

Segíthetnek-e a szeizmikus amplitúdóanomáliák a dunántúli elektromos vezetőképesség-anomália értelmezésében?¹

ÁDÁM ANTAL², R. TÁTRAI MARIANNA³

A Dunántúli Vezetőképesség-anomália (DVA) tengelyében egy 15–20 km széles jólvezető test emelkedik ki ÉK–DNY irányban. Ezt jelzik a magnetotellurikus (MT) szondázások, és az indukciós vektorok sajátos viselkedése is. Jó közelítéssel ebben a sávban nagy amplitúdójú szeizmikus reflexiókat, angolul „bright spot”-okat is kaptak a vezetőképesség-anomáliával megegyező mélységtartományban (kb. 4 km). Mivel a DVA területén ilyen mélységű fúróluk nincs, a DVA anyaga vita tárgya: grafit vagy/és folyadék, ahogy arra a Gail-völgyben (a Periadriai vonal mentén), vagy a német nagymélységű fúrásban, a KTB-ben és a körülötte mért vezetőképesség-anomáliából következtettünk. Feltételezhetjük, hogy a DVA anomáliát is „remobilizált hidrotermális” grafit okozza összefüggő jólvezető fázist létrehozva, amint arról WANNAMAKER [2000] vélekedett az új-zélandi Déli-Alpokban észlelt anomáliával kapcsolatban. További szeizmikus paraméterek — pl. Poisson-tényező, sebességeloszlás stb. — szükségesek ahhoz, hogy jobban megközelíthessük a vezetőképesség-növekedés valódi okát. Figyelemre méltó analógiákat írtak le az alsó kéregből is.

A jelenséget az ELGI MK3 alapszelvénye mentén mért MT és szeizmikus adatokkal szemléltetjük részletesebben.

A. ÁDÁM, M. R. TÁTRAI: Can help the “bright spot” in the interpretation of a shallow conductivity anomaly?

In the axis of the Transdanubian crustal conductivity anomaly (TCA) a 15–20 km wide part of the conductor is elevated in NE–SW direction. It is indicated by both magnetotelluric soundings and by the special behaviour of the induction arrows. In about the same stripe bright spots i.e. amplitude increase of the seismic reflexions are observed at the same depth range (at about 4 km). As in the area of the TCA no borehole has been deepened, the material of the TCA is a topic of discussion: graphite or/and fluid as concluded from the similar Palaeozoic CA found in the Gail valley (Periadriatic line) or around the German KTB. It is supposed that in the formation of this anomaly the “remobilised” hydrothermal graphite played a role establishing the interconnected phase [WANNAMAKER 2000] as it is suspected e.g. in the case of the Southern Alps in New Zealand. Further seismic parameters are needed, e.g. Poisson ratio, velocity distributions, etc. to better approximate the real cause of the conductivity increase. An analogy is found in the lower crustal conductor and the connected high energy reflexion.

The best example for the conductivity anomaly and the bright spot is illustrated by a NW profile in the eastern side of the anomaly (MK3 profile).

Bevezetés

Néhány évtized óta ismert már a Dunántúli Vezetőképesség-anomália (DVA) [ÁDÁM, VERŐ 1964, TAKÁCS 1968]. Részletes tanulmányozását az Eötvös Loránd Geofizikai Intézetnek (ELGI) a „Földtani alapszelvények” [RÁNER et al. 1972], illetve a „Kisalföld kutatása” [PÁPA et al. 1990] keretében végzett mérései döntően elősegítették. Különböző direkt modellezésekkel és 1-D, 2-D inverziókkal megismertük az anomália átlagos mélységét (~4–5 km) és horizontális vezetőképességét (conductance), amely több ezer Siemens is lehet [ÁDÁM, VARGA 1990]. Tanulmányoztuk az általa okozott különböző EM tértorzulásokat és kerestük az anomália analógiáját részben saját, más területen végzett méréseinkben (Gail-völgy, Keleti-Alpok), részben a nemzetközi irodalomban (KTB). Bár vannak az anomáliának jól meghatározott, viszonylag homogénnek tekinthető részei, a mai fúrástechnikával könnyen elérhető mélységben (~3–4 km) fúrás a mai napig nem mélyült és így a jólvezető anyagának mibenlétére vonatkozóan csak

elképzeléseink vannak. Ezek más módszerek eredményeivel történő egybevetését célozza a szerzők jelent tanulmánya is.

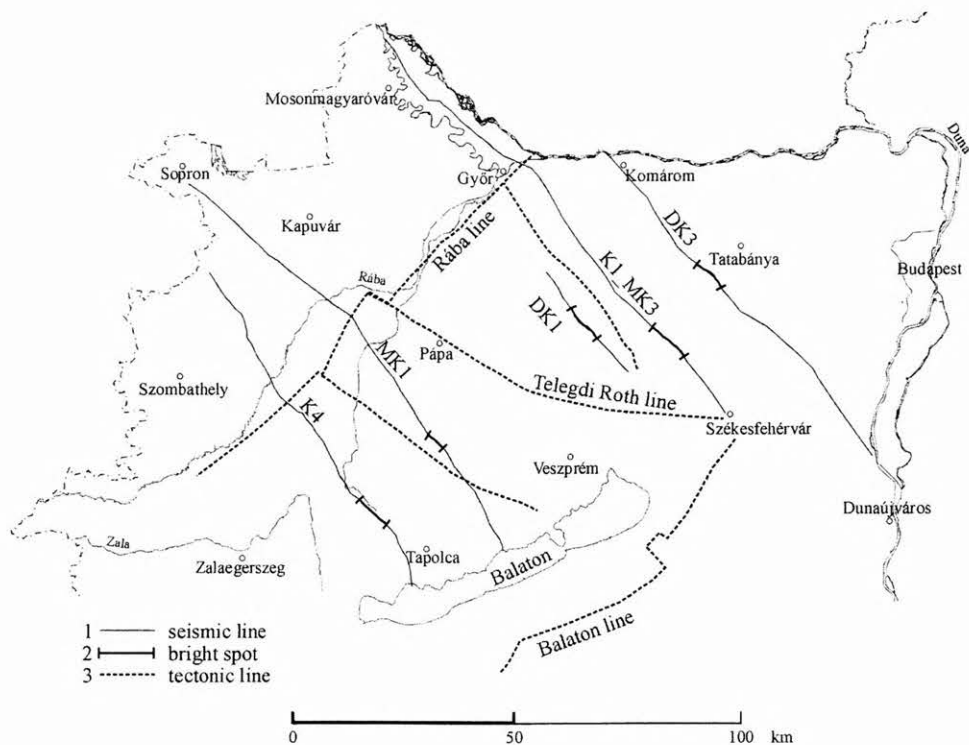
1. Szeizmikus amplitúdóanomáliák és jólvezető testek (dike-ok) a DVA tengelyében

A Dunántúli-középhegységben a mezozoós-paleozoós korú összletből az első nagyenergiájú reflexiókat a „Komplex geofizikai kutatás a Dunántúli-középhegységben” téma keretében Kisbér–Mór térségében a Súr szelvényeken észlelték [RÁNER et al. 1977]. Az amplitúdó- és a vezetőképesség-anomália együttes előfordulását először ismertető jelentés [RÁNER et al. 1983], korábbi vizsgálatokra hivatkozva [ÁDÁM 1971, VARGA 1975] grafitos, antracitos paleozoós üledékekkel azonosítja a jelenséget. A későbbiekben a közös anomáliát az ópaleozoós képződmények felszínközeli hatásával értelmezik [R. TÁTRAI et al. 1993]. Tekintettel arra, hogy a reflexióerősség- és a vezetőképesség-anomáliák egy olyan sávba esnek (1. és 2. ábra), amelyeknek térbeli elhelyezkedése követi a terület felépítését meghatározó törések által kialakított szerkezetet, feltételezik, hogy a jelenség felerősödése (vezetőképesség növekedése) a fenti földtani összletet ért tektonikai hatáshoz kapcsolható [R. TÁTRAI, VARGA 2001].

