

## A geofizikai tudományterület értékelése

Az elmúlt harminc évben jelentős eredmények születtek a Pannon-medence és környezete geofizikai módszerekkel való kutatásában. Elkészültek az ország digitális geofizikai adatbázisai és 1:500000 méretarányú alaptérképei, létrejött az európai szintű nemzeti szélessávú digitális szeizmológiai állomáshálózat, valamint új technológiákat (infrahang, InSAR, ionoszféra radar szonda) szolgáló állomások telepítése. Magnetotellurikus, aktív és passzív szeizmológiai, paleomágneses és gravitációs mérési kampányok korábban elképzelhetetlen mennyiségű és sűrűségű adatot szolgáltatottak a Pannon-medence litoszféra szerkezetéről és geodinamikájáról. A globális villámlás keltette Schumann rezonanciák folyamatos megfigyelése a 90-es évek elején indult meg a Széchenyi István Geofizikai Observatóriumban, amely a világ leghosszabb adatsorát eredményezte (Sátori et al., 1996).

Magnetotellurikus szondázások kimutatták, hogy a nagyobb tektonikai egységek határai nagyobb vezetőképességet mutatnak, melyek kapcsolatot mutatnak a szeizmicitással is. Ezek közül a legjelentősebb a dunántúli konduktivitás anomália. A hőáramlás hatása a félvezető kőzetek elektromos ellenállására az alsó kéregben mintegy 18 km mélységben okoz anomáliát a dehidratáció, valamint mintegy 60 km mélységben, a litoszféra-asztenoszféra határán a részleges megolvadás következtében (Ádám et al., 1989, 1998, 2001, 2017).

Paleomágneses mérések alapján az Alpok – Kárpát – Pannon nagytektonikai egység, a Pieniny-szirtöv és a Külső Nyugati Kárpátok vonatkozásában kinematikai paramétereket határoztunk meg, amelyek különböző mértékű, de mindig jelentős óramutató járásával ellentétes forgásokkal járó, harmadkorban végbement lemeztektónikai mozgásokat mutatnak. A Dunántúli-középhegység afrikai eredete, illetve Adriához való viszonya szempontjából fontos eredményeink stabil Adriáról és annak imbrikált pereméről, valamint a Pannon-medence déli részéről származnak. Itt is jelentős óramutató járásával ellentétes rotációkat mértünk, amelyek a felső jurától kezdve regionális léptékben homogén jelentős mozgásokat jeleznek (Márton et al., 1996, 2003, 2013, 2016).

Elsőként mutattunk rá arra, hogy a Pannon-tó üledékeiben és a Kárpáti előmélységben, több szintben is anoxikus–szuboxikus viszonyokat jelző mágneses vasszulfid, greigit a domináns vas ásvány (Babinszki et al., 2007). Környezeti mágneses vizsgálataink ülededő porokon kimutatták, hogy a szennyezést jelző mágneses ásványok mennyisége kevésbé függ a személygépkocsi, mint a teherforgalomtól, de a legnagyobb szennyező forrás a fűtés (Kluciarova et al., 2008).

Szeizmikus refrakciós szelvények és gravitációs mérések feldolgozásával pontosabb képet alkottunk a Pannon-medence litoszféra szerkezetéről és a köpeny-kéreg határról, ami a Pannon-medence fejlődéstörténete és geodinamikája jobb megértéséhez vezetett (Bada et al., 2007; Guterch et al., 2003; Hajnal et al., 1996; Horváth et al., 1993, 2015, Posgay et al., 1990, 2003, 2006). Szeizmikus tomográfiai és receiver function analízis az eddigieknél is részletesebb sebességmodelleket szolgáltatott a litoszféráról (Wéber 2002; Kalmár 2019).

A Pannon-medencét jellemző kis és közepes méretű földrengések forrásmechanizmusának meghatározására új, probablisztikus hullámforma inverziós módszereket fejlesztettünk ki (Wéber 2006, 2009, 2018), melyekkel meghatároztuk a hazai földrengések fészekmechanizmusát (Wéber 2016). Kifejlesztettünk egy olyan földrengés helymeghatározó algoritmust, amit már világszerte használnak, és újra meghatároztuk a Pannon-medence szeizmicitását (Bondár et al., 2011, 2018). Definiáltuk a ground truth események fogalmát és létrehoztuk IASPEI referencia esemény listát (Bondár et al., 2004, 2009).

