkáni törmeléket nem lehet elkülöníteni mágneses paramétereik alapján a környező üledékes kőzetektől. A savanyú lávák a medencealjzat képződményeivel mutatnak azonos/átfedő paramétereket, míg a tufás képződmények a laza törmelékes üledékekkel. A savanyú lávák térbeli elhelyezkedése alapján, nagyobb sűrűségük miatt elvileg szintén kimutathatók, ha azok a laza üledékes összletben jelentkeznek. Ehhez azonban ismernünk kell az adott területen a prekainozoos medencealjzat mélységét, aminek meghatározása, még több geofizikai módszer együttes alkalmazása mellett sem egyszerű feladat a Nyírség területén.

A szelvények mentén elvégzett Naudy-feldolgozások és a szeizmikus reflexiós kép összevetése alapján feldolgozásaink eredményesnek tűnnek a mágneses vulkanitok kijelölésében, lehatárolásában. Feldolgozásainkat kiterjesztettük a térképi adatokra is. Spektrálanalízis és sávszűrés alkalmazásával a jelfrekvencia alapján három különböző mélység mágneses anomáliáit sikerült elkülöníteni (1. ábra).

A mágneses értelmezésben mindig gondot jelent a dipólus erőter bonyolult plusz-mínuszos rajzolata, amit a legnagyobb változékonyság meghatározásával oldhatunk fel. Utána csak ott kapunk anomáliát (2. ábra), ahol mágneses ható van. Lokális testek esetében jó eredményt ad, nagy kiterjedésű vagy nagy mélységű testek esetén azonban — mivel derivált jellegű a transzformált térkép — csak a ható kontúrja mentén kapunk anomáliát, így kevésbé egyértelmű.

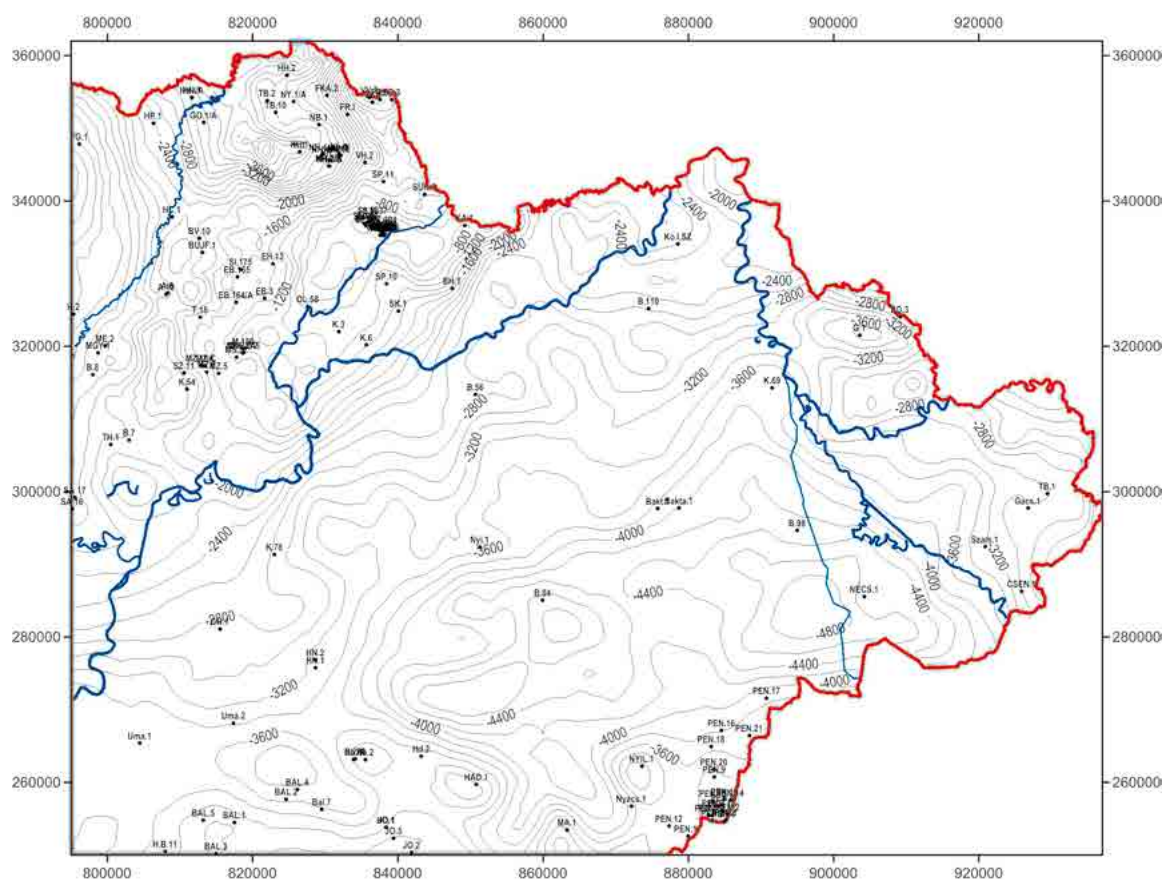


1. ábra. Mágneses teljesítménysűrűség spektrum és a mágneses hatók spektrális mélysége



2. ábra. A 400 m (fekete) és az 1500 m-ben (piros) spektrális mélységben jelentkező mágneses hatók helyzete

A gravitációs Bouguer-anomália térképet a nagy sűrűségű medencealjzat követésére szoktuk használni. A Nyírségben is megpróbáltuk ezt, a medencealjzatot ért fúrások mélysége és a Bouguer-anomália közötti korreláció alapján (3. ábra). Mivel a miocén vulkanitok között nagysűrűségű lávaképződmények is vannak, amelyek a prekainozoos medencealjzatra közvetlenül rátelepülhetnek, ezért egyrészt más módszereket — például a magnetotellurikus méréseket — is figyelembe kellett venni. Másrészt ezek a lávák megjelenhetnek a fedőüledékekben is, ahol a jóval nagyobb sűrűségük hatással lehet a Bouguer-anomália térképre is. Az ilyen hatások beazonosításához a gravitációs adatok spektrálanalízise és a Bouguer-anomália térkép sávszűrése szükséges. Négy különböző mélységtartomány szűrt gravitációs térképe alapján a fedőüledékekben megjelenő lávapadok azonosítása szintén megoldható feladat.



3. ábra. Prekainozoos medencealjzat-mélység a gravitáció alapján

Eredmények

A mágneses spektrálanalízis alapján három szintet különítettünk el, ebből kettő a miocén vulkanitokkal van összefüggésben, a harmadik már komplex hatást mutat, amiben a miocén és az idősebb korú magmás működés mellett a bázisos metamorfitek hatása sem zárható ki. A felső szint főleg lokális hatások, amelyek elkülöníthetők. A legelső szint, már egymásba szuperponálódó komplex hatás, ami nehezebben értelmezhető.

A gravitációs spektrálanalízis alapján négy szintet lehetett elkülöníteni, amiből a legfelső szint a kvarter és pannóniai üledékek szintje. A következő, 1300 m-es szint már a miocén üledékek szint-

je. Az ebben a szintben megjelenő gravitációs maximumok még nem tartalmazzák a medencealjzat hatásait, de a nagy sűrűségű miocén lávpadok már okozhatnak gravitációs maximumokat. Ha ezek a maximumok mágneses hatással együtt jelentkeznének, akkor bázisos lávával van dolgunk, ha nincs mágneses anomália, akkor savanyú láva hatásaként értelmezhetjük azokat.

A hullámzó pannóniai talp felszíne nyugodt településű, szélesebb anomáliák formájában jelentkezik (diskordancia-felület), amit a fúrások és a földtani térképek alapján többé-kevésbé követhetünk.

A potenciáltér-adatok feldolgozását a terület szeizmikus és magnetotellurikus adatainak újraértelmezése követi, hiszen a vulkanitok helyzete és kőzettani összetétele mindkét módszer mérési eredményeire befolyással van.

A földtani–geofizikai modell kialakítása a meglévő mélyfúrási és mélyfúrás-geofizikai mérések alapján elkészült, de a további feldolgozások miatt ez még módosulhat.

Irodalom

- CORDELL L. 1985: A stripping filter for potential field data — 55th Annual International Meeting, SEG, Expanded abstract, 217–218.
 KISS J. 2005: A CELEBRATION-7 szelvény komplex geofizikai vizsgálata, és a „sebesség-anomália” fogalma — Magyar Geofizika 46/1, 1–10.
 KISS J. 2009: A CEL08 szelvény geofizikai vizsgálata — Magyar Geofizika 50/2, 59–74.
 KISS J. 2013: Magyarországi geomágneses adatok és feldolgozások: spektrálanalízis és térképi feldolgozások — Magyar Geofizika 54/2, 89–114.
 KISS J. 2014: Magyarország Bouguer-anomália térképének frekvenciatartománybeli vizsgálata és értelmezése — Magyar Geofizika 55/4, 163–178.
 KISS J. & MADARASI A. 2012: A PGT-1 szelvény komplex geofizikai vizsgálata (nem szeizmikus szemmel) — Magyar Geofizika, 53/1, 29–54.
 KISS J. & PRÁCSER E. 2016: Szelvény mentén végzett adatfeldolgozási eljárások – hatókijelölés, frekvenciaszűrés és mélységfókuszálás – alkalmazása a CEL08 vonalon. — Magyar Geofizika 57/2, 69–87.
 NAUDY, H. 1970: Une methode d'analyse sur profi les aeromagnetiques — Geophysical Prospecting 18, 56–63.
 NAUDY, H. 1971: Automatic determination of depth on aeromagnetic profi les — Geophysics 36, 717–722.

A mélyfúrás-geofizika fejlődése az utóbbi 50 évben (ELGI/Geo-Log)

SZONGOTH GÁBOR, HEGEDŰS SÁNDOR, BURÁNSZKI JÓZSEF

Geo-Log Kft.
 posta@geo-log.hu

A mélyfúrás-geofizika viszonylag fiatal és konzervatív tudományág (ne felejtsük kb. 100 éve végezték a SCHLUMBERGER testvérek az első elektromos méréseket fúrásokban), mégis az utóbbi 50 év fejlődése igen jelentős. A húzóágazat természetesen a CH-kutatás (vesd össze az olaj- és a vízárat!), azonban az általános földtani kutatásban, a szilárdnyersanyag-kutatásban, a geotechnikában és a víz- (és hévíz-) kutatásban is hatalmas a módszerek és a műszerek fejlődése. Az Eötvös Loránd emlékévé és ez az ünnepi szimpózium egy megfelelő alkalom arra, hogy összegyűjtsük és képekkel illusztrálva bemutassuk a mélyfúrás-geofizika egyes területeinek a fejlődését egy fél évszázad alatt.

Geotechnikai célú komplex geofizikai mérések egy budapesti telephelyen

KOVÁCS ATTILA CSABA¹, STICKEL JÁNOS², CSABAFI RÓBERT³,
SZILVÁGYI ZSOLT⁴, HEGEDŰS ENDRE¹

¹Geo-Log Kft

²Elgoscscar 2000 Kft

³Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat

⁴Geoplan Kft

kacs@geo-log.hu

A vizsgált terület Budapest XIII. kerületében, a Váci út környékén található, ahol a jelenlegi elképzelések szerint a vizsgált telek fele alatt négyszintes mélygarázs épül, az előzetes adatok szerint kb. 15–17 m mély kiemelési szint mellett. A felszín felett 1 db 60–70 m és 1 db 75 m magas toronyház építésén kívül várhatóan további öt épület készül, jellemzően 30–45 m közötti magassággal. A beruházás előkészítő fázisában a teljes területre vonatkozó talajvizsgálati jelentést és geotechnikai megvalósíthatósági tanulmányt állított össze a Geoplan Kft., melynek keretében készültek a geofizikai mérések.

A tervezési terület a Dunától kb. 500 m-re, keletre található, a jelenleg közel sík terület egykor a Duna árterülete volt. A dunai árterület kb. 500–700 m szélességű, alapkőzetét oligocén agyag, agyagmárga, helyenként homokos agyag alkotja (10–30 m mélységben), amely iszapos, homoklisztes homokereket, -lencséket tartalmaz. A területen középső-oligocén Kiscelli Agyag és felső-oligocén tengeri, vagy partszegélyi üledékek is előfordulnak. A rétegösszlet a tömörség és vízáteresztő képesség tekintetében is változatos. A területen az építési munkálatok az 1800-as évek végén indultak meg, majd több ütemben ipari épületek, gyárak létesültek. A terület beépítésekor a mocsaras árterületet nagy vastagságú (4–6 m), változó anyagú feltöltéssel rendezték.

A talajviszonyok megismerésére 14 db 35–60 m mélységű, nagyátmérőjű fúrás, 4 db 25 m mélységű CPT szondázás készült. A hagyományos geotechnikai vizsgálatok geofizikai mérésekkel egészültek ki, két szelvény mentén készült felszíni S-hullám szeizmikus mérés, három fúrólukban downhole mérés, négy fúrólukban mélyfúrás geofizikai szelvényezés, valamint előirányoztunk 2 db 30 m mély szeizmikus CPT (SCPT) és 4 db 30 m mély geofizikai CPT (GCPT) szondázást is. A különböző CPT szondázások nagy része nem érte el a kívánt mélységet, a kemény alapkőzetben 14–25 m mélységben elakadtak.

A geofizikai CPT szondázás a hagyományos talajmechanikai statikus szondázás (CPT-vizsgálat) és a fúrólukokban végzett geofizikai mérések összekapcsolásával jött létre. A kutatási mélység az első kemény képződményig (pl. mészkő, dolomit, homokkő stb.), illetve laza rétegekben akár 20–30 m-ig terjedhet. Alkalmazásával minden 20 cm-nél vastagabb, a környezetétől eltérő fizikai tulajdonságú réteg biztonsággal kimutatható olyan közegben is, amely laza szerkezete folytán fúrási magminták vételére alkalmatlan.

A vizsgálat során a következő tényezőket mérjük: csúcscellenállás, természetes gamma aktivitás, gamma-gamma térfogatsúly és neutron-neutron víztartalom. A mért paraméterek együttes értékelése lehetővé teszi a földtani képződmények elkülönítését (rétegekre bontás), és eredeti helyükön való felismerését (minősítés).

A mélyfúrás-geofizika azokat a geofizikai módszereket foglalja magába, amelyek a fúrásokkal hárántolt formációk in situ jellemzőit vizsgálják, és/vagy a fúrólukak állapotának meghatározásával foglalkoznak (ELLIS & SINGER 2007). A mérést a fúrólukban a jeltovábbítást végző kábelre rögzített szonda, vagy több szondából álló szondavonat segítségével végzik. A szondák a fúrás miatti fellazulás, ill. fúróiszap beszivárgás által megváltoztatott környezetben mérnek, tehát a beavatkozás által módosított mennyiségeket érzékelik, ezért a nyers szelvényadatokat korrigálni kell.

A következő mélyfúrás-geofizikai méréseket végeztük el a négy fúrásban: lyukátmérő, hőmérséklet, természetes gamma, fajlagos ellenállás, mikroellenállás, mágneses szuszceptibilitás, sűrűség, neutronporozitás, akusztikus hullámkép, spektrálgamma meghatározás.

A felszíni szeizmikus mérések célja egyrészt az S-hullám sebességének tomográfiás módszerrel történő kiszámítása (ZELT & BARTON 1988), másrészt ugyanezen adatok reflexiós szeizmikus feldolgozása volt a talajrétegződés meghatározására (YILMAZ 2001). Fontos szempont volt, hogy egy terepi mérés elvégzésével többértű információt kapjunk a felső 30–50 m-es térrészről. A mérés során nagyméretű S-hullám-kalapácsot használtunk a transzverzális hullámok gerjesztésére. Érzékelőnek minden egyes pontban egyedi 10 Hz-es sajátfrekvenciájú horizontális geofont használtunk, amit le-szúrtunk a talajba vagy fémtalpra rögzítettünk ott, ahol aszfalt vagy beton alkotta a felszínt. Minden egyes mérési pontban mindkét irányból, a vonal haladási irányára merőlegesen, 4–4 jelgerjesztést végeztünk. A két különböző irányú jelgerjesztésre azért van szükség, hogy ezek egymásból történő kivonásával a P-hullám (longitudinális) jelei kiessenek, csak a transzverzális jelek maradjanak meg, ami a hasznos jelek felismerését nagyban segíti.

A szeizmikus mérések során számos tényező befolyásolja a hullámok amplitúdóit. Ezek lehetnek a jelforrás és a környezet által keltett zajok, a felszínközeli talajrétegekben terjedő egyéb zavarhullámok (pl. járművek, gépek rezgései), vagy a rugalmas hullámok terjedése során bekövetkező abszorpciós hatások. A feldolgozás célja, hogy az előbb említett, az amplitúdókat befolyásoló tényezőket úgy kompenzáljuk, hogy közelítően olyan szeizmikus jelet kapjunk vissza, ami megbízhatóan írja le a talajrétegződést.

A mért adatok feldolgozása a következő lépésekben történik (YILMAZ 2001):

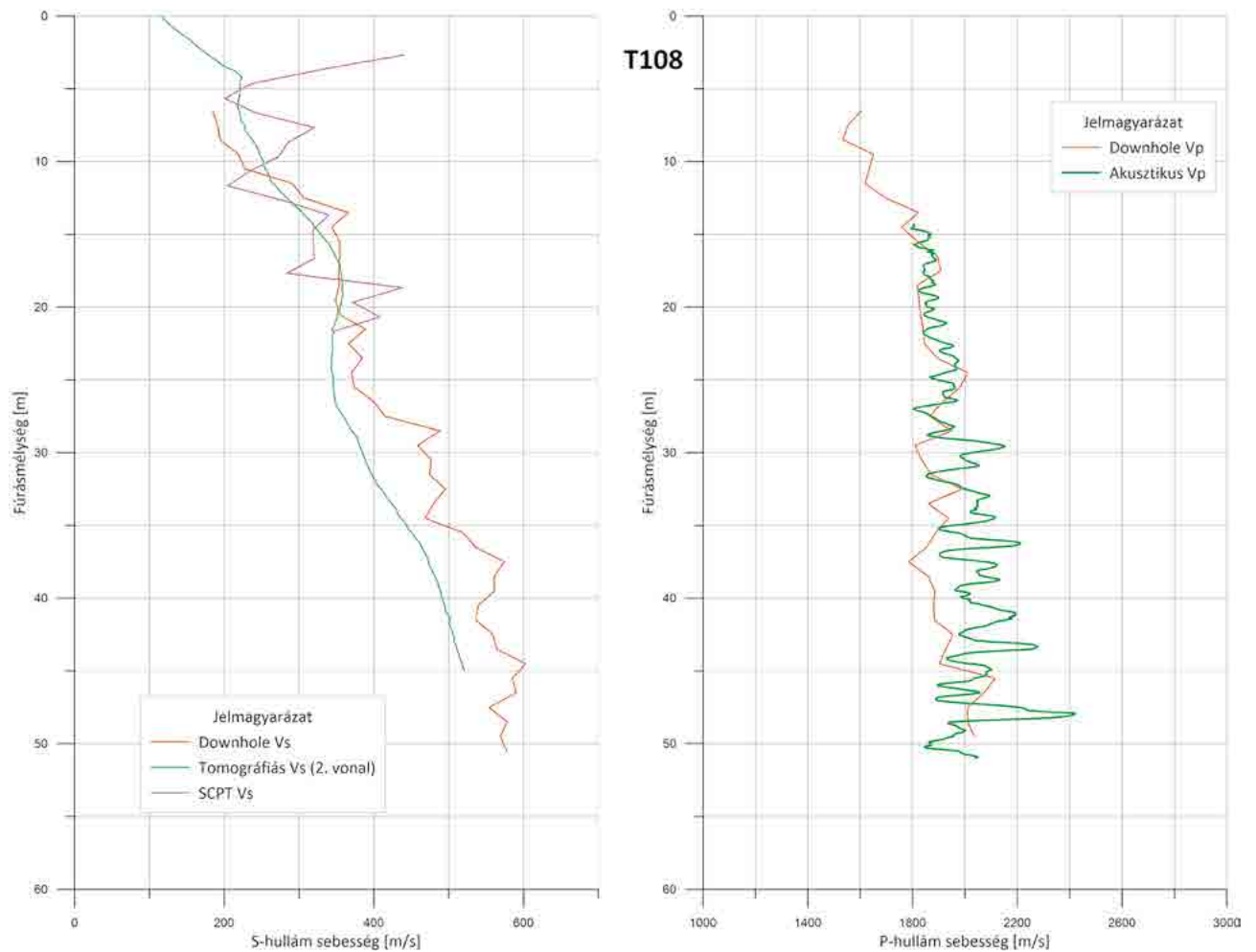
- zajos csatornák eltávolítása,
- azonos helyen történt ellentétes jelgerjesztésű felvételek kivonása,
- spektrumanalízis alapján frekvenciaszűrés,
- felszínközeli talajrétegekben terjedő zavarhullámok kiszűrése (surface wave noise attenuation, surface consistent deconvolution),
- NMO (normal moveout) korrekció,
- sebesség analízis,
- összegzés.

A szeizmikus tomográfiás módszer feladata 2D vagy 3D sebességeloszlás meghatározása a szeizmogramok első beérkezéseinek adataiból. Ehhez egy inverz feladat megoldása szükséges, melyet pl. véges differencia módszerrel, iteratív úton oldunk meg.

A csővezetett és cementezett fúrólyukakban a Geo-Log Kft. által fejlesztett 5 komponenses szondával végeztük a méréseket. A szondában egy vertikális és négy, egymáshoz képest 45°-kal elforgatott horizontális geofon került elhelyezésre. A hagyományos háromkomponenses (egy vertikális és két egymáshoz képest 90°-kal elforgatott horizontális érzékelő) szondákhoz képest ezzel az eszközzel pontosabban azonosíthatók a transzverzális beérkezések. A csőfalhoz való stabil csatolást egy levegővel felfújható gumiballon biztosítja. A mérések kivitelezése során az egyik legfontosabb feladat a különböző típusú csőhullámok eliminálása, amelynek legfontosabb eleme a víz eltávolítása a csővezetett fúrólyukból.

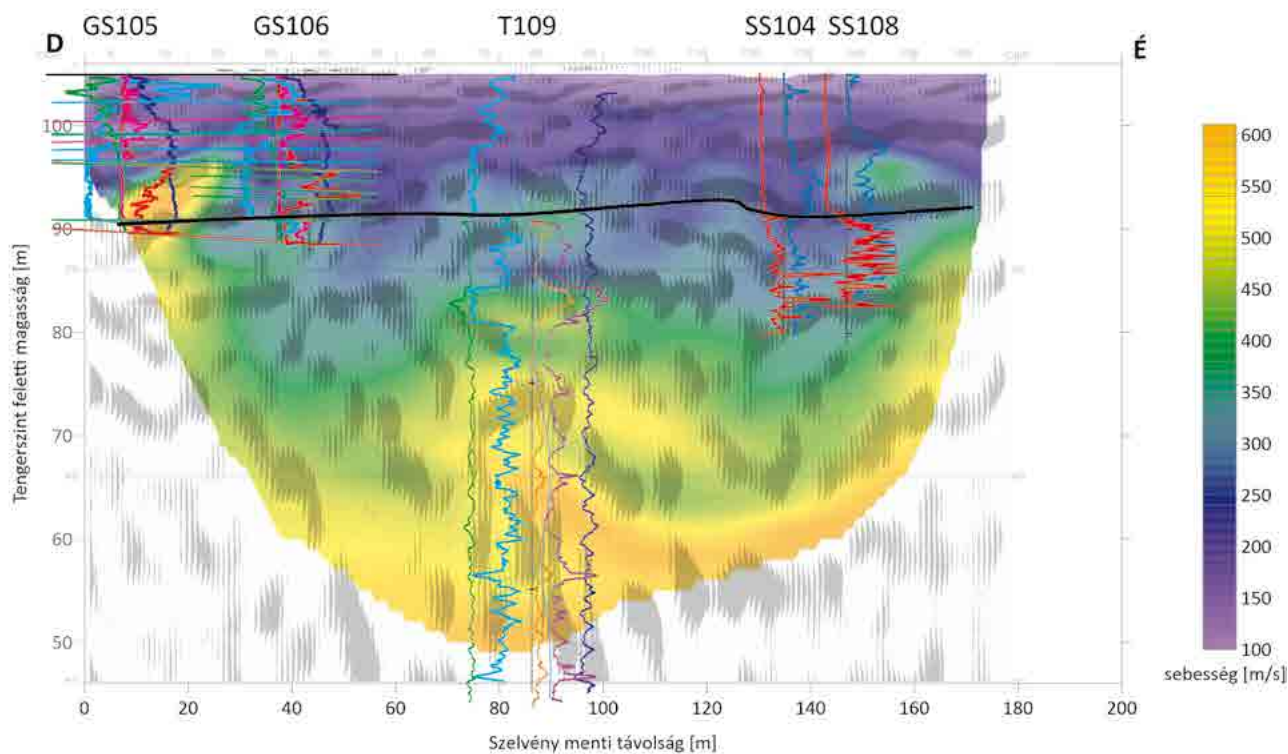
Az elvégzett geofizikai mérések eredményeinek kiértékelésekor nagy segítséget jelentett, hogy bizonyos talajjellemzőket több módszerrel is meghatároztunk. Az alábbiakban a teljesség igénye nélkül közlünk néhány ábrát, mely a különböző módszerek eredményeit hasonlítja össze.

Az 1. ábra a vp longitudinális hullámsebesség és a vs nyíróhullám-sebesség egy-egy szelvényét mutatja. A különböző módszerekkel meghatározott sebességek között jó egyezés figyelhető meg és megítélhető a paraméterek szórása is.



1. ábra. Különböző módszerekkel mért vp és vs hullám terjedési sebességek a T108-as fúrásban

Egy egyesített S-hullám szeizmikus szelvényt mutat a 2. ábra. A miocén-oligocén alaprég felszínének lehatárolását jól segítették a geofizikai mérési eredmények, és általánosan is pontosíthatóvá vált a geotechnikai fúrások alapján felvett rétegződés. A talajmintákon mért térfogatsűrűség-értékek is jó egyezést mutattak a mélyfúrás geofizika által mért sűrűségértékekkel. Érdekes kiemelni, hogy a terület geológiai irodalmával összhangban, sem a geotechnikai fúrásokkal és CPT eredményekkel, sem a geofizikai módszerekkel nem lehetett litológiailag egynemű rétegeket kimutatni a miocén-oligocén alaprégben. Minden vizsgálati módszer alátámasztotta ezen összlet térbeli inhomogenitását, mely az anyagi összetételben és talajállapotban is nagy változékonyságot jelent. E részletes vizsgálatok nélkül komoly kihívás lett volna értelmezni az alaprétegből vett zavartalan mintákon végzett nyírószilárdsági és alakváltozási vizsgálatokat, mivel oly mértékű szórás volt megfigyelhető az eredményekben, hogy csak ezeket értékelve feloldhatatlan ellentmondásokba ütköztünk volna.



2. ábra. A felszíni S-hullámmérés, a GCPT és a mélyfúrás geofizika együttes eredményei. Vonalas alakzatok színei: sötétkék – neutronporozitás, zöld – sűrűség, világoskék – természetes gamma, piros – csúcshellenállás, lila – súrlódási arányszám (GCPT), illetve mikroellenállás (mélyfúrás-geofizika), narancssárga – ellenállás, fekete – kvarter képződmények fekjüje

Irodalom

- ELIS, D. V. & SINGER, J. M. 2007: Well Logging for Earth Scientists. — Springer, 692 p.
 ZELT, C. A. & BARTON P. J. 1998: Three-dimensional seismic refraction tomography: A comparison of two methods applied to data from the Faeroe Basin. — Journal of Geophysical Research 103, 7187–7210
 YILMAZ, O. 2001: Seismic Data Analysis. — Society of Exploration Geophysicist, 2028 p.

BÁNYÁSZAT



Foto: Katona Lajos



NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI
ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL

AZ NKFI ALAPBÓL
MEGVALÓSULÓ
PROGRAM

UNEXMIN és ROBOMINERS — két jövőbe mutató miskolci H2020-as projekt a nemzetközi nyersanyagkutatásban

ZAJZON NORBERT, PAPP RICHÁRD ZOLTÁN, MÁDAI FERENC

Miskolci Egyetem, Ásványtani–Földtani Intézet, Miskolc, Egyetemváros H-3515
nzajzon@uni-miskolc.hu

Bevezetés — illeszkedés az EU nyersanyag stratégiájához

Az Európai Unió a 2000-es évek végén komoly stratégiai változásokat indított el a nyersanyagigényének jövőbeni biztosítása érdekében. E máig tartó és egyre erősödő folyamat első fontos dokumentuma a Nyersanyag-politikai Kezdeményezés (Raw Materials Initiative, RMI) (Európai Unió, 2008), amely egyben az EU ásványinyersanyag-stratégiájának is tekinthető. Az RMI szerint az EU integrált nyersanyag-stratégiájának három pillérre kell támaszkodnia, amelyek közül a második pillér célja elősegíteni a „fenntartható nyersanyagellátást európai forrásokból”. A második pillér ennek eléréséhez egyrészt a nyersanyagkutatást és kitermelést hátráltató keretfeltételeket — jogszabályi és hatósági környezet — kívánja javítani. Ugyanakkor szintén a második pillér fontos feladata, hogy az EU-ban található nyersanyagok fenntartható kínálatához fejlessze az ásványinyersanyag-készletek ismeretességét, támogasson olyan kutatási programokat, melyek innovatív nyersanyagkutatási és -kitermelési technológiák kifejlesztésével foglalkoznak, melyekkel „a lehető legnagyobb gazdasági haszon és környezetvédelmi előny érhető el” (Európai Unió, 2008).

