

A különböző kéregvastagság indikálása a CHAMP gravitációs és mágneses mérései alapján¹

TAYLOR, T. PATRICK²; KIS KÁROLY³; VON FRESE, RALPH R. B.⁴; KORHONEN, J. V.⁵;
WITTMANN GÉZA⁶; HYUNG RAE KIM⁷; POTTS, LARMIE V.⁸

A földkéreg vastagságának változása a mesterséges holdak által meghatározott gravitációs és földmágneses anomáliák tulajdonságaiban is kimutatható. E jelenség két európai régióban, Délközép-Finnország és a Pannon-medence felett is jól vizsgálható, így a jelen kutatási projekt e két területre vonatkozó gravitációs és földmágneses anomáliák összehasonlításával foglalkozott.

Az európai kontinens e két régiójában a földkéreg felépítése alapvetően különböző. Míg a finnországi kéreg vastagsága meghaladja a 44 km-t, addig a Pannon-medencében ez az érték csak átlagosan 22–26 km. A Pannon-medence vékony, aktív földkérgét a hőáramsűrűség adatok is megerősítik. A CHAMP mesterséges hold e területre vonatkozó anomáliáit tanulmányozva megfigyelhető, hogy a közel kör alakú gravitációs anomália (kb. 4 mGal) csaknem egybeesik a mágneses anomáliával, amely kissé túl is nyúlik a Pannon-medence határán. A felszínen mért magyarországi free-air anomáliák értéke ennél természetesen nagyobb, a 0–20 mGal amplitúdójú kisfrekvenciás komponensre rövidebb hullámhosszú 40–60 mGal, illetve 0–20 mGal amplitúdójú anomáliák szuperponálódnak. A nagyobb amplitúdójú anomáliák a hegyvidéki területeken jelentkeznek, a kisebb értékek pedig a Pannon-medence középső részének feltételezett izosztikus egyensúlyi állapotát jelzik. A finnországi gravitációs anomáliák alakja ettől eltérő, hisz azokat még az utolsó jégkorszak utáni posztglaciális hatások is lényegesen befolyásolták. Többek közt ezért Délközép-Finnország területén a CHAMP gravitációs anomáliái kelet–nyugat irányú gradiens-zónát mutatnak. A mágneses anomáliák (400 km) viszont mind Délközép-Finnország (< -6 nT), mind a Pannon-medence területén (< -5 nT) hasonlóak, hiszen alakjuk mindkét helyen kissé elnyúlt, értékük negatív. Mindkét régióban ismert szubdukcióval lesüllyedt óceáni litoszféra, amelynek a hatója modellezhető.

TAYLOR, T. PATRICK²; KIS, K.³; VON FRESE, RALPH R. B.⁴; KORHONEN, J. V.⁵; WITTMANN, G.⁶; HYUNG RAE KIM⁷; POTTS, LARMIE V.⁸: Effect of varying crustal thickness on CHAMP geopotential data

To determine the effect of crustal thickness variation on satellite–altitude geopotential anomalies we compared two regions of Europe with vastly different values, South and Central Finland and the Pannonian Basin. In our study regions, crustal thickness exceeds 44 km in Finland and its average value is 22–26 km in the Pannonian basin. Heat flow data indicate that the thinner and more active crust of the Pannonian basin has a value nearly three times that of the Finnish Svecofennian Province. An ovoid positive CHAMP gravity anomaly (~4 mGal) is quasi-coincident with the CHAMP magnetic anomaly traverses the gravity anomalies across the Pannonian basin. While ground based gravity mapping in Hungary shows that the free-air gravity anomalies across the Pannonian basin are near 0 to +20 mGal with shorter wavelength anomalies from +40 to +60 mGal and some 0 to >–20 mGal. Larger anomalies are detected in the mountainous areas. The minor value anomalies can indicate the isostatic equilibrium for Hungary (the central part of the Pannonian basin). Gravity data over Finland are complicated by de-glaciation. CHAMP gravity data indicates a west–east positive gradient of >4 mGal across South and Central Finland. CHAMP magnetic data (400 km) reveal elongated semi-circular negative anomalies for both regions with South-Central Finland having larger amplitude (<–6 nT) that over the Pannonian basin, Hungary (<–5 nT). In both regions subducted oceanic lithosphere has been proposed as the anomalous body.