¹ Beérkezett: 2002. augusztus 26-án

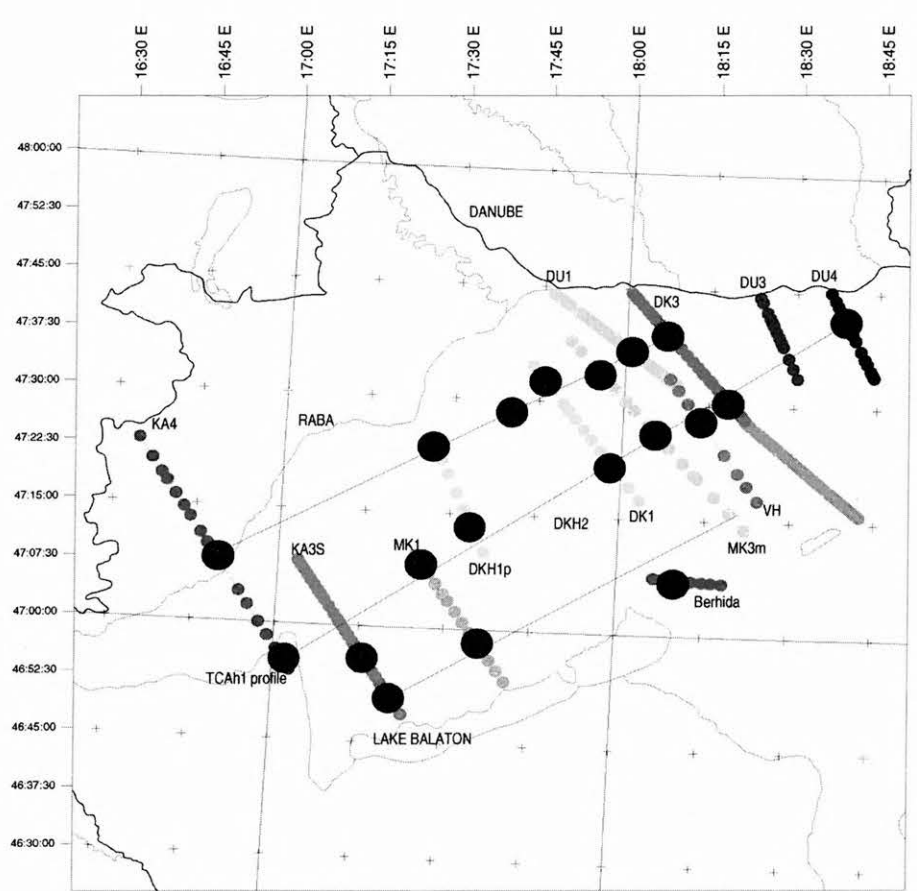
² MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet,
H-9400 Sopron, Csatka E. u. 6-8.

³ Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet,
H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17-23.



1. ábra. Szeizmikus amplitúdóanomáliák a Dunántúli-középhegységben [R. TÁTRAI, VARGA 2001]. 1 — szeizmikus vonal, 2 — szeizmikus amplitúdóanomália, 3 — tektonikai vonal

Fig. 1. Bright spots in the Transdanubian Central Range [R. TÁTRAI, VARGA 2001]. 1 — seismic line, 2 — bright spot, 3 — tectonic line



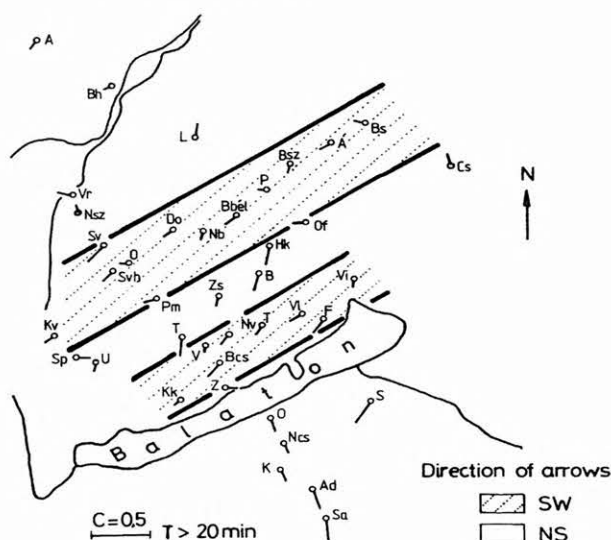
2. ábra. Jólvezető testek az ELGI alapszelvényei mentén nagy pontokkal megjelölve [ÁDÁM 2001]

Fig. 2. A map on the conducting dikes marked by big dots on the ELGI's basic profiles [ÁDÁM 2001]

ÁDÁM [2001] a törérendszerhez kapcsolódó vezető-képesség-anomáliákat (2. ábra) 2-D inverzióval határozta meg úgy, hogy az ÉNY-DK-i magnetotellurikus szelvények (az ELGI mérései) mentén mért impedanciaértékeknek vette a regionális csapásirányba eső (E polarizáció) és arra merőleges (B polarizáció) értékeit és azokat invertálta. Az ennek eredményeként kapott különböző szélességű jólvezető anomáliák közepét egy ponttal jelölte meg. Felvetődik a kérdés, hogy a 2. ábrán látható másik két anomálian nagy vezető-képességű törérendszeremlét miért nem észleltek hasonló szeizmikus amplitúdó-növekedést. A válaszhoz támpontot a törések kis szélessége adhat [ÁDÁM 2001].