Nemzetközileg elismert eredmények születtek az együttes geofizikai inverzió, mélyfúrás geofizikai módszerek, valamint a sorfejtéses inverziós eljárás és a Fourier transzformációt robusztus inverz problémaként megfogalmazó módszerfejlesztés terén (Dobróka et al., 1991, 2008, 2015, 2016; Gyulai et al., 2010; Szabó et al., 2011, 2012).

A földi nap hosszának modellezése alapján megállapítottuk, hogy bolygónk tengelykörüli forgássebességének árapálysúrlódás következtében végbement lassulása nem volt egyenletes bolygónk története során. 500 millió évnél korábban a földi nap hossza 5-5.5-ször lassabban növekedett, mint az azt követő máig tartó időszakban. Ezzel egyidőben a földmágneses tér intenzitása bolygónk történetének 500 millió évvel korábbi időszakában növekedő képet mutatott (Varga et al., 2006; Denis et al., 2011).

Meghatároztuk a különböző típusú Love-Shida számok kapcsolatát leíró egyenletet, megmutattuk a földárapály földrengések kipattanási idejére gyakorolt hatásának lehetőségét és leírtuk a rugalmas deformációk, valamint a földrengések visszatérési ideje közti kapcsolat modelljét (Varga et al., 1996, 2009, 2011, 2018).

A Schumann rezonancia mérésekből kimutattuk a féléves intenzitásváltozást és a 11-éves napciklussal történő globális frekvenciaváltozást. Elsőként alkalmaztuk az SR frekvenciák változásának a követését a globális villámaktivitás dinamikájának a bemutatására. A 2000-es években megindult energetikus villámok keltette SR-tranziensek vizsgálata és az ezekhez társuló felsőlégköri elektro-optikai emissziók optikai megfigyelése is (Bór et al., 2013, 2018; Sántori et al., 1999, 2005, 2013).

Jelentős eredmények születtek a földi mágneses tér tanulmányozásában (Lichtenberger et al., 2013; Szarka et al., 1997; Verő et al., 1990, 1994, 1997), a geoelektromos mérési módszerek terén (Szalai et al., 2008, 2009), a földi hőáram kutatásában és a felszín alatti vízáramlások és a köpenykonvekció matematikai modelljében (Cserepes et al., 2000, 2004; Galsa et al., 2007), a felszínformák neotektonikai indikációiban (Timár, 2003; Székely et al., 2004) és a műholdas termésbecslésben is (Ferencz et al., 2004).

## Hivatkozások

Ádám A., K. Landy, Z. Nagy, 1989. New evidence for distribution of the electric conductivity in the Earth's crust and upper mantle in the Pannonian Basin as a "hotspot". *Tectonophysics* 164, 361–368.

