

Szelvény mentén végzett adatfeldolgozási eljárások – hatókijelölés, frekvenciaszűrés és mélységfókuszálás – alkalmazása a CEL08 vonalon

KISS J.^{1,@}, PRÁCSER E.^{2,&}

¹Magyar Földtani és Geofizikai Intézet (MFGI), 1143 Budapest, Stefánia út 14.

²MTA CSFK Geodéziai és Geofizikai Intézet, 9400 Sopron, Csatka E. u. 6–8.

@E-mail: kiss.janos@mfgi.hu; &E-mail: pracser.erno@csfk.mta.hu

A szerzők (geofizikus és matematikus) közel 25 éves szakmai együttműködésének egyik részterméke ez a cikk. A közös munka célja a nemzetközi szinten megjelent „új” potenciáltér-geofizikai feldolgozási eljárások (többek közt automatikus feldolgozási eljárások) hazai adaptációja, térképi és szelvény menti feldolgozások fejlesztése, továbbá az archív geofizikai adatok ismételt felhasználása és értelmezése volt új földtani ismeretek megszerzése céljából. A cikk a korábban alig alkalmazott, szelvény menti feldolgozási technika gyakorlati alkalmazását mutatja be egy magyarországi mélyszerkezet-kutató szeizmikus szelvény (CEL08) nyomvonalán mentén.

Kiss, J., Prácsér, E.: Data processing along a profile – semi-automated source detection, frequency filtering and depth slicing (CEL08 profile)

The authors (a geophysicist and a mathematician) have worked together for more than 25 years; this paper is one of the results of their cooperation. The main goal of the cooperation was to adapt new potential field data processing methods which can be applied either for grid (2-D) or profile (1-D) data. Reprocessing of old data by new data processing techniques not used earlier may result in new geological information. The paper presents a practical example of the adaptation of an earlier not used processing technique for potential field data measured along the deep seismic profile CEL08.

Beérkezett: 2016. június 17.; *elfogadva:* 2016. augusztus 16.

Bevezetés

A litoszférakutatás során a kéreg felső, 25–50 km-es mélységtartományát regionális szeizmikus és magnetotellurikus szelvények segítségével vizsgáljuk. A szelvények országhatártól országhatárig terjednek, így országos alapszelvényekként kezelhetjük ezeket.

A mérési eredmények (sebesség és fajlagosellenállás-szelvények) feldolgozása során a pontosabb földtani értelmezés céljából felhasználtunk minden elérhető (azonos vagy átfedő mélységtartományt vizsgáló) geofizikai mérési adatot. A gravitációs és mágneses adatok bevonásával a sebesség, sűrűség és mágneses szuszceptibilitás együttes értékelésével egy széles mélységtartomány komplex geo-

fizikai modelljének meghatározására nyílt lehetőség. Menet közben kiderült az is, hogy a kéreg sekélyebb, felszínközeli részeinek tanulmányozására is alkalmasak ezek a litoszférakutató szelvények, illetve fontos háttéradatokat jelenthetnek a térképi adatok értelmezése során.

Ennek megfelelően elkezdtük a szelvények szisztematikusan feldolgozását, amit számtalan intézeti belső jelentés és publikáció mutat, például a CEL07 (Kiss 2005, Posgay et al. 2007, Novák 2010), a CEL08 (Kiss 2009a,b) és a PGT-1 (Kiss, Madarasi 2012) szelvények.

A geofizikai adatfeldolgozás mindig komplex tevékenység. Ez részben az adatok komplexitásából adódik, részben az egyes geofizikai módszerek sajátosságaiból. A potenciál-

tér-adatok esetén például számolni kell a szuperpozíció elvével (az eltérő mélységű hatások összeadódnak), ami miatt az adatfeldolgozások során, különböző mélységű hatók összegzett terével egyszerre kell számolni, és a feldolgozásokat – többek közt automatikus feldolgozási eljárásokat – ennek megfelelően kell megválasztani, alkalmazni és paraméterezni.

Ez azt jelenti, hogy az értelmezést megelőző feldolgozásaink során nem elég Bouguer-anomália vagy a mágneses anomália alapértékeit használni (ahogy ez hagyományosan sokáig elfogadott volt), hanem szűrni kell a geofizikai méréseket, és a szűrt értékeken is el kell végezni a digitális feldolgozásokat. A szűrésekkel ki tudjuk emelni a főbb hatásokat, jobban be tudjuk azonosítani az eltérő mélységű hatókat, kizárva az interferenciajelenségek esetleges zavaró hatását.

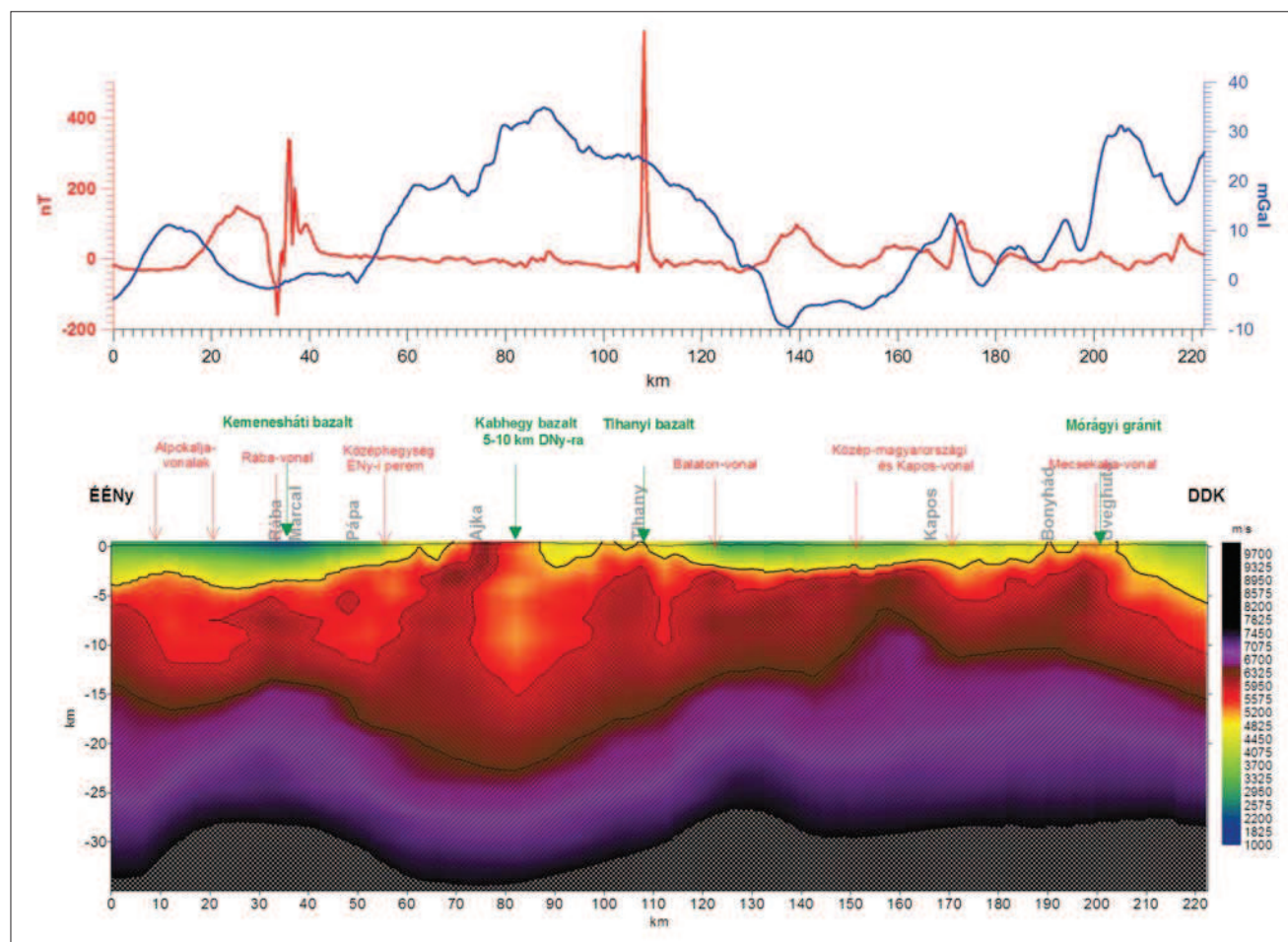
Ilyen feldolgozási sort mutat be cikkünk (annak egyes lépéseit, módszertani alapjait és a feldolgozás eredményeit) a már korábban is vizsgált (Kiss 2009a,b) CEL08 litoszférakutató szeizmikus refrakciós szelvény gravitációs és mágneses adatain (1. ábra), kiegészítve a korábban publikált feldolgozási eredményeket.

Előzmények

A térképi adatrendszerek feldolgozásával itthon Meskó Attila (1966, 1983), illetve Kis Károly (Bodoky et al. 1982) foglalkozott részletesebben saját publikációink megjelenése előtt.

A szelvények menti feldolgozások elvi alapjai régóta rendelkezésre állnak, csak adaptálni kellett őket, és megtanulni, hogy mikor és hogyan kell alkalmazni azokat. A szelvények mentén végzett feldolgozások sokáig csak a kétdimenziós modellezésekre korlátozódtak (pl. Stomfai 1985, Kovács-völgyi 1995, Szafián et al. 1997, Szafián 1999), amihez sokszor kevés volt az a priori adat, és az ekvivalencia miatt bizonytalanok a kapott eredmények. Ezért alakultak ki az automatikus (félautomatikus) feldolgozási eljárások, amelyek a görbealak vizsgálata vagy az egyszerű geometriájú testek hatásának törvényszerűségeit felhasználva „automatikusan” adják meg a lehetséges hatók helyzetét. Mivel az anomáliagörbének az alakja és nem az amplitúdója a fontos, így a legkisebb anomáliára is érzékenyek ezek az eljárások.

Az automatikus feldolgozási eljárások korai megjelenésük ellenére a mai napig nem váltak általánossá a gyakorlat-



1. ábra A CEL08 litoszférakutató szeizmikus szelvény refrakciós tomográfiai sebességszelvénye (alul) és a gravitációs, mágneses anomáliák a szelvény mentén (felül)

Figure 1 CEL08 lithosphere exploration seismic profile seismic velocity section from refraction tomography (below) with Bouguer and magnetic anomalies along the profile (above)

ban. Ezek az eljárások közül a legfontosabbak a következők voltak:

1. *Naudy-dekonvolúció*: A mágneses adatokon elvégezhető mélységmeghatározási eljárás (Naudy 1971). A módszer lényege, hogy a mágneses anomáliák szimmetrikus és aszimmetrikus összetevőkre bonthatóak fel, majd a szimmetrikus összetevők alapján egyszerű geometriájú hatók (pl. vertikális hasábok) helyzetére következtethetünk.
2. *Werner-dekonvolúció*: E mélységmeghatározás (Werner 1953) során a mágneses és gravitációs teret végtelenített vékony lemezmodellek hatásából szuperponálódó térként fogják fel, ahol az egyedi modellek helyzete (mélysége) meghatározható. A Werner-módszer továbbfejlesztett változata a Multiple-source Werner-eljárás (Hansen, Simmonds 1993), amelyben a gradiens helyett az analitikus jelet (a térgradienset) használják.
3. *Euler-dekonvolúció*: Az Euler-egyenletek alapján két-dimenziósan Thomson (1982), majd háromdimenziósan Reid et al. (1990) dolgozták ki az Euler-féle mélységmeghatározást, amikor a mágneses és gravitációs tér, valamint azok deriváltjának vizsgálatából következtet a ható helyzetére és a mélységére. A feldolgozás során, ha ismert a ható geometriája, akkor szűkíthetők a megoldások.
4. *Cordell-Henderson-féle kétréteges mélységinverzió*: A módszer (1968) adott sűrűségkontraszt mellett egységnyi területrészek/szakaszok mélységét változtatva számítja ki a gravitációs teret és hasonlítja a mért gravitációs térrel. Ez a közelítő mélységmeghatározó módszer korrelációs vizsgálattal, több iteráció (módosítás) során jut el a végeredményhez, ami adott tolerancia mellett a gravitációs tér változásait követi nyomon.

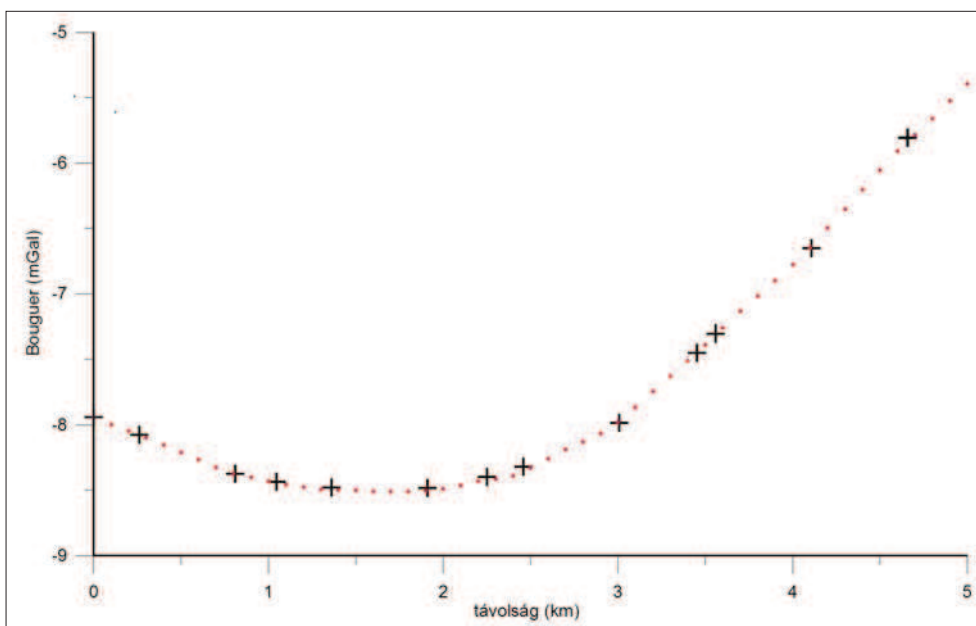
Ezekkel a feldolgozásokkal itthon először 1998-ban a MOL részére végzett ipari erőter-geofizikai feldolgozásokban találkozhatunk (BTIX Kft.), majd a Mórággyi-rög környezetének vizsgálataiban kerültek felhasználásra (Kiss, Varga 2003), továbbá 2009-ben egy doktori dolgozat foglalkozott vele (Kiss 2009a). Közele környezetünkben, Pozsonyban, a Comenius Egyetemen mélyedtek el az elméletben részletesebben (ld. Pasteka 2000).

