

A CELEBRATION-7 szelvény komplex geofizikai vizsgálata, és a „sebességanomália” fogalma¹

...avagy egy refrakciós első beérkezési szeizmikus sebességszelvény és az erőtér-geofizikai feldolgozási eredmények összevetésének konklúziói — nem szeizmikus szemmel...

KISS JÁNOS²

A regionális CELEBRATION-7 szelvény mágneses és gravitációs feldolgozásakor a kapott eredményeket a magnetotellurikus és szeizmikus mérési eredményekkel is összevetettük.

A különböző adatrendszerek komplex értelmezésénél a legnagyobb kérdés az, hogy az eltérő (geo)fizikai paraméterek mennyiben tükrözik vissza azt a földtani sajátosságot, amelyet vizsgálunk, amelyet ki akarunk mutatni. A jobb értelmezéshez esetenként az elsődleges paraméterek bizonyos fokú átalakítása szükséges, azaz le kell „csupaszítani” például a szeizmikus adatrendszert úgy, ahogyan a gravitációs, vagy a mágneses mérési adatok esetében rutinszerűen tesszük (normál tér korrekció). A szeizmikus első beérkezési tomográfia sebességeloszlásának felhasználásával ezt a lehámozási folyamatot mutatja be a cikk, aminek eredménye az úgynevezett sebességanomália paraméter. Ez a paraméter sokkal jobban használható a különböző regionális geofizikai adatok együttes értelmezésénél.

J. Kiss: Complex geophysical investigation along CELEBRATION-7 profile and the meaning of velocity anomaly

The results of gravity and magnetic data processing along the regional profile CELEBRATION-7 were compared with results of magnetotelluric and seismic measurements. For a joint interpretation of data of different types the major question is, how the geology is reflected in the measured geophysical parameters. For the better interpretation a primary parameter should be derived, which means that the dataset, for example the seismic one, is reduced as it is usually done with gravity and magnetic data (normal field correction). Velocity dispersion of seismic first arrival tomography is used to show the process of this “peeling off”, which results in a so-called velocity anomaly parameter. This seismic parameter seems to be more useful in a joint regional interpretation of different geophysical data.

Bevezetés

A litoszféra-kutató szeizmikus szelvények, pl. a CELEBRATION — Central European Lithospheric Experiment Based on Refraction [GUTERCH et al. 2000; BODOKY et al. 2001] értelmezése nem egyszerű feladat, mivel fúrési adatok csak egy viszonylag sekély, felszínközeli mélységtartományból állnak rendelkezésre. Segítségért értelemszerűen a szelvények nyomvonalaiba eső más geofizikai módszer mérési adatai, feldolgozási eredményei adhatnak. Nem túl sok olyan országos adatrendszer van, amely a szelvények teljes hosszában rendelkezésre áll. Ilyenek például a mágneses és gravitációs adatok, amelyek egész Magyarországot lefedik, vagy ilyen lehet a mélyszerkezet-kutató elektromágneses mérés, ha van. Szerencsére akad ilyen is, a CEL-7 szelvényt magnetotellurikus szondázásokkal sűrűn felmérte az MTA GGKI és az ELGI egy OTKA pályázatnak (T-037694) köszönhetően.

A szelvény menti erőtér-geofizikai vizsgálatokat ezen a CEL-7 szelvényen végeztem. A szelvény nyomvonalaát a gravitációs- és mágneses anomália-térképeken (1. ábra) mutatom be.

Az adatok összevetése során felhasználtam egy másik OTKA téma (Magyarország gravitációs lineamens térképe, T-043100) néhány részeredményét (2. ábra), és a Kilényi-féle mélységtérképet [KILÉNYI, ŠEFARA 1991] is.

A szelvény nyomvonala keresztülmegy néhány nagy-szerkezeti vonalon, mint pl. a Közép-magyarországi vonal, a Balaton-vonal és a Rába-vonal, ami jól látszik a gravitációs térképi feldolgozásokból (pl. 2. ábra) és a szelvény menti feldolgozási eredményeken is jól azonosítható.

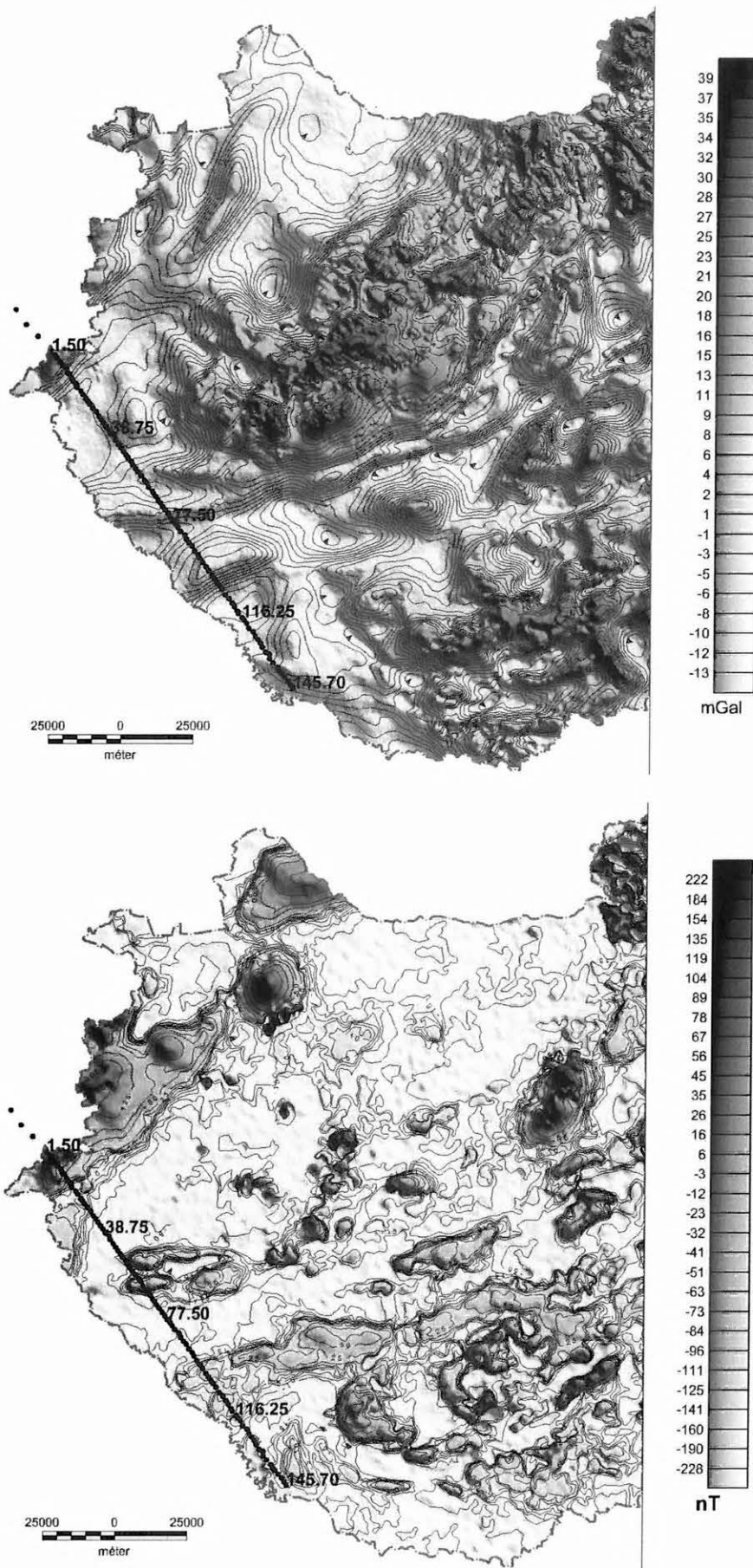
Az anomália-térképeken jelentkező gravitációs és mágneses anomáliákat a CEL-7 szelvény mentén a 3. ábrán láthatjuk. A széles anomáliák mély hatókat jeleznek a területen, kivételt ez alól talán csak a szelvény É-i része, az Alpokalja jelent (ld. mágneses ható).