- Ádám A., M. Bielik, 1998. The crustal and upper -mantle geophysical signature of narrow continental rifts in the Pannonian basin, *Geophysical Journal International*, 134, 157–171.
- Ádám A., 2001. Relation of graphite and fluid bearing conducting dikes to tectonics and seismicity (Review on the Transdanubian crustal conductivity anomaly). *Earth Planets Space*, 53, 903–918.
- Ádám A., L. Szarka, A. Novák, V. Wesztergom, 2017. Key results on deep electrical conductivity anomalies in the Pannonian Basin (PB), and their geodynamic aspects, *Acta Geodetica and Geophysica*, 52, 205–228.
- Babinszki, E., Márton, E., Márton, P., Kiss, L.F. 2007. Widespread occurrences of greigite in the sediments of Lake Pannon: implications for environment and magnetostratigraphy, *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 252, 626–636.
- Bada G, Horváth F, Dövényi P, Szafián P, Windhoffer G, Cloetingh S, 2007. Present-day stress field and tectonic inversion in the Pannonian basin, *Glob. Planet. Change*, 58, 165–180.
- Bondár, I., S.C. Myers, E.R. Engdahl and E.A. Bergman, 2004. Epicenter accuracy based on seismic network criteria, *Geophysical Journal International*, 156, 483–496.
- Bondár, I., E.R. Engdahl, X. Yang, H.A.A. Ghalib, A. Hofstetter, V. Kirichenko, R. Wagner, I. Gupta, G. Ekström, E. Bergman, H. Israelsson and K. McLaughlin, 2004. Collection of a reference event set for regional and teleseismic location calibration, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94, 1528–1545.
- Bondár, I. and K. McLaughlin, 2009. A new ground truth data set for seismic studies, *Seismological Research Letters*, 80, 465–472.
- Bondár, I., and D. Storchak, 2011. Improved location procedures at the International Seismological Centre, *Geophysical Journal International*, 186, 1220–1244.
- Bondár, I. P. Mónus, Cs. Czanik, M. Kiszely, Z. Gráczer, Z. Wéber, and the AlpArrayWorking Group, 2018. Relocation of Seismicity in the Pannonian Basin Using a Global 3D Velocity Model, *Seismological Research Letters*, 89, 2284–2293.
- Bór, J, 2013. Optically perceptible characteristics of sprites observed in Central Europe in 2007–2009, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 92, 151–177.
- Bór, J, Zekó, Z, Hegedüs, T, Jäger, Z, Mlynarczyk, J, Popek, M, Betz, H.D., 2018. On the Series of +CG Lightning Strokes in Dancing Sprite Events, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123, 11,030–11,047
- Cserepes, L., Yuen, D.A., Schroeder, B.A. 2000. Effect of the mid-mantle viscosity and phase-transition structure on 3D mantle convection. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 118, 135–148.
- Cserepes, L., Lenkey, L. 2004. Forms of hydrothermal and hydraulic flow in a homogeneous unconfined aquifer. *Geophysical Journal International*, 158, 785–794.
- Denis, C., Rybicki, K.R., Schreider, A.A., Tomecka-Suchon, S., and Varga, P. 2011. Length of the day and evolution of the Earth's core in the geological past, *Astronomisches Nachrichten*, 332, 24–35.
- Dobróka, Á Gyulai, T Ormos, J Csókás, L Dresen, 1991. Joint inversion of seismic and geoelectric data recorded in an underground coal mine, *Geophysical Prospecting*, 39, 643–665.
- Dobróka, M, L Völgyesi, 2008. Inversion reconstruction of gravity potential based on gravity gradients, *Mathematical Geosciences*, 40, 299–311.