Geofizikai anomáliák – amplitúdó és frekvencia

A potenciáltér-elméletek és -módszerek vizsgálata során megállapíthatók olyan törvényszerűségek, amelyek segítenek minket az adatok feldolgozásában és értelmezésében. Különböző, egyszerű geometriájú testek hatásának leírásakor pontos matematikai formulák írják le a gravitációs vagy mágneses erőtereket, amelyekből kiolvasható, hogy az egyes tényezőknek (pl. fizikai paraméternek vagy távolságnak) milyen hatása van a potenciálterekre.

Egy gravitációs vagy mágneses ható felett kialakuló anomália amplitúdója a fizikai paraméterkontraszt (sűrűség- vagy mágnesezettségváltozásnak) nagyságával, míg az anomália térfrekvenciája, elsősorban a hatók mélységével van szoros összefüggésben (mint elsődleges tényezők). A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy azonos mélységű és geometriájú hatóknál az amplitúdó csak a paraméterkontraszttól függ, míg fix paraméterkontraszt és geometria esetén az anomália térfrekvenciája (hullámhosszúsága) alapvetően a mélység függvénye.

Természetesen a hatók geometriai mérete is hatással van a frekvenciára (a jelinterferencia miatt), és a ható fizikai tö-



2. ábra Egy 500 m-es szabályos rácsnak a mintavételezése 25 fokban (fekete kereszt) és átmintavételezése a szelvény mentén, szabályos 100 m-es távolságra (piros szimbólum) „spline” approximációval
Figure 2 Sampling of a regular 500 m grid along a profile with 25 degree azimuth (black crosses) and the result of sampling by 100 m distance (red points) using “spline” approximation

mege (pontosabban térfogata) az anomália amplitúdóját befolyásolja (a szuperpozíció – a hatások összeadódásának – elve miatt). Ezeket nevezzük másodlagos tényezőknek.

Az adatfeldolgozásokat azért végezzük, mert nincs elegendő földtani információ (a hatókról, a hatást okozó földtani képződményekről), így a „semiből” kiindulva az elsődleges tényezőknek a másodlagosok miatti bizonytalansága a szelvény menti feldolgozások során vállalható kockázatnak tűnik. Ezt a fajta bizonytalanságot a földtani információk, illetve a térképi adatfeldolgozások eredményei – ha rendelkezésre állnak – jelentősen csökkenthetik. A kapott eredmények helyes értelmezése szintén segíthet a másodlagos hatások kiszűrésében utólag rámutatva azokra.

Geofizikai adatok a szelvény mentén

Egy szelvény nyomvonala mentén, ha nem történtek célirányosan geofizikai mérések, akkor általában nem állnak rendelkezésünkre egyenküzi mérési adatok, így a területi mérésekből kell azokat kigyűjteni. A területi mérések azonban többnyire nem szabályosan mintavételezettek, ezért célszerű először szabályos hálóba interpolálni az adatokat.

Adott szelvény nyomvonala mentén a szabályos rácsba interpolált adatokból készült leválogatás a mintavételezési iránytól függően szintén egy nem szabályos közü adatrendszer eredményez (2. ábra). Ezeket az adatokat szabályos, egyenküzi adatokká kell átalakítani (mivel a feldolgozó programok többsége a gyors matematikai műveletek miatt ilyen adatot igényelnek), amihez például a „spline” approximációs eljárást alkalmazhatjuk.

Szűrők és mélységi fókuszálás

A szelvény menti feldolgozások során különböző típusú és nagyságú szűrőket használunk. Ezek a feldolgozások szűrőablakok (adott számú adat) alkalmazásával végzik el a műveleteket, de egy szűrőméret csak egy adott mélységtartomány vizsgálatára alkalmas. A szűrő méretének növelésével és csökkentésével fókuszálhatjuk a feldolgozásokat, amit kétféle módon érhetünk el. Az egyik lehetőség magának a szűrő méretének növelése, vagy a másik, hogy ugyanazt a szűrőt használjuk, de egy átmintavételezett (sűrített vagy ritkített) mérési adatrendszeren. Az első módszert használva hamarosan rájövünk, hogy a lehetőségeink fizikailag korlátosak. A második esetben gyakorlatilag nincsenek korlátok.

A nagy mélység irányában egyszerű a továbblépés, mert csak ritkítani kell az adatokat úgy, hogy minden második, harmadik vagy negyedik adatot vesszük figyelembe, miközben ugyanazzal a szűrővel dolgozunk. Ebben az esetben általában a szelvény hosszúsága (mérete) szabhat határt a ritkítésnek. Persze a ritkítéshez használhatjuk a „spline” eljárást is, csak az eredeti mintavételezésnél nagyobb távolságra kell átmintavételezni az adatsort. A harmadik lehetőség az anomáliák analitikus felfelé folytatása, ami csökkenti a

felszínközeli hatásokat, s ezáltal növeli a mélyhatások részarányát.

A kisebb mélység eléréséhez arra van szükség, hogy a meglévő adatrendszeret besűrítsük, de úgy, hogy a görbe jellege ne változzék (ne alakuljanak ki anomáliák a besűrítés miatt). Ez a sűrítés átmintavételezéssel, a „spline” eljárással elvileg bármédig folytatható, de ezt a gyakorlatban az adatok eredeti mintavételi sűrűsége és a mért jel frekvenciája határozza meg. Egy adott sűrűség után már nincs értelme további sűrítésnek!

A szelvény menti feldolgozásokat, célszerű különbözőképpen megválasztott szűrőmérettel és mintavételi távolsággal elvégezni. Ezzel, a különböző mélységek hatásaira koncentrálna, olyasmit is ki lehet mutatni, ami a mérési alap paraméterekben mélyen elrejtve jelentkezik s az alapgörbék elvégzett feldolgozások számára esetleg láthatatlanok.

Példák átmintavételezéses adatfeldolgozásra

A következőkben a forrásadatok átmintavételezésére és a szűrőablak méretének megváltoztatására mutatunk be példát, illetve azt vizsgáljuk, hogy ezeknek a paramétereknek a megváltozása milyen hatással van a feldolgozási eredményekre.

A CEL08 szelvény mentén leválogattuk az országos adatrendszer gravitációs és mágneses adatait. A gravitációs mérések 500–1000 m-es, a mágneses mérések 1500 m-es nominális mintavételi távolságban érhetők el. Az országos anomáliatérképek ennek megfelelően 500, illetve 1500 m-es szabályos rácshálózatba interpolálva állnak rendelkezésre. Mivel a szelvény nyomvonala általában nem a rácsháló fő irányában van, így a szelvény átmintavételezése során a felbontás tovább romlik (500–700 m, illetve 1500–2000 m közé).

Az interpolálásnak köszönhetően a mérési zajt minimalizáltuk, az adatok átalakítása egyenküzivé a szelvény nyomvonala mentén egyben sűrítést is jelentett. Ezt „spline” approximációval úgy kellett elvégezni, hogy az eredeti görbe alakja ne változzék, csak az anomália mintázása legyen sűrűbb.

Egy anomália akkor tekinthető megbízhatónak, ha legalább három mérési pont alapján azonosítható. Ez a három pont azonban a hatókimutatáskor alkalmazott automatikus eljárások esetén a megbízható görbevizsgálathoz kevés. Tovább kell sűríteni a mérési adatrendszer, hogy statisztikusan előálljon az az adatmennyiség, amely alapján a feldolgozások megbízható hatókijelölést tesznek lehetővé. A futóablakos görbevizsgálathoz sűrű adatrendszer kell!

Az adatfeldolgozást először a mágneses adatokon fogjuk bemutatni, ahol a Naudy-dekonvolúciót fogjuk használni, érdemes tehát ezt az eljárást részletesebben bemutatni.

Naudy-dekonvolúció

Ez egy olyan automatikus mágneses adatfeldolgozási módszer, amely meghatározza, hogy az adatok milyen kétdimenziós szerkezet (pl. vékonylemezzel: keskeny, lefelé

végtelen kiterjedésű hasáb) hatásának felelnek meg (Naudy 1970, 1971). A program algoritmus 2000-ben készült el (Prácsér 2000), és azóta használjuk az adatfeldolgozások során.

A módszer alapja az, hogy a jelek (a mágneses anomália is) felbontható egy szimmetrikus és egy aszimmetrikus összetevőre. A szimmetrikus összetevő egy egyszerű ható fő tengelyirányával azonos mágnesezettségű (A), az aszimmetrikus pedig, azzal szöget bezáró, ferde mágnesezettségű (B) terének felel meg. Független fő tengelyű ható esetén ez független (A), illetve attól eltérő irányú (B) mágnesezettséget jelent. A szimmetrikus összetevő alapján nagyobb biztonsággal következtethetünk a ható helyzetére, így érdemes azt használni.

Az A és B jelű adatok lineáris kombinációjával tetszőleges irányú mágnesezettség esetére érvényes adatok állíthatók elő. Ezért Naudy módszerének alkalmazása során – más mélységmeghatározó algoritmusokkal ellentétben – nem szükséges a mágnesezettség irányának előzetes ismerete. A mért görbe komponensekre bontásakor a kapott A és B görbék nagyságának az aránya szoros összefüggésben van a mágnesezettség irányával.

Ha a B típusú görbét pólusra redukáljuk, akkor a ferdén mágnesezett hatókra vonatkozóan is szimmetrikus jelet kapunk. A Naudy által kidolgozott eljárás első lépése az adatok pólusra redukálása, ami a szelvény menti adatokon is elvégezhető. Ezek után egy adott mintavételi távolsággal az

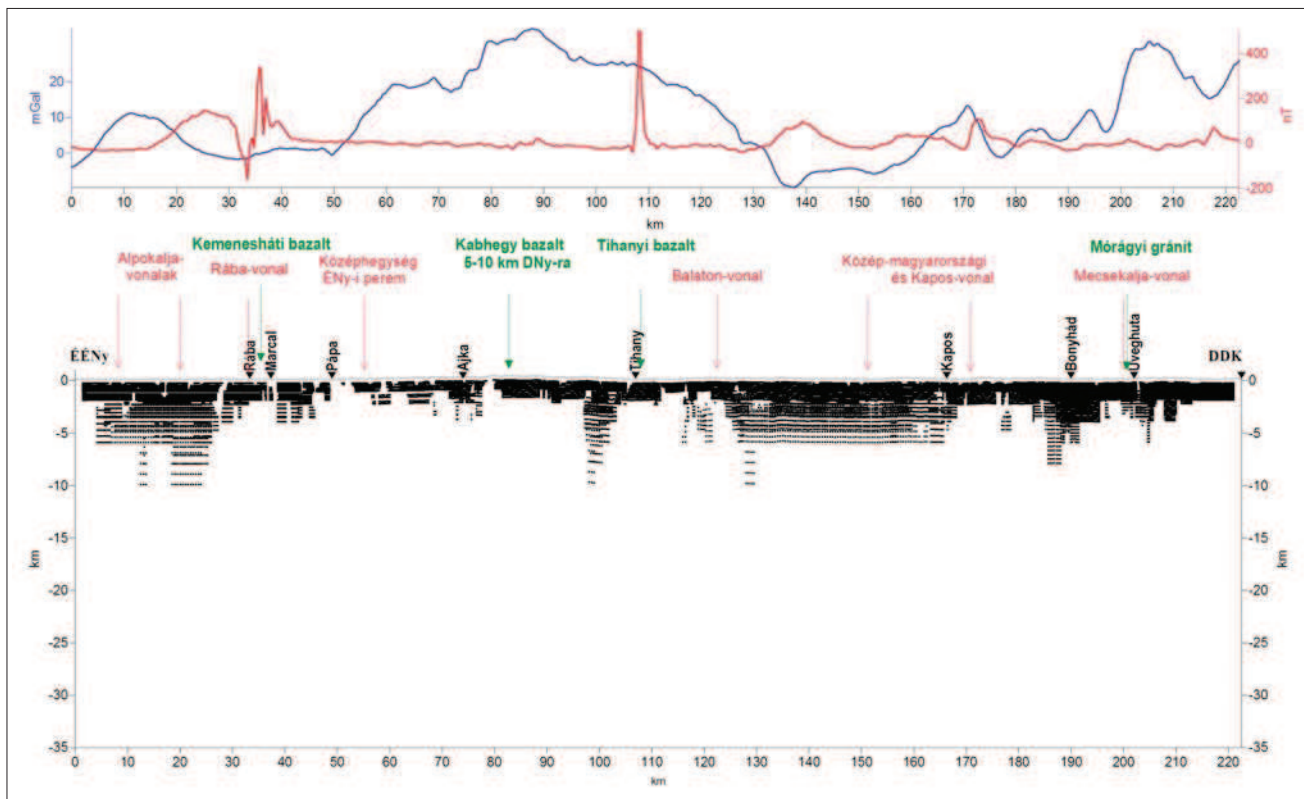
adatsort mintavételezzük, és minden egyes pont környezetében mindkét (az eredeti és a pólusra redukált) adatrendszer szimmetrikus és aszimmetrikus összetevőkre bontjuk. Miután a pólusra redukálást elvégeztük, innentől kezdve már csak a szimmetrikus összetevőkkel foglalkozunk.

A továbblépéshez ki kell számítani egy adott elméleti modell (hasáb) anomáliagörbéjét (mestergörbe), és vizsgálni kell ennek és az eredeti, valamint a pólusra redukált adatrendszer szimmetrikus összetevőjének az eltérését (különbözőségi paraméter^{a)}). Ha az így kapott két szám súlyozott átlaga a pont környezetében kicsi, akkor feltételezhetjük, hogy a szelvény kiválasztott pontjában az elméleti modellhez hasonló szerkezet okozza az anomáliát.

Még egy paraméterrel – a szórással arányos mennyiséggel – jellemezhetjük az adatrendszert, amely megmutatja, hogy az eredeti adatrendszer anomális-e vagy sem, azaz vannak-e rajta változások vagy nincsenek (anomaliasűrűség^{b)}).