A CEL-7 szelvény vizsgálatok szelvény menti gravitációs és mágneses automatikus feldolgozási eljárásokat alkalmaztam — pl. Euler-dekonvolúciót [THOMPSON 1982] és Cordell–Henderson mélységmeghatározást [CORDELL, HENDERSON 1968] — a medencealjzat azonosítására. Ezeknek a feldolgozásoknak az eredményeit [KISS 2004] látjuk a 4. ábrán. A szelvény felett fekete nyilakkal a gravitációs térképi feldolgozásokból kapott hatóperemek helyzetét tüntettem fel, ami néhány kivétellel jól egyezik a szelvény menti feldolgozásból kapott eredményekkel.

Érdekes megemlíteni a gravitációs iterációs mélység és a Kilényi-féle aljzattélységek eltérését a szelvény középső részén, amelyet a gravitációs feldolgozásokból is jól láthatóan jelentős szerkezetek határolnak: D-ről a Közép-

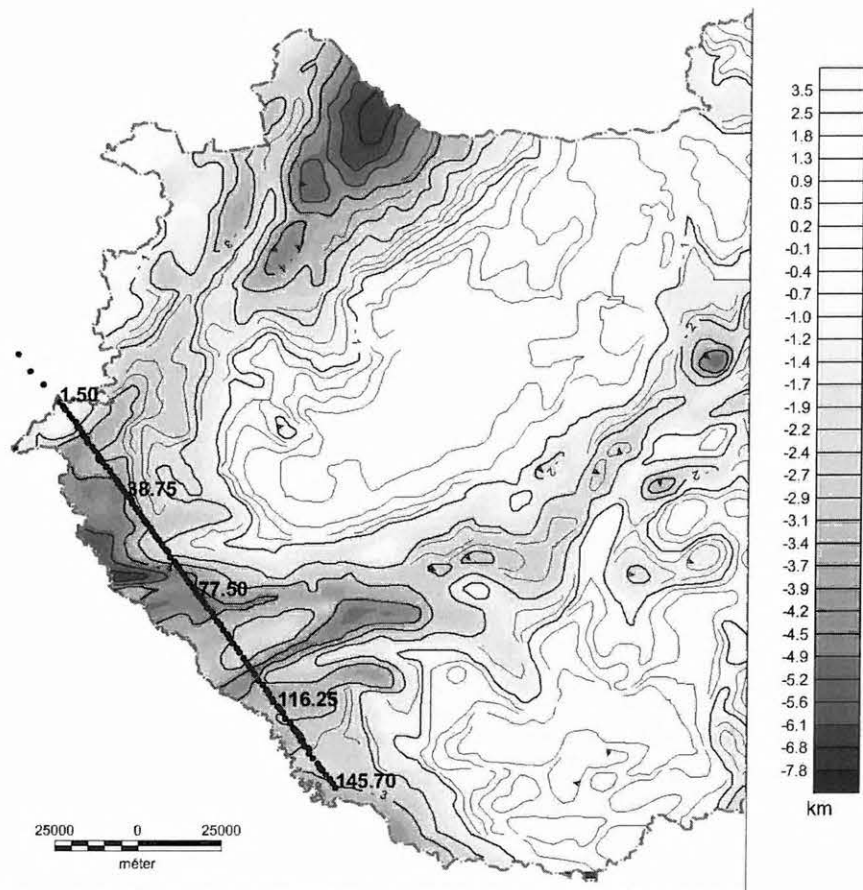
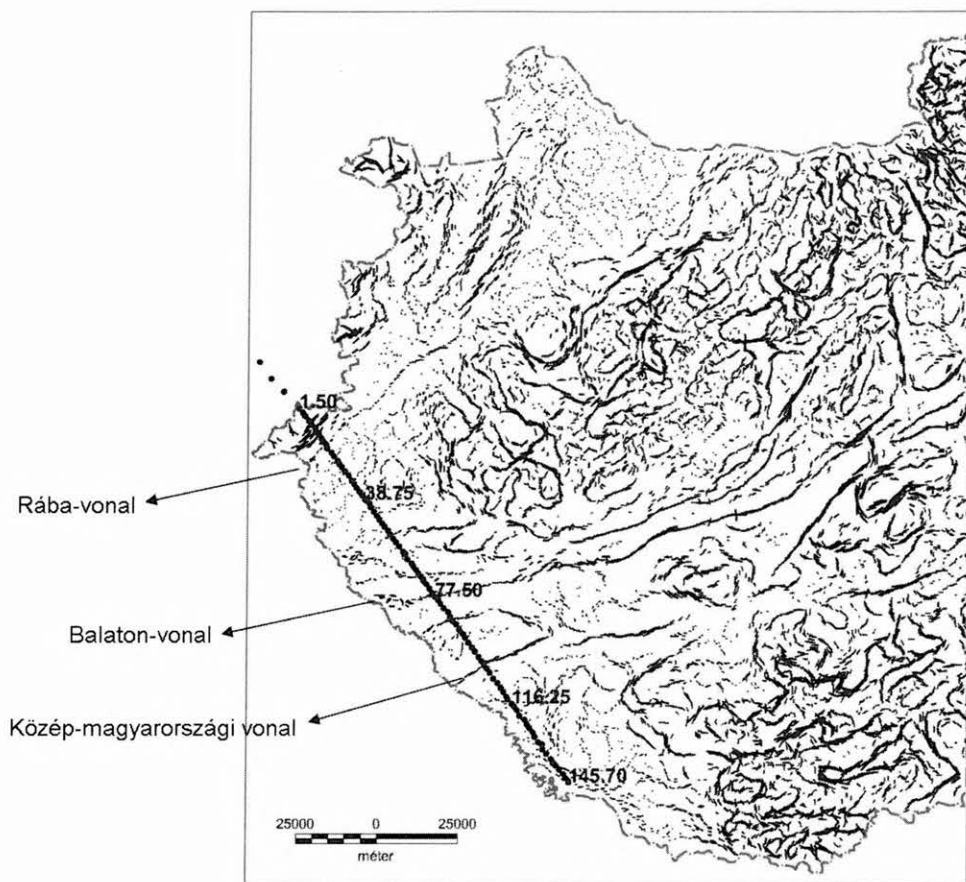
¹ Beérkezett: 2005. március 17-én. A nagykanizsai IV. Geotudományi Ankétára bejelentett, elmaradt előadás

² Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, H-1145 Budapest, Kolombusz u. 17–23.