Bevezetés

A földkéreg sűrűségének és mágnesszettségének mind horizontális, mind vertikális változásai szerepet játszanak

a mágneses és a gravitációs anomáliák kialakításában. Ezeket a folyamatokat két, szélsőséges kéregvastagsággal rendelkező európai régió gravitációs és mágneses anomáliáin mutatjuk be, Délközép-Finnország (1a. ábra) és a Pannon-medence (1b. ábra) területén. Finnország területén a földkéreg vastagsága átlagosan 42–46 km, de néhol eléri a 62 km-t is (1c. ábra), miközben a Pannon-medencében az átlagos kéregvastagság mindössze 22–26 km (1d. ábra). Az összehasonlított gravitációs (1e. és 1f. ábrák) és mágneses (2a. és 2b. ábrák) anomália-térképek a CHAMP mesterséges hold méréseiből származnak, így a hold átlagos keringési magasságára, 400 km-re vonatkoznak. A térképek értelmezéséhez tektonikai (1a. és 1b. ábrák), valamint hőáramsűrűség adatokat (2e. és 2f. ábrák) is felhasználtunk.

Délközép-Finnország geológiaiag Északnyugat-Európa prekambriumi területéhez a Fennoskandináv pajzshoz tartozik (1a. ábra), amelynek legidősebb kőzetei (például a

¹ Beérkezett: 2005. március 16-án

² Planetary Geodynamics Laboratory NASA/GSFC, Greenbelt, MD 20771 USA

³ MTA–ELTE Geofizikai és Környezetfizikai Kutatócsoport, H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c.

⁴ Department of Geological Science, The OHIO State University, Columbus, OH 43210 USA

⁵ Geological Survey of Finland, 02151 Espoo, Finland

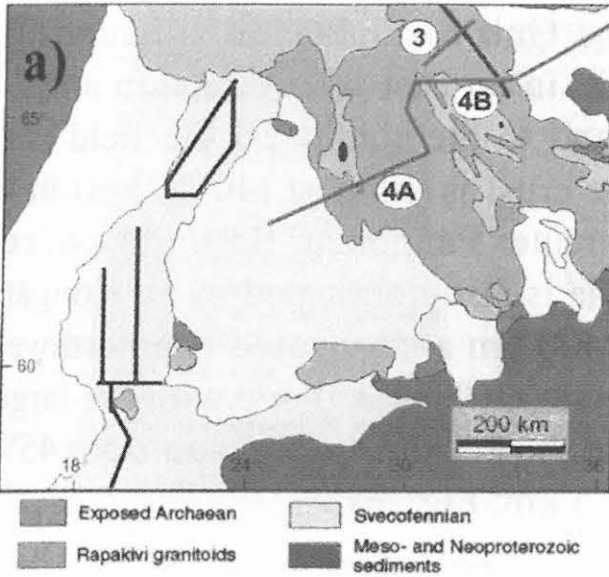
⁶ MOL Magyar Olaj- és Gázipari Rt., Mélyfúrás és Geofizikai Felügyelet, H-1039 Budapest, Batthyány u. 45.

⁷ UMBC/GEST and Planetary Geodynamics Laboratory NASA/GSFC, Greenbelt, MD 20771 USA

⁸ Laboratory for Space Geodesy and Remote Sensing Research, The Ohio State University, Columbus, OH 43210 USA

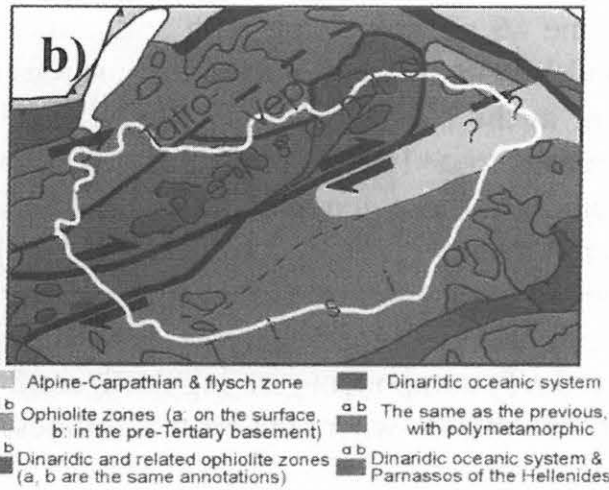
siurua gneisz) 3500 millió évesek [MUTANEN, HUUMA 2003]. A pajzs magja az 1900–1800 millió évvel ezelőtt végbement fennoskandináv orogén fázis során alakult ki archaikus és fiatalabb lemezek ütközése során. Posztglaciális tevékenység okozta emelkedés jelenleg is működik a Fennoskandináv pajzs területén.

tében a Pannon-medence területén a kéreg elvékonyodott [LENKEY 1999] és mindössze egy 22–26 km vastag földkéreg alakult ki.