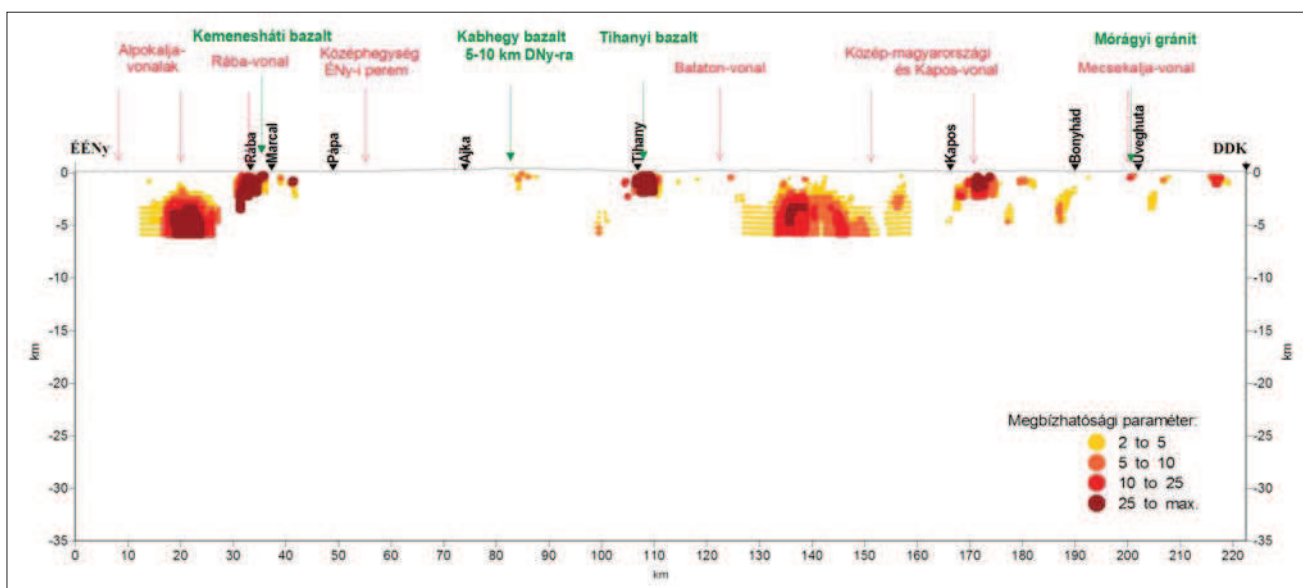
Mivel a modell egy lefelé végtelen kiterjedésű hasáb, így ennek a hasábnak a mélységét jó egyezés esetén hozzárendelhetjük az adott ponthoz. A szelvény pontjain többféle lépésközzel elvégezve a mintavételezést, a különböző mélységszintek esetére az anomaliasűrűség és különbözőségi paraméterek alapján el lehet dönteni, hogy van-e ott ható, vagy nincs.

A megjelenítés előtt érdemes rangsorolni az adatokat, amire a szűrőablakon belüli szórás nagysága (anomália-



3. ábra | Gravitációs- (kék) és mágneses- (piros) anomália-görbék felül, alattuk mágneses Naudy-megoldások 400–2000 m ablakméret esetén (mintavétel: 100 m), rangsorolás nélkül, egységes fekete pontszimbólumokkal

Figure 3 | Gravity (blue) and magnetic (red) anomaly curves (above) along the profile and the results of Naudy deconvolution (below) at 400–2000 m window size (sampling: 100 m) without ranking, using a unique size of the symbols



4. ábra | Mágneses Naudy-megoldások 400–2000 m ablakméret esetén (mintavétel: 100 m) megbízhatósági paraméter alapján (a szimbólum színével és nagyságával) rangsorolva

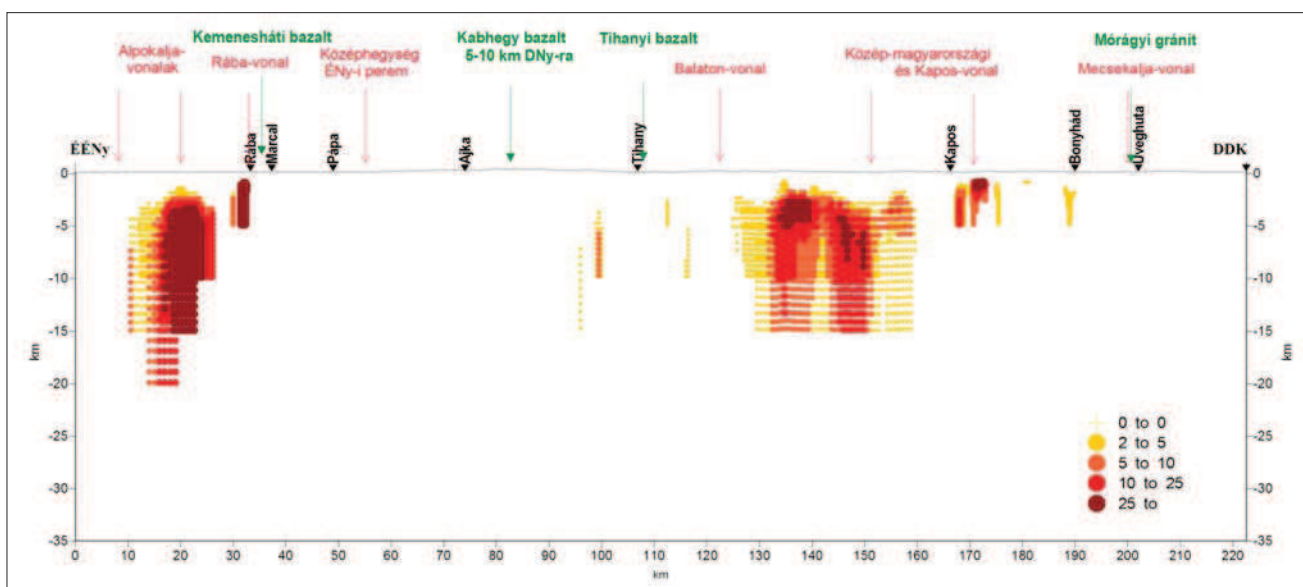
Figure 4 | Magnetic Naudy solutions at 400–2000 m window size (sampling: 100 m) ranking by reliability parameter (see the colour and the size of the symbols)

sűrűség) és a mintagörbével való korreláció nagysága (görbék különbözősége) ad lehetőséget. Minél nagyobb az anomaliasűrűség, annál inkább várható ható jelenléte, és minél kisebb a különbözőségi paraméter, annál inkább megbízható (illeszthető) az anomália. Arra kell hát törekedni, hogy a nagy anomaliasűrűségű és kis különbözőséggel jellemezhető helyeket határozzuk meg, amit legjobban az anomaliasűrűség/különbözőség arány képzésével érhetünk el. Legyen ennek a paraméternek a neve megbízhatósági paraméter! Minél nagyobb a megbízhatósági paraméter, annál valószínűbb a mágneses ható. Eltérő mintavételezésű ada-

tok és különböző nagyságú szűrők használata esetén sem az anomaliasűrűség, sem a különbözőség külön-külön nem összevethető paraméterek, de azok aránya, azaz a megbízhatósági paraméter feldolgozásaink alapján már egy szűrőmérettől és mintavételi távolságtól majdnem független érték.

Naudy-megoldások^{c)} a gyakorlatban

A 3. ábra a mágneses Naudy-megoldásokat mutatja 100 m-es mintázás esetén egy adott hibahatárig. A 100 m-es minta-



5. ábra | Mágneses Naudy-megoldások 1000–5000 m ablakméret esetén (mintavétel: 250 m) megbízhatósági paraméter alapján (a szimbólum színével és nagyságával) rangsorolva

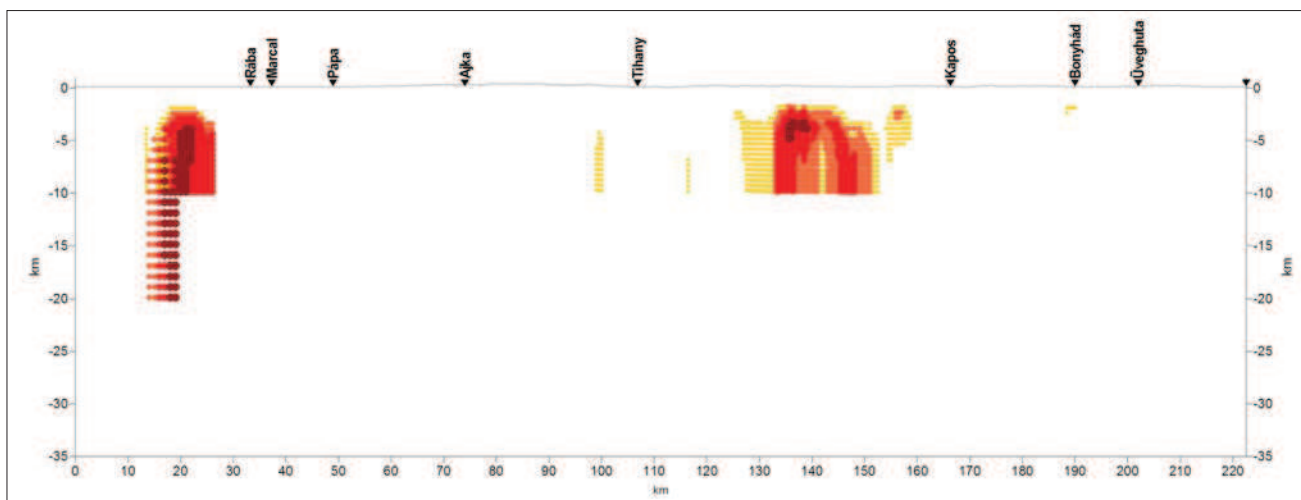
Figure 5 | Magnetic Naudy solutions at 1000–5000 m window size (sampling: 250 m) ranking by reliability parameter (see the colour and the size of the symbols)

vételi távolság mellett 4 és 20 pontos futóablakot (400–2000 m) alkalmazva a görbeletapogatás és -feldolgozás eredményeként kirajzolódnak azok a helyek, amelyek kapcsolatban lehetnek mágneses hatókkal. A 3. ábra alsó része mutatja az összes kapott Naudy-megoldást ugyanolyan nagyságú pontszimbóllummal megjelenítve. Ezek a megoldások nagyon eltérőek lehetnek, és elsőre nem adnak túl sok adalékot az értelmezéshez.

A 4. ábra a megbízhatósági paraméter alapján rangsorolt megoldásokat mutatja be (minél megbízhatóbb a megoldás, annál sötétebb és annál nagyobb a megjelenítésére használt szimbólum). Jól látszik, hogy a 3. ábra megoldásai között vannak olyanok, amelyeknek a megbízhatósága sokkal na-

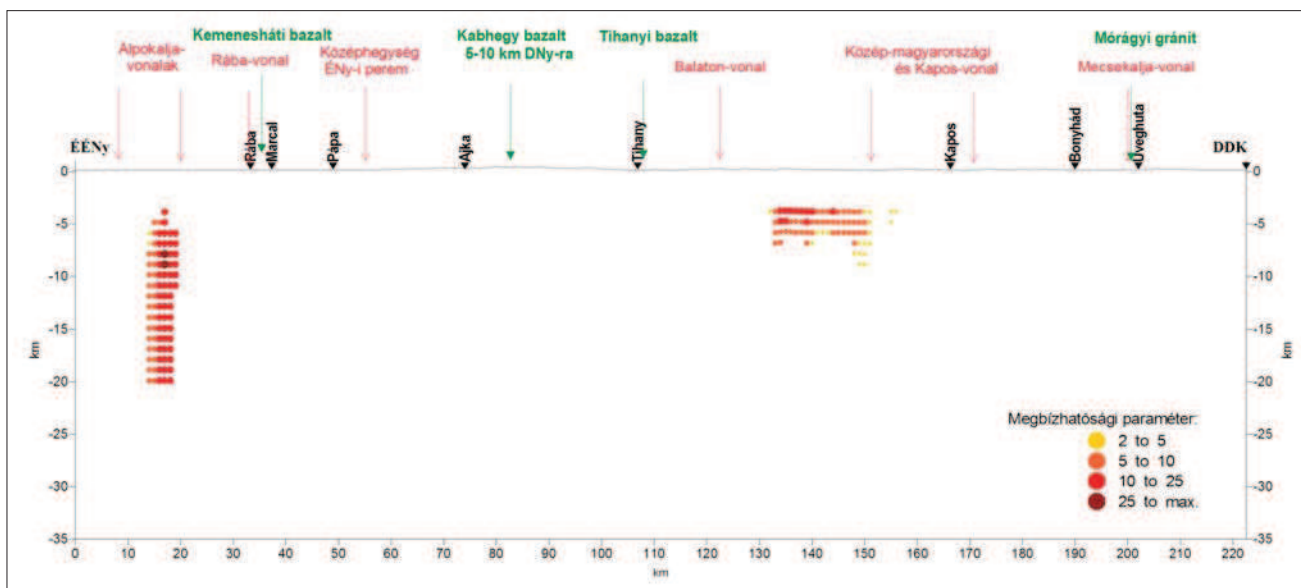
gyobb, mint a többi ponté, s amelyek ebből adódóan nem a mágneses háttérzajtól származnak, hanem a hatók valódi helyzetét mutatják. A 3. és 4. ábra összevetése alapján az is látszik, hogy kis szűrőablak esetén a mágneses anomália-görbe minden apró változására Naudy-megoldásokat kapunk, de ebből a megbízhatósági paraméter alapján csak néhány jelent meg valódi mágneses hatótól származó megoldásként.