- Dobróka, M, H Szegedi, JS Molnár, P Szűcs, 2015. On the reduced noise sensitivity of a new Fourier transformation algorithm. *Mathematical Geosciences*, 47, 679-697.
- Dobróka, M, NP Szabó, J Tóth, P Vass, 2016. Interval inversion approach for an improved interpretation of well logs. *Geophysics*, 81, D155-D167.
- Ferencz, Cs., Bognár, P., Lichtenberger, J., Hamar, D., Tarcsai, Gy., Timár, G., Molnár, G., Pásztor, Sz., Steinbach, P., Székely, B., Ferencz, O. E., Ferencz-Árkos, I., 2004. Crop yield estimation by satellite remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 4113-4149.
- Galsa, A., Lenkey, L., 2007. Quantitative investigation of physical properties of mantle plumes in 3D numerical models. *Physics of Fluids*, 19, 1-13.
- Guterch, A., Grad, M., Keller, G. R., Posgay, K., Vozar, J., Spicak, A., Brueckl, E., Hajnal, Z., Thybo, H. & Selvi, O. and CELEBRATION 2000 Experiment Team, 2003. CELEBRATION 2000 Seismic Experiment, *Studia Geophysica & Geodætica*, 47, 659-669.
- Gyulai, Á, T Ormos, M Dobróka, 2010. A quick 2-D geoelectric inversion method using series expansion. *Journal of Applied Geophysics*, 72, 232-241.
- Hajnal, Z., Reilkoff, B., Posgay, K., Hegedűs, E., Takács, E., Asudeh, I., Mueller, St., Ansoerge, J., DeIaco, R. 1996. Crustal-scale extension in the central Pannonian basin, *Tectonophysics*, 264, 191-204.
- Horváth F., 1993. Towards a mechanical model for the formation of the Pannonian Basin, *Tectonophysics*, 226, 333-357.
- Horváth F, Musitz B, Balázs A, Végh A, Uhrin A, Nádor A, Koroknai B, Pap N, Tóth T, Wórum G, 2015. Evolution of the Pannonian basin and its geothermal resources. *Geothermics*, 53, 328-352.
- Kalmár, D., G. Hetényi, I. Bondár, 2019. Moho depth analysis of the eastern Pannonian Basin and the Southern Carpathians from receiver functions, *Journal of Seismology.*, 23, 967-982.
- Kiss J., Szarka L., Prácser E., 2005. Second order magnetic phase transition in the Earth, *Geophysical Research Letters*, 32, L24310.
- Kluciarova, D., Márton, P., Pichler, V., Márton, E., Túnyi, I. 2008. Pollution detected by magnetic susceptibility measurements aided by the stemflow effect. *Water, Air & Soil Pollution*, 189, 213-223.
- Lichtenberger, J., Clilverd, M. A., Heilig, B., Vellante, M., Manninen, J., Rodger, C. J., Collier, A. B., Jørgensen, A. M., Reda, J., Holzworth R. H., Friedel, R., Simon-Wedlund, M., 2013. The plasmasphere during a space weather event: first results from the PLASMON project. *Journal of Space Weather and Space Climate*, 3, A23
- Márton, E., Márton, P. 1996. Large scale rotations in North Hungary during the Neogene as indicated by palaeomagnetic data. in: Morris, A. & Tarling, D.H. (eds), *Palaeomagnetism and Tectonics of the Mediterranean Region*, Geological Society Special Publication 105, 153-173.
- Márton, E., Fodor, L. 2003. Tertiary paleomagnetic results and structural analysis from the Transdanubian Range (Hungary); sign for rotational disintegration of the Alcapa unit. *Tectonophysics* 363, 201-224.
- Márton, E., Drobne, K., Cosović, V., Moro, A. 2003. Palaeomagnetic evidence for Tertiary counterclockwise rotation of Adria. *Tectonophysics* 377, 143-156.

