

# Keressük a Hopkinson-hatást, azaz a Curie-hőmérséklet közelében történő jelentős szuszceptibilitás-növekedést a Pannon-medencében<sup>1</sup>

ÁDÁM ANTAL<sup>2</sup>

Az utóbbi időben KISS, SZARKA, PRÁCSER [pl. 2005a, b] felvetette annak lehetőségét, hogy a Hopkinson-hatásra alakult ki néhány jelentős mágneses anomália a Pannon-medence földkérgében a Curie-hőmérséklet közelében. A szerző e megállapítás valószínűségének vizsgálatára geometriailag — gravitációs, mágneses és szeizmikus módszerrel — „viszonylag jól” meghatározott bazikus intruzió/bazaltos alsó kéreg kiemelkedést választott a Békési-medencében. A Hopkinson-hatásra az itteni mágneses anomáliára nézve független szerzők által végzett szuszceptibilitás meghatározásokból próbált következtetni. Mivel következtetései a bizonytalan tényezők miatt csak alternatív jellegűek, az érdekelteket további vizsgálatokra szeretné ösztönözni (vitacikk).

## A. ÁDÁM: Looking for the Hopkinson effect, i.e. the significant susceptibility increase near Curie temperature in the Pannonian basin

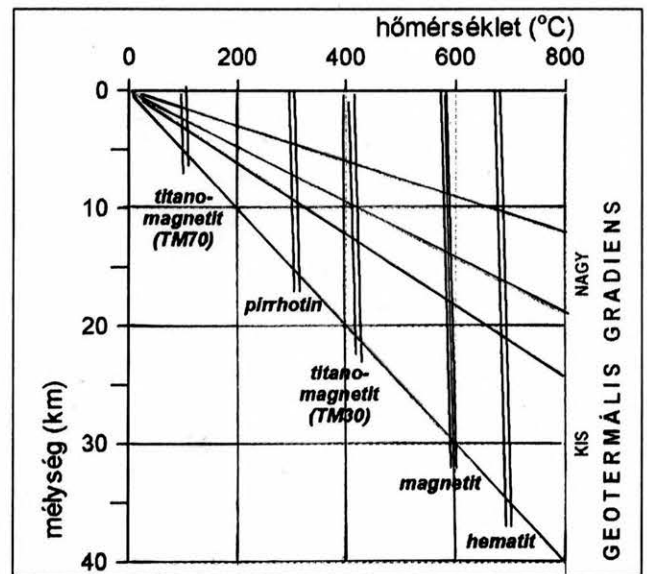
Recently KISS, SZARKA, PRÁCSER [e.g. 2005a, b] raised the issue that greater magnetic anomalies in the crust of the Pannonian basin could have been generated by the Hopkinson effect near the Curie temperature. The author — to study the probability of this issue — has chosen an elevation of the basaltic lower crust/an intrusion in the Békés subbasin. Geometry of these structures have been relatively well determined by magnetic gravity and seismic measurements. Conclusions concerning the Hopkinson effect in the magnetic anomalies have been drawn from the susceptibility determinations of independent authors. Only alternative approximations of the effect could have been formulated which urges to further investigation of the problem (and discussion).

1. KISS János, SZARKA László és PRÁCSER Ernő több tanulmányában [KISS, SZARKA, PRÁCSER 2005a, 2005b; SZARKA et al. 2007] foglalkozott a Curie-hőmérséklet közelében mért mágneses szuszceptibilitás ( $\kappa$ ) növekedés — az ún. Hopkinson-hatás [HOPKINSON 1889] — várható, földtani/geofizikai adatokban való megnyilvánulásával, különös tekintettel a magnetotellurikus módszerrel kimutatott elektromos ellenállás-anomáliák értelmezésére. A hazai szakértársadalom számára elsősorban a Magyar Geofizika 2005. évi (46. évf.) 3. számában megjelent cikkükre hívjuk fel a figyelmet. Ebben közölt 2. ábrájuk különböző ásványok esetében mutatja a Curie-hőmérséklet várható mélységét a terület geotermikus viszonyainak függvényében. (Átvettük 1. ábraként.)

Az ásványokon — így a pirrotinon ( $\text{Fe}_n\text{S}_{n+1}$ ) végzett kísérlet eredményéről a fenti szerzők KONTNY et al. [2000] tanulmányára hivatkoznak. Mellette DUNLOP [1974] hematiton végzett kísérleteit kell megemlíteni, aki hematit esetében 20-szoros növekedést tapasztalt, továbbá JELENSKA [1979] eredményét maghematit oxidálódott magnetit esetében. (Ez utóbbira visszatérünk.)

Ha hazai — Pannon-medencebeli — Hopkinson-hatásokat keresünk, a fenti tanulmányok két fontos adatát kell figyelembe vennünk. Nagyobb szuszceptibilitás-növekedést a magnetit esetében várhatunk. Így a szerzők szerint a 2% magnetit tartalmazó bazaltnál a  $\mu_r$  értéke  $(1+\kappa)$  100-szoros Hopkinson-hatás esetében 1,08-ról 9-re nőhet. Ebben a megállapításban két bizonytalansági tényező van: a magnetittartalom és a Hopkinson-hatás mértéke.

A magnetit esetében a Curie-hőmérséklet  $\sim 578^\circ\text{C}$ , a fenti szerzők által feltételezett Pannon-medencebeli 0,041–0,066  $^\circ\text{C}/\text{m}$ -es geotermikus gradiens alapján 9–14 km-ben



1. ábra. A Curie-hőmérséklet és a Curie-mélység kapcsolata a geotermikus gradiens alapján különböző mágneses ásványok esetében [KISS, SZARKA, PRÁCSER 2005b]. A „nagy gradiens” a Pannon-medence geotermikus viszonyait közelíti

Fig. 1. Connection between the Curie temperature and Curie depth — based on the geothermal gradient — for the main magnetic minerals [KISS, SZARKA, PRÁCSER 2005b]. The great geothermal gradient approximates the geothermal relations in the Pannonian basin

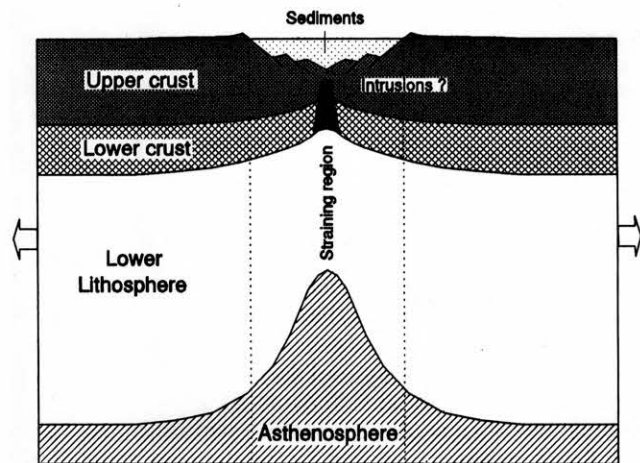
<sup>1</sup> Beérkezett: 2008. április 8-án

<sup>2</sup> MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet,

Sopron, Csatkai E. u. 6–8., e-mail: adam@ggki.hu

várható. Ehhez hasonló hőmérsékletbecslést találunk pl. POSGAY et al. [2006]-nál. KOVÁCSVÖLGYI [1995] 16 km-re teszi a magnetitnél a Curie-hőmérsékletet, NEMESI, STOMFAI [1992] pedig 20–21 km-re közös gravitációs és mágneses modellezés alapján. Természetesen a geotermikus gradiens értékéről nincsenek pontos információink, és ez a mi vizsgálódásunkban is komoly zavaró tényező!

2. Kérdés, van-e olyan geometriailag, elsősorban mélységében jól meghatározott mágneses anomália, amelyen a Hopkinson-hatás megfigyelhető? Erre kínálkozik a Békési-árokban észlelt nagy sűrűségű mágneses intrúzió (2. ábra), amelyet mind gravitációs, mind mágneses hatásában részletesen tanulmányoztak. Így pl. BIELIK [1988], NEMESI, STOMFAI [1992], KOVÁCSVÖLGYI [1994, 1995], továbbá ÁDÁM, BIELIK [1998] cikkeire hivatkozhatunk. Az üledékhatástól mentesített gravitációs anomália alapján az intrúzió mélységét NEMESI, STOMFAI [1992] 15 km mélységben adja meg. Megállapításuk szerint a köpenyanyag (nem asztenoszféra!) sűrűsége  $3,25 \text{ t/m}^3$  és 30 km mélységből emelkedik fel.



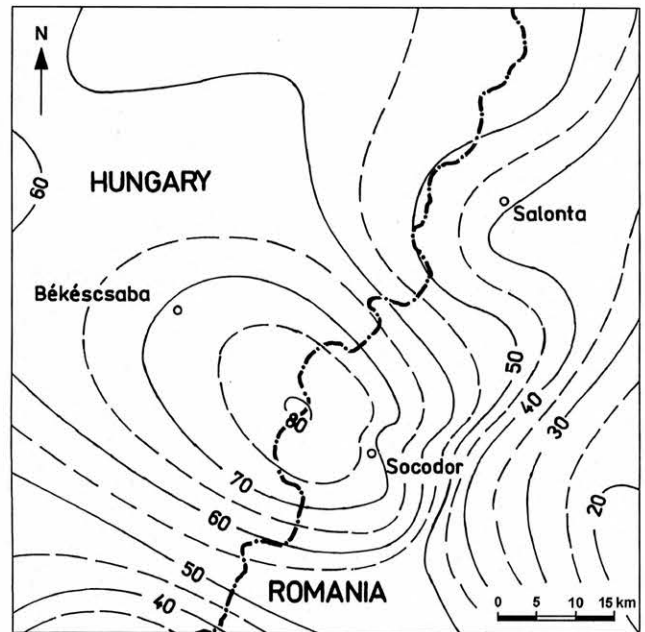
2. ábra. A kontinentális extenziós tektonika keskeny rift modellje a Pannon-medencében (BOTT [1982] alapján ÁDÁM, BIELIK [1998] által módosítva)

Fig. 2. Scheme of a narrow rift mode of continental extensional tectonics for the Pannonian basin (modified after BOTT [1982] by ÁDÁM, BIELIK [1998])

A gravitációs anomáliával kapcsolatban még idézzük ÁDÁM, BIELIK [1998] megállapítását<sup>1</sup>: „To improve the fit between the observed and calculated local gravity high over the Békés basin we have to assume a striking high density anomalous body (density contrast  $+0.30 \text{ gcm}^{-3} = 300 \text{ kgm}^{-3}$ ). It is located within the lower-crust when its apical part reaches a depth of 10–15 km.” ÁDÁM, BIELIK [1998] tanulmányából átvesszük az intrúzió gravitációs hatását bemutató ábrát (3. ábra), azaz az eredeti cikkből a 14. ábrát. NEMESI, STOMFAI [1992] modellszámítási ábráit a 4. és 5. ábránkon mutatjuk. KOVÁCSVÖLGYI [1995] a PGT1 és PGT4 szeizmikus kéregszelvényekből indul ki [POSGAY et