A sűrű mintavételezés miatt a mágneses hatókat jellemző pontfelhők a felszíntől azonosíthatók, megadva a mágneses-anomália-görbe nagy amplitúdójú, nagyfrekvenciás részéhez tartozó mágneses hatókat. A megoldások mintavételi távolság függvényében csak egy meghatározott mélységig



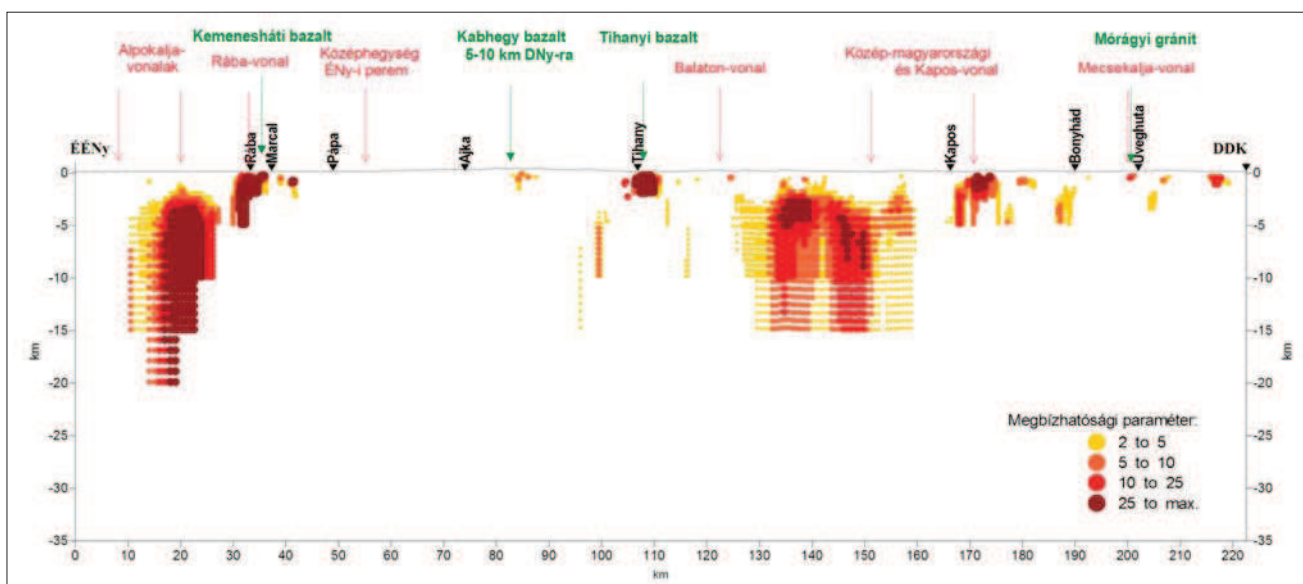
6. ábra Mágneses Naudy-megoldások 200–10 000 m ablakméret esetén (mintavétel: 500 m) megbízhatósági paraméter alapján (a szimbólum színével és nagyságával) rangsorolva

Figure 6 Magnetic Naudy solutions at 200–10 000 m window size (sampling: 500 m) ranking by reliability parameter (see the colour and the size of the symbols)



7. ábra Mágneses Naudy-megoldások 4000–20 000 m ablakméret esetén (mintavétel: 1000 m) megbízhatósági paraméter alapján (a szimbólum színével és nagyságával) rangsorolva

Figure 7 Magnetic Naudy solutions at 4000–20 000 m window size (sampling: 1000 m) ranking by reliability parameter (see the colour and the size of the symbols)



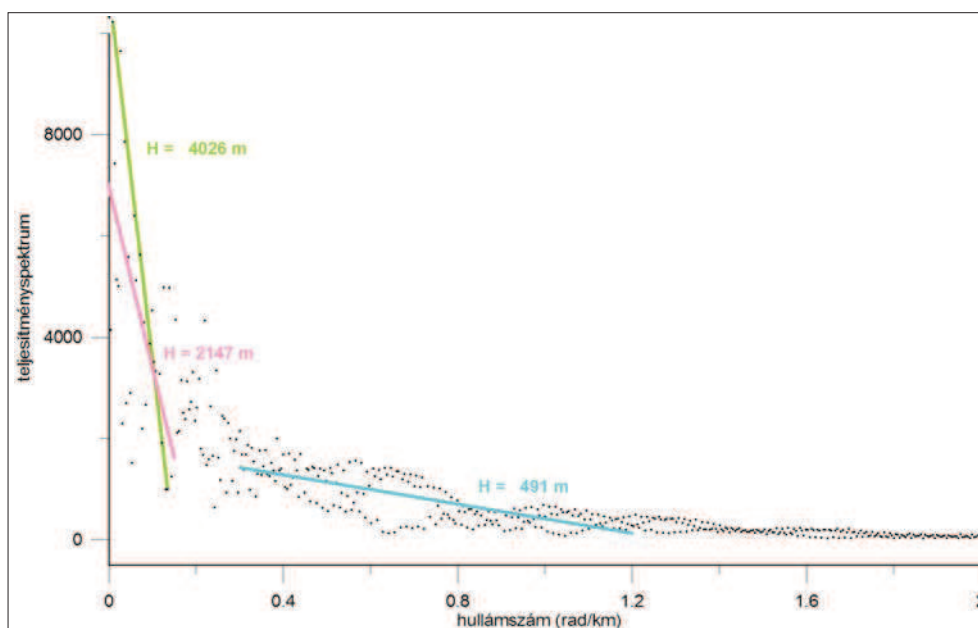
8. ábra | Az összes mágneses Naudy-megoldás megbízhatósági paraméter alapján (a szimbólum színével és nagyságával) rangsorolva
Figure 8 | All magnetic Naudy solutions ranking by reliability parameter (see the colour and the size of the symbols)

(kb. 6 km-ig) mutathatók ki az adott [(4–20)dx méretű] szűrők alkalmazása esetén.

Ha a mintavételi távolságot 100 m-ről 250 m-re növeljük, akkor a legnagyobb amplitúdójú mágneses anomáliáknak a hatóit (pl. Tihany környéki bazaltokat, 1. ábra) a feldolgozás során elveszítjük, azaz nem tudjuk azokat beazonosítani (ld. 5. ábra). Nagyobb mintavételi távolság esetén csak a mélyebben elhelyezkedő mágneses hatókat tudjuk kijelölni, azonosítani. Ennél a mintavételi távolságnál az első feldolgozási eredmények 1–2 km mélységben jelentkeznek, viszont vannak olyan megoldások, amelyek 20 km körüli várható hatómélységet jeleznek a szelvény 10–20 km-e között.

A feldolgozási sorból látszik, hogy a ritkábban – pl. 100 m helyett 250 m-re – mintavételezett adatsorból a felszínközeli hatókat nem lehet kimutatni, noha ezek okozzák a legjobban azonosítható anomáliákat. Ennek oka, hogy a mágneses anomáliák dipólus jellegük miatt nagyon változékonyak (egy egyszerű ható anomáliatere is 1–3 extrémummal jellemezhető), így pontos azonosításhoz sűrű adatrendszer szükséges.

Növelve a mintavételi távolságot 500, illetve 1000 m-re, már csak a mély, 3–5 km-nél mélyebb hatások jelentkeznek (6. és 7. ábra). A megoldások száma jelentősen le-



9. ábra | Egydimenziós mágneses teljesítménysűrűség-spektrum a várható hatómélységekkel
Figure 9 | One-dimensional magnetic power density spectrum with the estimated depths

csökken a ritka mintázásnak köszönhetően, és a megbízhatóság is egyre rosszabb.

A 7. ábra már azt az állapotot mutatja, amely a mérési adatsűrűséghez legközelebb van. Ha nem sűrítettük volna be a mérési adatokat, akkor a feldolgozásunkból csak egy ilyen eredményt kaphatnánk.

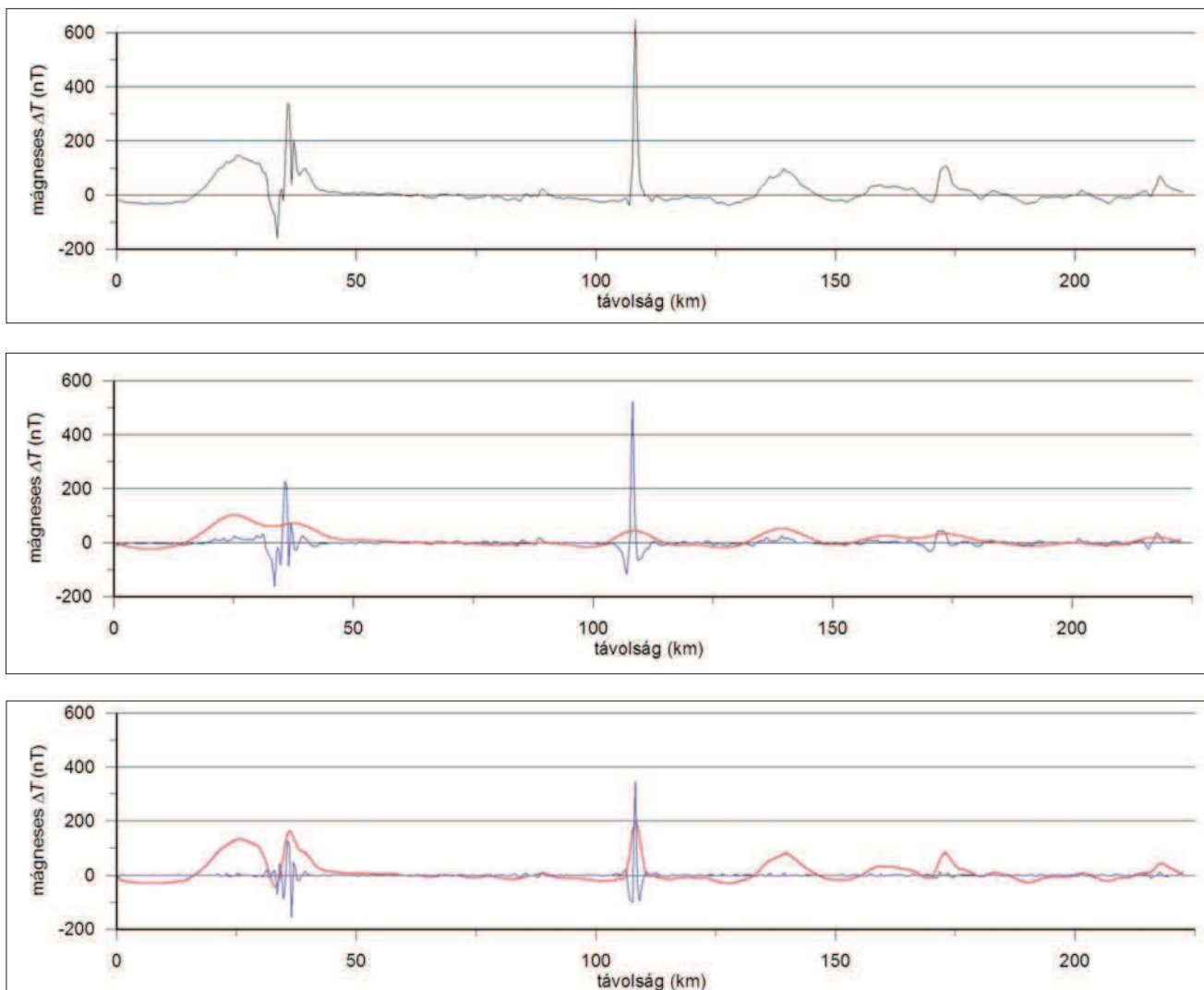
Az automatikus feldolgozásoknál fontos az adatok átmintavételezése, az anomális görbeszakaszok pontos leképzéséhez és a kis mélységű hatók kimutatásához. Fontos továbbá a megbízhatósági paraméter alkalmazása és annak alapján az összes adat (8. ábra) sorba rendezése a megjelenítés során: a fontosabb, megbízhatóbb adatok kerüljenek felülre, azok fedjék el a gyengébb hatásokat és szórt pontokat, és nem fordítva.

Célszerű a fentebb említett mintavételezési és szűrőméretezési eljárásokat együtt alkalmazni (8. ábra) és az eredmények alapján dönteni arról, hogy mit, hol és hogyan fogunk figyelembe venni a földtani értelmezés során.

Még egy lehetőség van a kis és nagy mélységű hatások elkülönítésére. Ez pedig a frekvenciaszűrés, amelyet a következő fejezetben ismertetünk. Ennek az alapja az, hogy a potenciáterek esetében egységnyi hatót vizsgálva megállapítható, hogy minél nagyobb az észlelt anomália hullámhossza, annál nagyobb mélységben található a ható. Ha a különböző hullámhosszúságú hatásokat szét tudjuk választani, akkor ezek a hatások az eltérő mélységű hatók anomáliáit fogják megadni. Tulajdonképpen a jelinterferencia miatt nem látható hatásokat csalogatjuk elő, tesszük láthatóvá és használjuk fel. A spektrálanalízisen alapuló frekvenciaszűréssel azonban érdemes kicsit részletesebben is foglalkozni.

Spektrális szűrés a szelvény mentén

A spektrális vizsgálatokat elvégezhetjük egy szelvény adatsora alapján, vagy a térképi spektrális szűrések ered-



10. ábra Mágneses ΔT anomáliagörbe a CEL08 szelvény mentén (legfelül) és különböző frekvenciánál megvágott LP (piros) és HP (kék) szűrt anomália-görbepárok (középen és alul)

Figure 10 Magnetic anomaly above the CEL08 profile (above) and pairs of LP (red) and HP (blue) filtered anomaly curves (middle and below)

ményeiből is leválogathatjuk az adatokat a szelvény nyomvonalára mentén. A szelvény menti vizsgálatok során egydimenziós Fourier-transzformáció révén végezzük el a szűréseket, amelyeket a spektrum (9. ábra) alapján tervezhetünk meg.

Az egydimenziós mágneses spektrum sokkal zajosabb, mint a kétdimenziós spektrum (ez utóbbi a nagyobb adat-szám miatt átlagolt, ha úgy tetszik, simított), így a mélység-meghatározás is bizonytalanabb. A 9. ábra mutatja a spektrumot, amelyen fekete pontok jelzik az eredeti spektrumot. A kék és rózsaszín egyenesek az adott szakaszokra végzett lineáris görbeillesztési helyeket mutatják, amelyek mentén mélységmeghatározásokat végeztünk. A kék vonal a 491 m-es mélység spektrumát, a rózsaszín a 2147 m mélységre jellemző tartományt adja meg. Egy szórt pontthalmaz esetén az egyenessel való illesztés nem mindig egyértelmű. A világoszöld egyenes (mélysége 4026 m körüli) egy lehetséges mélység hatását jelzi. A kis hullámszámú, zajos tartományban többféle egyenessel közelíthetünk, mivel a szórt pontthalmaz nem teszi lehetővé az egyértelmű mélységbecslést.

Színes feliratok a Spector–Grant-mélységközelítés (Kiss 2013) alapján meghatározott mélységeket mutatják. A 10. ábra bemutatja az LP (lowpass, azaz alul áteresztő) és a HP (highpass, azaz felül áteresztő) szűrők alkalmazásának eredményeit a CEL08 szelvény mágneses adatain. A spektrum alapján többféle szűrőt használhatunk, azaz rengeteg lehetőség adódik, amelyekből csak két lehetséges változatot mutatunk be (10. ábra, középen és alul). Külön művészet, de legalább is gyakorlat szükséges a jellemző frekvenciák (és anomáliák) felismeréséhez és azonosításához.

A különböző hullámhosszúságú LP és HP szűrőpárok alkalmazásával kapott görbék összegzése az eredeti anomáliagörbét adja vissza (LP és HP jelinterferencia).

A szelvény menti adatrendszerek néha félrevezetőek lehetnek, amit talán az oldalhatások megjelenése mutat legszembetűnőbben. A ható a szelvény nyomvonalán kívül (oldalt) található, de a hatása megjelenik a szelvényen, amit megpróbálunk értelmezni, miközben szigorúan véve a szelvény vonalában (alatt) nincs is ható. Az oldalhatások (há-

romdimenziós hatások) kezelése miatt a térképi adatrendszereken elvégzett szűrések megbízhatóbbak, mint a szelvény menti adatrendszerekből kapott szűrések, ezért a különböző mélységhez tartozó anomáliagörbék a térképi adatok spektrális szűrési eredményeiből is leválogathatjuk (11. ábra). Az országos adatrendszereken elvégzett térképi spektrális szűrések eredményeit korábbi cikkek ismertetik (Kiss 2013, Kiss 2014). Ha összefüggő, homogén fedettségű térképi adatrendszer áll rendelkezésre, akkor célszerű ez utóbbi utat választani, azaz az országos szűrésekből kapott eredményeket használni a szelvény menti feldolgozások során.