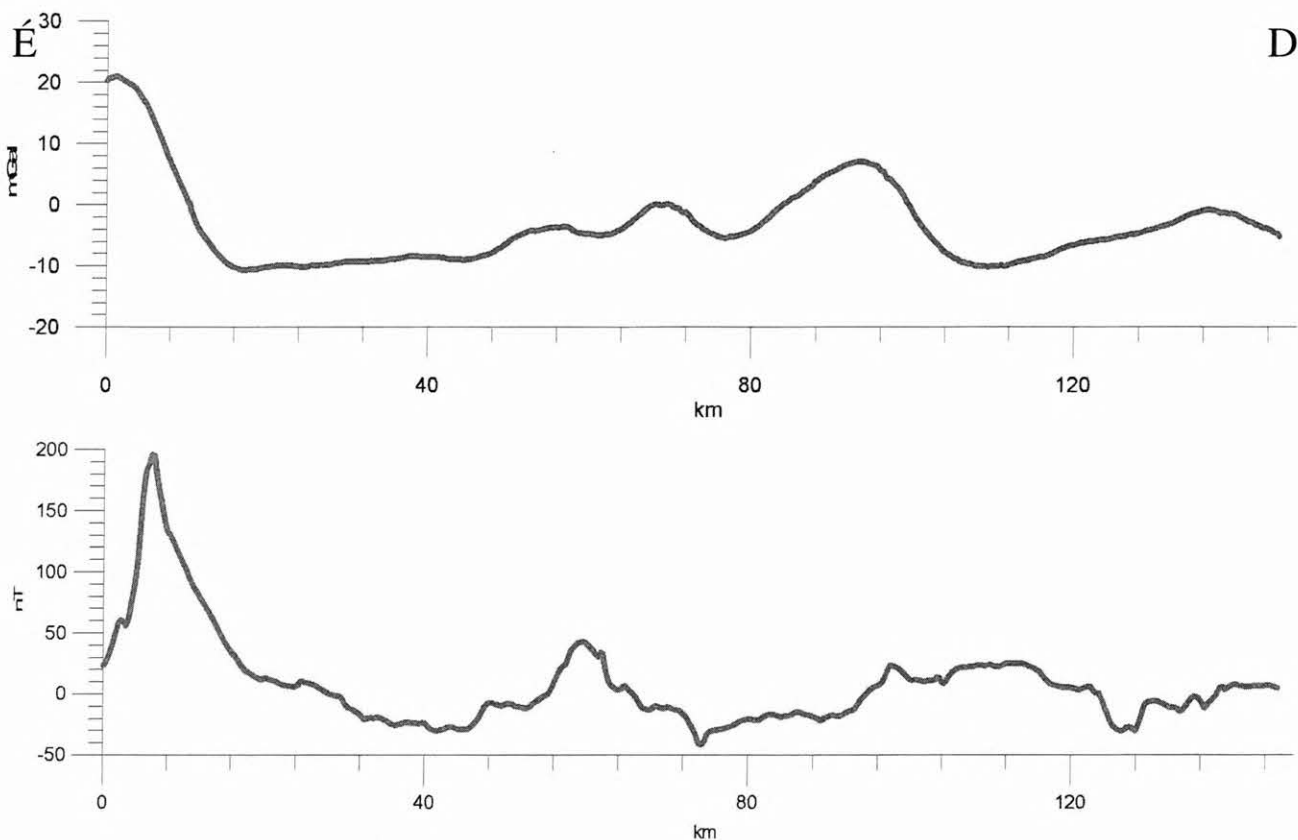
1. ábra. A CEL-7 szelvény a Bouguer-anomália (felül) és a mágneses ΔZ -anomália (alul) térképen

Fig. 1. The CEL-7 profile on the gravity Bouguer anomaly (top) and on the magnetic ΔZ anomaly map (bottom)



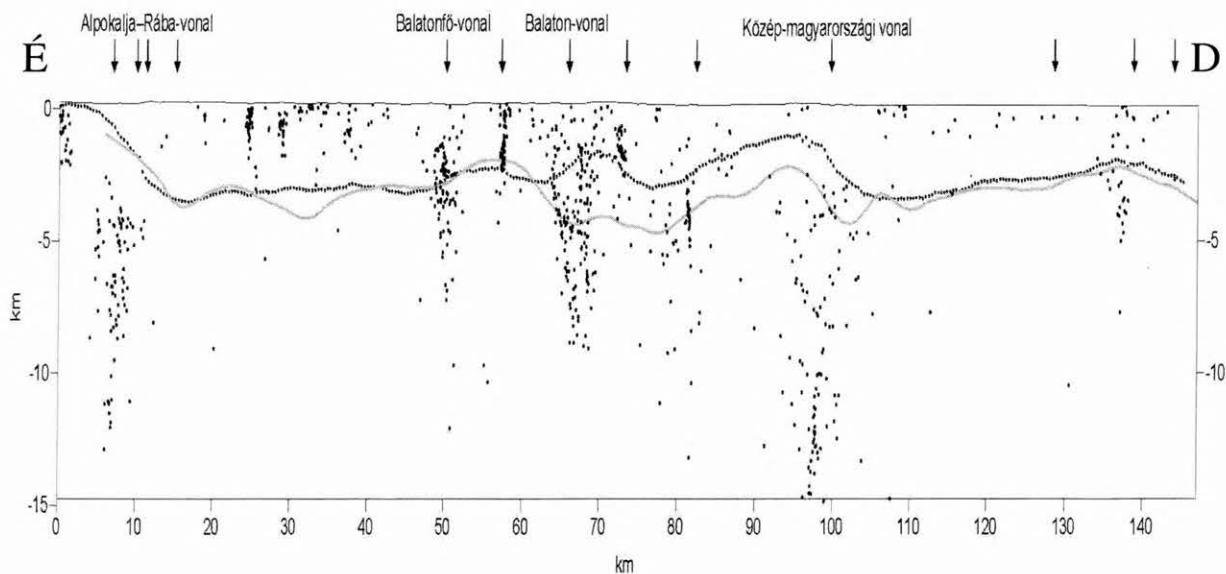
2. ábra. A CEL-7 szelvény a gravitációs lineamens térképen (felül) és a Kilényi-féle mélységtérképen (alul)

Fig. 2. The CEL-7 profile on the gravity lineament map (top) and on the basement map (bottom) [KILÉNYI, SEFARA 1991]



3. ábra. Gravitációs (felül) és mágneses (alul) anomáliák a CEL-7 mentén

Fig. 3. Gravity and magnetic anomalies along the CEL-7 profile



4. ábra. Gravitációs automatikus hatókijelölések a CEL-7 szelvény mentén. Euler-megoldások (fekete pontok), a Kilényi-mélység (szürke vonal), Cordell-Henderson-mélység (fekete pontvonal) és a térképi feldolgozások hatóperemei (függőleges fekete nyilak)

Fig. 4. Gravity automatic source detection along CEL-7. Euler solutions (with black points), Kilényi basement depth (grey line), Cordell-Henderson basement depth (black point-line) and boundaries of causative bodies from map interpretations (vertical black arrows)