<sup>1</sup> Annak érdekében, hogy javítsuk a mért és számított helyi nagy gravitációs érték közötti egyezést a Békési-medencében, fel kell tételeznünk egy igen nagy sűrűségű anomális testet (sűrűségkontrasztja  $+0,30 \text{ gcm}^{-3}$ ). Ez az alsó kéregben van, amelynek a teteje eléri a 10–15 km-t.

al. 1992, 1995] és megállapítja: „Tehát a medencehatástól mentes gravitációs anomália hatójának a szeizmikus mérésből megismert mélyszerkezeti elemek (alsó kéreg, köpeny) kiemelkedése tekinthető.” (L. KOVÁCSVÖLGYI [1995] 6. ábráját!) A különböző szerzők számításai tehát 5–10 km-en belül vannak összhangban. Összehasonlítva KISS et al. [2005a, b] magnetitre megadott Curie-mélységét a békési nagy sűrűségű bázikus intrúzió, illetve KOVÁCSVÖLGYI [1995] értelmezése szerint a bázikus (bazaltos) alsó kéreg kiemelkedésének mélységével megállapíthatjuk, hogy a mélységértékek jól közelítik egymást, tehát várható, hogy az intrúzió testében lejátszódik a Hopkinson-féle szuszceptibilitás-növekedés.



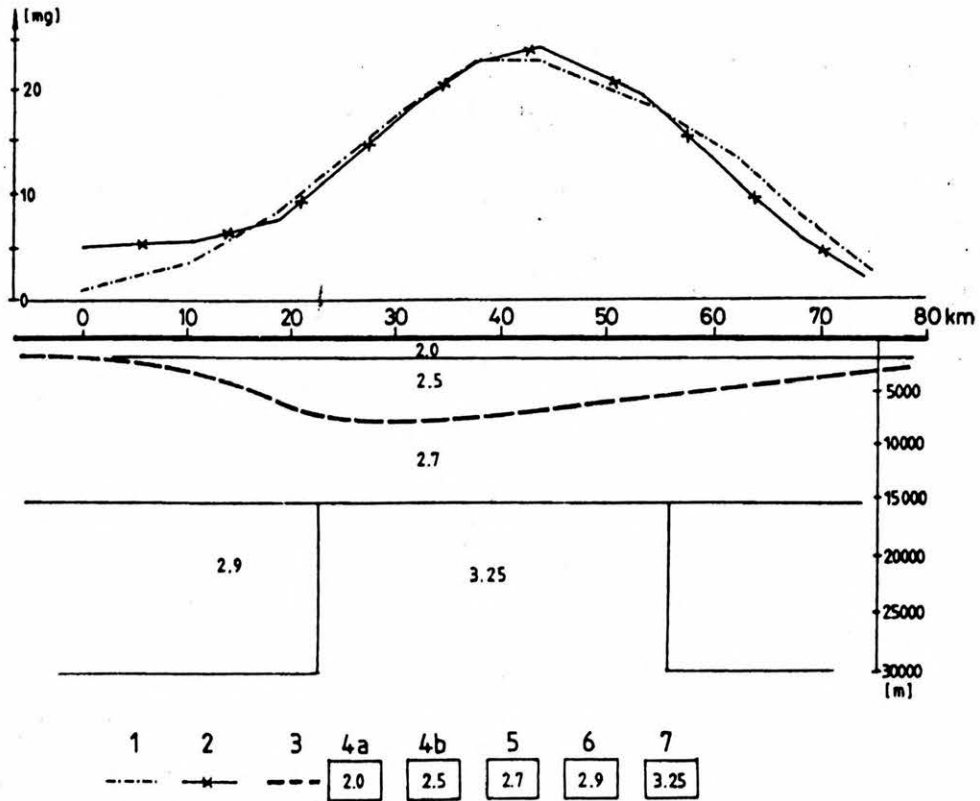
3. ábra. Bouguer gravitációs térkép a Békési-medencében az üledékhatással korrigálva [ÁDÁM, BIELIK 1998]

Fig. 3. Bouguer gravity map corrected by the gravity effect of the sediment of the Békés basin [ÁDÁM, BIELIK 1998]

3. Vizsgáljuk meg tehát ezek után a mágneses anomáliára levezetett szuszceptibilitás értékeket. NEMESI, STOMFAI [1992] közös inverziót végzett a gravitációs és mágneses testre vonatkozóan. Idézzük: „Az asztenoszféra (téves!) sűrűségét  $3,25 \text{ t/m}^3$ -nek és szuszceptibilitását  $3200 \cdot 10^{-6} \text{ CGS}$  (ez  $40\,000 \cdot 10^{-6} \text{ SI}$ , mivel  $1 \text{ CGS} = 1/4\pi \text{ SI}$ ) véve addig változtattuk a test mélységét, amíg a számított Bouguer-anomália és mágneses  $\Delta Z$  anomális értékek a mért értékekkel ‘kellőképpen’ nem egyeztek.” További megállapításuk: „A mágneses ható felszíne ugyancsak 15 km-ben van, de a ható ilyen mágneses tulajdonságok mellett csak 5–6 km vastag. (L. a szerzők ábráját az 5. ábránkon.) Ez olyasmint is jelent — mint már említettük, — hogy 20–21 km mélységben érjük el a Curie-pontot”. KOVÁCSVÖLGYI [1995] számítása szerint „a regionális mágneses anomália hatója az alsó kéreg azon kiemelt helyzetű része, amely a magnetit Curie-pontjának megfelelő hőmérsékletű szint (16 km) fölé nyúlik.” KOVÁCSVÖLGYI ezen megállapítását a PGT4 szelvény menti számításaival szemléltettük. (KOVÁCSVÖLGYI 6. ábráját a 6. ábránkon vettük át.) Láthatjuk, hogy az alsó kéreg kiemelkedése 10 km közelében van. Ezt

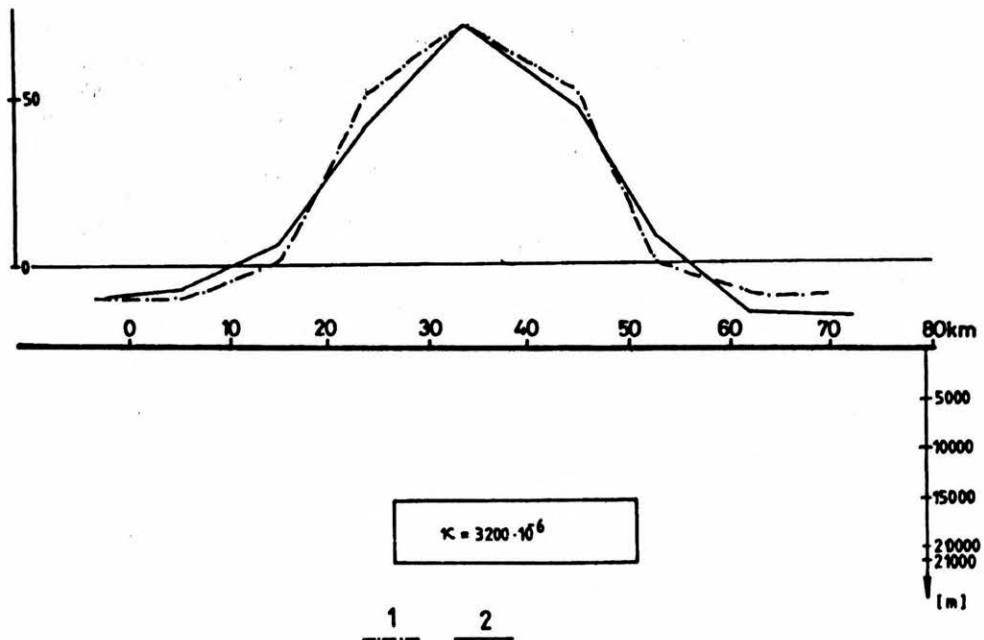
a testet alulról a 16 km-es szint határolja. KOVÁCSVÖLGYI [1995]  $3000 \cdot 10^{-6}$  CGS szuszceptibilitással számolt. (Tévesen cikkében SI egységet írt, de ezt tisztáztuk STOMFAI

programjára hivatkozva, amellyel a számítást CGS-ben végezte.)



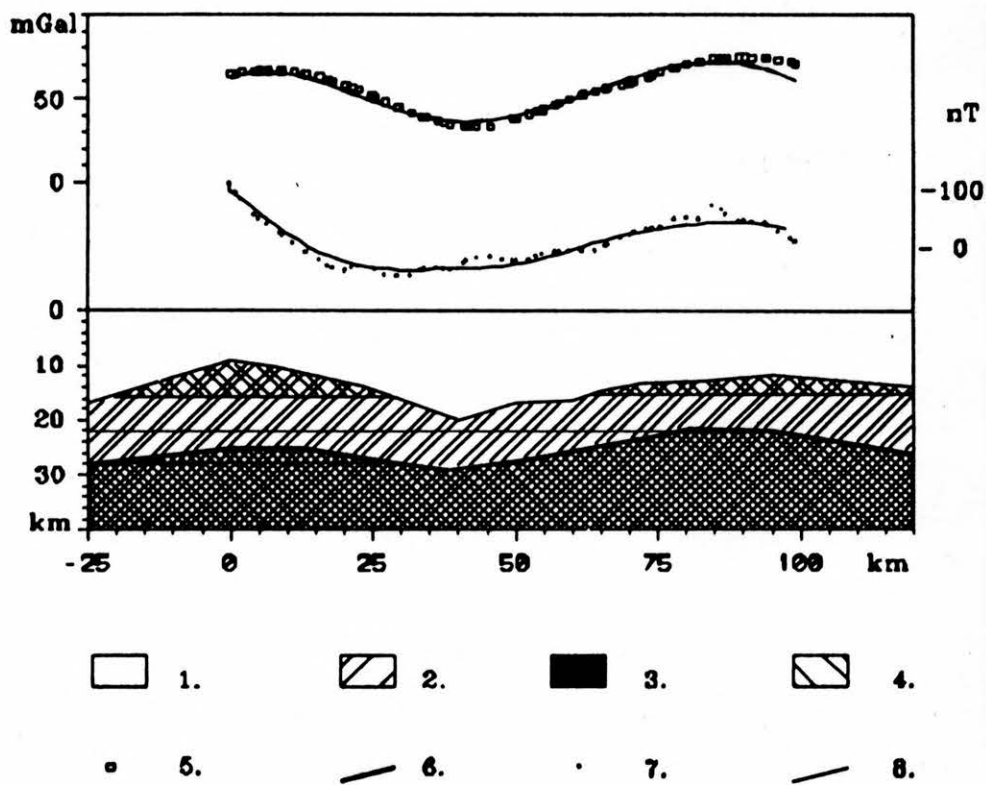
4. ábra. NEMESI, STOMFAI [1992] gravitációs 2D modellje a Békési-medencéről. 1 – a mért érték; 2 – a modellből számított érték; 3 – a harmadkori medence aljzata; 4a, 4b – a neogén összlet felvett sűrűsége; 5 – az aljzat (felső kéreg) felvett sűrűsége; 6 – az alsó kéreg felvett sűrűsége; 7 – a bázikus intrúzió (nem az asztenoszféra!) sűrűsége

Fig. 4. Two-dimensional gravity model calculation. 1 – values observed; 2 – values calculated; 3 – depth of Pre-Tertiary basement; 4a, 4b – set densities for Neogene compounds; 5 – the same for basement (upper crust); 6 – the same for lower crust; 7 – the same for the basic intrusion (not asthenosphere!) [NEMESI, STOMFAI 1992]



5. ábra. NEMESI, STOMFAI [1992] földmágneses 2D modellje. 1 – a mért értékek; 2 – a számított értékek

Fig. 5. 2D magnetic model calculation. 1 – values observed, 2 – values calculated [NEMESI, STOMFAI 1992]



6. ábra. KOVÁCSVÖLGYI [1995] ábrája a PGT-4 szelvény mentén végzett gravitációs és mágneses hatószámítások eredményeivel. 1 – felső kéreg; 2 – alsó kéreg (sűrűség-többlet  $300 \text{ kg/m}^3$ ); 3 – köpeny (sűrűség-többlet  $600 \text{ kg/m}^3$ ); 4 – mágneses ható az alsó kéreg felső részében (suszeptibilitás  $3000 \cdot 10^{-6}$  SI egység); 5 – mért, korrigált gravitációs anomália; 6 – számított gravitációs anomália; 7 – mért mágneses anomália; 8 – számított mágneses anomália

Fig. 6. Results of gravity and magnetic modelling along the deep reflection profile PGT-4. 1 – upper crust; 2 – lower crust (excess density is  $300 \text{ kg/m}^3$ ); 3 – mantle (excess density is  $600 \text{ kg/m}^3$ ); 4 – magnetic body within the upper part of the lower crust (susceptibility is  $3000 \cdot 10^{-6}$  SI unit); 5 – measured and corrected gravity values; 6 – calculated gravity values; 7 – measured magnetic values; 8 – calculated magnetic values [KOVÁCSVÖLGYI 2005]

4. Kérdés az, hogy a mágneses anomáliát okozó, mintegy 10–15 km mélységben lévő nagyszűrűségű bázikus intrúzió/alsó kéreg kiemelkedés környezetéhez képest nagyobb suszeptibilitása okoz-e valamilyen — a magnetotellurikus (MT) módszerrel leképezhető — látszólagos ellenállás-változást? Több tanulmányban [ÁDÁM et al. 1996; ÁDÁM, BIELIK 1998; VARGA, RÁNER 1990] foglalkoztak a Békési-medencében mért magnetotellurikus adatok értelmezésével, különös tekintettel a bonyolult földtani/geofizikai 2D/3D szerkezet által okozott tértorzulásokkal. A két szélsőérték-szondázási görbe (Rhomax és Rhomin) között jelentős különbségek vannak, amelyek a fázisértékekben is megnyilatkoznak, jelezve, hogy nem lehet a szerkezetet az MT szempontjából egyszerűen 3D szerkezeté „leegyszerűsíteni” (ÁDÁM, KIS 2001). A vastag kisellenállású üledék jelentős torzulásokat okoz. Elsősorban ennek tulajdonítható, hogy a medence legmélyebb részén a Rhomin-értékekből VARGA, RÁNER [1990] és általunk [ÁDÁM et al. 1996] is levezetett jólvezető réteg (asztenoszféra?) látszólag még 17–20 km mélységig is felemelkedik. Kérdés, hogy nincs-e ebben a mágneses suszeptilitás növekedésének szerepe?

A kérdésre a modellszámítások adhatnak választ. PRÁCSEK Ernő több modellszámítását közölték a bevezetőben említett szerzők, így legutóbb a 2007. évi freiburgi 3D elektromágneses szimpóziumon [SZARKA et al. 2007].

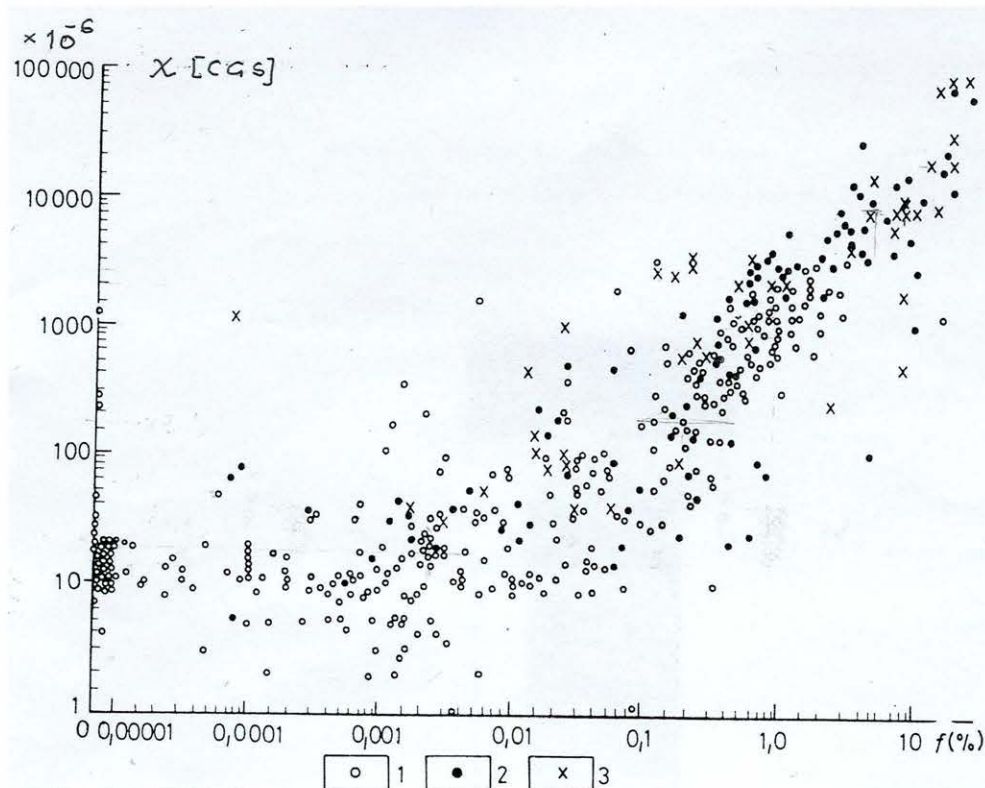
Az itt bemutatott tanulmány szerint mind az 1D, mind a 2D szerkezet H polarizációjában (TM módus) a suszeptibilitás (így a permeabilitás is) növekedése látszólagos fajlagos ellenállás-növekedést okozott. A szerzők konklúzióját érdemes idézni<sup>2</sup>: „The effect of the magnetic permeability on MT data in H-polarization is the same as that of the electrical resistivity (reciprocal conductivity) in E-polarization.” E szerzők által is hivatkozott RIJO [2003] „Magnetic static shift ...” c. tanulmányában egy felszíni jólvezető és egyben nagy permeabilitású ( $\mu_r = 5$ ) test magnetotellurikus hatását számította. Ezek szerint a test felett még E-polarizációban is nő a látszólagos fajlagos ellenállás a nagyobb  $\mu_r$  hatására. Csupán a test peremén kapott az oldalhatással összeolvadó ellenállás-csökkenést. Ez a modell azonban nem képviseli a mélybeni suszeptibilitás-változások hatását. Erre vonatkozóan a Prácserefele számítások az irányadók, amelyek szerint a H-polarizációs Rho értékek nőnek, az E-polarizációs hatás pedig SZARKA et al. [2007] szerint jelentéktelen („insignificant”). Ezért a Békési-medence egyébként is nagy ellenállású bázikus alsó kérgében a mágneses anomália hatását a magnetotellurikus látszólagos fajlagos ellenállás értékekben nem lehet kimutatni.

<sup>2</sup> A mágneses permeabilitás hatása a magnetotellurikus értékre H-polarizációban ugyanaz, mint az elektromos ellenállás (a vezetőképesség reciproka) az E-polarizációban.

5. Van-e Hopkinson-hatás a Békési-medence intrúziójában?

A NEMESI, SOMFAI [1992] és KOVÁCSVÖLGYI [1995] által egyöntetűen meghatározott szuszceptibilitás értékéből —  $3000\text{--}3200 \cdot 10^{-6}$  CGS — indulunk ki. Ez az érték az EGERER, KERTÉSZ [1993] szakkönyve által bazaltra megadott  $\sim 160\text{--}8000 \cdot 10^{-6}$  CGS ( $2000\text{--}100\,000 \cdot 10^{-6}$  SI) érték tartományába illeszkedik. Ha figyelembe vesszük a

fenti tankönyv az „Intruzív kőzetek mágneses szuszceptibilitásának változása a ferromágneses ásványtartalom (%) növekedésével” c. kísérleti összefüggését DORTMAN alapján (7. ábra), akkor a fenti szerzők által meghatározott szuszceptibilitás érték kb. 1(–2)% magnetittartalomnak felel meg. (A Dortman-féle diagramon a KISS, SZARKA, PRÁCSEK [2005a] által 2%-os magnetittartalomra megadott érték 7–8%-nak felel meg. Ennyi a bizonytalanság.)



7. ábra. Intruzív kőzetek mágneses szuszceptibilitásának változása a ferromágneses ásványtartalom (%) növekedésével EGERER, KERTÉSZ [1993] könyvéből. 1 – granodiorit; 2 – diorit és gabbro; 3 – hiperbázikus kőzetek

Fig. 7. Change of the magnetic susceptibility of the intrusive rocks depending on the content of ferromagnetic minerals in percent (from the book of EGERER, KERTÉSZ [1993]. 1 – granodiorite; 2 – diorites and gabbros; 3 – hyperbasic rocks

Kérdés tehát az, hogy a mágneses inverziókkal a békési mágneses anomáliára meghatározott  $3000\text{--}3200 \cdot 10^{-6}$  CGS szuszceptibilitás értékben benne van-e a Hopkinson-hatás, figyelembe véve, hogy az értékeket  $\sim 5$  km vastag testre és különböző mélységben lévő Curie-hőmérséklet esetére számították? A paraméterekben lévő bizonytalanság miatt természetesen csak alternatívákat adhatunk meg, amelyeket mint vitaindítót a jövőben tovább kell pontosítani.

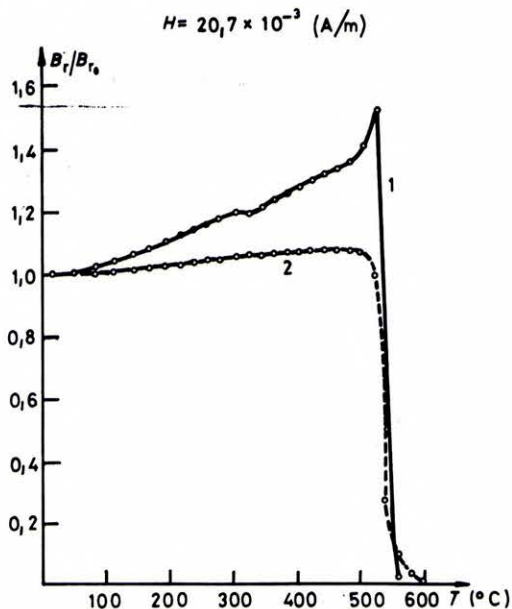
Bevezetőben már említettük, hogy nagyon kevés ásványon végeztek kísérletet és többnyire nagy hőmérsékleti mintavételi sűrűséggel. Megfontolásainkban csak ezekre hivatkozhatunk.

Kezdjük egy „kis” Hopkinson-hatással, amelyet JELENSKA [1979] határozott meg. Amint a JELENSKATÓL — EGERER és KERTÉSZ könyvéből – átvett ábrán (8. ábra) látható, a maghematit oxidálódott magnetit esetében ( $H = 0,0207$  A/m mágneses télerősségnél és  $58,8$  MPa

nyomáson mérve) a Hopkinson-hatásra mintegy 1,5–1,6-szoros mágnessétség ( $B_r/B_{ro}$ ) lépett fel. A hőmérsékleti mintavételi sűrűség kb.  $20^\circ\text{C}$  volt. (Bizonyára ez nem kielégítő!) Kétségtelen, hogy a JELENSKA által mért Hopkinson-csúcs mintegy 5–6-szor kisebb nyomás esetére vonatkozik, mint ami 10–15 km mélységnek felel meg, de EGERER és KERTÉSZ 7.9 és 7.10 ábrája szerint a magnetit-monokristály relatív mágneses szuszceptibilitásának változása különböző nyomáson mindössze század nagyságú. Ez pedig a számításainkat gyakorlatilag nem befolyásolja! További problémát jelenthet a kísérlet értékelésénél az, hogy a kísérleti  $H$  értéknél a földi normál mágnes tér lényegesen nagyobb.

Mivel a szuszceptibilitás a  $H$  értékkel jelentősen csökken, a kérdés megítélése csak további kísérlettel ítéhető meg! E sok észrevétel ellenére megmaradunk JELENSKA eredményénél, amely azonban sürgeti a kísérletek pontosabb megismétlését kőzetalkotó ferromágneses ásványo-

kon, főként magnetiten.



8. ábra. Relatív mágnesezettség ( $B_r/B_{r_0}$ ) változása a hőmérséklet függvényében. Hopkinson-effektus maghemitté oxidálódott magnetit esetében ( $H = 0,0207 \text{ A/m}$ ) JELENSKA [1979] alapján EGERER, KERTÉSZ [1993] könyvéből. 1 -  $p = 0,2$  és 2 -  $p = 58,8 \text{ MPa}$  egytengelyű nyomásnál

Fig. 8. The change of the relative magnetisation ( $B_r/B_{r_0}$ ) in function of the temperature. Hopkinson effect in case of magnetite oxidized to maghematite ( $H = 0.0207 \text{ A/m}$ ). From the book of EGERER, KERTÉSZ [1993] on the basis of experiment of JELENSKA [1979]. 1 -  $p = 0.2$  and 2 -  $p = 58.8 \text{ MPa}$  monoaxial pressure

Ezek után néhány következtetés:

1. Ha a bázisos intrúzió (KOVÁCSVÖLGYI értelmezésében a bázikus alsó kéreg kiemelkedése) szuszeptibilitása a Curie-hőmérséklet közelében Hopkinson-hatást szenvedett, és ennek mértéke JELENSKA vizsgálataiból következtetve mintegy 1,6-szoros volt, akkor a kőzet (bazalt) kiinduló szuszeptibilitás értéke  $1875\text{--}2000 \cdot 10^{-6}$  CGS volt, amely a 7. ábránk szerint 0,6–0,7% magnetittartalomnak felelhet meg. (Statisztikus becslés!) Ez az irodalmi adatok szerint (l. fent) elég kis érték. E megállapítás gyengéje, hogy itt két hatás össze van mosva, mégpedig a vizsgálatba bevont ~5 km vastag bazalt szuszeptibilitása és ezen belül a bizonytalan, de pár száz méternél nem nagyobb (?) rétegben lejátszódó Hopkinson-hatás.

2. A „kis” Jelenska-féle Hopkinson-hatás annyira kis hőmérséklet-tartományban és ennek megfelelően kis rétegben érvényesült az aktív (ferromágneses ásványokat tartalmazó) kőzetben, hogy a szuszeptibilitás-növekedésben nem nyilvánult meg.

3. Elképzelhető, hogy a hatás pl. a ferromágneses ásványok rendszertelen eloszlása (sűrűség) miatt egyáltalán nem érvényesül (?).

4. KISS, SZARKA, PRÁCSER [2005a] szerint elképzelhető, hogy a teljes mágneses anomáliát egyetlen vékony, nagy szuszeptibilitású réteggel (testtel) írjuk le, amelynek szuszeptibilitását a Hopkinson-hatás növelte meg. KISS

ezt a számítást a békési anomáliára is elvégezte (személyes közlés)  $3000 \cdot 10^{-6}$  CGS szuszeptibilitás helyett 0,1 CGS-sel és 100–300 m vastag testtel, 13 km mélyen felvéve a Curie-hőmérsékletet.

Eltelktve a Curie-hőmérséklet megválasztásának jogoságától, közzétanilag felvetődik a kérdés, hogy mi volt a számításba vett kőzet és annak kiindulási szuszeptibilitása és az irodalomból ismert, az ásványokra vonatkozóan kis Hopkinson-hatások mellett erre a jelentős szuszeptibilitás értékkel jogosan számolt-e. (DUNLOP 20-szoros hatást hematitra kapott, amelynek Curie-hőmérséklete jóval  $600^\circ\text{C}$  felett van az 1. ábra szerint is.)

A kérdés tehát a Hopkinson-hatást illetően nyitott. A cikk célja, hogy a kezdeményező szerzők [KISS, SZARKA, PRÁCSER 2005a,b, SZARKA et al. 2007] értékes gondolatainak ellenőrzési lehetőségeit egy viszonylag „ismert” kéreg-anomálián megvizsgálja és rámutasson a bizonytalansági tényezőkre, amelyek tisztázása az OTKA pályázat feladata is lehet és a pontosabb kőzetfizikai vizsgálatokra ösztönöz.

Érdekes lenne az alsó bázikus kéreg más kiemelkedése is tanulmányozni a Hopkinson-hatás lehetőségét. A szerző ugyanakkor Békésben az intrúzió szerepét az ÁDÁM, BIELIK [1998] cikk szellemében mint „keskeny kontinentális rift” megnyilvánulását előnyben részesíti.

## Köszönetnyilvánítás

A tanulmány az OTKA 68475 számú projektje keretében készült. Azoknak a kollégáknak, akiknek az ábráit e tanulmányban felhasználtam ezúton mondok köszönetet. Nagyon köszönöm lektoraimnak (KISS János, KOVÁCS Péter) értékes észrevételeit, és különösen a KISS Jánossal mint a téma egyik kezdeményezőjével folytatott igen hasznos eszmecserét.

## HIVATKOZÁSOK

- ÁDÁM A., BIELIK M. 1998: The crustal and upper-mantle geophysical signature of narrow continental rifts in the Pannonian Basin. *Geophys. J. Int.* **134**, 157–171
- ÁDÁM A., KIS M. 2001: Phase paradox in the Békés basin and a possibility for its resolution by 2D/3D modelling. *Acta Geod. Geoph. Hung.* **36**, 2, 133–152
- ÁDÁM A., SZARKA L., PRÁCSER E., VARGA G. 1996: Mantle plumes or EM distortions in the Pannonian Basin? (Inversion of the deep magnetotelluric (MT) soundings along the Pannonian Geotraverse). *Geophysical Transactions* **40**, 45–78
- BIELIK M. 1988: Analysis of the stripped gravity map of the Pannonian Basin. *Geol. Zbornik – Geol. Carpathica* **39**, 99–108
- BOTT W. R. 1982: *The Interior of the Earth. Its Structure, Constitution and Evolution.* Edward Arnold, London
- DUNLOP D. J. 1974: Thermal enhancement of magnetic susceptibility. *J. Geophys.* **40**, 439–451
- EGERER F., KERTÉSZ P. 1993: Bevezetés a kőzetfizikába. Akadémia Kiadó, 423 oldal
- HOPKINSON J. 1889: Magnetic and other physical properties of iron at high temperature. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, A, Vol. 180*, 443–465
- JELENSKA M. 1979: The Hopkinson effect of magnetic and titanomagnetite under uniaxial compression. *Physical Properties*

- of Rocks and Minerals under Extreme p-T Conditions. Akademie Verlag, Berlin, 147–155
- KISS J., SZARKA L., PRÁCSER E. 2005a: Second-order magnetic phase transition in the Earth. *Geophysical Research Letters* **32**, L 24310, doi: 10.1029/2005GL024199, 1–4
- KISS J., SZARKA L., PRÁCSER E. 2005b: A Curie-hőmérsékleti fázisátalakulás geofizikai következményei. *Magyar Geofizika* **46**, 3, 102–110
- KONTNY A., DE WALL H., SHARP T. G., POSVAI M. 2000: Mineralogy and magnetic behaviour of pyrrhotite from a 260°C section at the KTB drilling site, Germany. *Am. Mineral* **85**, 1416–1427
- KOVÁCSVÖLGYI S. 1994: A Békési-medence gravitációs és földmágneses anomáliáinak értelmezése az újabb ismeretek tükrében. *Magyar Geofizika* **35**, 2, 90–94
- KOVÁCSVÖLGYI S. 1995: DK-Magyarország gravitációs és földmágneses anomáliáinak értelmezése. *Magyar Geofizika* **36**, 3, 198–202
- NEMESI L., STOMFAI R. 1992: Néhány kiegészítés a Békési-medence aljzatának kutatásához. *Magyar Geofizika* **33**, 2–3, 70–79
- POSGAY K., HEGEDŰS E., TÍMÁR Z., BODOKY T. 1992: Asthenospheric structures: encouraging results of a deep seismic experiment. 5th International Symposium on seismic reflection probing of the continents and margins. Banff, Alberta, Canada, 6–12 September, 1992
- POSGAY K., BODOKY T., HEGEDŰS E., KOVÁCSVÖLGYI S., LENKEY L., SZAFIÁN P., TAKÁCS E., TÍMÁR Z., VARGA G. 1995: Asthenospheric structure beneath a Neogene subbasin in SE Hungary. *Tectonophysics* **252**, 467–484
- POSGAY K., BODOKY T., HAJNAL Z., TÓTH M. T., FANCSIK T., HEGEDŰS E., KOVÁCS A. CS., TAKÁCS E. 2006: Interpretation of subhorizontal crustal reflexions by metamorphic and rheologic effects in the eastern part of the Pannonian Basin. *Geophys. J. Int.* **167**, 187–203
- RÍJO L. 2003: “Magnetic Statics” shift effect on 2-D TE Magnetotelluric Sounding. In: 8th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, 2003, Rio de Janeiro, v. 1, 1–6
- SZARKA L., FRANKE A., PRÁCSER E., KISS J. 2007: Hypothetical mid-crustal models of second order magnetic phase transition. 4th International Symposium on the Three-Dimensional Electromagnetics, Freiberg, Germany, September 27–30, 2007, Abstract book, 126–129
- VARGA G., RÁNER G. 1990: Geophysical investigations along basic geological profiles: magnetotelluric measurements along the line EK-2 and the Pannonian Geotraverse. Report of the Eötvös Geophysical Institute in Budapest, Manuscript