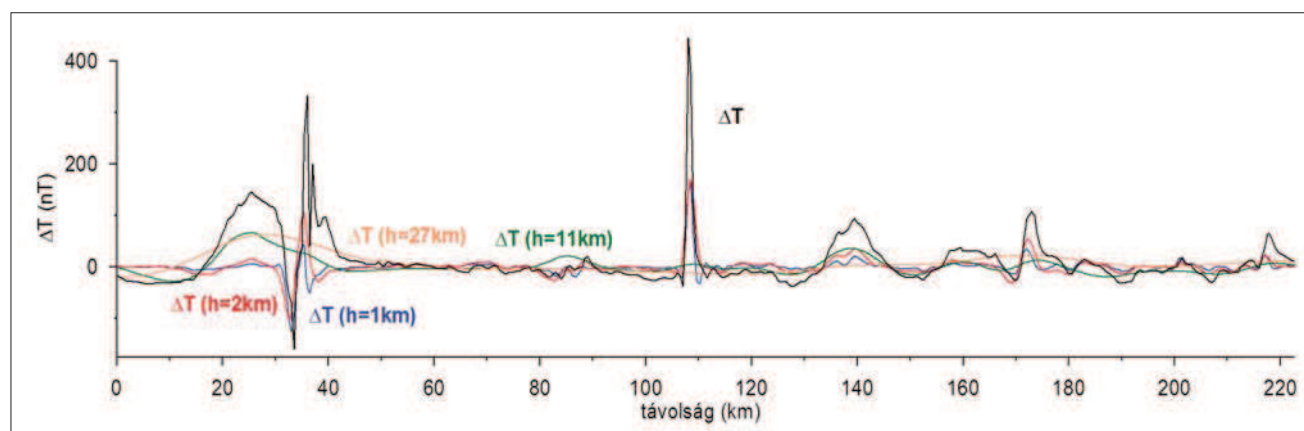
Elvégeztük a CEL08 szelvény menti adatok leválogatását a térképi szűrések eredményeiből, és megjelenítettük az alap- és a maximumértékkel normált görbéket is külön-külön: mágneses adatokra (11. és 12. ábra) és gravitációs adatokra is (13. és 14. ábra). A szűrt adatok felbontják az anomáliákat a domináns jelfrekvencia (azaz mélység) függvényében.

Szembetűnő, hogy a legfelső réteg hatása (frekvencia-szűrt anomáliagörbéje) nagyon kis amplitúdával jelentkezik. Ez abból adódik, hogy kicsi az a tömeg, amely a sűrűség vagy mágneses tulajdonság alapján az anomáliát okozza. Minél nagyobb mélység hatását vizsgáljuk – a szuperpozíció elve miatt – az anomáliák egyre nagyobb amplitúdával jelentkeznek. Míg a paraméterkontraszt alapján egy hatás azonos lehet a felszínen és mélységben, addig a mélységgel jelentkező igen jelentős hatótömeg-növekedés sokkal nagyobb amplitúdójú anomáliákat okoz.

A gravitációs erő Hawking és Mlodinow (2006) szerint az összes kölcsönhatás közül az egyik leggyengébb, kizárólag két tulajdonságának köszönhetően vesszük észre, illetve észleljük:

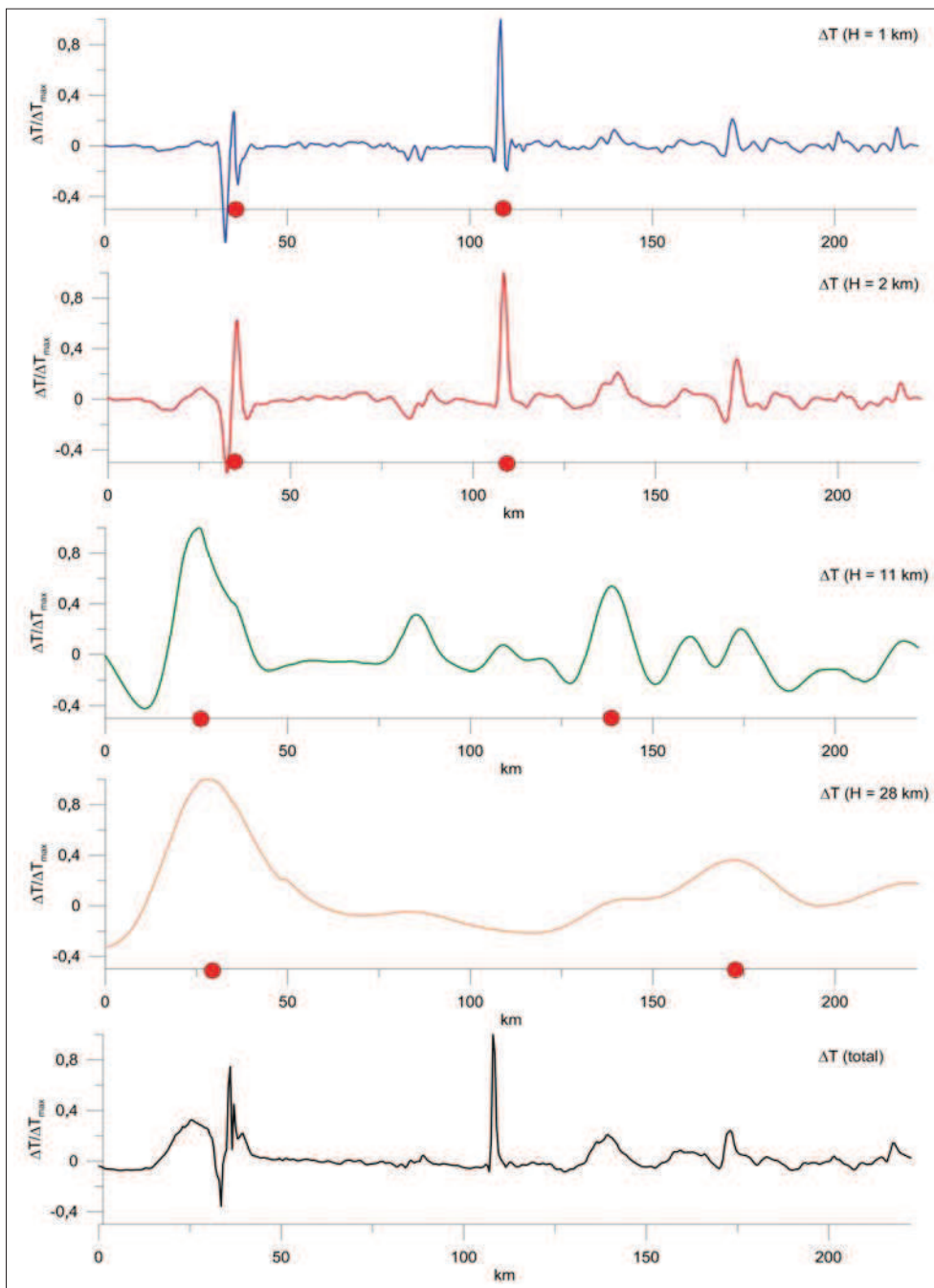
- roppant nagy a hatótávolsága,
- mindig vonzó kölcsönhatás.

Mivel minden gravitációs hatás összegződik, így ez a hatás számottevő nagyságú erőt képvisel. Eötvös Lorándnak köszönhetően azonban ezt a hatást már régóta mérjük és



11. ábra | Az eredeti mágneses ΔT anomáliagörbe (fekete vonal) és a térképi adatok spektrális szűréséből kapott különböző mélységszintek (1, 2, 11, 27 km) anomáliagörbéi

Figure 11 | Magnetic anomaly curve (black) and anomaly curves of different spectral depths (1, 2, 11, 27 km) getting from spectral filtering of grid data



12. ábra | A maximumértékkel normált mágneses anomália-görbék (alul az eredeti görbe, majd felfelé a spektrális szűrésből kapott különböző, 28, 11, 2 és 1 km-es mélységekre vonatkozó normált anomáliagörbék). A szelvények mentén jelentkező két legerősebb hatás helyét piros színű szimbólumokkal jeleztük

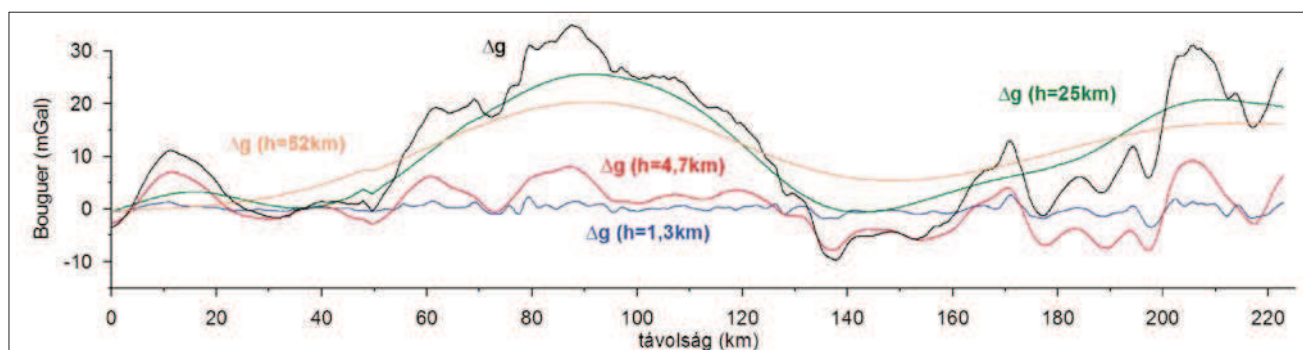
Figure 12 | Spectral filtered magnetic anomaly curves normalized by their maximum value. Anomaly curves of 28, 11, 2 and 1 km spectral depths and the place of the biggest effect by red fleck

használjuk a földtani kutatások során (ld. alkalmazott geofizika).

A mágneses erő erősebb kölcsönhatás, de lehet vonzó és taszító is (dipóluster), így a mágneses erőteret egy másik mágneses erőter nemcsak erősítheti, hanem éppenséggel teljesen ki is olthatja. Ezért van az, hogy több kitörési ciklus egymásra települő bázisos vulkáni kőzetei még jelentős vastagságuk ellenére sem adnak időnként értelmezhető mágneses anomáliát. (A kitörések ideje alatt a megváltozó mágne-

ses tér eltérő polaritású mágnesezettséget eredményezett, így összességében a mágneses vektorok eredője nulla lesz.)

A 12. ábra azt mutatja, amikor az anomáliagörbét a maximummal normálva megjelenítjük, akkor a különböző mélységek anomáliagörbéin eltérő helyeken fog jelentkezni a legnagyobb amplitúdójú mágneses anomália, ami a mágneses tömeg mélységi elrendeződésével van összefüggésben. Így például mágneses ható 28 km-es mélységnél 25 km (Kemeneshát, Pásztori vulkán) és 175 km (Kapos-vonal)



13. ábra | Az eredeti Bouguer-anomáliagörbe (fekete vonal) és a térképi adatok szűréséből kapott különböző mélység szintek (1,3, 4,7, 25, 52 km) anomáliagörbéi

Figure 13 | Bouguer anomaly curve (black) and anomaly curves of different spectral depths (1.3, 4.7, 25, 52 km) getting from spectral filtering of grid data

környékén várható. 11 km-es mélységnél – noha mindkét előbbi hatás jelen van – a 175 km-es anomáliánál nagyobb amplitúdóval jelenik meg 130 km-nél, a Közép-magyarországi vonal mentén jelentkező mágneses ható. 1 és 2 km-es mélységnél a 25 km (Kemeneshát) és a 110 km (Tihany) a domináns hatás az ismert tanúhegyek bazaltos képződményeinek köszönhetően.

A normált gravitációsanomália-görbék maximumhelyei alapján (13. és 14. ábra) a fő gravitációs hatások központjai fókuszálhatók. A felszínközeli (1,3–4,7 km mélység) ez 5–10 maximumot is jelenthet, míg a mélység további növekedésével (13–25 km mélység) a maximumhelyek száma néhány darabra lecsökken. A Dunántúli-középhegység és a Baranyai-szigethegység tömbjei által okozott maximumok.

4,7 km mélység Bouguer-anomáliaértékei alapján jól elkülönül az ALCAPA és a Tisza-egység az eltérő alapszint alapján, amelytől D-en csak a Mórág-rög különül el. A felső 1,3 km-ben rendkívül változó a kőzetek sűrűsége.

A spektrális szűrésből kapott normált anomáliagörbék azt jelzik, hogy az eltérő mélységekből származó hatások eltérő, mélységfüggő sűrűségeloszlásokat mutatnak, amelyeket a szűrt görbék alapján végzett automatikus feldolgozásokkal el tudunk különíteni, illetve meg tudunk jeleníteni.

Mélységfókuszált hatókijelölések

Módszertani megfontolások alapján feltételeztük, hogy a kapott szűrt görbéket (különböző mélységek mágneses és gravitációs hatását) ugyanúgy felhasználhatjuk hatókijelölésekre, mint az eredeti anomáliagörbéket. Ezzel tulajdonképpen a szelvény menti feldolgozások mélységbeli fókuszálását érhetjük el. Mélységtartományonként vizsgáljuk a lehetséges hatásokat, kijelölve a legvalószínűbb hatók és határfelületek helyét, elkerülve ezzel a különböző mélységű hatók jelinterferenciájából származó bizonytalanságokat.