1a. ábra. Finnország tektonikai térképe [HJELT, DALY 1996]

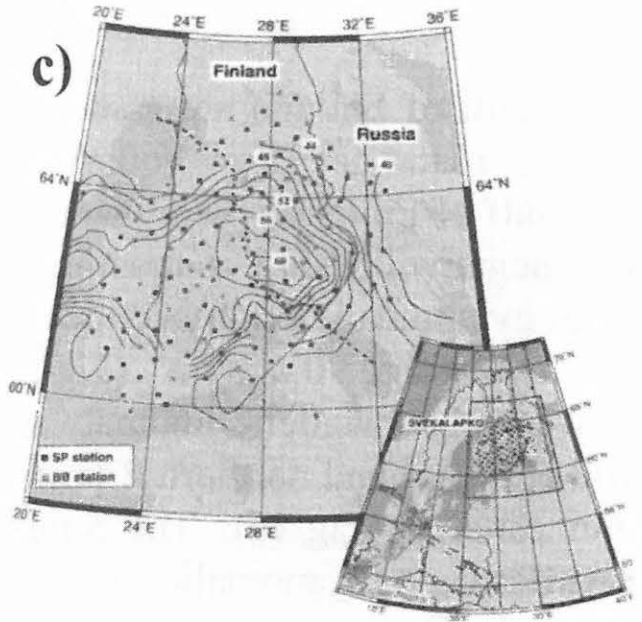
Fig. 1a. Tectonic map of Finland [HJELT, DALY 1996]



1b. ábra. A Pannon-medence tektonikai térképe [KOVÁCS et al. 2000]

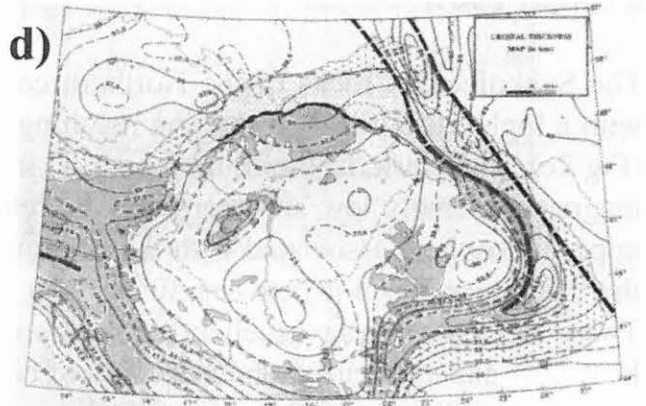
Fig. 1b. Tectonic map of the Pannonian Basin [KOVÁCS et al. 2000]

A Pannon-medence preneogén alaphegysége üledékes, vulkáni és metamorf kőzetekből áll, amelyek két megatektonikus egységbe: a Pelsonia és Tisia terrénekbe sorolhatók [KOVÁCS et al. 2000] (1b. ábra). A jelenlegi földtani szerkezet lényeges elemei a neogén során alakultak ki, amelyek meghatározó folyamata az afrikai és eurázsiai lemez ütközése volt [HORVÁTH 1993; HORVÁTH, CLOETINGH 1996]. A geodinamikai folyamatok következ-



1c. ábra. A földkéreg vastagsága Délközép-Finnország területén [BOCK et al. 2001]

Fig. 1c. Crustal thickness map of South-Central Finland [BOCK et al. 2001]



1d. ábra. A földkéreg vastagsága a Pannon-medencében [LENKEY 1999]

Fig. 1d. Crustal thickness map of the Pannonian basin [LENKEY 1999]

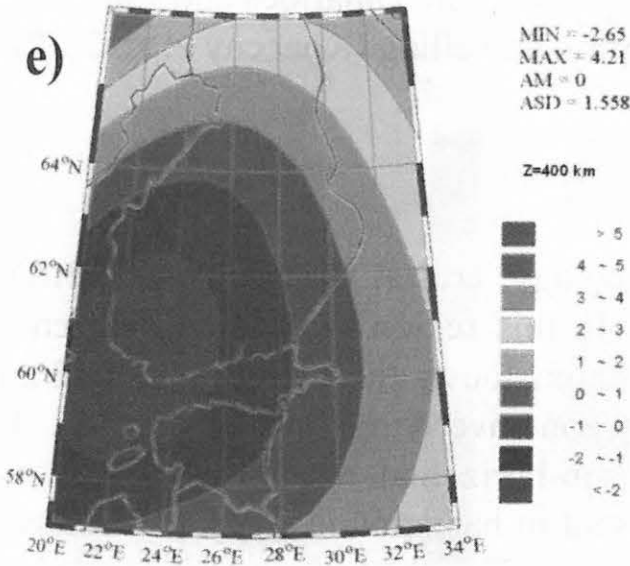
A CHAMP gravitációs és mágneses méréseinek feldolgozása

A gravitációs anomália-tér a CHAMP által mért adatokból lett levezetve, a globális 75-öd fokú és rendű gravitációs teret tekintve referenciának.

Délközép-Finnország területén negatív, csaknem kör alakú anomália fedezhető fel, amelynek sugara közel 700 km, abszolút amplitúdója viszont kisebb 2 mGal-nál. Az anomália középpontja a Fennoskandináv pajzs területére esik (60° É és 23° K), ahol — mint már említ-

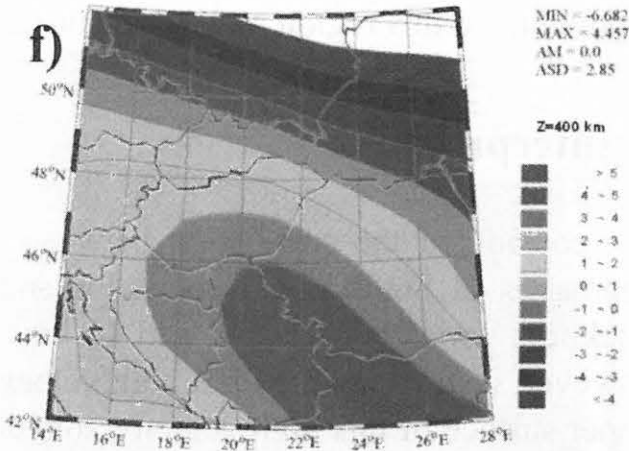
tették — a gravitációs anomália kialakulásában a posztglaciális tevékenység is szerepet játszott [OLESEN, SKILBREI 2003].

gában meghatározott mágnesesanomália-térképek a 2a. és 2b. ábrákon láthatók.



1e. ábra. A CHAMP gravitációs anomáliája Délközép-Finnország területén mGal egységben

Fig. 1e. CHAMP gravity anomaly map of South-Central Finland in mGal unit

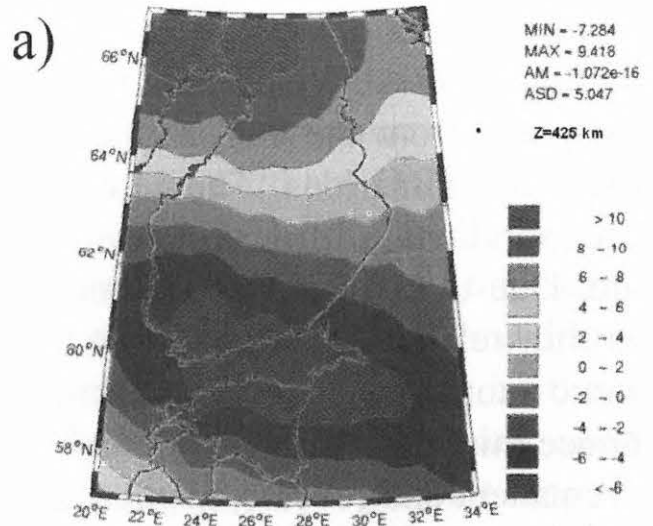


1f. ábra. A CHAMP gravitációs anomáliája a Pannon-medence területén mGal egységben

Fig. 1f. CHAMP gravity anomaly map of the Pannonian basin in mGal unit

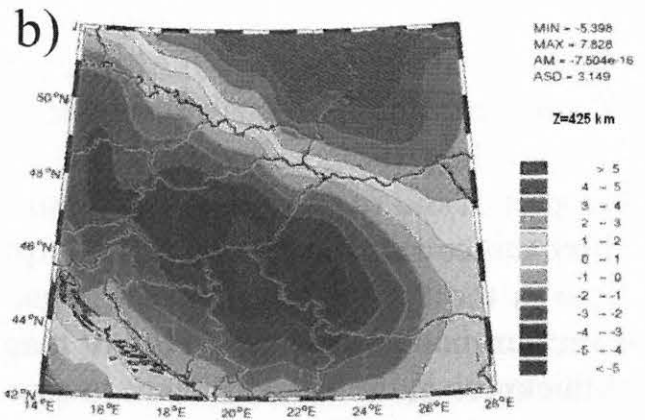
A Pannon-medencében a gravitációs anomália egy 4–5 mGal amplitúdójú, délkeleti irányból nyitott maximum, amely délkelet–északnyugat irányban megnyúlt. Hosszúsága mintegy 900 km, szélessége 660 km (1f. ábra).

A CHAMP méréseiből a mágneses anomáliákat ALSDORF et al. [1998] által javasolt korrelációs módszerrel határozták meg, mely eljárás során a mágneses kéregből származó időinvariáns mágneses teret szeparálni kellett a külső eredetű, időben változó mágneses tértől. A feldolgozás során Délközép-Finnország területe felett 96 keringési pálya, míg a Pannon-medence felett 90 keringési pálya adatait lehetett felhasználni. A CHAMP mérési magassá-



2a. ábra. A CHAMP mágneses anomáliája Délközép-Finnország területén nT egységben

Fig. 2a. CHAMP magnetic anomaly map of South and Central Finland in nT unit

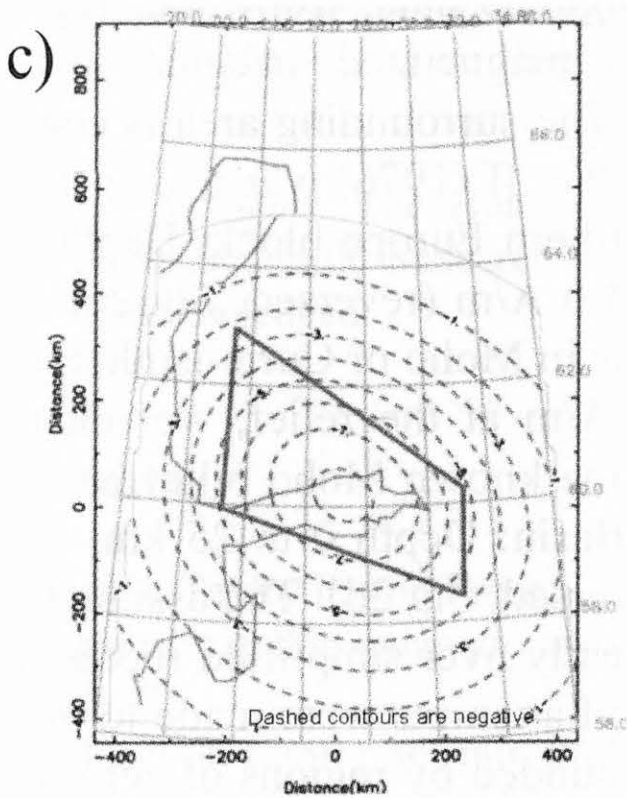


2b. ábra. A CHAMP mágneses anomáliája a Pannon-medence területén nT egységben

Fig. 2b. CHAMP magnetic anomaly map of the Pannonian basin in nT unit

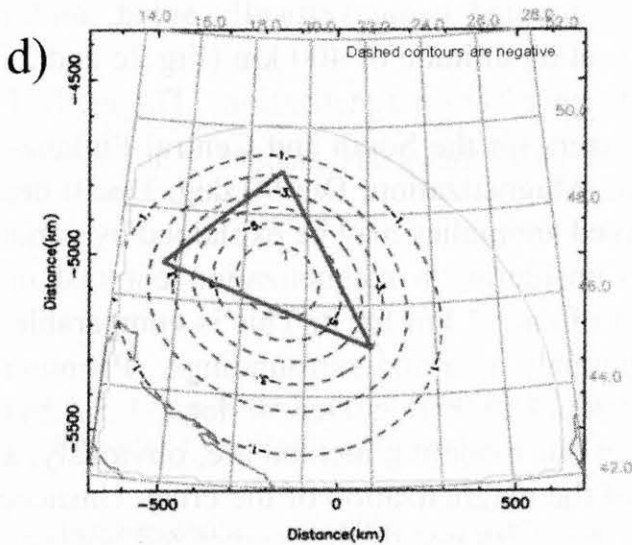
Délközép-Finnország területén egy elnyúlt, záródó anomália látható, amelynek minimuma -6 nT, középpontja a Finn-öböl (60° É és 25° K) felett helyezkedik el. Kiterjedése kelet–nyugat irányban 600 km, észak–dél irányban 200 km. Az anomália által lefedett területen a kéreg vastagsága a 39–44 km tartományba esik.

A Pannon-medencében ezzel szemben egy 670 km hosszú és 400 km széles, délkelet–északnyugat irányú, negatív előjelű mágneses anomália figyelhető meg. Az anomália középpontja a 46° északi szélességű és 20° keleti hosszúságú hely fölött található, abszolút amplitúdója kisebb 5 nT-nál, és jól látható az is, hogy a legkisebb értékét ott éri el, ahol a földkéreg a legvékonyabb ($< 22,5$ km) (2b. ábra).



2c. ábra. A mágneses anomália (2a. ábra) modellje és mágneses tere nT egységben

Fig. 2c. Model of the anomaly map (Fig. 2a.) in nT unit

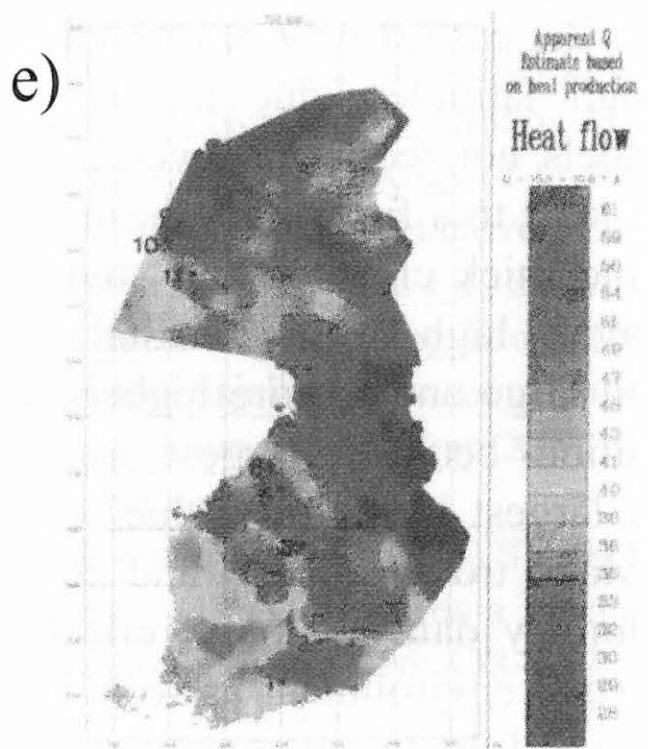


2d. ábra. A mágneses anomália (2b. ábra) modellje és mágneses tere nT egységben

Fig. 2d. Model of the anomaly map (Fig. 2. b) in nT unit

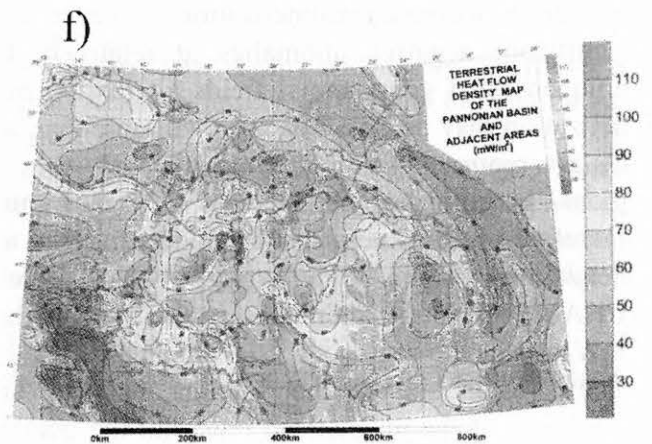
Hőáramsűrűség

A Finn-öböl északi részén a hőáramsűrűség meghaladja a 60 mW/m^2 értéket [KUKKONEN 1993] (2e. ábra), ezért feltételezhető, hogy a Finn-öböl környezetében a Curie-izoterma kisebb mélységben található. Ez a terület



2e. ábra. A hőáramsűrűség anomália térképe Finnország területén mW/m^2 egységben [KUKKONEN 1993]

Fig. 2e. Heat flow map of Finland in mW/m^2 unit [KUKKONEN 1993]



2f. ábra. A hőáramsűrűség anomália térképe a Pannon-medencében mW/m^2 egységben [DÖVÉNYI 2003]

Fig. 2f. Heat flow map of the Pannonian basin in mW/m^2 unit [DÖVÉNYI 2003]

a gravitációs- és a mágneses anomália-térképeken is minimummal jelentkeznek.

A Pannon-medencében a felszíni hőáramsűrűség értéke 50 és 130 mW/m^2 között változik, átlagos értéke 90 mW/m^2 [DÖVÉNYI 2003] (2f. ábra). Ez a hőáramsűrűség a földi átlagos 61 mW/m^2 [STACEY 1977] értéknek mintegy 1,5-szerese. A hőáramsűrűség eloszlásából látható, hogy értéke a Dunántúli-középhegységben, az Északi-közép-

hegységben, a Bécsi- és az Erdélyi-medencében kisebb, míg a Kisalföld és a Nagyalföld területén nagyobb, itt 80 és 110 mW/m² között változik. A hőáramsűrűség a legnagyobb értékét Belgrád közelében éri el. A mágneses és a hőáramsűrűség-anomáliák között Magyarországon középső részén és Erdély területén szignifikáns pozitív korreláció található. E helyek pedig a Pannon-medencének azon területei, ahol a földkéreg a legvékonyabb. Ez a korreláció az Adriai lemezzel történő ütközésnek, továbbá a köpeny diapirikus emelkedésének [KONEČNÝ et al. 2002] Kétségtelen bizonyítéka.

Az anomáliák értelmezése

A vizsgálatok célja a geológiai szerkezet, a földkéreg vastagsága és CHAMP anomáliái közötti kapcsolat feltárása volt. Délközép-Finnország területén az átlagos kéregvastagság 42 és 46 km közé esik, ennél vastagabb kéreg (48–62 km) csak ott fordul elő, ahol a felső köpeny felett nagyobb sebességű kristályos zóna található. Ez a horizontálisan kiterjedt nagyobb sebességű zóna osztja két részre a felső litoszférát: felette az alsó és felső kéreg, alatta a felső köpeny helyezkedik el [KORJA et al. 1993, HEIKKINEN et al. 2003]. A legvastagabb kéreg a negatív gravitációs anomáliától északkeleti irányban 500 km, míg a negatív mágneses anomáliától északi irányban 400 km távolságban található. A vastagabb kéreg a Fennoskandináv pajzs allochton részét képezi, ami a mélyebb szinteken a protezorikus és archaikus blokkokhoz kapcsolódik, bár a legvastagabb rész az archaikus kraton alatt található. A negatív gravitációs és a negatív mágneses anomáliák egyaránt a kissé vékonyabb kéreg (39–44 km) fölött jelentkeznek, de a gravitációs anomáliák az 1470–1650 millió éves rapakivi gránithoz, a mágneses anomáliák viszont inkább ennek a formációnak 1620–1650 millió éves részéhez kapcsolhatók. A további gravitációs anomáliák a Balti-tenger, a mágneses anomáliák a Finn-öböl környékén figyelhetők meg.

A Pannon-medencében a gravitációs anomáliák délkelet-északnyugat csapásúak, melyek a délkeleti irányból szubdukáló nagyobb sűrűségű óceáni litoszféra jelenlétét és az asztenoszféra kiemeltebb helyzetét [KONEČNÝ et al. 2002] valószínűsítik. A régió északi részén található minimum minden bizonnyal az Eurázsiai és az Adriai lemezek ütköző zónájának helyét mutatja.

A CHAMP mágneses anomáliáinak modellezése során az egyik legfontosabb paraméter a mágneses kéreg vastagsága volt, azonban az anomáliák leírása során a hatók reverz mágnesezettségét is figyelembe kellett venni. A mágneses hatók modellje mindkét területen függőleges oldallappal rendelkező, homogén mágnesezettségű, szabálytalan alakú prizma volt. A mágneses hatók környezetét nulla mágnesezettségűnek tekintettük. Az anomáliákat PLOUFF [1976] egyenletei alapján 400 km magasságban határoztuk meg. A feltételezett modellek számított anomáliái a 2c. és 2d. ábrákon láthatók. A Délközép-Finnországban lévő mágneses ható modellparaméterei: mélységtartomány 0–50 km, a mágnesezettség -1 A/m (reverz mágnesezettség), ennek inklinációja 90°, deklinációja = 0°. A Pannon-medence esetében a mélységtartomány 0–25 km, a mágnesezettség $-1,5$ A/m (reverz mágnesezettség), a mágnesezettség inklinációja 90°, dekliná-

ciója 50°. Meg kell jegyezni, hogy a meghatározott modellek a kéreg mágneses viszonyainak jelentős egyszerűsítését jelentik. A negatív anomáliák leírására a reverz mágnesezettség kínálta a legegyszerűbb megoldást. Mivel például a Marson meghatározott mágneses anomáliák túlnyomó része is reverz mágnesezettségű következtében alakult ki, nem meglepő, hogy a földkéregben is előfordulnak ilyen mágnesezettségű régiók. A hőáramsűrűség mindkét vizsgált területen viszonylag nagy értékű, ahogy a mágneses modellek mágnesezettsége is nagy. Látványos korreláció figyelhető meg a CHAMP legnagyobb mágneses anomáliája (< -6 nT) és a hőáramsűrűség legnagyobb értékei (> 110 mW/m²) között a Pannon-medencében, a Makói-árok környékén. A Pannon-medence hőáramsűrűség-térképe a 2f. ábrán látható [DÖVÉNYI 2003].

Következtetések

Meg kell állapítani, hogy az eltérő vastagságú mágneses kéreg által létrehozott, 400 km-es magasságban meghatározott mágneses anomáliák jellege nem különbözik lényegesen. A Pannon-medencében a gravitációs anomáliák egybeesnek a mágneses anomáliákkal, szemben Délközép-Finnországgal, ahol a gravitációs anomáliát a posztglaciális folyamat módosította. Az egyszerűsített mágneses ható modelljei mindkét helyen reverz mágnesezettségre utalnak. Délközép-Finnországban a nagy hőáramsűrűséget az alkáli vulkanitok fanerozoos intruziója és kimberlit kürtök okozzák, amelyek a Fennoskandináv pajzs déli részén található meg. A Pannon-medence nagy hőáramsűrűségéért viszont az annak középső részén fellépő terciér folyamatok okozta kéregkivékonyodás a felelős. A nagyobb sűrűségű hatót valószínűleg kelet-nyugati irányú kompresszió hozta létre, amely a köpeny anyagának emelkedésével járt együtt.

Köszönetnyilvánítás

A cikkben megjelent magyarországi kutatási eredmények a T 038008 nyilvántartási számú OTKA pályázat keretében készültek.

HIVATKOZÁSOK

- ALSDORF D., TAYLOR P. T., von FRESE R. R. B., LANGEL R., FRAWLEY J. 1998: Arctic and Asia lithospheric satellite magnetic anomalies. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* **108**, 81–99
- BOCK B. et al. 2001: Seismic probing of Fennoscandian lithosphere. *Transactions of the AGU EOS*, 82:621–628–9
- DÖVÉNYI P. 2003: Szóbeli közlés
- HEIKKINEN P., KUKKONEN I. T., EKDAHL E., KORJA A., LAHTINEN R., HJELT S.-E., YLINIEMI J., BERZIN R., FIRE Working Group 2003: Alakuoren rakenne FIRE-1 linjalla heijastavuuden ja nopeusjakautuman perusteella, in: HYVÖNEN E., SANDGREN E., (eds): *Abstrakts of Sovelletun Geofysiikan XIV Neuvottelupäivät*, Rovaniemi 4–5–11 Vuorimiesyhdistys, Rovaniemi
- HJELT S.-E., DALY S. 1996: SVEKALAPKO. *Europrobe Newsletter* 9

- HORVÁTH F. 1993: Towards a mechanical model for the evolution of the Pannonian basin. *Tectonophysics* **226**, 333–357
- HORVÁTH F., CLOETINGH S.A.P.L. 1996: Stress-induced late stage subsidence anomalies in the Pannonian basin. *Tectonophysics* **266**, 287–300
- KONEČNÝ V., KOVAČ M., LEXA J., ŠEFARA J. 2002: Neogene evolution of the Carpatho–Pannonian region: and interplay of subduction and back–arc diapiric uprise in the mantle. European Geosciences Union Stephan Mueller Special Publication Series I, 105–123
- KORJA A., KORJA T., LUOSTO U., HEKKINEN P. 1993: Seismic and geoelectric evidence for collisional and extensional events in the Fennoscandian Shield—implications for Precambrian crustal evolution. *Tectonophysics* **219**, 129–152
- KOVÁCS S., HAAS J., CSÁSZÁR G., SZEDERKÉNYI T., BUDA GY., NAGYMAROSY A. 2000: Tectonostratigraphic terranes in the pre-Neogene basement of the Hungarian part of the Pannonian area. *Acta Geologica Hungarica* **43**, 225–328
- KUKKONEN I. T. 1993: Heat flow map of northern and central parts of the Fennoscandian Shield based on geochemical surveys of heat producing elements, *in*: ČERMÁK V. (ed.) Heat flow and structure of the lithosphere. *Tectonophysics* **225**, 3–13
- LENKEY L. 1999: Geothermics of the Pannonian basin and its bearing on the tectonics of basin evolution. Ph.D., thesis Vrije Universiteit
- MUTANEN T., HUUMA 2003: The 3.5 Ga Siurua trondhjemite gneiss in the Archaean Pudasjärvi granulite belt in Northern Finland. *Bulletin of the Geological Society of Finland* 75–68
- OLESEN O., SKILBREI J. R. 2003: Isostatic compensation of the Scandinavian Mountains. *EGS Geophysical Research Abstracts* 5, 12711
- PLOUFF D. 1976: Gravity and magnetic fields of polygonal prism and application to magnetic terrain corrections. *Geophysics* **41**, 727–741
- STACEY F. D. 1977: *Physics of the Earth*. John Wiley & Sons