- Márton, E., Grabowski, J., Plašienka, D., Túnyi, I., Krobicki, M., Haas, J., Pethe, M. 2013. New paleomagnetic results from the Upper Cretaceous red marls of the Pieniny Klippen Belt, Western Carpathians: evidence for general CCW rotation and implications for the origin of the structural arc formation. *Tectonophysics* 592, 1-13.
- Márton, E., Grabowski, J., Tokarski, A.K., Túnyi, I. 2016. Palaeomagnetic results from the fold and thrust belt of the Western Carpathians: an overview, in: Pueyo, E. L., Cifelli, F., Sussman, A. J. & Oliva-Urcia, B. (eds) *Palaeomagnetism in Fold and Thrust Belts: New Perspectives*. Geological Society, London, Special Publications, 425, 7-36.
- Posgay, K., Hegedűs, E. and Tímár, Z. 1990. The identification of mantle reflections below Hungary from deep seismic profiling, *Tectonophysics*, 173, 379-385.
- Posgay, K., Bodoky, T., Hegedűs, E., Kovácsvölgyi, S., Lenkey, L., Szafián, P., Takács, E., Tímár, Z. and Varga, G. 1995. Asthenospheric structure beneath a Neogene basin in southeast Hungary, *Tectonophysics*, 252, 467-484.
- Posgay, K., T. Bodoky, Z. Hajnal, T.M. Tóth, T. Fancsik, E. Hegedűs, A.Cs. Kovács, E. Takács, 2006. Interpretation of subhorizontal crustal reflections by metamorphic and rheologic effects in the eastern part of the Pannonian Basin, *Geophysical Journal International*, 167, 187-203.
- Sátori, G, J Szendrői, J Verő, 1996. Monitoring Schumann resonances—I. Methodology, *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 58, 1475-1481.
- Sátori, G, Zieger, B. 1999. El Nino related meridional oscillation of global lightning activity, *Geophysical Research Letters*, 26, 1365-1368.
- Sátori, G, E, Williams, V, Mushtak, 2005. Response of the Earth-ionosphere cavity resonator to the 11-year solar cycle in X-radiation, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 67, 553-562.
- Sátori, G, Rycroft, M, Bencze, P, Márcz, F, Bór, J, Barta, V, Nagy, T, Kovács, K, 2013. An Overview of Thunderstorm-Related Research on the Atmospheric Electric Field, Schumann Resonances, Sprites, and the Ionosphere at Sopron, Hungary. *Surveys in Geophysics*, 34, 1-38.
- Szabó, NP, 2011. Shale volume estimation based on the factor analysis of well-logging data, *Acta Geophysica*, 59, 935-953.
- Szabó, NP, M. Dobróka, D. Drahos, 2012. Factor analysis of engineering geophysical sounding data for water-saturation estimation in shallow formations, *Geophysics*, 77, 35-44.
- Szabó, NP, M. Dobróka, 2012. Interval inversion of well-logging data for automatic determination of formation boundaries by using a float-encoded genetic algorithm, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 86-87, 144-152.
- Szalai S, Szarka L, 2008. On the classification of surface geoelectric arrays, *Geophysical Prospecting* 56, 159 – 175.
- Szalai, S, Novák, A, Szarka, L, 2009. Depth of investigation and vertical resolution of surface geoelectric arrays, *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 14, 15-23.
- Szarka L, Menvielle M, 1997. Analysis of rotational invariants of the magnetotelluric impedance tensor, *Geophysical Journal International*, 129, 133-142.
- Székely, B., Karátson, D., 2004. DEM-based morphometry as a tool for reconstructing primary volcanic landforms: examples from the Börzsöny Mountains, Hungary. *Geomorphology*, 63, 25-37.
- Tímár, G., 2003. Controls on channel sinuosity changes: a case study of the Tisza River, the Great Hungarian Plain. *Quaternary Science Reviews*, 22, 2199-2207

- Varga, P., Grafarend, E. 1996. Distribution of the lunisolar tidal elastic stress tensor components within the Earth's mantle. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 93, 285-297.
- Varga, P. 2006. Temporal variation of geodynamical properties due to tidal friction. *Journal of Geodynamics*, 41, 140-146.
- Varga, P. 2009. Common roots of modern seismology and of earth tide research. A historical overview, *Journal of Geodynamics*, 48, 241-246.
- Varga, P. 2011. Geodetic strain observations and return period of strongest earthquakes of a given seismic source zone, *Pure and Applied Geophysics*, 168, 289-296.
- Varga, P., Grafarend, E., Engels, J., 2018. Relation of Different Type Love–Shida Numbers Determined with the Use of Time-Varying Incremental Gravitational Potential, *Pure and Applied Geophysics*, 175, 1643-648.
- Verő, J, L Holló, A Egeland, A Brekke, 1990. Connections between high- and middle-latitude pulsations, *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 52, 789-796.
- Verő, J, JC Miletits, 1996. Impulsive pulsation events and pulsation beats, *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 56, 433-445.
- Verő, J, L Holló, P Bencze, F Márcz, 1997. Whistler ducts and geomagnetic pulsation resonant field line shells near  $L = 2$ —are they identical? *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 59, 1855-1863.
- Wéber Z, 2002. Imaging Pn velocities beneath the Pannonian basin, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 129, 283-300.
- Wéber Z, 2006. Probabilistic local waveform inversion for moment tensor and hypocentral location, *Geophysical Journal International*, 165, 607-621
- Wéber Z, 2009. Estimating source time function and moment tensor from moment tensor rate functions by constrained  $L_1$  norm minimization, *Geophysical Journal International*, 178, 889-900.
- Wéber Z, 2016. Probabilistic waveform inversion for 22 earthquake moment tensors in Hungary: new constraints on the tectonic stress pattern inside the Pannonian basin, *Geophysical Journal International*, 204, 236-249.
- Wéber Z, 2018. Probabilistic joint inversion of waveforms and polarity data for double-couple focal mechanisms of local earthquakes, *Geophysical Journal International*, 213, 1586-1598.