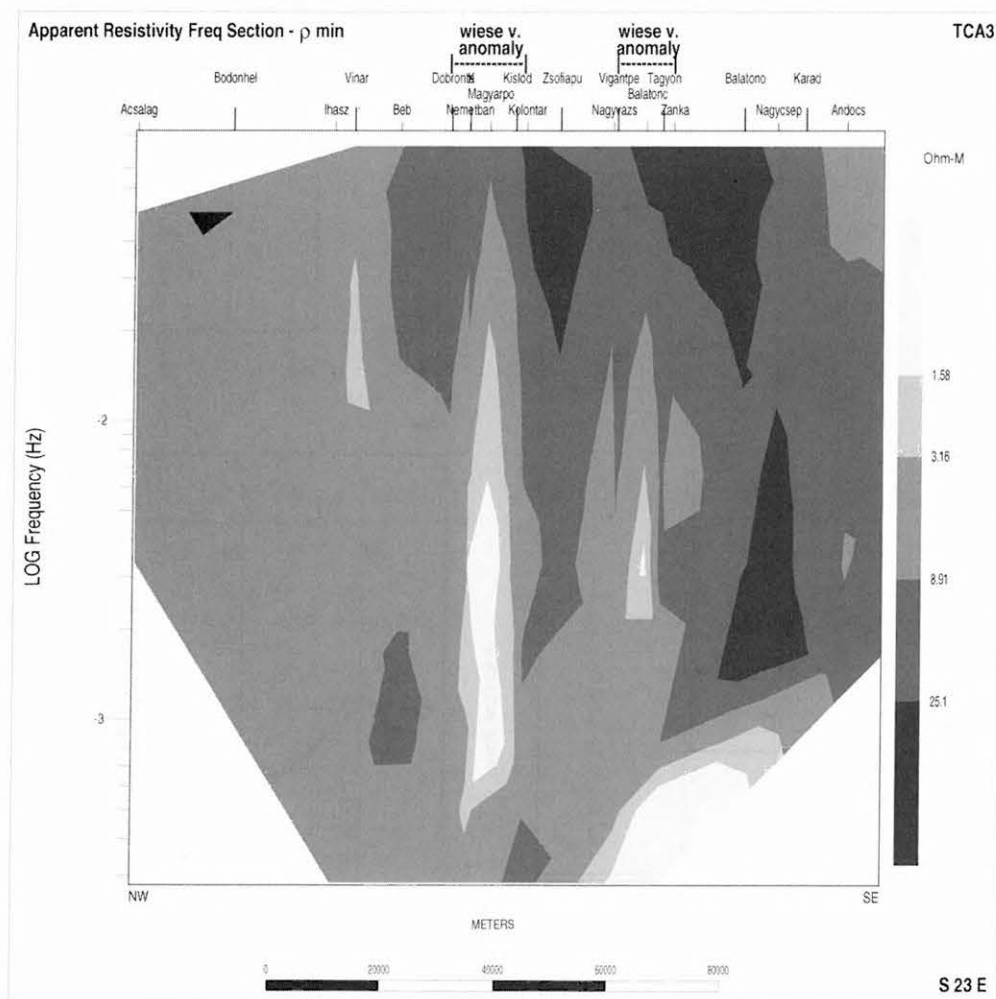
A 3. ábrán az indukciós vektorokat mutatjuk be a DVA területén. A $T > 20$ min-nál meghatározott Wiese-féle indukciós nyilak két jellegzetes sávban általában 0,1 körüli értéket vesznek fel és a Pannon-medencére jellemző É–D-i irányitottságtól eltérően a Dunántúli-középhegység hosszanti töréseinek irányába (ÉK–DNY) állnak be. A két, fentiekben jellemzett sáv között az indukciós vektorok délre fordulnak, mintegy jelezve, hogy a déli sávban a jólvezető képződmény vagy kisebb horizontális vezetőképeségű, vagy mélyebben helyezkedik el. A nevezett sávokra merőlegesen felvett szelvényben (illetve annak környezetében) mért magnetotellurikus szondázási görbék pszeudoszelvénye (4. ábra) is jól mutatja a Wiese-féle nyilak által jelzett vezetőképeség-anomáliákat (inhomogenitásokat). Az északi sáv megegyezik a szeizmikus

amplitúdóanomália sávjával, illetve a 2. ábrán jelzett középső vezetőképeséganomália-rendszerrel.



3. ábra. Hosszú periódusú ($T > 20$ min) Wiese-féle indukciós vektorok a DVA területén [WALLNER 1977]

Fig. 3. Long period ($T > 20$ min) Wiese-induction vectors in the area of the DVA [WALLNER 1977]



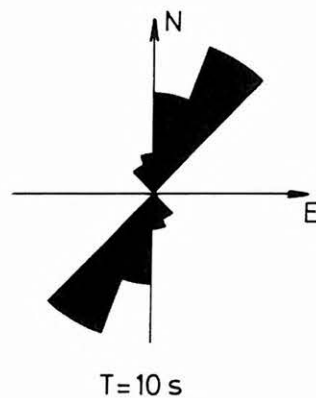
4. ábra. Látszólagos fajlagos ellenállás pszeudoszelvény a Wiese-vektorok által jelzett jólvezető zónákra (3. ábra) merőlegesen [ÁDÁM 2001]

2. Szeizmikus amplitúdó- és vezetőképesség-anomáliák az MK3 szelvény mentén

A jelenség bemutatása végett kiválasztottuk az egyik jól meghatározott szeizmikus amplitúdóanomáliát, illetve azzal jól egyeztethető vezetőképesség-anomáliát és azokat az alábbiakban részletesen leírjuk.

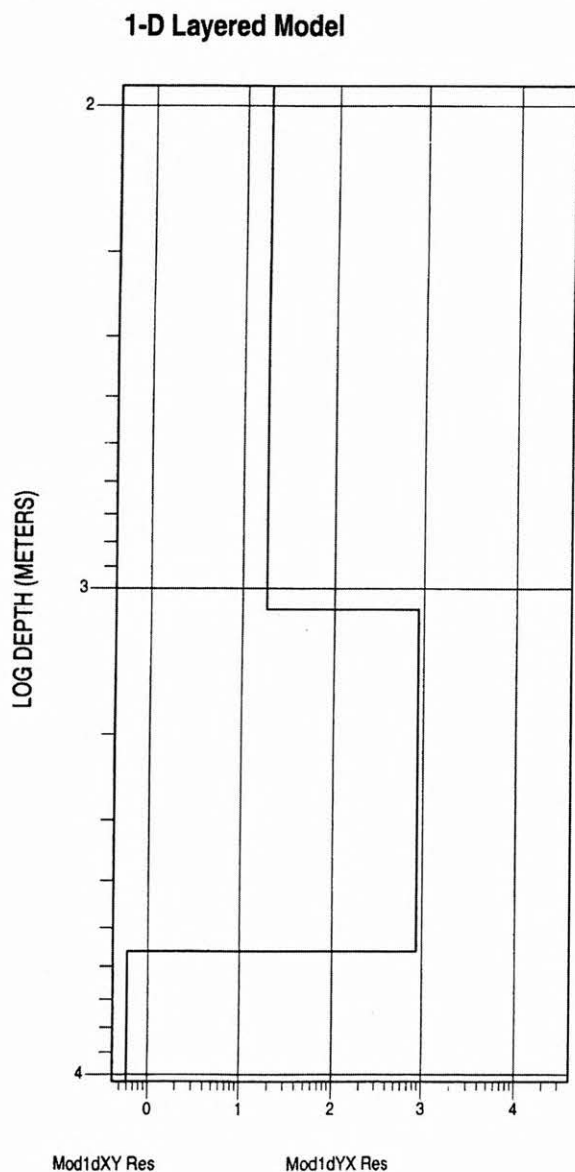
2a. A jólvezető anomália (VA) jellemzése

Az MK3 és a közvetlen mellette lévő VH és a nyugatabbra fekvő MK1 szelvény MT szondázási adataival Groom–Bailey (GB) dekompozíciót végeztünk [GROOM, BAILEY 1989] és ennek eredményeként a GB csapásirányokról rózsadiagramot szerkesztettünk (5. ábra). A dekompozíció megerősítette azt a korábbi megállapításunkat — összhangban a fázistérképekkel [ÁDÁM 2001], hogy a VA regionális csapásiránya jórészt követi a hosszanti törések (ÉK–DNY) irányát és az anomáliák (dike-ok) felett ebben az irányban van a szondázási görbék Rhomin értéke.