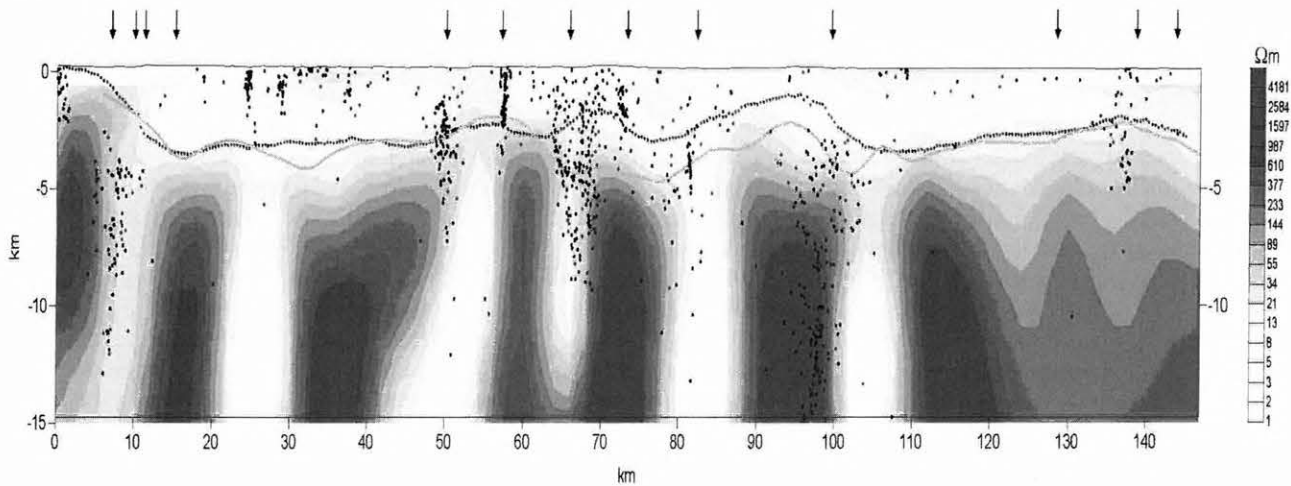
magyarországi vonal (100 km körül), amelynek mélysége a megoldások alapján 10 km-nél is mélyebb, É-ről pedig a Balaton-vonal (60–70 km-nél), illetve Balatonfő-vonal (50 km-nél), amelyeket kb. 5–10 km-ig tudunk követni. A

szervezetek által határolt blokkot földtanilag az Igal-Bükk Zónaként, vagy Szávai-egységként azonosíthatjuk.

A CEL-7 szelvény esetében a szelvény magyarországi szakaszán magnetotellurikus mérések voltak, átlagosan

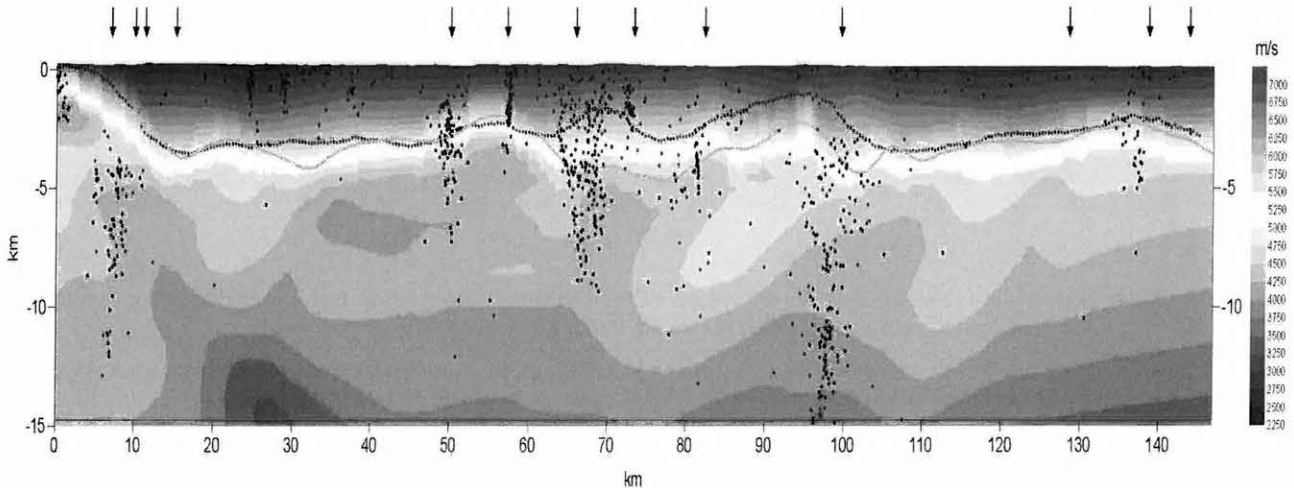
2 km-es állomástávolsággal [SZARKA et al. 2004]. A feldolgozás jelen stádiumában még nincs egységesen elfogadott modell, így a gravitációs megoldásokat a 2-D inverzióból nyert [MADARASI, VARGA, PRÁCSER 2004] ellenállás-szelvényre tettem rá (5. ábra). A két módszer az összevetés alapján hasonló eredményt ad, bár van olyan részlet, amely csak az egyik módszer megoldásaiban jelenik meg, a másikban nem.

A CEL-7 szeizmikus sebességszelvény adatai [HEGEDŰS 2001] a szelvény menti gravitációs és mágneses adatok feldolgozásakor rendelkezésünkre álltak, így lehetőség volt az automatikus feldolgozási lépések eredményeit folyamatosan összevetni a szeizmikus sebességeloszlással is. A 6. ábra a gravitációs megoldásokat mutatja a sebességszelvényen. A kapcsolat érezhető, de vannak zavaró tényezők.



5. ábra. Gravitációs megoldások a magnetotellurikus ellenállás szelvényén a CEL-7 mentén. Euler-megoldások (fekete pontok), a Kilyényi-mélység (szürke vonal) és Cordell-Henderson-mélység (fekete pontvonal)

Fig. 5. Gravity automatic source detection on magnetotelluric resistivity section along CEL-7. Euler solutions (with black points), Kilyényi basement depth (grey line) and Cordell-Henderson basement depth (black point-line)



6. ábra. Gravitációs megoldások a sebességszelvényen a CEL-7 mentén. Euler-megoldások (fekete pontok), a Kilyényi-mélység (szürke vonal) és Cordell-Henderson-mélység (fekete pontvonal)

Fig. 6. Gravity automatic source detection on seismic velocity section along CEL-7. Euler solutions (with black points), Kilyényi basement depth (grey line) and Cordell-Henderson basement depth (black point-line)

A normalizálás szükségessége a sebességszelvényben

A különböző adatrendszerek komplex értelmezésénél a legnagyobb kérdés az, hogy az eltérő (geo)fizikai paraméterek mennyiben tükrözik vissza azt a földtani sajátosságot, amelyet vizsgálunk, amelyet ki akarunk mutatni.

Az általános köztudásból ismert, hogy jól definiálható kapcsolat van egy adott képződmény gravitációs (sűrűség), szeizmikus (sebesség) és geoelektromos (ellenállás) paramétere között. Természetesen ez a kapcsolat időnként felborul, vannak anomális részek, mint pl. a vetők.

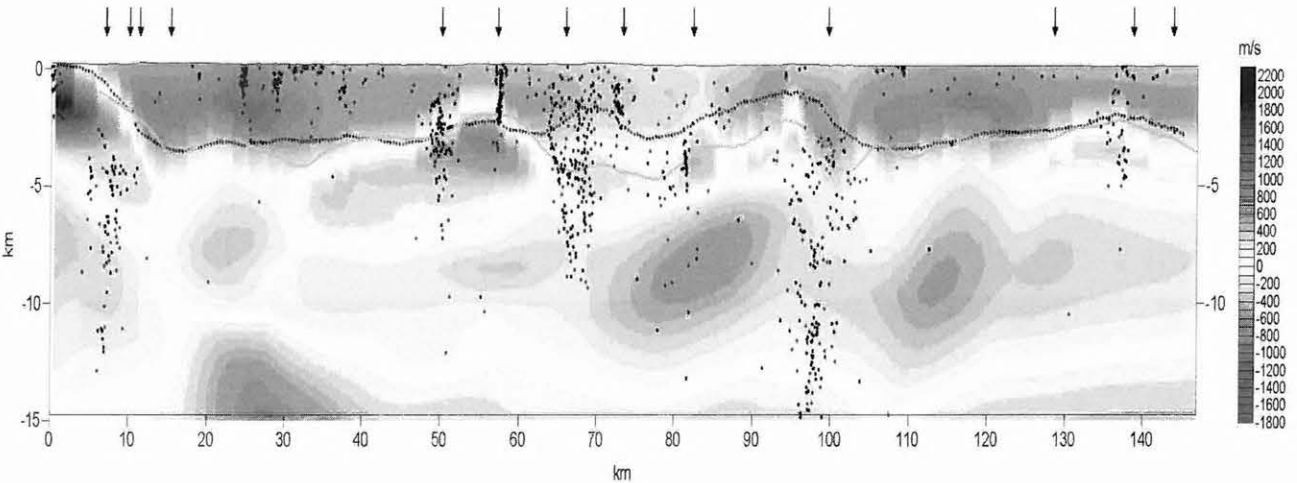
Mind a szeizmikus, mind a magnetotellurikus mérés időtartományban elvégzett szondázás, azaz nagyon jó felbontást biztosít vertikális irányban (minél nagyobb a beérkezési ideje vagy minél kisebb a mért hullám frekvenciája, annál nagyobb a behatolási mélység). A horizontális felbontóképesség gyakorlatilag az érzékelők sűrűségétől vagy a szondázási pontok számától függ, azaz egy bizonyos határig javítható. Ezzel szemben a gravitációs mérés egyszerű pontmérés, ezért csak a horizontális felbontás az, amely sűrítéssel javítható (analitikus eljárásokkal bizonyos esetekben nagyobb mélység felé, azaz vertikális irányban is kiterjeszhető az értelmezés).