A 15. ábra a CEL08 szelvény mentén a mágnesesanomália-térkép spektrális szűréséből (13. ábra) kapott görbének automatikus, Werner-dekonvolúciós feldolgozási eredményét mutatja. Az ábrán jól látható, hogy az eltérő térfrekvenciájú anomáliákból kapott hatókijelölések (eltérő

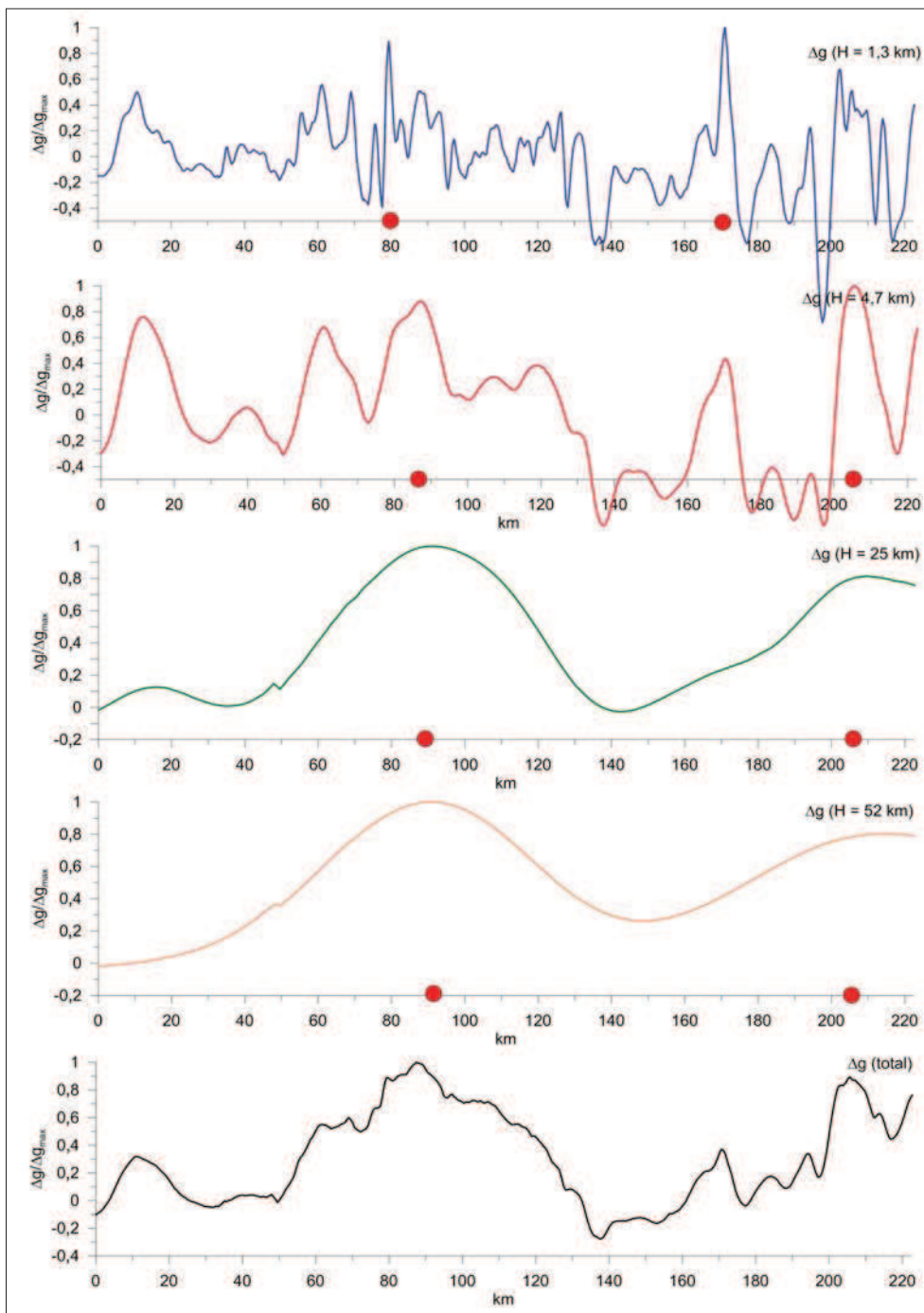
színekkel jelölve) csak adott mélységtartományra jellemzőek. A különböző színű szimbólumok – némi átfedéssel – egy meghatározott mélységtartományban jelentkeznek. Jól látható, hogy minél nagyobb a hullámhosszú anomáliákból végeztük a feldolgozásokat, annál mélyebbek a kapott megoldások.

Az eredmény egy viszonylag nehezen kezelhető pontthalmaz, amelyen a megoldások mélységi elkülönülése mellett kisebb-nagyobb besűrűsödések láthatók. Ez ugyan segíthet az értelmezőnek, de nem adja meg egyértelműen a hatók legvalószínűbb helyét. Ismét rangsorolni kell a megoldásokat, amire a 16. ábra mutat be egy lehetséges változatot.

A 15. ábra pontthalmazából csak a legnagyobb kontrasztal jelentkező pontokat emeltük ki. Ebben az esetben a különböző mélységek anomáliái nyilván nem vehetők össze. A szimbólumok nagyságát ebben az esetben a kontraszttól függően minden mélységszintre egyedileg állítottuk be (16. ábra). Vegyük észre egyrészt, hogy a nagy szimbólumok helyzete egyértelműen kapcsolható a jelentősebb anomáliákhoz (ismert hatókhoz: Kemeneshát, Tihany, Kapos-D), másrészt a szórt anomáliák és azok csoportosulása, a 15. ábra egyes pontthalmazai részben eltűntek vagy más jelleget mutatnak a rangsorolás után!

Az egységesen szürke színnel (a korábbiaknak megfelelő szimbólummérettel) megjelenített Naudy-megoldások és a Werner-megoldások között – néhány ponttól eltekintve – szoros korreláció figyelhető meg (17. ábra).

De vajon milyen eredményt ad a Naudy-dekonvolúció a különböző spektrális szűrésből kapott anomáliagörbék felhasználásával? A kapott eredmények (18. ábra) összhangban vannak a korábbi eredményekkel (8. ábra). Három eltérés, illetve három új eredmény azonosítható. Az első a Rába-vonal alatti nagy mélységeig azonosítható megoldások, a másik az Ajka környéki (Kabhegy alatti) vonalszerű pontthalmaz, amely 20 km mélységtől egészen a felszínig követhető, a harmadik a Kapos folyó és Bonyhád között 5–10 km mélységben megjelenő mágneses hatók, amelyek korábban nem jelentkeztek. A feldolgozások feltehetőleg valós földtani ható jelenlétét mutatják, melynek a hatását az eredeti adatrendszeren végzett feldolgozásokkal nem tudtuk kimutatni.



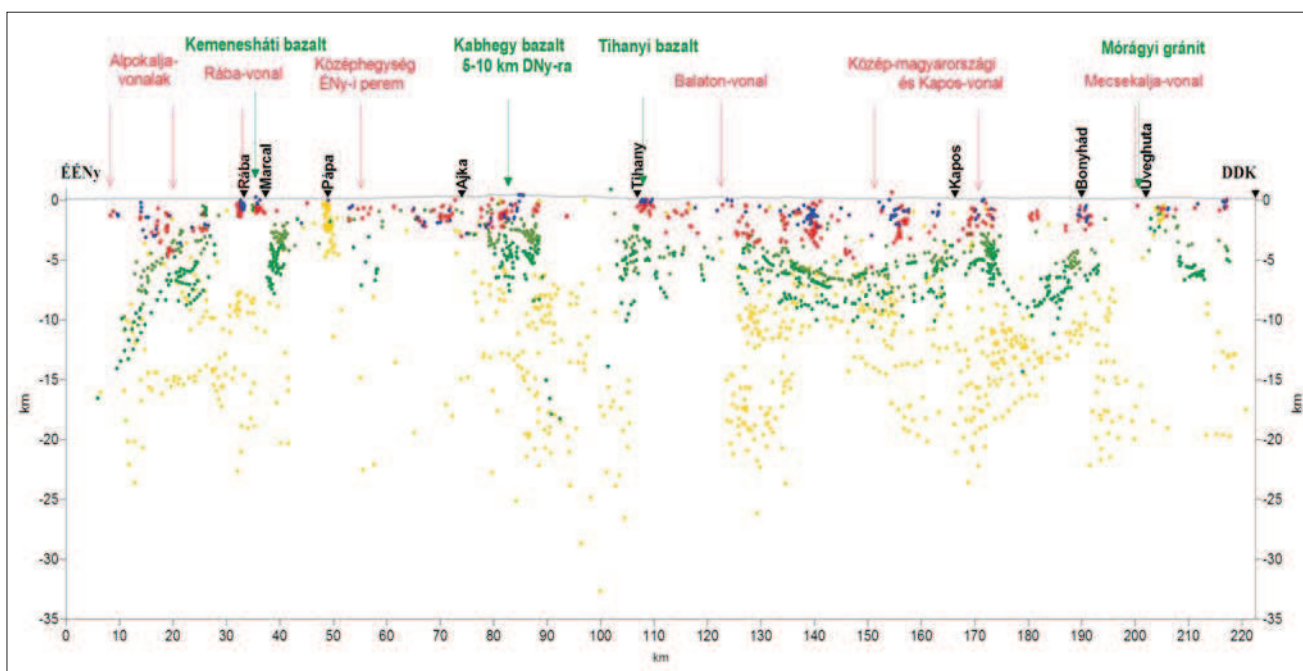
14. ábra | A maximumértékkel normált gravitációsanomália-görbék (alul az eredeti görbe, majd felfelé a spektrális szűrésből kapott különböző, 25, 13, 4,7, és 1,3 km-es mélységekre vonatkozó normált anomáliagörbék). A szelvények mentén jelentkező két legerősebb hatás helyét piros színű szimbólumokkal jeleztük

Figure 14 | Spectral filtered gravity anomaly curves normalized by their maximum value. Anomaly curves of 25, 13, 4.7 and 1.3 km spectral depths and the place of the biggest effect by red fleck

Érdeemes a gravitációs spektrális szűrés görbéin is elvégezni a feldolgozásokat. A megoldások részben a határfelületek mentén (kontaktusmodell), részben a testek középvonalában jelentkeznek (lemezmodell). A lemezmodell a kontaktusmodellnek az a szélsőséges esete, amikor a határfelületek közel kerülnek egymáshoz. A mintavételezés is szerepet játszik az egyelőre nem meghatározott modell pontosításában. A sűrű mintavételezés esetén azonosítható

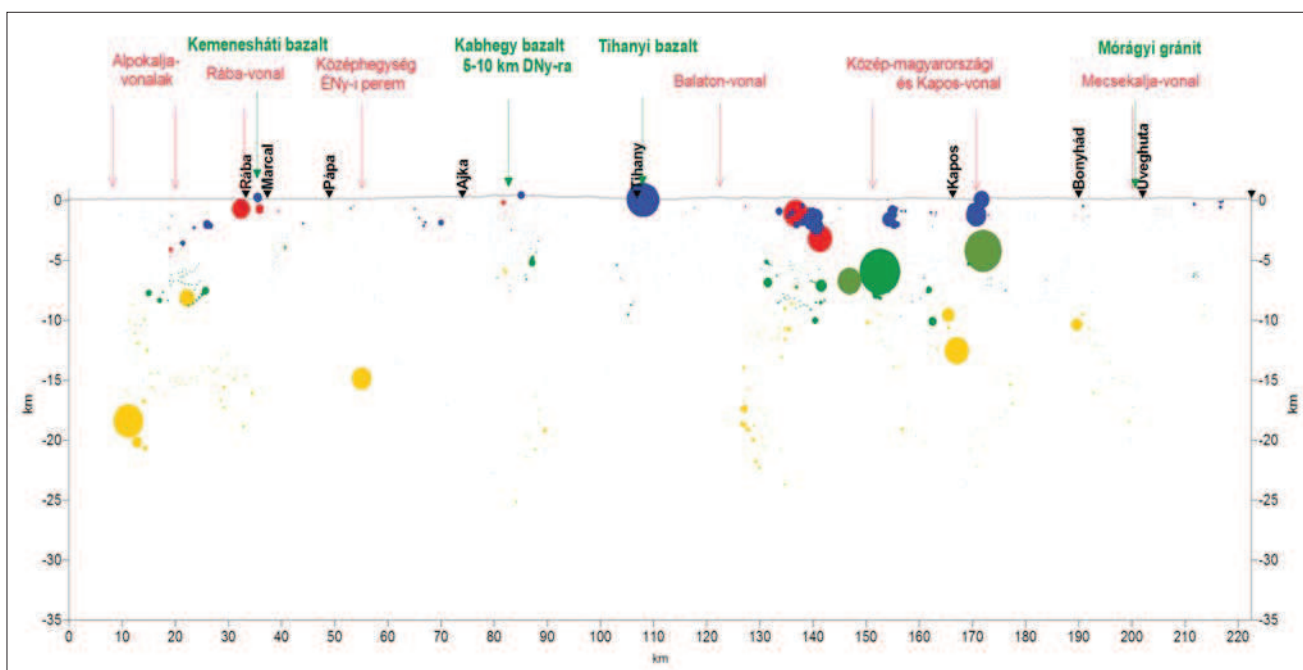
(szétválasztható) kontaktusok a ritkább mintavételezés számára már egyre inkább a lemezmodellnek megfelelő rajzolatokat mutatnak.

A kontaktus (határfelület) vs. lemez (sasbérc) kérdés eldöntéséhez az anomália formáját kell megvizsgálni. A maximumok alatt jelentkező megoldások a lemezmodellt (annak középvonalát) rajzolják ki, az inflexiós pontok alatt pedig a kontaktusmodell azonosítható.