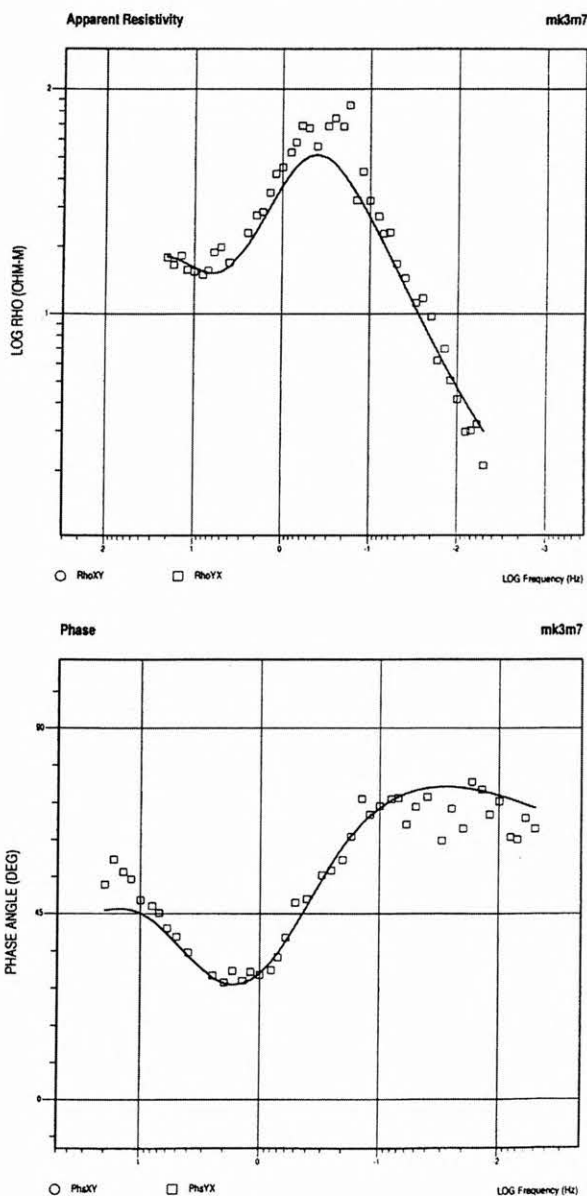


5. ábra. Groom–Bailey dekompozíciós csapásirányok rózsadiagramja $T = 10$ s esetén MK1, MK3 és VH szelvények mentén mért 36 MT pont adataiból számítva

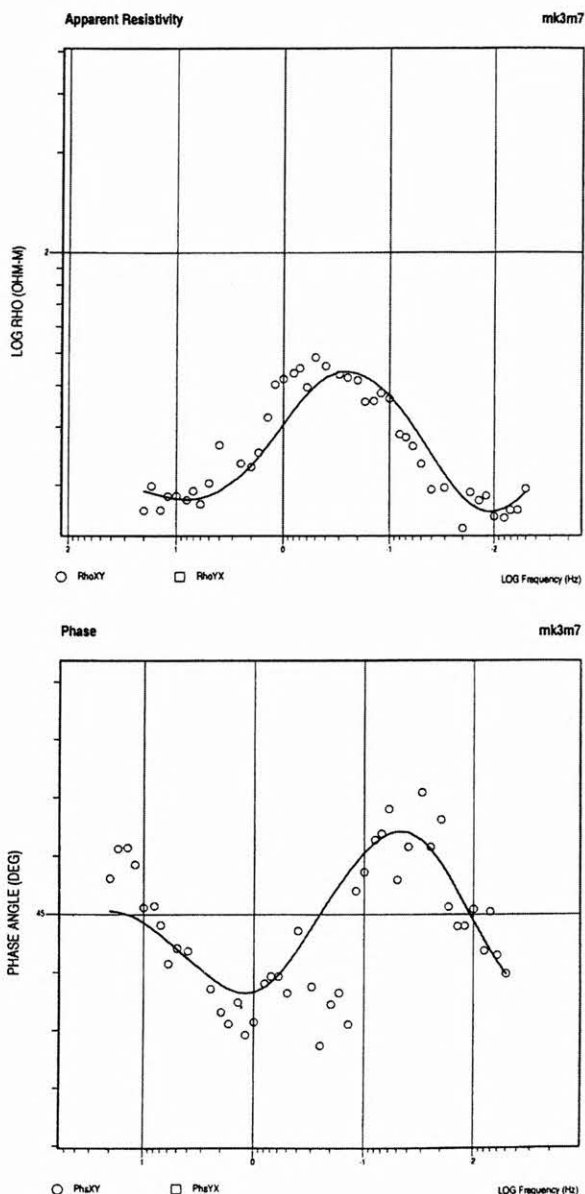
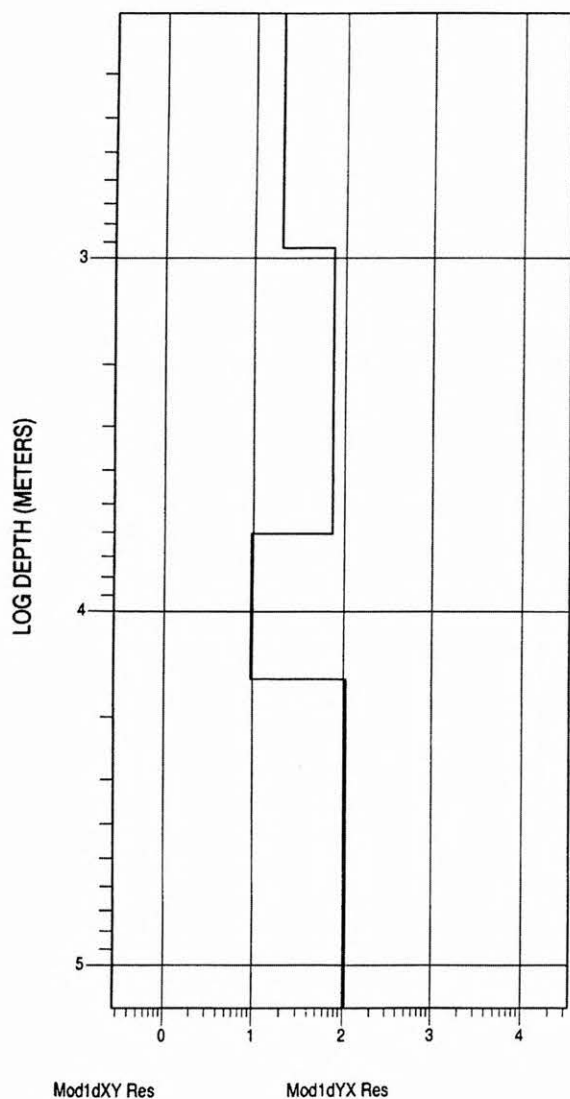
Fig. 5. Rose diagram of the Groom–Bailey strike determined at 10 s from the data of 36 MT sites measured along the profiles MK1, MK3 and VH



6a. ábra. E polarizációs MT szondázási görbe a 7 sz. ponton (MK3 szelvény) a jólvezető dike felett és 1-D rétegszelvények
Fig. 6a. E polarized MT sounding curve measured at MT site No 7 on the MK3 profile above the conductive dike and its 1D geoelectric layer model