A szerkezeti célú értelmezések során az analógia az ellenállás-eloszlás és a gravitációs határfelületek között szépen azonosítható volt. A szeizmika és az MT kapcsolata már nem ennyire meggyőző és a szeizmika kapcsolata a gravitációval sem zavartalan. Mivel ebben az esetben olyan rendellenességeket keresünk, amelyek a szerkezeti zónákra jellemző — tört, feldarabolódott — kőzetekre utalnak, azaz a sebesség megváltozásával járnak, így a figyelem középpontjába a sebesség anomális megváltozásának kimutatása került.

A jobb értelmezéshez esetenként az elsődleges mérési paraméterek bizonyos fokú átalakítása szükséges. Ezeknek

az átalakításoknak tükrözniük kell a kezdeti mért fizikai paraméter értéket, de mentesnek kell lenniük az általános „földi” tendenciáktól, azaz le kell „csupaszítani” az adatrendszert úgy, ahogy ezt a gravitációs mérések korrekciójánál, vagy a mágneses normál tér korrekció esetében már rutinszerűen tesszük.

A sebesség-szelvényen nagyon egyértelműen látszott egy általános tendencia, a sebesség értékének a növekedése a mélységgel. Ez egy általános sebességtrend — vagy ha úgy tetszik, „normál sebesség menet”. Úgy tűnt, hogy ennek a normál menetnek a kiszűrése jelentősen javítja az anomális részek kijelölésének lehetőségét és esetleg az értelmezést. A szűréssel azt vizsgáltuk, hogy a sebességnek van-e olyan hirtelen változása, rendellenessége, amely szerkezeti zónához, blokkhatárhoz vagy olyan képződményhez kapcsolódik, amely extrém — pozitív és negatív értelemben is — sebességgel jellemezhető. A kapott értéket sebesség-anomáliának (7. ábra) lehetne nevezni, amely az általános mélység-sebesség viszonyokhoz képesti eltérést mutatja. Analógiaként a mágneses normál tér és mágneses anomália tér, vagy a gravitációs normál tér — Cassinis-, vagy Helmert-képlet — és Bouguer-anomália közötti kapcsolatot említhetném.



7. ábra. Gravitációs megoldások a sebesség-anomália szelvényen a CEL-7 mentén. Jelmagyarázat: Euler-megoldások (fekete pontok), a Kilényi-mélység (szürke vonal) és Cordell-Henderson-mélység (fekete pontvonal)

Fig. 7. Gravity automatic source detection on velocity anomaly section along CEL-7. Legend: Euler solutions (with black points), Kilényi basement depth (grey line) and Cordell-Henderson basement depth (black point-line)

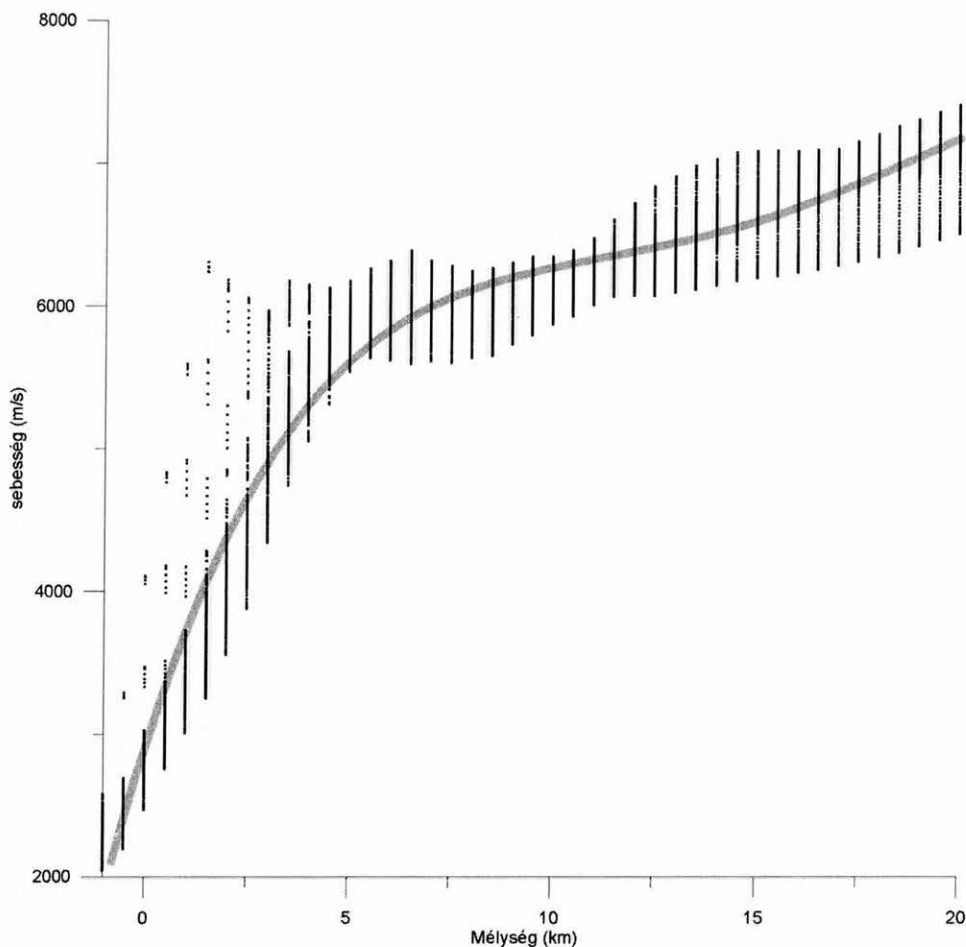
A sebességtrend kiszűrésének módja

A sebességtrend kiszűrésére felhasználtam az erőter-geofizikai módszerek esetében régóta ismert, regionális hatások eltávolítására alkalmazott trendszűrést. A szűrés során a térképi adatokra (a szelvényt egy függőleges síkú térképként kezeltem) első-, másod- vagy harmadfokú felületet illesztettem és ezt a felületet (annak értékeit) kivontam a térképi adatrendszerből, ami által egy mélybeli hatás nagy hullámhosszal jelentkező anomáliáit távolítottam el az eredeti térképből.