15. ábra | Különböző mélységek szűrt anomáliagörbéi alapján kapott mágneses Werner-megoldások a CEL08 szelvény mentén (Spektrális mélység: 1 km – kék, 2 km – piros, 11 km – zöld, 28 km – sárga szimbólummal)

Figure 15 | Magnetic solutions of Werner deconvolution based on depth sliced magnetic anomalies (Spectral depths: 1 km – blue, 2 km – red, 11 km – green and 28 km – yellow symbols)



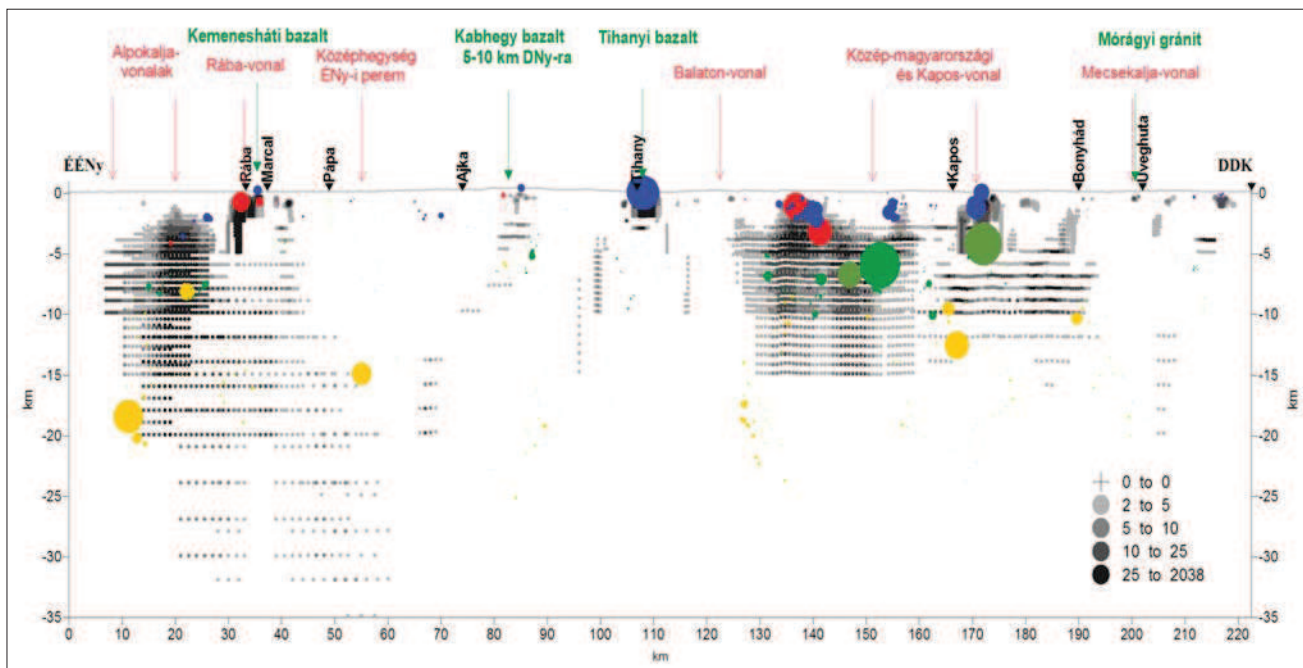
16. ábra | Különböző mélységek anomáliagörbéi alapján kapott rangsorolt mágneses Werner-megoldások (Spektrális mélység: 1 km – kék, 2 km – piros, 11 km – zöld, 28 km – narancssárga szimbólummal, körök átmérője a rangsorolást tükrözi)

Figure 16 | Magnetic solutions of Werner deconvolution with ranking based on depth sliced magnetic anomalies (Spectral depths: 1 km – blue, 2 km – red, 11 km – green, 28 km orange symbols)

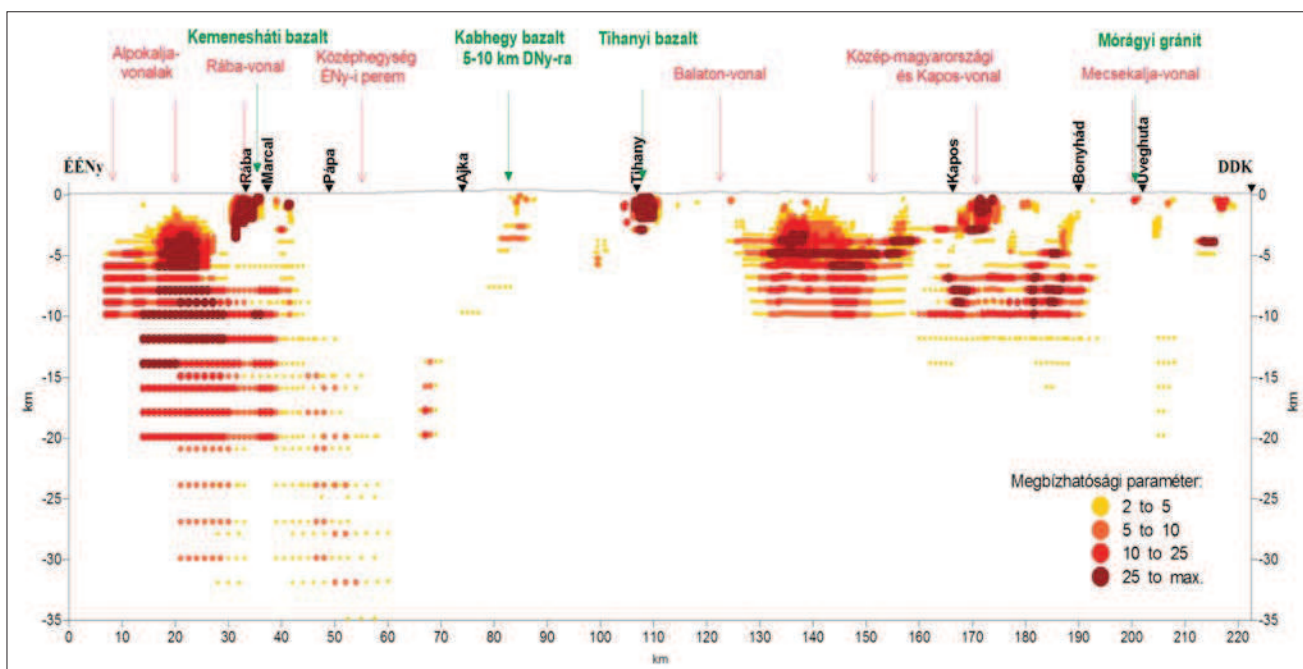
A gravitációs adatok feldolgozásából is látszik, hogy különböző mélységek szűrt anomáliagörbéiből kapott Werner-megoldások adott mélységtartományoknak a hatásait mutatják némi átfedéssel (19. ábra).

Az eredmények értelmezése

A szeizmikus sebességek alapján jól elkülöníthető a laza törmelékes medenceüledékek kis sebessége a medence-



17. ábra | Különböző mélység rangsorolt Werner-megoldásai a szürke színnel megjelenített Naudy-megoldásokon
 Figure 17 | Magnetic solutions of Werner deconvolution based on depth sliced magnetic anomalies with coloured symbols, background Naudy-solutions by grey colours

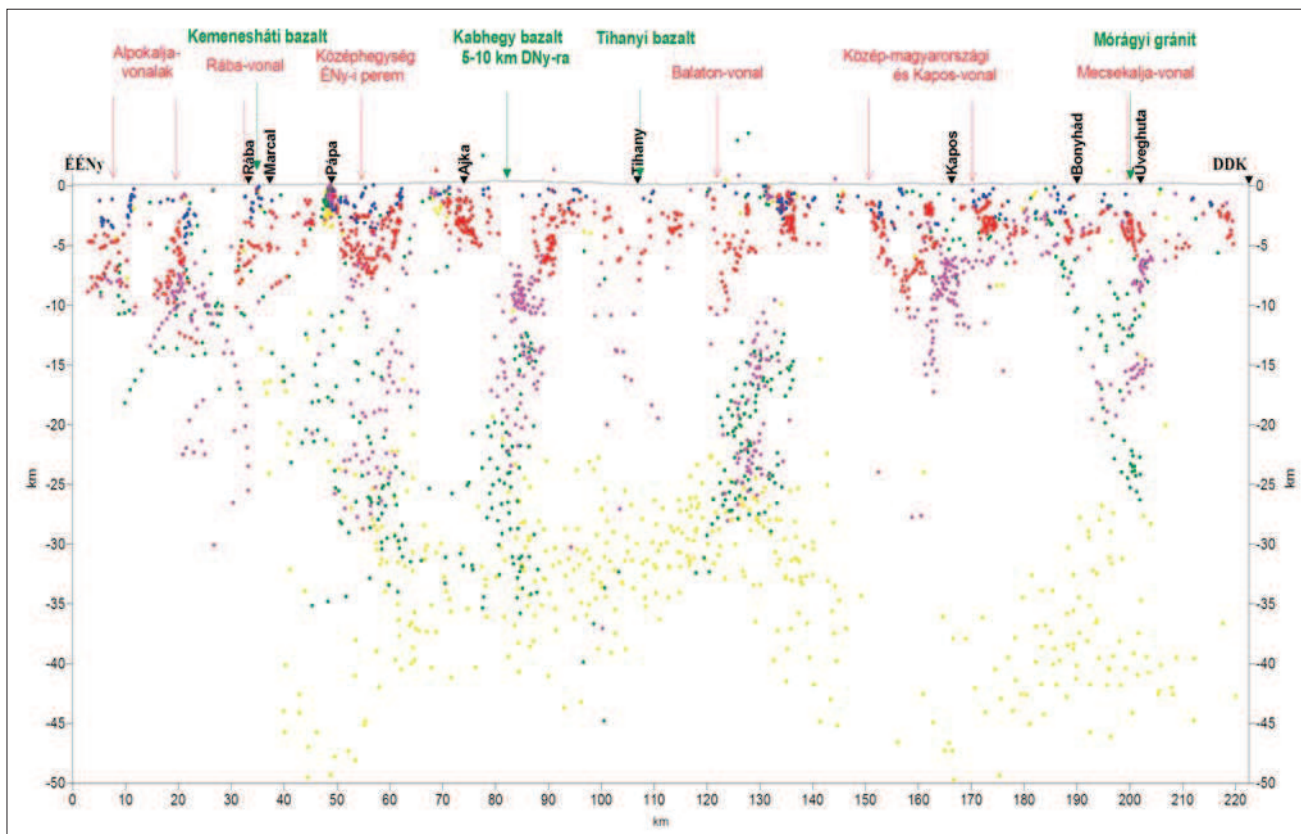


18. ábra | Különböző mélységek anomáliagörbéi alapján kapott rangsorolt mágneses Naudy-megoldások
 Figure 18 | Magnetic solutions of Naudy deconvolution with ranking based on depth sliced magnetic anomalies

aljzat képződmények nagyobb, 5000 m/s feletti sebességétől, amit a zöld és piros színek átmeneti zónája mutat (20. ábra). A következő szintet a felsőkéreg- és az alsókéreg-képződmények határvonala jelenti kb. a 6400 m/s-os sebességértéknél (piros és lila színek közötti átmeneti zóna). A kéreg-köpeny határ vagy a Moho szintje a lila és fekete

színek átmeneti tartományában 7600–7800 m/s sebességnél jelölhető ki.

Ez a Moho-határfelület érdekes módon egybeesik a gravitációs Werner-megoldások alsó szintjével a középhegység alatt. Azonosítható továbbá a Rába-vonal és a Balaton-vonal mint a kéreg-köpeny határfelületig lenyúló közel



19. ábra Különböző mélységek szűrt anomáliagörbéi alapján kapott gravitációs Werner-megoldások a CEL08 szelvény mentén (Spektrális mélység: 1,3 km – kék, 4,7 km – piros, 16 km – lila, 25 km – zöld, 52 km – narancssárga szimbólummal)

Figure 19 Gravity solutions of Werner deconvolution based on depth sliced anomalies along CEL08 profile (Spectral depths: 1.3 km – blue, 4.7 km – red, 16 km – magenta, 25 km – green, 52 km – orange symbols)

függőleges szerkezeti elem (a szelvényeken kétszeres ki-magásítás van!). A Közép-magyarországi vonal és a Kapos-vonal is azonosítható, de csak 10–15 km mélységig. A középhegység fő gerince mentén, kezdetben attól É-ra és D-re 5–10 km mélységig, a kontaktusmodellnek megfelelő gravitációs Werner-megoldások jelentkeznek (19. ábra), majd kb. 10 km-től a megoldások már összefonódva, a lemezmodellnek felelnek meg. A sebességértékek alapján a lemezmodell csökkent sebességű, és csökkent sűrűségű is. A Mecsek-alja-vonal szintén köpenyig nyúló szerkezetnek mutatkozik a gravitációs automatikus feldolgozások alapján.

A Rába-vonal mentén felszínközeli mágneses hatót jeleznek a Naudy-feldolgozások (Kemenesháti bazalt), ettől Ny-ra az Alpok felé nagyobb mélységben, feltételezhetően szerkezethez is kapcsolódó nagy kiterjedésű, eltemetett mágneses ható (metavulkanit vagy bázisos metamorfit) rajzolódik ki, ez a „Pásztori vulkán”.

A spektrális mélységszeletelés után végzett Naudy-feldolgozások egy keskeny, majdnem függőleges csatorna-szerű mágneses hatót jeleznek 20 km mélységtől a felszínig (18. ábra) a Kabhegy környékén, amely a nagy sebességű zónával párhuzamosan, attól D-re található.

A szelvény keresztülmegy Tihanyon, ez adja a CEL08 szelvényen a legjelentősebb mágneses anomáliát. A Naudy-megoldások szépen leképezik a felszínközeli részt, de a fel-

áramlási csatornát csak a szeizmikus sebességek alapján lehet azonosítani.

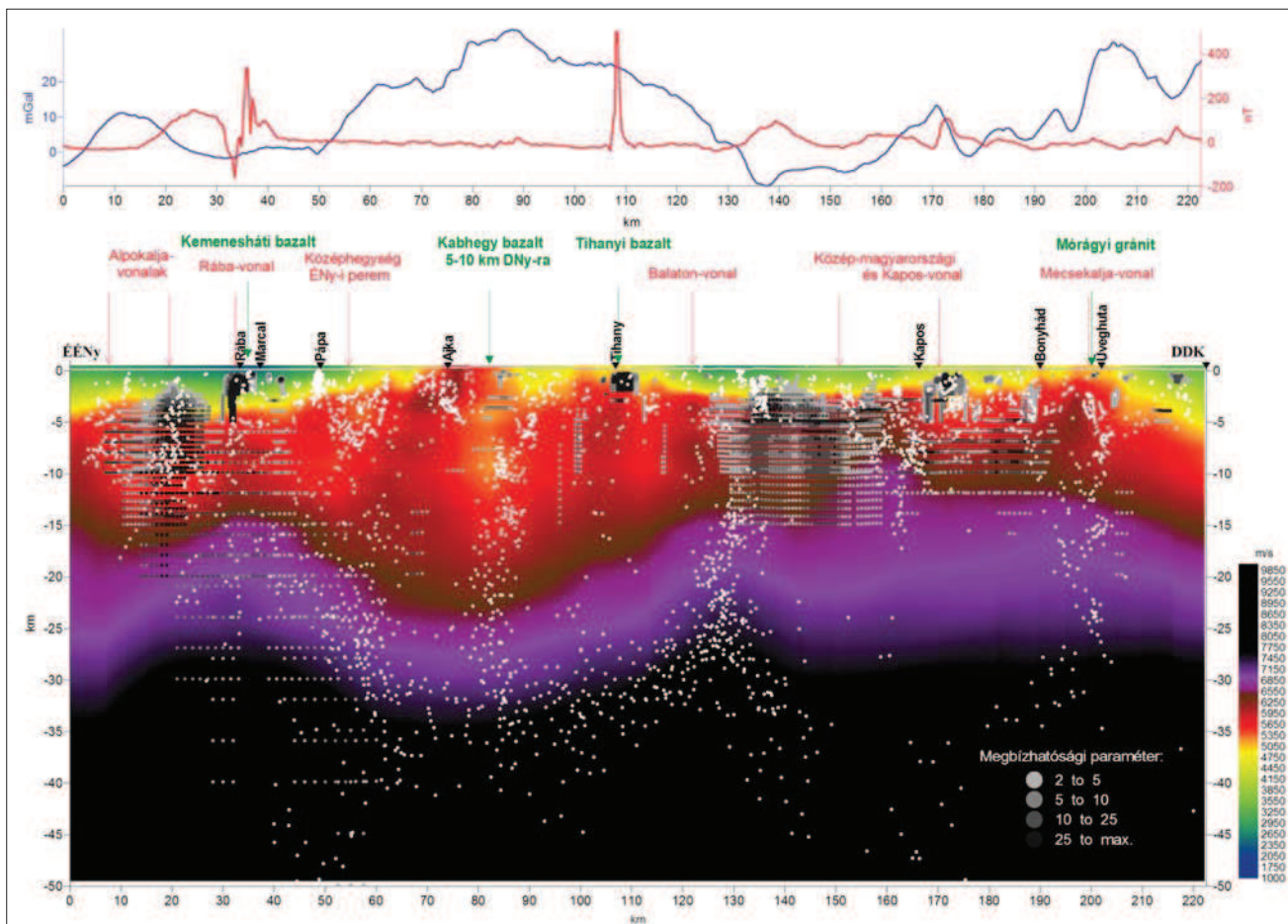
A Balaton-vonaltól a Kapos-vonalig, jelentős mágneses hatókat mutatnak a Naudy-megoldások a medence aljzatában, ami valószínűleg metavulkanit vagy ofiolit.

A Kapos-vonaltól D-re, Kurd magasságában ismét felszínhez közeli mágneses hatók látszanak, amely alatt 5–10 km mélységben nagyobb kiterjedésű mágneses test jelenléte sem zárható ki a mágneses megoldások alapján.

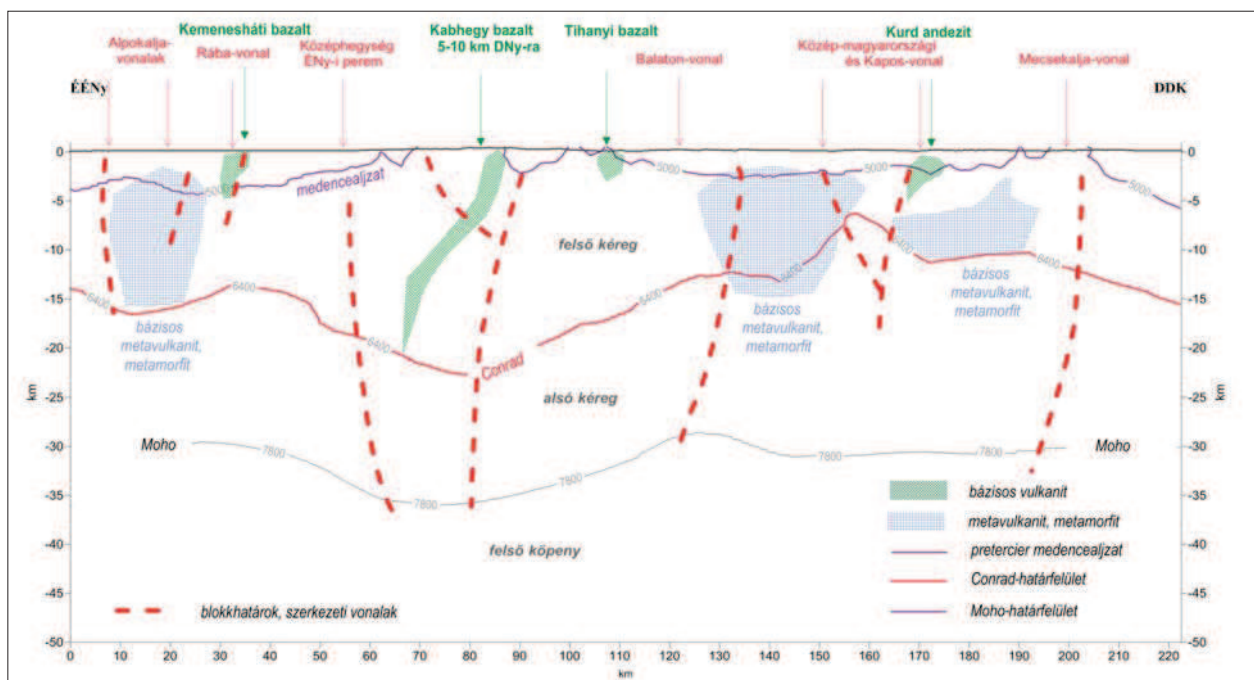
Az eredmények elemzése és az értelmezés persze 3D-ben válik igazán izgalmassá (ezen is dolgozunk). A Naudy-megoldásokat mutatja a 22. ábra, a domborzattal, a pretercier medencealjzattal és a Moho felszínével. Eredményeink újabb lökést adhatnak az archív, néha már elavultnak tekintett geofizikai adatok szelvény menti feldolgozásának.

Köszönetnyilvánítás

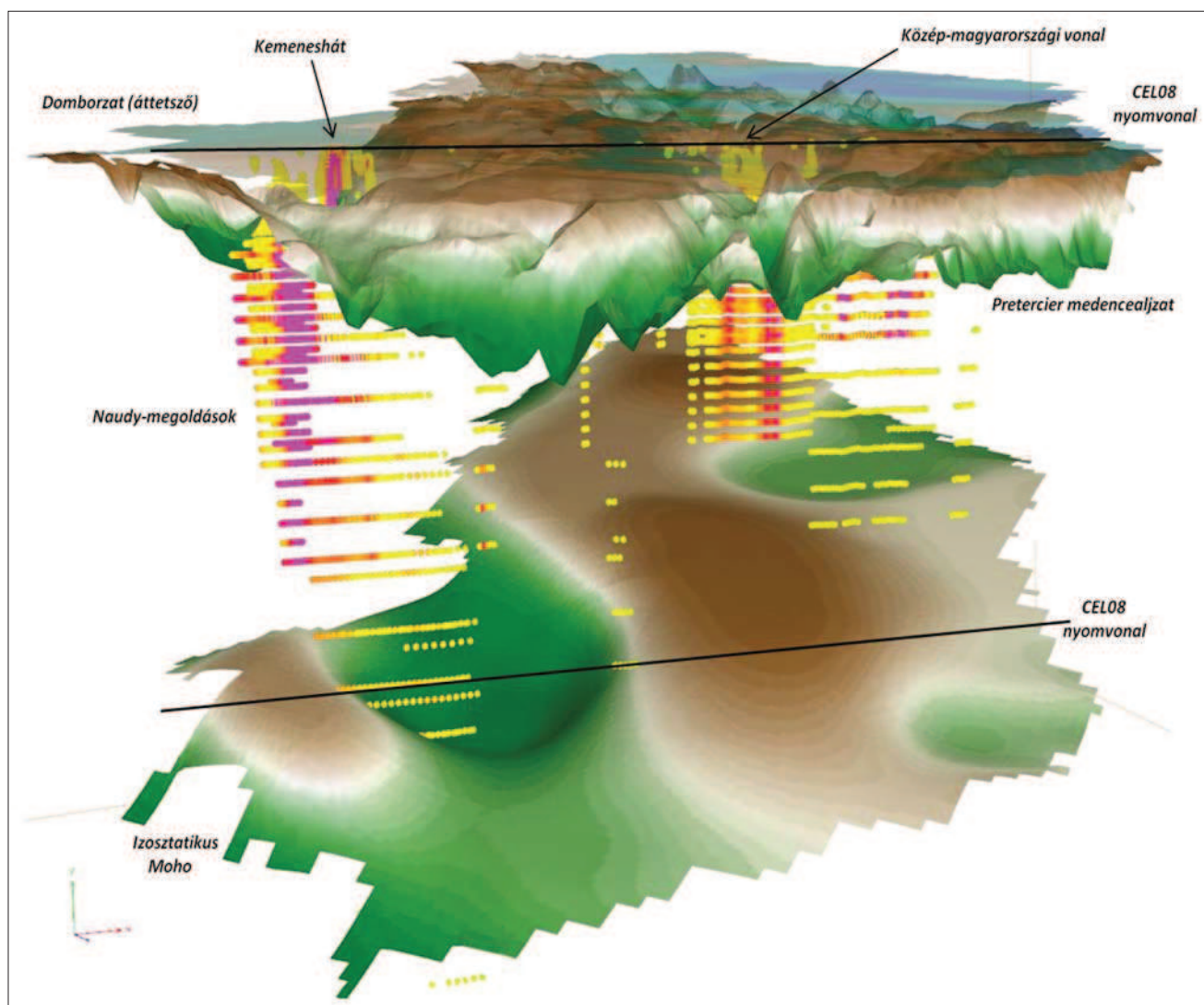
Az ELGI-nek és jogutódjának, az MFGI-nek mai napig klasszikus „állami alapfeladat”-a a földtani-geofizikai adatok kezelése, feldolgozása, amelyből új földtani eredmények szülehetnek. Köszönet tehát az Intézet egykori és mai munkatársainak, akik létrehozták, megőrizték, és adatbázisba szervezték a potenciáltér geofizikai adatait. Köszönet illeti továbbá a BTIX Kft.-t az elméleti munkák támogatásáért. Nélkülük ez a publikáció nem készülhetett volna el.



20. ábra | Szelvény menti geofizikai adatfeldolgozások eredményei. Refrakciós szeizmikus tomográfia: invertált sebességszelvény (színes háttér), mágneses Naudy-megoldások összessége (szürke-fekete színű szimbólumok), gravitációs Werner-megoldások összessége (fehér pontok)
 Figure 20 | Results of data processing along the profile. Refraction seismic tomography, inverted velocity section (background colour section), magnetic solutions of Naudy-deconvolution (grey-black symbols), gravity solutions of Werner-deconvolution (white symbols)



21. ábra | Geofizikai hatók, blokkhatárok a sebesség, sűrűség és a mágneses tulajdonságok alapján CEL08 mentén
 Figure 21 | Causative bodies based on velocity, density and magnetic properties along the CEL08 profile



22. ábra Naudy-megoldások a CEL08 szelvény mentén három dimenzióban. A domborzat (áttetsző), a pretercier medencealjzat és az izosztázia alapján meghatározott Moho-felszín, DNY felől nézve

Figure 22 Naudy-solutions along CEL08 profile in a 3-D presentation. Digital elevation model (transparent colour), pretercier basement and the Moho surface based on isostasy, sight from SW

A tanulmány szerzői

Kiss János, Prácer Ernő

Jegyzetek

- ^{a)} A különbözőségi paraméter megmutatja, hogy mennyire közelíti meg a szimmetrikus és az aszimmetrikus (pólusra redukálás után szimmetrikus) anomáliagörbe a Naudy-modellgörbét (minőségi jellemzés).
- ^{b)} Az anomáliásűrűség paraméter megmutatja az adatrendszer szórást, azaz azt, hogy a görbe vizsgálata alapján van-e anomális hatás, vagy nincs (mennyiségi jellemzés).
- ^{c)} Naudy-megoldások: a Naudy-dekonvolúció (inverz feladat) megoldásai.

Hivatkozások

Bodoky T., Kis K., Meskó A., Rumpler J., Zsellér P. (1982): A gyakorlati geofizika néhány új módszere. Tankönyvkiadó, Budapest, 271. p.

BTIX Kft., <http://www.btix.hu/referenciak.html>

Cordell L., Henderson R. G. (1968): Iterative three-dimensional solution of gravity anomaly data using a digital computer. *Geophysics* 33, 596–601

Hansen R. O., Simmonds M. (1993): Multiple-source Werner deconvolution. *Geophysics* 58/12, 1792–1800

Hawking S. W., Młodinow L. (2006): Az idő még rövidebb története. Akkord Kiadó, Budapest, pp. 107.

Kiss J. (2005): A CELEBRATION-7 szelvény komplex geofizikai vizsgálata, és a „sebesség-anomália” fogalma. *Magyar Geofizika* 46/1, 1–10

Kiss J. (2009a): Gravitációs és mágneses feldolgozások és modellezések a földtani környezet megismerése céljából. Doktori (PhD) értekezés, NyME Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola, Sopron, pp. 129.

Kiss J. (2009b): 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-anomáliatérképének 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., Varga G. (2003): Gravitációs-földmágneses és magnetotelurikus modellezés (Dél-Dunántúli Régió). Kézirat, Megbízó: MÁFI, MÁFGBA Adattár
- Kovácsvölgyi S. (1995): DK-Magyarország gravitációs és földmágneses anomáliáinak értelmezése. *Magyar Geofizika* 36/3, 198–202
- Meskó A. (1966): Two-dimensional filtering and the second derivative method. *Geophysics* 31, 606–617
- Meskó A. (1983): A frekvenciatartomány felhasználása gravitációs és mágneses térképek lineáris szűrésében. *Magyar Geofizika* 24/2, 43–75
- Naudy H. (1970): Une methode d'analyse sur profiles aeromagnetiques. *Geophysical Prospecting* 18, 56–63
- Naudy H. (1971): Automatic determination of depth on aeromagnetic profiles. *Geophysics* 36, 717–722
- Novák A. (2010): Elektromágneses geofizikai leképezés tenzorinvariánsokkal: a felszínközeltől a Dunántúli mélyszerkezetig. Doktori (PhD) értekezés, NyME Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola, Sopron, pp. 187.
- Pasteka R. (2000): 2D semi-automated interpretation methods in gravimetry and magnetometry. *Acta Geologica Universitatis Comenianae*, 55, 5–50
- Posgay K., Kovács A. Cs., Csabafi R., Bodoky T., Hegedűs E., Fancsik T., Rigler B. (2007): A CEL07 mélyszeizmikus szelvény újraértékelése, *Magyar Geofizika* 48/3, 87–99
- Prácsér E. (2000): A mágneses és a gravitációs mérések feldolgozásának elméleti alapjai. Kézirat, BTIX Bt. archívum, pp. 21.
- Reid A. B., Allsop J. M., Granser H., Millett A. J., Somerton I. W. (1990): Magnetic Interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. *Geophysics* 55, 80–91
- Stomfai R. (1985): Áttekintés a modellszámítást végző programokról (gravitációs, mágneses hatás számítása). Kézirat, MÁFGBA Adattár, MBFH AD-907
- Szafián P. (1999): Gravity and tectonics: A case study in the Pannonian basin and the surrounding mountain belt. PhD, Vrije Universiteit, Amsterdam, ISBN 90-9012373-3, pp. 153
- Szafián P., Horváth F., Coething S. (1997): Gravity constraints on the crustal structure and slab evolution along a transcarpathian transect. *Tectonophysics* 272, 233–247
- Thompson D. T. (1982): EULDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data. *Geophysics* 47, 31–37
- Werner S. (1953): Interpretation of magnetic anomalies at sheet-like bodies. *Sveriges Geologiska Undersök., Ser. C.C. Arsbok* 43/06.