1-D Layered Model



6b. ábra. B polarizációs MT szondázási görbe a 7 sz. ponton (MK3 szelvény) a jólvezető dike felett és 1-D rétegszelvények

Fig. 6b. B polarized MT sounding curve measured at MT site No 7 on the MK3 profile above the conductive dike and its 1D geoelectric layer model

Mivel a DVA területén a haránttöréseknek is jelentős szerepük van, a fentiekből természetesen kivételek is vannak. A 6. ábra E és B polarizációs görbéket és 1-D inverziójukat mutatja az anomália feletti 7 számú pont esetében. A B polarizációs görbéből horizontális vezető-képességet is lehetett számítani, amelynek értéke ~1000 Siemens. Ennél az E polarizációs görbéből meghatározott értéke lényegesen nagyobb. Az ÉK–DNY irányú regionális csapás E polarizációs és a rá merőleges B polarizációs görbékkel számított 2-D RRI és Occam inverziók eredményeként (7. és 8. ábra) rajzolódik ki az a vezetőképeség-anomália, amely a szeizmikus képen az amplitúdónövekedést és határozott reflexiós horizontokat eredményezett. A 2-D jólvezető test nem homogén. A vezetőképeség eloszlása arra utal, hogy több, az MT módszerrel az oldalhatások következtében nehezen szétválasztható jólvezető törések kombinációjával áll

össze a kb. 15–20 km széles jólvezető test, tehát egy törésekkel erősen fellazított területről lehet szó. Természetesen a mélységi kiterjedése az S ekvivalencia miatt bizonytalan.

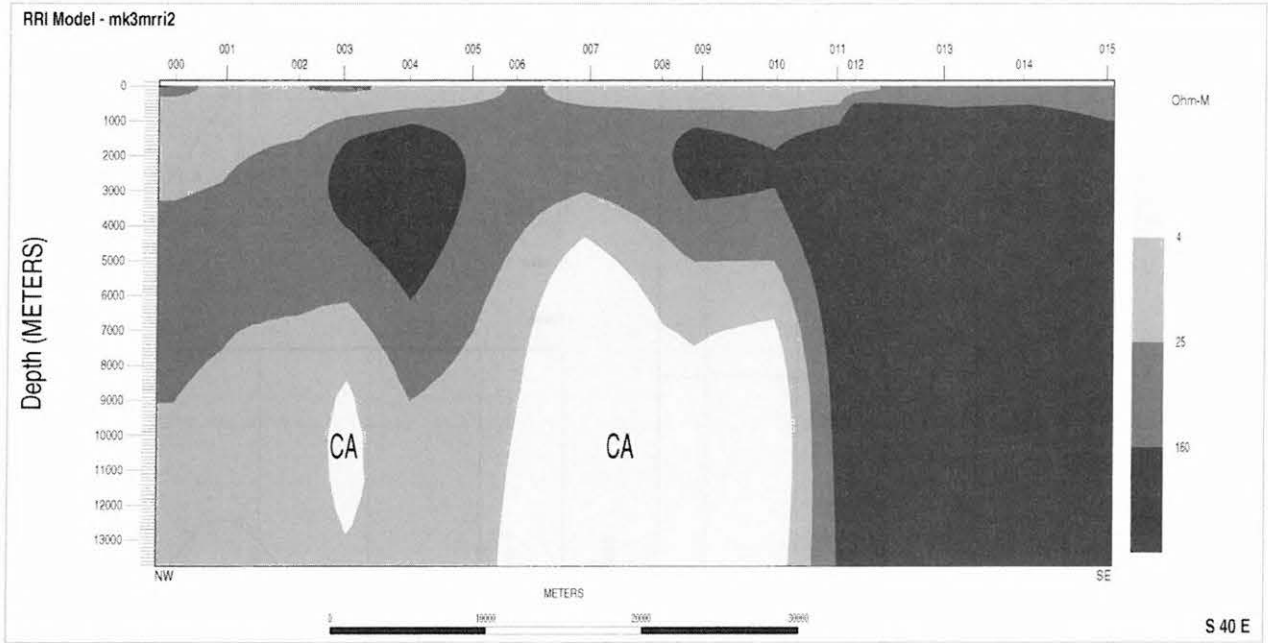
Délről az anomália — a 2-D inverzió szerint — erősen lehatárolódik egy nagyellenállású blokkal. Kétségtelen, hogy a jólvezető testek ilyen sűrű, egy tömbbe beálló halmaza megszűnik, de a 11 és 12-es pontban közel 90°-os irányváltással és erős csatornázással újabb törésekhez kapcsolódó jólvezető testek jelentkeznek, amelyeket a Rhomin görbékkel szerkesztett 1-D összevont inverziós szelvények (vagy „horribile dictu” ezekkel végzett 2-D inverziók) jól mutatnak.

2b. Szeizmikus amplitúdó anomáliák

Az MK3 tektonikailag értelmezett migrált időszelvényén [R. TÁTRAI, VARGA 2001] BS1 és BS2 jelöli a környezet-

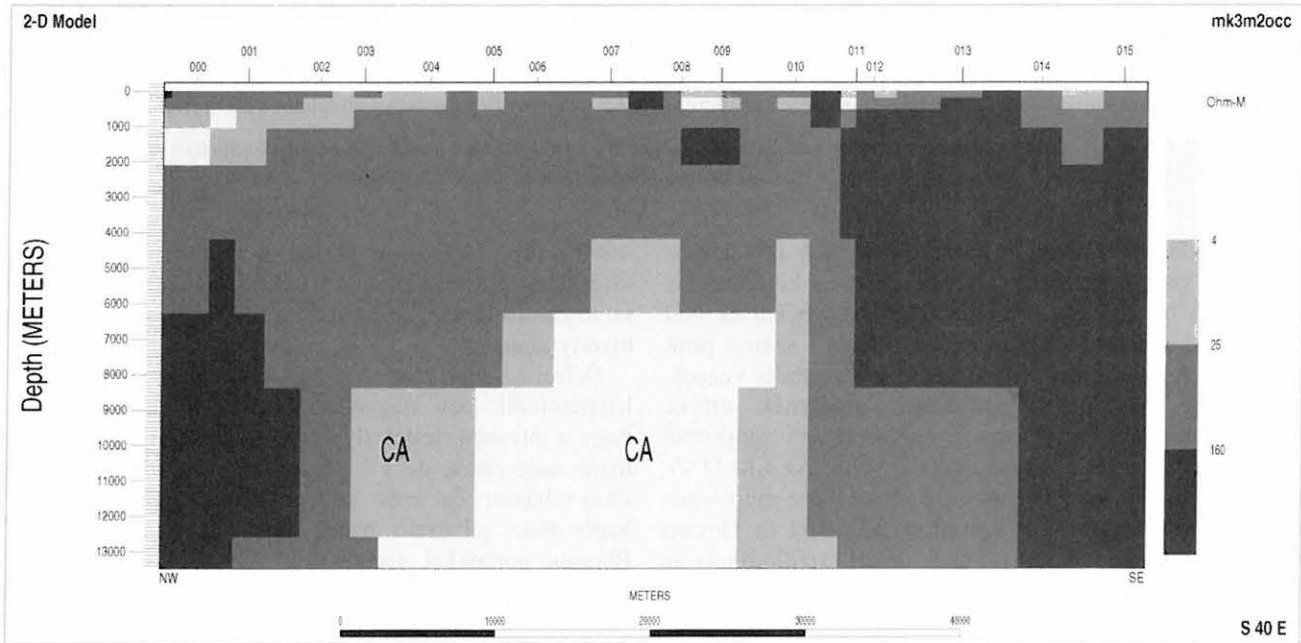
ből kiemelkedő amplitúdójú, közel vízszintes reflexiókötégek felső szintjét (9. ábra). Ezek a felületek a Csatkai és a Móri medence alatt emelt helyzetben vannak. A Dunántúli-középhegység szerkezeti felépítését ábrázoló térképek tanúsága szerint, a mélyszerkezet kialakításában nagy szerepet játszó ÉK–DNY irányú törések szelvénybeli metszete az 1670 és a 0890 mélységpontnál található [R. TÁTRAI, VARGA 2001]. A 10. ábrán látható a kérdéses szakasz ki-