E nemes és fontos célokból aránylag rövid időn belül egy akcióterv — Strategic Implementation Plan (SIP) for the European Innovation Partnership on Raw Materials (Európai Bizottság, 2013) — született, melyben a részletes célok és akciók akcióterületekre lebontva szerepelnek. Két fontos akcióterület a nyersanyagkutatási és -kitermelési technológiák fejlesztése (I.2 és I.3), melyekben többek között nevesített feladatok az új kutatási technológiák, illetve az automatizált bányászati technológiák és a kisméretű lelőhelyek költséghatékony és környezetbarát művelésének kialakítása. Ez az akcióterv szolgált alapul 2013-tól olyan kutatási és fejlesztési pályázatokhoz, melyek között a Horizont 2020 program keretében a cikkünkben részletesebben ismertetett UNEXMIN és a ROBOMINES pályázatok is támogatást kaptak.

A Horizont 2020 projektek mellett a SIP-ben meghatározott kutatási és fejlesztési feladatok kifejlesztésének másik fontos intézménye az EIT RawMaterials, amelyik 2015-ös megalakulása óta a nyersanyag szektor legnagyobb szakmai közösségévé fejlődött a világon. Az EU nyersanyag szektorának innovatív fejlesztését az ipari partnerek, kutatóintézetek és egyetemek összekapcsolásával megvalósító EIT RawMaterials nyújt támogatást többek között olyan projektekre, melyek a Horizont 2020 keretben elért eredményeket fejlesztik tovább a gyakorlati megvalósítás irányában. Erre egy példa az UNEXMIN projekt folytatása 2020-tól az UNEXUP projekt keretében.

Az UNEXMIN projekt célja föld alatti, vízzel elárasztott bányajáratok felderítése, arról 3D térképek készítése, valamint geológiai információk szolgáltatása, amelyek segítségével meghatározhatók az esetlegesen a járatokban maradt potenciális ásványkincsek.

Ezen célok elérésére egy 12 tagú nemzetközi konzorcium alakult, amelynek tagjai 2016 februárja és 2019 októbere között három, saját fejlesztésű bűvárrobotot (1. ábra, a) építettek és több helyszínen hajtottak végre felderítő- és tesztmerüléseket.

A projekt keretein belül elkészült három robot leginkább csak a tudományos műszerezettségük terén különül el egymástól. Az alapvető, mozgáshoz és navigációhoz szükséges berendezések, valamint az ezeket befoglaló alumíniumváz és azok névleges tulajdonságai minden esetben megegyeznek.

Az eszközök egy 60 cm-es alumíniumgömbben, vagy annak külsején vannak elhelyezve, amely a robot főtengelyével párhuzamosan, két oldalt nyitható és 500 m-es mélységig nyomásálló. A víz alatti mozgáshoz mindkét oldalon 4–4 propeller található, amelyek megfelelő vezérlés mellett bármilyen irányú mozdulatot lehetővé tesznek. A robotok tömege kb. 112 kg, amelyet egy ballasztrendszer képes módosítani, ezáltal különböző vízmélységekben neutrális sűrűségű maradni, így könnyítve meg a mozgást és csökkentve az energiaszükségletet. A berendezések energiaellátása lítiumpolimer akkumulátorról történik, amelyek a robot tömegközéppontjához közel helyezkednek el. Ezeket ingaként használva, megforgatva a középpont körül a robotok a vízszintes irányhoz képest $\pm 90^\circ$ -ban tudnak billeni, ugyancsak könnyítve a mozgást, valamint az adott típusú navigációs és „geoinformációs” szenzorokat a kívánt haladási irányba állítani.

A navigációhoz, valamint a 3D térképezéshez számos eszköz áll a rendelkezésre: lézeres letapogató rendszer (SLS) amely a nagy pontosságú 3D xyz-pontfelhőt szolgáltatja, valamint kis (~0–10 m) és nagy (~10–30 m) hatótávú szonárok, amelyekkel akár zavaros vízben is lehet navigálni és az alap 3D pontfelhőt/navigációt adják. Merülés közben nagy felbontású RGB kamerákkal és a hozzájuk kapcsolódó fehér fényforrásokkal történik a vizuális felmérés első lépése.

A tudományos műszerek terén az elkészült robotok különböznek egymástól. Ennek oka az eszközök limitált mérete, amely nem teszi lehetővé az összes berendezés egy robotba történő beépítését. Az UX–1A robotban — az alap navigációs berendezések mellett — egy multispektrális egység (MSU), UV megvilágító egységek, egy EC-pH mérő szenzor, valamint egy sub-bottom profiler (SBP) foglal helyet, amelyek különböző információkat szolgáltatnak a bányá állapotáról és a mélyben található kőzetekről.

Az MSU eszköz segítségével a járatok falán található ásványok látható RGB fénye kerül rögzítésre, amely adathalmaz az UV felvételek hozzáadásával alkalmas a talált fázisok azonosítására, míg az SBP egység a járatok alján felhalmozódott üledék vastagságát vizsgálja.

Az UX–1B robotban egy 16 rekeszes vízmintavevő egység, UV megvilágítás valamint egy gammamérő-egység foglal helyet. Az előbbi berendezés segítségével in situ mintát tudunk gyűjteni a környező fluidumból, míg utóbbival a nagyobb, sugárzó objektumok térbeli elhelyezkedését vizsgálhatjuk a kőzetben.

Mindezek mellett a robotokra igény szerint felhelyezhető egy teljes mágneses térerősségmérő berendezés, amely a környező fémtárgyak, vagy nagyobb ércetek azonosítását, lehatárolását teszi lehetővé.

A projektben részt vevő partnerek egy-egy munkafázisért, adott célú eszközök, szoftverek fejlesztéséért felelősek, a robotok végső összeszerelése pedig a portugáliai Porto városában dolgozó csapat laboratóriumában történt. Itt kerültek integrálásra a különböző berendezések, valamint az itteni nagyméretű tesztmedencében voltak az első merülések.

Az éles tesztek öt különböző helyszínen zajlottak az elmúlt másfél év során. Elsőként a finnországi Kaatiala külszíni bányatavában és az ahhoz kapcsolódó mélyszinti járatrendszerben voltak merülések, ezt követően a szlovéniai Idrija bezárt higanybányájában nagyon szűk térben navigált az első robot. A következő terület a portugáliai Urgeirica — ugyancsak felhagyott — uránbányája volt, itt már két robot állt rendelkezésre és 108 m-es mélységig jártak be egy függőleges aknát és a hozzá tartozó oldalvágatok bejáratait. Majd az Egyesült Királyságban található, több mint 150 éve nem üzemelő Ecton rézbányában történtek mérések. Itt a két robot együttes munkájával az összes főbb, elérhető járat feltérképezése megtörtént, és azokról háromdimenziós térképek készültek. Az utolsó helyszín a budapesti Molnár János-barlang volt, ahol a helyi barlangi búvárok navigációjával a járatrendszer legérdekesebb szakaszait mérték fel a robotok.

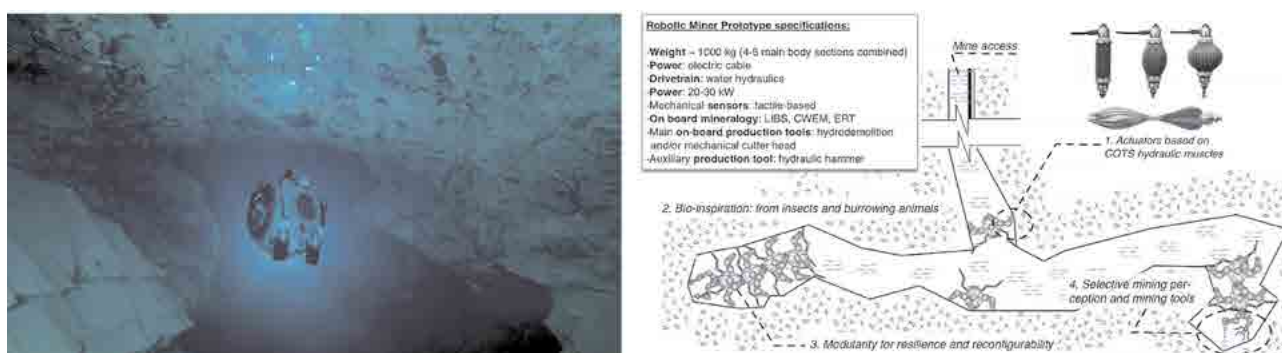
A projekt legvégső célja a rendszer autonóm vezérlése, amelynek segítségével egy teljes — 4–5 óras — merülést a robot önmaga le tudna vezényelni, így kábel nélkül tudna közlekedni. Az autonóm rendszerért

felelős madridi fejlesztőcsapat már számos pozitív eredménnyel zárult tesztet elvégzett a különböző helyszíneken, de a teljesen önálló, emberi beavatkozástól független hosszabb merülések még váratnak magukra.

Az összegyűlt tudást és technológiát összefogni a projekt egyik vállalásaként létrejött az UNEXMIN Georobotics Kft., amely a projekt kifutása után egyengeti a robotok sorsát, fogadja a megbízásokat és segíti a további fejlesztéseket.

Az UNEXMIN projekt mára az utolsó, lezáró szakaszához érkezett, és kijelenthető, hogy a kezdeti célokat sikerült teljesíteni, rendelkezésre állnak azok a robotok, amelyek néhány évvel ezelőtt még csak a tudományos-fantasztikus művekben voltak elképzelhetők és képesek olyan helyeket is felderíteni, onnan bányászati-földtani szempontból is fontos információkat szolgáltatni, amelyekre már pusztán emberi erővel képtelenek lennének.

A projekt folytatásaként a konzorcium sikerrel pályázott egy EIT Raw Materials kiírásra, mely keretén belül az Európai Unió további három évig biztosítja az anyagi forrásokat. Ezen projekt UNEXUP néven 2020 elején indul és új technológiák, új megoldások fejlesztését teszi lehetővé.



1. ábra. a) Az UX-1 robot a Molnár János-barlang egyik folyosójában. b) A ROBOMINERS projekt koncepcionális rajza.

A ROBOMINERS projekt pedig egy olyan, idén indult H2020-as pályázat, ami a nyersanyagtermelés fejlesztését célozza, szemben a kutatással. Az UNEXMIN csapatával jelentősen átfedő kutatócsoport ebben a projektjében egy olyan, közel 1 tonnás „bio-inspirált”, ellenálló termelőgép laboratóriumi típusát (1. ábra, b) tervezi kifejleszteni, ami alkalmas lesz főleg kisméretű telepek fejtésére vízszintsüllyesztés nélkül, az automatizált/távvezérelt technológia segítségével. A 4 éves, 7,5 millió euró költségvetésű projektben összesen 14 európai partner (12 ország) vesz részt.

A projekt alapötlete az, hogy egy olyan módszert/technikát fejlesszünk ki, ami alkalmas a vízszint süllyesztése nélkül, a vízszint alatt nagy mélységben is mélyszinti nyersanyagtermelésre. A termelés ember nélkül, kis átmérőben valósul majd meg, félautomata/automata irányítás mellett. Ez egy több tíz éves távlati terv, ami rengeteg fejlesztést igényel, ezt alapozza meg a ROBOMINERS projekt.

Azáltal, hogy e termelési módszer nem igényel vízszintmódosítást, jelentősen csökken (elő sem áll) a kőzetekben található szulfidok (főleg pirit) oxidációja nem generálva savas bányavizet, valamint egyéb vízhasznosító tevékenységekkel (mezőgazdaság, tavak, lakosság) is megszűnik, lecsökken a konfrontáció. A mélyművelés miatt minimális a felszíni infrastruktúra, nincs tájseb. Az ember nélküli kis átmérőben megvalósuló technika pedig lehetővé teszi, hogy nagyméretű fúrást használjunk a hagyományos, költséges akna/tároló megoldás helyett a mélyben fekvő telepek elérésére, jelentősen csökkentve a költségeket és a kiépítési időt. Ez a kis átmérő talán még nagyobb előny az egyes telés vagy rétegszerű kétdimenziós telepek fejtésénél, mert akár 20–30–40 cm-es rétegeket tudunk önállóan fejteni a jelenlegi minimum 2 méterrel szemben (amiből akár 95% meddő). Ezáltal a sokszor csak néhány cm-t, néhány tíz cm-t elérő ércetek mellett nem, vagy csak igen kismennyiségű meddőt kell kitermelni jelentősen csökkentve a költségeket (anyagmozgatás, szeparálás, deponálás stb.),

gazdaságos, környezettudatos módon termelve olyan vékony és/vagy kisméretű telepeket, amelyek termelése jelenleg gazdaságtalan. Az automatizált, ember nélküli föld alatti technológia lehetővé teszi ultranagy-mélységű (ember számára túl forró) telepek termelését is, ezáltal olyan területeken is megoldva a bányászatot, amit eddig nem tekintettünk perspektivikusnak és gazdaságosan termelhetőnek.

Köszönetnyilvánítás

Az UNEXMIN projekt az Európai Unió Horizon 2020-as programjából kap támogatást No. 690008 szerződés szám alatt, míg a ROBOMINERS projekt szintén a H2020-as keretprogramból finanszírozott No. 820971 szerződés számmon. A cikk a Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” EFOP-3.6.2-16-2017-00010 projekt támogatásával készült.

Irodalom

Európai Bizottság 2013: Strategic Implementation Plan (SIP) for the European Innovation Partnership on Raw Materials. — https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/eip-raw-materials/en/system/files/ged/1027%2020130723_SIP%20Part%20II%20complet_0.pdf
 Európai Unió 2008: A Bizottság Közleménye az Európai Parlamentnek és a Tanácsnak — Nyersanyag-politikai kezdeményezés: az Európai gazdasági növekedés és foglalkoztatás kritikus szükségleteinek kielégítése. — <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:52008DC0699&from=hu>

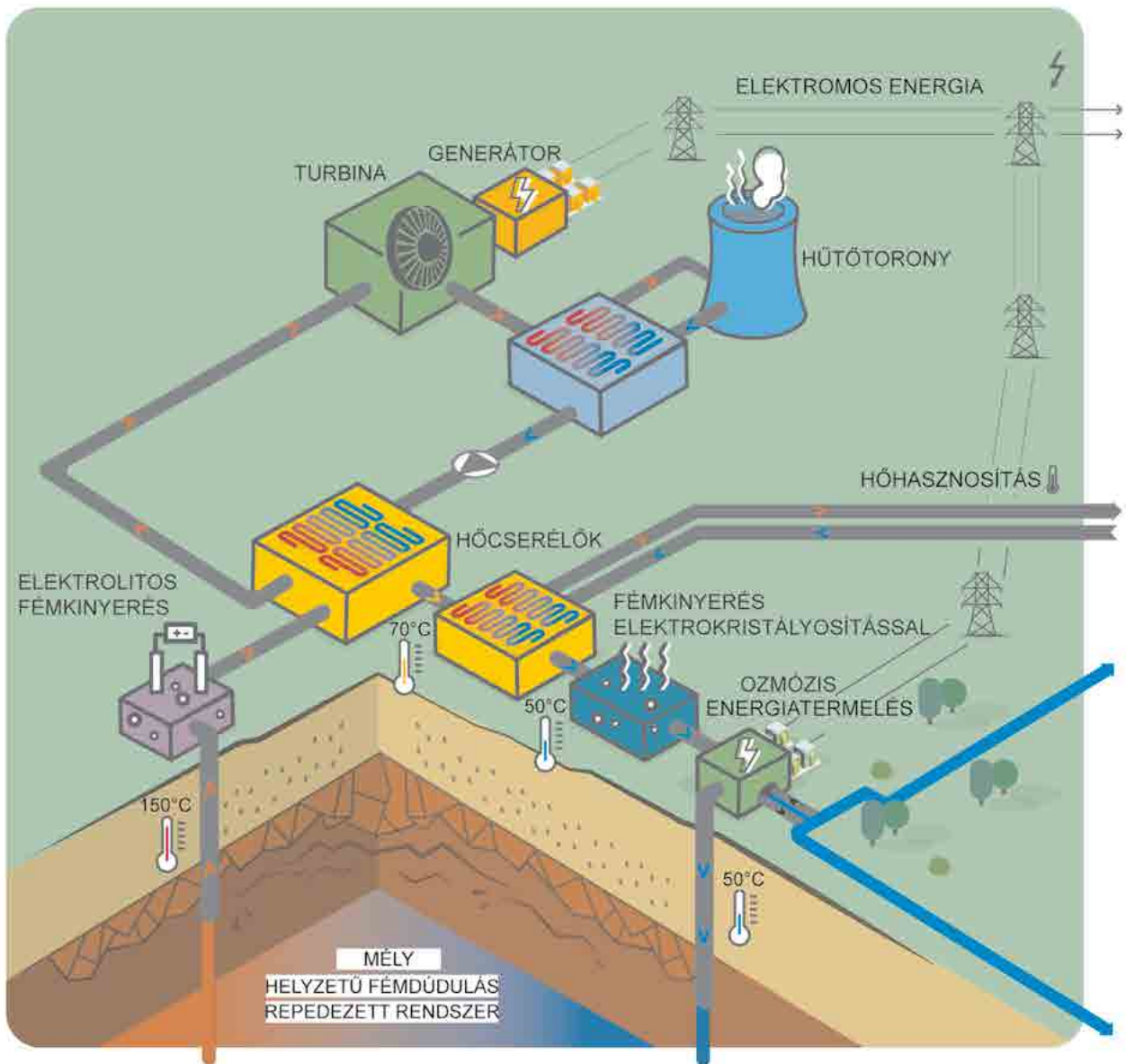
Bányászat és energiatermelés egy technológiai folyamatban: a „CHPM” koncepció

HARTAI ÉVA

Miskolci Egyetem, Ásványtani-Földtani Intézet
foldshe@uni-miskolc.hu

A technológia alapjai

A „Horizont 2020” keretprogramban támogatást nyert CHPM2030 — Combined Heat, Power and Metal extraction from ultra-deep ore bodies (Integrált hő- és elektromos energia-, valamint fémkinyerés ultra-mély ércetestekből) projekt célja egy olyan új technológiai megoldás kifejlesztése, amely az energiaellátást, illetve a stratégiai fémek kinyerését egyetlen összekapcsolt folyamatban valósítja meg. A tervezett technológiában egy mély helyzetű (4 km, vagy mélyebb) fémdúsulásra telepítenek egy mesterséges geotermikus rendszert (EGS — Enhanced Geothermal System). Az injektáló fluidummal a fémek kioldhatók az ércesedett kőzettestből, majd a felszínen a geotermikus energia kinyerése mellett a fémek a kijövő fluidumból speciális eljárással leválaszthatók. A járulékos fémkinyerés révén a rendszer költséghatékonysága növelhető. A projekt konzorcium a technológia működőképességét laboratóriumi keretek között bizonyította. A kísérleti terepi megvalósításra 2030-ban, az ipari méretű alkalmazásra 2050-ben kerülhet sor. A projekt 2016 elején indult, és 42 hónap futamidejű volt, 10 európai országból 12 intézmény együttműködésében valósult meg. A projektkoordinációt a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kara végezte.



1. ábra. A tervezett CHPM technológia elvi vázlat. A mély helyzetű érctestből kioldott fémeket a felszínen két lépésben, elektrokémiai eljárással leválasztják, a geotermikus energiát hő- és áramtermelésre hasznosítják. Járulékos (ozmotikus) energia termelhető fordított elektrodialízissel © CHPM2030 Team

A földtani adottságok vizsgálata

A CHPM koncepció lényege, hogy az EGS rendszert egy olyan, több kilométer mélységben elhelyezkedő fémdúsulásra telepítik, ahol a hőmérséklet eléri a 150 °C-ot. A rendszer lényeges elemét képezik az ásványosodott erek, repedéshálózatok, melyek hőcserélő felületként és a fémek forrásaként szolgálnak. A fémek kioldása egyúttal növeli a rendszer átteresztőképességét, és ezáltal a hőfelvétel hatékonyságát.

A CHPM2030 projekt korai fázisában a munka azoknak az európai területeknek az azonosítására irányult, amelyek alkalmasak lehetnek a technológia megvalósítására. Európa fő metallogéniai öveinek áttekintése és a technológia alkalmazhatóságának vizsgálata után a következő földtani viszonyokkal rendelkező területek bizonyultak alkalmasnak (HARTAI et al. 2016):

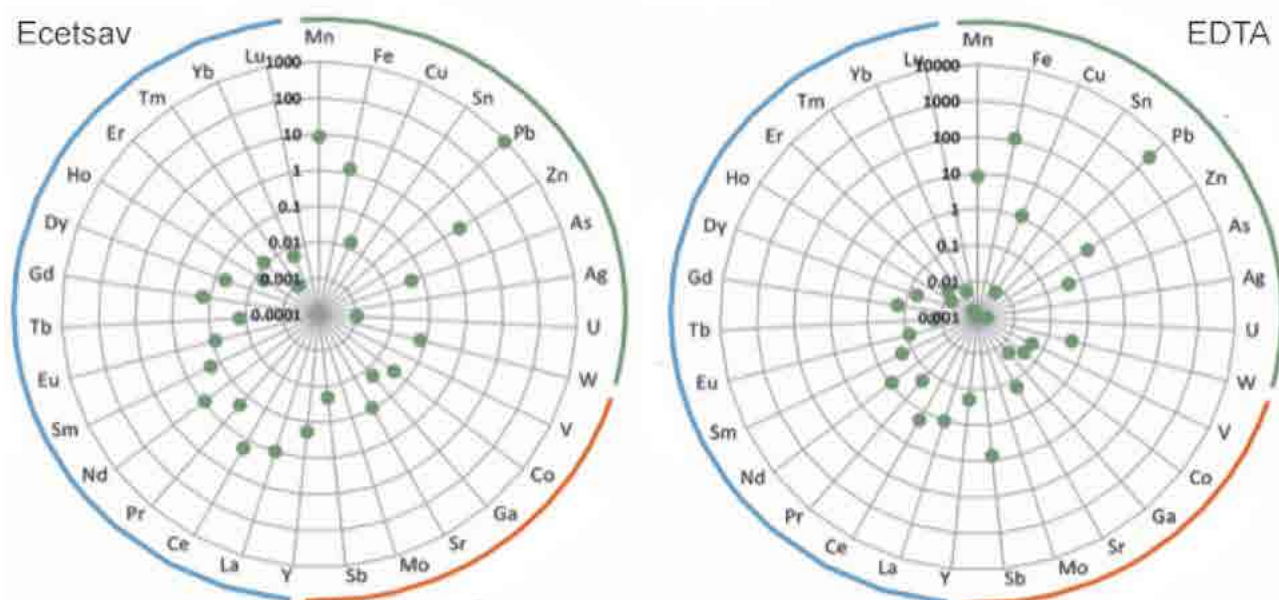
— Intruzív testekhez kapcsolódó magmás-hidrotermális ércesedések (általában gránitos anyakőzet, megfelelő kőzetmechanikai adottságokkal, eredeti repedéshálózattal).

— Riftesedő vagy szubdukciós övekben kialakult medencék (szubmarin vulkanizmus és exhaláció útján létrejött, viszonylag vékony érces szintek, jelentős horizontális kiterjedéssel).

— Mély gyökerű, nagy kiterjedésű vetőzónák, magas hőárammal. Ezekben a rendszerekben a sekély ércesedések általában remobilizációval keletkeztek, és mély helyzetű magmás testben gyökereznek.

Fémmobilizáció

A fémkioldási kísérletek a British Geological Survey laboratóriumában zajlottak. A kőzet- és ércminták arról a négy területről származtak, amelyek a 2030-ra tervezett kísérleti CHPM projektek potenciális helyszínei: DNy-Anglia, a Bánátok magmás-metallogén öve (Románia), az ibériai pirit öv (Portugália) és Norrbotten and Skellefte bányászati területek (Svédország).



2. ábra. A kioldott fémek mennyisége DNy-angliai ércesedett gránitmintákból, 4 hétig tartó, 70 °C-on történő oldás után. A körök középpontja 0 ppm, a külső kör 1000 ppm (bal), illetve 10 000 ppm (jobb) értéket mutat. Az oldószer híg ecetsav, illetve etilén-diamin-tetraecetsav (EDTA) (KILPATRICK et al. 2017)

A vizsgált kőzetek általában szulfidos ércásványokat tartalmaztak. Az oldási kísérletek a következő oldószerek használatával történtek: desztillált víz, híg sós víz és erősen hígított savak (etilén-diamin-tetraecetsav [EDTA], ecetsav, nátrium-laurilszulfát, hidrogén-peroxid, sósav, salétromsav). A tesztek 70–200 °C hőmérsékleti tartományban és maximum 20 MPa nyomáson zajlottak. A legjobb oldási eredményeket az enyhe sósav–salétromsav keveréke adta, de az ecetsav az EDTA is hatékony fémmobilizációt eredményezett (1. ábra).

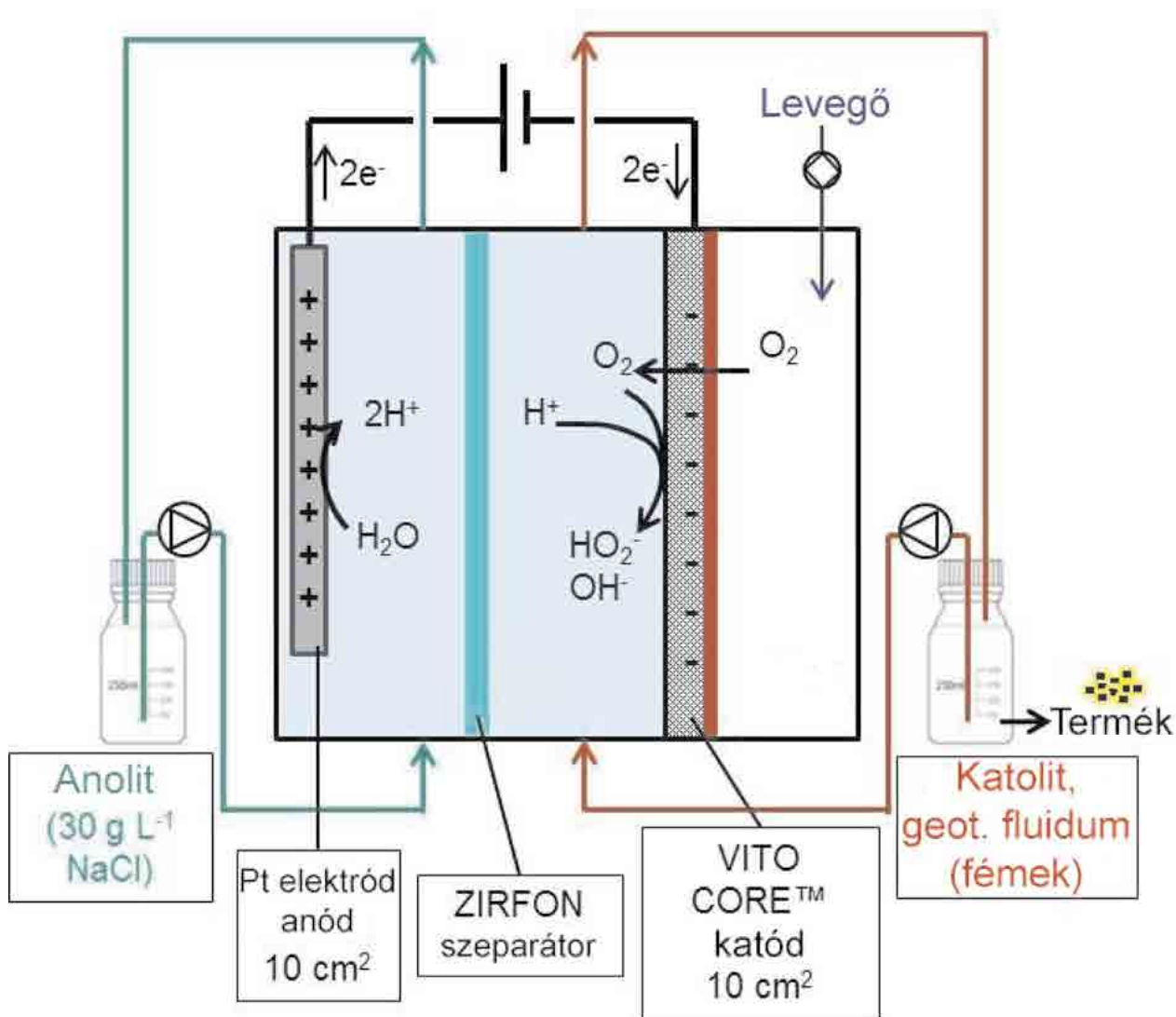
Kísérletek zajlottak a kioldott fémek nanoszen részecskékké történő adszorbeálására is, ami megakadályozza az újra kicsapódást. Az adszorpció széles pH tartományban valósult meg, ez a későbbiekben lehetővé teszi a különböző természetes környezetekben történő alkalmazást.