Másik megközelítés is lehetséges, például amikor a sebességfüggést az egyedi pontok sebesség-mélység összefüggése alapján határozzuk meg. Ebben az esetben a sebesség-mélység grafikon ponthalmazára illeszthetünk egy

tetszőleges fokú polinomot, majd ezzel az összefüggéssel egy általános vertikális sebességtrendet határozhatunk meg. Ezt minden pontban eltávolítva az eredeti sebességeloszlásból egy sebesség-anomália szelvényhez jutunk.

A sebesség-anomália szelvény (7. ábra) az erőter-geofizikai automatikus feldolgozási eredményekkel sokkal szorosabb kapcsolatot mutat, mint a normál sebesség-szelvény (6. ábra). A sebesség-anomália-szelvényen a medencealjzat jelentős sebességugrásként jelentkezik, ezt mutatom be a CEL-7 szelvény különböző mélységekre gyűjtött sebesség adatainak megjelenítésével (8. ábra). Jól látható a körülbelül 4–5 km-es mélységben megjelenő törés az illesztő polinomon. Az illesztő polinom vonalától való eltérés adja meg a sebesség-anomáliát, amelyet a szelvény mentén ábrázolunk.



8. ábra. A sebesség és mélység összefüggése a CEL-7 teljes hosszában

Fig. 8. Relationship between velocity and depth along the full CEL-7 profile



9. ábra. A teljes CEL-7 szelvény helyszínrajza

Fig. 9. Location map of full CEL-7 profile

Mivel az eredmény nem egy hagyományos sebesség-szelvény, hanem egy ún. sebesség-anomália szelvény, ezért az értelmezés sem mondható hagyományosnak (nem szeizmikusként lehet, hogy hiányosak az ismereteim, de eddig a gyakorlatban nem találkoztam ilyen jellegű feldolgozási

eredményekkel). Az sem egyértelmű, hogy a különböző trendsűrési eljárások közül melyik tekinthető jobbnak — amelyik az egész szelvény mentén azonos sebesség-mélység trendet feltételez, vagy az, ahol megengedünk folyamatos átmeneteket, figyelembe véve a regionális földtani felépítést. Az erőter-geofizikai adatok sajnos csak a 145 km-es magyarországi szakaszra álltak rendelkezésre. Ezeknek az adatoknak összevetése a szeizmikus eredményekkel csak a felső 10–15 km-re volt lehetséges. A sebesség adatok a szelvény teljes hosszában, azaz 380 km-en (9. ábra) rendelkezésre állnak és kb. 50 km-es mélységtartományt fednek le.

A 10. ábra a teljes CEL-7 szelvény (magyar és osztrák szakasz) sebességeloszlását mutatja [HEGEDŰS 2004]. Láthatók bizonyos változások, de az általános sebességtrend elnyomja a hasznos információkat, megnehezíti az értelmezést. Az üledékes medence a ma-

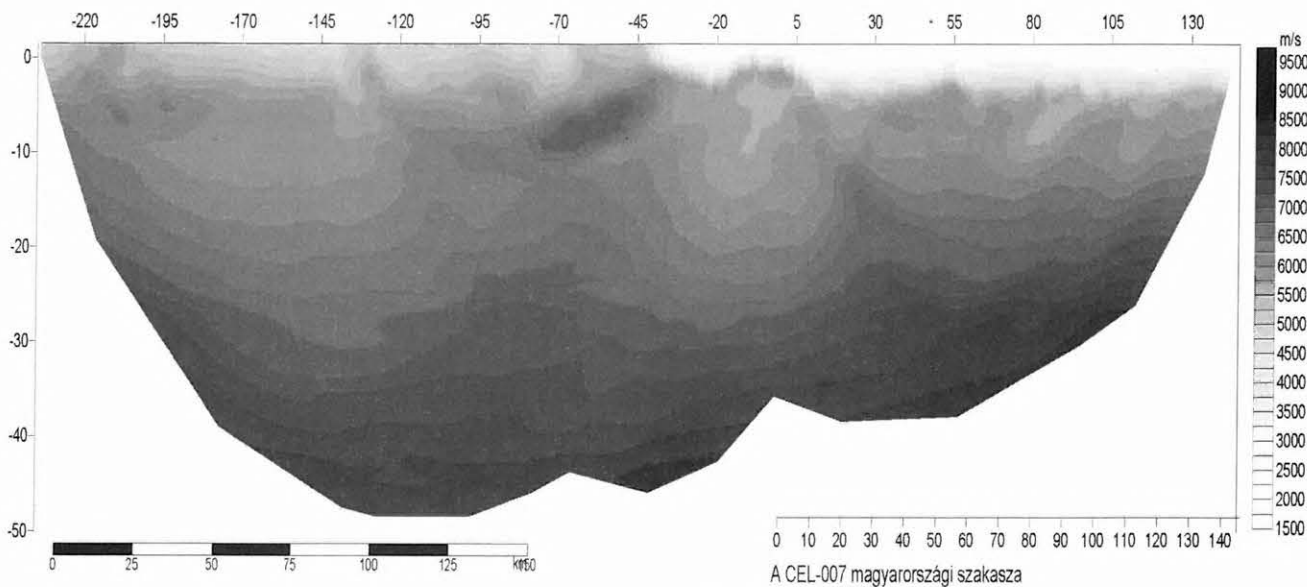
gyarországi szakaszon egyértelműen elkülönül a medencealjzattól. A medencealjzat viszont korántsem homogén.

A 11. ábra azt az általános sebességtrendet mutatja, amelyet a 8. ábra mélység-sebesség adataiból egy negyedfokú polinom illesztéssel meghatároztam (negyedfokú egydimenziós trend). Ezt távolítottam el az adatrendszerből azért, hogy az anomális sebességváltozások minél inkább kijelölhetővé váljanak.

Eredmények

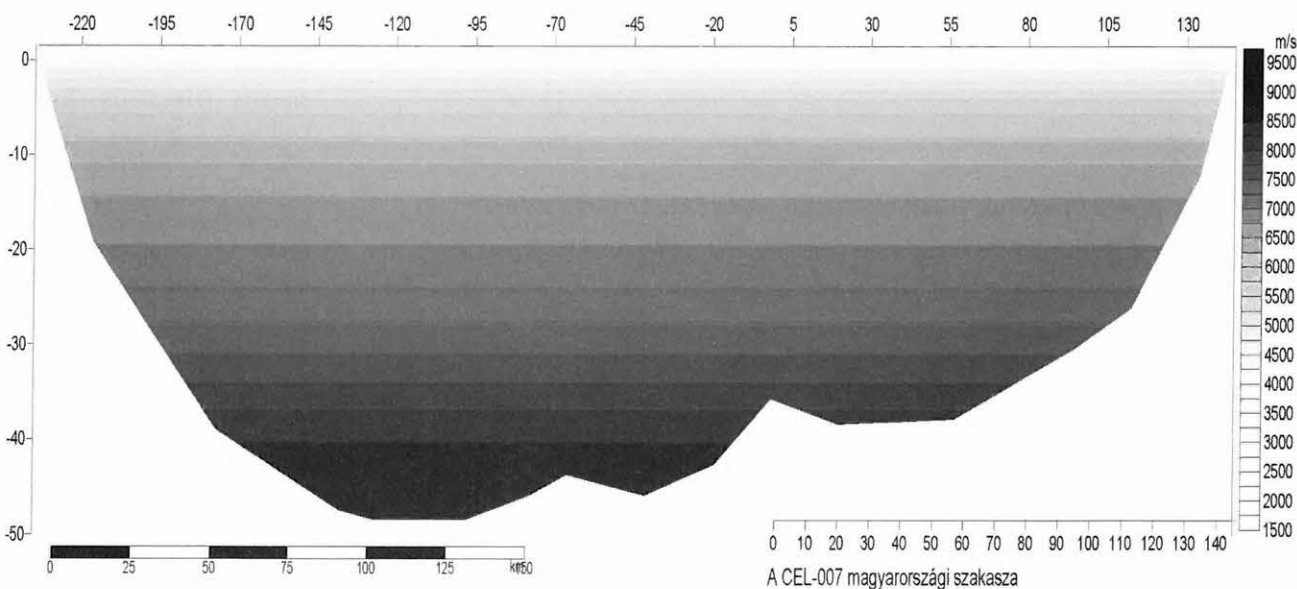
A 12. ábra mutatja a kapott sebesség-anomália szelvényt. Ezek az anomáliák sokkal karakteresebbé váltak, a blokkok lehatárolása is sokkal egyszerűbb, azaz úgy tűnik, hogy a szerkezeti, illetve a regionális értelmezésben sokkal jobban használható, mint a kiindulási sebességszelvény (10. ábra).

Ha figyelembe vesszük azt, hogy a földtani felépítésből adódóan másképp viselkedik a magyarországi (a vastag üledékes medencét is magába foglaló) szakasz, mint az osztrák alpi (sekély üledékes medencékből, de főképpen aljzat kibúvásokból álló) szakasz, akkor a teljes adatrendszerre (vagy a „térkép szélein” lévő értékekre) egy harmadfokú hullámfelület illeszthetünk (13. ábra). Ezt az általános trendet eltávolítva a sebességszelvényből megkapjuk a szelvény mentén kimutatható anomális sebességváltozásokat.



10. ábra. A sebességszelvény a CEL-7 teljes hosszában

Fig. 10. Velocity section along the total CEL-7 profile



11. ábra. Általános sebességtrend — a 8. ábra illesztő polinomja alapján — a CEL-7 teljes hosszában

Fig. 11. General velocity trend — based on the fitting polygon of Fig. 8. — along the total CEL-7 line

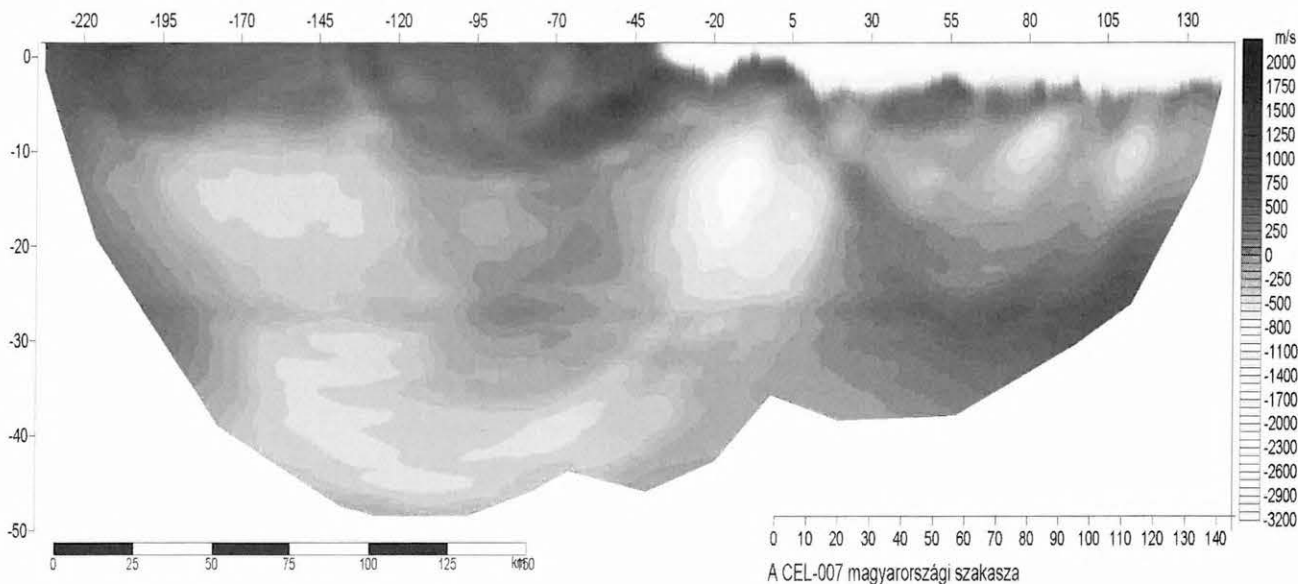
Az általános trenden is láthatjuk már a regionális földtani felépítésből származó jellegzetességet, azaz a megnőtt sebességértékeket és a sokkal nagyobb sebességgradienst az ausztriai szakaszon (13. ábra).

A trend eltávolításából kapott szelvény (14. ábra) még kontrasztosabban hozza a medencealjzat felszínét, s annak kibúvásos részeit az Alpok területén. A kapott sebesség-anomáliák lefutása a szerkezeti értelmezésekben lehet érdekes. A medencealjzat a magyarországi szakaszon 2–4 km között jelentkezik, míg Ausztriában a medencealjzat a szelvény –41 km-től a felszínen vagy felszínközélen van, amit a 10. ábra és 12. ábra alapján láthatunk.

Összefoglalás, következtetések

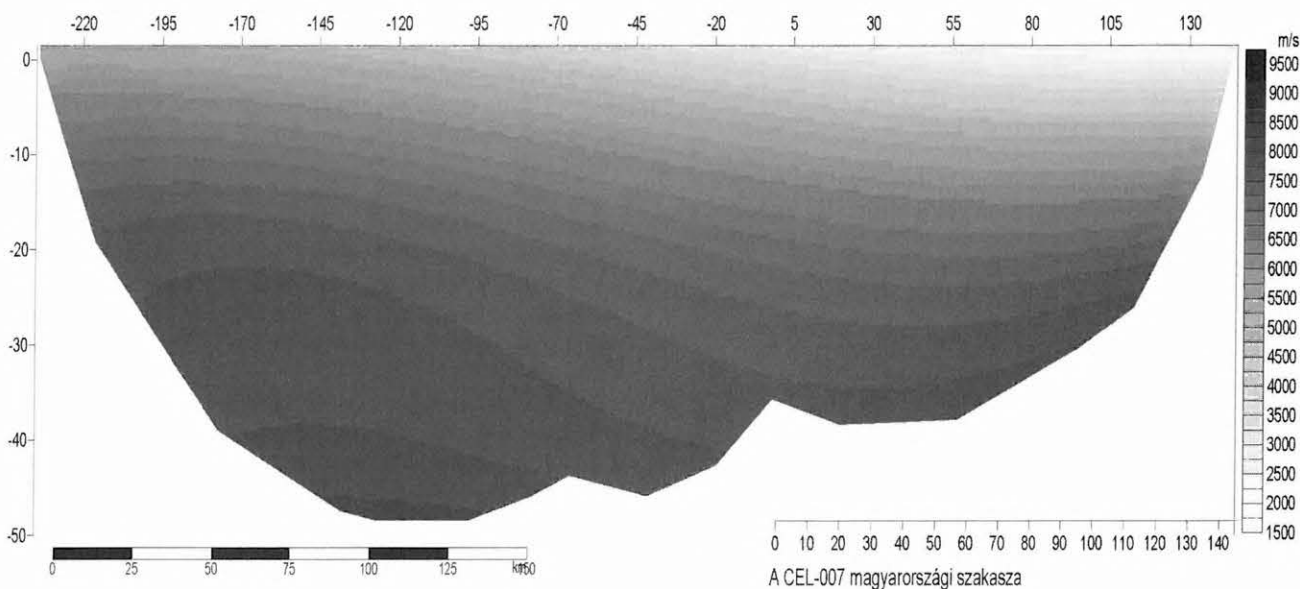
A sebességtrend kivonása — úgy tűnik — ugrásszerű javulást hozott a szeizmikus mélyrefrakció felhasználása szempontjából, mert a kapott sebességanomáliák immár közvetlenül összehasonlíthatók a gravitációs, mágneses megoldásokkal és magnetotellurikus anomáliákkal. A részletekbe menő együttes értelmezés a későbbiek feladata.