nagyított mélység-szelvénye. Ezen a részen a vezetőképesség-anomália 5 és 6 km közötti mélységben jelentkezett. A 11. ábrán az MK-3 szelvény egy nagyobb mélységtartományt átfogó régebbi feldolgozású időszelvénye látszik [PÁPA et al. 1990], amelyen az akkor használt 1-D meghatározás eredményei alapján tüntették fel a vezetőképesség-értékeket is. A nagyobb reflexióerősségű szintek és a jól vezető rétegek egybeesése itt is szembeszökő.



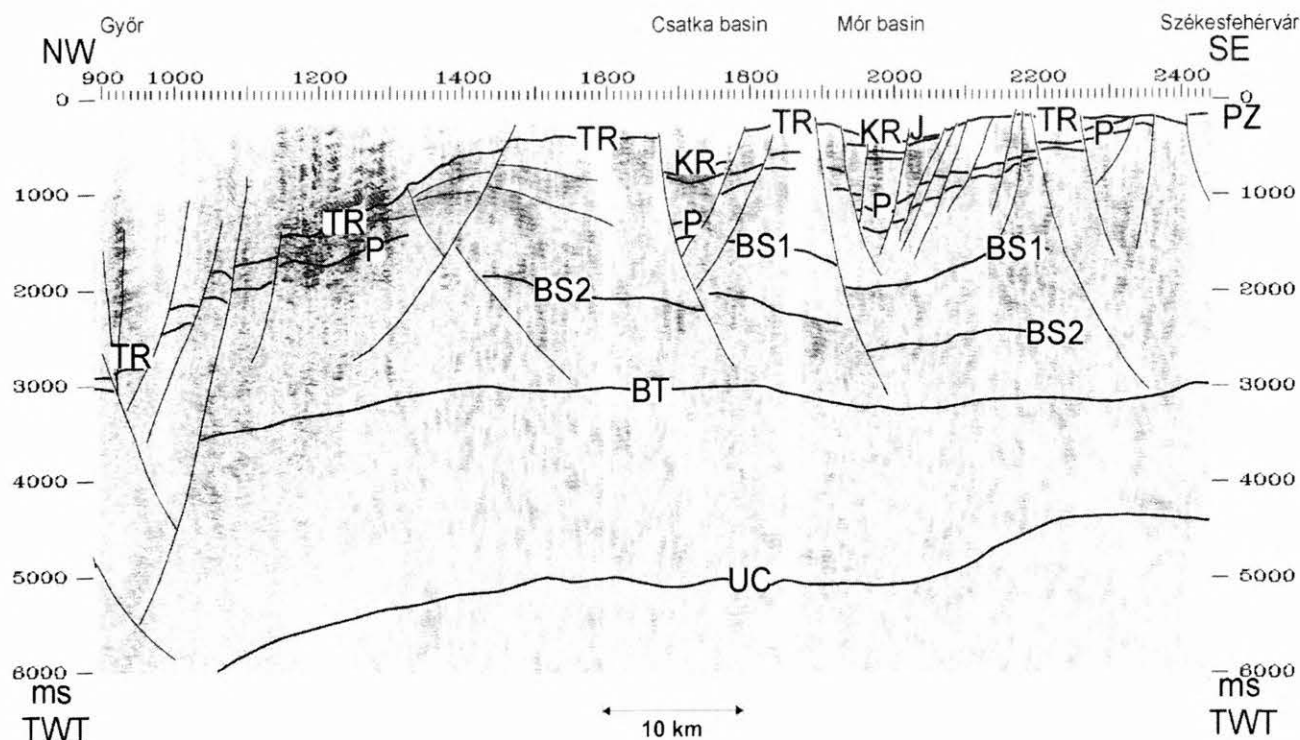
7. ábra. MK3 szelvény 2-D RRI inverziója [ÁDÁM 2001]

Fig. 7. 2D RRI inversion of MK3 profile [ÁDÁM 2001]



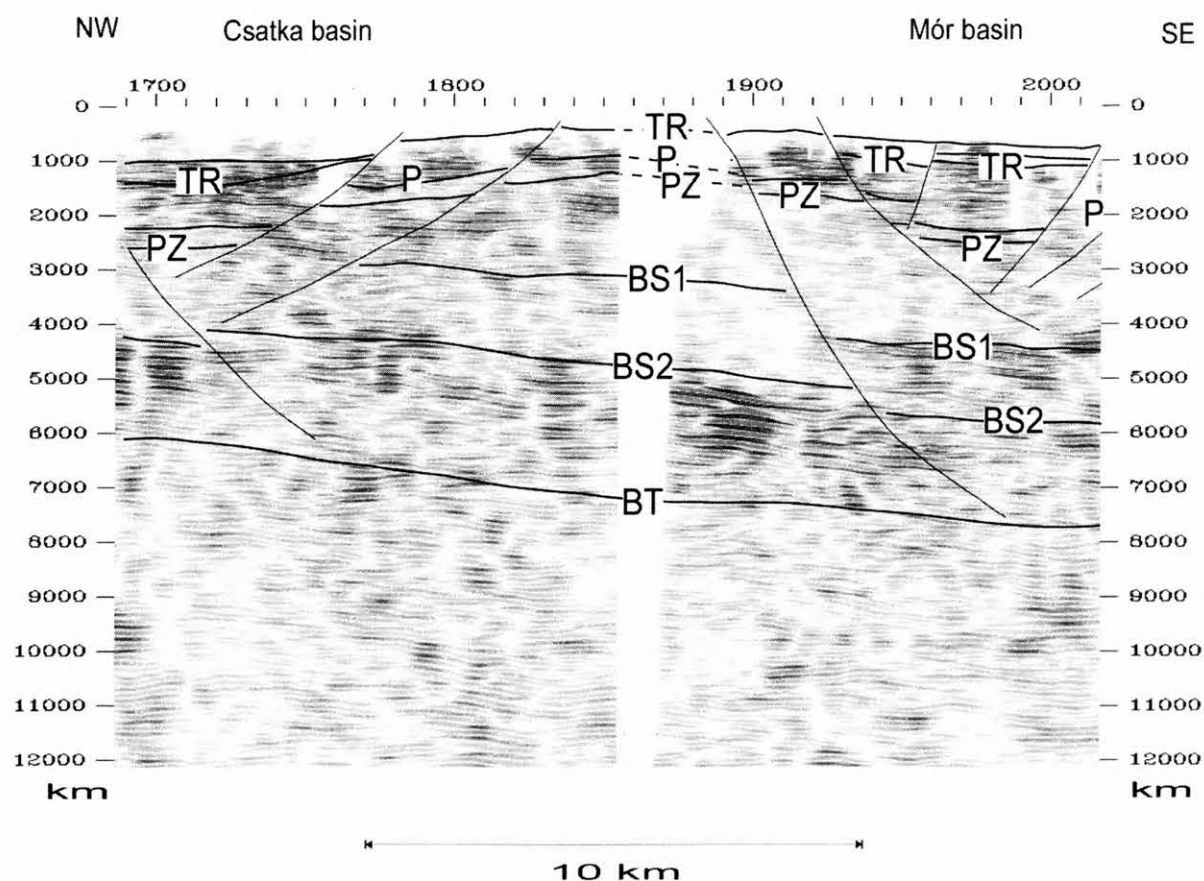
8. ábra. MK3 szelvény 2-D Occam inverziója [ÁDÁM 2001]