Fémkinyerés a geotermikus fluidumból, járulékos energiatermelés

A fémkinyerési kísérletek két különböző feltételrendszer mellett valósultak meg: magas nyomáson és hőmérsékleten (max. 160 °C, 20 Mpa) történő elektrolízissel, illetve alacsonyabb nyomás–hőmérséklet mellett (max. 60 °C, felszíni légnyomás), gázdifúziós elektro-kicsapódással és elektro-kristályosodással.

A nagy nyomás–hőmérsékletű környezetben történő fémleválasztási kísérleteket a Leuveni Katolikus Egyetem laboratóriumában végezték. A kísérletek céljára egy speciális reaktort építettek, amely a mélygeotermikus fluidumok paramétereinek megfelelő körülmények között működött. A nagy nyomás alkalmazása meggátolta a szilikátkicsapódást. Az eredmények azt mutatták, hogy az eljárás alkalmas a Cu, Ag, Ni, Pb, Sn, Fe és PGM fémek kinyerésére. Magasabb hőmérsékleten a Cu és a Pb együttes kicsapódása volt megfigyelhető. A fluidum nagyobb eredeti fémtartalma és a nagyobb nyomás alkalmazása növelte a kinyerhetőség mértékét. Az eljárással, rézre számítva, az eredeti fémkoncentráció 80–86%-a kinyerhető volt (FRANSAER et al. 2018).

A gázdifúziós elektro-kicsapódás és elektro-kristályosodás (GDEX) kísérletek a VITO belgiumi környezetvédelmi kutatóintézetben zajlottak. A módszer lényegét a 3. ábra mutatja.



3. ábra. A gáz-difúziós elektro-kicsapódás és elektro-kristályosodás (GDEX) technológiával történő fémkinyerés elvi vázlatja (DOMINGUEZ-BENETTON et al. 2018)

A kísérletek során a következő fémek kinyerhetősége nyert bizonyítást: Li, Al, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, B, As, Si, Y, Rh, Pd, Pt, Au, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, és Er. Az intézetben költséghatékonysági számításokat is végeztek, és az eljárás gazdaságosnak bizonyult (DOMINGUEZ-BENETTON et al. 2018).

Ugyancsak a VITO laboratóriumában végezték azokat a kísérleteket, amelyek a fordított elektrodiálízisen alapuló járulékos energiatermelés lehetőségét vizsgálták (SGP — Salt Gradient Power). A két, különböző sótartalmú folyadék (geotermikus fluidum és édesvíz) koncentrációkülönbségén alapuló módszerrel maximum 50 °C-os geotermikus fluidumot teszteltek. A magasabb hőmérsékletű geotermikus fluidum jelentősebb teljesítménysűrűséget (7–8 W/m²) eredményezett (HELSEN et al. 2018)

Rendszer-integráció

Az Izlandi Földtani Szolgálat az egyes technológiai komponensek (egységek) laboratóriumi mérési adatait egy szimulációs matematikai modellbe integrálta. A modell úgynevezett „szubmodellekből” épül fel, amelyek a komponenseket képviselik. A szubmodellek matematikailag részletesen leírják az adott technológiai komponens jellemzőit. Minden egyes komponens bemenő adatokat nyer az előző komponensből (input) és kimenő adatokat szolgáltat a következő komponens számára (output). A modell a Python programnyelvet használja. Ahol nem álltak rendelkezésre pontos adatok, probabilisztikus eljárást és Monte Carlo-szimulációt alkalmaztak. A matematikai modell a paraméterek tetszőleges változtatásával egy tervezett CHPM erőmű esetében az adott hely sajátosságaihoz alakítható (RAGNARSSON et al. 2019).

A technológia komplex hatásvizsgálata és megvalósíthatósága

Az ausztriai MinPol GmbH és a Szegedi Tudományegyetem kutatói elvégezték a technológia alkalmazásának hatásait, komplex környezeti, gazdasági, politikai, szociális és etikai szempontokat figyelembe véve. A 2030-ban történő kísérleti projektek négy európai helyszínen történő megvalósításának feltételeit, illetve a 2050-re megvalósuló ipari alkalmazás lehetőségét a spanyolországi La Palma Research Centre munkatásai vizsgálták. Az eredményekről született tanulmányok a projekt honlapján elérhetők: <https://www.chpm2030.eu/outreach>.

Irodalom

- DOMINGUEZ-BENETTON, X., GARCIA, E. A. & DESCHEPPER, W. 2018: Report on performance, mass and energy balances and design criteria for gas-diffusion electroprecipitation and electrocrystallisation. — CHPM2030 Project, University of Miskolc Press. DOI: 10.5281/zenodo.1479254. https://www.chpm2030.eu/wp-content/uploads/2018/11/CHPM2030_D3.2.pdf.
- FRANSAER, J., PALANIAPPAN, R. & VAN DEURSEN, J. 2018: Report on performance and design criteria for high-temperature, high pressure electrolysis. — CHPM2030 Project, University of Miskolc Press. DOI: 10.5281/zenodo.2600991. https://www.chpm2030.eu/wp-content/uploads/2019/02/CHPM2030_D3.1.pdf.
- HARTAI, É., NÉMETH, N. & FÖLDESSY, J. 2016: EGS-relevant review of metallogenesis. — CHPM2030 Project, University of Miskolc Press. DOI: 10.5281/zenodo.580994 http://www.chpm2030.eu/wp-content/uploads/2017/02/CHPM2030_D1.1_public.pdf.
- HELSEN, J., GARCIA E. A., STROOBANTS, J., PORTO-CARRERO, C. & VAN HOUTVEN, D. 2018: Report on performance, energy balances and design criteria for salt gradient power reverse electrodialysis. — CHPM2030 Project, University of Miskolc Press. DOI: 10.5281/zenodo.2600934. https://www.chpm2030.eu/wp-content/uploads/2019/03/CHPM2030_D3.3.pdf.
- KILPATRICK, A., ROCHELLE, C., RUSHTON, J., LACINSKA, A., FÜZÉRI, D., CHENERY, S., MARRIOT, A., HAMILTON, E., WATTS, M., MOUNTNEY, I. & KEMP, S. 2017: Report on metal content mobilisation using mild leaching. — CHPM2030 Project, University of Miskolc Press. DOI: 10.5281/zenodo.1204842 https://www.chpm2030.eu/wp-content/uploads/2018/03/CHPM2030_D2.2.pdf.
- RAGNARSSON, Á., THORGILSSON, G., HARDARDÓTTIR, V. & LAENEN, B. 2019: Report on CHPM process optimisation. — CHPM2030 Project, University of Miskolc Press. https://www.chpm2030.eu/wp-content/uploads/2019/06/CHPM2030_D4.2.pdf.

Szénhidrogén-földtani adatok a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat ásványvagyon nyilvántartásában

KOVÁCS ZSOLT, ZILAHÍ-SEBESS LÁSZLÓ

Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat
kovacs.zsolt@mbfsz.gov.hu

Hydrocarbon geological data in the Registry of Mineral Resources kept by the Mining and Geological Survey of Hungary

Hungarian hydrocarbon resources are registered by the Mining and Geological Survey of Hungary (MBFSZ), in accordance with the Mining Act (Act XLVIII. of 1993 on mining). Data supply to the Hungarian State Mineral Raw Material and Geothermic Energy Resources Registry is based on the obligatory yearly data supply of mining contractors; MBFSZ produces yearly datasets from them.

Information contained in the hydrocarbon register contains information on units referred to hydrocarbon reservoir levels field by field. This registry contains data related to already discovered, explored hydrocarbon accumulations. The register database contains data of hydrocarbon quantities for each and every reservoir as follows: resource initially in place, initially recoverable resource, summarised production, production of the actual year, and the recoverable resource as of January 1. These data and information sets are separately given for conventional crude oil, free natural gas, gas cap gas, dissolved gas, CO₂ gas and for unconventional gas and condensate resource quantities.

Besides resources data, the registry contains basic parameters for crude oil and natural gas, such as their composition, along with fundamental parameters of the reservoir such as the depth of oil-water, gas-water, gas-oil contact boundary compared to relative sea level, porosity, permeability, gas- and oil saturation, besides other information required for mineral resource estimation. Also provides data about the quality of reservoir rock, the mineral composition and physical parameters of its reserved fluid content.

The register contains a number of geological data on the reservoirs and fields that provide valuable information on the quantitative changes in the domestic hydrocarbon resources, the quality composition of the stored fluids, and the physical properties of the reservoir rocks. Based on the statistical processing of the data, estimates can be made for the amount of oil and natural gas can be discovered in the future, and the analysis of hydrocarbon geological data helps to understand the Hungarian petroleum systems and to plan future exploration.

A magyarországi szénhidrogénvagyont a hatályos, többször módosított Bányatörvény (1993. évi XLVIII. törvény a bányászatról) rendelkezése alapján a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (MBFSZ) tartja nyilván. Az Állami Ásványi Nyersanyag és Geotermikus Energiavagyon Nyilvántartást a bányavállalkozók kötelező, évenkénti adatszolgáltatása alapján vezetik.

A szénhidrogén-nyilvántartás telepekre vonatkoztatott információkat tartalmaz, a telep a környezetétől elhatárolt egyedi és összefüggő, kőolajat és/vagy földgázt tartalmazó tárolóegységet (rezervoár) jelenti. Egy vagy több, szénhidrogén-földtani és/vagy termelési szempontból összetartozó telepet tartalmazó geometriailag lehatárolt térrész alkotja a szénhidrogénmezőt. A nyilvántartásban csak a felfedezett, kutatófúrással feltárt telepek adatai szerepelnek, reménybeli (kutatófúrással nem igazolt, földtani/geofizikai alapú megfontoláson alapuló) ásványvagyon nem (KOVÁCS 2016).

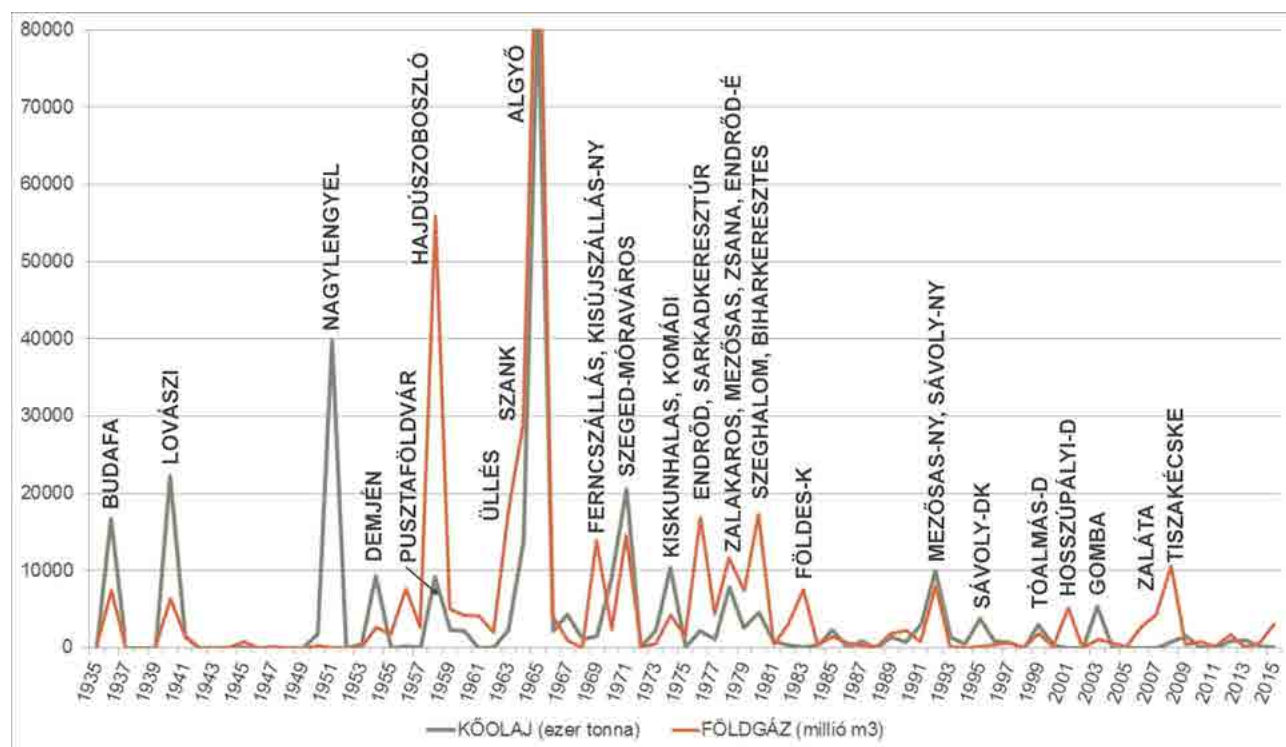
A nyilvántartás a telepekre és mezőkre vonatkozóan számos olyan földtani adatot tartalmaz, amelyekből értékes információk nyerhetők a hazai szénhidrogénvagyon mennyiségi változásaira, a tárolt fluidumok minőségi összetételének, a bezáró kőzetek fizikai tulajdonságainak változékonyságára. Az adatok statisztikai feldolgozása alapján becslések készíthetők a jövőben felfedezhető kőolaj és földgáz mennyiségére, a szénhidrogén-földtani adatok elemzése segíti a hazai szénhidrogén-földtani rendszerek megismerését, a jövőbeni kutatások tervezését is.

A megismert vagyon esetében a kezdeti földtani és kezdeti kitermelhető vagyon, az eddigi összes termelés, a tárgyévi termelés, valamint az adott évi határnapra vonatkozó (maradék) vagyon szerepel a nyilvántartásban. Az adatokat kőolajra, szabadgázra, sapkagázra, oldott gázra, szénhidrogén földgázra és szén-dioxid földgázra az adatbázis külön-külön tartalmazza. A vagyonadatok mellett a kőolaj és a földgáz alapvető minőségi adatait, a földgáz összetételét, alapvető rezervoárparamétereket (víz-olaj, víz-gáz, olaj-gáz határ mélysége tengerszinthez vonatkoztatva, porozitás, permeabilitás, gáz, ill. olajtelítettség)

és a vagyonszámításához szükséges egyéb alapadatokat is tartalmaz. A nyilvántartott tároló paraméterek a telep befoglaló kőzetének minőségét, a tárolt fluidumok vegyi összetételét, fizikai paramétereit adják meg, amelyek a termelés és a vagyon számítása szempontjából alapvetőek.

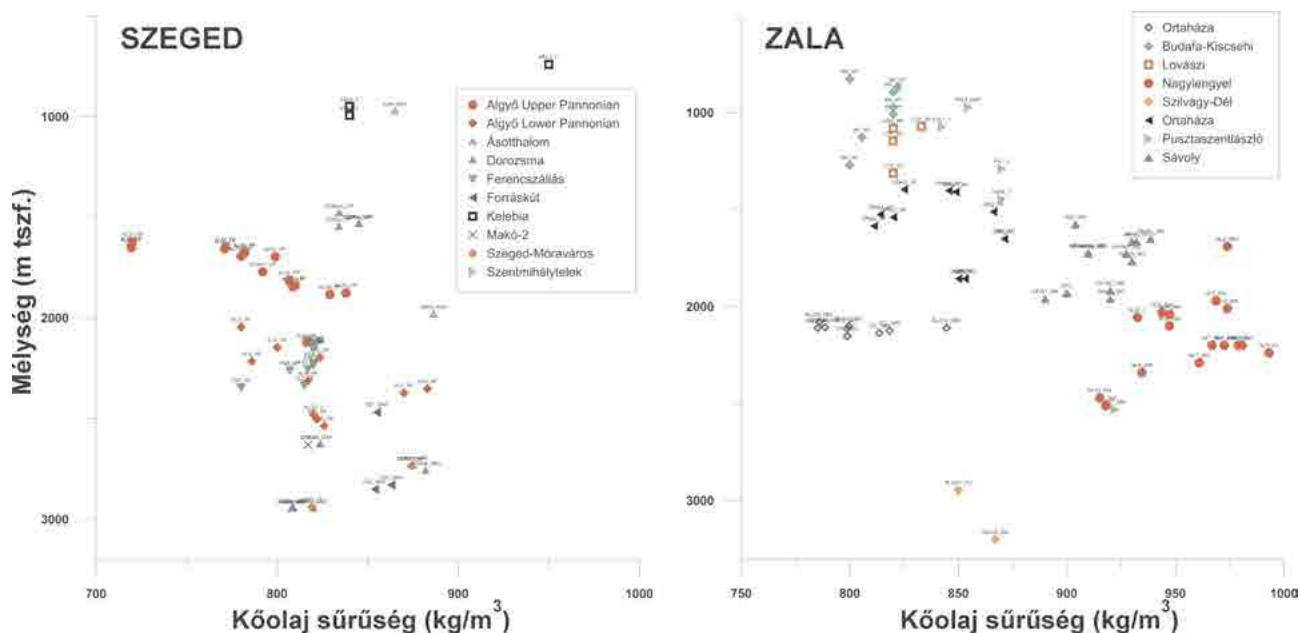
A előadásban néhány példát mutatunk be a nyilvántartásban szereplő adatok lehetséges feldolgozási módjáról, eredményeiről. Ebben az ismertetésben egy szénhidrogénvagyonra, és egy szénhidrogén minőségére vonatkozó példa szerepel.

Az 1. ábra a nyilvántartásban szereplő szénhidrogéntelepek vagyonának mezők szerinti összesítése és a felfedező kút mélyítésének időpontja alapján készült (Kovács 2018). Rávilágít arra a megfigyelésre, hogy egy hosszú időn át kutatott területen a legnagyobb méretű előfordulásokat a kutatási időszak első harmadában általában már megtalálják. Később a felfedezhető előfordulások vagyonmérete egyre csökken. Az évenként megtalált vagyon mérete természetesen függ a kutatás mennyiségétől, az alkalmazott új technológiai megoldásoktól, a kutatási stratégia változásától. A jövőbeni felfedezések bekövetkezésének megítéléséhez ad támpontot a jelentősebb felfedezések vagyonmérete, a felfedezések időpontjainak gyakorisága. Az ábra nem tartalmazza az ún. nem hagyományos szénhidrogének megismert földtani vagyonát, amely mennyiségi tekintetben hatalmas érték, de a kitermelés lehetősége egyelőre technológiai szempontból bizonytalan.



1. ábra. Hagyományos szénhidrogénmezők felfedezett kőolaj és földgáz kezdeti földtani vagyona a felfedezések éveinek sorrendjében
 Figure 1. Discovered initially in place crude oil (thousand tons) and natural gas (million cubic metres) resources in conventional hydrocarbon fields, in order of the years of discoveries

A 2. ábra a nyilvántartás adataiból telepenként kiválogatott kőolaj-sűrűség és az adott telep olaj-víz vagy gáz-olaj fázishatárának mélységadatai alapján készült, két hazai részterületre. A Szegedi-medence és a Zalai-medence telepeinek kőolaj-sűrűség értékeit a telep felszín alatti mélységének függvényében ábrázolva a sűrűségértékek térbeli elrendeződésére kapunk információt. Az a tény, hogy egy adott mezőben a sűrűségadatok a felszín felé tartva inkább alacsonyabb, vagy inkább magasabb értéket mutatnak, utal az anyakőzetből kilépett kőolaj vándorlásának módjára (KOVÁCS & ZILAHÍ-SEBESS 2018).



2. ábra. Kőolaj-sűrűség–mélység összefüggések a Szegedi- és a Zalai-medencében
Figure 2. Crude oil density – depth relations in the Szeged and Zala Basin

Ha a kőolaj felhajtóerő által készített vándorlása túlcordulásos mechanizmus által vezérelt (egy mélyebben fekvő kőolajjal megtelt szerkezetből a telep aljába már be nem férő mennyiség egy magasabban fekvő szerkezetbe vándorol), elvileg a magasabban elhelyezkedő telep olaja nagyobb sűrűségű lesz. Ha a kőolaj vándorlása olyan közetrétegeken keresztül történik, amely a magasabb szénatom-számú olajvegyületeket visszatartja (szeparációs migrációs mechanizmus), akkor a felszín felé haladva egyre kisebb sűrűségű kőolajat találunk a tárolókban. Természetesen a kőolaj-sűrűség értékeit meghatározzák, illetve módosítják a hidrodinamikai folyamatok, a vetők mentén történő fluidumáramlás, a biodegradáció is, és alapvető a keletkezett kőolaj eredeti összetétele is.

Az említett példákkal azt kívánjuk bemutatni, hogy az MBFSZ szénhidrogén-nyilvántartása nem csupán egy évenként frissülő regisztrációs adatbázis, hanem az abban szereplő tételek feldolgozásával számos, a hazai felfedezett és várható szénhidrogénvagyongra, a szénhidrogénrendszerek működésére, és a kutatási–termelési trendekre vonatkozó információ is nyerhető.

Irodalom

- Kovács Zs. 2016: A szénhidrogénvagyong nyilvántartásának hazai gyakorlata és a nemzetközi rendszerek szerinti osztályozás egységes értelmezése és megfeleltetése. — Földtani Közlöny 146/2, 135–146.
- Kovács Zs. 2018: A hazai szénhidrogénvagyong. — In: Kovács Zs. (szerk): Szénhidrogének Magyarországon. — Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal, Budapest, 223–236.
- Kovács, Zs. & ZILÁHI-SEBESS, L. 2018: Evaluation of the trends of secondary and tertiary hydrocarbon migration processes based on oil density–reservoir depths relationship in Hungary. — Central European Geology 61/1, 16–33.

Szilárdásvány-bányászati célú geofizikai mérések kiértékelése inverziós módszerek segítségével

BARACZA MÁTYÁS KRISZTIÁN¹, TURAI ENDRE^{2,3}, GYULAI ÁKOS²

¹Miskolci Egyetem, Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet

²Miskolci Egyetem, Geofizikai Intézeti Tanszék

³Miskolci Egyetem, MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport
baracza@uni-miskolc.hu

Bevezetés

A geoelektromos mérési és kiértékelési módszereket a mai napig intenzíven fejlesztik elsősorban a sekély és közepes mélységi kutatásokra. Annak ellenére, hogy a mérési módszerek fejlesztése elsősorban a multielektrodás módszerek alkalmazására történik, továbbra is használnak ún. klasszikus VESZ méréseket. Ez állomásonkénti VESZ görbe mérését és inverziós kiértékelését jelenti.

Az állomástávolságok általában 20–200 m-t jelentenek. Ez nemcsak a kutatás laterális, hanem vertikális felbontóképességét is korlátozza. A mérési adatok kiértékelése rendszerint egyedi inverzióval (KOEFOED 1979) és 1D közelítéssel történik, amely bonyolult szerkezetek meghatározására aligha alkalmazható az elegendő pontosság hiányában. A laterális felbontóképesség javítására egyre nagyobb mértékben alkalmazták az ún. multielektrodás méréseket. Ezen adatrendszerek kinyerése számítógépi vezérléssel, az előre telepített sok-sok elektródával, hatékony mérési technikát jelent. Az adatok inverziós feldolgozása világszerte a RES2DINV programmal történik (LOKE & BARKER 1996, Geotomo Software).

Számtalan előnye mellett — hiszen ezért alkalmazzák egyre kiterjedtebben — a módszer több problémáját is szükséges megemlíteni. Pl. 5 m-es elektródköz esetében közvetlenül a felszín közelében jelentős adathiány tapasztalható és ezen területre a módszer csak interpolált adatokat jelenít meg. További problémája, hogy a határfelületek nem jelennek meg elegendően élesen a szelvények mentén. A kiértékelés megbízhatóságára nem kapunk igazán olyan jó információt, mint például amilyent a kovariancia mátrix (MENKE 1984) szolgáltat a becslési hibákra és az ekvivalenciára vonatkozóan.

A mért szelvény alatti geológiai szerkezet jellemző irányának tévesztése a RES2DINV program alkalmazásánál bonyolult 2D–3D szerkezetnél durva hibát okozhat. Ez abból a két dologból származik, hogy az előremodellezési algoritmust dőlésirányú mérésekre fejlesztették ki, másrészt a csapásirányú mérések információtartalma jelentősen eltérő lehet, mint a dőlésirányúaké. Ez persze felveti azt a kérdést, hogy a gyakorlatban honnan ismerjük ezeket az irányokat.

Így sikerült kifejleszteni a 2.5D CGI inverziós módszert (GYULAI & TOLNAI 2012, GYULAI, et al. 2013). Ennek az eljárásnak az a lényege, hogy dőlés- és csapásirányú mérések együtteséből, a mérési irány eltéréséből és a 3D-s szerkezetből adódó kiugró adatok automatikus súlyozásával a 2D fázisban (STEINER 1988) közelítő megoldást keressünk az inverzióval (2D előremodellezéssel, SPITZER 1995) a 3D geológiai szerkezetek területi meghatározásához. Fontos szempont, hogy ezzel a módszerrel a kiértékelés pontosságát minősíteni tudjuk. GYULAI et al. (2010a, b) kidolgozta az együtthatók számának meghatározására vonatkozó stratégiát a sorfejtéses inverzió alkalmazásához. Ennek lényege, hogy olyan együttható számot kell alkalmazni, amelynél az adattávolság és a becslés átlagos hibája egyszerre mutat minimumot. A hiányosságokat felismerve fejlesztettük ki a Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszékén a sorfejtéses inverziós módszereket, közöttük a geoelektromos inverziós módszereket, amelyek a laterális változásokat is figyelembe vevő, a kovariancia mátrixon alapuló minősítő eljárásokat is tartalmaznak.

A munka első lépését a 1.5D inverzió kifejlesztése jelentette (GYULAI & ORMOS 1997a, b; GYULAI 1998; GYULAI & ORMOS 1999). Ennek egy továbbfejlesztett változata a 2D sorfejtéses geoelektromos inverzió, az általunk CGI-nek nevezett inverzió (DRAHOS et al. 2011; GYULAI et al. 2010a, b, 2012). A módszer lényege, hogy mind a geológiai rétegvastagságokat, mind pedig a geoelektromos fajlagos ellenállások laterális és vertikális változásait sorba fejtett függvényekkel írjuk le és határozzuk meg az inverzióban. Végül pedig ezek segítségével kiszámítjuk a geológiai szerkezetek paramétereit. A kiértékeléshez kapcsolódóan a Geofizikai Tanszék kutatói kidolgoztak egy automatikus súlyozási eljárást.

Felvetődött a kérdés, hogy 3D és relatíve gyorsan változó, de azért mégis valamelyik irányban elnyúlt szerkezeteknél egyetlen szelvény esetében a szelvényen belül együtt fordulnak elő olyan adatok, amelyek egy része inkább dőlésirányú, más része inkább csapásirányú. További fejlesztésre és azok tesztelésére volt szükség a 2.5D CGI inverziós módszer 3D irányú alkalmazásában. Az általunk kifejlesztett algoritmus alapján a 2.5D CGI inverzió saját maga választja/jelöli ki, hogy mely adatok jelentenek dőlésirányú mérési adatot és mely adatok jelentenek csapásirányú adatokat. Így jelentősen javítható a kiértékelés pontossága és egyben növelhető a kutatás felbontóképessége. Márpedig mindkettő „javításával” sokkal részletesebb és megbízhatóbb földtani, hidrogeológiai kutatási eredményeket kaphatunk, amelyre eddig a geoelektromos módszerrel nem volt lehetőség.

Inverziós vizsgálatok egy konkrét terepi példán

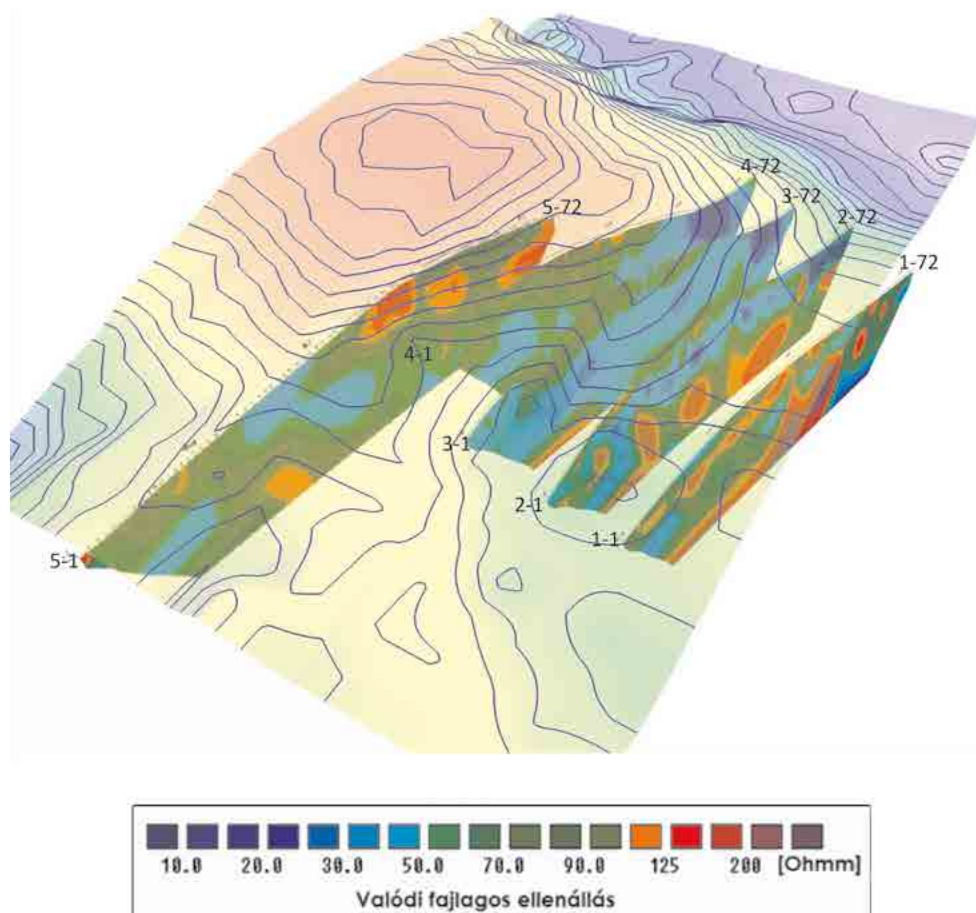
A terepi adatok egy észak-magyarországi kőbánya még le nem bányászott területéről származnak, melynek pontos helyének megadásához a tulajdonos nem járult hozzá. A mérési területen 5 db egymással közel párhuzamos, egymástól ~50 m távolságban lévő Wenner elrendezésű, 5 m elektródaközű, 72 elektródás multielektrodás geoelektromos szelvényt mértünk. Ez az elrendezés 5 m × 50 m-es hálózatban történő adatgyűjtésnek felel meg, így 5×61 db=305 db diszkrét VESZ méréssel egyenértékű. Minden szelvényen feltüntetettük a 0 méteres szelvénymenti távolságnál elhelyezkedő 1. elektródát, és a 355 méteres szelvénymenti távolságnál elhelyezkedő 72. elektróda helyét.

Az inverz feladat megoldására és az eredmények összehasonlítására két eljárást választottunk. Az egyik a RES2DINV kiértékelő programra alapozott tomográfiai módszer, a másik eljárás az általunk kifejlesztett 2.5D CGI sorfejtéses függvényinverzió. A RES2DINV kereskedelmi program használatából származó 5 db invertált szelvényt az 1. ábra mutatja 3D terepmodellre illesztve.

A multielektrodás mérések látszólagos fajlagos ellenállás-adataiból 2.5D CGI inverziós rekonstrukcióval mind az öt szelvény alatt kiszámítottuk a valódi fajlagos ellenállás mélységi eloszlását. A cikk terjedelmi korlátainak betarthatósága érdekében a mért szelvényekből egyet kiemelve mutatjuk be (a 2. szelvény 120 m és 230 m közé eső szakaszát), mint az általunk fejlesztett 2.5D CGI inverzió eredményét (2. ábra).

Az 1. ábrán piros színárnyalatokkal kiemeltük a 100 ohmm feletti fajlagos ellenállású tartományokat. Ez a fajlagos ellenállású tartomány jó/kiváló minőségű építőkő előfordulását valószínűsítheti. A zöld színárnyalatok a gyenge/közepes építőkő előfordulását jelző 50–100 ohmm fajlagos ellenállású részeket mutatják. Elérhető minősítő információk: 1. szelvény iteráció száma = 3, rms (adattávolság) = 3,2; 2. szelvény iteráció száma = 20, rms = 1, 2; 3. szelvény iteráció száma = 3, rms = 2,2; 4. szelvény iteráció száma = 4, rms = 2,2; 5. szelvény iteráció száma = 3, rms = 2,0.

A 2. ábráról megállapítható, hogy a RES2DINV-ben feldolgozott szelvényekhez képest sokkal jobban elkülönülnek a rétegsorok a 2.5D CGI sorfejtéses inverzió alapján kapott eredménynél, tehát egyre jobb felbontás érhető el. A 2.5D CGI inverzió esetében számíthatóak az inverziót minősítő fő paraméterek d = adat távolság, F = átlagos becslési hiba, S = korrelációs norma. A 2. ábrán ezen minősítő paraméterek a következők: $d=2,1\%$; $F=43\%$; $S=0,232$. Sorfejtéses együtthatók száma (vastagság / fajlagos ellenállás) 17, 11, 1/23, 9,7, 9.



1. ábra. A RES2DINV programban feldolgozott, valódi ellenállásképek, és 3D felszínmodell (egy észak-magyarországi kőbányában mérve)

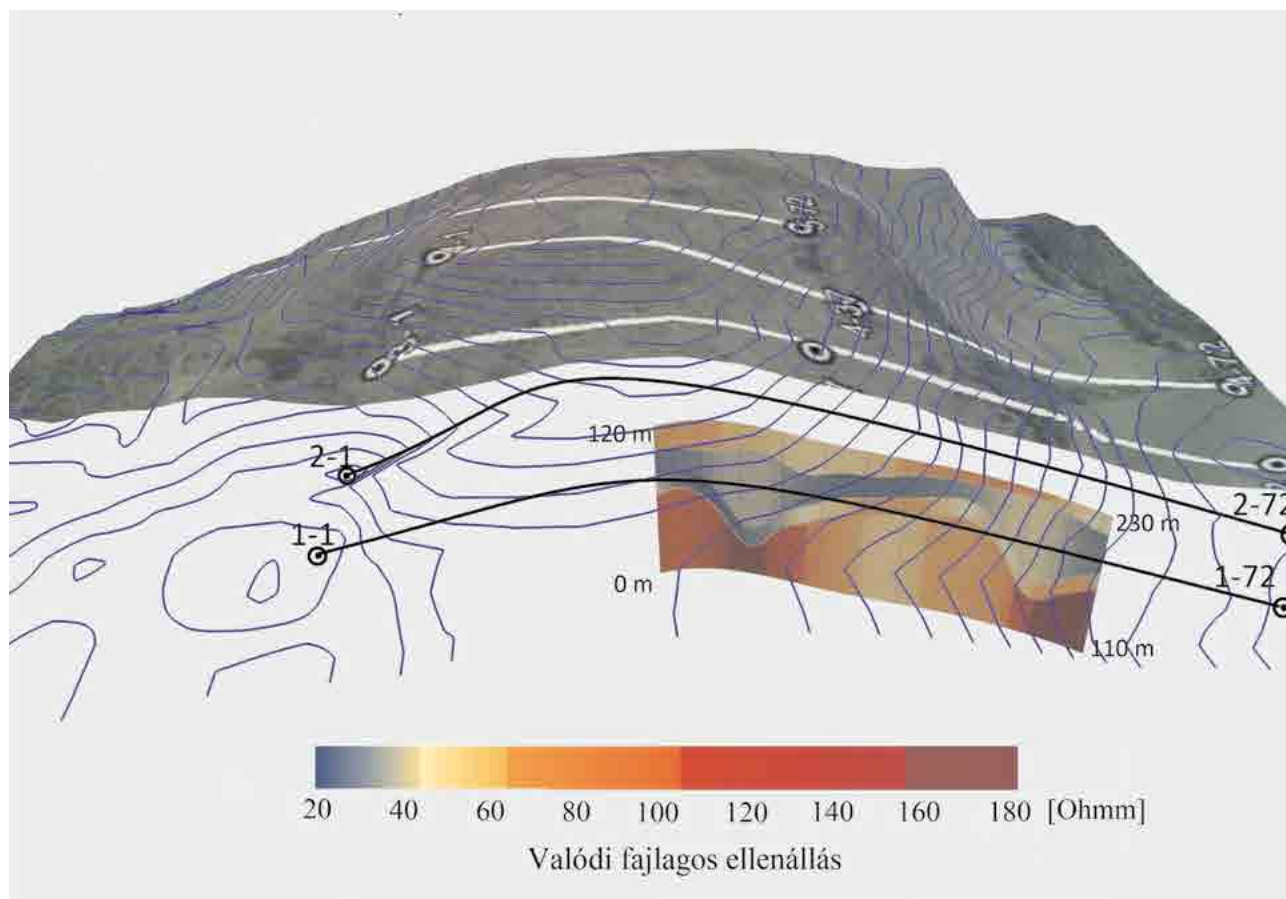
Konklúzió

A geoelektromos módszereket széles körben lehet és érdemes alkalmazni földtani, hidrogeológiai, környezeti kutatásokra. A publikációban bemutattuk, hogy a sorfejtéses geoelektromos 2.5D CGI inverzió kifejlesztésével bonyolult (1D, 2D–3D modellek együtt) szerkezetek minősített becslése megvalósítható. Mindezeket korábban szintetikus és terepi példákkal igazoltuk. Területi mérések esetén az optimális felbontóképesség eléréséhez a szelvénytávolságot éppen úgy összhangba kell hozni a kutatási mélységgel, mint a szelvényen belüli állomás távolságokat.

A kifejlesztett 2.5D CGI geoelektromos inverziós módszerrel lehetőség volt összehasonlítani a RES-2DINV kereskedelmi forgalomban kapható szoftver eredményeit. A minősítő paraméterek használatával javítható a becslés megbízhatósága, így könnyebben optimalizálhatók a további kutatásra szánt költségek.

Köszönetnyilvánítás

A kutatómunka a Miskolci Egyetemen működő Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet GI-NOP-2.3.2-15-2016-00010 jelű „Földi energiaforrások hasznosításához kapcsolódó hatékonyság növelő mérnöki eljárások fejlesztése” projektjének részeként — a Széchenyi 2020 program keretében — az Európai Unió támogatásával, az Európai Strukturális és Beruházási Alapok társfinanszírozásával valósul meg.



2. ábra. 2.5D CGI inverzió eredménye a 3. szelvényen, és 3D felszínmodell

Irodalom

- DRAHOS, D., GYULAI, Á., ORMOS, T. & DOBRÓKA, M. 2011: Automated weighting joint inversion of geoelectric data over a two dimensional geologic structure. — *Acta Geodaetica Geophysica Hungarica* 46, 309–316.
- Geotomo Software: RES2DINV ver.3.55, Malaysia www.geoelectrical.com
- GYULAI, Á. 1998: A geoelektromos üregkutatás néhány kérdése. — *Magyar Geofizika* 39/2, 43–50.
- GYULAI, Á. & ORMOS, T. 1997a: Vertikális elektromos szondázások kiértékelése 1.5-D inverziós módszerrel. — *Magyar Geofizika* 38/1, 25–29.
- GYULAI, Á. & ORMOS, T. 1997b: Újabb eredmények a VESZ adatok 1.5-D inverziós kiértékelésében. — *Magyar Geofizika* 38, 257–264.
- GYULAI, Á. & ORMOS, T. 1999: A new procedure for the interpretation of VES data: 1. 5-D simultaneous inversion method. — *Journal of Applied Geophysics* 41, 1–19.
- GYULAI, Á. & TOLNAI, É. E. 2012: 2. 5D geoelectric inversion method using series expansion. — *Acta Geodaetica Geophysica Hungarica* 47/2, 210–222.
- GYULAI, Á., ORMOS, T. & DOBRÓKA, M. 2010a: Sorfejtéses inverzió V. Gyors 2D geoelektromos inverziós módszer. — *Magyar Geofizika* 51/4, 185–195.
- GYULAI, Á., ORMOS, T. & DOBRÓKA, M. 2010b: A quick 2-D geoelectric inversion method using series expansion. — *Journal of Applied Geophysics* 72, 232–241.
- GYULAI, Á., TURAI, E., BARACZA, M. K. 2012: A CGI inverzió eredményének elemzése egy terepi példán. — *Magyar Geofizika* 23/4, 1–8.
- GYULAI, Á., BARACZA, M. K. & TOLNAI, É. É. 2013: The application of joint inversion in geophysical exploration. — *International Journal of Geoscience* 4, 283–299.
- KOEFOD, O. 1979: *Geosounding principles resistivity sounding measurements*. — Elsevier, Amsterdam
- LOKE, M. H. & BARKER, R. D. 1996: Rapid least-square inversion of apparent resistivity pseudo-sections by a quasi-Newton method. — *Geophysical Prospecting* 44, 131–152.
- MENKE, W. 1984: *Geophysical Data Analysis-Discrete Inverse Theory*. — Academic Press, Inc., London.
- SPITZER, K. 1995: 3D finite difference algorithm for DC resistivity modelling using conjugate gradient methods. — *Geophysical Journal International* 123, 902–914.
- STEINER, F. 1988: Most Frequent value procedure (A short monograph). — *Geophysical Transactions* 34, 139–260.

Fenntarthatóság, vízió?

SZANYI JÁNOS

SZTE Ásványtani, Geokémiai és Közettani Tanszék
szanyi@iif.u-szeged.hu

Összefoglalás

Magyarország felszíni és felszín alatti vizek tekintetében jelentős készlettel rendelkezik, ugyanakkor egyaránt kitett az aszálynak és az árvizeknek. A vízügyi szektor folyamatos átszervezésben és leépülésben van, éppen ezért a vízkészleteinkkel való észszerű gazdálkodáshoz a holland példa követését javaslom. Talán még nem késő.

Bevezetés

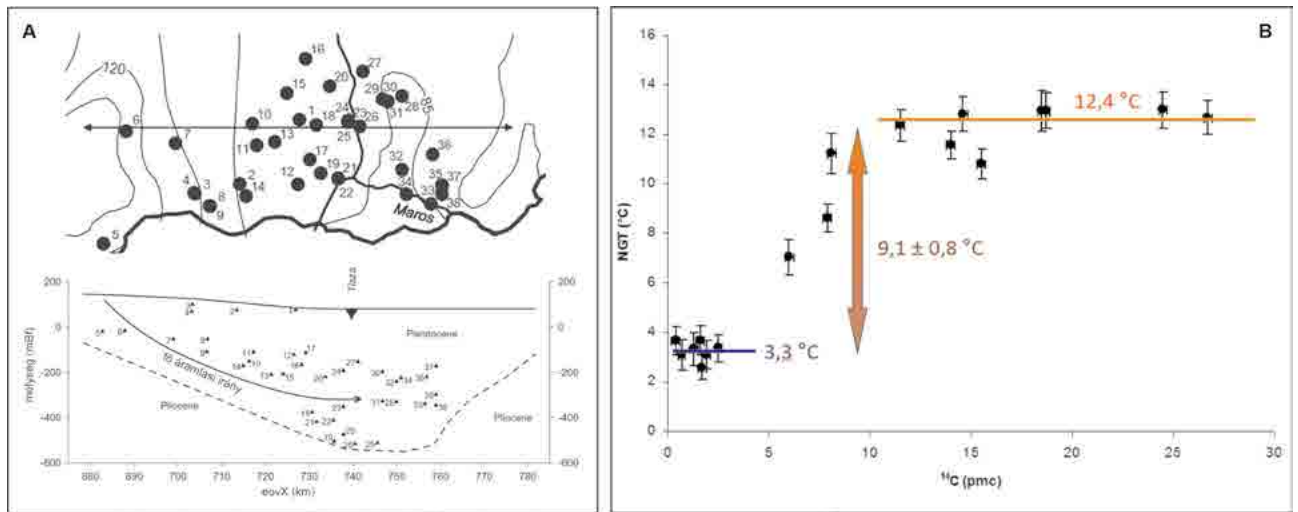
A klímaváltozás jelenlegi kihívásai a vízkészletgazdálkodást fontosabbá teszik, mint valaha. A felszíni és felszín alatti vizeket egységes rendszerként tekintve a fenntartható vízkészletgazdálkodásnak reflektálnia kell a klíma adaptációra, a várható katasztrófák megelőzésére, a biztonságos vízellátásra. A természetes vízkészletek nagysága (az összes halmazállapotot figyelembe véve) földi méretekben állandó, mivel a csapadék és a párolgás egyensúlyban áll, ezért a Földön nincs tartós készletnövekedés, illetve csökkenés. A vízkészletet csak kisebb léptékben, lokálisan lehet növelni vagy csökkenteni, térbeli és időbeli eloszlását megváltoztatni. Ugyanakkor civilizációnk hatalmas léptékkel avatkozik be a természetes folyamatokba. Felmerül a kérdés: Létezhet fenntartható vízkészletgazdálkodás?

Természeti folyamatok sebessége

A Földön lejátszódó természeti folyamatok — sebességük alapján — alapvetően 3 nagyságrendbe sorolhatók:
— igen gyors (elsősorban meteorológiai jelenségek, felszíni vízfolyások);
— sebes (felszín alatti víz szivárgása);
— lassú (elsősorban a kőzetlemezek mozgása, ill. izosztikus elmozdulások).

A felvázolt 3 jelenségcsoport mindegyike — időléptékbeni különbségük ellenére — komoly hatással van a másik kettőre, együttes ismeretük szükséges a földi ökoszisztémát kialakító folyamatok leírására, vízkészletgazdálkodási kérdések megválaszolására.

Szivárgó medencékben a felszín alatti víz mozgása a gravitáció által hajtott áramterekkel írható le, melynek analitikus leírását TÓTH József (TÓTH 1963) adta meg. Az elmélet kiindulási feltétele a véges permeabilitású kőzetösszlet hidraulikus folytonossága. Ennek lényege, hogy a kőzetösszletben lévő víz nyomásának egy tetszőleges pontban történő megváltozása más pontokban is nyomásváltozást idéz elő a víztestben (TÓTH 1995), azaz a diffúziós tényező függvényében végigfut a rendszeren. VARSÁNYI et al. (2010) nemesgáz koncentráció és radiokarbon vizsgálatai konkrét példaként szolgálnak a felszín alatti vizek utánpótlódási sebességére az Alföldön. Vizsgálatukkal közvetetten kimutatták a pleisztocén hideg (3,3 °C) és holocén meleg (12,4 °C) időszakai beszivárgások határtartományát amiből hozzávetőleg 600 m-es vertikális és mintegy 50–60 km-es horizontális szivárgási út kalkulálható mintegy 10 000 év alatt (1. ábra).



1. ábra. (A) a tanulmányozott kutak helye a vízszintek feltüntetésével térképen és Ny–K-i irányú vertikális szelvény mentén; (B) Nemesgáz koncentrációk alapján meghatározott hőmérsékletek ^{14}C aktivitás függvényében (VARSÁNYI et al. 2010 alapján)

Vízadók túltermelése

A neogén üledékes medencékben — például az Alföldön — lejátszódó földtani folyamatok (pl. kompaktáció, kompresszió, tektonikai események) módosítják a gravitáció által hajtott áramteret (NEUZIL 1995, TÓTH & ALMÁSI 2001), ami az egyensúlyi feltételek megbomlásához vezet. Ugyanakkor ezeknél nagyságrendekkel gyorsabb változást indukál a mesterséges vízkivétel. A rendszer a megváltozott erőknek megfelelő új egyensúlyi helyzet (energiaszint) elérésére törekszik. Így, amikor kútát létesítünk, lokálisan lecsökkentjük a víznyomást, ennek következtében mind rétegirányból, mind vertikálisan a felső és alsó rétegekből a víz a kút irányába áramlik. Az áramlás sebessége annál nagyobb, minél nagyobb nyomáscsökkenést (depressziós teret) idézünk elő. Ennek következtében az egész víztest lefelé mozdul el, (a nyomáscsökkenés terjedése nagyságrendekkel gyorsabb, mint a víz szivárgási sebessége). Azaz a vízmérleg elemeit mesterségesen megváltoztatjuk, több víz szivárog a mélybe, mint a víztermelés előtt. Így a vízkivétel helyétől felfelé haladva, csillapítottan ugyan, vízszintcsökkenést tapasztalunk (SZANYI 2004).

Vízadó képződmények túltermelése nem új keletű jelenség. Az Alföldön 1879-ben fúrták az első artézi kútát és 1900-ban már több mint 1000 artézi kút üzemelt, ZSIGMONDY Vilmosnak és Bélának köszönhetően. A kutak száma rohamos ütemben növekedett tovább; 1980-ban 58 000 kútát tartottak nyilván Magyarországon (MARTON 2002), ma már döntő többségük szivattyúzással üzemel. A víztermelés megbízhatósága elemi érdeké vált, megszületett a biztonságos hozam (safe-yield) fogalma (MEINZER 1920, FETTER 1972). Magyar megfelelőjének a kitermelhető dinamikus vízhozam kifejezés tekinthető (JUHÁSZ 2002). A „biztonságos hozam” fogalmát azonban egyre nehezebben lehetett alkalmazni hosszú idejű folyamatokra, a felmerülő környezeti károk miatt (SOPHOCLEOUS 1997). Az 1980-as évek végére a biztonságosság elve helyére a fenntarthatóság elve (sustainability) lépett, ami a természeti források oly mértékű használatát jelenti, hogy a jövő generációinak megélhetése is biztosítva legyen. Mindezek a folyamatok nem érthetők meg önmagukban, komplexen, a felszíni vizekkel együtt kell őket vizsgálni ahogy a holland vízügyi szektor is teszi.

Holland vízügyi kormányzás (HAVEKES et al. 2017)

A regionális vízügyi hatóságok, a demokratikus kormányzás legrégebbi formái funkcionálisan decentralizált kormányzati szervként működnek Hollandiában. Saját irányító testületük és finanszírozási struktúrájuk van, és kizárólag vízgazdálkodási feladatok végrehajtásával foglalkozik. A vízügyi hatóságok regionális és helyi szinten felelősek a vízgazdálkodásért. A „vízgazdálkodás” fogalmát a közjólét azon részének tekintik, amely az árvízvédelemhez, a vízkészletgazdálkodáshoz (a felszíni víz és a felszín alatti vizek mennyiségi és minőségi szempontjai), szennyvízkezeléshez valamint a vízi utak biztosításához kapcsolódik, és mint ilyen a lakóképes-ségre és használhatóságra összpontosít. a talaj védelme és az élő környezet javítása érdekében.

Működése független a kormánytól, saját igazgató tanácsa, ha tetszik parlamentje (governing board) és végrehajtó testülete (executive committee) van! A regionális vízügyi hatóságok ugyanúgy, mint az önkormányzatok és a tartományok, választják az irányító testületük (parlamentjük) tagjait, a tartományi választásokkal egyidőben négyéves időtartamra. Képviselőként jelöltheti magát bárki, aki érdeklődik a regionális vízügyi hatóságok által elvégzendő feladatok iránt: helyi lakos, földtulajdonos, ipari létesítmény tulajdonosa, védett területek tulajdonosa. Mivel a vízzel kapcsolatos feladatokat a regionális vízügyi hatóságokra ruházzák, nem vonatkoznak rájuk az általános politikai érdekek egyensúlya, a szervezetet függetlenítették a politikai kontextustól.

A regionális vízügyi hatóságok szabályzatokat, döntéseket, tiltó rendelkezéseket hozhatnak, amelyek kötelező érvényűek a polgárok számára. Engedélyezési és adó megállapítási jogkörük is van. Rendeleteik betartására közigazgatási kényszerrel alkalmazhatnak, közigazgatási szankciókat, bírságokat szabhatnak ki, hivatalos bűnügyi jelentést is készíthetnek.

A tartományoktól és az önkormányzatoktól eltérően, amelyek pénzügyi szempontból nagymértékben függenek a központi kormányzat támogatásától, a regionális vízügyi hatóságok pénzügyi szempontból önállóak. Az alkalmazott regionális vízügyi adórendszer azt jelenti, hogy a regionális vízügyi hatóságok pénzügyi szempontból nagymértékben függetlenek a nemzeti politikától és a gazdasági ingadozásoktól. A vízszabályozáshoz szükséges beruházásoknak ezért nem kell versenyezniük más kormányzati kiadásokkal. Ez a pénzügyi alap a vízgazdálkodás fenntarthatóságának lehető legjobb garanciája. Ezenkívül ez a függetlenség kiváló kiindulópont hosszú távú hitelek vonzásához a nagyobb beruházások finanszírozására. Bevételeik az állam általános alapjaiból és a különféle decentralizált adókból származnak. 2016-ban a vízzel kapcsolatos tevékenységek összes kiadása 7,1 milliárd EUR volt.

A regionális vízügyi hatóságok holland szövetsége úgy döntött, hogy a regionális vízügyi hatóságok pénzügyi érdekeit külön jogi személyre ruházza át, ezért 1954-ben önálló bankot hoztak létre (Nederlandse Waterschapsbank). A bank alapszabálya kifejezetten kimondja, hogy a bank kölcsönöket vagy garanciát csak a közszektornak nyújthat, így a hitelkockázat minimális. A bank szakértelme és tanácsadói szolgáltatásai hozzájárultak a regionális vízügyi hatóságok nagymértékű likviditásához. A vízügyi hatóságok fölött a kontrollt saját számvevőszékük gyakorolja. Ez a testület vizsgálja az adminisztráció által képviselt politika hatékonyságát, eredményességét és finanszírozásának jogszerűségét.

Természetesen szükség van a politika és a szakpolitika közötti kapcsolatra. Nemzeti szinten ez a konzultáció a Vízügyi Irányító Csoportban zajlik, amelyben az állam, a tartományi kormányok, az önkormányzatok, a regionális vízügyi hatóságok és a vízszolgáltató társaságok rendszeresen megvitatják folytatandó vízpolitikát az illetékes miniszter elnökletével.

Összefoglalás

A hazai vízügyi szakigazgatás, a szektor leépülése és a klímaváltozás következményei miatt egyre nagyobb kihívásokkal néz szembe. Mind a felszíni mind a felszín alatti vizekkel való fenntartható és biztonságos gazdálkodás érdemi változást igényel a hazai vízügy-politikában.

Meggyőződésem, hogy a vízkészletgazdálkodás fenntarthatóságát a bemutatott holland modell átvétele biztosíthatja, amelyet a konzultáció, a konszenzus és a kompromisszum-készség jellemez. Ehhez szükség van alkotmányos garanciákra, a saját irányító testületből származó demokratikus legitimitásra és a saját adóbevételekből elért pénzügyi függetlenségre. Így a regionális vízügyi hatóságok pénzügyi szempontból nagymértékben függetlenek lehetnek a nemzeti politikától és a gazdasági ingadozásoktól. A vízszabályozáshoz szükséges beruházásoknak ezért nem kellene versenyezniük más kormányzati kiadásokkal. Ez a struktúra a vízgazdálkodás fenntarthatóságának lehető legjobb garanciája.

Irodalom

- FETTER, C. W. 1972: The concept of safe groundwater yield in coastal aquifers. — *Water Res. Bull.* 8, 1173–1176.
- HAVEKES, H., KOSTER, M., DEKKING, W., UIJTERLINDE, R., WENSINK, W. & WALKIER, R. 2017: Water Governance — The Dutch Water Authority Model. — *Dutch Water Authorities*, 1–64
- JUHÁSZ J. 2002: Hidrogeológia. — Akadémiai Kiadó, Budapest, 1176 p.
- MARTON L. 2002: Vízkészletünk védelmének időszerű kérdései. — *Debreceni Szemle* 4, 692–706.
- MEINZER, O. E. 1920: Quantitative methods of estimating groundwater supplies. — *Bull. Geol. Soc. Am.* 31, 329–338.
- NEUZIL, C. E. 1995: Abnormal pressures as hydrodynamic phenomena. — *American Journal of Science* 295, 742–786.
- SOPHOCLEOUS, M. 1997: Managing water resources systems: why „safe yield” is not sustainable. — *Ground Water* 35/4, p. 561.
- SZANYI J. 2004: Felszín alatti víztermelés környezeti hatásai a Dél-Nyírség példáján. — PhD Értekezés, SZTE, 1–109.
- TÓTH, J. 1963: A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins. — *Journal of Geophysical Research* 68, 4795–4812.
- TÓTH J. 1995: A nagy kiterjedésű üledékes medencék felszín alatti vizeinek hidraulikai folytonossága. — *Hidrologiai Közlöny* 75, 153–160.
- TÓTH J. & ALMÁSI I. 2001: Interpretation of observed fluid potential patterns in a deep sedimentary basin under tectonic compression: Hungarian Great Plain, Pannonian Basin. — *Geofluids* 1, 11–36.
- VARSÁNYI I., PALCSU L. & Ó. KOVÁCS L. 2011: Groundwater flow system as an archive of palaeotemperature: Noble gas, radiocarbon, stable isotope and geochemical study in the Pannonian Basin, Hungary. — *Applied Geochemistry* 26, 91–104

Vajon számolnunk kell-e a termikus felhajtóerő hatásával a Budai-termálkarsztrendszerben?

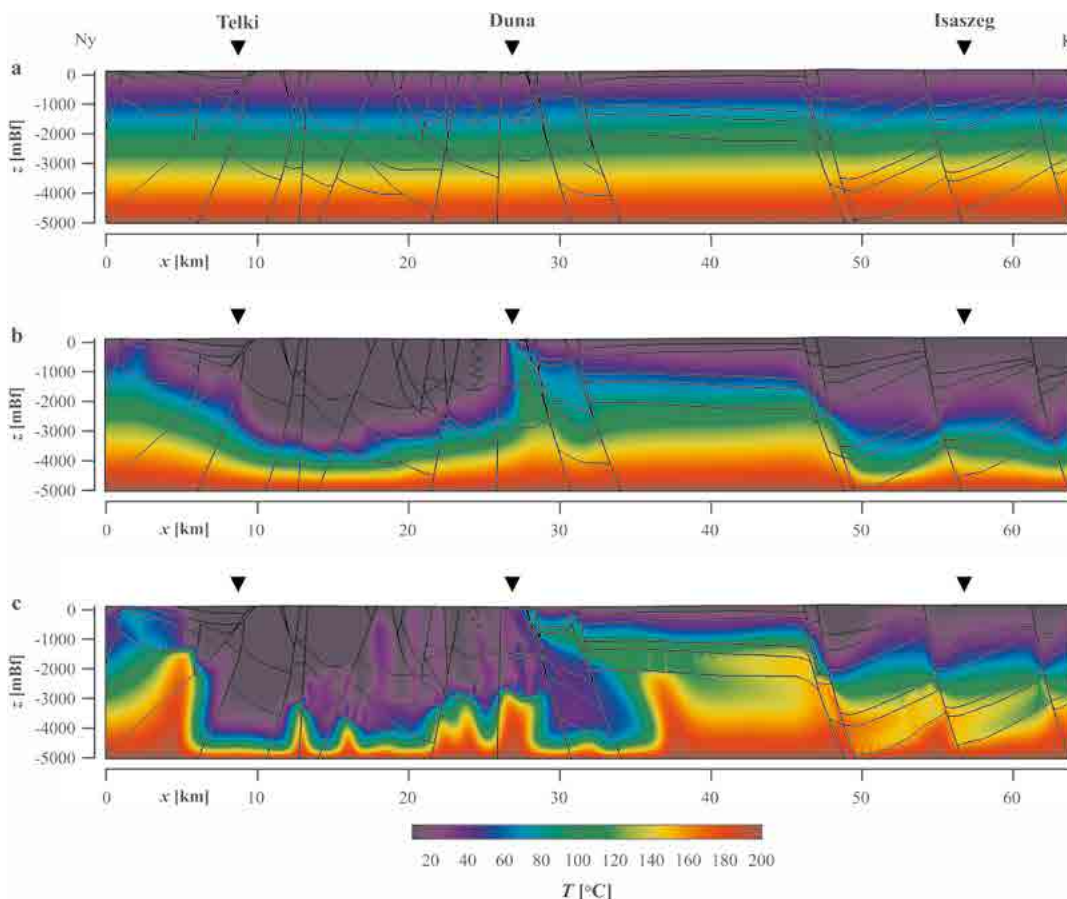
SZIJÁRTÓ MÁRK^{1,3}, GALSA ATTILA¹, TÓTH ÁDÁM^{2,3}, HAVRIL TÍMEA^{2,3},
LENKEY LÁSZLÓ¹, MÁDLNÉ SZŐNYI JUDIT^{2,3}

¹Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Geofizikai és Űrtudományi Tanszék
²Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék
³Tóth József és Erzsébet Hidrogeológia Professzúra Alapítvány
mark.szijarto@ttk.elte.hu

Korábbi munkáinkban szintetikus modellszimulációk segítségével rávilágítottunk a topográfia vezérelt kényszerkonvekció (forced thermal convection) és a termikus felhajtóerő okozta szabad konvekció (free thermal convection) együttes hatásának jelentőségére a medenceléptékű felszínalatti áramlási rendszerekben (SZIJÁRTÓ 2017, SZIJÁRTÓ et al. 2019), így alátámasztva számos megelőző tanulmány feltételezéseit és állításait (pl.: MÁDL-SZŐNYI & TÓTH 2015, HAVRIL et al. 2016). A két kölcsönható hajtóerő szerepe különösen azokon a területeken érdekes, ahol a változatos topográfia mellett a kontinentális átlagnál nagyobb, vagy jóval nagyobb a geotermikus gradiens értéke ($\nabla T > 30$ °C/km). Azonban a Budapest környéki miocén, valamint triász földtani képződményekben mélyülő fúrásokban elvégzett hőmérsékletmérések eredményeinek magyarázatát, melyek helyenként jelentős hőmérsékleti anomáliákat

mutatnak az eredetileg feltételezett profilhoz képest, nem tudták visszavezetni sem pusztán hővezetésre, sem tisztán hőszállításra, mint kiváltó okra. Így a fő kérdés: a kondukción és az advekción mellett vajon számolnunk kell-e a termikus felhajtóerő hatásával a Budai-termálkarsztrendszerben?

A kétdimenziós, 65 km szélességű és 5 km mélységű numerikus modell megépítéséhez FODOR (2011) földtani szelvényét használtuk fel, mely a Zsámbéki-medencétől a Budai-hegységen keresztül a Gödöllői-dombságon túlra nyúlik. A terület egyik sajátossága, hogy a vizsgált modell egy fedetlen (Zsámbéki-medence, Budai-hegység, Rózsadomb) és egy fedett (Pesti-síkság, Gödöllői-dombság) karsztos rendszert is magában foglal, melyeket a Duna vonala szel ketté (MÁDL-SZŐNYI et al. 2017). A FODOR (2011) által értelmezett földtani felosztást 11 hidrosztratigráfiai egységre egyszerűsítettük. A tanulmányban három fő modell típuson keresztül vizsgáltuk a hajtóerők különválasztott, majd együttes hatását a Budai-termálkarszt fejlődésének jelenlegi fázisára vonatkozóan: (i) stacionárius, kizárólag topográfia vezérelt, (ii) stacionárius kényszerkonvekciós, valamint (iii) időfüggő kényszer és szabad termikus konvekciós áramlás esetén (összetett modell). A modell határfeltételeinek meghatározásához potenciometrikus térképeket, $p(z)$ nyomás–eleváció, profilokat (MÁDL-SZŐNYI et al. 2017, 2018; MÁDL-SZŐNYI 2019) és hőmérsékletmérések eredményeit használtuk fel. A modellverifikálást sikeresen, az éves csapadékmennyiségből becsült maximális beszivárgási rátával ($R_{max} \approx 310$ mm/év), valamint a területre meghatározott felszíni hőfluxus értékével ($q=90-100$ mW/m²) (LENKEY et al. 2002) végeztük. Továbbá vizsgáltuk az alsó és az oldalsó határfeltételek, illetve a vízvezető vetők hatásait mind a kialakuló áramképre, mind a hőmérsékleti eloszlásra vonatkozólag.

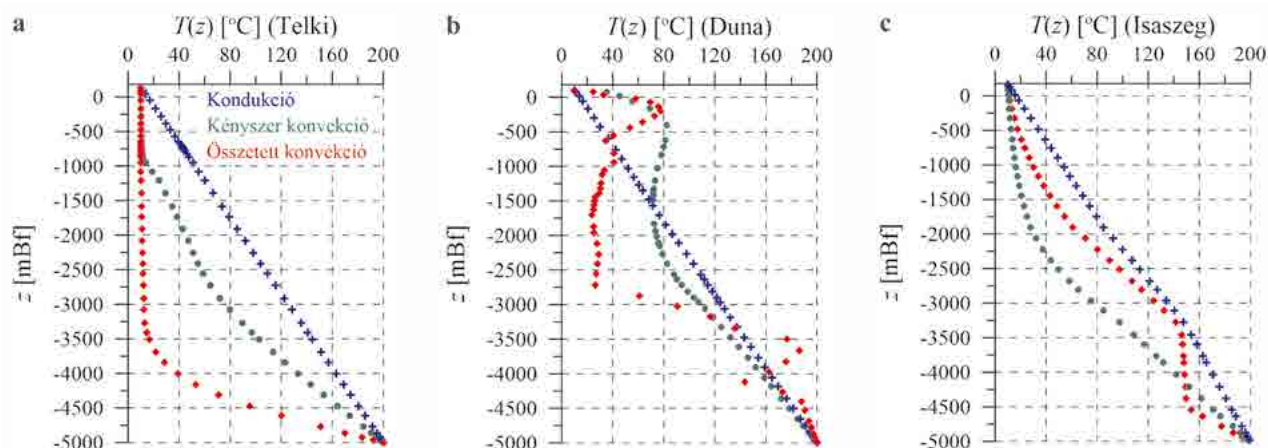


1. ábra. Hőmérsékleteloszlás a) konduktív hőtranszport, b) kényszer termikus konvekció, valamint c) összetett termikus konvekció ($\tau=20000$ év) esetén a Budai-termálkarszt egy kétdimenziós hidrosztratigráfiai szelvényére. (FODOR 2011 földtani szelvénye alapján).

A fekete háromszögek a numerikus modellben kiszámított, $T(z)$ hőmérséklet–eleváció profilokat jelölik Telki, a Duna és Isaszeg környezetében (l. 2. ábra)

Tisztán topográfiavezérelt áramlás esetén (i) a numerikus modellben kiszámított áramkép a felszínközeli tartományokban ($z > -1500$ mBf) egyértelműen összhangban van a hidraulikus adatfeldolgozás során értelmezett eredményekkel (MÁDL-SZŐNYI et al. 2017, MÁDL-SZŐNYI 2019). Az 1. ábra (a) a korábban feltételezett hővezetés, (b) a kényszerkonvekció, valamint (c) az összetett termikus konvekció által létrejövő hőmérsékleteloszlást mutatja. (Az utóbbi, időfüggő modell $t=20\,000$ évnél mutat egy kvázistacionárius megoldást.) A stacionárius kényszerkonvekcióval jellemezhető modellek (ii) eredményei olyan, a regionális kiáramlási terület alatti $40\text{--}70$ °C-kal feláramló megcsapolódáshoz vezetnek, melyek összevethetők a főváros gyógyfürdőiben regisztrált termásvíz hőmérsékletével (1. ábra, b). Eme kiáramlási területet — gyakorlatilag a Dunát és annak közvetlen környezetét — egyértelműen az attól nyugatra (fedetlen) és keletre (fedett karsztos) húzódó regionális beszivárgási területek táplálják.

A harmadik modell típusban (iii) már figyelembe vettük a termikus felhajtóerő hatását, melynek jelenlétét a numerikus modellre becsült dimenzióatlan Rayleigh-szám (Ra) (NIELD & BEJAN 2006) is megerősít ($Ra_{krit}=4 \cdot 10^2 < Ra \approx 2000$). A termikus felhajtóerő okozta szabadkonvekció erősíti a kényszerkonvekció hatását; a Budai-hegység alatti jó permeabilitású triász karbonátban kis horizontális kiterjedésű, de magasra felfelé nyúló ujjalakú meleg feláramlások jönnek létre, melyek — az advektív hőtranszporttal egy irányban — a kiáramlási terület (Duna) felé sodródnak. Ezen kívül, a fedett karsztos részrendszer jó vezetőképességű rétegeiben (pl.: Dachsteini Mészkkő) további konvekciós cellák azonosíthatók. Az összetett termikus konvekció kvázi-stacionárius áramlást eredményez a numerikus modellben.



2. ábra. A numerikus modellben kiszámított, $T(z)$ hőmérséklet–eleváció profilok a) Telki, b) a Duna és c) Isaszeg környezetében konduktív hőtranszport (kék), kényszer (zöld), illetve összetett termikus konvekció esetén (piros)

A 2. ábra a $T(z)$ hőmérséklet–eleváció profilokat mutatja a három modell típus esetében (a) Telki, (b) a Duna és (c) Isaszeg környezetében. A kezdeti feltételként beállított konduktív hőmérsékleti eloszlásra jellemző profilokat kék színnel jelöltük. A hőmérséklet–eleváció profilokon egyértelműen azonosíthatók az advektív hőtranszport miatt kialakuló hőmérsékleti eltérések (zöld) a konduktív profilhoz képest: a beszivárgás/leáramlás okozta negatív eltérés Telki (2. ábra, a) és Isaszeg (2. ábra, c) környezetében; valamint a kiszivárgás/feláramlás okozta pozitív hőmérsékleti anomália a Duna alatt. A szabad termikus konvekció hatására a $T(z)$ profilok az idő függvényében változnak a tiszta advektív helyzethez képest, különösen a modell mélyebb tartományjaiban ($z < -1500$ mBf). Ezek a modelleredmények magyarázatul szolgálhatnak az eddig „kérdéses létjogosultságú” hőanomáliák (MÁDL-SZŐNYI 2019) és kémiai folyamatok mibenlétére.

Általánosságban elmondható, hogy a termikus felhajtóerő megjelenésével (iii) a numerikus modellben számított átlagos Darcy-fluxus négyszeresére ($q=8 \cdot 10^{-9}$ m/s), míg a beszivárgási ráta az eredeti érték kétszeresére ($R_{av}=220$ mm/év) növekedett a csupán topográfiavezérelt felszín alatti vízáramláshoz képest. A Nusselt-szám (Nu) értéke az advekciónak hatására másfélszeresére, míg a szabad termikus konvekció hatására öt és félszeresére emelkedett. A numerikus eredmények és a mért adatok kvalitatív összehasonlítása megtörtént.

A munkával szeretnénk volna felhívni a figyelmet a felszínalatti vízáramlást hajtó erők vizsgálatának elméleti és gyakorlati jelentőségére. Összehasonlítva a numerikus szimulációk eredményeit és a mérési adatokat, jobban megérthetjük azokat a fluidum–mátrix kölcsönhatásokat, melyeket az összetett termikus konvekció okozhat/okozhatott a Budai-termálkarsztrendszerben. Azonban ennek ellenére, még bőven marad nyitott kérdés: hogyan befolyásolja a klímaváltozás ezt a komplex áramlási rendszert; mi módon tudnánk jobban megérteni és nyomon követni a geológiai változások hatását a vízáramláson, a hő-, illetve az anyagtranszporton keresztül?

Köszönetnyilvánítás

A kutatás az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-18-3 és ÚNKP-18-4 kódszámú Új Nemzeti Kiválósági Programjának, a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíjának, valamint az OTKA K129279 pályázatának köszönhetően jött létre. Továbbá a tudományos munka az ENERAG projekt keretein belül készült, amelyet az Európai Unió Horizont 2020 kutatási és innovációs programja támogatott a 810980 azonosító számú támogatási megállapodás alapján. Szijártó Márk konferenciárészvétele a Magyar Geofizikusok Egyesülete segítségével valósulhatott meg.

Irodalom

- FODOR L. 2011: A Budai-hegység felépítését szemléltető K–Ny-i irányú szelvények. — In: MINDSZENTY A. (szerk.): Budapest: földtani értékek és az ember — városgeológiai tanulmányok. Eötvös Loránd University Press, Budapest, p. 20.
- HAVRIL T., MOLSON J.W. & MÁDL-SZŐNYI J. 2016: Evolution of fluid flow and heat distribution over geological time scales at the margin of unconfined and confined carbonate sequences — A numerical investigation based on the Buda Thermal Karst analogue. — *Marine and Petroleum Geology* 78, 738–749.
- NIELD D. A. & BEJAN A. 2006: *Convection in porous media*. — Springer, 639 p., ISBN: 978-0387-29096-6
- LENKEY L., DÖVÉNYI P., HORVÁTH P. & CLOETINGH S. A. P. L. 2002: Geothermics of the Pannonian basin and its bearing on the neotectonics. — *EGU Stephan Mueller Special Publication Series* 3, 29–40.
- MÁDL-SZŐNYI J. 2019: Felszínalatti vízáramlások mintázata fedetlen és kapcsolódó fedett rendszerekben a Budai-termálkarszt tágabb környezete példáján. — DSc. 150 p.
- MÁDL-SZŐNYI J. & TÓTH Á. 2015: Basin-scale conceptual groundwater flow model for an unconfined and confined thick carbonate region. — *Hydrogeology Journal* 23, 1359–1380.
- MÁDL-SZŐNYI J., ERŐSS A., HAVRIL T., POROS Zs., GYŐRI O., TÓTH Á., CSOMA A., RONCHI P. & MINDSZENTY A. 2018: Fluidumok, áramlási rendszerek és ásványtani lenyomataik összefüggései a Budai-termálkarszton. — *Földtani Közöny* 148, 71–96.
- MÁDL-SZŐNYI J., CZAUNER B., IVÁN V., TÓTH Á., SIMON Sz., ERŐSS A., BODOR P., HAVRIL, T., BONCZ L. & SÓREG V. 2017. Confined carbonates — Regional scale hydraulic interaction or isolation? — *Marine and Petroleum Geology* in press
- SZIJÁRTÓ, M. 2017: Topográfiai és hőmérsékleti különbségek együttes hatása által vezérelt felszínalatti vízáramlás numerikus modellezése szintetikus egységmedencében. — Diplomamunka, Eötvös Loránd Tudományegyetem, 70 p.
- SZIJÁRTÓ M., GALSA A., TÓTH Á. & MÁDL-SZŐNYI J. 2019: Numerical investigation of the interaction of forced and free thermal convection in synthetic groundwater basins. — *Journal of Hydrology* 572, 364–379.

Milyen folyamatok okozhatják a süllyedéses lyukak (sinkholes) kialakulását a felszínen?

Esettanulmányok a magyar bányászati és földtani szolgálatnál folyó alábányászottsági és alapincézettiségi térképek alkalmazhatóságáról

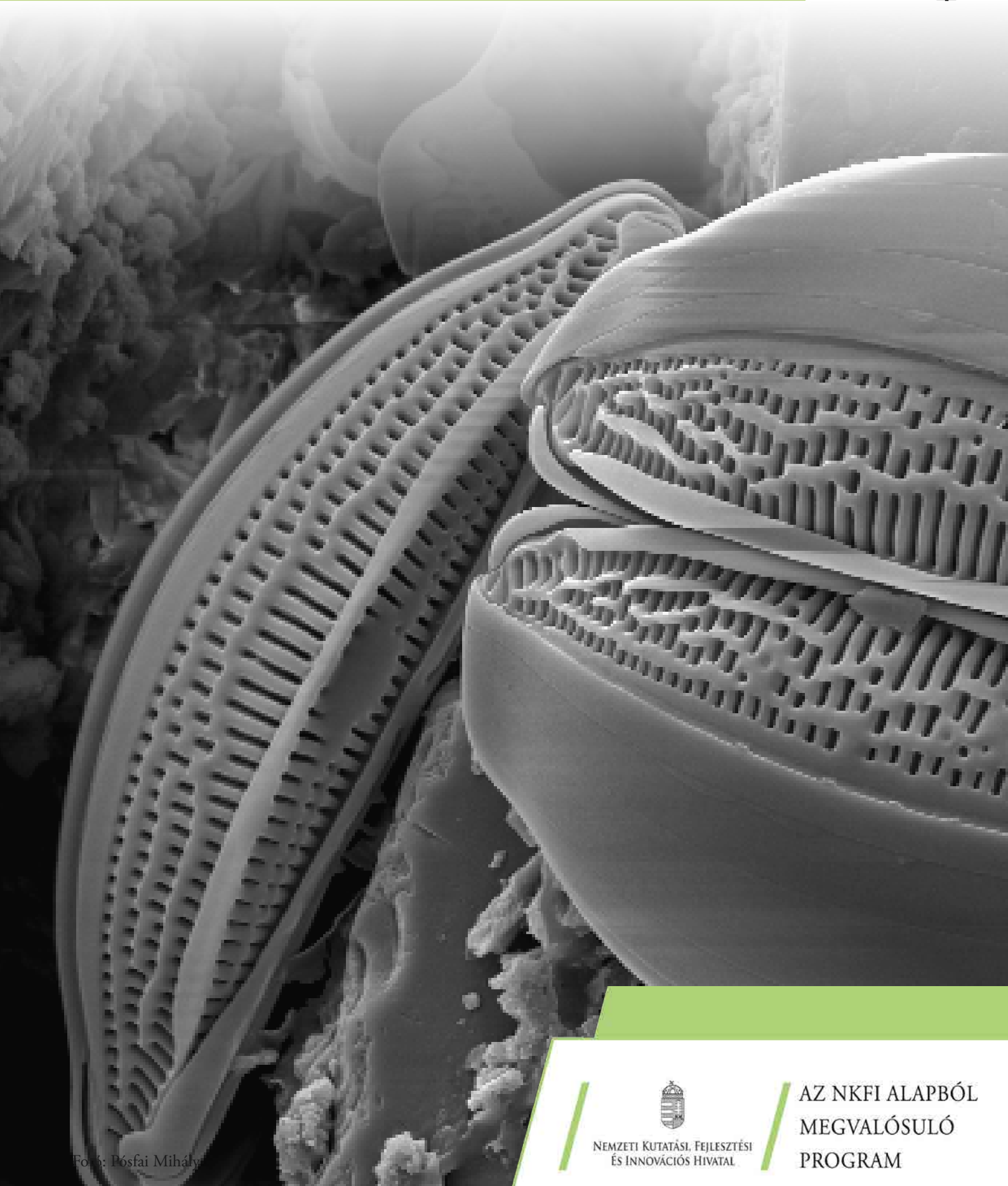
PRAKFALVI PÉTER

Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat
prakfalvi.peter@mbfsz.gov.hu

Gyakran tapasztalhatunk a föld felszínén süllyedéses lyukakat, beszakadásokat, felszakadásokat stb., amelyek láttán valószínűleg az lesz az első kérdésünk, hogy hogyan keletkezhetek. Vélhetőleg az első megközelítésünk az lesz, hogy karsztos területen vagyunk-e, vannak-e barlangok a felszín alatt. Ha kizárhatjuk mészköveket, akkor talán a mesterséges föld alatti üregek hatásaira gondolhatunk: pincékre és mélyművelésű bányákra. Mindezek kizárása után már egyre nehezebb lesz magyarázatot adni a jelenségre, pedig vannak még egyéb folyamatok is, amelyek a felszakadásokhoz vezetnek. Az előadás megpróbálja az okokat csoportosítani (mesterséges, természetes), valamint tipizálni. Gondolt már arra, hogy egy szakszerűtlenül tömedékelt ásott kút, vagy egy szintén szakszerűtlenül felszámolt fúrás is okozhat „katasztrófákat”, ha azok felett később építményeket helyeztek el? A szuffózió (szemcseátrendeződés) is okozhat építésföldtani problémát.

Az előadás kitér két, több éve folyó projektre, amelyek az antropogén folyamatok közül az alábányászottságot és az alapincézettiséget dolgozzák fel. A Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat olyan térinformatikai rendszert alakít ki mindkét témában, aminek segítségével gyorsan eldönthető, hogy a bekövetkezett felszakadás összefüggésben lehet-e mélyművelésű bányákkal vagy pincékkel. Ezen túlmenően potenciális károk megelőzését is elősegítheti, ugyanis ha tudott, hogy mesterséges üregek vannak a tervezett építkezés alatt, akkor vizsgálhatók, hogy a kivitelezés milyen feltételekkel lehetséges.

POSZTEREK



NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI
ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL

AZ NKFI ALAPBÓL
MEGVALÓSULÓ
PROGRAM

Ritkaelem-dúsulást hordozó ásványtársulás a Bükk hegységből: üledékes kőzetekbeli előfordulások

BALASSA CSILLA, KRISTÁLY FERENC, MÓRICZ FERENC, NÉMETH NORBERT

Miskolci Egyetem, Ásványtani-Földtani Intézet, 3515 Miskolc-Egyetemváros
foldnn@uni-miskolc.hu

Bevezetés

2014 folyamán, a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karának CriticEl projektje keretében végzett mintázás és kémiai elemzés során került elő a Bükk hegység délkeleti részéről egy triász rétegsorból származó metavulkanit anyagú kőzetmintából egy korábban ismeretlen ritkaelem-dúsulás első geokémiai nyoma (NÉMETH et al. 2016). A nyomon elindulva sikerült több, dúsulással érintett kőzettestet találni, mintázni és elemezni. Az egyéb hasonló metavulkanit-minták összetételéhez képest kb. 5–10-szeresen dúsult nyomelemek: Zr, Nb, Ta, Th, Y és a ritkaföldfémek (RFF) az Eu kivételével, amelyek a nagy térerejű elemek (angol rövidítéssel HFSE) közé tartoznak. A főelemek közül a K kisebb mértékű dúsulása volt tapasztalható.

A felsorolt elemek legtöbbje, különösen a ritkaföldfémek Európában a kritikus nyersanyagok közé tartoznak (BGS et al. 2017). Ez annyit jelent, hogy nagy gazdasági jelentőségük ellenére beszerezhetőségük erősen korlátozott, ezáltal a rájuk épülő ellátási lánc sérülékeny. A kockázatok csökkentése érdekében Európa-szerte igyekeztek számba venni minden potenciális nyersanyagelőfordulást (GOODENOUGH et al. 2016), még ha jelenleg művelelő érckészletek nincsenek is.

A RFF ércei, geokémiai dúsulásai rendszerint karbonátitokhoz vagy más alkáli magmás testekhez kötődve alakulnak ki. Magyarországon is ilyen kőzetekből voltak ismertek a legmagasabb koncentráció-adatok (SZAKÁLL et al. 2014), ám ezek csekély kiterjedésű kőzetlegrétegek csupán. A Bükkben ezzel szemben meglepő a dúsulás, hiszen nem ismert semmilyen megfelelő alkáli magmás ható, a dúsulást hordozó ásványtársulás pedig mindig mészkőbe közbetelepült vulkáni vagy törmelékes üledékes eredetű rétegekben található. Az eddig megismert előfordulások a Központi-Bükk szerkezeti egységének északi és déli határzónájában helyezkednek el a lillafüredi Vesszős-völgyben, illetve a Közép-szék és Felső-Kecskevár között. Az alábbiakban az üledékes kőzeteken végzett megfigyeléseket mutatjuk be.

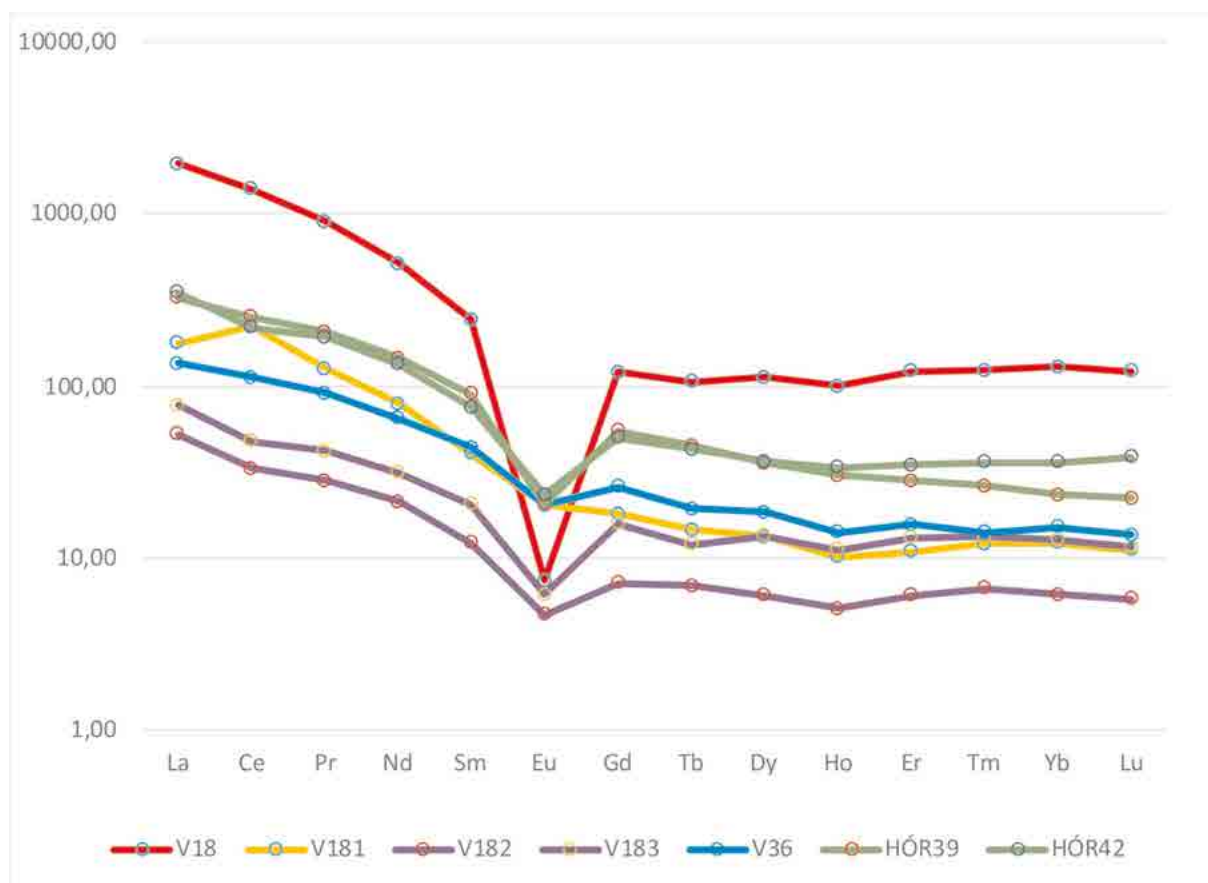
Mintázás és anyagvizsgálatok

A HFSE-hordozó ásványok mérete 10 μm alatti, ezek szabad szemmel, sőt vékonycsiszolatban sem láthatóak. A mintázáshoz ezért felhasználtuk a ME GTI szcintillációs detektorát, amivel a Th koncentrációja in situ mérhető. A főelem-összetételt és egyes nyomelemeket XRF elemzéssel mértük, a HFSE-eket és egyes további nyomelemeket egyes kiválasztott mintákon az ALS laboratóriuma elemezte Li-borítós és savas feltárás után ICP-MS módszerrel. Az ásványos összetételt XRPD módszerrel, vékonycsiszolatban optikai mikroszkópiával és felületi csiszolatban elektron-mikroszondával tanulmányoztuk.

A vesszős-völgyi előfordulásban a HFSE-hordozó ásványokat egy medence fációs rétegsorban (Hegyesetői Formáció), részben dolomitosodott mészkőbe települt, jellemzően 1–2 dm vastag, főként csillámokból álló rétegekben találtuk meg, de nem minden ilyen rétegben vannak jelen. A rétegek palásak, kétszeresen redőzöttek és vetőkkel szabdaltak, hosszabb távon nem követhetőek, de kontaktusaik jól feltártak. Itt lehetőségünk nyílt mintát venni (gamma-aktivitás alapján) magas

(V18), közepes (V181) és alacsony Th-tartalmú (V36) nem karbonátos rétegekből, valamint aránylag magas Th-tartalmú csillámos-karbonátos kevert anyagú rétegekből (V182 és V183).

A Bükk délkeleti részén főként a Közép-szék-lápa oldalaiban lévő útbevágások tárták fel az érintett üledékes eredetű képződményeket. A HFSE-hordozó ásványok itt tűzköves mészkőbe települt (Felsőtárkányi Mészkő Formáció), az előzőekhez hasonlóan néhány dm vastag és csillámokból álló, palás és redőzött rétegekben fordultak elő, a Felső-Kecske-váron azonban kevésbé deformált, kagylóhéjas homokkőben is megtalálhatóak voltak.



1. ábra. Az elemzett üledékes eredetű kőzetminták C1 kondritra normált RFF-tartalma

Ásványos összetétel

A fő kőzetalkotó ásványok minden esetben dioktaéderes csillámok (fengit és illit, változatos összetétellel és szerkezettel). Megjelenhetnek a palásságot átmetsző érkítőltésként is. Egyes mintákban a kvarc, az albit és a klorit, a karbonátosakban a kalcit, a HFSE-dús V18-as mintában a szmektit is kőzetalkotó mennyiségűek. Járulékos ásványként jelentősek a szilikátos anyaggal kevert vas-oxidok, olykor pirit utáni pszeudomorfózákban, valamint a titánoxidok és a fluorapatit. A V18 rétegének dolomitoidosodott mészkő mellékkőzetében üreg- és érkítőltésként találtunk vasmentes klinoklór és flogopitot, továbbá káliföldpátot.

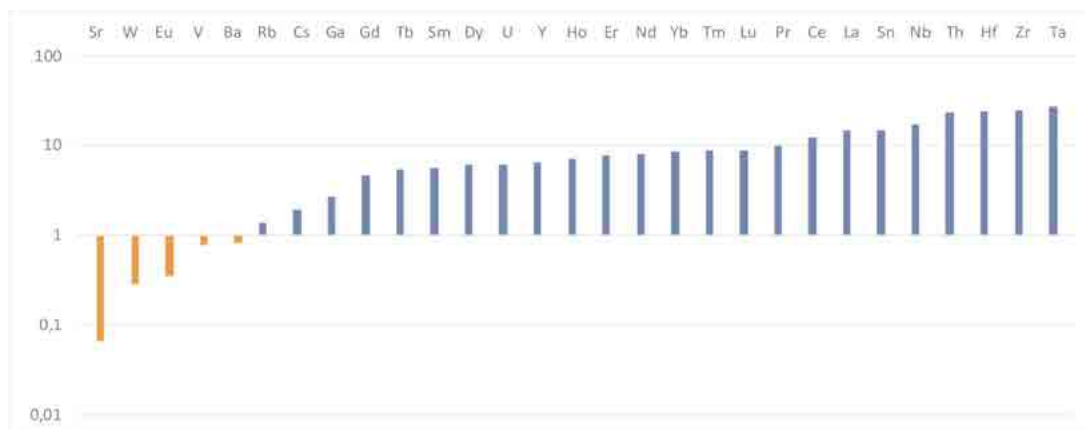
A μm -es HFSE-hordozó ásványok csak mikroszondával mért kémiai összetétel (EDX) alapján voltak azonosíthatóak. A RFF-ek legelterjedtebb hordozója a monacit-(Ce), mely a szövetben csillámok között hintve, olykor a vas-oxid-halmazok szegélyére növe fordul elő. A Nb és Ta leginkább titánoxidokba, a Zr pedig cirkonba épült be. Ezek sok esetben kevert halmazokként helyettesítenek korábbi szemcséket,

olykor pedig μm -vastag erekben hálózják át a közetmátrixot. A cirkon és a monacit $10 \mu\text{m}$ -nél nagyobb, részben saját alakú szemcséi előfordulnak a nem dúsult mintákban is. Egyes dúsult mintákban ezen felül további megfigyelt ásványok a Délkeleti-Bükkből a Ca-RFF-karbonátok (parisit vagy szinchizit) és RFF-karbonátok (bastnäsit), a Vesszős-völgyből pedig a Ti-Nb-RFF-oxidok (eszkinit vagy euxenit) és egy Ca-Th-foszfát (keralit). Foltokban vagy zónákban az apatit is tartalmazhat RFF-eket.

Kémiai összetétel

A HFSE-dúsulás a V18-as minta esetében kb. 1750 ppm össz-RFF + 140 ppm Y-, 3600 ppm Zr-, 320 ppm Th- és 200 ppm Nb- + 25 ppm Ta-koncentrációt jelent. Az elemzések igazolták, hogy a mintázáshoz felhasznált Th-dúsulás megfelelő indikátor, azonban elsősorban a Zr-mal korrelált a Hf-hoz hasonlóan, amelynek a koncentrációja eléri a Zr 2–3 t%-át. A nagyobb méretű, valószínűleg törmelékes cirkontöredékekben ugyanakkor általában nem volt EDX elemzéssel kimutatható a Hf. A monacitok esetében viszont éppen az ilyen jellegű szemcsékben volt kimutatható a Th és az U magasabb (>0,1 A%) koncentrációja, míg a $10 \mu\text{m}$ -nél kisebb, hintett vagy halmazbeli helyzetűekben jóval alacsonyabb volt.

Az üledékes kőzetekben ugyanazokat a geokémiai jellegzetességeket lehet megfigyelni, mint korábban a metavulkanitokban. A magas HFSE-tartalom együtt jár a viszonylag magas K- és alacsony Na-tartalommal, noha itt a K-ot javarészt nem földpátok tartalmazzák. A foszfátok (monacit) és a Ti-tartalmú oxidok HFSE-hordozó szerepe ellenére a Ti és a P kevesebb a HFSE-dús mintákban. A ritkaföldfém-tartalomban (1. ábra) megfigyelhető, hogy a dúsulás elsősorban a könnyű RFF-ekre vonatkozik, az Eu pedig a többi RFF-mel ellentétesen kevesebb, továbbá a karbonáttal kevert anyagú kőzetek RFF-tartalma jóval alacsonyabb a szilikátosakénál. A 2. ábrán további nyomelemek dúsulása is követhető a leginkább és legkevésbé érintett, nem karbonátos minták viszonyában. Itt a Sr hiánya a kalcit, az Eu hiánya pedig valószínűleg a földpátok hiányával függ össze a V18-as mintában. A HFSE-n kívül dúsult elemek közül a Ga-ot két esetben monacitban lehetett EDX elemzéssel kimutatni, az Sn-t viszont egyik ásványban sem észleltük.



2. ábra. Az elemzett nyomelemek aránya a V18-as (metaszomatizált) és a V36-os (el nem változott) mintákban

Következtetések

A mintázott kőzetek szövete és összetétele többszörös kőzetváltozások eredménye. A HFSE-dúsulást metasomatikus eredetűnek tartjuk, ez a kőzetváltozás a fenitesedés K-dús változatának tekinthető. A HFSE-hordozó ásványok apró mérete és a valószínűleg detritális jellegű nagyobb töredékektől eltérő kémiai összetétele is hidrotermális eredetükre utal. A szövetben sokszor kitöltő és helyettesítő helyzetű-

ek, és felülbélyegzik a palásságot, tehát a regionális metamorfózis ásványegyüttesénél és a szinmetamorf deformációnál fiatalabbak, azaz leghamarabb a késő-krétában alakulhattak ki. Miután a HFSE-dúsulást hordozó rétegek mellékkőzete mészkő vagy dolomit kimutatható HFSE-tartalom nélkül, azt kell feltételeznünk, hogy az elemek olyan oldatban szállítottak oda legalább 100 m-es nagyságrendű transzportútvonalon, amely a karbonátokkal nem lépett reakcióba, de egyes szilikát- és oxidásványokkal igen. Az oldat lényegében azonos lehetett minden előfordulásban; a létrejött ásványegyüttesek helyi jellegzetességei valószínűleg a befogadó kőzetek összetételi eltéréseire vezethetőek vissza.

Az oldat legvalószínűbb forrása egy alkáli magmás intrúzió, amelynek nincs felszíni kibúvása. A mobilizált elemegyüttes karbonatittra utal. Valószínű, hogy a hipotetikus intrúzió környezetében az észlelnél intenzívebb fenitesezés és nagyobb kiterjedésű és koncentrációjú HFSE-dúsulás jöhetett létre, vagyis a jelenség egy kutatásra érdemes telepcsoport indikációja. A kainozoos tektonikát figyelembe véve lehetséges azonban az is, hogy ezek a potenciális telepek már nem a megismert metasomatizált kőzettestek jelenlegi helye alatt találhatóak.

Irodalom

- British Geological Survey, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Deloitte Sustainability, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs (European Commission), TNO (2017): Study on the review of the list of critical raw materials, Final report. — URL: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/08fdab5f-9766-11e7-b92d-01aa75ed71a1/language-en> (2019. 07. 27.)
- GOODENOUGH, K. M.; SCHILLING, J.; JONSSON, E.; KALVIG, P.; CHARLES, N.; TUDURI, J.; DEADY, E. A.; SADEGHI, M.; SCHIELLERUP, H.; MÜLLER, A.; BERTRAND, G.; ARVANITIDIS, N.; ELIOPOULOS, D. G.; SHAW, R. A.; THRANE, K.; KEULEN, N. 2016: Europe's rare earth element resource potential: An overview of REE metallogenetic provinces and their geodynamic setting. — *Ore Geology Reviews* 72, 838–856.
- NÉMETH N., BARACZA M. K., KRISTÁLY F., MÓRICZ F., PETHŐ G. & ZAJZON N. 2016: Ritkaföldfém- és ritkaelem-dúsulás a Bükk hegység délkeleti részének vulkáni eredetű kőzetesteiben. — *Földtani Közöny* 146/1, 11–26.
- SZAKÁLL S., GYALOG L., KRISTÁLY F., FEHÉR B. & ZAJZON N. 2014: Ritkaföldfémek a velencei-hegységi granitoidokban és alkáli magmás kőzetekben. — In: SZAKÁLL S. (szerk.): Ritkaföldfémek magyarországi földtani képződményekben. *CriticEl Monográfia sorozat* 5, Milagrossa Kft., Miskolc, 67–90.

Példák a Háromkő Bt. mérnökgeofizikai tevékenységéből a geotechnikaifeladatok megoldásában: üregek, csúszások, sírhelyek, szennyezett területek vizsgálata

BUCSI SZABÓ LÁSZLÓ¹, KASÓNÉ MAKRAI ALIZ¹ PUSZTA SÁNDOR²

¹Háromkő Bt. 3519 Miskolc, Esze Tamás u.1/A,

²Fractal Bt.; www.fractal.hu

bucsil@t-online.hu

A Háromkő Bt. 25 éves tevékenysége során 225 szakmai jelentést készített, melyek közül 65 kisebb-nagyobb munka geotechnikai jellegű, 27 munka szennyezéssel, hulladéklerakóval kapcsolatos; a többi vízbázisvédelmi és vízkút telepítését célzó kutatás volt. A mérésekben kezdettől elektromos ellenállás szondázást és szelvényezést alkalmaztunk, majd ezeket kiegészítettük földmágneses, GP, földradar módszerrel. A környezetvédelem, geotechnika vizsgálatai során egyre hatékonyabb és egyre népszerűbb lett a földradar, mert a mérnöki gyakorlat és a „köznép” ezt hamar a szájára vette. Berendezésünk GSSI (USA), SIR3000 adatgyűjtővel, feldolgozás Radan–6.6 programmal.

Bemutató anyagunkban több projekt szerepel, melyek közül kiemelhetők:

1. Avas–Észak rekonstrukciós projekt, melyben a kissé lepusztult, s egykor népszerű városrész felújítási tervét azzal segítik elő vizsgálataink (2012–13), hogy felfedeztünk számos elfeledett pincét, üreget, omlásra hajlamos domboldalt. (Eddig nem történt semmi.)

2. Szintén felújítást megelőző vizsgálat volt a tállyai Maillot-kastély udvarán végzett vizsgálat (2012), ahol igazolódott, hogy a radarfelvétel hiperbola anomáliái pincéhez, tufába vájt üregekhez kapcsolódnak. Szelvényeink mentén végzett talajmechanikai fúrások megnyugtattak, hogy radaramplitúdó-kontrasztjaink az agyagos üledék és kovás riolittufa határán képződtek. (A felújítás megtörtént.)

3. A Füzesabony Zöld Város projekt radarméréseinek feldolgozásában UNGVÁRI Ottó kolléga hasznosan alkalmazta a dekonvolúciós szűrést a háttérzajok eltüntetésében.

4. A miskolctapolcai Hell-park építését megelőzően (2014) a mélygarázs területén bizonyítottuk, hogy az a karsztot, vízbázist nem veszélyezteti; a felszín alatt 3–4 m vastagságú összefüggő agyag települ. (Azóta ragyogó üdülőközpont épült itt.)

5. Berhidai iszaptárolók felett végzett ellenállás és GP szelvények (2014) bizonyították a zagy rendkívül koncentrált veszélyesanyag-tartalmát (abban előforduló Cu-, Zn-tartalommal korrelálható értékeket), s azt, hogy a földolomit, mint víztározó veszélyes közelségben települ. (Nem volt reakció, pedig megpendítettük, hogy a zagyot ritkaelem-feldúsulás miatt is jó lenne megvizsgálni.)

6. Előbbihez hasonló céllal, a szennyezés felderítése érdekében végeztünk méréseket (2019) Sajókaza Zöld-Völgy Hulladéklerakó területén, ahol a gyanú nyomában kiderült, hogy az általános hulladéktestben csurgalékvíz-zsákok alakultak ki a drénezés eltömődése következtében. (Jólesett, hogy a megrendelő hasznosnak ítélte tevékenységünket.)

7. Legyesbénye község határában, eddig kiderítetlen módon letarolt zsidó temető területén a HFPJC (NY) alapítvány megrendelésére (2018) végeztünk sűrű hálózatban radaros felderítést, kvarcitost riolittufa környezetben, 270 MHz és 900 MHz antennákat használva. A szelvények párhuzamosítása nem vezetett meggyőző eredményre, viszont a 3D ábrázolás reményteljes volt 270 MHz esetén is (MAKRAI Aliz). Különösen a nagyobb frekvenciák és PUSZTA Sándor saját Hilbert-transzformációs programja lett eredményes; a térképen közel É–D orientációjú, csaknem párhuzamos anomáliaszorozat tűnik fel, melyeket megbolygatott kőzetként, potenciális sírhelyekként értelmeztünk.

8. A mérnöki gyakorlat számára fontos kőbányászati radarmérésünk a Miskolc Mexikó-völgy Mész-kőbánya egyik felső szintjén készült (2019). A kőzet és üregesedés határát nagy amplitúdó-kontrasztok jelzik. 3D-feldolgozás és értelmezés arra vezetett, hogy a készülő szállító- és zúzómű alapozásának tervezésében hasznos lesz, hogy a mész-kő fellazulását, kiterjedt karsztos üregrendszerét sikerült felderíteni. (A kontroll-magfúrás most megy, lehet szurkolni.)

A felszín alatti víz sérülékenység vizsgálata a nyugat-mecseki karszt területén

FARICS ÉVA, HALÁSZ AMADÉ, HÁMORNÉ VIDÓ MÁRIA

Pécsi Tudományegyetem, Földtani és Meteorológiai Tanszék
faricse@gamma.ttk.pte.hu

A Nyugat-Mecsek területén a permokarbon és alsó-triász törmelékes képződményekre mintegy 50 km² kiterjedésben középső-triász karbonátos sorozat települ, mely gazdaságilag hasznosítható mennyiségben tárol karsztvizet. Ennek hasznosítása már évszázadokkal ezelőtt megkezdődött, védelmének vizsgálata ugyanakkor sokkal újkeletűbb. Jelen munkában a területen lévő nyolc forrás (Paplika-forrás; Kisaplika-forrás, Mészégető-forrás, Vízfő-forrás; Gyula-forrás; Kánya-forrás; Anyák-kútja; Tettye-forrás) vízgyűjtő területének sérülékenységgel vizsgálatával lehetőség nyílt a szennyezésekre leginkább érzékeny területek lehatárolására, a védőterületek határainak pontosabb definiálására.

A sérülékenységgel vizsgálathoz a COP (Concentration, Overlying layers and Precipitation) módszert alkalmaztuk (VÍAS et al. 2006), a térképek előállítását térinformatikai rendszerrel végeztük (ArcGIS). A litológiai térkép előállításához a Nyugat-Mecsek 1:25 000-es földtani térképet (CHIKÁN et al. szerk. 1984) használtuk. A területen lévő formációkat litológiai jellegük alapján soroltuk be. A vízgyűjtő területén lévő talajokat szöveti bélyegek (agyag, vályog, homok) és vastagság adatok alapján ábráztuk. Az ilyen módon készített litológiai és talajtérkép indexének összegéből számíthatóvá vált az O faktor, mely a víztartó védelmét számszerűsíti. Azonban a víztartó védelmét csökkenthetik az előforduló karsztos formák (dolina, víznyelő) valamint a nagy lejtőszögű területek és a növényzet hiánya. A karsztos formákat (dolinák, víznyelők) RÓNAKI (1973) 1:10 000-es morfológiai térképe alapján digitalizáltuk. A lejtőszög–növényzet térképet HGT raszterek (a NASA SRTM projektjében készült, globális magassági adatokat tároló fájlok) feldolgozásával állítottuk elő. A területen mindenhol természetes vagy mesterséges növényzet található (HOYK 2001). A karsztfelszín és a lejtőszög–növényzet térkép indexének szorzata adta a C faktort. A csapadék területi eloszlása és mennyiségi változása szintén a víztartó védelmének csökkentésében játszik fontos szerepet. Mértéke a Nyugat-Mecsekben 400–800 mm közötti, azaz a P faktor értéke a területen belül nem változik. A COP faktort, vagyis a sérülékenységi indexet a C, az O és a P faktorok szorzata adja meg. Minél kisebb az értéke, annál sérülékenyebb a terület.

A Tettye-forrás vízgyűjtője kiemelt szerepet játszik a térség vízellátásában, ezért sérülékenysége vizsgálata különösen fontos. Eredményeink alapján a terület COP indexe alacsony (0–1 között változik), ennek alapján sérülékenysége a magas - nagyon magas tartományba esik. Minimális védelem csak azon részeken van, melyek tengerszint feletti magassága a legnagyobb (Tubes–Misina), vagy ahol a mészkő mellett kevésbé karsztosodó dolomitosodott kőzetek is találhatóak. Az eredmények azt mutatják, hogy a Nyugat-Mecsek karsztjának legkevésbé sérülékeny része a Paplika-forrás (Abaligeti-barlang) vízgyűjtő területe. Ennek oka elsősorban az, hogy a vízgyűjtő egészének csak egy része áll karbonátos kőzetekből, nagyobb része egyéb, jobbára vízrekesztő jellegű kőzetekből épül fel. Mindemellát a karbonátos rétegek egy részét lösz is fedi, ami részben védő szerepet lát el. A Paplika forrástól K-re lévő Vízfő-forrás vízgyűjtőjének D-i része szintén alacsony sérülékenységi indexű, mely elsősorban a területén lévő nem karbonátos, vízrekesztő jellegű képződményekkel, valamint a nagyobb talajvastagsággal magyarázható. Ugyanakkor vízgyűjtőjének É-i felén előforduló karbonátos kőzetek erősen karsztosodtak, bennük üregrendszerek és barlangok fejlődtek ki, amelyek nagymértékben sérülékenyek.

A Nyugat-Mecsek további vízgyűjtő területeinek sérülékenysége is többnyire magas, ez alól kivételt képeznek azon területek, ahol a litológiai felépítésben karbonátos kőzetek mellett vízrekesztő jellegű rétegek is jelen vannak, vagy ahol a talaj elég vastag a megfelelő védőfunkció ellátásához.

Eredményeinket a korábbi években végzett vízfestések adataival validáltuk (RÓNAKI 2007). Ennek alapján jól látható, hogy a magas-nagyon magas sérülékenységgű területeken a betáplált területtől a festék viszonylag rövid idő alatt megjelent a forrásban, mely igazolja, hogy egy bekövetkező szennyezés esetén a szennyező anyag is hasonlóan viselkedne.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás részben az EU, az Európai Szociális Alap (EFOP-3.6.1.-16-2016-00004), valamint az NKFIH FIKP 20765-3/2019/FEKUTSTRAT program támogatásával valósult meg. Köszönetünket szeretnénk továbbá kifejezni a Mecsekérc Zrt. és az MTA ATK TAKI-nak az adatszolgáltatásért és szakmai segítségért.

Irodalom

- CHIKÁN G., CHIKÁN G-NÉ, KÓKAI A. 1984: A Nyugati-Mecsek földtani térképe 1:25 000. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest
- HOYK E. 2001: A Nyugat-Mecsek növényzetének értékelése optimalizációs térkép alapján. Földrajzi Konferencia, Szeged.
- RÓNAKI, L. 1973: A mecseki karszt 1:10 000-es méretarányú vízföldtani, morfológiai és speleológiai térképe. Hidrológiai Tájékoztató, 78–81.
- RÓNAKI L. 2007: A mecseki karszton történt víznyomjelzések áttekintése. Karsztfejlődés, XII, 91–103.
- VÍAS J.M., ANDREO B., PERLES M.J., CARRASCO F., VADILLO I., JIMÉNEZ P. 2006: Proposed method for groundwater vulnerability mapping in carbonate (karstic) aquifers: The COP method. Hydrogeology Journal, 14, 912–925.

A Geodéziai és Geofizikai Intézet szerepe és küldetése a hazai földtudományban

KOVÁCS ISTVÁN JÁNOS és a GGI kollektívája

Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Geodéziai és Geofizikai Intézet
kovacs.istvan.janos@mta.csfk.hu

Az Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Geodéziai és Geofizikai Intézete (GGI) egy nagy múltú, nemzetközileg elismert kutatóhely. A geodéziai és geofizikai kutatások első intézménye az 1762-ben létrehozott „Academia Montanistica” volt. Az intézmény a trianoni békeszerződés után került Sopronba. Az elődintézményekben — a Geodéziai Laboratóriumban és a Geofizikai Laboratóriumban — folyó munkát olyan nevek fémjelezték, mint Christian DOPPLER, KÁRMÁN TÓDOR, SIMONYI KÁROLY, KÁNTÁS KÁROLY és TÁRCZY-HORNOCH ANTAL. A Földrengésjelző Intézetet 1904-ben alapította KÖVESLIGETHY RADÓ Budapesten. A jelenlegi Geodéziai és Geofizikai Intézet ezen három kutatóhely egyesítésével jött létre 1971-ben. Ezek a szellemi műhelyek alapozták meg az intézeti kutatások témáját és mutattak irányt a következő generációknak. A hazai úrkutatás megalapozásában kiemelt jelentőségű volt a Széchenyi István Geofizikai Observatórium létrehozása 1957-ben, amely mind a mai napig alapvető adatokat szolgáltat nemzetközi kooperációkban a földi elektromágneses tér kutatásához és legújabbban úrfizikai kísérletek elvégzésére is alkalmas laboratóriummal bővül.

A GGI az elmúlt években jelentős fejlődésen ment keresztül, amely megnyilvánult a pályázati sikerekben, az emelkedő tudományos eredményességben és az infrastrukturális beruházásokban. Az intézet kiterjedt hazai

és nemzetközi kapcsolatrendszerrel rendelkezik, ami kiváló alapot nyújt a középtávú fejlődéshez. Célunk, hogy az intézet Közép-Kelet-Európa egyik meghatározó és megkerülhetetlen földtudományi intézete maradjon az elkövetkezendő években is, aminek tevékenysége lefedi a Föld körüli térségtől egészen a föld magjáig terjedő kutatásokat. Az elmúlt évek földtudomány tekintetében kedvezőtlen fejleményei következtében a GGI hazánk egyetlen és legnagyobb földtudományi alap kutatással foglalkozó országos lefedettségű intézete lett.

A GGI geodéziai alap kutatásokat folytat a geodinamika, a geomatematika és a fizikai geodézia területén, különösen:

- a Kárpát–Pannon régió nehézségi erőterének és geodinamikájának kutatásában;
- földtani veszélyforrások feltárásában, valamint ipari létesítmények és környezetük megfigyelésében, deformáció- és mozgásvizsgálatában;

- geodéziai alap kutatásokhoz elméleti vizsgálatok végzésében és a kutatási eredmények hasznosításához szükséges új, modern matematikai modellek, módszerek megalkotásában;

- a Sopronbánfalvi Geodinamikai Observatórium üzemeltetésében, szükség esetén új geodinamikai observatóriumok vagy megfigyelőállomások létesítésében.

A GGI kutatási tevékenysége a geofizikai alap kutatás területén a Föld magjától a magnetoszféra határáig terjedő térrész fizikai állapotának, folyamatainak megismerését öleli fel a következő kiemelt területeken:

- a szilárd Föld mélyszerkezetével, folyamataival, elsősorban a Kárpát-medence szeizmológiai és elektromágneses kutatása;

- a Föld semleges és ionizált légköri tartományaiban lejátszódó fizikai folyamatok vizsgálatával, különböző légköri tartományok közötti csatolási mechanizmusok feltárása;

- az űrfizika terén a helioszféra, a földi magnetoszféra és más bolygók magnetoszférája megfigyelésével, modellezésével;

- a Nemzeti Szeizmológiai Hálózat feladatainak ellátásával, a Föld plazmakörnyezetének diagnosztizálásával, illetve az ezekhez kapcsolódó observatóriumi tevékenységgel, valamint interdiszciplináris környezettudományi kutatásokkal, mérési, adatfeldolgozási eljárások fejlesztésével.

Az absztrakt elkészítéséhez az alábbi weboldalakat is felhasználtuk: www2.ggki.hu, lendulet.ggki.hu.

A Balaton üledékképződésének ásványmérlege

ROSTÁSI ÁGNES¹, FODOR MELINDA¹, RÁCZ KORNÉL¹, TOPA BOGLÁRKA^{2,3},
WEISZBURG TAMÁS², PÓSFALVI MIHÁLY¹

¹Pannon Egyetem, KTI, Föld- és Környezettudományi Intézet Tanszék

²Eötvös Loránd Tudományegyetem, Ásványtani Tanszék

³Magyar Természettudományi Múzeum, Ásvány- és Kőzettár
rostasiagnes@gmail.com

The special features of Lake Balaton provide an opportunity to study a freshwater „carbonate factory”. In the vicinity of the lake, most of the tributaries derived from carbonate, mixed carbonate-siliciclastic (marly) layers of the catchment area (BUDAI & HAAS 1997). The inflows transport calcite, dolomite and dissolved material into the lake.

The aim of our work was to clarify the origin of similar carbonate phases (biogenic or abiogenic, allochthonous or autochthonous) and to estimate the amount of minerals involved in sedimentation (mineral phases from different sources and carbonate mineralization in lakewater). The properties and concentrations of allochthonous minerals, in particular the compositions, particle sizes and habits of detrital calcite and dolomite were examined by depositing and filtering particulate material from water samples of selected major inflows. Resuspended, wind-transported minerals from surrounding areas and distant sources (eg. Saharan dust) can play a role

in sedimentation (VARGA et al. 2013). The contribution of atmospheric processes to the mineral budget was assessed by collecting rain and using available data on dry deposition. Both the mineralogical character and the amount of particles delivered by streams and through the atmosphere were similar, and formed a minor fraction of annual sediment load (~3–3% by mass). Since the inflowing water contains high concentrations of Ca^{2+} , Mg^{2+} and HCO_3^- (with a Mg/Ca mol ratio ranging from 1 to 4), Mg-bearing calcite (with 2 to 17 mol% MgCO_3) continually precipitates in the lake, and represents the largest proportion of sediment. According to XRD measurements, the Mg content of calcite increases from West to East, in parallel with changes in water chemistry. Dolomite is also present as a minor phase, and in the western part of the lake it typically produces a split 104 peak in X-ray diffractograms, suggesting two distinct sources: while stoichiometric dolomite is allochthonous, a Ca-rich dolomite fraction probably forms in the lake. Mg-bearing calcite precipitating in the lake was found by far the largest contributor to sediment formation, with an estimated accumulation of about 0,8–2 mm consolidated sediment annually (~94% of the sediment is carbonate formed within the lake).

A szén ciklust meghatározó számos fontos tényező egyike az ásványképződés folyamata, melyben a karbonát-ásványok kialakulásának kiemelkedő jelentőség tulajdonítható (TALBOT 1990). A különböző üledékes ásványfázisok képződése és lerakódása szorosan összefügg a víz kémiai paramétereivel, melyeket a földtani környezet geokémiai jellegzetességei befolyásolnak. Mivel a legtöbb karbonát képződését élő szervezetek szabályozzák, a mineralizáció folyamata bonyolult kapcsolatban áll a vízi ökoszisztémákkal is (DITTRICH & OBST 2004).

A természetes rendszerben található víztestek fizikai és kémiai tulajdonságai a vízgyűjtőterület földtanával függenek össze. A karbonátot tartalmazó kőzetek szeretlen geokémiai tulajdonságai és mállása meghatározza a lehordási területről származó ásványtársulások összetételét és a vízben oldható komponensek koncentrációját, melyek a vízben végbemenő ásványosodási folyamatokra is hatást gyakorolnak (FEDO et al. 1995, TUCKER & WRIGHT 1990). A Balaton környezetében a befolyók nagy része a vízgyűjtő terület karbonátos, kevert karbonát-sziliciklasztos (márgás) rétegeiből ered (BUDAI et al. 1993, 1999; CSILLAG et al. 1995; HAAS et al. 2012). A vízfolyások a törmelékes eredetű kalcitot, dolomitot és oldott anyagot a tóba szállítják. A környező karbonát tartalmú képződmények mállása speciális környezeti feltételeket hozott létre a jelentős mértékben dolomitot tartalmazó lehordási területen, amely hozzájárul a tó egyedülálló kémiai paramétereinek (pl. pH=8,5; nagy oldott Mg/Ca arány) kialakulásához. A víz kémiai paramétereit a karbonátok oldódása/kicsapódása és a párolgás határozza meg. A befolyók nagy koncentrációban tartalmaznak Ca^{2+} , Mg^{2+} és HCO_3^- ionokat. Termodinamikailag a tó vize karbonátokra túltelített (CSERNY 1987, MÁTÉ 1987, CSERNY & HERTELENDI 1995).

Munkánk során megvizsgáltuk a tó ásványképződési folyamatait befolyásoló, felszíni vízfolyásokból származó szeretlen komponensek mennyiségének évszakos változásait. A tóvíz és a befolyók mintavétele során néhány fizikai és kémiai paramétert (hőmérséklet, pH, elektromos vezetőképesség, oldott oxigéntartalom) helyszíni mérések segítségével határoztunk meg. A vízben oldott anyagok koncentrációját induktív csatolású optikai emissziós spektrometria (ICP-OES), ionkromatográfia (IC) és titrimetria alkalmazásával mértük meg. A vízből szűrt részecskék ásványos összetételét röntgen-pordiffrakcióval (XRD) elemeztük. Az ásványfázisok eloszlásának pontosabb megértéséhez korábbi, befolyókból származó és balatoni minták üledékéről készített archív XRD felvételek kiértékelésével egészítettük ki a kutatást (TOMPA et al. 2014). Az eredmények alapján Ny–K irányban a vízkémiai paraméterek változásával párhuzamosan nő a kalcit Mg-tartalma. A kalciton kívül a lebegőanyag kis mennyiségben dolomitot is tartalmaz. A tó egyes pontjain vett mintákban a d104 csúcs felhasadása alapján feltételezhető, hogy a dolomit két forrásból származik: egy közel sztöchiometrikus változat allochton eredetű, míg egy Ca-gazdag változat valószínűleg a tóban, elsősorban annak keleti medencéjében képződik.

A tó „ásványmérlegének” becsléséhez figyelembe vettük a légkörből származó részecskéket, mivel az üledékképződés folyamatában a környező területekről és távoli forrásokból (pl: szaharai por) származó reszuszpendált, szél által szállított ásványok szerepet játszhatnak (VARGA et al. 2013, 2014). Egy éven keresztül mértük az esővízminták szilárd anyagát, valamint felhasználtuk az Országos Légszennyezettség MÉRŐHÁLÓZAT (OLM) száraz ülepedésre vonatkozó adatbázisát.

A fentiek alapján a balatoni üledék szeretlen komponenseit tekintve évi $\sim 0,8\text{--}2$ mm konszolidált üledék képződése becsülhető, attól függően, hogy a vízben kiváló kalciumszemcsék ülepedési idejét 7 (0,8 mm) vagy 3 (2 mm) nappal számoljuk. Az összes lerakódó szeretlen anyag kb. 94%-át a tóban képződött karbonát alkotja.

A projekt megvalósítását az NKFIH PD121088 és a K116732 pályázatai támogatták.

Irodalom

- BUDAI, T., CSÁSZÁR G., CSILLAG G., DUDKO A., KOLOSZÁR L., MAJOROS Gy. 1999: A Balaton felvidék földtana (Magyarázó a Balaton-felvidék földtani térképéhez, 1:50 000). [Geology of the Balaton Highland (Explanation to the Geological Map of the Balaton Highland, 1:50000)]. A Magyar Állami Földtani Intézet alkalmi kiadványa, Occasional Papers of the Geological Institute of Hungary 197, 171–257.
- BUDAI, T. & HAAS, J. 1997: Triassic sequence stratigraphy of the Balaton Highland. — *Acta Geologica Hungarica* 40/3, 307–335.
- BUDAI, T., LELKES, Gy., PIROS, O. 1993: Evolution of Middle Triassic shallow marine carbonates in the Balaton Highland (Hungary). — *Acta Geologica Hungarica* 36/1, 145–165.
- CSEERNY T. 1987: A Balaton aktuálgeológiai kutatásának eredményei. [Results of actuo-geological research into Lake Balaton]. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1985. évről*. Budapest, Hungarian Geological Institute, 343–365.
- CSEERNY, T. & HERTELENDI, E. 1995: Results of isotope-geochemical studies in sedimentological and environmental geologic investigations of Lake Balaton. — *Acta Geologica Hungarica* 38/4, 355–376.
- CSILLAG, G., BUDAI, T., GYALOG, L. & KOLOSZÁR, L. 1995: Contribution to the Upper Triassic geology of the Keszthely Mountains (Transdanubian Range), western Hungary. — *Acta Geologica Hungarica* 38/2, 111–129.
- DITTRICH, M. & OBST, M. 2004: Are picoplankton responsible for calcite precipitation in lakes? — *Ambio* 33, 559–564.
- FEDO, C. M., NESBITT, H. W. & YOUNG, G. M. 1995: Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. — *Geology* 1, 921–924.
- HAAS, J., BUDAI, T. & RAUCSIK, B. 2012: Climatic controls on sedimentary environments in the Triassic of the Transdanubian Range (Western Hungary). — *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 353, 31–44.
- MÁTÉ F. 1987: A Balaton-meder recens üledékeinek térképezése. [Mapping of modern Lake Balaton bottom sediments]. — *Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1985. évről*. Budapest, Hungarian Geological Institute, 367–379.
- TALBOT, M. R. 1990: A review of the palaeohydrological interpretation of carbon and oxygen isotopic ratios in primary lacustrine carbonates. — *Chemical Geology* 80/4, 261–279.
- TOMPA, É., NYIRŐ-KÓSA, I., ROSTÁSI, Á., CSEERNY, T. & PÓSEAI, M. 2014: Distribution and composition of Mg-calcite and dolomite in the water and sediments of Lake Balaton. — *Central European Geology* 57, 113–136.
- TUCKER, M. E. & WRIGHT, V. P. 1990: *Carbonate Sedimentology*. — Blackwell Scientific Publication 482 p.
- VARGA, G., KOVÁCS, J. & ÚJVÁRI, G. 2013: Analysis of Saharan dust intrusions into the Carpathian Basin (Central Europe) over the period of 1979–2011. — *Global and Planetary Change* 100, 333–342.
- VARGA, G., ÚJVÁRI, G. & KOVÁCS J. 2014: Spatiotemporal patterns of Saharan dust outbreaks in the Mediterranean Basin. — *Aeolian Research* 15, 151–160.

A metánhidrát szerepe az Erdélyi-medence gázainak képződésében

UNGER ZOLTÁN^{1,2}, DAVID LECLAIR², GYŐRFI ISTVÁN³

¹ELTE-SEK-TTK - Szombathely,

²O&GDC Kft. – Budapest,

³RomGaz - Marosvásárhely

unger.zoltan@sek.elte.hu

Az Erdélyi-medence az eddigi elképzelések szerint egy szigetív mögötti-, háton hordott medence, amely vastag kéreggel rendelkezik (KRÉZSEK et al. 2010). E miatt egyben hideg medencének tekinthető, amelyben jelentős mennyiségű középső-badeni kősó és biogén metán található. Ez az egységnyi közettérfogatra vetített gázmennyiség jelentősen meghaladja a világtárat, amely a sóképződést követő medence üledékeihez köthető. Ez azt sugallja, hogy a metán több forrásból kell, hogy származzon.

A metán elsődleges forrását, köztudottan a medencét kitöltő 3–4 000 m vastag üledék szerves anyagának biodegradációja képviseli.

A másodlagos metánforrás az egykori eltemetett mélytengeri sós tavakhoz köthető, amelyben metántermelő baktériumok jelentős mennyiségű biogén gázt termeltek (MedRIFF 1995, UNGER & LECLAIR 2017, 2018).

A harmadlagos metánforrás véleményünk szerint a metánhidrátok (MH) disszociációjához köthető. Nemcsak bizonyított, de meg is mért az a metán mennyiség (MedRIFF 1995, KARISIDDAIAH 2000), amely kilép és elhagyja a fentebb említett mélytengeri sós tavakat, belépve a normál sós tengervízbe.

Felmerül a kérdés mi lesz e metánbuborékok sorsa?

Mivel hideg medencéről van szó, a mélytengeri sós tavakból kilépő apoláris metánmolekula az adott nyomáson és hőmérsékleten befagy (endoterm reakció), metán klatrátokat képezve a poláris vízmolekulákkal. A folyamatos metán-utánpótlás földtani léptékben — a késő-badenitől a késő szarmatáig — jelentős metánhidrát-mennyiséget eredményez, amely stabil marad és megőrződik mindaddig, amíg a termodinamikai potenciál nem változik. A Keleti-Kárpátok vulkanizmusának megjelenésével, megnövekedett a hőfluxus, amely elindította a metánhidrátok disszociációját.

Így $1 \text{ m}^3 \text{ MH-ból} = 0.8 \text{ m}^3 \text{ édesvíz} + 164 \text{ m}^3 \text{ CH}_4$ képződik.

Tekintettel arra, hogy ez már exoterm reakció, jelentős túlnyomás alakul ki, amely a metánt a rezervoárok felé préseli, létrehozva a migrációt és a szarmata homokkövek feltöltődését. A keletkezett édesvíz pedig felhígítja az eredeti sós rétegvizeket (120–200 g/l), lecsökkentve azok koncentrációját 7–12g/l-re. Az Erdélyi-medencében számos ilyen szénhidrogén-mezőt találunk, amelyben közel édesvízű a rétegvíz: Mezőgerebenes–Dobra (Grebenișu de Câmpie-Dobra), Póka (Păingeni), Koronka (Corunca), Fületelke (Filitelnic), Nyárádmagyaró (Magherani), Nyárádszentimre (Eremieni), Szászlekenca (Lechința), Mezősámsond (Șincai), Oláhszentlászló (Laslău Mare), Magyarsáros (Deleni), Harangláb (Hărănglab).

Tehát, véleményünk szerint az Erdélyi-medence metánmennyisége három forrásból származik. Az első a közismert szerves anyag biodegradációja, a második a mélytengeri sós tavakban felhalmozódott metán és harmadik e sós mélytengeri tavakból kiszökő és befagyó metánból, amely metánhidrát formájában évmilliókig megőrződhetett.

További kérdés, hogy melyik forrás milyen mennyiséget generált az Erdélyi-medencében, mert az alapján a három forrást rangsorolni is lehet.

Irodalom

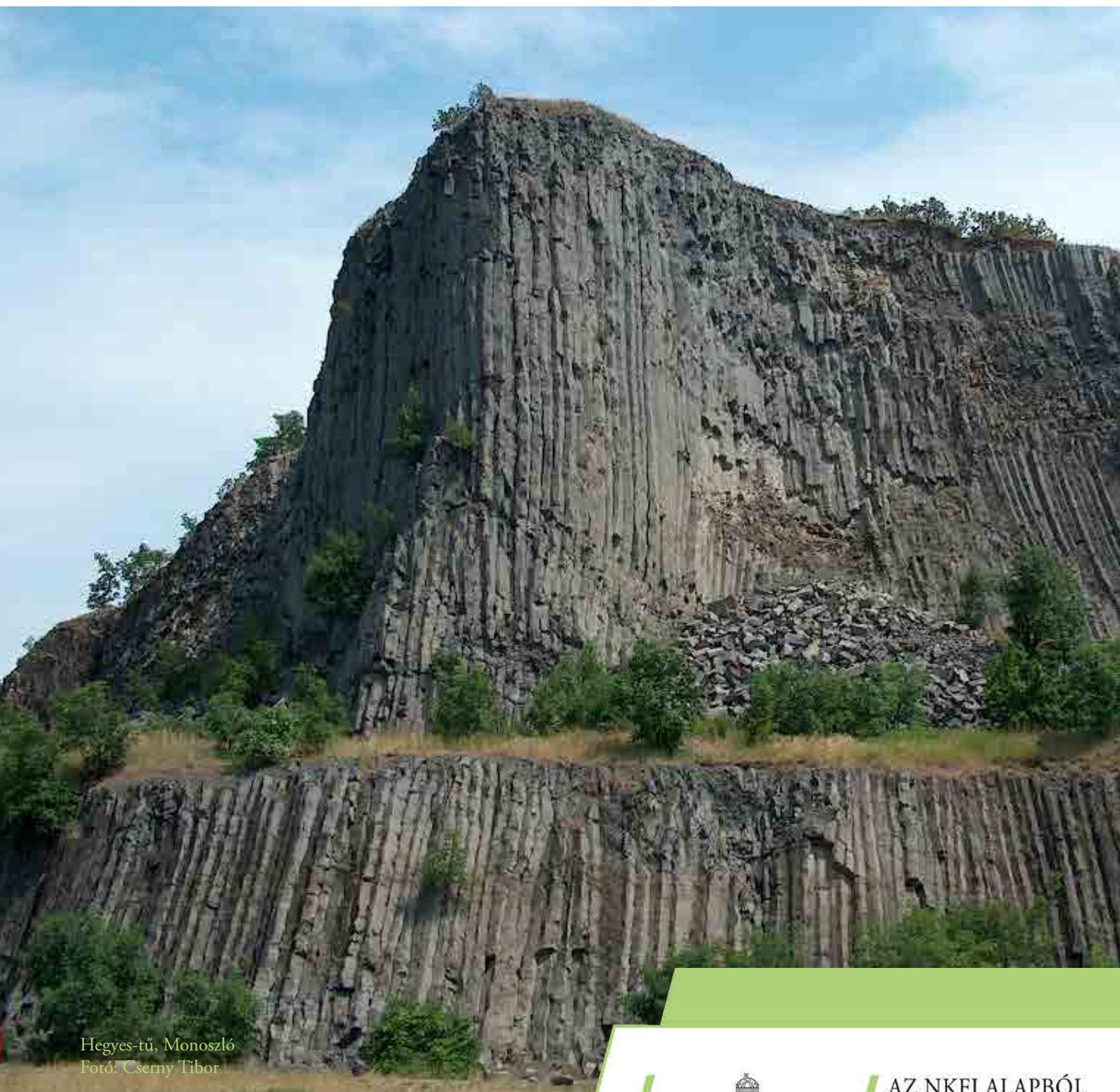
- KARISIDDAIAH, S. M. 2000: Diverse methane concentrations in anoxic brines and underlying sediments, eastern Mediterranean Sea. — *Deep-Sea Research I* 47, 1999–2008.
- KRÉZSEK, Cs., FILIPESCU, S., SILYE, L., MAȚENCO, L. & DOUST, H. 2010: Miocene facies associations and sedimentary evolution of the Southern Transylvanian Basin (Romania): Implications for hydrocarbon exploration. — *Marine and Petroleum Geology* 27, 191–214.
- MedRIFF Consortium, 1995: Three brine lakes discovered in the seafloor of the Eastern Mediterranean. — *EOS, Transactions of American Geophysical Union* 76, 313 p.
- UNGER, Z. & LECLAIR, D. 2017: Parallel Salt and Methane Generation, Possible Paradigm Shifts for Salt Generation in Deep Sea Processes. — *AAPG Search and Discovery Article #51392*
- UNGER, Z. & LECLAIR, D. 2018: Salt and Methane Generation Initiated by Membrane Polarisation. — *Earth Sciences* 7/2, 53–57. doi: 10.11648/j.earth.20180702.12

FÖLDTANI KIRÁNDULÁS A BALATON-FELVIDÉKEN



KIRÁNDULÁSVEZETŐ

BUDAI TAMÁS, HAAS JÁNOS



Hegyes-tű, Monoszló
Fotó: Cserny Tibor

A Magyarhoni Földtani Társulat és a Magyar Geofizikusok Egyesületének
2019. évi vándorgyűlése
Balatonfüred, 2019. 10. 3–5.

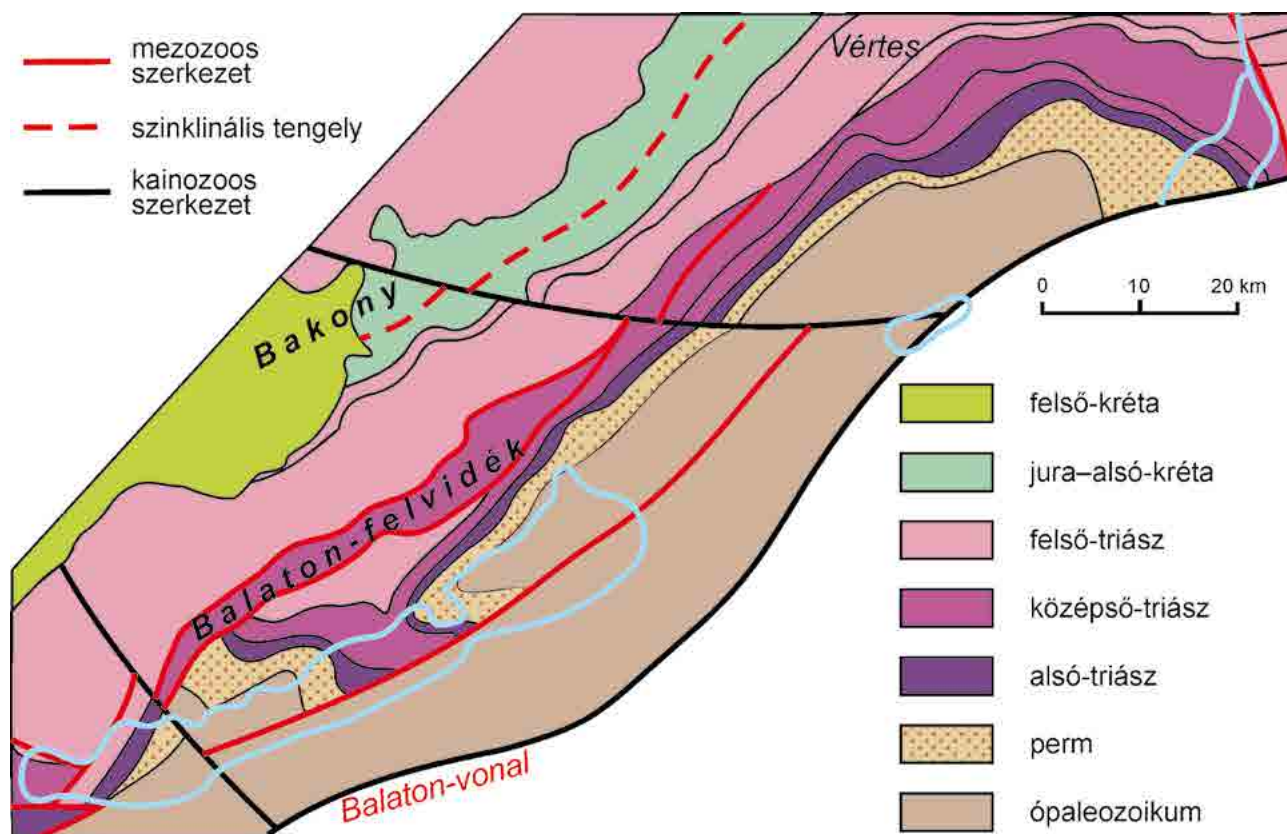


NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI
ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL

AZ NKFI ALAPBÓL
MEGVALÓSULÓ
PROGRAM

A Balaton-felvidék földtani helyzete

Szerkezeti helyzetét tekintve a Balaton-felvidék a Dunántúli-középhegységi-egységhez, azon belül a Bakonyhoz tartozik (1. ábra). A Bakonyt felépítő kőzetek közül a legidősebbek az ópaleozoikum során (kb. 500–360 millió évvel ezelőtt) képződtek, amelyek a variszkuszi hegységképződés során szenvedtek kis fokú metamorfózist. A hegység tömegének túlnyomó részét képező üledékes kőzetek a paleozoikum végén (a perm időszakban) és a mezozoikum idején képződtek (250–65 millió évvel ezelőtt). Az alpi hegységképződés során a kréta középső szakaszában, mintegy 100–105 millió évvel ezelőtt alakult ki a Dunántúli-középhegység jellegzetes, ÉK–DNY-i irányban elnyúlt szinklinális szerkezete (1. ábra), amelynek a délkeleti szárnyát alkotja a Balaton-felvidék. A kompressziós tektonika gyűrődéses deformációt, továbbá a Balaton-felvidék földtani felépítésében meghatározó szerepet játszó hosszanti (a szinklinális tengellyel párhuzamos) feltolódások kialakulását is eredményezte. Az utóbbiak közül a legjelentősebb a Litéri-vonal, amely mentén a felső-triász képződményekre paleozoikumi vagy idősebb triász rétegek tolódtak fel. A feltolódást több szakaszán kísérik gyűrt redős szerkezetek, antiklinálisok és szinklinálisok (lásd később 1. megálló, Felsőörs, 3. ábra).

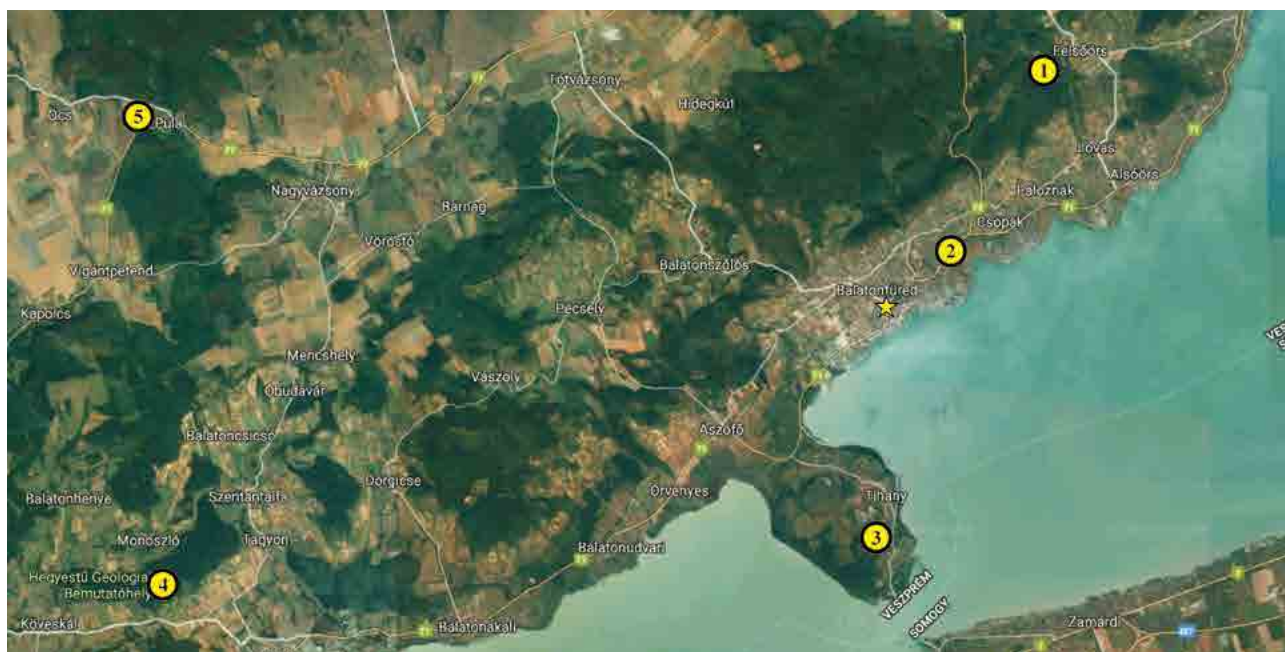


1. ábra. A Balaton-felvidék szerkezeti helyzete a Dunántúli-középhegységi-egység szinklinális szerkezetében (HAAS et al. 2010 nyomán, egyszerűsítve)

A kainozoikum során a középső-miocénben sekélytengeri karbonátok, a késő-miocén során pedig a Pannon-tó törmelékes üledékei rakódtak le a Balaton-felvidék területén. A késő-miocén–pliocén bazaltvulkanizmust kezdetben gőzrobbanásos (freatomagmás explóziós), majd effuzív működés jellemezte. A Balaton-felvidék mai felszíne a kvarter során alakult ki.

A kirándulás programja

A kirándulás megállópontjait úgy választottuk ki (2. ábra), hogy azok reprezentálják a Balaton-felvidék földtani felépítésében meghatározó képződményeket, illetve amelyek tájképi vagy egyéb szempontokból érdekesek, esztétikusak. A feltárások leírásánál elsősorban a Balaton-felvidék földtani kirándulásvezetőjét (BUDAI et al. 2002), a Magyarhoni Földtani Társulat „A múlt ösvényein” című kiadványát (HAAS szerk. 2010), valamint Magyarország földtani atlaszát (BUDAI & GYALOG szerk. 2010) használtuk fel.



2. ábra. A kirándulás útvonalterképe

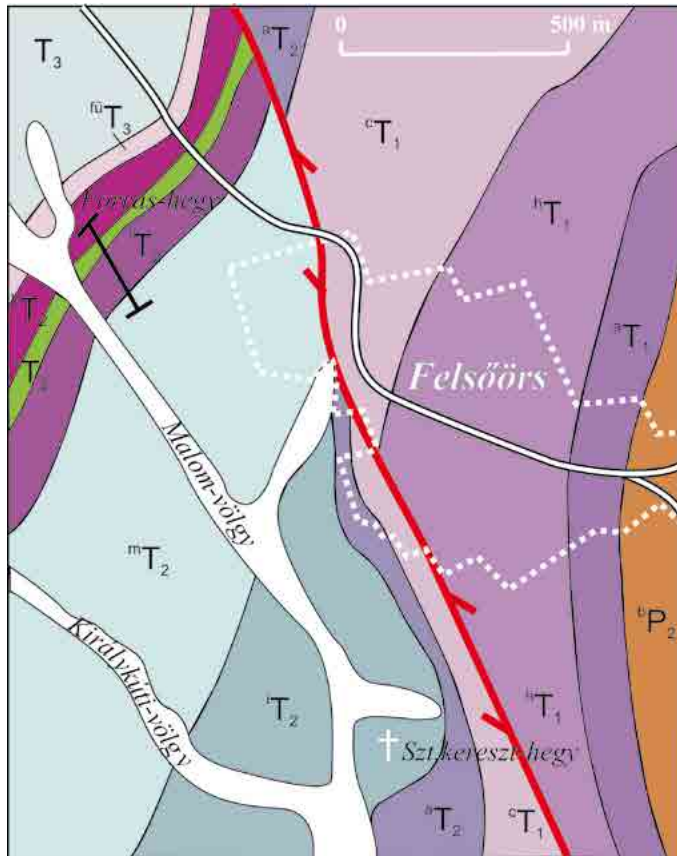
1. Balatonarács, vasúti bevágás: perm-triász határ; 2. Felsőörs, Forrás-hegy: középső-triász alapszelvény; 3. Tihany, Levendula Ház; 4. Monoszló, Hegyestű: felső-miocén bazalt; 5. Pula: pliocén maar üledék

1. Felsőörs, Forrás-hegy: középső-triász alapszelvény

A Dunántúli-középhegység egyik leghíresebb, nemzetközi rangú alapszelvénye Felsőörs nyugati szélén, a Malom-völgy peremén lévő Forrás-hegyen található (3. ábra).

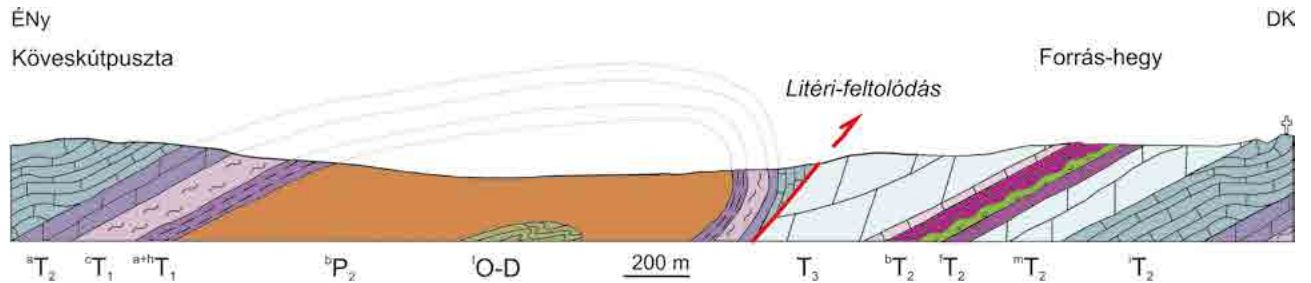
A geológiai tanösvénnyé kiépített alapszelvény az anisusi emelet közepétől a ladin emelet közepéig tárja fel a Balaton-felvidék középső-triász rétegsorát (4. ábra).

A szelvény alsó szakaszán az alsó-anisusi legfelső részét alkotó Megyehegyi Dolomit padjai tanulmányozhatóak. Az ösvény mentén efölött rosszul rétegzett, márgás, kalapálásra bitumen szagot árasztó dolomit következik. A fölötté települő Felsőörsi Mészke alsó szakaszát világosszürke, pados, sötétszürke tűzkőgumókat tartalmazó mészke építi fel, amelyet felfelé egyre vastagabb márgaközök tagolnak. E fölött márgás, rosszul rétegzett mészke alkotja az alsó szelvény legfelső szakaszát, amely kőzetalkotó mennyiségben tartalmaz crinoidea és brachiopoda maradványokat. Az alapszelvény felső szakasza a Felsőörsi Mészke legfelső, jól rétegzett, bitumenes mészkeből álló szakaszát tárja fel, amely igen gazdag ammonitesz-maradványokban. Az e fölött települő Vászolyi Formáció világoszöld tufaösszletét sárgásbarna, kovás mészkeből álló rétegek, lencsék tagolják. A tufa fölött települő Buchensteini Mészke alsó szakaszát világosszürke, feljebb halvány vörös, igen kemény, kovás, pados, gumós, vörös tűzkövet tartalmazó mészke alkotja.



3. ábra. Felsőörs környékének földtani térképe a forrás-hegyi alapszelvény feltüntetésével (balra), valamint földtani szelvény a felsőörsi Szent-Kereszt-hegytől Köveskúptusztáig (alul). A Litéri-feltolódás mentén a déli pikkely felső-triász dolomitjára a DK-i szárnyán átbuktatott redőbe gyűrt alsó-triász rétegsor tolódot (BUDAI 1991).

^lO-D – Lovasi Agyagpala; ^bP₂ – Balatonfelvidéki Homokkő;
^aT₁ – Arácsi Márga; ^hT₁ – Hidegkúti F.; ^cT₁ – Csupaki Márga;
^aT₂ – Aszófői Dolomit; ⁱT₂ – Iszkahegyi Mészakő;
^mT₂ – Megyehegyi Dolomit; ^fT₂ – Felsőörsi Mészakő;
^vT₂ – Vászolyi F.; ^bT₂ – Buchensteini Mészakő;
^{fü}T₃ – Füredi Mészakő; T₃ – felső-triász dolomit
 (Budaörsi és Gémhegyi Dolomit)

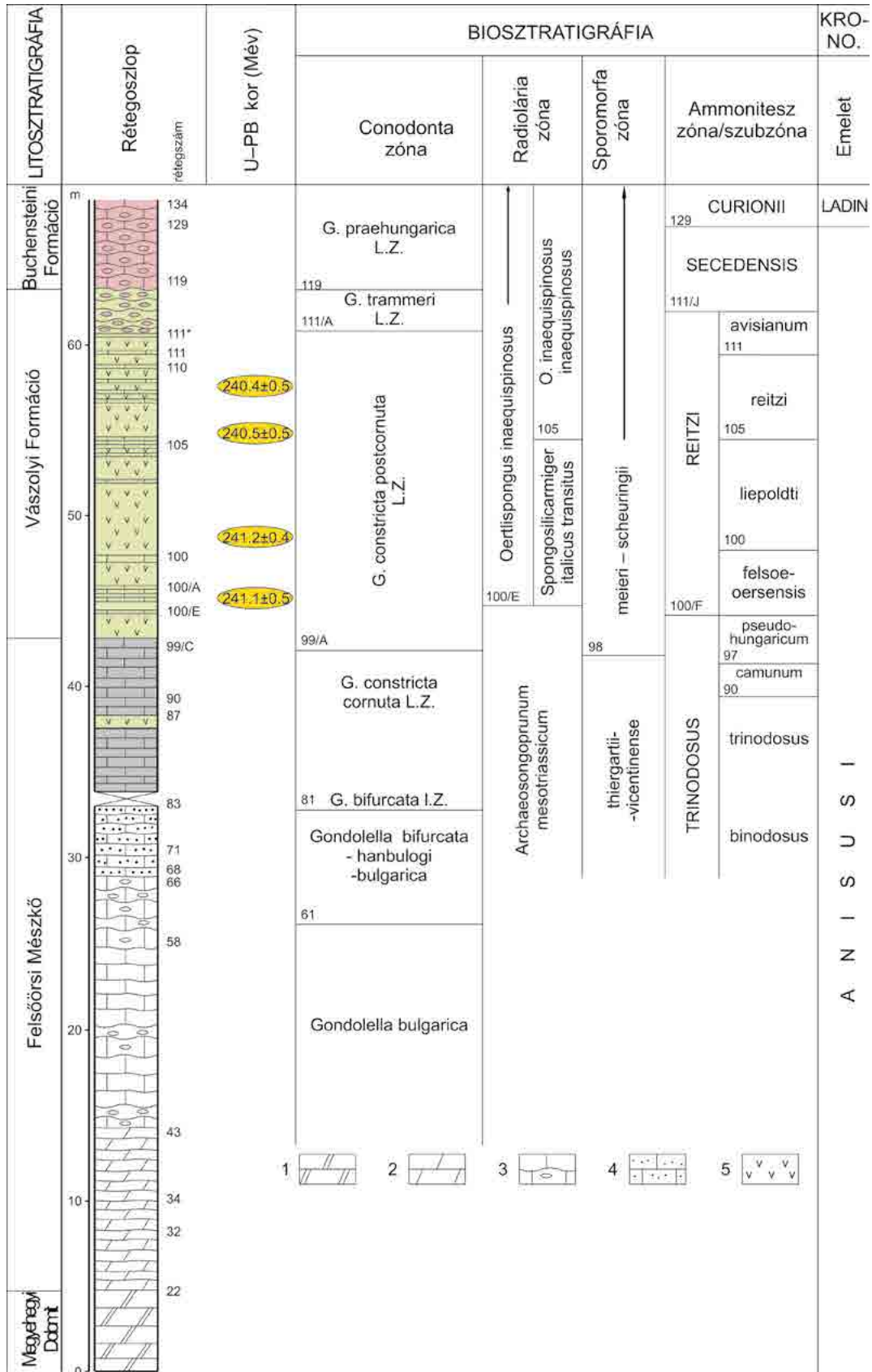


Értelmezés

A rétegsorból előkerült ammoniteszek, radiolariák és ostracodák vizsgálata alapján megállapítható, hogy a sekélytengeri Megyehegyi Dolomit fölötti rétegsor üledékei a középső-triász során egyre mélyülő nyílt tengerben képződtek, ahol a karbonátiszap képződését vulkáni tufaszórások anyagának lerakódása szakította meg az anisusi korszak végén.

Nemzetközi jelentőség

A földtörténeti tagolás különböző szintű (időtartamú) kategóriáinak hierarchikus rendszerében a középső-triász kort anisusi és ladin korszakra osztják a nemzetközi kronosztratigráfiai skálán. Az egyes kategóriák egymástól történő lehatárolásának hagyományos eszközeül a biosztratigráfia szolgál. A középső-triász két emeletének, az anisusi és a ladin emeletnek a határát több ősmaradvány-csoport alapján is meg lehet határozni. A felsőörsi szelvényben az 1980-as évektől a 2010-es évekig intenzív őslénytan és rétegtani kutatások zajlottak, amelyek eredményeként ezt a határt nem csak ammoniteszek, hanem radiolariák és conodonták alapján és ki lehetett mutatni (VÖRÖS et al. 2003, 2008).



4. ábra A felsőörsi középső-triász alapszelvény rétegszlopa és rétegtani tagolása (VÖRÖS et al. 2003 nyomán).
1. sekélytengeri dolomit; 2. bitumenes dolomit; 3. pados, gumós, tűzköves mészakő; 4. krinoideás mészakő; 5. vulkáni tufa

A két emelet nemzetközi határsztratotípusának (Global Stratotype Section and Point — GSSP) kijelölésére azonban több szelvény is esélyes volt, amelyeket nemzetközi konferenciákon mutattak be és értékelték a triász rétegtannal foglalkozó kutatócsoportok. Végül az anisusi és a ladin emelet határát jelképező aranyszöget a Déli-Alpok egyik szelvényében, Bagolinóban ütötték be, de ez nem csökkenti a felsőörsi Forrás-hegy alapszelvényének nemzetközi jelentőségét.

A szelvény másik fontos értéke, hogy a vulkáni tufarétegekből szeparált cirkonásványokon lehetséges volt radiometrikus korok mérése is (PÁLFY et al. 2003). Ennek alapján meghatározható volt a vulkanizmus ideje, amely egyben pontosította az anisusi és a ladin korszak fordulójának a dátumát is.

2. Balatonarács, vasúti bevágás: perm–triász határ

A balatonarácsi vasúti bevágás, amely a 19. század elején zajló vasútépítés során létesült, a Balaton-felvidék egyik legrégebbi védett geológiai szelvénye (5. ábra). A szelvény a felső-perm Balatonfelvidéki Homokkő Formáció legfelső és az alsó-triász Arácsi Marga Formáció legalsó szakaszát (Nádaskúti Dolomit Tagozat) tárja fel.

A felső-permi rétegsort a feltárásban vörös homokkő és aleurolit alkotja, amely a több száz méter vastag, ciklusos folyóvízi kifejlődésű Balatonfelvidéki Homokkő legfelső szakaszát képviseli. Erre következik szögeltérés nélkül, de eróziós határral az alsó-triász sekélytengeri rétegsor, amelynek alsó szakaszát sötét aleurolit és homokkő, feljebb vékonyréteges homokos, ooidos dolomit alkotja. A triász rétegsor legalsó szakasza szabad szemmel megfigyelhető ősmaradványt nem tartalmaz, a kagylókból (*Claraia*) és brachiopodákból (*Lingula*) álló szegényes fauna a határ fölött kb. 8 méterrel jelenik meg. A palinológiai vizsgálatok arra utalnak, hogy a rétegsor a triász időszak legkorábbi szakaszát is magában foglalja, az erózió a permi összlet legfelső rétegeit érintette csupán.



5. ábra. A felső-perm Balatonfelvidéki Homokkő és az alsó-triász Köveskáli Dolomit (Nádaskúti Tagozat) határszelvénye az arácsi vasúti bevágásban

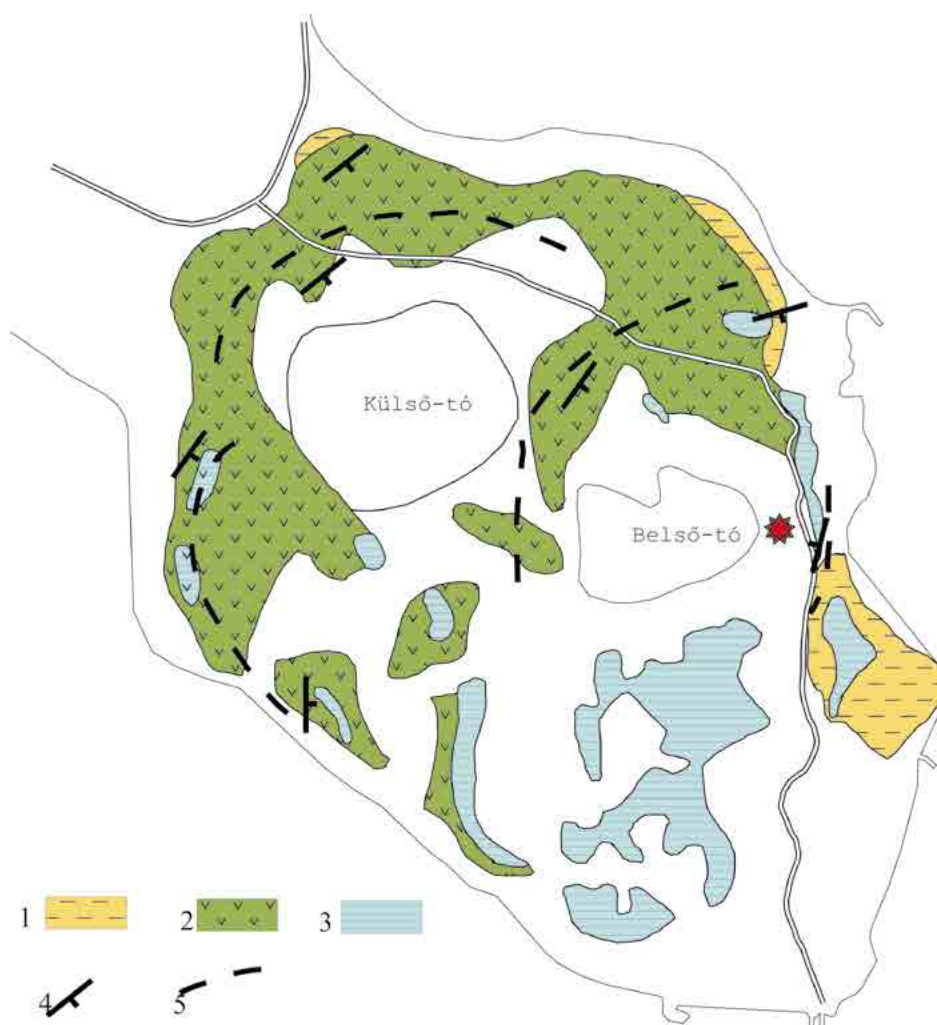
Értelmezés

A Dunántúli-középhegység területe a perm időszakban a Pangea szuperkontinens afrikai részén lévő folyóvízi síksághoz tartozott, amelyen több száz méter vastag ciklusos folyóvízi üledék rakódott le. A triász kezdetén lezajlott tengerszint-emelkedés során a korábbi alluviális síkság nagy területeit tenger öntötte el. Ennek következtében karbonátos és törmelékeny üledékek lerakódásával jellemzett sekélytengeri self jött létre a kora-triászban. A fanerozoikum legnagyobb mértékű tömeges kihalási eseménye a perm végén zajlott le, a sekélytengeri élővilág a krízist követően csak fokozatosan tudta elfoglalni a megüresedett élőhelyeket.

3. Tihany, Levendula Ház

„A Balatonnak legérdekesebb, legbájosabb pontja kétségkívül a Tihanyi félsziget, amelynek belseje az ő két sajátos lefolyástalan medenczével, hepehupás térszínével, gejzír eredésű forráskúpjaival a Balaton környék egyéb részeinek morfológiájától élesen elüt és ezért megérdemli a körülményes leírást.” (Lóczy 1913).

A Tihanyi-félszigetet túlnyomó részben maar-típusú vulkáni és utóvulkáni üledékes kőzetek alkotják, az ezek alatt települő pannóniai tavi üledékek csak néhány helyen, főként a félsziget K-i peremén bukkannak a felszínre (6. ábra).



6. ábra. A Tihanyi-félsziget egyszerűsített földtani térképe (BUDAI et al. 2002 nyomán). 1. felső-miocén (pannóniai) tavi üledékek; 2. piroklasztitok; 3. maar-tavi üledékek; 4. rétegdőlés; 5. feltételezett kráterperem. A csillag a Levendula Ház helyét jelzi.

A tihanyi maar rétegsorát olyan vulkáni törmelékes üledékek alkotják, amelyek robbanásos kitörések eredményeként rakódtak le, mintegy 7–8 millió évvel ezelőtt. A rétegsorok elemzése alapján a felfelé nyomuló alkáli bazalt olvadékvízzel, illetve vízdús üledékekkel találkozott, amelynek eredményeként hirtelen nagy mennyiségű vízgőz keletkezett. A kitérő gőz feszítőerejének hatására a bezáró kőzetek kirobbantak, és azok anyaga kitérési felhőt alkotott, a víz hűtő hatására hirtelen megdermedt lávatöredékekkel keveredve. A kitérési felhő a robbanás energiájának hatására magasba emelkedett, melyből a vulkáni por visszahullott a felszínre. A magma-víz kölcsönhatásra bekövetkezett robbanások a kitérési központtól körkörösén távolodó piroklaszt torlóárakat keltettek, amelyek lerakódott üledékét az aláhulló vulkáni por fedte be.

Értelmezés

A fejlődéstörténeti értelmezések szerint a vulkanizmus több fázisban zajlott. Az első kitörések a félsziget középpontjában következhetek be, de ezzel részben egy időben a félszigettől K-re is történtek kitörések. A következő fázisban új kürtő jött létre a félsziget nyugati partján, ahol sekélyebb mélységben bekövetkezett explózióra és szárazabb alapi torlóárak működésére lehet következtetni a rétegsorok alapján. Ezt követően a kitérési centrum ismét a félsziget belsejébe tevődött át, újabb maar-krátert hozva létre (ennek maradványa lehet a Külső-tó).

A vulkáni működés eredményeként kialakult maar-tavakban és az egykori vulkáni terület peremén számos hévforrás működött az utóvulkáni periódusban. Ezek nyomai szinte mindenütt megtalálhatóak a félszigeten, de legnagyobb számban a Belső-tótól DNy-ra lévő Gejzír-mezőn fordulnak elő. A tavi üledékeket lemezes szerkezetű édesvízi mészkő, dolomit és kovarégek építik fel, míg a forráskúpokat általában tömeges kiválások alkotják.

Nemzetközi jelentőség

Hazánk első tájvédelmi körzetét a Tihanyi-félszigeten hozták létre 1952-ben. Az élő természeti értékek mellett a terület nemzetközi hírnevét a vulkáni és utóvulkáni képződmények és morfológiai elemek adják, amelyek 2003-ban elnyerték az Európa Diplomát. A félszigeten tanulmányozható földtani érdekességeket a Lóczy-tanösvény fűzi fel.

A Levendula Házban kialakított turisztikai központban értékes földtani és természetvédelmi kiállítás, továbbá a vulkanizmusról szóló rövidfilm tekinthető meg.

5. Zánka, Hegyes-tű

Zánkától É-ra, Monoszló határában emelkedik a Balaton-felvidék leglátványosabb vulkáni kúpja, a Hegyes-tű, amely, amelynek belső szerkezetét egykori bazaltbánya tárja fel. A bányaudvar jelenleg természetvédelmi bemutató terület, ahol a környék földtani térképe és a területet felépítő főbb kőzettípusok is tanulmányozhatók.

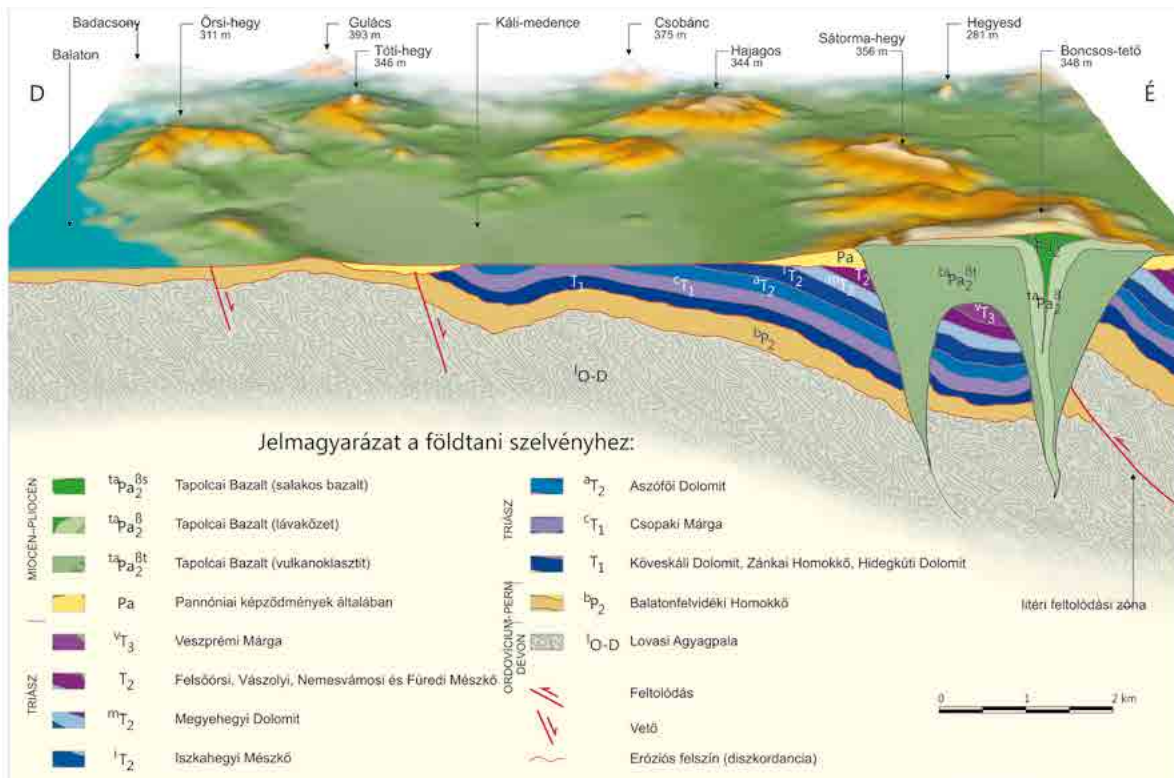
Értelmezés

A Hegyes-tű kb. 6 millió évvel ezelőtt zajló vulkáni működés során keletkezett. A bazalt lávakőzettel kitöltött kürtőt a pannóniai utáni erózió preparálta ki a környezetéből.

A vulkáni test fő tömegét fekete bazalt alkotja. A kőzet oszlopos elválása a láva hűlése során jött létre. Az alsó szinten hólyagos és úgynevezett „kukoricaköves” bazalt is található. A hólyagüregek elhelyezkedésében helyenként irányítottság figyelhető meg.

Természetvédelmi jelentőség

A bánya szélén ösvény vezet a hegy csúcsára, ahonnan gyönyörű kilátás nyílik a Káli-medencére, amelynek aljzatát paleozoos és triász képződmények, tanúhegyeit pedig pannóniai bazaltvulkánok alkotják (7. ábra).



7. ábra. A Káli-medence árnyékolt domborzati képe és földtani szelvénye a Hegyes-tű csúcsáról (BUDAI et al. 2002)

5. Pula, pliocén maar

Pula határában a közelmúltban létrehozott tanösvény egy vulkáni kráter környezetét mutatja be, amely a pliocén során keletkezett. A mintegy 4 millió évvel ezelőtt zajló igen heves kitörések során alakult ki a több 100 m átmérőjű maar-típusú kráter. A kiszórt anyag nagy része vulkáni porból, lávatörmelékéből és az áttört, idősebb rétegek anyagából felépülő gyűrűt formált a kitörés centruma körül, amelynek rétegsora a tanösvény elején látható (8. ábra).

Értelmezés

A vulkáni működést követően lefolyástalan tó alakult ki a kráterben, amelynek tápanyagban gazdag vizében óriási tömegben szaporodtak el az algák (Botryococcus-féle zöldalgák). A tó fenékén papírvékonyágú, az algákból származó szerves anyagban gazdag, sötét és szerves anyagban szegényebb, világosabb rétegek egymással váltakozva rakódtak le, feltehetően az évszakok változásának megfelelően (9. ábra). A kráter pereméről, a vulkáni gyűrű belső oldaláról a vízfolyások időnként por, homok és kavics méretű törmeléket szállítottak a tóba, így az fokozatosan feltöltődött.

A finomszemcsés tavi üledékekben kiváló fosszilizációs körülmények között őrződtek meg az egykori élőlények maradványai. A kőzetlemezeket „lapozgatva” levél- és hal-lenyomatokat viszonylag gyakran lehet találni, de ezeken túl előkerültek közel teljes orrszarvú csontvázak és szinte tökéletesen ép ízeltlábú maradványai is.

Gazdasági jelentőség

Magas szervesanyag- és ásványianyag-tartalma miatt az alginít gyakorlati felhasználása igen sokféle lehet, elsősorban a mezőgazdaságban és a környezetvédelemben. 2018-ban az alginitet választották az év ásványi nyersanyagának.



8. ábra A pulai maar-kráter gyűrűjét alkotó rétegsor feltárása a temetőtől induló tanösvény mentén

Felhasznált irodalom

- BUDAI T., CSÁSZÁR G., CSILLAG G., DUDKO A., KOLOSZÁR L. & MAJOROS GY. 1999: A Balaton-felvidék földtana. Magyarázó a Balaton-felvidék földtani térképéhez, 1:50 000. — Magyar Állami Földtani Intézet Alkalmi Kiadványa 197, 257 p.
- BUDAI T., CSILLAG G., KOLOSZÁR L., MÜLLER P. & NÉMETH K. 2002: A Balaton-felvidék. — Geológiai kirándulások I., Veszprém, 101 p.
- BUDAI T., GYALOG L. (SZERK.), ALBERT G., CHIKÁN G., CSILLAG G., HORVÁTH A., KERCSMÁR ZS., KOLOSZÁR L., KONRÁD GY., KORBÉLY B., KORDOS L., KOROKNAI B., KUTI L., PELIKÁN P., PRAKFAI P., SELMECZI I. & ZELENKA T. 2010: Magyarország földtani atlasza országjáróknak, 1:200 000. — A Magyar Állami Földtani Intézet kiadványa, 276 p.
- HAAS J. (szerk.) 2010: A múlt ösvényein. Szemlvények Magyarország földjének történetéből. — Magyarhoni Földtani Társulat kiadványa, 195 p.
- HAAS J., BUDAI T., CSONTOS L., FODOR L., KONRÁD GY. 2010: Magyarország pre-kainozoos földtani térképe, 1:500 000. — A Magyar Állami Földtani Intézet kiadványa, Budapest.
- VÖRÖS A., BUDAI T., HAAS J., KOVÁCS S., KOZUR H. & PÁLFY J. 2003: A proposal for the GSSP at the base of the Reitzi Zone (sensu stricto) at Bed 105 in the Felsőörs section, Balaton Highland, Hungary. — In: GSSP (Global Boundary Stratotype Section and Point). Proposal for the base of Ladinian (Triassic). — *Albertiana* 28, 35–47.
- VÖRÖS, A., BUDAI, T. & SZABÓ, I. 2008: The base of the Curionii Zone (Ladinian, Triassic) in Felsőörs (Hungary): improved correlation with the Global Stratotype Section. — *Central European Geology* 51/4, 325–339.



9. ábra Lemezes alginit feltárása a pulai bányában