A földrengésekkel való kapcsolatot előzetesen vizsgálva meglepően jó egyezéseket találtunk a sebességanómália határfelületek és a földrengésekkel sújtott zónák között [KISS 2005].



12. ábra. Sebességanomália (a 11. ábra sebességtrendje nélkül) szelvény a CEL-7 teljes hosszában

Fig. 12. Velocity anomaly (without the velocity trend of Fig. 11) profile along the total CEL-7 line



13. ábra. Általános sebességtrend — harmadfokú felülettel — a CEL-7 teljes hosszában

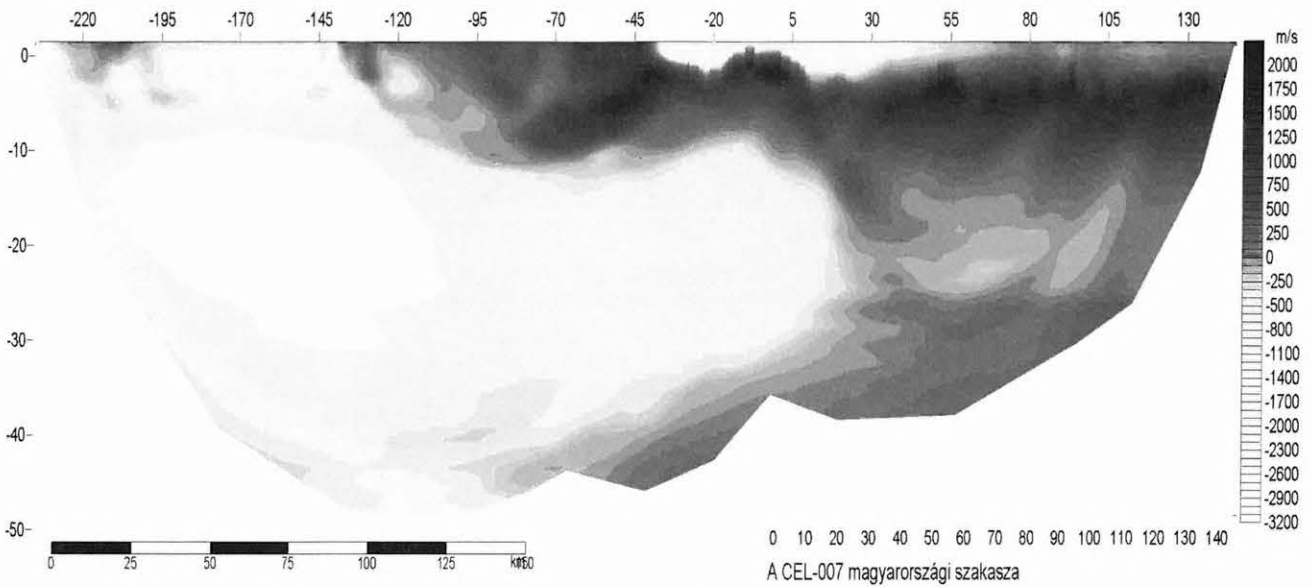
Fig. 13. General velocity trend — with 3rd order surface — along the total CEL-7 line

A sebességanomáliák vizsgálata felhívta továbbá a figyelmet a szeizmikus első beérkezéses tomográfiai feldolgozások kisebb hibáira is, mint például a kényszerfeltételként alkalmazott MOHO szint hibás értékeire (például a 12. ábra sebességszelvényén a 25 km-es mélységnél jelentkező vonalas anomália), illetve a sebességszelvény deriváltjai alapján kimutatható illesztési helyekre, amelyek kiküszöbölését a regionális szeizmikus szelvények feldolgozása során célszerű figyelembe venni.

Köszönetnyilvánítás

A cikk megírásához, az elemzések elvégzéséhez felhasznált adatok több forrásból származnak (az MGSZ és az ELGI országos adatbázisai) és több pályázati munkához kapcsolódnak:

- OTKA T-043100 — „Magyarország gravitációs lineamens térképe”,
- OTKA T037694 — „Új irányzatok a magneto-tellurikában”,
- OTKA TS 408048 — „Földi elektromágnesség”,



14. ábra. Sebesség-anómia (a 13. ábra sebességtrendje nélkül) szelvény a CEL-7 teljes hosszában

Fig. 14. Velocity anomaly (without the velocity trend of Fig. 13) profile along the total CEL-7 line

— CELEBRATION Workgroup — szeizmikus adatok, feldolgozások.

Köszönet minden kutatónak, aki adatokkal, tanácsokkal a vizsgálatokban segítségemre volt.

Hivatkozások

BODOKY T., BRUECKL E., FANCSIK T., HEGEDŰS E., POSGAY K. 2001: Szervezőbizottság és munkacsoport: CELEBRATION 2000 — nagyszabású ezredzáró projekt a litoszférakutatásban. Magyar Geofizika **42**, 1

CORDELL L., HENDERSON R. G. 1968: Iterative three-dimensional solution of gravity anomaly data using a digital computer. Geophysics **33**, p. 596–601

GUTERCH A., GRAD M., KELLER G. R., POSGAY K., VOZAR J., SPICAK A., BRUECKL E., HAJNAL Z., THYBO H., SELVI O. 2000: CELEBRATION 2000: Huge seismic experiment in Central Europe. Geologica Carpathica **51**, 6, p. 413–414

HEGEDŰS E. 2001: Nemzetközi litoszférakutató programok 2000–2005. Az MGSZ 2001. évi költségvetési témák beszámolója, Budapest

HEGEDŰS E., KOVÁCS A. Cs., FANCSIK T., KISS J., CSABAFI R. 2004: Crustal structure of the West-Pannonian Basin (Trans-Danubia) based on CELEBRATION2000 and ALP2002 three

dimensional seismic data. EGU 1st General Assembly, Nice, France, 25–30, April 2004

KILÉNYI É., ŠEFARA J. 1991: Pre-Tertiary Basement Contour Map of Carpathian Basin Beneath Austria, Czechoslovakia and Hungary. Geophysical Transactions **36**, 1–2

KISS J. 2004: Geofizikai módszertani fejlesztések: Erőtér-geofizikai, képfeldolgozási módszerek — jelentés. MGSZ adattár

KISS J. 2005: Geofizikai módszertani fejlesztések: Erőtér-geofizikai, képfeldolgozási módszerek. Az MGSZ 2004. évi költségvetési témák beszámolója, Budapest, 2005. január 13.

MADARASI A., VARGA G., PRÁCSER E. 2004: Jelentés a Térképezési Program „Magnetotellurikus adatbázisok és paraméterterképek” témában 2004-ben végzett munkáról. MGSZ adattár

SZARKA L., ÁDÁM A., KISS J., MADARASI A., NOVÁK A., PRÁCSER E., VARGA G. 2004: Magnetotelluric images from SW-Hungary, completed with gravity, magnetic and seismic measurements. 17th EM Induction Workshop, Hyderabad, India

THOMPSON D. T. 1982: EULDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data (Euler method). Geophysics **47**, p. 31–37