Fig. 8. 2D Occam inversion of MK3 profile [ÁDÁM 2001]



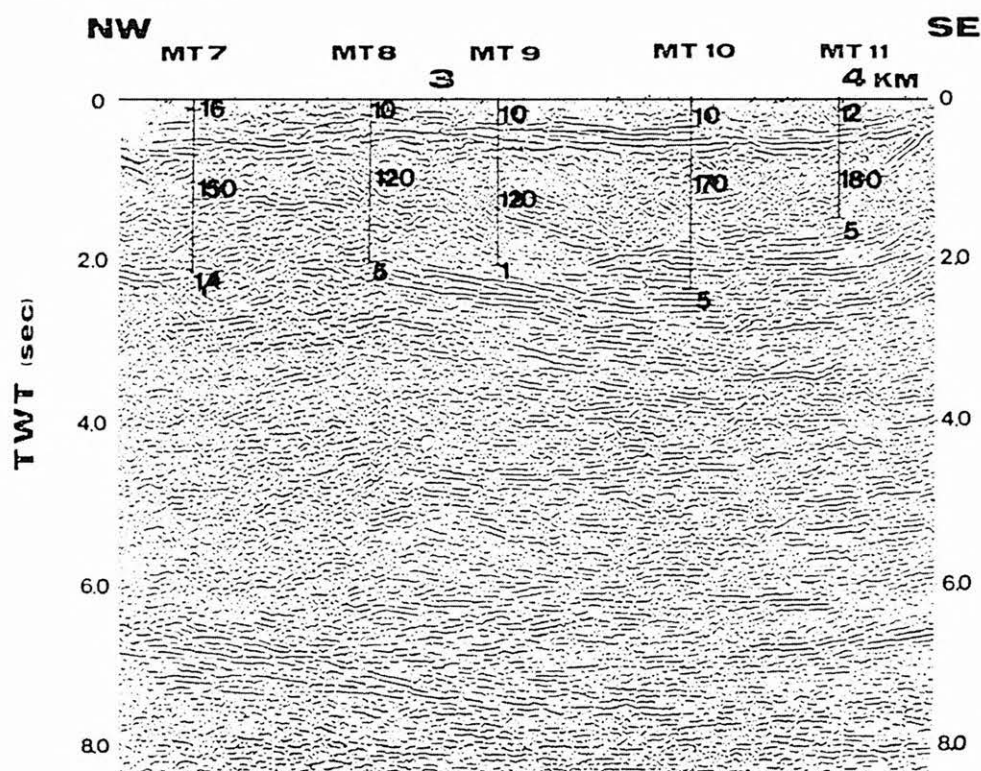
9. ábra. A K1-MK3 migrált időszelvény DK-i része a Dunántúli-középhegységben interpretációval [R. TÁTRAI, VARGA 2001]

Fig. 9. SE part of the K1-MK3 migrated time section with interpretation across Transdanubian Central Range [R. TÁTRAI, VARGA 2001]



10. ábra. K1-MK3 szeizmikus szelvény egy része a tektonikai vonalakkal (törések/veők) [R. TÁTRAI, VARGA 2001]

Fig. 10. Part of the K1-MK3 profile: seismic section with tectonic lines (fractures/faults) [R. TÁTRAI, VARGA 2001]



11. ábra. Az MK3/77 szeizmikus szelvény magnetotellurikus fajlagos ellenállás rétegsorozattal [PÁPA et al. 1990]

Fig. 11. Seismic section of MK3/77 profile with MT layer sequences [PÁPA et al. 1990]

3. Értelmezés

A szeizmikus amplitúdóanomáliák létrejöttében általában a gáz és folyadék (sós oldat, olvadt anyag) szerepét méltatja az irodalom. Így a jólvezető anomáliákkal kapcsolatban jelentkező szeizmikus amplitúdóanomáliákat is folyadéknak tulajdonítja JONES [1998] pl. a Garibaldi-övvvel, a tibeti Yangbajja-árokak kapcsolatban. Az alsó kéregben észlelt és dehidratációval magyarázott jólvezető réteg is gyakran párosul nagyenergiájú reflexiókkal, amint azt többek között KLEMPERER [1987] részletesen is vizsgálta. Bár ezzel kapcsolatban egyeseknek kemény petrológiai ellenvetéseik vannak [YARDLEY, VALLEY 1997], ezek az anomáliát mégis többnyire vizes oldatoknak tulajdonítják [HYNDMAN et al. 1993], eltekintve az idős kristályos pajzsokon észlelt jólvezetőktől [KORJA 1990].

Ugyanakkor a paleozoós képződményekben a vezetőképesség-anomáliát felszíni kibúvások (Gail-völgy) [ÁDÁM et al. 1990], fűrőlyukminták (KTB) [ELEKTB Gruppe c/o A. RAUEN 1994, WALTHER, ALTHAUS kézirat] alapján joggal hozzák kapcsolatba a grafittal/grafitpalákkal, amelyek a magnetotellurikus adatokban rendkívül nagy horizontális vezetőképességgel jelentkeznek, amint arra ZHAMALETIDINOV [1996] részletes vizsgálata is utalnak a volt Szovjetunió hatalmas területén.

A folyadék és a grafit egyaránt jelen van a KTB fúrási mintáiban, illetve az LLD-Logs meghatározásaiban. A fenti KTB-vel kapcsolatos részletes tanulmány százalékosan is megadja különböző mélységtartományokban a vezetőképességben szerepet játszó grafit és elektrolit részarányát (pl. 2834 m-en 22% grafit és 2% folyadék).

A két komponens tehát elválaszthatatlan, így az a mechanizmus, amely révén a grafitos anomália keletkezik, összefüggésben van a folyadékkal. Így hivatkozhatunk elsősorban a „fluid-deposited graphite”-ra (folyadék által lerakott grafit) BARTELS, PASTERIS [é. n.] vagy ZIEGELBEIN et al. [1989] tanulmányában, amely folyadékszállítás és grafitképződés a törési zónákban címmel értelmezi a jelenséget. Újabban WANNAMAKER [2000] az új-zélandi VA-val kapcsolatban is ezt az elméletet írja le, megállapítva, hogy „remobilized hydrothermal graphite played a role in establishing an interconnected phase”¹. JONES [1998] a „Fraser fault”-tal kapcsolatban írja: „the mid crustal zone was interpreted as a region of entranced organic carbon or graphite deposited during upwelling in fault zone of deeply penetrating meteoric waters”².

A fentiek alapján a Dunántúli-középhegységben észlelt vezetőképesség- és szeizmikus amplitúdóanomáliák is a törésrendszerek mentén kialakult repedéshálózattal hozhatók kapcsolatba. Ebben feltételezhető grafit és folyadék megmagyarázza a nagy vezetőképesség-értékeket. Az MT adatok 2-D feldolgozása a repedéshálózatot mint folyadék-vezető csatorna együttesét jelöli ki. A repedéshálózatnak és a benne levő folyadéknak jelentős szerepe lehetett a reflexióerősség megnövekedését elősegítő közet-átalakító hatások létrehozásában.

¹ remobilizált hidrotermális grafit játszott szerepet az összefüggő fázis kialakításában

² a középső kéregben az organikus szénnek, vagy grafitnak egy olyan régióját értelmezték, amely a vetőzónában mélybe lehatoló meteorit vizek felemelkedése rakott le

A törések feltehetően egy olyan paleozoós rétegből emelkednek ki, amely grafitos kőzetet tartalmaz.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki a szaklektoroknak értékes tanácsaikért és dr. POSGAY Károly ny. Főosztályvezetőnek különösen azért, hogy a RÁNER Géza és társszerzőinek (L. Hivatkozások) a terület szeizmikus kutatásával kapcsolatos munkásságáról írt sorokkal a tanulmányt kiégyeztette.

HIVATKOZÁSOK

- ÁDÁM A. 1971: A paleozoós grafitos képződmények meghatározása magnetotellurikus módszerrel elektromos árnyékoló rétegek alatt a Magyar medencében és néhány genetikai következtetés. MTA X. Oszt. Közl. **4**, 2-4, 297-308
- ÁDÁM A. 2001: Relation of the graphite and fluid bearing conducting dikes to the tectonics and seismicity (Review on the Transdanubian crustal conductivity anomaly). *Earth Planets Space* **53**, 903-918
- ÁDÁM A., VARGA G. 1990: Distortions of the electromagnetic field by shallow basins and by resistive outcrops. *Phys. Earth Planet. Inter.* **60**, 80-88
- ÁDÁM A., VERŐ J. 1964: Ergebnisse der regionalen tellurischen Messungen in Ungarn. *Acta Technica* **47**, 761-773
- ÁDÁM A., DUMA G., HORVÁTH J. 1990: A new approach to the electrical conductivity anomalies in the Drauzug-Bakony geological unit. *Phys. Earth Planet. Inter.* **60**, 155-162
- BARTELS K. S., PASTERIS J. D.: Preliminary results on the relation between graphite derived from metamorphosed organic matter and fluid deposition in rocks of the KTB-VB and -HB: A Raman spectroscopic study (Kézirat)
- ELEKTB G. Gruppe c/o A. RAUEN 1994: Untersuchungen zur elektrischen Leitfähigkeit in der kontinentalen Tiefbohrungen und ihrem Umfeld — was bringen sie uns Neues? Deutsche Geophysikalische Gesellschaft e.V. **4**, 2-40
- GROOM R. W., BAILEY R. C. 1989: Decomposition of magnetotelluric impedance tensors in the presence of local three dimensional galvanic distortions. *J. Geophys. Res.* **94**, 1913-1925
- HYNDMAN R. D., VANYAN L. L., MARQUIS G., LAW L. K. 1993: The origin of electrically conductive lower crust: saline water or graphite. *Phys. Earth Planet. Inter.* **81**, 325-344
- JONES A. G. 1998: Waves of the future: Superior inferences from collocated seismic and electromagnetic experiments. *Tectonophysics* **286**, 273-298
- KLEMPERER S. L. 1987: A relation between continental heat flow and the seismic reflectivity of the lower crust. *J. Geophys.* **61**, 1-11
- KORJA T. 1990: Electrical conductivity of the lithosphere. *Acta Universitatis Ouluensis, Series A, Scientiae Rerum Naturalium* **215**, pp. 93
- PÁPA A., RÁNER G., TÁTRAI M., VARGA G. 1990: Seismic and magnetotelluric investigation on a network of base lines. *Acta Geod. Geoph. Mont. Hung.* **25**, 309-324
- RÁNER G., KÓNYA A., SZALAY I. 1972: A magyar Középhegység előtereinek szeizmikus (módszertani) kutatása. Az ELGI 1971. évi jelentése, 42-46
- RÁNER G., KÓNYA A., HEGEDŰS E. 1977: Földtani alapszelvények vizsgálata. Az ELGI 1976. évi jelentése, 31-33
- RÁNER G., ÁDÁM O., VARGA G., ALBU I., MAJKUTH T., NEMESI L., REDLERNÉ TÁTRAI M. 1983: Földtani alapszelvények vizsgálata. Az ELGI 1982. évi jelentése, 66-71
- R. TÁTRAI M., RÁNER G., VARGA G. 1993: Geophysical deep structure studies of the Transdanubian Central Range. MAEGS 8. Evolution of Intramontane Basins, Budapest
- R. TÁTRAI M., VARGA G. 2001: Újabb adatok a Kisalföld és a Dunántúli-középhegység mélyszerkezeti felépítéséről. *Magyar Geofizika* **42**, 22-35
- TAKÁCS E. 1968: Anomalous conductivity of the upper crust in the NW foreground of the Bakony Mountains. *Acta Geod. Geoph. Mont. Hung.* **3**, 155-160
- VARGA G. 1975: Jelentés az Észak-Magyarországon és a Dunántúli-középhegységben végzett magnetotellurikus és EMT mérésekről. Magyar Geológiai Szolgálat Országos Földtani és Geofizikai Adattárának Geofizikai Adattári Rész
- WALLNER Á. 1997: The main features of the induction arrows in the area of the Transdanubian conductivity anomaly. *Acta Geod. Geoph. Month. Hung.* **12**, 145-150
- WALTHER J., ALTHAUS E.: Graphite deposition in tectonically mobilized fault planes of the KTB-Pilot drill hole (Kézirat)
- WANNAMAKER P. E. 2000: Comment on "the petrologic case for a dry lower crust" by B. D. YARDLEY and J. W. VALLEY. *J. Geophys. Res.* **105**, 6057-6064
- YARDLEY B. W. D., VALLEY J. W. 1997: The petrologic case for a dry lower crust. *J. Geophys. Res.* **102**, 12,173-12,185
- ZHAMALETDINOV A. A. 1996: Graphite in the Earth's crust and electrical conductivity anomalies. *Izvestiya Physics of the Solid Earth* **32** (4), 272-288 (Translated from *Fizika Zemli* **4**, 12-29)
- ZIEGELBEIN, SKROTZKI, HOEFS, MÜLLER, REUTEL, EMMERMAN 1989: Fluidtransport und Graphitbildung auf Störungszonen. In: R. EMMERMANN und P. GIESE (Eds): KTB Report 89-3, 46-53. Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover